OU STS 2

LA PREVISION TECHNOLOGIQUE

ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES
PARIS 1967

CENTRE d'ÉTUDES
sur la
RECHERCHE et l'INNOVATION
(C.E.R.I.)
116, Bd Péreire - PARIS-XVII•
Tél. 755-87-18

297

CENTRE d'ÉTUDES
RECHERCHE ET INNOVATION
(C.E.R.I.)
116, Bd Pereire - PARIS-XVIIe
Tél. 755-87-18

2148

LA PREVISION TECHNOLOGIQUE

La prévision technologique :
cadre, techniques et organisation ;
description des activités prévisionnelles
et bibliographie annotée par

Erich Jantsch
Consultant auprès de l'OCDE

CENTRE d'ÉTUDES
sur la
RECHERCHE et l'INNOVATION
(C.E.R.I.)
116, Bd Pereire - PARIS-XVIIe
Tél. 755-87-18

ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES

L'Organisation de Coopération et de Développement Économiques a été instituée par une Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, par les membres de l'Organisation Européenne de Coopération Économique, ainsi que par le Canada et les États-Unis. Aux termes de cette Convention, l'OCDE a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- *— à réaliser la plus forte expansion possible de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays Membres, tout en maintenant la stabilité financière, et contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale;*
- *— à contribuer à une saine expansion économique dans les pays Membres, ainsi que non membres, en voie de développement économique;*
- *— à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire, conformément aux obligations internationales.*

La personnalité juridique que possédait l'Organisation Européenne de Coopération Économique se continue dans l'OCDE, dont la création a pris effet le 30 septembre 1961.

Les membres de l'OCDE sont : la République fédérale d'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède et la Turquie.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE 11
AVANT-PROPOS 13
Définition générale de quelques termes fondamentaux fréquemment utilisés dans le rapport 16
Principaux résultats et recommandations 18

PREMIÈRE PARTIE

LE CADRE DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

Chapitre I.1

LE CONCEPT FONDAMENTAL D'UN ESPACE DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE 25

Chapitre I.2

PRÉVISION TECHNOLOGIQUE EXPLORATOIRE ET PRÉVISION TECHNOLOGIQUE NORMATIVE.. 33

Chapitre I.3

LE FACTEUR TEMPS ET LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE 45

Chapitre I.4

RECHERCHE FONDAMENTALE ET PRÉVISION TECHNOLOGIQUE 57
I.4.1. La tradition scientifique et le problème des valeurs 57
I.4.2. Prévision et connaissance rationnelle 61
I.4.3. Les valeurs intrinsèques de la science et les objectifs sociaux 67
I.4.4. Conclusions 70

Chapitre I.5

INNOVATION TECHNIQUE ET PRÉVISION TECHNOLOGIQUE 71
I.5.1. Les conditions générales de l'innovation technique 71
I.5.2. Taux d'innovation des secteurs industriels 75
I.5.3. Eléments normatifs de l'innovation technologique 78
I.5.4. Tendance à une plus grande complexité des transferts technologiques verticaux 82
I.5.5. Rôle croissant des transferts technologiques horizontaux dans l'innovation ... 85
I.5.6. Modifications structurelles de l'industrie sous l'effet de l'innovation technique. 89
I.5.7. Conclusions 92

Chapitre I.6

PRÉVISION ET PLANIFICATION TECHNOLOGIQUES 93
I.6.1. Intégration croissante de la prévision et de la planification technologiques.... 93
I.6.2. Caractère normatif de la planification 96
I.6.3. Stratégie de la planification 98
I.6.4. Aspects quantitatifs de la planification 100
I.6.5. Conclusions 101

Chapitre I.7

TECHNOLOGIE SOCIALE ET PRÉVISION TECHNOLOGIQUE 103

Chapitre I.8

L'INFORMATIQUE ET LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE 109

Chapitre I.9

EXACTITUDE DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE 113

DEUXIÈME PARTIE

MÉTHODES UTILISÉES POUR LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

Chapitre II.1

APERÇU TECHNIQUE 125
II.1.1. Incitations et possibilités 125
II.1.2. Types de méthodes utilisées et état de l'art 129
II.1.3. Utilisation des méthodes 144
II.1.4. Perspectives proches 149

Chapitre II.2

APPLICATIONS ET AMÉLIORATION DE LA RÉFLEXION INTUITIVE 151
II.2.1. La pensée créatrice et la prévision 151
II.2.2. Les différentes versions du « brainstorming » 154
II.2.3. La méthode « Delphi » 155
II.2.4. Utopie et science-fiction 159
II.2.5. Nouveaux éléments d'une amélioration de la réflexion intuitive 160

Chapitre II.3

LES MÉTHODES DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE EXPLORATOIRE 161
II.3.1. Informations de départ 161
II.3.2. Extrapolation de séries temporelles : tentatives de formulation de modèles analytiques simples 162
II.3.3. Extrapolation de séries temporelles sur une base phénoménologique 174
II.3.4. Courbes d'apprentissage 188
II.3.5. Représentation contextuelle indépendante du temps 191
II.3.6. Méthode morphologique d'exploration systématique des possibilités techniques 195
II.3.7. Rédaction de scénarios et itération par synthèse 201
II.3.8. Analogie historique qualitative 203
II.3.9. Eléments de prévision exploratoire probabiliste 204
II.3.10. Analyse économique 212
II.3.11. Modèles opérationnels 223
II.3.12. Prévision technologiques exploratoire au niveau des agrégats 228

Chapitre II.4

LES MÉTHODES DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE NORMATIVE 235
II.4.1. Matrices de décision horizontales 235
II.4.2. Matrices de décision verticales 236
II.4.3. Méthodes simples de sélection des projets fondés sur la recherche opérationnelle 238
II.4.4. Méthodes simples de sélection des projets, fondées sur la théorie de la décision 240
II.4.5. Systèmes de décision intégrés, fondés sur les graphes de pertinence 243
II.4.6. Certaines applications des techniques de réseaux 259
II.4.7. Modèles opérationnels 261
II.4.8. Analyse des systèmes 265

Chapitre II.5

MÉTHODES COMPORTANT DES SYSTÈMES EN BOUCLE FERMÉE 269
II.5.1. Premières tentatives 269
II.5.2. Prévision technologique et évolution des techniques de traitement de l'information 273

TROISIÈME PARTIE

ORGANISATION DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

Chapitre III.1

INSTITUTS DE PRÉVISION ET BUREAUX D'ÉTUDES 279

Chapitre III.2

INDUSTRIE 283
III.2.1. Rôle de la prévision technologique 283
III.2.2. Evolution de la planification à long terme dans l'industrie 284
III.2.3. La fonction de prévision technologique dans l'organigramme de l'entreprise 285
III.2.4. Analyse statistique des systèmes de prévision technologique de 62 entreprises 288
III.2.5. Intégration de la planification et de la prévision technologique et ré-orientation vers les fonctions 292
III.2.6. Les objectifs de l'entreprise et la motivation 299
III.2.7. Calcul très approximatif des dépenses consacrées par l'industrie à la prévision technologique 300

Chapitre III.3

DOMAINE MILITAIRE 303

Chapitre III.4

L'ÉCHELON NATIONAL 309
III.4.1. Planification nationale orientée vers les fonctions 309
III.4.2. Autres tentatives 312
III.4.3. Le rôle des associations professionnelles 314

Chapitre III.5

ORGANISATIONS INTERNATIONALES 317

Chapitre III.6

« INSTITUTIONS-VIGIES » 321

ANNEXES

A. TRAVAUX DE PRÉVISION TECHNOLOGIQUE EFFECTUÉS EN DEHORS DU CADRE INDUSTRIEL ET IDENTIFIÉS LORS DE L'ENQUÊTE DE L'OCDE

Annexe A.1.

INSTITUTS DE PRÉVISION ET BUREAUX D'EXPERTS-CONSEILS 325
A.1.1. Abt Associates, Inc. 325
A.1.2. Battelle Memorial Institute 325
A.1.3. Bureau d'Informations et de Prévisions Economiques (BIPE) 326

A.1.4. Corplan Associates 326
A.1.5. The Diebold Group, Inc. 327
A.1.6. Hudson Institute 327
A.1.7. Arthur D. Little, Inc. 327
A.1.8. Département économique de McGraw-Hill 328
A.1.9. National Planning Association 328
A.1.10. The RAND Corporation 328
A.1.11. Resources for the Future, Inc. 329
A.1.12. Samson Science Corporation/Quantum Science Corporation 329
A.1.13. Société d'Etudes et de Documentation Economiques, Industrielles et Sociales (SÉDÉIS) 329
A.1.14. Stanford Research Institute 330
A.1.15. Studiengruppe fuer Systemforschung 331
A.1.16. System Development Corporation 331
A.1.17. TEMPO Center for Advanced Studies, General Electric Co. 331
A.1.18. Autres bureaux d'experts-conseils 332

Annexe A.2

PRÉVISIONS EFFECTUÉES DANS LE CADRE MILITAIRE 332
A.2.1. France 332
A.2.2. Suède 333
A.2.3. Royaume-Uni 334
A.2.4. États-Unis 335
A.2.5. Organisation du Traité de l'Atlantique Nord (OTAN) 341

Annexe A.3

ÉCHELON NATIONAL 341
A.3.1. Autriche 341
A.3.2. Canada 341
A.3.3. République fédérale d'Allemagne 342
A.3.4. France 342
A.3.5. Israel 342
A.3.6. Italie 343
A.3.7. Pays-Bas 343
A.3.8. Suisse 344
A.3.9. Royaume-Uni 344
A.3.10. États-Unis 344

Annexe A.4

ORGANISATIONS INTERNATIONALES 347
A.4.1. Les trois communautés européennes 347
A.4.2. Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) 348
A.4.3. Travaux occasionnels d'autres organisations 349

Annexe A.5

ACTIVITÉS D'AVANT-GARDE DANS LE DOMAINE DES « INSTITUTIONS-VIGIES » 350
A.5.1. American Academy of Arts and Sciences 350
A.5.2. American Institute of Planners 350
A.5.3. Center for Culture and Technology, University of Toronto 350
A.5.4. The Center for the Study of Democratic Institutions 350
A.5.5. Centre International d'Études de Prospective 351
A.5.6. CIBA Foundation 351
A.5.7. Harvard University Program on Technology and Society 351
A.5.8. Institut für Zukunftsfragen 351
A.5.9. Mankind 2000 351
A.5.10. Parlement Suédois 351

A.5.11. État de Californie 352
A.5.12. World Future Society 352
A.5.13. World Resources Inventory 352
A.5.14. « Institutions-vigies » envisagées 352

B. BIBLIOGRAPHIE COMMENTÉE

B.1. Science fondamentale et technique (généralités) 354
B.2. Invention, innovation et diffusion des techniques (généralités) 357
B.3. Technologie sociale (généralités) 363
B.4. Méthodes relatives à la prévision technologique 365
B.5. Organisation de la prévision technologique et de la planification dans l'industrie 381
B.6. Organisation de la planification et de la prévision technologiques en dehors du du cadre industriel 386
B.7. Exactitude de la prévision technologique 388
B.8. Prévisions technologiques réelles : scénarios approfondis de l'avenir 390
B.9. Prévisions technologiques réelles : domaines particuliers importants 396
B.10. Prévisions technologiques réelles : objectifs et conséquences pour la nation et la société 406
B.11. Utopie et science-fiction 411
B.12. Coopération internationale et problèmes des économies en voie de développement 412
B.13. Publications périodiques 412
B.14. Bibliographie et liste des sources d'information 413
B.15. Index bibliographique des auteurs 415

C. LISTE DES CONTACTS ÉTABLIS EN VUE DE LA RÉDACTION DE CE RAPPORT

C.1. Autriche 421
C.2. Belgique 421
C.3. Canada 421
C.4. République fédérale d'Allemagne 423
C.5. France 423
C.6. Israël 424
C.7. Italie 425
C.8. Luxembourg 425
C.9. Pays-Bas 426
C.10. Suède 426
C.11. Suisse 427
C.12. Royaume-Uni 427
C.13. États-Unis 429

Index des noms et des organismes cités 435

CENTRE d'ETUDES
RECHERCHE
116, Bd Pereire - PARIS-XVII^e
Tél. 755-87-18

PRÉFACE

Traditionnellement limitée aux seuls domaines industriels et militaires, la technologie envahit progressivement tous les grands secteurs de l'activité nationale, tel l'enseignement. Il est donc essentiel que les gouvernements et les entreprises privées soient en mesure de diriger l'évolution du progrès technologique.

Diriger signifie prévoir. Il importe donc de prévoir clairement la nature probable et les conséquences possibles d'une technologie qui évolue à un rythme accéléré. Or, ce genre de prévision est réalisable du fait du décalage, encore très important qui intervient, d'une part entre l'acquisition par la recherche fondamentale de connaissances nouvelles et, d'autre part, leur application pratique.

La prévision technologique, qui s'est développée graduellement depuis la Seconde Guerre mondiale, s'efforce de préciser les tendances de l'évolution future. L'intérêt de cette nouvelle science est double : tout d'abord, elle assure, au niveau des décisions et sur les plans tant national que privé, une plus grande précision dans le choix des options qu'impose le nombre même des possibilités offertes par le progrès scientifique et technique : dans le contexte concurrentiel du monde moderne, le succès ou l'échec dépend souvent d'un tel choix. En second lieu, alors que l'on s'accorde à reconnaître l'influence exercée par la science et la technologie sur l'évolution de la société, la prévision technologique permet aux gouvernements de prévoir les conséquences que peuvent avoir pour les sociétés futures les développements de la technique et, de cette manière, d'orienter l'application des nouvelles connaissances en fonction des objectifs nationaux. Ainsi donc, pour les responsables de la politique des gouvernements, la perspective de pouvoir programmer les options futures en aiguillant le progrès technologique conformément à un contexte économique, social et politique donné, constitue à la fois un stimulant et un défi.

Ces perspectives se précisent enfin, et c'est pourquoi l'OCDE a décidé d'entreprendre une étude sur « l'état de l'art » de la prévision technologique. Son auteur, le Dr. E. Jantsch présente dans cet ouvrage un véritable panorama des techniques utilisées dans ce domaine et précise les tendances qui le caractérisent. Il a bénéficié, au cours de son enquête, de l'aide de nombreux administrateurs et experts des pays Membres, ainsi que de celle de spécialistes des questions de politique scientifique. Nous espérons que son ouvrage trouvera une large audience dans les milieux industriels et gouvernementaux et que ceux-ci y puiseront des enseignements précieux.

Thorkil KRISTENSEN.

Secrétaire Général
Organisation de Coopération
et de Développement Économiques.

AVANT-PROPOS

Quand nous avons entrepris les travaux qui ont abouti au présent rapport, nous pensions que la prévision technologique faisait l'objet d'activités géographiquement concentrées, et que nous pourrions donc effectuer notre étude des méthodes et des modes d'organisation à partir d'un volume d'informations assez restreint. En fait de prévision, celle-ci s'est trouvée complètement démentie par les faits. Non seulement les renseignements qui nous parvenaient s'accroissaient de manière presque explosive, mais nous avons encore dû étendre la portée de notre enquête à de nouveaux domaines, notamment aux sciences sociales. Ce qui devait constituer une simple enquête est devenu une analyse des idées et des travaux les plus marquants, dont nous espérons qu'elle fournira un tableau cohérent et représentatif de l'état actuel de la prévision technologique.

Nous avons visité douze pays Membres de l'OCDE entre octobre 1965 et mai 1966 : la République fédérale d'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, les États-Unis, la France, l'Italie, le Luxembourg, les Pays-Bas, le Royaume-Uni, la Suède et la Suisse. Nous avons inclus dans notre circuit un pays non-membre : Israël, sur l'invitation de son gouvernement. Au cours de ces voyages, nous avons pris environ 250 contacts individuels avec des organisations internationales, des administrations, des universités, des fondations, des instituts de recherche, des établissements industriels, des bureaux d'étude, et un grand nombre d'éminentes personnalités. Nous avons surtout mis l'accent sur les établissements industriels, les administrations militaires et les instituts de recherche. Ces voyages d'étude, complétés par l'examen d'environ 400 références bibliographiques, constituent la base du présent rapport. Le manuscrit a été terminé en août 1966.

L'accueil réservé à l'enquête de l'OCDE a été extrêmement chaleureux et a confirmé l'impression que la prévision technologique est sortie de la position quelque peu obscure qu'elle occupait jusque vers 1960, pour apparaître désormais en pleine lumière. Rares sont les entreprises (et même les administrations militaires) qui considèrent leurs méthodes et leurs procédés comme confidentiels dans ce domaine. Au contraire, un intérêt très vif se manifeste en faveur de l'échange d'informations, dans l'état actuel d'une activité qui se caractérise par une publication très limitée des résultats obtenus. Cette manifestation d'intérêt peut servir de justification au présent rapport, en dépit des nombreuses insuffisances qu'il recèle.

L'objet de ce rapport est double :

— constituer, pour le Comité de la Politique scientifique, et pour le Secrétariat de l'OCDE, un document pouvant servir de base à d'autres travaux qui concernent directement ou indirectement la prévision technologique ;

— fournir des éléments de comparaison, un cadre, et peut-être une synthèse utile, capables d'aider et de stimuler la réflexion au niveau opérationnel. C'est la raison pour laquelle nous avons présenté un texte aussi volumineux et, en particulier, analysé quelque cent techniques et éléments de techniques observés au cours de l'enquête, ainsi que l'organisation des travaux de prévision technologique. C'est aussi pour cette raison que nous avons complété notre étude par une bibliographie commentée.

Notre intention n'était pas de participer aux recherches dans le domaine de la prévision, mais plutôt de rendre compte de la situation et des résultats pratiques obtenus. Nous avons tenté de le faire aussi objectivement que possible : nous nous sommes efforcé de replacer dans un contexte suffisamment large les modes de pensée linéaires, si fréquents dans l'exploration intellectuelle, et d'éliminer les incohérences de langage qui pullulent à ce stade de l'évolution.

Un élément subjectif transparait sous trois formes dans cette analyse : 1. nous avons présenté le sujet dans un contexte plus large qu'on ne le juge généralement nécessaire ; de même, en dépit de la distinction fondamentale entre l'exploration et la prévision technologique de caractère normatif, nous avons délibérément orienté le problème vers la synthèse de ces deux aspects dans tout l'espace ouvert aux transferts de technologie ; 2. nous avons complété la description de la situation actuelle, telle que nous l'avons observée, par des indications sur les tendances prochaines ; 3. une forte préférence personnelle a influencé l'analyse de l'évolution souhaitable et des tâches générales à entreprendre, et des jugements de valeur ont été appliqués aux idées actuelles. Nous avons trouvé que c'était la meilleure façon d'éviter les affirmations vides de sens et les attitudes « amorphes » sur des problèmes essentiels.

Il est évident que cet élément subjectif peut largement prêter à controverse[1]. L'auteur espère que son point de vue sera accepté avec cet esprit de coopération qu'ont manifesté de nombreux pionniers de la recherche en lui faisant part de certaines idées, sans doute partiales et préliminaires, mais pleines de conséquences pour l'avenir.

Comme dans de nombreux domaines des sciences sociales, des sciences du comportement et des sciences économiques, les États-Unis ont pris la tête dans l'exploration complète et systématique de la prévision technologique et dans la transformation d'une vision poétique en un exercice technique qui deviendra peut-être un jour une véritable science. A un moment où l'on écrit et où l'on dit tant de choses sur le « fossé technologique » qui sépare les autres pays des États-Unis, il ne faut pas oublier que les méthodes de gestion, qui jouent un rôle crucial dans l'accélération du progrès, ne coûtent absolument rien ; ces méthodes s'apprennent, et les attitudes peuvent se modifier.

---

1. Il semble que même les affirmations objectives soient, jusqu'à un certain point, discutables. Une enquête récente effectuée à la demande du gouvernement des États-Unis *(réf. bibl. 183, 352)*, par exemple, a abouti à la conclusion que la prévision technologique : (*a*) « était peu pratiquée par les utilisateurs en puissance appartenant ou non à l'administration fédérale », et (*b*) « présentait peu d'intérêt » pour eux. L'écart qui sépare ces affirmations des conclusions du présent rapport est peut-être dû à l'emploi d'informations de base différentes, aussi bien qu'aux références personnelles, celles-ci étant presque inévitables dans une discipline qui commence à peine à prendre forme.

L'objectif principal du présent rapport est de faciliter les transferts techniques dans un secteur relativement étroit des sciences de la gestion.

Quand on tente de saisir la prévision technologique sous tous ses aspects, on se trouve vite entraîné vers des domaines de caractère incertain ou même fantastique. Nous avons essayé de dégager quelques éléments importants pour l'avenir lointain de la prévision technologique, même dans ces domaines encore peu intelligibles, tout en essayant de ne pas nous laisser emporter par une imagination sans bornes.

Si l'auteur arrive à faire partager à quelques lecteurs la fascination qu'il a éprouvée pour son sujet, et qui n'a fait que croître au cours de la rédaction du présent rapport, ce sera une source d'intense satisfaction pour lui et le résultat le plus utile qu'il pouvait espérer.

DÉFINITION GÉNÉRALE DE QUELQUES TERMES FONDAMENTAUX FRÉQUEMMENT UTILISÉS DANS LE RAPPORT

Nous avons adopté certains termes pour les raisons suivantes : (*a*) ils sont simples et recouvrent l'ensemble de la notion qu'ils évoquent; (*b*) ils correspondent à la structure réelle observée actuellement au *niveau opérationnel;* (*c*) ils répondent donc particulièrement bien aux objectifs de ce rapport. Il ne faut pas les considérer comme des définitions rigoureuses, et nous ne prétendons pas qu'ils soient d'application universelle. Chaque fois que nous l'avons pu, nous avons indiqué, entre parenthèses, la source de ces termes ou de leur définition.

Une *prévision* est une affirmation probabiliste[1] assortie d'un degré de confiance relativement élevé et concernant l'avenir. Une *prédiction* est une déclaration apodictique (non probabiliste) assortie d'un degré de confiance absolu, et concernant l'avenir. Une *anticipation* est un modèle construit logiquement et concernant un avenir possible, assorti d'un degré de confiance non encore défini (d'après Ozbekhan). Dans toutes ces définitions « l'avenir » dont on parle s'applique à des situations, des évènements, des attitudes, etc.

La *technologie* est le vaste domaine des applications, orientées en vue d'un certain but, du contenu des sciences physiques, des sciences de la vie et des sciences du comportement. Le terme recouvre l'ensemble des techniques, y compris la médecine, l'agriculture, les sciences de la gestion et d'autres activités, sous leur aspect matériel autant qu'intellectuel.

La *prévision technologique* est une évaluation probabiliste, assortie d'un degré de confiance relativement élevé, des transferts technologiques futurs. La *prévision technologique exploratoire* part d'une base actuelle de connaissances sûres, et est orientée vers l'avenir, tandis que la *prévision technologique normative* détermine d'abord les objectifs, les besoins, les désirs, les missions, etc. pour l'avenir, et procède en remontant vers le présent (Gabor). Ces deux types de prévisions donnent une image dynamique d'un processus de transfert technologique. La prévision technologique peut faire appel à l'anticipation ou aller jusqu'à la prédiction.

Un *transfert technologique* est un processus (généralement complexe) qui se produit dans un certain espace, appelé ici *espace des transferts technologiques*, et que l'on peut représenter de la manière décrite au Chapitre I.1. Ce transfert se produit à *différents niveaux de transfert technologique*, où l'on peut grossièrement distinguer un niveau de développement et un niveau d'influence. Le transfert comprend des composantes *horizontales* et *verticales* (d'après Brooks). Le transfert technologique vertical, qui se fait à travers les différents niveaux de développement, se caractérise par quatre phases de recherche et de développement (Stanford Research Institute) : découverte, création (conduisant à l'*invention*, terme qu'il est difficile de définir avec précision pour les systèmes techniques complexes), concrétisation et développement (conduisant, par exemple, à un prototype), et phase de construction (conduisant à un système technique fonctionnel pouvant être un produit matériel, un procédé ou un concept intellectuel, etc.). L'extension de ce transfert vertical par un important transfert horizontal ultérieur (par exemple les applications et la conception des services, la commercialisation, la diffusion des connaissances) constitue l'*innovation technique*. On appellera *évolution technologique* toute modification provoquée par un transfert dans l'espace des transferts technologiques.

La *planification technologique* est le développement d'un concept intellectuel portant sur l'exécution effective des transferts technologiques (verticaux et horizontaux).

L'expression *technologie sociale* (Helmer) désigne une technologie ayant des conséquences importantes pour la société et souvent basée sur l'*invention sociale* (Gilfillan), terme qui caractérise une invention ayant des conséquences potentielles considérables aux niveaux de transfert technologique des systèmes sociaux et de la société. Les *techniques sociales* (d'après Helmer) désignent les activités humaines ayant pour but d'appliquer et de diriger les transferts technologiques sociaux.

---

1. Les lecteurs européens attribuent parfois au terme « prévision », par analogie avec la « prévision météorologique », le sens adopté ici pour « prédiction ». Une prévision météorologique prend habituellement, en Europe, la forme d'une prédiction et, aux États-Unis et au Canada, celle d'une prévision probabiliste — « probabilité de pluie de 80 % ».

La *recherche fondamentale* est la recherche portant sur les principes des sciences et de la technologie[1]. En somme, la *recherche scientifique fondamentale* concerne le niveau des ressources scientifiques (lois naturelles, principes, théories, etc.) tandis que la *recherche technique fondamentale* concerne le niveau des ressources technologiques (potentiel technique, etc.), dans l'espace des transferts technologiques (voir les explications et les exemples des Chapitres I.1. et I.2.).

La transition entre la *recherche* absolument *pure* et la *recherche* fortement *appliquée* est extrêmement large, et presque continue (Weinberg).

Dans un contexte industriel, la *recherche fonctionnelle* désigne la recherche liée aux activités présentes et l'extension organique de cette recherche, tandis que la *recherche non fonctionnelle* porte sur de nouvelles activités futures (Royal Dutch/Shell).

L'expression *planification orientée vers la fonction* (ou mission) s'oppose à la *planification orientée vers le produit* dans l'industrie (ou à la planification orientée vers les systèmes d'armes ou de services dans un organisme militaire, ou encore à une méthode d'étude des moyens, dans le cas d'une administration civile).

L'*informatique* désigne les domaines de connaissance relatifs à la teneur, à la signification, à la communication, au stockage, à la recherche, à la manipulation ou à l'utilisation de l'information. Elle comprend notamment, mais non exclusivement, le développement de méthodes modernes de programmation des calculateurs, des techniques de préparation des décisions, des études sur l'intelligence artificielle, la théorie des jeux et la simulation, la recherche opérationnelle, la linguistique, les sciences du comportement et la théorie des communications.

La *technologie de l'information* désigne l'application de l'information à un problème de préparation des décisions, dont le processus aboutit à un *système de traitement de l'information* (System Development Corporation, cité dans la *réf. bibl. 406*).

Les *modèles* sont des représentations de processus, décrivant sous une forme simplifiée certains aspects du monde réel. La *simulation* est l'utilisation d'un modèle par manipulation de ses éléments, à l'aide d'un calculateur, d'un joueur humain ou des deux (Abt Associates, cité dans la *réf. bibl. 84*).

1. Il ne faut pas oublier que ce concept est vide de toute motivation; il diffère en cela du sens fréquemment attribué à la même expression, à propos des problèmes que pose l'affectation des ressources à un échelon global, sens qui est souvent celui de « recherche pure ».

PRINCIPAUX RÉSULTATS ET RECOMMANDATIONS

On peut résumer en trois points les observations faites au cours de cette étude de la situation générale :

1. C'est vers 1960 que la prévision technologique est apparue, en tant que méthode de gestion reconnue. Elle a pris peu à peu sa forme moderne depuis les premières tentatives faites autour de 1945 pour parvenir à des « jugements fondés » grâce à l'estimation systématique et complète de la situation. Les entreprises industrielles, les instituts de recherche et les organismes militaires l'ont progressivement adoptée depuis 1955.

2. La valeur de la prévision technologique n'est pas seulement démontrée par la vérification de telle ou telle prévision, résultat sur lequel on ne possède encore que peu d'évaluations statistiques, mais qui est attesté par de nombreuses indications positives et par la satisfaction générale des utilisateurs; elle l'est aussi, de manière plus évidente, par la contribution qu'elle apporte à la définition de stratégies à long terme.

3. La prévision technologique est un art; elle n'est pas encore une science; elle se caractérise aujourd'hui par des attitudes et non par des moyens. Elle favorise le jugement humain, mais ne s'y substitue pas. Les méthodes annexes, évoluant depuis 1960 vers des niveaux de plus en plus élevés de raffinement et de complexité, tendent à s'intégrer dans un système final de traitement de l'information, lui-même en transformation.

Le présent rapport complète la description de la situation actuelle, mettant en évidence les tendances et les objectifs futurs de la prévision technologique et ses liens avec des développements parallèles.

Première partie. Si l'on veut associer la prévision technologique à la planification à long et moyen terme, surtout dans un contexte industriel moderne, il convient de la placer dans un *cadre* approprié (qu'il ne faut pas choisir trop étroit). Dans ce rapport, la prévision technologique est définie comme une *détermination probabiliste des transferts technologiques futurs*, c'est-à-dire l'ensemble des processus de transferts horizontaux et verticaux qui constituent le progrès technique, et l'application de leurs conséquences dans les divers domaines, technologiques ou non (économiques, sociaux, militaires, politiques, etc.). Nous avons fait intervenir le concept intellectuel d'un « espace des transferts technologiques » pour représenter les modes de transferts technologiques et pour illustrer les fonctions de la prévision technologique.

On ne peut tirer parti de toutes les possibilités de la prévision technologique qu'en associant ses *composantes exploratoire et normative* dans un cycle itératif ou, ultérieurement, dans un système en boucle fermée. Pour la première fois dans la civilisation occidentale, les quelque 25 dernières années ont vu se créer les conditions indispensables à une véritable prévision technologique normative — c'est-à-dire la claire définition des contraintes aux différents niveaux de conséquences, y compris celle des objectifs au niveau des conséquences sociales générales — associée à une abondance de possibilités technologiques. L'importance de plus en plus grande accordée à la prévision normative est à l'origine du développement de la prévision technologique au sens moderne, c'est-à-dire d'une technique de gestion conforme aux nouvelles méthodes de l'innovation technique et étroitement liée à la planification.

Alors que la prévision exploratoire tente isolément d'évaluer de façon passive l'*inertie* de notre système social et des divers processus de transfert technologique, il est à présumer que la prévision technologique normative — en concentrant l'attention et l'effort sur la recherche et le développement — influencera activement la vitesse de ces processus, et aidera le système social à vaincre le poids de sa propre inertie. On a déjà pu observer des effets de ce genre dans les techniques militaires et spatiales. Il se peut d'ailleurs que ces effets aient contribué à leur tour à réduire le temps global nécessaire au cycle complet de transfert technologique qui aboutit à l'innovation technologique industrielle. Dans ce contexte, l'un des problèmes les plus difficiles a été de déterminer exactement la nature ultérieure de l'*envi-*

ronnement, des objectifs, des besoins et des désirs humains correspondants. Ce problème ne peut être convenablement résolu que par une évaluation systématique des différentes possibilités, dans un système itératif ou en boucle fermée. Dans le domaine de la technologie sociale, où il serait fatal d'extrapoler purement et simplement le présent, ce problème a donné naissance à la notion de « futurs possibles » (« différents mondes futurs possibles », « futuribles », etc.).

C'est encore dans le domaine de la *science et de la technologie fondamentales* que se heurtent les notions philosophiques rivales sur les possibilités d'application de la pensée normative. Les détracteurs de cette méthode, dont le principal interprète est Thomas S. Kuhn, se voient opposer un démenti par des entreprises industrielles et des instituts de recherche soucieux d'utiliser des techniques modernes de gestion et qui accordent de plus en plus d'importance à la prévision technologique pour orienter la recherche fondamentale. Il est à présumer que l'une des principales conséquences de l'application systématique de la prévision technologique sera de modifier et de renforcer les recherches fondamentales, qui seront de plus en plus orientées vers la définition de relations et de choix essentiels, ainsi que de limitations et de possibilités extrêmes.

Les études du COSPUP, financées par l'Académie des Sciences des États-Unis, apportent une importante contribution à l'effort d'*intégration de la science fondamentale et de la société*, préconisée par une école de pensée qui trouve son expression chez R.G.H. Siu et Alvin M. Weinberg. Nous recommandons d'utiliser ces travaux scientifiques comme point de départ de recherches analogues dans d'autres pays.

Dans ses principaux aspects actuels, l'*innovation technologique* résulte principalement de la réflexion normative. La prévision technologique de caractère normatif accentué se révèle très précieuse quand on vise les principaux objectifs suivants : accélération et orientation des transferts technologiques; réduction de « l'écart » provoqué par les rapides changements obtenus dans certains secteurs de l'industrie et de l'économie; optimisation de la structure des transferts technologiques verticaux et exploitation systématique des « éléments communs » (modules matériels ou conceptuels); exploration des possibilités et des besoins de transferts technologiques horizontaux (construction et exploitation de services, commercialisation, etc.) et contribution générale à la tendance marquée observée actuellement dans cette direction; enfin — et ce sera peut-être dans l'avenir une des préoccupations primordiales de la prévision technologique à long terme — anticipation des modifications de structure intra et inter-industrielles provoquées par l'innovation technologique. Les industries novatrices démontrent d'ores et déjà, à une assez grande échelle, l'utilité des applications de la prévision à ces problèmes de l'innovation technologique et à d'autres du même genre.

On constate une tendance naturelle de la prévision et de la *planification* technologiques à se combiner étroitement, au point que la prévision pourrait disparaître après 1970 en tant que discipline distincte. On commence à s'en rendre compte, surtout dans les cas où la planification est explicitement associée à un graphe de décision, tandis que la prévision est associée à un graphe d'intérêt normatif et, dans ces cas, on peut amener les deux profils à coïncider. Une conséquence naturelle (mais non absolument nécessaire) de cette tendance sera le passage d'une planification orientée vers les produits à une planification orientée vers les fonctions. Il en résultera aussi une fixation d'objectifs de haut niveau — et finalement même d'objectifs sociaux suprêmes — au sommet du graphe de pertinence et de décision, d'où une association de la planification technologique militaire et privée aux besoins de la société.

La *quantification des plans* (et des prévisions) dans les domaines de caractère économique, militaire et social, est sur le point de trouver son commun dénominateur dans la monnaie. L'adoption d'une méthode combinant les coûts et l'efficacité dans ces trois domaines pourrait donner plus d'homogénéité à cette quantification et faciliter ainsi l'intégration des prévisions technologiques dans une multitude d'autres domaines et à divers niveaux de transfert technologique. Cette méthode composite s'est répandue dans les forces armées depuis son application à la planification militaire américaine en 1961 et des tentatives sont faites pour l'étendre au domaine social. Dans la sphère économique, où l'on tend de plus en plus à compléter l'analyse du rendement des investissements par d'autres critères, associés aux objectifs globaux, il sera sans doute possible et profitable de remplacer les techniques actuelles par l'analyse des systèmes dans les études comparatives de coût et d'efficacité.

Dans le domaine de la *technologie sociale*, sur laquelle se concentre de plus en plus l'intérêt général, la principale activité est actuellement la prévision interdisciplinaire dans les domaines de caractère politique, social, économique, militaire et technique. La prévision technologique en est un des principaux aspects, qui revêt peut-être même une importance primordiale en raison des risques inhérents à la rapidité actuelle de l'évolution technique, dont les conséquences peuvent aller très loin.

Presque tout reste à faire en ce qui concerne l'apport de l'*informatique* à la prévision technologique. Il ne faudra pas perdre de vue ce problème quand il s'agira d'étendre le traitement de l'information aux problèmes de gestion et de faire progresser la technologie de l'information.

Deuxième partie. Dans les toutes dernières années, les *méthodes* spéciales *associées à la prévision technologique* ont connu un essor considérable. Nous indiquons, à la deuxième partie du rapport, plus de cent versions distinctes de ces méthodes ou éléments de méthodes et des prises de position formelles[1]. Elles peuvent être regroupées sous quelque vingt rubriques et appartiennent à quatre domaines généraux : la pensée intuitive, les méthodes exploratoires, les méthodes normatives et les systèmes en boucle fermée. La centaine de variantes observées est utilisée dans l'industrie et dans les organismes militaires, mais en général à titre subsidiaire. On ne peut discerner aucune relation entre la valeur de la prévision et l'utilisation de certaines méthodes. Il est possible de résumer en trois points les contributions les plus importantes de ces méthodes à la prévision pratique :

1. Elles permettent d'élucider le rôle des différents facteurs de base, obligent à tenir compte de tous ces facteurs, et assurent une certaine homogénéité des résultats.
2. Elles ont tendance à réduire l'influence des préjugés et des erreurs systématiques.
3. Elles permettent d'apprécier certaines données fondamentales de structures complexes, et facilitent l'évaluation systématique des différentes options.

Outre les perfectionnements qu'elles apportent aux techniques éprouvées, telles que l'extrapolation des tendances — complétée maintenant par l'extrapolation des courbes-enveloppes, etc. — certaines méthodes nouvelles revêtent une *importance toute spéciale* et jouent un rôle particulier dans les applications actuelles et futures de la prévision technologique :

a) La méthode « Delphi » vise à améliorer la réflexion intuitive en vue de faciliter les décisions d'experts. Cette méthode peut prendre une importance extrême dans le choix des grandes options, notamment au niveau social suprême.

b) La recherche morphologique[2] qui vise à faciliter l'examen, systématique et libre de tout préjugé, des possibilités associées à la prévision exploratoire.

c) Les graphes de pertinence (dont le système PATTERN a été le promoteur), pour la prévision normative et la détermination des « éléments communs ».

Les méthodes mises au point dans des contextes différents — par exemple, l'analyse des systèmes, les techniques des réseaux, les formules matricielles, l'analyse d'input/output, la programmation linéaire (avec les autres méthodes particulières qui entrent dans la recherche opérationnelle), et jusqu'à un certain point les scénarios projectifs — peuvent également être très utiles dans le domaine de la prévision technologique. Il convient d'y ajouter d'autres méthodes telles que la représentation contextuelle, encore insuffisamment utilisée en prévision, les jeux et la simulation en général. L'application des modèles opérationnels de type aussi bien exploratoire que normatif, devrait en principe conduire à la construction de modèles en boucle fermée qui, finalement, s'intègreront dans le traitement global de l'information pour faciliter les décisions orientées vers l'avenir. Des systèmes de ce genre sont d'ores et déjà à l'étude dans la technologie de l'information.

L'évolution actuelle des méthodes de prévision se caractérise notamment par des tentatives faites pour les adapter au traitement d'informations de caractère probabiliste dont le résultat est constitué par des distributions assorties d'un certain degré de confiance, et pour les étendre à l'évaluation systématique des options.

Tandis que les méthodes anciennes se limitaient à des prévisions touchant un petit nombre de niveaux de transferts technologiques, on a vu apparaître au cours des dernières années des méthodes permettant de combiner les prévisions sur de nombreux niveaux. En même temps, et en partie à la suite de cette évolution, les méthodes se sont perfectionnées. Mais elles ne présentent actuellement aucune difficulté de traitement sur calculateur (à l'exception des jeux « libres »).

Troisième partie. L'enquête effectuée a permis d'identifier plus de cent activités continues ou périodiques, et leur étude sert de base à l'analyse des *formes d'organisation de la*

---

1. Le Chapitre II.1., intitulé « Les méthodes et leurs perspectives », passe en revue les principales conceptions méthodologiques, l'état actuel de l'art de la prévision et les utilisations pratiques. Les lecteurs qui s'intéressent aux aspects généraux du problème pourront s'y reporter avec profit.

2. C'est en 1942 que la recherche morphologique a été formulée pour la première fois. Mais elle était restée une « invention », non suivie d' « innovation », jusqu'à une époque récente. En ce sens, on peut donc la considérer comme nouvelle.

prévision technologique. L'Europe, l'Amérique et Israël contribuent respectivement pour 55, 40 et 5 % aux activités étudiées. Elles concernent, à raison de 60 %, le domaine industriel, le reste étant dû à des instituts spécialisés, à des bureaux d'études, à des centres d'études militaires, et à divers organismes nationaux et internationaux. Les études non-industrielles sont généralement décrites avec quelques détails dans l'Annexe A.

Les instituts de prévision et les bureaux d'étude fournissent généralement des prévisions technologiques dans le cadre de leurs services consultatifs généraux de gestion et de planification. Environ 500 sociétés industrielles sont abonnées à quatre services polyvalents de grande envergure qui comprennent des séries de prévisions technologiques — deux dans le domaine technique général, deux sur des secteurs techniques particuliers. Certaines de ces sociétés sont abonnées à plusieurs programmes pour un total annuel de quatre millions de dollars. Si on tient compte en outre des prévisions établies spécialement et des autres services particuliers faisant largement appel à la prévision technologique, on peut considérer qu'à l'heure actuelle l'industrie investit dans ce domaine quinze millions de dollars par an, qui vont à des instituts spécialisés et à des bureaux d'étude, dont treize environ aux États-Unis et au Canada.

A l'heure actuelle, les services de prévision offerts par les instituts spécialisés et par les bureaux conseils (consultants) semblent être adaptés aux besoins des grandes et des moyennes sociétés. Rien n'a été fait jusqu'ici pour satisfaire les besoins croissants de la petite entreprise.

C'est aux États-Unis que les *applications industrielles de la prévision technologique* ont progressé le plus rapidement. On peut évaluer à cinq ou six cents le nombre des entreprises américaines, moyennes et grandes, qui ont mis sur pied un service de ce genre. On peut chiffrer à cinquante millions de dollars par an la somme que ces entreprises, généralement très novatrices, affectent à la prévision technologique interne, en plus des quinze millions de dollars mentionnés ci-dessus consacrés à la prévision technologique externe. Ces sommes représentent approximativement *1 % de leurs dépenses totales de recherche et de développement.* Dans les entreprises de pointe, l'existence d'un service de prévision technologique efficace peut entraîner, grâce aux nouveaux produits, des bénéfices qui atteignent plus de 50 fois le montant des investissements consacrés à la fonction « catalytique » de prévision à laquelle sont dus les travaux de recherche et de développement correspondants.

L'évolution la plus importante qui ait été favorisée (et en partie causée) dans les *entreprises industrielles comme dans les organismes militaires* par l'adoption de la prévision technologique a été le passage d'une organisation orientée vers les produits ou vers les systèmes militaires d'armes et de services à une *organisation orientée vers la fonction.* On ne peut convenablement parler de l'avenir à long terme qu'en termes de fonctions. Cette tendance a un aspect révolutionnaire dans l'industrie — où une autre révolution, tendant à une organisation de plus en plus verticale et orientée vers le produit, a pris fin il n'y a pas si longtemps en Amérique, mais se poursuit encore en Europe — ainsi que dans les organismes de planification militaire, où elle clôt une longue tradition. Le système Plan-Programme-Budget du département de la Défense des États-Unis (PPBS) est l'expression la plus complète de ce nouveau mode de pensée dans la planification militaire, et cette méthode gagne aussi du terrain dans d'autres pays. L'orientation vers la fonction a une conséquence naturelle que l'on peut également observer dans les entreprises industrielles et dans les organismes militaires : la tendance à une plus grande centralisation, ou tout au moins à une coordination centrale; une organisation orientée vers la fonction repose en grande partie sur la définition d'objectifs collectifs et de missions générales, au niveau le plus élevé.

Dans les entreprises industrielles dont l'organisation reste orientée vers le produit, c'est-à-dire dans la plupart d'entre elles, la prévision à moyen terme (y compris l'évaluation des coûts et d'autres estimations détaillées) se fait le plus souvent sous une forme décentralisée, tandis que la prévision à long terme est généralement établie dans des commissions horizontales ou dans des groupes d'analyse placés au niveau le plus élevé. Dans la planification militaire, les estimations à moyen terme font habituellement l'objet d'une coordination centrale très poussée, tandis que les prévisions à long terme sont vaguement à l'étude dans des services décentralisés, sans définition claire des objectifs et des missions à long terme. C'est peut-être la Suède qui offre aujourd'hui l'exemple parfait d'une organisation orientée vers la fonction, avec des services de prévision et de planification totalement intégrés, tenant compte à la fois des conceptions à long et à moyen terme.

L'utilisation des graphes de pertinence dans la prévision technologique normative, et des graphes de décision dans la planification militaire, montre qu'il est possible — et souhaitable — de fixer les « sommets » des graphes de manière uniforme, en *les définissant et en les mettant à jour de façon centralisée,* jusqu'aux niveaux des fonctions et des tâches militaires, dans tous les organismes travaillant en direction des mêmes objectifs généraux (par exemple, l'ensemble des activités de recherche et de développement militaires d'un pays), si tant est qu'ils utilisent la méthode des graphes de pertinence.

A *l'échelon national*, la prévision technologique n'intervient que progressivement dans la planification générale. Les deux tentatives les plus frappantes ont été faites en France et aux États-Unis. Si l'utilisation de prévisions à long terme, dans le cinquième Plan français a pu être considérée comme une première expérience, la préparation du sixième Plan représente un effort beaucoup plus ambitieux, la plus grande partie des travaux n'étant plus confiée à l'administration, mais à un institut économique sous contrat.

Aux États-Unis, l'introduction graduelle du Système Plan-Programme-Budget dans tous les ministères et dans toutes les administrations civiles représente depuis 1965 une révolution d'une très grande portée. Elle implique l'intégration des prévisions et de la planification dans un cadre orienté vers les fonctions, en vue de la préparation des décisions et d'une planification quantitative à échéance de cinq ans, associée à des objectifs sociaux à long terme et à des aspirations nationales. On peut s'attendre à ce que cette méthode de très grande envergure prenne une importance considérable en technologie sociale, domaine qui réclamera probablement au plus haut point l'attention des gouvernements à partir de 1970.

Plusieurs autres pays européens, ainsi que le Canada et Israël, ressentent également le besoin de prévisions technologiques dans un contexte d'objectifs et de limitations d'importance nationale. En Italie, dans certains secteurs, l'industrie privée a pris des initiatives qui semblent devoir porter des fruits.

Dans l'ensemble, les associations professionnelles ne se sont pas encore lancées comme elles le devraient dans un grand effort de prévision technologique à l'échelon national. La plupart d'entre elles, surtout en Europe, ne sont même pas encore organisées pour cela.

En ce qui concerne les *organisations internationales*, nous avons rassemblé sous dix rubriques les activités associées à la prévision technologique. Jusqu'à présent, la moitié seulement de ces dix types d'activités a retenu l'attention, et seul un petit nombre d'organisations a joué un rôle actif dans ce domaine. Au cours des visites effectuées pour la préparation du présent rapport, trois organisations seulement, la CECA, l'Euratom, et l'OACI, se sont révélées en mesure d'effectuer des prévisions technologiques internes vraiment utiles.

Nombre de scientifiques et d'autres personnalités qui s'intéressent à la technologie sociale, ont proposé la création d' « *institutions-vigies* », dont le principal rôle serait de concevoir et d'évaluer systématiquement les « futurs » réalisables, afin de permettre le choix des solutions optimales conduisant aux objectifs à long terme de la société, et la préparation des plans correspondants. Nous avons brièvement étudié ce rapport dans quelques activités d'avant-garde dans ce domaine.

On trouvera en annexe une liste descriptive des activités permanentes ou périodiques de prévision technologique qui ont été identifiées dans les organismes non-industriels, une bibliographie commentée, ainsi qu'une table des noms et des organismes cités.

Première partie

LE CADRE DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

« La Terre n'est pas un lieu de repos. L'homme a choisi la lutte non pas nécessairement pour sa propre satisfaction, mais pour assurer un processus de croissance émotionnel, éthique et intellectuel qui se poursuit sans cesse. Croître au milieu des dangers, c'est le destin de la race humaine, parce que c'est la loi de l'esprit. »

René DUBOS.

Chapitre I.1

LE CONCEPT FONDAMENTAL D'UN ESPACE DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE

La prévision technologique est l'estimation probabiliste des transferts technologiques futurs. C'est sur cette formule, dont la simplicité superficielle est trompeuse car elle est en réalité plus complexe que toute autre notion proposée jusqu'à présent[1], que reposera l'analyse structurelle du problème, objet de ce rapport.

Harvey Brooks a récemment décrit un cadre utile pour les transferts technologiques, lui aussi distinct des idées plus anciennes[2]. Ce cadre, un peu élargi et adapté aux objectifs de notre rapport, se présente sous la forme d'un schéma dynamique qui servira à illustrer les principales remarques que nous serons amené à formuler.

Le schéma du circuit correspond à un espace tri-dimensionnel de transferts technologiques. Nous considèrerons d'abord un *diagramme bi-dimensionnel de progrès technologique*, intéressant pour la démonstration des processus simples, et nous l'étendrons logiquement à une troisième dimension. Pour des raisons pratiques qui paraîtront évidentes par la suite, nous opterons pour une progression ascendante et nous numéroterons les niveaux en conséquence, à partir du bas[3]. Pour les problèmes que nous examinerons ultérieurement, nous devons distinguer au moins huit niveaux ; mais si ce

---

1. Les définitions classiques ne font appel qu'aux trois niveaux les plus bas du schéma proposé dans ce rapport, et se limitent à des transferts technologiques uni-dimensionnels, ou au mieux bi-dimensionnels. Voici par exemple la définition de Lenz, donnée en 1961-62 *(réf. bibl. 151)* : « On peut définir la prévision technologique comme une prédiction de l'invention, des caractéristiques, des dimensions ou des performances d'une machine remplissant une fonction utile pour la société. (Il n'est pas nécessaire de décrire l'invention) ». Si nous proposons ici d'étendre considérablement le nombre des niveaux et des dimensions, ce n'est pas à la suite d'un choix arbitraire, mais parce qu'une telle extension serait conforme aux travaux et aux méthodes de la prévision technologique, telle qu'elle est pratiquée ou envisagée en 1966; Schon *(réf. bibl. 352)* se rapproche de cette idée, en définissant la prévision technologique comme « la prévision de l'invention, de l'innovation, ou de la diffusion de la technologie. »

2. Au cours de la Conférence consacrée aux transferts technologiques et à l'innovation, les 16 et 17 mai 1966, à Washington, D.C., le système a été explicitement présenté en deux dimensions (transferts technologiques verticaux et horizontaux) et jusqu'au niveau des applications seulement. Mais l'espace tri-dimensionnel des transferts technologiques, tel qu'il est décrit dans ce chapitre, était implicite dans l'exposé que Brooks a consacré à l'ensemble du problème.

3. Le terme « progression » n'implique ici aucun jugement de valeur; il ne désigne qu'un changement en fonction du temps.

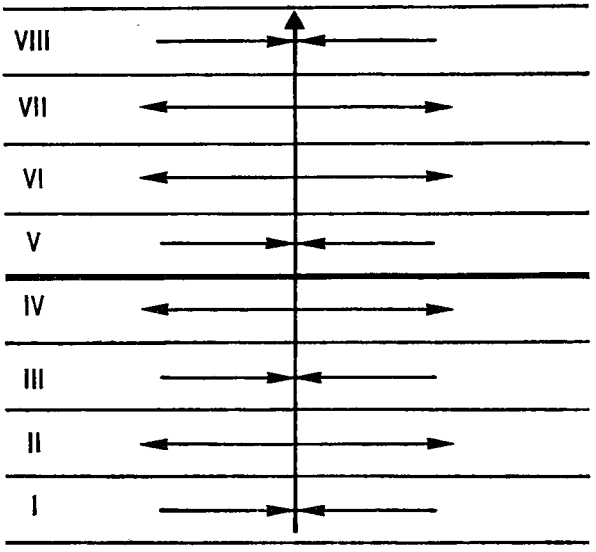
nombre minimal est approprié à notre objet, on peut concevoir une subdivision beaucoup plus détaillée pour les futurs problèmes de prévision technologique. Les huit *niveaux* de transferts technologiques figurent ci-après, avec des exemples :

NIVEAU DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE			EXEMPLE	
↑				
Niveaux des conséquences	VIII.	Société.	VIII.	Conséquences des télécommunications pour la société.
	VII.	Systèmes sociaux.	VII.	Rôle des télécommunications dans la Défense nationale, et autres aspects nationaux des télécommunications.
	VI.	Environnement.	VI.	Secteur industriel des télécommunications.
	V.	Applications.	V.	Marché des systèmes de télécommunications.
.....				
Niveaux de développement	IV.	Systèmes technologiques fonctionnels.	IV.	Systèmes de télécommunications transistorisés et sous-systèmes fonctionnels.
	III.	Technologie élémentaire.	III.	Technologie des transistors, technologie des circuits intégrés, etc.
	II.	Ressources technologiques.	II.	Techniques de diffusion, techniques « planar », etc.
	I.	Ressources scientifiques.	I.	Reconnaissance du phénomène naturel de semi-conduction, concept des porteurs « minoritaires » et « majoritaires », etc.
Sens de la progression.				

Alors que la combinaison des niveaux auxquels se produisent les développements et les conséquences peut présenter certaines difficultés pour les anciennes notions de transfert technologique, elle est rationnelle pour la prévision qui traite des transferts technologiques verticaux à travers des lignes intermédiaires jusqu'aux niveaux les plus élevés.

On remarquera que ces huit niveaux comprennent des sous-niveaux importants ; il est évident que les exemples donnés pour les niveaux III et IV correspondent à des sous-niveaux différents. Toutefois, pour des raisons de simplicité, nous nous limiterons au nombre minimum de huit.

On peut maintenant se représenter les transferts technologiques comme se produisant dans des directions aussi bien horizontales que verticales. Tandis qu'un transfert vertical commence à la science fondamentale pour aboutir à la technologie et ultérieurement aux systèmes (produit, procédés, etc.) et à leurs conséquences aux différents niveaux, les transferts horizontaux et les flux représentés sur le diagramme correspondent, par exemple : au postulat empirique d'une théorie scientifique (niveau I), au développement fructueux d'autres recherches techniques fondamentales (niveau II), à la combinaison de techniques fragmentaires (niveau III), à la diffusion d'une technologie existante (niveau IV), aux besoins de systèmes auxiliaires



ou de soutien (niveau V), à « l'invasion » d'autres secteurs industriels (niveau VI), à des programmes d'aide technique aux pays en voie de développement (niveau VII), à des contraintes éthiques sur des objectifs sociaux (niveau VIII).

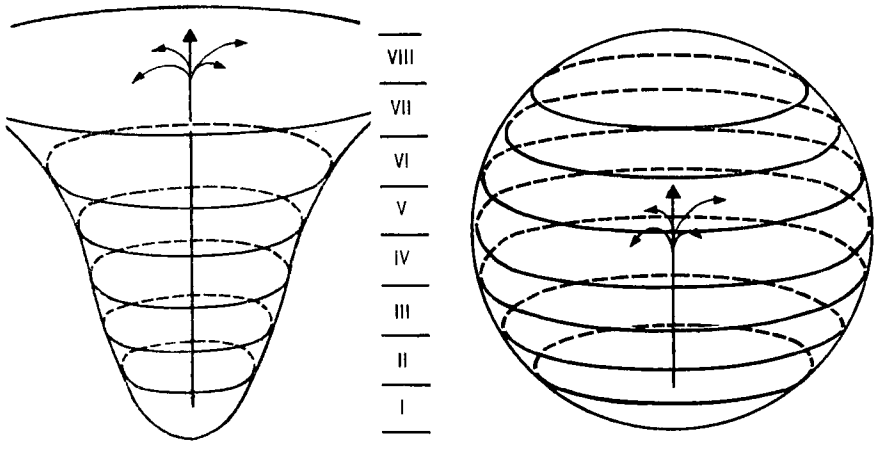
Ce schéma est valable aux deux niveaux pour les produits (éléments matériels), les procédés, les notions (concepts intellectuels, tels que le « software » — programmation et études — dans les ordinateurs), les connaissances techniques et les méthodes (par exemple les techniques médicales) et en somme pour tout de ce qu'on appelle la « technologie » opposée au terme plus étroit de « technique ».

Dans ce schéma bi-dimensionnel de la progression technologique, le flux des transferts peut être représenté par une combinaison quelconque d'un flux vertical dirigé vers le haut, et d'un flux horizontal dans les deux sens.

Cette représentation simplifiée de flux bi-dimensions ne tient pas compte de l'interaction de la technologie et de l'environnement non technique. La vente sur un marché d'un produit destiné à des applications non techniques constitue déjà une importante interaction de ce genre : il en existe un grand nombre à chaque niveau. Pour tenir compte du processus complet, nous devons étendre le schéma à un espace à trois dimensions.

L'*espace tri-dimensionnel* est le cadre dans lequel il convient d'examiner tous les types de transferts qui interviennent dans la prévision technologique : le développement technologique et ses conséquences, ainsi que ses interactions avec l'environnement non technique, à tous les niveaux. On peut représenter deux versions fondamentales de cet espace, l'une relative à une société « ouverte », l'autre à une société « fermée ». La forme en est respectivement celle d'une tulipe et celle d'une sphère.

L'exemple représenté en forme de tulipe caractérise une « *invention sociale* » (voir chapitre I.7) dont les interactions peuvent s'exercer librement dans une société « ouverte » et qui peut s'associer à d'autres facteurs



Espace de transfert technologique relatif à une société «ouverte»

Niveau de transfert technologique

Espace de transfert technologique relatif à une société «fermée»

pour donner toutes sortes de conséquences incontrôlées. L'exemple représenté dans l'espace sphérique caractérise ce qu'on appelle habituellement, de manière assez vague, une *innovation technologique*.

La différence entre la société « ouverte » et la société « fermée » s'accentue à mesure que l'on se place à un niveau plus élevé. Il serait possible en principe d'atteindre une largeur infinie au niveau des systèmes techniques fonctionnels ou des applications ; mais des facteurs inhérents à l'économie s'y opposent généralement. (C'est ainsi que, dans une économie saine, on ne prendra en considération, parmi toutes les possibilités, qu'une gamme relativement étroite de produits et d'applications). Aux niveaux les plus élevés, ceux des systèmes sociaux et de la société, cette dilution infinie du progrès technique constitue aujourd'hui un problème préoccupant (voir aussi le chapitre I.2.).

Dans l'espace de transfert technologique, on voit apparaître des entités représentées graphiquement de la manière suivante :

ENTITÉ	REPRÉSENTATION
A. Facteurs, systèmes, effets, objectifs, buts technologiques et scientifiques; objectifs, effets sociaux, etc.	Non-dimensionnelle (points)
B. Totalité des facteurs, systèmes, effets, etc., scientifiques et technologiques à chaque niveau.	Uni-dimensionnelle (droites)
C. Totalité des facteurs, systèmes, effets, objectifs, buts, etc., technologiques ou non, à chaque niveau.	Bi-dimensionnelle (sections horizontales)
D. Progrès technique intégré.	Bi-dimensionnelle (sections verticales)
E. Transfert technologique intégré.	Tri-dimensionnelle (forme de tulipe ou de sphère).

A un instant donné, on peut représenter chaque niveau (chaque section horizontale) par le profil du taux de modification. Dans le schéma des flux,

le *temps* est un facteur implicite. Le profil du taux de modification peut contenir, pour un point donné du niveau, des vecteurs dirigés dans des directions différentes — verticales, horizontales, ou angulaires — et ne peut donc pas être représenté sous une forme topologique simple.

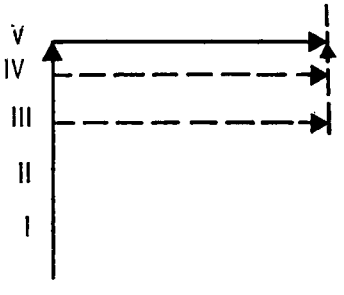
L'organisation actuelle des transferts technologiques favorise généralement l'intégration sous forme de transferts verticaux. Brooks observe qu'une tendance à une intégration horizontale plus marquée commence à se dessiner : on met de plus en plus l'accent sur les services et sur les problèmes intellectuels (« software »), et l'évolution des éléments matériels (« hardware ») s'en trouvera ralentie, le même élément matériel étant utilisé sous des formes plus variées. Certaines entreprises industrielles, comme Eastman Kodak (dont l'appareil photographique « Instamatic » correspond à une nouvelle méthode d'application, et non à une évolution technologique) ou la 3M Company (Minnesota Mining and Manufacturing Company) ont adopté des politiques d'intégration horizontale. On voit apparaître de nouveaux services à base essentiellement scientifique, assortis d'importants transferts verticaux mais qui découlent surtout d'une intégration horizontale à différents niveaux.

Le nouveau statut envisagé pour la National Science Foundation, aux États-Unis, prévoit l'inclusion des techniques appliquées, c'est-à-dire l'abandon de l'intégration verticale initiale, au profit d'une combinaison verticale et horizontale.

On discernera clairement les vecteurs verticaux et horizontaux entrant dans les mécanismes suivants de transfert technologique (empruntés à la liste de Brooks) : mouvements des personnes, esprit d'entreprise, littérature, relations entre réalisateurs et utilisateurs, enseignement, conseils et consultants, réunions, études de marché et d'application, propriété industrielle.

La notion d'un espace de transfert technologique et sa figuration graphique ne doivent être considérées que comme une méthode auxiliaire de représentation permettant de faire apparaître, de manière simple, les relations et les mouvements observés dans les problèmes réels de prévision technologique, et non comme une expression dont on peut déduire n'importe quel élément.

La prévision technologique s'intéresse à toutes les formes et directions des transferts, ainsi qu'au rythme de l'évolution dans l'ensemble de l'espace des transferts technologiques. La représentation graphique rend immédia-

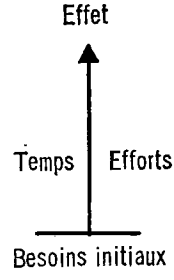


tement évidente l'une des possibilités les plus importantes de la prévision technologique : un choix est possible entre différentes voies pour atteindre le même point (ou effet) final. Au lieu d'obtenir un certain résultat par

la diffusion d'une technique existante, en vendant un produit adapté à une application donnée, il peut être préférable de céder une licence couvrant les techniques élémentaires en cause, ou une version d'un produit déjà mis au point, en laissant à l'utilisateur final le soin de l'adapter à ses besoins propres.

On peut classer en quatre groupes les questions fondamentales auxquelles la prévision technologique essaie de répondre :

1. Intervalle de temps nécessaire au transfert technologique entre deux points de l'espace des transferts (en particulier, délais de mise au point).
2. Détermination des efforts nécessaires à la réalisation d'un transfert technologique entre deux points quelconques de l'espace des transferts (en particulier, coûts de mise au point).
3. Effet obtenu à l'extrémité d'un transfert technologique entre deux points de l'espace des transferts (en particulier, possibilités fonctionnelles des techniques, caractéristiques des performances et coûts



de production des systèmes fonctionnels, conséquences pour les niveaux supérieurs, résultats de la combinaison de plusieurs techniques, ou de la diffusion d'une technique dans le sens horizontal, etc.).

4. Choix d'un point de départ convenable (détermination des conditions de départ) dans l'espace des transferts, afin de réaliser un transfert technologique vers un point final spécifié (effet final) situé à un niveau identique ou supérieur.

Les trois premiers types de questions sont caractéristiques de la prévision technologique exploratoire, tandis que le quatrième type caractérise la prévision technologique normative (termes qui seront expliqués au chapitre 1.2.).

Il s'agit là d'un schéma très simplifié qu'il ne faut pas prendre trop à la lettre. En général, il est impossible de décrire convenablement un transfert technologique par une simple droite. Il peut être nécessaire de combiner de nombreux moyens scientifiques ou technologiques et de nombreuses techniques élémentaires, avant de pouvoir construire un système fonctionnel ; la réussite (l'effet) d'un produit commercial dépendra d'une combinaison particulière de possibilités techniques fonctionnelles et de facteurs de marché (rapport coût/efficacité, également décisif pour le « marché » militaire) ; etc.

La prévision technologique, telle que nous l'avons définie ici, comprend également le cas particulier des transferts technologiques purement horizontaux, tels que la diffusion d'une technique existante. Celle-ci constitue habituellement un domaine d'études distinct, mais il est également possible de la considérer comme une sous-discipline de la prévision technologique. Ce n'est qu'une question de tradition. Au sens où on l'utilise souvent de nos jours, la prévision technologique est caractérisée par une verticalité très nette.

L'espace des transferts technologiques est un instrument utile pour ordonner les réflexions sur la prévision technologique. Les modifications, qui pourront sembler nécessaires au fur et à mesure que l'art de la prévision technologique progressera, conduiront sans doute à modifier l'instrument, mais non à limiter l'évolution des concepts méthodologiques.

CENTRE d'ÉTUDES
sur la
RECHERCHE et l'INNOVATION
(C.E.R.I.)
116, Bd Péreire - PARIS-XVII^e
Tél. 755-87-18

Chapitre 1.2

PRÉVISION TECHNOLOGIQUE EXPLORATOIRE ET PRÉVISION TECHNOLOGIQUE NORMATIVE

Il faut quand même laisser une chance à Dieu.
Isidor I. RABI.

Inventer l'avenir.
Dennis GABOR.

Avant la deuxième guerre mondiale, la prévision technologique relevait généralement du domaine de l'imagination pure. L'exploration des différentes voies ouvertes au progrès technologique, faite sans tenir compte — ou presque — des contraintes, des besoins et des désirs, ne contribuait pas seulement à obscurcir la frontière entre le progrès réalisable et la pure imagination ; comme elle se contentait de citer un certain nombre de possibilités reconnues, elle n'encourageait guère leur exploitation.

Même en 1952, Gilfillan soulignait (*réf. bibl. 40*), dans une analyse de la situation de la prévision technologique qui a fait autorité, le principe de l'opportunité (ou de l'aptitude) et se bornait à citer des phases exploratoires en vue de l'étude des « niveaux de causalité future ».

La prévision technologique a commencé à devenir un art sérieux — mais non encore une science — avec la prise en considération des objectifs, des besoins et des aspirations à titre d'éléments normatifs, une place étant faite en même temps aux contraintes.

Les étapes fondamentales qui conduisent à la prévision normative doivent prendre en considération :

— la responsabilité envers la société ou la nation ;
— les possibilités économiques ;
— les possibilités technologiques finales ;
— l'existence de contraintes, par exemple dans les domaines des ressources naturelles, des ressources de l'entreprise, etc. ;
— la protection contre les risques.

La liste très remarquable de prévisions technologiques publiée en 1936 par C.C. Furnas (*réf. bibl. 266*), métallurgiste et ingénieur américain de renom, montre combien était limitée, il y a trente ans, notre connaissance des besoins et des aspirations. Bien qu'il ait eu conscience, très en avance sur son temps, de certains objectifs et besoins majeurs, Furnas n'est pas allé jusqu'à donner une forme normative à ses idées car il n'imaginait pas la force d'impulsion que ces objectifs et ces besoins recélaient en puissance. Il a cependant tenté d'évaluer les chances pour qu'un processus de déve-

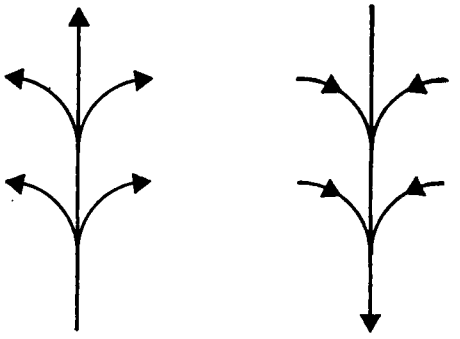
loppement autonome atteigne ces objectifs. Ses idées sur la télévision — Zworykin avait présenté peu de temps auparavant son « iconoscope » (récepteur moderne à rayons cathodiques) — démontrent à l'évidence la prudence excessive de sa pensée. « J'attends la télévision, mais je ne vivrai pas toujours. Quand je pense que la première transmission d'impulsions radio a été faite par Joseph Henry en 1840 et que c'est seulement en 1920 que l'on a réalisé la première émission radiodiffusée, je me sens un peu découragé quant aux possibilités de connaître la télévision avant que mes yeux ne s'éteignent. Quant à la télévision en couleurs naturelles, personne n'a même encore osé y penser. »

Vers la même époque, en 1936-1937, Gilfillan (*réf. bibl. 243*) énumérait les conséquences possibles de l'invention mais se demandait si le « public accepterait la télévision et payerait pour l'avoir ».

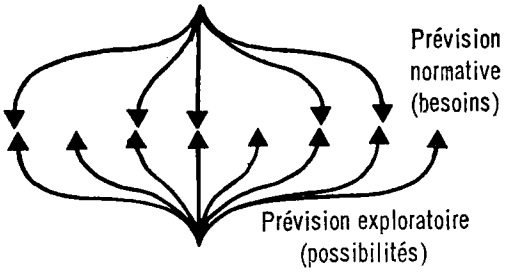
C'est l'année suivante que des émissions régulières de télévision débutèrent au Royaume-Uni, et la première invention essentielle pour la télévision en couleurs, due à Goldmark, ne date que de cinq ans plus tard[1]. La suite de la citation empruntée à Furnas montre comment un auteur de prévisions, même sans parti-pris, acceptait alors sans broncher l'hypothèse d'une absence de renouvellement des besoins et d'encouragements au progrès : « Dès que la télévision deviendra une réalité pour l'Américain moyen, la dernière frontière des télécommunications disparaîtra, mais il restera encore une masse d'améliorations à effectuer dans tous les secteurs de cette discipline. » Notre impression, aujourd'hui, est que nous sommes au seuil d'un Age des Télécommunications, qui a déjà démontré l'impossibilité de considérer isolément l'évolution technologique. McLuhan (*réf. bibl. 374*) exprime cette évolution sous une forme graphique : « L'homme occidental a acquis, grâce à l'alphabétisation, le pouvoir d'agir sans réagir. Les avantages de cette aptitude à se « fragmenter » soi-même apparaissent nettement dans le cas du chirurgien qui serait absolument impuissant s'il devait prendre part en tant qu'homme à l'opération qu'il pratique. Nous avions appris l'art d'exécuter les opérations sociales les plus dangereuses avec un détachement complet. Mais notre détachement était une attitude de non-participation. A l'âge de l'électricité, où notre système nerveux central se trouve prolongé par la technologie de manière à nous relier à toute l'humanité, et à incorporer en nous l'ensemble de l'humanité, nous participons nécessairement en profondeur aux conséquences de notre propre action. Il n'est plus possible de manifester le détachement de l'occidental alphabétisé ».

Cela nous ramène à la *polarité fondamentale de la prévision technologique exploratoire et de la prévision normative,* associée à la différence entre action et réaction. Dans notre espace des transferts technologiques, les directions correspondantes seraient mutuellement opposées. Il importe de définir correctement l'interaction de la prévision exploratoire, orientée vers les possibilités, et de la prévision normative, orientée vers la fonction : tout niveau de transfert technologique comporte implicitement un profil pour le présent et des profils pour les divers futurs. Il convient donc de disposer d'un cadre temporel supplémentaire quand il s'agit de prévoir un transfert technologique particulier, représenté par les vecteurs de prévision exploratoire dans l'espace des transferts technologiques. De même, une prévision normative (ce qu'il convient de faire pour atteindre un objectif donné),

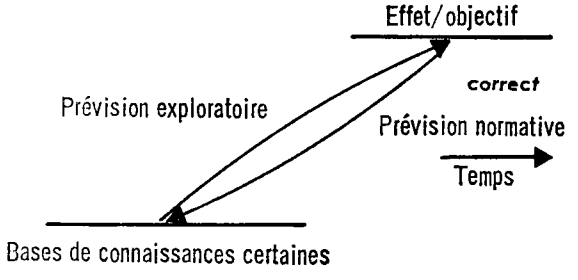
1. La « durée d'incubation » relativement longue de l'application à grande échelle, dans ce cas, a été influencée par la guerre et par d'autres facteurs « irréguliers ».



simplement représentée par des vecteurs directionnels opposés à ceux du transfert technologique, ne comprend pas encore de facteur temps explicite, et il convient de l'inclure. La forme fondamentale de l'*interaction* entre les deux aspects est « l'adaptation », que l'on peut obtenir par itération ou par un processus en boucle fermée (rétroaction). Du point de vue méthodologique, c'est le problème le plus difficile de la prévision technologique.

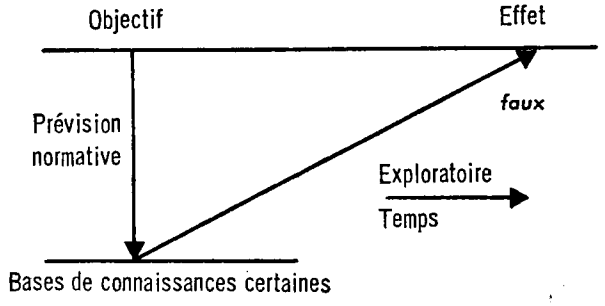


Pour représenter convenablement une prévision, assortie d'une interaction exacte entre les deux éléments, il faudrait utiliser pour l'espace complet des transferts technologiques un continuum d'espace-temps qu'il n'est pas possible de représenter graphiquement (car il aurait quatre dimensions).



Le problème le plus difficile de la prévision technologique actuelle consiste à placer la prévision normative dans un cadre temporel correct. Si la prévision exploratoire éprouve des difficultés moindres (encore qu'elles soient

sérieuses) à concevoir un effet final sous forme d'effet futur à partir de l'estimation d'un intervalle de temps, il arrive trop souvent que la prévision normative, en adoptant un ensemble d'objectifs et de besoins — et surtout d'objectifs sociaux — admette tacitement que les objectifs d'aujourd'hui sont représentatifs de ceux de demain. Non seulement cette méthode conduit à



une mauvaise adaptation, mais elle risque aussi de fausser gravement le processus historique. Comme le dit Gabor : « La prévision normative peut commencer au-delà du terme vers lequel le système social est entraîné par sa propre inertie ». Dans le même esprit, on peut concevoir qu'une prévision insuffisamment orientée vers l'avenir aurait pour conséquence de réduire artificiellement cette inertie, et de ralentir le processus historique.

On peut illustrer par un exemple choisi dans le secteur électronique les tâches typiques de la *prévision technologique exploratoire orientée vers les possibilités :*

NIVEAU DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE	A PRÉVOIR	EXEMPLE
VIII. Société	Conséquences pour la société.	Communications mondiales instantanées, organes humains artificiels, etc.
VII. Systèmes sociaux ...	Conséquences pour l'économie nationale, la défense nationale, la santé publique, etc.	« Écart technologique » entre pays, extension des stratégies militaires et spatiales, soutien du développement d'organes artificiels, etc.
VI. Environnement	Conséquences pour la structure de l'industrie, position dominante des entreprises novatrices.	Changement des relations entre les fabricants de composants et les constructeurs de systèmes (leurs activités tendant à se développer ensemble), diversification en électronique médicale, urbanisme, gestion hospitalière, etc.
V. Applications	Accueil social, économique et technique, mesure de la « réussite ».	Applications aux nouvelles activités, impulsion donnée à la production de masse, stratégie commerciale, « cycles économiques » des innovations successives et associées.

NIVEAU DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE	A PRÉVOIR	EXEMPLE
IV. Systèmes technologiques fonctionnels...	Description du système et caractéristiques détaillées des performances, délais et efforts de mise au point, coûts de production.	Systèmes électroniques bon marché et à haute fiabilité, accroissement de capacité par unité de masse et de volume, etc.
III. Technologie élémentaire	Possibilités fonctionnelles, paramètres techniques.	Circuits intégrés : nombre de fonctions fournies par un composant, fréquence, dissipation énergétique, taux de rejet admissible pour une production de masse.
II. Ressources technologiques.....	Possibilités techniques fondamentales.	Niveau de micro-miniaturisation réalisable grâce aux techniques actuelles et futures, limites des « techniques moléculaires », possibilités des hautes fréquences, etc.
I. Ressources scientifiques	Tendances des théories et principes scientifiques, connaissances non appliquées, possibilité d'application au progrès technologique.	Électro-dynamique quantique, « quasi-particules », etc.

La *prévision technologique normative orientée vers la fonction,* traite des missions caractéristiques suivantes, que l'on a illustrées par un exemple tiré des techniques spatiales :

NIVEAU DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE	A PRÉVOIR	EXEMPLE
VIII. Société	Objectifs sociaux.	L'espace considéré comme milieu utile à l'homme, l'espace considéré comme un défi, etc.
VII. Systèmes sociaux...	Objectifs nationaux.	Programmes spatiaux nationaux.
VI. Environnement.....	Missions.	Missions planétaires.
V. Applications	Tâches.	Propulsion nucléaire des fusées.
IV. Systèmes technologiques fonctionnels...	Adaptabilité des systèmes aux tâches, possibilités de réalisation technique, rapport coût/efficacité.	Unité de propulsion thermique nucléaire, système de propulsion électrique nucléaire (par exemple ionique).
III. Technologie élémentaire	Adaptabilité et possibilité de réalisation, écarts de développement, etc.	Technique des réacteurs nucléaires du type SNAP ou du type NERVA, technique des combustibles nucléaires gazeux, technique thermo-ionique, cycles des turbines à vapeur métallique, etc.

NIVEAU DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE	A PRÉVOIR	EXEMPLE
II. Ressources technologiques.....	Possibilités et limitations techniques, recherche technique fondamentale requise.	Impulsion spécifique triple par utilisation de l'hydrogène comme propulseur, avec un chauffage nucléaire externe, accélération continue à poussée faible par propulsion électrique, etc.
I. Ressources scientifiques	Possibilités et limitations absolues (naturelles), recherche scientifique fondamentale requise.	Conditions de la fission nucléaire et rendement énergétique, supériorité thermodynamique des gaz à faible masse moléculaire, potentiels d'ionisation, apesanteur en orbite (pour l' « évasion en spirale» sous faible poussée), principe thermo-ionique, etc.

La prévision technologique normative ressemble très étroitement aux « prophéties qui s'accomplissent elles-mêmes », contre lesquelles les auteurs plus anciens nous ont mis en garde. La tendance d'aujourd'hui va vers l'autre extrême : on utilise délibérément la force d'entraînement et la « valeur de propagande » d'une prophétie pour lui permettre de se réaliser. On met à profit, dans ce but, l'intérêt que présente la prédiction pour celui qui l'a faite, car c'est là une puissante source d'énergie.

Il ne faut pas oublier que la prévision technologique normative n'a de sens que si deux conditions sont remplies :

Les niveaux auxquels elle s'applique doivent être caractérisés par des contraintes ; on ne peut appliquer la prévision normative aux niveaux des conséquences (buts, objectifs, missions) que si ces niveaux sont suffisamment « fermés » par des forces naturelles ou artificielles, ou par le consentement général (par exemple un ensemble de valeurs reconnues, ou de directives éthiques admises, etc.) ; on ne peut appliquer une prévision normative totalement intégrée qu'à une société « fermée ».

Il doit exister, à ces niveaux, des possibilités reconnues et plus nombreuses que l'on n'en peut utiliser avec les contraintes données : la prévision normative représente essentiellement un effort d'optimisation qui suppose un choix.

Pour la première fois dans l'histoire de la civilisation occidentale, ces deux conditions fondamentales sont réunies. Aujourd'hui, la prévision normative est à la fois possible et nécessaire. Il y a seulement 25 ans, on n'aurait pu dire, dans l'ensemble, que la deuxième condition était remplie.

Le mode de pensée traditionnel a moins de peine à admettre la deuxième condition que la première. C'est ce que montre le résultat d'une étude récente effectuée par la National Planning Association à Washington : si les États-Unis décidaient d'atteindre en 1975 la totalité de leurs objectifs nationaux actuels, cela leur coûterait une fois et demie le produit national brut total au cours de cette période — abstraction faite des objectifs nouveaux qui seraient formulés pendant ce temps.

Au cours d'une récente enquête effectuée par McGraw-Hill sur la recherche et le développement dans l'industrie aux États-Unis (*réf. bibl. 54*), 24 % seulement de l'ensemble des entreprises ont indiqué que l'obstacle principal à l'accomplissement d'études plus poussées en 1965 et 1966 était « l'absence de projets profitables ». C'est dans le secteur aéro-spatial et dans celui des métaux non-ferreux que la proportion correspondante était la plus faible — respectivement 10 et 7 % — tandis que le secteur du papier et de la pulpe arrivait en tête avec 32 %. (Ces chiffres sont établis d'après des coupes transversales des secteurs industriels, et non en fonction des entreprises de pointe ou des grandes sociétés dans chacun de ces secteurs). Dans 29 % des cas, les industriels ont attribué la difficulté principale au manque de scientifiques et d'ingénieurs, tandis que les autres chefs d'entreprise ont fait état de raisons essentiellement financières.

Les entreprises américaines disposant de services de recherche et de développement bien organisés insistent presque unanimement sur l'abondance des possibilités. Cette importante constatation et la confiance manifestée par expérience envers la prévision normative se résument dans la formule : « On peut inventer sur commande ». Celle-ci est due aux dirigeants d'une grande entreprise novatrice, dont les plans à long terme sont les plus sérieux et les plus raisonnables de tous les États-Unis. Cet état d'esprit a valu à l'entreprise des succès extrêmement spectaculaires.

Les visites effectuées, dans le cadre de l'enquête de l'OCDE ou au cours de voyages précédents, auprès d'entreprises européennes et américaines dont l'effort de recherche est considérable, nous ont donné la conviction que l'état d'esprit fondamental mentionné ci-dessus, associé à la méthode normative appliquée par les principales entreprises américaines, et au contraire l'absence de cette méthode dans les sociétés européennes d'esprit plus traditionnel, étaient à la base du problème fort controversé de l' « écart technologique » entre les États-Unis et l'Europe dans des secteurs comme l'électronique, l'énergie nucléaire, et d'autres encore. Les États-Unis ont effectué une importante percée dans le domaine de prévision normative grâce à l'application généralisée des graphes de pertinence tels que le système PATTERN (voir section II.4.5.).

La planification technologique militaire s'est toujours caractérisée par une tendance normative marquée, encore amplifiée à la suite des études comparées des coûts et de l'efficacité, effectuées à une grande échelle aux États-Unis, au Royaume-Uni, en France, en Suède et dans d'autres pays.

La décision prise en octobre 1965 par le gouvernement américain d'étendre à tous les services ministériels et à d'autres organismes publics le Planning-Programming-Budgeting System (PPBS) appliqué par le ministère de la Défense (*réf. bibl. 241*) marque une étape plus importante vers l'adoption d'un critère général de coût et d'efficacité pour les décisions du gouvernement. L'idée fondamentale est que les différentes administrations sont censées conduire leurs « affaires » de manière indépendante, comme cela se passe dans une grande entreprise décentralisée et qu'il leur faut obtenir le soutien de « la compagnie » pour mener à bien leur programme.

La première des deux conditions de la prévision normative mentionnées ci-dessus — une société « fermée », ou tout au moins des niveaux « fermés »

— est en général moins facilement admise. La raison en est un manque de compréhension, très répandu, des différentes dimensions intellectuelles de la planification. On croit très souvent que la polarité uni-dimensionnelle de la libre entreprise et du dirigisme reste le seul degré de liberté dans le choix de sa propre situation — simplification qui a récemment été cause d'une très grande confusion dans plusieurs pays européens.

Il n'y a pas lieu, dans ce rapport, de s'étendre sur les conséquences et les implications de la planification. Nous nous limiterons à citer ici l'une des personnalités les plus vénérées de l'école libérale, qui a contribué de manière significative au maintien de l'esprit de liberté en Europe, Salvador de Madariaga[1] : « Une société humaine ne peut exister sans un certain degré de contrainte. C'est une force qui, sur des êtres humains vivant en groupe, agit comme le fait la gravité dans l'univers. Tout objet qui n'est pas soutenu, tombe à terre... Les deux ressorts de la société humaine sont l'ambition et la nécessité : le déclin de la civilisation occidentale a commencé au moment où la législation, influencée par la politique, a commencé à paraylser ces deux forces ».

Les deux pays qui, les premiers, ont reconnu la nécessité de formuler des objectifs sociaux et de favoriser la recherche technologique normative en raison de ses conséquences sociales, à savoir les États-Unis et la France, ont des régimes politiques fondés sur le principe de la libre entreprise.

Un exemple saisissant illustre ce que Madariaga appelle les « contraintes » : presque toutes les mutations génétiques (99 %) sont nuisibles mais, dans des conditions naturelles, les mutations favorables subsistent tandis que les autres disparaissent. Cet équilibre naturel — bénéfique quand on le considère sur l'ensemble de l'évolution humaine — a été considérablement perturbé par les progrès de la médecine, de l'alimentation et d'autres techniques. Il faut admettre que les conditions artificielles créées par la technique moderne conduiraient à la dégénérescence de l'espèce humaine en l'absence de tout contrôle. On peut imaginer ce contrôle de deux manières : la réparation des gènes au niveau moléculaire, ou l'interdiction de reproduire pour les couples dont un des membres est affecté au niveau génétique. La première solution ne sera pas applicable dans un avenir proche, même avec les progrès en biologie moléculaire. Il y a environ un milliard de « signes » d'information stockés dans un spermatozoïde — mille « signes » dans chaque million de gènes — et il n'y a aucun moyen de contrôler chacun d'entre eux. D'un autre côté, la biologie moléculaire donnera dans le proche avenir, et pour la première fois, la possibilité de détecter par des méthodes chimiques simples l'existence de gènes récessifs nuisibles. L'élimination des maladies héréditaires deviendra possible par l'interdiction de procréer entre parents porteurs des gènes nuisibles. Par exemple, un peu plus de 30 % de la population mondiale porte le gène responsable de l'anémie falciforme et, dans le cas de mariage aléatoire, environ 10 % du nombre total des mariages seraient contractés entre porteurs de ce gène : 25 % des enfants nés de ces mariages seraient atteints de la maladie. Ainsi, dans l'avenir proche, le monde sera placé devant la nécessité d'une décision entre l'« obligation » d'arrêter l'expansion des maladies héréditaires — la technique de détection au niveau génétique étant alors possible — ou de laisser

1. Neue Zürcher Zeitung (Zurich, Suisse), édition étrangère du 31 juillet 1966 (original allemand).

l'humanité dégénérer par suite du progrès technique[1]. On ne peut pas poser de manière plus dramatique la question du bien et du mal en technologie, ni de manière plus urgente le problème du choix qui permettra à l'humanité de continuer à jouir des avantages de cette technologie, sans que les profits s'en trouvent automatiquement annulés.

L'évaluation comparée *des coûts et de l'efficacité des objectifs sociaux* retient aujourd'hui l'attention aux États-Unis alors que, naguère encore, une telle conception était taxée d'utopie ou de blasphème. En 1966, le centre d'études Resources for the Future, à Washington, a décidé de rechercher une méthode d'étude applicable dans ce domaine. L'introduction du système Programme-Plan-Budget, dans les administrations publiques des États-Unis, provoquera certainement des recherches d'avant-garde dans cette direction, par exemple en matière de santé, d'urbanisme, et de prévention des délits. On estime d'ores et déjà que les frais d'études correspondants s'accroîtront considérablement au cours des dix prochaines années. Aux États-Unis, le ministère de la Santé vient de créer un poste important de Secrétaire d'État adjoint à l'analyse des systèmes, et l'on envisage également d'installer un service d'analyse des systèmes au ministère de l'Urbanisme, récemment créé, et au ministère des Transports, dont la mise en place est envisagée.

Dans un système démocratique, la difficulté fondamentale qui se pose à une société « fermée » tient à la nécessité d'un *consentement général*. Harvey Brooks a souligné cette nécessité dans des domaines mettant en jeu des intérêts individuels, comme les transports urbains et le contrôle de la pollution, tandis qu'à l'autre extrême, par exemple dans le cas du programme spatial, il suffit de convaincre un petit nombre de personnes malgré l'importance des dépenses publiques en cause.

Un récent rapport adressé au Président des États-Unis sur la technologie et l'économie américaine a été essentiellement consacré à l'examen des conséquences futures à l'automation sur l'emploi. C'est l'une des premières tentatives faites en vue d'obtenir le consentement de groupes très différents de la population, des industriels et des syndicalistes par exemple. Le résultat, quelque peu amusant pour le lecteur désintéressé, n'en est pas moins considéré à juste titre comme encourageant.

La question de la participation des ingénieurs et des scientifiques au choix des objectifs sociaux est fort disputée (voir *réf. bibl. 11*). Plusieurs scientifiques bien connus, spécialistes de diverses disciplines (voir chapitres I.7 et III.6), ont spontanément adopté une position avancée en proposant la création urgente d' « institution-vigies », et leur attitude a été normative dès qu'ils se sont rendu compte de l'ensemble du problème. D'autres scientifiques, bien qu'intéressés au premier chef, ont rejeté l'idée de la prévision normative ; les affirmations de deux Prix Nobel sont à ce sujet caractéristiques : « Il est tout simplement stupide de vouloir planifier les objectifs sociaux », et « Toute stratégie sociale qui prétend en trouver le moyen est mauvaise ». On admet plus facilement l'idée que les scientifiques devraient signaler les conséquences des actions prévues et, le cas échéant, émettre des mises en garde.

1. Le Dr Max Perutz, Prix Nobel, qui effectue des recherches dans ce domaine général, propose la création d'un « système de mise en garde » approfondi, qui laisserait la décision aux individus. Il ne faut guère s'attendre à ce qu'un tel système ait plus qu'un effet marginal.

La méthode « Delphi », destinée à faciliter l'accord entre les experts scientifiques et autres (voir section II.2.3), peut devenir un instrument fort important pour le choix des objectifs sociaux, des objectifs nationaux et des missions générales.

A l'avenir, le problème des grandes options se compliquera du fait de l'extension logique à des systèmes en boucle fermée de l'effort de synthèse des prévisions technologiques normatives et exploratoires (voir, pour une étude plus détaillée, la section II.5.1). Au lieu de se borner à prévoir des objectifs futurs selon la plus grande probabilité, on explorera systématiquement des *anticipations* (« futurs possibles », « futuribles ») d'objectifs et de situations, moins probables, mais possibles et cohérents. Cela permettra, grâce à un mécanisme itératif de rétroaction, d'influencer les décisions en cours et d'orienter la prévision exploratoire. La rédaction de « scénarios » est une méthode exploratoire qui s'inscrit dans les efforts tentés en vue d'atteindre ces objectifs ; l'utilisation des systèmes en boucle fermée permettra de faire la synthèse de cette méthode et de la prévision normative.

Enfin, le choix du critère définitif promet d'être difficile. On connaît trop peu les désirs de l'homme pour pouvoir formuler une synthèse universelle. L'idée de « bonheur » reste une formule familière, même chez les théoriciens les plus sérieux de la « pensée créatrice de futur ». En l'absence de meilleure formulation, on peut faire un choix parmi quelques-unes des notions les plus fortement enracinées, telles que « la survie de l'esprit humain » (Polykarp Kusch), ou « la création de conditions qui laissent à l'individu le plus grand nombre de motivations différentes » (René Dubos). L'équilibre subtil du critère de Dubos représente peut-être la meilleure expression de la contrainte qu'exigera la planification des objectifs sociaux : il ne s'agit pas du tout de justifier un minimum de contrôle, comme on pourrait le croire à première vue (on imagine facilement ce que sous-entendrait son application stricte aux problèmes de la vie urbaine, de la pollution, du bruit, etc.) ; cette formule assure un maximum de liberté.

Dans cet ordre d'idées, la planification, en particulier la prévision technologique normative, tend à devenir une tâche presque surhumaine. Pourra-t-on coordonner, avec toute la discipline et la force nécessaires, les énergies humaines indispensables ?

Le Secrétaire américain à la Défense, Robert S. McNamara[1], dont le ministère a accompli des travaux de caractère normatif en tous points remarquables, a souligné les différentes solutions possibles, mais l'on peut déceler comme de la résignation dans ses paroles : « Qu'est-ce que l'homme ? Est-ce un animal rationnel ? Si oui, on pourra finalement atteindre les objectifs fixés : intérêt mutuel, confiance mutuelle, effort mutuel. Si non, cela ne vaut guère la peine de s'y efforcer. Tout dans l'histoire de l'homme montre qu'en fait c'est un animal rationnel, mais doté d'une aptitude presque infinie pour la folie. Son histoire est un long effort hésitant mais soutenu pour élever sa raison au-dessus de son animalité. Il trace des plans mais n'arrive jamais à construire son utopie. Il peine obstinément avec le seul matériau qui soit toujours à sa portée : sa nature même, en partie comique, en partie tragique, tantôt perverse, souvent glorieuse ». Cette image de l'homme, réaliste aujourd'hui, changera-t-elle dans l'avenir, ou devons-nous craindre que le jaillissement des ambitions, face à l'âpreté du défi, ne s'évanouisse en fumée ?

1. Dans un discours prononcé devant l'American Society of Newspaper Editors, le 18 mai 1966, à Montréal (Canada).

Il semble toutefois très peu probable que l'humanité puisse tourner le dos au développement historique qui se confond avec l'avènement de la technologie, et dont la tendance sera de laisser moins de liberté de choix à la société, que cela lui plaise ou non. La prédiction faite par Irving H. Siegel sur l'avenir de la prévision, teintée d'une note de tristesse, résulte de cette considération : on saura de mieux en mieux faire des prévisions, parce que la liberté sera de nature différente. Du côté de l'organisation et de l'offre, les perspectives s'élargiront, mais elles s'accompagneront d'une limitation de la diversité de la demande, et la prévision sera plus facile parce qu'il y aura de moins en moins de variantes possibles. La modification qualitative de la société rendra celle-ci plus sensible à la valeur de propagande de la prévision. Le prévisionniste se trouvera de plus en plus en cause dans sa propre prévision et ce sera pour lui une raison supplémentaire d'améliorer son pronostic. Il restera pourtant difficile de prévoir le sens général de l'évolution historique, en raison de la concentration des pouvoirs entre les mains de quelques personnalités, comme les chefs de gouvernement.

Ce qu'il faut surtout dans la situation actuelle, c'est savoir dominer les problèmes associés à une nouvelle dimension de l'ambition collective. Il est certain qu'en combinant la prévision technologique normative et la prévision exploratoire dans un système en boucle fermée, l'homme forge actuellement l'instrument qui lui permettra de diriger et de concentrer son énergie pour agir sur l'évolution de l'histoire ; mais il devra éviter le sort de l'apprenti-sorcier de Gœthe.

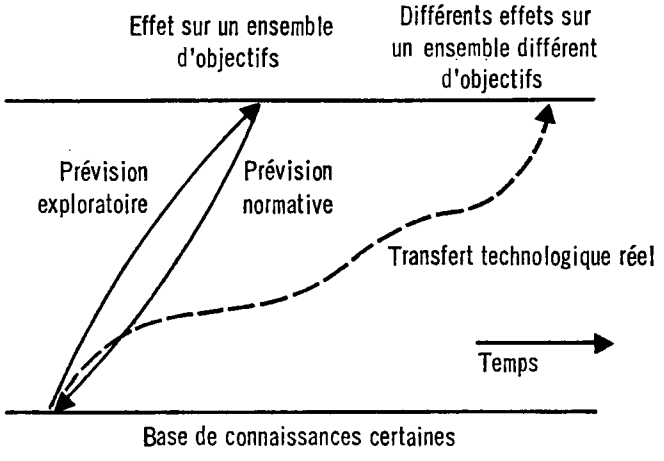
Chapitre I.3

LE FACTEUR TEMPS ET LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

L'histoire est un très mauvais guide; nous avons fait mieux.

Harvey BROOKS.

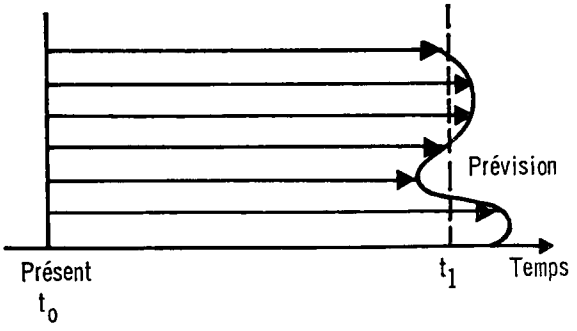
Pour pouvoir déterminer correctement le cadre temporel de la prévision technologique, nous avons besoin d'informations bien plus complètes et sans doute beaucoup plus importantes que les simples renseignements relatifs à tel ou tel transfert technologique. L'exemple représenté sur la figure pourrait être typique d'un développement qui s'est trouvé retardé parce qu'une technique élémentaire a elle-même pris du retard. Il illustre l'un des dangers



possibles, dont la menace peut provenir non seulement de l'écart entre l'effet définitif et un ensemble d'objectifs où cet effet n'était pas prévu, mais aussi d'une divergence à partir du cadre temporel admis pour chacune des phases intermédiaires du transfert technologique.

Dans un cadre temporel réel, où les sections verticales représentent une coupe de l'espace des transferts technologiques à un instant donné, un

ensemble de prévisions individuelles donnera généralement la projection d'une section future plus ou moins déformée.



Avec un cadre temporel donné, la prévision détermine implicitement l'inertie d'un certain transfert technologique. Une méthode simple utilisée dans ce but est l'extrapolation de séries temporelles (voir section II.3.3.). L'extrapolation des courbes-enveloppes tente de faire de même dans le cas d'une suite de développements intéressant un même secteur de possibilités fonctionnelles.

Dans l'avenir, la détermination de l'inertie d'un système technologique donné sera plus difficile parce que l'on verra se multiplier les interactions, aussi bien externes qu'internes. L'interaction croissante des systèmes technologiques avec le système social constituera un facteur important. Le Centre TEMPO de la General Electric estime que l'extrapolation des tendances en fonction du temps deviendra « inutilisable » en raison de ces interactions plus complexes.

Dans l'ensemble, on ne comprend pas très bien sur quelles bases sont prises les décisions relatives au financement de la recherche et du développement, « qui font vaguement intervenir des opinions d'experts et de groupes de pression » (Gabor), et peut-être aussi d'autres facteurs. Ces décisions ne reposent sur un raisonnement logique que lorsqu'il existe un système bien organisé de plans techniques à moyen et à long terme ou, pour être plus précis, une parfaite combinaison de la prévision technologique et de la planification technique. Dans ce domaine, on peut considérer la Xerox Corporation ou la Bell Telephone Laboratories (A.T. & T.) comme des entreprises typiques. Plusieurs économistes ont entrepris aux États-Unis des études de cas particulièrement bien adaptées à ce problème ; les résultats en ont été publiés dans « The Rate and Direction of Inventive Activity » (*réf. bibl. 65*).

Nous avons déjà mentionné, au chapitre I.2 ci-dessus, que la prévision normative aujourd'hui, et plus tard l'extension de sa synthèse avec la prévision exploratoire à des systèmes en boucle fermée permettront de diriger et de concentrer l'énergie humaine pour influencer l'inertie inhérente au cours de l'histoire. Cet effet peut se manifester de deux manières :

— Accélération des transferts technologiques. Toute prévision perfectionnée doit tenir compte de cet effet (elle le fait souvent), surtout lorsqu'il s'agit de prophéties qui se réalisent d'elles-mêmes.
— Décélération possible du transfert technologique, après une certaine période de pression à la « frontière » de la technique ; ce phénomène est souligné aussi bien par la RAND Corporation (*réf. bibl. 29*) que par le Centre TEMPO, de la General Electric.

La RAND Corporation va plus loin. Elle suggère que la pression exercée à la frontière technique peut même conduire à un facteur de décélération d'une complexité inutile : « La possibilité que nous envisageons est la suivante : la complexité gênante des systèmes actuels n'est peut-être pas la conséquence inévitable d'une demande accrue d'efficacité, mais plutôt le résultat d'une situation d'urgence conduisant à puiser les dernières forces d'une capacité technique provisoirement à bout de souffle. Il est donc à espérer qu'en atténuant la poussée qu'il exerce à la frontière de la technologie, l'homme parviendra à réduire la complexité abusive des systèmes d'armes ».

Le même rapport de la RAND mentionne un autre facteur possible de décélération : il se peut qu'en facilitant le choix des objectifs, la prévision normative réduise l'efficacité du développement et de la production, et ralentisse les transferts technologiques. L'absence d'un fort élément normatif autoriserait le choix des voies de développement plus faciles (plus « efficaces »), mais la conclusion du rapport de la RAND, qui avait été rédigé pour des travaux de développement de l'armée de l'Air américaine, peut également s'appliquer aux problèmes civils, à la « technologie sociale » et aux autres domaines susceptibles d'être traités par la prévision technologique : « Il importe que le travail soit efficace, et l'objectif adéquat ; mais s'il faut adopter un compromis entre les deux, il vaut probablement mieux que ce soit l'efficacité qui en souffre ».

Pour caractériser le cadre temporel des transferts technologiques jusqu'au niveau des applications, nous avons utilisé les intervalles de temps suivants, considérés comme des classes très vastes. (En ce qui concerne les quatre premiers niveaux, nous avons repris la classification des phases de recherche et de développement du Stanford Research Institute) :

1. Délai écoulé jusqu'à la découverte (phase de découverte) ;
2. Délai séparant la découverte et la possibilité d'application ou d'invention technique (phase de création) ;
3. Délai séparant l'invention, ou le moment auquel une structure technologique adéquate devient disponible, et le début du développement à grande échelle (phase de concrétisation) ;
4. Délai de mise au point (phase de développement) ;
5. Cycles des grandes innovations techniques dans un domaine particulier ;
6. Cycles d'acceptation (commercialisation).

Naturellement, les deux cycles mentionnés en 5 et 6 sont étroitement liés l'un à l'autre, mais ils ne sont pas identiques. Les cycles d'acceptation sont en passe de devenir le facteur qui stimule le développement dans des domaines technologiques caractérisés par une forte pensée normative, tels que les calculateurs et les activités aéro-spatiales.

Les quatre premières phases ne se suivent pas nécessairement sans discontinuité. Chacune d'elles dépend d'une certaine conjoncture et attendra

peut-être qu'autre chose mûrisse. De nombreuses découvertes n'ont pas encore donné lieu à une intervention ou à un développement. C'est l'une des principales fonctions de la prévision technologique que de déterminer la synchronisation adéquate des différentes phases.

Gilfillan (*réf. bibl. 40*) a étudié 19 inventions « considérées comme les plus utiles » et apparues entre 1888 et 1913. Il a observé les délais suivants :

Délai écoulé entre le premier germe de l'invention et le premier brevet, ou le premier prototype fonctionnant réellement	176 ans
Délai d'utilisation pratique	24 ans
Délai de succès commercial	14 ans
Délai nécessaire à une large utilisation	12 ans

Les 176 ans ne correspondent pas nécessairement aux trois premières phases que nous avons envisagées[1]. On obtiendrait probablement une bonne indication de l'intervalle de temps séparant la découverte de la fin de la phase de développement (nos quatre premières phases) en ajoutant aux 24 années qui suivent un certain nombre d'années prises sur les 176 premières.

Le délai de 50 ans écoulé entre le brevet ou le prototype en fonctionnement et la large utilisation est plus long que celui qu'a calculé Gilfillan (*réf. bibl. 40*) pour 200 des « 500 plus importantes » inventions non-militaires apparues entre 1787 et 1935 (délai moyen de 37 ans) et pour les 75 « plus importantes » inventions apparues entre 1900 et 1930 (délai moyen de 33 ans).

L'examen de 35 grandes innovations réalisées entre 1711 et 1950 (*réf. bibl. 39*) fait apparaître un délai arithmétique moyen de 13,6 années entre l'invention et le succès commercial (avec un écart quadratique moyen de 16,3 années). Dans la même étude, ce résultat est complété par l'examen de 9 processus de craquage utilisés dans l'industrie pétrolière entre 1913 et 1950, pour lesquels la moyenne arithmétique des délais écoulés entre l'invention et l'utilisation commerciale est de 12,8 années, les diverses valeurs s'échelonnant entre 3 et 24 ans.

Nous avons fait mieux depuis. A l'heure actuelle, on admet généralement que l'intervalle de temps total séparant la découverte de l'innovation (acceptation sur une grande échelle) est de 15 ans pour les processus efficaces de transfert technologique. L'analyse de projets précédents, effectuée par Lockheed (États-Unis), donne un délai moyen de 4,2 années entre l'invention et l'innovation. Il a fallu environ trois ans pour que le nylon passe du stade de la découverte à celui de l'invention, et dix autres années pour passer de l'invention à l'innovation. La prévision technologique est capable de réduire presqu'à zéro les temps morts entre les différentes phases. Son effet sur les phases de recherche et de développement est peut-être plus subtil, mais il a pu être observé pour plusieurs applications importantes, dont la plupart avaient été précédées par une prévision technologique à forte tendance normative.

---

1. On sait mieux aujourd'hui qu'il faut distinguer entre l'intuition « poétique », et les travaux conduisant à une découverte. C'est en 1892 que l'ingénieur allemand Plessner a prédit l'invention de la machine à écrire opérant à la voix, mais la découverte n'en a pas encore été faite. Ce n'est qu'aujourd'hui que nous pouvons nous rendre compte des conditions préalables de cette invention, et que nous sommes capables de travailler en vue de les réunir. Il est clair que Gilfillan est fasciné par la recherche des « premières pensées » ; d'après lui (*réf. bibl. 40*), la première idée de télévision est due à Souvestre, qui l'a prédite en 1847, sous une forme satirique.

On ne peut évaluer intuitivement l'*intervalle de temps allant jusqu'à la découverte* que si la conjecture à prédominance normative est capable de définir des conséquences réalisables ou de discerner certaines structures évolutives des sciences fondamentales. On peut par exemple avancer aujourd'hui une prévision sur le délai qui nous sépare de la formulation de nouveaux principes d'ordre au niveau sub-atomique et d'une nouvelle théorie des particules élémentaires, en observant les signes de « grossesse » qui n'échapperont à aucun étudiant dans ce domaine.

La prévision technologique peut influencer de manière considérable l'*intervalle de temps séparant la découverte de l'invention ou de la possibilité d'application technique*, en réduisant pratiquement à zéro le temps mort entre la découverte et le début de la phase créatrice. C'est surtout vrai lorsque la prévision normative conduit à des recherches dans un domaine déterminé, sans toutefois être capable de prévoir une invention précise.

L'exemple classique en est le transistor (voir par exemple la *réf. bibl. 57*). Quand, en 1945, la Bell Telephone Laboratories s'est préoccupée de trouver de nouveaux objectifs de recherche pour le temps de paix, elle a décidé de développer les travaux relatifs à la physique de l'état solide, en accordant une attention particulière aux conséquences possibles dans le domaine des télécommunications. Les techniques connues devenant insuffisantes, le résultat le plus probable envisagé par Shockley (auquel on avait confié la responsabilité de ces recherches) était la découverte d'un amplificateur à effet de champ. Au bout d'une année, il fut évident qu'il ne restait que deux voies possibles pour l'avenir : la semi-conduction et l'électroluminescence. Les expériences effectuées en 1947 et 1948 par Bardeen et Brattain, collaborateurs de Shockley, ont conduit à la découverte du transistor à contact ponctuel, amplificateur fonctionnant sur des principes différents. L'importance de la découverte a été comprise immédiatement, et la direction des travaux a été modifiée en conséquence. Le transistor à jonction, que Shockley avait alors prévu correctement sur des bases théoriques, a été inventé en 1951, et le développement des applications à grande échelle a suivi presque sans temps mort.

De manière analogue, le développement des réacteurs nucléaires a débuté en 1939, avec un très léger décalage sur la découverte (ou la démonstration), faite en 1938, de la fission nucléaire. C'est un exemple particulièrement intéressant car il montre comment la réflexion normative a pu réduire le retard. Plusieurs scientifiques européens, fuyant Hitler, se sont rendu compte du danger que cette découverte pouvait présenter si elle était faite et mise au point en Allemagne. En s'adressant au Président Roosevelt, par l'intermédiaire de la fameuse lettre d'Einstein, ils ont permis aux États-Unis de formuler un grand objectif national qui, à son tour, a conduit à une concentration des efforts. Le premier objectif, la construction d'un réacteur nucléaire, fut atteint trois ans et demi plus tard, et l'objectif du temps de guerre, la bombe nucléaire, le fut au bout de deux autres années.

L'une des découvertes importantes réellement accidentelles, celle de la pénicilline, fournit un exemple contraire : on note dans ce cas un décalage de dix ans, dû manifestement à l'absence d'objectifs clairement définis et à un manque d'orientation normative. C'est en 1928 que Sir Alexander Fleming a constaté d'une manière fortuite l'existence de la pénicilline en observant la contamination d'une culture de staphylocoques par des spores de *Penicillium notatum*, et c'est en 1929 qu'il la décrivit et lui donna ce

nom. Mais, sous la forme qu'elle revêtait à cette époque, la pénicilline était trop faible et trop impure pour apporter la démonstration de toutes ses qualités curatives, et n'était utilisée que dans les laboratoires. Ce n'est qu'à partir du moment où René Dubos décrivit un autre antibiotique (la gramicidine), en 1939, et qu'il en signala les conséquences possibles, que l'intérêt général porté aux antibiotiques conduisit à leur étude systématique avec des objectifs clairement définis.

Le délai (d'une semaine seulement) qui a séparé la découverte du principe du maser et la construction du premier dispositif en fonctionnement (par la Bell Telephone Laboratories) constituera probablement un record pour plusieurs années encore.

L'*intervalle de temps séparant l'invention et le début du développement à grande échelle* (*phase de concrétisation*) peut évidemment être réduit considérablement par la prévision technologique, surtout en ce qui concerne la combinaison de techniques élémentaires. Chez Lockheed (États-Unis), le délai qui s'écoule entre l'invention (reconnaissance des possibilités offertes) et le début de la phase réelle de concrétisation, est habituellement réduit à quelques semaines, grâce à une prévision technologique souple, dépourvue de formalités.

On peut donc s'attendre, dans certains domaines de la recherche et du développement caractérisés par l'importance des objectifs et par l'application systématique de la prévision technologique à forte orientation normative, à voir se réduire le décalage entre l'invention et le développement à échelle industrielle.

Le quatrième intervalle de temps, le délai de mise au point (développement) est lui aussi sensible à la prévision technologique bien qu'à un degré moindre ; celle-ci peut avoir pour effet de réduire considérablement les délais en donnant aux travaux une orientation adéquate et en permettant la concentration des efforts.

Le développement dépend aussi, d'une manière que l'on ne comprend pas entièrement, de l'importance des étapes franchies et de la complexité des systèmes visés. D'après le Centre TEMPO de la General Electric, les « pas de géants », les « bonds en avant » qui ont caractérisé les recherches pendant la guerre étaient une conséquence directe de la prévision technologique qui définit des objectifs de plus en plus lointains. On a ainsi constaté que la prévision à échéance de 15 années, effectuée en 1963 par l'armée de l'Air des Etats-Unis (« Project Forecast ») n'a porté ses fruits qu'après un temps mort de deux ans parce qu'elle n'a fourni aucune idée immédiatement utilisable.

A l'opposé, le Groupe « Delphi » de la RAND Corporation qui travaille sur les futurs systèmes d'armes (*réf. bibl. 269*) pense que l'on peut obtenir une réduction importante du délai de développement en établissant des programmes absolument prioritaires. Selon la majorité des membres du groupe, des systèmes d'armes dont on n'envisageait pas la réalisation avant la fin du siècle, pourraient — sauf dans deux cas — être mis au point avant 1980 dans l'hypothèse de programmes absolument prioritaires. (Pour quelques systèmes, il semble toutefois admis que les travaux de développement débuteraient plus tard et dans des conditions normales).

D'après l'expérience préliminaire acquise aux États-Unis, la prévision technologique a déjà permis de réduire les délais de mise au point de petites innovations qui constituent des améliorations de techniques fondamentales connues. Pour les systèmes fonctionnels essentiellement nouveaux, l'effet

n'est pas encore très net, encore qu'on puisse sans doute le déceler dans de nombreux travaux de développement effectués par des entreprises où les services de planification et de prévision technologique ont complètement fusionné. Dans le cas des circuits intégrés, la société Fairchild a obtenu des succès commerciaux en moins de trois ans. Il semble que le « nombre d'or » de sept ans soit, comme au cours des vingt dernières années, le délai normal de développement pour des systèmes de complexité raisonnable. On compte souvent quatre à cinq ans pour les systèmes plus restreints. Dans les cas les plus typiques, les procédés chmiques demandent de trois à quatre ans. Dans le secteur pharmaceutique, les délais — qui étaient déjà de 5 à 10 ans — augmentent aux États-Unis en raison du renforcement des contrôles. Les systèmes d'armes complexes réclament une dizaine d'années. (C'est le cas de l'avion polyvalent F-111 américain et du bombardier B-70 Mach-3, jusqu'au stade du prototype ; c'est aussi le délai de mise au point prévu pour l'avion suédois « System 37 Viggen »).

Dans certains domaines caractérisés par une forte orientation normative, on peut distinguer des *cycles de grandes innovations techniques,* d'une durée de cinq ans pour les activités aéro-spatiales et l'électronique, et de dix ans ou un peu plus pour l'énergie nucléaire. Par exemple, on a observé les cycles suivants dans le domaine des semi-conducteurs :

1950-1955 : Technique des alliages.
1955-1960 : Technique de diffusion.
1960-1965 : Circuits intégrés.
1965-1970 : Intégration de masse (de 1.000 à 10.000 circuits).

On a constaté que la technique des centraux téléphoniques réclame un cycle moyen de 13 ans, et ce délai est pris en considération dans les plans de l'American Telephone and Telegraph. On pense que les systèmes de commutation semi-électronique utilisés en 1965 seront remplacés vers 1975 par des circuits intégrés. C'est un exemple intéressant de détermination des délais d'application dans le cas d'une technique d'avant-garde des circuits et des composants.

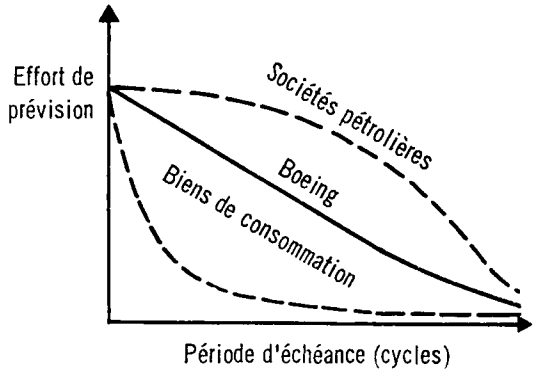
Les travaux de prévision technologique sont largement facilités par la connaissance des cycles de développement. Cette notion fournit un cadre temporel que l'on peut utiliser avec un degré de confiance suffisant et elle a pour effet de « lisser » la courbe du développement. Les courbes-enveloppes (voir section II.3.3) constituent une application systématique de ce genre.

Les cycles de développement offrent également une base naturelle à la structuration pour la prévision technologique. La Boeing Company estime qu'elle donne à peu près la répartition suivante à ses travaux de prévision :

4	cycles	à l'avance	:	0,5 %	des efforts	de prévision
3	»	»	:	3,5 %	»	»
2	»	»	:	36 %	»	»
1	»	»	:	60 %	»	»
				100 %		

Les prévisions faites pour l'avion commercial à réaction Boeing 707 se sont concrétisées deux cycles avant l'application : son prototype, le Dash-80, avait été mis au point au début des années 1950 (pour une dépense de 80 millions de dollars financés par l'entreprise sur ses fonds propres) et il a volé en 1955.

La proportion des travaux de prévision faits par Boeing décroît presque linéairement à mesure que le délai d'application augmente. Les grandes sociétés pétrolières (par exemple Esso Research and Engineering, aux États-Unis) croient à une diminution plus graduelle, tandis que la plus grande partie des entreprises, et surtout celles qui produisent des articles de consommation, réduisent très rapidement leurs travaux de prévision quand les délais sont longs. Si l'on voulait appliquer convenablement la prévision aux



aspects techniques aussi bien que commerciaux, il faudrait que les *cycles d'acceptation techniques et commerciaux* soient synchronisés. Il ne le sont pas toujours. On a dit que l'échec des tentatives faites par l'industrie privée européenne dans le domaine des calculateurs et de l'aéronautique pour conquérir une fraction importante du marché mondial a surtout été dû à un manque de compréhension de la nature des cycles commerciaux dans ces domaines. Chez IBM, la commercialisation des calculateurs suit un cycle de 5 ans. (On peut considérer cette période comme un cycle de développement, mais les facteurs normatifs semblent porter surtout sur les applications. La politique d'IBM consiste à ne procéder à la commercialisation d'une nouvelle génération de calculateurs qu'au moment où un nouveau besoin se manifeste sur le marché : c'est là une modification subtile d'une orientation technologique fortement normative, qui se trouve nuancée par l'élément exploratoire de la commercialisation).

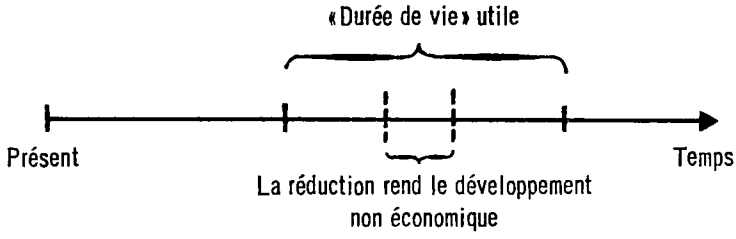
On peut dire que, dans le domaine des calculateurs, les cycles commerciaux ont été marqués par l'introduction successive des « générations » suivantes :

1950-1955 : Technologie des tubes à vide.
1955-1960 : Technologie des semi-conducteurs (circuits imprimés).
1960-1965 : Technologie des micro-modules.
1965-1970 : Technologie des circuits intégrés.

Dans le secteur automobile, on compte généralement avec des cycles commerciaux de plus de dix ans pour les innovations principales.

Dans certains cas, la technologie doit s'insérer dans les cycles commerciaux d'autres grands courants technologiques. Le générateur MHD (magnétohydrodynamique) en est un exemple : ses premières applications seront limitées par les progrès de l'énergie nucléaire, dont les possibilités

économiques peuvent encore s'améliorer au cours des prochaines décennies. Ultérieurement, la MHD pourra s'associer à des réacteurs à très haute température, refroidis au gaz, mais les développements actuels ne seront utiles que dans le cas de centrales brûlant des combustibles fossiles, et capables de concurrencer l'énergie nucléaire. Le British Central Electricity Generating Board qui, au début de 1966, envisageait encore la possibilité



d'importants bénéfices sur les investissements effectués en vue d'applications économiques de l'énergie MHD, procèdera dans ce domaine à une prévision technologique portant sur des périodes plus courtes, afin d'être alerté si la « durée de vie » restante de ce procédé se trouve encore retrécie par son retard technique ou par des progrès inattendus de l'énergie nucléaire.

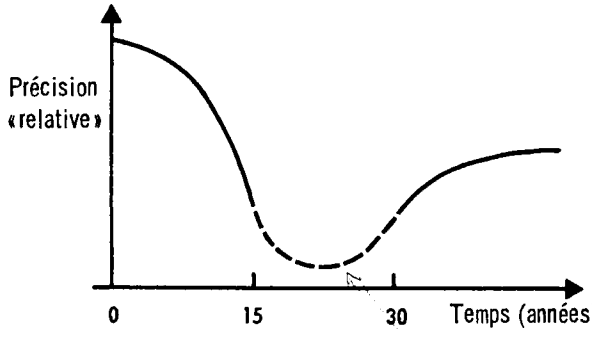
La *période d'échéance* des prévisions technologiques dépend largement des domaines d'application et des objectifs poursuivis. En général, la prévision est faite pour une période qui permet encore d'agir sur les décisions actuelles. Ce critère explique les différences notables qui apparaissent dans la liste suivante ; les informations données entre parenthèses concernent des prévisions de caractère formel :

« Technologie sociale », ressources naturelles	jusqu'à 50 ans, et au-delà.
Entreprises travaillant dans des domaines d' « inventions sociales » (grandes sociétés pétrolières, A.T. & T., Xerox, et télécommunications en général)	30 à 50 ans (5 à 10 ans).
Entreprises travaillant dans l'énergie nucléaire	25 ans (10 ans).
Programmes spatiaux (NASA)	20 à 30 ans et au-delà.
Défense	20 à 25 ans (7 à 10 ans).
Economie nationale (Plan français)	20 ans (5 ans).
Entreprises techniques novatrices (électronique, activités aéro-spatiales, chimie, etc.) pratiquant une planification globale à long terme	10 à 20 ans (5 ans).
Sociétés productrices d'articles de consommation	5 à 10 ans (3 à 5 ans).

Dans la réalité, certains travaux de prévision peuvent devenir difficiles pour la période de temps exigée. Les prévisions relatives à l'avion suédois « System 37 Viggen », faites en 1953 après la fin des études fondamentales et avant les premières études techniques, ont dû porter sur 38 ans, jusqu'à l'année finale envisagée pour l'opération, soit 1991. Il était également nécessaire de faire, pour cette période, des prévisions relatives au développement tactique et technique d'un ennemi supposé.

Evidemment, les prévisions portant sur des durées considérables seront d'autant plus vagues que l'avenir est plus lointain. Ce n'est pas seulement naturel et inévitable, mais c'est également conforme aux exigences de la planification technologique. Un plan typique à long terme d'une entreprise porte sur 5 ans, ce qui est également la durée habituelle des cycles commerciaux. Sur ces cinq ans, la prévision technologique doit être explicite pour de nombreux facteurs : nature, coût, délai de développement, résultats, coût de production, etc. Le délai de six ans adopté par Shell pour ses prévisions explicites correspond aux trois années qu'exige la construction d'une nouvelle usine. Imperial Chemical Ltd, en Grande-Bretagne s'est de même fixé un « tournant » sur dix ans. Au fur et à mesure qu'une prévision pénètre plus profondément dans l'avenir, ses objectifs changent progressivement et l'étude des possibilités fonctionnelles fait place à celle du potentiel et des limites économiques et techniques de caractère plus général, à la détermination des ressources, ainsi qu'à l'examen des modifications structurales probables et des conséquences plus larges, dans l'environnement social, économique et politique de demain.

La précision exigée d'une prévision, en termes techniques, est donc fonction de la durée sur laquelle elle porte. Pour l'avenir immédiat, cette fonction peut être, non pas continue, mais discontinue et liée aux cycles techniques et commerciaux. On peut donc essayer de définir une « précision relative » — c'est-à-dire le degré de précision exigé pour une échéance donnée. On peut ainsi représenter graphiquement l'expérience acquise par les grandes sociétés pétrolières qui ont tenté de faire des prévisions jusqu'à l'an 2000 et même au-delà. Les « années difficiles » ne sont pas tellement

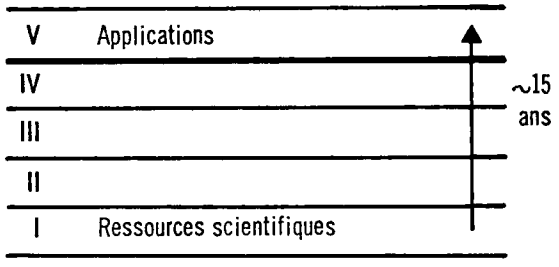


celles de l'avenir lointain (pour lesquelles il est possible de déterminer sans trop de risques les possibilités ultimes et les variantes) mais celles qui tombent dans l'intervalle de quinze à trente ans. Du point de vue méthodologique, ce sont également celles qu'il est le plus difficile d'explorer. Il est probable que la prévision normative fera des progrès sensibles dans ce domaine.

On admet en général qu'une prévision technologique efficace de type classique (c'est-à-dire essentiellement exploratoire) est réalisable à échéance de *15 ans*. Cette période représente le « temps d'incubation » considéré comme nécessaire par de nombreux auteurs de prévisions et par les services techniques d'entreprises industrielles pour que les découvertes scientifiques trouvent de larges applications. Une prévision technologique idéale, qui percevrait les possibilités de toutes les découvertes déjà faites, pourrait donc

fournir une description plus ou moins exacte du niveau d'application des transferts techonologiques d'ici quinze ans — alors même que les découvertes scientifiques faites au cours de cette période n'auraient pas encore été transférées au-delà des niveaux de développement.

Dans ces conditions, une prévision « mobile », à échéance de quinze années et révisée par exemple annuellement, épargnerait toute surprise à une firme bien informée.



Il convient toutefois de souligner ici que la prévision normative ne semble pas se limiter à un cadre temporel défini, et qu'elle a la faculté de stimuler la découverte scientifique et d'accélérer son transfert aux niveaux supérieurs. La représentation contextuelle et la recherche morphologique (voir les sections II.3.5 et II.3.6, respectivement) deviendraient les techniques exploratoires les plus fructueuses car elles pourraient fournir les éléments de cette prévision normative à long terme.

La représentation contextuelle indépendante du temps est une technique utilisable pour l'exploration générale des relations et des ensembles de conditions qu'exige un progrès donné en dehors du cadre temporel. Les entreprises novatrices l'emploient très fréquemment.

Dans le domaine des « techniques sociales », où la période d'échéance est très longue et assortie de grandes incertitudes, la représentation contextuelle peut devenir un moyen extrêmement intéressant pour déterminer des situations futures et établir des anticipations (« futurs possibles »).

Une meilleure compréhension sera encore nécessaire avant que la prévision technologique puisse tenir compte de facteurs correspondant à l'inertie d'un processus de transfert technologique complexe, ou de notre système social en général, et à l'effet d'accélération ou de décélération provoqué en boucle fermée par la prévision technologique elle-même.

Chapitre 1.4

RECHERCHE FONDAMENTALE ET PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

Quand la solidité l'emporte sur l'ornementation, l'ensemble est grossier; quand l'ornementation l'emporte sur la solidité, l'ensemble est superficiellement élégant. Seule une combinaison harmonieuse des deux nous donnera un type d'homme supérieur.

CONFUCIUS.

Le fait qu'un progrès scientifique soit utile, ne l'empêche pas d'être scientifique.

Glenn T. SEABORG.

1.4.1. LA TRADITION SCIENTIFIQUE ET LE PROBLÈME DES VALEURS

Le problème des valeurs inhérentes à la science est aujourd'hui obscurci par une réaction largement répandue contre l'esprit utilitaire qui gouverne une grande partie des relations entre la science et la technique dans le domaine économique. Cette réaction est particulièrement prononcée dans certains milieux scientifiques anglo-américains, où elle constitue une protestation contre une théorie psychologique qui postule la négociabilité des valeurs et a trouvé un large public. W.H. Auden l'a dépeinte sous une forme satirique dans « Under Which Lyre : A Reactionary Tract for the *Times* » (« Sous quelle Lyre : Tract réactionnaire pour le *Times* ») :

« Tu ne répondras à aucun questionnaire,
Ni à des questions sur les problèmes mondiaux;
Tu ne t'abaisseras pas jusqu'à te soumettre
A des tests. Tu ne t'asseoiras pas
A côté d'un statisticien, et tu ne te commettras pas
Dans une science sociale. »

De manière paradoxale, ce sont les événements qui ont contribué le plus au « retranchement » actuel de la science qui ont le mieux démontré qu'un dialogue est possible entre la science et la sociologie : les premiers chocs dramatiques entre les systèmes sociaux et les systèmes scientifiques, dont l'exemple nous est donné, à l'Est par l'intervention dictatoriale dans le domaine de la théorie génétique et, à l'Ouest, par le schisme qui a fait suite au procès d'Oppenheimer[1]. La bataille de la science se livre actuel-

1. L'interdit qui frappait, dans l'Allemagne hitlérienne, les résultats scientifiques dus aux savants juifs, ne procédait pas d'un choc entre conceptions et systèmes, mais d'une discrimination raciale effrénée.

lement entre deux stratégies fortement opposées, que nous appellerons d'une part l' « encapsulation » et, d'autre part, l' « intégration ». Nous esquisserons rapidement leurs principales caractéristiques, en examinant les idées soutenues par deux protagonistes également brillants : Thomas S. Kuhn pour la première, et R.G.H. Siu pour la seconde[1].

Kuhn (*réf. bibl. 10*) a construit un système ingénieux en faveur de l' « *encapsulation* » *de la science*, en affirmant que tout contact plus intime avec le monde extérieur ne pouvait que la rendre stérile. Il fonde cette affirmation sur des exemples largement empruntés à l'histoire de la science occidentale. On peut craindre que l'extension de ses conclusions à l'avenir ne se traduise par un certain parti-pris, ou tout au moins par un préjugé qui aura tendance à obscurcir les problèmes. Kuhn distingue deux formes fondamentales de progrès scientifique :

La science normale, qui reste entre les limites de paradigmes établis (schémas conceptuels). Ces paradigmes fournissent également le seul critère (qui se suffit d'ailleurs à lui-même) pour la sélection des problèmes : « De temps en temps, l'entreprise scientifique dans son ensemble se révèle utile, découvre de nouveaux territoires, remet les choses en ordre et vérifie des croyances établies de longue date. Mais l'individu, préoccupé par ses problèmes de recherche normale, n'y parvient presque jamais ». On ne cherche ni à confirmer, ni à infirmer un paradigme (K.R. Popper) pour en stimuler l'extension ou la modification ; on ne le fait qu'après l'apparition d'anomalies. Selon Kuhn, cette démarche normale de la science rend l'activité scientifique extrêmement efficace en raison de son « isolement » dans une tour d'ivoire qui la met à l'abri des demandes du « siècle » et des contingences quotidiennes ».

La crise, c'est-à-dire l'accumulation des anomalies, conduit à une sorte de révolution scientifique, du fait de la concurrence des divers paradigmes possibles. D'après Kuhn, il n'y a aucun espoir de pouvoir prévoir les anomalies et la mise au point des paradigmes, ni la nature des différents paradigmes possibles. Il se retranche en fait dans une position de puriste : « Nous avons tous l'habitude enracinée de considérer la science comme la seule entreprise qui s'approche de plus en plus près d'un certain objectif que la nature a fixé à l'avance. Mais un tel objectif est-il indispensable ? Ne peut-on justifier à la fois l'existence de la science et sa réussite en se référant à l'évolution des connaissances de la communauté à partir d'un instant donné ? Est-il vraiment utile d'imaginer qu'il existe une description réelle, objective et complète de la nature, et que le résultat scientifique n'a de valeur que pour autant qu'il nous rapproche de cet objectif ultime ? Si nous apprenions à remplacer cette notion (l'évolution vers ce que nous voulons savoir) par une autre (l'évolution à partir de ce que savons actuellement), il est probable que bon nombre de problèmes fort troublants disparaîtraient ».

Lorsqu'on tente de juger — sans ressentiment ni faveur — des conséquences d'un retranchement aussi total, on peut aboutir à la conclusion que

1. C'est à la pensée rationnelle d'Alvin M. Weinberg qu'est due en grande partie l'utilisation du concept d' « intégration »; Siu en donne la justification philosophique profonde.

d'autres « problèmes troublants » pourraient facilement disparaître en même temps, par exemple les désirs et les besoins de la société et peut-être même, finalement, les idéaux humanitaires que Kuhn croit défendre.

Siu (*réf. bibl. 16*), en définissant un système d' « *intégration* » *de la science et de la société*, propose d'adjoindre certains éléments de la sagesse orientale — le Tao de la science — aux connaissances occidentales. Il distingue trois formes de la connaissance[1] :

La connaissance rationnelle, comparable à la « science normale » de Kuhn ;

La connaissance intuitive, qui correspond à peu près chez Kuhn à la création de différents paradigmes possibles dans un état de crise ;

La non-connaissance, qui est essentiellement un élément oriental, source d'un « éclaircissement final ». Dans la recherche scientifique concrète, la non-connaissance crée des stratégies négatives qui sont complémentaires des stratégies positives. L'idée de Sir George Thomson, selon laquelle les vraies lois fondamentales des sciences physiques sont les principes d'impuissance (voir la section suivante, I.4.2.) entre dans cette rubrique.

Alors que, normalement, on considère la créativité de la recherche comme une extension de la rationalité, Siu y voit une « fluorescence de la non-connaissance ».

Dans son système, l'introduction de la non-connaissance est une base essentielle qui permet de traiter les problèmes de la valeur scientifique. Il distingue entre les *valeurs intrinsèques* et les *valeurs instrumentales*. Selon sa définition, qui n'est pas tout à fait complète, les valeurs intrinsèques[2] sont celles que l'on désire — pour elles-mêmes — c'est-à-dire les valeurs traditionnelles : la bonté, la vérité et la beauté. Les valeurs instrumentales sont des moyens pour atteindre autre chose (l'argent est un moyen vers la puissance, la renommée, le bonheur, etc.).

En complétant la pensée de Siu, on peut insérer ici différentes idées relatives à la possibilité de prévoir les connaissances scientifiques dans un contexte de valeurs intrinsèques et instrumentales. Tandis que le positivisme soutient que le monde réel est *a priori* inconnaissable, le théoricien autrichien Victor Kraft (membre de « l'école viennoise » du néo-positivisme) observe qu'en général les concepts normatifs possèdent aussi un contenu descriptif (c'est ainsi que la notion de « moralement bon » sous-entend la conformité avec la loi morale, etc.).

Le physicien P.W. Bridgman (*réf. bibl. 2*, citée par Siu), propose l'idée d'une analyse opérationnelle pragmatique des concepts physiques. Selon lui, une idée ne peut se concrétiser que lorsque les conditions d'utilisation se sont clarifiées. Les termes que l'on ne peut pas réduire à des opérations sont considérés comme sans signification. Cette conclusion est conforme à l'attitude générale de réalisme critique qui est devenue une notion philosophique extrêmement fructueuse depuis la deuxième guerre mondiale.

---

1. Siu observe que ces trois catégories ont été prévues par P. Sorokin dans sa triade : Vérité sensible - Vérité rationnelle - Vérité idéale.

2. Les « valeurs intrinsèques » de Siu se placent à un niveau plus général que les « critères internes » de Weinberg *(réf. bibl. 24)* pour le choix scientifique (existence d'un domaine « mûr » pour la découverte, disponibilité de bons chercheurs). Les critères externes comprennent le mérite scientifique (c'est-à-dire les conséquences pour d'autres domaines scientifiques), le mérite technologique, et le mérite social.

Pour revenir à Siu, la « voie médiane » — « reflet du Tao » obtenu par le sentiment de la non-connaissance — peut aspirer à rendre la science utile à la société. Les citations suivantes de Siu, qui comprennent certains des arguments les plus incisifs présentés au début de son livre, illustrent sa vision d'une intégration possible de la science et de la société :

« De nombreux scientifiques sont sur le point de rivaliser avec les théologiens du XVI^e siècle. Certains commencent à faire preuve d'une agressivité qui révèle les profondes incertitudes d'un orgueil fragile. D'autres franchissent les frontières qui délimitent leur compétence. D'autres encore semblent se désintéresser complètement du fait que l'objectif unitaire de la culture a perdu beaucoup de sa valeur et que la signification et la tradition même d'une société coopérative sont en cours de désintégration. Si on continue à encourager ses tendances actuelles, la science risque d'atteindre bientôt le point où son utilité ira en décroissant pour l'humanité. Il importe, au XX^e siècle, de pouvoir sauvegarder sa contribution à la société...

Actuellement, la science moderne prive l'homme — sans s'en rendre compte — de la connaissance intuitive et de la non-connaissance (avec les éclaircissements que celle-ci lui apporte par un biais négatif) ; elle le fait en lui imposant la connaissance rationnelle (avec sa tactique positive) comme critère définitif de la réalité. Paradoxalement, c'est en utilisant la méthode négative, méthode non admise par les scientifiques, que la science provoque cette fragmentation de l'homme. Après trois cents ans de libre activité et cent ans de domination, la science trouve difficile d'abandonner le trône intellectuel pour la vie d'un roturier...

Par suite, les scientifiques tentent de mettre en œuvre ce qu'ils considèrent comme les meilleurs de leurs moyens en se consacrant de manière intensive à leur spécialité dans les sciences naturelles, et en laissant aux sciences sociales et humaines le soin de transformer les résultats de laboratoire en bienfaits sociaux. Mais quand ils observent l'utilisation qui est faite de leurs créations, ils s'aperçoivent bientôt que les sciences sociales et humaines restent loin en arrière. Ils aspirent à un « équilibre » entre les sciences naturelles et les sciences sociales. Ils espèrent que les humanistes, au cours de leur évolution, découvriront les réponses aux dilemmes qu'ont provoqués les produits de leurs laboratoires. Jusqu'à présent, ces espoirs n'ont pas été exaucés. Il n'y a guère de raisons de croire que le large fossé qui sépare des courants de pensée indépendants finira par se combler si les conceptions de la vie demeurent aussi divisées. »

Siu conclut en exposant sa propre opinion : « Pour le scientifique, la vie idéale est une suite d'instants de plénitude qui se chevauchent constamment, au cours desquels les progrès infinitésimaux de la science se trouvent assimilés dans un large humanisme et non — comme c'est le cas actuellement — une progression aléatoire de percées scientifiques avec — de temps à autre — des moments d'humanisme. Ainsi, les terribles dilemmes sont anéantis avant les crises, et la foi dans l'avenir se trouve restaurée à tous les instants du présent. »

La situation a déjà quelque peu changé depuis que Siu a lancé son exhortation, il y a moins de dix ans. Un nouveau schisme commence à diviser les scientifiques du monde entier, où l'on voit s'affronter précisément les deux concepts évoqués plus haut, l' « encapsulation » et l' « intégration » de la science.

A l'Institut Weizmann — qui semble devoir essentiellement son existence aux erreurs de son fondateur, le premier Président d'Israël (chimiste de profession), dont l'idée était de « vendre » de la science pure — la plupart des scientifiques s'attachent encore à l' « encapsulation », en dépit des besoins évidents de leur pays qui lutte pour survivre. Une poignée seulement de chercheurs, sur un total de 400, a contribué à accroître les revenus de l'Institut en déposant des brevets capables de rapporter des droits. Plus de la moitié des travaux de recherche entrepris en Israël sont des recherches pures non-orientées, n'ayant pratiquement pas d'autres répercussions que le prestige gagné par la jeune nation (résultat éminemment louable en soi). L'affirmation de C.P. Snow (*réf. bibl. 17*), selon laquelle les intellectuels sont des « Luddites naturels[1] » est encore valable pour la plus grande partie de la communauté scientifique, en particulier dans les petits pays.

Toutefois, une élite scientifique adopte progressivement l'état d'esprit de l' « intégration ». Si elle est encore relativement plus nombreuse, son influence s'est déjà fait sentir sous des formes variées (voir section I.4.3., surtout en ce qui concerne l'effort du COSPUP aux États-Unis). On peut même affirmer que, dans quelques cas exceptionnels, les spécialistes des sciences de la nature ont pris l'initiative de l' « intégration » des sciences naturelles et exactes et des sciences sociales, en étudiant les valeurs intrinsèques de leurs spécialités et en les associant aux objectifs généraux de la société — qu'il leur a généralement fallu déterminer par eux-mêmes[1].

Pour les autres sections du présent chapitre, nous avons retenu les idées suivantes :

— il est possible d'appliquer des jugements de valeur à toutes les formes de progrès scientifique ;
— il existe des valeurs intrinsèques et des valeurs instrumentales associées à la science fondamentale ;
— on peut appliquer ces concepts normatifs et l'analyse opérationnelle (orientée vers les applications) à la connaissance rationnelle et peut-être même, sous une forme plus complexe, à la connaissance intuitive et à la non-connaissance.

I.4.2. Prévision et connaissance rationnelle

« Der Herrgott ist raffiniert, aber boshaft ist Er nicht » (Le Seigneur est subtil, mais il n'est pas méchant) ; la vérité de cette phrase d'Einstein a une importance essentielle pour la recherche fondamentale. Elle signifie,

1. Bandes d'émeutiers organisées en Angleterre pour détruire les machines; elles firent leur première apparition à Nottingham en 1811.

2. Taton *(réf. bibl. 18)* observe que cet état d'esprit était déjà celui de certains grands mathématiciens français du XIX[e] siècle : Fourier était convaincu que le principal but des mathématiques était de se rendre utile à la société et d'interpréter les phénomènes naturels; il en résulta une controverse entre les mathématiciens de l'époque. Poincaré ne consacrait pas son temps à un sujet par intérêt intellectuel, mais parce que la science en avait besoin. En attribuant un triple but aux mathématiques : physique, mathématique et esthétique, il soulignait que l'objectif physique et l'objectif esthétique étaient inséparables, et que la meilleure manière d'atteindre l'un était de viser l'autre ou, tout au moins, de ne jamais perdre l'autre de vue.

comme Wiener (*réf. bibl. 82*) l'a souligné avec insistance, que la recherche fondamentale est favorisée par une condition qui n'est remplie à aucun autre niveau du processus de transfert technologique : l'environnement de la science et de la technique fondamentales ne « réagit » pas aux recherches de l'homme, et l'on peut appliquer des stratégies qui n'ont pas à tenir compte des contre-stratégies de la Nature. Dans ce cas, et dans ce cas seulement, le facteur temps n'est pas implicite, mais est introduit par l'homme dans le système. La prévision ramène à prendre conscience de certaines structures invariables des objectifs, des critères et des relations, et à déterminer l'aptitude de l'homme à les étudier, ainsi que la vitesse à laquelle il peut le faire.

Malgré cet état de fait favorable à l'inclusion du niveau fondamental dans la prévision technologique, on n'a consacré à ce domaine qu'une attention très limitée. Il ne fait pas de doute que l'attitude « puriste » des scientifiques a empêché les intrusions sur leur territoire. L'impulsion donnée à la prévision dans le domaine de la recherche fondamentale est tout aussi considérable d'un autre point de vue, car toute erreur commise à ce niveau se traduit par des échecs graves et très coûteux. Cela a conduit la Marine des États-Unis à adopter une politique qui fait une large place à la prévision technologique de caractère fondamental. « Les possibilités scientifiques » et « le potentiel technologique » sont deux points de départ différents de son système de prévision, dont la synthèse se fait à un stade ultérieur.

On a constaté que l'*absence de pensée normative* enlevait toute utilité à la recherche fondamentale pour les projets militaires américains (« Project Hindsight », voir aussi la section I.5.4.).

L'énergie nucléaire offre un exemple frappant de développement discontinu des connaissances fondamentales, la plupart de ceux qui y ont pris part ne s'étant pas rendu compte de ses conséquences jusqu'à ce que se concrétise un puissant facteur normatif. Les principales conditions préalables à une fission en chaîne et les prévisions parallèles faites à leur sujet peuvent être énumérées sous la forme comparative suivante :

CONDITION PRÉALABLE	PRÉVISION
1. Défaut de masse, exogène dans le cas de la fission des noyaux lourds. 1905 - Équation masse-énergie (Einstein). 1911 - Structure composite du noyau (Rutherford).	1911/12 - Soddy, 1912 - Gustave Le Bon. Prévision, faite en termes généraux, de « l'énergie inter-atomique ».
Vers 1925 - Courbe correcte du défaut de masse, par F.W. Aston.	1920/1930 - Diverses prévisions générales percevant les possibilités de la fission et de la fusion (par exemple, Andrade en 1927).
2. Particule électriquement neutre (neutron) capable de traverser la barrière de Coulomb à faible vitesse. 1924 - Rutherford et Chadwick prédisent l'existence du neutron pour des raisons scientifiques.	
	1930 - Eddington prévoit le niveau énergétique correct de la fusion, par analogie avec l'astrophysique; il indique presque correctement la température requise (20 millions au lieu de 100 millions °K).

CONDITION PRÉALABLE	PRÉVISION
	1930 - Le comte de Birkenhead prévoit de grandes possibilités pour le « monde de 2030 après J.-C. ».
	Vers 1931 - S. Dusham détermine correctement la fusion et la fission par le calcul des défauts de masse.
1932 - Chadwick découvre le neutron.	1932/33 - Nombreuses prévisions non formelles, émanant de scientifiques qui prennent conscience du rôle potentiel du neutron dans la réaction en chaîne.
	1933 - Rutherford ridiculise l'idée de la domestication de l'énergie nucléaire.
	1935 - Joliot-Curie, dans sa conférence de réception du prix Nobel, accorde une grande attention à la fission nucléaire et à ses possibilités.
	1935 - Szilard prend un brevet sur la fission du lithium (élément léger, qui ne peut subir une fission que dans une réaction endogène).
	1935 - Joliot-Curie et ses collaborateurs prennent un brevet sur le principe du modérateur.
	1936 - Furnas met en garde contre les espoirs d'applications.
3. Démonstration de la fission nucléaire. Déc. 1938 - Expérience de Hahn-Strassmann.	
Janv. 1939 - Annonce des résultats de l'expérience de Hahn-Strassmann; peu après, interprétation exacte par Meitner-Frisch avec une prévision correcte de la libération d'énergie.	1939 - Après l'interprétation de Meitner-Frisch, prise de conscience rapide des possibilités militaires par des scientifiques exilés d'Allemagne. Szilard, en moins d'une semaine, réclame l'interdiction des publications.
	1939 - Fermi et Szilard prennent un brevet sur le réacteur nucléaire.
4. Rendement neutronique suffisant pour l'entretien de la réaction en chaîne.	Des prévisions fortement normatives de Szilard et Joliot-Curie montrent l'importance cruciale de cette étape.
Mars 1939 - Szilard et Zinn trouvent un rendement neutronique de 2,3 neutrons dans la fission de l'U-235 (moins de 10 % d'erreur); Joliot-Curie, Halban et Kowarski font des expériences indépendantes.	Début 1939 - Perception des possibilités militaires par Szilard, Teller, et d'autres, mentionnées par Einstein dans une lettre au Président Roosevelt. Début immédiat des études exploratoires de développement.
5. Fraction neutronique retardée pour le contrôle des réacteurs; facteurs matériels (graphite de qualité nucléaire, etc.).	Travaux à grande échelle depuis 1940, choix de différentes méthodes d'obtention de la fission explosive (U-235 par diffusion gazeuse et spectographie de masse, Pu-239 par mise au point d'un réacteur), car on ne peut prévoir les réactions en chaîne que de manière probabiliste.
	Vers 1942 - Rêve des scientifiques : concevoir un réacteur simple et bon marché : « un pot, un tuyau et une pompe ».
Mai 1942 - Fermi obtient la preuve que la réaction en chaîne contrôlable est possible.	
Déc. 1942 - La réaction en chaîne est réalisée.	

Dans ce développement parallèle des prévisions et des réalisations, trois facteurs semblent avoir empêché l'établissement de prévisions précises avant la troisième étape.

Les connaissances scientifiques certaines n'avaient fait l'objet d'aucun inventaire systématique. La plupart des auteurs de prévisions ignoraient les premiers calculs, alors que ceux-ci avaient abouti à une courbe correcte de défaut de masse ; ils indiquaient généralement un rendement énergétique d'environ 0,01 équivalent de masse (caractéristique de la fusion) au lieu de 0.001 (pour la fission) et croyaient à la possibilité de fission d'éléments légers (hydrogène, lithium, etc.). Szilard lui-même fit cette erreur en 1935. Alors que, dès le début, le rôle que le neutron pouvait jouer dans une réaction en chaîne avait été identifié, cette possibilité a été négligée.

L'attitude fortement négative de Rutherford, « pape » de la physique nucléaire de l'époque, a influencé de nombreux scientifiques ; Rutherford, apparemment soucieux d'utiliser une source extérieure économique de neutrons, qui n'existait pas (et qui manque toujours), a eu tendance à « refouler » l'idée d'une réaction en chaîne.

L'absence de pensée normative s'est reflétée dans le manque de concentration sur les recherches, jusqu'à ce que la possibilité d'une troisième étape ait été démontrée. Fermi, par exemple, n'a jamais dépassé, dans certaines prévisions exploratoires, la prédiction d'applications mineures, telles que la transmutation des éléments pour produire des traceurs radioactifs à usage médical, etc[1]. C'est la démonstration de la fission qui a mis en branle la prévision normative ; à son tour, celle-ci a presque instantanément « déclenché » des expériences décisives, permettant ainsi d'envisager une quatrième étape. La prévision normative fut alors suffisamment puissante pour justifier un énorme effort de recherche pendant trois ans, jusqu'à ce que la prévision probabiliste soit finalement érigée en prédiction.

Parmi les scientifiques qui devaient ultérieurement être associés à la percée et aux premiers développements de l'énergie nucléaire, le seul qui ait rejeté l'autorité de Rutherford et qui ait risqué sa réputation en le contredisant dans sa conférence de réception de Prix Nobel fut Joliot-Curie, l'homme à l'horizon ambitieux et concret, qui a toujours été fasciné par la perspective des grandes applications.

Dans certains domaines, la situation de la science et de la technique fondamentales se caractérise par *une absence forcée de prévisions normatives*. L'exemple principal en est le secteur pharmaceutique, qui pratique généralement une méthode très empirique dans les premières phases. C'est ainsi qu'une société qui fabrique des médicaments à partir d'organes animaux pourra trouver une « piste » en constatant que toutes les hormones ainsi produites sont des stéroïdes. L'étape suivante consistera alors à essayer de produire synthétiquement ou semi-synthétiquement une gamme analogue de stéroïdes. Elle finira peut-être par établir une association empirique entre les effets et la structure chimique. Ce n'est qu'à cette étape que la prévision technologique prendra toute sa signification et qu'elle conduira à des produits exactement adaptés aux besoins et peut-être même originaux. On ne

1. Mme Laura Fermi a confirmé cette remarque.

connaît aujourd'hui le mode d'action que d'un très petit nombre de médicaments. Le caractère empirique des méthodes se reflète dans la rareté des résultats utilisables par la recherche et le développement : sur 3.000 composés chimiques mis au point et essayés, un ou deux seulement donnent un médicament commercialisé.

Une forte tendance se fait jour actuellement chez les scientifiques pour tenter d'améliorer cette situation, et d'appliquer les résultats de la biologie moléculaire aux fondements d'une pharmacologie rationnelle. Il est évident que la détermination des objectifs d'une telle entreprise relève de la prévision technologique normative. En 1963, le Président de l'Académie des Sciences des États-Unis. F. Seitz, avait préconisé un effort analogue pour faire sortir l'étude de la céramique de son empirisme excessif et la transformer en une technique rationnelle fondamentale ; les progrès remarquables de la théorie de l'état solide ont presque exclusivement été accomplis au bénéfice des métaux et des semi-conducteurs, laissant loin derrière eux la céramique et d'autres applications.

La société Union Carbide a décidé de reconsidérer les procédés de production traditionnels, « affreusement empiriques », afin de déterminer les objectifs et les possibilités d'une méthode plus scientifique. Par exemple, le graphite de qualité nucléaire a été longtemps produit au moyen d'un procédé qui demandait neuf mois, et personne n'a songé à le modifier, parce que « tout le monde faisait comme ça ».

En 1958, l'Académie des Sciences des Etats-Unis et le Conseil national de la Recherche ont créé un Conseil consultatif des Matériaux, qui a essayé de définir des objectifs de recherche et des « points communs » à l'aide d'une matrice fonctionnelle des matériaux — méthode typique de la prévision normative — de façon à faire converger les recherches sur les matériaux, surtout à des fins militaires. Le Conseil revoit cette étude périodiquement, et la deuxième mise à jour a été faite en 1965.

A l'heure actuelle, l'attitude de l'industrie américaine à l'égard des recherches avancées se ramène à une formule : « Avoir une idée et trouver la personne qui fera l'invention ». United Aircraft, par exemple, tente de mettre sur pied de nouveaux programmes de recherche exploratoire à l'aide d'une prévision technologique normative. L'industrie pharmaceutique, handicapée par la situation empirique de sa technologie fondamentale, essaye néanmoins d'utiliser la prévision normative pour les applications ; la méthode consiste à voir si l'objectif final est clair ou non ; si, par exemple, l'avenir de la thérapeutique de l'asthme est incertain, l'industrie pharmaceutique décide d'entreprendre des recherches sur cette affection.

Une des méthodes les plus modernes d'étude des questions fondamentales est l'application au domaine médical, par Honeywell, de sa technique de prévision normative (voir la section II.4.5.) — mise au point sous l'appellation PATTERN pour la production aéro-spatiale. Il s'est efforcé, à cette occasion, de définir et de faire converger les recherches fondamentales et les applications dans le domaine de l'électronique médicale. Le programme de Honeywell s'en est trouvé complètement transformé.

Un rôle fondamental et extrêmement subtil de la prévision technologique est la *détermination des possibilités et des limites de la recherche fondamentale*. Cette question sera analysée en détail, avec des exemples pratiques de tout ce qu'elle sous-entend, à la section II.3.3., dans le cadre des méthodes d'extrapolation des séries temporelles de paramètres techni-

ques ou de possibilités fonctionnelles. La détermination des possibilités fondamentales par comparaison avec les phénomènes naturels — en dépassant ou en imitant la nature — est un exemple important du rôle joué par la prévision technologique. Celle-ci peut prendre une importance particulière en ce qui concerne la biologie moléculaire et ses conséquences possibles. Bien que les moyens techniques se soient souvent écartés des voies de la nature — la roue, l'hélice, la production d'énergie, etc. — il semble que, dans certains domaines importants, la nature pourrait nous donner des leçons, par exemple pour le traitement de l'information (codage, cybernétique, mécanisme de reconnaissance, etc.), ainsi qu'en thermodynamique (processus naturels optimisés).

Les entreprises aux conceptions les plus modernes appliquent de plus en plus systématiquement la prévision normative au niveau de la technologie et de la science fondamentales, afin de définir les besoins et de déterminer les différentes méthodes possibles pour y faire face. L'exemple de Lockheed (États-Unis) montre comment s'effectue la prévision. Il serait possible de réaliser des superconducteurs organiques à température ambiante. Les conditions théoriques en sont claires : il suffirait d'un nombre minimum de niveaux électroniques. Des recherches sont en cours afin de savoir s'il est possible de réaliser biologiquement ces éléments organiques, en trouvant l'enzyme approprié aux exigences théoriques.

On ne peut déterminer de manière absolue qu'un petit nombre de possibilités. Au Royaume-Uni, Sir George Thomson, Prix Nobel de physique (*réf. bibl. 283*), a essayé de déterminer des limites possibles en les déduisant des principes d'impuissance, c'est-à-dire des lois naturelles qui ne peuvent être violées. (C'est ainsi que les lois de conservation de la masse et de l'énergie enseignent qu'un échange entre ces deux grandeurs obéit à une relation mathématique stricte). Selon sa thèse, les lois vraiment fondamentales des sciences physiques énoncent en fait des principes d'impuissance, version occidentale de la « non-connaissance » de Siu, mentionnée à la section précédente I.4.1.

Les limites possibles, si elles ne sont pas déterminées rigoureusement, se révèlent souvent trop conservatrices. Cette constatation est confirmée par de nombreuses entreprises, IBM par exemple. On peut s'attendre à ce qu'une partie importante de la recherche fondamentale soit consacrée, dans l'avenir, à une meilleure détermination des limitations et des possibilités ultimes. On peut même s'aventurer à prédire que d'ici peu la prévision technologique contribuera largement à orienter la recherche pure, et que la nécessité de connaissances fondamentales, à la fois meilleures et plus nombreuses, comme base de la prévision technologique, conduira à une augmentation considérable de la proportion des moyens consacrés à ce type de recherche. La nature, comme le volume, de la recherche fondamentale seront transformés par l'utilisation systématique d'une prévision technologique de plus en plus perfectionnée.

Cette tendance est déjà visible dans les entreprises dont la direction a adopté une position d'avant-garde. C'est ce que confirme expressément la Xerox Corporation. Au cours des cinq prochaines années, cette société consacrera la moitié de ses recherches, dont le total s'élève à 500 millions de dollars, à de nouveaux produits plus perfectionnés qui ne seront mis sur le marché que cinq ans après le début des recherches. Une proportion

notable de cette somme est consacrée à des recherches scientifiques et technologiques fondamentales, entreprises en vue de fournir des réponses à des questions essentielles que la prévision technologique normative a mis systématiquement en lumière.

I.4.3. Les valeurs intrinsèques de la science et les objectifs sociaux

Nous avons déjà parlé, à la section I.4.5., de l'attitude des scientifiques « purs » et nous l'avons critiquée en reprenant les termes mêmes de Siu. On peut ajouter ici qu'une modification importante se manifeste déjà dans la réaction des scientifiques aux tentatives faites pour utiliser leurs avis d'experts dans la mise au point des programmes nationaux. Les scientifiques français, après avoir refusé pendant cinq ans de définir leurs « options » pour les recherches fondamentales financées par l'État, ont finalement cédé, il y a deux ou trois ans, à la demande du gouvernement et se trouvent bien de cette procédure. Aux États-Unis, on a même pu suivre les efforts déployés par une discipline classique de la science fondamentale, l'océanographie, pour se faire admettre sur le plan social, en évaluant ce que pourrait être la valeur monétaire des investissements dans la recherche (*réf. bibl. 348*).

Dans ces tentatives d' « intégration » de la recherche physique fondamentale et du milieu social, une étape très importante a été franchie par le *Committee on Science and Public Policy* (COSPUP), créé en 1964 par Kistiakowsky et actuellement présidé par Harvey Brooks, sous la double autorité de l'Académie des Sciences des États-Unis et du Conseil national de la Recherche. Des idées analogues ont été exprimées dans le Rapport établi en 1964 par le *British Advisory Council on Science Policy* présidé par Lord Todd (*réf. bibl. 240*), mais aucun signe de matérialisation n'est encore en vue.

Les efforts du COSPUP visent à faire l'inventaire complet des disciplines scientifiques fondamentales, en insistant sur leur valeur intrinsèque. Des savants en renom abandonnent parfois leurs recherches pendant deux ans pour consacrer la plus grande partie de leur temps aux commissions spécialisées du COSPUP qui examinent soigneusement leurs rapports. La documentation de base, établie par des groupes de scientifiques, contient des prévisions technologiques plus explicites.

Un exemple de la méthode à la fois systématique et ambitieuse nous est donné par les « *Reports on the Subfields of Physics* » (*réf. bibl. 22*). Dans huit « sous-disciplines » de la physique, des équipes spécialisées réunissant de nombreux scientifiques de renommée mondiale qui participent quelquefois à plusieurs de ces groupes ont rassemblé des éléments de base précis et tenté d'aboutir à des conceptions communes sur certains problèmes. Nous avons pris au hasard les rubriques suivantes à titre d'exemple :

Main-d'œuvre ;
Moyens financiers ;
Répartition des activités ;
Situation actuelle et future de la discipline ;
Le programme futur : attribution de priorités, recommandations, etc. ;
Questions de principe et questions non encore résolues ;

Modes d'études et niveaux de compréhension ;
Nouveaux outils de travail ;
Possibilités ;
Influence sur les concepts d'autres domaines scientifiques ;
Influence sur les techniques d'autres domaines scientifiques ;
Conséquences sur la technologie, sur les applications, etc. ;
Intérêt scientifique intrinsèque ;
Problèmes d'enseignement ;
Relation avec l'économie industrielle et la défense nationale, possibilités et problèmes de l'industrie et de la physique ;
Besoins de main-d'œuvre dans les cinq prochaines années ;
Prévision de main-d'œuvre sur cinq et dix ans.

Ces titres reflètent l'application délibérée des deux critères définis par Weinberg (*réf. bibl. 24*) pour les choix scientifiques (critères « interne » et « externe »). Ils circonscrivent complètement les domaines de la science fondamentale auxquels peut s'appliquer la prévision technologique normative et exploratoire. On notera en particulier le dosage soigneux des titres indiqués ci-dessus. Les avis émis à leur propos sont catégoriques : il ne peut être question de maintenir la science fondamentale à l'écart des prévisions ni d'accepter avec empressement les résultats scientifiques sans se poser de questions sur l'avenir. Cependant, les problèmes présentés dans ce premier groupe de rapports ne sont pas encore traités de manière suffisamment détaillée pour orienter l'action dans d'autres domaines que la politique scientifique.

Les rapports du COSPUP disponibles depuis le printemps 1966 portent sur les secteurs suivants (le nom entre parenthèses, qui est celui du président de la commission spécialisée, est fréquemment utilisé pour désigner le rapport sous une forme abrégée) : Installations astronomiques (Whitford), Chimie (Westheimer, *réf. bibl. 21*), Calculateurs dans les universités (Rasser), Physique (Pake), Sciences de la production (Thimann). Des rapports sont en préparation pour les mathématiques pures et appliquées (Bers), les sciences de la vie (Handler), et les sciences du comportement (Pfaffmann). Les deux premiers rapports de base (*réf. bibl. 22, 23*) publiés au printemps 1966 portaient sur la physique et la chimie théorique (l'un des rapports de base du rapport Westheimer) ; les autres suivront à une cadence rapide.

L'Académie des Sciences des États-Unis a consacré un certain nombre de rapports à l' « intégration » de la science fondamentale et des objectifs sociaux, plus particulièrement dans les domaines suivants : Océanographie (1958, 1966, ainsi que le rapport fort critiqué sur l'intérêt économique de la recherche océanographique : *réf. bibl. 348*, en 1964), Géophysique des continents, Pollution de l'eau.

En liaison avec le COSPUP dont elle a adopté les grands objectifs, l'Académie des Sciences des États-Unis se propose de déterminer des critères applicables à la recherche scientifique dans le contexte social. La série d'articles relatifs à la recherche fondamentale et aux objectifs sociaux (*réf. bibl. 20*), publiée en 1965, constitue une première exploration de ce domaine difficile. Cette entreprise révolutionnaire du COSPUP et le rôle de premier plan ainsi assumé par un organisme d'une haute compétence scientifique et d'une grande valeur morale peuvent être considérés comme l'événement le plus important survenu dans le domaine de la science fondamentale depuis son « émancipation », au cours de la première moitié de notre siècle. Le

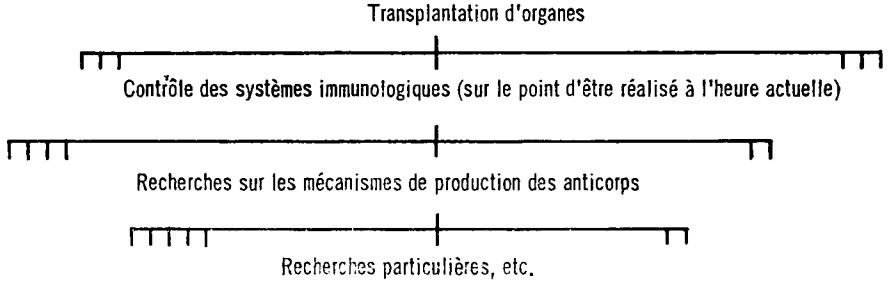
COSPUP pourrait également devenir le point de départ d'études sérieuses de ces problèmes dans d'autres pays ; étant donné leur intérêt scientifique, les rapports du COSPUP pourraient servir de base universelle à la définition de problèmes nationaux ou régionaux.

Ceux qui s'intéressent à ces problèmes appliquent souvent à la science fondamentale des *critères* découlant de considération égalitaires : il faudrait perfectionner au même degré toutes les disciplines fondamentales considérées comme importantes pour les progrès continus de la science et de la technologie ; plus encore peut-être, l'appui financier devrait aller aux secteurs les plus intéressés. Cette seconde considération s'applique particulièrement à la physique des hautes énergies, domaine où l'inconnu se manifeste sous la forme spectaculaire de « signaux » et d'effets (tels que le phénomène de Lamb) qui nous parviennent du néant. Comme le remarque J. Ackeret, « l'électrodynamique quantique d'aujourd'hui est plus mystérieuse que toutes les visions des prophètes. »

La *prévision technologique normative* partant des besoins de la société peut servir de guide et de stimulant à la recherche fondamentale dans les domaines sociaux, tout comme le fait actuellement l'industrie dans le domaine économique (voir la section précédente I.4.2.).

Un des problèmes sociaux les plus brûlants, la guérison du cancer, n'a jamais été étudié aussi complètement ni aussi systématiquement qu'il le mérite. Gabor suggère de « faire l'inventaire de toutes les méthodes physiques qui n'ont pas encore été utilisées dans les recherches sur le cancer (par exemple : la micro-spectrographie des cellules par spectographie de Fourier et par holographie) ». Selon Perutz, le cancer pourrait être dû à la détérioration d'un mécanisme inhibiteur de la division des cellules ; le problème fondamental concernerait alors les mécanismes de reconnaissance entre cellules, domaine de mieux en mieux connu aujourd'hui.

Les graphes de pertinence (voir section II.4.5.), récemment utilisés avec un succès évident pour la prévision normative dans des secteurs techniques (ainsi que dans le domaine de l'électronique médicale), peuvent constituer un outil puissant pour la détermination systématique des solutions possibles des grands problèmes sociaux. Bronowski suggère un exemple de détermination de pertinence :



Pour faciliter les études générales, Bronowsky propose que l'avenir biologique soit traduit en termes de structure. Il suggère également la création d'une commission scientifique de premier plan qui pourrait se réunir périodiquement et contribuer à la mise au point de graphes de pertinence

pour différents objectifs, ce qui permettrait peut-être d'arriver à un accord sur les coefficients de pondération et les seuils de signification à déterminer. (Voir la description détaillée des graphes de pertinence, et surtout de la méthode PATTERN de Honeywell, à la section II.4.5.).

Comme dans le cas des domaines techniques, on pourrait compléter l'emploi des graphes de pertinence par une recherche morphologique (voir section II.3.6.) qui tenterait d'énumérer toutes les combinaisons possibles de paramètres fonctionnels, c'est-à-dire toutes les manières possibles de fournir une solution technique à un problème donné. On pourrait adapter la recherche morphologique aux secteurs non-techniques et à tous les niveaux de transfert technologique, y compris les objectifs et les applications, encore que cela puisse exiger des modifications considérables dans chaque cas.

Les méthodes de prévision normative créent actuellement une véritable révolution dans le développement technique, et l'on peut aussi s'attendre à ce que leur application aux problèmes sociaux ait des répercussions considérables. On dispose maintenant de méthodes propres à faciliter « l'intégration » de la science et de la technologie fondamentales dans le monde réel des besoins et des désirs sociaux : il ne reste plus qu'à modifier l'attitude de ceux qui nient *a priori* la possibilité d'une telle intégration.

1.4.4. Conclusions

Ce chapitre nous amène à trois conclusions générales de très grande importance :

La prévision technologique à forte orientation normative déterminera de plus en plus la nature et le volume de la recherche fondamentale. Celle-ci éclairera à son tour les possibilités et les limitations ultimes qui lui sont assignées par la prévision technologique.

Les attitudes et les méthodes adoptées en matière de prévision technologique, et en particulier les graphes de pertinence utilisés pour la prévision normative, peuvent servir à stimuler et à orienter la recherche fondamentale en fonction d'objectifs sociaux.

Les efforts du COSPUP aux États-Unis pourraient servir de point de départ à des efforts analogues, entrepris dans d'autres pays ou dans d'autres régions pour déterminer les possibilités de la science fondamentale au regard d'objectifs sociaux généraux, et pour donner à la recherche fondamentale la concentration nécessaire.

Chapitre I.5

INNOVATION TECHNIQUE ET PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

L'histoire des découvertes scientifiques et techniques nous enseigne que la race humaine est pauvre en pensées originales et en imagination créatrice. Même quand les conditions extérieures et scientifiques indispensables à la naissance d'une idée sont réunies depuis longtemps, il faut en général une impulsion du dehors pour qu'elle voie le jour; il faut, pour ainsi dire, que l'homme bute contre la chose avant que l'idée lui en vienne.

Albert EINSTEIN.

I.5.1. LES CONDITIONS GÉNÉRALES DE L'INNOVATION TECHNIQUE

On commence à mieux comprendre les mécanismes complexes des transferts technologiques horizontaux et verticaux, par l'intermédiaire desquels l'innovation technique se produit. Les facteurs qui mettent ces mécanismes en action sont moins connus encore. La méthode adoptée aux États-Unis pour l'étude de ces problèmes, au cours de ces vingt dernières années, est la plus laborieuse, mais aussi la seule possible : elle suppose des études de cas et des tentatives de généralisation à partir d'éléments précis, allant des facteurs micro-économiques aux facteurs macro-économiques. On peut maintenant énoncer plusieurs résultats importants, qui ne sont pas conformes à certaines idées traditionnelles, mais mal fondées. Ils montrent où se trouvent les fonctions essentielles de la prévision technologique, capables de stimuler et de guider l'innovation[1].

Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, un programme de recherche permanent — résumé pour chaque décennie — a permis aux économistes de concentrer officieusement leurs efforts sur ce domaine d'étude. On peut y distinguer trois phases, sans lien formel entre elles :

1. Les recherches effectuées entre 1940 et 1951, résumées lors de la Conférence sur la description quantitative de l'évolution technologique, organisée du 6 au 8 avril 1951 à Princeton, New Jersey, sous l'égide du Conseil de la recherche sociale, et plus précisément par deux de ses Commissions, l'une chargée d'étudier la croissance économique, l'autre les conséquences sociales des applications atomiques et de l'évolution technologique. Les Actes de cette conférence ont été publiés.

1. Malheureusement, il ne semble pas que l'on ait essayé jusqu'à présent de définir une typologie de l'innovation technique.

2. Les recherches des années 1950, essentiellement centrées sur 1956 et résumées à la Conférence sur « Le rythme et le sens de l'activité inventive, les facteurs économiques et sociaux », organisée par la Commission du Bureau national universitaire pour la recherche économique, en 1960 à Minneapolis, Minnesota. Les conférences et les discussions sont publiées dans l'ouvrage : « *The Rate and Direction of Inventive Activity* » (*réf. bibl. 65*).
3. Les recherches des années 1960, effectuées au titre du Programme de recherches inter-universitaires sur l'aspect micro-économique de l'évolution technique et de la croissance économique, et financées par la Fondation Ford. Le Comité directeur du programme comprend plusieurs économistes : J. Markham (Université de Princeton, temporairement à l'Université de Harvard en 1966, président officieux), Z. Griliches (Université de Chicago), E. Mansfield (Université de Pennsylvanie), R. Nelson (RAND Corporation), F. Scherer (Université de Princeton). L'attention se concentre actuellement sur la diffusion des techniques nouvelles (une réunion intérimaire organisée en mars 1966 a notamment comporté des conférences sur la diffusion du procédé autrichien LD — processus le plus largement utilisé pour le traitement de l'acier à l'oxygène — et sur la technique des calculateurs).

Plusieurs études récentes ont tenté de déterminer, par des moyens statistiques, les conditions fondamentales qui favorisent l'innovation technologique. Au moins deux de ces études ont abouti à des structures étonnamment uniformes.

1. Le TEMPO Center for Advanced Studies de la General Electric a discerné les facteurs suivants à partir de 75 innovations technologiques importantes du XX^e^ siècle :
   — Effort d'innovation tendu vers un but précis (point le plus important) ;
   — Existence d'une source de financement ;
   — Existence d'une source d'informations (conduisant quelquefois à des inventions multiples) ;
   — Acquisition de connaissances, facteur qui semble parfois favoriser les personnes étrangères aux recherches, mais qui s'y intéressent ;
   — Facteurs accidentels qui, dans la plupart des cas, n'ont joué qu'un rôle marginal.
2. Dans une étude (*réf. bibl. 44*) consacrée à six systèmes d'armes mettant en jeu 87 « événements de développement exploratoire et de recherche », Arthur D. Little a constaté que les facteurs suivants avaient joué le rôle le plus important :
   — Existence d'un besoin clairement exprimé ;
   — Existence de moyens susceptibles d'être *immédiatement* mis en œuvre. (On a observé que même un retard d'un ou deux mois pouvait avoir un effet inhibiteur, les idées ne venant plus, et qu'un retard de six mois constituait un très lourd handicap) ;
   — Existence d'un groupe de personnes expérimentées.

En 1966, la National Planning Association, à Washington, a entrepris d'évaluer le principe, la motivation et les origines de 80 innovations récentes nées dans six entreprises des États-Unis. Les premiers résultats révèlent une structure complexe.

On a récemment montré[1], dans une étude de la révolution industrielle du XIXe siècle, que les lois fondamentales qui gouvernent l'innovation n'ont pas changé dans le temps. L'innovation ne s'est pas produite en France, où se trouvait la science, mais en Grande-Bretagne où existaient des conditions favorables, c'est-à-dire :

L'esprit d'entreprise ;
Une source de main-d'œuvre ;
Un bon système de communications ;
Un système politique libéral ;
Un marché.

Le contexte socio-économique de l'innovation technique n'a cessé de s'étendre depuis lors. Il en est de même aujourd'hui, avec la « deuxième révolution industrielle » (l'automation), les États-Unis venant maintenant en tête alors que l'Europe possédait la science).

Dans chacune de ces analyses, la première place est occupée par un facteur qui sous-entend une forte pensée normative[2]. A cet égard, on constate en Europe un manque général de compréhension que révèle la formule lapidaire : « l'Amérique a des découvreurs, mais pas de chercheurs ».

Nous verrons de façon plus détaillée, à la section I.5.3. ci-dessous. l'intérêt que présente pour l'innovation l'orientation normative de la prévision technologique, du fait de son insistance sur les qualités humaines et sur l'existence d'un intérêt propre.

Le problème des moyens est venu au premier plan au cours des 25 dernières années, les possibilités d'innovation ayant alors dépassé les moyens financiers et les ressources de main-d'œuvre, de sorte que la nécessité du choix a pris une importance considérable. Selon l'enquête effectuée par Mc Graw-Hill sur la recherche et le développement industriels américains en 1955 et 1966 (*réf. bibl. 54*), enquête déjà mentionnée au chapitre I.2, les deux tiers des entreprises voient dans les moyens financiers et les ressources de main-d'œuvre les obstacles principaux aux progrès de la recherche et du développement.

La complexité croissante des nouveaux systèmes techniques exige des moyens financiers de plus en plus importants :

Il faut plus d'un milliard de dollars pour les systèmes d'armes complexes (1,2 milliard de dollars pour le développement des deux prototypes de bombardiers volant à Mach 3, B-70, etc.), pour les réalisations spatiales, et pour certaines recherches civiles financées sur les fonds publics (2 milliards de dollars ont été consacrés globalement, en 1966, au développement des réacteurs rapides) ;

On approche du milliard de dollars pour certains travaux majeurs de développement effectués par une seule entreprise sur ses fonds propres ; (le développement de l'avion à réaction commercial Boeing 707 aurait coûté 700 millions de dollars, celui de la série de calculateurs IBM 360, à technologie logique transistorisée, entre 400 et 700 millions de dollars, etc) ;

Il faut au moins un million de dollars pour la phase initiale de la plupart des innovations techniques actuelles ;

---

1. Lors de la Conférence organisée à l'occasion de la Foire technique de Hanovre (République fédérale d'Allemagne), en avril 1966; l'auteur en ignore la référence précise.
2. Comme le montre l'exemple russe, la pensée normative peut être également effective lorsqu'elle procède de motifs autoritaires.

Il est indispensable de prévoir des « droits d'entrée » pour créer les conditions d'un développement technique hautement spécialisé (locaux de laboratoire protégés contre les vibrations et la poussière, etc ; ces frais sont évalués au moins à deux millions de dollars pour les circuits intégrés).

Les dépenses de recherche et de développement relatives à une production quantifiable d'innovations tendent également à augmenter. Aux États-Unis, les dépenses de recherche et de développement du secteur pharmaceutique ont suivi une progression linéaire au cours des dernières années, essentiellement en raison d'exigences réglementaires, tandis que le nombre des autorisations accordées aux nouveaux médicaments a diminué graduellement et que celui des médicaments mis sur le marché a brusquement régressé entre 1960 et 1965. Le renforcement de la concurrence a aussi joué un rôle dans ce secteur.

La limite inférieure et la limite supérieure des moyens nécessaires à l'innovation technique se sont toutes deux élevées dans le secteur civil, et de nouvelles méthodes d'études se sont révélées indispensables :

Les travaux de développement proches de la limite supérieure des possibilités des entreprises et de l'investissement industriel privé (qui varie selon le pays et le domaine technique) sont financés par des fonds publics (avion de transport supersonique aux États-Unis d'une part, et en France et en Grande-Bretagne d'autre part ; programmes nationaux d'énergie nucléaire dans plusieurs pays, etc) ; il se peut également que, dans des domaines techniques d'importance majeure, des projets civils bénéficient d'un financement public sous la forme de contrats de développement civils, ou selon des modalités analogues à celles du *National Research and Development Council* au Royaume-Uni.

Les projets qui dépassent les moyens des petites entreprises ou qui prennent naissance dans les universités sont repris par des « holdings » — qui absorbent dans la plupart des cas les entreprises où le projet a vu le jour (aux Etats-Unis, Litton Industries, Textron, Standard Oil of Ohio et, sous une forme modifiée, American Research and Development Corporation ; en Suède, Incentive A.B.).

Les projets qui dépassent les possibilités des inventeurs individuels sont repris, sous forme d'acquisition simple ou de contrat de partage des bénéfices, par des entreprises ayant adopté une politique de diversification et de croissance dans le domaine correspondant (Union Carbide aux États-Unis, qui sera sans doute bientôt suivi par Ford Motor Co.) ; cette méthode se substitue en partie au système traditionnel des Sociétés d'investissement dans les petites entreprises qui n'ont plus les moyens de financer la phase initiale, celle-ci pouvant maintenant exiger près d'un million de dollars. (Sur les 900 Sociétés américaines d'investissement dans les petites entreprises, trois seulement ont un capital égal ou supérieur à 10 millions de dollars).

D'ores et déjà, les contraintes générales imposées par les moyens financiers ont joué un rôle considérable dans la mise au point d'une fonction de prévision technologique désignée souvent par l'expression « classement des projets de recherche et de développement », et pour laquelle plusieurs techniques simples de calcul ont été élaborées (voir la Deuxième Partie de ce rapport, et en particulier les sections II.3.10, II.3.4., et II.4.4.).

I.5.2. Taux d'innovation des secteurs industriels

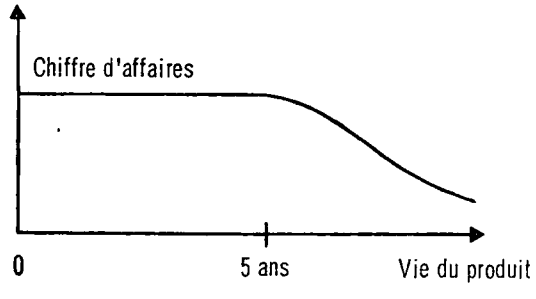
Partant des enquêtes de McGraw-Hill (*réf. bibl. 54*), on peut évaluer le *taux annuel* moyen d'innovation des différents secteurs industriels des États Unis, sur la base du chiffre d'affaires des produits nouveaux par leur nature ou nouveaux sur le marché :

Pourcentages.

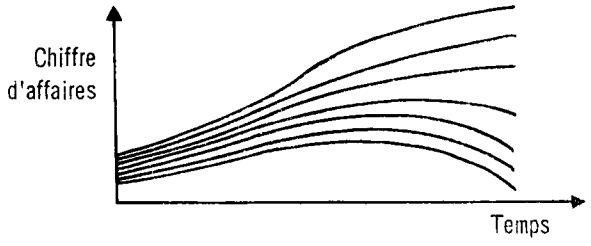
	1961-1965	1966-1969 (prévisions)
Automobiles, camions, pièces détachées	2,5	5,5
Industries aérospatiales	8,5	10,0
Autre matériel de transport (navires, matériel de chemin de fer)		5,8
Équipement électrique	5,5	6,0
Autres équipements	5,8	5,8
Produits chimiques	4,0	4,5
Pierre, argile et verre	3,3	4,3
Métaux transformés et appareillage	4,5	4,3
Textiles	3,3	3,3
Alimentation et boissons	3,0	2,8
Papier et pâte	2,5	1,8
Métaux non-ferreux	2,3	2,3
Produits pétroliers et charbonniers	1,5	1,3
Caoutchouc	1,5	1,0
Toutes autres industries	2,3	1,5
Ensemble des industries des États-Unis	3,5	3,75

Ces chiffres sont les chiffres moyens pour l'ensemble de l'économie américaine. Dans les entreprises ayant un taux d'innovation élevé, ces valeurs peuvent être considérablement dépassées. On connaît des exemples d'entreprises, dans l'électronique et les appareils de mesure, dont le taux annuel moyen d'innovation est voisin de 20 %.

On observe souvent aujourd'hui une fonction de distribution plus ou moins identique pour les produits datant approximativement de cinq à huit ans. Dans les cas où les produits d'une entreprise dépendent de cycles technologiques ou commerciaux caractérisés, ces cycles influencent fortement la distribution en fonction du temps.

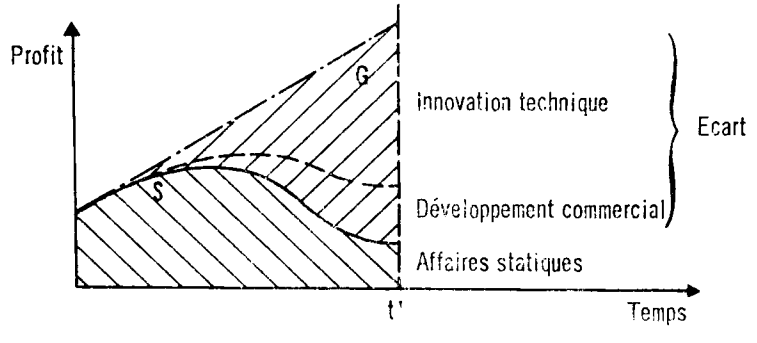


Au niveau de l'entreprise considérée, l'intérêt d'une innovation rapide se fait également sentir comme un effet de « rétroaction » du processus dynamique général. Dans la vie commerciale de produits techniques représentatifs, les chiffres d'affaires maximum se situent à des instants différents après l'apparition du produit sur le marché. La courbe qui en résulte pour le profit total, sans innovation, décroît après une courte montée, tandis que



le potentiel propre à l'entreprise, y compris sa capacité d'innovation technique et de développement commercial, peut conduire à une croissance linéaire du profit.

Au cours d'une enquête sur des entreprises clientes (dont 10 % avaient appliqué la méthode d'analyse des écarts — « gap analysis » — depuis 1963), le Stanford Research Institute a trouvé une relation empirique, selon laquelle l'aire S du profit cumulatif réalisé sur les affaires statiques, devient égale à l'aire G de « l'écart » quand $t' = 7$ à 10 ans, dans le cas d'entreprises modernes typiques, placées dans des milieux légèrement moins modernes.



La rapidité de l'innovation a créé un climat de confiance, renforcé peut-être par la prévision technologique, et qui se reflète dans les réponses données au printemps 1966 à une question posée par McGraw-Hill (*réf. bibl. 54*) : « Prévoyez-vous une percée technologique ou une percée de recherche fondamentale soit dans votre domaine principal, soit au profit de votre domaine principal, en 1969 ? » :

	RÉPONSES AFFIRMATIVES *(pourcentages)*	POURCENTAGES PRÉVUS EN :		
		RECHERCHE FONDAMENTALE	NOUVEAUX PRODUITS	TRAITEMENT
Produits pétroliers et charbonniers	69	—	14	86
Caoutchouc	50	34	33	33
Appareillage	50	—	100	—
Produits chimiques	48	8	67	25
Industries aérospatiales	40	20	40	40
Pierre, argile et verre	38	10	50	40
Équipement électrique	31	20	60	20
Sidérurgie	30	—	—	100
Textiles et vêtements	29	12	13	75
Automobiles et autre matériel de transport	24	—	29	71
Papier et pâte	24	20	—	80
Alimentation et boissons	23	10	30	60
Métaux transformés	20	—	—	100
Métaux non-ferreux	19	—	33	67
Équipement non-électrique	18	12	65	23
Toutes autres industries	24	—	41	59
Ensemble des industries des États-Unis.	28	8	41	51

Cette liste montre à quel point les entreprises sont convaincues de l'aptitude des transferts technologiques verticaux à combler « l'écart ».

L'influence des programmes nationaux, surtout dans les domaines de la défense et de l'espace, sur l'accélération du taux d'innovation dans des secteurs tels que l'industrie aérospatiale, les appareils de mesure, etc., est évidente. L'effet des « retombées technologiques » des programmes nationaux est moins évident, mais — en dépit de toutes les affirmations contraires — il reste très important. Cet effet se manifeste, non seulement par l'obtention indirecte de résultats tangibles, mais aussi — ce qui est très important — par la cadence qu'il imprime à tous les secteurs.

Il est évident que la prévision technologique peut contribuer, de manière visible, à combler les « écarts » qui ne cessent d'apparaître dans les secteurs industriel où le taux d'innovation est élevé.

Une grande entreprise d'électronique qui s'était fixé un objectif de croissance sur dix ans, a relevé l'existence d'un « écart » de 30 %, pour lequel aucun plan n'avait encore été établi. Elle a mis sur pied un service de prévision technologique en bonne et due forme, dont les résultats furent tels qu'après trois ans, un nombre suffisant de programmes étaient en cours d'étude pour que l'objectif se trouve dépassé de 30 %.

D'une manière très analogue, la Xerox Corporation, à Rochester, New York, estime que ses travaux combinés de planification et de prévision technologique lui permettront de combler un « écart » de 1 million de dollars sur son objectif pour 1975, fixé à deux milliards de dollars.

Plus important que l'« écart » de la croissance du chiffre d'affaires, l'écart des révenus nets (bénéfices) doit être comblé. On a constaté, dans l'ensemble, que les techniques nouvelles étaient plus efficaces à cet égard que l'amélioration marginale des techniques existantes, sur des marchés déjà caractérisés par une concurrence serrée.

I.5.3. Éléments nominatifs de l'innovtion technologique

Nous avons déjà souligné, à la section I.5.1., l'importance considérable des conceptions normatives dans la réalisation de l'innovation technologique. Nous avons tenté de grouper, dans la matrice ci-dessous, quelques éléments normatifs qui jouent un rôle important à cet égard :

DOMAINE	PROTECTION CONTRE DES RISQUES	MAINTIEN DE LA POSITION	DÉFI A RELEVER
Militaire	Technique ennemie	Efficacité	Prestige
Économique...	Concurrence	Indépendance, croissance moyenne	Esprit d'entreprise, compétence
Social	Déséquilibre	Conservation	Aventure exaltante

En dehors du cas de l'exploration spatiale (considérée comme une aventure exaltante), on pourrait dire qu'aujourd'hui l'impulsion donnée par les éléments normatifs diminue, dans l'ensemble, en allant du coin supérieur gauche au coin inférieur droit de la matrice. On voit immédiatement la distance qui nous sépare encore du point où nous serons capables de maîtriser notre destin et à quel point c'est lui qui, au contraire, nous domine encore.

Pour illustrer d'abord l'influence puissante des *risques,* nous mentionnerons les études qui ont conduit à conclure qu'en général l'oligopole était plus favorable à l'innovation que le monopole (voir par exemple dans la *réf. bibl. 59,* l'étude faite après la guerre par l'industrie américaine de l'aluminium). Les raisons en sont évidentes. Toutefois, on peut en ajouter ici une autre : la concurrence qui se manifeste entre la technologie et des secteurs industriels complets, et qui domine actuellement tout le domaine énergétique.

Dans le domaine de la technologie militaire, les risques se sont toujours révélés comme un moyen très efficace de susciter des innovations techniques dont les conséquences sont aussi considérables pour le secteur civil. Nous avons déjà cité, au chapitre I.2., le cas bien connu de l'énergie nucléaire. Le radar en est un autre exemple frappant.

Il a fallu, littéralement, inventer deux fois le radar (voir, par exemple, la *réf. bibl. 58*), car l'élément normatif qui aurait pu encourager son développement après la première invention a fait défaut. La première démonstration de la réflexion des ondes radio-électriques par des objets métalliques a été faite par H. Hertz en 1887 et, dès 1922, Marconi préconisait l'utilisation d'ondes radio-électriques de très haute fréquence focalisées pour détecter les navires dans l'obscurité et dans le brouillard. Les événements qui ont définitivement conduit à l'emploi du radar ont aussi commencé en 1922, Taylor et Young ayant alors découvert, aux États-Unis, la possibilité de détecter radio-électriquement des navires mobiles. Ils ont suggéré à la Marine américaine de placer des émetteurs et des récepteurs à haute fréquence à bord des navires, afin que deux bâtiments puissent être alertés au cas où un troisième passerait entre eux. Sous sa forme utile, le radar a été inventé pour la première fois lorsque, en 1930, Hyland et Young (déjà

cité), de la Marine des États-Unis, eurent découvert des moyens de détection radio-électrique des avions. L'idée d'un radar à impulsions était apparue presque instantanément[1], mais elle mourut, faute d'un intérêt qui ne s'est manifesté que quatre ans plus tard, en 1934, quand le radar à impulsions fut réinventé aux États-Unis par Taylor et Young (les inventeurs de 1922), et au Royaume-Uni par Watson-Watt, qui le proposa à la « Commission des Études scientifiques de la Défense aérienne », au début de 1935. Le risque croissant de guerre avec l'Allemagne était à ce moment le principal facteur d'accélération des recherches. On notera que l'objectif fixé à la prévision technologique par la Commission britannique était à ce moment l'étude des possibilités du rayon de la mort ; les chercheurs n'ont pas trouvé le moyen de concentrer suffisamment l'énergie dans ce but, mais ils ont pris conscience des possibilités du radar. Il est également significatif que Göring, en Allemagne, ait rejeté l'idée du radar en 1934 quand elle fut soumise à son attention, parce que — aux dires de certains — il s'agissait seulement d'un dispositif de protection du territoire.

Les menaces de déséquilibre social sont notamment la surpopulation, la criminalité, le chômage, l'acccroissement des loisirs, et les tensions en général.

La technologie alimentaire est un autre exemple d'innovation qui a longtemps été dominée par le souci de *maintenir des positions* dans le domaine militaire. Sous le Second Empire, Napoléon III avait offert une récompense à qui parviendrait à conserver les aliments par stérilisation, en vue d'améliorer l'approvisionnement de l'armée. (La solution, bien que trouvée en France, a été ensuite industrialisée en Grande-Bretagne). La technologie alimentaire, au sens large du terme, a été stimulée par les défaillances logistiques de la première Guerre Mondiale en matière de ravitaillement. Un exemple de développement dans ce domaine, favorisé par la deuxième Guerre Mondiale, est la mise au point du café soluble : Liebig avait déjà essayé de le réaliser en 1866-67 (sous forme de sirop) ; les réalisations japonaises de 1905 reposaient sur l'utilisation d'hydrates de carbone comme support, et les brevets du café « instantané », au sens actuel du terme, ont été pris par Nestlé en 1935. Toutefois, c'est seulement lorsque ces brevets ont été mis à la disposition du gouvernement des États-Unis, au cours de la deuxième Guerre Mondiale, que le café soluble a présenté suffisamment d'intérêt pour devenir, après la deuxième guerre, une innovation technique à l'échelon mondial. C'est encore le souci de maintenir la position d'une entreprise qui est à la base de l'invention du nylon, moins accidentelle qu'on ne le croit souvent. La direction de la société Du Pont, constatant les défauts de la rayonne, avait estimé que la recherche sur les grandes molécules serait un domaine fertile pour des innovations possibles. Elle engagea Carothers, qui avait effectué des recherches universitaires de pointe dans ce domaine. On a vite aperçu les nombreuses possibilités du nylon mais, une fois atteint l'objectif normatif d'ensemble, il fallut relativement longtemps pour que l'on découvre des applications que ne motivait jusque-là aucune préoccupation assez forte : il a fallu de longs délais pour que l'on utilise le nylon comme fibre pour les pneus, et que l'on reconnaisse ses propriétés adhésives.

1. Les dispositifs électroniques, comme les récepteurs à tube cathodique, n'étaient pas suffisamment au point en 1930 pour permettre de réaliser des radars à impulsions, mais il s'agit là d'un facteur secondaire : ils furent rapidement perfectionnés quand les travaux, orientés vers la mission du radar, eurent commencé.

Au début, on n'a pas envisagé d'étudier l'orlon pour les vêtements, mais seulement pour des applications industrielles telles que les éléments de filtre.

Un autre aspect de ce souci de maintenir une position est illustré par l'entrée d'IBM dans le domaine du développement des calculateurs, grâce à quoi une invention s'est transformée en une innovation d'importance majeure. La spécialité d'IBM était le traitement de l'information, et une partie relativement importante de son marché était représentée par les calculateurs scientifiques. En 1949 ou au début de 1950, la direction d'IBM décida d'engager la société dans la mise au point des ordinateurs à seule fin de survivre dans son secteur. Rares étaient ceux qui attribuaient aux ordinateurs de grandes possibilités, avant que la première machine n'apparaisse au début de 1953 ; mais, à la fin de l'année, chacun se rendit compte que c'était là l'avenir d'IBM[1].

L'imitation — non des techniques existantes, mais des recherches et du développement, — constitue évidemment un facteur normatif puissant pour les entreprises qui ne sont pas des promoteurs « nés ». Mansfield (*réf. bibl. 50*) confirme cette observation d'après des études de cas, et l'appelle effet de « contagion » ou de « procession ». Six mois après la démonstration du premier laser, 70 sociétés avaient déjà entrepris des travaux sur le développement du laser et, au printemps de 1966, pas moins de 462 entreprises américaines travaillaient dans ce domaine, qui représentait alors un marché de 75 à 100 millions de dollars[2]. Le directeur technique d'une entreprise de construction aéronautique européenne a récemment admis que l'industrie américaine faisait l'objet d'une « fixation » conduisant au lancement de travaux de recherche et de développement dans les secteurs où l'on sait que certaines sociétés, Boeing, par exemple, déploient une intense activité. La principale raison avancée à ce sujet explique l'attitude adoptée par certaines entreprises qui n'ont pas de politique ni de prévision normatives propres : en l'absence d'une possibilité d'application à la fois définie et proche, les risques seront réduits si l'on sait qu'une entreprise qui dispose de plans à long terme travaille dans le secteur considéré.

Dans le domaine social, le « maintien de la position » sous-entendrait des facteurs normatifs intéressant par exemple la conservation de la nature, les mesures prises contre les effets nuisibles de nouvelles techniques (bruits, pollution, etc.), où l'équilibre entre les gènes humains bénéfiques et nuisibles, équilibre qui est pertubé par des conditions artificielles (voir chapitre I.2.).

Dans la colonne la plus « noble », celle du défi à relever, on trouve un assez grand nombre d'innovations techniques des plus révolutionnaires. Il suffira de mentionner ici la mise au point des transistors (voir chapitre I.2 : en dépit du souci manifeste de maintenir une position, l'esprit d'entreprise a été le facteur déterminant) ; la xérographie ; l'appareil photographique Polaroïd ; l'avion commercial à réaction, et les missiles (dont le développement à grande échelle, aux États-Unis, a commencé chez North American Aviation, en 1952, par la création de la Rocketdyne Division, à un moment où personne ne s'intéressait à ce type de problème, ni n'était prêt à le financer).

Un exemple très intéressant d'invention faite dans le domaine militaire sous l'effet d'une motivation normative de caractère socio-économique est

1. Pourtant, une prévision faite par IBM en 1955 évaluait à 4.000 seulement le nombre des ordinateurs en service en 1965; le chiffre atteint est d'environ 20.000 aux États-Unis.
2. D'après une enquête de Union Carbide, New York.

signalé par Lockheed. Le concept d'aile rotative, qui a révolutionné la technique des hélicoptères, a été mis au point par un ingénieur d'études qui cherchait à réaliser un appareil de grande série.

Une attitude générale, caractérisée par le désir de « développer sa compétence », est adoptée par un grand nombre d'entreprises américaines dans le domaine aérospatial, telles que Hugues Aircraft et North American Aviation (ces deux sociétés finançant des centres de recherche fondamentale sur leurs fonds propres), TRW Systems, et Douglas Aircraft (qui a récemment construit un laboratoire de simulation spatiale de 20 millions de dollars). Toutefois, l'intérêt initial du but à atteindre est actuellement légèrement obscurci par le fait que ces anticipations industrielles deviennent de plus en plus les conditions préalables d'opérations normales à exécuter sous contrats de l'État, dans des secteurs très avancés.

Dans le domaine social, comme on l'a mentionné ci-dessus, l'aventure spatiale constitue un facteur puissant, dont on ne saurait minimiser l'importance si l'on songe aux considérations politiques et militaires en jeu. L'écart est d'autant plus frappant entre l'effort immense qu'a suscité ce défi et les tentatives très modestes que provoque le souci de maintenir une position ou l'existence d'une menace.

Aujourd'hui plus que jamais, l'innovation technique est surtout due à des conceptions normatives précises et à des prévisions technologiques assorties d'une forte composante normative. C'est également le cas des techniques demeurées en sommeil pendant un certain temps, en l'absence d'incitations bien définies. La technique des superconducteurs, pour laquelle tous les éléments essentiels, y compris les liquéfacteurs d'hélium et la technique des gros aimants, existaient vers 1935, n'a été étudiée sérieusement qu'en 1960, au moment où plusieurs applications ont semblé intéressantes. Il y a d'autres exemples : le maser qui, pendant un certain temps, est resté une invention en quête d'applications, en partie parce que son inventeur, C. Towne, a pris une position de chercheur extrêmement « pur » et a refusé de s'engager dans la recherche industrielle (alors que son contemporain, le laser trouvait rapidement des applications et que son inventeur, T. Mayman, se consacre aujourd'hui à la recherche industrielle) ; le gaz de ville fabriqué à partir du pétrole, invention due à Esso Research (États-Unis) il y a un certain temps, mais qui ne présentait aucun intérêt aux États-Unis par suite de l'abondance du gaz naturel, n'a été utilisé par Esso en Grande-Bretagne, (où la situation était toute différente) qu'une fois que ICI, cherchant une source d'hydrogène à bon marché pour la production d'engrais, eut mis au point le réformage à la vapeur et l'eut également appliqué au problème du gaz de ville.

On prétend que, dans le cas d'applications complexes des systèmes, l'absence de besoins clairement définis gêne jusqu'à un certain point le développement actuel du traitement de l'information, de sorte que la mise au point des calculateurs et du « software » qui leur est associé progresse selon des lignes trop générales.

Les occasions et les accidents conduisent quelquefois à une invention (cas de la pénicilline), mais rarement à une innovation. C'est ainsi que la grève de l'acier, qui a duré 113 jours aux États-Unis en 1959, aurait marqué le vrai début de la concurrence de l'aluminium et des matières plastiques.

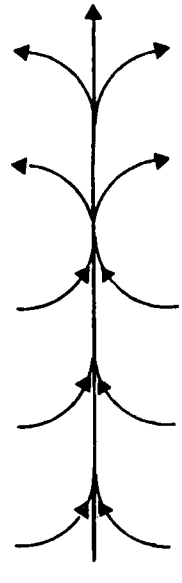
Il existe des domaines d'innovation dans lesquels la pensée normative n'est pas d'un grand secours en raison du caractère très empirique du secteur en cause. L'exemple le plus frappant est celui du secteur pharmaceutique,

dont il a été question au chapitre I.4. ci-dessus. Dans ce domaine, la pensée normative devrait d'abord prendre conscience de la nécessité d'améliorer les connaissances fondamentales. Cet état de chose se reflète dans « l'inefficacité » de la recherche et du développement pharmaceutiques. La probabilité de commercialiser un produit chimique, essayé et mis au point, serait comprise entre 0,03 % aux États-Unis et 0,07 % en Suisse ; en d'autres termes, une grande société devrait mettre au point et essayer annuellement environ 3.000 composés, pour réussir à lancer un ou deux nouveaux médicaments sur le marché. Dans un secteur encore fortement empirique, comme celui des fibres synthétiques, il semble que la probabilité de succès soit de l'ordre de 1 %.

On a constaté que des modifications fréquemment apportées à l'orientation normative d'un projet étaient fatales à l'entreprise. L'exemple le plus connu est celui de la mise au point d'un réacteur nucléaire pour avion, aux États-Unis, qui a dû être abandonné après qu'on lui eut consacré près de 1,5 milliard de dollars, les modifications des critères (et surtout la mission générale) ayant conduit à la stagnation complète du projet et à la démoralisation des personnes qui y collaboraient.

I.5.4. Tendance a une plus grande complexité des transferts technologiques verticaux

Par « plus grande complexité », nous entendons surtout une plus forte interaction entre les composantes de transfert technologique, horizontales et verticales : c'est-à-dire la combinaison de nombreux développements scientifiques et techniques distincts ; « des aspects communs » dans l'application d'un développement particulier à des tâches et à des systèmes fonctionnels variés ; la multitude d'applications et de services qui résulte d'un système fonctionnel.



La *combinaison de développements scientifiques et techniques* est encore plus complexe aujourd'hui, car les notions inter-disciplinaires prennent une importance de plus en plus grande. Cependant, dès 1945, Conant (*réf. bibl. 4*) soulignait l'intérêt du « système conceptuel », dans lequel il voyait la plus importante des conditions préalables à l'invention et à l'innovation. L'industrie européenne cite souvent la difficulté de concevoir les choses d'un point de vue inter-disciplinaire complexe comme l'obstacle le plus important à l'innovation dans les secteurs de pointe. Ce n'est que dans les secteurs les plus dynamiques de l'industrie américaine, et dans les domaines militaires spatiaux que le défi de la complexité semble être accepté dans un esprit positif, grâce à « l'analyse globale des systèmes ».

Deux brefs exemples illustreront ce que peut signifier une attitude d'esprit ouverte à l'égard de la recherche inter-disciplinaire : depuis 1963, Lockheed procède à des recherches propres sur la biologie moléculaire — les premières applications à la technologie aéronautique (!) semblant actuellement possibles — et IBM poursuit des recherches fondamentales en biologie et en astronomie dans son Laboratoire scientifique Watson (à la Columbia University).

La structure complexe de l'interaction entre les grandes et les petites découvertes, et entre les techniques anciennes et nouvelles, se dégage de deux évaluations statistiques de l'évolution de systèmes d'armes complexes américains :

Arthur D. Little Inc. (*réf. bibl. 44*) a étudié pour le compte du Director of Defense Research and Engineering (DDRE), six systèmes d'armes représentatifs (fusées Polaris et Minuteman, etc.). Sur 87 « événements de développement exploratoire et de recherche » qui ont contribué à la mise au point de ces systèmes, deux seulement constituaient des percées techniques relativement récentes, le transistor et le tube à choc à haute température (Kantrowitz), en dehors d'un groupe de découvertes relatives à la fission nucléaire (qui n'entraient pas dans les limites de l'analyse). Les autres événements étaient des petites découvertes et des améliorations de techniques anciennes.

Le « Project Hindsight » (Projet « Rétrovision »), entrepris par l'Office of the Director of Defense Research and Engineering (ODDRE) est une analyse permanente qu'il se propose d'étudier, en remontant le cours du temps : la relation entre les techniques anciennes et les techniques nouvelles, l'incidence du climat de la gestion, et l'indice du coût des investissements consacrés à la recherche. Un premier compte rendu, fondé sur 17 systèmes d'armes résultant de 600 « événements » (génération de connaissances) était en cours de préparation en 1966, et devait être publié sous la forme d'un rapport sans caractère confidentiel. Les conclusions préliminaires montrent que 95 % de la technologie de base utilisée (avec des améliorations et des adaptations) datent de 40 à 50 ans. La recherche fondamentale exploratoire, financée par l'ODDRE dans les universités, n'apparaît généralement pas dans les résultats définitifs. Au contraire, les recherches orientées vers les missions de systèmes bien définis ont favorisé l'acquisition de connaissances utiles ; la fusée subsonique Navaho à absorption d'air, qui est apparue en 1954-1955, trop tard pour pouvoir être considérée comme un sys-

tème d'arme efficace, a donné naissance à une technologie plus fertile que tout autre système. Il faudrait donc encourager délibérément les systèmes fonctionnels qui sont capables de polariser et de stimuler les efforts généraux de recherche.

Aucune autre affirmation ne pourrait souligner de manière plus frappante l'effet puissant de la pensée normative — et de la prévision technologique normative — sur l'invention et l'innovation. Non seulement les systèmes complexes ne ralentissent pas les processus de transfert technologique mais, de toute évidence, ils peuvent contribuer à les accélérer et à les concentrer.

Apparemment, une invention ou un progrès précis survenant dans un sous-secteur technologique peut produire un effet qui déclenchera la chaîne des événements conduisant à l'innovation. Il semble qu'une attitude essentiellement exploratoire puisse conduire à laisser s'écouler de longs délais entre, par exemple, une première et une deuxième inventions, toutes deux essentielles à une innovation technique donnée. D'après l'industrie chimique, ces intervalles peuvent atteindre 18 ans. Mansfield (*réf. bibl. 50*) a constaté que, dans la plupart des industries, c'est rarement la même entreprise qui arrive la première dans plusieurs domaines d'innovations. Les pionniers dans un domaine sont souvent en retard dans d'autres, surtout si un important décalage sépare les deux étapes.

On ne peut naturellement espérer que l'effet « de déclenchement » se produise automatiquement. Toute stratégie faisant une place à cet effet devra reposer sur un examen rigoureux et sur une prévision critique permettant de déterminer les conditions préalables à des progrès vraiment cruciaux. Des exemples, tels que les fusées (connues et appliquées depuis la Grèce ancienne), les besoins des missions spatiales (connus depuis de nombreuses décennies), les méthodes de conversion directe (les principes de la thermo-électricité et de la MHD étaient déjà connus et démontrés au XIX[e] siècle, etc.) ou les turbines à vapeur supercritiques (dont les avantages thermo-dynamiques sont connus depuis les premières études des turbines à vapeur) représentent différents aspects d'un mêne phénomène : la prise de conscience d'un potentiel, en termes concrets, peut précéder de très loin les possibilités de réalisation.

Certaines techniques dépendent plus étroitement que d'autres, et d'une manière clairement reconnaissable, d'*une technologie « précursive »*. Il suffit de mentionner ici la technique des semi-conducteurs et l'impulsion qu'elle a donnée aux techniques des télécommunications et du traitement de l'information qui, à leur tour, jouent un rôle très important pour les techniques aéro-spatiales et celles des systèmes d'armes, etc. On peut aussi distinguer des phases différentes entre différents pays.

De nombreuses matières plastiques étaient déjà connues vers 1920, mais les innovations ne se sont produites qu'après la croissance de la pétrochimie. La chimie des polyesters et du polyéthylène à partir des isocyanates, etc. (mise au point par la firme allemande Baier) a été inventée en 1937, mais n'est devenue une innovation qu'en 1962 avec le perfectionnement du matériel destiné à appliquer le procédé.

Il serait possible aujourd'hui de modifier, compte tenue de relations intersectorielles complexes, le concept d'un « *bourgeonnement* » de l'innovation, c'est-à-dire une succession d'innovations mineures et d'imitations associées à l'innovation principale, concept qui joue un rôle central dans la théorie du développement économique de Schumpeter.

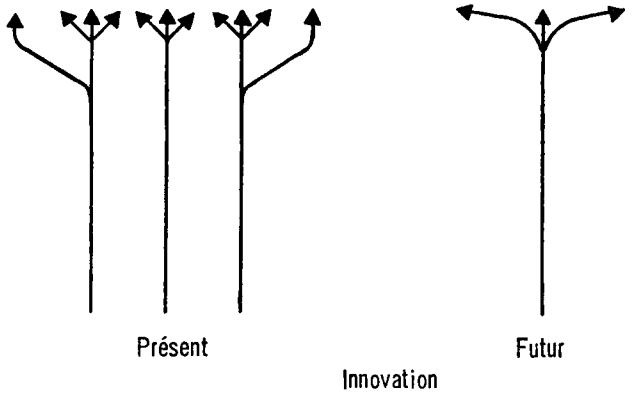
La combinaison de systèmes complexes en systèmes intégrés plus complexes donne encore quelquefois des résultats étranges en l'absence d'expression claire des besoins. Tandis qu'on a d'abord choisi une coque de sous-marin classique pour l'associer à un système de propulsion nucléaire (classe du Nautilus), puis étudié une coque plus moderne pour l'associer à un système de propulsion classique (sans lui avoir assigné de mission particulière), la fusée Polaris, qui avait été définie avant le sous-marin nucléaire, entrait dans une des dernières phases de sa réalisation. Les travaux étaient très avancés lorsqu'on s'est rendu compte des possibilités offertes par un système composé d'un sous-marin nucléaire muni d'une coque plus moderne et de fusées Polaris.

Ce n'est qu'à une époque récente que le problème des « *points communs* » à différents objectifs a reçu une attention accrue. On peut penser que ce problème aura une extrême importance quand on se sera totalement rendu compte des possibilités de développement « modulaires », et que l'on subira plus sévèrement encore les contraintes des moyens disponibles, en présence d'objectifs en nombre sans cesse croissant.

On peut prédire avec certitude que l'application de la prévision technologique aura des conséquences importantes non seulement sur l'efficacité, mais aussi sur la structure des transferts technologiques verticaux. Des méthodes sont en cours de mise au point pour l'étude des transferts technologiques complexes : recherche morphologique (voir section II.3.6.), graphes de pertinence (section II.5.4.), technique des réseaux (section II.4.6.) et analyse globale des systèmes (section II.4.8.). De toute évidence, l'un des facteurs les plus importants de l'innovation — la pensée normative — peut être largement favorisé par la prévision technologique normative et, ultérieurement, par l'étude de systèmes en boucle fermée. On peut s'attendre à ce que ces améliorations soient très importantes pour la reconnaissance et l'utilisation optimale des « points communs », problème primordial dans l'avenir, ainsi que pour le développement de systèmes technologiques complexes.

I.5.5. Role croissant des transferts technologiques horizontaux dans l'innovation

A l'heure actuelle, les *études d'application et de services* tendent à prendre une importance croissante dans l'innovation technologique. Cela veut dire que l'accent, jusqu'à présent mis sur les transferts technologiques



verticaux, passe sur les transferts technologiques horizontaux, encore que les transferts verticaux continuent de jouir d'une certaine faveur.

Dans tous les pays à niveau de vie élevé, on constate qu'un rôle de plus en plus imposant est dévolu aux secteurs des services.

En même temps, de véritables « percées » sont obtenues au niveau des applications. Le succès frappant des appareils Kodak « Instamatic » et « Super-8 » témoigne des possibilités quasi illimitées de l'innovation à ce niveau : alors qu'antérieurement les progrès de la photographie étaient essentiellement orientés par les demandes des photographes-amateurs, qui représentent au plus 10 % de la population dans les pays évolués, Eastman Kodak, en ne faisant appel qu'aux techniques connues, a mis au point un système « à l'abri des erreurs » qui s'adresse avec succès aux jeunes mères et à d'autres groupes représentatifs des 90 % restants.

Il existe apparemment des différences d'opinion considérables sur les applications futures des calculateurs. Tandis que de nombreuses prévisions ne tiennent compte que des applications probables dès aujourd'hui, le Centre d'études avancées de General Electric, TEMPO, estime qu'il conviendrait d'en évaluer les possibilités fondamentales en fonction de la proportion du PNB investie dans les futures applications (les États-Unis servant de base de calcul). TEMPO prévoit que la rapide croissance exponentielle actuelle, évaluée à 200 % en trois ans et demi, va se stabiliser beaucoup plus tard qu'on ne l'admet habituellement, à environ 50 % de la proportion du PNB investie dans les moyens de calcul.

Les études d'application ont déjà pris une très grande importance dans le domaine de l'automation industrielle. Les premiers désappointements éprouvés dans ce domaine, il y a quelques années, ont été attribués au fait que l'on ne s'était pas rendu compte de ce phénomène, et à la croyance que les calculateurs et les systèmes de contrôle pouvaient être vendus tels quels au client. Cette attitude a été sévèrement critiquée, par exemple en Grande-Bretagne.

La signification des études à consacrer aux services dans l'avenir s'éclaircit quand on examine l'intérêt manifesté et les dispositions prises par certaines des plus importantes entreprises américaines dans le domaine des communications (y compris le traitement de l'information) :

La General Electric s'oriente vers l'urbanisme (conception de la ville comme un réseau de communication, voir la *réf. bibl. 377*) ;

IBM est fortement engagée dans le développement des méthodes d'enseignement (dans le cadre des machines complexes à enseigner);

RCA a acquis la Random House Publishing Company (société d'édition) ;

La Xerox Corporation édite un périodique pour la jeunesse, lu par 15 millions d'enfants d'âge scolaire aux États-Unis, et met sur pied un programme de recherche du comportement — ces deux activités étant une préparation au rôle éducatif envisagé pour cette société d'ici dix ans.

Inutile de dire que la prévision technologique a joué un rôle important dans ces décisions à long terme qui portent sur des environnements futurs, bien différents du nôtre.

Les *nouvelles formes de commercialisation* jouent un rôle moteur dans l'innovation technique. L'exemple le plus frappant est, ici encore, fourni par la Xerox Corporation : une machine à copier Thermofax coûte 99 dollars

et produit des copies qui reviennent à 8 cents la page ; la machine Xerox 916 coûte entre 20.000 et 30.000 dollars, mais fournit des copies à 5 cents la page. En dépit d'un coût de fonctionnement inférieur, la situation était très peu favorable à la commercialisation des machines 916. La méthode fondamentalement nouvelle adoptée par la Xerox Corporation consiste, non plus à vendre, mais à louer ces machines à raison de 90 dollars par mois, en offrant gratuitement quelques centaines de copies et en vendant les copies supplémentaires. Elle repose sur l'espoir que la demande croîtra rapidement une fois que l'utilisateur aura commencé à se servir d'un système si peu onéreux. Dans les six ans qui ont suivi son introduction sur le marché, le chiffre d'affaires de la xérographie a atteint 2 milliards de dollars.

On sait que la commercialisation est devenue l'un des facteurs cruciaux de l'innovation dans les domaines des calculateurs, des avions et de l'énergie nucléaire. De nombreuses personnes directement intéressées considèrent que la commercialisation est un facteur plus important pour l'avance actuelle des États-Unis dans ces domaines que ne pourrait l'être une nouvelle technique mettant en jeu un transfert technologique vertical. En Europe, il est facile de constater les méfaits dûs au manque d'intérêt pour les cycles commerciaux et pour l'évaluation correcte des nécessités économiques.

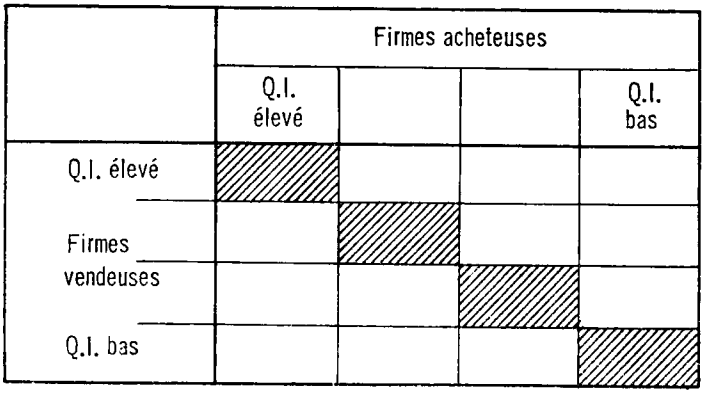
En Europe, la société Olivetti fournit un bon exemple d'effort d'imagination dans le domaine commercial : une combinaison de machine à écrire et de calculateur coûterait beaucoup plus cher que deux machines séparées. Une étude de marché a été effectuée auprès des banques italiennes, qui doivent invariablement — si elles veulent garder leur clientèle — avoir leurs agences dans le centre des petites villes, c'est-à-dire dans les quartiers où la place manque le plus. L'enquête a révélé que les banques seraient prêtes à payer jusqu'à trois fois plus pour avoir une machine combinée au lieu de deux machines séparées.

Au cours des études qui ont conduit à la rédaction du présent rapport, il ne nous a pas été possible de déterminer si le *marché* lui-même fait preuve ou non *d'imagination*. D'un côté, la plupart des entreprises novatrices semblent d'accord sur le fait que très peu d'idées sont créées par le marché. Les entreprises qui mettent au point des techniques fondamentales, celle des semi-conducteurs par exemple, doivent invariablement faire appel à leur propre imagination et à leurs propres prévisions technologiques. Par contre, les applications des systèmes complexes peuvent, dans certains domaines, bénéficier d'un effort d'imagination de la part du marché. IBM préfère toujours travailler avec ses clients et, dans les domaines de l'industrie aérospatiale et de l'énergie nucléaire, ainsi que pour certaines banques, elle estime que ses clients ont une imagination « créatrice ». La mise au point du premier système de réservation des places fonctionnant en temps réel pour les lignes aériennes, a été entreprise en 1955 par une association entre IBM et American Airlines, et le système a été livré en 1962. Ce n'est que plus tard que les autres compagnies aériennes ont adopté ce système. En ce qui concerne cette clientèle de « précurseurs », il convient également de rappeler le rôle de Pacific Gas and Electric dans la mise au point des réacteurs à eau bouillante de la General Electric.

Gellman[1] a proposé une relation générale entre les entreprises vendeuses et les entreprises acheteuses ayant des « quotients d'innovation »

1. A la Conférence sur les Transferts technologiques et l'Innovation, tenue du 15 au 17 mai 1966 à Washington, D.C.

différents (l'analogie de l'abréviation avec celle du « quotient d'intelligence » est sans aucun doute intentionnelle). D'après lui, la vente optimale correspond aux secteurs matriciels où les QI sont identiques pour la vente et pour l'achat. Il y a peu de chance qu'une vente ait lieu entre une entreprise vendeuse à QI élevé et une entreprise acheteuse à QI faible. La réalité est probablement plus compliquée que cette représentation matricielle.



Enfin, les *attitudes nationales* semblent jouer un rôle important dans l'innovation de type horizontal. La petite industrie de consommation, aux États-Unis, semble généralement avoir beaucoup moins peur des techniques avancées que celle des autres pays. Bronowski appelle cette différence d'attitude un « problème patriotique », parce que les techniques de pointe sont devenues la source de sentiments patriotiques.

Nous ne mentionnerons que brièvement ici les très importantes conséquences des *transferts technologiques horizontaux pour les pays en voie de développement* ; ces transferts peuvent donner naissance à de réelles innovations par suite d'une application à des ensembles de facteurs socio-économiques et à des milieux extraordinairement différents. Un exemple nous en est donné par la conversion de l'énergie solaire, mise au point en Israël où on l'a considérée comme non-économique, mais qui est applicable dans d'autres pays d'Afrique et d'Asie. D'un point de vue historique, les travaux sur la conversion de l'énergie solaire ont commencé en Israël — où l'on voyait en eux un « problème patriotique » — tout le monde et chacun proposant des idées (généralement inutiles) qu'il fallait néanmoins examiner. Presque tous les développements ont paru recéler des possibilités d'application, mais non dans les conditions qui règnent en Israël : de petits groupes électrogènes à turbine, dans la gamme de 0,2 à 1 kilowatt, pourraient trouver des applications importantes en Asie, ou pour pomper l'eau du sol dans les régions désertiques ; l' « étang solaire », dans la gamme de 500 à 5 000 kilowatts, qui pourrait produire de l'électricité à un coût voisin de 2 cents le kilowatt-heure, ne serait pas utile en Israël, où aucune région n'est isolée du réseau électrique général ; on pourrait au contraire l'adopter dans les pays où l'énergie électrique nécessaire aux régions isolées est actuellement produite par des groupes Diesel (au coût de 20 à 30 cents le kilowatt-heure pour les groupes les plus petits, et de 2 à 8 cents par kilowatt-heure

pour les groupes importants. Enfin, la production de sel, à partir des « étangs solaires », par vaporisation de la solution saline n'a aucun intérêt pour Israël, qui tire assez de sel de sa production de potasse, mais elle pourrait être rentable ailleurs. Ainsi, bien que la plupart des développements relatifs à l'énergie solaire soient irréalisables en Israël, ce pays poursuit un effort de développement assez important pour pouvoir offrir des innovations aux pays en voie de développement dans le cadre d'un programme d'assistance technique.

1.5.6. Modifications structuelles de l'industrie sous l'effet de l'innovation technique

L'innovation technique ne modifie pas seulement le monde qui nous entoure ; elle introduit également dans la structure industrielle un élément dynamique qui ne s'était jamais fait sentir au même point. Dans le cas où l'on pousse la technologie près de ses limites ultimes, elle tend à modifier profondément le milieu dont elle est issue.

La prévision technologique à long terme, qui embrasse l'ensemble du système industriel, est capable de fournir une image dynamique des interactions et de l'enchevêtrement des progrès, qui n'apparaissent que graduellement à l'heure actuelle, et qui sont — de ce fait — rarement pris en considération dans la planification à long terme.

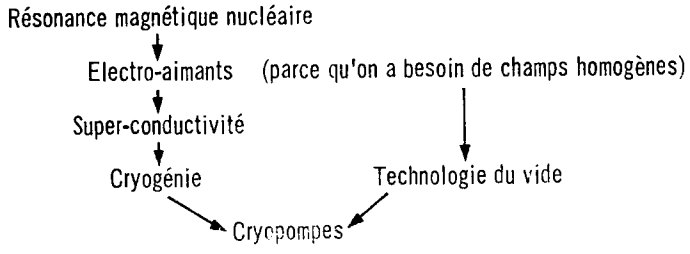
A ce propos, le facteur essentiel n'est pas la *diversification non-fonctionnelle*, terme par lequel nous désignons la diversification qui procède organiquement de l'activité réelle, encore que ce type de diversification prenne rapidement de l'importance. La diversification non fonctionnelle est souvent profondément enracinée dans la science, de sorte que l'on peut en tirer des bénéfices particuliers dès le début.

En fait, l'*activité industrielle* est bien plus affectée par la *diversification fonctionnelle*, qui résulte directement des modifications dues à l'innovation technologique. Elle prend souvent la forme d'une intégration progressive ou régressive le long d'une chaîne d'entrées-sorties de l'activité industrielle. Les entreprises aérospatiales ont éprouvé le besoin de se lancer dans l'électronique, l'industrie électronique est amenée à se demander si elle doit s'intéresser au traitement de l'information ou rester en dehors, etc. Dans de nombreux secteurs industriels, il faut prendre aujourd'hui des décisions dont les conséquences seront très importantes. Même si l'objectif de l'entreprise est bien défini, il est souvent difficile de prévoir la structure changeante des techniques et le lien qu'elles pourront avoir avec l'objectif global, comme James B. Fisk (cité dans la *réf. bibl. 44*) en apporte la preuve en ce qui concerne les Bell Telephone Laboratories : « Il n'est peut-être pas si facile de faire le bon choix, puis de s'y tenir. Par exemple, on peut avoir assez fréquemment à décider si l'entrée dans un nouveau secteur est compatible avec les objectifs à long terme de l'entreprise. Il nous est même arrivé dans le passé — expérience beaucoup plus désagréable — d'avoir à abandonner un secteur très intéressant, dans lequel nous étions déjà bien établis, mais qui menaçait de nous emmener beaucoup trop loin de notre objectif principal, qui est de fournir des services de télécommunications toujours meilleurs. Une définition de la mission est néanmoins nécessaire si l'on veut que l'organisation mette au point les « sujets d'intérêt durable » et voir s'établir les flux technologiques que j'ai décrits plus haut. A long terme, c'est le meilleur moyen de donner à l'entreprise une vitalité et un but permanent ».

Le souci de se maintenir en position a été évoqué ci-dessus au sujet de l'entrée d'IBM sur le marché des calculateurs. C'est un problème critique pour de nombreuses entreprises d'électronique qui doivent aujourd'hui définir leur attitude à l'égard de ce marché, et il préoccupe aussi très sérieusement les grandes sociétés pétrolières, en raison des modifications à long terme de la structure des sources d'énergie primaire. Par exemple, la recherche et le développement des piles à combustible se poursuit avec des moyens peu ou moyennement importants, aussi bien dans les sociétés pétrolières que chez les constructeurs d'automobiles. On apprend parfois que telle ou telle compagnie pétrolière se prépare à diversifier ses activités avec l'énergie nucléaire.

Des conséquences plus immédiates peuvent résulter d'une *attitude qui tend à « faire les choses critiques soi-même »* : le Directeur scientifique d'IBM, E.R. Piore, avait prévu correctement, en 1957-58, une tendance à l'intégration des circuits (cinq ans avant la première réalisation). Sa présentation du problème à la direction de la société avait conduit celle-ci à prendre conscience des modifications de structure auxquelles il fallait s'attendre par suite d'une association progressive de la fabrication des composants de la réalisation des systèmes. La direction a donc pris la décision de créer dans la société un service de fabrication des composants, afin d'acquérir les connaissances voulues en prévision du moment où les micro-modules seraient incorporés dans la technique des calculateurs, c'est-à-dire une dizaine d'années après la prévision initiale à long terme.

De nouvelles activités ont parfois été adoptées simplement parce qu'il était impossible de trouver un fournisseur capable d'assurer la qualité désirée. Les sociétés aérospatiales ont souvent dû mettre au point de nouveaux matériaux, qui ont parfois été repris par l'industrie chimique pour leurs propres fabrications. Ces deux motivations — être maître du navire et garantir la qualité voulue — ont conduit à créer, sous une forme organique, des *chaînes d'intérêt* dans la nouvelle technologie. L'exemple d'une chaîne de ce genre nous est fourni par l'entrée de Varian Associates dans le domaine de la résonance magnétique nucléaire pour l'appareillage scientifique :



L'*application de compétences et de qualifications particulières*, qui est essentiellement un transfert technologique horizontal, conduit à des formes surprenantes de diversification. Toutes les grandes sociétés aérospatiales américaines prennent une part active à la gestion hospitalière ; il est significatif de voir que Boeing ne qualifie pas cette activité de diversification, car

il s'agit de travaux fonctionnellement analogues aux tâches normales de son Département de systèmes d'information et de fusées, c'est-à-dire du traitement de l'information. Toutes les sociétés aérospatiales américaines, ainsi que Sud-Aviation en France, s'intéressent à l'océanographie, et particulièrement aux submersibles de grande profondeur. Le contrôle du trafic automobile, mentionné également par l'industrie aérospatiale américaine, ferait partie du même groupe de diversification fonctionnelle, tandis que la désalinisation de l'eau de mer peut constituer une déviation d'un développement organique. Au contraire, l'intérêt porté à l'énergie nucléaire par North American Aviation, vers 1950 (Atomics International) a été une mesure prise dans le cadre de la création d'un département de fusées (Rocketdyne) et d'un département de guidage (Autonetics), au titre d'un programme à long terme pour la mise au point de fusées.

Les modifications de structure des systèmes industriels dues aux conséquences des techniques prévisibles seront encore plus révolutionnaires que les conséquences des techniques nouvelles sur les diverses entreprises. *Le jumelage d'activités industrielles*, lorsque les techniques parviennent à leurs limites ultimes, deviendra un phénomène d'une très grande importance. C'est déjà le cas, aujourd'hui, avec les circuits intégrés pour la microminiaturisation de l'électronique, car les tâches du fabricant de composants et celles du réalisateur de systèmes commencent à ne plus pouvoir se distinguer (voir la *réf. bibl. 333* et, pour une analyse de ce problème en Europe, la *réf. bibl. 26*). Cette tendance va se poursuivre avec l'intégration encore plus poussée des micro-modules (de 1.000 à 10.000 circuits), qui apparaîtra en 1968 ou 1969. Un autre exemple est l'avion hypersonique (de Mach 5 à Mach 7), que l'on prévoit pour 1975 à 1980, et qui rendra presque imperceptible la démarcation entre les fonctions du constructeur de cellules et celles du fabricant de propulseurs. L'avion hypersonique se ramènera essentiellement à une grande ouverture d'aspiration et à une grande tuyère, reliées par un tube qui portera une cabine. Il ne comprendra ni turbine à gaz ni aucun appareil analogue.

Un autre facteur d'importance essentielle pour les modifications de structure des systèmes industriels, est *l'invasion* d'un secteur (habituellement stagnant) par un autre secteur (dynamique). Un rapport de A. D. Little (*réf. bibl. 45*) contient une excellente étude de ce phénomène, que l'on peut considérer comme un facteur de sélection positif du point de vue de l'économie nationale. Nous citerons, à titre d'exemple, l'invasion de l'industrie textile par le secteur chimique, du secteur des produits chimiques par la pétrochimie et réciproquement (l'indépendance à l'égard des matières premières constituant ici un attrait supplémentaire) etc. Dans le secteur des produits chimiques agricoles, trois facteurs ont transformé radicalement l'industrie depuis 1963 : l'invasion par les sociétés pétrolières, la tendance à l'agrandissement des exploitations agricoles (aux États-Unis), et l'intégration régressive de l'industrie alimentaire (pour influencer les activités des exploitants).

On peut considérer le remplacement progressif des matériaux naturels par des produits synthétiques comme une autre forme d'invasion. C'est en constatant que la population humaine s'accroît plus vite que la population animale, et que les travailleurs acceptent de moins en moins de travailler à la préparation des peaux, que Du Pont a décidé de mettre au point un cuir artificiel (Corfam).

Les modifications structurelles de l'industrie et des systèmes industriels sous l'effet de l'innovation technique ont des conséquences si graves que l'étude de ces modifications deviendra l'un des problèmes essentiels de la prévision technologique à long terme. Certaines entreprises avancées, qui ont déjà mis sur pied un service de planification et de prévision systématique, ont pris conscience de ce problème. On pourrait également penser qu'il mérite d'être pris en considération à l'échelon national et international, en raison de ses conséquences sur la structure de l'économie et de son importance pour le potentiel du pays.

1.5.7. Conclusions

Les remarques que nous venons de faire au sujet de l'innovation technologique, aspect central de la prévision technologique, nous ont conduit aux principales conclusions suivantes :

- La nature propre de l'innovation technologique favorise généralement une méthode normative, qui peut être largement mise en valeur par l'application d'une prévision technologique comportant elle aussi une forte composante normative, afin de stimuler et d'orienter les processus de transfert technologique ;
- La prévision technologique est le moyen le plus efficace dont on dispose pour combler l' « écart » et maintenir une croissance rapide continue ;
- La prévision technologique influencera fortement la structure des transferts technologiques verticaux, surtout en améliorant largement l'exploitation scientifique des « points communs », et en concentrant et en accélérant le développement de systèmes techniques complexes ;
- La prévision technologique élargira les domaines des applications et des services, favorisant ainsi la tendance aux transferts technologiques horizontaux ;
- La prévision des modifications structurelles de l'industrie et, ce qui est encore plus important, des systèmes industriels, sous l'effet de l'innovation technique — surtout dans les domaines avancés, où les techniques sont poussées jusqu'à leurs limites ultimes — deviendra l'un des plus importants problèmes de la prévision technologique à long terme, peut-être même à l'échelon national et international.

Chapitre 1.6

PRÉVISION ET PLANIFICATION TECHNOLOGIQUES

Au sens littéral, l'imprévision suppose que toute action est accomplie sans être reliée ni à une expérience passée, ni à la situation actuelle, ni à une action future délibérée. Le prix de cette folie est la « non-survie »; et pourtant, c'est ce qui se fait, jusqu'à un certain point, dans les entreprises sujettes à de fréquentes modifications de la direction. L'erreur évidente, en l'absence de prévision, est que toute action devient aléatoire, et limitée seulement par les cas extrêmes des différentes solutions possibles.

Ralph Charles LENZ, Jr.

La chance est le résultat d'une bonne planification.

Dicton populaire de l'industrie américaine.

1.6.1. INTÉGRATION CROISSANTE DE LA PRÉVISION ET DE LA PLANIFICATION TECHNOLOGIQUES.

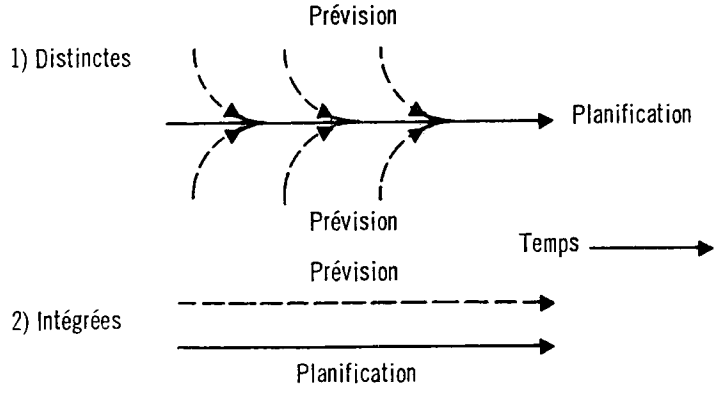
La relation intime entre la prévision et la planification, notion aujourd'hui familière, était moins évidente tant que l'on ne voyait dans la prévision technologique qu'un exercice exploratoire. Avant 1960, l'opinion générale considérait comme justifiée l'existence d'une séparation artificielle ; elle s'est exprimée dans une étude de prévision technologique effectuée par le Battelle Memorial Institute en 1959 (*réf. bibl. 90*) : « Il est clair qu'aucune prédiction n'est actuellement possible. Les conditions nécessaires à la mesure, à une théorie de l'évolution, à la définition des effets présents et futurs du milieu, et aux possibilités quantitatives des communications ne sont pas encore satisfaisantes. Au niveau de difficultés immédiatement inférieur, les conditions nécessaires à la projection ne sont pas non plus remplies. En ce qui concerne les tentatives d'anticipation et de contrôle de l'avenir, dans les processus de recherche et de développement, la situation actuelle semble s'orienter vers la planification d'objectifs prédéfinis... La planification se ramène à une projection ou même à une prédiction, si les problèmes à résoudre par la recherche ou le développement planifiés sont prévus avec précision, et si la mesure des moyens qui y sont consacrés est reliée explicitement au temps nécessaire. »

Il n'y avait plus qu'un pas à franchir entre la prise de conscience du potentiel et les « prophéties qui s'accomplissent d'elles-mêmes », telles que les sous-entend cette affirmation d'une attitude fondée sur l'exploitation

consciente de possibilités. Ce pas a été franchi quand on a mieux compris le rôle primordial de la réflexion normative dans l'innovation technologique, et ce fut là une véritable révolution de la planification technologique. Le changement essentiel devient apparent quand on compare la situation actuelle aux déclarations suivantes du Battelle Memorial Institute (*réf. bibl. 212*) : « Evidemment, la première étape à franchir quand on effectue une prévision technologique consiste à déterminer l'objectif à atteindre... La deuxième étape, c'est de décider ce qu'il convient de prévoir. Il s'agit là d'une question importante qui peut exiger une étude des tendances dans des domaines qui intéressent l'activité de l'entreprise ou de l'organisme considéré. D'après nos définitions, la prévision tiendra compte de l'influence des forces prévisibles, afin d'identifier les besoins et les désirs futurs probables, compte tenu des milieux en interaction. »

A l'heure actuelle, tous les grands instituts de prévision et les principaux bureaux d'études qui effectuent des prévisions technologiques — Arthur D. Little, Battelle Institute of Technology, Stanford Research Institute, Illinois Institute of Technology (Corplan), Quantum Science Corporation, etc. — considèrent leurs services de prévision comme étroitement associés à leurs fonctions de planification collective. A l'exception — d'ailleurs partielle — du Stanford Research Institute, qui a été le premier à organiser un service permanent de prévision (en 1959) et qui dispose d'un état-major à plein temps dans ce but, les services de planification et de prévision sont combinés et animés par les mêmes personnes.

On peut représenter graphiquement la différence entre des services de planification et de prévision séparés et complètement intégrés. La prévision séparée tente d'infléchir, par à-coups, la direction de phases discontinues de la planification ; dans les méthodes totalement intégrées, la prévision fournit en permanence une ligne de conduite et une impulsion à la planification.



La méthode intégrée repose sur l'idée que « la prévision technologique n'a d'intérêt que si elle contribue *aujourd'hui* à la planification » (affirmation due à TRW Systems, Redondo Beach, Californie, mais qui est très souvent exprimée par les entreprises bien organisées, sous une forme ana-

logue). L'appel de Georges Doriot en faveur de plus d'action et de moins d'analyse — « Les Etats-Unis se détruiront par l'analyse » — confirme ce point de vue[1].

Les plans établis par la NASA pour l'exploration de la planète Mars montrent, sous une forme schématique, comment la prévision à long terme peut influencer l'action d'aujourd'hui. Le programme, tel qu'il est conçu à l'heure actuelle, est le suivant :

1966 . . . . La technique du projet est déterminée par une prévision technologique sur dix ans (besoins, projections de l' « état de l'art », différentes possibilités, points sur lesquels la recherche doit se concentrer, etc.) ;

1966-1975 . Préparation des options techniques par des travaux de recherche fondamentale et appliquée, à l'échelle moyenne, afin de matérialiser les prévisions de 1966 ;

1975 . . . . Décisions sur la mission martienne ;

1975-1985 . Travaux de développement à l'échelle réelle ;

1985 . . . . Mission martienne.

La prévision à échéance de vingt ans, jointe au Plan national français à compter du cinquième plan en cours d'application, a aussi pour objectif d'esquisser les tendances générales et de déterminer les grandes options dont il faudra tenir compte dans l'exécution du plan quinquennal officiel. Les sociétés qui élaborent des plans à long terme ont un système analogue de prévisions sur 10 à 20 ans, faisant apparaître les besoins à long terme et les options techniques qui permettraient d'y faire face ; ces prévisions servent, par conséquent, à concentrer les recherches, les projections les plus proches se transformant en une planification formelle, et prenant corps dans un plan quinquennal concret.

L'American Telephone and Telegraph Co. détermine actuellement ses besoins pour l'an 2000. Partant d'une population évaluée à 300 millions d'habitants aux États-Unis, et d'une estimation de 400 millions de lignes téléphoniques principales (soit un chiffre décuplé par rapport à 1966, alors que les évaluations européennes correspondantes admettent une saturation à 60 à 70 % du nombre d'habitants), F.R. Kappel, Président de l'A.T. and T., a récemment annoncé que l'ensemble des systèmes de commutation téléphonique serait entièrement électronisé dans le Système Bell d'ici à l'an 2000. Cet objectif, à lui seul, suppose une dépense totale de 21 milliards de dollars. De vastes recherches techniques, telles que le vidéo-téléphone, prennent forme actuellement et figurent dans la planification globale, mais les techniques particulières qu'elles utiliseront ne sont pas encore définies ; plusieurs variantes techniques sont en cours de préparation pour le vidéo-téléphone (la transmission numérique actuellement utilisée pour les essais étant probablement trop chère).

On notera à ce sujet que le concept de la « dynamique industrielle » de Forrester (*réf. bibl. 198*), qui s'est révélé extrêmement fertile pour la planification, englobe une fonction technique et une fonction de planification commerciale, comme le veut le système intégré évoqué plus haut.

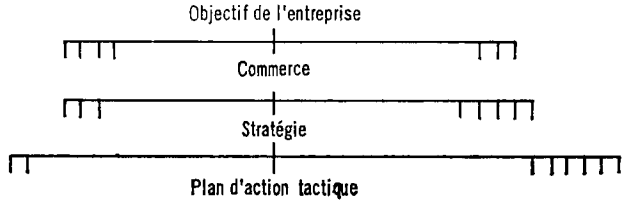
1. On a fait remarquer que des projections de nature essentiellement exploratoire ont parfois pour but d'éviter la planification. Une attitude extrême dans cette voie a été exprimée par un haut fonctionnaire européen, qui a attribué l'hésitation de son pays, dont le gouvernement était pourtant socialiste, à la crainte que « la planification ne l'oblige à agir ».

Il est possible de déceler une tendance « naturelle » vers l'intégration de plus en plus complète de la prévision et de la planification de sorte que, à partir de 1970, la fonction de prévision technologique sera probablement de plus en plus « diluée » dans la fonction de planification. Il est probable que, dans 10 ans, on ne parlera plus de prévision technologique. Tant qu'elle sera une fonction mal définie et un art manquant de maturité, elle aura tout à gagner à faire l'objet d'une attention particulière et d'un effort distinct. Mais, de toute évidence, elle ne constitue qu'un auxiliaire de la planification dont elle assurera à long terme l'enrichissement. On en voit déjà des exemples (voir chapitre III.2. sur l'industrie), qui mettent d'ailleurs en évidence une importante conséquence possible : la planification, qui est désormais orientée vers les produits, par suite d'une forte intégration verticale de la grande industrie au cours des vingt dernières années, risque de se tourner vers les fonctions, au niveau où sont commandées les interactions liées aux transferts technologiques. Cette tendance générale va probablement s'accélérer et se renforcer avec l'arrivée de nouveaux systèmes de données de gestion, dans lesquels la prévision technologique se trouvera englobée (voir aussi la section II.5.2.).

I.6.2. Caractère normatif de la planification

Le titre de cette section est presque une tautologie. Pourtant, certains aspects importants de cette question ne sont pas évidents en soi.

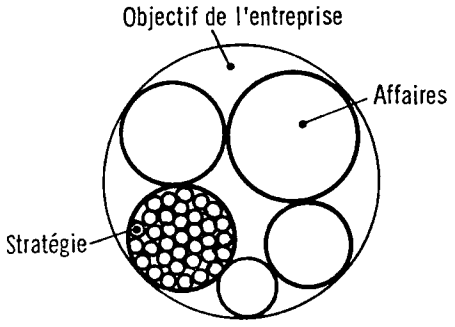
Une structure de planification collective permet de caractériser les relations normatives dans un graphe de décision (voir également la *réf. bibl. 204*) :



La tâche la plus difficile consiste à maintenir, pour les besoins de la planification, les communications entre les techniques applicables aux niveaux inférieurs. Une planification efficace doit couvrir l'ensemble des « points communs » sous une forme optimale. On comprend mieux aujourd'hui que le problème des communications, non seulement entre les techniques mais surtout entre les individus, est le plus important qu'une entreprise ait à résoudre dans son organisation (voir, par exemple, la *réf. bibl. 209*).

Le système Plan-Programme-Budget du ministère de la Défense, aux Etats-Unis (voir Annexe A.2.4.), repose également sur un graphe de décision et insiste sur les « points communs » (l'avion polyvalent F-111, etc.).

L'un des buts de la planification consiste à combler progressivement le domaine couvert par les objectifs collectifs au moyen d'actions planifiées, de façon à réduire les écarts dûs aux actions qui échappent à la planification.



A mesure que la planification recouvre le domaine des objectifs collectifs, la pensée normative se concentre de plus en plus sur un objectif collectif uniforme, c'est-à-dire au sommet du graphe de pertinence, ce qui est certainement souhaitable d'un point de vue général.

Dans l'industrie, la planification est loin d'être parvenue à cette étape ultime, même dans les entreprises dont les plans sont de plus en plus perfectionnés. Plusieurs entreprises ont adopté une politique d'évaluation et de préparation des projets (complétée dans certains cas par des travaux de recherche), et peuvent de ce fait avoir des projets tout prêts en réserve. Elles sélectionnent les meilleurs pour les inclure dans un plan formel à moyen terme, quelques autres faisant l'objet de travaux de développement qui tiennent compte des ressources, du marché et d'autres facteurs. On en a des exemples dans les secteurs où des « stratégies de capture » souples jouent un rôle important notamment dans le secteur aérospatial (Boeing, etc.) et dans les secteurs orientés vers la consommation (3M Company - Minnesota Mining and Manufacturing Company).

C'est une planification de ce genre, comportant une abondance de projets entre lesquels un choix est fait à l'aide d'une prévision normative applicable à tous les niveaux, qui a permis de mettre au point diverses méthodes simples de préparation des décisions et de classement des projets (voir en particulier les sections II.3.10., et II.4.1. à II.4.4.). Les plans combinés, établis à l'aide d'un graphe de pertinence (voir section II.4.5.) sont adaptés aux problèmes dans lesquels la réflexion normative commence au niveau le plus élevé ; ils permettent d'opérer des choix aux niveaux en régressant pas à pas.

Dans certains cas remarquables, la définition claire d'un objectif collectif conduit à l'adoption d'objectifs sociaux suprêmes, permettant de préparer les décisions dans le cadre de l'entreprise ou de toute une organisation. Il faut faire la distinction entre l'adoption purement verbable de tels objectifs, et une attitude vraiment délibérée. Un excellent exemple de planification conforme aux objectifs sociaux ultimes est celui de l'American Telephone and Telegraph ou Système Bell[1]. La politique explicite de cette compagnie

1. En ce qui concerne les conséquences sur l'organisation, voir la Section III.2.5.

a eu notamment pour effet de réduire les coûts dans des secteurs sociaux ; c'est ainsi que le coût d'investissement, évalué d'après les distances, dans les systèmes de télécommunication, a été ramené de 200 à 25 dollars au cours des vingt dernières années, grâce au processus de développement qui a abouti aux relais hertziens, à partir des lignes téléphoniques aériennes, en passant par les câbles coaxiaux. En l'absence de concurrence réelle, c'est l'attrait des objectifs sociaux qui a provoqué cette attitude normative. La Division de l'espace et de l'information à la North American Aviation a récemment mis au point un concept matriciel ambitieux (voir section II.4.2.), afin d'associer son service de prévision et son service de planification à l'objectif social défini par « l'espace en tant que milieu profitable à l'homme ». Sous l'égide de McNamara, cette attitude « sociale » domine également de plus en plus les décisions techniques prises par le ministère de la Défense aux Etats-Unis.

La notion de synergie, dont la signification s'exprime succinctement par la formule suggestive « effet 2 + 2 = 5 » (voir *réf. bibl. 192*) constitue un autre objectif de la planification, manifestement associé à la reconnaissance de certains objectifs propres à l'entreprise, mais aussi de buts sociaux.

Le cas des avions de transport à réaction montre jusqu'à quel point une prévision technologique fortement normative peut influencer la planification à long terme — on retrouve ici la « prophétie qui se réalise d'elle-même » (*réf. bibl. 311*). L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale avait publié une prévision à leur sujet en 1957-58, avant que ne se développe l'emploi des avions commerciaux à réaction. On admet généralement aujourd'hui que cette prévision a considérablement accéléré l'évolution, et que plusieurs compagnies aériennes ont fondé leurs décisions sur cette étude. Il est possible qu'un certain effet de « contagion » se soit aussitôt produit, mais la définition claire du but poursuivi et la détermination des conséquences économiques ont joué un rôle extrêmement important en déclenchant tout un ensemble de décisions dans le même sens.

I.6.3. Stratégie de la planification

On peut distinguer trois formes fondamentales de stratégie auxquelles contribuent des prévisions technologiques de types tout à fait différents :

1. Une stratégie « défensive », dans laquelle les travaux de recherche et de développement sont entrepris à titre de précaution contre une surprise de la part d'un concurrent. Dans ce cas, la prévision technologique est à prédominance exploratoire et vise à saisir l'ensemble des possibilités, même celles qui sont improbables. La General Motors a adopté une politique « défensive » de ce genre.
2. Une stratégie qui vise à une harmonie complète avec les cycles d'acceptation (aussi bien techniques qu'économiques). Telle a été la stratégie du développement des calculateurs IBM, ou celle du Bell Telephone Laboratory (A.T. and T.) (voir également la description du développement du système des relais hertziens TH par Bell, dans la *réf. bibl. 52*). C'est également dans ce cas que les « stratégies de capture », caractéristiques des entreprises travaillant pour le gouvernement des États-Unis, trouvent leur meilleur champ

d'application. Une entreprise, même de moyenne importance, peut découvrir à l'égard de ses concurrents une stratégie optimale en sortant des produits légèrement améliorés un an après les grandes cassures des cycles d'acceptation. Les tests d'acceptation peuvent fournir l'occasion de mettre au point des projections de la demande et faciliter l'adoption de variantes techniques. (C'est ainsi que A.T. and T. a mis à la disposition de l'Union Carbide un service de vidéophone reliant ses bureaux de New York et de Chicago, afin d'évaluer l'intérêt de cette innovation dans les milieux d'affaires). Cette forme de stratégie se propose aussi de trouver un juste milieu entre des recherches destinées à développer une technique nouvelle et l'adaptation d'une technique existante (par achat de licence, etc.). L'ensemble de la chimie du silicium, développée aux États-Unis par de grandes sociétés, montre qu'une entreprise « a consacré trop de temps au stade de la recherche » (alors que deux autres avaient déjà lancé leurs produits sur le marché).

3. Une stratégie qui vise à dominer l'un des deux cycles d'acceptation, voire les deux. Des exemples de tentatives faites pour commander le cycle d'acceptation technique en repoussant les frontières techniques aussi loin que possible, nous sont donnés par la Xerox Corporation, qui a produit un peu trop tôt la LDX (xérographie à grande distance)[1], ainsi que par des entreprises de petite importance mais très alertes, qui essaient d'appliquer une stratégie « par bonds », en travaillant à échelle réduite, mais avec une grande avance sur leurs concurrents. La domination du cycle économique est l'objectif stratégique de la General Electric dans le secteur de l'énergie nucléaire. Il convient de faire une distinction entre la dominatoin complète du secteur, obtenue par un monopole, et la domination d'un cycle économique, qui consiste plutôt à régulariser et à optimiser le développement, et qui est peut-être souhaitable même d'un point de vue plus général, notamment pour l'ensemble de la société.

On peut naturellement trouver des combinaisons de ces différentes stratégies dans les entreprises dont les intérêts sont diversifiés. C'est ainsi qu'Olivetti (Italie) distingue — d'une part — les domaines commerciaux dans lesquels cette société occupe 30 % du marché mondial, ce qui donne à penser qu'elle a adopté la troisième stratégie, et — d'autre part — les secteurs économiques dominés par des précurseurs, ou dans lequels interviennent des facteurs non-contrôlables par les entreprises et qui exigent par conséquent la mise en œuvre d'une stratégie prudente, c'est-à-dire la deuxième. Des stratégies peu orthodoxes, telles que la concentration du développement pharmaceutique sur des procédés bon marché au lieu de nouveaux produits (Bofors, Suède), ou la fabrication d'engrais hautement concentrés, permettant un transport économique (Industries Minières d'Israël) peuvent conduire à des succès remarquables.

L'alignement des stratégies sur les travaux « précurseurs » peut être un signe de sagesse aussi bien qu'un manque d'imagination. L'industrie européenne met fréquemment à profit un déphasage prédéterminé entre les développements aux États-Unis et en Europe pour définir sa stratégie. Il en a

1. Le système LDX, techniquement parfait, a été mis sur le marché en 1965, et le chiffre d'affaires correspondant s'est accru en 1966.

été de même pour la prévision à long terme (« Groupe 1985 »), établie pour le Cinquième Plan français. Dans le domaine des télécommunications, ce déphasage est particulièrement prononcé et facilite considérablement la planification des futurs systèmes européens, tant en ce qui concerne les estimations de la demande que la technologie qui suit généralement les développements américains avec un décalage de 5 à 6 ans[1].

La prévision technologique peut faciliter l'adoption de stratégies dans tous les domaines : développement des produits, prospection du marché, et pénétration sur le marché. Ses relations étroites avec les études de marché seront analysées plus en détail au chapitre III.2, consacré à la prévision technologique industrielle.

Il n'est pas rare que l'industrie élabore des plans « mobiles », révisés tous les ans, mais on constate avec surprise que certains des plans techniques militaires (par exemple en France et au Royaume-Uni) s'effectuent dans le cadre d'une période « fixe » de cinq ans.

I.6.4. Aspects quantitatifs de la planification

En règle générale, la planification a besoin d'informations quantitatives en matière de prévision. Un scénario descriptif peut fournir des objectifs de planification généraux, mais il sera généralement sans grande utilité pour la détermination d'une stratégie et pour la définition des étapes à franchir. Les plans quinquennaux mobiles réclament généralement une quantification complète de la prévision technologique.

Certains travaux de planification n'exigent pas une quantification précise en raison des effets « d'échelle » auxquels il faut s'attendre. Les grands constructeurs d'automobiles, la General Motors par exemple, soulignent que si l'analyse économique de leurs projets de recherche et de développment n'a qu'une valeur marginale, c'est uniquement en raison du volume de la production d'automobiles, qui transforme un projet en succès s'il est techniquement et économiquement sain. Fairchild s'est rendu compte que les circuits intégrés représentaient une percée technique aux conséquences si importantes qu'il s'est lancé dans leur mise au point sans chercher à déterminer quantitativement ces conséquences, et même sans se préoccuper de faire une étude de marché en bonne et due forme, l'idée étant apparemment de « fabriquer d'abord, et de vendre ensuite »[2].

L'examen du climat dans lequel se fait la prévision technologique (voir section I.5.3.) montre que les méthodes utilisées pour quantifier les informations sont hétérogènes :

Domaine militaire : Évaluation comparée des coûts et de l'efficacité (lancée par les États-Unis, suivis par le Royaume-Uni, la Suède, etc.) ;

Domaine économique : Rendement des investissements, généralement considéré comme la valeur actuelle nette d'un projet (voir section II.3.10) ;

---

1. Il n'existe aucun déphasage dans le cas de la technique de commutation téléphonique. Après une mise en service temporaire, il a fallu démonter les centraux entièrement électroniques installés à Morristown, Illinois (États-Unis) et à Highgate Wood (Grande-Bretagne) en 1960-61 et 1963 respectivement. Le plus ancien des centraux semi-électroniques, dont sept étaient en fonctionnement à la fin de 1965, est le central de Färbergraben (Munich), en Allemagne. Des centraux semi-électroniques ont été mis en service en Allemagne, en Italie, au Royaume-Uni et aux États-Unis.

2. Un service d'études de marché très perfectionné a été mis sur pied après cette percée.

Domaine social : Premières tentatives de quantification sur la base d'études comparatives des coûts et de l'efficacité, avec l'introduction du système Plan-Programme-Budget dans les administrations sociales des États-Unis, ainsi que par Resources of the Future, à Washington.

Ainsi, la base commune de départ est l'expression d'une valeur monétaire — ce qui n'est pas une solution superficielle comme on pourrait le croire à première vue, mais au contraire une formule extrêmement pratique. Elle signifie que des prévisions technologiques composites, portant sur de nombreux niveaux de développement et d'applications dans les trois domaines mentionnés ci-dessus, pourront être exprimées et traitées dans un language quantitatif uniforme.

On peut même s'attendre à plus d'homogénéité encore. Dans le domaine économique, le rendement des investissements est de moins en moins considéré comme un critère suffisant pour justifier des travaux de recherche et de développement. Les diverses méthodes simples adoptées pour tenir compte d'autres facteurs dans la préparation des décisions (voir les sections II.4.1. à II.4.4.) mettent en évidence l'importance de critères qui, dépassant la simple analyse économique, prendraient en considération « l'efficacité » des projets au regard d'objectifs collectifs plus généraux qu'une simple maximalisation du profit, ou qui caractériseraient d'une manière plus subtile les moyens d'obtenir finalement le maximum de profit.

Dans le domaine économique, la planification et la prévision technologiques gagneraient à utiliser l'évaluation des coûts et de l'efficacité, comme elles l'ont fait dans le domaine militaire (et comme le feront, dans l'avenir, la planification et la prévision sociales). Nous avons dit à la section I.6.2. que les objectifs sociaux suprêmes intervenaient également et que leur importance allait croître dans le domaine économique. L'analyse des coûts et de l'efficacité peut devenir le moyen qui permettra de tenir compte de ces objectifs dans la planification quantitative.

Il semble toutefois que l'on tende à plus de conformité entre la prévision et la planification dans le domaine militaire, économique et social.

I.6.5. Conclusions

On peut résumer de la manière suivante les principales conclusions de ce chapitre :

La planification et la prévision technologiques manifestent une tendance marquée vers une fusion plus complète, qui pourra finalement conduire à la disparition de la prévision technologique en tant que discipline distincte, après 1970.

La tendance à l'intégration orientera désormais la planification vers les fonctions plutôt que vers les produits.

Le caractère normatif de la planification se précise lorsqu'on adapte celle-ci au cadre hiérarchique qui constitue la base de la prévision technologique normative (et réciproquement) ; les critères normatifs ne sont alors introduits qu'au sommet, c'est-à-dire au niveau des objectifs collectifs qui peuvent inclure les buts sociaux suprêmes et associer la planification militaire ou économique aux exigences de la société.

Dans les domaines d'ordre militaire, économique et social, la planification quantitative est sur le point de trouver une commune mesure de valeur sous la forme monétaire ; elle peut devenir encore plus homogène grâce à une méthode uniforme de calcul des coûts et de l'efficacité dans ces trois domaines, ce qui facilitera considérablement l'intégration des prévisions technologiques sur un grand nombre de niveaux et dans de nombreux domaines de transfert technologique.

TECHNOLOGIE SOCIALE ET PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

C'est peut-être folie que de croire à la condition humaine, mais c'est lâcheté que de désespérer.

René DUBOS.

Jusqu'ici, l'homme a dû lutter contre la nature; désormais, c'est contre sa propre nature qu'il devra se battre.

Dennis GABOR.

Les chapitres précédents, et plus particulièrement les chapitres I.2. et I.4., ont montré qu'une grande partie de la technologie est de caractère social, en ce sens qu'elle implique des conséquences importantes pour la société, et qu'il est finalement possible de replacer les principaux courants technologiques dans un vaste contexte social. On a vu que la prévision technologique est capable de servir de lien entre la science et la technique d'une part, et les aspects sociaux de l'autre. Des méthodes d'intégration de la prévision technologique peuvent être utilisées, aux divers niveaux de transferts technologiques et dans tout l'espace de ces transferts, afin d'aligner les travaux de recherche et de développement, y compris les recherches fondamentales, sur les objectifs sociaux. Le succès dépendra de l'adoption d'une nette orientation normative, en fonction d'un ensemble d'objectifs bien définis et de buts avoués.

C'est le *choix des objectifs* qui constitue la tâche la plus délicate en matière de technologie sociale (voir également le chapitre I.2.) Cette constatation, de plus en plus évidente, a conduit aux tentatives actuelles de création d' « Institutions Vigies » (voir chapitre III.6.), et de mise au point de méthodes destinées à améliorer la pensée intuitive et à faire l'unanimité des experts. La méthode « Delphi » (voir section II.2.3.) a récemment soulevé un très grand intérêt en tant qu'application de la réflexion intuitive.

Un certain nombre d'éminents spécialistes de diverses disciplines scientifiques, animés d'un idéal et d'un intérêt profonds, jouent actuellement un rôle actif dans cette évolution. Nous avons fréquemment cité certains noms dans ce rapport. Mais il faudra que l'étincelle jaillisse aussi dans les milieux gouvernementaux. (Ceux qui ont le mieux pris conscience de l'importance de leur rôle à cet égard sont peut-être le gouvernement des États-Unis et le gouvernement suédois).

Ozbekhan (*réf. bibl. 76*) souligne que l'ensemble des objectifs à atteindre est soumis à une évolution dynamique et qu'il est même lié au progrès technique dans un cycle en boucle fermée.

« Nous avons presque gagné la bataille de la technologie ; il nous faut maintenant commencer à comprendre notre victoire ou du moins à faire face à ce qu'elle signifie. Elle réside en ce que nous avons dépassé — dans une mesure relative, mais avec une marge de sécurité suffisante pour que nous n'ayons plus à nous en soucier — le stade de la « disette », c'est-à-dire cette contrainte fondamentale de notre milieu naturel qui, depuis les débuts mêmes de sa vie biologique, modèle l'aspect et le comportement de l'homme. Nous avons vaincu la disette en multipliant nos moyens, en découvrant des manières de les utiliser avec efficacité, c'est-à-dire économiquement, en arrivant à comprendre la nature des procédés de maximalisation, en étendant par accumulation et par substitution l'ensemble de nos méthodes. Cet aboutissement est le but vers lequel l'humanité a tendu tous ses efforts. Pourtant, le succès obtenu ne saurait constituer une fin en soi, et c'est là le fond du problème. Si notre victoire imminente, dont la plus grande partie a déjà été acquise, devait nous apparaître comme l'objectif ultime de la destinée humaine, nous en serions réduits (comme le soutient Ellul) à perpétuer — au-delà de notre objectif initial de survie — la recherche de techniques, toujours prochaines, toujours efficaces, toujours meilleures. Et si nous suivons cette pente, c'est la technique — et non l'homme — qui deviendra une fin en soi. D'un point de vue humain, nous aurons perdu la signification des choses, et nous aurons tendu nos efforts dans une recherche sans objet. Il faut maintenant réorienter nos énergies et toute la technologie à notre service vers des objectifs humains retrouvés — vers des fins qui ne nous sont pas connues, comme l'était la survie à l'époque de la disette, mais que nous devrons maintenant découvrir. »

Siu (*réf. bibl. 16*) a exprimé la même préoccupation sous une forme imagée : « Si notre siècle est, à juste titre, appelé l'ère de la machine, ce n'est pas en raison de l'abondance des moyens mécaniques ni de la dépendance dans laquelle se trouve l'homme à leur égard. Il s'agit en fait d'une attitude nouvelle de l'homme... Les conséquences sont en train de prendre la place des objectifs ».

Pour le choix des objectifs, le principal danger réside dans l'effet considérable qu'exercent, comme nous l'avons dit, les « prophéties qui s'accomplissent d'elles-mêmes » ; nous en avons surtout souligné la valeur positive, mais elles peuvent évidemment avoir des conséquences regrettables si elles ne correspondent pas aux objectifs les plus souhaitables.

Dans le domaine de la technologie sociale, il est à craindre que l'on ne choisisse, consciemment ou inconsciemment, des objectifs représentatifs du présent, mais non de l'avenir. C'est le problème du « présent perpétuel » (Ozbekhan) ou du « temps intemporel » (F.L. Polak). Le meilleur moyen dont on dispose pour éviter ce dangereux emprisonnement dans une perspective restreinte est la création systématique d'anticipations réalisables, qui constituent des « futurs possibles », des « futuribles »[1]. Le problème consiste à s'arracher du présent prolongé que constitue « le futur logique », et à

1. Le terme « futuribles », initialement utilisé par le théologien Molina, est devenu la « marque de fabrique » du SEDEIS de Bertrand de Jouvenel et, plus généralement, des réflexions orientées vers l'avenir en France.

choisir, en vue d'une étude normative, la meilleure anticipation réalisable, afin de la transformer en « futur voulu » (Dubos). Pour pouvoir accomplir cette tâche extrêmement difficile, il faut qu'un système en boucle fermée fournisse le cadre qui permettra d'évaluer les différentes possibilités. La structure fondamentale d'un système de ce genre, qui peut être une attitude de principe ou une technique très étudiée, est définie et analysée plus en détail à la section II.5.2.

Ozbekhan (*réf. bibl. 76*) résume en quatre thèmes le point de vue à adopter pour choisir les objectifs sociaux :

1. « Il convient de considérer l'avenir comme une solution du présent, et non comme une extension de ce présent, les objectifs souhaitables ne devant jamais être confondus avec les moyens qui permettent de les atteindre, mais devant être subordonnés au résultat. »
2. « Il faudrait essayer de redéfinir les objectifs universels à long terme, sous une forme équilibrée, dans l'espace total occupé par un système (par exemple, dans un système donné, il faudrait généraliser les notions de liberté, de droits, d'abondance, d'éducation, etc., et non les localiser à certaines parties de ce système). »
3. « Au point où en est l'histoire, tout avenir humain devrait être conçu en fonction d'un système vaste plutôt que limité. (En d'autres termes, il vaut mieux considérer un système comme l'unité d'intégration d'une région plutôt que d'une ville, d'une nation plutôt que d'une région, d'un groupe de nations plutôt que d'une nation, et, enfin, du monde entier plutôt que d'une de ses parties). »
4. « Il faut que l'éventail des possibilités envisagées pour l'avenir soit aussi large, et ses éléments aussi nombreux et aussi diversifiés que le permettent les méthodes modernes de traitement de l'information. (Autrement dit, le choix moral doit pouvoir dépasser les limites que la tradition et le manque de moyens lui avaient toujours imposées). »

Le développement des *sciences du milieu* est une importante condition préalable à la compréhension des objectifs sociaux et à la possibilité de faire des anticipations utiles. Dubos (*réf. bibl. 67* et *68*), a défini le cadre de la biologie du milieu qui est probablement la discipline la plus importante dans ce domaine mais qui n'a guère progressé plus que les autres. Par exemple, Dubos observe « qu'il doit y avoir des limites aux possibilités d'adaptation humaine ; il serait extrêmement important de déterminer ces limites et leurs seuils ». Il prévoit également des conséquences très profondes pour la recherche fondamentale et ses méthodes : « Pour pouvoir résoudre les problèmes de complexité organisée, il est... indispensable d'étudier des situations dans lesquelles plusieurs systèmes fonctionnent en interaction, sous une forme intégrée. Ces études multifactorielles exigeront naturellement des méthodes expérimentales et conceptuelles entièrement nouvelles, très différentes de celles qui ne tiennent compte que d'une variable, et qui ont constitué l'essentiel des méthodes scientifiques expérimentales au cours des 300 dernières années. »

L'exemple de la biologie du milieu permet d'insister de nouveau sur l'importance d'un objectif. Jusqu'à présent, d'après Dubos, les recherches consacrées à cette discipline ont été surtout stimulées par la nécessité d'étudier les problèmes d'entraînement de forces combattantes destinées à inter-

venir sous les tropiques ou dans les régions arctiques, de préparer des êtres humains aux voyages spatiaux ou d'évaluer les effets d'un séjour solitaire dans un espace confiné.

Le projet de recherches de McLuhan sur le profil sensoriel de l'homme (voir section II.2.5.) peut être considéré comme particulièrement intéressant pour l'anticipation des environnements futurs.

Les *objectifs de la prévision normative* dans le domaine de la technologie sociale sont concrétisés dans une liste dressée par Gabor[1] :

« Il me faudrait mettre, au premier plan, l'élimination des tensions dangereuses existant dans le système social et international. Il en existe trois types :

a) En politique internationale : capitalisme-communisme, Est-Ouest.

b) En économie internationale : pays sous-développés et pays très évolués.

c) Aliénation d'individus par la société.

Les deux premières tensions exigent une intervention d'urgence, mais nous connaissons si peu le troisième type de tension qu'il est grand temps d'y consacrer des études sérieuses. Dans notre société, l'aliénation sociale se manifeste par la criminalité ; elle est génératrice de problèmes familiaux et sa caractéristique la plus troublante est que ce type de tension semble s'accroître avec la prospérité.

Des études sérieuses devraient être consacrées aux problèmes suivants :

i) jeunesse ;

ii) criminalité, et en particulier influence de l'éducation sur la criminalité ;

iii) nombre de personnes capables de poursuivre leur instruction toute leur vie ;

iv) création de nouvelles possibilités d'aventures exaltantes ;

v) « doping » et « stupéfiants ».

La liste de Gabor se rapporte à la prévision technologique et ne constitue pas un programme limité aux sciences sociales. Elle reflète une intégration anticipée des recherches dans les sciences de la nature comme dans les sciences sociales.

Les thèmes issus des travaux du *Engineers' Joint Council* (*réf. bibl. 264*) sur les recherches techniques nécessaires aux États-Unis de 1965 à 1985 sont extrêmement révélateurs de l'importance que pourrait avoir une telle intégration dans le domaine technique. Les sous-secteurs suivants ont été choisis, car « les institutions et les programmes actuels n'ont pas semblé de nature à pouvoir les résoudre » :

Affectation de ressources aux travaux de recherche et de développement aux États-Unis ;
Ressources minérales et énergétiques ;
Contrôle du milieu physique ;
Transports nationaux et urbains ;
Problèmes techniques de la médecine ;
Techniques, sciences et enseignement ;
Problèmes technologiques des pays en voie de développement ;
Systèmes de traitement de l'information ;

1. Pr. Dennis Gabor, dans une lettre du 13 janvier 1966 adressée à l'auteur.

Application au domaine technique des systèmes ou des processus biologiques ;
Enseignement des sciences de l'ingénieur ;
Echanges d'informations techniques ;
Associations professionnelles.

Outre l'affirmation qu' « on ne consacre pas une attention suffisante à l'affectation des crédits de recherche et de développement aux besoins des personnes et de la société », l'une des quatre conclusions générales du rapport auquel ont abouti ces études insiste sur la nécessité d'associer les objectifs industriels et les buts sociaux (voir également la section I.6.2.) : « La fragmentation de la plupart des secteurs industriels a conduit à une concentration sur des matériaux et des dispositifs qui n'ont guère de liens avec les systèmes techniques et socio-économiques dans lesquels ils sont appelés à fonctionner. Seules les industries qui ont des responsabilités importantes dans plusieurs domaines et qui ont été organisées avec la coopération du public dans les dernières décennies, ont mis au point des systèmes efficaces, capables de rendre service à l'ensemble de population. Il conviendrait de consacrer une attention accrue à l'étude des systèmes en fonction de la croissance économique et du bien-être de la population, afin d'optimiser l'utilisation de matériaux et de techniques d'emploi des perfectionnés ». Il existe un certain nombre d'heureuses exceptions, parmi lesquelles on peut citer les télécommunications, la distribution d'énergie électrique ou de combustibles et carburants.

Nous avons brièvement évoqué, à la section I.6.4., le difficile problème de la *quantification* dans les techniques sociales, problème qui suppose une certaine négociabilité des valeurs. Quelques travaux d'avant-garde, perceptibles à l'heure actuelle, ont fait appel à la méthode d'évaluation comparative des coûts et de l'efficacité.

Chapitre 1.8

L'INFORMATIQUE ET LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

En elle-même, l'information est silencieuse; c'est l'utilisation qui en est faite sous forme de déduction, d'interprétation, de projection, d'analyse, de traitement, de calcul et de préparation des décisions qui est importante.

Oskar MORGENSTERN.

Siegel (*réf. bibl. 62*) a observé, à propos du problème de la prévision technologique, que l'information était devenue une « subtance » économique et technologique fondamentale, comparable à l'énergie et à la matière, et reliant des entités telles que les concepts et les phénomènes.

Dans le domaine de la prévision technologique, le principal obstacle actuel à une meilleure utilisation de l'information est l'absence de catégories orientées vers l'avenir dans les systèmes de classification actuels. La recherche des informations appropriées à la prévision technologique — dans les domaines à la fois techniques, économiques, politiques et sociaux — s'effectue au moyen de recoupements, d'idées personnelles, d'inférences et de hasards, c'est-à-dire selon des méthodes très semblables à celle qu'utilisait dans la plupart des cas, il y a une dizaine d'années, la recherche des informations scientifiques et techniques. Il s'y ajoute aujourd'hui une difficulté supplémentaire : il n'existe rien qui ressemble à un service systématique de publication de résumés bibliographiques.

On a créé, ou on est sur le point de créer, deux services de résumés bibliographiques couvrant un secteur essentiellement socio-économique et politique orienté vers l'avenir :

Une série de six numéros, en français, intitulés « Les futuribles à travers livres et revues » est parue de 1963 à 1965, dans le cadre d'une publication irrégulière, « Futuribles », associée au Bulletin SEDEIS, publié par la Société d'Etudes et de Documentation Economiques, Industrielles et Sociales, 205, boulevard Saint-Germain, Paris-7e (France). Les numéros correspondants, et les dates de parution de la série « Futuribles », sont : n° 61 (1er juillet 1963), n° 67 (10 novembre 1963), n° 77 (10 mai 1964), n° 83 (1er novembre 1964), n° 104 (10 novembre 1965), et n° 107 (20 décembre 1965). Ils contiennent environ 200 synthèses très documentées (d'une page en moyenne) sur une sélection mondiale d'articles. Peu d'entre eux

présentent un intérêt direct pour la prévision technologique. A partir de 1966, la série des « Futuribles » a été remplacée par une publication mensuelle, « Analyse et Prévision ».

Une revue bibliographique trimestrielle, « Horizonte-Horizons », publiée en allemand, en anglais et en français, et comportant de brefs résumés d'information, est éditée par l' « Institut für Zukunftsfragen », Goethegasse 1, Vienne 1 (Autriche). Dans ce cas encore, le contenu intéresse plus particulièrement la vie socio-économique et politique. Le premier numéro devait paraître en 1966.

Il n'existe, à l'heure actuelle, qu'un seul *centre de documentation* ouvert au public sur les problèmes de l'avenir ; il n'est d'ailleurs pas encore totalement organisé : l' « Institut für Zukunftsfragen » (Institut pour les questions de l'avenir), créé à Vienne en février 1965. Le fichier qui comprenait 5.000 titres au début de l'année 1966 sera organisé conformément au système utilisé pour le fichier Afrique du CEDESA, à Bruxelles.

Le Stanford Research Institute, à Menlo Park, Californie, dispose d'un grand centre d'information orienté vers l'avenir ; c'est la Planning Library rattachée au Service de Planification à Long Terme (LRPS) de l'Institut. Cette bibliothèque est ouverte au personnel de l'Institut, aux abonnés au service et à des personnalités invitées. Son principal avantage réside dans la disposition de ses fichiers qui comportent des articles originaux ou des photocopies, et qui sont classés d'après les rapports du LRPS (un épais dossier pour chacun des rapports — au nombre de 280 en été 1966 — comprenant un exemplaire annoté du rapport et l'ensemble des documents utilisés pour sa rédaction). Il existe aussi un classement méthodique d'après un certain nombre de termes généraux, tels que « prévision », « planification », « méthodes analytiques », etc.[1]. La « Planning Library » dépouille les articles consacrés à l'avenir dans 600 périodiques exploités régulièrement par le personnel du LRPS. On envisage d'inaugurer, vers 1968, un système de recherche de l'information par calculateurs, mais il faudra d'abord mettre au point un système de classification par sujet assorti d'index à plusieurs entrées.

Il ne fait aucun doute que les centres d'information orientés vers l'avenir prendront une très grande importance au cours de la prochaine décennie dans les domaines économiques et sociaux généraux. Ils contribueront à faciliter le travail de prévision à l'échelle nationale, et l'industrie fera appel à eux comme source d'informations pour leurs données systématiques de gestion (voir section II.5.2.). Il est probable que ces données feront l'objet d'une collecte automatique à partir de 1975. Toutefois, il ne faut guère compter sur la création de centres publics d'information exclusivement réservés aux besoins de la prévision technologique.

Au cours de la présente étude, l'auteur n'a vu fonctionner qu'un seul *système de recherche de l'information* au moyen d'ordinateurs pour la prévision technologique. C'est le système de comptes rendus adopté par Samson Associates, New York, et Quantum Science Corporation, Palo Alto, Californie, pour rédiger les bulletins Samson Trends et MAPTEK (voir la section II.3.11. et l'Annexe A.1.12.), et préparer les études consultatives de la société.

---

1. L'auteur du présent rapport a tiré un grand profit de la consultation de ces fichiers généraux.

Nous examinerons plus en détail, à la section II.3.1. et surtout à la section II.5.2., les possibilités de recherche de l'information, ainsi que les développements ultérieurs du traitement de l'information.

A l'heure actuelle, il est rare que les prévisions technologiques reposent sur une évaluation bibliographique systématique. Ce fait étonnant n'est pas seulement dû à l'absence d'un système de classification facilement utilisable ; il est dû également au manque de liaison général entre les prévisions et les travaux de recherche et de développement, alors que ces derniers font appel, depuis quelque temps, aux méthodes bibliographiques modernes. En dehors des instituts de prévision, c'est seulement dans les milieux militaires que la bibliographie est analysée systématiquement — mais non complètement — à raison de 100 à 200 périodiques régulièrement suivis.

On entend souvent exprimer en Europe le désir d'un « *système de détection lointaine* », c'est-à-dire d'une étude systématique des nouveautés scientifiques et des essais d'interprétation, aussi tôt que possible avant le début d'un transfert technologique vertical en puissance. Cette méthode, que l'on appelle encore quelquefois « prévision scientifique », car elle tente de faire le pont entre la science fondamentale et les applications techniques ultérieures, est appliquée de manière plus ou moins systématique par la revue « New Scientist » (Royaume-Uni). Cette revue, la seule du genre, ne peut compter pratiquement que sur l'imagination et l'érudition de ses rédacteurs et de ses collaborateurs réguliers. Le Centre de recherches militaires suédois (FOA), a rendu hommage à cet effort en affirmant que le « New Scientist » était la source de documentation la plus intéressante de toutes celles qu'il utilise pour la prévision technologique.

Il a été suggéré à plusieurs reprises qu'une organisation internationale assure le fonctionnement méthodique de ce système de détection lointaine, en se chargeant de la mise à jour et de la diffusion des références bibliographiques relatives à la prévision technologique et « scientifique ». Un tel service exigerait la contribution à temps partiel d'un nombre relativement élevé de scientifiques appartenant à diverses disciplines.

Il convient de souligner ici que la détection lointaine constituerait un élément entièrement exploratoire pour la prévision technologique. Ce système ferait ressortir des possibilités dans les cas où — comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents — il n'existe pas d'incitation spéciale à l'innovation. C'est seulement lorsqu'on dispose déjà d'une prévision technologique à forte composante normative qu'il pourrait être fructueux. Il paraît en outre essentiel que ce système fonctionne avec un minimum de partipris, afin qu'il puisse ouvrir les plus larges perspectives à la pensée normative. Il devrait donc offrir des possibilités à un niveau fondamental.

En général, les *renseignements relatifs aux techniques de prévision* sont fournis sans considération de propriété industrielle. Nous examinerons cette question de manière plus détaillée à la section II.1.1. Il ne semble pourtant pas que les contacts entre les personnes qui travaillent dans ce domaine soient très étroits. Elles expriment souvent le souhait d'une amélioration des échanges de vues sur les méthodes à envisager et sur l'expérience acquise.

On jugera de la grande liberté de discussion qui existe dans ce domaine aux États-Unis si l'on considère que des représentants de la United Aircraft ont participé à neuf séminaires sur l'organisation de la planification avant de mettre sur pied un service central en 1962. La plupart des conférences étaient organisées par des entreprises industrielles pour leurs besoins propres, et United Aircraft y était invitée.

Enfin, dans le domaine des méthodes de planification et de prévision globales, le Centre de planification et de projection récemment créé au sein de la Division de la recherche et de la planification de la Commission Economique pour l'Europe (CEE), qui dépend des Nations Unies, pourrait éventuellement servir de « bourse d'échange » pour les méthodes utilisées à l'échelon national ou par les gouvernements. Il pourrait également faciliter les échanges Est-Ouest dans ce domaine.

Chapitre I.9

EXACTITUDE DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

Ne mesurez jamais la hauteur d'une montagne avant d'en avoir atteint le sommet. Vous verrez alors qu'elle n'était pas si haute.

Dag HAMMARSKJÖLD.

La prévision technologique, telle qu'elle a été esquissée dans les chapitres précédents, ne date que de quelques années. Son intérêt ne réside pas tant dans son exactitude que dans l'aide qu'elle apporte à la stratégie de la planification. Les jugements que l'on porte sur elle sont généralement fondés sur des exemples anciens, caractéristiques d'une phase préliminaire, d'où était absente toute *analyse systématique d'ensemble*. Ces premières prévisions étaient plutôt l'expression d'opinions que le résultat d'études. Elles ont eu un effet préjudiciable sur l'art de la prévision, chacun s'estimant capable de donner un avis en cette matière. Les tentatives faites pour résister à cette attitude votive ont souvent échoué et l'on a même été jusqu'à considérer la prévision comme un moyen d'agir sur le public[1].

Le changement de *nature de la planification et de l'innovation technique*, analysé aux chapitres I.5. et I.6. ci-dessus, et — jusqu'à un certain point — l'évolution de la recherche fondamentale (voir chapitre I.4.), ont contribué à donner à la prévision technologique sa forme actuelle. On comprend mieux aujourd'hui la capacité de rétroaction des prophéties, car l'évolution technologique s'est accélérée et réagit bien plus qu'auparavant aux changements d'attitudes et d'objectifs. En outre, ce n'est vraiment que depuis 25 ans que sont réunies les conditions d'une prévision normative (voir chapitre I.2.). Les prévisions antérieures étaient des tentatives purement exploratoires et plus ou moins impuissantes à saisir les tendances et à les extrapoler, car elles admettaient implicitement une certaine inertie des développements particuliers et du mouvement historique en général. La plupart

1. Il existe parfois un service de vulgarisation prévisionnelle au même niveau de direction d'une grande entreprise que le service chargé des prévisions plus « sérieuses », destinées à être incorporées dans la planification. Par exemple, le Président de la General Electric (qui a prédit, en 1955, la généralisation de la « cuisine électronique » et d'autres formes d'automation domestique avant dix ans) et celui de RCA (voir *réf. bibl. 279*) n'ont pas hésité à faire eux-mêmes de la « vulgarisation prévisionnelle ».

des auteurs de ces premières prévisions n'ont pas compris que l'inertie de la société pouvait être influencée par l'évolution technique.

Troisième différence : la prévision tenait rarement compte des diverses *solutions possibles* et ne les *étudiait pas systématiquement*. Quand elle s'en est préoccupée, la prévision technologique a très vite obtenu des résultats. En voici quelques exemples :

Dans son Rapport de 1944 (*réf. bibl. 319*), Von Kármán considérait que son objectif principal était la recherche de variantes possibles pour le développement des turbines à gaz appliquées à la propulsion aéronautique, mais ses conclusions sont devenues par la suite et pendant plusieurs années un élément très utile pour les programmes d'application ; il a même prévu assez correctement l'avenir de l'avion supersonique. En 1940, une commission avait été nommée par l'Académie des Sciences des États-Unis, afin d'examiner des projets de turbines à gaz (voir *réf. bibl. 89*). Cette commission, qui comprenait Von Kármán, Kettering, Millikan, et d'autres personnalités éminentes, a apparemment suivi une voie unique, et abouti à une prévision dans laquelle le rapport entre le poids et la puissance de la turbine était 35 fois trop grand. Un an plus tard avait lieu en Allemagne le premier vol avec turbine à gaz.

Schurr et Marschak (*réf. bibl. 336*) ont tenté de prévoir les aspects économiques de l'énergie nucléaire en 1950 (à une époque où aucun renseignement scientifique ni technique n'avait encore été communiqué). Cette étude était assez largement erronée dans la détermination des coûts de production d'électricité dans les centrales nucléaires, mais elle a abouti à des résultats remarquables à la suite d'un examen approfondi des conséquences possibles de l'adoption de cette forme d'énergie dans neuf secteurs techniques. Au contraire, à peu près à la même époque, une étude patronnée par la Commission américaine de l'Énergie Atomique (*réf. bibl. 331*) et utilisant toutes les informations scientifiques et techniques nécessaires, a abouti à des résultats entièrement faux, par suite d'un examen superficiel et trop simplifié des conséquences possibles.

L'ouvrage de Harrison Brown, « The Challenge of Man's Future » (*réf. bibl. 258*), écrit en 1954, et le compte rendu des conférences organisées en 1955-1956 au California Institute of Technology (*réf. bibl. 259*) se sont révélés très utiles, car leur méthode a consisté à examiner, d'après les données disponibles, les différents emplois possibles des ressources naturelles.

L'une des premières tentatives de prévision technologique à l'échelon national a été effectuée en 1936-1937 par le National Resources Committee des États-Unis (*réf. bibl. 284*), avec la participation de Gilfillan. Elle a permis de déceler des tendances et des applications possibles dans divers secteurs économiques, mais les évaluations techniques ont été fondées sur des opinions et non sur des analyses.

Il serait superflu de citer les nombreux exemples d'erreurs de prévision technologique et les cas, probablement moins nombreux, où les prévisions ont été bonnes. On peut cependant expliquer logiquement la plupart des

faiblesses de ces prévisions anciennes[1]. Le cadre beaucoup plus rigoureux qui a transformé la prévision technologique en un art sérieux — bien qu'elle soit encore très loin d'une discipline exacte — a permis d'éviter ces écueils. Même si, d'un certain point de vue, on peut regretter la fin de la « période poétique », les nécessités actuelles de la planification exigent une méthode plus analytique, avec moins de parti-pris (mais aussi plus de difficultés).

En général, les « *premières idées* » *d'inventions possibles* procédaient rarement d'analyses scientifiques ou techniques solides ; il s'agissait plutôt d'anticipations de désirs et de besoins futurs. A cet égard, on peut les comparer au rôle qu'a joué la pensée intuitive dans la prise de conscience des objectifs sociaux. Il serait probablement intéressant d'étudier ces « prévisions » en les considérant comme le résultat des espérances, des attentes, des craintes et des déceptions ressenties, avec leurs modifications. Une étude de ce genre montrerait certainement, par exemple, que l'on a presque toujours très mal jugé le contexte social, en admettant naïvement que les conséquences de l'évolution technologique suffiraient à l'améliorer. Presque tous les auteurs de prévisions anciennes sur l'énergie nucléaire ont adopté l'une ou l'autre de deux conclusions extrêmes : l'utilisation à bon marché et même gratuite de l'énergie, conduisant à un « âge d'or » d'abondance pour tous, à la fin de l'économie concurrentielle, à la fin des guerres et des tensions, etc.; ou, au contraire, l'image sombre des utilisations destructrices de l'énergie nucléaire (voir également le chapitre I.7. en ce qui concerne la prise de conscience, plus récente, de la nécessité de faire converger les développements techniques et sociaux).

Certaines des prévisions anciennes effectuées par des « experts », comme nous les appellerions aujourd'hui, révèlent une aptitude remarquable à *entrevoir les possibilités ultimes*. L'exemple le plus frappant est peut-être celui de l'ingénieur allemand Plessner qui, en 1892, a prévu certains développements techniques (les turbines à vapeur supercritiques et à vapeur métallique, par exemple) et fonctionnels (la machine à écrire commandée par la voix, la télévision, etc.) qui appartenaient — et appartiennent encore — à un avenir assez éloigné. Ces possibilités ultimes jouent aujourd'hui un rôle important en prévision technologique si on les utilise de manière judicieuse et si on les définit dans un cadre temporel réalisable. Il serait facile de prédire des centaines de développements futurs possibles, à la manière de Plessner, mais on préfère aujourd'hui faire un choix d'objectifs techniques ultimes parmi l'abondance des possibilités. Nos connaissances dans le domaine de l'astronomie, de la mécanique, de la thermodynamique et de la fission nucléaire, par exemple, nous permettent actuellement de projeter des possibilités de fusées nucléaires — avec un certain nombre de détails techniques — qui seraient suffisantes pour un programme spatial s'étendant loin dans le XXIe siècle. La connaissance de possibilités ultérieures de propulsion des fusées — jusqu'à l'éventualité ultime de la propulsion photonique — nous permet même de parler, quoiqu'en termes plus vagues, de toute mission spatiale que l'homme pourrait jamais espérer accomplir.

1. Le Dr Mordechai Kurz, de l'Université hébraïque de Jérusalem (Israël), a récemment entrepris une étude des innovations passées, en se demandant quelles auraient été les décisions si l'on s'était rendu compte des possibilités aussitôt après avoir rassemblé les éléments d'une prévision correcte. Les résultats de cette étude n'étaient pas prêts au moment de la préparation du présent rapport, mais ils seront publiés par le « Long Range Planning Service » du Stanford Research Institute.

Certaines des premières prévisions faites par des « experts » se sont révélées assez judicieuses ; c'est ce qu'a montré Gilfillan (*réf. bibl. 243*) qui, en 1936, a examiné les résultats de prévisions générales antérieures :

Les prévisions contenues dans un article de Scientific American d'octobre 1920 (*réf. bibl. 280*), pour les 75 ans à venir, apparaissaient 16 ans plus tard comme « très raisonnable, et résultant d'une vue claire des choses ». En 1936, la situation était la suivante pour 65 prédictions d'inventions :

38 % étaient déjà vérifiées,
29 % devaient certainement être vérifiées,
8 % s'étaient révélées fausses,
3 % se révèleraient probablement fausses,
22 % étaient incertaines.

En adoptant une probabilité de 0,5 pour les sujets incertains, Gilfillan conclut que cette prévision technologique générale a réussi à 78 %, et que la plupart des thèmes se sont réalisés antérieurement à la date envisagée. Selon Gilfillan, certaines omissions au sujet de la radiodiffussion et du cinéma parlant, par exemple, tiennent à ce que les auteurs n'ont pas compris l'utilité de ces inventions déjà connues, et non à un manque de jugement sur les possibilités de réalisation technique.

En 1915, Steinmetz, l'éminent « Directeur scientifique » de la General Electric, a publié 25 prédictions sur les arts ménagers. En 1936, la situation était la suivante :

28 % s'étaient réalisées,
48 % allaient se réaliser,
24 % étaient douteuses,
0 % s'étaient révélées fausses.

La prévision générale d'Edison, faite en 1911, a eu des résultats analogues ; nombre d'inventions envisagées appartenaient encore au domaine de l'avenir en 1936.

On pourrait constater des résultats analogues pour trois ou quatre autres prévisions générales, y compris une série que Gilfillan (qui ne se considère pas lui-même comme un « expert » technique) avait tenté de faire en 1912 et 1913.

Afin de voir ce qu'un homme n'ayant aucune formation technique pourrait obtenir grâce à une méthode systématique, Gilfillan à lui-même inclus dans son rapport (1936-1937) une liste de 25 procédés différents, inventés ou en cours d'études, pour permettre aux avions de s'affranchir du brouillard, en prédisant que certains d'entre eux au moins seraient utilisés, du fait de leur intérêt évident. Seize ans plus tard (*réf. bibl. 40*), il pouvait affirmer que 9 de ces 25 procédés étaient en service. Toutefois, Gilfillan n'avait pas prévu l'invention la plus importante dans ce domaine, le radar, car il ignorait les études — secrètes — en cours en 1936.

Ayres (*réf. bibl. 89*) donne, au sujet des *traquenards de la prévision technologique*, une liste qui est également valable pour la prévision passée et pour la prévision actuelle :

1. Le *manque d'imagination ou d' « audace »*, qui tend à rendre les prévisions trop pessimistes. Lenz (*réf. bibl. 151*) mentionne plusieurs exemples de prévisions incorrectes, qui auraient pu être correctes si les séries temporelles avaient été extrapolées sans parti pris.

2. La « *surcompensation* », illustrée par l'affirmation de Clarke (*réf. bibl. 262*) : « Tout ce qui est théoriquement possible sera pratiquement réalisé, quelles que soient les difficultés techniques, si le désir en est suffisant »[1] et par l'attitude typiquement soviétique selon laquelle « de nos jours, le génie de l'homme peut tout accomplir ».
3. *L'absence d'anticipations de développements convergents* ou de modifications des systèmes concurrents. On peut expliquer de cette manière un échec qui a fait l'objet d'une large publicité : en 1945, Lindemann (ultérieurement Lord Cherwell) au Royaume-Uni, et Vannevar Bush aux États-Unis, ont prédit que les ICBM (fusées balistiques intercontinentales) ne feraient pas concurrence dans un avenir prévisible aux bombardiers à équipage humain. Ils n'ont pas prévu la mise au point de la bombe H (bien que les possibilités aient été connues à leur époque), ni ses conséquences sur la miniaturisation des ogives de fusées, qui a rendu possible, d'une part le transport d'une forte puissance explosive par un ICBM, et d'autre part l'extrême précision des tirs au but. A la suite d'un échec récent du même genre, l'ODDRE (Office of the Director of Defense Research and Engineering), du ministère de la Défense des États-Unis, a hésité à créer un service de prévision systématique, le projet « Principia ». Il s'agissait d'une tentative pour prévoir l'avenir des fusées d'après les ultimes possibilités fondamentales des propergols : ce projet a été virtuellement « dépassé » par les réalisations concrètes de fusées, à la suite des progrès accomplis sur d'autres éléments, tels qu'une température plus élevée des tuyères, etc.
4. *L'étude poussée de certains modèles*, plutôt que l'extrapolation de conceptions globales (macrovariables). A cet égard, Ayres souligne le danger d'une trop grande « spécialisation ». On peut ajouter ici l'effet puissant des « chapelles » scientifiques, que l'on peut tenir pour responsables d'un autre échec du trop fameux conseiller « scientifique » de Churchill. Lindemann (ultérieurement Lord Cherwell) faisait partie d'une école qui croyait uniquement aux fusées à propergol solide ; il affirmait à ce titre que la V2 allemande, à propergol liquide, ne pouvait pas voler, même quand on lui en a montré des photographies avant son utilisation contre Londres.
5. *Les erreurs de calcul.* Il semble que les astronomes fournissent des exemples typiques de cette catégorie d'échecs. Simon Newcomb, six semaines avant le premier vol des frères Wright, en 1903, voyait dans l'aviation « une des grandes classes de problèmes que l'homme ne saura jamais résoudre », parce que la physique de la traînée et de la portance interdisait le vol d'engins plus lourds que l'air. (Les calculs corrects n'ont été faits qu'après la démonstration de la possibilité de voler, bien que les éléments théoriques fussent connus

1. Suivant lui-même ses conseils, Clarke prévoit que la maîtrise de la gravitation sera obtenue en 2050, et l'immortalité humaine vers 2100. G. H. Stine (cité par Ayres) trouve, en extrapolant des courbes-enveloppes et des séries temporelles exponentielles — et en adoptant délibérément une attitude radicale — que l'on devrait prévoir que l'homme atteindra la vitesse de la lumière en 1982, que toute personne née après l'an 2000 vivra éternellement (sauf accidents), et qu'en 1981 chaque individu aura sous son pouvoir une quantité d'énergie équivalente à celle que produit le soleil.

bien avant). Les calculs effectués en 1941 par l'astronome canadien J. W. Campbell (cité par Ayres) étaient également incorrects : d'après lui, une fusée dirigée vers la lune devrait peser un million de tonnes pour transporter une charge utile d'une livre (soit une erreur de six ordres de grandeur due à des hypothèses irréalistes). L'affirmation de l'Astronome de la Reine, selon qui les voyages spatiaux étaient une « stupidité absolue », date de 1956, juste un an avant Spoutnik I. Elle est encore présente dans toutes les mémoires.

6. *Les incertitudes intrinsèques et les incidents historiques.* Ayres dresse une liste intéressante de questions exponentielles qui pourraient se poser aussi bien en science fondamentale qu'en technologie. Il ne lui semble pas que les accidents historiques puissent changer le cours du développement. Les nombreux cas d'inventions multiples, obtenues de manière indépendante et à peu près à la même époque, montrent qu'il existe une sorte de grand courant technique, qui n'est pas essentiellement influencé par l'action individuelle.

L'expérience générale des entreprises industrielles ayant des services de prévision bien établis est dans l'ensemble satisfaisante, ce qui semble prouver que, dans la limite des exigences pratiques, il est possible de faire des *prévisions technologiques correctes.* Le terme « exigences pratiques » signifie souvent, comme on l'a fait remarquer dans les chapitres précédents, que les estimations précises devraient se limiter aux phases de développement les plus avancées, ou ceux de cinq ans à venir, en réservant l'identification des grandes options techniques à la prévision à long terme.

Marschak (*réf. bibl. 52*) a évalué, pour les Bell Telephone Laboratories, la mise au point du système de relais hertziens TH. Les priorités imposées étaient : 1. Les performances à atteindre, les coûts de production et de fonctionnement. 2. Le délai de mise au point. 3. Le coût total de la mise au point.

Les deux premiers objectifs ont été atteints au début de la période quinquennale, tandis que le coût total de la mise au point a été sous-estimé (401 hommes-années en réalité, contre une estimation de 236). Deux exercices de prévision technologique ont été effectués. Le premier, deux ans avant le début du plein développement, avait pour but de définir les objectifs d'ensemble et les performances à exiger de certains composants essentiels, d'identifier d'autres variantes possibles pour les principales caractéristiques du système, et de déterminer la demande économique. Le deuxième exercice, juste avant le début du plein développement, comportait la détermination précise des objectifs du système, des coûts et des temps, ainsi que le programme détaillé du développement.

Il existe en général *une forte interdépendance entre les performances techniques, le délai de mise au point, et les coûts du développement* (ainsi que les coûts de production, que l'on peut considérer comme faisant plutôt partie des performances exigées). Marshall et Meckling (*réf. bibl. 246*), ainsi que Peck et Scherer (*réf. bibl. 248*, qui les citent), ont conclu, à partir d'études de cas portant sur la mise au point de systèmes d'armes américains, que les estimations des coûts et des délais étaient exagérément optimistes, tandis que les estimations de performances étaient correctes. Ils ont constaté, en moyenne, les rapports suivants entre les valeurs réelles et les estimations :

Coût de la mise au point	2,4 à 3,2
Délai de mise au point	1,6
Critères de performance	0,8 à 2

Il est remarquable que l'on ait presque toujours prévu exactement les critères de performance et que les possibilités aient même été dépassées. C'était la situation typique qui régnait, avant l'arrivée de McNamara, au ministère de la Défense des États-Unis, pour lequel ces évaluations avaient été faites. On insistait, en effet, à l'époque, sur la propriété des performances, ce qui conduisait normalement à une extension des délais et à l'augmentation des coûts quand, au cours du développement, on repoussait de plus en plus loin la limite des performances à atteindre. Parallèlement, les industries faisaient souvent des estimations délibérément trop optimistes afin de vendre leurs projets ou d'aider l'administration à les faire accepter. Depuis 1960, l'analyse comparée des coûts et de l'efficacité a remplacé l'objectif de la meilleure performance possible, et ce sont des contrats « à primes » que l'on préfère offrir pour les phases initiales du développement. Il est évident que les prévisions technologiques des fournisseurs de l'administration doivent être assez précises pour leur permettre de passer des marchés assortis de primes et de pénalités substantielles pour chaque étape du projet. Malgré la discipline que ce système exige, l'industrie aérospatiale américaine semble, en général, en apprécier le principe. Les contrats à primes et les marchés à prix fermes sont souvent associés à des contrats qui prévoient un coût majoré d'honoraires fixes pour la phase de développement exploratoire ; toutefois, les contrats à primes et à prix fixes fermes représentent à l'heure actuelle plus des deux-tiers du montant total des marchés passés par la NASA et le ministère de la Défense aux États-Unis. A ce propos, l'administration encourage également les études de recherche et de développement entreprises indépendamment par le fournisseur (*réf. bibl. 238*).

L'expérience générale des entreprises industrielles du secteur civil, où les contraintes sont moins exigeantes, montre que les estimations des *performances techniques, de la demande économique*, et souvent aussi des *délais de mise au point*, ont tendance à être trop pessimistes, tandis que les coûts sont prévus de manière correcte, ou légèrement optimiste. Il existe également une tendance à sous-estimer les possibilités techniques ultimes et à envisager avec pessimisme les limitations techniques qui déterminent en grande partie l'extrapolation des séries temporelles (voir section II.3.3.) et par voie de conséquence les programmes de recherche fondamentale qui permettraient d'améliorer les connaissances de base (voir chapitre I.4.).

Voici quelques exemples d'évaluations trop pessimistes de la demande économique des techniques nouvelles :

Estimation d'IBM, faite en 1955, du nombre de calculateurs installés aux États-Unis en 1965 : l'estimation était de 4.000 unités, tandis qu'en réalité ce nombre a atteint 20.000.

Prévision de la General Electric concernant la puissance nucléaire installée aux États-Unis (AEC) en 1980.

Cette prévision, faite en 1962, à titre de participation aux études de la Commission de l'Energie Atomique des États-Unis, donnait une estimation de .. 67.000 MW
L'AEC a ramené ce chiffre à ..... 40.000 »
En 1964, une prévision corrigée donnait .... 80.000 »
En 1966, une nouvelle correction aboutissait à 105.000 »

Estimation faite par la United Aircraft au début du transport aérien commercial à réaction à grande échelle (vers 1958) sur son utilisation en 1970 : l'estimation a été pessimiste et a abouti à une erreur de 300 %.

Le Président de la United Airlines, qui est actuellement la plus grande compagnie aérienne mondiale, a récemment admis (*réf. bibl. 247*) qu'il ne s'était « jamais rendu compte des possibilités de vitesse et de confort des transports aériens à réaction, du volume du trafic aérien, ni du rôle de ces transports dans la vie nationale américaine ».

Voici des exemples remarquables d'estimations correctes de la demande économique :

La prévision, faite en 1950 par A.T. and T. sur le trafic et l'infrastructure téléphoniques, était encore « assez correcte » en 1966.

L'étude faite en 1957-58 par OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) avant la mise en service commerciale des avions à réaction, a abouti à une prévision assez audacieuse fondée sur des renseignements un peu insuffisants. Elle s'est révélée étonnamment correcte jusqu'à l'époque actuelle (1966).

Un certain nombre de prévisions relatives au développement des circuits intégrés datent d'environ 1955. En dehors des pionniers de ce développement, tels que Fairchild (qui ne s'est pas préoccupé de la demande économique, mais a compris le rôle considérable de cette invention), plusieurs « outsiders » déclarent avoir fait des prévisions correctes : IBM (1957-58, possibilités générales et cadre temporel) ; Arthur D. Little (1959, possibilités générales ; 1962, étude complète, avec projection — exacte jusqu'ici — des prix et de la demande en 1970) ; ITT (1961, évolution des prix, correcte à environ 10 % jusqu'à présent) ; FOA, Suède (1961, prévisions correctes des conséquences militaires ; 1963, la Suède se trouve parmi les premiers utilisateurs) ; Samson Trends (a publié, en 1963, l'évolution des prix et de la demande, relativement exacte jusqu'ici). En examinant cette liste, qui débute six ans avant la mise sur le marché des circuits intégrés, on ne peut s'empêcher d'éprouver le sentiment que si l'industrie européenne a été surprise, c'est qu'elle l'a bien voulu[1].

Un exemple frappant d'*évaluation trop pessimiste des délais de développement* nous est donné par les réacteurs nucléaires rapides. Les estimations de l'époque à laquelle le premier grand prototype économique pourrait être commandé ont évolué de la manière suivante :

1. Selon l'opinion généralement admise en Europe, les circuits intégrés étaient réservés aux applications typiquement militaires et spatiales, et ne pénétreraient que progressivement sur le marché civil, à une date d'ailleurs fort éloignée. Pourtant, Fairchild et les autres constructeurs pensaient essentiellement aux applications civiles. Les effets de cette erreur de jugement atteignent assez durement, à l'heure actuelle, le Royaume-Uni qui reste le deuxième producteur de systèmes électroniques du monde libre. Dans ce pays, la première prévision technologique concernant le potentiel des circuits intégrés a été faite par Elliott-Automation en 1963-64, alors que l'invention avait déjà gagné le marché militaire; la prévision a conduit à prendre une licence chez Fairchild. Ce n'est qu'en 1965 que les autres entreprises, et le gouvernement britannique, réalisèrent leur erreur. En Europe continentale, plusieurs entreprises ont apprécié correctement les possibilités de cette technique en 1963-64, et ont adapté leur politique en conséquence.

Vers 1955-1960, impression générale	1990-2000
1962, Commission de l'Énergie Atomique des États-Unis	1985
1962, Westinghouse (États-Unis)	1980
1962, General Electric (États-Unis)	1975
1964, General Electric (États-Unis)	1970
1965-66, CEGB (Royaume-Uni	1970
1966, General Electric (États-Unis)	1969

La prévision technologique ne donne naturellement aucune garantie pour l'avenir. Le cas de deux grands constructeurs américains de calculateurs est, à l'heure actuelle, une source d'amusement pour les initiés. Les deux entreprises ont essayé de déterminer, au moyen d'une prévision technologique, les possibilités des mémoires cryogéniques pour les ordinateurs. L'une d'elle a décidé d'interrompre son projet, tandis que l'autre poursuit le sien avec la plus grande vigueur. De toute évidence, l'une des prévisions technologiques doit être fausse, quelles qu'aient été la minutie et la rigueur scientifique de la méthode.

Le succès de la prévision technologique se reflète dans les statistiques. Le nombre d'échecs est réduit, mais non nul. La confiance que manifestent généralement presque toutes les entreprises qui effectuent des prévisions technologiques systématiques sera plus solidement établie quand *l'analyse des essais antérieurs* aura permis de tirer des conclusions statistiques. Un assez grand nombre d'entreprises ont décidé d'appliquer cette méthode d'évaluation — et de « rétroaction » — dans leurs prévisions. C'est le cas de Plessey (Royaume-Uni — qui estime « très satisfaisante » l'expérience de prévisions quinquennales faites au cours des 10 dernières années), de Standard Oil of New Jersey (États-Unis), d'ASEA (Suède, qui débute actuellement) et de la Royal Dutch/Shell (essentiellement en termes globaux).

On peut *conclure* dans l'ensemble que si la prévision technologique industrielle, au sens moderne du terme, ne s'est généralisée que depuis la fin des années 1950, elle a donné des résultats encourageants. Dans les entreprises qui effectuent les travaux les plus perfectionnés dans ce domaine, les résultats recherchés du point de vue de l'exactitude, de la prise de conscience et des conséquences à long terme, sont démontrés par les statistiques quand on les compare à ceux d'une situation d'où toute prévision était absente.

Deuxième partie

MÉTHODES UTILISÉES POUR LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

APERÇU TECHNIQUE

En matière de prévision, la clef du progrès n'est pas encore l'utilisation d'un outil particulier. C'est, comme dans d'autres domaines de la découverte intellectuelle, l'adoption du point de vue juste ; il s'agit, pour reprendre la formule de Whitehead, à la fois de rechercher la simplicité et de s'en méfier.

Irving H. SIEGEL.

II.1.1. INCITATIONS ET POSSIBILITÉS

L'opinion exprimée par Siegel en 1953 (*réf. bibl. 176*) reste caractéristique de la situation présente, et le restera longtemps encore. On peut même affirmer, dans l'ensemble, que les méthodes actuelles n'ont pas pour but de remplacer le « point de vue » souligné par Siegel, mais bien plutôt d'imposer et d'améliorer le choix de points de vue « justes ». Même avec ces méthodes, la prévision technologique actuelle reste beaucoup plus un art qu'une science. Dans leur quasi-totalité, les utilisateurs de ces méthodes insistent sur un aspect qu'ils considèrent invariablement comme le plus important de toute leur expérience : l'emploi de certaines techniques facilite considérablement la compréhension des facteurs en cause, la détermination de leurs rapports avec le problème considéré, et l'interprétation de interrelations.

La prévision technologique actuelle s'effectue le plus souvent sans utilisation explicite de méthodes particulières, mais il serait difficile de faire une distinction nette entre les cas où leur emploi est voulu et les autres. L'adoption d'un « point de vue », ou d'une attitude générale à l'égard des problèmes de prévisions, donne à la réflexion et aux « jugements fondés », une physionomie caractéristique, et peut permettre de déceler des relations qualitatives ou mêmes quantitatives entre les divers éléments d'appréciation. Si l'effort est explicite, il peut aboutir à un modèle formel simple, utilisable pour simuler certains processus partiels. Presque toutes les prévisions intuitives pratiques comportent implicitement une ou plusieurs phases itératives entre la réflexion exploratoire et la pensée normative, avec des vérifications multiples par rapport à une « matrice de l'environnement ».

Jusqu'à une époque récente, on n'éprouvait guère le besoin d'appliquer des méthodes formelles. Alors que le début des prévisions technologiques systématiques peut se situer vers 1950 (des pionniers y travaillant depuis 1945), c'est seulement une dizaine d'années plus tard, vers 1960, qu'un large intérêt s'est manifesté pour certaines méthodes, encore que des tentatives aient été faites dès 1955-56.

Actuellement, on voit apparaître, à plusieurs niveaux, des méthodes plus perfectionnées et des modèles complexes destinés à être utilisés sur des ordinateurs. Les premières ébauches d'intégration des modèles de prévision technologique dans de futurs systèmes de traitement de l'information sont maintenant esquissées dans certains documents officieux.

De même que, au cours des dernières décennies, voire des derniers siècles, des prévisions technologiques ont été occasionnellement effectuées, de même certaines méthodes très simples — correspondant à des attitudes fondamentales plutôt qu'elles ne visaient la simulation — ont parfois été utilisées : l'extrapolation des tendances dans un cadre phénoménologique, le « brainstorming », et peut-être certains essais de « scénarios ». Une méthode complexe à plusieurs niveaux, formulée en 1942 — la « méthode morphologique » de Zwicky — n'a guère eu de publicité et a connu depuis un destin malheureux, bien qu'elle complète d'autres méthodes complexes récemment mises au point, et qu'elle réponde à un besoin que l'on découvre seulement aujourd'hui.

La prévision technologique est l'une des dernières nées d'une famille d'activités systématiques de prévision. Si l'on néglige le très vieil art de la prévision météorologique, on trouve dans cette famille un certain nombre de préoccupations « d'avant-garde », telles que la prévision économique et commerciale, tandis que, dans le domaine politique et social, la prévision se développe plus ou moins parallèlement à la prévision technologique. En ce qui concerne les méthodes, on constate une « fertilisation réciproque » notable, mais peut-être moindre que l'on pouvait s'y attendre. L'analyse économique, qui fait intervenir des méthodes de comptabilité financière actualisée, est un complément intéressant de la prévision technologique, comme le sont certaines méthodes matricielles. On peut adapter aux problèmes technologiques des modèles économétriques et commerciaux plus élaborés, mais seulement dans certaines limites ; en général, dans les secteurs économiques et commerciaux, on n'a mis au point des méthodes complexes que pour les prévisions à court terme, tandis que dans le domaine technologique, l'intérêt principal porte sur les prévisions à long terme. Il existe néanmoins de nombreux raffinements dus à la concentration des efforts sur les prévisions économiques et commerciales, et que l'on pourrait adapter à la prévision technologique ; c'est le cas, par exemple, de l'évaluation des risques et des diverses formes de prévisions probabilistes.

D'autre part, les méthodes de prévision mises au point dans le secteur économique, social et politique — surtout celles qui concernent la « technologie sociale » — peuvent tirer parti les unes des autres. Dans d'autres domaines, la prévision militaire peut également fournir certaines « retombées » méthodologiques.

Les deux méthodes fondamentales dont les conséquences sont les plus profondes pour la prévision technologique — la *recherche opérationnelle* et *l'analyse des systèmes* — ont été d'abord étudiées et mises au point pour des raisons militaires. La recherche opérationnelle remonte aux développements de la Deuxième Guerre mondiale au Royaume-Uni et aux États-Unis, tandis que l'analyse des systèmes a tout d'abord été étudiée par la RAND Corporation aux États-Unis depuis 1948. La méthode du « chemin critique » et le PERT (cette dernière méthode ayant été mise au point pour le programme des fusées Polaris) ont également surgi sous la pression des besoins militaires.

Il semble que ces études constituent une source importante d'enseignements pour la prévision technologique bien que, jusqu'à présent, elle n'ait guère été exploitée. Alors que les possibilités d'application (de dimensions raisonnables) de la recherche opérationnelle et de l'analyse des systèmes sont près d'être épuisées dans le domaine militaire — car il ne reste pratiquement plus aucun problème militaire aux États-Unis qui puisse être résolu par la programmation linéaire — la prévision technologique commence seulement à les explorer pour ses objectifs propres.

Un autre domaine très important d'activités « d'avant-garde » est le *développement des calculateurs* et le vaste domaine, en pleine évolution, du *traitement de l'information*. La prévision technologique n'a pas encore acquis une position suffisante pour inspirer des études dans ces domaines mais, dans quelques années, elle y trouvera un cadre tout prêt qu'elle pourra adapter sans difficulté à la préparation des décisions dans les milieux commerciaux, militaires, politiques et peut-être même sociaux.

Dans la méthodologie de la prévision technologique, le *mode de diffusion* des idées et des concepts est comparable à ceux que l'on peut observer dans les premières phases d'autres recherches. La bibliographie figurant à la fin de ce rapport, en particulier dans les sections consacrées aux méthodes, confirmera l'impression que, le plus souvent, les idées importantes sont d'abord transmises par des rapports internes, des documents officieux, des propositions spontanées, des conférences, des avant-projets de manuscrits, et d'autres formes de communications qui se situent hors du domaine des « publications générales ». Cela n'a généralement rien à voir avec la nature confidentielle que l'on peut être tenté d'attribuer à ces idées. Au contraire, le caractère exploratoire et expérimental de nombre d'entre elles encourage leurs auteurs à diffuser, sous forme de « comptes rendus d'activité » officieux, les thèmes qu'ils rédigeront ultérieurement pour des publications accessibles au public.

Une entreprise telle que Honeywell (États-Unis), justement fière de sa méthode PATTERN (voir paragraphe II.4.5.), a décidé, après deux ans d'essais et un an d'exploitation réelle, d'encourager la publication de textes par ses collaborateurs, et leur participation à des conférences. Un certain nombre d'entreprises ayant une conception moderne des relations avec le public considèrent que la création d'un service de prévision technologique est un facteur positif, propre à déclencher l'imagination des autres, et qu'il peut en être de même de l'emploi de certaines méthodes. Cette attitude très ouverte a considérablement facilité notre travail d'information.

Parmi les publications périodiques, les « IEEE Transactions on Engineering » (Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York) publiées jusqu'en 1962 par l'Institute of Radio Engineers sous le titre « IRE Transactions on Engineering Management », sont devenues le point de convergence des études critiques consacrées aux procédés de recherche et de développement fondés sur l'analyse économique, la recherche opérationnelle et la théorie des décisions. Plus récemment, le Battelle Memorial Institute, qui suit une politique de libre publication sur les méthodes utilisées dans ce domaine, a choisi les Conférences sur les Techniques d'Études de l'American Society of Mechanical Engineers, New York, comme lieu de discussion, et procède à une publication antérieure des textes dans les « ASME Papers » et dans d'autres revues de l'ASME. Les méthodes sont parfois exposées

dans la « Harvard Business Review » ou dans diverses revues de recherche opérationnelle.

Le cours du Professeur James R. Bright, du Graduate School of Business de l'Université de Harvard, à Boston, Massachusetts, constitue la première tentative d'enseignement systématique des techniques de prévision technologique destiné aux étudiants des sciences du « management ».

Deux institutions américaines qui travaillent dans le domaine général des sciences de la gestion prévoient maintenant des conférences sur les méthodes de prévision technologique dans leurs cours sur la planification à long terme des entreprises :

L'American Management Association (AMA) de New York a inclus dans ses cours de planification à long terme, organisés en décembre 1965 et avril 1966, des séances consacrées à la prévision technologique, les exposés de base étant surtout présentés par le Battelle Memorial Institute. L'AMA exerce également des activités en Europe, où elle pourrait servir de moyen de diffusion ;

L'Institute of Management Sciences de Pleasantville, New York, semble avoir tenu compte des méthodes de prévision technologique dans le cadre de son « College on Planning ».

Des conférences et des sessions d'études spéciales, consacrées aux méthodes de la prévision technologique, témoignent d'un intérêt croissant dans ce domaine.

La revue française *Réalités* a patronné un « Colloque de l'Avenir » les 29 et 30 mars 1966, à Paris, à l'occasion de son 20e anniversaire. Ce colloque était censé se consacrer entièrement à la méthodologie de la prévision à long terme et de l'anticipation. Quarante des experts les plus connus dans ce domaine ont participé aux travaux, qui ont surtout porté sur les méthodes utilisables dans la « technologie sociale ». Malheureusement, le compte rendu publié dans *Réalités* est très quelconque et a manifestement souffert du processus d'élagage journalistique.

L'Armée de l'Air américaine a financé un colloque plus particulièrement consacré à la méthodologie de la planification et de la prévision à long terme. Ce colloque devait se tenir les 16 et 17 août 1966 à l'Air Force Academy, Colorado Springs, Colorado, les participants étant surtout des militaires. Les comptes rendus n'en seront pas secrets, et on pourra se les procurer auprès du U.S. Government Printing Office, à Washington, D.C.

Le Professeur James R. Bright a organisé, en novembre 1966, un colloque sur les méthodes de prévision technologique, à l'Industrial Management Center, Lake Placid, New York. Il est à espérer que les conclusions de ce colloque seront publiées. (Le Professeur Bright a déjà fait paraître deux ouvrages (*réf. bibl. 32* et *195*) résultant en partie de colloques organisés dans des domaines étroitement voisins.)

La National Security Industrial Association (NSIA), à Washington, D.C., envisage pour mars 1967 un colloque confidentiel sur la recherche et le développement dans les années 1970, colloque qui doit comprendre une séance particulièrement « brillante » sur la prévision technologique et surtout sur la méthodologie.

II.1.2. Types de méthodes utilisées et état de l'art

Toutes les méthodes de prévision technologique existantes se caractérisent par les trois aspects suivants, qui sont — jusqu'à un certain point — interdépendants :

Elles ont été conçues en vue d'un « dialogue entre l'homme et la technique » ; elles sont très sensibles aux connaissances de l'homme et à son penchant pour la pensée imaginative, les jugements techniques et de valeur, et les synthèses. Pour l'essentiel, elles ne remplacent pas la prévision humaine, mais elles la disciplinent et la renforcent. En particulier, le potentiel de la prévision humaine est étendu aux cas où interviennent des relations complexes et nombreuses.

Ce sont des méthodes partielles, qui ne portent que sur une fraction du processus de prévision technologique ; leur association peut produire des méthodes mieux combinées, mais non encore totalement intégrées (dans l'état actuel de l'art).

Ce sont des systèmes auxiliaires pour la préparation des décisions qui doivent normalement se fonder sur des informations plus larges.

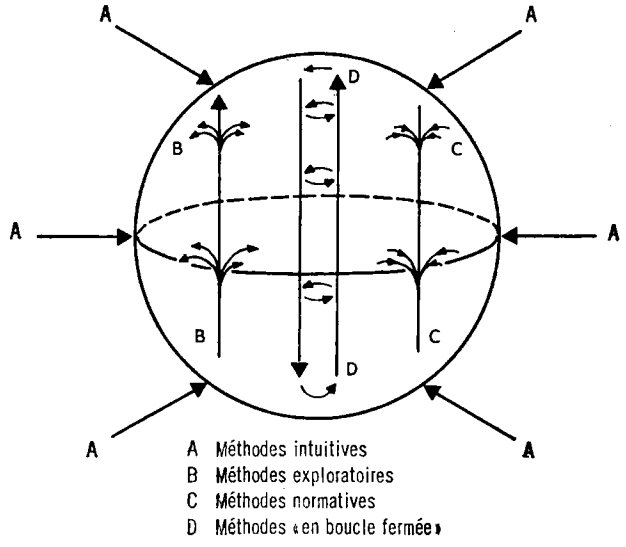
Dans les chapitres suivants, nous examinerons brièvement et, autant que possible, nous décrirons sommairement, quelque cent méthodes ou fractions de méthodes. On ne peut les appeler toutes des « méthodes de prévision technologique » car elles n'ont pas toutes été conçues dans ce but. Toutefois, elles sont toutes liées, soit au domaine complexe de la prévision technologique, soit à certains de ses aspects.

Dans ce rapport, nous n'avons fait aucune distinction fondamentale entre les méthodes *qualitatives* et *quantitatives* parce que, dans de nombreux cas, il n'y a pas de frontières nettes entre elles et que la même technique peut prendre les deux aspects. Dans diverses circonstances (fusion de plusieurs techniques, conséquences des systèmes complexes, scénarios et anticipations de l'avenir, objectifs et buts qualitatifs), les évaluations qualitatives ont pris une importance égale à celle des méthodes quantitatives.

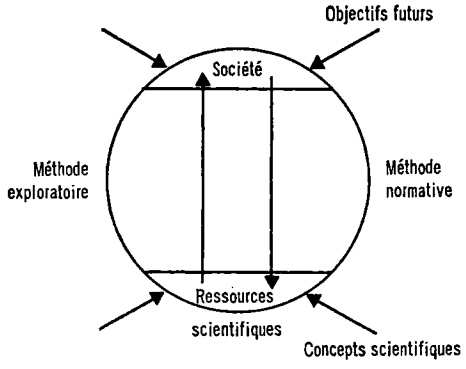
Différents critères permettent de classer ces méthodes, dont le nombre élevé caractérise la phase actuelle d'expérimentation. Conformément aux conclusions de la première partie de ce rapport, nous avons établi une distinction fondamentale entre la prévision technologique normative et la prévision technologique exploratoire. Dans le diagramme de transfert technologique que nous avons décrit dans la première partie afin de représenter la direction et les niveaux de la prévision technologique, les méthodes de prévision exploratoire simulent le mouvement dans le sens des transferts technologiques, tandis que les méthodes de prévision normative passent au crible les transferts technologiques en allant à l'encontre de leur mouvement. Un processus de prévision entièrement intégré est un processus en boucle fermée qui utilise les deux courants. Enfin, une catégorie de méthodes défie ce type de classification : celles qui découlent de la pensée intuitive directement appliquée, qui représente en quelque sorte « une vue de l'extérieur ».

Il est alors possible de représenter les principales directions de transformation de ces quatre types de méthodes en utilisant la « sphère des transferts technologiques » décrite dans la première partie. On a choisi ici une sphère caractéristique d'une société fermée, parce que les méthodes normatives en boucle fermée ne trouvent leur utilisation complète que dans ce

genre d'espace. Par contre, les autres méthodes peuvent être utilisées entièrement dans des espaces en forme de tulipe, caractéristique d'une société ouverte (les méthodes en boucle fermée et les méthodes normatives ne pourraient être utilisées dans de tels espaces qu'aux niveaux inférieurs).



Dans l'espace des transferts technologiques, les niveaux les plus élevés et les plus bas, c'est-à-dire les « niveaux de départ » respectifs des prévisions exploratoires et normatives, peuvent être conçus comme recevant des courants continus « d'énergie spirituelle » venant de l'espace irrationnel qui les entoure. Ces courants deviennent visibles sous forme de découvertes

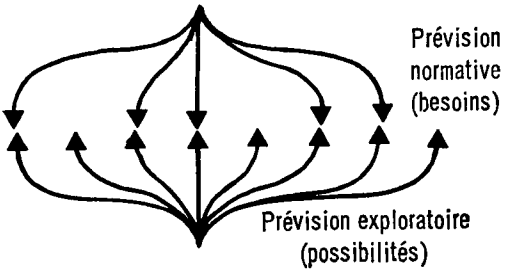


scientifiques et d'objectifs sociaux, avec leur arrière-plan moral. (Il s'agit naturellement d'une image très simplifiée, ne servant ici qu'à illustrer un point particulier). Aucune prévision entièrement intégrée n'est possible si on ne peut déterminer ces flux d'entrée. On ne connaît aucune méthode formelle qui permette d'étudier les découvertes scientifiques au moyen d'une prévision exploratoire scientifique, tandis que la prévision normative peut

stimuler les découvertes scientifiques et guider la recherche fondamentale. La prévision des objectifs sociaux généraux et des structures morales de l'avenir n'est pas une entreprise totalement désespérée ; en fait, on met au point et on expérimente actuellement des systèmes permettant d'améliorer à cet égard la réflexion intuitive (par exemple, la méthode « Delphi », voir section II.2.3.), et de stimuler les anticipations et les évaluations systématiques d'objectifs, en vue d'améliorer les actions présentes aussi bien que futures (voir section II.5.1.).

Dans le passé, les méthodes de prévision technologique avaient principalement pour but de prévoir les transferts technologiques dans le sens exploratoire jusqu'au niveau de la « technologie » (c'est-à-dire au-dessous de l' « équateur » de la sphère) ; encore était-ce uniquement dans la coupe verticale bi-dimensionelle, représentant le processus technologique lui-même. Pour permettre la planification des produits industriels, on leur a associé un certain nombre de méthodes en raccourci, reliant « l'équateur » dans la direction exploratoire puis, ultérieurement, dans la direction normative. L'extension vers les niveaux supérieurs, la prise de conscience de toutes les possibilités des méthodes normatives, et l'extension dans le sens non-technologique, ne sont apparues qu'au cours de ces dernières années et se trouvent encore dans une phase très expérimentale et très primitive. Les méthodes « en boucles fermées » ne sont pas encore utilisées.

Aujourd'hui, une prévision technologique complète doit adapter la prévision normative (besoins, désirs) à la prévision exploratoire (possibilités).



Une méthode critique a été élaborée récemment pour les *techniques intuitives :* la méthode « Delphi ». En principe, les mothédes de ce genre permettent un « accès aléatoire » à tous les niveaux. Elles représentent, à l'heure actuelle, le seul espoir de trouver des ensembles de points de départ valables pour les techniques normatives aux niveaux les plus élevés (« objectifs sociaux »). L'autre solution — qui consiste à atteindre ces niveaux par des méthodes exploratoires (scénarios, etc.) — permettrait d'obtenir certains ensembles par des itérations laborieuses et divers autres procédés, mais ces méthodes ne sont pas assez complètes pour qu'on puisse les considérer comme satisfaisantes.

On peut subdiviser les *méthodes exploratoires* en deux classes qui caractérisent leurs applications potentielles :

Les méthodes qui *créent de nouvelles informations technologiques* comprenant les groupes suivants : extrapolation de tendances de

possibilités fonctionnelles et de paramètres techniques ; « courbes d'apprentissage » ; extrapolation par représentation textuelle ; recherche morphologique ; et peut-être aussi rédaction de scénarios (ce qui n'a pas encore été prouvé).

Les méthodes qui *structurent et traitent certaines informations technologiques* comprennent les groupes suivants : analogie historique ; rédaction de scénarios et itération par synthèse ; méthodes de transformation probabilistes ; analyse économique ; modèles opérationnels et méthodes appliquées au niveau des agrégats.

Cette distinction est extrêmement importante car tout processus complet de prévision technologique doit comprendre une ou plusieurs techniques visant à créer de nouvelles informations technologiques ou — si l'on préfère — à spécifier la nature, et éventuellement certaines des caractéristiques essentielles, des techniques futures. Bien que ce soit là le plus vieux problème de la prévision technologique, la situation est loin d'être satisfaisante ; on peut même dire que ce domaine est « sous-développé » par rapport aux autres aspects de la prévision. L'art d'extrapoler les tendances, qu'un certain nombre d'auteurs enthousiastes ont accepté comme un défi, ne concerne qu'une petite partie des nouvelles informations technologiques souhaitées. Les paramètres techniques et les possibilités fonctionnelles ne suffisent pas pour la prévision correcte des conséquences dans l'environnement économique et social ; ils sont plus utiles pour les objectifs militaires, où l'extrapolation des tendances, qui joue aujourd'hui un rôle très intéressant, sera dans l'avenir sérieusement gênée par les efforts de rétroaction résultant d'une meilleure planification et d'une meilleure prévision technologiques. L' « inertie historique », inhérente à toute prévision de tendances, peut elle aussi être affectée de manière significative par cette rétroaction ; après tout, c'est sous l'effet de cette rétroaction que l'entreprise sera incitée à faire de la prévision technologique. Au contraire, la rétroaction obtenue par la planification, qui a déjà accéléré le progrès dans le domaine militaire, risque de ne pas se maintenir au même rythme, et la tendance à des transferts technologiques horizontaux plus importants dans le secteur civil peut même être un facteur de ralentissement. Nous n'avons pas encore mesuré les dimensions des transferts technologiques, et les essais de prévision de la composante verticale, considérée comme un élément isolé, représentent une méthode douteuse.

La méthode la plus systématique de génération de nouvelles informations technologiques est la « recherche morphologique », méthode qui permet d'obtenir un spectre complet et libre de parti pris, pour des systèmes, sous-systèmes, etc., technologiques fonctionnels. L'évaluation des possibilités, qui donne une valeur fonctionnelle à cette méthode, peut être facilitée par une extrapolation des tendances ou d'autres méthodes capables de procurer des informations.

Pour que la prévision normative, dont l'importance croît rapidement, puisse répondre à ses promesses, elle devra être complétée par des méthodes qui offrent un spectre aussi complet que possible des possibilités technologiques. La « recherche morphologique » associée à une exprapolation des tendances est la meilleure possibilité dont on dispose actuellement, bien qu'elle ne soit pas encore appliquée. Le seul recours à l'extrapolation des tendances est une formule de remplacement (encore qu'elle soit déjà appliquée de manière systématique dans le système PATTERN de prévision

normative mis au point par Honeywell). En dehors des méthodes, la réflexion intuitive est l'autre solution la plus sûre et la plus « naturelle » qui sert de ciment indispensable à toutes les méthodes insuffisamment intégrées.

L'autre catégorie de méthodes exploratoires, celle qui structure et qui traite certaines informations technologiques, est relativement abondante. Son importance va croître avec l'extension de la prévision exploratoire à la moitié supérieure de la « sphère des transferts technologiques » (celle des conséquences), et avec l'utilisation de la prévision à grande échelle, qui permettra d'évaluer des volumes considérables d'informations de base et de relations programmées. Il suffit de se rendre compte des difficultés qu'entraîne la détermination correcte de l'influence du facteur temps sur les avantages économiques en l'absence de comptabilité financière actualisée, pour apprécier le rôle de cette catégorie de méthodes. Elle sera indispensable aux futurs systèmes de boucle fermée, mais ne prendra toute son importance qu'une fois que la simulation sur calculateurs, à peine amorcée aujourd'hui, aura permis d'inclure la prévision technologique dans les futurs systèmes de traitement de l'information.

L'application des *méthodes normatives* résulte de l'existence de possibilités accrues, surtout dans les domaines techniques, que les contraintes budgétaires ou autres ne permettent pas d'exploiter. C'est ainsi que se caractérise la situation actuelle. Toutefois, on ne peut automatiquement admettre qu'il en sera de même dans un avenir infini, pas plus qu'on n'a pu toujours l'admettre dans l'histoire humaine. Les méthodes normatives n'ont vraiment de sens que dans une société assez fermée, ou à des niveaux de transferts technologiques que l'on peut considérer comme suffisamment fermés. Cette condition préliminaire est aujourd'hui remplie pour des programmes technologiques convenablement définis, tels que, par exemple, ceux des domaines spatiaux et militaires. Elle commence également à l'être à propos de questions brûlantes, nationales et sociales, dans les pays qui s'orientent vers l'avenir par goût ou par nécessité (abstraction faite du problème de la dictature) : États-Unis, France, Suède, suivis à une certaine distance par l'Italie, les Pays-Bas, le Canada et quelques autres. La plupart des nations industrielles occidentales n'ont pas encore atteint ce stade (et on soulignera dans ce rapport qu'il leur est indispensable d'atteindre cette maturité s'ils veulent éviter le dirigisme).

Le Vice-président des États-Unis, Hubert Humphrey, alors sénateur, a proposé au Sénat, le 10 septembre 1964, l'adoption d'une résolution visant à créer un groupe consultatif auprès du Président pour l'exploitation de l'information scientifique. Il affirma à cette occasion : « L'industrie, comme l'administration, a un besoin urgent de nouvelles méthodes et de nouveaux systèmes pour exploiter l'information et faciliter ainsi l'adoption de décisions et de mesures cruciales pour notre société. De la découverte et de l'utilisation de ces nouvelles méthodes et de ces nouveaux systèmes, dépendent non seulement la solution d'un grand nombre de problèmes actuels, mais également le maintien de notre suprématie mondiale... Désormais, il est absolument évident qu'un grand nombre de problèmes qui se posent à notre société, resteront insolubles tant que nous n'aurons pas découvert et adopté, pour l'exploitation de l'information et la préparation des décisions, des méthodes adaptées aux modifications qui se sont produites et qui continueront de se produire dans la vie nationale et internationale ». Cette déclaration reflétait l'impression favorable que le nouveau système PATTERN

avait provoquée dans l'opinion en tant que méthode très perfectionnée de prévision technologique normative. Le groupe « Delphi », qui s'intéresse plus particulièrement à l'automation, prévoit l'utilisation générale de calculateurs dans la préparation des décisions à partir de 1970.

Les méthodes normatives bénéficient de l'intérêt accordé actuellement au développement de la recherche opérationnelle, à la théorie des décisions et à l'analyse des systèmes[1]. Combs (*réf. bibl. 108*) a effectué une étude générale de la valeur de la théorie des décisions pour la gestion technique. Brandenburg (*réf. bibl. 97*), ainsi que Baker et Pound (*réf. bibl. 91*), ont résumé et analysé de manière critique un certain nombre de méthodes normatives simples à deux niveaux (au sens de niveaux de transferts technologiques), parfois appelées « procédures de classification des projets de recherche et de développement » (expression qui recouvre aussi les méthodes d'analyse économique exploratoire).

Le principe le plus souple et le meilleur dont on dispose aujourd'hui pour la prévision normative est celui du graphe de pertinence, qui se trouve à la base du système PATTERN et de plusieurs autres méthodes. C'est également le principe le plus « transparent », capable de fournir une masse importante d'informations complémentaires. Les tâches préparatoires et de mise à jour, dont le volume s'accroît rapidement, imposent certaines limites au nombre des niveaux et des points de branchement ; les calculs, que l'on peut facilement programmer sur calculateur, ne constituent pas une difficulté insurmontable. Un avantage particulier des graphes de pertinence, qui peuvent différer par les systèmes d'évaluation et par les divisions utilisées aux niveaux inférieurs, réside dans le fait qu'ils se présentent sous la forme d'« arbres » dont les ramifications terminales peuvent être identifiées sur un schéma formel. Cet avantage est primordial dans les domaines où le gouvernement a intérêt à ce que sa politique soit connue de fournisseurs très largement dispersés, par exemple dans le domaine spatial et militaire.

Les méthodes des réseaux sont intéressantes pour certains aspects particuliers de la prévision normative, et surtout pour l'évaluation de différents concepts de systèmes. L'emploi de modèles opérationnels semble être moins important pour la prévision normative que pour la prévision exploratoire. Il est probable qu'on l'utilisera surtout pour faciliter des choix entre divers développements complexes possibles.

Jusqu'ici, on n'a guère eu recours à l'analyse des systèmes pour la prévision technologique. Ce sont les pionniers de la prévision qui l'appliquent — la RAND Corporation, la System Development Corporation, le TEMPO Center de la General Electric, tous situés en Californie — du fait que leurs travaux portent fréquemment sur des problèmes de prévision technologique ou leur sont associés. L'analyse des systèmes est une méthode générale qu'il convient d'adapter à chaque nouveau travail. Il n'existe pas de technique rigoureusement définie que l'on puisse facilement transplanter chez d'autres utilisateurs.

Il est possible que l'on parvienne à mettre au point des méthodes en boucle fermée à partir d'éléments de prévisions normatives et exploratoires, ou d'aspects nouvellement découverts. En principe, il ne semble pas réalisable de combiner les méthodes actuelles pour former des systèmes à rétroaction entièrement intégrés, couvrant tous les niveaux et toutes les directions

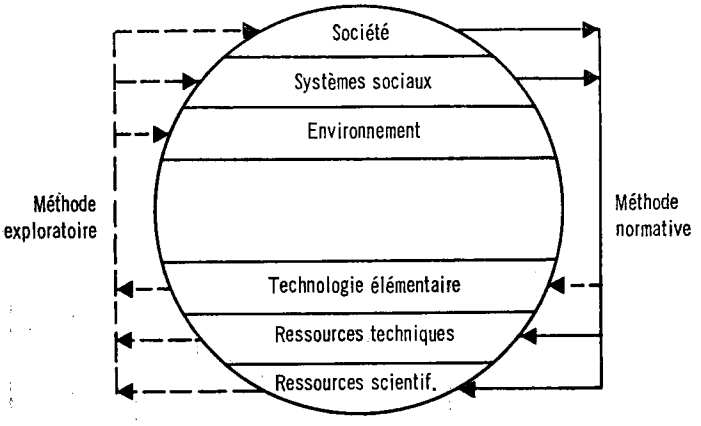
1. Nous ne nous intéressons pas ici aux définitions variables qui sont données de ces termes, parfois désignés par l'expression générale de « recherche opérationnelle ».

de transferts technologiques. Toutefois, il paraît possible aujourd'hui d'avoir des systèmes bouclés à plusieurs niveaux, fondés sur un « dialogue entre l'homme et la technique », ainsi que des systèmes partiellement bouclés, ne portant que sur deux ou trois niveaux ou sur certaines directions des transferts technologiques.

Les systèmes « bouclés » résultent naturellement de circonstances identiques à celles qui ont porté la prévision normative à l'avant-scène. On peut penser que des efforts importants seront consacrés à leur mise au point et à leur perfectionnement, lorsque des techniques de préparation des décisions auront été adoptées dans des secteurs d'intérêt public, social et national.

En général, les *méthodes de « courts-circuits »* n'ont guère été explorées jusqu'ici, à l'exception de la réflexion intuitive. Cependant, on a parfois recours à quelques méthodes qualitatives, telles que l'analogie historique, pour établir des relations directes de prévision entre des niveaux non-adjacents. Il n'est pas encore certain que l'on puisse appliquer des méthodes de « courts-circuits » dont le but fondamental serait — à partir d'un niveau de transfert technologique donné — de rendre possible l'obtention d'un « accès aléatoire » à tout autre niveau. Il semble qu'il existe un besoin urgent de telles techniques, surtout dans le sens normatif.

Dans les prévisions normatives composites, qui vont des niveaux de transfert technologique les plus élevés jusqu'aux plus bas, il y a une perte d'information inévitable — et apparemment importante. (Ce problème devrait pouvoir être traité par la théorie de l'information). En outre, certains aspects significatifs et certaines valeurs importantes semblent échapper à une classification selon des principes hiérarchiques.



Il serait de la plus haute importance de mettre au point des techniques sûres, permettant par exemple de déterminer les tâches nécessaires à la recherche fondamentale et aux développements technologiques fondamentaux, en partant des objectifs sociaux, des buts nationaux, des missions de haut niveau, etc. (D'une certaine manière, c'est ce que le COSPUP tente de faire sur une base intuitive dans ses rapports — voir chapitre I.4.). Les méthodes de « courts-circuits » auraient plus d'importance encore si l'on pouvait prendre en considération, pour les systèmes futurs, diverses séries de buts possibles, et pas seulement les buts admissibles à l'heure actuelle (voir section II.5.1.). La réflexion intuitive, basée sur la méthode « Delphi »

(voir section II.2.2.), semble apporter quelques résultats préliminaires dans cette voie, en formulant les désirs futurs sous la forme d'un potentiel technologique fonctionnel.

On trouvera ci-dessous un *tableau des différentes techniques*, ou d'éléments de techniques, analysés dans les chapitres suivants. Ce tableau donnera une idée générale de leurs domaines d'application et de leur principale orientation. Les indications conventionnelles sont nécessairement imprécises et prêtent à discussion. On remarquera que les méthodes s'étendant sur de nombreux niveaux sont relativement rares. Les méthodes exploratoires s'entassent dans les niveaux « technologiques » inférieurs, tandis que les méthodes normatives, fortement installées dans les niveaux supérieurs (conséquences), pénètrent hardiment dans les niveaux technologiques.

Nous avons défini au chapitre I.1. la signification des huits niveaux de transfert technologique :

I = Ressources scientifiques
II = Ressources techniques
III = Technologie élémentaire
IV = Systèmes technologiques fonctionnels
V = Applications
VI = Environnement
VII = Systèmes sociaux
VIII = Société

On utilisera, dans le tableau ci-dessous, les signes conventionnels suivants :

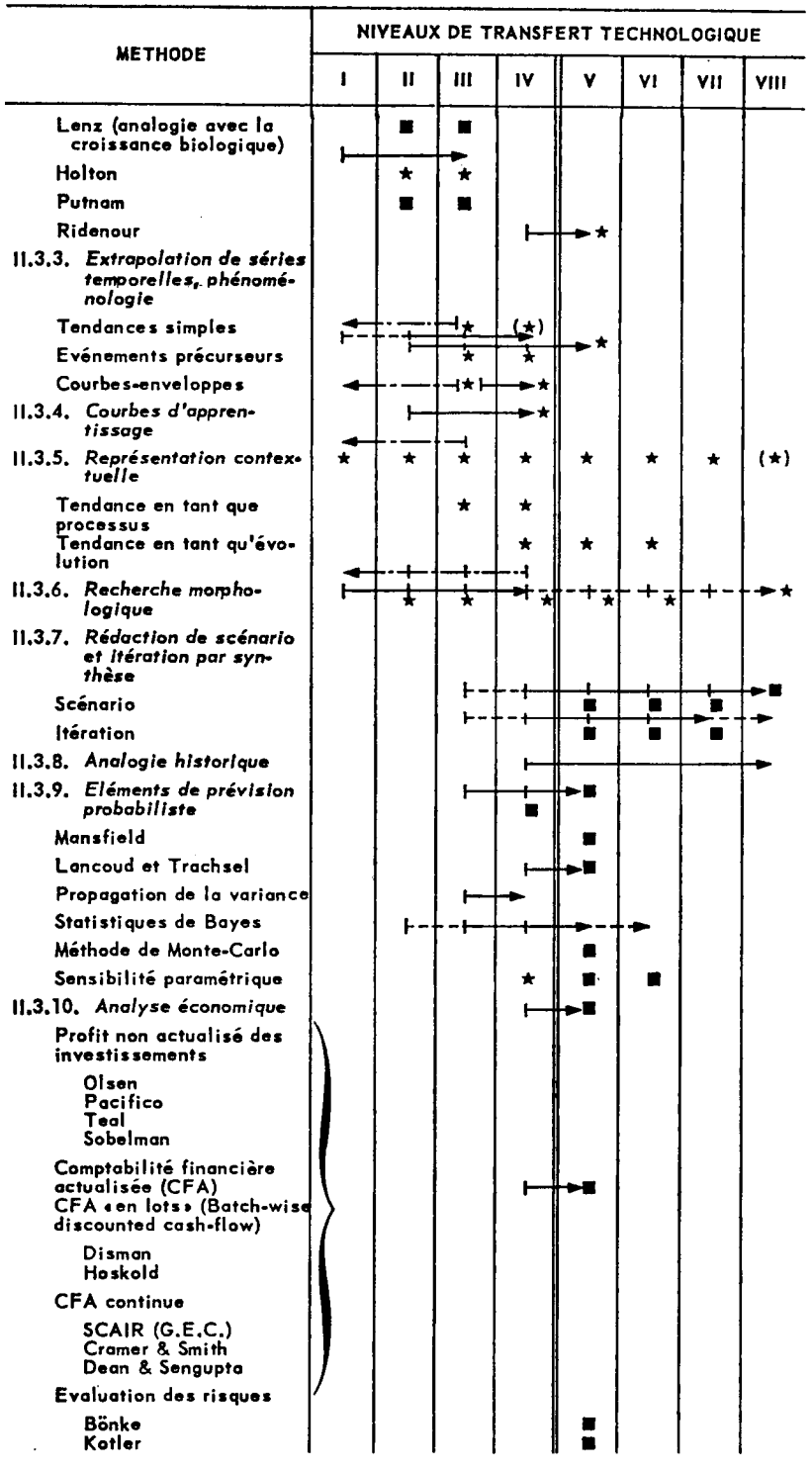
★ (★) Niveau d'application (isolé). (Entre parenthèses : douteux ou officieux).

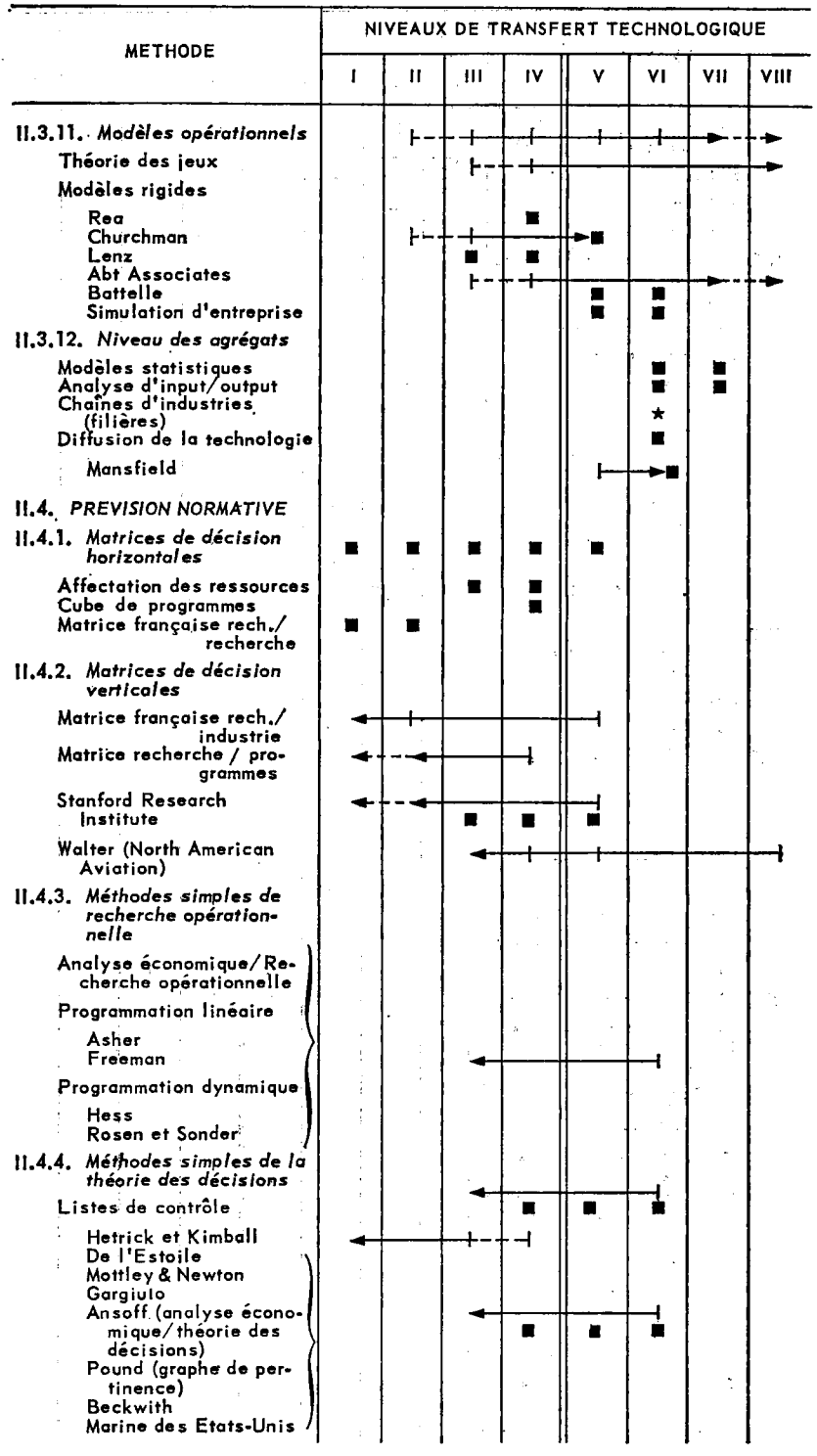
■ Association poussée avec des facteurs horizontaux.

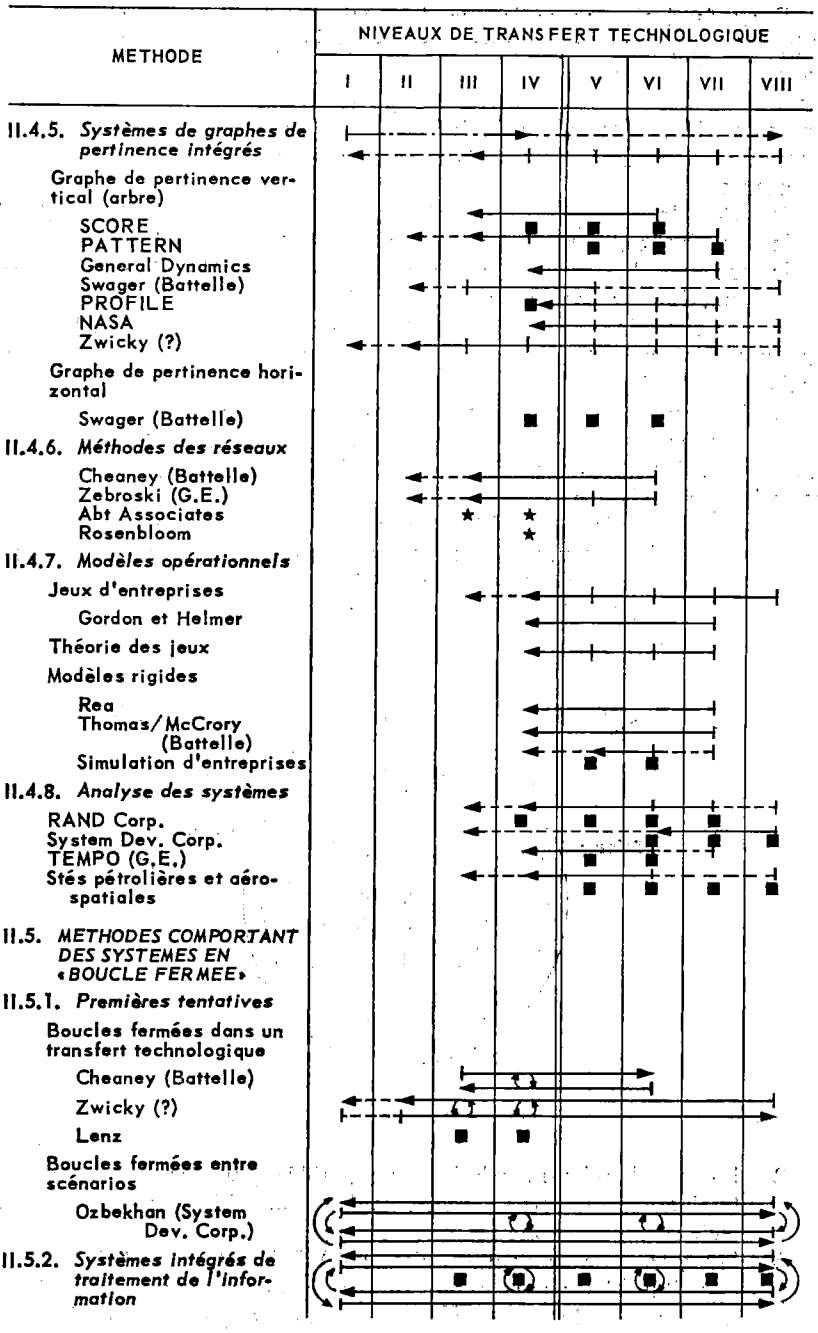
Direction et pénétration de la méthode de transformation. (Traits verticaux : appréciation individuelle possible pour ce niveau. Ligne pointillée : incertain).

Net encouragement à la « rétro-action » (humaine).

METHODE (le numéro de la section indique dans quelle partie du présent rapport elle est étudiée	NIVEAUX DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
II.2 *REFLEXION INTUITIVE*								
II.2.2. « *Brainstorming* »								
« Brainstorming » simple		(★)	★	★	★	★	(★)	(★)
Méthode des « groupes de discussion » (« buzz groups »)			★	(★)				
« Créativité opérationnelle »		★	★					
II.2.3. *Méthode « Delphi »*				(★)			★	★
II.2.4. *Utopie et science-fiction*								★
II.3. *PREVISION EXPLORATOIRE*								
II.3.2. *Extrapolation de séries temporelles, modèles analogiques*								
Adams			★					
Isenson		■	■					
Hartmann		■	■					


METHODE
NIVEAUX DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
Lenz (analogie avec la croissance biologique)
Holton
Putnam
Ridenour
II.3.3. Extrapolation de séries temporelles, phénoménologie
Tendances simples
Evénements précurseurs
Courbes-enveloppes
II.3.4. Courbes d'apprentissage
II.3.5. Représentation contextuelle
Tendance en tant que processus
Tendance en tant qu'évolution
II.3.6. Recherche morphologique
II.3.7. Rédaction de scénario et itération par synthèse
Scénario
Itération
II.3.8. Analogie historique
II.3.9. Eléments de prévision probabiliste
Mansfield
Lancoud et Trachsel
Propagation de la variance
Statistiques de Bayes
Méthode de Monte-Carlo
Sensibilité paramétrique
II.3.10. Analyse économique
Profit non actualisé des investissements
Olsen
Pacifico
Teal
Sobelman
Comptabilité financière actualisée (CFA)
CFA «en lots» (Batch-wise discounted cash-flow)
Disman
Haskold
CFA continue
SCAIR (G.E.C.)
Cramer & Smith
Dean & Sengupta
Evaluation des risques
Bönke
Kotler


METHODE
NIVEAUX DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
II.3.11. Modèles opérationnels
Théorie des jeux
Modèles rigides
Rea
Churchman
Lenz
Abt Associates
Battelle
Simulation d'entreprise
II.3.12. Niveau des agrégats
Modèles statistiques
Analyse d'input/output
Chaînes d'industries (filières)
Diffusion de la technologie
Mansfield
II.4. PREVISION NORMATIVE
II.4.1. Matrices de décision horizontales
Affectation des ressources
Cube de programmes
Matrice française rech./ recherche
II.4.2. Matrices de décision verticales
Matrice française rech./ industrie
Matrice recherche / programmes
Stanford Research Institute
Walter (North American Aviation)
II.4.3. Méthodes simples de recherche opérationnelle
Analyse économique/Recherche opérationnelle
Programmation linéaire
Asher
Freeman
Programmation dynamique
Hess
Rosen et Sonder
II.4.4. Méthodes simples de la théorie des décisions
Listes de contrôle
Hetrick et Kimball
De l'Estoile
Mottley & Newton
Gargiulo
Ansoff (analyse économique/théorie des décisions)
Pound (graphe de pertinence)
Beckwith
Marine des Etats-Unis



CENTRE d'ETUDES
RECHERCHE
(C.E.R.)
116, Bd Pereire - PARIS-XVII
Tél. 755-87-18

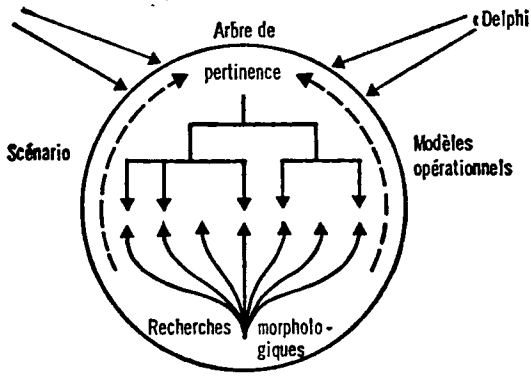
Il ne faudrait pas se laisser dérouter par le nombre surprenant des méthodes, ou même des groupes de méthodes utilisant la même technique. Il y en a relativement peu qui représentent réellement des « percées » dans leur domaine. En dehors de l'art déjà ancien de l'extrapolation des tendances, et de ses raffinements les plus récents basés sur la courbe en S et sur la courbe-enveloppe, il n'y a eu que trois développements réellement importants :

la méthode « Delphi », pour l'amélioration de la réflexion intuitive ;
la « méthode morphologique », pour la prévision exploratoire ;
le principe du graphe de pertinence, qui sert de base à un certain nombre de techniques de prévision normative.

Il est possible que des « percées » apparaissent plus tard dans les domaines des jeux et de la simulation opérationnelle sur calculateurs, de l'analyse totale des systèmes, et des systèmes en boucle fermée. D'intéressantes idées ont déjà pris naissance dans ces domaines.

Un *système optimal* et complet de *prévision* à grande échelle utiliserait, compte tenu des méthodes existantes et utilisables en 1966, une combinaison des techniques suivantes :

1. La méthode « Delphi », permettant de choisir sans parti pris des objectifs, sociaux ou autres, de niveau élevé en s'aidant peut-être de scénarios ou de modèles opérationnels dans le domaine social, militaire, politique et économique.

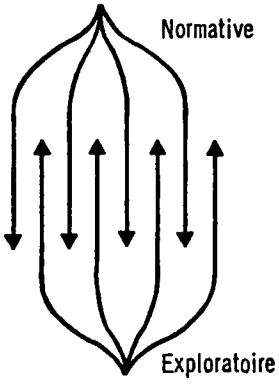


2. La « recherche morphologique », aidée par des extrapolations de tendances, qui permet une exploration objective des possibilités technologiques réalisables.
3. Un graphe de pertinence, tel que PATTERN, pour l'adoption explicite d'une base normative qui permettra un choix convenable.

Le système de prévision effectivement employé par Honeywell et centré sur le système PATTERN est semblable à celui qui vient d'être exposé, mais n'utilise que l'extrapolation des tendances et la rédaction de scénarios.

Dans un système de prévision optimal, portant sur un nombre limité de possibilités (par exemple aux niveaux les plus élevés), l'analyse des systèmes pourrait remplacer le graphe de pertinence.

Différents objectifs conduiront naturellement à des conceptions optimales différentes de telles associations. Alors que, dans l'exemple ci-dessus, les transformations normatives et exploratoires se rencontrent près de « l'équateur » et s'y combinent sans pénétrer profondément dans leurs hémisphères réciproques, on peut souhaiter un entrelacement plus profond des deux transformations opposées. Dans ce cas, le problème serait sur-déterminé, ce qui n'est peut-être pas souhaitable dans des secteurs de grande incertitude. Il se peut également que la « rétroaction » soit favorisée par un entrelacement plus profond.



Il convient également d'attirer l'attention sur l'importance des *liaisons entre les niveaux* ou entre différentes techniques d'une même combinaison. L'analyse économique fournit un excellent moyen d'effectuer certaines liaisons, par exemple entre les systèmes et le niveau d'utilisation. Elle peut prendre une importance encore plus grande s'il est possible d'utiliser des unités économiques monétaires pour quantifier les problèmes de prévision dans un contexte plus général. Les premières tentatives de quantification monétaire des objectifs sociaux peuvent conduire à l'adoption d'un « langage » plus courant pour formuler les problèmes de prévision. Il semble que ce soit en outre la condition préalable d'utilisation des méthodes intégrées sur calculateurs, et de leur insertion future dans de vastes systèmes de la technologie de l'information.

La *prévision probabiliste* — estimation d'informations (données et relations) introduites sous forme de distributions de probabilités et permettant d'obtenir des résultats exprimés sous la même forme — est étudiée actuellement, mais se trouve encore dans la phase expérimentale. La mise au point de la prévision probabiliste est certainement l'un des problèmes cruciaux auxquels se heurte le développement des méthodes de prévision.

L'*appui réciproque* aux différents niveaux, par exemple l'utilité d'un matériau déterminé pour différents composants, ou d'un composant ou d'un sous-système donné pour divers systèmes primaires, etc, laisse encore à désirer. Quelques techniques en tiennent compte à l'aide de compléments ou de modifications. Le système PATTERN lui conserve une place libre en vue d'évaluations futures plus précises. On peut s'attendre à ce que

l'importance accordée aux aspects « communs » des programmes militaires de recherche et de production aux États-Unis favorise les développements dans cette voie.

Bien que les systèmes en « boucle fermée » ne soient pas encore en exploitation, certaines méthodes stimulent particulièrement la « rétroaction ». C'est le cas, confirmé par l'expérience, de l'extrapolation des tendances de la représentation textuelle et de la « recherche morphologique », qui conduisent toutes à une situation dans laquelle ou demande à la recherche fondamentale et au développement exploratoire de fournir les réponses à des questions urgentes qui peuvent provoquer des réflexions fondamentales ou même des programmes de recherche. Dans ce contexte, on a identifié, et même résolu, des problèmes de la plus haute importance mis en évidence par la prévision technologique. Il semble que l'on doive, à l'avenir, apporter plus d'attention à ce rôle de la prévision technologique.

Si l'on classe ces problèmes en un certain nombre de thèmes, on voit apparaître un ensemble de méthodes applicables dans l'état actuel de la prévision technologique :

THÈME	MÉTHODE APPLICABLE	POSSIBILITÉS ACTUELLES
1. Percées scientifiques.	?	
2. Percées technologiques.	Extrapolation des tendances (courbe-enveloppe) ?	Incertaine.
	Recherche morphologique.	Utile (en partie démontrée).
	Graphe de pertinence.	Réalisable.
3. Domaines de recherche fondamentale et développement exploratoire à favoriser.	Evaluation des tendances (courbe-enveloppe).	Démontrée, mais limitée.
	Représentation contextuelle.	Réalisable.
	Recherche morphologique.	Très utile (en partie démontré).
	Analyse économique.	
	Matrice de décion horizontale.	
	Matrice de décision verticale.	Utile dans certaines limites.
	Recherche opérationnelle simple.	
	Théorie de la décision simple.	
	Graphe de pertinence.	Très utile (démontré).
	Modèles opérationnels normatifs.	Incertains.
	Analyse des systèmes.	Potentiellement très utile (démontré).
4. Nature de l'innovation technologique.	« Brainstorming ».	Douteux.
	Méthode « Delphi ».	Utile dans certaines limites.
	Recherche morphologique.	Très utile (démontré).
5. Performances techniques (paramètres techniques, possibilités fonctionnelles, etc.).	Extrapolation des tendances (analytique).	Peu satisfaisante.
	Extrapolation des tendances (phénoménologique).	Utile (démontré).
	Représentation textuelle.	Réalisable.
	Recherche morphologique.	Utile en liaison avec l'extrapolation des tendances, etc.
	Analyse des systèmes.	Réalisable ?

THÈME	MÉTHODE APPLICABLE	POSSIBILITÉS ACTUELLES
6. Délai de mise au point.	Méthode « Delphi ».	Essayé, résultats un peu douteux.
	Extrapolation des tendances (analytique).	Peu satisfaisante.
	Extrapolation des tendances (phénoménologique).	Utile (démontré).
	Courbes d'apprentissage.	Essayées (exigent d'autres résultats).
	Méthodes de réseaux.	Réalisables.
7. Coûts de développement.	Courbes d'apprentissage.	Valeur non démontrée.
	Méthodes de réseaux.	Réalisable ?
8. Rendement des investissements.	Analyse économique.	Très utile, surtout la comptabilité financière actualisée.
9. Coûts de production.	Courbes d'apprentissage.	Essayées (exigent d'autres résultats).
10. Coûts d'exploitation.	?	
11. Impact horizontal (en particulier impact sur le marché).	Analyse économique.	Utile, en liaison avec d'autres méthodes.
	Modèles opérationnels (jeux d'entreprises).	Prometteurs (valeur non encore démontrée).
	Modèles opérationnels (modèles rigides).	Utiles (valeur démontrée pour les domaines commerciaux déjà établis, non démontrée pour l'ensemble du domaine technologique).
	Analyse de systèmes.	Utile (démontré).
12. Impact vertical.	Rédaction de scénarios.	Riche en promesse, en cours d'essai.
	Itération par synthèse.	Utile (en partie essayée).
	Analogie historique.	Incertaine (en partie essayée).
	Modèles opérationnels (jeux).	Très prometteurs (en cours d'essai).
	Modèles opérationnels (modèdèles rigides).	Prometteurs (non démontrés).
	Analyse de systèmes.	Utile (démontré).
13. Objectifs du niveau inférieur (tâches, missions, etc.).	« Brainstorming ».	Douteux.
	Méthode « Delphi ».	Utile dans certaines limites.
	Rédaction de scénarios.	Réalisable.
	Matrice de décision horizontale.	Utile, en partie démontrée.
	Matrice de décision verticale.	Utile, en cours d'essai.
	Graphe de pertinence.	Très utile, démontré.
	Analyse de systèmes.	Potentiellement très utile (en partie démontrée).
14. Objectifs du niveau supérieux (nationaux, sociaux, etc.)	« Brainstorming ».	Très douteux.
	Méthode « Delphi ».	Très riche en promesses (en partie essayée).
	Utopie, science-fiction.	Potentiellement utile en partie (non démontré).
	Rédaction de scénarios.	Utile (démontré).
	Modèles opérationnels (jeux).	Potentiellement utile.
	Modèles opérationnels (modèles rigides).	Potentiellement utile de manière accessoire.

Cette liste est impressionnante, surtout si l'on considère qu'elle reflète un développement systématique datant à peine de cinq ou six ans. On peut donc s'attendre à ce que certains des meilleurs experts en analyse des systèmes et en recherche opérationnelle se sentent poussés à étudier des méthodes nouvelles de plus en plus élaborées, permettant de traiter plus efficacement les problèmes que la prévision technologique cherche à résoudre.

II.1.3. Utilisation des méthodes

L'utilisation de certaines méthodes n'est nullement une mesure de la qualité de la prévision technologique. Deux des trois instituts américains les plus importants qui s'occupent de prévision technologiques, le Stanford Research Institute et Arthur D. Little, publient des séries régulières de prévisions, mais n'emploient que très rarement des méthodes complexes ; le troisième, le Battelle Memorial Institute, a rejoint les précurseurs des méthodes de prévision technologique, mais depuis peu seulement.

Les utilisateurs des méthodes de prévision s'accordent presqu'unanimement sur le fait qu'à l'époque actuelle le principal intérêt de cet exercice est la grande amélioration qu'il apporte à l'étude des facteurs d'influence et de leurs relations internes, ainsi qu'à l'analyse de la sensibilité des solutions à la variation de ces facteurs. La possibilité d'estimer, dans un ensemble cohérent, les différentes solutions possibles, constitue probablement un autre avantage non négligeable.

De manière paradoxale, il se peut qu'une entreprise bien organisée soit moins tentée de faire appel à ces méthodes si elle a atteint un degré de perspicacité tel que celles-ci ne puissent beaucoup l'améliorer.

Une société américaine d'électronique a abandonné plusieurs techniques quantitatives[1] (simples) quand, grâce à une organisation très poussée de ses services de planification, elle a pu réellement dominer le processus d'innovation technologique. « Les projections l'empêchaient de se consacrer à la planification ».

L'argument de la « perspicacité » explique aussi certaines hésitations qu'éprouve la haute direction avant d'approuver l'utilisation de méthodes plus élaborées. Dans les entreprises modernes orientées vers le futur — par exemple dans certaines industries américaines où le taux d'innovation est supérieur à la moyenne — la direction semble favoriser une utilisation modérée de ces méthodes, en les limitant à des types simples et transparents. L'utilisation, très répandue, de méthodes matricielles simples à deux ou trois dimensions est un signe de cette attitude. On utilise quelquefois, en même temps, des méthodes simples et des méthodes élaborées non pas tant pour les compléter l'une par l'autre, mais afin de satisfaire des opinions divergentes à différents niveaux de la direction. Honeywell (États-Unis), la société qui a créé et qui applique la méthode des graphes de pertinence la plus complexe, le système PATTERN, utilise également des matrices simples qui, d'après les comptes rendus, seraient plus convaincantes pour la haute direction, tandis que les échelons moyens ont une très grande confiance dans le système PATTERN, qui atteint le degré maximal de transparence que l'on peut espérer d'un modèle compliqué.

1. Elle continue d'utiliser quelques méthodes numériques, à titre purement accessoire.

Un autre facteur important, apprécié tout à fait différemment dans diverses entreprises, est la valeur économique des méthodes de prévision complexes ou, plus précisément, « le rendement de l'investissement ». Les méthodes élaborées entraînent des dépenses qui ne sont pas négligeables, même pour les sociétés importantes. Comme on le verra à la section II.4.5., la mise au point du système PATTERN a coûté approximativement 250.000 dollars pour les applications aux activités militaires et spatiales de Honeywell, et peut demander annuellement entre 50.000 et 100.000 dollars pour la mise à jour et les dépenses de fonctionnement. Une exigence encore plus rigoureuse est l'intervention de spécialistes de la recherche opérationnelle et de techniciens hautement qualifiés qu'une société peut hésiter à affecter à une expérience dont le résultat est incertain. En outre, il faut un temps considérable — parfois plusieurs années — pour adapter une technique complexe aux caractéristiques de l'entreprise. Cet effort exige une confiance inébranlable et même de l'enthousiasme. La prévision technologique, au moins dans ses formes les plus complexes, est comparable à cet égard aux problèmes de l'information technique et scientifique. Dans les deux cas, il est difficile de déterminer quantitativement les avantages à en attendre, ou de prouver l'origine d'avantages obtenus. Néanmoins, partout où ces méthodes sont appliquées, la confiance qu'on leur accorde a tendance à croître, et l'on estime que les résultats en sont encourageants. Un problème plus délicat est parfois suscité par l'attitude de la direction, qui tend à estimer superflue la simulation de ses propres processus de décision. Ayres (*réf. bibl. 89*) se pose également cette question dans le cas des organismes militaires des États-Unis.

Enfin, certaines des méthodes proposées semblent s'éloigner trop de la réalité, ou représenter des techniques particulières uniquement applicables à un secteur étroit ou à une seule entreprise. Brandenburg (*réf. bibl. 97*), et Baker et Pound (*réf. bibl. 91*), dans leur étude critique d'un certain nombre de « procédures de classification » simples, fondées sur l'analyse économique, la recherche opérationnelle et la théorie des décisions, soulignent un certain nombre d'inconvénients de ce genre. On introduit souvent des considérations multi-dimensionnelles telles que « la réussite du projet » sous forme d'un indice simple, pondéré de la même façon que d'autres facteurs.

Baker et Pound ont également essayé de déterminer le nombre de sociétés américaines et de laboratoires gouvernementaux, sur un total d'environ 50, qui connaissent, essayent et appliquent ces « procédures de classification ». Le résultat montre qu'en 1964 leur utilisation était très limitée. Les procédures de classement fondées sur la recherche opérationnelle ou sur la théorie des décisions ne sont généralement expérimentées ou appliquées que dans les entreprises ou les laboratoires où elles ont pris naissance, et les essais — même considérés comme satisfaisants — ne sont pas toujours suivis d'applications pratiques. La plupart des entreprises ne sont pas au courant des méthodes mises au point ailleurs. On peut en conclure qu'il est encore trop tôt pour espérer une plus grande diffusion de méthodes expérimentales qui ne méritent d'ailleurs pas un accueil plus général. En 1964, c'était généralement le précurseur enthousiaste ou l'autodidacte qui résolvait ses problèmes urgents par ses propres moyens et de manière simple. Il est possible qu'en raison de l'intérêt croissant que suscitent les méthodes de prévision technologique dans de nombreuses sociétés et laboratoires des États-Unis, notamment le système PATTERN, l'année 1966 marque une période de transition conduisant au début d'une « fertilisation réciproque ».

Kiefer (*réf. bibl. 146*), dans une étude de l'industrie chimique aux États-Unis en 1963, cite cinq sociétés qui utilisent des « listes de vérification » (plus une société qui envisageait leur utilisation et une autre qui les ont abandonnées), 11 entreprises qui appliquent des méthodes de comptabilité financière actualisée pour déterminer le « rendement des investissements » affectés à des projets de recherche et développement de niveau supérieur (quatre de ces entreprises employant des formules assorties d'autres facteurs, tels que la probabilité de succès, etc.), une société (Monsanto) qui emploie l'analyse économique associée à d'autres méthodes plus élaborées, et une entreprise (Hercules Powder) qui construit un modèle de gestion, utilisable sur calculateur analogique, pour chaque projet.

Notre propre enquête a surtout porté sur les secteurs industriels les plus novateurs (essentiellement le domaine électrotechnique, chimique et pétrochimique, pétrolier, pharmaceutique et aérospatial) et sur la planification militaire technique. Nous en avons retiré l'image générale suivante en 1966 (sauf indication contraire, les remarques concernent les États-Unis) :

TYPE DE MÉTHODE	UTILISATION
A. ENVIRONNEMENT DU DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE	
« Brainstorming »	Plus ou moins démodé aux États-Unis, mais encore considéré comme utile dans quelques entreprises européennes et à l'OTAN, dans une version qui comprend une préparation systématique.
Méthode « Delphi »	Essais envisagés par TRW (États-Unis).
Extrapolation des tendances sur une base phénoménologique	Utilisation très générale, comprenant des extrapolations élaborées de courbes en S et de courbes-enveloppes, dans les milieux militaires, aux États-Unis comme en Europe, et dans l'industrie (surtout aux États-Unis) ; sa plus grande utilisation systématique sert à la préparation des informations de base du système PATTERN (Honeywell) nécessitant des centaines et des milliers d'évaluations individuelles.
Représentation contextuelle	Application limitée dans certaines entreprises, importance croissante.
Recherche morphologique	D'après son auteur, il y a déjà eu 30 utilisations industrielles, la plupart des applications complètes concernant la propulsion à réaction, chez Aerojet ; également appliquée à l'astronomie fondamentale.
Rédaction de scénarios	Les applications sont réservées à l'exploration des objectifs de niveau élevé : par exemple, chez Honeywell, pour la préparation du système PATTERN, et dans les grandes sociétés pétrolières en Europe aussi bien qu'aux États-Unis.
Itération par synthèse	Application systématique chez Unilever (Brech) au Royaume-Uni. Applications moins systématiques apparemment nombreuses, y compris dans les grandes sociétés pétrolières en Europe.
Analyse économique	Pratiquement dans toutes les entreprises ayant d'importants programmes de recherche et de développement. Les méthodes de comptabilité financière

TYPE DE MÉTHODE	UTILISATION
Analyse économique (*Suite*).....	actualisée sont appliquées par 20 à 25 % des sociétés visitées, généralement pour des projets bien définis dans une phase de développement avancé. Le groupe suédois Wallenberg (ASEA, Ericsson, etc.) l'applique rigoureusement pour le choix de ses projets. Des procédures de classification fondées sur des méthodes perfectionnées de comptabilité financière actualisée sont appliquées dans différentes entreprises, par exemple SCAIR à la GEC (Royaume-Uni).
Modèles opérationnels exploratoires, jeux d'entreprises	Applications occasionnelles possibles des jeux d'entreprises ; en cours d'examen au Canadian Paper and Pulp Research Institute ; intérêt général croissant.
Modèles opérationnels exploratoires Modèles rigides sur calculateur.	Les modèles de gestion intégrés sont également utilisés pour la prévision (Xerox Corp., États-Unis), mais sont très rares ; des modèles particuliers sont utilisés dans certains cas ; applications au domaine technique militaire (?).
Matrices de décision horizontales.	Utilisation générale, surtout celle de matrices de recherche et de ressources ; certaines applications rigoureuses dans la préparation des décisions (Boeing).
Matrices de décision verticales ...	Quelques applications, surtout aux programmes de recherche et de développement ; North American Aviation applique un système ambitieux de matrices tri-dimentionnelles, afin d'associer les développements spatiaux à des applications sociales.
Méthodes de préparation des décisions simples fondées sur la recherche opérationnelle	En dépit de l'intérêt manifesté par les spécialistes de recherche opérationnelle, quelques applications seulement jusqu'à présent ; elles sont généralement associées à une analyse économique (maximalisation de la valeur nette totale espérée) ; il est possible que ce soit un domaine en expansion.
Méthodes simples de préparation des décisions fondées sur une théorie des décisions	Nombreuses applications de « listes de vérification » avec et sans classement, mais leur courbe semble décroître ; quelques formules numériques utilisées dans les milieux militaires pour les problèmes de rang (France), ou pour des problèmes partiels (Marine américaine) ; rarement employées dans l'industrie.
Systèmes de graphes de pertinence intégrés à plusieurs niveaux....	Six applications connues du système PATTERN (Honeywell, Division médicale et division militaire et spatiale, NASA, Armée de l'air américaine) ; au moins trois applications d'autres méthodes (y compris la NASA ; en cours de mise au point au Battelle Memorial Institute ; en cours d'examen par la Marine américaine ; suscite un grand intérêt — enthousiasme aussi bien que scepticisme — et le désir de trouver des méthodes semblables mais simples, afin de réduire l'importance des travaux nécessaires à la mise au point du système ; opérations

TYPE DE MÉTHODE	UTILISATION
Système de graphes de pertinence intégrés à plusieurs niveaux (*Suite*)	« d'avant-garde » pouvant donner lieu à des applications dans des domaines plus larges de préparation des décisions technologiques et gouvernementales.
Méthodes de réseaux	Appliquées, par exemple, par la General Electric (Atomic Power Department) ; en cours d'examen au Battelle Memorial Institute.
Modèles opérationnels normatifs, modèles rigides sur calculateurs.	Quelques applications pour les nouveaux produits de consommation (modèles « Démon » du BBDO, et « New Products » de la 3M Company, aux États-Unis). Un modèle est en cours de préparation pour l'Armée de l'air américaine ; le Battelle Memorial Institute envisage son utilisation.
Analyse des systèmes.....	La RAND Corporation, la System Development Corporation, et TEMPO, de General Electric ont créé et appliqué cette méthode pour des études mettant en jeu une prévision technologique ; également utilisée dans des milieux industriels, tels qu'au General Electric Atomic Power Department ou à la North American Aviation ; ne peut probablement être utilisée efficacement que dans le cadre de méthodes de gestion élaborées.
B. Niveau des agrégats	
Méthode « Delphi »	Essai d'application à la prévision démographique (douteux).
Méthodes exploratoires au niveau des agrégats	Applications de modèles statistiques (Battelle Memorial Institute, CECA) ; analyse d'input/output (Quantum Science Corportaion, RAND, US Air Force ; essai d'application à l'économie américaine, dans le Harvard Economic Project) ; chaînes d'industries (BIPE en France) ; modèles de diffusion horizontaux à caractère empirique ; les prévisions de consommation d'énergie et du nombre d'abonnés ou de communications téléphoniques commencent à tenir compte de l'évolution technologique dans les modèles qu'elles utilisent.
Matrices de décision horizontales.	Phase expérimentale en France : matrice nationale recherche/recherche.
Matrices de décision verticales ...	En cours d'essai en France : matrice nationale recherche/industrie.
C. Environnement de « technologie sociale »	
Méthode « Delphi »	Des essais préliminaires ont été faits (RAND Corporation) ; d'autres sont en cours (Armée de l'air américaine) et ont soulevé un grand intérêt.
Représentation contextuelle	On en envisage des applications.
Recherche morphologique	D'après son auteur, son application est étudiée pour la planification urbaine et l'enseignement.

TYPE DE MÉTHODE	UTILISATION
Rédaction des scénarios	Inaugurée par la RAND Corporation, la System Development Corporation, et surtout le Hudson Institute (Kahn, Brennan) ; appliquée au « Year 2000 Program » de l'American Academy of Arts and Sciences, et à d'autres programmes généraux à teneur socio-économico-politique.
Analogie historique	Essais systématiques dus à l'American Academy of Arts and Sciences (« The Railroad and the Space Program ») ; utilisation douteuse à grande échelle.
Modèles opérationnels exploratoires Jeux	Sont considérés comme un outil important par tous les spécialistes de la « technologie sociale », mais ne sont apparemment pas encore appliqués aux problèmes de la prévision technologique.
Modèles opérationnels exploratoires modèles rigides sur calculateurs.	Proposés à l'OCDE par Abt Associates et considérés comme importants par les spécialistes de la question, mais apparemment non encore appliqués.
Modèles opérationnels normatifs - jeux	Le « Game of the Future » de Gordon et Helmer était en cours d'essai en 1966.
Analyse des systèmes.....	Applications par la RAND Corporation (les villes et les véhicules de l'avenir, etc.), System Development Corporation (enseignement, etc.), et TEMPO, de General Electric (les villes de l'avenir).
Modèles en boucle fermée	Phase de mise au point ; étudiés par la System Development Corporation (États-Unis).

II.1.4. PERSPECTIVES PROCHES

On peut tenter de faire quelques modestes « prévisions sur la prévision » en ce qui concerne le développement ultérieur de ces méthodes. D'un point de vue vraiment normatif, elles sont toutes fondées sur des exigences qu'il est facile de préciser :

Dans le futur immédiat, l'intérêt se concentrera sur une plus grande intégration des méthodes à plusieurs niveaux de transferts technologiques, soit par une combinaison des éléments existants et des méthodes partielles, soit par la conception de nouvelles méthodes.

Une meilleure « liaison » des prévisions verticales et des prévisions horizontales sera tentée à différents niveaux (et pas seulement au niveau des conséquences), pour les techniques exploratoires comme pour les méthodes normatives ; on accordera peut-être une attention particulière à l'intégration horizontale d'ensembles normatifs d'objectifs, de missions, etc. En d'autres termes, les missions et les objectifs non-techniques auront un effet plus systématique et plus général sur la prévision technologique ; les ensembles cohérents d'objectifs sociaux pourront inclure des variables relatives à divers pays, etc.

Les techniques utiliseront des formules dynamiques (et non « instantanées ») ; ce sera le cas, entre autres, de la détermination des conséquences et de la définition des objectifs et des missions (qui, jusqu'à maintenant, ont en grande partie reflété les opinions actuelles).

De plus en plus, les techniques feront appel à une méthode d'étude globale du système.

Dans quelques années, le principal problème sera celui des méthodes en boucle fermée.

Les méthodes des systèmes asservis, c'est-à-dire les techniques permettant d'ajuster la rétroaction par des adaptations de l'ensemble de la fonction de prévision, viendront ensuite.

Les utilisations des calculateurs se répandront, d'abord dans les milieux techniques militaires et administratifs, puis également dans l'industrie.

On accordera une attention plus grande aux appuis réciproques en ce qui concerne les futures méthodes de prévision, certains développements ouvrant la voie à une « réflexion modulaire ».

L'utilisation de la réflexion intuitive deviendra « respectable » et s'améliorera largement, surtout dans le domaine des objectifs sociaux ; dans l'ensemble, on développera plus avant les méthodes permettant de faire l'unanimité des experts et de juger les résultats obtenus.

On développera les méthodes exploratoires qui réduisent au minimum les erreurs systématiques et les préjugés.

Une meilleure compréhension de l'inertie historique et des autres facteurs influant sur le progrès technologique, donnera naissance à des méthodes permettant d'améliorer les extrapolations et les évaluations en fonction du temps.

On pourra mettre au point des méthodes normatives de « courts-circuits » rendant possible la détermination directe de certaines recherches fondamentales à partir de critères de niveau supérieur.

La prévision technologique se transformera en une fonction intégrée dans les futurs systèmes de traitement de l'information (voir l'étude de cette question à la section II.5.2.).

En ce qui concerne l'évolution de l'emploi des techniques, on peut essayer de faire l'analyse temporelle des « événements précurseurs » que l'on observe dans les méthodes de gestion élaborées et dans l'application des calculateurs aux tâches de gestion, aussi bien dans le domaine public que dans l'industrie. La tendance que révèlerait une telle étude serait certainement caractérisée par une croissance rapide.

Aujourd'hui, la prévision technologique est un enfant de moins de dix ans. Seule, une faible proportion du nombre total des utilisateurs potentiels a eu jusqu'ici l'occasion (ou a éprouvé le besoin) de prendre une décision sur le niveau de complexité auquel il fallait l'envisager. Les années à venir verront se dessiner l'adolescence, où se formera le caractère du futur adulte.

APPLICATIONS ET AMÉLIORATION DE LA RÉFLEXION INTUITIVE

L'amélioration de l'intuition est un problème hautement technique.

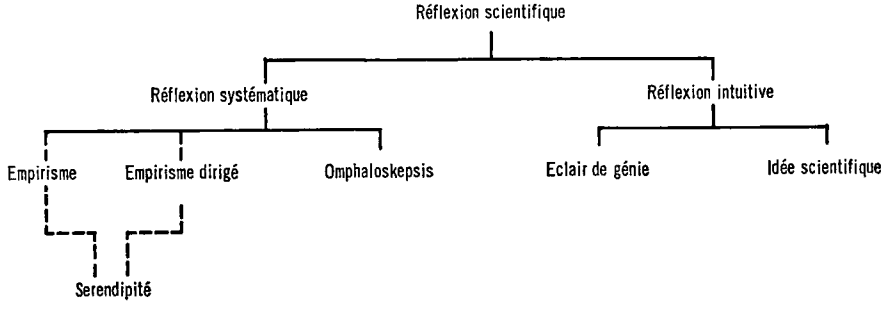
Marshall McLuhan.

Pour moi, l'imagination créatrice opère à deux niveaux. Le premier est celui de la technologie sociale, le second celui de la vision. Dans les deux cas, elle est restée loin derrière le progrès technique, surtout dans les pays occidentaux hautement développés, et dans les deux cas il y a danger.

Dennis Gabor.

II.2.1. La pensée créatrice et la prévision

La typologie de Green (*réf. bibl. 7*) fournit un point de départ utile qu'on peut schématiser ainsi :



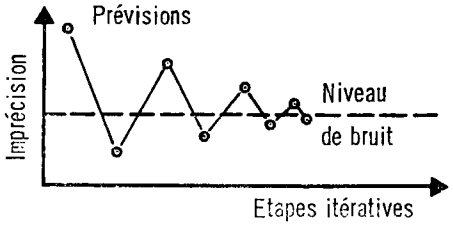
Dans ce schéma, la réflexion systématique est « une action délibérée du conscient », et la réflexion intuitive est « un don gracieux du subconscient, bénéfice des travaux antérieurs du conscient ». Le terme « omphaloskepsis » signifie « méditation profonde, de style oriental, les yeux fixés sur le nombril ». (Green remarque que « l'attitude occidentale qui consiste à mettre ses pieds sur le bureau et à les regarder peut avoir des effets analogues »). Enfin, la « sérendipité », mot forgé par Horace Walpole, lui a été suggérée par l'histoire des trois princes de Sérendip (ancien nom de Ceylan) qui avaient « l'heureuse faculté de découvrir accidentellement quelque chose d'intéressant quand ils cherchaient quelque chose d'autre ». Les laboratoires de recherche

américains prétendent souvent, en soulignant la largeur d'esprit de leur politique de gestion, que la sérendipité est favorisée par un certain nombre de moyens subtils.

C'est un fait évident qu'on a placé — et qu'on place encore — de grands espoirs dans la réflexion intuitive comme moyen de prévision technologique exploratoire. C'est une tendance qui semble fondamentalement aller dans la mauvaise direction. Un jugement fondé, sous-entendant l'utilisation d'une réflexion systématique, sera généralement supérieur aux méthodes intuitives dans les cas où les effets de relations causales se projettent dans l'avenir. Les prévisions intuitives ne sont pas très éloignées des anticipations inhérentes à toute prise de décision effectuée en l'absence de prévision explicite : elles écartent toute possibilité d'utiliser des informations de base de manière approfondie et systématique.

Il se peut que l'on arrive à placer la réflexion intuitive dans une position meilleure en essayant de mieux choisir les experts, et peut-être — comme le suggèrent Gordon et Helmer (*réf. bibl. 269*) — en utilisant des méthodes permettant l'auto-appréciation des compétences, les corrections par des techniques de rétroaction, etc.

Abt Associates a mis au point une intéressante méthode d'amélioration de la prévision intuitive, et de la réduction du « bruit » inhérent à toute prévision de ce genre. Ils en ont tenu compte dans leurs modèles opérationnels d'ensemble, et notamment dans leurs modèles de prévision technologique (*réf. bibl. 83*). Cette méthode procède par itération de prévisions marginales, portant sur des modifications à court terme et corrigées quantitativement à chaque étape successive. « De cette manière, les prédictions des experts s'approcheront progressivement d'un niveau constant qui, en



principe, ne sera pas très précis, mais dont l'imprécision sera du moins constante. Ce niveau d'imprécision peut être défini comme un « niveau de bruit » pour chacune des modifications particulières prévues. Dans l'intervalle ainsi défini, il n'y aura aucun parti pris en faveur d'une prédiction plutôt que d'une autre mais, en dehors de cet intervalle (qui peut se réduire avec le temps, ce qui compensera l'accroissement des possibilités), il est possible d'évaluer et de comparer utilement les prédictions. »

Thomas et McCrory (*réf. bibl. 181*), du Battelle Memorial Institute, ont mis au point une méthode permettant de synthétiser l'opinion d'experts et de mesurer la sensibilité de chacun d'eux aux écarts ; la description de cette méthode n'a pas encore été publiée.

Helmer (*réf. bibl. 134*) remarque qu'il y a deux types d'experts, les généralistes et les spécialistes, et qu'il convient de faire appel aux deux types pour les prévisions intuitives. Helmer classe les méthodes de répartition pos-

sible des experts en structures symétriques (plusieurs experts chargés du même problème) et en structures asymétriques (différents experts chargés de divers aspects du problème). La mise au point d'un système rationnel d'utilisation des experts est l'une des tâches les plus importantes de la technologie sociale.

Quand on étudie des prévisions vraisemblablement intuitives de techniques futures, on constate en général qu'elles sont constituées d'éléments assez disparates de réflexions systématiques, d'extrapolations non-critiques de la situation actuelle, et de réminiscences d'autres prévisions. La série « World in 1984 » publiée par la revue « New Scientist » (*réf. bibl. 261*), groupe des articles fournis par les meilleurs esprits dans une grande variété de domaines techniques. Elle souligne l'intérêt limité de la réflexion intuitive pour des objectifs exploratoires ; les articles les plus intéressants reflètent une attitude plus systématique, ou une approche normative.

Pour la prévision exploratoire à très long terme, c'est-à-dire à échéance de 50 ans au moins, la réflexion intuitive est naturellement moins limitée que la réflexion systématique. En outre, à aussi long terme, elle représente presque une version « sérieuse » de la science-fiction (en ce sens qu'elle respecte les lois de la nature, etc.).

La plupart des prévisions à très long terme qui font intervenir des techniques révolutionnaires — telles que l'idée de Muller, en 1910 (*réf. bibl. 326*), sur la possibilité d'influencer les caractéristiques génétiques de l'homme, et d'appliquer des méthodes eugéniques — reposent apparemment sur une forte base normative : « La mise au point de telles inventions sera plus facile quand nous disposerons d'un système où leur valeur pourra être convenablement appréciée » (*réf. bibl. 326*, pages 134-135). Cet aspect normatif est mieux visible quand les projections technologiques sont guidées par des considérations portant sur les ressources disponibles, dans le domaine de l'énergie par exemple. Cela est particulièrement frappant dans le cas de l'énergie nucléaire, où — très vite — la nécessité de développer les réacteurs surrégénérateurs a été déduite de considérations portant sur les ressources disponibles de matériaux fissiles et fertiles, (voir par exemple la *réf. bibl. 347*).

On pourrait croire qu'il faudrait tout d'abord appliquer les méthodes les plus complexes décrites plus loin — et en particulier la méthode « Delphi » — à l'amélioration de notre connaissance des besoins et des objectifs futurs. L'importance croissante de la prévision normative, fréquemment évoquée dans ce rapport, aura pour conséquence d'accentuer l'intérêt de ces méthodes de réflexion intuitive. La première tentative d'envergure visant à utiliser la pensée intuitive pour la prévision normative aura été — si elle se concrétise — l'idée proposée en France au « Centre de Prospective » d'appliquer la méthode « Delphi » ou d'autres techniques analogues, pour déterminer jusqu'à quel point et en quoi des ensembles d'objectifs futurs souhaitables diffèrent selon des groupes diversifiés par le pays, le continent, la race, etc.

Une hypothèse de travail dont les conséquences seraient très importantes peut être avancée : les relations entre des anticipations intuitives et l'histoire peuvent se concevoir par analogie avec la loi biologique fondamentale : « L'ontogénèse récapitule la phylogénèse » (ce qui, le plus simplement, signifie que le développement de l'embryon jusqu'à l'animal adulte passe par les mêmes étapes que celles qui ont marqué le développement de l'espèce). De même, une « idée » centrale, agissant à un moment futur

donné et déterminant l'ensemble des objectifs souhaitables pour ce moment, sert de guide — une fois répartie dans le temps — au développement historique vers cet ensemble d'objectifs. F.L. Polak (*réf. bibl. 77a*) a tenté de démontrer la validité historique de cette hypothèse. Il précise que l'activité normative et prévisionnelle prendrait fin si nous ne révisions pas nos objectifs pour une société future.

On sait très peu de choses sur les interactions de la vision intuitive et de l'histoire, en dehors de la découverte (par C. G. Jung et son école) des « archétypes » et de leur détermination d'une vue anthropomorphique du monde. Si, comme McLuhan le suppose (*réf. bibl. 374*), les « archétypes » sont eux-mêmes modifiés par l'histoire, il est probable qu'il existe une limitation naturelle à l'utilisation de la réflexion intuitive pour l'anticipation.

II.2.2. Les différentes versions du « brainstorming »

Le « brainstorming » n'est certainement pas une idée originale de notre siècle. Mais c'est dans les années 1950 qu'on lui a reconnu la valeur de méthode d'entraînement systématique à la créativité et qu'elle a été largement utilisée. Toutes les méthodes visant à la découverte de nouvelles idées et à la réalisation d'un accord entre plusieurs personnes sur la base de réflexions intuitives dérivent du « brainstorming ». Nous en récapitulons les différentes versions d'après une enquête de Hinrichs (*réf. bibl. 137*).

Le « brainstorming » simple (les « connaisseurs » n'utilisent le terme que pour cette version) peut se faire individuellement ou en groupe. Il part de l'hypothèse que sur un grand nombre d'idées, il s'en trouvera toujours quelques-unes de bonnes, mais on n'a pas encore réussi à en apporter la preuve. Von Fange (*réf. bibl. 118*) donne les règles fondamentales suivantes pour les séances de « brainstorming » :

1. N'énoncer le problème qu'en termes généraux, en ne proposant qu'un seul thème à l'attention ;
2. Ne rejeter, a priori, aucune idée ; n'en laisser passer aucune sans l'étudier plus à fond ;
3. Rechercher toutes sortes d'idées même si, sur le moment, elles semblent n'avoir qu'un intérêt lointain avec le problème posé ;
4. Fournir les moyens et les encouragements nécessaires pour libérer les participants de toute inhibition.

Des sondages effectués dans ce domaine ont également conduit à quelques conclusions encourageantes : l'expérience du « brainstorming » peut améliorer les résultats obtenus par les participants (*réf. bibl. 160*) ; on obtient un plus grand nombre de « bonnes » idées dans les conditions énoncées par la troisième règle ci-dessus qu'en s'astreignant à ne rechercher que de « bonnes » idées (*réf. bibl. 161*).

Tandis que le « brainstorming » vise essentiellement à une moisson de nouvelles idées, la *méthode du « groupe de discussion »* (buzz group) cherche à parvenir à un accord général entre six personnes environ.

La *méthode de « créativité opérationnelle »* (*réf. bibl. 127*) fait appel à un raffinement : seul le chef de groupe connaît la nature exacte du problème et il organise la discussion en conséquence. On ne cherche à obtenir qu'une seule solution.

La *supervision stimulée* est uniquement une méthode d'entraînement. Il peut s'agir, par exemple, de décrire la vie sur une planète imaginaire.

Les conditions régnant sur cette planète sont définies par le groupe, et les participants essaient alors, individuellement, de penser aux solutions les plus logiques dans des domaines particuliers.

En dehors de certains comptes rendus qui relèvent davantage de l'enthousiasme que de l'esprit critique, on ne dispose que de rares publications sur l'efficacité de ces méthodes (voir, par exemple, la *réf. bibl. 107*, qui donne également un certain nombre d'exemples pratiques). En général, il semble qu'à partir de 1960, on ait cessé de voir dans le « brainstorming » une source primaire d'idées et de raccourcis vers les solutions, pour en faire une fonction auxiliaire de l'analyse et de la préparation des décisions. Il est à remarquer que l'importante firme de publicité BBDO (Batten, Barton, Durstine et Orborn, à Buffalo, New York), qui était jusque-là l'un des principaux promoteurs du « brainstorming » comme méthode d'application universelle, a mis au point le modèle « Demon », basé sur la recherche opérationnelle et la théorie des décisions (voir chapitre II.4.7.).

A l'heure actuelle, le « brainstorming » est utilisé avec succès comme élément d'un cadre plus général, comportant également des études analytiques avant et après les séances de « brainstorming » — si on peut encore appliquer ce terme aux séances de commission ou aux réunions de « fertilisation réciproque ». On voit de moins en moins de « brain trusts » sans personnel auxiliaire chargé des travaux d'analyse. Il en existe certaines variantes plus fréquentes en Europe, et surtout en France, que dans l'industrie américaine.

On trouvera une version intéressante du « brainstorming », telle qu'elle est pratiquée à la Lockheed Aircraft Company, dans la *réf. bibl. 102* : des employés appartenant aux services commerciaux, financiers, techniques et de recherche, sont invités à jouer le rôle du directeur chargé de prendre les décisions dans une entreprise cliente et à juger, de ce point de vue, les décisions envisagées par Lockheed.

Des réunions d'experts hautement qualifiés peuvent encore produire des « brainstormings » intéressants. Il semble que des réunions consacrées à des problèmes d'avenir par la National Security Industrial Association, aux États-Unis, ont conduit à des résultats remarquables.

Dans la prévision militaire, un certain rôle reste confié à cette technique. L'OTAN, dans son « programme d'études scientifiques à long terme », organise des séances de deux semaines, groupant 50 personnes environ, dont le rôle est de mettre en pièces un document de travail préparé à l'avance et de le transformer en un rapport réunissant l'unanimité. Selon certaines informations, il ne subsisterait que 25 à 30 % des conclusions du document initial ; l'apport du « brainstorming » est manifestement considérable. La méthode de « créativité opérationnelle » définie ci-dessus est utilisée pour la planification et la prévision technique militaire en France. On demande à des groupes d'experts extérieurs de penser à des solutions possibles de problèmes techniques ou scientifiques particuliers, tandis que l'on garde secrètes, pour un certain nombre de raisons, les exigences militaires ou le système fonctionnel envisagé.

II.2.3 La méthode « Delphi »

Depuis la publication, en 1964, d'un compte rendu d'une étude de prévision à long terme de la RAND Corporation (*réf. bibl. 269*), la méthode « Delphi » mise au point par Helmer et ses collègues a reçu une large diffu-

sion. De manière simplifiée, on peut la considérer comme une suite de séances de « brainstorming », dans lesquelles on tente d'éviter l'intervention de facteurs psychologiques dont l'influence serait de réduire la valeur des opinions.

L'objectif de la méthode « Delphi » est de mettre au point « un programme soigneusement conçu d'interrogations individuelles successives (réalisées de préférence à l'aide de questionnaires) alternant avec des informations et des opinions qui permettent de corriger par l'ordinateur les conclusions des premières étapes de l'opération ». Les communications avec les personnes qui participent au groupe se faisant par correspondance, on espère arriver à réduire certains facteurs tels que les éléments de persuasion spécieux, et les effets processionnaires dus aux opinions de la majorité. Il est toutefois certain que l'on ne peut pas éliminer totalement tous ces facteurs de perturbation, car le processus itératif met en présence les participants et l'avis de la majorité au cours des étapes ultérieures. En demandant aux participants qui sont en désaccord « complet » avec l'opinion de la majorité d'exposer leurs raisons, on risque au contraire d'accentuer l'effet processionnaire.

Une version pratique de cette méthode a été appliquée dans l'étude de prévision de la RAND, mentionnée ci-dessus. Six thèmes généraux avaient été choisis : percées scientifiques, croissance démographique, automation, recherche spatiale, probabilité et prévention de la guerre, et systèmes d'armes modernes. Six groupes ont été créés, à raison d'un pour chaque thème, à partir d'un ensemble de 80 personnes dont la moitié environ appartenait à la RAND Corporation. Six Européens ont participé à ces travaux. La procédure adoptée par le premier groupe (percées scientifiques) servira d'exemple des méthodes utilisées :

Première étape : Les participants ont été invités à désigner, par correspondance, les inventions et les percées scientifiques qui semblent, à la fois, s'imposer de manière urgente, et pouvoir être réalisées au cours des prochaines 50 années. Il en est résulté une liste de 49 sujets.

Deuxième étape : On leur a demandé ensuite, toujours par correspondance, de dire dans quelle période des 50 prochaines années chacune des 49 inventions aurait 50 % de chances de se réaliser, ou d'indiquer si ce serait dans plus de 50 ans, ou jamais. On a ensuite regroupé ces évaluations probabilistes en les représentant sous forme de quartiles et de médianes dont la signification apparaîtra mieux sur un exemple. Si, pour la question « prévision météorologique précise », la date médiane est 1975 et les deux quartiles 1972 et 1988, cela veut dire qu'un quart des participants estimait que la date de percée probable (à 50 % de probabilité) serait antérieure à 1972, que la moitié d'entre eux plaçaient cette date avant 1975, et que, pour le reste, le quart d'entre eux pensent que la probabilité de réalisation ne serait de 50 % qu'après 1988. Un accord raisonnable s'est fait pour 10 des 49 sujets.

Troisième étape : On a communiqué aux participants, par correspondance, l'accord atteint sur les 10 sujets, et on a invité les « dissidents » à exposer leurs raisons. En même temps, on présentait de nouveau 17 sujets, choisis parmi les 39 pour lesquels on n'avait obtenu aucun accord net, en invitant les participants à exposer les raisons pour lesquelles leurs estimations des dates de réalisation s'écartaient largement de l'accord. En général, les estimations ainsi obtenues se sont placées dans un intervalle de temps plus étroit.

Quatrième étape : On a suivi la même procédure qu'au cours de la troisième étape. Les estimations des dates se sont alors placées dans des intervalles encore plus étroits. La liste finale des sujets pour lesquels on a pu atteindre un accord raisonnable comprenait 31 sujets.

Le rapport de la RAND Corporation (*réf. bibl. 269*) comprend également une étude détaillée des résultats. Elle fournit certaines indications quantitatives qui peuvent se révéler utiles pour le développement ultérieur de la méthode « Delphi ». Par exemple, on peut en tirer les conclusions suivantes :

L'intervalle entre quartiles d'une prévision (c'est-à-dire la précision de l'accord après répétition) est, en première approximation, égal à la distance estimée par la médiane pour l'avenir de la prévision. Si la médiane se situe dans x années (dans l'avenir), à partir de la date à laquelle la prévision est établie, le quartile inférieur se trouvera approximativement à 2/3 de x, et le quartile supérieur à 5/3 de x (ce qui donne x années pour l'intervalle entre quartiles). Par exemple, si la médiane d'une prévision faite en 1964 donne l'année 2000, les quartiles se placent en 1988 et 2024.

Comme on pouvait s'y attendre, l'intervalle entre quartiles diminue avec les étapes successives. Le rapport moyen entre l'intervalle initial et final des quartiles est de 8/5.

Les estimations de délais se sont fondées sur l'hypothèse de « programmes expéditifs », c'est-à-dire d'une politique de recherche hautement prioritaire en faveur des développements souhaités. Dans le domaine des futurs systèmes d'armes, pour lesquels on avait demandé deux estimations, l'une en conditions normales, l'autre en conditions expéditives, les délais exprimés par les médianes étaient en moyenne réduits de moitié dans l'hypothèse d'un programme « expéditif ». Dans ces conditions, la totalité des futurs systèmes d'armes envisagés, sauf deux, aurait pu être mise au point avant 1975 !

L'existence d'un plan déterminé à long terme tel que celui de la NASA dans le domaine des progrès spatiaux influence la précision de l'accord obtenu. Les estimations du groupe chargé des prévisions dans ce domaine aboutissent, pour les sujets dont les médianes se situent avant 15 ans, à des intervalles entre quartiles de 1 à 7 ans (au lieu des 15 ans auxquels on pouvait s'attendre d'après la règle générale ci-dessus).

La comparaison des estimations des dates de probabilité moyenne (probabilité de réalisation égale à 50 %), et des dates auxquelles les participants estiment que la probabilité atteindra 90 %, fait ressortir une corrélation très étroite, révélant peut-être un « couplage psychologique » inconscient de ces deux évaluations. Le rapport des médianes est

$$M\ (0{,}9)/M\ (0{,}5) = 9/5 = 1{,}8$$

et le rapport correspondant est de 1,6 pour les quartiles inférieurs, et de 2 pour les quartiles supérieurs.

Les auteurs du rapport RAND ont mentionné certaines possibilités d'amélioration, telles que des méthodes d'auto-appréciation des compétences pour les choix des experts, des mécanismes de « rétroaction » améliorés, des modèles statistiques du système de questions et de réponses des divers

groupes. Il semble souhaitable de mécaniser quelque peu l'exploitation de la procédure, afin d'accélérer le processus, cette accélération étant de nature à renforcer la valeur des résultats.

La méthode « Delphi » est en cours de développement et d'essai à la RAND Corporation, dans l'Armée de l'Air américaine — qui a lancé au début de 1966 une importante étude de prévision selon les principes de cette méthode — ainsi qu'à la TRW Systems Aerospace Company, à Redondo Beach, Californie. On envisage également d'appliquer partiellement la méthode « Delphi » dans le « Game of the Future » (jeu de l'avenir) de Gordon et Helmer (voir section II.3.10.).

Si l'on examine les questions posées aux groupes, on remarque que l'étude prévisionnelle de la RAND portant sur les sujets à la fois nécessaires d'urgence et réalisables dans les 50 années à venir, sous-entend implicitement un choix d'objectifs de haut niveau. Mais ces objectifs restent assez mal définis, et les réponses ne permettent pas de voir clairement ce que les participants avaient à l'esprit. Le sujet « contrôle de l'hérédité au niveau moléculaire par des moyens chimiques », par exemple, peut impliquer tout un ensemble d'objectifs, tout comme la « prévision météorologique certaine ». Les sujets peuvent aussi bien porter sur des techniques spécifiques (« émission induite — lasers — dans la région du spectre des rayons X et rayons gamma » ou « énergie thermo-nucléaire contrôlée »), sur des applications plus ou moins particulières (« bibliothèque automatique assurant la recherche et la reproduction des documents »), que sur des développements économiques (« multiplication par dix des investissements bruts consacrés aux calculateurs utilisés dans les contrôles de processus automatiques ») ou sur des questions de main-d'œuvre (« automatisation des travaux de bureau et des services, conduisant à un déplacement de 25 % de la main-d'œuvre actuelle ») ou même sur de vastes problèmes sociaux (« l'instruction comprise comme un passe-temps honorable pour les loisirs »).

D'autre part, l'attention des participants a été surtout attirée sur le facteur temps, et les tentatives faites en vue d'améliorer l'accord s'attachent presque exclusivement à cet aspect. C'est ainsi qu'on a demandé implicitement aux participants de projeter à la fois l'intérêt public et l'intérêt privé dans les innovations potentielles. Dans les cas où l'on admet que les réalisations sont jusqu'à un certain point pré-déterminées, comme dans le cas du programme spatial ou dans l'hypothèse d'un programme « expéditif » de mise au point des systèmes d'armes, l'effet sur les estimations temporelles est considérable.

Dans son application de la méthode « Delphi », l'Armée de l'Air américaine pose en général aux participants des questions de nature historique et politique auxquelles il est souvent difficile de répondre de manière rationnelle : la « réunification de l'Allemagne » par exemple. Il est rare que les questions posées aient un caractère technique (« une génération d'armes aussi dangereuses que les armes nucléaires ») ou des implications sociales (« le langage en tant que problème international majeur »). Dans ce cas encore, l'objectif est de réaliser un certain accord sur le facteur temps.

A la lumière des remarques citées à la section II.2.1. ci-dessus, on peut espérer que la méthode « Delphi » sera appliquée, dans l'avenir, à la tâche la plus importante, celle qui cherchera à définir les objectifs aux niveaux supérieurs : objectifs sociaux, objectifs nationaux, objectifs collectifs, principaux objectifs militaires, etc. Il est évident qu'il faudra adapter la méthode

« Delphi » à cette tâche, en utilisant le processus itératif pour améliorer l'accord sur les objectifs eux-mêmes — et non sur le facteur temps nécessaire à leur réalisation (facteur qui sera de toute façon affecté par les opérations de « rétroaction » si l'accord sur la nature et la priorité des objectifs a un effet pratique).

II.2.4 Utopie et science-fiction

La science-fiction pure, c'est-à-dire la science-fiction sans composante notable de « jugement fondé » sur le progrès, jouit encore d'une très grande réputation dans l'opinion en tant que méthode de prévision à très long terme. Toutefois, alors que les écrivains imaginatifs du XIX^e^ siècle et des premières décennies du XX^e^ siècle pouvaient se tenir à peu près au courant du progrès scientifique général et donner à leurs histoires une base raisonnable qui ne contredisait pas très sérieusement les lois naturelles ni les non-impossibilités techniques, les éléments nécessaires à la science-fiction « sérieuse » sont de moins en moins accessibles aux écrivains qui ne sont pas en même temps des spécialistes scientifiques ou techniques. Il n'y a pas de Jules Verne à notre époque — ni de spécialiste de science-fiction qui soit capable de peindre aussi bien que lui des personnages.

Gabor (*réf. bibl. 363*) a fait une brillante critique de la science-fiction du XX^e^ siècle, en soulignant la tendance fondamentale d'un optimisme sentimental, paradisiaque, qui prévalait en Occident jusqu'en 1930, et qui est encore en plein épanouissement en Russie (au point qu'il pénètre même dans les prévisions supposées sérieuses — voir *réf. bibl. 285*). Ce type de science-fiction n'a qu'une valeur mineure pour la définition des objectifs sociaux et des grandes aspirations de l'humanité. L' « opéra spatial », qui abonde de nos jours, n'apporte rien non plus à cet égard.

Les rapports les plus utiles de la science-fiction moderne sont dûs à des écrivains capables de réflexion logique et de compréhension scientifique. Jusqu'à un certain point, ce type de science-fiction, qui est apparu avec le fameux roman de Huxley « Le meilleur des mondes » (*réf. bibl. 387*), est proche de la rédaction de scénarios, exception faite de la forme littéraire qu'il exige. Comme le dit Gabor, Huxley est parvenu à une « construction logique cohérente » en saisissant d'une part « toute la science et la psychologie des années 1920 » et de l'autre « toutes les tendances sociales des dernières années heureuses qui précédèrent la grande dépression et en construisant avec cela un monde modèle dans lequel tous les problèmes étaient résolus — mais à quel prix ! » (*réf. bibl. 364*). L'œuvre de Huxley, par sa peinture d'une exploitation naïve des possibilités scientifiques, a fait ressortir la nécessité de choisir soigneusement les objectifs sociaux — ce qui n'a d'ailleurs plus été fait par la science-fiction depuis la parution de son livre, en 1931. Les ouvrages de science-fiction écrits par des scientifiques prennent souvent la forme d'avertissements contre l'abus de leur propre science (voir *réf. bibl. 385*).

Le grand physicien Szilard, dans « The Voice of the Dolphins » (La voix des dauphins), s'est essayé à un autre type de « scénario » logique, en forme poétique. Il s'agit d'un compte rendu rétrospectif des événements mondiaux vus par un historien futur.

Soulignant que, contrairement à l'attente, la situation actuelle n'est marquée par aucun apport positif de la science-fiction, Gabor affirme que

« les sceptiques et les pessimistes ont considéré l'homme comme un tout ; les optimistes l'ont considéré comme un producteur et un consommateur de produits. Les moyens de destruction se sont développés au même rythme que les techniques de production, tandis que l'imagination créatrice n'a pu suivre ni les uns ni les autres » (*réf. bibl. 364*). Le nouvel optimisme apporté par Elisabeth Mann-Borgese (*réf. bibl. 388*) est encore un phénomène relativement unique en son genre.

II.2.5. Nouveaux éléments d'une amélioration de la réflexion intuitive

Le Centre culturel technique de l'Université de Toronto poursuit un programme de recherches sur des éléments de la réflexion intuitive qui ont été négligés jusqu'à présent ou dont on n'a pas encore pris conscience. Les résultats préliminaires figureront dans des ouvrages de McLuhan à paraître (*réf. bibl. 72, 73, 74* et *75*).

Deux aspects de ces recherches semblent avoir une importance particulière :

a) La notion d'un « profil sensoriel » de l'homme, et les modifications au cours de ses interactions avec l'évolution sociale et technique. La connaissance des lois de ces interactions pourrait, on le conçoit, devenir un outil d'une valeur opérationnelle considérable pour la prévision.

b) L'idée que les « archétypes » humains sont des processus, non des invariants comme C.G. Jung les avait conçus, et qu'ils sont en évolution permanente.

Le programme porte, entre autres, sur les relations entre les poètes ou les peintres et l'histoire : ils voient le présent (non l'avenir), tandis que le commun des mortels voit le passé, de sorte qu'il existerait dans le présent une base empirique des tendances historiques.

McLuhan ne s'est pas contenté de l'affirmation citée en tête de ce chapitre — « L'amélioration de l'intuition est un problème hautement technique » — mais il a entrepris d'explorer les éléments techniques en cause. Il semble que l'examen des méthodes actuelles d'application de la réflexion intuitive, tel que nous l'avons ébauché dans ce chapitre, fasse ressortir la nécessité d'apprendre à connaître la nature de ces éléments et le moyen de les utiliser pour la prévision.

Chapitre II.3

LES MÉTHODES DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE EXPLORATOIRE

La domination de la machine suppose une société parvenue aux derniers stades d'accroissement de l'entropie, où la probabilité serait négligeable, et les différences statistiques entre individus nulles. Heureusement, nous ne les avons pas encore atteints.

Norbert WIENER.

II.3.1. INFORMATIONS DE DÉPART

La prévision technologique exploratoire, qui part habituellement d'une base empirique certaine — ou d'une base théorique relativement bonne — se trouve dans la position favorable de pouvoir faire appel, dans la plupart des cas pratiques, à des informations mesurables. C'est un avantage certain par rapport à la prévision normative.

Dans le cas de la prévision technologique au sens restreint — celle qui s'arrête au niveau technologique élémentaire — Isenson (*réf. bibl. 141*) a tenté de rassembler les informations techniques de départ en trois groupes :

Les possibilités fonctionnelles, indépendantes de toute technique particulière. Par exemple, si le domaine d'intérêt est celui des communications, les séries de données à utiliser peuvent être « le spectre de fréquence » ou « le nombre d'informations élémentaires par unité de temps et par unité de distance entre les points communiquants », pour lesquels on tient compte de la totalité des techniques particulières disponibles.

Les paramètres techniques permettant de répondre à des besoins fonctionnels, et qui supposent par conséquent une technologie spécifique. Par exemple, dans le domaine des communications, il peut s'agir de la « capacité de largeur de bande des liaisons en hyperfréquences ».

Les découvertes techniques et scientifiques, pour lesquelles on n'a pas encore déterminé de relations avec des possibilités fonctionnelles : il s'agit, en général, d'informations qui apparaissent en dehors du domaine d'application de la technologie à la matérialisation d'une possibilité fonctionnelle.

Comme Isenson le remarque, ces trois ensembles d'informations, qui concernent l'histoire passée, se prêtent à une extrapolation dans le temps.

Les informations de base de la prévision technologique, au sens de la présente étude, seront naturellement beaucoup plus complètes, et comporteront des éléments appropriés provenant de domaines non techniques, par exemple tout un ensemble d'informations sociales, politiques et économiques.

Le problème du stockage et de la recherche de ces informations, ainsi que de toute autre donnée d'entrée, est classique en informatique; il a été résolu au cours de ces dernières années, même quand il s'agissait de satisfaire des demandes très complexes. Il suffira de rappeler ici les deux nouvelles possibilités offertes par les applications des calculateurs :

a) Recherche élaborée avec « indexation profonde » (utilisant normalement jusqu'à 20 ou 25 mots-clefs par question, et en théorie un nombre illimité).

b) Diffusion sélective de l'information par comparaison périodique de « profils personnels » prédéterminés avec les nouvelles entrées.

Il serait facile d'appliquer ces méthodes, non seulement à un travail de recherche, mais également à des travaux de prévision particuliers. Il suffirait de disposer d'un certain nombre de mots-clefs ou d'indices, décrivant l'intérêt potentiel d'une certaine information pour la prévision, et d'organiser des systèmes d'entrée de façon à tenir compte de la documentation utile à la prévision.

Le système des comptes rendus automatiques par calculateur, et la « banque » d'informations utilisée en association avec ce système par Samson Science et Quantum Science Corporation (États-Unis) comme source d'information pour leur prévision technologique, peuvent en constituer la première application à échelle réelle.

Certains spécialistes vont même plus loin et proposent dès maintenant la constitution de « banques » d'informations et de systèmes de recherche comme bases de la future technologie de l'information. Leurs idées seront reprises à la section II.5.2. : « Prévision technologique et évolution des techniques de traitement de l'information ».

II.3.2. Extrapolation de séries temporelles : Tentatives de formulation de modèles analytiques simples

Dans notre monde dynamique, un grand nombre de phénomènes quantitatifs présentent une croissance exponentielle ou presqu'exponentielle en fonction du temps, suivie d'un aplatissement de la courbe quand on s'approche d'une valeur limite ou de saturation[1]. Sur un graphique semi-logarithmique, avec échelle de temps linéaire, la courbe exponentielle se présente comme une ligne droite; elle est donc particulièrement tentante pour une extrapolation

L'extrapolation de séries temporelles représente peut-être la principale méthode quantitative dont dispose la prévision technologique dans les phases précédant les innovations. En général, les phénomènes qui sont ou qui ont été extrapolés avec un succès raisonnable appartiennent aux trois classes d'informations techniques d'Isenson, mentionnées à la section II.3.1. ci-dessus; ils se situent au niveau des systèmes fonctionnels et de la technologie. La transition du niveau des ressources techniques et scientifiques à ces niveaux supérieurs n'est que partiellement logique — son contenu logique étant essentiellement représenté par la prise de conscience anticipée d'une limite pratique ou naturelle (dans la mesure où il y a prise de conscience). On prévoit habituellement la pente de la courbe en supposant naïvement, au moins pour une période de temps courte ou moyenne, que la loi de croissance passée

1. On appelle parfois « courbes logistiques » les courbes en S ainsi obtenues. On s'abstiendra ici d'utiliser ce terme, afin d'éviter la confusion avec les sens plus anciens, et plus légitimes, du mot « logistique ».

caractérisera également la croissance future, soit identiquement (croissance exponentielle continue), soit avec de petites modifications dans l'éventualité où les phénomènes de saturation deviennent perceptibles.

Nous avons exposé au chapitre I.3 le problème du facteur temps considéré comme élément implicite de la structure de chaque niveau de prévision. L'introduction explicite du temps dans l'extrapolation des tendances séculaires repose à son tour sur le jugement implicite de facteurs qui agissent horizontalement sur les niveaux de la technologie ou des systèmes fonctionnels. Les modèles simples qui sont présentés ici tentent d'associer la forme des courbes de croissance technologique à ces facteurs d'action horizontale, dans l'espoir que les généralisations effectuées permettront d'extrapoler les tendances.

Lenz *(réf. bibl. 151)* cite une première tentative faite par Henry Adams en 1907 en vue de comparer l'accélération du progrès à l'effet produit par une masse nouvelle introduite dans un système de forces antérieurement en équilibre. Le mouvement de la nouvelle masse a tendance à s'accélérer, par exemple sous l'influence des forces gravitationnelles. On peut considérer l'information cumulée comme analogue à la distance parcourue par la nouvelle masse, le taux d'accroissement de l'information comme analogue à la vitesse, et la deuxième dérivée de l'information par rapport au temps comme analogue à l'accélération (supposée constante). Les équations suivantes sont alors posées :

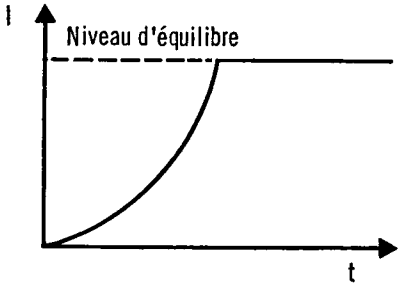
$$\frac{d^2\mathrm{I}}{d\mathrm{I}^2} = g = \text{const.} \tag{1}$$

$$\frac{d\mathrm{I}}{dt} = g \,.\, t \tag{2}$$

$$\mathrm{I} = \int_0^{\mathrm{T}} g\, t\, dt = \frac{g}{2}\,\mathrm{T}^2 \tag{3}$$

où :

I = information cumulée (état des connaissances)
t = temps
T = temps pour lequel on évalue I
g = constante d'accélération, par unité de temps au carré.

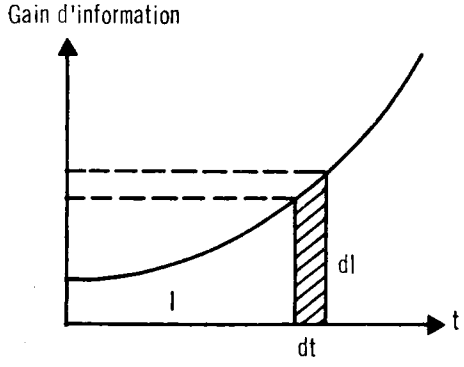


L'analogie avec la pierre qui tombe au sol donnerait une courbe parabolique atteignant brutalement un niveau d'équilibre. On pourrait toutefois concevoir des analogies plus complexes avec des problèmes faisant intervenir deux ou plusieurs corps.

Le Modèle d'Isenson : Isenson *(réf. bibl. 142)*[1] suppose que l'accroissement différentiel de l'information en fonction du temps ne dépend que de deux facteurs, le nombre de chercheurs et une limite supérieure de croissance admise. Il admet qu'un troisième facteur, appelé « facteur de la communication scientifique », ne dépend que du nombre de chercheurs. Sans tenir compte de la limite admise ni du facteur de communication, on peut exprimer simplement l'accroissement de l'information par l'équation :

$$\frac{dI}{dt} = qN(t) = qN_o e^{ct} \qquad (4)$$

où : I = Information (état des connaissances)
t = temps
q = facteur de productivité moyen par chercheur et par unité de temps
$N(t)$ = nombre de chercheurs actifs à l'instant t
N_o = nombre de chercheurs actifs à l'instant $t = 0$
e = base des logarithmes naturels[2]
c = coefficient (pente de la courbe en coordonnées logarithmiques).



La croissance exponentielle de N correspond à la tendance historique générale du nombre total de scientifiques dans le monde, nombre qui, pendant une longue période de temps, a doublé approximativement tous les 15 ans, comme l'a montré de Solla Price *(réf. bibl. 6)*. Le facteur de productivité simple suppose l'existence, également étudiée par de Solla Price, d'un nombre de documents scientifiques proportionnel au nombre de scientifiques. Selon de Solla Price (et en admettant une vie productive moyenne de 35 ans pour

1. La formulation exposée ici suit le texte d'Isenson, et tente de corriger les formules de manière appropriée.

2. $e = 2{,}71828...$ En coordonnées logarithmiques, la différence entre le système décimal généralement utilisé (log) et le système naturel *(ln)* n'est qu'une question d'échelle : $ln\ x = 2{,}30...\ \log x$, mais les processus de différenciation et d'intégration mettent en jeu le système logarithmique naturel et sa base e.

un scientifique), les valeurs numériques seraient approximativement : $q = 0{,}1$ documents par an et par chercheur, en moyenne générale; $q = 0{,}8$ pour les 10 % supérieurs; $q = 2$ pour les 2 % supérieurs. On peut toutefois remarquer que le taux de production de documents intéressants s'écarte d'ores et déjà de la croissance exponentielle, et qu'il en résulte une certaine saturation[1].

L'intégration de l'équation (4) donne l'état des connaissances, dont on suppose implicitement la proportionnalité à la valeur d'un facteur technologique fonctionnel ou à toute autre caractéristique numérique représentative :

$$I = qN_o \int_0^T e^{ct} dt = \frac{qN_o}{c}(e^{cT} - 1) \qquad (5)$$

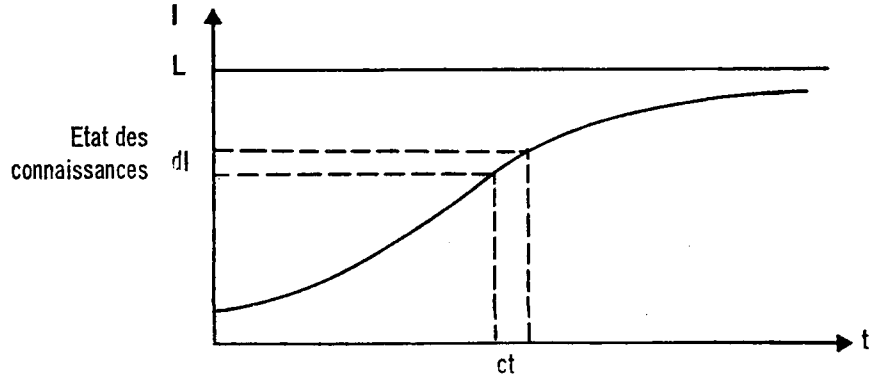
où : T = Intervalle de temps d'estimation

L'état des connaissances progresse aussi exponentiellement.

Pour tenir compte d'une limite supérieure L, Isenson introduit un facteur correctif (1 — I/L), de sorte que l'équation (4) est maintenant également fonction du niveau de I — ce qui la rapproche du modèle de Hartman décrit ci-dessous :

$$\frac{dI}{dt} = qN_o \cdot e^{ct} \frac{L - I}{L} \qquad (6)$$

et conduit à une courbe en S pour l'état des connaissances :



$$I = L\left(1 - e^{-\frac{qN_o}{cL}e^{ct}}\right) \qquad (7)$$

« Le facteur de communication scientifique » d'Isenson est basé sur l'hypothèse que toute relation entre N chercheurs — le nombre maximal de relations étant 1/2N (N — 1) — donne un apport aussi productif que pourrait le faire un chercheur isolé. (Il est certain que cette hypothèse n'est valable que dans un petit nombre de cas pratiques.) L'équation (4) devient alors :

$$\frac{dI}{dt} = q\left[N + \tfrac{1}{2}N(N-1)\right] = \tfrac{1}{2}qN_o e^{ct}(N_o e^{ct} + 1) \qquad (8)$$

1. D'après le numéro de mars 1966 de « Scientific Research », il y a eu 658.000 documents importants produits en 1961 et figurant dans la littérature technique mondiale. En 1965, ce nombre s'est élevé à 900.500 et on prévoit qu'il atteindra 1.143.000 en 1970.

ou, dans le cas où $N \gg 1$ (qui est le cas normal) :

$$\frac{dI}{dt} = \tfrac{1}{2}qN^2 = \tfrac{1}{2}qN_o^2e^{2ct} \tag{9}$$

et, par intégration entre $t = 0$ et $t = T$:

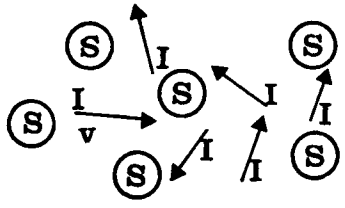
$$I = \frac{qN_o^2}{4c}(e^{2cT} - 1) \tag{10}$$

L'accroissement de l'information et l'état des connaissances sont, cette foi encore, exponentiels, mais avec un exposant double.

La seule explication que ce modèle semble capable de fournir porte sur la croissance générale de l'ensemble des connaissances scientifiques et techniques, valeur qui n'est plus mesurable par des indices isolés, mais qui peut être en gros proportionnelle au nombre de scientifiques travaillant dans le monde. Les lois qui gouvernent les travaux en équipe, typiques de l'heure actuelle et souvent effectués avec un nombre constant de personnes au cours de la période critique, ne sont manifestement pas représentées par le modèle d'Isenson.

Le modèle de Hartman : Hartman *(réf. bibl. 133)* tire son modèle d'une analogie simple avec les processus de réaction d'un gaz. Dans ce modèle, l'accroissement des informations dépend de la quantité des données déjà disponibles — en quoi il diffère fondamentalement du modèle d'Isenson pour se rapprocher de nos conceptions générales sur la production de résultats techniques et scientifiques.

Hartman imagine un « gaz » dont les molécules sont des scientifiques et des éléments d'information, se présentant les uns et les autres sous une certaine densité volumique (N scientifiques par mètre cube, etc.). Les « molécules scientifiques » S ne se déplacent pas de façon sensible tandis que les



« molécules d'information » I se déplacent avec une vitesse supposée constante (V) dans des directions aléatoires. Une réaction utile (c'est-à-dire la création d'une nouvelle information) est sensée se produire quand les « molécules scientifiques » S, ayant une « section de capture de réaction » σ, sont heurtées par les « molécules d'information. »

L'accroissement d'information différentiel (création de nouvelles « molécules d'information » par unité de volume) est donc représenté par l'équation suivante en fonction du temps (si on ne s'approche pas encore de la limite) :

$$\frac{dI}{dt} = kv\mathrm{N}\sigma\mathrm{I}\,(t) \tag{11}$$

où : k = constante de proportionnalité
v = vitesse des « molécules d'information »
N = nombre de scientifiques (densité volumique des « molécules scientifiques »)
σ = section de capture de réaction (surface de la cible) des scientifiques, pour la création de nouvelles informations par collision entre les deux types de « molécules »
$I(t)$ = quantité d'informations à l'instant t (densité volumique des « molécules d'information »).

En supposant N constant, on peut obtenir un modèle raisonnable des travaux d'une équipe petite ou moyenne, dans ses étapes initiales (au moment où chaque « collision » entre un scientifique et un élément d'information a des chances de produire une information nouvelle. L'intégration entre $t = 0$ et $t = T$ fournit une croissance exponentielle de l'information :

$$I = I_o (e^{bT} - 1) \tag{12}$$

où I_o = quantité d'informations à l'instant $t = 0$
$b = kv\mathrm{N}\sigma$ = constante.

Si l'on admet également que N augmente exponentiellement, soit $\mathrm{N} = \mathrm{N}_o e^{ct}$, comme dans le modèle d'Isenson, on s'approche d'un modèle valable pour le domaine d'une nouvelle percée, dans lequel le nombre de chercheurs croît exponentiellement, tandis que les « collisions » entre les scientifiques et l'information disponible déclencheront encore la production d'informations nouvelles — encore que cette situation ne doive pas durer très longtemps. L'équation (11) devient alors :

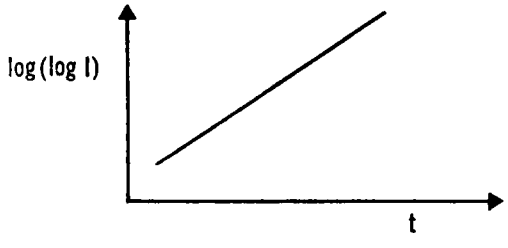
$$\frac{dI}{dt} = kv\mathrm{N}_o\sigma e^{ct} I(t) \tag{13}$$

L'intégration donne une courbe de croissance doublement exponentielle :

$$ln(lnI) = ct + \text{const.} \tag{14}$$

ou, sous forme explicite :

$$I = I_o\left(e^{\frac{kv\mathrm{N}_o\sigma}{c} e^{cT}} - 1\right) \tag{15}$$



Une telle caractéristique de croissance, représentée par une ligne droite dans un système de coordonnées doublement logarithmiques, se rencontre en fait dans plusieurs domaines. Isenson *(réf. bibl. 142)* cite l'exemple de la croissance du nombre de documents publiés sur la technique des masers et des lasers, croissance qui suit étroitement une courbe doublement exponentielle, et celui de la vitesse des calculateurs commerciaux, qui croît même plus vite qu'une double exponentielle.

Pour la limite L, Hartman introduit le même facteur correctif qu'Isenson, de sorte que l'équation (11) devient

$$\frac{dI}{dt} = (kv\mathrm{N}\sigma)\,\mathrm{I}\,\frac{\mathrm{L}-\mathrm{I}}{\mathrm{L}} = b\mathrm{I}\,\frac{\mathrm{L}-\mathrm{I}}{\mathrm{L}} \tag{16}$$

qui donne encore une courbe en S pour l'accroissement de l'information :

$$\mathrm{I} = \frac{\mathrm{L}}{1 + \left(\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{I}_o} - 1\right) e^{-b\tau}} \tag{17}$$

La même courbe résulte de l'analogie avec la croissance biologique (équation (19)), et les propriétés en sont examinées plus loin.

Lorsqu'on critique le modèle de Hartman, il faut remarquer que l'hypothèse fondamentale, selon laquelle $dI/dt \sim I$ (accroissement de l'information proportionnel à la quantité d'informations existante) n'est valable que dans les cas où : *a*) il existe une communication idéale entre tous les chercheurs et tous les éléments d'information; *b*) on peut effectivement exploiter chacune des nouvelles possibilités offertes par cette communication. Il est certain que ces deux hypothèses ne sont pas valables pour la croissance globale de la science et de la technique (cas dans lequel la communication n'est pas idéale, et où — dans la situation actuelle — il existe beaucoup plus d'occasions de produire des informations nouvelles que d'en exploiter).

Toutefois, le modèle de Hartman peut constituer une méthode d'approche utile pour la recherche et le développement dans un domaine particulier, ou dans le cas d'une équipe petite ou moyenne. Il peut également, par conséquent, devenir un élément utile dans l'extrapolation des tendances séculaires de propriétés techniques ou scientifiques, ou de facteurs de performance qui sont étudiés de cette manière. Ce sera probablement moins vrai dans le cas des possibilités fonctionnelles que pour la deuxième et la troisième classe d'informations techniques d'Isenson (voir section II.3.1. ci-dessus).

Ce modèle présente aussi l'avantage de permettre l'introduction de raffinements (introduction de fonctions du temps ou de distributions statistiques dans les facteurs considérés comme constants dans le modèle simple, etc.). On peut, dans tous les cas, le considérer comme une claire analogie de processus physiques — capable même de comporter des éléments complexes de la théorie cynétique des gaz — ces processus pouvant facilement être interprétés pour les besoins de notre problème.

Hartman lui-même évoque certains raffinements possibles si la section de réaction qui donne lieu à la création de nouvelles informations, par collision entre les scientifiques et l'information, est répartie en deux facteurs probabilistes :

$$\sigma = p_c p_I \tag{18}$$

p_c = probabilité d'une collision
p_I = probabilité pour qu'une collision donne naissance à une information nouvelle,

on peut adopter p_I comme mesure de l'efficacité de l'administration de la recherche et du développement. Si, par exemple, dans les conditions admises pour l'équation (13), — à savoir que $dI/dt \sim I$ et que N augmente — la possibilité ou le paramètre étudié ne présente encore qu'une croissance exponentielle (c'est-à-dire que $N.p_I$ = constante, et, puisqu'on suppose que N croît, que p_I doit décroître), cela signifie que, pour le projet considéré, l'administration de la recherche et du développement perd de son efficacité. On peut également adopter la vitesse v comme mesure de l'efficacité et de la rapidité des communications, qui croît lorsque la gestion s'améliore. La question se pose alors de savoir si σ et v sont des variables indépendantes, ou si la relation $\sigma \, . \, v$ = constante (comme dans le cas de certaines réactions nucléaires) est plus près de la réalité (une communication plus rapide se traduit par une probabilité d'absorption décroissante).

Le rôle de la prévision technologique à long terme consisterait donc notamment à prévoir tous ces facteurs d'action horizontale. Il est également possible de résoudre, grâce à un modèle de ce type, des problèmes d'administration de la recherche et du développement et de savoir par exemple s'il convient d'effectuer tel type de recherche dans plusieurs petits groupes (avec v, et peut-être p_I, plus élevés) ou dans un cadre d'organisation de dimensions plus vastes.

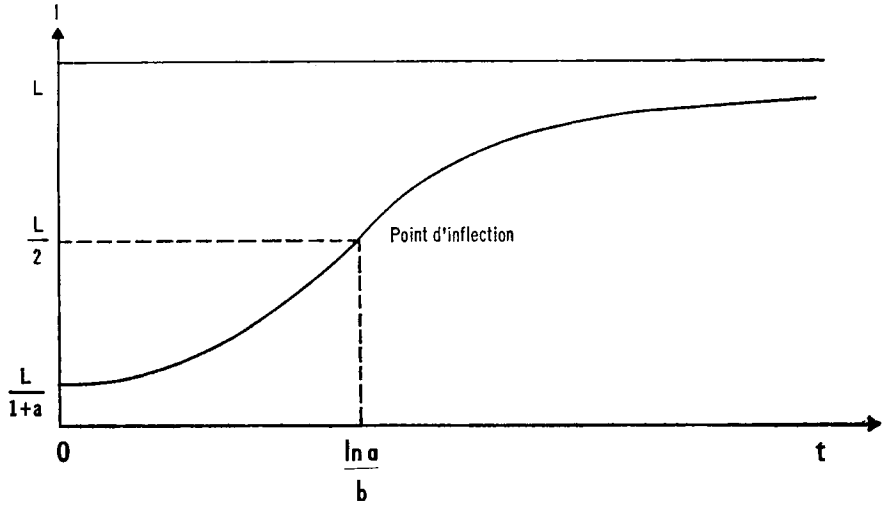
Analogie avec la croissance d'une population biologique sous contrainte (Modèle de Lenz) : Lenz *(réf. bibl. 151)* propose l'utilisation de cette analogie pour la prévision technologique, tandis que de Solla Price *(réf. bibl. 6)* l'envisage dans le cadre plus général de tous les phénomènes de croissance scientifique, y compris le nombre de scientifiques ou de documents, etc. Le grand attrait de cette analogie s'explique par le fait qu'elle fournit naturellement une courbe en S parfaitement symétrique, sans autre hypothèse; ou, plus exactement, les hypothèses relatives aux contraintes gouvernent déjà le modèle biologique. Les processus biologiques auxquels pense Lenz se rapportent aux recherches effectuées par R. Pearl en 1924-25 : taux de croissance des mouches à fruit à l'intérieur d'une bouteille; taux de croissance des cellules de levure dans un milieu donné; taux de croissance cellulaire chez les rats blancs. De Solla Price a étudié la croissance de la longueur d'une tige de haricot en fonction du temps. Ayres *(réf. bibl. 89)* a suggéré des processus chimiques « autocatalytiques ».

Chacun des exemples de Pearl obéit à la même loi mathématique simple qui, appliquée à la création de nouvelles informations, s'énoncerait :

$$I = \frac{L}{I + ae^{-bt}} \tag{19}$$

I = information cumulée à l'instant t (état des connaissances)
L = limite supérieure de l'information (due aux contraintes)
t = temps
a = constante, sans dimensions
b = constante, par unité de temps.

L'équation (19) est identique à l'équation (17) tirée du modèle de Hartman.

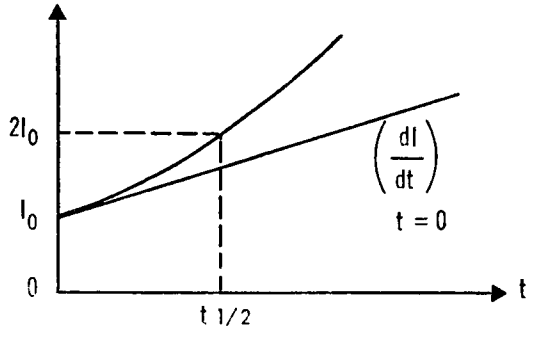


Cette formulation mathématique simple serait, de fait, un outil idéal pour les prévisions quantitatives des tendances — si du moins l'on pouvait montrer qu'elle est valable dans certains cas pratiques. La courbe résultante est symétrique par rapport à un point d'inflexion, et entre les limites $I = 0$ (pour $t = -\infty$), et $I = L$ (pour $t = +\infty$). En calculant la dérivée seconde $d^2I/dt^2 = 0$, on peut facilement montrer que le point d'inflexion se trouve à $t = (\log a)/b$, et que l'information cumulée à ce point est toujours égale à la moitié de la limite supérieure : $I = L/2$.

La constante a détermine la position de la courbe le long de l'axe des temps (une variation de a représente un déplacement de la courbe vers la droite ou vers la gauche). La constante b détermine la pente de la courbe.

On connaît empiriquement la valeur de I, à un instant donné du passé ou à l'heure actuelle. Si l'on peut déterminer la limite supérieure L à l'aide de considérations fondamentales, il devient possible de fixer la constante a : $a = L/I_0 - 1$, I_0 représentant la valeur de I à l'instant $t = 0$. On peut déterminer la constante b, soit à partir de la valeur de la tangente connue ou estimée dI/dt, à l'instant $t = 0$:

$$b = \frac{(1 + a)^2}{aL}\left(\frac{dI}{dt}\right)_{t=0} \tag{20}$$



soit, à partir du temps de doublement connu ou estimé, $t_{1/2}$:

$$b = \frac{1}{t_{1/2}} ln \frac{2a}{a-1} \tag{21}$$

L'équation (21) est valable tant qu'on n'a pas atteint le point d'inflexion (car à ce point la valeur de I est déjà L/2; elle ne peut doubler après le point d'inflexion). Si le point d'inflexion se trouve déjà sur la portion empirique ou estimée de la courbe passée, on peut déterminer simplement b par l'instant t_i auquel se produit l'inflexion :

$$b = \frac{ln\ a}{t_i} \tag{22}$$

Ainsi, quand on connaît la limite supérieure, il est possible d'extrapoler la courbe complète à partir d'une série temporelle très courte. Le point critique est, naturellement, de savoir quels sont éventuellement les paramètres fonctionnels, techniques et scientifiques que l'on peut espérer voir suivre avec précision cette loi simple.

En principe, cette analogie offre de nombreuses possibilités de raffinement, par l'adoption de facteurs internes et externes agissant horizontalement, et influençant l'accroissement de l'information. Un grand nombre de ces facteurs peuvent être considérés comme directement analogues aux facteurs du modèle biologique. Lenz *(réf. bibl. 151)* propose lui-même une liste fictive de telles analogies détaillées, pour la croissance cellulaire et pour la reproduction sexuée :

CROISSANCE BIOLOGIQUE	AMÉLIORATION TECHNIQUE
1. ANALOGIE CELLULAIRE	
Cellule initiale	Invention ou idée initiale.
Division cellulaire	Processus de l'invention.
Cellule de deuxième génération	Invention ou idée « nouvelle ».
Période de division cellulaire	Temps nécessaire pour que l'invention initiale donne naissance à une « nouvelle » invention.
Milieu nutritif	Support économique de l'invention.
Durée de vie de la cellule	Durée de vie utile de l'invention.
Mort normale de la cellule	Désuétude de l'invention.
Masse cellulaire	Domaine technique ou classe de machines.
Limites de la masse cellulaire	Limites de la demande économique pour l'invention dans un domaine technique donné.
Importance de la masse cellulaire.	Total des inventions existantes, non désuètes, dans un domaine technique.
Résistance de la masse cellulaire.	Possibilités fonctionnelles.
2. ANALOGIE DE LA REPRODUCTION SEXUÉE	
Cellule parente, parent mâle	Découverte ou invention existante.
Parent femelle	Inventeur.
Occasion de la fertilisation	Communication des connaissances.
Conception	Génération de l'idée.
Embryon	Preuve de croissance de l'idée.
Croissance embryonnaire	Développement de l'idée.

CROISSANCE BIOLOGIQUE	AMÉLIORATION TECHNIQUE
Période de gestation	Délai nécessaire à l'invention.
Naissance	Divulgation de l'invention.
Nutrition	Support économique.
Période de maturation	Application pratique.
Maturité	Utilisation opérationnelle de l'invention.
Durée de vie	Période entre la découverte et la désuétude.
Mort normale	Désuétude.
Population mâle totale	Inventions totales divulguées, moins les inventions désuètes.
Population active totale	Total des inventions opérationnelles.
Résistance totale de la population active	Possibilités fonctionnelles.

Résumant les applications possibles de ces analogies détaillées à la prévision analytique, Lenz observe que :

« On peut utiliser de la manière suivante, pour la prédiction, l'analogie entre la division cellulaire et le progrès technologique :

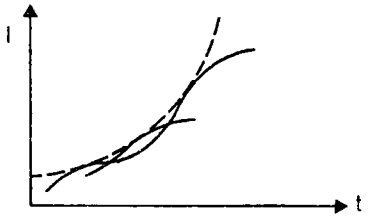
1. identification de la période moyenne nécessaire à la génération d'idées à partir d'inventions antérieures, et utilisation de ce délai comme base de prédiction du doublement du progrès technique au cours de cette période;
2. association de la croissance économique des inventions à leur taux de naissance, montrant que leur croissance exponentielle n'est pas concevable sans une croissance exponentielle du support économique;
3. constatation d'un taux de progrès plus faible à mesure que certaines inventions deviennent désuètes;
4. projection de la courbe de croissance jusqu'à la « maturité », avec un taux de progrès diminuant d'une manière constante, dans le cas où l'on peut déterminer raisonnablement les limites de la demande d'inventions dans un domaine donné. »

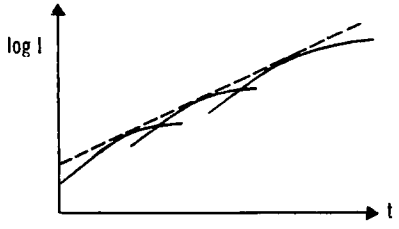
On peut reprendre l'analogie avec la reproduction sexuée de la manière suivante : « Si les possibilités fonctionnelles dépendent du nombre total des inventions opérationnelles, qui est lui-même fonction du nombre des inventeurs et du soutien économique consacré au développement, la croissance de ces possibilités peut alors être directement liée au soutien économique et au nombre d'inventeurs. Le prévisionniste peut prédire la valeur de ce soutien économique et du nombre d'inventeurs, et en déduire une prédiction pour le rythme du progrès technique. »

L'avantage évident de cette conception, par rapport aux modèles d'Isenson et de Hartman, réside principalement dans la possibilité de tenir compte explicitement du soutien économique.

Modèle de Holton : Holton (cité dans la *réf. bibl. 89*) considère un « schéma en arbre » des connaissances, d'où partent des branches nouvelles de développement technique et scientifique; chaque nouvelle branche, à son tour, donne probablement naissance à des branches supplémentaires. Comme le nombre des points d'embranchement existant à un instant donné est proportionnel au nombre de domaines en cours d'étude à cette époque, la quantité cumulée d'informations connues ou appliquées — si l'on suppose que chaque

nouveau domaine « contient » approximativement la même quantité d'informations à explorer — s'accroît de façon exponentielle (par analogie avec le modèle de Hartman et son hypothèse fondamentale $dI/dt \sim I$). Toutefois, étant donné que la croissance individuelle de l'information dans chaque domaine suit une courbe en S, et que le nombre d'idées restant à explorer diminue, la croissance exponentielle globale se fait en « marches d'escalier » :





La « marche d'escalier » est, de fait, la forme caractéristique de croissance pour un grand nombre de possibilités fonctionnelles importantes (voir également la section suivante II.3.4.). Toutefois, le modèle de Holton, essentiellement qualitatif, ne semble pas fournir d'analogies susceptibles d'être utilisées au niveau opérationnel.

Le modèle du processus de croissance technologique de Putnam (réf. bibl. 168) est basé sur des facteurs tels que l'effort humain, l'importance du groupe, les interactions individuelles, et la fertilisation réciproque des idées. Il comporte un modèle mathématique du processus de percée et semble être plus ambitieux que les modèles déjà publiés et mentionnés ici.

Le modèle d'utilisation technique de Ridenour (cité par Ayres, *réf. bibl. 89*) suppose que le rythme d'acceptation d'un nouveau produit ou d'un nouveau service par le public est proportionnel au nombre de personnes qui se familiarisent avec lui par contact direct, de sorte que l'accroissement différentiel de ce nombre est proportionnel au nombre de personnes qui l'ont déjà accepté : $dN/dt \sim N$, ce qui conduit à une croissance exponentielle de N. Pour tenir compte de l'existence d'un nombre limite L de personnes que l'on peut s'attendre à voir accepter l'invention (acheter un certain produit, etc.), Ridenour introduit le même facteur correctif que Hartman (équation (16) :

$$\frac{dN}{dt} = bN\frac{L-N}{L} \tag{23}$$

ou, par intégration

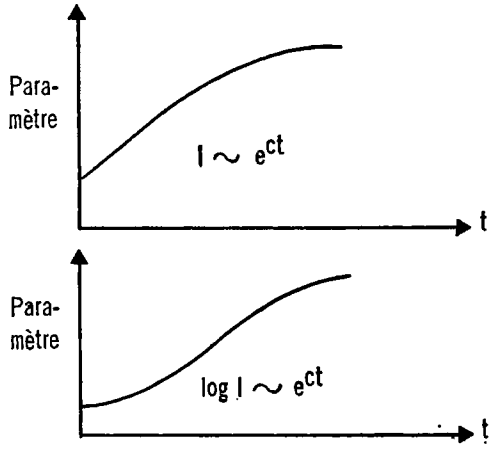
$$N = \frac{L}{1+\left(\frac{L}{N_o}-1\right)e^{-bT}} \tag{24}$$

C'est la même courbe en S que celle que l'on peut déduire du modèle de Hartman (équation (17)) et du modèle de Lenz (équation (19)). Il faut toutefois remarquer qu'il ne s'agit pas tant d'un accord entre différents modèles (car seule l'analogie de Lenz avec la croissance sous contrainte y conduit

inévitablement) que d'une limitation du choix des facteurs correctifs que l'on sait exprimer et traiter mathématiquement de manière simple. Le modèle de Ridenour n'est représentatif de la croissance des possibilités techniques que si l'on peut admettre que cette croissance est essentiellement déterminée par la demande du marché.

Pour conclure cette analyse des modèles, on peut dire que, jusqu'à présent, ceux-ci ne peuvent rendre compte que d'un nombre limité de facteurs d'influence, en admettant des relations qui ne sont en général ni prouvées, ni connues en détail, et que leurs formulations mathématiques ne couvrent même pas l'ensemble des connaissances actuelles.

Personne n'a encore dit pourquoi la croissance des paramètres techniques ou scientifiques, ou des possibilités fonctionnelles devait être directement proportionnelle à la croissance des connaissances cumulées. Il paraîtrait



plausible que certains paramètres croissent plutôt selon le logarithme des connaissances cumulées. Dans ce cas, la forme typique de la courbe devrait être : *a*) une ligne droite si les connaissances s'accroîssent exponentiellement, *b*) une courbe exponentielle, si les connaissances s'accroissent de manière doublement exponentielle. (La représentation tient compte de l'aplatissement dû à l'approche d'une limite supérieure).

On peut admettre que la principale utilité de ces modèles analytiques simples tient à ce qu'ils rendent perceptible l'influence de facteurs externes qui agissent horizontalement et expliquent la relation complexe entre le progrès technique et scientifique et le temps.

II.3.3. Extrapolation de séries temporelles sur une base phénoménologique

En toute rigueur, la simple extrapolation des tendances séculaires contient déjà un élément analytique : l'attente intuitive de voir l'effet combiné de facteurs internes et externes, qui a abouti à une certaine tendance au cours d'une période passée, rester le même au cours d'une période future (« méthode déterministe » en prévision économique), ou subir une variation gra-

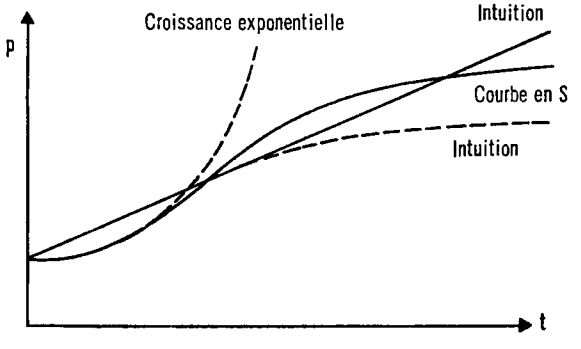
duelle estimée peu importante (« technique symptomatique »). On conseille fréquemment de ne pas choisir de période d'extrapolation plus longue que la période passée sur laquelle on dispose de données d'expérience. Il s'agit là, en fait, d'un critère très artificiel; personne ne pourrait, de manière raisonnable, extrapoler le nombre de scientifiques sur les 300 prochaines années, bien qu'on ait observé, au cours des 300 dernières années, une croissance exponentielle avec une période de doublement d'environ 15 ans *(réf. bibl. 6)*. Pour un grand nombre de paramètres et de possibilités intéressant le monde technique moderne, l'expérience passée dont on dispose ne dépasse guère 50 ou 60 ans, soit un intervalle de temps raisonnable pour une prévision à long terme dans l'avenir. D'autre part, les 20 années d'histoire de l'énergie nucléaire ne devraient pas nous empêcher d'évaluer son rôle et ses conséquences sur une période s'étendant peut-être jusqu'à 100 années.

Nous avons vu en détail, au chapitre 1.3., l'importance d'un facteur temporel explicite dans la prévision technologique. Les réserves que nous avions alors formulées — et qui sont résumées dans la citation de Brooks figurant en exergue à ce chapitre (« L'histoire est un très mauvais guide; nous avons fait mieux ») — auront probablement pour conséquence de rendre l'extrapolation naïve des tendances moins utile qu'elle ne l'a été jusqu'à présent.

Le Centre TEMPO de la General Electric estime que cette extrapolation va devenir stérile, parce que tout dépendra de l'interaction de nombreuses tendances.

Il faut souligner que les courbes de tendances les plus régulières sont obtenues pour les techniques qui règlent la marche du progrès, c'est-à-dire les meilleures techniques existantes, et non pour les valeurs moyennes. Cela implique que les facteurs qui influencent la diffusion horizontale des techniques compliquent le problème, au point de déformer dans certains cas une courbe par ailleurs régulière. Une règle fondamentale d'évaluation des tendances consiste évidemment à choisir des paramètres affectés de manière cohérente par les facteurs d'influence, et de limiter autant que possible le rôle des facteurs qui agissent horizontalement.

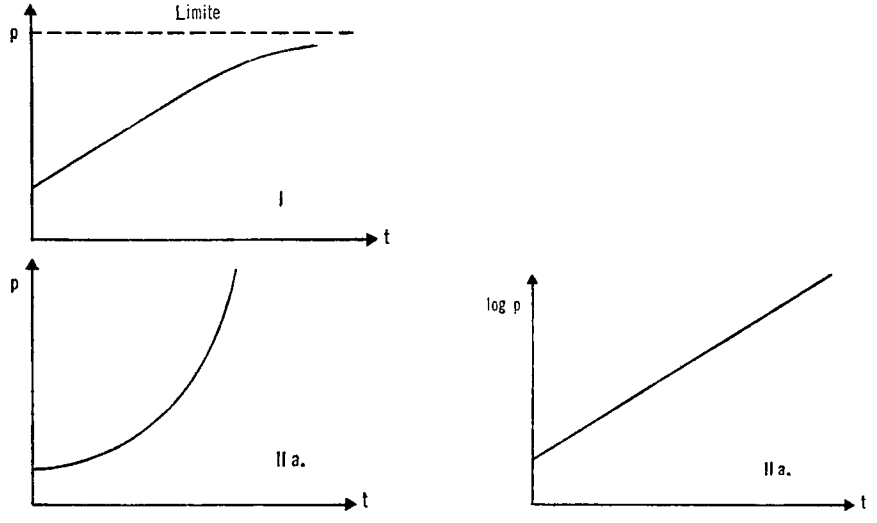
L'expérience générale a montré que la prévision intuitive, par des experts, de paramètres techniques ou scientifiques ou de possibilités fonctionnelles, tend à donner des projections linéaires. Le premier intérêt, et peut-être le plus important, de l'extrapolation des tendances peut, par conséquent, consister à corriger la prévision intuitive en attribuant une pondération supérieure aux facteurs qui ont dominé dans le passé. En général, les prévisions intui-



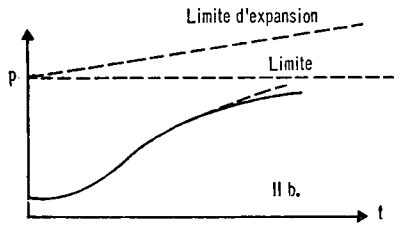
tives des experts ont tendance à être trop optimistes pour le futur proche, et trop pessimistes pour le futur plus lointain. Dans le cas où la prévision intuitive ne prend pas conscience de l'existence d'une limite — ce qui est souvent le cas lorsque les limites implicites ne sont pas clairement discernées — il se peut que cette prévision redevienne trop optimiste. Toutefois, la prévision intuitive éprouve souvent l' « impression » d'une accumulation de difficultés et de limites au-delà du cadre temporel dans lequel il est possible de formuler des programmes concrets de recherche et de développement; les courbes de prévision intuitive redeviennent donc horizontales — non au niveau d'une limite analytique reconnue, comme il serait souhaitable, mais à un niveau qui semble être influencé par la personnalité de l'expert et qui reflète habituellement des préjugés pessimistes.

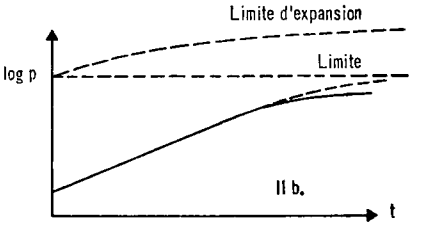
On peut grossièrement diviser les courbes de tendances en quatre classes, illustrées par les schémas ci-contre :

Classe I. (Croissance linéaire avec saturation) : La productivité des centrales thermiques présente, par exemple, cette caractéristique. De même, la mécanisation du travail humain (exprimée par la diminution du nombre d'heures de travail annuel par homme) a été linéaire au cours des 75 dernières années.



Classe II.a. (Croissance exponentielle sans saturation dans l'intervalle de temps considéré) : Ce type de caractéristique apparaît dans certaines performances fonctionnelles, par exemple la vitesse maximale des avions de combat, ou la vitesse maximale des avions de transport (jusqu'à la vitesse opérationnelle prévue du « Concorde » à Mach 2,2; de l'avion de transport supersonique américain à Mach 2,7; ou de l'avion supersonique de transport avancé à Mach 3,0; tous actuellement en cours de développement). La croissance presque exactement exponentielle du rendement de conversion énergétique (lumens par watt) dans la technique de l'éclairage, depuis la bougie de paraffine jusqu'à la diode à arséniure de gallium (*réf. bibl. 141*, citant une information de la General Electric Company) semble suggérer qu'une performance fonctionnelle peut suivre une tendance de la Classe II.a. jusqu'à ce qu'elle se heurte brutalement à une limite — la diode à l'arséniure de gallium est déjà proche du coefficient de rendement 1.





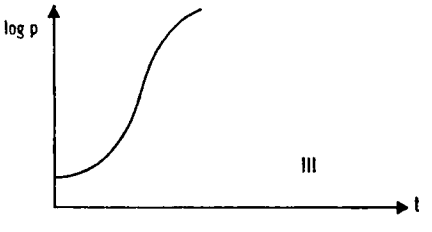
Classe II.b. (Courbe en S, comportant éventuellement un accroissement initial exponentiel ou quasi-exponentiel) : C'est la caractéristique normale des techniques individuelles en cours de maturation.

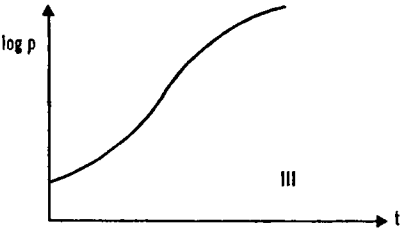
On peut remarquer que, en dehors de la croissance logistique, conforme à l'équation (19), on trouve également des courbes de croissance en S qui sont le mieux décrites par la loi de Gompertz, régissant des phénomènes de croissance dans certains domaines économiques, par exemple la croissance du revenu. Son expression mathématique est :

$$p = Le^{-be^{-kt}} \tag{25}$$

L = Limite (avec les mêmes unités que le paramètre p)
b, k = Constantes
t = Temps

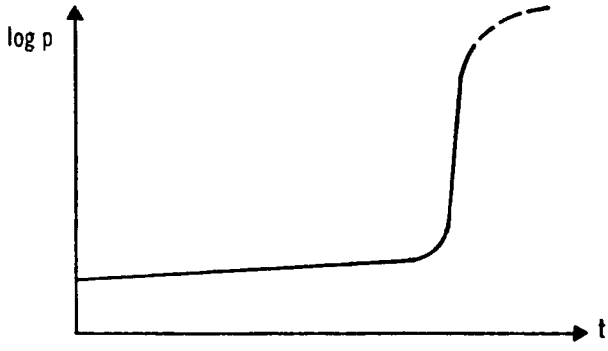
Contrairement à l'équation (19), l'équation (25) de Gompertz représente une courbe en S asymétrique avec une valeur de $p = L/e$ au point d'inflexion, pour $t = (ln\ b)/k$. Toutefois, comme l'équation (19), cette courbe en S tend également vers les valeurs limites zéro et L, pour t = plus ou moins l'infini; pour $t = 0$, la courbe passe par la valeur $p = L/e^b$.





Classe III. (Croissance doublement exponentielle, ou même plus rapide, suivie d'une saturation) : Cette caractéristique s'applique à certaines caractéristiques fonctionnelles, dans des domaines de recherche et de développement intenses. La *réf. bibl. 89* en donne des exemples : la vitesse maximale atteinte par l'homme, et l'énergie de fonctionnement des accélérateurs de particules. Selon la *réf. bibl. 142*, la vitesse de fonctionnement des calculateurs commerciaux appartient à cette classe, tandis que, selon la *réf. bibl. 89*, le rapport entre la capacité des calculateurs et le temps d'addition se caractériserait encore, à l'heure actuelle, par une tendance exponentielle de la Classe II.a. (On peut considérer ce rapport comme le « critère de mérite »

du progrès global de développement des calculateurs, tandis que la vitesse de fonctionnement ne fait ressortir qu'un seul des paramètres importants).



Classe IV. (Croissance exponentielle lente, suivie par une accélération brutale, éventuellement suivie d'une saturation) : D'après la *réf. bibl. 89*, ce type de courbe s'applique à la puissance explosive maximale pouvant être envoyée à distance. De toute évidence, l'accélération est surtout due à l'apparition des armes nucléaires à fusion et à fission, mais elle avait déjà commencé pendant la deuxième Guerre Mondiale, avec les « blockbuster » classiques de 10 tonnes. La saturation de la courbe est plutôt due à une limite de l'intérêt (vers 100 mégatonnes) qu'à des limites techniques.

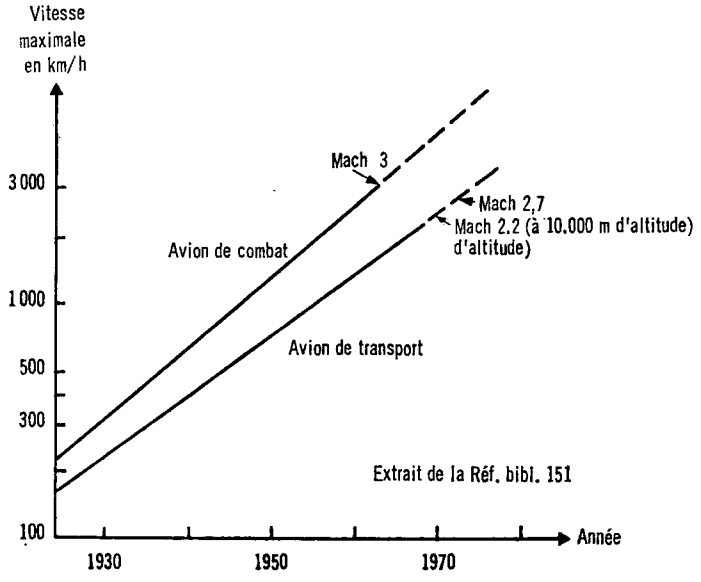
L'extrapolation et l'évaluation des tendances, sur une base phénoménologique simple, sont devenues une méthode auxiliaire largement utilisée, surtout dans les cas où l'on met l'accent sur la prévision normative, comme dans le domaine des recherches militaires. Elle fournit une première réponse à la question de savoir si on a une chance raisonnable d'atteindre un objectif spécifique (un progrès particulier) — grâce aux mêmes mécanismes d'innovation qui ont permis le progrès antérieur. En même temps, l'extrapolation des tendances renforce le mécanisme des « prophéties qui s'accomplissent d'elles-mêmes », en faisant croître la confiance en une possibilité raisonnable d'atteindre un objectif que l'on ne sait pas apprécier analytiquement.

On n'a encore pratiquement pas utilisé d'extrapolation possible de tendances qui décrirait les conséquences du progrès technique (par exemple, l'accroissement des caractéristiques fonctionnelles) sous une forme quantifiable. On s'attend, en général, par analogie avec la loi de Weber-Fechner relative aux perceptions sensorielles humaines, à ce que les conséquences « sociales » soient grossièrement proportionnelles aux logarithmes des possibilités techniques. Cette question — aussi importante qu'elle puisse paraître pour l'avenir de la prévision technologique exploratoire depuis la science fondamentale jusqu'aux conséquences sociales — se trouve cependant dans une phase d'étude encore très élémentaire.

Dans certains cas, on aura avantage à utiliser deux raffinements de l'extrapolation des tendances séculaires : la prévision par analyse d'évènements précurseurs, et la prévision par extrapolation de courbes-enveloppes. Ces méthodes seront examinées dans les paragraphes suivants.

La *prévision par analyse d'évènements précurseurs* utilise une corrélation entre les tendances d'évolution de deux développements, dont l'un précède

l'autre. Zebroski présente un exemple frappant et peu classique de cette technique *(réf. bibl. 351)* : il prédit la croissance des applications futures des réacteurs rapides, comme conséquence logique de la production de plutonium par les réacteurs thermiques de la génération actuelle. Lenz *(réf. bibl. 151)* donne un exemple plausible et intéressant, fondé sur la comparaison de la vitesse maximale des avions de combat et des avions de transport :



Il est évident que ces deux évolutions sont logiquement liées l'une à l'autre : les efforts de recherche et de développement consacrés aux avions de combat peuvent éventuellement être fructueux dans le secteur des transports. L'accroissement du retard — la pente de la tendance de la vitesse des avions de combat correspondant à un doublement en dix ans, tandis que celle de la vitesse des avions de transport correspond à un doublement en douze ans — est une observation intéressante, que l'on ne peut probablement expliquer que par l'effet combiné de différents facteurs.

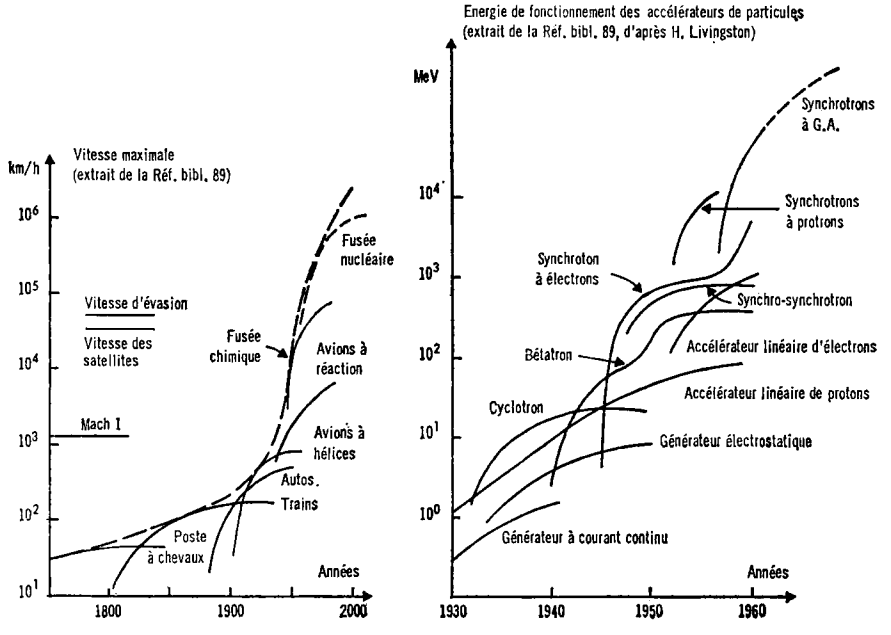
Il est certain qu'une simple corrélation des tendances n'est intéressante pour la prévision que dans la mesure où la relation observée entre les deux développements reste valable. Dans l'exemple donné ci-dessus, la situation évolue actuellement. Le bombardier Mach 3 n'a pas encore été mis en fabrication aux États-Unis (bien que les prototypes qui ont été construits permettent de prolonger assez précisément la courbe de tendance) et l'apparition de l'avion hypersonique au cours des premières années de la décennie 1970-1980 dépendra probablement beaucoup plus de décisions stratégiques que des possibilités techniques (car il semble déjà que les éléments nécessaires sont prêts). On constate au contraire que le développement de l'avion de transport civil reçoit, pour la première fois, un soutien important de la part du gouvernement et la date mise en service prévue pour l'avion de transport supersonique, en cours de développement, coïncide de très près avec la courbe de tendance. On peut s'interroger sur l'influence mutuelle des deux courbes de tendances et sur leur corrélation.

Dans l'exemple de la vitesse des avions, un important facteur implicite est l'avance que l'une des tendances peut prendre sur l'autre, dans le cadre d'une relation causale. Dans ces conditions, on est en droit de supposer une corrélation entre les tendances séculaires. Par contre, si les deux paramètres sont liés intrinsèquement l'un à l'autre, sans intervention du facteur temps, leur corrélation par l'intermédiaire des tendances séculaires est artificielle, et cache la relation causale réelle. L'exemple, donné par Lenz, de l'évolution parallèle de la résistance des matériaux à la traction et de la portée maximale des ponts, entre dans ce cas.

En général, le nombre de paramètres liés intrinsèquement les uns aux autres est peut-être plus grand qu'il ne paraît à première vue. Le poids des avions par exemple et, par conséquent (pour une même vitesse) leur puissance, sont fonction de la complexité des composants tels que les systèmes électroniques. On examinera à la section suivante, II.3.5, l'utilité d'une corrélation entre des tendances paramétriques qui ne dépendent pas explicitement du facteur temps.

Si l'hypothèse de la relation entre deux tendances n'est pas justifiée, les conclusions obtenues risquent d'être totalement fausses. L'exemple en est fourni par une prévision déjà ancienne de la Commission de l'Énergie Atomique des États-Unis relative à l'énergie nucléaire civile *(réf. bibl. 331)*. La CEA admettait que l'énergie nucléaire serait toujours en moyenne deux fois plus chère que l'énergie classique, et elle avait évalué à 10 ou 20 % de la consommation énergétique totale, la part de l'énergie nucléaire.

Extrapolation de courbes-enveloppes : Les possibilités fonctionnelles susceptibles d'être atteintes par des techniques différentes ou au moyen de paramètres de nature générale constituent des « systèmes » d'ordre supérieur, caractérisés par une suite d'innovations à un rythme constant ou variable. En voici deux exemples, fréquemment cités, qui représentent eux-mêmes deux niveaux différents de systèmes (l'exemple de la vitesse est divisé en catégories plus générales) :



Ayres *(réf. bibl. 89)*, est celui qui a, jusqu'à présent, étudié la méthode des enveloppes le plus à fond; il pose le problème de la manière suivante : « Comment peut-on prédire l'avenir d'un « système » compliqué dont une des caractéristiques est un taux d'innovation constant (ou variable)? Où existe-t-il un modèle de système permettant d'analyser les performances? Une réponse par trop simple consiste évidemment à dire que les performances passées du système constituent un bon modèle pour les performances futures, c'est-à-dire que le système se simule lui-même. On peut penser que c'est vrai, en général, tant que, et jusqu'au point où, le système ne subit pas de modification radicale sous l'action de quelque facteur exogène... Par conséquent, si nous extrapolons les courbes enveloppes au-delà de l'état de l'art actuel, nous admettons automatiquement la poursuite du taux d'invention (et peut-être de son rythme d'évolution) qui a caractérisé le système dans le passé. Cette extrapolation risque, naturellement, de ne pas tenir compte des effets des percées rares et exceptionnelles, mais elle aura vraisemblablement déjà pris en considération les conséquences d'un processus continu d'innovations « ordinaires ». A l'opposé, une analyse des éléments n'a aucun moyen d'anticiper même les types d'innovation les plus ordinaires (si la configuration du système en est modifiée), étant donné que l'on prédit la performance limite d'une classe d'inventions donnée en utilisant l'extrapolation des courbes-enveloppes uniquement au niveau du composant. »

En ce qui concerne le choix des paramètres, Ayres suggère que l'on détermine avant tout si les contraintes principales sont intrinsèques ou extrinsèques, et que l'on exprime l'évolution en fonction de paramètres soit « intensifs », soit « extensifs ».

On peut, en général, s'attendre à ce que les paramètres « intensifs » prennent une importance d'autant plus grande pour les caractéristiques d'évolution d'un système qu'ils sont parvenus plus près de leurs limites naturelles. Les exemples de paramètres « intensifs », donnés par Ayres, comprennent :

Les rapports d'entrées et de sorties, approchant éventuellement l'unité : rendement de conversion de l'énergie, transmission de l'information par un canal particulier, etc;

Des caractéristiques fonctionnelles, approchant éventuellement de leurs limites absolues (naturelles) : vitesse, basse pression, basse température (et en certains cas haute température), etc;

Des caractéristiques fonctionnelles, approchant éventuellement de limites pratiques ou de limites de tolérance : débit de la circulation par voie, accélération de systèmes de transport de passagers, etc.

Les paramètres « extensifs » comprendraient la démographie, la production, le produit national brut, etc.

On s'attend naturellement à ce que les courbes-enveloppes aient la forme d'un « grand S », chevauchant les petites courbes en S des techniques individuelles. L'expérience — voir par exemple les courbes de vitesse et d'énergie des accélérateurs données ci-dessus — semble montrer que les courbes-enveloppes ont même une forme en S lorsqu'il s'agit de coordonnées semi-logarithmiques, c'est-à-dire que le paramètre représenté commence par croître plus vite qu'exponentiellement.

On peut voir, d'après les exemples donnés pour des paramètres « intensifs », qu'il est souvent plus facile de prendre conscience de limites supérieures pour les courbes-enveloppes que pour les techniques individuelles. Il est facile de constater qu'il s'agit notamment :

De limites absolues (naturelles) : vitesse de la lumière, température du zéro absolu, pression nulle, rendement unitaire, températures auxquelles les liaisons moléculaires se brisent, etc;

De limites dues aux caractéristiques de la terre ou aux possibilités humaines : vitesse maximale dans l'atmosphère, temps minimal pour faire le tour du globe, tolérance humaine à l'accélération, tolérance humaine au bruit, etc;

De limites dérivées : rendement de Carnot entre des niveaux donnés de température, etc.

De même, les facteurs « externes », tels que la population et le produit national brut, obéissent à des limites supérieures.

Ayres remarque que « plus l'analyse des éléments est poussée et orientée vers les composants), plus il est probable qu'elle est intrinsèquement faussée et trop timorée... En fait, il est presque normal que le progrès maximum projeté au moyen d'une analyse des composants corresponde à une limite inférieure du progrès réel, car cela suppose qu'aucune innovation nouvelle ne viendra modifier la technologie ».

Il est rare que l'on puisse déterminer des limites supérieures de la même classe que celles qui sont facilement énoncées pour les courbes-enveloppes, dans le cas de techniques individuelles utilisant les mêmes bases. La vitesse maximale et l'altitude maximale des avions (véhicules utilisant l'air), limitées par la vitesse d'évasion et la hauteur de l'atmosphère, sont plutôt des exceptions à cet égard.

On peut observer, dans de nombreux cas pratiques, que les grands systèmes représentés par des courbes enveloppes montrent une évolution plus stable que celle de leurs composants individuels (technologies individuelles) et qu'ils ne sont pas non plus affectés de manière visible à long terme par des évènements extraordinaires, tels que les crises économiques ou les guerres (tandis que les éléments constitutifs de tels systèmes présentent des effets marqués, comme la diminution du nombre de nouveaux scientifiques ou l'accroissement des programmes de développement militaire).

Ayres (voir de nouveau la *réf. bibl. 89*) donne des raisons plausibles pour cette plus grande stabilité :

« En dehors des mécanismes de « rétroaction », une des raisons de la stabilité relative des grands systèmes à macrovariables semble être l'intervention de la « loi des grands nombres ». Cette loi, qui est une forme faible du théorème fondamental de la limite centrale des statistiques, dit qu'une « macrovariable » additive (c'est-à-dire la somme de nombreux composants) a une probabilité plus faible de s'écarter en valeur relative de sa moyenne, ou centroïde, que l'une quelconque des « microvariables » qui le composent, pourvu que ces dernières soient toutes d'importance approximativement égale, et qu'elles varient indépendamment les unes des autres dans

des intervalles semblables. Admettons qu'une micro-variable additive soit définie par $P = \sum_i x_i$. L'écart-type de P est alors donné par

$$\sigma_p^2 = \sum_i \sigma_i^2 \qquad \sigma_p = \sqrt{\sum_i \sigma_i^2} \quad (26)$$

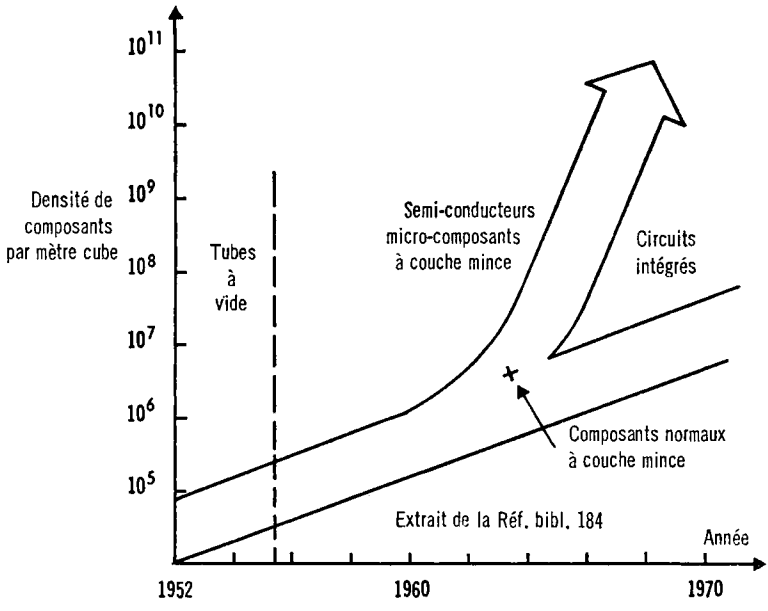
Si les N des σ_i sont tous de grandeur à peu près égale (les autres étant négligeables) et si $\bar{x}$ est la valeur moyenne des variables non-négligeables, alors $P \approx N\bar{x}$ et

$$\frac{\sigma_p}{P} \approx \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{N}\,\bar{x}} \quad (27)$$

La cadence de fluctuation des variables globales est, en quelque sorte, fonction du temps de réaction (ou « temps de relaxation ») du système interconnecté à une perturbation. Ce délai détermine la vitesse à laquelle la perturbation (comme une onde sur l'eau) se propagera dans tout l'ensemble. »

Toutefois, dans certains cas, par exemple celui de la vitesse décrit ci-dessus, où le profil de la courbe-enveloppe est manifestement influencé par le développement des avions militaires et des fusées (la technique des avions civils étant accélérée par une relation causale de succession) on aura avantage à supposer l'intervention de forces d'entraînement extraordinaires. L'évolution du système tendrait alors à se stabiliser, pour un certain temps, à un rythme différent. On peut prévoir sans risques que la tendance actuelle à une planification plus consciente, le nombre croissant des possibilités qui permettent de pousser les développements vers des objectifs clairement reconnus et — tout autant — les effets de « rétro-action » à attendre de la prévision technologique, auront de plus en plus d'influence sur les courbes d'évolution des grands systèmes fonctionnels. Il en est peut-être de même des intervalles séparant les techniques successives (dans le cas de courbes-enveloppes croissant plus vite qu'exponentiellement, on peut observer une diminution continue des intervalles : c'est-à-dire que les « cycles temporels » des techniques successives se réduisent).

Étant donné qu'en général une nouvelle technique apparaît à la suite d'une percée technologique, on peut distinguer différentes « classes » de percées, conformément à l'effet qu'elles ont sur la courbe-enveloppe. L'exemple, donné ci-dessus, de la puissance explosive disponible, montre l'effet d'une « super-percée », marquée par l'apparition des armes nucléaires. Ce fait n'est pas surprenant si l'on considère la différence fondamentale entre l'énergie chimique et l'énergie nucléaire, et l'importance de la percée scientifique qu'elle suppose. On peut toutefois observer également, dans certains cas, des caractéristiques de « super percées » dans des développements qui, vus de l'extérieur, semblent être seulement une extension logique de techniques connues. C'est ainsi que la technique des circuits intégrés provoque, dans certaines directions, des progrès beaucoup plus rapides que ne le fit la succession des techniques qui l'ont précédée :



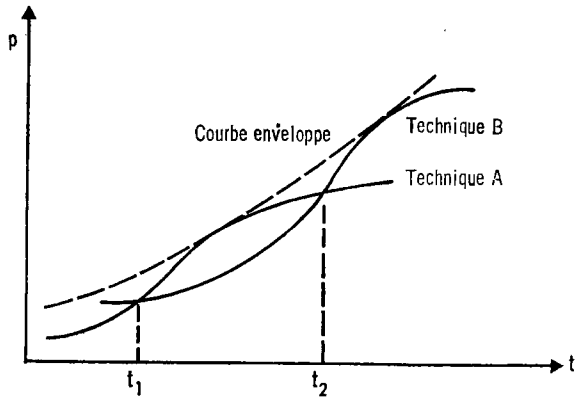
On ne sait pas grand-chose, jusqu'ici, de la phénoménologie des percées technologiques et scientifiques.

Pour les objectifs pratiques de la prévision technologique, on peut conclure, avec Ayres, que les risques d'une prévision non spécifique (paramètres des caractéristiques fonctionnelles au lieu de techniques particulières) peuvent être acceptés en échange des avantages de la méthode des courbes-enveloppes :

cette méthode n'introduit aucun préjugé fondamental dans la prévision;
on peut souvent percevoir, de manière directe et explicite, la limite définitive;
la méthode bénéficie d'une stabilité supérieure des caractéristiques d'évolution.

Bien qu'apparemment les courbes-enveloppes aient été utilisées récemment dans la prévision technologique militaire, par exemple aux États-Unis, en Grande-Bretagne et à l'OTAN, on connaît peu d'exemples de prévisions à long terme effectuées sur cette base et portant sur des intervalles de temps qui correspondraient à plus de deux techniques d'avant-garde successives. Toutefois, les auteurs de prévisions commencent à s'habituer aux méthodes des enveloppes, de sorte qu'ils seront peut-être tentés d'en appliquer les conclusions.

Les courbes-enveloppes présentent un avantage pratique encore plus important : elles permettent de prévoir avec une probabilité raisonnable l'apparition et — en termes généraux — l'effet des percées techniques. Un examen plus approfondi des techniques qui en sont à une phase initiale de leur développement peut conduire à percevoir assez tôt la croissance d'une nouvelle technique :



L'exemple graphique illustre les avantages possibles ainsi que les risques éventuels de cette méthode : une entreprise utilisant la technique A peut tirer des avantages considérables en percevant et en développant la technique B bien avant que la technique A ne commence à atteindre la saturation. Par contre, une comparaison directe des tendances A et B à l'instant t_1, ou peu après, conduirait à des conclusions erronées à long terme si on ne les appréciait pas dans le contexte d'une courbe-enveloppe. C'est précisément ce type de négligence qui a conduit un certain nombre de grandes sociétés à rejeter la technique Xerox quand on la leur a proposée, au début de sa mise au point; dans le cas de Gevaert-Agfa (Belgique), cette expérience malheureuse a fortement contribué à soulever la question, en cours d'étude, de la création d'un service de prévision technologique systématique!

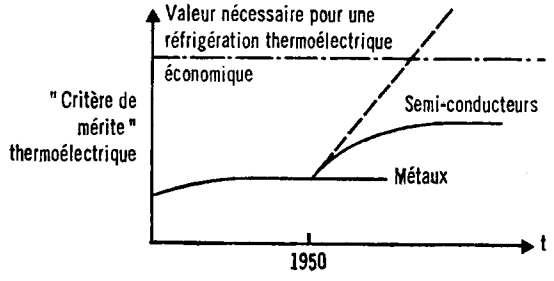
On considère que l'évaluation délibérée des courbes en S correspondant aux techniques individuelles, dans le cadre d'une étude de la courbe-enveloppe, est un moyen intéressant (même s'il est accessoire) d'améliorer l'affectation des ressources. Dans l'ancien ministère britannique de l'Aviation, la courbe en S caractéristique d'une technique en cours d'amélioration avait reçu le nom de « Cawood-S », ce nom rappelant l'attitude fondamentale adoptée et cultivée par le Directeur scientifique. La préparation du système PATTERN, de Honeywell (voir section II.4.5.), fait appel à l'extrapolation systématique des tendances et plus particulièrement à l'extrapolation par des courbes individuelles ou par des courbes-enveloppes en S pour des prévisions de cinq à quinze ans portant sur des centaines ou des milliers de paramètres techniques et de caractéristiques fonctionnelles.

De même, l'adoption — consciente ou inconsciente — du principe des techniques successives dans le même domaine fonctionnel peut conduire à analyser la nature de l'évolution, ou à reconnaître les limites explicites qui exigeront une nouvelle percée. A titre d'illustration, nous citerons deux exemples pratiques dont les conséquences ont été considérables :

Quand, en 1950, des mesures du « critère de mérite[1] » thermo-électrique des matériaux disponibles ont commencé à faire apparaître une certaine croissance, on pouvait espérer que le seuil nécessaire à

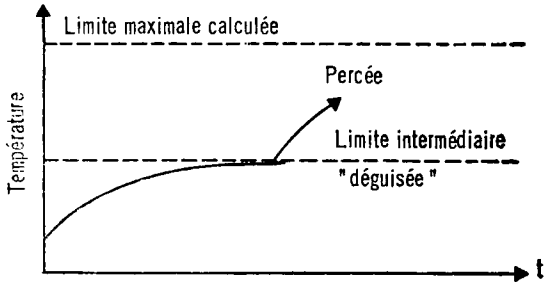
1. Le « critère de mérite » thermo-électrique associe la conductivité thermique, la conductivité électrique et le coefficient thermo-électrique (différence de potentiel d'origine thermique) des matériaux thermo-électriques.

l'application économique de la réfrigération thermo-électrique serait bientôt franchi. Fort de cet espoir, Westinghouse a lancé un programme de développement à assez grande échelle et la General Motors a mis sur pied un groupe spécial, chargé d'étudier la nature de cette croissance brutale. Les études du groupe ont révélé que



cette croissance n'était dûe qu'à l'existence d'une nouvelle classe de matériaux, les semi-conducteurs. On a donc pu prévoir sur des bases théoriques, pour les semi-conducteurs, l'existence d'une limite naturelle qui se placerait encore en dessous du seuil économique. La décision prise par la General Motors d'abandonner ce projet de développement s'est révélée heureuse.

Toujours aux États-Unis, des recherches militaires ont porté sur la résistance thermique des matériaux en atmosphère oxydante, caractéristique fonctionnelle dont l'amélioration était recherchée par tous les moyens possibles, en raison de son importance primordiale pour les fusées et d'autres problèmes militaires. Cette résistance tendait depuis peu à atteindre un plafond largement inférieur à la limite naturelle, telle qu'on l'avait déterminée; on en concluait

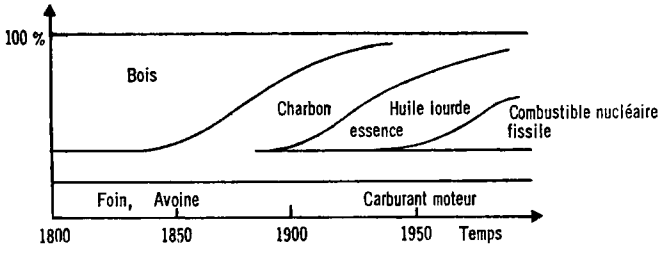


l'existence d'une limite intermédiaire « déguisée », jusqu'à présent inconnue. L'IDA (Institute for Defense Analyses) a alors entrepris une étude très importante, faisant appel à des experts de premier ordre, et réussi à déterminer la nature de cette limite intermédiaire (associée aux mécanismes de transfert de l'oxygène dans les matériaux). C'est alors qu'a pu être effectuée la percée voulue.

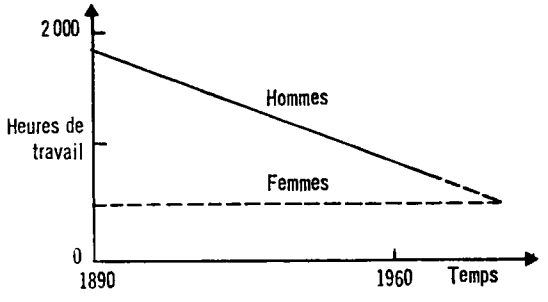
Ces deux exemples donnent également à penser qu'il faut renoncer au schéma rencontré jusqu'à présent — selon lequel les nouvelles techniques s'ébauchent « silencieusement » avant que les facteurs limitatifs ne se fassent

sentir dans les techniques anciennes, de sorte que c'est la pression croissante des incitations qui « force » les nouvelles techniques, encore embryonnaires, à surgir. Un des rôles les plus importants de la prévision technologique, dans le contexte d'une planification technique bien organisée, sera sans aucun doute la prise de conscience des limites intermédiaires, et la formulation claire des percées nécessaires.

Une autre méthode possible de représentation des séries temporelles — faisant d'ailleurs apparaître d'autres forces d'inertie implicites qui contribuent à « lisser » ces séries — est *l'extrapolation des tendances relatives* dans le cadre d'un problème général tel que la consommation totale de combustibles. Cette méthode est appliquée avec succès par le centre TEMPO de la General Electric, Santa Barbara, Californie. On voit apparaître un cycle régulier de 50 ans avec des courbes en S relatives et assez régulières.



Il existe une variation de la méthode des tendances relatives, que l'on peut appeler « réflexion anthropomorphique », et que TEMPO utilise également. Le nombre annuel d'heures de travail payées, calculé sous forme de moyenne sur la durée d'une vie, est censé fournir une tendance représentative



de la mécanisation et de la future automation complète[1]. La corrélation est représentée par une ligne décroissante remarquablement droite pour les hommes (dans le cas des États-Unis), mais aucune variation n'apparaît pour les femmes (la plupart travaillant chez elles, sans salaire). Un autre exemple

1. TEMPO prédit pour 1984 que l'âge scolaire limite sera de 25 ans, que l'âge de la retraite sera de 50 ans, la semaine de travail étant de 40 heures, avec des congés annuels de six mois !

de la méthode des tendances relatives, lui aussi fourni par TEMPO, est la décomposition de la tendance à l'automation par catégorie professionnelle; on peut alors exprimer les tendances exponentielles en termes de « périodes » individuelles pour le remplacement des catégories professionnelles : 10 ans pour les comptables; 15 ans pour les pilotes; 20 ans pour les ingénieurs par exemple.

On a mis au point, à l'aide de méthodes statistiques bien connues, des *techniques mathématiques d'approximation des tendances* (*réf. bibl. 140*), méthodes qui sont largement employées en prévision économique. On peut simplifier l'approximation des tendances en déterminant d'abord la classe à laquelle une tendance donnée appartient : croissance linéaire, croissance exponentielle, courbe en S.

La méthode la plus commune de prédiction des tendances utilise une méthode classique de régression : si deux paramètres X et Y (dont l'un peut être le temps) sont liés l'un à l'autre, on postule une relation moyenne, par exemple $y = bx$, et on minimise l'erreur totale pour un certain nombre de combinaisons binaires de valeurs (x_i, y_i) observées, au moyen de la méthode des moindres carrés :

$$\text{Carré de l'erreur totale} = \sum_{i=1}^{k} (y_i - bx_i)^2 \tag{28}$$

En annulant la dérivée première, on obtient le minimum; on en tire la valeur de b :

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{k} x_i y_i}{\sum_{i=1}^{k} x_i^2} \tag{29}$$

La relation, c'est-à-dire la valeur de b, sera modifiée par chaque nouvelle observation (x,y).

Le « lissage exponentiel » est parfois intéressant pour l'évaluation des tendances économiques et peut, dans certains cas, être également préférable pour les tendances des paramètres techniques.

II.3.4. Courbes d'apprentissage

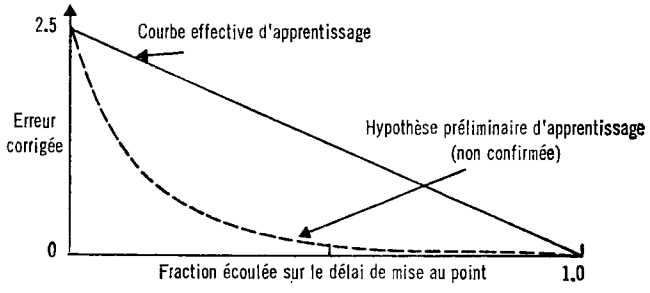
Au début de la section précédente, II.3.3., nous avons fait allusion à une « équation personnelle » que l'on rencontre souvent dans la prévision intuitive des performances techniques en fonction du temps. Ce genre de prévision est, en général, caractérisé par un « sur-optimisme » initial et par un « sur-pessimisme » ultérieur. Les « courbes d'apprentissage » sont en principe utilisables pour la correction de cette « équation personnelle ».

Un certain nombre d'études effectuées par la RAND Corporation, à Santa Monica, Californie, ont tenté de relier le coût du développement, le délai de développement et les estimations du coût de production, celles-ci étant corrigées à différentes étapes du développement. Ces études, qui avaient pour objet de vérifier une « hypothèse préliminaire d'apprentissage », ont porté sur des développements de systèmes d'armes à la fin des années 1950

et au début des années 1960. Elles ont abouti à des relations pour les caractéristiques suivantes : études de systèmes d'ensembles complexes; développements militaires, dans lesquels l'obtention d'une performance technique estimée (caractéristique fonctionnelle) était, à cette époque, considérée comme l'objectif principal, justifiant des réajustements importants des délais et des coûts de développement, ainsi que des coûts de production; intérêt « psychologique » de sous-estimations initiales des facteurs temps et coût pour les entreprises soumissionnaires. On peut douter que les corrélations obtenues aient la même valeur pour des développements techniques propres au secteur civil. Nous ne les indiquons ici que pour présenter une solution possible, susceptible d'être modifiée selon les divers domaines techniques généraux.

Klein (*réf. bibl. 244*) présente, pour huit programmes américains de fusées, une corrélation de 35 valeurs selon la disponibilité (*délai de mise au point*, plus essais, etc.) à différentes étapes du développement. Il a obtenu, pour l'erreur, une caractéristique « d'apprentissage » linéaire (après correction de certaines influences sans intérêt pour notre propos) :

$$\text{Erreur} = \frac{\text{(Délai réel de mise au point)} - \text{(Délai estimé de mise au point)}}{\text{(Délai réel de mise au point)}}$$



Il a été impossible de prouver « l'hypothèse préliminaire d'apprentissage », dans le cas des *coûts de développement*, à partir des estimations faites pour les mêmes huit programmes de fusées.

Nous mentionnerons ici la « courbe d'apprentissage » spectaculaire qui caractérise le coût estimatif de mise au point de l'avion supersonique franco-britannique « Concorde » jusqu'en 1969 (compte non tenu de la hausse des coûts et de la dévaluation monétaire) :

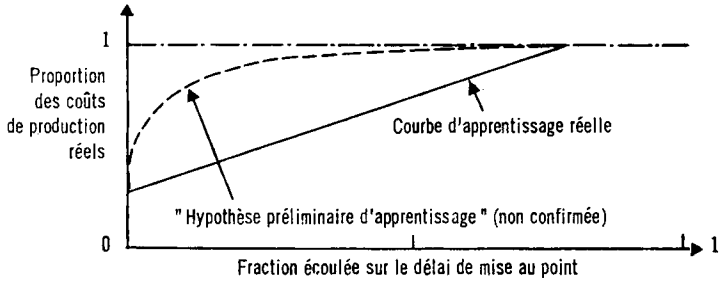
Estimation faite en	1962	400-460	millions de dollars
»	1963	740	millions de dollars
»	1964	1.000	»
»	1966	1.360	»

c'est-à-dire que, jusqu'à présent, les coûts estimatifs ont plus que triplé.

Summers (*réf. bibl. 250*) a étudié les *coûts de production* calculés à différentes étapes de la mise au point, pour 22 systèmes d'armes différents aux États-Unis. Il disposait d'environ 100 estimations et en a retenu 67. Il lui a fallu ajuster les comparaisons aux quantités effectivement produites, puisque les estimations étaient souvent fondées sur des prévisions de production en série, qui ont été ensuite modifiées sous l'effet de considérations stratégiques

et autres. Par exemple, pour les fusées guidées utilisant de l'air comme carburant, le rapport des coûts de production réels aux coûts de production estimés atteindrait 58 si l'on comparait l'estimation de 1947, fondée sur la production de 100.000 unités (fusées sans système logistique), au coût de production réel de 150 unités seulement, en 1958; une fois effectués l'ajustement des quantités et la correction des niveaux de prix (1947-1958), le rapport corrigé des coûts de production réels aux coûts de production estimés, n'est plus que de 5.

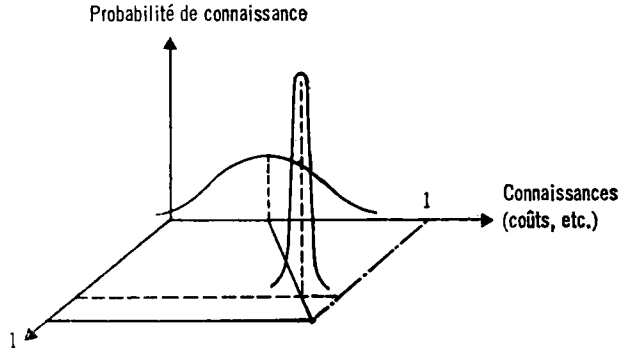
Dans l'étude de Summer, les coûts de production se sont révélés supérieurs aux estimations dans 80 % des cas. Ici encore, la relation générale obtenue est linéaire dans la plupart des cas (mais non dans tous).



On obtient généralement des estimations précises des coûts dès que les éléments techniques du système sont connus avec exactitude. Dans le cas d'études non classiques, il est impossible de faire de bonnes estimations, même à la fin de la phase de développement.

En général, il est possible d'exprimer le rapport F, entre le coût réel et le coût estimé, sous la forme d'une fonction $F = F(t, A, ...)$ dans laquelle t est la fraction écoulée du délai de développement, et A une mesure du progrès technique. On peut utiliser de 6 à 8 paramètres supplémentaires, qui sont en cours d'examen à l'heure actuelle.

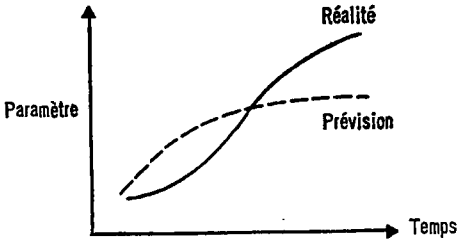
Il est également possible de représenter les courbes d'apprentissage à l'aide des distributions de probabilités de chaque estimation. Ces distributions se concentrent et la précision augmente au fur et à mesure que s'écoule le délai de mise au point.



Dans les exemples cités, il a été impossible de démontrer aussi nettement qu'on l'espérait « l'hypothèse préliminaire d'apprentissage » de la RAND Corporation. Toutefois, il serait certainement très intéressant de poursuivre cet essai. On pourrait y trouver le moyen de mesurer la réussite d'une prévision technologique.

Il est probable qu'en devenant de plus en plus complexe, la prévision technologique — qui se trouve encore dans ses premières phases de développement — permette d'améliorer non seulement les estimations initiales, à l'instant $t = 0$, mais peut-être aussi les caractéristiques d'apprentissage. L' « hypothèse préliminaire » pourrait alors se vérifier dans de vastes domaines et permettrait, à son tour, par « rétro-action », d'améliorer encore la prévision technologique.

Pardee, de la RAND Corporation (*réf. bibl. 166*), propose, avec son « analyse de variance », une solution de rechange à la méthode des courbes d'apprentissage. On compare périodiquement à la prévision l'évolution d'un paramètre en fonction du temps (s'il est possible de la suivre). La variance ainsi déterminée, ses raisons supposées et l'action envisagée sont alors notées sur une fiche qui exprime l'évolution dynamique du sujet, une fois atteintes les étapes finales du développement.



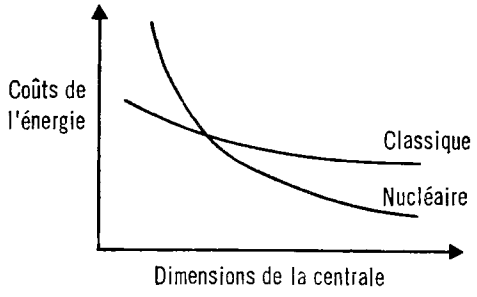
II.3.5. Représentation contextuelle indépendante du temps

La représentation contextuelle est une méthode générale, comportant aussi bien des versions qualitatives que quantitatives, et elle peut s'appliquer pratiquement à tous les niveaux de transfert technologique, y compris les niveaux supérieurs des conséquences. La représentation contextuelle a un intérêt particulier pour les niveaux de développement.

Alors que l'extrapolation des tendances en fonction du temps vise à des prévisions explicites, il est possible d'étudier les relations entre paramètres sur un niveau beaucoup plus général si on n'a pas à les faire entrer dans un cadre temporel explicite. Néanmoins, ces relations peuvent représenter des extrapolations de la réalité, en ce qu'elles relient entre elles des valeurs des paramètres dépassant les caractéristiques actuelles, ou estimées pour les techniques futures.

Les prévisions des effets d'échelle ont une importance particulière. Les différences énormes observées entre les prévisions préliminaires des conséquences civiles de l'énergie nucléaire sont imputables à la diversité des effets attendus de l'accroissement des dimensions des centrales nucléaires et

des centrales classiques. En particulier, l'absence de prévision — et l'hypothèse d'effets d'échelle identiques pour les deux types de centrales — ont conduit à des conclusions fausses.



Il existe manifestement de nombreux paramètres techniques qu'il est possible de relier en dehors de la zone déjà atteinte, que ce soit par extrapolation ou par une analyse logique des relations causales. L'association de paramètres permettant de comparer des groupes sans dimension peut offrir des possibilités considérables, qui n'ont jusqu'à présent été qu'à peine étudiées[1].

En ce sens, la représentation contextuelle a déjà été utilisée systématiquement par la RAND Corporation vers la fin des années 1940. Pour déterminer le « meilleur » bombardier stratégique, elle a fait appel à des études paramétriques et à des cellules et des moteurs en « caoutchouc » (*voir réf. bibl. 231*).

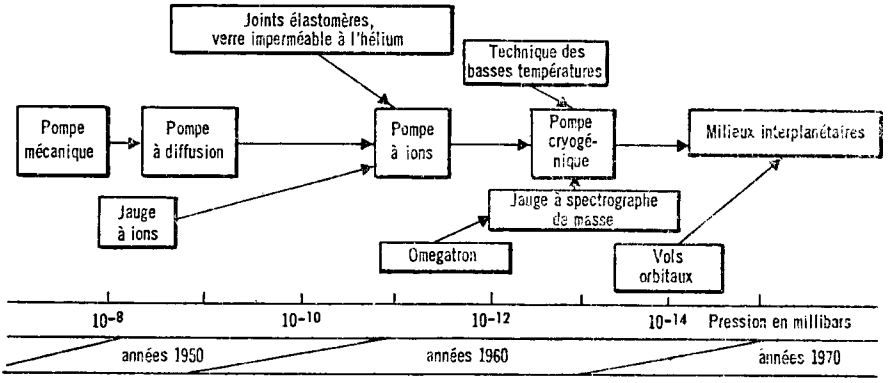
Il existe de nombreuses manières d'associer les paramètres économiques et techniques. On peut appliquer l'analyse de la valeur à la mise au point de nouveaux produits et, de façon encore plus efficace, à l'amélioration de procédés connus. La connaissance du point « critique » des coûts d'amélioration d'un système, point que l'on détermine facilement — par exemple en calculant le supplément de prix qui peut être payé par kilowatt pour une amélioration de 1 % du rendement d'une centrale électrique — permet de choisir la direction et l'importance des efforts à accomplir dans les projets de développement. De la même manière, on peut associer des volumes de production et de commercialisation.

Cetron et ses collaborateurs (*réf. bibl. 184*) décrivent deux variantes de cette méthode :

a) On exprime la *tendance sous forme d'un processus* d'acquisition et d'application des connaissances. Cetron remarque que l'exemple, donné ici, de la technique des vides poussés « pourrait être exposée en détail, sans perdre de sa valeur informationnelle, surtout si des groupes de cases étaient codés avec des couleurs (par exemple : les entrées, les dispositifs, les sorties, les applications, etc.) et si les flèches d'évolution étaient également codées selon leurs différentes significations (par exemple : A entraîne B, A s'associe à B, etc.).

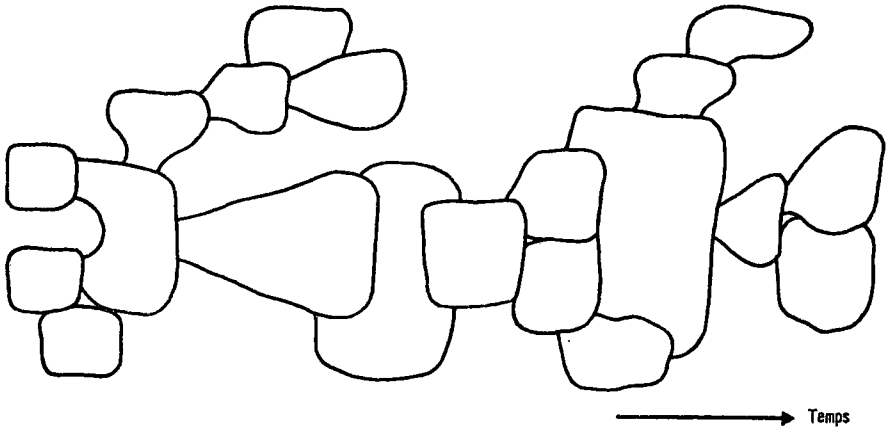
1. Les groupes de paramètres sans dimension constituent un moyen simple, mais efficace, pour décrire les phénomènes physiques complexes des systèmes thermodynamiques.

Les idées logiques que sous-entendent ces cases, reliées par des flèches, pourraient alors représenter les entrées prévues et les conséquences des techniques futures potentielles ».



Le fait que les inventions apparaissent souvent en groupes fonctionnels équivalents, comme le remarquait déjà Gilfillan (*réf. bibl. 70*), accroît l'intérêt de cette méthode.

b) On exprime la *tendance sous forme d'une évolution* de la configuration d'un système, comme dans le cas de grands systèmes techniques militaires, qui sont en évolution continue et qui absorbent et rejettent un grand nombre de techniques particulières (Cetron donne comme exemple de ces systèmes l'infrastructure terrestre de la défense aérienne).



On représentera sous forme de bourgeons qui cessent de se reproduire les directions prises par des systèmes, puis abandonnées ou suivies seulement pendant un certain temps. On utilisera alors la dimension des bourgeons et leurs frontières pour indiquer l'importance des accroissements et l'origine du phénomène de croissance.

Il est évidemment possible de placer, dans un cadre temporel très large, les tendances découlant des paramètres ainsi que les tendances représentées sous forme de processus ou d'évolution. Leur caractéristique importante est, toutefois, la reconnaissance implicite de relations causales, en dehors de l'influence du temps, et la simple possibilité d'une prévision conditionnelle. Les développements futurs qui dépendent de progrès simultanés de plusieurs paramètres ou possibilités, ou qui sont liés à certaines conditions du milieu (économiques ou autres), peuvent être prévus explicitement — pour un ensemble de conditions données — tandis qu'il serait difficile de prévoir les progrès avec une probabilité raisonnable, en fonction du temps et de tous les paramètres en cause.

Il est évident que la représentation contextuelle, indépendante du temps, prend une importance extrême dans les cas où l'on utilise la prévision exploratoire comme source de possibilités à comparer aux priorités fournies par une prévision normative. Si l'on met l'accent sur la prévision normative au point de lui attribuer le pouvoir de soutenir le développement des possibilités choisies, la tâche de la prévision exploratoire, qui est une prédiction de l'avenir, devient une représentation des possibilités, des relations et des conditions.

Depuis le rapport de Von Kármán, « Toward New Horizons » (1946) jusqu'au « Project Forecast » (1963), en passant par divers travaux importants, la prévision technologique de l'Armée de l'Air américaine a utilisé systématiquement les représentations contextuelles pour étudier les combinaisons des techniques actuelles et des techniques futures possibles, dans les environnements prévus pour l'avenir. Cette méthode est devenue un des moyens les plus intéressants pour la définition de nouvelles missions et pour la conception de systèmes d'armes complexes.

La représentation contextuelle a joué un rôle décisif dans la détermination correcte du début du développement des circuits intégrés chez Fairchild, à Mountain View, Californie. Fairchild a refusé de s'associer aux premières tentatives (par exemple au projet « Tinkertoy », au début des années 1950), mais a attendu qu'un ensemble bien déterminé de facteurs laisse apparaître les premiers signes de possibilité pratique — en particulier les techniques planar, le concept d'isolement par jonctions p-n, l'expérience du rendement des productions en série. Un programme puissant, lancé en 1960, a rapidement conduit Fairchild à l'une des deux premières places mondiales dans ce développement de grande importance.

Les grandes sociétés pétrolières utilisent également la représentation contextuelle pour leur prévision à très long terme (jusqu'en 2000), afin de déterminer les positions concurrentielles des différents types de combustibles. Esso Research (États-Unis) applique également cette méthode aux prévisions relatives aux piles à combustible, à l'énergie nucléaire, etc.

La Division de Los Angeles de la North American Aviation utilise largement un « programme d'analyse des configurations » sur calculateurs afin de déterminer les tendances et les courbes-enveloppes relatives à tous les avions construits jusqu'à présent. Le calculateur lui-même n'effectue aucune prévision mais établit des corrélations entre l'historique des cas présentés et une série de valeurs données. L'analyse approfondie des cas où les valeurs sont supérieures à la moyenne, en dehors de la tendance principale, conduit parfois à d'importantes idées fondamentales. C'est ainsi, par exemple, que la perception soudaine de l'intérêt de la portance par compression a rendu

possible la réalisation du bombardier B-70 qui vole à Mach-3. Le programme a également un très grand intérêt pour la mise au point du VTOL, avion à décollage et à atterrissage verticaux.

Pour le Service de planification à long terme du Stanford Research Institute, à Menlo Park, Californie, la représentation contextuelle ne constitue pas seulement une méthode classique pour examiner les situations complexes; elle est également utilisée dans les rapports, afin de présenter les résultats des prévisions à plus long terme.

Il semble que cette forme de prévision exploratoire ait été appliquée avec succès. En l'absence de prévision normative systématique à grande échelle dans des domaines autres que celui des hautes études techniques, la représentation contextuelle n'a pas encore reçu toute l'attention qu'elle mérite. On lui attribue une valeur potentielle pour la technologie sociale.

II.3.6. Méthode morphologique d'exploration systématique des possibilités techniques

L'extrapolation des tendances et la représentation contextuelle créent, quoique de manière plus ou moins précise, des informations nouvelles relatives à des paramètres, à des caractéristiques fonctionnelles particulières ou à des combinaisons simples de paramètres. Elles ne fournissent aucun renseignement sur la nature des systèmes technologiques fonctionnels, et on ne sait jusqu'à quel point les possibilités futures peuvent être évaluées par quelques extrapolations de tendances, choisies de manière intuitive. Naturellement, la réflexion intuitive peut tenter de combler ce fossé et imaginer comment les tendances des possibilités et des paramètres peuvent s'associer en systèmes fonctionnels — mais là encore, la réflexion intuitive non-structurée risque de laisser échapper certaines des possibilités et des réalisations concevables.

Le rôle de plus en plus important de la prévision normative sera très sérieusement limité si l'on ne dispose d'aucune méthode exploratoire systématique capable d'indiquer *toutes* les possibilités, aux niveaux techniques — surtout au niveau des systèmes technologiques fonctionnels, mais aussi aux niveaux inférieurs des technologies, des ressources techniques, et même des ressources scientifiques. La prévision normative fait un choix entre les thèmes préparés par la prévision exploratoire. En outre, les méthodes exposées dans les sections suivantes du présent chapitre, à propos de la prévision exploratoire, constituent simplement des moyens de structuration — et dépendent des informations fournies par les méthodes de « création de l'information ».

Dans ces conditions, on constate avec surprise que la seule méthode mise au point à ce jour pour l'exploration systématique n'a pas encore fait l'objet d'une attention très poussée. En fait, il s'agit de l'une des toutes premières méthodes proposées pour la prévision technologique en général. On a pu la considérer, pendant un certain temps, comme venant trop tôt, compte tenu de l'attitude généralement manifestée à l'égard de la prévision technologique. Il est temps de réparer cette négligence.

La *méthode morphologique* a été mise au point par Zwicky, astronome suisse en renom, travaillant aux observatoires du Mont Wilson et du Mont Palomar, en Californie. Elle remonte à 1942, époque à laquelle il effectuait ses premiers travaux de recherche et de développement sur les fusées, chez Aerojet Engineering Corporation, à Azusa, Californie. En 1961, une « Society

for Morphological Research » a été créée sous sa présidence à Pasadena, Californie. Il semble que la « campagne » menée obstinément par Zwicky en faveur de sa méthode, ainsi que son caractère plutôt difficile, aient un peu obscurci son message. Presque tout le monde a entendu parler de Zwicky, mais presque personne ne connaît sa méthode.

Citons Zwicky (*réf. bibl. 190*) :

« Il existe, en particulier, trois types de problèmes de base que l'analyse morphologique tente de résoudre. Ce sont les suivants :

Quelle quantité d'informations peut-on obtenir sur un certain ensemble limité de phénomènes, à l'aide d'une classe donnée de dispositifs? En d'autres termes, quels sont les dispositifs nécessaires pour obtenir toutes les informations relatives à un ensemble donné de phénomènes ?

Quelle est la succession de tous les effets résultant d'une certaine cause?

Doit-on déduire la totalité des dispositifs appartenant à une classe donnée, toutes les méthodes appartenant à une classe donnée ou, en général, toutes les solutions d'un problème donné ? »

Une réponse au deuxième type de question est apportée par le graphe de pertinence (ou arbre « généalogique ») dont on examinera les aspects normatifs à la section II.4.5.

Le troisième type de problème est crucial pour la prévision exploratoire, et nous l'examinerons plus en détail. La solution en est fournie par la méthode morphologique, entendue dans un sens restreint, que Zwicky (*réf. bibl. 190*) a résumée de la manière suivante :

« Cette méthode... concerne la totalité des solutions d'un problème donné. Elle procède de la manière suivante :

1. On établit un énoncé exact du problème à résoudre. Supposons, par exemple, que nous voulions étudier le caractère morphologique de tous les moyens de déplacement, ou de toutes les sources d'énergie propulsive possibles, des télescopes, des dispositifs de communication, des pompes, des moyens de détection, etc. Si l'on s'intéresse à un système, à une méthode, à un dispositif particulier, la nouvelle méthode généralise immédiatement la question en la faisant porter sur tous les systèmes, toutes les méthodes ou tous les dispositifs possibles qui fournissent ainsi la réponse à une question plus générale.

   On se rend compte que la formulation de l'énoncé ou de la définition initiale du problème posé est beaucoup plus difficile que ne l'imaginent la plupart des chercheurs, mal informés de cette nouvelle méthode. En fait, il est très difficile de trouver dans les documents existants des définitions satisfaisantes, même pour des dispositifs bien connus tels que les pompes, les sources d'énergie fixes, les télescopes. On constate que la définition exacte de dispositifs apparemment aussi simples que les injecteurs est un problème extrêmement difficile, et je ne suis pas certain que la compétence et le sens commun d'un groupe quelconque de personnes, suffisent pour élaborer une telle définition.
2. L'énoncé exact du problème à résoudre, ou la définition précise de la classe des dispositifs à étudier, révèlera automatiquement les paramètres caractéristiques importants dont dépend

la solution du problème. Par exemple, dans le cas des télescopes, certains de ces paramètres sont la situation du télescope (environnement dans lequel il est placé), la nature de l'ouverture A, le dispositif d'enregistrement R, la nature des modifications auxquelles est soumise la lumière entre A et R, le mouvement du télescope, la suite des opérations, etc. La seconde phase de l'étude portera par conséquent sur l'étude de tous ces paramètres significatifs.

3. On constatera que chacun des paramètres p_i peut prendre un certain nombre de valeurs indépendantes irréductibles, $p_i^1, p_i^2, \ldots p_i^k$. Par exemple, le paramètre « mouvement » d'un télescope peut prendre les valeurs indépendantes p^1, p^2, p^3 = translation dans trois directions; p^4, p^5, p^6 = rotations; p^7, p^8 ... p^{12} = oscillations associées aux six premiers mouvements, etc. On écrit ces matrices de la manière suivante :

$$\begin{matrix} [p_1^1, & p_1^2, & \ldots & p_1^{k1}] \\ [p_2^1, & p_2^2, & \ldots & p_2^{k2}] \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ [p_n^1, & p_n^2, & \ldots & p_n^{kn}] \end{matrix}$$

Si, dans chaque matrice, on trace un cercle autour d'un élément, et si l'on relie tous les cercles ainsi tracés, chaque chaîne de cercles représente une solution possible du problème initial. Le système de matrice ci-dessus, utilisé pour construire un espace à n-dimensions, fournit une « *boîte morphologique* ». L'analyse est complète si l'on trouve soit zéro, soit une solution dans chaque casier de la boîte.

Il est absolument essentiel que, *jusqu'à ce point, on ne pose aucune question quant à la valeur que peut avoir l'une ou l'autre des solutions.* Ce genre de curiosité prématurée a presque toujours pour conséquence de fausser l'application de la méthode morphologique. Toutefois, dès que toutes les solutions sont trouvées, il faut déterminer leur position par rapport à tout ensemble donné de valeurs de performance adoptées.

4. La détermination des valeurs de performance de toutes les solutions dérivées constitue la quatrième phase principale de l'analyse morphologique.

Sauf si l'on souhaite se perdre dans une énorme confusion de détails, l'évaluation des performances doit se faire sur une base universelle, bien que nécessairement simplifiée. Ce n'est pas toujours une tâche facile.

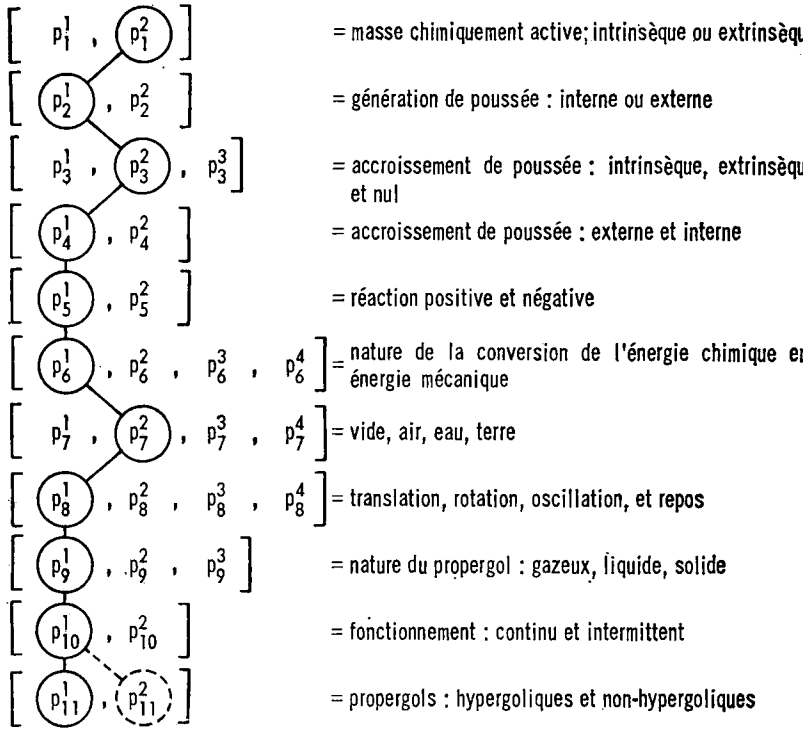
5. La dernière phase consiste à choisir certaines solutions particulièrement souhaitables, et leur réalisation.

La conviction que toutes les solutions peuvent être réalisées est inhérente à la pensée morphologique. Il se peut naturellement que certaines des nombreuses solutions trouvées soient relativement sans intérêt. »

La méthode morphologique est donc simplement une « méthode ordonnée pour regarder les choses »; elle fournit, dans ces conditions, « une perspective systématique de l'en-

semble des solutions possibles d'un problème général donné. » Elle offre un cadre permettant de penser en paramètres ou en principes fondamentaux, dont l'importance est croissante, même si on l'applique de manière désordonnée ou particulière.

On peut considérer par exemple (voir également la *réf. bibl. 190*) une application pratique de la matrice décrite au point 3) ci-dessus. Elle porte sur la totalité des réacteurs composés d'éléments simples et utilisant l'énergie chimique, sur la base des connaissances de 1951 :



Zwicky remarque que « si aucune contradiction interne n'apparaissait, on aurait :

$$\prod_{i=1}^{n} k_i = 2 \times 2 \times 3 \times 2 \times 2 \times 4 \times 4 \times 4 \times 3 \times 2 \times 2 = 36.864$$

réacteurs possibles à milieu « pur », ne contenant que des éléments simples et utilisant l'énergie chimique. Toutefois, il existe certaines restrictions internes qui, comme le lecteur peut le constater, réduisent le nombre ci-dessus à 25.344. Une première évaluation, faite en 1943 avec un plus petit nombre de paramètres, n'avait donné que 576 possibilités qui, toutefois, comprenaient les deux engins secrets allemands, la bombe aérienne V-1 propulsée par réacteur pulsé, et la fusée V-2.

On peut rappeler, à ce sujet, l'erreur fatale de Lindemann, Conseiller scientifique de Churchill, qui ne s'est pas rendu compte des possibilités du V-2, même quand on lui en a montré les photographies (« Cela ne peut pas voler »). Elle s'explique par le fait qu'il s'intéressait exclusivement aux propergols solides, en rejetant obstinément l'idée des propergols liquides.

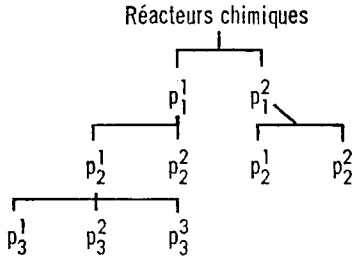
L'exemple figurant dans la matrice ci-dessus, caractérisé par les cercles qui entourent certains paramètres, est le réacteur « ramjet », ou aéroduct interplanétaire. Zwicky remarque que « le principal point d'intérêt est la présence de l'élément p_1^2 dans la matrice ci-dessus. Cela signifie que nous tirons toute notre énergie chimique du milieu ambiant, et que notre réacteur fonctionne, bien qu'il n'emporte absolument aucun propergol avec lui. » Une manière d'obtenir cette caractéristique est d'utiliser l'énergie solaire, qui est stockée dans l'atmosphère supérieure sous forme de molécules et d'atomes excités et ionisés ainsi que de molécules nouvellement formées. L'inclusion d'un réacteur capable d'utiliser cette énergie stockée, pourrait stimuler la recherche dans deux directions : la recherche sur la haute atmosphère, afin d'identifier la nature et le nombre des particules excitées (ces recherches étant déjà en cours); des recherches sur la possibilité de désexciter les particules, et d'utiliser l'énergie obtenue dans des aéroducts, des systèmes aéropulsés, et d'autres dispositifs de génération d'énergie propulsive. Zwicky croît qu'une telle accélération continue et graduelle pourrait, en définitive, se révéler supérieure à l'utilisation de la propulsion nucléaire pour les vaisseaux spatiaux quittant la Terre.

On remarquera que la matrice comporte des possibilités qui semblent relever d'un lointain avenir. Ainsi, les éléments p_7^3 et p_7^4 caractériseraient divers « hydrojets » et « terrajets » (par exemple, à l'aide de propergols réagissant avec l'eau ou la terre). On peut rejeter ces possibilités, dans le cas d'une prévision limitée à une certaine durée ou, en général, après une évaluation complète, mais on ne doit pas le faire a priori.

Zwicky appelle la matrice complète une « boîte morphologique » à n-dimensions (ou encore un « manifold » ou un « fichier »). Une représentation partielle à deux dimensions, par exemple, utilisant les deux ensembles de paramètres $[p_1^1, p_1^2]$ et $[p_8^1, p_8^2, p_8^3, p_8^4]$, prend la forme d'une matrice rectangulaire à deux dimensions que Zwicky appelle « diagramme morphologique ». Ces diagrammes morphologiques sont utilisés largement en dehors du contexte de la méthode. Par exemple, on pourrait constater une « ruée » de demandes de brevets dans les domaines, jusqu'à présent non protégés, d'un système réfrigérant — modérateur pour réacteurs nucléaires. Un certain nombre d'entreprises utilisent évidemment cette méthode afin de « bloquer » des inventions futures possibles (ou d'essayer d'en partager les profits) en tentant de breveter, de manière assez abstraite, des combinaisons de paramètres fondamentaux.

En ce qui concerne la représentation de possibilités particulières par des chaînes de paramètres dans la matrice, les variations possibles ne sont pas nombreuses. On pourrait, en principe, représenter toutes les possibilités par un graphe de pertinence analogue à ceux qui servent désormais de base à la prévision normative intégrée à des niveaux multiples (voir section II.4.5.). La ligne inférieure donnerait alors la liste de toutes les possibilités. Cependant, une telle représentation obscurcirait probablement le problème; en principe, les n paramètres ne se placent pas dans une certaine hiérarchie caractérisant les systèmes, les sous-systèmes, les composants, etc., mais sont,

en général, d'importance égale. Ce n'est que dans le cas d'une combinaison de trois ensembles de paramètres qu'il est possible de symboliser la « boîte morphologique » sous forme d'un « coffret à tiroirs », disposant de « compartiments » individuels, mais cela donne l'idée générale.



McCrory (*réf. bibl. 105*) utilise, au Battelle Memorial Institute, une « boîte morphologique » tri-dimensionnelle légèrement modifiée, mais ne l'applique qu'à des relations hiérarchiques entre systèmes, sous-systèmes, etc. Dans ce cas, un graphe de pertinence serait probablement la meilleure forme de représentation.

Zwicky distingue des morphologies *sans dimension*, *phénoménologiques* et *dimensionnelles absolues*. Ces termes se rapportent aux paramètres ou aux groupes de paramètres étudiés. Dans la section précédente II.3.5., nous avons déjà mentionné l'intérêt potentiel de l'étude de groupes de paramètres sans dimension. L'importance des paramètres exprimés en termes absolus, et par rapport à des limites absolues, a été brièvement évoquée à la section II.3.4.

La méthode morphologique, capable de structurer une pensée génératrice d'informations « nouvelles » (relatives à des combinaisons qui pourraient échapper à une réflexion imaginative non-systématique) qui prennent naissance, n'est limitée ni à un certain niveau de transfert technologique, ni à la prévision technologique en général. Zwicky observe qu' « on peut s'attendre à voir la méthode morphologique réussir particulièrement dans le domaine des relations humaines, où les préjugés ont été extrêmement violents et où, dans de nombreux cas, les résultats ont été désastreux... Il impose d'appliquer la méthode à ce domaine, car on constate avec effarement que les scientifiques et les ingénieurs sont souvent incapables ou peu désireux de s'occuper de manière systématique, constructive et objective de ces problèmes humains. » Dans d'autres problèmes de prévision technologique, il semble possible, et probablement fructueux, d'appliquer la réflexion morphologique aux niveaux des conséquences des transferts technologiques, ou aux systèmes sociaux à grande échelle, et à la société tout entière. En élucidant les éléments de la perception humaine, on peut même retrouver le cours des pensées de McLuhan (voir section II.2.5.).

Dans le cas de la prévision technologique complètement intégrée, la réflexion morphologique exploratoire devra être adaptée à la réflexion normative ou, comme l'appelle Zwicky, « aux objectifs avoués de l'homme ». Il devait aussi mettre au point une méthode originale dans ce domaine, méthode qu'il présente dans un ouvrage à paraître sur la « Morphologie de la Vérité », et qui reprendra des considérations dérivées de la théorie de la notation. Toutefois, la valeur de la réflexion morphologique exploratoire ne

dépend pas d'une certaine méthode normative. Les systèmes normatifs basés sur les graphes de pertinence (voir section II.4.5.) s'accommodent parfaitement d'être intégrés avec une méthode morphologique exploratoire.

L'application pratique de la méthode morphologique se conçoit dans un grand nombre de cas, depuis une simple attitude consciente ou inconsciente, jusqu'à la mise au point minutieuse de matrices de paramètres, avec leur évaluation. On peut certainement trouver, dans de nombreuses formes de planification technique, cette attitude fondamentale.

Il semble que le Centre TEMPO de la General Electric, à Santa Barbara, Californie, ait adopté une méthode essentiellement « morphologique » dans sa tentative systématique d'étude des caractéristiques détaillées des fusées, de la mise au point des ogives, etc., et de leurs combinaisons possibles. Il utilise une simulation sur calculateur pour étudier les interactions, et pour obtenir des configurations de systèmes réalisables.

L'application à grande échelle, telle que l'a pratiquée Zwicky pour les combustibles de réacteurs et de fusées, a eu apparemment un succès considérable, et a joué un rôle essentiel dans l'abandon des partis pris, au cours des premières étapes. Cette méthode a également permis de prévoir les progrès dans ces domaines — ce qui place Zwicky loin devant tout autre auteur de prévision de l'ère spatiale, quand il envisage la possibilité de rendre la lune habitable (avec une production locale d'eau et d'oxygène) ou quand il pénètre dans le royaume de l'art de « l'ingénieur planétaire » (y compris la possibilité de modifier les orbites de certaines planètes afin de les rendre habitables par l'homme).

II.3.7. Rédaction de scénarios et itération par synthèse

Le terme « rédaction de scénarios » caractérise une méthode qui tente d'établir une suite logique d'évènements afin de montrer comment, à partir de la situation actuelle (ou de toute autre situation donnée), une situation future peut évoluer pas à pas. L'objectif n'est pas de prédire l'avenir. Par analogie avec les méthodes décrites à la section II.3.5., on peut considérer la rédaction de scénarios comme une extension de la représentation contextuelle, en vue de fournir une vue synthétique d'autant de développements que l'on peut en saisir et qui peuvent être soumis à une simulation expérimentale d'une réalité possible. Habituellement, on procède à la rédaction de scénarios dans un cadre temporel explicite. Cette caractéristique semble importante pour l'application aux problèmes politiques. Toutefois, dans le cas de la prévision technologique, le temps ne semble pas toujours devoir être pris en considération de manière explicite.

Jusqu'à présent, la rédaction de scénarios a été surtout appliquée à l'exploration de crises diplomatiques ou militaires possibles. L'un des pionniers de ce domaine, Herman Kahn, applique actuellement la technique des scénarios au contexte beaucoup plus vaste de l'étude du Hudson Institute, (« On Alternative World Futures: Issues and Themes ») (*réf. bibl. 272*), étude qui fera intervenir la prévision technologique pour obtenir une vue synthétique embrassant les structures technologiques, économiques, politiques, sociales et culturelles de futurs possibles. Pour être précis, la rédaction de scénarios ne se propose pas, dans ce cas, de contribuer à la prévision technologique elle-même; elle fait appel à des prévisions déjà établies, qui resteront plus ou moins inchangées dans le « creuset » des scénarios, tandis que

d'autres structures se voient attribuer une plus grande fluidité. Cela ne veut pas dire que cette technique ne puisse un jour s'adapter à la prévision technologique proprement dite, quand on disposera d'une représentation contextuelle suffisante pour pouvoir tabler sur un grand nombre de variantes.

Dans le chapitre introductif de son étude, Kahn souligne que « la rédaction de scénarios convient particulièrement bien au traitement plus ou moins simultané de divers aspects d'un problème. En utilisant un scénario relativement complet, l'analyste peut en tirer une « impression » des évènements et des points de bifurcation qui dépendent de choix critiques. On peut alors explorer plus ou moins systématiquement ces différentes dérivations ». Il semble que deux aspects de cette étude présentent un intérêt particulier pour la prévision technologique :

La rédaction de scénarios est l'un des outils les plus efficaces pour faire sortir la pensée de ses ornières. Le scénario oblige à se « plonger dans le monde inhabituel et mouvant du présent et de l'avenir, en illustrant et en dramatisant les possibilités sur lesquelles il se concentre ».

Les scénarios « obligent l'analyste à s'occuper de détails et d'aspects dynamiques qu'il pourrait facilement laisser passer s'il se limitait à des considérations abstraites. On dit fréquemment que, ensemble parmi les nombreux ensembles possibles de détails et d'aspects dynamiques, aucun ne semble mériter un traitement plus particulier, de sorte que l'on n'en considère aucun. Et cela, même si l'examen détaillé de certains cas, choisis arbitrairement, peut être extrêmement utile. »

Kahn lui-même met en garde contre les dangers qui peuvent résulter de l'utilisation de scénarios comme guides et auxiliaires de l'analyse et de la réflexion. En particulier, on risque d'admettre, par erreur, que les hypothèses initiales sont suffisamment correctes pour conduire à des scénarios contenant une certaine part de « réalité ». Malgré tout, comme Kahn le remarque, « une estimation, une hypothèse ou un contexte particulier, même si l'on découvre ultérieurement qu'ils possèdent de sérieux défauts, sont souvent meilleurs qu'un vide délibéré qui risque d'arrêter la réflexion et la recherche. »

Ayres (*réf. bibl. 288*) a donné, dans le domaine de la production alimentaire, une version intéressante de la rédaction de scénarios, associée à une analyse de coût et d'efficacité. Il s'agit essentiellement d'une tentative d'évaluation critique de différentes variantes fondamentales (telles que les sources d'énergie non-photosynthétiques) sur des bases économiques et dans de vastes contextes — concluant au rejet de certaines solutions, techniquement réalisables et très discutées. Cette méthode mérite une attention particulière dans le domaine des « techniques sociales ».

Plusieurs des grandes sociétés pétrolières, fortement intéressées par les environnements politiques, sociaux et économiques futurs, utilisent la rédaction de scénarios. Honeywell (États-Unis) le fait également en vue de déterminer et de définir les missions et les objectifs des niveaux supérieurs pour son système PATTERN (voir section II.4.5.).

Une variante de la rédaction de scénarios — mais visant à simuler la « réalité » — est *l'itération par synthèse*, que Brech a utilisée dans son étude « Britain 1984 » (*réf. bibl. 256*). Cette méthode, décrite en termes généraux dans une autre publication (*réf. bibl. 99*), comprend une rédaction de scénarios dans six domaines différents (démographie, psychologie, sociologie,

technologie, politique et économie), puis une combinaison ultérieure de ces scénarios par itération; il est possible d'établir certains scénarios, surtout de caractère économique, au moyen de techniques plus formelles, telles que l'analyse économétrique ou statistique. Dans l'étude « Britain 1984 », Brech a étudié séparément les facteurs sociologiques et psychologiques, par suite des difficultés qu'ils posaient pour une vue synthétique recouvrant des domaines plus exacts.

Les grandes sociétés pétrolières appliquent des méthodes itératives semblables. Le processus de pensée d'un individu, qui cherche à aboutir à une décision sur un programme de développement sans vouloir utiliser une prévision technologique explicite, est souvent décrit également comme un développement intuitif de « scénarios » distincts, suivi d'une itération par synthèse.

II.3.8. Analogie historique qualitative

Dans le cas d'une prévision qui ne cherche pas à dépasser l'un des deux niveaux supérieurs, par exemple la prévision de l'impact commercial d'un produit donné, l'analogie historique a toujours joué un certain rôle conscient ou non-conscient.

Un programme d'études récemment exécuté sous les auspices de l'American Academy of Arts and Sciences et dont les conclusions figurent dans l'ouvrage « The Railroad and the Space Program — An Exploration in Historical Analogy » (*réf. bibl. 373*) avait pour but d'essayer d'utiliser l'analogie historique de manière systématique dans une prévision à plusieurs niveaux, en l'occurrence du niveau de la technologie ou des systèmes technologiques fonctionnels, jusqu'au niveau de la Société. Il est regrettable qu'une méthode intégrale, explorant chaque aspect du problème en profondeur, se soit révélée trop difficile pour cette tentative systématique. Le résultat, tel qu'il figure dans l'ouvrage, est une série de sept documents traitant des aspects intellectuels, sociaux, économiques, technologiques et politiques de l'apparition du chemin de fer au XIX^e^ siècle. Ils ont été écrits par des experts spécialisés dans le XIX^e^ siècle, qui n'ont pu se livrer à des comparaisons ou à des observations sur le programme spatial (en dehors de deux exceptions insignifiantes). Dans un chapitre d'introduction, l'éditeur, Bruce Mazlish, essaie de tirer des conclusions de l'analogie historique.

En évoquant certains des aspects théoriques de cette méthode pour anticiper les conséquences des « inventions sociales » — pour utiliser la terminologie de Gilfillan (*réf. bibl. 70*) — Mazlish souligne deux problèmes principaux : *a*) la réussite dépend d'un échantillonnage satisfaisant (il pense que le XX^e^ siècle est « l'ère spatiale », d'après les mêmes critères qui font du XIX^e^ siècle « l'ère des chemins de fer »); *b*) il faut tenir compte d'un certain conditionnement par l'histoire. Il énonce cinq généralisations qu'il recommande en vue d'études et d'expériences complémentaires :

> « Toutes les inventions sociales font partie d'un ensemble complexe et ont des résultats complexes. Il faut donc les étudier avec plusieurs variables » (ce qui, ajoute-t-il, n'a pas encore été fait de façon suffisamment poussée dans l'exemple des chemins de fer et de l'espace).
>
> « Aucune invention sociale ne peut avoir une conséquence économique absolument déterminante, en partie du fait qu'aucune innovation absolument nouvelle n'est possible pour un ensemble quelconque d'objectifs économiques.

« Toute invention sociale favorisera certains domaines et certains développements mais en gênera d'autres.

« Toutes les inventions sociales évoluent par étapes, et ont des effets différents au cours des différentes phases de leur développement ». (Selon l'auteur, l'étude sur les chemins de fer et l'espace s'est heurtée à des difficultés pour l'analyse des étapes).

« Toutes les inventions sociales se produisent avec un certain « style » national, qui influence fortement et leur apparition et leurs conséquences. »

Les résultats de l'étude sur les chemins de fer et l'espace ne semblent pas, jusqu'à présent, particulièrement impressionnants. Toutefois, certaines des questions posées et certains des problèmes étudiés contribuent à la prévision des conséquences des « inventions sociales », conséquences que l'on tend à négliger dans d'autres méthodes de prévision, celle d'éléments politiques par exemple (influence des contacts en coulisse, etc.), d'éléments sociaux (systèmes de statut et de pouvoir, etc.), les conséquences philosophiques, les conséquences sur l'imagination, et sur ce que McLuhan appelle les « profils sensoriels » de l'homme.

Dans le passé, on a surtout utilisé l'analogie historique dans le domaine de la critique culturelle (sous une forme rigide, par Spengler, et ultérieurement, sous une forme plus souple, par Toynbee). En tant que méthode supplémentaire. permettant de prévoir les effets des « inventions sociales », cette nouvelle branche des études sociales peut améliorer notre perspective de l'avenir.

II.3.9. Éléments de prévision exploratoire probabiliste

La probabilité n'est définie que pour les processus conceptuels. Cela veut dire que l'on ne peut faire une prévision probabiliste que lorsqu'il est possible de définir à l'avance les résultats possibles. La prévision technologique sous-entend la prévision d'un processus de transfert technologique régi par des lois probabilistes; un tel processus est appelé processus stochastique.

Dans les cas les plus simples, le processus stochastique peut se concevoir sous forme d'une suite d'évènements ayant des probabilités de transition qui ne sont pas affectées par ce qui s'est passé dans les phases antérieures; le processus complet est alors défini à partir d'une probabilité initiale. Avec ce processus, appelé processus markovien ou chaîne de Markov, on pourra déterminer toutes les probabilités de transition, ou les estimer, avant le début de la prévision à plusieurs étapes.

Il est rare que l'on puisse considérer les processus de transferts qui font l'objet de prévisions technologiques comme des processus markoviens. Par exemple, les probabilités de transition peuvent être changées si le niveau des efforts est modifié conformément aux résultats d'étapes particulières. Néanmoins, l'hypothèse d'un processus markovien est généralement présente dans toutes les tentatives de prévision technologique probabiliste; on peut l'accepter comme première approximation.

Si l'on considère une suite simple d'évènements E_t, liés par des probabilités de transition $p_{t,\,t+1}$, qui expriment les probabilités sous la forme d'une simple alternative « oui/non ».

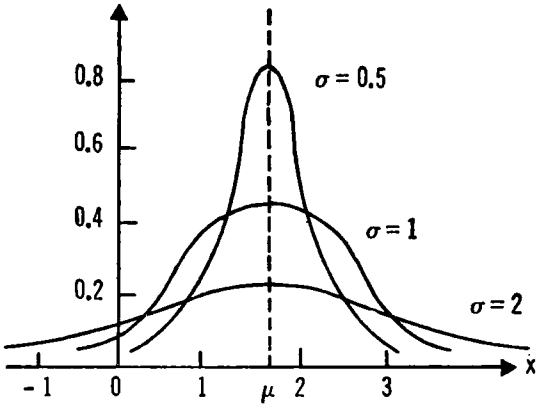
$$(p_{01})\,E_1\,(p_{12})\,E_2\,(p_{23})\,E_3\,\ldots\ldots$$

p_{01} étant la probabilité initiale, on peut alors définir la probabilité P_j d'atteindre une phase E_j comme étant simplement le produit :

$$P_j = \prod_{i=0}^{j-1} p_{i,\,i+1} \tag{30}$$

Cette probabilité ne se rapporte qu'à la possibilité d'atteindre une phase E_j étroitement définie, par un chemin E_i, lui-même étroitement défini. En général, cela n'est pas valable pour les transferts technologiques. On peut réaliser des systèmes technologiques fonctionnels avec différents moyens, assortis de divers degrés de succès en ce qui concerne leurs caractéristiques fonctionnelles, etc. Un objectif que l'on ne peut pas atteindre à un instant donné peut être atteint ultérieurement; les conséquences se produisent dans une certaine gamme de nuances.

On obtient une bien meilleure approximation si l'on exprime les probabilités d'un transfert technologique par des distributions de probabilité $f(x)$ autour d'une valeur moyenne μ. A des fins pratiques — surtout en absence d'analyses théoriques ou empiriques — on admet en général une *distribution gaussienne ou normale* caractérisée par son écart-type σ (ou sa variance σ^2 respectivement[1]). On peut justifier cette approximation par de nombreuses bonnes raisons, au moins en ce qui concerne la partie centrale de la courbe (l'extension vers plus ou moins l'infini n'a pas d'importance physique pour notre problème).



La fonction de distribution est alors

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma}\,e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \tag{31}$$

1. La variance est définie comme le moment du second ordre d'une distribution autour de sa valeur moyenne.

et la probabilité d'atteindre une valeur de x dans les limites $\mu \pm a$ est donnée par l'aire comprise entre la courbe et l'axe des abscisses, et entre ces limites, c'est-à-dire par l'intégrale $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \, . \, dx$. Cette probabilité est donc définie par un seul paramètre :

PROBABILITÉ	LIMITES
0,50	$\mu \pm 0{,}675\sigma$
0,683	$\mu \pm \sigma$
0,90	$\mu \pm 1{,}645\sigma$
0,95	$\mu \pm 1{,}960\sigma$
0,99	$\mu \pm 2{,}326\sigma$
1,00	$\mu \pm \infty$

On peut exprimer la précision d'une évaluation, soit par ce qu'on appelle « l'intervalle de confiance » $\pm 0{,}675\,\sigma$ (pour lequel existe une probabilité de réussite de 50 %) soit par la hauteur du sommet, qui est donnée par $1/(\sqrt{2\pi}\,\sigma)$, ou, naturellement, directement par l'écart-type σ.

Par exemple, Mansfield (*réf. bibl. 157*) et Lancoud et Trachsel (*réf. bibl. 149*) ont appliqué des raffinements probabilistes aux courbes de croissance, particulièrement à la croissance en S (logistique). La méthode de Lancoud et Trachsel, présentée dans une étude sur l'accroissement du nombre d'abonnés au téléphone en Suisse, semble applicable à l'acceptation technique en général. En plus d'une fonction de probabilité, fondée sur l'équation de Bernoulli (qui donnait un résultat trop pessimiste), ils ont introduit un coefficient « d'attirance » simple, défini comme le rapport entre le nombre d'abonnés au téléphone et le nombre total d'habitants (d'une région donnée), multiplié par un facteur déterminé empiriquement. Le coefficient « d'attirance » (qui, dans d'autres contextes, peut devenir un coefficient de « valeur ») tient compte de l'attirance accrue qu'exerce l'existence d'un grand nombre d'abonnés. Il semble raisonnable d'admettre qu'un tel coefficient pourrait également s'appliquer à d'autres attirances techniques (telles que les liaisons automatiques à grande distance, l'enregistrement des appels téléphoniques, et d'autrres techniques nouvelles).

Dans l'hypothèse d'une distribution de Gauss, pour laquelle il suffit d'ajuster la valeur moyenne μ au cours du processus, la fonction de distribution restant inchangée, il est facile d'arriver au résultat par la méthode des moindres carrés.

Dans l'hypothèse où un type donné de distribution de probabilités vaut pour chaque phase du processus, et où cette fonction de distribution est uniquement caractérisée par sa variance (par exemple une distribution de Gauss) — cas spécial de processus non-markovien — on peut facilement calculer pour chaque étape la *propagation de la variance* et déterminer la probabilité distribuée pour chaque phase. Il s'agit d'une méthode relativement simple, que l'on peut appliquer à un certain nombre de problèmes intéressants pour la prévision technologique. Cette méthode est, par exemple, employée systématiquement pour la prévision technologique au Battelle Memorial Institute (*réf. bibl. 105*).

Le premier terme de l'équation de propagation de la variance détermine séparément l'influence de chaque facteur (en admettant qu'il n'y ait aucune interaction entre les facteurs) :

$$\sigma_s^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial S}{\partial p_i}\right)^2_{\overline{p_i}} \sigma_{p_i}^2 \qquad (32)$$

σ_s^2 = Variance de la possibilité d'atteindre S.
S = Paramètre du système S.
p_i = Paramètres des sous-systèmes (facteurs intervenant dans le processus).
$\overline{p_i}$ = Valeur moyenne de p_i.
$\sigma_{p_i}^2$ = Variance de la possibilité d'obtenir p_i.
n = Nombre de facteurs à prendre en considération.

Naturellement, le problème crucial est ici la détermination, ou l'estimation, analytique des dépendances partielles $\delta S/\delta p_i$. Le rapport $\delta S/\delta p_i$ augmente avec la dépendance et atteint l'unité si un certain facteur est absolument essentiel à la possibilité d'atteindre les caractéristiques voulues du système (c'est-à-dire s'il n'y a pas d'alternative).

Toutefois, si les paramètres des sous-systèmes, ou facteurs intervenant dans le processus, p_i, sont inter-dépendants, l'équation de la propagation de la variance se complique :

$$\sigma_s^2 = \sum_{i=1}^{n} \left[\left(\frac{\partial S}{\partial p_i}\right)^2_{\overline{p_i}} \sigma_{p_i}^2 + 2 \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^{n} \rho_{jk}\, \sigma_{p_j}\, \sigma_{p_k} \left(\frac{\partial S_i}{\partial p_i}\right)_{\overline{p_j}} \left(\frac{\partial S_i}{\partial p_k}\right)_{\overline{p_k}} \right] \qquad (33)$$

ρ_{jk} = coefficient de corrélation entre p_j et p_k.

relation dans laquelle le second terme tient maintenant compte des interactions entre les paramètres.

Pour les processus non-markoviens d'un type plus général, dans lesquels les fonctions de probabilité ne sont pas rigides, mais dépendent de l'évolution du processus lui-même, le concept récemment introduit de *statistiques de Bayes*[1] rend possible la mise à jour des distributions de probabilité par l'introduction de nouvelles données. Il est possible de modifier de cette manière toute fonction de distribution. Mais, tandis que le calcul de la nouvelle fonction (« fonction de postérité ») est généralement une tâche complexe qu'on laisse aux calculatrices, des formes particulières de la vieille fonction (« antécédents conjugués ») peuvent grandement simplifier les calculs.

Abt Associates utilise dans ses modèles opérationnels (voir, par exemple, la *réf. bibl. 83*), un modèle simple pour déterminer la probabilité relative dans un processus non-markovien : après avoir regroupé en classes les diverses possibilités, il compte le nombre de chemins capables de mener à un résultat particulier et prend ce chiffre comme mesure de la probabilité. Par exemple, un résultat qui peut être obtenu de dix manières différentes, est deux fois plus probable qu'un résultat qui ne peut être atteint que de cinq façons.

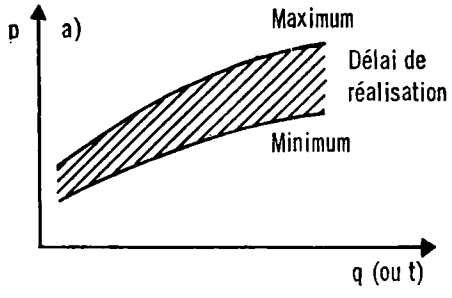
1. R. Schlaifer, qui a mis au point ce concept *(voir réf. bibl. 175)*, l'a nommé d'après Thomas Bayes, pasteur anglais qui avait publié en 1764 un article dans les Philosophical Transactions of the Royal Society, où il analysait explicitement, pour la première fois, la probabilité des causes.

Dans le cas général où les probabilités ne peuvent pas être exprimées par l'une des fonctions de distribution classiques ou par une formule mathématique simple, la *méthode de Monte-Carlo* permet de simuler le processus ou une partie du processus. Il s'agit d'une méthode expérimentale, et non analytique, dans laquelle on répète plusieurs fois une séquence d'évènements, en utilisant des combinaisons aléatoires de valeurs de probabilité, jusqu'à ce qu'on ait accumulé des statistiques suffisantes pour déterminer la distribution de probabilité du résultat. On peut utiliser cette méthode de manière intéressante dans tous les cas où des facteurs aléatoires interviennent, facteurs qui rendraient le traitement mathématique difficile. Elle permet également de réduire les calculs dans de nombreux cas où une représentation mathématique serait possible. Toutefois, le problème du choix des données d'entrée aléatoires, et de leur application à un grand nombre de séquences, est habituellement d'un volume tel que seul les calculatrices peuvent en venir à bout.

Apparemment, ni les statistiques de Bayes, ni la méthode de Monte-Carlo (qui a été mise au point avec un haut niveau de complexité pour les calculs scientifiques) n'ont été appliquées jusqu'à présent aux problèmes de la prévision technologique, sauf à la RAND Corporation, qui utilise tout au moins la méthode de Monte-Carlo pour les problèmes militaires. La North American Aviation, à Los Angeles, Californie, a expérimenté l'application de la méthode de Monte Carlo à la préparation de décisions; apparemment, aucune utilisation en vraie grandeur n'en a été faite. On peut s'attendre à ce que la méthode de Monte-Carlo devienne un élément intéressant de la simulation opérationnelle par calculateur, et qu'elle soit utilisée pour résoudre des problèmes partiels dans des domaines où il faut évaluer empiriquement des distributions de probabilité.

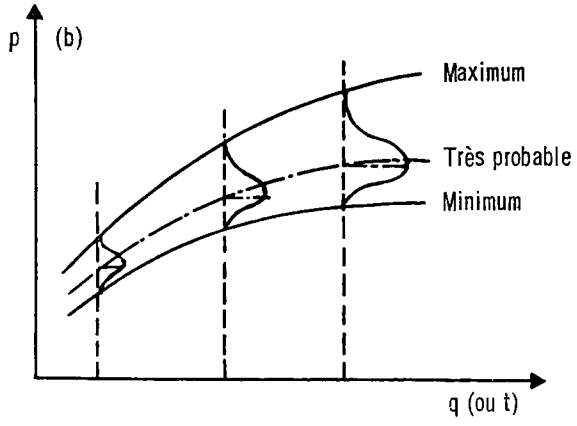
On peut tenir compte des probabilités sous diverses formes dans la prévision :

On évalue la probabilité intrinsèque d'une relation future entre deux ou plusieurs paramètres internes (dont l'un peut être le temps, mais ne l'est pas nécessairement) : *a*) soit en prévoyant un intervalle de réalisation (courbes de réalisation maximale et minimale); *b*) soit en déterminant des distributions de probabilité (ou en donnant, outre les courbes maximale et minimale, la courbe la plus probable);

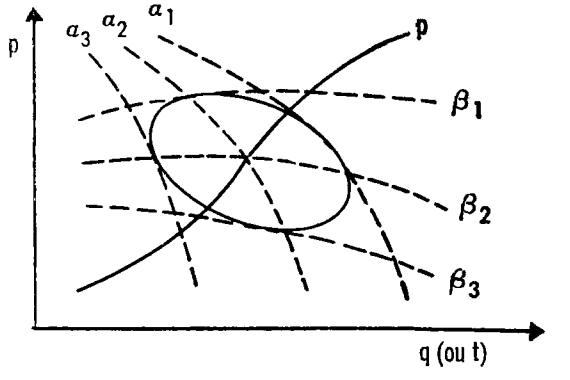


si cette dernière n'est pas la moyenne des courbes minimales et maximale, c'est qu'il existe une loi de distribution asymétrique; *c*) soit encore en faisant intervenir une analyse de sensibilité paramétrique, au cas où plus de deux paramètres interviennent (cette représentation est examinée ci-dessous dans le cas plus général d'une combinaison de paramètres externes et internes).

On peut estimer, de la même manière probabiliste, l'influence des principaux facteurs externes : par exemple, le niveau global des efforts, ou l'influence prévue de son propre travail.



Pour déterminer la probabilité globale d'un résultat donné, on peut évaluer l'influence combinée de facteurs internes et externes, déterminés de manière probabiliste. En particulier, on peut déduire analytiquement la probabilité de réussite de systèmes d'ordre supérieur (grand système technologique fonctionnel) à partir des expressions probabilistes des systèmes ou des éléments d'ordre inférieur (composants, matériel, etc.). La Marine des États-Unis *(réf. bibl. 184)* utilise, par exemple, une *analyse de sensibilité paramétrique* de ce

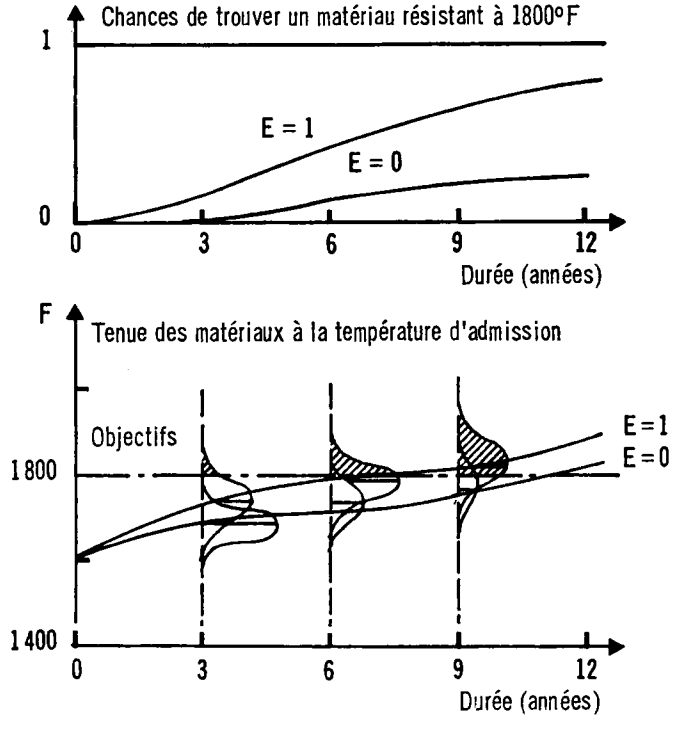


type, suivant le schéma indiqué ci-contre. La probabilité est déterminée par une famille de courbes α_i représentant un paramètre technique, et par une famille de courbes β_i représentant un paramètre opérationnel évoluant par suite de la variation du milieu d'utilisation. La probabilité résultante du paramètre p du système est alors une aire et, dans l'exemple de la figure, la surface correspondante a une forme ovale si l'on admet que les sensibilités α_i et β_i sont égales.

Le Light Military Electronics Department de la General Electric, à Utica, New York, a déjà utilisé en 1960 des informations probabilistes du deuxième type, avec une classification à trois niveaux (minimum, probable, maximum), dans son modèle de planification DOLLAR (*réf. bibl. 125*).

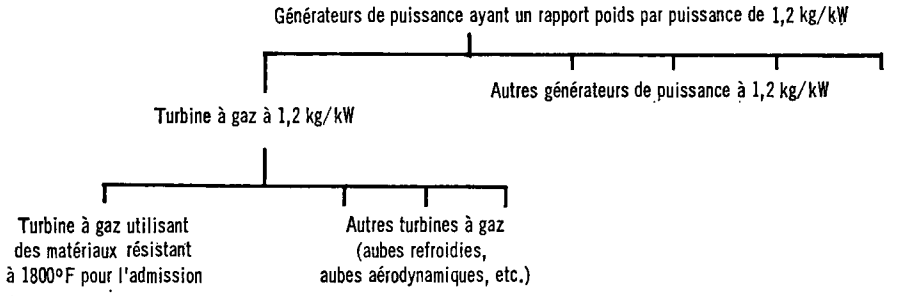
McCrory (*réf. bibl. 105*) a indiqué comment des estimations probabilistes des deux premiers types sont utilisées au Battelle Memorial Institute. Il s'agit, dans son exemple, des chances de trouver des matériaux ayant les caractéristiques nécessaires pour réaliser une entrée de gaz à une température de 1.800°F (982°C). En ce qui concerne l'influence des facteurs externes, l'évaluation a été faite pour deux valeurs discontinues que l'on pense représenter les cas extrêmes : E = 0, qui caractérise les conditions d'avancement auxquelles on peut s'attendre sans intervention importante de Battelle (ou du client); E = 1, qui caractérise les conditions d'avancement résultant du niveau maximal d'efforts compatibles avec une bonne efficacité.

Les tendances de la température, prévues séparément pour E = 0 et E = 1, sont données, avec certaines distributions de probabilité, à des intervalles de temps discontinus. On admet une distribution de Gauss, et l'on tient compte du niveau de confiance en évaluant la hauteur du sommet de la courbe par rapport à la valeur moyenne.

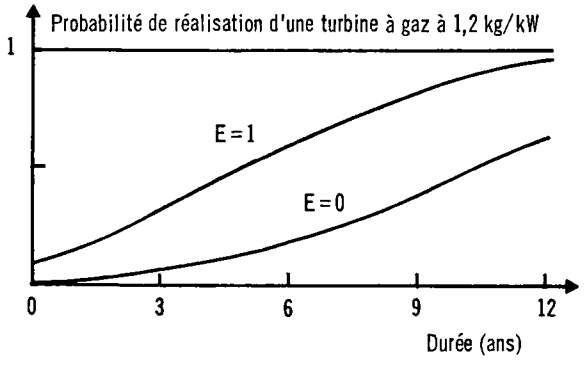


La surface comprise entre les courbes de distribution des probabilités situées au-dessus de la ligne 1.800°F mesure alors la probabilité de réussite (disponibilité du matériau désiré) en fonction du temps.

Dans le cas du problème plus compliqué de la recherche des distributions de probabilités pour des systèmes d'ordre supérieur, McCrory a calculé la propagation de la variance en utilisant l'équation (33) et en admettant des distributions de Gauss pour toutes les probabilités de son problème. Si, par exemple, les objectifs sont déduits d'un graphe de pertinence, caractéristique d'une prévision normative (voir le chapitre suivant, II.4.), l'existence de matériaux capables de résister aux conditions d'admission dans une turbine à gaz à 1.800°F n'est qu'une des différentes voies permettant d'atteindre l'objectif du niveau supérieur qui, à son tour, n'est qu'un des moyens possibles d'atteindre l'objectif fixé pour le niveau encore supérieur, etc.



Dans l'exemple de McCrory, le résultat de l'évaluation fondé sur l'équation (33) montre que la probabilité de réaliser une turbine à gaz à 1,2 kg/kW est supérieure à celle d'obtenir des matériaux capables de résister aux conditions d'entrée à la température de 1.800°F. On peut en conclure, dans ce cas, qu'il est plus probable qu'on réalisera des turbines à gaz ayant un rapport poids/puissance de 1,2 kg/kW avec des matériaux ayant une moins bonne résistance à la température, c'est-à-dire que l'on n'atteindra l'objectif que par une autre variante (ce résultat constituant un exemple artificiel, et non une prévision de Battelle).



On peut en général prévoir avec certitude que les formulations probabilistes et les méthodes correspondantes de transfert au niveau supérieur — de

préférence, pas seulement pour les niveaux de développements technologiques, mais aussi pour les étapes consécutives vers les niveaux supérieurs — prendront de l'importance pour la prévision technologique exploratoire et pour les éléments exploratoires de la prévision normative (comme dans l'exemple de McCrory, donné ci-dessus). Outre les travaux du Battelle Memorial Institute, Abt Associates (Cambridge, États-Unis), étudie actuellement des modèles opérationnels qui permettraient d'évaluer les distributions de probabilité (utilisant peut-être des statistiques de Bayes et la méthode de Monte-Carlo); les modèles actuels sont fondés sur des délais de réalisation.

L'étude des statistiques classiques, dont la distribution gaussienne est un des résultats, est déjà fructueuse pour la prévision technologique, mais on peut spéculer sur les applications futures des méthodes de la *mécanique statistique* ou même de la mécanique quantique (les transferts technologiques relevant d'un processus quantique plutôt que d'un processus continu). Alors que les statistiques classiques portent sur un grand nombre de particules analogues, la mécanique statistique — telle que Boltzmann et Gibbs l'ont introduite en physique à la fin du XIX^e^ et au début du XX^e^ siècle — traite des différentes positions et vitesses de particules constituant un système physique. Chaque particule se déplace dans un espace propre à la phase, avec des coordonnées de position et d'impulsion; plus précisément, cet espace a six dimensions (trois coordonnées de position et trois coordonnées de quantité-mouvement). Un gaz comportant N molécules a un espace à 6N dimensions; le mouvement du gaz, dans son ensemble, correspond alors à la trajectoire d'un simple point dans cet espace à 6N dimensions.

Cette méthode n'est pas aussi désespérément compliquée qu'elle peut le paraître. On peut obtenir des solutions et, en fait, on en a obtenu. Ces solutions ont complètement révolutionné la physique, en la faisant passer de la base newtonienne rigide à la contingence de Gibbs. Wiener (*réf. bibl. 82*) dit : « C'est à Gibbs, j'en suis convaincu, qu'il convient d'attribuer la première grande révolution de la physique du XX^e^ siècle, plutôt qu'à Einstein, Heisenberg ou Planck. »

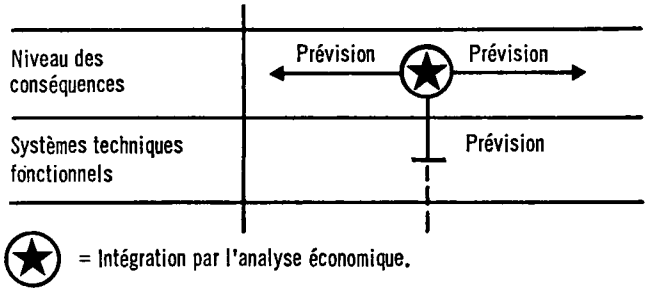
Le transfert technologique, lui aussi, se meut dans un espace de phase caractérisé par la position et la quantité de mouvement de nombreuses « particules » discernables. Il s'agit d'un processus non-déterministe, par rapport aux systèmes importants, mais aussi par rapport au comportement des « particules » individuelles. Contrairement aux systèmes physiques, toutefois, l'évolution ne se fait pas d'un état organisé vers l'état le plus probable, c'est-à-dire celui du chaos, mais (du moins nous l'espérons) elle se fait, comme la vie, dans le sens de la différenciation et de l'organisation; les méthodes de la cybernétique, conçues pour ce type de mouvement peuvent, par conséquent, s'y appliquer généralement.

II.3.10. Analyse économique

L'analyse comparée des coûts et profits n'apporte aucune information nouvelle à la prévision technologique. On l'utilise toutefois avec avantage pour traduire les évaluations résultant de la prévision technologique, en termes économiques compatibles avec le milieu économique dans lequel les conséquences de l'innovation technologique commencent par apparaître. Dans

le cadre de la prévision technologique, l'analyse des coûts et profits est donc une technique particulière, permettant d'associer une prévision horizontale et une prévision verticale pour fournir une prévision intégrale : elle donne ainsi une perspective complète, en vue de la préparation des décisions, et permet de juger des efforts verticaux et des conséquences horizontales sur une même base.

La prévision verticale, que l'on tente habituellement de faire dans une phase avancée de développement puis de nouveau dans la phase de mise au point (ou de manière répétée), fournit des évaluations relatives aux délais et aux coûts du développement, aux coûts de production, (ou aux prix du produit), et peut-être aussi aux coûts et aux autres caractéristiques du fonctionnement. La prévision horizontale fournit des évaluations sur les ventes en fonction du temps et, en association avec d'autres facteurs, sur les profits en fonction du temps. On peut également évaluer les facteurs de risques, aussi bien pour la prévision verticale (risques techniques) que pour la prévision horizontale (risques commerciaux). L'association de la prévision horizontale et de la prévision verticale donne l'évolution des bénéfices bruts, sans amortissement, en fonction du temps.



Une forme relativement grossière de l'analyse des coûts et profits est la détermination du *revenu des investissements*, par comparaison avec une comptabilité financière non actualisée, ou par détermination de la différence entre les dépenses et les recettes de trésorerie. Cette méthode ne tient pas compte du temps, ni de l'effet des intérêts gagnés ou perdus en fonction du temps. Bien qu'elle néglige cet aspect réellement fondamental de la pensée économique, elle est largement utilisée car elle suppose que l'on peut prendre en considération le facteur temps de manière indirecte (« intuitivement », ou en se servant de connaissances empiriques acquises avec certaines formes de développement des produits).

La *formule de Olsen* (citée dans la *réf. bibl. 146*), mise au point par Olin Mathieson (États-Unis) s'écrit simplement

$$\text{Valeur} = \frac{(\text{Revenu des investissements}) \times (\text{probabilité de réussite})}{\text{Coût de la recherche}} \quad (34)$$

où le « revenu des investissements » est la valeur des économies réalisées sur le processus pendant un an, ou 3 % de la valeur des ventes annuelles des nouveaux produits pendant cinq ans, ou encore 2 % de la valeur des ventes annuelles des produits améliorés pendant deux ans. On considère que le projet est rentable si le coefficient ainsi calculé est égal ou supérieur à trois.

Si l'on néglige le facteur de probabilité (des risques), cela veut dire en effet que les critères sont :

Économies annuelles sur les processus	$\geqslant 3 \times$ le coût de la recherche
Vente annuelle moyenne de nouveaux produits	$\geqslant 20 \times$ le coût de la recherche
Vente annuelle moyenne de produits améliorés	$\geqslant 75 \times$ le coût de la recherche

La *formule de Pacifico* (citée dans la *réf. bibl. 146*), mise au point pour Alcolac (États-Unis), peut être adaptée de la manière suivante :

$$\text{Valeur} = \frac{R_t \times R_c \times (\text{Bénéfices bruts totaux})}{\text{Coûts totaux}} \tag{35}$$

où R_t = probabilité de réussite technique (fraction de l'unité)
et R_c = probabilité de réussite commerciale (fraction de l'unité).

Le critère de rentabilité d'un projet est le coefficient 2, qui en fait, ne serait un critère utile que pour des durées de développement très courtes. La formule n'a été appliquée qu'à des projets à faibles risques, dont la moitié a abouti à des succès.

Hoess (*réf. bibl. 138*) utilise, dans ses travaux au Battelle Memorial Institute, une expression qui associe le taux des bénéfices sur investissements à l'écart des bénéfices par rapport à la moyenne, calculée par unité; il s'agit d'une simple transformation des relations classiques.

L'*indice de recherche de Gordon Teal* (cité dans la *réf. bibl. 146*) constitue une méthode plus élaborée, associant l'analyse économique et la théorie de la décision, dans une formule à quatre facteurs qui n'est pas très claire et n'est apparemment valable que pour une catégorie assez spéciale de développement des produits :

$$\text{Indice de recherche} = I_1 \times I_2 \times I_3 \times I_4 \tag{36}$$

dans laquelle

I_1 = Indice du revenu de la recherche et du développement

$$= \frac{N}{25S} \tag{37}$$

N = Bénéfice net au cours de la vie du nouveau produit.
S = Coûts de recherche et de développement.

$$I_2 = \text{Indice du revenu des investissements} = \frac{N}{0{,}135\,A} \tag{38}$$

A = Investissements nécessaires.

$$I_3 = \text{Indice de la valeur monétaire} = \frac{b}{0{,}04\,B} \tag{39}$$

b = Facturation des ventes rendues possibles par le nouveau produit.
B = Facturation des ventes totales de l'entreprise au cours de la vie du nouveau produit.

$$I_4 = \text{Indice de pénétration du marché} = \frac{b}{0{,}5\,M} \tag{40}$$

M = Marché potentiel total.

Le critère de rentabilité du projet est un coefficient égal ou supérieur à l'unité pour l'indice de recherche. Bien que cette méthode comprenne un élément de prévision normative (la stratégie de la société exprimée par I_4), sa teneur est essentiellement exploratoire.

Le *Modèle « Investment Worth » (Valeur d'Investissement)* de Sobelman (également cité dans la *réf. bibl. 146*) essaye de tenir compte du facteur temps, sans utiliser les taux d'intérêt ni la comptabilité financière actualisés :

$$\text{Valeur du produit} = P\left[T + \bar{T}\left(1 - \frac{t}{\bar{t}}\right)\right] - c\left[t + \bar{t}\left(1 - \frac{T}{\bar{T}}\right)\right] \quad (41)$$

p = Bénéfice annuel net moyen escompté du nouveau produit.

T = Estimation de la durée des bénéfices ou de la durée commerciale réelle du nouveau produit.

$\bar{T}$ = Durée des bénéfices ou durée commerciale moyenne d'un nouveau produit.

c = Estimation du coût annuel moyen de mise au point pour le nouveau produit.

t = Temps estimé nécessaire pour mettre au point le nouveau produit.

$\bar{t}$ = Temps moyen nécessaire pour mettre au point un nouveau produit.

Cette formule fournit, en fait, la différence entre le bénéfice total et le coût total de mise au point ($PT - ct$). Les facteurs de correction, donnés par les seconds termes, déterminent l'écart par rapport au produit moyen; pour le produit moyen, les deux facteurs de correction s'annulent, et des « boni » s'ajoutent à la valeur du produit si le délai de mise au point est plus court et la durée des bénéfices plus longue que la moyenne. Ces « boni » ont une valeur assez arbitraire et ne tiennent pas compte du temps aussi exactement que peut le faire la méthode de la comptabilité financière actualisée.

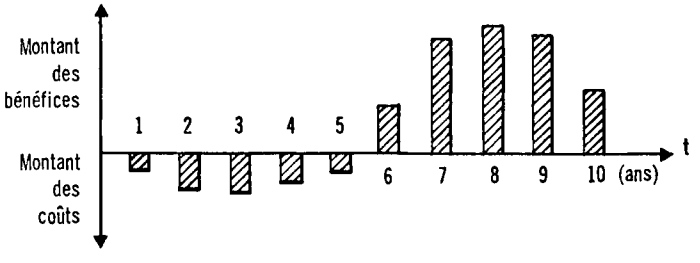
Les méthodes de *comptabilité financière actualisée*, employées déjà depuis un certain temps pour la planification des investissements en moyens de production, etc., peuvent être appliquées de manière analogue aux investissements dans la recherche et le développement. Elles permettent de calculer la *valeur nette actuelle* d'un projet, conformément aux conceptions économiques appliquées à d'autres problèmes commerciaux. Les méthodes d'actualisation sont les meilleurs moyens de tenir compte du facteur temps dans un cadre commercial.

On utilise habituellement deux méthodes fondamentales :

On comptabilise les mouvements financiers et les intérêts par « lots », habituellement à la fin de chaque année; on se rend facilement compte qu'il s'agit d'une approximation (inutile) qui s'écarte, dans la plupart des cas pratiques, du caractère plus continu de la réalité;

On comptabilise les mouvements financiers et les intérêts au jour le jour, ce qui correspond très exactement à la réalité.

On peut facilement donner l'expression fondamentale de la *méthode « par lots » :*



$$P = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{(1+r)^i} \qquad (42)$$

P = Valeur nette actuelle du projet.
C_i = Montant global (solde accumulé) à la fin de chaque année.
i = Numéro de l'année, décomptée à partir de l'année en cours, où se fera la comptabilisation financière.
n = Numéro de l'année, décomptée à partir de l'année en cours où se produira le dernier mouvement financier significatif.
r = Taux d'actualisation.

On peut définir le taux d'actualisation de deux façons très différentes :
Le taux d'actualisation est le taux d'intérêt auquel on peut se procurer des capitaux spéculatifs pour le projet considéré; dans ce cas, la valeur nette actuelle indique s'il convient ou non de faire appel, pour un certain projet, à des apports (extérieurs) supplémentaires.
Le taux d'actualisation est le taux auquel on pourrait investir des capitaux pour obtenir au même moment des rentrées financières égales avec les mêmes risques; dans ce cas, la valeur nette actuelle indique si une certaine fraction d'une quantité limitée de fonds disponibles doit ou non être investie dans un certain projet.

En admettant divers taux d'actualisation, il est possible d'associer les deux points de vue de manière optimale (voir ci-dessous la méthode de la GEC).

En donnant à la valeur nette actuelle P la valeur 0, on obtient l'équation des conditions d'équilibre, qui constitue le critère fondamental permettant de déterminer si un projet est rentable ou non.

La *formule de Disman* (citée dans la *réf. bibl. 146*), mise au point pour les Abbott Laboratories (États-Unis), modifie l'équation (42) par deux facteurs de risque; on obtient les conditions d'équilibre en comparant un investissement brut non actualisé à un bénéfice actualisé.

$$MEJ - R_t \cdot R_c \sum_{i=1}^{n} \frac{I_i}{(1+r)^i} = 0 \qquad (43)$$

MEJ = Dépense maximale justifiée.
R_t = Risque de réussite technique (en fraction de l'unité).
R_c = Risque de réussite commerciale (en fraction de l'unité).
I_i = Montant total du revenu (bénéfice accumulé) à la fin de chaque année.

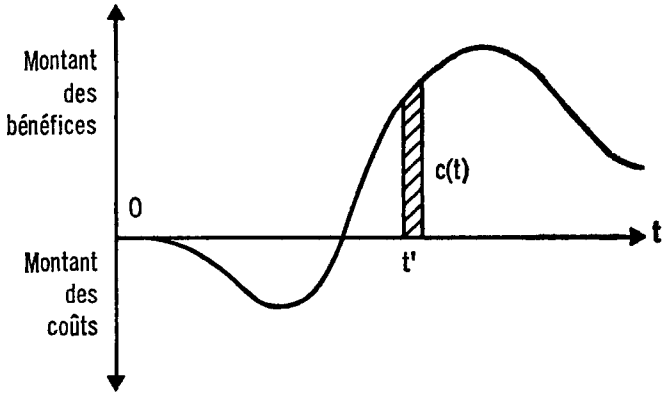
Cette méthode ne donnerait de résultats utiles que dans le cas où l'objectif de recherche et de développement serait pratiquement atteint instantanément (dans un temps nul) et où les ventes bénéficiaires commenceraient aussitôt — hypothèse qui semble encore moins valable pour le secteur pharmaceutique (pour lequel cette formule a été conçue) que pour l'industrie en général.

La *transformation de Hoskold* (également citée dans la *réf. bibl. 146*), semble constituer une variante de la méthode des « lots », associant cette dernière, de manière assez obscure, à une comparaison des résultats moyens :

$$P = \frac{D}{1 + r + \dfrac{r'}{(1+r')^n}} \qquad (44)$$

D = Revenu annuel moyen du projet.
r = Taux d'intérêt courant sur les investissements.
r' = Rendement net moyen du capital investi dans l'entreprise.
n = Nombre d'années sur lequel il faut amortir les coûts de la recherche.
(Le premier facteur « 1 » du dénominateur manque dans la *réf. bibl. 146*, mais a manifestement été oublié par erreur, comme on peut s'en assurer en considérant le cas extrême dans lequel le dernier terme s'annule : $P = D/r$ n'aurait dans ce cas aucun sens, tandis que $P = D/(1 + r)$ en aurait un).

L'expression fondamentale de la *méthode « continue »* — méthode qui suit plus étroitement la réalité — est la valeur nette actuelle P' de chaque mouvement financier différentiel $c(t)$ à l'instant t' (compté à partir de $t = 0$, représentant l'instant présent) :



$$P' = c(t')e^{-rt'}dt \tag{45}$$

En intégrant sur le temps, on obtient la valeur nette actuelle du projet :

$$P = \int_{o}^{\infty} c(t)\, e^{-rt}dt \tag{46}$$

On remarquera que, par hasard, l'équation (46) est identique à la transformée de Laplace, si l'on considère $c(t)$ comme fonction initiale et $P(r)$ comme fonction transformée. Cela permettrait, en principe, d'approcher la courbe $c(t)$ par une fonction simple, et de calculer $P(r)$ directement. On obtiendrait, par exemple, des couples de fonctions de base et de fonctions transformées, soit :

$$\left.\begin{aligned} c(t) &= e^{at} \quad ; & P(r) &= \frac{1}{r - a} \\ c(t) &= \sin t; & P(r) &= \frac{1}{1 + r^2} \end{aligned}\right\} \tag{47}$$

L'équation (46) est largement utilisée dans l'industrie, pour la détermination de la valeur nette des projets en cours de développement, à un stade avancé ou en cours de réalisation. Dans 20 à 25 % des cas, les entreprises industrielles qui ont un service particulier de prévision technologique partent de leur comptabilité financière actualisée, à la fois sous la forme de l'équation (42) et sous celle de l'équation (46). L'évolution « naturelle », dans une entreprise,

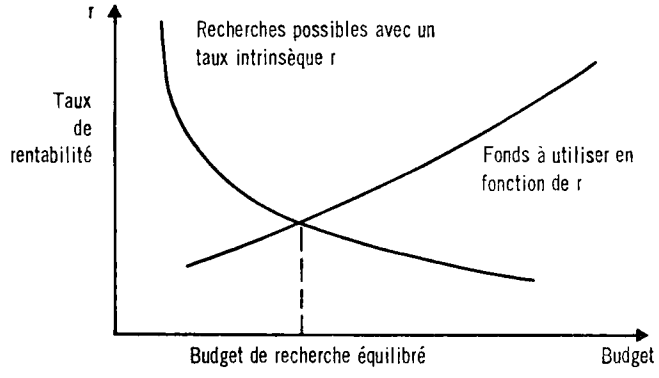
tend à aller de la détermination des revenus non-actualisés des investissements aux revenus actualisés par « lots » annuels (équation 42), puis aux revenus actualisés en continu (équation 46). A l'heure actuelle, la 3M Company (États-Unis) se sert, pour la prévision technologique, d'une évaluation par calculateur des bénéfices actualisés pour 40.000 types de produits (200.000 articles).

Plusieurs entreprises, telles que ASEA (Suède), calculent la valeur nette actuelle exprimée par l'équation (46) pour tous les projets de recherche et de développement, pour lesquels il est possible d'effectuer les estimations nécessaires des coûts, des ventes et des facteurs temporels, sans qu'il existe aucun impératif politique pour l'ensemble de l'entreprise. On calcule les valeurs P pour une valeur minimale donnée du taux d'actualisation r, qui sert de critère pour déterminer s'il convient d'entreprendre ou de rejeter un certain projet. Pour les entreprises européennes, cette valeur minimum de r tend à se situer autour de 20 % par an (avant impôts); elle pourrait être, aux États-Unis, de quelque 30 % par an (avant impôts) — mais les informations obtenues sur ce point ne sont pas très détaillées. Une valeur positive de P serait un indice encourageant, tandis qu'une valeur négative constituerait un élément de rejet du projet.

On peut poser l'équation (46), qui donne les conditions d'équilibre :

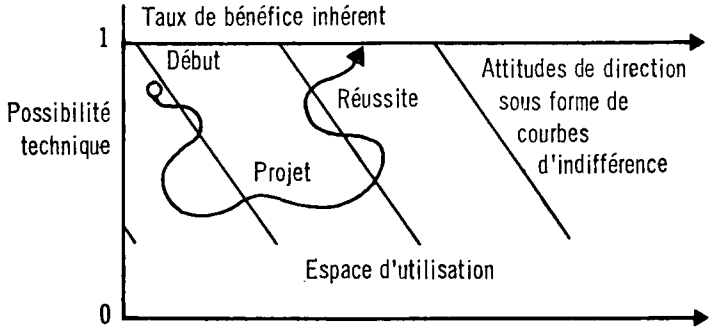
$$\int_o^\infty c(t)\, e^{-rt} dt = 0 \qquad (48)$$

et la résoudre pour r, qui est alors le taux d'actualisation, ou *taux de rentabilité intrinsèque* du projet; à cet égard, l'identité avec la transformée de Laplace est particulièrement intéressante pour les calculs pratiques. On peut alors comparer la valeur intrinsèque de r avec sa valeur limite prescrite, ce qui donne un ordre de classification plus clair, depuis les valeurs élevées de r jusqu'à sa valeur limite. Toutefois, on peut également déterminer le volume



maximum de recherches qu'il est possible de financer à différents taux d'actualisation. C'est la méthode que la GEC (General Electric Company, Royaume-Uni), a adoptée pour son système complet d'évaluation des projets de recherche. Le point d'équilibre est alors donné par l'intersection de la courbe des coûts recherche et la courbe d'obtention des fonds. On peut naturellement apporter certaines modifications à cette méthode.

L'ensemble du système GEC, baptisé SCAIR (System for the Selection, Control and Administration of Industrial Research) et mis au point par Demetriou, joint à la fonction de sélection (décisions de programmes) esquissée ci-dessus, une fonction de décisions de contrôle et une fonction de décisions administratives. Pour la fonction de contrôle, une analyse des coûts et profits est effectuée mensuellement par les chefs de groupe, qui procèdent en même temps à la révision des conditions de réalisation pratique.



L'attitude de la direction (politique de gestion) est définie de temps à autre sous forme de courbes d'indifférence; en général, comme le montre la figure, une possibilité technique plus faible, associée à un taux de profit interne estimatif plus élevé, correspond à une forte possibilité technique associée à un faible taux de profit interne. Un déplacement vers la gauche de courbes d'indifférence qui se coupent pendant la phase de développement est un « mauvais » signe, qui déclenche des décisions de contrôle; un déplacement vers la droite est un « bon » signe.

Pour avoir une évaluation dynamique, capable d'aider la direction à définir son attitude dans le cas de profit incertain, on calculera un facteur de possibilité technique compris entre 0 et 1 et on déterminera, à différentes étapes du projet, un « facteur de gain » :

$$\text{Facteur de gain} = \frac{\%\text{ de variation du facteur de possibilité technique}}{\%\text{ de variation compensatoire du taux de rentabilité}} \qquad (49)$$

Quand ce facteur tend vers 0, l'attitude de la direction devient plus prudente; quand il augmente indéfiniment, cette attitude est plus spéculative.

De manière analogue, un « facteur de risque » permet d'observer l'évolution dynamique des probabilités de coût et de profit :

$$\text{Facteur de risque} = \frac{\text{Variation, en \% de la valeur actuelle des budgets}}{\%\text{ de variation compensatoire du taux de rentabilité}} \qquad (50)$$

Quand le facteur de risque tend vers 0, l'attitude de la direction à l'égard des pertes devient plus prudente. Quand le facteur croît, il indique un accroissement du profit à retirer de la spéculation.

Le classement de valeur des projets, dans le système SCAIR, repose principalement sur une analyse économique, modifiée par une méthode fondée

sur la théorie de la décision. On utilise alternativement, ou en combinaison, deux formules :

$$\bar{r} = f^{1/G} \cdot r \tag{51}$$

$\bar{r}$ = Taux de rentabilité équivalent à la certitude du projet.
r = Taux de rentabilité réelle du projet.
f = Possibilité de réalisation technique du projet.
G = Facteur de gain donné par l'équation (49).

Un « indice d'acceptation de projet » fait une place plus large à l'attitude de la direction envers les profits ou les pertes :

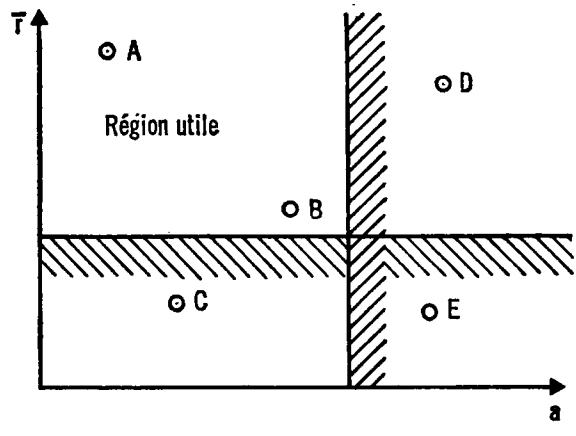
$$a = \frac{kb}{f^{R/G_r R}} \tag{52}$$

a = Indice d'acceptation du projet.
b = Valeur actuelle des dépenses totales de recherche du projet.
k = Facteur d'échelle arbitraire, permettant de placer l'indice d'acceptation dans un certain intervalle souhaitable de valeurs (par exemple, on peut choisir différentes valeurs de k pour différentes classes de projets, en fonction de considérations stratégiques).
f = Possibilité de réalisation du projet.
r = Taux de rentabilité du projet.
G = Facteur de gain donné par l'équation (49).
R = Facteur de risque, donné par l'équation (50).

Le projet devient d'autant plus intéressant que :

la valeur actuelle du budget nécessaire diminue;
le taux de rentabilité augmente;
le facteur de possibilité technique augmente;
la direction prend une attitude plus spéculative à l'égard des pertes;
la direction prend une attitude plus spéculative à l'égard des profits que des pertes.

On peut représenter les résultats des deux formules de classement par une figure à deux dimensions, les critères d'acceptation adoptés délimitant la région utile. Par exemple, les projets A et B seront acceptés, tandis que les projets C, D, et E seront rejetés.



Le système SCAIR que la GEC a mis sur calculateur comprend un certain nombre de compléments comme, par exemple, la détermination des mouvements financiers par suite de l'abandon d'un certain projet ou l'évaluation de variantes. La fonction administrative permet au système de contrôle de s'ajuster. Vers le milieu de 1966, le système SCAIR était dans sa phase d'exploitation pilote, et deux cents projets de recherche étaient à l'essai. Dans l'avenir, il comprendra tous les projets de développement suffisamment précis pour que l'on puisse procéder aux estimations nécessaires.

L'association de l'analyse économique et de la théorie de l'utilité, sur laquelle repose le système SCAIR, caractérise également la méthode proposée par Cramer et Smith (*réf. bibl. 110*). Pour chaque variante de projet, on calcule les estimations de la valeur nette et les probabilités de réalisation. On obtient également des courbes d'utilité. On peut alors classer les projets en fonction de la valeur nette prévue de l'utilité présentée. Allen (*réf. bibl. 86*) étudie la représentation des courbes de rendement financier actualisé, pour toute une gamme de probabilités estimées.

Dean et Sengupta (*réf. bibl. 113*) ont mis au point un système complexe; ils cherchent à faire reposer l'analyse économique, non sur des évaluations directes, mais sur une corrélation de l'expérience acquise par une entreprise dans la recherche de produits et de procédés, afin de déterminer empiriquement les caractéristiques des classes de projets de recherche; celles-ci sont censées faciliter la détermination de la valeur nette actuelle des projets entrant dans ces classes. Ils associent également de manière empirique l'importance du budget global de recherche à son « efficacité », et proposent ensuite une formule de programmation linéaire, basée sur une analyse empirique, pour effectuer la sélection des projets en maximisant la valeur nette totale, sous une contrainte budgétaire. Ainsi, on associe sur une base empirique les méthodes de recherche opérationnelle et l'analyse économique. La 3M Company (Minnesota Mining and Manufacturing Company à Saint Paul, Minnesota) tente aussi d'appliquer des corrélations de son expérience passée à la conception de ses nouveaux produits.

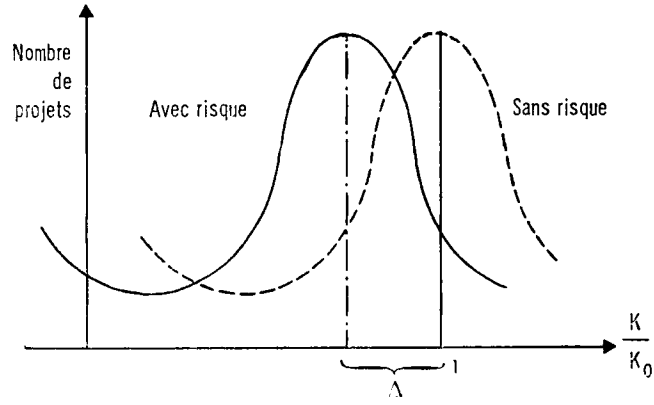
Les méthodes qui font appel aux techniques de recherche opérationnelle tentent souvent de maximiser la valeur nette totale des recherches, dans l'hypothèse où certaines conditions supplémentaires sont présentes. Tandis que l'analyse économique, qui porte généralement sur la valeur actuelle nette à partir de l'équation (46), est considérée comme un des éléments d'entrée, ces méthodes appartiennent dans l'ensemble à la prévision normative (optimisation en fonction d'un certain objectif pré-établi), et seront examinées au chapitre II.4. ci-dessous.

On constate facilement qu'il n'est pas nécessaire de pousser très loin dans le futur l'intégration figurant dans l'équation (46), surtout si r est élevé. Si, par exemple, la durée de développement d'un projet moyen est de cinq ans, il suffira, dans la plupart des cas pratiques, d'évaluer les bénéfices bruts résultant des ventes pendant cinq autres années, de sorte que l'intervalle total de temps sera de dix ans. Si $r = 0{,}20$ par an, la contribution procurée par le produit des ventes de la sixième année sera même inférieure à un dixième, si l'on admet que le bénéfice brut est le même tous les ans; toutefois, en règle générale, le bénéfice brut des ventes diminue après une importante croissance initiale, surtout pour les produits caractérisés par un fort degré d'innovation.

La détermination de *facteurs de risque*, associée à une analyse économique, devient intéressante dans tous les cas où l'on éprouve le besoin de raffiner

la méthode de base. On pourrait penser qu'il serait possible, en principe, d'adapter à la prévision technologique l'évaluation des risques, déjà calculée pour d'autres formes d'investissements et pour la prévision commerciale. Il semble, toutefois, que l'on ait peu utilisé ces méthodes plus complexes. On évalue souvent directement les facteurs de risque en fonction des risques techniques ou commerciaux, exprimés par des fractions de l'unité.

Bönke essaie actuellement pour ASEA (Suède) un modèle simple exprimant le risque commercial sous forme d'une distribution de probabilité symétrique, mais placée excentriquement. Le rapport K/K_0 (K = résultat capitalisé réel; K_0 = résultat capitalisé estimatif, sans facteur de risque) ne serait égal à l'unité pour le sommet de la courbe des projets que s'il n'y avait aucun risque. Il existe également, à zéro ou à des valeurs négatives, un deuxième sommet correspondant aux échecs des projets (dus aux risques techniques). On peut trouver empiriquement l'excentricité Δ pour différentes catégories de projets, ainsi que la forme de la courbe de distribution. On ignore encore l'intérêt potentiel de cette méthode.



Kotler (*réf. bibl. 148*) a proposé une méthode basée sur des courbes d'indifférence de l'entreprise, afin de connaître le bénéfice attendu en fonction du risque; ces courbes peuvent être déduites empiriquement de l'histoire passée de l'entreprise.

Nous résumerons ces observations sur l'analyse économique en disant qu'en général c'est une méthode largement utilisée pour intégrer la prévision technologique horizontale et la prévision verticale au niveau du produit (système technologique fonctionnel) ainsi qu'au niveau des conséquences directes. Les méthodes de comptabilité financière actualisée sont, en particulier, extrêmement intéressantes pour associer, à ces niveaux, la réflexion technique et la réflexion commerciale.

Si l'on regarde plus loin dans l'avenir, on peut s'attendre à ce que l'analyse économique contribue fortement à l'intégration de la prévision technologique horizontale et verticale aux niveaux supérieurs, c'est-à-dire aux niveaux de l'environnement des systèmes sociaux et même de la société. La condition préalable de cette application est une quantification des prévisions à ces niveaux en termes monétaires (ou, plus généralement, en termes économiques). Cette notion peut sembler hérétique dans les cas où il s'agit d'objectifs sociaux; mais, en l'absence de tout autre système quantitatif valable à tous les niveaux, et compte tenu de la nécessité d'un tel système pour donner un sens à l'inté-

gration des prévisions aux différents niveaux, il est raisonnable de se reporter au système le plus ancien et le plus largement utilisé : le système monétaire. En d'autres termes, même les valeurs autres qu'économiques doivent être exprimées sous la forme monétaire. Le Centre de recherches *Resources of the Future* (voir le chapitre I.7.) a déjà fait quelques pas dans cette direction. En essayant d'utiliser l'analyse des coûts et de l'efficacité, qui a déjà connu un grand succès dans l'administration militaire, les autres services de l'administration des États-Unis (voir Annexe A.2.10) ont franchi une nouvelle étape importante dans le même sens.

II.3.11. Modèles opérationnels

Nous adopterons ici, conformément aux propositions d'Abt Associates (*réf. bibl. 84*) les définitions suivantes :

Les *modèles* sont des représentations de processus, décrivant sous une forme simplifiée certains aspects du monde réel; dans le cas de la prévision technologique, ils tentent d'inclure autant de facteurs non-techniques qu'il est apparemment possible de le faire.

La *simulation* est l'exploitation d'un modèle au moyen de manipulations effectuées sur ses éléments par une calculatrice, un joueur humain, ou les deux.

Les *jeux* (technique des jeux appliquée à la simulation) représentent un type particulier de construction de modèles, structurés de manière à permettre des interactions simultanées multiples entre des joueurs, en coopération ou en concurrence. Si l'on utilise une calculatrice, le système peut être exploité, et les effets peuvent en être analysés par un observateur.

Au cours de sa récente enquête sur les modèles opérationnels construits aux États-Unis (*réf. bibl. 84*) Abt Associates a étudié 57 modèles, dont certains n'étaient pas encore terminés, et a conclu qu'il existait probablement plus de 100 modèles à grande échelle aux États-Unis au milieu de 1965 (ce qui est probablement une sous-estimation si l'on considère que l'enquête n'a pas porté sur l'industrie). L'économie est la première des sciences sociales dans laquelle on ait entrepris la construction de modèles. A l'heure actuelle, on se sert également de modèles pour étudier les processus politiques, sociologiques, psychologiques et autres. La plupart d'entre eux sont construits dans des universités et des organismes de recherche.

On peut faire état des conclusions approximatives suivantes en ce qui concerne le coût et la durée de mise au point des modèles :

Les modèles à grande échelle demandent généralement au moins deux ans de mise au point. La plupart peuvent être construits en six ans, et la moitié d'entre eux en deux ou trois ans. Le plus grand modèle existant (Brookings-SSRC) met en jeu 400 équations originales.

Les coûts de développement varient de 25.000 à 2,5 millions de dollars. Le sommet de la courbe de distribution se situe entre 50.000 et 100.000 dollars, mais il semble qu'il soit plus facile de construire des modèles socio-politiques que des modèles économiques pour moins de 50.000 dollars.

Le mode d'exploitation des 57 modèles inventoriés est le suivant :

Pour 28 modèles économiques : 2 simulations manuelles, 3 jeux homme-machine, 23 simulations sur calculateur;

Pour 29 modèles socio-politiques : 10 simulations manuelles, 5 jeux homme-machine, 14 simulations sur calculateur.

Alors que, jusqu'à une époque récente, il était difficile de passer efficacement les jeux homme-machine sur calculateur, Abt Associates estime qu' « avec l'apparition de systèmes d'ordinateurs à utilisation collective, ce genre de jeu trouvera de plus en plus d'applications pour la simulation et la mise au point de modèles. »

Les jeux typiquement « manuels », c'est-à-dire les interactions de joueurs humains, peuvent grouper un certain nombre de protagonistes, compris entre 2 et 200, la moyenne se situant entre 10 et 30.

Il semble que les *jeux d'entreprise* soient un moyen efficace pour prévoir les conséquences possibles de techniques nouvelles ou futures. Les organismes militaires les ont utilisés dans ce but depuis un certain temps, et surtout pour étudier les conséquences futures de combinaisons de concepts techniques et stratégiques particuliers, aussi bien du point de vue de l'ennemi que du leur.

Le haut degré de raffinement atteint dans les jeux de simulation de combat, raffinement dont ont déjà profité les jeux d'entreprise, peut également servir à la prévision technologique. C.F.B. Stevens, du Pulp and Paper Research Institute, au Canada, expose les analogies suivantes : « On dirait... que, dans la concurrence industrielle, l'utilisation de techniques nouvelles a certains aspects communs avec la guerre. L'objectif est ici de conquérir le marché de certains produits ou de certains services — par exemple, l'emballage. La plus grande part de cet objectif est encore entre les mains d'un secteur industriel — le papier — et est attaquée par un autre — les matières plastiques. Le secteur industriel défensif utilise des unités matérielles relativement chères et peu souples — les machines à papier — dont la technique de base date de cent cinquante ans. Il possède de grandes réserves, mais le taux de perte qu'il est prêt à accepter sur les produits ou sur les sociétés est faible. La plus grande partie de son énergie collective est utilisée dans la coordination de ses grandes unités opérationnelles. Le secteur industriel attaquant est, au contraire, organisé autour d'un matériel moins cher et plus récent, et il consacre une partie plus grande de son énergie à constituer de nouvelles sociétés et à développer ses produits, pour lesquels il subit un taux de perte élevé. »

Les jeux libres (où aucune contrainte n'est appliquée aux étapes individuelles) sont nécessairement, dans de nombreux cas, exploités par opération manuelle, car la programmation et la mise en mémoire de tous les mouvements opérationnels possibles exigeraient des efforts peu rentables, ou même techniquement irréalisables. La plupart des jeux de guerre et des jeux techniques militaires sont encore exploités manuellement. C'est également le cas des jeux plus ambitieux que l'on pourrait mettre au point pour la prévision technologique exploratoire.

Toutefois, la prévision normative prenant une importance de plus en plus grande, les jeux correspondants seront de moins en moins libres, mais pourront se révéler intéressants pour l'évaluation de différents développements techniques. On peut étendre les jeux aux niveaux les plus élevés, ceux des systèmes sociaux et de la société; on commence à se rendre compte que c'est une des méthodes les mieux adaptées aux « techniques sociales » (*réf. bibl. 134*). Il semble que la RAND Corporation, et Helmer en particulier, étudient activement dans ce sens des jeux de prévision technologique.

Les premières tentatives qualitatives cherchaient déjà à fournir un cadre aux modèles opérationnels : les 38 principes d'invention de Gilfillan (*réf. bibl. 70*) peuvent s'interpréter comme les phases successives d'une invention et, en particulier, d'une invention sociale. Rostow (*réf. bibl. 174*) propose un modèle qualitatif comportant des « propensions » à développer les sciences fondamentales, à appliquer les sciences à l'industrie et à l'économie en général, et à accepter les innovations. Siegel (*réf. bibl. 176*) remarque, avec raison, que ces « propensions » sont des complexes culturels dépourvus de signification opérationnelle.

Des modèles rigides exploités sur calculateurs deviendront bientôt utiles pour la prévision technologique. La « prévision dynamique », en particulier, sert de guide à plusieurs tentatives sérieuses. Ce terme (introduit par Lenz (*réf. bibl. 151*) pour caractériser l'établissement d'un modèle d'ensemble des relations significatives causales qui influencent la croissance de la technologie en général, ou d'une caractéristique fonctionnelle en particulier) peut être étendu aux transferts technologiques en général. On espère naturellement obtenir des résultats intéressants avec un modèle dynamique limité. Le concept de « dynamique industrielle » de Forrester (*réf. bibl. 148*) pour la préparation de décisions complexes dans les entreprises sert de base à de nombreuses tentatives dans ce domaine.

Brown et Cheaney (*réf. bibl. 101*) observent que les calculateurs analogiques (qui expriment les informations par des grandeurs physiques) pourraient être extrêmement utiles dans ce domaine. Cela ne signifie pas seulement qu'ils présentent des avantages économiques par rapport aux calculateurs numériques, mais aussi qu'ils faciliteraient l'évaluation des différentes solutions possibles, grâce à un simple changement des grandeurs physiques d'entrée. La détermination d'un optimum, par une méthode simple d'approximations successives, permettrait d'économiser un temps considérable. De même, il est parfois beaucoup plus facile de représenter des équations différentielles sur un calculateur analogique que sur un calculateur numérique.

Les modèles rigides à exploiter sur calculateurs, mis au point pour l'analyse économique, pourraient se révéler utiles pour la prévision technologique : par exemple, le modèle d'affectation des ressources de Rea, « *Research and Development Effectiveness* », mis au point par l'Armée de l'Air américaine (cité dans la *réf. bibl. 84*), ou encore le jeu ambitieux (mais non encore achevé) d'acceptation des innovations « *Technological Innovation* », conçu par C.W. Churchman et exploité sur calculateur à l'Université de Californie (également cité dans la *réf. bibl. 84*).

Lenz (*réf. bibl. 151*) a essayé de construire un modèle d'évolution macrotechnologique dans son « *Knowledge-Progress System* ». C'est un modèle simplifié, basé sur 37 variables et constantes et sur 19 relations mathématiques simples, qui n'exige pas d'ordinateur et peut être résolu à l'aide d'une simple tabulatrice. Il tient compte, en particulier, des facteurs suivants : démographie, éducation, formation, moyens de recherche, durée de vie des installations, désuétude des installations, etc. Ce modèle semble n'avoir qu'une faible valeur opérationnelle.

Abt Associates, dans une proposition faite à l'OCDE (le 7 avril 1966), a envisagé la construction d'un modèle qui reste essentiellement centré sur la prévision technologique exploratoire, malgré un certain nombre d'éléments normatifs et certaines possibilités de « rétroaction ». Il comprend quatre phases :

1. Une « création systématique de configurations réalisables du monde futur, exprimées sous forme de possibilités techniques, sociales, politiques et militaires et de nécessités nationales probables ressenties intuitivement. » On adoptera des limites supérieures et inférieures estimatives pour les tendances, et on utilisera la méthode d'extrapolation des courbes-enveloppes. Des scénarios plausibles pourront être rédigés à partir de combinaisons de variables choisies aléatoirement par un calculateur.
2. Il s'agit ensuite d'évaluer les probabilités relatives de configurations particulières, par exemple en déterminant le nombre de chemins possibles conduisant à telle ou telle configuration.
3. La correction systématique des erreurs, ou la prévision « permanente » — méthodes déjà appliquées par Abt dans ses modèles socio-politiques — permettra de réduire le « niveau de bruit » implicite dans toute prévision technologique. Les prévisions intuitives faites par des experts et portant sur les modifications à court terme seront améliorées par « rétroaction ». On constate cette amélioration en comparant les premières prévisions aux résultats de l'application de corrections quantitatives appropriées aux étapes suivantes de prédiction. On peut déterminer le « niveau de bruit » minimum.
4. L'intégration des phases précédentes par simulation sur calculateur ou par simulation homme-machine, permettra, dans le premier cas, d'obtenir une prédiction des tendances, de leurs interrelations, et des modifications structurelles des variables sociales, politiques, militaires, économiques et techniques du modèle et, dans le second cas, de faire apparaître les conséquences des diverses stratégies possibles de planification.

La simulation sur calculateur de la composition future des articles de grande consommation, telle que l'a mise au point la Battelle Memorial Institute, à Columbus et à Genève (*réf. bibl. 119*), peut être développée en vue de simuler l'accueil réservé aux techniques nouvelles. Le modèle de Battelle fait appel à une méthode originale et ambitieuse, associant les variations de la demande future et les modifications de la population à des caractéristiques structurelles, telles que l'éducation, l'emploi et la structure des revenus, plutôt qu'à une prévision des modifications du revenu national total. Ce modèle a été appliqué aux prévisions de la structure de la consommation privée en 1975 aux États-Unis, dans les pays du Marché Commun et au Royaume-Uni.

Les *modèles économiques complets* envisagés pour tous les aspects importants d'une entreprise peuvent facilement servir à l'étude des effets de l'introduction d'un nouveau produit, ou du développement d'un programme particulier. On peut aussi comparer diverses variantes. Les résultats des prévisions technologiques obtenues au moyen de modèles économiques complets ont évidemment le mérite particulier d'avoir déjà tenu compte des interactions avec les principaux facteurs agissant horizontalement. On peut craindre certains pièges dans le cas où un modèle est une « boîte noire » qui ne montre pas explicitement sous quelle forme ces facteurs interviennent.

Les modèles économiques complets sont rares aux États-Unis et n'existent probablement pas encore en Europe. A notre connaissance, les seuls exemples d'entreprises américaines utilisant ces modèles sont la Xerox Corporation et la Division des machines à écrire chez IBM; la première utilise systémati-

quement, en association avec la prévision technologique, un modèle à 500 variables planifiées.

Lockheed tente, à l'heure actuelle, d'établir pour l'ensemble de son activité un modèle susceptible d'être utilisé pour la prévision technologique au niveau des agrégats (« Jusqu'à quel point la société doit-elle effectuer des recherches indépendantes? », etc.). On trouve dans la *réf. bibl. 146*, sous la plume du directeur des recherches de Hercules Powder (États-Unis), une description de l'utilisation de *modèles économiques partiels* pour l'évaluation des projets de développement : « Dès que nous obtenons quelque chose que nous pouvons désigner (un nouveau produit ou un nouveau procédé), nous passons à la construction d'un modèle économique. Nous essayons de le faire pour tous les projets de recherche, aussi embryonnaires qu'ils soient — sauf pour la recherche exploratoire dont l'objectif est la découverte scientifique... Nous avons commencé en 1954, après avoir analysé les raisons de la réussite d'un projet, afin d'adapter plus étroitement nos efforts de recherche à notre entreprise. Le modèle est construit d'après le modèle comptable utilisé par Hercules dans ses opérations quotidiennes. Il contient les mêmes informations que celles qui seraient nécessaires à une demande de capitaux d'investissement. On y introduit des estimations du coût des usines, du coût des installations de service, et des capitaux de roulement nécessaires aux frais d'exploitation. Des évaluations des coûts des matières premières, de leur transformation, des emballages, du magasinage et de la dépréciation permettent en outre de calculer les coûts totaux de production. On y ajoute les charges, pour tenir compte des frais de ventes et des frais généraux de la société, afin de déterminer les coûts totaux des ventes. Le modèle est complété par des informations sur les prix et les quantités — ce qui est le plus difficile à évaluer — afin de donner une idée du revenu des investissements. On peut alors comparer ce résultat avec le profit moyen obtenu dans le passé par l'entreprise. L'analyse tient compte également de facteurs tels que les coûts de recherche et de développement, le temps nécessaire pour la mise au point, et les chances de succès. Parallèlement aux aspects financiers, la société Hercules prend en considération les aspects commerciaux aussi bien que les conditions d'utilisation du modèle. Si, par exemple, la recherche appliquée a permis de déterminer les utilisations possibles d'un nouveau produit, ces utilisations peuvent être comparées aux marchés connus et aux besoins non encore satisfaits des utilisateurs éventuels. On peut ainsi faire apparaître un potentiel commercial qui permet de guider et de stimuler le développement des applications, exactement comme les estimations des coûts influent sur le développement des processus. » Il semble que ces modèles ambitieux soient exploités sur un calculateur analogique.

La prévision technologique est fréquemment intégrée dans un modèle exploratoire, soit comme un élément du modèle lui-même, soit sous forme de variantes ou de conclusions toutes prêtes. La société Abt Associates (*réf. bibl. 83*) construit actuellement un modèle pour les « grands évènements mondiaux de 1980 », de manière plus ou moins semblable à celle qu'elle a proposée pour son modèle de prévision technologique cité ci-dessus. Charles Osgood, de l'Université d'Illinois, construit un modèle global exploratoire sur calculateur pour l'année 2000 (*réf. bibl. 379*).

D'autres modèles sont mieux adaptés à la prévision technologique normative. Mais l'utilisation la plus importante des modèles rigides sur calculateur est probablement la simulation de processus en boucle fermée. Nous examinerons l'avenir de ces applications au chapitre II.5.

CENTRE ... RECHE... ...ON
116, Bd P... ...
Tél. 225-...

II.3.12. PRÉVISION TECHNOLOGIQUE EXPLORATOIRE AU NIVEAU DES AGRÉGATS

Les transferts technologiques sont des processus « quantiques » et non des développements continus. Le transfert vertical se caractérise par des « mutations » (inventions, innovations) capables de produire des écarts importants par rapport au processus d'amélioration (qui, lui, est presque continu) des techniques déjà connues. Les transferts horizontaux, bien que quantifiés (usines complètes adoptant de nouveaux processus, etc.) évoluent généralement beaucoup plus lentement, mais sont compliqués par l'interaction des facteurs techniques avec un grand nombre de facteurs non-techniques. On a déjà remarqué qu'il était plus facile d'extrapoler les transferts verticaux — les courbes des systèmes déterminants de l'évolution ont une forme beaucoup plus régulière que les courbes des niveaux technologiques moyens.

La principale ambition de la prévision technologique, au niveau des agrégats, semble se concentrer sur le transfert technologique horizontal, plus compliqué, en laissant les percées verticales se produire de manière plus ou moins imprévue. En effet, les insuffisances des prévisions horizontales justifient, en pratique, le manque d'intérêt pour les transferts technologiques verticaux. Cette attitude est fondamentalement mauvaise, et les tentatives plus ambitieuses, telles que « MAPTEK » (décrite ci-dessous), tentent de prévoir les vecteurs de transfert dans les trois dimensions de notre modèle de transfert technologique.

La situation se caractérise aujourd'hui par deux méthodes générales :

Des études sectorielles approfondies au niveau *des éléments*, visant à prévoir les transferts technologiques aussi bien horizontaux que verticaux, ces prévisions étant ensuite organisées comme une mosaïque au niveau des agrégats. Il existe manifestement des limites aux dimensions des secteurs et à la durée de l'étude (de quatre à cinq ans dans les applications réelles actuelles). En voici des exemples : *a*) la CECA (Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier), à Luxembourg, prévoit la consommation des divers combustibles fossiles dans l'industrie des six pays membres d'après l'étude de certains secteurs industriels et de diverses utilisations, en tenant compte également de l'apparition et de la diffusion de techniques nouvelles; *b*) la Quantum Science Corporation, à Palo Alto, Californie, (filiale de Samson Associates), prévoit les volumes d'input et d'output du secteur électronique aux États-Unis, sur la base de prévisions technologiques complètes dans la direction verticale (inventions, innovations) et d'une estimation des qualités individuelles et des chances concurrentielles des sociétés novatrices, ainsi que des modifications structurelles qui se produisent dans le secteur; *c*) le BIPE (Bureau d'Informations et de Prévisions Économiques) à Paris, essaie de prévoir les conséquences économiques (chiffre d'affaires total) de produits nouveaux ou de techniques nouvelles, dans des « filières » de secteurs industriels (matières premières, composants, systèmes, applications, etc.).

Des modèles statistiques, économétriques ou autres, au niveau *des agrégats*, assortis de « coefficients techniques » pour tenir compte des transferts technologiques. Ces coefficients, qui ne peuvent représenter que de petites variations sur des périodes relativement courtes — c'est-à-dire, dans la plupart des cas, la diffusion de techniques existantes sur cinq ans au plus — résultent habituellement d'une

évaluation distincte plus ou moins complète. La mise à jour de ces coefficients permet d'actualiser facilement le modèle complexe. Cette méthode est, par exemple, utilisée par le Battelle Memorial Institute dans son modèle RAS (variante du modèle Stone) et, semble-t-il, dans de nombreux autres cas. On peut également s'attendre à ce que de nombreux modèles économiques statistiques utilisent des coefficients qui — sans qu'on en prenne totalement conscience — représentent implicitement les effets des transferts technologiques horizontaux.

Il semble donc qu'il y ait un dilemme fondamental inévitable, au moins jusqu'à présent. La méthode par éléments, qui procède à un regroupement consciencieux des pièces d'une mosaïque pour faire apparaître les structures futures, est assez précise, mais rencontre des difficultés d'échelle; quant à la méthode des agrégats, elle est trop vague pour les secteurs à haut degré d'innovation (qui ont besoin de prévisions technologiques plus précises). Quelle que soit celle de ces deux méthodes que l'on adopte, la prévision technologique au niveau des agrégats ne peut donner que des solutions partielles.

On peut également utiliser, pour structurer la prévision exploratoire, différentes variantes de *représentation matricielle*, comme les matrices recherche/recherche, recherche/industrie, industrie/industrie, mises au point pour les objectifs de l'économie nationale française, et dont l'utilisation est prévue dans le cadre du Sixième Plan à venir. Toutefois, comme leur utilité est surtout reconnue en prévision normative, cette méthode de représentation sera examinée au chapitre II.4.

On a récemment espéré pouvoir utiliser l'analyse d' « input/output » dans le domaine de la prévision technologique (pour une description générale de cette méthode, voir le nouvel ouvrage de son « ré-inventeur »[1], Leontief, *réf. bibl. 152*). Siegel (*réf. bibl. 176*) avait déjà suggéré en 1953 « l'établissement de prévisions au moyen de structures détaillées du type Leontief-Evans ». Selon lui, il serait possible d'introduire explicitement dans les prévisions diverses conséquences de l'évolution technologique : produit de l'innovation industrielle, diffusion, accroissement de la productivité, substitution de matériaux, expansion du capital. Il a également proposé une séquence d'étapes courtes, chacune représentée par un tableau caractérisant un ensemble d'hypothèses, plutôt que des étapes longues.

Initialement, l'application de l'analyse d'input/output à la prévision avait été encouragée par l'espoir d'une amélioration de la prévision des deux relations habituelles entre input et output : *a*) la « fonction de production », exprimant les sorties en fonction des principales entrées, telles que la main-d'œuvre et le capital, mais ignorant des facteurs tels que l'esprit d'entreprise; *b*) la tendance de la productivité de la main-d'œuvre en fonction du temps. Cet espoir a, dans l'ensemble, été déçu.

Leontief a toujours cru que son modèle empirique d'analyse de l'équilibre général offrirait de nouvelles possibilités, et que l'avenir de l'économétrie dépendait autant de « la réussite de la recherche, essentiellement non-statistique, de perspectives analytiques prometteuses » que du raffinement des techniques statistiques. Siegel (*réf. bibl. 176*) a insisté sur l'importance de l'étude des phénomènes masqués par les grands agrégats

1. Une forme simple d'analyse d'input/output était pratiquée en France au XVIII[e] siècle, avant Adam Smith. Vers 1870, Waras en a écrit toutes les équations, y compris celles de l'évolution technologique, mais il ne les a pas résolues.

et l'utilisation du temps, et a affirmé : « Même s'il n'est pas techniquement possible d'utiliser un modèle détaillé (par exemple du type de Leontief-Evans), l'approximation d'un tel modèle permettrait de mieux apprécier la différence qui sépare les expédients de la prévision des mécanismes du monde « réel ».

L'utilisation dynamique de l'analyse d'input/output est le principal objet des études du Harvard Economic Project, pour lequel C. Alimon a déjà construit un modèle à exploiter sur calculateur en vue de prévisions intersectorielles allant jusqu'en 1975. La prévision de l'économie américaine à partir de matrices intersectorielles est limitée à des « rétrospectives », car l'établissement de ces matrices par l' « Office of Business Economics », du ministère de l'Économie est très en retard (encore que celui-ci soit progressivement rattrapé puisque les tableaux de 1963 étaient en cours d'établissement en 1966). La première tentative de déduction des tendances générales d'une comparaison de tableaux dressés pour différentes années (*réf. bibl. 103*) n'a donc guère été impressionnante : elle a mis à jour et extrapolé, en 1966, des tendances déduites d'une comparaison des tableaux de 1947 et 1958.

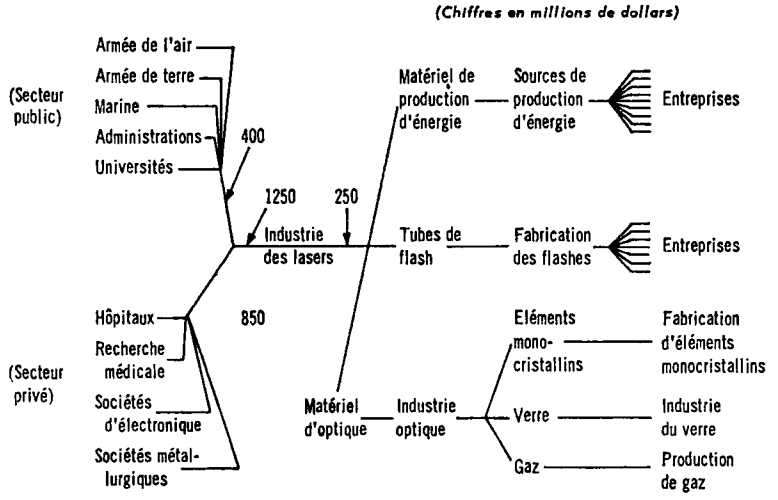
Toutefois, l'analyse d'input/output est d'ores et déjà devenue une méthode intéressante pour les problèmes de main-d'œuvre et de chômage. Entre 1961 et 1966, le Bureau américain des Statistiques de Main-d'œuvre a effectué une prévision pour 1970 et déduit des coefficients d'évolution technologique d'une comparaison entre les tableaux de l'économie des États-Unis de 1958 et 1963. La prévision faite pour 1970 a déjà été publiée, et une prévision est en cours de préparation pour 1975; elle sera disponible vers 1968.

Une étude effectuée par la RAND Corporation pour l'Armée de l'Air américaine, sur la base d'une analyse d'input/output, a tenté de prévoir la création de nouvelles industries dans le secteur aérospatial. Arthur D. Little, à Cambridge, Massachussetts, a appliqué l'analyse d'input/output à l'identification de programmes de recherche et de développement adéquats dans le domaine océanographique pour l'État d'Hawaï.

Même si la prévision pure, c'est-à-dire la déduction de nouveaux renseignements à partir d'une analyse d'input/output, ne progresse pas très vite pendant un certain temps, on peut s'attendre à ce qu'elle en vienne à être considérée comme un moyen intéressant pour étudier de manière claire et explicite les modifications structurelles. On peut suivre, explicitement, les tendances générales — telles que l'accroissement du volume des activités des « secteurs des services », l'invasion d'un secteur industriel par un autre, les variations de l'offre et de la demande de matières premières (dues à des innovations technologiques dans les matériaux synthétiques, etc.), et de nombreuses autres. Dans le cadre de la prévision technologique à moyen terme, les interactions et relations variables entre les transferts technologiques horizontaux et verticaux peuvent devenir un thème d'étude important, faisant appel aux matrices d'input/output; la tendance générale actuelle révèle un accroissement des transferts technologiques horizontaux, avec des conséquences profondes pour l'ensemble de l'économie mondiale.

Jusqu'à présent, l'utilisation la plus importante des matrices d'input/output a été la structuration et la représentation des informations plutôt que la création d'informations nouvelles. Les informations ainsi représentées peuvent alors être recréées au niveau des éléments, et uniquement pour des secteurs relativement étroits. Les deux exemples suivants ont déjà été cités comme caractéristiques de la méthode analytique des éléments :

On peut considérer les *filières de secteurs industriels* affectées par l'innovation technologique comme un élément d'entrée global, dans un tableau d'input/output. Ces filières s'identifient facilement, puisque l'on ne tient compte d'aucune contrainte ni de « rétroaction » et qu'on étudie, en première approximation, les effets d'une innovation en dehors de l'ensemble de l'économie. Cette méthode a été appliquée depuis 1930 aux problèmes d'emploi, de revenus et d'investissements. Elle est actuellement appliquée systématiquement aux techniques nouvelles par le BIPE, à Paris, dans le cadre du Sixième Plan français en préparation. L'innovation des lasers, et la prévision téméraire qui a été faite de ses conséquences pour l'économie des États-Unis en 1970 (*réf. bibl. 96*) peuvent servir d'exemples.



La Quantum Science Corporation met actuellement au point, sous le nom de « MAPTEK », la *représentation de la prévision technologique d'un secteur au moyen d'un tableau d'input/output;* il s'agit du secteur électronique des États-Unis, mais l'Europe pouvait être ultérieurement incluse dans cette prévision. Le tableau utilisé est une matrice carrée divisée, à l'heure actuelle, en 1.000 catégories, et qui sera divisée en 200 catégories d'équipement en 1968. Les 1.000 catégories actuelles concernent 3 niveaux — équipement, fonction de circuit, composants — tandis que les catégories qui seront ajoutées dans l'avenir porteront sur les produits manufacturés et les matières premières. Les prévisions sont établies pour une durée de cinq ans. La source d'information est une prévision technologique verticale complète à échéance de dix ans et plus, ainsi qu'une évaluation particulière des sociétés concurrentes et de leurs qualités techniques et autres (esprit d'entreprise, direction, etc.). On s'en sert pour modifier les « auto-évaluations » des sociétés, portant, par exemple, sur leurs chiffres d'affaires estimés.

La matrice d'input/output tient compte des contraintes qui interviennent au niveau des agrégats : les chiffres font l'objet d'estimations itératives qui donnent une structure d'input/output cohérente du secteur (les chiffres d'affaires

surestimés étant corrigés en fonction de l'évaluation de la demande), et qui sont susceptibles de s'intégrer dans l'économie nationale et dans son processus général de croissance.

On étudie actuellement les extensions suivantes du système MAPTEK, ce qui permet de se faire une idée des possibilités futures générales de l'analyse d'input/output :

accès direct à l'information;
méthode d'analyse de l'entrée de nouveaux produits; on souhaite disposer d'un programme de routine;
« analyses vectorielles » des besoins rayonnant de chaque marché dans diverses directions;
méthodes permettant d'étudier la croissance des entreprises;
introduction de prévisions probabilistes; problème difficile, car on ne peut admettre que toutes les distributions de probabilité des estimations sont gaussiennes; des expériences vont être entreprises dans l'hypothèse des distributions gaussiennes pour toutes les variables, mais les méthodes de Monte-Carlo pourront fournir ultérieurement une autre possibilité;
développement de méthodes en boucle fermée (l'input/output est linéaire, tandis que le monde ne l'est pas) avec la possibilité d'étendre les prévisions de cinq ans à dix ans;
l'objectif final est la simulation (à partir de 1967).

L'analyse d'input/output orientée vers l'avenir est également utilisée par la System Development Corporation à Santa Monica, Californie, et au Battelle Memorial Institute, à Columbus, Ohio. Des recherches y sont également faites sur les nouvelles méthodes applicables dans ce domaine.

Les tableaux d'input/output peuvent également devenir un outil intéressant pour les entreprises largement diversifiées, et dont les filiales sont étroitement interdépendantes. Un tel modèle a été mis au point par Carbonaro pour Fiat (Italie), mais n'a pas encore été appliqué; on signale qu'un autre modèle d'entreprise, basé sur un tableau input/output, est utilisé par une grande société chimique allemande. D'autres sociétés utilisent des matrices rectangulaires pour représenter leurs informations internes; naturellement, ces matrices n'ont pas à être inversées, et c'est là un grand avantage.

Pour obtenir une structure cohérente, il faut pouvoir inverser une matrice carrée complète. Cela impose une contrainte aux dimensions des matrices mique des États-Unis pour 1958 utilisait 81 classes ; le tableau de 1963 en destinées à être traitées par les calculateurs existants. Le tableau économprendra 400.

Un cas extrême de prévisions technologiques, que l'on ne mentionnera ici que brièvement, bien qu'il prenne une importance croissante à l'heure actuelle, est le *transfert technologique horizontal au niveau des agrégats*, en particulier la diffusion des techniques existantes.

Une grande partie des travaux essentiels dans ce domaine est effectuée à l'heure actuelle par un groupe d'économistes financés par la Fondation Ford, qui coordonne un programme de recherche aux liens assez lâches (voir chapitre I.5.1.). En dehors d'une masse importante de recherches empiriques sur la diffusion des techniques, la productivité, et d'autres facteurs globaux (Griliches, Mansfield, et autres, voir *réf. bibl. 42, 53, 50*, etc.), Mansfield a construit et essayé des modèles expliquant, au moyen de la courbe épidémique

stochastique, le rythme auquel des entreprises imitent une société novatrice (*réf. bibl. 157*). L'hypothèse fondamentale est analogue à celle du modèle de Hartman, décrit en II.3.3., mais Mansfield et Hensley ont utilisé des raffinements probabilistes. La comparaison du modèle à des données empiriques du secteur sidérurgique, du secteur du charbon bitumeux, du secteur ferroviaire et des brasseries (*réf. bibl. 51*), a été couronnée de succès. Mansfield a également étudié les effets de plusieurs variables sur les délais nécessaires à une entreprise particulière pour lancer une technique nouvelle (*réf. bibl. 50*) et sur la vitesse de diffusion d'une innovation (*réf. bibl. 47*). Enfin, Mansfield (*réf. bibl. 47*) a étudié les progrès techniques qui sont apparus au cours de ces dernières années dans les chemins de fer, et la manière dont ces progrès ont été appliqués; des modèles simples ont été vérifiés pour certains des phénomènes rencontrés dans cette étude.

L'un des facteurs principaux agissant sur le plan horizontal est le financement de la recherche et du développement. Mansfield (*réf. bibl. 158*) a étudié la relation entre les dépenses de recherche et de développement et le taux mesuré du progrès technique dans plusieurs industries et entreprises de production américaines. En utilisant des modèles de production et, successivement, des modèles d'évolution technique concentrée dans les investissements ou dans l'organisation, on peut déterminer provisoirement le taux de rentabilité à partir de résultats empiriques. Griliches (*réf. bibl. 93*) a étudié empiriquement la rentabilité des dépenses de recherche : les résultats obtenus dans le secteur agricole sont frappants.

Pour résumer ce qui a été dit du niveau des agrégats, on peut conclure avec Siegel (*réf. bibl. 176*) que les systèmes globaux, tels que les systèmes keynésiens, éliminent l'évolution technologique, ou n'ont que peu de choses à dire à son sujet. Les méthodes permettant d'obtenir des informations nouvelles au niveau des agrégats se sont compliquées et font de plus en plus appel à une analyse des éléments, dans l'espoir d'en tirer des relations dont l'application serait assez générale. Les calculateurs sont arrivés à temps pour évaluer ce flot d'informations.

Néanmoins, il n'a pas encore été possible de suivre le conseil de Siegel : « dépasser le stade des informations, pour entrer dans le royaume de la personnalité ». On ne l'a fait que marginalement, dans des travaux de prévision particuliers et bien délimités, tel que « MAPTEK ». Jusqu'à présent, la « différence profonde déplorée par Siegel entre le processus actuel de prise de décision individuelle et le pseudo-processus attribué à un groupe par une expression mathématique synthétique », n'a pas été réduite de manière substantielle. Est-ce que, comme Siegel le pense, et comme des preuves plus récentes semblent le confirmer, les mathématiques sont un langage trop simple pour les sciences sociales?

Nous sommes arrivés au point où deux voies peuvent converger progressivement, et asseoir sur des bases plus solides la prévision au niveau des agrégats : d'une part, l'accroissement des évaluations d'informations empiriques, afin de construire des modèles sur une base semi-empirique et, d'autre part, la réduction de la différence entre la prise de décision individuelle et le processus de groupe, à une époque où l'individualisme est en voie de disparition.

LES MÉTHODES DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE NORMATIVE

Il existe une qualité plus importante que le « savoir-faire »... C'est le « savoir-quoi-faire », qui nous permet de dire non seulement comment atteindre nos objectifs, mais aussi quels doivent être ces objectifs... Que nous nous en remettions, pour nos décisions, à des machines de métal ou à des machines de chair et de sang, aux bureaux, aux grands laboratoires, aux armées ou aux entreprises, nous n'obtiendrons jamais de réponse correcte si nous ne leur posons pas les bonnes questions.

Norbert WIENER.

II.4.1. MATRICES DE DÉCISION HORIZONTALES

La méthode matricielle est un moyen très connu et fréquemment appliqué pour rapporter les projets de recherche et de développement à divers facteurs agissant horizontalement. Les matrices bi-dimensionnelles constituent une méthode très simple et très rapide pour fixer la hiérarchie de plusieurs projets proposés. On peut aussi utiliser des matrices tri-dimensionnelles; mais un nombre supérieur de dimensions ne se prêterait pas à une représentation graphique et conduirait à une structure abstraite pleine de difficultés. On peut ainsi affirmer que les matrices bi- et tri-dimensionnelles recevront de nombreuses applications pour la préparation de décisions quand il faut tenir compte de l'un ou l'autre des importants facteurs qui agissent horizontalement.

Comme dans le cas de toutes les méthodes de prévision normative, il faut disposer d'un excès de propositions.

L'utilisation la plus courante d'une matrice dans ce contexte concerne l'optimisation des ressources disponibles en présence de contraintes données. Ces ressources peuvent ne pas être seulement des ressources financières, mais porter également sur le volume de la main-d'œuvre, sur sa qualité ou ses qualifications, sur les moyens de recherche et de fabrication, ou d'autres éléments encore. La matrice, dans ce cas, représente en quelque sorte une matrice d'efforts techniques et scientifiques dans divers domaines.

On peut trouver chez Boeing Company, à Seattle, Washington, un exemple marquant de sélection de projets sur la base de matrices de ressources. On établit d'abord, pour chaque projet, une matrice comportant sur une dimension les fonctions et les disciplines mises en jeu et, sur l'autre, les ressources de l'entreprise. Les projets entrant dans le schéma des ressources sont ensuite associés dans des matrices de plus haut niveau, jusqu'aux matrices « maîtresses », relatives aux grands domaines d'activité de l'entreprise. Ces matrices sont utilisées systématiquement comme moyen annexe, pour arriver à une utilisation optimale des ressources disponibles.

On utilise fréquemment des matrices de recherches et de possibilités commerciales pour déterminer une association de produits, principalement par itération de la matrice. Honeywell (États-Unis), qui utilise systématiquement ces matrices dans son Radiation Center, remarque que « la haute direction préfère cette méthode aux techniques de préparation des décisions plus complexes, mais ce n'est pas le cas des cadres intermédiaires ».

La NASA utilise une matrice de missions pour étudier les « points communs ». La *réf. bibl. 178* donne un exemple de matrice tri-dimensionnelle (« *Program Cube Concept* »), utilisée par IMC (International Minerals and Chemicals, à Skokie, Illinois). Ses trois dimensions sont les missions commerciales (domaines), les moyens et le temps. La dimension des moyens est divisée en moyens financiers, moyens en personnel, moyens commerciaux, moyens de ventes, moyens de production, moyens d'exploitation, état du marché des matières premières, moyens de recherche et de développement, et relations publiques. Le cube du programme est le fondement du « Project Exploratory Planning » (P-E-P) de la IMC. Une planification appropriée réagit sur l'ensemble du cube, et non pas seulement sur certaines de ses parties. Les dimensions des missions commerciales et des moyens facilitent l'utilisation optimum des possibilités de l'entreprise à un instant donné, de manière analogue à la méthode adoptée par Boeing; la dimension temporelle, pour sa part, assure la continuité du développement dans les domaines d'intérêt.

Un exemple d'utilisation d'une matrice horizontale au niveau des agrégats, en vue d'objectifs normatifs ultimes, est fourni par la *matrice recherche/recherche*, que la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique met au point actuellement en France. Cette matrice est conçue afin de faire apparaître (et ultérieurement de prévoir) les conséquences que les progrès réalisés dans un domaine scientifique peuvent avoir pour un autre domaine. A l'heure actuelle, on utilise des points de quatre tailles différentes pour représenter l'importance des relations d'input/output. On envisage également de créer une matrice de l'information scientifique et de la recherche.

II.4.2. Matrices de décision verticales

Jusqu'à présent, l'utilisation des matrices comme base de prévision normative impliquant des transferts technologiques verticaux ne semble pas encore avoir fait l'objet d'études très poussées. Une raison évidente en est la difficulté éprouvée pour quantifier les relations entre les différents niveaux. Ayres (*réf. bibl. 89*) a étudié brièvement les possibilités de ces matrices.

En France, une *matrice bi-dimensionnelle recherche/industrie*, mise au point par la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique sera utilisée pour les problèmes associés au Sixième Plan national. Lorsque cette matrice a été établie, en 1961, elle englobait 35 secteurs industriels. Le système a été modifié, et ses subdivisions sont plus poussées; la classification industrielle de l'INSEE, largement employée en France à d'autres fins, est trop détaillée pour pouvoir être utilisée dans la matrice simple envisagée à l'heure actuelle. Comme dans le cas de la matrice recherche/recherche, les relations sont exprimées actuellement par des points de quatre tailles différentes. La prochaine étape portera sur une théorie quantitative des interrelations entre certaines zones particulières de la matrice. L'objectif final est l'établissement d'une théorie quantitative de la relation entre l'investissement et le profit. On y inclura également, dans l'avenir, la participation française aux programmes internationaux de recherche en coopération.

Le « *Project Forecast* » (1963), programme ambitieux de l'Armée de l'Air américaine, fait appel à une matrice mission/technique et à une matrice science/technique. La Division Autonetics de North American Aviation, à Anaheim en Californie, utilise parfois des matrices recherche/programme, afin de donner à la haute direction une « impression » des conséquences des nouveaux développements dans de nombreux domaines. La NASA utilise un certain nombre de matrices « exotiques » pour faciliter la préparation des décisions.

Le Stanford Research Institute propose habituellement aux entreprises, dans le cadre de ses services consultatifs, une « banque d'informations », variante d'une matrice de décision verticale tri-dimensionnelle, que l'on peut également représenter en deux dimensions (en plaçant les colonnes produits, clients, et moyens l'une à côté de l'autre) :

PHASE DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT	PRODUIT		CLIENT		MOYENS	
	LEQUEL	COMMENT	LEQUEL	COMMENT	LESQUELS	COMMENT
Découverte						
Création						
Concrétisation						
Développement						

Une banque d'informations, utilisée par la Division de Los Angeles de la North American Aviation, pour calculer les limites et les contraintes techniques et non-techniques dans le cadre d'une analyse de mission, présente apparemment une structure analogue.

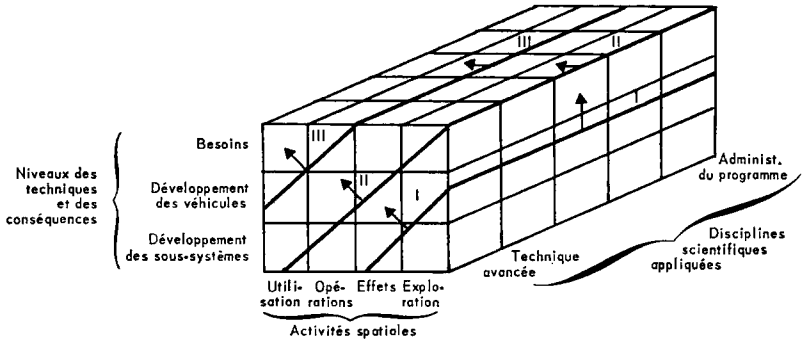
Nous avons déjà mentionné (voir section I.4.2.) la matrice missions/matériaux de la National Academy of Sciences des États-Unis qui est mise périodiquement à jour.

Walter, de la « Space and Information Division » de North American Aviation à Downey, Californie, a mis au point une matrice tri-dimensionnelle très ambitieuse qui atteint les niveaux d'application finale les plus élevés de la société. C'est la « matrice de développement d'un système total » adoptée pour le Programme spatial américain; elle a été construite par Walter pour quatre composantes du programme — NASA, ministère de la Défense, ESSA, Secteur commercial — chaque composante étant divisée selon deux cadres temporels différents — avant 1970, après 1970 — de sorte que l'ensemble du programme exige huit matrices.

Au risque de la simplifier à l'excès, on peut décrire la méthode de Walter, qui n'a pas encore fait l'objet d'une publication[1], comme un prisme rectangulaire à trois dimensions : niveaux des techniques et des conséquences (mise au point des composants et des sous-systèmes, mise au point des systèmes de véhicules et, bientôt, niveau des besoins et des objectifs sociaux); activités spatiales (exploration du milieu spatial, effets du milieu spatial, mise au point de techniques d'opérations spatiales, utilisation des milieux spatiaux, etc.); disciplines scientifiques appliquées ou gammes d'adminis-

1. Cette brève description néglige plusieurs détails. On espère que M. Walter en présentera un compte rendu complet, mais le présent exposé permettra de se faire une idée exacte des principaux aspects de la méthode.

tration de la recherche (depuis le programme de technique avancée jusqu'à l'administration du programme). Dans le domaine de la prévision, les matrices ont pour avantage essentiel de discipliner la pensée et d'exiger explicitement la définition des utilisations finales souhaitées. (« L'espace est un milieu opérationnel pour le profit de l'homme »). Elles obligent à adopter une méthode de « système total » jusqu'aux niveaux techniques, par exemple en y faisant



I. Phase de planification initiale
II. Phase de planification intermédiaire
III. Phase de planification finale

figurer les systèmes logistiques (communications, moyens opérationnels, etc.) qui comprennent le plus important et le plus critique des éléments, mais qui sont souvent négligés dans la prévision et la planification des véhicules spatiaux. Dans la phase de planification, la matrice sert de diagramme PERT simplifié, et assure la représentation du « système total »; au fur et à mesure que la planification et la réalisation évoluent, la « section » (comme le représente la figure) se déplace le long du prisme tout entier.

Cette méthode, appliquée par l'une des grandes sociétés aérospatiales américaines, a été encouragée par l'attitude implicite du ministère de la Défense à l'époque de McNamara : seules sont intéressantes les propositions pour lesquelles les utilisations finales sont clairement visibles. La méthode constitue aussi un exemple remarquable de l'attitude fondamentale adoptée par certaines grandes entreprises des États-Unis, qui s'efforcent d'incorporer leurs objectifs propres dans le cadre d'objectifs nationaux et sociaux. North American Aviation est la première entreprise à avoir mis au point une méthode expressément dans ce but!

II.4.3. Méthodes simples de sélection des projets fondées sur la recherche opérationnelle

La recherche opérationnelle fournit des méthodes analytiques permettant de trouver, à partir d'un grand nombre de combinaisons réalisables, la combinaison optimale pour atteindre un objectif donné sous certaines contraintes. Les méthodes analytiques appliquées jusqu'à présent à la sélection des projets sont largement utilisées dans d'autres domaines de la recherche opérationnelle, surtout dans les techniques de gestion :

La programmation linéaire, méthode permettant de formuler un problème d'optimisation sous forme de relations mathématiques linéaires — équations, inéquations, ou inéquations doubles — et de résoudre ces relations simultanément, afin d'obtenir l'optimum désiré (habituellement un maximum ou un minimum);

La programmation quadratique, qui étend le domaine d'application de la programmation linéaire en faisant intervenir des relations du second degré — ce qui peut être particulièrement intéressant pour l'approximation de relations de coûts non-linéaires — ou des distributions de probabilités dans certains intervalles; elle permet, dans des cas particuliers, de réduire le calcul à celui d'une forme linéaire, ce qui permet un traitement beaucoup plus facile;

La programmation dynamique, méthode de résolution des problèmes de programmation interdépendants à plusieurs étapes (les décisions prises à une étape devenant les conditions qui gouvernent l'étape suivante); dans des cas particuliers, les problèmes de programmation dynamique, tels que ceux de minimisation des coûts totaux sur plusieurs étapes successives, peuvent être résolus par une programmation quadratique.

La solution la plus naturelle du problème d'optimisation du choix des projets consiste à maximiser la valeur nette totale des projets dans une certaine contrainte budgétaire. En général, le principal facteur d'entrée du problème est donc constitué par un ensemble de valeurs nettes estimées pour les projets. On constate donc que la forme la plus commune des modèles de décision utilisant des techniques de recherche opérationnelle est une combinaison d'analyses économiques, ayant essentiellement pour but de déterminer la valeur nette actuelle des projets, à partir de caractéristiques estimées. Nous avons déjà mentionné à la section II.3.10 à propos de « l'Analyse économique », deux méthodes de ce type mises au point par Dean et Sengupta (*réf. bibl. 113*) et par Cramer et Smith (*réf. bibl. 110*).

Asher (*réf. bibl. 88*) a construit un modèle de programmation linéaire pour une entreprise pharmaceutique, avec les variables suivantes : projets de recherche possibles, intérêt de la réussite, probabilité de succès, coût par homme-heure, hommes-heures par essai, nombre d'hommes-heures disponibles, et produits chimiques disponibles. Le critère de classement est la valeur nette maximum probable, compte tenu de la main-d'œuvre et des produits chimiques disponibles. A partir des chiffres recueillis pour 1958 aux États-Unis — où l'industrie pharmaceutique a essayé 115.000 composés et commercialisé 40 nouveaux produits chimiques seulement (!) — la probabilité de succès retenue a été de 3 pour 10.000, avec une distribution de Poisson (qui décrit un grand nombre d'évènements aléatoires dans la nature).

Freeman (*réf. bibl. 122*) propose une formule de programmation linéaire pour déterminer l'importance du budget de recherche et son affectation entre projets concurrents. Il détermine les valeurs nettes de chaque projet, la distribution de probabilité de chaque valeur étant définie à partir de renseignements antérieurs.

Hess (*réf. bibl. 135*) a mis au point une formule de programmation dynamique tenant compte des caractéristiques de décision séquentielles, au fur et à mesure qu'elles se présentent, par exemple, dans une entreprise pharmaceutique. L'objectif est la maximisation de la valeur nette totale attendue, avec ou sans contraintes budgétaires; ce second problème est difficile à

résoudre. Un résultat important, dans le cas de limitations budgétaires, est la répartition des dépenses des projets optimum en fonction du temps. Hess envisage trois méthodes différentes pour introduire la « probabilité de succès » dans la formulation dynamique : estimations directes par des experts, identification avec des structures antérieures et des fonctions de probabilité, caractérisation de la fonction et des paramètres de la probabilité de succès (par exemple, mise au point d'une formule permettant de juger de la valeur des médicaments).

Rosen et Sonder (*réf. bibl. 172*) ont modifié la méthode de programmation dynamique de Hess en la replaçant dans le contexte de divers critères d'optimisation, afin d'obtenir des structures de dépenses optimales : *a*) maximisation du profit escompté; *b*) maximisation de la « production totale escomptée », c'est-à-dire du succès attendu des recherches; *c*) obtention d'un profit égal au moins à 55 fois les dépenses non-actualisées (politique qui a apparemment été envisagée pour une entreprise pharmaceutique); *d*) optimisation de la « production escomptée pendant la vie du produit », c'est-à-dire succès global attendu au cours de la durée probable de commercialisation du produit.

II.4.4. Méthodes simples de sélection des projets, fondées sur la théorie de la décision

Des méthodes de ce type sont habituellement adoptées dans les cas où l'entreprise cherche à atteindre des objectifs dans de nombreux domaines différents, et pas seulement à faire des bénéfices, etc. Les développements technologiques militaires constituent un exemple évident de programmes de recherche que l'on ne peut envisager du seul point de vue économique.

Les applications réelles de modèles simples des théories de la décision combinent souvent des facteurs qui prennent naissance à divers niveaux des transferts technologiques — facteurs intervenant horizontalement au niveau de conséquences le plus bas; objectifs d'entreprises relevant de niveaux supérieurs mais agissant sur un niveau inférieur, etc. On considère habituellement, dans les calculs, que ces différents types de facteurs sont égaux. On peut se demander toutefois si cette méthode est bonne, encore que les modèles simples ne tiennent compte, en général, que de deux niveaux (les modèles plus importants, que nous décrirons dans la section suivante, déterminent un ordre hiérarchique en fonction du niveau).

On peut considérer les listes de contrôle, utilisées dans l'industrie depuis de nombreuses années, comme le premier pas vers une théorie de la décision. La *réf. bibl. 146* décrit les utilisations de ces listes dans l'industrie chimique américaine. Les listes peuvent couvrir jusqu'à neuf pages (Air Reduction) et le nombre de notes possibles est habituellement compris entre deux et cinq (W.R. Grace), ces notes étant exprimées, non sous forme de chiffres, mais par des qualificatifs, tels que « très favorable », « favorable », « moyen », « défavorable », « très défavorable » — qui correspondent en gros à des valeurs numériques. L' « Effort Allocating Guide for Applied Research » (Guide d'attribution des ressources à la recherche appliquée), décrit dans la *réf. bibl. 166*, est utilisé par l'Armée de l'Air américaine, à la Wright-Patterson Base, Ohio, et fait intervenir des notations numériques plus complexes. Une liste de contrôle typique peut couvrir les domaines suivants : questions financières, caractéristiques de recherche et de développement, caractéristiques de production, facteurs commerciaux, situation de l'entreprise, etc. Les listes

sont utilisées aussi bien dans les entreprises très importantes que dans des entreprises moyennes (par exemple, Nordiska Armaturfabrikerna à Linköping, Suède, qui compte 2.000 employés). Quelques entreprises ont abandonné les listes de contrôle, ou ne continuent à les utiliser que pour une partie de leurs projets; elles constatent en effet que ces projets deviennent trop complexes pour qu'une seule formule puisse recouvrir toute la diversité des travaux de recherche et de développement.

Une première tentative faite par Hetrick and Kimball (*réf. bibl. 136*) et apparemment reprise par la Marine des États-Unis, cherche à équilibrer les efforts de la recherche fondamentale en classant les connaissances entre les faits inconnus, les faits connus mais non appliqués, et les faits appliqués; des niveaux d'efforts et des vitesses de transition entre ces trois catégories ont été définis.

Un certain nombre de modèles simples reposent sur la multiplication de notations numériques pour différents facteurs. De l'Estoile, au ministère français des Armées, utilise un système de notations complexe, avec une formule à quatre facteurs : intérêt militaire, probabilité de succès technique, possibilité de réalisation en France, conséquences économiques directes et indirectes (y compris les retombées dans le secteur civil). A partir de 1967, les calculs des très nombreux projets seront effectués sur calculateur.

Mottley et Newton (*réf. bibl. 163*) ont mis au point une formule à cinq facteurs pour l'entreprise pharmaceutique Chas. Pfizer, à New York, mais n'ont utilisé qu'un système de notation rudimentaire, où les notes sont comprises entre un et trois, et correspondent à des estimations telles que « imprévisible », « bonne », et « élevée ». Les cinq facteurs sont : les chances de succès, le délai de réalisation, le coût du projet, le besoin stratégique et le gain commercial.

Gargiulo et ses collaborateurs (*réf. bibl. 124*) proposent un système d'évaluation qui tient compte des aspects techniques, économiques et temporels. Ils considèrent onze facteurs d'importance égale, auxquels sont attribuées des notes reflétant trois catégories de valeurs (« favorable », « sans opinion », « défavorable ») et reportées sur une « fiche de notation du projet ». Ils ne proposent pas d'analyse numérique, car ils ne font aucune distinction quant à l'importance relative des 11 facteurs. Les facteurs économiques et techniques sont groupés afin de donner des résultats exprimés sous forme numérique de 1 à 10. Le choix des facteurs révèle un raffinement considérable :

Objectifs du projet;
Nouveauté du projet ou de la méthode;
Relations techniques du projet avec les activités actuelles ou passées des laboratoires;
Possibilité technique de réalisation du projet, portant sur la possibilité d'interprétation et l'appréciation de la méthodologie utilisée, les disponibilités en personnel, en place, en équipements et en moyens spéciaux, et enfin sur l'insertion du projet dans les autres activités du laboratoire;
Résultats escomptés du projet;
Estimation de l'enthousiasme du directeur de projet (!);
Importance des travaux des laboratoires concurrents dans le domaine considéré;
Potentiel d'utilisation du produit pouvant résulter du projet;
Stabilité prévue du marché;

Protection par des brevets;
Délai nécessaire pour atteindre les objectifs du projet.

Ansoff (*réf. bibl. 87*) présente une combinaison intéressante d'analyse économique et de théorie de la décision. Sa formule s'écrit :

$$\text{Note de mérite} = \frac{E \cdot p_s \cdot p_b}{C \cdot j} (M_t + M_b) \cdot S \qquad (53)$$

E = Profits totaux estimés au cours de la durée de vie du produit.
p_s = Probabilité de succès technique.
p_b = Probabilité de succès commercial.
C = Coût total et investissements directs.
j = Économie résultant pour C de l'utilisation collective des moyens, etc.
M_t = Mérite technique.
M_b = Mérite commercial.
S = Intérêt stratégique du projet envisagé, par rapport à d'autres projets, d'autres produits, et d'autres marchés de l'entreprise.

Les cinq premiers facteurs représentent une analyse économique de la valeur non-actualisée du projet, y compris les facteurs de risque. Les trois autres facteurs — mérite technique, mérite commercial, intérêt stratégique — tiennent compte de considérations d'un ordre supérieur pour l'entreprise. La note de mérite qui en résulte devrait, d'après Ansoff, être proportionnelle au rendement des investissements, mais ce n'est qu'en partie vrai dans certains cas.

A cet égard, Ansoff propose également d'évaluer le risque, en divisant le coût des travaux de recherche appliquée par la note de mérite calculée comme ci-dessus. Cela donne approximativement le coût monétaire du risque pour la première étape (recherche appliquée) par rapport au taux de rentabilité des investissements.

Pound (*réf. bibl. 167*) utilise, dans son « modèle de valeur escomptée », un graphe de pertinence à petite échelle. Il attribue des poids numériques aux objectifs, et les multiplie par la contribution probable de chaque projet aux objectifs généraux. Un exemple simple permet d'illustrer cette méthode :

	OBJECTIFS	
	FAIRE DES BÉNÉFICES	ACQUÉRIR DES CONNAISSANCES
Coefficients de pondération (stipulés)	0,7	0,3
Projet A (estimé)	5	8
Projet B (estimé)	7	1

Valeur du Projet A = (5 × 0,7) + (8 × 0,3) = 5,9
Valeur du Projet B = (7 × 0,7) + (1 × 0,3) = 5,2

Les graphes de pertinence sont utilisés dans les modèles à grande échelle que nous décrirons dans la section suivante, II.4.5.

Beckwith (*réf. bibl. 92*) a mis au point un modèle pour estimer la probabilité, pour une proposition donnée, d'aboutir à un marché. Les renseignements de base concernent notamment l'identité des concurrents probables,

la connaissance des facteurs qui influencent l'attribution du marché et l'aptitude à porter un jugement relatif sur l'organisation de l'entreprise. Ce modèle est utile dans le cas de programmes bien définis, par exemple les programmes de recherche militaire.

La formule utilisée par la Marine des États-Unis (*réf. bibl. 184*) pour déterminer les besoins d'un programme de recherche sur les effets des armes nucléaires, dans l'hypothèse d'un moratoire prolongé sur les essais dans l'atmosphère, peut être également utile dans le cas des programmes de recherche militaire :

$$(RR)_i = \frac{(RI)_i\,(1 - P_i)}{\sum_{i=1}^{n} [(RI)_i\,(1 - P_i)]} \tag{54}$$

où $(RR)_i$ = besoins de recherche relatifs pour le $i^{ème}$ système d'armes;
$(RI)_i$ = importance relative du $i^{ème}$ système d'armes ;
P_i = possibilité de prédire les effets du $i^{ème}$ système d'armes;
n = nombre de systèmes d'armes à étudier.

D'après cette formule, moins l'effet est prévisible (c'est-à-dire plus on est loin de l'objectif), plus les besoins de recherche sont grands.

Pour résumer, on peut dire que les petits modèles, fondés sur la théorie de la décision, ont été très utiles pour discipliner les réflexions préliminaires et tenir compte de facteurs d'ordre supérieur. L'inconvénient principal de toutes ces méthodes individuelles est de réduire des considérations multidimensionnelles, telles que la « réussite du projet », à de simples indices de probabilité, tandis que d'autres facteurs, uni-dimensionnels, présentent tout autant d'importance pour le résultat global.

L'application de systèmes hiérarchiques (par exemple les graphes de pertinence) aux problèmes à deux niveaux — ce qui est le cas de la plupart des problèmes auxquels s'appliquent les méthodes décrites dans cette section — permet de définir de façon plus claire les interdépendances, sans alourdir excessivement les calculs, tout en facilitant les modifications et les mises à jour.

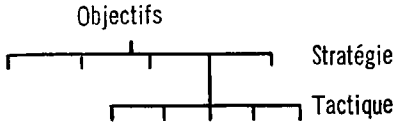
II.4.5. Systèmes de décision intégrés, fondés sur les graphes de pertinence

Le concept de graphes ou « arbres » de pertinence (ou encore graphes de confiance) n'est pas nouveau. C'est Churchman et ses collaborateurs qui ont, les premiers, préconisé son emploi pour la préparation de décisions dans des contextes industriels généraux (*réf. bibl. 106*).

Nous avons fait état, à la section précédente, II.4.4., d'une analyse numérique à petite échelle effectuée par Pound et utilisant un graphe de pertinence à deux niveaux.

On se sert, pour faciliter la préparation des décisions, de graphes de pertinence qualitatifs, appelés « graphes de décision ». Une importante société de semi-conducteurs, aux États-Unis, utilise un graphe technologique pour ses problèmes techniques. La Division « Autonetics » de la North American Aviation, à Anaheim, Californie, met actuellement en service le système SCORE (Select Concrete Objectives for Research Emphasis) afin de relier

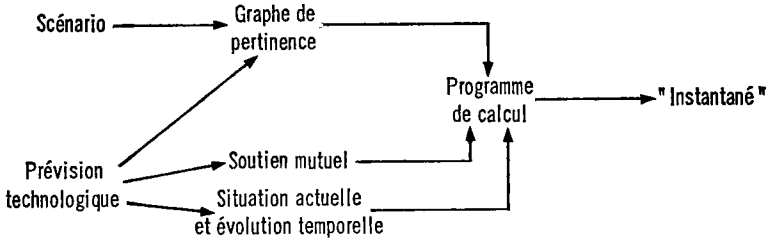
les objectifs futurs, à échéance de cinq à quinze ans, à la stratégie et à la tactique de l'entreprise et d'en déterminer les points-clés.



Le graphe de pertinence à trois niveaux adopté dans ce cas est calqué sur la structure de la planification technologique d'une entreprise électronique (voir section III.2.). Les critères de sélection porteront sur les besoins des clients (l'État), la concurrence, les tendances industrielles, les ressources de la Division « Autonetics ». L'objectif principal est d'associer les objectifs lointains aux décisions à prendre immédiatement. C'est le « Planning Programming Budgeting System » (PPBS) du ministère américain de la Défense (voir Annexe A.2.4.) qui fournit l'exemple le plus important d'un graphe de décision.

La première application à grande échelle des graphes de pertinence à analyse numérique pour la préparation des décisions a été faite par le département des Sciences militaires et spatiales de Honeywell, à Washington, D.C. C'est le fameux système PATTERN (« Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers »), qui a été utilisé pour la première fois dans les activités aéronautiques et spatiales de Honeywell en 1963, et transformé en 1964 en un système complet, couvrant toutes les activités militaires et spatiales auxquelles Honeywell s'intéresse directement ou indirectement. Continuellement élargi et perfectionné, le système PATTERN a été décrit dans diverses publications (*réf. bibl. 117, 143, 147, 150, 177*).

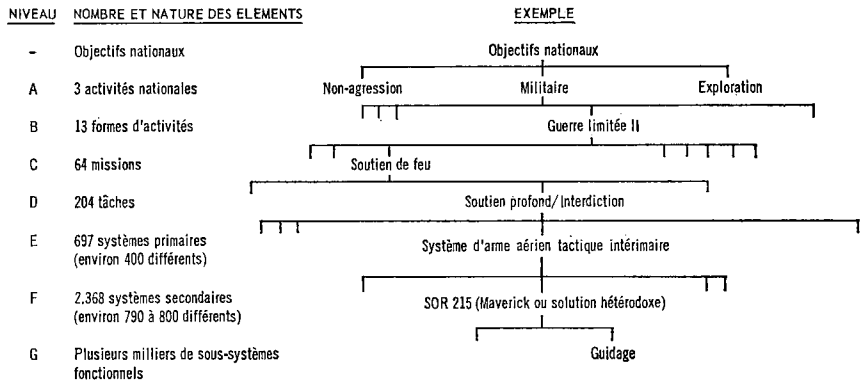
Le schéma suivant illustre l'ensemble des tâches qui doivent être accomplies avant que l'on puisse mettre au point un programme de calcul :



Un scénario qualitatif permet de déterminer les missions, les activités, les objectifs nationaux, etc., pour la période comprise entre 1970 et 1980, et si possible au-delà. Ces résultats servent ensuite à construire un graphe de pertinence et à attribuer des notes d'importance, comme on le verra plus en détail ci-dessous. En même temps, une prévision technologique est établie au niveau des systèmes primaires et aux niveaux inférieurs, par l'emploi intensif de courbes-enveloppes et d'extrapolation des tendances (voir section II.3.4.),

ainsi que d'autres formes de prévisions exploratoires qualitatives et quantitatives. Outre l'identification des systèmes primaires, des systèmes secondaires, des sous-systèmes fonctionnels et de leurs relations, utilisés pour le graphe de pertinence, deux ensembles de caractéristiques sont déterminés explicitement : d'une part, le soutien mutuel, qui reflète les retombées dans d'autres domaines, ou la croissance technologique générale que l'on peut attendre de l'étude d'un système technique particulier; d'autre part, la situation actuelle (recherche, développement exploratoire, développement avancé, conception des produits existants), et l'évolution temporelle des systèmes et sous-systèmes. On *peut* utiliser ces informations d'entrée dans le programme de calcul si l'on désire perfectionner l'analyse; à l'heure actuelle, Honeywell n'utilise pas les évaluations du soutien mutuel (autres que celles qui concernent des systèmes identiques appliqués à des missions différentes, etc.) et ne fait intervenir la situation actuelle ou l'évolution temporelle que pour classer tous les projets dont l'étude est déjà bien avancée.

Le graphe de pertinence militaire et spatial de Honeywell, dans sa version de 1966, se présente de la façon suivante :



Les niveaux du graphe de pertinence correspondent aux niveaux de transfert technologique entre les systèmes sociaux (la nation) et les ressources techniques ou la technologie. Si on se réfère au système de transferts technologiques utilisé dans le présent rapport, ce graphe de pertinence couvre cinq ou six des huit niveaux considérés. C'est un résultat unique obtenu jusqu'à présent pour un système de prévision intégré.

A partir du scénario, on détermine un certain nombre de critères pour les différents niveaux du graphe de pertinence. Les critères généraux des niveaux A, B et C, par exemple, comprennent : la survie nationale, la menace, la structure des forces, la capacité, le prestige; pour les niveaux D et E : le rapport coût-efficacité, la satisfaction des besoins, les conséquences scientifiques; pour les niveaux F et G : la possibilité de réalisation, les efforts, le risque, les améliorations de la capacité, les avantages opérationnels.

Pour chacun des sept niveaux A à G, une matrice permet d'adapter les résultats aux critères. (Pour être précis, à partir du niveau C, et vers le bas, on établit une matrice pour chaque « famille » du niveau, c'est-à-dire pour chaque famille des sept ou huit missions qui se trouvent sous l'une des treize

formes d'activité; ce n'est là qu'une procédure pratique destinée à faciliter les calculs — logiquement, il devrait y avoir une matrice à chaque niveau). Cette matrice a la forme générale suivante :

CRITÈRES	POIDS DES CRITÈRES	THÈMES DU NIVEAU I						
		a	b	c	.....	j	.....	n
α	q_α	$s^\alpha{}_a$	$s^\alpha{}_b$	$s^\alpha{}_c$		$s^\alpha{}_j$		$s^\alpha{}_n$
β	q_β	$s^\beta{}_a$	$s^\beta{}_b$	$s^\beta{}_c$		$s^\beta{}_j$		$s^\beta{}_n$
γ	q_γ	$s^\gamma{}_a$	$s^\gamma{}_b$	$s^\gamma{}_c$		$s^\gamma{}_j$		$s^\gamma{}_n$
⋮	⋮							
$\varkappa$	$q_\varkappa$	$s^\varkappa{}_a$	$s^\varkappa{}_b$	$s^\varkappa{}_c$		$s^\varkappa{}_j$		$s^\varkappa{}_n$
⋮	⋮							
ν	q_ν	$s^\nu{}_a$	$s^\nu{}_b$	$s^\nu{}_c$		$s^\nu{}_j$		$s^\nu{}_n$
		$r^a{}_i$	$r^b{}_i$	$r^c{}_i$	.....	r^j_i	.....	$r^n{}_i$

sxj = Note d'importance (quelle est l'importance de la contribution du résultat j au critère $\varkappa$?).
rij = Note de pertinence du sujet j au niveau i.

On évalue, à partir du scénario, les critères $\varkappa$, les coefficients de pondération des critères $q_\varkappa$, et les notes d'importance $s^\varkappa{}_j$. L'établissement de ces matrices est un travail important, exigeant la synthèse d'appréciations d'experts (Honeywell a fait appel à 20 experts à plein temps pendant six mois, et leurs appréciations ont été renforcées par les avis d'experts appartenant à divers départements). Ce sera peut-être une application intéressante des méthodes qui permettent d'améliorer les techniques de réflexion intuitive, telles que la méthode « Delphi » (voir section II.2.3.). A l'heure actuelle, Honeywell effectue une analyse de sensibilité afin de déterminer l'influence des variations des jugements de valeur des experts sur les résultats ultimes.

Deux conditions de normalisation sont introduites pour assurer l'homogénéité du système logique :

$$\sum_{\varkappa=\alpha}^{\nu} q_\varkappa = 1 \tag{55}$$

et

$$\sum_{j=a}^{n} s^\varkappa{}_j = 1 \tag{56}$$

A partir du niveau C, en allant vers le bas, les matrices établies pour les « familles » sont normalisées à l'unité. (Cela ne perturbe pas le système logique utilisé, tant que, dans toutes les sections, la somme des notes de pertinence est égale à 1).

La note de pertinence est alors définie par :

$$r^j{}_i = \sum_{\varkappa=\alpha}^{\nu} q_\varkappa s^\varkappa{}_j \tag{57}$$

et l'on voit facilement que les conditions de normalisation (55) et (56) entraînent la normalisation à l'unité des notes de pertinence :

$$\sum_{j=a}^{n} r'_{ij} = 1 \qquad (58)$$

La définition (57) de la note de pertinence est arbitraire mais semble relever d'un choix naturel, et reflète bien le problème initial que pose l'analyse des contributions d'un thème aux critères d'importance variée.

Un exemple permettra d'illustrer cette procédure simple : pour les trois thèmes de niveau A du graphe de pertinence, trois critères ont été établis, la matrice des poids attribués à ces critères et des notes d'importance étant la suivante :

CRITÈRES	COEFFICIENT DE PONDÉRATION	THÈMES DE NIVEAU A		
		NON-AGRESSION	MILITAIRE	EXPLORATION (TERRE ET ESPACE)
Assurer la survie nationale	0,6	0,3	0,6	0,1
Adopter une position vraisemblable	0,3	0,1	0,6	0,3
Créer une opinion mondiale favorable	0,1	0,1	0,4	0,5
		0,22	0,58	0,20

Les notes de pertinence se trouvent dans la ligne du bas, et sont calculées conformément à l'équation (57). La note de pertinence de l'activité militaire, par exemple, se calcule de la manière suivante :

$$(0{,}6 \times 0{,}6) + (0{,}6 \times 0{,}3) + (0{,}4 \times 0{,}1) = 0{,}58.$$

Honeywell appelle ce système « l'attribution horizontale de jugements de valeur » et remarque (*réf. bibl. 143*) que « ce choix a été adopté parce que, dans le graphe, les informations concernent des besoins « valorisés » en ce sens qu'il est possible de donner à un jugement comparativement marginal une valeur accrue et une fiabilité supérieure, tout en exigeant beaucoup moins de renseignements que ne le ferait une méthode d'attribution absolue verticale. En outre, on peut contrôler le gain ou le facteur d'échelle de chaque section, et satisfaire les critères mathématiques de subdivision sans avoir à dériver une valeur incertaine, comme l'exigerait la méthode verticale absolue. »

Les besoins et les objectifs évoluent avec le temps. En toute rigueur, ils devraient être introduits dans les calculs en fonction du temps mais, dans de nombreux cas, il serait impossible d'évaluer ces fonctions de manière précise. Dans la phase actuelle, l'itération utilisée pour adapter au scénario une époque future donnée, avec des mises à jour périodiques, semble être tout à fait suffisante.

On obtient alors la note de pertinence totale d'un résultat particulier, à un niveau quelconque, en multipliant tous les termes jusqu'au sommet du graphe (ou vers le bas à partir du sommet jusqu'au niveau du résultat en question, par exemple jusqu'au niveau E pour un système primaire particulier,

jusqu'au niveau G pour un sous-système fonctionnel particulier, etc.). La formule la plus simple applicable à une note de pertinence R d'un sous-système fonctionnel particulier est alors :

$$R = \prod_{i=A}^{G} r_i \tag{59}$$

Honeywell envisage toutefois un certain nombre de raffinements. Le plus important tient au fait qu'à partir du niveau D, et vers le bas, on voit apparaître de plus en plus de « points communs », c'est-à-dire des éléments (concepts, systèmes, sous-systèmes, etc.) communs à plus d'un thème et figurant plus d'une fois sur le niveau en question. Dans le diagramme de pertinence donné ci-dessus, on a déjà indiqué que, sur les 697 systèmes primaires, on n'en compte que 400 qui soient différents, et que, sur 2.368 systèmes secondaires il n'y en a guère que 790 ou 800.

Si nous représentons les notes de pertinence, tenant compte de ces raffinements, par des lettres majuscules — R_i — et si nous les étudions à chaque niveau entre A et G, nous pouvons interpréter à chacun de ces niveaux les raffinements proposés :

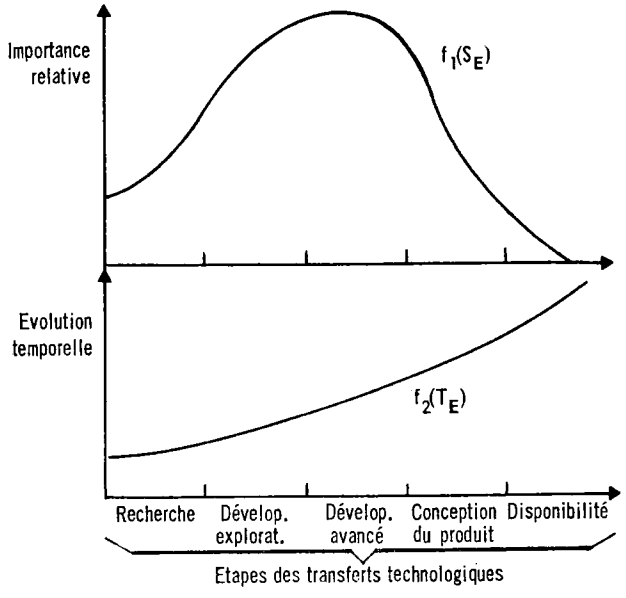
Aux niveaux A, B et C, il n'existe aucun raffinement, de sorte que

$$R_A = r_A; \qquad R_B = r_B; \qquad R_C = r_C \tag{60}$$

Au niveau D, les premiers « points communs » apparaissent, de sorte que

$$R_D = \sum_{D_o}^{D=D_o} r_D \tag{61}$$

Cette notation, utilisée par Honeywell, vise à représenter une sommation sur la note de pertinence d'un résultat particulier D_o et d'autant de résultats identiques $D = D_o$ qu'il en apparaît au niveau D, en dehors de D_o.



Au niveau E (systèmes primaires), la prévision technologique fournit une fonction de densité $f_1(S_E)$ pour la situation d'un système particulier, et une fonction de densité $f_2(T_E)$ de l'évolution dans le temps. On pourrait faire entrer les deux fonctions dans le système, de sorte que les notes de pertinence d'un résultat particulier deviendraient, au niveau E — compte tenu des « points communs » possibles :

$$R_E = \sum_{E_o}^{E=E_o} r_E f_1(S_E) f_2(T_E) \tag{62}$$

Honeywell n'utilise pas pour le moment les fonctions f_1 et f_2, mais établit pour la situation et l'évolution dans le temps, une simple matrice auxiliaire, par exemple :

	RECHERCHE	DÉVELOPPEMENT EXPLORATOIRE	DÉVELOPPEMENT AVANCÉ	CONCEPTION DU PRODUIT	DISPONIBILITÉ
Situation actuelle		X			
Évolution temporelle		3	2	2	1

Cette matrice indiquerait que le système primaire en question est dans la phase de développement exploratoire, que le délai nécessaire pour terminer cette phase est évalué à trois ans, et que le délai nécessaire entre le développement avancé et la conception du produit est estimé à deux ans, etc. Ces indications sont, à l'heure actuelle, utilisées pour classer les projets disponibles ou parvenus à la phase de conception des produits (l'objectif étant de plonger dans un avenir plus lointain), et pour se faire une idée des phases de développement sur lesquelles on peut compter au cours de la période d'échéance considérée. Honeywell s'intéresse essentiellement aux travaux de développement; il retient donc pour le système PATTERN les systèmes qui se trouvent dans leurs phases de développement exploratoire ou avancé. (Dans le cas d'un laboratoire de recherche, au contraire, l'accent serait mis sur la phase de recherche).

D'après Honeywell, le niveau F (systèmes secondaires) serait le niveau adéquat pour introduire une « note de soutien mutuel » $x_F \geqslant 1$, qui reflète la croissance technologique générale que l'on pourrait obtenir — par une accélération extérieure — grâce aux travaux effectués dans un système secondaire particulier. Cet effet de « soutien mutuel » serait plus important que les simples économies résultant de l'utilisation des « points communs ». La note de pertinence, compte tenu ici encore des « points communs », serait alors pour le niveau F :

$$R_F = \sum_{F_o}^{F=F_o} r_F x_F \tag{63}$$

Honeywell n'utilise pas ce raffinement à l'heure actuelle.

Enfin, au niveau G (sous-systèmes fonctionnels), la prévision technologique fournit de nouveau, comme dans le cas du niveau E, une fonction de densité $f_3(S_G)$ pour la situation actuelle et une fonction de densité $f_4(T_G)$

pour l'évolution dans le temps. Tenant compte des « points communs », la note de pertinence devient :

$$R_G = \sum_{G_o}^{G=G_o} r_G f_3 (S_G) f_4 (T_G) \tag{64}$$

Si l'on introduit un facteur complémentaire $\delta (r_{A \ldots G}, S_{EG}, T_{EG})$ qui « reflète l'intention de poursuivre de manière plus détaillée l'estimation des incertitudes dans l'attribution des notes de pertinence à tous les niveaux de A à G, et des notes de situation actuelle et d'évolution dans le temps à leurs niveaux appropriés E et G dans l'ensemble de la structure », la formule simple (59) prend alors la forme modifiée :

$$\begin{aligned} R &= \prod_{i=A}^{G} R_i \, \delta (r_{A \ldots G}, S_{EG}, T_{EG}) = \\ &= \sum_{D_o}^{D=D_o} \prod_{i=A}^{D} r_i \cdot \sum_{E_o}^{E=E_o} r_E f_1 (S_E) f_2 (T_E) \cdot \sum_{F_o}^{F=F_o} r_F x_F . \\ &\cdot \sum_{G}^{G=G_o} r_G f_3 (S_G) f_4 (T_G) \cdot \delta (r_{A \ldots G}, S_{EG}, T_{EG}) \end{aligned} \tag{65}$$

On peut étendre ou modifier de nombreuses manières les raffinements figurant dans cette formule. Toutefois, les suggestions faites par Honeywell montrent clairement certaines des possibilités les plus évidentes. L'un des plus grands avantages de la méthode PATTERN est sa souplesse.

Une amélioration possible, qui n'est pas sans importance, est en cours d'étude chez Honeywell. Elle porte sur la possibilité d'utiliser des estimations probabilistes des coefficients de pondération et des notes d'importance. Il semble, en principe, que cette possibilité existe.

Plus un système tel que PATTERN est orienté vers un ensemble particulier de problèmes, plus il semble capable de fournir de nouvelles informations. Les notes totales de pertinence d'un système sans aucune orientation initiale n'auraient pas beaucoup plus de signification que la confirmation des informations originales. Dans l'exemple de Honeywell, cette orientation est constituée par la concentration sur des projets qui se trouvent dans leur phase initiale de développement, ou dans leur phase de prévision ou de planification. Les principales réponses fournies par PATTERN portent sur les points suivants :

« Valorisation » des efforts de recherche et de développement, c'est-à-dire domaines dans lesquels doivent se concentrer les programmes et les missions;

Insuffisances techniques relatives aux systèmes, aux concepts et aux besoins généraux, avec une mesure de leur importance relative;

Valeur relative des améliorations techniques choisies dans un domaine donné; plus grande précision, coût inférieur, poids plus faible, par exemple;

Appréciation des différentes solutions possibles, conformément aux objectifs principaux.

Les premières indications fournies par le système PATTERN de Honeywell ont été, dans certains cas, surprenantes. On se rappelle que l'exemple numérique donné ci-dessus pour les éléments du niveau A fournissait les

notes de pertinence suivantes : non-agression : 0,22; militaire : 0,58; exploration : 0,20. A ce niveau, l'exploration terrestre et spatiale était classée en dernier. Mais au niveau C (mission), les trois missions se classant les premières relevaient des activités d'exploration : exploration et utilisation de l'hydrosphère, exploration et utilisation de l'exosphère, exploration des corps du système solaire. Et, dans leur sillage se trouvaient des missions appartenant à l'activité militaire dans les domaines de la stratégie, du maintien de l'ordre, du contrôle des armements, de la tactique, etc. Au niveau D (systèmes primaires), qui débute par un observatoire spatial, Honeywell a déjà pu prédire à la fin de 1962, lors des essais du premier système PATTERN, l'importance future de l'avion à décollage et atterrissage courts) pour le maintien de l'ordre. Dans le domaine du guidage des fusées et des avions, dans lequel la société est au premier plan, le système PATTERN a montré à Honeywell qu'il avait tort de s'orienter vers une plus grande précision et une dérive plus faible des systèmes, c'est-à-dire vers des performances améliorées, et qu'il valait mieux rechercher l'abaissement des coûts, car on pouvait utiliser un guidage sans inertie avec un assez grand nombre de systèmes dont le coût total est relativement bas.

Il est évident que le système PATTERN peut également servir à l'évaluation de nombreux problèmes liés à la recherche et au développement, tels que la planification qualitative et quantitative de la main-d'œuvre.

On peut illustrer les aspects économiques de la mise au point et du fonctionnement d'un système tel que PATTERN par les efforts que Honeywell a consacrés aux graphes de pertinence dans les domaines de caractère militaire et spatial.

La mise au point initiale a été réalisée en six mois par 20 experts, qui ont fréquemment fait appel à des experts travaillant dans les divers départements techniques de Honeywell. Il a fallu préparer 16.000 cartes perforées. On peut estimer le coût de la mise au point initiale à 250.000 ou 300.000 dollars.

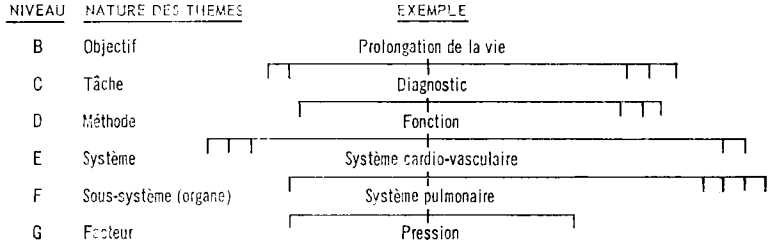
L'extension et la mise à jour sont effectuées par 14 personnes hautement qualifiées, dont 50 % d'anciens militaires et 50 % d'anciens ingénieurs, ayant tous l'expérience de la recherche opérationnelle et de l'analyse des systèmes. La mise à jour se fait une fois par an et porte sur les trois points suivants : *a*) modification du scénario; *b*) mise à jour du système (adjonctions et abandons); *c*) modification des coefficients de pondération. La mise à jour n'est pas un travail très absorbant, et ne prend qu'une partie du temps des 14 personnes intéressées; toutefois, il vaut mieux dans ce cas avoir une activité exercée à temps partiel par un groupe de cette importance plutôt que des travaux à plein temps effectués par deux ou trois personnes; il est probable en effet que les résultats sont meilleurs, car ils sous-entendent l'accord du groupe tout entier sur les jugements de valeur. On peut estimer grossièrement les coûts annuels « d'entretien » à 50.000 dollars.

Les temps de machine sont de 20 minutes sur un calculateur Honeywell modèle 800. Le coût d'utilisation du calculateur est probablement inférieur de tout un ordre de grandeur à ceux de la main-d'œuvre nécessaire pour les deux premières tâches mentionnées ci-dessus.

On peut également constater la souplesse du système PATTERN en l'appliquant à d'autres domaines. Deux exemples de graphes de pertinence,

tous les deux établis par Honeywell, peuvent présenter un certain intérêt. Pour simplifier la comparaison, les niveaux sont notés par les mêmes lettres majuscules que les niveaux correspondants utilisés, dans le graphe militaire et spatial ci-dessus, au cours de l'exposition du système.

GRAPHIQUE DE PERTINENCE MEDICAL DE HONEYWELL

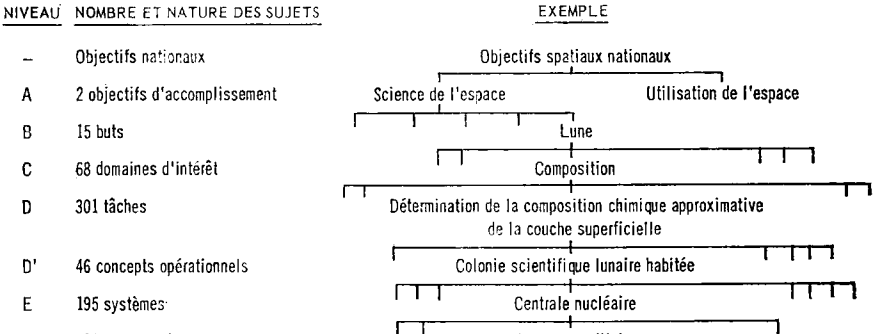


Il a fallu 16.000 cartes perforées, autant que pour le graphe militaire et spatial, pour les informations d'entrée de ce graphe.

Pour mettre au point le graphe de pertinence médical, Honeywell a fait appel à des médecins. Alors que ceux-ci n'avaient pu, avant les travaux, définir ce qu'il fallait faire dans leur domaine, ils ont tous été d'accord sur les premières réponses fournies par le système PATTERN. A la suite de cette application, Honeywell a radicalement modifié son programme d'électronique médicale.

Le deuxième exemple est un graphe de pertinence préparé par la NASA avec l'aide de Honeywell, et brièvement décrit dans la *réf. bibl. 94 :*

GRAPHIQUE DE PERTINENCE DE LA NASA
POUR L'EVALUATION DE LA CHARGE UTILE D'APOLLO



Les expériences scientifiques et l'utilisation sont comparées au niveau D (tâches), et les expériences techniques au niveau H (insuffisances techniques). L'estimation doit porter sur 20 ans.

Jusqu'à présent, six applications du système PATTERN ont été portées à notre connaissance :

Le graphe militaire et spatial de Honeywell, cité comme exemple dans l'explication détaillée donnée ci-dessus : utilisé depuis 1964;

Le graphe de pertinence médical de Honeywell, également mentionné ci-dessus : utilisé depuis 1965;

Le graphe de pertinence de la NASA pour l'évaluation des charges utiles d'Apollo, mentionné ci-dessus : en phase de mise eu point en 1966 au Marshall Space Flight Center, à Huntsville, Alabama;

Utilisation du système par l'Armée de l'air des États-Unis, dans une étude sur le rôle de la puissance aérienne dans la guerre limitée et dans le maintien de l'ordre : terminée;

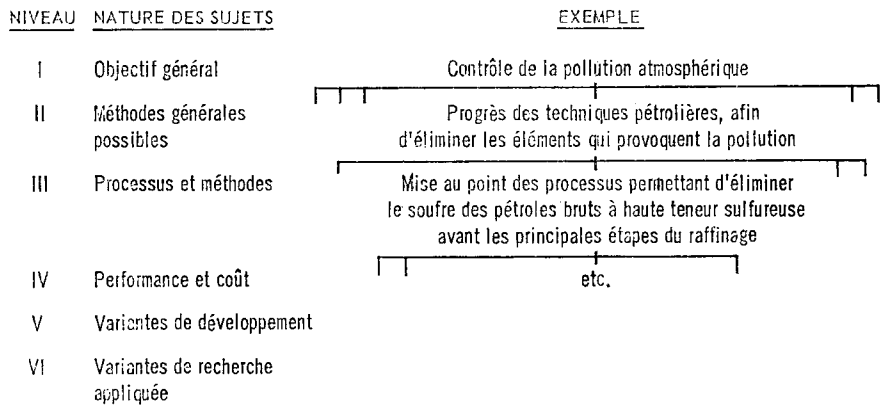
Utilisation par l'Armée de l'Air des États-Unis, dans le domaine de la puissance de feu tactique : en service;

Application à la publicité, dans une entreprise des États-Unis : à l'étude en 1966.

La 3M Company (Minnesota Mining and Manufacturing Company, à St. Paul, Minnesota) envisage sérieusement l'emploi du système PATTERN.

On a remarqué (*réf. bibl. 94*) que ce système pouvait s'adapter à une autre méthode de décision, utilisée par la General Dynamics, à Fort Worth, Texas, dans le domaine de l'expérimentation spatiale. Cette dernière méthode est décrite comme « un système permettant de mesurer la compatibilité des expériences avec les véhicules porteurs — compte tenu du profil de la mission, des autres paramètres de vol, de la position et du volume de la charge utile. » On ajoute, toutefois, qu'elle ne constitue « qu'une approche grossière du problème ».

Swager, du Battelle Memorial Institute, à Colombus, Ohio (*réf. bibl. 179*) met actuellement au point, pour l'industrie pétrolière, un « réseau d'objectifs » fondé sur la méthode des graphes de pertinence exposée ci-dessus à propos du système PATTERN. Sa forme est la suivante :

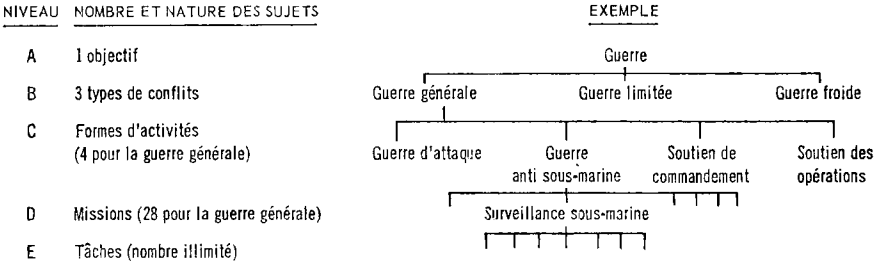


Aucune méthode quantitative n'a encore été mise au point pour ce réseau d'objectifs. Toutefois, comme Swager le remarque, on peut déjà tirer des avantages considérables d'une structuration qualitative : « le fait de détailler

de manière continue toutes les solutions possibles concevables aux niveaux successifs oblige à examiner les différentes solutions possibles à la frontière même de la science... Cette préparation conduit à envisager de nouvelles possibilités, pour ainsi dire à chaque niveau. » En outre, on en tire une vue claire des relations entre les objectifs aux différents niveaux.

Cetron (*réf. bibl. 104*) a mis au point le système PROFILE (Programmed Functional Indices for Laboratory Evaluation) en vue d'applications éventuelles à la Marine des États-Unis. On peut caractériser ce système comme l'association d'un graphe de pertinence vertical, pour les niveaux supérieurs, à une évaluation mixte horizontale-verticale au niveau des tâches, fondée sur la théorie de la décision. Reprenant la même philosophie que le système PATTERN, il semble aboutir à une méthode de calcul plus simple.

Un graphe de pertinence mis au point pour MEL (Marine Engineering Laboratory) peut illustrer la méthode Cetron :



Chaque tâche donne lieu à une évaluation dans 10 secteurs de contribution, représentant différents facteurs agissant horizontalement et verticalement (voir ci-dessous). On attribue un ensemble de coefficients de pondération aux 10 secteurs pour chacun des trois types de conflits du niveau B, soit au total 30 coefficients :

SECTEURS DE CONTRIBUTION AUX TACHES	a) GUERRE GÉNÉRALE	b) GUERRE LIMITÉE	c) GUERRE FROIDE
1. Intérêt pour la guerre sur mer	$q^a{}_1$	$q^b{}_1$	$q^c{}_1$
2. Capacité de réaction	$q^a{}_2$	$q^b{}_2$	$q^c{}_2$
3. Vitesse de réaction	$q^a{}_3$	$q^b{}_3$	$q^c{}_3$
4. Possibilité d'application au programme à long terme du MEL	$q^a{}_4$	$q^b{}_4$	$q^c{}_4$
5. Probabilité d'atteindre l'objectif de la tâche	$q^a{}_5$	$q^b{}_5$	$q^c{}_5$
6. Transfert technologique	$q^a{}_6$	$q^b{}_6$	$q^c{}_6$
7. Main-d'œuvre	$q^a{}_7$	$q^b{}_7$	$q^c{}_7$
8. Moyens	$q^a{}_8$	$q^b{}_8$	$q^c{}_8$
9. Financement	$q^a{}_9$	$q^b{}_9$	$q^c{}_9$
10. Valeur intrinsèque pour MEL	$q^a{}_{10}$	$q^b{}_{10}$	$q^c{}_{10}$

La condition de normalisation s'écrit :

$$\sum_{i=1}^{10} q^a{}_i = 100; \qquad \sum_{i=1}^{10} q^b{}_i = 100; \qquad \sum_{i=1}^{10} q^c{}_i = 100 \tag{66}$$

L'évaluation des contributions aux tâches est différente pour chacun des 10 secteurs :

1. Intérêt pour la guerre sur mer : des coefficients de pondération sont attribués aux missions, avec une condition de normalisation telle que, dans le cadre d'un type de conflit (par exemple pour les 28 missions qui figurent sous le titre « Guerre Générale ») :

$$\sum_{j=1}^{28} \alpha_j = 100 \tag{67}$$

Les formes d'activités (niveau C) n'interviennent que si on a pu initialement attribuer un facteur de pondération à chacune d'elles, et les diviser entre les missions appartenant à l'activité donnée. On peut adopter et mettre à jour ces pondérations globales sous une forme centralisée, tandis que la démarcation des missions incombe à l'exploitant du système.

On détermine alors la contribution au secteur en évaluant les notes d'importance s^1_j pour chacune des 28 missions, ce qui revient à estimer la contribution d'une tâche à chaque mission et à en faire la somme, afin d'obtenir la note de pertinence pour ce secteur :

$$r_1 = \sum_{j=1}^{28} \alpha_j s^1_j \tag{68}$$

On se rend compte que l'évaluation, dans ce secteur, est analogue à celle du système PATTERN.

2. Capacité de réaction : Le cas échéant, des coefficients de pondération β seront affectés à chaque secteur d'une matrice comportant dix critères de réaction aux missions (mise hors de combat d'un bâtiment de guerre par exemple) pour quatre phases de projet (recherche, développement exploratoire, développement avancé, conception). Il n'y a aucune condition de normalisation. La note de pertinence, pour ce secteur, est donnée par la pondération dans le domaine matriciel dans lequel s'ajuste une tâche donnée :

$$r_2 = \beta \tag{69}$$

3. Vitesse de réaction : des notes de pondération, comprises entre 1 et 10, sont attribuées aux cinq étapes de la phase d'étude technique et de développement exploratoire. Ici encore, la note de pertinence du secteur est donnée par la pondération de la phase correspondant à la tâche :

$$r_3 = \gamma \tag{70}$$

4. Possibilité d'application à la mission et au programme à long terme du MEL : une matrice formée de 10 programmes à long terme (par exemple « submersion profonde ») et de quinze domaines fonctionnels du MEL (par exemple « piles à combustibles ») est établie, et l'on relève tous les domaines auxquels une tâche donnée peut contribuer. La note de pertinence de ce secteur est alors le nombre N de domaines ainsi relevés :

$$r_4 = N \tag{71}$$

5.-9. On attribue des notes de pondération comprises entre 1 et 10 aux possibilités décrites sous une forme rédactionnelle. Les notes de pertinence de ce secteur sont déterminées par la pondération de la variante correspondante, de manière analogue à la procédure utilisée pour le troisième secteur contributif (vitesse de réaction).

10. Valeur intrinsèque pour MEL : On attribue des notes de pondération δ, comprises entre 1 et 2, à huit valeurs définissables. La note de pertinence est la somme des coefficients de pondération relatifs aux valeurs améliorées par une tâche donnée :

$$r_{10} = \Sigma\delta \tag{72}$$

La note totale d'une tâche donnée est alors (pour la guerre générale) :

$$R = \sum_{i=1}^{10} q^{a}{}_{i} r_{i} \tag{73}$$

On constate que la « matrice de planification », au niveau des tâches, est analogue à certaines des matrices de décisions verticales et horizontales, mentionnées dans les sections II.4.1. et II.4.2. Les coefficients de pondération attribués, dans l'exemple donné ici, ne sont pas toujours convaincants; par exemple, on donne la note 9 à la contribution d'un transfert technologique pour le « soutien d'un système », tandis qu'une contribution qui « soutient deux systèmes au moins », n'est notée que 10. Toutefois, il s'agit d'une simple question de mise au point. Il semble que le modèle décrit jusqu'ici ait été essayé avec de bons résultats.

D'un point de vue critique plus général du système PROFILE, l'utilisation arbitraire de systèmes logiques différents dans un même ensemble, et la combinaison d'une relation hiérarchique et de décisions partielles, horizontales et verticales, semblent présenter un risque de confusion. Mais la facilité de calcul du système constitue son avantage essentiel.

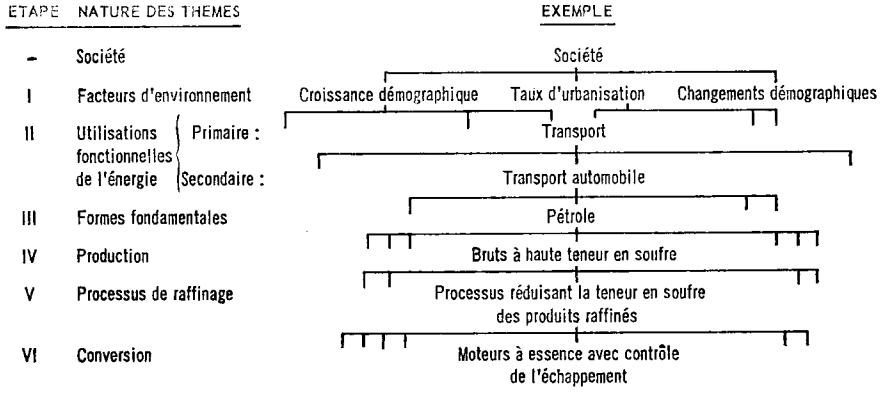
Outre l'utilisation qu'elle fait du système PATTERN pour un certain nombre de problèmes (voir ci-dessus), la NASA expérimente un système qui lui est propre et qui semble également faire appel aux graphes de pertinence. On peut le décrire comme une combinaison de théorie des options, de recherche opérationnelle et de théorie de la décision. Il permet d'analyser le sens de l'évolution technique, et d'indiquer les domaines dans lesquels la recherche et le développement pourraient être le plus fructueux. Il comporte un système intuitif (tel que l'attribution de notes de pondération dans certains des systèmes mentionnés ci-dessus) pour lequel on fait appel à du personnel technique. Il semble que l'on confiera au système intuitif un rôle plus important qu'il n'était prévu initialement, à la suite des résultats encourageants fournis par une comparaison entre la réflexion intuitive et une analyse complète de recherche opérationnelle. Le système, tel qu'il a été mis au point au départ, était « trop détaillé »; il a été graduellement simplifié et il est actuellement (1966) considéré comme « acceptable ». Il comprend maintenant un nombre de niveaux plus restreint que le système PATTERN. Ces niveaux correspondent approximativement aux thèmes suivants : objectifs, missions, besoins, problèmes, et des dispositions sont prises pour tenir compte des nombreux « points communs » aux niveaux des problèmes et des besoins. La NASA n'a pas encore l'intention de publier les caractéristiques détaillées de ce système.

Saint-Gobain à Paris, France, utilise un graphe de pertinence non-numérique pour étudier les différentes solutions possibles des nouveaux processus de fabrication.

Enfin, Zwicky (*réf. bibl. 190*) a estimé que sa méthode morphologique exploratoire (voir paragraphe II.3.7.) exigeait une méthode de prévision normative complémentaire pour faire le choix entre les différentes possibilités.

Il étudie actuellement un système fondé sur la « théorie de la notation », et il promet de l'exposer dans son ouvrage à paraître sur la morphologie de la vérité (« Morphology of Truth »).

Swager (*réf. bibl. 179*) a également souligné l'utilité du concept de *graphe de pertinence horizontal* pour prévoir les modifications structurelles dues aux transferts technologiques horizontaux. Son « Modèle graphique associant les modifications possibles des techniques pétrolières et les modifications des domaines d'utilisation de l'énergie » pourrait, en principe, être étendu à la prévision exploratoire. Mais son caractère essentiel est normatif, comme l'exemple suivant le montre :



Ce modèle ressemble essentiellement à un graphe de pertinence horizontal. Jusqu'à présent, aucune méthode quantitative n'a été mise au point pour son application, mais Swager remarque que, « quand on considère des problèmes identiques pour une entreprise particulière, les limites quantitatives des termes qualitatifs se concrétisent. »

Le graphe de pertinence horizontal peut ne pas s'adapter aussi facilement à l'évaluation quantitative que le graphe vertical, car il n'est pas associé explicitement aux objectifs souhaitables. On peut se demander si l'un ou l'autre des facteurs d'environnement mentionnés ci-dessus — croissance démographique, taux d'organisation, variation démographique — constitue un objectif souhaitable ou s'il s'agit simplement de mesures de l'évolution, à la plus grande échelle possible.

Toutefois, comme l'ont remarqué Cheaney et McCrory (*réf. bibl. 105*), tous les deux du Battelle Memorial Institute, les graphes de pertinence horizontaux — et même jusqu'à un certain point les graphes verticaux, — constituent un cadre convenable pour les méthodes de « chemin critique » qui permettent d'identifier les activités de recherche et de développement nécessaires et d'en évaluer les diverses voies possibles. Ces questions seront brièvement examinées à la section suivante, II.4.6.

Quelques remarques s'imposent en ce qui concerne les données *d'entrée* des graphes de pertinence. En général, on a besoin de trois types de renseignements de base :

L'identification des objectifs, des concepts et des besoins des systèmes, ainsi que des possibilités techniques aux divers niveaux, depuis celui des composants et des sous-systèmes fonctionnels, jusqu'aux systèmes fonctionnels complexes;

Les critères de détermination des valeurs, à chaque niveau du graphe de pertinence, et les pondérations numériques de ces critères;

Les estimations numériques de l'importance des thèmes (politiques, systèmes technologiques, etc.) associés aux critères, pour chaque niveau du graphe de pertinence.

Les éléments de départ que Honeywell utilise actuellement sont par exemple : la prévision technologique, utilisant des méthodes de détermination qualitative et quantitative simple (extrapolation de courbes-enveloppes et de tendances) pour les éléments techniques du premier et du troisième thème; un scénario pour la partie non-technique du premier thème et pour le second thème; des documents de planification militaire pour l'identification des concepts; un accord entre experts (ou un accord moyen) pour l'évaluation numérique du troisième thème.

Il semble tout à fait possible, pour les informations du premier type, d'obtenir une base bien meilleure et bien plus complète par une méthode morphologique (voir section II.3.7.) qui pourrait, jusqu'à un certain point, être traitée dans un programme d'ordinateur permettant la mise à jour et l'extension du graphe de pertinence. On pourrait alors concentrer la prévision technologique due à l'intervention humaine sur l'identification et la formulation de paramètres fondamentaux appropriés et sur leurs interrelations. On pourrait établir, de manière centralisée le « squelette » d'une représentation morphologique des possibilités, surtout dans des domaines bien définis tels que la défense nationale et l'espace. On pourrait aussi construire à un échelon central la « boîte morphologique » permettant de sélectionner les thèmes réalisables ou ceux que l'on estime réalisables dans un intervalle de temps donné.

Il faudrait aussi que cet échelon central définisse au moins les thèmes inscrits aux niveaux supérieurs du graphe de relevance (par exemple, ceux des niveaux des graphes A à C de Honeywell, c'est-à-dire jusqu'aux 64 missions, ou des niveaux A à D, jusqu'aux 204 tâches correspondant aux concepts complexes), dans la mesure où ils mettent en jeu des intérêts nationaux. Il n'est pas souhaitable qu'une entreprise ait à déterminer les missions relatives aux activités de la défense nationale et de l'espace. Une perte d'information se produira inévitablement si c'est un groupe extérieur qui simule les préoccupations des plus hauts niveaux gouvernementaux, même s'il se trouve que ce groupe est logé à proximité du gouvernement (les fenêtres des auteurs du système PATTERN donnent effectivement sur la Maison Blanche).

Cette remarque est encore plus vraie pour les entrées du second type (critères et coefficients de pondération), dans la mesure où elles impliquent les niveaux supérieurs. Il ne convient pas de laisser à une entreprise la détermination, la prédiction (!) et la pondération de critères qui sont censés être tout aussi importants pour l'ensemble des thèmes à traiter dans le cadre d'objectifs nationaux et sociaux généraux.

Si les méthodes de préparation des décisions se généralisent tout en relevant d'un principe commun — le graphe de pertinence étant la meilleure méthode connue à ce jour pour établir ce principe — il est à espérer qu'un

organisme central, du type envisagé par le Vice-Président des États-Unis, Hubert Humphrey (un groupe de Conseillers du Président pour l'administration de l'information scientifique) sera capable de fournir périodiquement des « sommets » remis à jour pour les graphes de pertinence, si possible pour divers cadres temporels. Les autres administrations, les entreprises, etc., pourraient alors compléter le graphe de pertinence aux niveaux technologiques inférieurs et y introduire des raffinements, des modifications ou mêmes des écarts par rapport aux graphes de pertinence définis à ces niveaux.

L'utilisation de « sommets » communs permettrait notamment d'obtenir des résultats plus homogènes — et plus ou moins comparables — pour la prévision technologique. Elle faciliterait aussi aux pouvoirs publics l'établissement de plans à long terme plus clairs et plus explicites, qui devraient être appliqués de manière aussi cohérente que possible, des modifications importantes n'étant adoptées que dans les cas urgents. Il semble que plusieurs administrations, surtout aux États-Unis, mais également en France, évoluent progressivement vers une planification à long terme, dans des domaines d'intérêt social et national majeur.

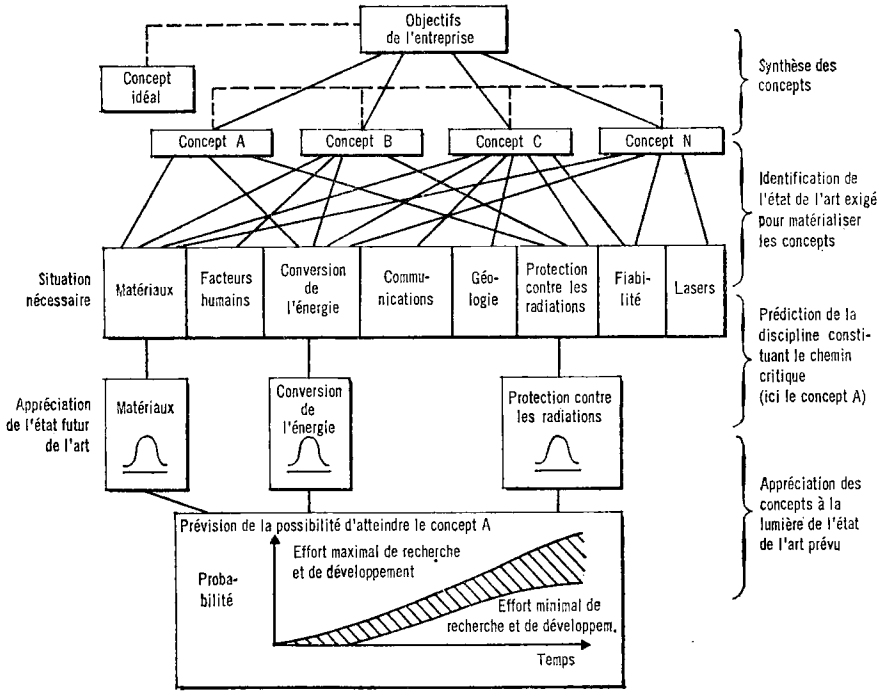
II.4.6. Certaines applications des techniques de réseaux

L'utilisation de techniques de réseaux et, en particulier, la méthode dite du chemin critique et la méthode PERT (Program Evaluation and Review Technique) est devenue un outil de gestion intéressant pour le contrôle des tâches de conception et de réalisation d'un système complexe. La *méthode du chemin critique* est fondée sur des graphiques illustrant les différentes étapes de tous les éléments du projet, et sur une analyse permettant de sélectionner un « chemin » optimal entre la première et la dernière étape, le critère de choix pouvant être le coût le plus faible, le délai le plus court, etc. La *méthode PERT*, mise au point pour le programme des fusées Polaris, est une méthode probabiliste, caractérisée par l'analyse de données et de relations incertaines (par exemple, durée incertaine d'achèvement d'un sous-système) et par le calcul, habituellement effectué sur calculateur, des facteurs temps (ou temps et coûts) de l'ensemble du projet. Les deux méthodes permettent d'évaluer les moyens possibles et de découvrir les facteurs « critiques ».

Comme Ayres (*réf. bibl. 89*) le remarque, « les études de systèmes de ce type sont, en un certain sens, des prévisions qui se réalisent en partie d'elles-mêmes. Ayant trouvé analytiquement une méthode qui permet de minimiser le délai d'achèvement, la direction se trouve automatiquement placée en meilleure position pour obtenir ce minimum... En général, il n'est pas possible d'optimiser la conception d'un système important et coûteux en fonction d'un « modèle » simple de son environnement futur; il faut prendre en considération un certain nombre de possibilités différentes. La conception du système, à son tour, aide à déterminer l'orientation du progrès technique (et nous avons de nouveau ici une prophétie qui s'accomplit d'elle-même). »

La prévision technologique se trouve donc plongée dans le processus de planification technologique en général.

Dans le cadre de la « Design Method » du Battelle Memorial Institute (*réf. bibl. 214*), McCrory (*réf. bibl. 105*), propose une « *stratégie de la prévision orientée vers les concepts* » utilisant une méthode de chemin critique. L'exemple d'un organigramme typique donné par McCrory, illustre cette idée :



Ce diagramme s'explique pratiquement de lui-même : partant de l'objectif d'une entreprise et gardant à l'esprit un concept « idéal », on postule certains concepts possibles A, ... N et on identifie les disciplines appropriées. On détermine l'état de l'art nécessaire, dans ces domaines, pour réaliser un certain concept et on estime les distributions de probabilités nécessaires, en fonction du temps, pour atteindre cet état de l'art. Enfin, ces distributions des probabilités de l'état de l'art se combinent dans une prévision de la possibilité d'atteindre un concept particulier, sous forme d'un intervalle de probabilité en fonction du temps.

Un élément important de cette méthode est l'identification des chemins critiques (disciplines, sous-systèmes fonctionnels, etc.). Dans ce but, McCrory propose un graphe de pertinence allant de l'objectif de l'entreprise aux sous-systèmes et à leurs paramètres principaux, en passant par les divers concepts possibles — une méthode morphologique intuitive prenant le relais au niveau des paramètres afin d'identifier les différents ensembles de variables qui constituent les sous-systèmes possibles. McCrory ne propose pas de méthode formelle pour cette partie. Enfin, pour combiner les déterminations probables de l'état de l'art, conduisant à l'évaluation probabiliste de la possibilité d'atteindre un concept spécifique, il a mis au point la méthode de propagation de la variance exposée à la section II.3.9.

Swager, du Battelle Memorial Institute, étudie des graphes de pertinence verticaux et horizontaux (voir la section II.4.5 ci-dessus) en vue d'une application possible des méthodes de chemin critique.

Il semble que les méthodes de planification par réseaux, dont les conséquences sont très importantes pour la prévision, jouent un rôle considérable

au département de l'Énergie atomique de la General Electric à San José, Californie. Le projet « Sunrise », mis sur pied en 1958 par Cohen et Zebroski a pris la forme d'un programme de développement comportant diverses méthodes pour effectuer une percée économique dans le domaine des réacteurs à eau bouillante en 1965. Ce programme a conduit à un succès bien connu : le coût a été inférieur de moitié à celui qui aurait été nécessaire pour parcourir des « chemins » plus difficiles, qui se sont d'ailleurs révélés être des détours inutiles. « Sunrise » a été un programme dynamique, permettant de passer d'un chemin à l'autre, à différentes étapes, dès que l'on rencontrait des obstacles ou qu'un progrès inattendu mettait en évidence un meilleur chemin (c'est ainsi que l'on a abandonné la circulation naturelle quand des progrès importants ont été faits dans la technique des pompes — celles-ci permettant d'atteindre des puissances de réacteur supérieures). Cette méthode descriptive ne comportait aucune routine, mais utilisait un vaste catalogue des développements qui pourraient se faire jour. Le critère de planification a été défini comme le résultat minimal à la fois réalisable et rentable.

Zebroski a conçu un programme descriptif analogue faisant intervenir des réseaux pour le développement des réacteurs rapides à la General Electric, et l'on pense qu'une commande du premier prototype en grandeur réelle sera passée en 1969. Au contraire du programme « Sunrise », dont le but principal était de définir les efforts nécessaires pour produire un certain effet économique, le programme de réacteurs rapides cherche essentiellement à déterminer, par exemple, les développements à entreprendre au cas où les efforts déployés actuellement pour les réacteurs rapides échoueraient, plutôt que les programmes à mettre sur pied en cas de percée. (Deux milliards de dollars seront consacrés à ce projet jusqu'en 1975 dans l'ensemble du monde). Cette préférence est due aux conséquences durables — surtout économiques — qu'aurait une percée dans ce domaine.

Dans un modèle destiné à l'Armée de l'Air des États-Unis, Abt Associates (États-Unis) a mis au point une méthode PERT permettant d'actualiser la valeur d'un système d'arme en fonction des goulots d'étranglement apparaissant sur les divers chemins possibles. Il paraît également que Siemens et Halske, à Munich, utilise des méthodes de réseaux en liaison avec la prévision technologique.

Enfin, il faut citer, à propos des graphes, un article de Rosenbloom (*réf. bibl. 173*) qui étudie l'application possible de la méthode PERT à la détermination des *effets de compensation entre le temps et les coûts*. Il semble qu'aucune tentative n'ait été faite jusqu'à présent dans cette direction apparemment intéressante.

II.4.7. Modèles opérationnels

Les *jeux d'entreprises*, que nous avons déjà mentionnés sous leurs aspects exploratoires (section II.3.11), sont beaucoup plus simples dans les processus adaptés aux cycles fermés. La prévision normative est caractéristique de systèmes plus ou moins fermés mais qui peuvent, néanmoins, être éloignés de l'extrême déterminisme d'un cycle totalement bouclé. On peut s'attendre à ce que l'utilisation des jeux d'entreprises pour la prévision normative prenne autant d'importance, sinon plus, que pour la prévision exploratoire.

Les jeux présentent l'avantage supplémentaire, pour la prévision normative, de permettre la programmation de solutions différentes et de réactions

humaines sous contrainte, sans que cela exige des volumes déraisonnables de stockage de l'information. On peut, par conséquent, envisager beaucoup plus sérieusement la simulation sur calculateur pour les jeux en cycle fermé plutôt que pour les jeux libres. Le principal avantage des jeux en cycle fermé est de permettre des passages rapides sur machine. Les jeux manuels sont un processus lent et long et, comme l'affirme le British Defence Operational Analysis Establishment, à Byfleet, Surrey, c'est « la dernière extrémité à laquelle on se résigne ». D'après l'expérience de ce centre, le meilleur rapport de temps que l'on puisse atteindre entre le processus réel et le processus simulé, est de un à quatre. En tenant compte des préparatifs, etc., la simulation d'une bataille de deux jours demande six semaines de travail. A Byfleet, même les jeux « fermés » sont habituellement exécutés à la main, avec un « contrôleur » siégeant au milieu du groupe, tandis qu'aux États-Unis on a mis au point pour les objectifs militaires un certain nombre de programmes de jeux importants.

Le British Defence Operational Analysis Establishment (DOAE), cité ci-dessus, applique systématiquement les jeux d'entreprises pour déterminer les portées souhaitables des armes, et pour choisir entre divers systèmes d'armes conçus pour la même mission (par exemple véhicules à coussin d'air, amphibies, hélicoptères pour le déchargement des navires). Jusqu'à un certain point, ces jeux sont préparés par des études comparatives des coûts et de l'efficacité des systèmes d'armes, bien que de manière moins rigoureuse que ce n'est habituellement le cas aux États-Unis. On joue alors une série de jeux, afin de décider du choix entre des systèmes d'efficacité identique. Si, par exemple, la mission considérée est la mobilité, et si plusieurs systèmes d'armes sont également efficaces à cet égard, on joue un jeu dans lequel la mobilité est supérieure pour l'une des parties : le résultat peut être que l'un des systèmes d'armes est aussi efficace que son « concurrent », mais exige moins de personnel. Une autre question qui peut se poser dans le même contexte concerne l'intérêt de financer des travaux de recherche et de développement d'un volume donné afin d'obtenir une mobilité supérieure. Les jeux ont contribué à l'importante décision, prise par la Grande-Bretagne, en janvier 1966, d'acheter des avions F-111 américains, plutôt que d'étudier et de réaliser des systèmes britanniques pour le même groupe de missions; l'étude avait montré que le F-111 était deux fois plus efficace, mais aussi deux fois plus cher que la solution britannique, de sorte que des critères supplémentaires étaient nécessaires pour que l'on puisse prendre une décision nette.

Il semble qu'aux États-Unis les jeux aient un rôle encore plus important dans l'établissement des programmes militaires, pour la détermination des mérites relatifs des futurs systèmes d'armes. Un grand nombre de règles complexes ont été mises au point dans ce domaine par la RAND Corporation, à Santa Monica, Californie. Les méthodes rigoureuses d'analyse de coût et d'efficacité, appliquées par l'administration McNamara, ont fourni des informations quantifiables dans presque tous les domaines d'intérêt militaire. Nous avons déjà dit que les jeux sur calculateurs semblent jouer un certain rôle dans ce domaine.

Ce sont des sociétés comme General Electric, IBM et les bureaux d'experts-conseils en gestion qui ont ouvert la voie dans le domaine des *jeux d'entreprises* vers 1950-1955. Un certain nombre de ces jeux. tels que l' « IBM Management Game » et l' « AMA (American Management Association Game » (*réf. bibl. 95*) concernent les possibilités d'investissement dans la

recherche et le développement. Ils comportent des relations simples et programmées simulant les profits de ces investissements, rendant ainsi possible une optimisation éventuelle des budgets de recherche et développement. Toutefois, ces décisions sont prises au niveau des agrégats. Il semble donc que les jeux d'entreprises destinés à faciliter les choix entre différentes possibilités techniques — analogues aux jeux de systèmes d'armes — aient été rarement utilisés, s'ils l'ont jamais été. La raison en est facile à voir : jusqu'à une époque récente, l'horizon des entreprises ne dépassait guère la maximisation des profits, et il était facile de l'obtenir dans les meilleures conditions par l'analyse économique et d'autres méthodes simples. Ce n'est qu'actuellement — et jusqu'à un certain point seulement — que l'existence d'ensembles de missions et d'objectifs, réclamant des critères de coût et d'efficacité non classiques, commencent à dominer les décisions des entreprises aux États-Unis.

On utilise généralement les jeux dans des situations complexes que l'on ne peut pas résoudre par d'autres moyens. Ils peuvent, toutefois, constituer une méthode efficace de stimulation de la pensée créatrice.

Gordon et Helmer, les auteurs du rapport de la RAND sur le premier essai en vraie grandeur de la méthode « Delphi », préparent à l'heure actuelle un jeu de l'avenir (*réf. bibl. 379*), à la suite d'une initiative de la Kaiser Aluminium (États-Unis). Un certain nombre d'industriels américains de premier plan vont recevoir une liste de 60 développements susceptibles de se produire entre 1966 et 1986. Il s'agit, par exemple, du doublement de la production de l'électricité, de l'interdiction du trafic automobile dans le centre des villes, de la création d'une base lunaire habitée, etc., autant d'évènements technologiques économiques, politiques et sociaux, qui avaient déjà servi à l'essai de la méthode « Delphi ». Les participants sont réunis en groupes de deux, trois ou quatre. Chaque participant construit un « monde de 1986 », en utilisant une combinaison des 60 développements possibles, et essaie de persuader les autres participants de son groupe d' « investir » dans son programme. Le gagnant est le participant qui réussit à obtenir le soutien le plus important pour son « monde ».

On fonde souvent de grands espoirs sur l'application future des jeux normatifs aux évènements sociaux (comme cela a déjà été tenté avec le « jeu de l'avenir »). Le Centre TEMPO, de la General Electric, a lancé un avertissement : toutes les tentatives faites au Centre pour simuler des situations sociales ont échoué, parce qu'il est impossible de simuler la « tension ».

L'avantage particulier des jeux d'entreprises réside dans le fait qu'ils facilitent la détermination des paramètres importants et de certaines relations empiriques d'un problème donné, de sorte qu'il est possible ensuite de mettre au point des modèles.

La *théorie des jeux* — qu'il ne faut pas confondre avec les jeux d'entreprises — mise au point par Von Neumann et Morgenstern (*réf. bibl. 164*) fournit le moyen de trouver une stratégie rigoureuse dans les situations de conflit, et peut aider la mise au point de *modèles rigides sur calculateur* pour la prévision normative. Il s'agit là d'une méthode normative typique, que la RAND Corporation et d'autres sociétés américaines ont appliquée aux problèmes de la stratégie militaire, à la politique et peut-être également à certains phénomènes sociaux.

La théorie des jeux utilise des éléments tels que les concepts de stratégie pure et de stratégie mixte, les évènements aléatoires, la représentation matricielle des profits, etc. Elle fournit non seulement des stratégies optimales

simples, comme la maximisation du profit, mais également des stratégies mixtes optimisées, dans des circonstances telles qu'une stratégie simple risquerait d'aboutir à une situation de vulnérabilité. Le résultat constitue donc un optimum indépendant de la tactique choisie par un adversaire ou, plus généralement, indépendant des autres évènements imaginables. L'intérêt de la théorie des jeux apparaît surtout quand on cherche des stratégies conservatrices, c'est-à-dire celles qui supposent, de la part de l'adversaire, la pire réaction réalisable ou imaginable. L'inconvénient de cette théorie réside notamment dans le fait qu'elle ne peut traiter de problèmes très complexes.

La théorie des jeux ne semble pas avoir été utilisée pour la prévision technologique normative, bien qu'elle lui soit apparemment largement applicable.

Un certain nombre de modèles d'entreprise normatifs, d'un type plus classique, utilisés surtout aux États-Unis, combinent des facteurs horizontaux (du marché) en vue de l'évaluation des décisions. On en a un exemple avec le modèle « *Demon* », de la grande entreprise de publicité BBDO (Batten, Barton, Durstine, and Osborn à Buffalo, New York), destiné aux nouveaux produits de consommation. On peut le représenter comme un ensemble de graphes de décisions optimisées dont l'évaluation va au-delà de la programmation linéaire. Les informations de base comprennent les objectifs de l'entreprise, le bénéfice brut, les plafonds d'investissement, etc., ainsi que l'ensemble des contraintes imposées à l'utilisation des fonds. Certaines réponses typiques conseillent de continuer à l'échelon national, de s'arrêter, d'adopter un autre mode dans le graphe des décisions. Des successions de « points » de décisions permettent de passer d'un mode à l'autre.

La 3M Company (Minnesota Mining and Manufacturing Company, à St. Paul, Minnesota) a adopté le système « Demon » comme base de son propre « *New Products Model* », qui était en phase expérimentale d'utilisation en 1966. Elle essaye actuellement de le placer dans un cadre plus industriel, afin de pouvoir l'appliquer à d'autres produits que ceux de grande consommation, pour enfin en tirer un modèle du type économétrique, qui pourrait s'appliquer aux décisions relatives aux nouveaux produits dans diverses régions des États-Unis ou dans différents pays (par exemple, afin de savoir dans quelle région lancer les ventes d'un produit donné, et dans quelles régions s'abstenir). Il s'agit toutefois d'une perspective d'avenir.

Tandis que ces modèles d'entreprise sont orientés horizontalement, les milieux militaires semblent préférer les modèles verticaux.

Rea, chez Abt Associates, met actuellement au point un modèle destiné à l'US Air Force Systems Command (*réf. bibl. 84*) :

> « Ce modèle de décision aidera les planificateurs de l'Armée de l'Air américaine à choisir, parmi les systèmes d'armes et de soutien, ceux qu'il conviendrait de retenir en vue d'un développement futur. Entre autres résultats qu'on espère obtenir figurent des études complémentaires des systèmes les plus intéressants, de nouveaux programmes permettant de surmonter les difficultés techniques qui entravent les futures décisions de développement ou d'acquisition. Le modèle permettra d'examiner complètement de nombreux facteurs qu'il convient d'étudier dans ce processus de décision, par exemple les objectifs de la politique militaire nationale, les fonctions militaires, les possibilités de réalisation technique, les coûts, ainsi que les moyens dont on espère disposer dans l'avenir. On utilise des algorithmes mathématiques pour relier les perfor-

mances des systèmes aux objectifs, et des techniques d'optimisation pour répartir les ressources annuelles à affecter sur une longue période de temps, à des systèmes concurrents. Le planificateur peut « converser » directement avec le calculateur, grâce à un pupitre permettant de faire travailler le calculateur « en utilisation collective ». Le modèle a une structure hiérarchique et peut, par conséquent, être utilisé pour tout problème d'affectation des moyens, soit dans l'administration, soit dans l'industrie, dès lors qu'on peut évaluer raisonnablement les coûts des programmes et les valeurs escomptées en fonction des objectifs de l'organisme. »

Une proposition plus ancienne, faite à l'Armée de l'Air américaine par Thomas et McCrory, du Battelle Memorial Institute, à Columbus, Ohio (*réf. bibl. 181*, citée dans la *réf. bibl. 101*), décrit un modèle permettant d'évaluer plusieurs concepts d'armes différents et la probabilité de leur mise au point dans un certain intervalle de temps. On peut représenter l'espace des décisions par un système électrique analogique approprié. On ignore si ce modèle — l'un des premiers modèles concrets à avoir été proposé — a été appliqué à des problèmes pratiques.

A l'heure actuelle, deux modèles normatifs exploités sur calculateurs sont en cours de mise au point pour l'Armée des États-Unis :

B. Dean, du Case Institute of Technology, à Cleveland, Ohio, a construit un modèle d'envergure pour le classement de la priorité des projets de recherche et de développement.

Le Cornell Aeronautical Institute essaie de construire un modèle mathématique de la prévision technologique à long terme (« LRTP Mathematical Model », *réf. bibl. 109*), fondé sur l'évaluation de courbes convergentes.

A l'heure actuelle, on n'envisage pas d'utiliser ces modèles.

II.4.8. Analyse des systèmes

C'est en 1948 que la RAND Corporation a mis au point l'analyse des systèmes en vue de résoudre des problèmes complexes d'optimisation d'administration militaire. On constate en effet que même un nombre de variables relativement faible conduira à des problèmes d'une dimension telle qu'ils deviennent insolubles si chacune de ces variables peut prendre des valeurs différentes[1]. L'analyse des systèmes réduit le problème, sans s'écarter beaucoup des méthodes rigoureuses, par des moyens tels que des astuces mathématiques permettant de réduire l'analyse séquentielle de toutes les combinaisons possibles, par exemple par une programmation linéaire ou quadratique, ou par d'autres méthodes de recherche opérationnelle; la détermination de la sensibilité des problèmes aux paramètres, et l'abandon des variables sans importance; le groupement de certaines variables en facteurs composés; la formulation de critères d'optimisation sous une forme adéquate. Bien que, de toute évidence, l'analyse des systèmes soit essentiellement un art, c'est un art qui exige aussi des connaissances mathématiques particulières. On a récemment appliqué l'expression « analyse des systèmes globaux » aux évaluations utilisant une combinaison de méthodes qualitatives et quantitatives à des niveaux de complexité très élevés.

L'analyse des systèmes est essentiellement le domaine des « groupes de réflexion », tels qu'en ont constitué la RAND Corporation, la System Deve-

1. n variables, ayant chacune k valeurs possibles, donnent k^n combinaisons.

lopment Corporation, toutes les deux à Santa Monica, Californie, et le TEMPO Center for Advanced Studies, de la General Electric, à Santa Barbara, Californie. On a pu dire que l'Europe n'avait pas encore adopté l'attitude qui s'impose pour l'acquisition de qualifications analogues, et que l'accent mis sur l'optimisation de problèmes partiels — méthode typique de la recherche opérationnelle — tend à obscurcir la perspective de l'ensemble des systèmes. On peut ajouter, du point de vue de la prévision technologique, que la réflexion normative et l'étude des « systèmes globaux » progresseront probablement dans un même champ d'action. On peut également citer à ce propos la métaphore de McLuhan (*réf. bibl. 374*) : « l'âge d'*implosion* succède actuellement aux siècles d'explosion et de spécialisation croissante. »

Dans le programme de TEMPO, les applications aux problèmes techniques du domaine militaire concernent, par exemple, la défense du continent et la guerre stratégique, faisant intervenir des modèles mathématiques de systèmes d'armes dans des environnements futurs (réduisant le risque d'abandon ultérieur); le coût de systèmes d'armes globaux, y compris l'optimisation de l'entretien et de la logistique (par exemple, la logistique des pièces détachées) sur l'ensemble de la durée de vie espérée du système. La RAND Corporation traite de nombreux problèmes d'analyse relatifs à des systèmes d'armes.

Dans le domaine économique, TEMPO a récemment mis au point des modèles pour la General Electric dans le domaine des services publics, de l'utilisation optimum du personnel, et de la stratégie commerciale à long terme en général. On peut facilement appliquer les méthodes stratégiques militaires aux stratégies commerciales, car on a constaté que la séquence des étapes était pratiquement identique.

Dans les domaines de la prévision technologique civile, une étude typique de « systèmes complets », effectuée par TEMPO, a porté sur les facteurs du marché (demande), les différentes possibilités de l'offre, et les analyses de coût et d'efficacité. Le Centre a commencé par identifier l'ensemble des variables du problème général, toutes ces variables étant en principe non quantifiables. On voit de plus en plus intervenir des variables appartenant aux sciences du comportement (même dans les études militaires, où l'on peut considérer le Corps de la Paix — *Peace Corps* — comme le second terme d'une alternative dont le premier est représenté par les armes). Il est possible, jusqu'à un certain point, d'effectuer un sous-optimisation mais on ne dispose pas encore de méthodes satisfaisantes pour résoudre le problème dans son ensemble. Une excellente étude, effectuée récemment sur cette base, a porté sur la possibilité d'avoir des navires marchands à propulsion nucléaire d'ici à 1985. Cinq solutions techniques de base ont été étudiées et les résultats en ont été corrigés par des facteurs non-économiques déduits d'évaluations qualitatives des milieux sociaux et politiques. Le résultat a été exprimé en nombre de navires nucléaires de chaque classe en fonction du temps (transporteurs de vrac, pétroliers, cargos, etc.). D'autres études de systèmes complets (faites par TEMPO) ont porté sur les satellites commerciaux de communication, les besoins de l'Amérique du Nord en eau et en énergie, l'industrie de l'or aux États-Unis. Certaines études expérimentales sur « la ville de l'avenir » sont en cours (la ville considérée comme un réseau de communication, etc.).

En dehors de nombreuses études effectuées dans les domaines de la technique militaire, la RAND Corporation a appliqué l'analyse des systèmes à divers problèmes tels que ceux de la planification des milieux urbains futurs

et des transports de l'avenir (les véhicules de transport terrestre dans les années 1990, etc.).

La System Development Corporation (SDC) a commencé d'étendre l'analyse des systèmes aux domaines sociaux, et en particulier à la planification avancée de l'enseignement.

Il est difficile de tracer une frontière précise entre l'analyse des systèmes et les autres méthodes dont le but est d'étudier des systèmes complexes. Les méthodes adoptées par le département de l'Énergie atomique de la General Electric, par certaines des grandes sociétés pétrolières (en Europe aussi bien qu'en Amérique), ou par certaines des sociétés aérospatiales géantes telles que la division de Los Angeles de la North American Aviation, semblent parfois voisines de l'analyse des systèmes. De même, les avertissements de Lundberg quant à l'inopportunité de mettre trop tôt en service des avions de transport supersoniques (*réf. bibl. 323* et *324*) ont constitué une analyse en partie quantitative, en partie qualitative, qui a modifié les résultats que l'on avait obtenus en examinant soigneusement le système technico-économique du transport supersonique.

Le Stanford Research Institute, à Menlo Park, Californie, essaie d'appliquer l'analyse des systèmes, par une méthode multi-disciplinaire, aux interactions entre la science, la technique et la société.

L'analyse des systèmes sera incorporée organiquement dans les futurs systèmes de traitement de l'information, au moins tant que ces systèmes pour ront lui apporter une infrastructure.

MÉTHODES COMPORTANT DES SYSTÈMES EN BOUCLE FERMÉE

A l'heure actuelle, on a toujours tendance à considérer l'avenir, et par suite à l'étudier méthodologiquement, comme s'il n'était qu'une simple extension du présent. Voilà pourquoi nous évoluons dans un temps statique.

Hasan OZBEKHAN.

II.5.1. PREMIÈRES TENTATIVES

Les systèmes « bouclés » (ou « modèles cybernétiques ») procèdent de la toute dernière idée dont s'inspirent les méthodes de prévision les plus raffinées. Aucune méthode n'est encore réellement appliquée à grande échelle dans le domaine de la prévision technologique, mais on en ressent le besoin avec une urgence particulière, compte tenu du fait que c'est sur l'aspect normatif de la prévision que se concentre maintenant l'attention. En outre, on dispose désormais de méthodes partielles et d'éléments fondamentaux applicables aux systèmes en boucle fermée.

Zebroski, du Département de l'énergie atomique de la General Electric, explique le problème fondamental par le besoin de fournir au processus d'acquisition des connaissances une « rétroaction » issue des développements réels : « Dans la plupart des sociétés, dit-il, la transition est mal assurée et souvent laissée aux chefs d'entreprise ». Il a tenté de mettre au point des méthodes en boucle fermée adaptées au cadre industriel de la General Electric.

Il est évident que la technique d'étude des systèmes globaux sera enrichie par l'emploi de ces méthodes.

Il faudra étudier beaucoup plus à fond, dans l'avenir, les techniques de rétroaction. Plus le progrès sera efficacement planifié, plus l'effet de rétroaction sera prononcé ; on peut espérer obtenir de grandes améliorations grâce à la prévision technologique en général, et à la prévision normative en particulier. On a déjà observé, à propos du rôle du temps et de l'inertie historique (chapitre I.3.), que le rythme du progrès serait peut-être suffisamment sensible à une rétroaction issue de la planification pour subir une évolution nette.

Abt Associates utilise déjà la méthode des systèmes en boucle fermée dans ses modèles, pour réduire le « bruit » qui affecte les jugements itératifs d'experts (voir la section II.3.11.). On peut dire en toute rigueur que tous les systèmes itératifs sont des systèmes bouclés (voir également la section II.3.6.).

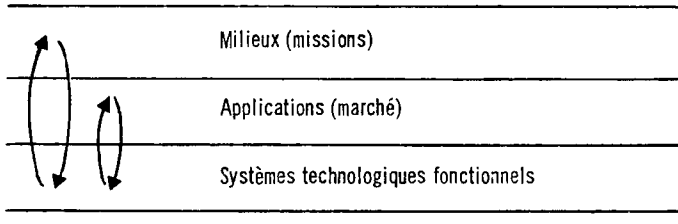
Le modèle proposé par Lenz pour l'évolution générale de la technologie (*réf. bibl. 151*), mentionné à la section II.3.11., pourrait également être complété par des cycles de « rétroaction » entre l'enseignement et la production de la recherche, etc., mais cela aurait peu d'intérêt pratique.

A un niveau essentiellement technique, Cheaney et McCrory, ainsi que Swager, du Battelle Memorial Institute (*réf. bibl. 105* et *179*), exposent leurs idées sur les méthodes partielles évoquées dans plusieurs sections précédentes, et préconisent un processus qui permettrait de rassembler ultérieurement ces éléments partiels en modèles « bouclés ». On peut observer, à ce sujet, que la « Design Method » de Battelle (*réf. bibl. 214*) — dans laquelle les techniques de prévision sont censées s'adapter à la planification — comprend certaines boucles fermées : par exemple, entre la phase de réalisation de l'étude et l'état de la science ; entre les phases de production et de commercialisation, en passant par l'accueil du marché et la reconnaissance des besoins ; ou entre les phases de production et de commercialisation, en passant par l'accueil technique, et l'état de la science. Cela ne représente à l'heure actuelle qu'un cadre de pensée, mais on envisage de développer cette méthode en un système totalement intégré, dans lequel figurerait la prévision technologique, sous la forme de boucles fermées quantitatives.

Zwicky propose un système bouclé en associant sa méthode morphologique exploratoire à une méthode normative fondée sur la théorie de la notation.

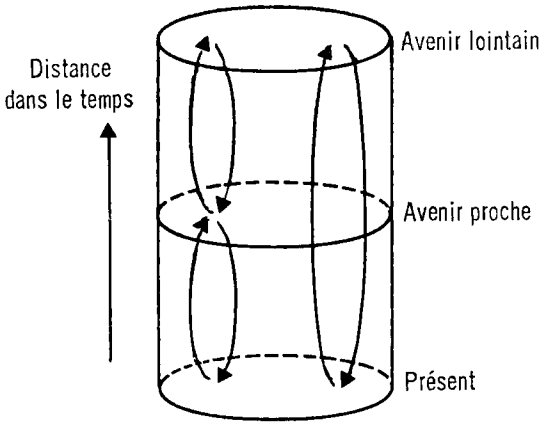
On peut distinguer *deux types fondamentaux* de modèles à systèmes bouclés :

1. Les modèles comprenant des boucles fermées entre différents niveaux de transfert technologique, ou leurs extensions par exemple entre les différentes étapes d'un développement technique et ses conséquences. L'anticipation d'un système technique correspondant



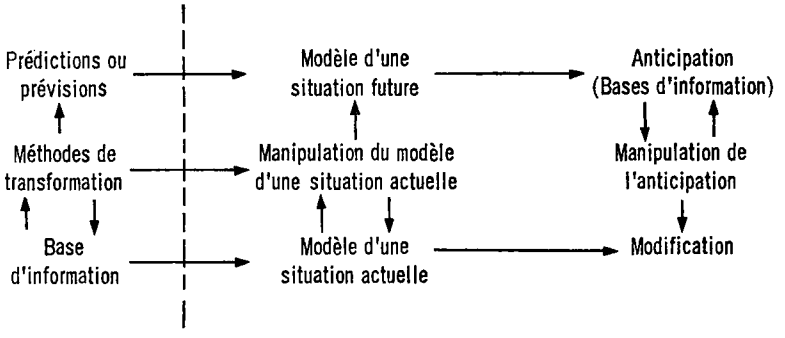
à une mission donnée peut, par exemple, après une étude minutieuse ou certaines recherches, se présenter d'une manière un peu différente et, à son tour, modifier la mission. Ou encore, la prévision d'un accueil défavorable du marché à un produit envisagé peut entraîner un changement de conception du produit.

2. Les modèles comportant des boucles fermées entre différents moments temporels, c'est-à-dire entre diverses situations (scénarios complets) relatives à des instants différents ; la boucle la plus simple relierait un scénario futur et l'instant actuel.



Tandis que le premier type de système bouclé est caractéristique des besoins de la planification technologique (les idées d'application mentionnées ci-dessus appartiennent à ce type), le second est plus intéressant pour la planification sociale générale, ou pour une « technologie sociale » à grande échelle, allant jusqu'à la planification de l'ensemble d'un monde futur.

Ozbekhan, de la System Development Corporation (*réf. bibl. 165*), a récemment décrit le cadre d'un modèle à systèmes bouclés de « technologie sociale », fondé sur le second type, mais autorisant l'inclusion de boucles fermées du premier type. Le schéma fondamental de Ozbekhan a l'allure suivante. (Il conviendrait de le faire pivoter de 90 degrés pour retrouver la classification temporelle de bas en haut adoptée dans ce rapport) :



La colonne de gauche représente, pour notre problème, l'espace des transferts technologiques. Les « méthodes de transformation » comportent les techniques de prévision technologique. La colonne du milieu représente les structures résultant de l'ensemble des développements réels ou prévus (en admettant un degré de probabilité élevé) ; le modèle d'avenir serait donc la projection la plus probable de la situation future que nous sommes capables de faire. Enfin, la colonne de droite représente les « mondes futurs possibles », pour utiliser la terminologie de Herman Kahn, ou les « futuribles », pour employer celle de Bertrand de Jouvenel — en bref, ce sont des « modè-

les de mondes futurs possibles, construits intellectuellement », et qui décrivent non seulement ce qui sera, mais également ce qui pourrait être et ce qui devrait être.

Comme l'observe Ozbekhan :

« Ce qui importe surtout dans l'effort de structuration des anticipations, c'est qu'elles doivent conduire à la création d'une base d'information, et même d'une véritable banque de modèles, dans laquelle on pourrait puiser les spécifications de futurs possibles. Les décisions politiques ou stratégiques et la planification dépendent de conceptions de l'avenir fondées non seulement sur l'extrapolation des tendances passées, mais aussi sur des idées dynamiques, sur des relations entre facteurs d'influence qui, une fois suffisamment comprises, peuvent s'exprimer sous forme de modèles, de théories ou de formules. Il est possible alors d'introduire ces éléments, en quantités suffisantes, sinon surabondantes, dans des « banques » d'informations et de modèles qui accompagnent les anticipations complètes ».

L'importance des boucles fermées est évidente dans le schéma ci-dessus, dont la principale caractéristique est la « rétroaction » entre les anticipations (« futurs possibles ») et la prévision et la planification d'un futur réel. Quelques remarques d'Ozbekhan peuvent éclairer ce point :

« Comme on le voit, il est possible d'imaginer deux bases d'information — l'une décrivant le présent, l'autre étant une anticipation — puis de les étudier et de les traiter toutes les deux en utilisant pratiquement les mêmes méthodes de transfert. L'application des méthodes de transformation à la situation actuelle conduira à un ensemble de conséquences permettant d'apprécier, à la lumière d'une situation actuelle donnée, les problèmes inhérents au développement de programmes particuliers. Ces conséquences constituent la description d'une situation future, déduite de certaines contraintes actuelles.

« D'autre part, on peut élaborer une anticipation et construire une base d'information qui lui soit associée. On peut alors manipuler cette base en remontant dans le temps, pour ainsi dire, afin de voir, en fonction de la situation future préférée, quelles modifications pourraient être apportées à la situation actuelle. Ici encore, le point important, qu'il faut garder à l'esprit, c'est qu'un système de planification ainsi élargi permet d'introduire des objectifs et des buts politiques dans le cadre de l'anticipation, et que ces buts et objectifs deviennent alors des éléments opérationnels permettant de définir les changements nécessaires à l'heure actuelle (en suggérant l'ensemble de la politique qu'il convient de suivre et les programmes interdépendants qu'il convient d'adopter) si l'on veut que l'anticipation préférée de l'avenir devienne une réalité.

« On atteint ainsi le cœur de ce que nous avons appelé la planification créatrice d'avenir, mode de planification qui se sert du futur comme d'un moyen opérationnel permettant d'opérer des changements dans le présent, afin que ces changements entraînent la réalisation de l'avenir imaginé. »

Dans ce cadre, qui représente l'objectif ultime de l'utilisation de systèmes bouclés pour la prévision, la difficulté essentielle résulte du fait que la prévision normative, qui nécessite une identification et une évaluation globales des objectifs futurs, devient multi-dimensionnelle. Il en résulte un

accroissement des risques inhérents à l'attribution de valeurs telles que « bien » ou « mal » sur la base d'un accord limité ou de connaissances insuffisantes. La prévision normative, en tant que méthode systématique, est une nouvelle discipline en soi, et la voici exposée à une extension aussi importante avant même d'avoir eu le temps de consolider ses concepts unidimensionnels.

Il faut surmonter cette difficulté car, comme le dit Ozbekhan :

> « La projection des valeurs d'aujourd'hui et des normes actuelles sur le futur est encore un des moyens d'étendre le présent, et par là même de détourner de son véritable but la planification créatrice d'avenir... Si nous envisageons réellement des futurs différents, il faut que nous les considérions, autant que faire se peut, à l'aide de systèmes de valeurs différents et, par conséquent, de structures institutionnelles différentes. Si l'on veut aboutir à une telle étude, il est incontestable que la structuration de futurs systèmes de valeurs, c'est-à-dire la prévision de critères différents du bien et du mal dans les contextes futurs doit représenter en soi une fraction importante du travail nécessaire à la planification créatrice d'avenir. »

A titre d'exemple emprunté au domaine technique, Ozbekhan mentionne les changements dans la signification de la production imputables à des progrès technologiques « si profonds et si importants par certains côtés que, dans quelques années, il sera peut-être difficile de rationaliser selon les méthodes classiques la relation entre le travail individuel et le revenu individuel. En d'autres termes, l'automation de la production crée une situation entièrement nouvelle... ». Les solutions générales pourraient être fondamentalement différentes :

Anticipation de la valeur	*Conclusion*
1. Les techniques automatisées sont mauvaises.	1. Maintenir artificiellement certains niveaux de pénurie afin de répartir le revenu selon une vieille formule de la valeur.
2. Les techniques automatisées sont bonnes.	2. Définir et décrire certaines valeurs compensatrices, pour contrebalancer leurs effets perturbateurs.

C'est ce problème des valeurs futures qui a conduit Ozbekhan à lancer l'idée « d'institutions-vigies » (voir chapitre I.7.). Dans ce contexte, on peut s'attendre à ce que les idées de McLuhan (voir section II.2.5.) soient extrêmement fructueuses.

L'application de systèmes bouclés complexes, selon la proposition d'Ozbekhan, exige des progrès des techniques de traitement de l'information ; mais, d'après les meilleurs spécialistes de ce domaine, ces progrès sont déjà en cours. Des économistes et des mathématiciens russes mettraient actuellement au point des modèles cybernétiques de prévision pour l'économie soviétique.

II.5.2. Prévision technologique et évolution des techniques de traitement de l'information

Jusqu'à un certain point, la prévision technologique n'a pas besoin d'attendre la mise au point de calculateurs nouveaux ou plus importants, ni de techniques d'utilisation fort complexes, qui renverraient à plusieurs

années l'application des systèmes de traitement intégré de l'information à certains domaines. Si la perspective d'un système de prévision technologique intégré sur cette base n'est pas encore imminente, c'est surtout que cette branche des techniques de traitement de l'information n'a pas encore été beaucoup étudiée, et qu'elle sera probablement précédée d' « événements précurseurs » dans des domaines généraux — militaires et commerciaux — tout comme la prévision technologique « manuelle » a été précédée par la création de services de planification à long terme dans les entreprises.

Parmi les entreprises, les bureaux d'études et les instituts qui s'occupent des techniques de traitement de l'information, la System Development Corporation de Santa Monica, Californie, est peut-être la seule organisation qui se préoccupe activement de l'association de la prévision technologique et du traitement de l'information. Nous avons exposé, à la section précédente, les raisons de cet intérêt.

Dans ce contexte, le principal objectif de la prévision technologique n'est pas de développer ni d'associer des méthodes de prévision qui peuvent être traitées par des calculateurs, mais de les placer dans un cadre plus vaste (par exemple, dans des systèmes complets de données de gestion) et d'accroître les possibilités d'interaction avec d'autres facteurs. Le concept de prévision technologique, tel qu'il est exposé dans ce rapport, comporte des relations horizontales multiples entre les facteurs techniques, et entre les facteurs techniques et non-techniques, à tous les niveaux des transferts technologiques. Ces relations, que l'on peut envisager dans des cadres de différentes dimensions, jusqu'aux modèles à systèmes bouclés d'Ozbekhan, décrits à la section précédente, peuvent être incorporées dans des systèmes approfondis de traitement de l'information. Les relations verticales de prévision constitueront probablement le problème le plus simple à résoudre dans un tel système.

Un service de prévision technologique dépendant d'un système totalement intégré d'information de gestion, pourrait comporter quelques-unes ou toutes les caractéristiques suivantes :

1. Sélection et mise à jour automatiques des données (techniques et non-techniques, telles que les facteurs du marché), tirées de l'ensemble de la « masse d'informations » qui représente le système.
2. Évaluation, extrapolation et ajustement automatiques des tendances, et des autres éléments d'appréciation de l'expérience passée, comportant autant que possible une déduction des structures empiriques complexes.
3. Extrapolation et évaluation automatiques de représentations contextuelles de nature aussi bien technique (configurations paramétriques, etc.) que non-technique ; comparaison permanente des contextes anticipés avec la réalité évolutive, et « déclenchement » des décisions lorsque l'on observe une convergence.
4. Recherche morphologique permettant d'énoncer et d'étudier toutes les configurations possibles et, peut-être, toutes celles qui sont réalisables en pratique.
5. Analyses coût/efficacité et coût/profit de toute nature, adaptées et mises à jour en fonction des informations variables recueillies sur l'environnement.
6. Surveillance permanente d'ensembles donnés d'objectifs (tactique, stratégie et objectifs de l'entreprise) afin de déceler les changements

possibles qui peuvent se refléter dans la situation de l'entreprise, externe ou interne.

7. Mise à jour des notes de pondération et de pertinence, à la suite de modifications affectant d'autres parties du système, ou de changements centralisés.
8. Classification des projets techniques selon des critères d'optimisation variables et des informations fournies par le système tout entier ou influencées par d'autres parties du système (différentes politiques de financement des projets de recherche selon les fonds disponibles, par exemple).
9. Effets « rétroactifs » sur de nombreux niveaux techniques, « courbes d'apprentissage », etc.
10. Formulation éventuelle de stratégies, dans les cas relativement simples.

Même un système de traitement de l'information aussi complet n'éliminerait en rien le jugement humain dans les domaines techniques ; il accroîtrait plutôt son importance et sa qualité en fournissant une base beaucoup plus large à la préparation des décisions, et une estimation multi-dimensionnelle beaucoup plus systématique. La méthode garderait essentiellement le caractère d'un « dialogue entre l'homme et la machine » et le résultat mériterait toujours l'appellation de « jugement fondé » ; ce serait simplement un jugement mieux fondé.

Le secteur des prévisions technologiques n'a pas besoin des évaluations en temps réel, plus complexes, que d'autres secteurs exigent d'un système efficace de traitement de l'information. Cette latitude simplifie les problèmes techniques et améliore considérablement l'aspect économique.

Certaines de ces diverses méthodes partielles nécessaires à la mise au point des tâches souhaitées existent déjà. C'est certainement le cas en ce qui concerne le premier point, les méthodes du type voulu étant déjà utilisées ou réalisables actuellement. M. Adelson, de la System Development Corporation, propose, dans un article sur « The Future of Planning » (en partie étudié dans la *réf. bibl. 165*), l'idée de « banques d'informations » :

> « Analogues à des bibliothèques d'ouvrages et de périodiques, qui pourraient constituer des dépôts d'informations organisés par domaines complets et modèles conceptuels. Il est possible aujourd'hui de développer, de stocker, de retrouver et d'utiliser des éléments d'information dans divers domaines, tels que le coût et la répartition de la main-d'œuvre ainsi que les facteurs analogues associés au développement de systèmes aussi bien militaires que non-militaires ; le chômage, les informations démographiques, l'enseignement, les taux de criminalité, la circulation, les structures et les modalités de croissance des communautés, la productivité, la formation, etc. Il est naturellement possible de mettre au point des modèles complets, c'est-à-dire des théories particulières pouvant être utilisées en relation mutuelle dans ces « banques », et on pourrait organiser ces dernières de façon à pouvoir répondre aux questions, politiques ou autres, posées par des utilisateurs divers. La mise au point de ces théories et des stocks d'informations automatisés, ainsi que des banques de modèles, apporterait évidemment aux planificateurs une manne d'informations susceptibles de traitement portant aussi bien sur les faits que sur les relations mutuelles et les influences, autant d'éléments dont on n'a pas pu disposer jusqu'à une époque récente. »

En ce qui concerne le second point, Dennis Gabor (*réf. bibl. 378*), a décrit une « boîte de prédiction » déjà réalisable en 1960. Il s'agit d'un type particulier de calculateur simple, qui calcule les tendances en échantillonnant le passé d'après les intervalles de Nyqvist (la moitié de la largeur de la gamme de fréquence utilisable) et qui prédit la tendance selon le critère classique des moindres carrés. Ce critère possède l'heureuse propriété d'améliorer régulièrement la prédiction d'un cycle de machine à l'autre. « Il faut admettre, dit fièrement Gabor, que cette machine a certaines prétentions justifiées à l'intelligence. Il y a de nombreux jeux dans lesquels elle pourrait battre des hommes pour la simple raison qu'elle a, non seulement une patience infinie et une mémoire quantitative précise, mais aussi qu'elle ne se fait aucune illusion ».

Nous avons déjà dit (voir section II.3.6.) que le Centre TEMPO de la General Electric utilise un modèle sur calculateur qui exécute, pour l'essentiel, les tâches liées au point 4 : recherche morphologique et systèmes futurs réalisables résultant d'interactions dans ce cadre.

Le point 5, coût/efficacité, est évidemment un domaine dans lequel on a déjà atteint une très grande complexité avec les applications des calculateurs, jusqu'aux raffinements de l'analyse des systèmes.

Les autres points paraissent de même parfaitement réalisables dans l'état actuel de la technique. Le traitement graphique de l'information (courbes, graphes, etc.) qui revêt une grande importance potentielle pour la prévision technologique, fait actuellement des progrès rapides et a déjà conduit à des réalisations partielles. Le seul problème qui reste à résoudre est celui des dimensions et de l'intégration avec d'autres aspects du traitement de l'information.

Les résultats des opérations de prévision technologique s'amélioreront au fur et à mesure que la prévision technologique se déplacera vers des types d'environnements et de sociétés qui constituent des structures « fermées ». C'est également vrai pour les systèmes de traitement de l'information consacrés aux grands événements sociaux, comme ceux qu'il convient de mettre au point pour le modèle en boucle fermée « créateur d'avenir » que nous avons évoqué à la section précédente. Il s'agirait maintenant d'en évaluer les possibilités discontinues.

On peut observer toutefois, en interrogeant l'avenir, que des machines heuristiques (orientées vers la recherche des objectifs) se voient graduellement confier certaines des évaluations et décisions qui ont été jusqu'à présent du domaine exclusif de l'homme. Le Diebold Group (États-Unis) prévoit l'apparition de machines heuristiques dans 10 ans, les premières applications se faisant dans les domaines scientifiques.

Troisième partie

ORGANISATION DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

Chapitre III.1

INSTITUTS DE PRÉVISION ET BUREAUX D'ÉTUDES

Voir également à l'Annexe A.1.
la description des travaux de prévision technologique effectués par 17 organismes.

C'est par la communion étroite et prolongée avec l'objet de ses études que l'expert atteint la perfection spirituelle d'une imagination vagabonde.

Laurence STERNE.

Le rôle des instituts de prévision (ou plutôt des groupes de prévision dans les instituts de recherche) a été très important au cours de la phase initiale d'adoption de la prévision technologique dans l'industrie. Le Stanford Research Institute, qui a créé son Service de planification à long terme en 1958, a probablement fait plus pour vulgariser les possibilités de cette prévision que tout autre organisme[1]. Tous les industriels américains, ou presque, ont entendu parler des séries de rapports établis par le Stanford Research Institute et par Arthur D. Little. Il n'en est pas de même en Europe où, dans de nombreux cas, même les entreprises qui s'intéressent à la prévision technologique n'ont pas encore entendu parler de cette documentation périodique.

Les principales prévisions technologiques proposées de manière régulière font toutes partie d'un « ensemble » qui comporte, entre autres services, l'abonnement à une série de rapports (voir Annexe A.1.). Cet ensemble fait partie des services consultatifs de gestion et de planification offerts par les instituts et les bureaux d'experts-conseils. Sauf dans le cas du Stanford Research Institute, il n'existe pas de « groupe de prévision » distinct, la fonction prévisionnelle étant considérée comme s'intégrant dans les services de gestion. Aucun des instituts ne joue simplement le rôle d'une maison d'édition dans ce domaine. Parmi les trois grands instituts américains de recherche qui dominent la prévision technologique — le Battelle Memorial Institute, Arthur D. Little, et le Stanford Research Institute — seuls ces deux derniers publient des séries de rapports.

Les services proposés par les instituts et les bureaux d'étude s'adressaient surtout, jusqu'à présent, aux *entreprises industrielles* de moyenne ou de grande importance. Les quatre services les plus importants sont encore loin d'avoir

1. Plusieurs documents tchèques, récemment parus, montrent que la notion de prévision technologique a acquis droit de cité au-delà du Rideau de fer, surtout à la suite de l'intérêt suscité par les importants travaux du Stanford Research Institute. Toutefois, aucun des grands instituts américains de prévision n'a encore reçu de demande d'abonnement provenant de pays situés au-delà du Rideau de fer.

pénétré partout, peut-être en raison du prix élevé de leur abonnement, et n'ont pour le moment atteint qu'une clientèle d'élite :

SERVICE	DROIT DE PARTICIPATION ANNUEL EN DOLLARS POUR LES UTILISATEURS INDUSTRIELS	NOMBRE D'ABONNÉS	
		TOTAL	EUROPÉENS
1. Diebold Research Program	9.600	$\sim$ 100	$\sim$ 40
2. A.D. Little Service to Management	5.000	$>$ 100	$\sim$ 10
3. MAPTEK Quantum Science Corp.	10.000-50.000	$\sim$ 50	1
4. Service de planification à long terme, Stanford Research Institute	4.000	400	$\sim$ 40

La contribution de l'industrie à ces services s'élève à environ 4 millions de dollars par an. En outre, un grand nombre d'études particulières, comportant une grande part de prévision technologique, sont effectuées chaque année pour les entreprises industrielles par les instituts et bureaux d'études pour un coût moyen de 20.000 dollars par étude, correspondant à une dépense supplémentaire de 10 à 12 millions de dollars.

On peut donc évaluer à 15 millions de dollars par an les dépenses consacrées actuellement par les entreprises industrielles aux prévisions technologiques, l'apport des États-Unis et du Canada étant de 9/10 pour 1/10 en provenance de l'Europe. En dehors des travaux effectués par ces instituts et bureaux d'études, des dépenses sont aussi affectées à d'autres types de prévision économique, qui peuvent comprendre certaines études de prévision technologique (par exemple les « projections économiques nationales » de la National Planning Association, auxquelles sont abonnées un grand nombre d'entreprises).

Les principales raisons pour lesquelles les entreprises de grande et de moyenne importance s'abonnent à ces « ensembles de services », sont de deux ordres :

— Les prévisions reposent sur des informations de base approfondies dans des domaines techniques (A.D. Little et Stanford) ; les rapports de Stanford vont même beaucoup plus loin et résultent de recherches interdisciplinaires effectuées dans des contextes futurs politiques, sociaux, économiques et technologiques généraux, l'accent étant mis sur les conséquences observées pour les utilisateurs techniques.

— Les prévisions représentent des espérances « moyennes », auxquelles les entreprises dynamiques désirent comparer leurs propres espérances (supérieures à la moyenne) et la possibilité de progresser grâce à une stratégie agressive.

Il ne fait aucun doute que la plupart des entreprises abonnées à ces services effectuent leurs propres travaux de prévision technologique interne. On estime, en général, que les informations venant de l'extérieur de l'entreprise sont intéressantes pour ces prévisions internes : les horizons sont plus larges ; des questions plus générales, telles que les grands problèmes sociaux et économiques y sont examinées, et il est possible de trouver dans certains secteurs des suggestions valables pour les études d'applications et les services — c'est-à-dire les transferts technologiques horizontaux. (Ainsi, dans le secteur des appareils de mesure — qui doit veiller aux applications possibles dans la plupart des secteurs industriels — Hewlett-Packard, par exemple, confirme la valeur des rapports de Stanford).

Les jugements relatifs à l'exactitude des prévisions varient considérablement mais sont généralement favorables.

On rencontre, toutefois, une critique fréquente. Elle porte sur le fait que les rapports de prévision omettent souvent de citer leurs informations de base et leurs raisonnements analytiques (l'histoire « logique »). Les instituts et les bureaux d'experts estiment, en général, que les prévisions sont destinées à la haute direction mais que celle-ci ne s'intéresse pas aux matériaux de base et aux raisonnements qui conduisent à leurs conclusions. Cette opinion n'a pas été confirmée par les entreprises industrielles au cours de la présente enquête de l'OCDE. Les séances de discussion, les réunions annuelles avec les clients, et les enquêtes qui font partie de ces « ensembles de services » ne sauraient se substituer à des informations de base complètes. Nous citerons, à cet égard, un service assuré par le Stanford Research Institute. L'Institut dispose d'un centre d'information où tous les éléments de base sont classés avec des exemplaires annotés des rapports analysés. L'utilisation personnelle du centre d'information — ou l'envoi de photocopies sur demande — permet en grande partie de combler ce manque d'information, et le centre est hautement apprécié par l'industrie. A partir de 1967, l'Institut envisage d'annexer à chaque rapport fourni dans le cadre de l'abonnement régulier, les microfilms des documents exploités.

En outre, les participants peuvent demander autant d'exemplaires qu'ils le désirent des résumés en une page des rapports de Stanford. Ce service s'est révélé très utile. Les entreprises font circuler ces résumés parmi leur personnel et centralisent l'archivage des rapports complets, qui ne sont communiqués que sur demande. RCA, par exemple, fait circuler 50 exemplaires des résumés des rapports de Stanford.

En dehors des services destinés aux grandes et moyennes entreprises, il existe un certain nombre d'études de prévision, essentiellement conçues pour les sociétés financières. Les « Samson Trends » ont reçu, à cet égard, une diffusion relativement étendue, bien que ces études soient également très intéressantes pour les entreprises industrielles du secteur de l'électronique.

Une activité qui constituera peut-être dans l'avenir, l'un des principaux rôles des instituts de prévision, a cependant été généralement négligée jusqu'à présent : il s'agit des études destinées aux petites entreprises. Dans plusieurs pays, la situation des *petites entreprises* risque de devenir de plus en plus difficile parce que, entre autres difficultés, elles ne peuvent s'offrir ce véritable « système radar » que représente la prévision technologique. Leur activité se limite souvent à des catégories étroites de produits, tandis que la prévision n'a de valeur réelle que lorsqu'on peut envisager des développements dans de larges domaines et que l'on peut évaluer convenablement les différentes solutions possibles grâce à l'analyse de grands systèmes. Même si une petite entreprise pouvait s'abonner à l'un des grands services, elle aurait rarement les moyens de l'apprécier complètement. Il est possible que la solution de ce problème ne puisse se trouver qu'à l'échelon national, grâce à un service central d'information dynamique, qui coopérerait avec les instituts de prévision pour se procurer les éléments de base. Cela exigerait une modification de la politique des instituts, qui cesseraient de réserver leurs prévisions périodiques à l'usage exclusif des abonnés, puisque le service central d'information des petites entreprises compterait parmi eux.

Les instituts de prévision ont joué un rôle important dans la *définition initiale des techniques* et des attitudes à adopter pour la prévision technologique.

A l'heure actuelle, une nouvelle étape est abordée, et certains instituts participent au développement des méthodes de prévision dans le domaine de la technologie sociale. On notera avec intérêt que des sociétés telles que la RAND Corporation et la System Development Corporation participent activement à cette tâche, et se trouvent même parmi les pionniers. Abt Associates, le Battelle Memorial Institute et la Quantum Science Corporation font partie des « inventeurs » et des « innovateurs » de méthodes spéciales.

INDUSTRIE

... une grande société est une société dans laquelle les hommes d'affaires prennent leur tâche au sérieux.

Alfred North WHITEHEAD.

III.2.1. ROLE DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE

Lenz (*réf. bibl. 151*) a exprimé de la manière suivante la principale justification de la prévision technologique :

> « Une prévision efficace du progrès technique est aujourd'hui un élément nécessaire aux décisions de gestion. La course au progrès exige des paris, et nul ne peut s'y soustraire. D'ailleurs, la plupart des dirigeants d'entreprises ne sont même pas maîtres de l'importance de leurs paris, car celle-ci est étroitement liée à la valeur nette du secteur de l'économie sur lequel ils exercent leur contrôle. Étant donné qu'une certaine appréciation des conditions futures est indispensable à toute décision de gestion, la vraie question est de savoir si cette appréciation doit être un élément implicite et inconscient de la préparation des décisions, ou si elle doit revêtir un caractère délibéré et explicite. La principale raison qui milite en faveur d'une prévision explicite est qu'il devient possible d'en vérifier la valeur. La prévision explicite offre, en outre, l'avantage de révéler la méthode, les informations et les prémisses utilisées pour l'établir. »

De manière plus précise, Lenz associe même les « conditions de non-prévision » aux « conditions de non-survie » — relation qui est évidente si l'on ne fait aucune prévision systématique ou intuitive.

D'un autre côté, de nombreuses entreprises se défendent contre des analyses trop poussées. La Lockheed Aircraft Corporation (États-Unis) estime qu'il ne convient d'approfondir les idées qu'au moment où le financement intervient : « Il est moins coûteux d'essayer quelques mauvaises idées que d'entretenir en permanence une équipe pour en faire l'analyse approfondie ». On pense aussi qu'un examen initial est fatal aux idées nouvelles. Georges Doriot a estimé que les « États-Unis risquaient de se tuer à force d'analyse ».

Nous avons souligné, dans ce rapport, que la prévision technologique s'étend très au-delà de la simple exploration des possibilités techniques. En fait, on peut l'associer à chacune des cinq « tâches de haute direction » que Quinn (*réf. bibl. 217*) expose dans son système de planification de la recherche :

1. Déterminer d'importants objectifs de recherche ;
2. Vérifier que l'organisation est adaptée aux principales possibilités à long terme et aux principaux risques technologiques de l'entreprise ;
3. Mettre sur pied une stratégie globale, dans laquelle la recherche est intégrée;

4. Mettre au point une procédure permettant d'évaluer les projets de recherche à la lumière des objectifs et des aptitudes de l'entreprise;
5. Organiser la recherche et l'exploitation, afin que le passage de l'une à l'autre soit aussi fructueux que possible.

Quinn ajoute : « Il faut remarquer que les possibilités les plus profitables et les risques les plus graves que sous-entend la technologie résultent fréquemment de ce que l'on considère de vieux problèmes sous un jour entièrement nouveau, plutôt que de l'emploi de méthodes traditionnelles pour modifier graduellement des techniques acceptées ».

En outre, la prévision technologique prendra une importance croissante comme guide des transferts techniques horizontaux, la tendance générale actuelle allant vers l'intégration de la série complète : produits - systèmes - services.

III.2.2. Évolution de la planification a long terme dans l'industrie

Selon le service économique de McGraw-Hill qui procède à des enquêtes périodiques dans l'industrie américaine, alors qu'environ 20 % de l'ensemble des entreprises tentaient en 1947 de faire des prévisions commerciales portant sur des durées supérieures ou égales à trois ans. cette proportion est passée à 90 % en 1966.

Depuis 1954, le Stanford Research Institute a constaté l'existence d'un net mouvement de l'industrie américaine vers la planification à long terme, qui concorde étroitement avec les résultats d'autres enquêtes (*réf. bibl. 193, 197*). Dans la majorité des cas, un plan mobile de cinq ans sert de cadre à la planification à long terme de l'entreprise, avec des plans complémentaires moins formels, s'étendant souvent sur 10 ans ou plus.

Scott (*réf. bibl. 220*) considère que la prévision technologique est devenue une tendance marquée de l'industrie américaine vers la fin des années 1950. Cette opinion correspond aux résultats de la présente enquête de l'OCDE.

C'est seulement maintenant que commence à se dessiner l'intégration de la planification et de la prévision technologique à long terme, avec l'abandon simultané des réflexions centrées sur les produits au profit d'analyses centrées sur les fonctions, comme on l'a vu au chapitre I.6.

On peut discerner l'existence d'un cycle de six ans pour l'adoption des « innovations administratives » aux États-Unis.

1953-54... Planification à long terme dans l'entreprise
1959-60... Prévision technologique
1965-66... Intégration de la planification et de la prévision technologique et réorientation vers les fonctions.

Plusieurs entreprises ont été en avance sur ces dates. On considère aujourd'hui que la planification à long terme et la prévision technologique sont des reflets essentiels de l'activité d'une entreprise, ce dont témoignent les nombreuses annonces parues dans les journaux et les revues de vulgarisation aux États-Unis.

On ne peut diviser l'évolution européenne en cycles aussi clairs. Le Stanford Research Institute place, en 1964, les débuts d'un véritable intérêt pour la planification à long terme dans les entreprises européennes, soit un retard de dix ans sur les États-Unis. En revanche, la prévision technologique a commencé dans de nombreux pays européens à peu près en même temps que la planification formelle à long terme et même un peu avant.

Les concepts de gestion commencent actuellement à être influencés par la prévision technologique dans un autre domaine. Après la transition de l'organisation horizontale à l'organisation verticale — accompagnée d'une décentralisation marquée au profit des familles de produits (jugée inévitable aux États-Unis pour les entreprises ayant un chiffre d'affaires annuel supérieur à 400 millions de dollars) — la tendance à l'organisation des fonctions entraîne le rétablissement d'une coordination centralisée tendue actuellement vers les objectifs futurs. Alors que l'intégration verticale de l'industrie américaine s'est presque achevée dans les vingt années qui ont suivi la deuxième Guerre mondiale, elle est actuellement en plein développement en Europe. Il semble donc que les entreprises européennes aient la possibilité de prendre un raccourci et de passer directement d'une structure horizontale centrée sur les produits à une structure centrée sur les fonctions.

L'insistance mise sur les familles de produits et sur une stratégie verticale, aspect qui détermine parfois la quasi-intégralité des affaires d'une entreprise, a conduit à considérer la recherche et le développement comme des « produits ». On peut distinguer aujourd'hui trois attitudes fondamentales en cette matière :

— La recherche et le développement deviennent l'une des nombreuses stratégies possibles en concurrence avec l'acquisition d'une entreprise, d'une licence, de participations, etc. C'est, par exemple, la méthode adoptée par la Compagnie suédoise ASEA (qui, dès les années 1920, a choisi une direction fortement orientée vers les produits). On fait appel à la prévision technologique, sous forme d'une analyse économique de l'ensemble des projets de développement, complétée par des méthodes de comptabilité financière actualisée (voir la section II.3.10), pour évaluer le « produit » que constituent la recherche et le développement.

— Des enquêtes systématiques sont entreprises sur les sujets de recherche et de développement (Incentive A.B., Suède, qui fait littéralement la chasse aux recherches universitaires) ou sur les possibilités de diversification planifiée (Litton, Textron, Standard Oil of Ohio, American Research and Development Corporation, et jusqu'à un certain point également Du Pont, tous aux États-Unis). La prévision technologique joue dans ce cas un certain rôle, mais ce sont généralement les considérations financières qui dominent.

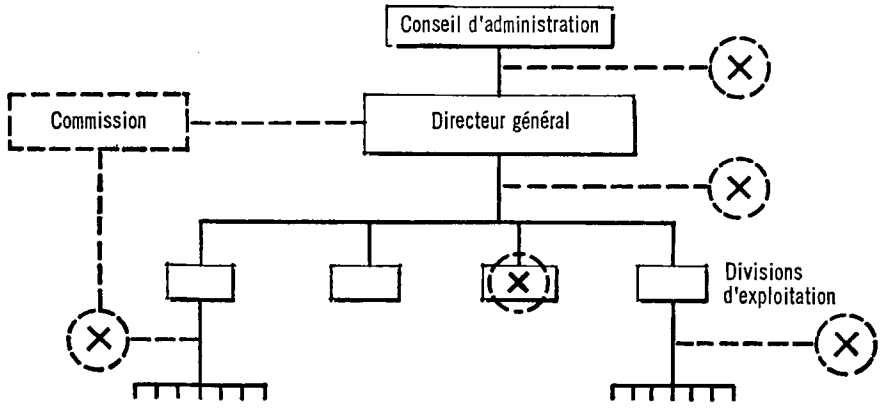
— On procède à des évaluations systématiques d'inventions extérieures, en vue de les acquérir ou de participer à leur mise au point et à leur exploitation dans des « filiales de recherche et de développement » spéciales, créées par la société (Union Carbide). Ce système est également envisagé par Ford Motor Corporation, aux États-Unis. La prévision technologique est le principal instrument de préparation des décisions.

III.2.3. La fonction de prévision technologique dans l'organigramme de l'entreprise

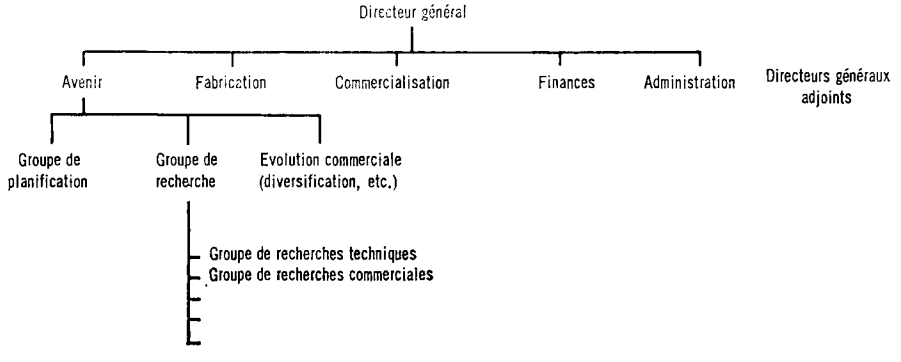
En règle générale, la prévision technologique est incorporée dans la structure complexe d'une entreprise à titre de raffinement de sa planification à long terme. L'organisation verticale décentralisée se poursuit habituellement par la création d'un service fonctionnel horizontal situé au niveau de la direc-

tion, et dont la tâche est d'identifier et d'analyser les problèmes inhabituels, puis de proposer des solutions. Une autre forme d'organisation fréquemment rencontrée est celle des commissions de gestion, créées à l'échelon supérieur et quelquefois assistées par un petit secrétariat.

La planification à long terme de l'entreprise se fait souvent selon ces deux méthodes. Le Stanford Research Institute distingue cinq points d'attache (marqués d'une croix) dans le cas de l'entreprise américaine « normale ».



Il existe une préférence marquée pour des groupes fonctionnels indépendants, constitués à l'échelon de la direction. La structure définie par le Stanford Research Institute pour une entreprise américaine « de pointe » fait déjà apparaître une gestion centrée sur les fonctions, au moins tant qu'il s'agit de nouveaux produits (voir également la section III.2.5.).



En général, la prévision technologique est associée beaucoup plus étroitement à la planification à long terme de l'entreprise qu'à la recherche et au développement. Dans les entreprises où n'existe aucune intégration structurelle complète de la prévision, de la planification et de la recherche, la prévision technologique elle-même, ou sa coordination, est souvent plus proche

de la haute direction que ne l'est la recherche. Cette observation est illustrée par les résultats surprenants d'une enquête effectuée par un bureau d'études de gestion très connu aux États-Unis (McKinsey, *réf. bibl. 205*). Dans les industries pharmaceutiques, chimiques et électrotechniques américaines, plus de la moitié des « bonnes idées » ont été initialement suggérées par la haute direction. Dans plusieurs cas, les directeurs scientifiques et les directeurs généraux de l'entreprise dirigent les travaux de groupes fonctionnels horizontaux, et participent activement à la gestion ou à la coordination du service de prévision technologique. Plusieurs entreprises de pointe appliquent à la prévision technologique la mise en garde de Churchill : « On ne doit pas conduire une tâche importante à partir d'une position subordonnée ».

Plus les niveaux de direction en cause sont élevés, plus il importe de maintenir des voies de communication et de « rétroaction » officielles et — plus encore — officieuses. Ce problème est particulièrement important dans les cas où la direction encourage les idées nouvelles à tous les niveaux (RCA et autres).

La *décentralisation* de la prévision technologique caractérise de nombreuses grandes entreprises américaines, elles-mêmes décentralisées. Ce phénomène, qui n'a que de vagues liens avec les concepts de centralisation ou de décentralisation de la recherche, est imputable aux raisons suivantes :

- Large diversification et commercialisation décentralisée ; la prévision technologique est souvent associée à la commercialisation, surtout quand les études d'application occupent une large place;
- Tendance à confier la prévision technologique aux services de réalisation plutôt qu'à des services de prévision à plein temps ; cet état d'esprit est plus répandu aux États-Unis qu'en Europe;
- Différenciation entre recherche et développement fonctionnels et non-fonctionnels, qui conduit souvent à la division correspondante des travaux de prévision technologique. Tandis que la prévision des domaines fonctionnels (affaires réelles et extensions) est décentralisée, la haute direction se charge de la prévision dans les domaines non-fonctionnels (diversification, etc.) ; des exemples en sont fournis par la Royal Dutch-Shell et l'Union Carbide;
- Séparation fréquente entre la prévision technologique et les recherches de défense nationale, à la fois pour des raisons de secret et parce que le cadre normatif est habituellement bien déterminé ; des exemples en sont donnés par Bofors (Suède), CSF (France), Elliott-Automation (Royaume-Uni) et RCA (États-Unis).

Dans la plupart des cas, les activités *centralisées* typiques portent sur les tâches suivantes de la prévision technologique : stratégie de l'entreprise, diversification, études interdépartementales (ou interdisciplinaires) prévisions à très long terme, et recherche sociale. Toutefois, si une entreprise s'intéresse à un grand nombre de domaines extrêmement différents, la prévision à long terme est décentralisée (Litton, Textron, et, jusqu'à un certain point, Union Carbide).

On peut concevoir quatre sources différentes auxquelles peut s'adresser une entreprise pour se procurer les informations de base destinées à ses prévisions technologiques particulières (en dehors de la possibilité plus générale de s'abonner à une des séries de rapports proposées par les instituts de prévision et les bureaux d'experts-conseils) :

1. Un service spécialisé permanent propre à l'entreprise ;

2. Des groupes d'intervention spécialisés, propres à l'entreprise (éventuellement complétés par des consultants extérieurs);
3. Un « Groupe de réflexion » (tel que le Centre TEMPO de la General Electric ou, jusqu'à un certain point, le Département des sciences militaires et spatiales de Honeywell) ;
4. Des contrats passés avec des instituts de prévision ou des bureaux d'études en vue des travaux de prévision à exécuter pour l'entreprise.

La deuxième solution est rarement appliquée, et aucune entreprise — tout au moins aucune entreprise dynamique — n'envisage sérieusement la quatrième. Les entreprises se rendent compte qu'elles ne peuvent faire appel à des services extérieurs que si elles disposent d'un groupe interne capable d'absorber et d'exploiter les prévisions effectuées.

La méthode généralement appliquée à l'heure actuelle est la première mentionnée ci-dessus : un service spécialisé permanent propre à l'entreprise (mais qui n'a pas nécessairement un caractère absolument formel), quelquefois complété par des travaux de prévision confiés à l'extérieur aux termes de contrats spéciaux.

Quinn (*réf. bibl. 217*), dans une étude portant sur 35 entreprises américaines et remontant jusqu'à 1960 environ, a constaté que la plupart de ces entreprises ont des services propres relevant de l'un des trois types suivants : groupe d'analyse sur le plan fonctionnel, comité de recherche, et groupe spécial chargé d'une étude particulière. Parmi les quelques systèmes mixtes qu'il a observés, il en est un qui présente un intérêt particulier : dans une société d'électronique, la prévision technologique est confiée à des docteurs ès-sciences nouvellement recrutés, que l'on considère comme non encore influencés par des réflexes acquis dans l'entreprise ; les résultats sont ensuite coordonnés par un directeur général adjoint. La section suivante, III.2.4., comporte une analyse statistique des systèmes prévisionnels observés au cours de la préparation de ce rapport.

III.2.4. Analyse statistique des systèmes de prévision technologique de 62 entreprises

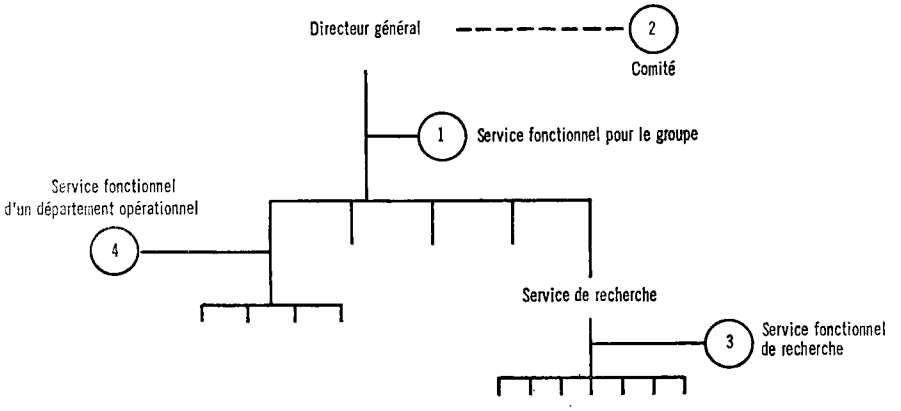
L'analyse suivante porte sur la situation observée en 1965-66 dans 62 entreprises, 39 d'entre elles (soit 63 %) étant situées ou ayant leur siège en Europe ou en Israël, et 23 (soit 37 %) aux États-Unis. Il s'agit d'entités considérées au niveau du groupe (par exemple, la General Electric est considérée comme une seule entreprise), de sorte que nous avons parfois traité dans une étude unique plusieurs services de prévision relativement indépendants, dont le nombre peut atteindre 50 à 100 pour certains groupes. Il s'agit donc d'un examen portant sur 62 entreprises, comportant en fait un nombre beaucoup plus grand d'activités distinctes qui utilisent fréquemment des méthodes tout à fait différentes à l'intérieur de la même entreprise ; c'est le cas par exemple des 123 départements de la General Electric, des 60 activités d'Union Carbide ou des six divisions de la North American Aviation.

La plus petite entreprise considérée compte deux mille employés ; à l'autre extrémité, on trouve les plus grandes entreprises mondiales.

Cinquante-quatre (soit 87 %) de ces entreprises disposent d'un service permanent ou périodique de prévision technologique, les huit autres procèdent à des prévisions irrégulières mais fréquentes, en fonction de leurs besoins. Quarante-cinq entreprises (soit 73 %) rédigent périodiquement des rapports

de prévision ou les insèrent dans leur plan formel à long terme ; cinq entreprises procèdent ainsi plus d'une fois par an (tous les trois, quatre ou six mois).

Le service de prévision technologique peut occuper quatre positions dans la structure de l'entreprise :



Il s'agit là d'un schéma simplifié. Par exemple, le « Service de recherche » peut également être un Laboratoire central de recherche au niveau du groupe, et les positions fonctionnelles (3) et (4) peuvent être remplacées par des fonctions à temps partiel confiées à des directeurs, à des chefs de projet ou au personnel d'exécution.

L'étude statistique des situations rencontrées dans les entreprises a donné les résultats suivants (les chiffres entre parenthèses se rapportent aux 23 entreprises américaines, considérées séparément) :

SITUATION	TYPE	SEUL OU EN ASSOCIATION		SEUL		ASSOCIATION PRÉFÉRÉE
		ENTREPRISES	%	ENTREPRISES	%	
1	Service fonctionnel pour le groupe	46(20)	74(87)	10(1)	16(4)	1 + 4 seuls : 16(6) entreprises 1 + 4 + autres : 12(9) entreprises
2	Comité	15(8)	24(35)	4(0)	6(0)	1 + 2 + autres : 10 entreprises 2 + 4 + autres : 6 entreprises
3	Service (fonctionnel) de recherche	20(10)	32(43)	5(2)	8(9)	1 + 3 + autres : 14 entreprises
4	Service (fonctionnel) d'un département opérationnel	31(15)	50(65)	1(0)	2(0)	1 + 4 : voir ci-dessus
—	Directeur général	6(4)	10(17)	2(1)	3(4)	
—	Groupes d'intervention..	3(1)	5(4)	1(0)	2(0)	
—	Effort particulier à l'échelle de l'entreprise.	4(0)	6(0)	1(0)	2(0)	

On constate que, dans la plupart des cas, le service de prévision technologique des grandes entreprises résulte d'un compromis. L'Europe et Israël fournissent la quasi-totalité des cas simples.

Il est certain qu'un service fonctionnel à plein temps, situé au niveau du groupe et composé en moyenne de trois à six personnes, est considéré comme la meilleure solution pour l'exécution et la coordination des études de prévision technologique. Cette méthode est nettement préférée au recours à des services opérationnels de recherche. L'association d'un service fonctionnel au niveau du groupe, chargé de la synthèse et de la coordination, et de services prévisionnels décentralisés dans les divisions opérationnelles — solution qui ouvre déjà la voie à une intégration de la prévision et de la planification (voir section III.2.5.) — est adoptée par 45 % des entreprises considérées, et par 65 % des entreprises américaines examinées (y compris les cas d'associations avec d'autres services).

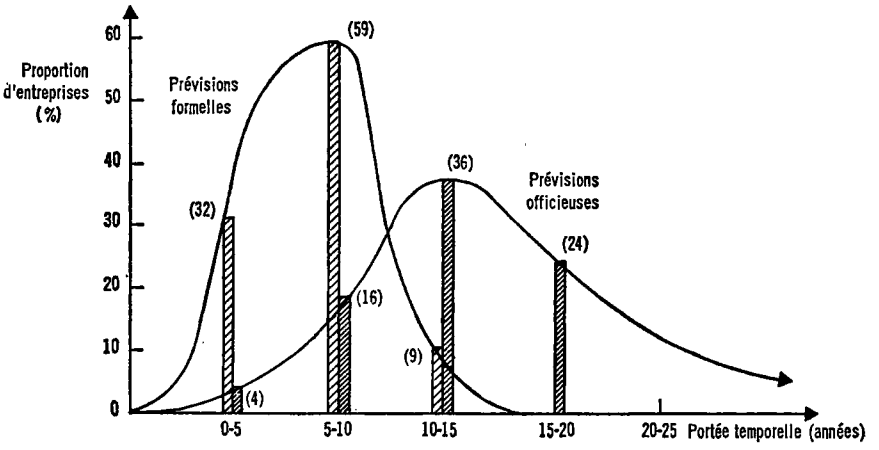
Deux sociétés ont plus ou moins renoncé récemment à avoir un service fonctionnel au niveau central. La General Motors a mis fin aux activités d'un groupe de prévision technologique à plein temps, qui avait fonctionné deux ans et demi mais elle maintient son « Comité de politique de la recherche », assisté de scientifiques de son laboratoire ; Du Pont a interrompu la préparation de scénarios à échéance de dix ans, rédigés tous les trois ans par un Département du développement situé au niveau du groupe (le dernier scénario datant de 1963) ; mais les travaux de prévision à échéance de cinq ans se poursuivent dans les départements industriels. Dans les deux cas, des raisons complexes ont conduit à ces décisions.

Le système de « spécialistes » de la prévision technologique est beaucoup plus répandu en Europe, comme en témoigne le nombre relativement élevé des services fonctionnels centraux, seuls chargés des tâches de prévision (voir ci-dessus). La méthode préférée aux États-Unis consiste à intégrer la prévision à d'autres activités ou à associer des « prévisionnistes » spécialisés, chargés de la coordination et de la synthèse, à des personnes des services opérationnels et, éventuellement, à des directeurs. (Les chiffres entre parenthèses se rapportent aux 23 entreprises américaines considérées séparément) :

TYPE DE PERSONNEL	ENTREPRISES	%
Spécialistes de la prévision technologique seuls	19 (2)	31 (9)
Personnel des services opérationnels et/ou de direction, seuls	18 (9)	29 (39)
Combinaison des deux types	25(12)	40 (52)
	62(23)	100(100)

On adopte en général une méthode interdisciplinaire, et celle que nous avons le plus fréquemment rencontrée fait appel à une collaboration en parties égales de techniciens et de scientifiques d'une part, et d'économistes d'autre part.

La *portée temporelle* des prévisions est souvent différente selon que les prévisions sont formelles ou officieuses. Dans les entreprises considérées, les prévisions formelles vont jusqu'à 15 ans, les prévisions officieuses jusqu'à 50. On peut représenter graphiquement cette distribution en pourcentage.



La courbe de distribution des prévisions formelles reflète le temps moyen nécessaire actuellement à un cycle de transfert technique entre la découverte scientifique et l'innovation technologique, soit 15 ans. Toutefois, la prévision formelle dépasse nettement l'échéance de cinq ans habituelle en matière de planification à long terme dans les entreprises. La portée temporelle, beaucoup plus grande, des prévisions officieuses, doit surtout permettre la formulation d'objectifs à long terme et la préparation d'options techniques.

En Europe, il est rare que la période d'échéance des prévisions technologiques soit aussi bien définie qu'aux États-Unis ; il s'agit donc de méthodes surtout exploratoires, les prévisions « atterrissant » à des distances temporelles différentes. Nous n'avons pu déterminer si les courbes de distribution évoquées ci-dessus différaient pour l'Europe et les États-Unis. L'impression générale est qu'elles ne sont pas très différentes.

Certaines caractéristiques sont particulières aux entreprises examinées :

— Dans plusieurs entreprises, les services de prévision technologique sont organisés de façon à coopérer étroitement avec d'autres services fonctionnels, particulièrement ceux qui sont chargés de la commercialisation et de la planification des produits. Un exemple d'interaction plus complexe est fourni par le Département de planification d'Esso (Royaume-Uni) ; il comprend les groupes suivants, qui participent tous aux travaux de prévision technologique : prévision économique, évaluation commerciale, science et technologie, prévision dans le domaine de l'énergie, mathématiques et recherche opérationnelle.

— Si les travaux de prévision sont décentralisés, des services fonctionnels de prévision technologique assument parfois un rôle « d'enseignement » pour l'ensemble de l'entreprise (3M Company, ASEA).

— Les Comités ont parfois un très grand poids, en raison de la participation de membres de la haute direction ; à la General Motors, par exemple, le Président est membre du Comité de politique de la recherche.

— Les travaux décentralisés de prévision technologique peuvent se dérouler à un rythme différent de celui des travaux de synthèse à

l'échelon central du groupe ; chez Boeing, des prévisions sont établies trimestriellement dans les divisions, la synthèse à l'échelon de la société n'étant faite qu'une fois par an.

— En observant quelques applications de la méthode des « groupes d'intervention », nous avons constaté que L.M. Ericsson emploie une méthode originale en constituant des commissions, interdisciplinaires et temporaires, formées de personnel jeune, afin d'obtenir des idées neuves.

— Parmi les travaux approfondis effectués au niveau de l'ensemble du groupe, nous avons observé deux systèmes particuliers : (*a*) Les études de la « Research Conference » de Unilever, effectuées en 1965-66 pour une prévision sur cinq à dix ans, et destinées à ouvrir de nouvelles fenêtres, constituent déjà la deuxième tentative importante, après celle de « Britain in 1984 » (*réf. bibl. 256*) entreprise en 1959-60 ; 16 groupes d'études internationaux, composés de scientifiques provenant des 11 laboratoires d'Unilever, ont encouragé les prévisions de leurs collègues, procédé à la synthèse des résultats, et associé celle-ci à des prévisions économiques (fournies par des organismes extérieurs) et à des prévisions sociales. (*b*) Une importante tentative, entreprise, en 1965-66 par la Research Division de Westinghouse, a donné lieu à des échanges de vues avec tous les hauts directeurs de la société, pour établir une prévision sur dix ans et définir des domaines particulièrement intéressants ; il s'agissait notamment d'évaluer le taux de probabilité de bénéfices élevés et de succès commercial dans les dix ans à venir ; 70 domaines ont été définis, et les appréciations des directeurs ont été corrigées au cours d'une seconde étape (itérative). Un groupe de prévision technologique a ensuite traduit les résultats sous forme d'objectifs sur le plan de la science fondamentale et de la technique, puis défini la stratégie de la recherche. Esso (Royaume-Uni) entreprend tous les trois ans, outre sa prévision formelle permanente, une prévision exploratoire à long terme.

III.2.5. Intégration de la planification et de la prévision technologique et ré-orientation vers les fonctions

Nous avons indiqué, au chapitre I.6., que la planification et la prévision technologique avaient une tendance naturelle à fusionner jusqu'au point où la prévision n'est plus une discipline distincte. Nous avions aussi remarqué que l'une et l'autre se faisaient plus volontiers dans une structure orientée vers les fonctions. Les chapitres suivants, III.3. et III.4., souligneront l'existence d'une tendance très marquée dans cette voie, même dans le domaine militaire ou administratif.

Après la très forte évolution qui a conduit de l'organisation horizontale à une organisation verticale orientée vers les produits, la tendance nouvelle, qui fait suite à l'effort de planification à long terme, exige de nouveau le contrôle horizontal d'une structure hiérarchique orientée vers les fonctions. Les principales raisons de cette nouvelle réorganisation ont été récemment décrites par Michaelis[1] :

1. A la Conférence sur les Transferts technologiques et l'Innovation, tenue à Washington, D.C., du 15 au 17 mai 1966.

Les structures industrielles orientées vers les produits constituent en partie un obstacle à l'innovation.
Les structures orientées vers les fonctions autorisent une planification centrée sur les objectifs à long terme et les buts sociaux.

On peut ajouter ici que c'est à la haute direction qu'il appartient de plus en plus de s'occuper de l'avenir. Une société d'électronique américaine, à structure fonctionnelle, souligne que « la direction générale doit surtout penser aux techniques futures », et la direction de la Xerox Corporation (États-Unis) « consacre plus de temps aux problèmes de 1975 qu'à ceux d'aujourd'hui ».

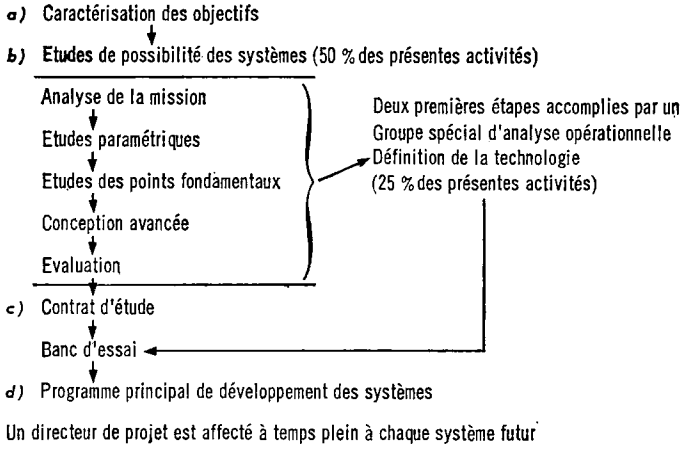
Le passage de stratégies orientées vers la technique à des stratégies orientées vers le marché, qui influe profondément sur l'organisation et les politiques fondamentales d'une entreprise, provoque également l'apparition de structures construites autour des fonctions plutôt que des produits. Des exemples en sont donnés par la 3M Company (Minnesota Mining and Manufacturing Company) qui s'est orientée vers le marché au milieu des années 1940, et par Vickers (Royaume-Uni) qui a pris le virage en 1960, et créé en même temps un service de prévision normative afin de « localiser les domaines de l'avenir ».

La distinction fondamentale entre la recherche fonctionnelle et la recherche non-fonctionnelle est caractéristique des grandes entreprises, dans lesquelles la structure repose sur les fonctions. La recherche fonctionnelle, au sens de la Shell, comprend également les développements à long terme qui prolongent les activités actuelles. (Par exemple, le forage en mer jusqu'à une profondeur d'environ 600 mètres — qui, on l'espère, jouera un rôle dans 20 ou 25 ans — est considéré comme « fonctionnel » parce qu'il représente une extension des techniques actuelles de forage pétrolier). La recherche non-fonctionnelle est associée aux activités sortant du cadre des travaux habituels, par exemple la préparation des diversifications futures. Les groupes de prévision technologique s'occupant de recherches fonctionnelles et de recherches non-fonctionnelles respectivement, sont généralement dans ces cas, séparés. Par exemple, Du Pont et United Aircraft chargent leurs divisions opérationnelles verticales d'effectuer les prévisions dans les domaines fonctionnels, tandis que les prévisions non-fonctionnelles, qui plongent plus profondément dans l'avenir, sont confiées à un groupe opérationnel horizontal. La Shell effectue les deux types de prévisions à l'échelon d'un groupe horizontal, mais de façon totalement distincte. IBM établit une distinction entre la recherche fonctionnelle, la recherche non-fonctionnelle et la recherche générale en science fondamentale et en technologie.

De nombreuses entreprises tentent aujourd'hui d'adopter des structures fonctionnelles et des objectifs collectifs à long terme en faisant appel à la « *gestion matricielle* ». L'organisation générale des grandes entreprises favorise une structure orientée vers les produits (ou vers les programmes) pour les divisions opérationnelles, et une structure orientée vers les fonctions (ou les diverses disciplines) pour les divisions ou les laboratoires de recherche à l'échelon central. Une structure orientée vers les fonctions, en changement permanent, se superpose aux précédentes afin de s'occuper des activités et des projets inter-disciplinaires, avec des chefs de projets et des groupes de projets provisoires. La matrice de produits ou de fonctions représente donc essentiellement un type de « groupe d'intervention », sur la base d'une structure administrative rigide.

On peut adopter une méthode analogue pour structurer l'ensemble des activités de planification et de prévision en utilisant une matrice de système ou de technologie, afin d'associer la gestion des systèmes aux options techniques à long terme. Un exemple de gestion matricielle est donné par la structure du système de préparation des décisions de la Division de Los Angeles de North American Aviation. Elle effectue des travaux de recherche et de développement en dehors des contrats gouvernementaux, c'est-à-dire des études indépendantes. La préparation des décisions techniques est divisée en trois domaines : (1) la planification orientée vers les systèmes ; (2) la planification orientée vers les techniques ; (3) la planification technique orientée vers les systèmes. Une procédure, étape par étape, est suivie dans ce domaine :

1. *Planification orientée vers les systèmes* (41 % des activités totales). Elle porte sur les principaux systèmes nouveaux qui n'ont pas encore atteint la phase du financement, et qui demandent une vue à long terme (par exemple, l'avion hypersonique, envisagé dans un avenir de 10 à 15 ans). A partir de l'identification des besoins, on peut représenter la procédure par l'organigramme suivant :



Un directeur de projet est affecté à temps plein à chaque système futur

2. *Planification orientée vers la technologie* (52 % des activités totales). Elle se concentre sur les performances, les poids, les fonctions, la fiabilité, les améliorations des coûts, etc., et suit les étapes suivantes :
   a) Base technique (par exemple, le poids).
   ↓
   b) Idées d'amélioration (par exemple, composition de matrices en plastique au bore).
   ↓
   c) Possibilité de réaliser les recherches et le développement → Contrats de recherche.
   ↓
   d) Contrats pour les essais en vol à plus grande échelle.
   ↓
   e) Application au nouveau programme.

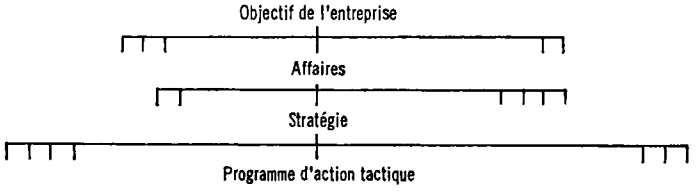
3. *Planification technologique orientée vers les systèmes* (7 % des activités totales).

L'importance de la phase de planification orientée vers la technique est caractéristique du secteur aérospatial et de plusieurs autres secteurs fortement novateurs.

Le groupe de l'American Telephone & Telegraph (A. T. & T.), avec sa Division de recherche, les Bell Telephone Laboratories, donne un exemple de système de planification et de prévision totalement intégré. En 1950, l'A.T. & T. a adopté la méthode du « Systems engineering », essentiellement orientée vers les fonctions, et comportant une « rétroaction » très importante. La structure complexe du groupe A. T. & T. se divise en trois parties principales : l'A. T. & T. est la société mère, comportant 21 sociétés d'exploitation téléphonique ; les Bell Telephone Laboratories représentent l'entreprise de recherche et de développement ; enfin, la Western Electric est l'entreprise de fabrication. La structure interne des Bell Telephone Laboratories comprend la recherche fondamentale (environ 1.500 diplômés), le développement (environ 3.500 diplômés, répartis entre un groupe d'études exploratoires et un groupe d'applications), et les études de systèmes (environ 1.500 diplômés). La section d'études de systèmes se compose d'ingénieurs et de scientifiques expérimentés ayant antérieurement travaillé en exploitation, et accomplissant essentiellement, à l'heure actuelle, des travaux d'évaluation (60 % de leur temps est consacré à la rédaction) : ils préparent des propositions complètes ; ils examinent tous les principaux domaines techniques ; ils établissent des listes d'options techniques et de différentes solutions possibles des problèmes ; ils mettent au point des critères permettant de mesurer l'efficacité, comme les coûts et la durée de développement, les coûts de fonctionnement, etc. ; ils rassemblent les estimations de spécialistes en vue des projets particuliers, conformément à ces critères ; ils conseillent l'affectation des fonds à la recherche ; enfin, ils effectuent des essais sur place. Les travaux de prévision technologique sont effectués de manière décentralisée, mais étroitement liée, par l'A. T. & T. (où cinq groupes appartenant au département technique leur impriment une forte orientation normative), et les Bell Telephone Laboratories (avec trois groupes principaux, faisant partie de la section d'étude des systèmes).

La *réf. bibl. 52* indique comment la prévision technologique à plusieurs étapes peut se relier à la planification et au développement réel.

Au moins *deux entreprises américaines*, l'une dans l'électronique et l'autre dans le secteur aérospatial, ont combiné leurs travaux de planification et de prévision technologique, conformément à un graphe de décision orienté vers les fonctions (« hiérarchie des objectifs », ou encore « structure de gestion de l'innovation », comme l'une des entreprises préfère l'appeler). La forme générale de ces graphes peut être représentée, comme on l'a vu au chapitre I.6.2. :



Dans une entreprise, le directeur général adjoint aux études de développement a la responsabilité, aussi bien des laboratoires centraux de recherche que des services fonctionnels horizontaux, scientifiques et économiques, qui effectuent et coordonnent les prévisions et la planification selon le schéma décrit ci-dessus. Au total, 50 personnes participent intensément à la planification à long terme et à ses applications (dans une entreprise dont le chiffre d'affaires annuel est de 400 millions de dollars). Environ 75 % des activités des laboratoires centraux de recherche sont couverts par des programmes spécifiques, et il en est de même pour 80 à 90 % des recherches et du développement des divisions. Le reste, de caractère essentiellement exploratoire, qui se situe en dehors de ce système normatif, est néanmoins confié à des comités dans le cadre d'objectifs techniques à long terme, et finit par s'intégrer dans les stratégies et les programmes d'action, dès que son intérêt pour les objectifs commerciaux se dégage.

Les objectifs de l'entreprise, et notamment l'objectif « technique » esquissant les principaux courants techniques qui intéressent la direction sont définis dans un document corrigé chaque année. Les objectifs commerciaux sont formulés par les directeurs des divisions, et sont également mis à jour annuellement. La prévision technologique intervient surtout au niveau stratégique, qui porte sur la création de nouveaux marchés : une prévision à 10 ans est établie pour chaque stratégie, en coopération étroite avec les services scientifiques et économiques fonctionnels au niveau de l'entreprise, à partir d'éléments fournis par les services opérationnels des divisions et des laboratoires centraux. Ces prévisions à 10 ans sont revues annuellement au cours d'une procédure qui fait intervenir tout le personnel d'encadrement, jusqu'au Bureau du président directeur général et au président lui-même ; les travaux effectifs nécessaires à la révision du schéma complet sont répartis sur l'ensemble de l'année, un certain nombre de stratégies étant ré-examinées par le Service de développement de la société et par le Bureau du président directeur général une fois par mois en moyenne. Pour chaque stratégie, la direction établit des estimations des ventes, et les programmes sont appréciés à la fois du point de vue de la valeur stratégique des objectifs et en termes de coûts et de profits. La plupart des stratégies internes de l'entreprise sont déterminées et exprimées au niveau du groupe. Des réunions entre les principaux spécialistes et les hauts directeurs de l'ensemble de la Société, y compris le directeur général, sont consacrées à l'étude des programmes et des prévisions à 10 ans pour l'ensemble des stratégies (chacune d'entre elles étant examinée une fois par an). Le document de base est alors arrêté pour une durée d'un an.

A la Xerox Corporation à Rochester, New York, la planification et la prévision technologique sont intégrées et coordonnées par un groupe fonctionnel créé au niveau de l'entreprise (quatre personnes) et placé sous l'autorité d'un directeur. Les prévisions de recherche et de développement émanent principalement d'un groupe fonctionnel (deux personnes), appartenant à la division de la recherche technique, qui prépare deux « programmes de recherches et d'études techniques » à échéance de cinq à dix ans, mais aussi des divisions opérationnelles qui préparent des propositions destinées à rattraper les retards. Des programmes d'action sont établis pour chaque produit, compte tenu de sa durée probable de vie, c'est-à-dire, en moyenne, pour dix à douze ans. Le groupe fonctionnel de l'entreprise combine ces éléments dans un « Programme technologique », qui est principalement orienté vers les fonctions et qui indique les étapes espérées ou désirées. Ce programme

sert de base à des discussions en profondeur qui s'engagent au cours de fréquentes réunions stratégiques, à des conférences de recherche et à la formation occasionnelle de groupes d'intervention inter-disciplinaires. Le groupe fonctionnel créé au niveau de l'entreprise, qui coordonne les activités permanentes, établit six versions différentes du programme, pour de durées de 1, 2, 3, 4, 5 et 10 ans. Le plan à 10 ans a surtout pour but de dégager les risques d'impossibilité physique, et d'aligner la planification sur les objectifs à long terme (la prévision technologique non formelle plonge encore plus profondément dans l'avenir) ; il existe également une prévision à 10 ans des recettes, qui influe sur le programme stratégique à cinq ans. Enfin, un programme de recherche « mobile », à cinq ans, résulte de ces études et devient un élément du plan à cinq ans de l'entreprise. Ce plan est révisé deux fois par an. Au début de l'année, une conférence de planification est consacrée à l'identification des « retards » et donne lieu à des propositions tendant à les combler. Tous les cadres intéressés à la planification y participent, notamment ceux des divisions opérationnelles. Une autre conférence de planification tenue à l'automne se concentre sur la formulation et la révision des objectifs à long terme.

Un exemple, probablement unique, de très grande entreprise orientée vers les fonctions, et ayant une structure opérationnelle verticale, mais une structure de planification et de prévision entièrement horizontale, nous est donné par le groupe Royal Dutch/Shell, dont les sièges sont à La Haye et à Londres. Après une période de planification de la recherche et du développement centralisée, au cours des années 1920 et 1930, cette société avait adopté une gestion décentralisée ; mais au cours d'une période ultérieure, elle a estimé que celle-ci n'avait pas donné de résultats satisfaisants et, en 1955, elle est revenue à la recherche et au développement centralisés.

L'ensemble des travaux de recherche et de développement est divisé en recherches fonctionnelles et recherches non-fonctionnelles. La planification et la prévision technologique sont intégrées. La Shell dispose de 30 laboratoires, comprenant 7 000 personnes et situés dans différents pays ; deux de ces laboratoires effectuent environ la moitié des travaux de recherche (à Amsterdam et à Emeryville, Californie), les vingt-huit autres étant spécialisés dans différents domaines.

La prévision technologique non-fonctionnelle, en particulier pour les perspectives de diversification, est complètement séparée de la recherche opérationnelle, et est étudiée par un « Département de la diversification » qui rend compte à la haute direction. Ce département effectue également des prévisions à très long terme sur les aspects techniques et sociaux. Il est fréquent que les membres de ce département se voient par la suite confier des responsabilités opérationnelles importantes dans les nouveaux domaines d'activité qu'ils ont aidé à identifier.

La prévision et la planification fonctionnelles (c'est-à-dire dans les domaines où des fonctions et des activités existent déjà) sont effectuées selon un système horizontal, au niveau de l'entreprise, avec les subdivisions suivantes :

a) Des coordinateurs techniques, chargés de chacune des activités commerciales importantes et pouvant disposer de moyens d'action très étendus dans le cas de fonctions telles que la production pétrolière ou les produits chimiques, effectuent une préivision quantitative sur une durée de trois ans et une prévision distincte sur une durée allant jusqu'à quinze ans. Tous les projets touchant une activité donnée, quelle qu'en soit la source dans l'entreprise, sont étudiés

à l'aide d'une analyse économique faisant appel à un grand nombre de techniques formelles, y compris l'évaluation d'informations de base probabilistes, et la détermination des intervalles de succès et de durée.

b) Des directeurs de recherche (qu'il ne faut pas confondre avec les directeurs de laboratoire), coordonnent des groupes régionaux de laboratoires et « traduisent » les projets sous forme de travaux de recherche et de développement. Ils ont également la possibilité d'ajourner les projets de recherche fonctionnelle que l'on ne peut encore évaluer par une analyse économique.

c) Le coordinateur des recherches de la société s'occupe des problèmes multifonctionnels associés à la planification à long terme. Il décide du lieu où les recherches fonctionnelles doivent être effectuées.

d) Des coordinateurs régionaux suivent les développements économiques et politiques dans les différentes parties du monde.

Le processus opératoire se caractérise par les principales étapes suivantes, qui traduisent en incidences budgétaires annuelles les conclusions de la prévision à long et moyen terme (avec des prévisions non-formelles portant sur les 40 ou 50 années futures) ; aucun plan formel à long terme n'est établi :

1. Environ une fois par semaine, le coordinateur technique organise une réunion au niveau d'exécution ; ainsi l'ensemble du vaste domaine des recherches couvert par la fonction commerciale du coordinateur est examiné une fois par mois. Sous sa présidence ou celle de son adjoint, la réunion groupe des personnes chargées du développement, du marketing et de la propriété industrielle, ainsi qu'un représentant du bureau du coordinateur des recherches de la société. Des documents de fond et des exposés écrits sont préparés à l'avance et servent de base à une libre discussion : on évite délibérément le « lavage de cerveau ».
2. Ces réunions conduisent, une fois par an, à la mise au point d'un programme de recherches fonctionnelles et d'un budget qui est transmis aux comités de niveau plus élevé.
3. En mai de chaque année, une conférence est consacrée à la planification et la recherche pour chaque activité principale. Environ 15 personnes y assistent, y compris le coordinateur technique de la division intéressée, un représentant du bureau du coordinateur des recherches du groupe, et des représentants des laboratoires spécialisés. Des recommandations budgétaires sont établies en fonction des possibilités et des objectifs à long terme.
4. En juin de chaque année, on organise une réunion de direction pour les directeurs qui constituent la structure horizontale de l'entreprise, décrite en *a*) à *d*) ci-dessus. Le budget annuel y est approuvé.
5. Les stratégies et les programmes sont corrigés à la lumière du budget approuvé, et sont mis en œuvre dans les laboratoires intéressés.

La structure opérationnelle verticale, représentée du côté technique par les directeurs techniques, est organisée en fonction des activités commerciales générales confiées aux coordinateurs techniques au niveau de l'entreprise.

La Royal Dutch/Shell, la plus importante entreprise hors des États-Unis, donne ainsi le meilleur exemple d'un système de planification et de prévision technologique centralisées, ainsi que d'une structure orientée vers les fonctions.

III.2.6. Les objectifs de l'entreprise et la motivation

Les structures, les systèmes d'organisation et les techniques utilisés ne peuvent conduire que partiellement au succès et à une gestion efficace. La primauté de l'esprit d'entreprise n'est pas une simple figure de rhétorique.

Un système de planification et de prévision totalement intégré exige cet esprit d'entreprise à tous les niveaux et dans chaque phase de la planification. Il dépend donc essentiellement de l'existence d'une motivation chez les dirigeants de la société à tous les niveaux. Une entreprise américaine du secteur de l'électronique s'est fixé pour politique d'avoir un nombre aussi grand que possible d'administrateurs-délégués (le terme étant utilisé ici, non pas pour définir une position hiérarchique, mais pour caractériser une personnalité qui a accès à la totalité des informations et des faits concernant la société, et qui connaît l'ensemble de ses programmes et de sa politique). Avant l'adoption de la planification et de la prévision formelles, il y avait huit administrateurs-délégués dans la société. A l'heure actuelle, cinq ans après la mise sur pied d'un système de planification formelle, il y en a 150, et l'objectif est d'en avoir 1000, c'est-à-dire à tous les niveaux de la hiérarchie.

L'attitude dominante des entreprises industrielles est encore loin de ces exemples, qui supposent une certaine abnégation de la part de la haute direction. Il faut rapprocher l'idée des 1.000 administrateurs-délégués des principes des entreprises européennes dont les réflexions ont suffisamment progressé pour créer un service fonctionnel de prévision technologique. Dans ces entreprises, la connaissance des programmes et des politiques futurs de l'ensemble de la société est considérée comme l'apanage d'une élite, et il ne saurait être question de communiquer à tous les postes hiérarchiques, si ce n'est aux plus élevés, les informations ainsi recueillies. Le groupe de prévision technologique n'a pas connaissance des objectifs à long terme de l'entreprise ; pour lui, le type d'avenir sur lequel il peut faire des prévisions et établir des programmes est soit une extension du présent, soit le résultat d'une pure intuition.

La motivation ne devient totalement efficace que lorsque les objectifs de l'entreprise sont conformes à certains critères sociaux supérieurs. Comme l'a dit le Président de la Xerox Corporation (*réf. bibl. 227* : « De nos jours, le chef d'entreprise qui n'essaie pas de susciter la fierté de son personnel est voué à l'échec ». Pour les techniciens, la recherche du profit maximum de l'entreprise n'est pas un objectif particulièrement passionnant.

La société A.T. and T., et sa division de recherche, les Bell Telephone Laboratories, ne sont « totalement intéressés » que dans les cas où les objectifs du groupe s'accordent avec les critères sociaux. Le principal problème de la haute direction consiste maintenant à « traduire » ces critères pour le personnel chargé de l'exécution, et à motiver son action de telle sorte : *a*) qu'il comprenne les objectifs, *b*) qu'il ait conscience de son rôle dans les opérations conduisant à ces objectifs, et *c*) qu'il oriente ses travaux en fonction des spécifications techniques et économiques, une fois compris l'intérêt de ces spécifications pour les objectifs. Le but est d'associer la créativité individuelle à l'effort collectif, afin d'obtenir une « innovation orientée ». La méthode d'organisation la plus puissante à cet égard est celle des « systèmes en boucles fermées », par opposition au système linéaire habituel, face à la marche.

A partir de l'étude d'une société américaine d'électronique, Myers observe (*réf. bibl. 215*) que « de même que l'exécutant dépend de son chef pour sa motivation, le chef de service dépend de son patron en ce qui concerne les

conditions de motivation qui ont un sens à son niveau. Etant donné que la motivation d'un employé, quel qu'en soit le niveau, est étroitement liée au style de direction de son chef immédiat, la structure de motivation doit prendre naissance au sommet ». Myers étudie également l'importance particulière de la motivation pour l'innovation, et le rôle que peut jouer en cette matière le système d'administration. « Il est bien évident que les échecs de la gestion ne résultent pas d'une méchanceté voulue. Ils proviennent peut-être de la tradition ancienne de l'organisation « scientifique » qui divisait les tâches, qui « protégeait » les employés de la nécessité de penser, et qui imposait des systèmes administratifs fondés sur une obéissance d'automate. Mais, le plus souvent, ce genre d'échec résulte de l'incapacité du directeur à ressentir les besoins et les sentiments des autres et, en particulier, de son inaptitude à se voir lui-même comme les autres le voient ».

La motivation est en grande part un problème de communication à l'intérieur même de l'entreprise. La communication, à son tour, dépend de la « transparence » des barrières verticales et hiérarchiques, et de l'existence de « raccourcis » officieux (voir également la *réf. bibl. 209*).

L'étude récente de A.D. Little sur le développement des systèmes d'armes (*réf bibl. 44*), conclut que, pour 63 « événements » générateurs d'information, c'est aux méthodes suivantes d'organisation et d'administration de la recherche que le succès a été dû :

pour 59 événements : milieux « adaptables » ;
pour 3 » impossible à définir ;
pour 1 » une seule personne en cause ;
pour 0 » milieux « autoritaires ».

De nombreuses entreprises novatrices, surtout aux États-Unis, se sont fixé pour politique de stimuler la génération d'idées à tous les niveaux. Un exemple intéressant nous en est fourni par United Aircraft, où des « groupes d'idées » apparaissent d'eux-mêmes dans des domaines où les objectifs et les buts généraux de l'entreprise sont déterminés de manière systématique (par un service fonctionnel placé au niveau de la société) ; les résultats en sont transmis au niveau de l'exécution.

La motivation est renforcée par l'existence de travaux de recherche et de développement indépendants (c'est-à-dire financés par les fonds propres de l'entreprise), dans les sociétés qui font largement appel aux contrats gouvernementaux, c'est-à-dire essentiellement dans le secteur de la défense nationale et dans le domaine aérospatial.

L'exemple de matrice de décision verticale, mise au point par North American Aviation (voir section II.4.2.), montre que même le développement des méthodes de prévision peut subir l'influence d'une association de la planification de l'entreprise aux objectifs sociaux supérieurs et de la recherche d'une motivation.

III.2.7. Calcul très approximatif des dépenses consacrées par l'industrie a la prévision technologique

Les chiffres dont nous disposons permettent de tenter un premier calcul approximatif des investissements consacrés à la prévision technologique par les moyennes et grandes industries américaines. Nos hypothèses reposent sur des bases très incertaines, mais on peut au moins déterminer des ordres de grandeur.

Si l'on admet que les moyennes et grandes entreprises des États-Unis (de plus de 100 millions de dollars de chiffre d'affaires annuel), qui disposent d'un service interne de prévision technologique systématique sont généralement abonnées à l'un des grands services de prévision offerts par les instituts de prévision et par les bureaux d'études (voir chapitre III.I), et si l'on tient compte du fait qu'il existe également des abonnés non-industriels, on peut raisonnablement penser que 500 ou 600 entreprises de cette catégorie possèdent un service spécialisé de prévision technologique. Compte tenu d'un effort annuel moyen propre à l'entreprise (plein temps et temps partiel) évalué à 5 hommes par an, soit un coût moyen total de 100.000 dollars par entreprise, on peut conclure que ces sociétés affectent environ 50 millions de dollars chaque année à leurs études de prévision propres, et qu'elles dépensent en outre de 10 à 15 millions de dollars pour les études de prévision technologique effectuées par des instituts et des firmes de consultants (voir chapitre III.1.). Le rapport de 5 à 1 entre les dépenses internes et externes semble raisonnable.

On peut estimer très approximativement que ces entreprises contribuent pour un tiers aux dépenses totales de recherche et de développement de l'industrie américaine (dépenses qui ont été évaluées par McGraw-Hill à un montant total de 15,2 milliards de dollars en 1966). Leur part serait donc de 5 milliards de dollars environ.

Pour les « 500 premières » entreprises industrielles américaines les plus novatrices, on peut donc admettre un *investissement en études de prévision technologique de l'ordre de 1 % des dépenses totales de recherche et de développement*, les 4/5 étant consacrés aux travaux à l'intérieur de l'entreprise, et 1/5 à des études à l'extérieur. Dans les entreprises où une partie importante des chercheurs est systématiquement employée à faire des prévisions, ce pourcentage peut être plus élevé encore et même atteindre 10 % dans certains cas particuliers (ce chiffre a été effectivement donné par trois entreprises, d'après le temps de travail).

Nous tenterons d'aller plus loin et de trouver quelques indications du profit global résultant des investissements, bien que ces indications reposent sur des bases assez précaires. D'après l'enquête de McGraw-Hill (*réf. bibl. 54*), l'industrie américaine compte sur des ventes totales de produits nouveaux se montant à 94 milliards de dollars en 1969 (valeur calculée en dollars de 1965, les « produits nouveaux » étant définis comme ceux qui auront été mis sur le marché au cours de la période 1966-1969). Si l'on suppose que les dépenses de développement et de recherche industrielle ont été approximativement de 40 milliards de dollars au cours de la période 1962-1965 et qu'elles constituent l'origine essentielle de ces produits nouveaux ; si, en outre, on admet que 45 % des entreprises industrielles consacrent surtout leur efforts à la mise au point d'un produit nouveau (McGraw-Hill), ce qui revient à dire que 45 % du total des dépenses de recherche et de développement sont affectés au développement de produits nouveaux, on arrive à une moyenne de 4,5 milliards de dollars par an pour la mise au point de ces produits. Si l'on rapproche ce chiffre des 94 milliards de dollars escomptés pour les ventes en 1969, on peut évaluer le placement des recherches à 5 % des ventes de produits nouveaux (chiffre plausible, bien qu'il soit considéré comme faible par les sociétés de pointe). De plus, en admettant que beaucoup plus de 45 % des travaux de prévision technologique sont centrés sur les produits nouveaux, on peut conclure que les études de prévision technologique ont un rendement financier de l'ordre de *0,1 % des ventes totales de produits nouveaux.*

Si on se limitait à la proportion d'idées nouvelles dues à la prévision technologique systématique, on constaterait que cette prévision est, en vérité, un placement extrêmement rentable : la Xerox Corporation et un des plus grands fabricants américains de semi-conducteurs estiment que la prévision technologique systématique fournit environ la moitié des idées conduisant à des produits nouveaux (« rattrapage des écarts »), tandis que la BBC à Mannheim (Allemagne) a vu quadrupler le nombre de ses idées nouvelles grâce à la prévision technologique. On peut conclure — tout en prévenant le lecteur qu'on s'aventure ici sur un sol très incertain — que la prévision technologique contribue à doubler le profit dû aux produits nouveaux dans des entreprises en expansion rapide. Si l'on admet un bénéfice net de 10 % après impôt (ce qui est raisonnable pour ces produits), on aboutit à la conclusion fortement simplifiée que la prévision technologique est un « catalyseur » qui rend possible une « réaction de recherche et de développement » dont le bénéfice est égal à 50 fois son coût[1]. Ce dernier raisonnement ne s'applique évidemment pas à des secteurs globaux, mais uniquement à des entreprises individuelles.

En ce qui concerne l'Europe, on manque d'informations, même approximatives. Les travaux de recherche et de développement, comme la prévision technologique, se situent à un niveau d'investissement inférieur. Toutefois, on peut admettre que le rôle relatif de la prévision technologique reste moins important qu'aux États-Unis.

1. Il ne faut pas confondre ce calcul avec celui du rendement des investissements, que l'on ne peut faire que si l'on connaît la totalité des investissements en cause, c'est-à-dire ici l'ensemble des travaux de recherche et de développement qu'entraîne la prévision. C'est pour cette raison que nous parlons ici d'une action « catalytique » de la prévision technologique. Cette action peut se dérouler de la manière suivante : pour chaque dollar investi en études de prévision technologique, on en affecte 100 à des travaux de recherche et de développement, dont 60 pour des produits nouveaux. Sur ce dernier montant, 30 dollars sont investis dans des domaines déterminés par la prévision technologique et procurent un bénéfice de 50 dollars.

DOMAINE MILITAIRE

Voir également l'Annexe A.2. qui donne un compte rendu descriptif des travaux de prévision technologique dans quatre pays[1] *: États-Unis, France, Royaume-Uni et Suède, ainsi qu'à l'OTAN.*

> *Même si je le pouvais, je n'essayerais pas de remplacer par des méthodes analytiques le jugement fondé sur l'expérience. La mise au point et l'utilisation de ces méthodes ont renforcé le rôle de l'expérience et du jugement, à mesure que les questions ont été clarifiées et que les problèmes fondamentaux ont été affranchis de tout élément passionnel. Meilleurs seront les faits proposés au jugement, meilleur sans doute sera ce jugement. L'importance donnée à la méthode analytique tient à la nécessité de mieux connaître ces faits.*
>
> Robert S. McNamara.

La prise de conscience, déjà ancienne, de l'importance de la prévision technologique dans le domaine militaire a grandement contribué au développement de cet art. C'est surtout Théodor von Kármán, le spécialiste de la dynamique des gaz, qui a joué le rôle de pionnier en défrichant ce terrain neuf dans son rapport de 1944 sur l'avenir de la propulsion des avions «Towards New Horizons» (*réf. bibl. 319*). Cet ouvrage est souvent cité comme le premier effort de prévision technologique, au sens moderne du terme. Ultérieurement, Von Kármán a mis sur pied un système de prévisions technologiques groupées, effectuées à intervalles de cinq ans, pour l'Armée de l'Air des États-Unis (voir Annexe A.2.4.), et le service de prévision technologique de l'OTAN (voir Annexe A.2.5.).

Les innovations décisives que von Kármán a introduites, et qui distinguent sa méthode des anciennes formules de prévision technologique militaire, peuvent être résumées en trois points :

— Il remplace la réflexion intuitive par une analyse complète et approfondie, dans un cadre temporel bien déterminé (15 à 20 ans) ;
— Il examine les limites fondamentales, les possibilités fonctionnelles et les paramètres-clefs, au lieu d'essayer de décrire en termes précis les systèmes techniques fonctionnels futurs ;
— Il met l'accent sur l'évaluation des diverses combinaisons possibles de techniques fondamentales, c'est-à-dire sur la détermination des options technologiques possibles pour l'avenir.

1. Le Canada n'effectue pratiquement que des prévisions à court terme, bien que ce soit dans le cadre d'un plan mobile de cinq ans. Israël a créé un service officiel de prévision technologique pour sa planification militaire, mais il n'a pas été possible d'obtenir d'informations détaillées à ce sujet.

Il suffisait d'avoir des idées aussi claires sur la détermination normative des fonctions militaires futures — missions et tâches — pour aboutir à la prévision technologique militaire telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui.

L'adoption d'un *critère économique*, rendue possible par la mtéhode d'analyse des coûts et de l'efficacité dans l'évaluation des systèmes d'armes, a été décisive pour la réalisation d'une prévision technologique permanente et pour son association avec la planification militaire. D'abord introduit de manière systématique aux États-Unis, ce critère se généralise maintenant dans les autres pays. Dans ce contexte, comme l'ont observé les milieux militaires suédois, les critères fondamentaux doivent être un peu différents pour les petits et les grands pays : un petit pays doit tenir compte de l'efficacité « indirecte », telle que la mobilisation de grands pays amis si le petit pays est attaqué, la discrimination politique et économique, etc.

La méthode normative qui résulte du dialogue entre la stratégie et la tactique, d'une part, et la technique, d'autre part — les politiques et les risques fournissant les lignes de conduite générales — a pris une telle importance qu'elle a créé une certaine « surtension » aux États-Unis. D'après cette idée, qui est soutenue par exemple par la RAND Corporation, TEMPO et le Hudson Institute, la complexité des systèmes d'armes modernes peut être due en partie à une pression trop forte sur les limites techniques (*ref. lit. 29*). Il est possible que la méthode d'analyse des coûts et de l'efficacité, qui domine le développement militaire américain depuis 1961, apporte une certaine « détente ». Les travaux de prévision technologique à long terme les plus récemment entrepris par l'Armée et la Marine des États-Unis (voir Annexe A.2.4.) mettent également l'accent sur la prévision exploratoire, surtout pour les perspectives scientifiques, et sur le processus itératif entre la prévision exploratoire et la prévision normative.

On peut étudier *la forme de l'organisation militaire* par analogie avec celle de l'industrie : l'intégration de la planification et de la prévision technologique favorise une *organisation centrée sur les fonctions*, qui correspond aux missions et aux tâches, puisque dans les milieux militaires modernes celles-ci sont formulées en termes fonctionnels et non plus en termes de « produit » (les trois armes et leurs catégories d'armement). C'est probablement en Suède (voir Annexe A.2.2.), que l'on trouve le meilleur exemple d'une organisation orientée vers les fonctions, avec une planification et une prévision centralisées et totalement intégrées. On peut également admettre que la centralisation adoptée en France et au Royaume-Uni (voir respectivement les Annexes A.2.1. et A.2.3.) a été choisie en partie pour se rapprocher d'un système orienté vers les fonctions.

En 1967, le Canada abolira complètement la forme traditionnelle d'organisation entre les trois armes (armée, marine, aviation) et adoptera une structure orientée vers les fonctions pour l'ensemble de ses forces armées.

Les structures complexes de prévision technologique militaire aux États-Unis (décrites dans l'Annexe A.2.4., au mieux des connaissances de l'auteur) peuvent s'expliquer en partie par l'interruption des travaux périodiques autrefois centralisés sous l'administration d'Eisenhower. Depuis l'avènement de McNamara au ministère de la Défense des États-Unis, en 1961, la prévision technologique à moyen terme et la planification — dans un cadre de cinq ans — font partie du système global « plan-programme-budget » (PPBS), fortement normatif et entièrement orienté vers les fonctions. Bien que les estimations soient partiellement effectuées dans des services décentralisés, la coordination

et la synthèse de cette phase de la prévision sont centralisées. D'autre part, la prévision technologique à long terme est décentralisée, sans aucune coordination pour les trois armes. Bien que, dans ce cadre à long terme, les missions générales soient encore formulées en termes fonctionnels, la séparation des services de prévision des trois armes montre que l'ancienne conception, centrée sur les « produits » et les moyens est encore fondamentalement présente.

En outre, il n'a pas été demandé au groupe de scientifiques hautement qualifiés de l'« Institute for Defense Analysis » d'intervenir dans la prévision technologique militaire.

Les travaux particuliers accomplis par la Research and Engeering Support Division — tels que la détermination d'une nouvelle possibilité fondamentale du développement des matériaux résistant à la chaleur (voir section II.3.3.) — montrent que cet organisme pourrait effectuer des prévisions technologiques, dont l'industrie reconnaît de plus en plus la valeur par l'examen systématique des limites et des possibilités fondamentales, ainsi que par l'identification de domaines de la recherche fondamentale.

Des travaux de prévision à long terme, coordonnés par un service central qui en ferait la synthèse et les incorporerait dans des concepts de gestion de niveau élevé permettraient d'élargir le cadre temporel d'une planification générale centrée sur les fonctions ; qui plus est, ils pourraient améliorer les résultats de la recherche fondamentale et des premières phases de développement. Dans l'industrie, la phase de planification et de prévision à moyen terme — y compris les études de coût et d'efficacité et de financement — est souvent confiée à un service décentralisé (avec ou sans centralisation de la synthèse et de la coordination) ; mais, dans le domaine des recherches « non fonctionnelles », la définition du cadre de la recherche fondamentale, de la prévision et de la planification, ainsi que la préparation des « diversifications », sont pratiquement toujours confiées à des services centraux. Cette règle est suivie d'autant plus étroitement que la prévision et la planification sont plus complètement intégrées dans un processus de planification totalement orienté vers les fonctions. L'exemple de l'industrie pourrait être intéressant pour les organismes militaires.

Dans *les relations entre les organismes militaires et l'industrie*, la prévision technologique soulève des problèmes assez délicats. Il arrive parfois que l'industrie participe, sous contrat, à des prévisions de caractère militaire et qu'elle puisse les utiliser lorsqu'elle travaille pour la défense. Cependant, elle ne les considère pas toujours comme très utiles dans les domaines qui lui sont propres. Bien qu'on s'efforce de recueillir le consensus le plus large dans les prévisions militaires — en particulier dans les grands travaux centralisés, comme ceux du « Project Forecast » de l'Armée de l'Air des États-Unis — il ne semble pas que la valeur des prévisions en soit toujours améliorée. Les problèmes paraissent pouvoir être résolus par l'exécution de travaux de prévision technologique permanents, mettant l'accent sur une participation industrielle soigneusement équilibrée. En France, l'industrie aérospatiale, par exemple, a confirmé les conséquences positives des travaux du Centre de prévision technologique militaire du ministère des Armées.

Aux États-Unis, c'est — tout au moins en grande partie — à l'industrie qu'il revient de prévoir, de proposer, et de « vendre » les idées nouvelles, contrairement à la situation qui caractérise par exemple les relations entre le secteur aérospatial et la NASA, dont l'influence est déterminante sur la mise au point des nouveaux systèmes et des nouvelles techniques. Cela tient

peut-être à ce que la NASA a donné une meilleure définition de ses objectifs et de ses missions, et qu'elle a centralisé les prévisions technologiques qui y sont liées.

Ce n'est certainement pas une mauvaise chose pour l'industrie d'avoir à avancer des idées dans le domaine technologique. Il semble, toutefois, qu'il y ait quelque incertitude en ce qui concerne les missions à long terme. Cela tient en partie aux modifications qui ne peuvent pas toujours être évitées dans un domaine d'importance aussi primordiale de la politique nationale. D'autre part, il semble que des objectifs et des missions à long terme justifiés sur le moment ne soient pas exprimés aussi clairement que les missions à cinq ans, nettement définies dans le cadre du système « plan-programme-budget ». A l'heure actuelle, l'industrie militaire américaine est souvent obligée de deviner les objectifs à long terme poursuivis par le ministère de la Défense et par les quatre armes.

Nous avons observé à la section II.4.5. que les méthodes de prévision fondées sur des graphes de pertinence comprenaient l'évaluation chiffrée des objectifs et des missions à un niveau élevé. Jusqu'à présent, l'une des tâches principales d'une entreprise titulaire de contrats militaires qui utilise un graphe de pertinence, a été de déterminer les politiques nationales à long terme, l'importance relative des différents types de guerre, les missions et les tâches — en les déduisant au mieux de ses possibilités des diverses déclarations politiques et des documents de planification, encore que ceux-ci ne couvrent pas toujours la période nécessaire à une prévision à long terme.

Le « sommet » d'un graphe de pertinence typique est très semblable, dans sa structure, à celui d'un graphe de décision, tel que l'utilise le système « plan-programme-budget » du ministère de la Défense des États-Unis; on peut même les faire concorder entièrement, puisque les deux graphes représentent la même méthode d'orientation vers les fonctions. En outre, les structures des « sommets » des différentes versions des graphes de pertinence se ressembleront et pourraient également coïncider. Il suffirait donc d'un pas à franchir pour incorporer dans tous les systèmes de planification des organismes militaires et des titulaires de marchés, les définitions « correctes », formulées à un échelon central, des missions et des objectifs généraux et peut-être même des tâches militaires : ce serait la distribution et la mise à jour périodiques de ces « sommets » des graphes (ou des bandes magnétiques cosrespondantes) par un organisme central, que ce soit le ministère de la Défense ou le groupe consultatif du Président sur la gestion de l'information scientifique, préconisé par le Vice-Président des États-Unis Hubert Humphrey.

Un rapport de la RAND (*ref. lit. 29*) énonce très explicitement les responsabilités de l'Armée de l'Air « étant donné la nécessité fondamentale de prévoir l'environnement militaire de l'avenir lointain, l'Armée de l'Air sera presque inévitablement conduite à assumer une seconde responsabilité délicate, qui altèrera considérablement le caractère des relations traditionnelles entre l'État et l'industrie. Les prévisions faites par l'Armée de l'Air au sujet de l'évolution militaire à long terme, et par conséquent des besoins des systèmes d'armes, devant nécessairement rester très incertaines, l'entreprise privée ne peut risquer les sommes importantes qu'exige la mise au point des systèmes d'armes de l'avenir lointain. Et puisque l'Armée de l'Air doit accepter les risques financiers de la mise au point de ces armes, elle doit également se charger d'apprécier leurs *possibilités de réalisation technique*, ainsi que leur *valeur militaire*. C'est à l'Armée de l'Air de deviner ces possibilités techniques et mili-

taires. Pour invraisemblable que cette tâche puisse paraître à un organisme militaire, il ne peut échapper à cette conclusion ».

Le même rapport souligne également qu'« il faut certainement encourager et étendre les travaux de prévision, qu'elle que soit notre philosophie de l'évolution, et bien que nous ayons toujours la tentation fâcheuse de traduire les travaux de prévision en projections particulières de l'avenir plutôt qu'en une énumération des incertitudes cruciales contre lesquelles nous devrions nous protéger ». Cela s'explique par le coût élevé des programmes de développement prioritaires, qui font apparaître économiquement irréalisable l'étude des éventualités les moins probables.

H. Kahn remarque à ce propos que la qualité mêmes des évaluations du Cabinet du ministre américain de la Défense risque de présenter un certain danger, celui de laisser des idées que l'on ne peut apprécier à l'aide des informations disponibles, et notamment les idées « folles » qui peuvent un jour se révéler fructueuses. Avec des groupes d'étude moins brillants, il y aurait une chance d'exploiter ces idées.

La situation actuelle de la prévision technologique militaire fait ressortir sa nécessité et sa valeur pour tous les domaines du développement à moyen et long terme. On notera, à titre d'exemple, que l'idée de l'aile à géométrie variable, qui a présidé à la conception du nouvel avion polyvalent américain F-111 A (anciennement TFX), est due à des travaux de prévision technologique de l'Armée de l'Air.

L'ÉCHELON NATIONAL

Voir également à l'Annexe A.3. un compte rendu descriptif des activités de prévision technologique à l'échelon national

Il est toujours prudent de regarder devant soi, mais difficile de regarder plus loin qu'on ne peut voir.

Winston S. CHURCHILL.

III.4.1. PLANIFICATION NATIONALE ORIENTÉE VERS LES FONCTIONS

Deux pays seulement, la France et les États-Unis, ont mis sur pied jusqu'à présent un cadre d'utilisation systématique de la prévision technologique pour faciliter la planification nationale. Les deux méthodes, fortement orientées vers les fonctions, combinent la prévision et la planification; elles anticipent ainsi heureusement sur l'évolution générale observée dans les milieux militaires et industriels. Toutefois, la France et les États-Unis diffèrent largement sur d'autres points : tandis que la prévision technologique destinée au Plan français résulte essentiellement de travaux centralisés effectués à intervalles de cinq ans, dans le cadre d'un plan quinquennal fixe, les États-Unis ont récemment mis sur pied la structure d'une planification et d'une prévision technologique décentralisées permanentes, dans le cadre d'un plan quinquennal mobile comportant des révisions annuelles. La France semble d'ailleurs, à l'heure actuelle, évoluer graduellement vers une prévision technologique plus continue.

La méthode française consiste à établir, dans le cadre d'un plan quinquennal, une prévision technologique à long terme, portant sur une durée de 20 ans (comptée à partir du moment où le plan entre en vigueur), afin d'aligner la planification à moyen terme sur des objectifs à long terme tenant compte des limitations et des possibilités lointaines. Le fameux « Groupe 1985 », qui a surtout exercé son activité en 1963/1964, en liaison avec la préparation du Cinquième Plan, a représenté la première expérience de ce genre. Un système plus ambitieux est en cours d'expérimentation pour le Sixième Plan, les principaux travaux de prévision à long terme étant apparemment confiés à une institution extérieure financée à la fois par l'État et par de grandes entreprises industrielles.

Quant à savoir si la prévision technologique à long terme doit être confiée à l'Administration, ou uniquement à un organisme extérieur sous contrat, la synthèse étant faite ensuite par l'Administration, il est possible qu'on ne puisse encore se prononcer définitivement. On entend fréquemment dire[1] que la ten-

1. Par exemple, au cours des discussions du « Comité de l'An 2000 » de l'American Academy of Arts and Sciences, et dans les ouvrages visionnaires de Marshall McLuhan.

dance de l'Administration à la bureaucratie milite contre son intervention dans les problèmes sociaux à long terme, dans le contexte d'une technique à évolution rapide, et qu'on ne saurait la charger des fonctions importantes qui incombent aux « institutions-vigies » (voir Chapitre III.6). A l'appui de cette opinion, on souligne surtout que la structure de la planification gouvernementale à long terme est organisée par services administratifs. Cependant, l'orientation vers les fonctions, adoptée en France et aux États-Unis, peut être considérée comme une première grande tentative pour s'adapter aux tâches mouvantes que la planification à long terme impose aux pouvoirs publics.

Le Système Plan-Programme-Budget (PPBS), adopté dans les services administratifs civils aux États-Unis en octobre 1965, après son utilisation au ministère de la Défense à partir de 1961, est essentiellement un système de planification à moyen terme, portant sur cinq à six ans (voir la description plus détaillée aux Annexes A.2.4. et A.3.10). Ses caractéristiques sont les suivantes : transformation de la planification et de la prévision à moyen terme en une activité permanente qui discipline la réflexion et la préparation des décisions dans l'ensemble du domaine administratif, en les orientant vers les fonctions liées aux objectifs nationaux et aux grands buts sociaux; méthode orientée vers les systèmes, tout à fait nouvelle dans l'Administration (et comportant l'évaluation des différentes possibilités); utilisation de méthodes nouvelles, telles l'analyse des systèmes, la recherche opérationnelle, les études de coûts et d'efficacité, ainsi que la construction de modèles. L'introduction du Système Plan-Programme-Budget marque la première adoption de méthodes modernes de gestion dans l'administration civile, et constitue peut-être la plus grande révolution des formes démocratiques d'administration que notre siècle ait connues. On peut résumer ce système par deux notions : l' « analyse des programmes » et la « budgétisation des programmes ».

On s'attend logiquement à ce que le Système Plan-Programme-Budget ait pour effet le plus sensible de conduire à une augmentation du rapport « coût/efficacité ». L'analyse des systèmes permettra presque certainement d'atteindre les mêmes résultats en utilisant des moyens moins importants. Il suffit de penser au système des transports, qu'il faudra évidemment étudier comme un tout, mais on constate avec surprise que cette nécessité n'est reconnue que progressivement par les administrations, celles-ci s'étant rarement prononcées sur la question (par exemple en France, en République fédérale d'Allemagne et au Royaume-Uni)[1].

Deux problèmes demeurent encore incomplètement résolus par le Système Plan-Programme-Budget :

1. L'administration reste subdivisée en services, bien que la prévision et la planification soient orientées vers les fonctions. Il existe encore des systèmes administratifs centralisés, comme en Suisse, mais nombre de services et d'organismes modernes sont décentralisés et orientés vers les fonctions. Cela n'est pourtant pas vrai de l'ensemble de l'administration. De plus en plus, la politique étrangère tient compte des aspects scientifiques et techniques : le programme américain « Atoms for Peace », l'aide technique aux pays en voie de

1. Un exemple suédois permettra d'illustrer cette affirmation. Les grands chantiers navals Götaverken ont pris l'initiative de construire des navires de transport de gaz liquéfié, et d'importer du gaz naturel dans la région de Göteborg, où il est distribué par camions aux entreprises locales intéressée. Ce système régional aurait pu évoluer très différemment si on avait analysé le problème sur le plan national (gazoducs, etc.). D'autres exemples évidents sont fournis par le « système » de transport qu'un passager utilise au total dans ses déplacements entre le centre de la ville et l'aéroport.

développement et le problème des « disparités » (et en particulier « l'écart technologique ») entre pays en fournissent quelques exemples. Un système entièrement orienté vers la fonction impliquerait une analyse et une budgétisation des programmes passant au-dessus des frontières entre ministères (ou encore une « gestion matricielle » totalement efficace, comme le fait l'industrie) qui pourraient présenter des difficultés si on les appliquait de manière trop absolue.

2. Dans le cadre du Système Plan-Programme-Budget, la prévision à long terme suppose une décentralisation aussi prononcée que la prévision et la planification à moyenne échéance. On a déjà observé, dans le cas du ministère américain de la Défense (voir Chapitre III.3.), qu'une coordination centrale et la possibilité de faire la synthèse des informations décentralisées sont souhaitables si l'on veut déterminer les conséquences à long terme de la planification en cours, et si l'on désire analyser le « système global » afin d'en tirer un ensemble cohérent d'objectifs nationaux.

On peut envisager deux solutions différentes en ce qui concerne la prévision technologique à long terme dans le cadre de la structure administrative des États-Unis :

L'Office of Science and Technology, qui dépend du Cabinet du Président, peut se charger de la fonction nécessaire et jouer ainsi le rôle de « Direction scientifique » de l'Administration.

On peut créer, au niveau supérieur, un organisme fonctionnel, comme le Presidential Advisory Staff on Scientific Information Management demandé au Sénat par le Vice-Président des États-Unis, Hubert Humphrey, en septembre 1964, afin d'aider la préparation de décisions qui impliquent des conséquences à long terme. Un rapport de la RAND Corporation, « The Science Corps », *(réf. bibl. 232)* « réinvente » cette idée et la développe.

L'idée d'un service de prévision technologique à long terme, centralisé au sein du gouvernement (mais dans le cadre d'un ministère), est également proposée par Alexander King, Directeur des Affaires scientifiques de l'OCDE, dans une vision hypothétique de la politique scientifique britannique en 1984 *(réf. bibl. 261)* :

« Le Conseil de la politique scientifique... qui exerce son contrôle pour le compte du ministre ... est assisté par le Secrétariat scientifique central, chargé de la préparation des informations et des études de base nécessaires à une politique scientifique approfondie, ainsi que du maintien d'une liaison permanente avec « le Plan », l'industrie et les conseils de recherche spécialisés. Parmi les travaux en cours, on trouve : (1) l'établissement de statistiques détaillées des dépenses de recherche et de développement; (2) des études avancées sur la prévision technologique; (3) des enquêtes spéciales dans des domaines scientifiques particuliers et sur les besoins de recherche des différents secteurs de l'économie; (4) des études sur les relations entre la créativité scientifique et les différents types d'organisation de la recherche; (5) des études destinées à élucider la nature et l'importance économique de l'innovation technique et de la sociologie de l'évolution; (6) des prévisions relatives aux conséquences de certains développements scientifiques pour la politique étrangère; (7) la mise au point de modèles électroniques de l'économie, et de réseaux d'« input-output » de la recherche. Le Secrétariat comprend quelques 187 per-

sonnes, la plupart étant des spécialistes des sciences sociales et naturelles, des économistes et des experts en recherche opérationnelle. Il est difficile de penser qu'un si petit groupe puisse sérieusement espérer entreprendre l'ensemble des recherches et des analyses nécessaires à l'établissement d'une politique réaliste et équilibrée... »

Les activités actuelles du Bureau du Premier ministre britannique semblent montrer qu'une telle solution n'est pas exclue dans le cadre du « Cabinet Office », dont la position dans la structure gouvernementale conviendrait à ce rôle.

Le Rapport rédigé par Freeman (*réf. bibl. 232*) pour la RAND, mentionné ci-dessus, énumère les tâches possibles d'un « Science Corps » occupant un poste fonctionnel central dans l'administration :

Établir une organisation et une stratégie nationales de la recherche;
Effectuer des évaluations des projets scientifiques;
Effectuer des contrôles scientifiques techniques;
Mettre au point des méthodes « sensées » de contrôle de la recherche;
Financer des « recherches sur la recherche ».

On peut ajouter qu'il devrait s'agir là d'études à long terme clairement définies, associées organiquement aux études à moyen terme effectuées dans le cadre d'une structure décentralisée.

Harvey Brooks[1] souligne l'importance d'une décentralisation des initiatives et d'une centralisation des jugements. Il soutient qu'il vaut mieux attribuer les fonds de recherche et de développement par l'intermédiaire d'organismes centrés sur les missions que par l'entremise de services exécutifs généraux, tels que la National Science Foundation, dont les statuts sont en cours de modification afin qu'elle puisse s'occuper de recherche appliquée.

Un problème important, brièvement mentionné ici, est celui du « consensus » à atteindre, pour certains domaines, dans un cadre plus vaste que celui que peut fournir l'Administration. Le récent rapport du Président des États-Unis sur la technologie et l'économie américaine (*réf. bibl. 383*) peut être considéré comme une première tentative d'accord entre des opinions largement différentes, dans le domaine ardu des conséquences futures de l'automation.

III.4.2. Autres tentatives

L'industrie italienne a pris une initiative extrêmement remarquable dans le domaine de la *planification nationale des investissements*. L'annexe A.3.6. donne une liste de plusieurs centres de développement et d'études sectorielles créés à l'aide de capitaux privés, qui analysent essentiellement les conséquences à long terme, tout en limitant pour le moment la prévision technologique à un service implicite. L'attitude actuelle de l'industrie italienne à l'égard de la « programmazione concertata » montre qu'un futur réseau de centres privés d'évaluation et d'études industrielles pourrait coopérer avec l'administration, comme le font déjà les centres existants, à l'établissement du plan national.

Dans les autres pays qui ont un plan national, cette possibilité n'a pas été saisie par l'industrie. Au Royaume Uni, les avantages d'une telle coopération sont fréquemment mentionnés par les industriels, mais ceux-ci estiment géné-

1. Dans une allocution faite lors de la Conférence sur les Transferts technologiques et l'Innovation, 15-17 mai 1966 Washington, D.C.

ralement qu'il est « beaucoup trop tard ». Le besoin d'une planification des investissements à long terme se fait sentir dans de nombreux pays, surtout dans les industries chimiques et pharmaceutiques; mais, jusqu'à présent, seul un petit nombre de systèmes partiels a été mis au point[1] (par exemple dans le secteur des produits azotés au Royaume-Uni et même sur le plan européen). Le projet de coordination européenne entre 25 entreprises de produits chimiques en est encore au stade de discussions officieuses qui, apparemment, ne conduisent nulle part.

Récemment, le problème de la prévision technologique nationale s'est également posé, pour des raisons très différentes, au Canada, en Suisse et en Israël. Tandis que le Canada est déchiré entre une position de dépendance confortable et un effort ardu d'indépendance technique — 40 % de la capacité de production industrielle est contrôlée au Canada par des sociétés des États-Unis, alors que c'est le cas pour 5% seulement de la capacité européenne — la Suisse éprouve des difficultés accrues pour son programme industriel, par suite des limitations imposées aux capitaux et à la main-d'œuvre de provenance étrangère.

Israël, qui entre dans la quatrième phase de sa lutte pour la vie — l'étape de l'industrialisation suivant celle de l'exploitation des ressources naturelles, de la modernisation de l'agriculture et de la formation de forces armées efficaces — va probablement fournir un exemple unique de prévision technologique importante dans un processus d'industrialisation ambitieux et accéléré. On pourra en déduire des leçons importantes pour les pays en voie de développement qui se lancent un peu plus lentement sur la même voie. L'esprit d'entreprise fait presque entièrement défaut aux entreprises existantes, de sorte que le gouvernement devra prendre l'initiative, peut-être en créant un organisme national de construction industrielle, aidé et informé par un service de prévision technologique qui pourrait être rattaché au Cabinet du Premier ministre. Les critères suivants, énumérés à titre d'exemple par S. Freier, de l'Institut Weizmann, sont symptomatiques de la volonté et de l'ambition de relancer l'économie du pays :

1. Développer l'exploitation des ressources naturelles ayant des caractéristiques économiques supérieures et, en même temps, développer les nouvelles applications pour ces ressources. (Les Exploitations de la Mer Morte traitent des concentrations de brome 100 fois supérieures à celles que l'on trouve ailleurs dans le monde. Il serait possible de produire 250.000 tonnes de brome par an, alors que la production actuelle n'est que de 7.000 tonnes; le marché mondial absorbe actuellement 150.000 tonnes, dont 100.000 tonnes ne sont pas « réalisables » par Israël pour des considérations d'ordre politique. En conséquence, Israël s'oriente plutôt vers de nouvelles applications, comme la production de matières plastiques et de bois ininflammables.)
2. Choisir des secteurs industriels adéquats, à forte base scientifique, dans lesquels un petit pays peut faire face à la concurrence, par exemple en fabriquant des produits spéciaux et « sur mesure ». (Les premiers succès de ce genre ont été obtenus avec des produits chimiques perfectionnés et des appareils électroniques. L'électronique

1. Lord Beeching, des I.C.I. (Imperial Chemical Industries, Ltd), remarque à ce sujet que, en dehors de la méfiance mutuelle, l'échec des tentatives d'accord tient surtout à ce que les négociations de niveau élevé ignorent les conditions qui règnent au niveau de l'exécution et, par conséquent, conduisent rarement à une expérimentation.

médicale paraît aussi offrir de grandes possibilités; l'industrie des engrais se spécialise dans les produits à haute concentration, afin d'éviter des coûts de transport excessifs entre Israël et l'Europe : les avantages supplémentaires qu'ils présentent pour les utilisateurs peuvent en favoriser la réussite.)

3. Découvrir des domaines entièrement « ouverts » à la concurrence. (La photochimie et les applications de la biologie moléculaire aux problèmes agricoles sont des secteurs de « croissance » possible.)
4. Participer aux problèmes d'intérêt mondial. (L'étude du problème du dessalement de l'eau par l'énergie nucléaire menée en coopération entre Israël et les États-Unis en est un exemple frappant. L'idée est de laisser un grand pays aller de l'avant, puis de participer ensuite dans une mesure raisonnable à l'exploitation industrielle.)

III.4.3. Le role des associations professionnelles

Aux États-Unis, l'« Engineers' Joint Council » (EJC) (*réf. bibl. 264*) a clairement critiqué la responsabilité des associations professionnelles dans le domaine de la prévision technologique :

> « Les associations professionnelles d'ingénieurs ont manqué de la souplesse voulue pour saisir l'importance globale des besoins techniques d'une société en rapide évolution. Traditionnellement, les associations d'ingénieurs ont été organisées, sur le plan national, autour de certains domaines techniques distincts assez bien définis, tels que le génie civil, l'électricité ou la mécanique. Leur attention s'est principalement portée sur certains domaines essentiels qui ont tendance à se survivre.
>
> Il existe d'autres domaines, où les besoins techniques étaient urgents, mais qui ont été pratiquement négligés parce que les associations d'ingénieurs n'ont pas eu la perspicacité, l'organisation et la souplesse nécessaires pour identifier ces besoins techniques naissants et utiliser les moyens dont elles disposaient. Il en est résulté un déséquilibre sérieux de l'évolution technique. Il semble absolument évident, par exemple dans les domaines des transports, de l'urbanisme, du contrôle du milieu, de l'assistance technique aux pays étrangers, etc. (où des milliards de dollars sont dépensés annuellement) que les travaux de recherche et de développement sont tout à fait inappropriés car les associations d'ingénieurs n'y consacrent qu'une attention sporadique.
>
> Il n'existe pas de centre, dans ces associations d'ingénieurs, où les scientifiques et les ingénieurs pourraient explorer ensemble les frontières de la science et des applications techniques. C'est pourtant là que les techniques de l'avenir trouveront la plupart de leurs principales innovations, mais l'étude fragmentaire et superficielle des questions scientifiques a absorbé l'attention des hommes de science et créé un provincialisme technique qui masque les possibilités techniques plus vastes des sciences en rapide évolution. Si l'on veut dépasser cette attitude, et mettre au point une méthode de transition souple et efficace entre la science et la technique, il sera indispensable de définir une certaine forme d'activité coopérative entre les associations d'ingénieurs. »

En dépit de cet appel vibrant, lancé en 1962, la situation n'a pas évolué de manière significative aux États-Unis, pour ne rien dire des autres pays où les associations professionnelles sont traditionnellement beaucoup plus lentes à s'adapter aux besoins.

L'« Engineers' Joint Council », qui a lui-même entrepris une étude remarquable sur « les recherches techniques nécessaires à la nation de 1965 à 1985 » (*réf. bibl. 264*), d'où nous avons extrait la citation qui précède, semble avoir perdu beaucoup de son dynamisme à cet égard, bien qu'il envisage toujours de reprendre périodiquement ses travaux prévisionnels. Cette lacune est d'autant plus regrettable que l'« Engineers' Joint Council » offre un cadre unique de collaboration entre une douzaine d'associations d'ingénieurs très importantes, et qu'il peut compter sur la participation de personnalités éminentes de l'administration civile et militaire, des universités et de l'industrie, comme le montre la liste impressionnante des membres des commissions qui ont participé à la rédaction du rapport mentionné plus haut.

Il n'existe peut-être, en Europe, qu'une seule association comparable à l'« Engineers' Joint Council » par la portée et les possibilités d'action[1] : l'Académie royale suédoise des sciences de l'ingénieur (IVA), qui semble posséder le dynamisme nécessaire, mais qui n'a pas encore formulé son programme dans le domaine de la prévision technologique.

La principale initiative prise actuellement par une association professionnelle — si ce terme peut s'appliquer ici — est sans doute celle qu'a assumée le COSPUP, sous l'égide de l'Académie américaine des Sciences, dans le domaine des sciences fondamentales (voir le Chapitre I.4. et l'Annexe A.3.10). Il convient de remarquer, à cet égard, que l'Académie des Sciences est, grâce à des relations complexes avec le « National Research Council », dans une situation unique pour effectuer des travaux de prévision sur le plan national. Elle a accès aux sections de recherche du « National Research Council », et elle a des liens avec tous les échelons de l'administration; ses conclusions et ses recommandations atteignent directement les ministères et les organismes intéressés, ainsi que le Cabinet du Président. Au Royaume-Uni, un grand nombre de personnalités voudraient voir la « Royal Society » jouer un rôle analogue, et plusieurs de ses membres (parmi lesquels des spécialistes des sciences « appliquées ») proposent de redonner à la Société, dans ce contexte, le rôle important qu'elle jouait dans la vie nationale au XIX^e siècle.

Le problème de la structure à adopter pour que les scientifiques et les ingénieurs d'un pays puissent participer à la formulation et à la recherche des objectifs nationaux présente la plus grande importance. Les solutions satisfaisantes sont encore très rares, surtout en Europe.

On peut enfin observer que les gouvernements demandent parfois à l'industrie d'accomplir des études générales de prévision et de prédiction dans des domaines techniques d'importance fondamentale pour les objectifs nationaux. Récemment, un centre de prévision, d'analyse et d'information sur la propulsion des avions, a été créé dans une entreprise aéronautique importante, à la demande du gouvernement.

1. L'EIJC, Engineering Institutions' Joint Council britannique, initialement conçu d'après l'Engineering Joint Council américain, a abandonné la plupart des tâches d'envergure dont il s'était chargé au départ.

ORGANISATIONS INTERNATIONALES

Voir également à l'Annexe A.4. la description de certains travaux de prévision technologique

Le mode d'action le plus efficace est de poser le problème.

René DUBOS.

On peut décrire de la manière suivante les *tâches* de prévision technologique à assumer dans le contexte international :

1. Formuler des objectifs et des buts généraux pour le développement technique, principalement dans le domaine de la technologie sociale.
2. Effectuer des prévisions technologiques au niveau de la technique et de la science fondamentale, de préférence en adoptant une méthode fortement normative, c'est-à-dire une détermination systématique des possibilités de la recherche fondamentale, compte tenu de leur intérêt pour des objectifs sociaux pré-déterminés (contrôle démographique, santé, protection de la nature, contrôle des parasites, effets néfastes de la technique, etc.). Une méthode exploratoire — par exemple, l'interprétation rapide des possibilités techniques futures résultant de découvertes scientifiques — est souhaitable dans les milieux techniques « en éveil », mais on ne peut s'attendre à ce qu'elle ait des conséquences importantes. (L'UNESCO a publié un rapport de grande portée, qui fait appel à une méthode exploratoire; voir *réf. bibl. 251*).
3. Analyser les systèmes économiques régionaux, du point de vue de l'innovation technologique, en déterminant les différentes méthodes possibles, afin d'appliquer les techniques nouvelles et d'en déduire une solution optimale (par exemple, dans le cas de production à grande échelle de l'énergie nucléaire en Europe, compte tenu des interdépendances entre les générations actuelles et futures des réacteurs — fabrication de plutonium pour les réacteurs rapides, etc. — et l'ensemble du système logistique, depuis l'extraction du combustible jusqu'au recyclage et à l'évacuation des effluents). Il serait intéressant — compte tenu notamment de l'effort actuel d'intégration — d'évaluer la possibilité d'entreprendre en commun de larges études sur la recherche et le développement, la production industrielle, les techniques d'application et de service, la gestion et la commercialisation L'industriali-

sation des régions en voie de développement (analyse des systèmes globaux concernant l'urbanisation, l'alimentation en eau et en énergie, le transport, l'approvisionnement en matières premières, les industries associées, les marchés, etc.) constituent un autre problème important.

4. Effectuer des prévisions technologiques dans des secteurs particuliers, techniques, industriels ou économiques, où des organisations régionales ou mondiales assument un rôle de planification ou de coordination (la CECA, l'Euratom et l'OACI sont déjà fort en vue dans ce domaine : Voir l'Annexe A.4.).
5. Effectuer des prévisions technologiques dans de vastes secteurs économiques, en adoptant une méthode d'analyse de systèmes, orientée vers les fonctions, afin de déterminer de quelle manière les techniques futures s'adapteront aux fonctions données (ou prédéterminées). Il faut, en particulier, insister sur les cycles techniques et les cycles d'acceptation, ainsi que sur les modifications structurelles des schémas industriels et internationaux qui peuvent résulter de l'innovation technologique (la « croissance commune » et les fonctions évolutives des secteurs industriels, l'« écart technologique » entre l'Amérique et l'Europe, etc.). Il faudra peut-être adopter une méthode interdisciplinaire pour des tâches plus ambitieuses à entreprendre en vue d'aboutir à des conclusions sur les conséquences techniques, économiques, sociales et politiques, et à la formulation de règles normatives.
6. Effectuer des prévisions technologiques dans des secteurs économiques et industriels particuliers, en vue de fournir un « système de détection lointaine » aux pays pour lesquels les nouvelles techniques pourraient avoir des conséquences défavorables. Cette étude pourrait s'effectuer à différents échelons, par exemple dans le cas du problème de l'écart technologique entre l'Amérique et l'Europe (où elle constituerait simplement une mesure « défensive », tandis que l'action définie au point (5) reflète des ambitions plus élevées) ou pour les problèmes des pays en voie de développement, surtout ceux qui dépendent de l'exportation de matières premières que les techniques nouvelles permettent de synthétiser. (Il y a plusieurs années, le Sénat des États-Unis s'est préoccupé de la menace qui pèse sur les marchés des matières premières, et des conséquences pour les pays en voie de développement : voir *réf. bibl. 395*).
7. Effectuer des prévisions technologiques au profit des pays en voie de développement, dans des domaines techniques qui peuvent intéresser exclusivement ou essentiellement — par exemple les méthodes non classiques de production d'électricité dans de petites unités, le dessalement de l'eau, etc. (Le Représentant soviétique au Comité consultatif des Nations-Unies pour l'application de la science et de la technique au développement, le Professeur Gvishiani, a proposé d'inclure ces activités dans les tâches futures de l'ONU. Les deux conférences des Nations-Unies qui se sont tenues à Rome en 1961 et à Genève en 1963 — voir Annexe A.4.3. — ont contribué à faire avancer les travaux.)
8. Effectuer des prévisions technologiques normatives visant à favoriser les transferts technologiques horizontaux — diffusion des techniques existantes, nouvelles méthodes dans les techniques d'application et de service, etc. (On peut trouver dans les organisations internationales

de nombreux exemples de travaux à différents échelons, y compris les activités futures des études-pilotes envisagées par l'OCDE : voir Annexe A.4.)

9. Assumer un rôle actif dans la mise au point des méthodes visant à l'amélioration de la prévision technologique, de préférence dans le domaine de la technologie sociale.
10. Assurer la promotion, la création et le financement d'« institutions-vigies » (voir Chapitre III.6) qui seraient chargées d'évaluer systématiquement les divers avenirs réalisables, afin de fournir un cadre au développement actuel, surtout dans le domaine de la technologie sociale. Cette activité, bien qu'elle soit la plus importante de toutes celles qui sont évoquées ici, est la dernière énumérée, car, ainsi que l'a noté l'un de ses principaux défenseurs : (*réf. bibl. 165*) « aucun organisme politique international important, dont les Nations Unies représentent l'exemple unique et le mieux connu, n'a encore réussi à définir ni à imposer son autorité de telle sorte qu'un tel travail puisse être entrepris sous son égide ». D'un autre côté, « cette possibilité semble fascinante à première vue, ne serait-ce que parce qu'elle suggère une répartition des croyances dans l'ensemble de l'humanité et un contrôle qui, aux mains de nations souveraines, reste pluraliste ». On peut considérer le point (2) comme une variante du point (10), et le recommander sans arrière-pensée à l'intervention des organisations internationales.

On résumera la situation actuelle en disant que les organisations internationales ont déjà pris conscience de quelques-unes de ces tâches, mais qu'elles n'ont commencé à agir que dans des cas plus rares encore. Elles ne se sont intéressées qu'aux points 2, 4, 7 et 8. Parmi les organismes qui ont entrepris des travaux dans ce domaine, trois seulement — la CECA, l'Euratom et l'OACI — se sont révélés capables d'effectuer des prévisions internes valables.

Les *fondations* ont aussi — jusqu'à un certain point — entrepris des activités internationales. L'une d'entre elles, la Fondation Rockefeller, a étudié les besoins et les développements convergents, et redéfini récemment ses programmes afin de les orienter vers les objectifs sociaux. Deux de ces objectifs sont examinés à l'échelon national (le développement culturel et l'enseignement des groupes sociaux défavorisés), et trois à l'échelon international (la lutte contre la faim, le contrôle démographique et le développement universitaire).

L'initiative prise par le Sénat des États-Unis, au sujet des idées présentées au point (6), les travaux de prévision effectués par le Laboratoire israëlien de physique dans le domaine de la conversion de l'énergie solaire (voir annexe A.3) et une série d'études de la revue « Scientific American » sur le développement économique et la technologie (*réf. bibl. 380*) sont également à citer parmi les travaux internationaux de prévision.

Il est évident que le problème des *économies en voie de développement* présente une importance considérable en matière de prévision et d'évolution technologiques. Leontief, appliquant son analyse d'input/output à cette question, constate que les structures internes des économies en voie de développement, sont, elles aussi, largement déterminées par la technologie (*réf. bibl. 380*).

On se rend compte sans difficulté des répercussions mondiales des nouvelles techniques. Il est facile de reconnaître les techniques de caractère international, et l'on discerne immédiatement les tendances générales. Le problème

crucial porte non seulement sur les travaux détaillés, mais aussi sur la formulation des buts et des objectifs, car il exige normalement un accord entre des pays et des gouvernements dont les points de vue peuvent différer largement.

On peut remarquer à cet égard que la CECA a trouvé une heureuse formule de coopération avec le Battelle Memorial Institute. Il est probable que les grands travaux de prévision qui exigent des connaissances spécialisées dans des domaines scientifiques et techniques, avec l'utilisation de méthodes avancées telles que l'analyse des systèmes, pourraient être effectués par des instituts de ce genre, ou par des firmes de consultants. Les organisations internationales sont en position favorable pour faire appel aux instituts qui limitent leur activité aux domaines d'intérêt public (par exemple la System Development Corporation, à Santa Monica, Californie, qui est la seule à offrir l'ensemble des méthodes intellectuelles mises au point à la RAND Corporation). Les moyens internes nécessaires à une organisation internationale qui ferait appel à de telles institutions se limiteraient alors aux fonctions de coordination et, si possible, à la synthèse des travaux effectués à l'extérieur.

« INSTITUTIONS-VIGIES »

Voir également l'Annexe A.5. pour un compte rendu descriptif des travaux observés dans ce domaine

Plaider activement, que ce soit sous la forme d'une planification normative ou sous une autre forme, est devenu le devoir intellectuel et éthique de notre époque.

Hasan OZBEKHAN.

Il est très tard, et nous nous trouvons à la croisée du bon et du mauvais chemin.

Norbert WIENER.

L'idée d'« institutions-vigies »[1], surtout dans le domaine de la technologie sociale, se trouve « dans l'air » des deux côtés de l'Atlantique. Plusieurs scientifiques éminents, ainsi que des « futurologistes » semi-professionnels, la soutiennent activement.

Les activités d'avant-garde mentionnées à l'Annexe A.5. (pour autant que l'on ait pu les identifier au cours de cette étude) ont un double objectif : *a*) créer un climat d'opinion, et *b*) découvrir les missions. Le domaine de la technologie sociale, bien qu'il soit le plus important, accuse généralement un grand retard par rapport à celui des techniques militaires et économiques, aussi bien en ce qui concerne l'attention qui lui est consacrée que les fonds qui lui sont attribués. Les « institutions-vigies » fournissent une « force motrice » aux travaux orientés vers le futur et peuvent finalement réussir à modifier cet état de choses.

La principale fonction véritable d'une « institution-vigie » serait : « de concevoir les futurs possibles ; d'établir des critères de comparaison entre les futurs possibles ; de définir les méthodes permettant d'atteindre les futurs possibles en utilisant les moyens physiques, humains, intellectuels et politiques que la situation actuelle permet d'évaluer » (*réf. bibl. 165*). Nous avons dit, dans les chapitres I.3. et I.7. et dans la section II.5.1., combien il importe d'examiner les différents futurs réalisables et d'effectuer, au moyen d'une méthode en boucle fermée, les modifications à apporter à la planification actuelle.

1. Le terme « institution-vigie » a été proposé par Ozbekhan, qui a repris, en le modifiant, le terme d'« organisation-vigie » de Jouvenel.

Les principaux problèmes sur lesquelles les « institutions-vigies » se concentrent actuellement sont les dangers du pouvoir aléatoire, les conséquences de l'automation et les risques inhérents au chômage et aux loisirs, la distorsion du milieu biologique, l'explosion démographique et la vie urbaine.

M. Michaelis[1] a récemment exprimé une idée importante : il conviendrait de contrôler à l'échelon national les activités « d'avant-garde » dans ce domaine, puis d'appliquer les expériences à cet échelon. On pourrait également envisager, au niveau international, un contrôle qui constituerait une intéressante activité pour une organisation internationale.

1. Dans une allocution faite lors de la Conférence sur les Transferts technologiques et l'Innovation, 15-17 mai 1966, Washington, D.C.

ANNEXES

CENTRE d'ÉTUDES
sur la
RECHERCHE et l'INNOVATION
(CERI)
116, Bd Péreire - PARIS-XVII•
Tél. 755-87-18

Annexe A

TRAVAUX DE PRÉVISION TECHNOLOGIQUE EFFECTUÉS EN DEHORS DU CADRE INDUSTRIEL ET IDENTIFIÉS LORS DE L'ENQUÊTE DE L'OCDE

A.1. INSTITUTS DE PRÉVISION ET BUREAUX D'EXPERTS-CONSEILS

L'Institute for Defense Analyses (IDA), qui travaille uniquement pour le ministère de la Défense des États-Unis, n'a pas été inclus dans cette liste (voir l'Annexe A.2.4. en ce qui concerne ses travaux).

A.1.1. ABT ASSOCIATES, INC.

Adresse : 55, Wheeler Street, Cambridge, Massachusetts 02138 (États-Unis).

Fondé en 1965 par des scientifiques venant de Raytheon, Abt Associates s'est spécialisé en recherche opérationnelle, en science sociale, dans l'étude de systèmes, et dans des travaux de simulation sur calculateur. Bien que cette entreprise ait surtout travaillé jusqu'à présent pour le Département d'État et l'Armée de l'Air des États-Unis, elle peut se charger de problèmes posés par des organisations internationales, des gouvernements, ou des entreprises industrielles et commerciales.

Elle peut appliquer, en particulier, une méthode interdisciplinaire, comportant une analyse de systèmes dans les domaines techniques, économiques, sociaux et politiques, aux économies en voie de développement. Les problèmes interdisciplinaires de ce type sont traités par des méthodes originales de jeux et de simulation sur calculateurs.

Une prévision technologique de base, portant sur une durée de 15 ans, a été effectuée, par exemple pour le rapport sur les Grands événements mondiaux en 1980 (*Réf. bibl. 83*).

Une méthode particulièrement utile pour la prévision technologique a été mise au point. Elle comporte cinq étapes : (*a*) extrapolation des tendances, avec un certain intervalle de probabilité ; (*b*) rédaction de scénarios ; (*c*) groupement aléatoire de variables ; (*d*) analyse sur calculateur ; (*e*) itération et correction du processus au moyen d'une analyse probabiliste relative, et amélioration par prévisions successives, réduisant ainsi le « niveau de bruit » de la prévision.

A.1.2. BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE

Adresses : 505 King Avenue, Columbus, Ohio 43201 (États-Unis) ;
7 Route de Drize, Genève-Carouge (Suisse) ;
Francfort/Main (République fédérale d'Allemagne).

Organisation sans but lucratif, se consacrant essentiellement à la recherche. La prévision technologique entre dans les activités de Battelle sous trois formes différentes :

1. Prévisions spéciales, dans le cadre des services de planification d'entreprise, qui représentent approximativement 25 à 30 % des activités totales de Battelle.
2. Mise au point des méthodes de prévision ; le Centre de Planification Technique du Mechanical Engineering Department, à Columbus, travaille particulièrement dans ce domaine ; la politique adoptée a été de publier toutes les méthodes découvertes. Voir, par exemple, les *réf. bibl. 90, 105, 138 et 179.*

3. Prévisions technologiques concernant des objectifs propres à l'Institut, dans le cadre de projets établis en vue d'obtenir le financement commun de programmes de recherche et de développement.

Les détails suivants intéressent surtout le point (1) : les prévisions technologiques s'intègrent essentiellement dans la Advanced Corporate Thinking (ACT), conception avancee des entreprises, qui va des programmes permanents (par exemple le programme annuel de 500.000 dollars concernant les stratégies optimales de la NASA pour les vols spatiaux non-habités), à des prévisions particulières, d'un coût de 10.000 à 50.000 dollars. Environ 100 à 150 des projets annuels entrepris par Battelle font appel à des prévisions technologiques. Ces projets sont confiés à des groupes inter-départementaux qui établissent également les prévisions, en recourant à d'autres spécialistes de l'Institut. Il n'existe pas de groupe de prévision distinct. A Genève, les prévisions technologiques sont surtout établies par le Département d'économie appliquée, avec l'aide de spécialistes des autres départements.

Parmi les études particulières récentes effectuées pour des gouvernements ou des entreprises industrielles, il convient de citer les sujets suivants :

— Structure des marchés de consommation en 1975, aux États-Unis et dans les pays du Marché Commun (Columbus et Genève), voir *réf. bibl. 119* ;
— Structure ultérieure de la consommation de combustibles industriels ; nouvelle technique sidérurgique, et d'autres études effectuées pour la CECA (voir Annexe A.4.1.) (Genève, avec l'aide de Columbus) ;
— Demande de métaux (Columbus) ;
— Impact des nouveaux métaux (Columbus) ;
— Demande de soufre (Columbus et Genève) ;
— Lubrifiants synthétiques (Columbus) ;
— Chemins de fer (Columbus en co-financement);
— Matières plastiques dans la construction immobilière (Genève, en co-financement);
— L'acier dans l'industrie de la construction (Genève, en co-financement);
— Nombreuses études relatives aux économies en voie de développement effectuées pour l'AID (Columbus) ;
— Etudes des politiques nationales, situation de secteurs industriels particuliers et de certaines entreprises, dans le cadre des politiques nationales, développement des exportations, etc. (envisagées à Genève).

A.1.3. Bureau d'informations et de prévisions économiques (BIPE)

Adresse : 122, avenue de Neuilly. 92 - Neuilly-sur-Seine (France).

Fondé en 1958 et appartenant en commun à l'État français (50 % des parts) et à environ 50 entreprises industrielles françaises importantes, le BIPE s'est vu confier des prévisions technologiques à long terme destinées à être incorporées dans le Sixième Plan national, en cours d'établissement (1971-1975). Des prévisions à long terme, portant sur 20 séries de produits d'importance particulière pour l'économie française, devaient être effectuées à la fin de 1966, puis mises à jour de façon suivie. Des entreprises industrielles (les actionnaires seulement) pourront consulter cette étude.

Les informations de base concernant les prévisions technologiques sont obtenues des sources suivantes : (*a*) experts-conseils de la DRME (Direction des recherches et matériels du ministère des Armées) ; (*b*) industrie privée (environ 30 des 50 fondateurs prennent une part active à l'établissement du dossier) ; (*c*) documentation extérieure (exceptionnellement) ; (*d*) à partir de 1968, on envisage de faire également appel à une filiale créée à Washington.

A.1.4. Corplan Associates (filiale du IITRI, Illinois Institute of Technology Research Institute).

Adresse : 10 West 35th Street, Chicago, Illinois 60616 (États-Unis) ; bureaux associés à New York et à La Haye (Pays-Bas).

La prévision technologique fait partie des activités de planification de Corplan Associates ; elle concerne en particulier : la planification de nouveaux produits, des études de marchés orientées vers l'avenir, les acquisitions et les fusions, etc. Une série d'études complètes, portant sur le développement futur de l'industrie dans la région de Chicago, a été effectuée. Corplan dispose des moyens scientifiques et techniques de l'Illinois Institute of Technology Research Institute (IITRI), anciennement Armour Research Foundation.

A.1.5. THE DIEBOLD GROUP, INC.

Adresses : 430 Park Avenue, New York, N.Y., 10022 (États-Unis) ; Diebold Europe, Goethestrasse 3, Francfort/Main (République fédérale d'Allemagne) et autres bureaux affiliés.

Diebold est une société d'experts-conseils en gestion, spécialisée dans la technologie de l'information. Ses activités de prévision technologique sont triples :

1. Le Diebold Research Programme, a été entrepris en 1963 en co-financement, afin de déterminer les conséquences des développements techniques futurs dans le traitement de l'information (et en particulier le développement des calculateurs) pour la gestion et les affaires, notamment en ce qui concerne les possibilités d'application dans les entreprises affiliées. Les deux premières années du « programme » ont été essentiellement consacrées à des prévisions à dix ans pour les matériels de traitement de l'information, tandis que l'accent est mis aujourd'hui sur les applications, les systèmes bouclés, etc. Les contacts avec l'industrie fournissent les informations de base. La participation au programme coûte $ 16.000 par an pour les constructeurs de calculateurs et $ 9.600 par an pour les utilisateurs. Soixante entreprises américaines et une quarantaine d'entreprises européennes participent actuellement à ce programme, les dernières étant desservies par Diebold-Europe à Francfort-sur-le-Main.
2. Les prévisions technologiques, portant habituellement sur cinq à sept ans, sont établies au titre des conseils de gestion. Il est possible que cette activité soit intégrée avec celle citée en (1).
3. Prévision technologique interne.

A.1.6. HUDSON INSTITUTE

Adresse : Quaker Ridge Road, Croton-on-Hudson, New York, 10520 (États-Unis).

Organisme sans but lucratif, spécialisé dans la « rédaction de scénarios » et l'évaluation des différents milieux futurs possibles, dans un vaste contexte militaire, économique, social et politique. Il travaille essentiellement pour le gouvernement des États-Unis, mais il peut de manière occasionnelle se charger d'autres travaux d'intérêt public.

La prévision technologique intervient dans les travaux que l'Institut effectue pour le « Year 2000 Committee » (Comité de l'An 2000) de l'American Academy of Arts and Sciences (*réf. bibl. 352*). L'Institut a également effectué une prévision dans la même ligne générale, politique, sociale économique et technologique, pour la société Martin-Marietta (*réf. bibl. 272*).

En dehors des travaux accomplis dans le domaine militaire, l'Institut effectue des prévisions technologiques dans des domaines particuliers ; il a rédigé récemment un rapport officieux sur la technique et les perspectives de la production alimentaire (*réf. bibl. 288*), et effectue une enquête sur les méthodes de prévision technologique (*réf. bibl. 89*).

A.1.7. ARTHUR D. LITTLE, INC.

Adresse : 25 Acorn Park, Cambridge, Massachusetts 02140 (États-Unis), filiales à Chicago, San Francisco, New York, Washington, Santa Monica, Edimbourg, Londres, Mexico, Toronto, Zürich et Bruxelles. Adresse du siège européen : 2, place du Champs de Mars, Bruxelles (Belgique).

Organisme sans but lucratif. Les travaux de prévision technologique sont divisés en trois parties :

1. Le programme «Service to Management» (Services pour la Gestion), un «ensemble» que l'on peut se procurer par abonnement de 5.000 dollars par an, et comprenant : (*a*) 20 à 25 rapports de prévision technologique par an, dans tous les domaines techniques, couvrant approximativement 5 ans ; (avec des révisions périodiques dans tous les domaines ; tous les 18 mois pour la technique des calculateurs) ; (*b*) 30 à 35 lettres de commentaires officieux par an, comprenant certaines prévisions particulières ; (*c*) 10 à 12 séances de discussion dans des domaines d'intérêt particulier ; (*d*) des exposés sur la gestion et d'autres services consultatifs. La moitié du montant de l'abonnement est affectée à des travaux spécialisés effectués pour l'abonné. Il est également possible d'obtenir certaines sections du programme. En 1966, plus de 100 entreprises et organismes administratifs des États-Unis et de cinq pays européens participaient au programme.

2. Des travaux importants de prévision technologique, en collaboration avec de nombreux clients : par exemple, un projet de $ 300.000 sur la microminiaturisation électronique, entrepris pour 12 entreprises importantes des États-Unis en 1962 (au moment où l'apparition des circuits intégrés était imminente).
3. Des prévisions spéciales, associées aux activités consultatives générales de gestion dans trois domaines : (*a*) planification de l'entreprise ; (*b*) planification des produits et des services ; (*c*) recherche des marchés. En outre, cet Institut donne des conseils sur la création de conditions propices à l'innovation (voir également la *réf. bibl. 44*).

A.1.8. Département Économique de McGraw-Hill.

Adresse : 330 West 42nd Street, New York, N.Y. 10036 (États-Unis).

Le Département économique de cette grande maison d'édition technique et scientifique publie des prévisions sur l'économie américaine, considérée dans le contexte général de l'évolution technologique : « America in 1975 » et « The American Economy - Prospects for Growth Through 1980 » (septembre 1965, voir également la *réf. bibl. 274*). Cette série, qui va se poursuivre, a été mise au point afin de fournir une base de prévision homogène aux différentes revues scientifiques et techniques publiées par McGraw-Hill. On peut obtenir gratuitement, sur demande, les différents rapports.

En outre, McGraw-Hill établit des prévisions sur trois ans pour les dépenses de recherche et de développement et les taux d'innovation dans les secteurs industriels, ainsi que sur les probabilités de percées (voir la *réf. bibl. 54*). Pour les deux séries, les informations de base résultent d'analyses statistiques de questionnaires envoyés aux industriels.

A.1.9. National Planning Association

Adresse : 1606 New Hampshire Avenue, N.W., Washington, D.C. 20009 (États-Unis).

Organisation sans but lucratif, qui publie une série : « National Economy Projections » sur l'économie américaine (prix d'abonnement annuel : $ 700) ; il s'agit essentiellement de projections économiques, portant sur cinq à dix ans, et quelquefois largement envisagées sur un arrière-plan d'évolution technologique. Exemples récents : « National Economic Projections 1975 » et « American Industry in 1976 and 1985 — Projections of Output, Employment and Activity » (Rapport 64-1).

A.1.10. The RAND Corporation

Adresse : 1700 Main Street, Santa Monica, Californie 90406 (États-Unis).

Cette célèbre organisation sans but lucratif travaille sous contrat pour l'Armée de l'Air des États-Unis. Elle a mis au point depuis 1948 la méthode d'analyse des systèmes, le système militaire comparatif de coût et d'efficacité, le système Plan-Programme-Budget du ministère de la Défense (voir Annexe A.2.4.) pour la passation des contrats, etc. Elle a aussi redécouvert les jeux.

En dehors de ses travaux importants dans les domaines de la défense et de la sécurité nationales, ainsi que dans celui de la politique étrangère, la RAND Corporation effectue certaines études dans des domaines civils d'intérêt public ; elle est devenue une des entreprises d'avant-garde en matière de prévision de technologie sociale. Parmi les sujets typiques de ces prévisions, fondées sur l'analyse des systèmes, citons la planification urbaine, l'urbanisme, les transports et les véhicules de l'avenir, les ressources naturelles, etc. Les rapports établis dans ce cadre n'ont aucun caractère secret. Ils peuvent être obtenus auprès de la « Federal Clearinghouse for Scientific and Technical Literature », mais sont parfois difficile à identifier.

La RAND Corporation a également participé à des études portant sur les transferts technologiques et l'innovation technologique en général (voir par exemple la *réf. bibl. 65*), et elle a contribué au développement de méthodes de prévision telles que les « courbes d'apprentissage », les jeux, la construction de modèles et, naturellement, l'analyse des systèmes. Son apport le plus récent est la méthode « Delphi » (voir la section II.2.3.) en cours d'expérimentation.

La RAND Corporation est en passe de devenir une des entreprises de pointe dans l'établissement de méthodes de prévision particulières à la technologie sociale. Elle est appelée à assumer un rôle de conseil auprès des autorités civiles pour ce qui concerne les problèmes posés par l'introduction du PPBS (voir Annexe *A.3.10.*).

A.1.11. RESOURCES FOR THE FUTURE, INC.

Adresse : 1755 Massachusetts Avenue, N.W., Washington, D.C. 20036 (États-Unis).

Cet organisme sans but lucratif, entièrement financé par la Fondation Ford, et créé en 1953, ne peut se charger de travaux extérieurs. On lui doit l'ouvrage intitulé « Resources for America's Future » (*réf. bibl. 273*). Les groupes suivants effectuent actuellement des prévisions technologiques à usage interne : (*a*) exploitation de la terre ; (*b*) eau ; (*c*) énergie et minéraux ; (*d*) développement régional ; (*e*) évaluation ; (*f*) milieu (pollution, etc.). Le programme d'évaluation a une importance particulière : il constitue peut-être la première tentative expérimentale systématique de quantification des objectifs sociaux, sous forme d'analyse comparée des coûts et de l'efficacité.

A.1.12. SAMSON SCIENCE CORPORATION/QUANTUM SCIENCE CORPORATION (filiales de Samson Associates, Inc.)

Adresses : 245 Park Avenue, New York, N.Y. 10017 (États-Unis) et 851 Welch Road, Palo Alto, Californie 94304 (États-Unis). Filiale envisagée à Bruxelles (Belgique).

Groupe d'anciens industriels confirmés, se spécialisant dans la vente de « jugements » (et pas seulement d'informations) dans le domaine des sciences physiques appliquées, et en particulier en électronique. Des contacts étroits avec l'industrie constituent la principale source des informations de base.

Samson Science Corporation est « l'éditeur » de prévisions technologiques très explicites et hautement spécialisées, sous les deux formes suivantes :

1. « Samson Trends », publication mensuelle qui date de 1963, et dont l'abonnement annuel est de $ 150 ; sa diffusion, relativement large, vise principalement à atteindre les sociétés d'investissement dans le domaine scientifique. Les prévisions technologiques portant sur des questions sélectionnées sont complétées par des indicateurs technologiques et des moyennes de cours de bourse.
2. « Samson Reports », série irrégulière de prévisions technologiques complètes dans des domaines essentiels. Deux rapports ont paru en 1966 : (*a*) « Satellite Communications - Comsat and the Industry » (novembre 1964 : voir la *réf. bibl. 334*), prix $ 95; (*b*) « Microelectronics : Revolutionary Impact of New Technology » (1965, voir la *réf. bibl. 333*), prix $ 60.

Les activités de la Quantum Science Corporation sont doubles; elles consistent en conseils financiers et en conseils de gestion aux entreprises. Les conseils aux entreprises comportent la publication de MAPTEK, prévision technologique établie sur cinq ans pour le secteur électronique, sous la forme d'un tableau d'input/output. Ce tableau a paru pour la première fois en 1965, et une cinquantaine d'entreprises y sont abonnées à l'heure actuelle, pour un montant de 10.000 à 50.000 dollars par an (voir la description détaillée à la section II.3.12). MAPTEK comprend actuellement 500 catégories de sujets, qui vont être portées à 1.000; il doit servir de système de référence pour toutes les prévisions technologiques établies par Samson et Quantum et on envisage d'étendre les éléments d'entrées afin d'y inclure les économies européennes. On pense également organiser un système d'accès permanent aux informations.

En outre, Quantum Science Corporation établit des prévisions spéciales, d'un coût habituel de $ 2.000 à $ 50.000, et donne des conseils sur les questions de stratégie, sur la concurrence future et sur les marchés de l'avenir ; il met au point des méthodes permettant d'analyser le lancement de nouveaux produits en fonction des besoins du marché et de la politique de croissance de l'entreprise.

A.1.13. SOCIÉTÉ D'ÉTUDES ET DE DOCUMENTATION ÉCONOMIQUES, INDUSTRIELLES ET SOCIALES (SÉDÉIS)

Adresse : 205, boulevard Saint-Germain, Paris 7e (France).

Organisation sans but lucratif, qui publie la série des « Futuribles », essentiellement financée par la Fondation Ford (États-Unis), administrée par la FERIS (Fondation pour l'Étude des Relations Internationales en Suisse) et dirigée par un groupe international.

La série des « Futuribles » (c'est-à-dire des « futures possibles ») étudie les divers milieux futurs sous de vastes aspects économiques, sociaux et politiques, les questions techniques n'intervenant qu'occasionnellement de manière directe. En 1965, 107 numéros avaient déjà paru, à titre de numéros spéciaux du « Bulletin SÉDÉIS », publiés trois fois par mois jusqu'à la fin de 1965. A partir de 1966, une publication mensuelle, « Analyse et prévision », est complétée trois fois par mois par une « Chronique d'actualité ».

Les « Futuribles » comprennent également des séries d'ouvrages, et une revue « Perspectives, Studies in Social and Political Forecasting » (supplément à l'« Indian Journal of Public Administration », Nouvelle Delhi, Inde).

A.1.14. STANFORD RESEARCH INSTITUTE

Adresses : Menlo Park, Californie 94025 (États-Unis). Filiales à Washington, New York, Detroit, Zurich et Tokyo (Japon). Adresse du Bureau européen : Pelikanstrasse 37, Zurich (Suisse).

Ayant été le « pionnier » des instituts de prévision technologique, il a effectué des travaux systématiques dans ce domaine dès 1958, et s'est spécialisé dans l'étude des interactions entre la science, la technique et la société.

La prévision technologique est essentiellement offerte dans le cadre du « Long Range Planning Service » (LRPS), ensemble qui comprend : (*a*) des rapports de planification à long terme (voir ci-dessous) ; (*b*) des études particulières qui portent sur les problèmes-clés de la planification administrative ; (*c*) un centre d'information (voir ci-dessous) ; (*d*) un service d'information ; (*e*) des consultations personnelles ; (*f*) une table ronde, organisée plusieurs fois chaque année dans des villes importantes ; (*g*) une conférence annuelle réunissant les clients. Le prix de l'abonnement annuel est de $ 4.000 pour les entreprises, et de $ 3.000 pour les organismes entièrement financés sur des fonds publics (un minimum d'abonnement de deux ans étant exigé). En 1966, environ 400 entreprises et organismes ont participé à ce programme.

Les rapports, qui font partie intégrante du Service de planification à long terme, ont commencé en 1958, et paraissent habituellement au rythme de 40 rapports par an, couvrant tous les domaines dans lesquels des modifications politiques, sociales, économiques ou techniques se produisent (y compris des sujets tels que : les Conséquences de Medicare (Sécurité Sociale aux États-Unis), la Grande-Bretagne et le Marché Commun, le Chômage, etc.). Les études portent généralement sur 5 à 15 ans (25 ans pour l'énergie nucléaire). Les rapports sont établis par le personnel du Service de planification à long terme (50 personnes, dont 30 sont des spécialistes), qui fait appel également à des spécialistes de l'Institut et à des conseillers extérieurs. Les travaux sont effectués à 40 % par le personnel du Service de planification à long terme, 60 % étant confiés à l'extérieur. Le personnel du Service de planification à long terme examine régulièrement 600 revues, et reçoit chaque année 400 à 500 suggestions de la part des participants, des membres de l'Institut, et d'autres personnes. Chaque année, le Service entreprend l'étude d'une cinquantaine de projets, et en abandonne 10 en moyenne. A la fin de 1966, 300 rapports au total avaient paru. A partir de 1964, le service a inclus chaque année un ensemble de plusieurs rapports groupés autour d'un sujet général :

- Automne 1964 (rapports 232 à 236) : « The World of 1975 », comprenant des rapports sur : la conjoncture internationale, les tendances économiques, les tendances politiques et gouvernementales, la science et la technologie, un cadre social et culturel;
- Automne 1965 : une série d'études essayant de prévoir comment les différentes industries répondront à l'environnement de 1975;
- Automne 1966 (en cours d'établissement à la date de rédaction) « A Framework for R and D Planning », comportant des études sur la méthodologie et les méthodes de planification, y compris les méthodes de prévision technologique et des analyses de prévisions passées.
- Automne 1967 (envisagé) : « The Management of Innovation » y compris un rapport sur les méthodes utilisées pour prévoir l'évolution technologique.

Le Centre d'Information (encore appelé « Planning Library ») est ouvert aux abonnés au Service de planification à long terme. On y trouve les éléments de base complets ayant servi aux rapports de planification à long terme, classés par sujets avec l'original ou une photocopie, et des exemplaires annotés des rapports. Les abonnés peuvent également faire des demandes par écrit et obtenir des photocopies. On envisage, à partir de 1967, d'inclure dans tous les rapports les informations de base sur microfilm.

Le « SRI Journal » (la revue du Stanford Research Institute) paraissant irrégulièrement cinq à six fois par an, et récapitulant pour chaque numéro les « retombées » du Service de planification à long terme, dans un ou plusieurs domaines peut être obtenu gratuitement sur demande.

A.1.15. Studiengruppe fuer Systemforschung

Adresse : Werderstrasse 35, Heidelberg (République fédérale d'Allemagne). Filiale envisagée à Berlin « Institut fuer Automation ».

Organisme sans but lucratif, financé par le gouvernement fédéral, mais pouvant effectuer des travaux dans un contexte gouvernemental ou international.

Des prévisions officieuses, chacune représentant un effort global de $ 300.000 à $ 500.000 sont entreprises, sous patronage conjoint, dans des secteurs de pointe, tels que celui des composants électroniques (1966) et des appareils scientifiques de mesure (1967). Le Studiengruppe a participé à la rédaction de la brochure « Deutschland 1975 » (pour la campagne électorale du Parti socialiste) et a entrepris des études de prévision dans le domaine de l'enseignement programmé. Il s'intéresse à la mise au point des méthodes de prévision, et en particulier aux méthodes des jeux et à la construction de modèles.

A.1.16. System Development Corporation

Adresse : 2500 Colorado Avenue, Santa Monica, Californie 90406 (États-Unis).

Organisme sans but lucratif, qui était initialement une division de la RAND Corporation, dont il s'est séparé en 1966. Peut travailler pour des gouvernements ou des collectivités locales et des organisations internationales.

Il se spécialise dans les systèmes de gestion à base de traitement de l'information, en appliquant les méthodes de planification de l'entreprise et de l'analyse des systèmes aux problèmes publics. Il est en train de prendre la première place dans l'application de ces méthodes à la technologie sociale. Il travaille particulièrement à la mise au point de méthodes de prévision probabiliste dans le domaine de la technologie sociale, en faisant appel à des techniques avancées de l'information (voir également la section II.5.2.). A l'heure actuelle, les applications de technologie de l'information sont surtout utilisées pour la planification de l'enseignement.

A.1.17. TEMPO Center for Advanced Studies, General Electric Co.

Adresse : 816 State Street, Santa Barbara, Californie 93102 (États-Unis). Filiales à Washington et Honolulu ; une filiale est envisagée en Europe.

A strictement parler, TEMPO (Technical Military Planning Operation ou encore, à l'heure actuelle : Technical Management Planning Operation) est un département du Service de planification pour la Défense, et dépend du Groupe aérospatial et militaire de la General Electric; il existe depuis 1956. Toutefois, 20 % seulement de ses travaux sont effectués pour la Société-mère (où il joue essentiellement un rôle de conseil pour la haute direction), le reste des travaux étant effectués pour le gouvernement des États-Unis et des gouvernements étrangers, ou pour d'autres entreprises (sous la seule réserve qu'aucun conflit d'intérêt n'existe dans les domaines commerciaux où la General Electric exerce ses activités.

La spécialité de TEMPO est l'application des techniques de la stratégie aux affaires. C'est probablement le seul bureau d'études qui applique aux problèmes économiques, civils et commerciaux l'analyse des systèmes globaux, sous la forme initialement mise au point par la RAND Corporation, analyse qui est actuellement utilisée pour l'évaluation des systèmes d'armes. Ayant ses racines, d'une part dans un groupe industriel important et hautement diversifié, et d'autre part dans la planification militaire, il revêt un intérêt particulier comme entreprise de ce genre.

Des prévisions technologiques sont effectuées dans les domaines suivants :

— Défense nationale (pour le gouvernement des États-Unis) ; guerre stratégique, systèmes d'armes dans des contextes futurs, coût et logistique de systèmes d'armes futurs ;
— Techniques de gestion ;
— Stratégie commerciale ;

— Domaines d'application, par exemple, aux économies en voie de développement (une étude pour le gouvernement d'Algérie était en cours en 1966);
— Domaines technologiques particuliers, pour la General Electric et pour d'autres entreprises (exemples récents : combustibles, technologie de l'information) ;
— Analyses du milieu (marchés futurs) pour la General Electric et d'autres entreprises.

Dans le domaine de la prévision technologique, TEMPO distingue les études de systèmes complets (y compris les analyses de coût et d'efficacité, différentes solutions d'approvisionnement et des études de marché) et des études partielles. Des études récentes de systèmes complets ont notamment porté sur : (*a*) les navires de commerce à propulsion nucléaire en 1965-1985 (pour la General Electric) ; (*b*) les satellites commerciaux de communication ; (*c*) l'énergie et l'eau en Amérique du Nord ; (*d*) l'industrie de l'or aux États-Unis. Récemment, des études partielles ont été consacrées aux sujets suivants : (*a*) structure de la distribution de l'électricité au cours des 20 ou 25 ans à venir (aspects commerciaux)pour la General Electric; (*b*) modèles de coûts et de ressources pour la planification des programmes (différentes possibilités d'approvisionnement).

A.1.18. Autres bureaux d'experts-conseils

D'autres bureaux d'experts-conseils ont été fréquemment cités à la suite de l'enquête qui a conduit à la rédaction du présent rapport, mais nous ne leur avons pas rendu visite. Il s'agit des firmes suivantes :

— Dynamar, à Bazainville, 78, Les Yvelines (France), spécialisé dans les milieux sociaux de l'avenir, qui dépend de la British Petroleum Ltd., Londres, mais qui peut également fournir des consultations à des clients extérieurs ;
— Equity Research Associates, Inc., New York (États-Unis), qui utilise les rapports du Midwestern Research Institute ;
— IFO Institut, Munich (Rép. féd. d'Allemagne) qui a, par exemple, étudié les conséquences sociales du progrès technologique, et fait des prévisions sur la circulation des marchandises ;
— Prognos A.G., à Bâle (Suisse), qui se spécialise dans des prévisions économiques et des travaux de consultation à forte base technologique ;
— Simulatics Inc., New York (États-Unis), qui paraît travailler de la même manière que Quantum Science Corporation ;
— Stollar Associates Inc., New York, qui semble s'être spécialisé en énergie nucléaire.

En dehors de ces firmes de consultants, l'Atomic Forum, à New York, a également été cité comme une bonne source de prévisions dans le domaine de l'énergie nucléaire.

A.2. PRÉVISIONS EFFECTUÉES DANS LE CADRE MILITAIRE

A.2.1. France

Une prévision technologique centralisée (au ministère des Armées) est effectuée depuis 1964, dans le cadre d'une succession de plans fixes de cinq ans (non mobiles). Ses principaux objectifs sont les suivants : (*a*) orientation de la politique de recherche pour la défense nationale ; (*b*) détermination des conséquences à long terme des décisions. Le critère principal est la comparaison des coûts et de l'efficacité, plutôt sous une forme qualitative, en l'absence d'un système rigoureux d'évaluation.

Depuis février 1964, la prévision technologique est confiée au « Centre de prospective et d'évaluations », groupe fonctionnel directement rattaché au ministre, qui comprenait (au début de 1966) 19 spécialistes se divisant à peu près également en officiers, ingénieurs et spécialistes de l'évaluation (économistes et spécialistes de la recherche opérationnelle). Il coopère étroitement avec les groupes d'études stratégiques, les états-majors militaires et la « Direction des recherches et moyens d'essais » du ministère. Dans l'accomplissement de ses fonctions, il fait largement appel à des conseillers extérieurs (surtout à des économistes) et il organise des réunions avec des spécialistes de l'industrie, avec des séances de « brainstorming » occasionnelles.

Le procédé généralement adopté est une méthode normative à cinq étapes :

1. Le Centre postule, pour une durée de 20 ans, des missions générales hypothétiques, mettant en jeu de vastes aspects économiques ; il définit ensuite les différentes possibilités, y compris les possibilités non-militaires (groupes d'études stratégiques).
2. Il explicite les missions générales de manière détaillée, définit les tâches en association avec les états-majors militaires).
3. Il détermine les besoins techniques et choisit des options technologiques pour une durée de dix ans (délai de mise au point), en visant une efficacité opérationnelle de vingt ans. Il étudie autant que possible différents systèmes d'armes envisageables (en collaboration avec la « Direction des recherches).
4. Il détermine les déficiences techniques et les objectifs de développement (en collaboration avec la « Direction des recherches »).
5. Il classe les objectifs de développement en utilisant une formule à quatre paramètres (voir section II.4.4.) qui, depuis 1967, a été modifiée de façon à additionner, et non multiplier, les classements; à partir de 1967, cette opération sera effectuée avec l'aide de calculateurs. L'ordre de classement qui en résulte n'est utilisé que comme moyen auxiliaire de décision (par le Centre).

Au début de 1966, le système formel comprenait : 100 tâches, 200 systèmes fonctionnels (c'est-à-dire une moyenne de deux possibilités distinctes pour chaque tâche) et 800 objectifs de développement.

Certaines prévisions technologiques particulières sont parfois confiées à l'extérieur, en particulier à l'industrie (CGE, CSF, etc.).

A.2.2. Suède

Depuis 1954, les services suédois utilisent une méthode intégrée de planification et de prévision technologique, qui sert surtout à l'établissement d'un plan de sept ans, mobile et souple. En général, ils adoptent une durée de dix ans pour le développement, et même de 40 ans pour l'exploitation.

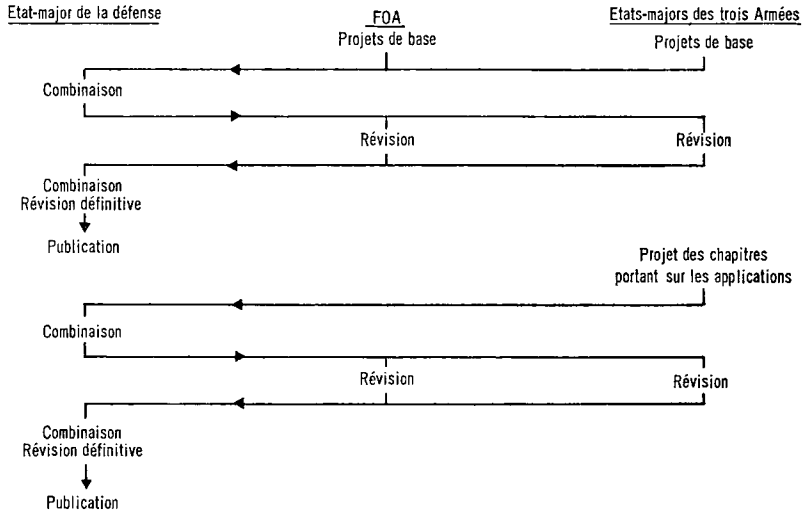
Les principaux services qui collaborent à ce système sont : (*a*) le Commandement suprême ; (*b*) l'État-Major de la Défense nationale, avec 20 personnes qui travaillent à plein temps au « Département des études et de la planification », et une assistance à temps partiel de la part des départements opérationnels ; (*c*) le FOA, Institut de recherche de la défense nationale suédoise, qui comprend plusieurs collaborateurs à temps plein et de nombreux collaborateurs à temps partiel ; (*d*) les états-majors des trois armes (armée, marine aviation), assistés de leurs services du matériel respectifs. L'État-Major de la Défense joue également un rôle de coordination.

L'évaluation fait appel à l'analyse de système globaux (adaptée à partir des études américaines dans ce domaine). Le critère principal est la comparaison des coûts et de l'efficacité, adaptée aux besoins d'un petit pays, c'est-à-dire la maximisation des coûts totaux pour l'agresseur éventuel, y compris les coûts économiques, militaires et politiques « indirects », par exemple ceux qui résulteraient d'une réaction mondiale, la préférence étant donnée à une efficacité d'ordre général (armes à applications multiples, etc.), plutôt qu'à une efficacité supérieure dans un seul domaine.

Le processus général en huit étapes, décrit ci-dessous, se caractérise par l'association rapide de prévisions technologiques normatives et exploratoires, à une étape dans laquelle seules des lignes de conduite générales se sont concrétisées à partir des études normatives. Cette étape est suivie d'une étroite interpénétration des composantes normatives et exploratoires.

1. Dans le cadre d'un financement à moyen terme, défini par le Parlement, le Commandement suprême publie des directives générales pour des périodes de sept ans avec chevauchement (par exemple « ÖB 62 » et « ÖB 65 »). Ces directives générales sont publiées, à l'exception de quelques détails secrets.
2. L'État-Major de la Défense et le FOA établissent sur un plan mondial, des « scénarios » de l'évolution possible ou probable dans le domaine politique, militaire, économique et social. Ils visent généralement une période de dix à quinze ans, tout en indiquant les tendances principales pour des périodes plus longues, et déduisent de ces « scénarios » différents types de guerre et de missions générales.
3. Un document intitulé « Études techniques et pronostics » (TSP), visant à définir, à dix ans d'échéance, des estimations précises pour les sept premières années, constitue le principal élément de base de la prévision technologique. Ce document comprend des chapitres sur les sciences fondamentales (y compris les progrès prévus en

technique et en science, groupés de manière normative, par « applications fondamentales ») et des chapitres sur les sciences appliquées (y compris des estimations quantitatives des coûts de développement). Le schéma simplifié en est le suivant :



La préparation du document complet demande environ un an et demi. A l'heure actuelle, la sixième opération entreprise depuis le début de cette prévision technologique formelle est en cours (automne 1965 à printemps 1967). Pour compléter le document, on envisage actuellement un « pronostic scientifique », passant en revue les progrès accomplis dans toutes les sciences fondamentales. Ce complément pourrait être établi en dehors du FOA, sur un plan national général.

4. Un autre document, « Études stratégiques et pronostics » (SSP), établi par l'État-Major de la Défense avec l'aide des États-Majors des trois armes, rassemble les faits stratégiques et des estimations relatives à la situation militaire suédoise, et les principales tendances prévues pour la période de planification de sept ans.
5. Les États-Majors des trois armes procèdent à des évaluations de coût et d'efficacité au moyen d'une analyse de systèmes globaux pour la durée de vie attendue des systèmes d'armes. Le FOA est chargé des méthodes d'évaluation.
6. Des « Études de synthèse » sont effectuées principalement par l'État-Major de la Défense, afin de fournir les éléments d'une « planification cohérente », c'est-à-dire la base des décisions relatives à l'affectation optimale des ressources et à une combinaison optimale des stratégies et des méthodes tactiques permettant d'assurer la meilleure défense contre les différents types possibles d'attaques. Les prévisions stratégiques et techniques sont comparées aux « scénarios », au cours de jeux de guerre à deux protagonistes.
7. Un plan mobile de sept ans, établi dans les limites des ressources prévues, donne des prévisions détaillées pour les quatre premières années. Chaque année fait l'objet d'un découpage horizontal. Le tout forme un plan économique général qui est revu annuellement et présenté au gouvernement.
8. Les décisions relatives à chaque programme de développement sont prises individuellement au « point de décision » indiqué dans le plan.

Depuis 1965, où il a été possible de vérifier la première prévision de dix ans, faite en 1955, une étape officieuse d'évaluation et de « rétroaction » a été ajoutée pour les prévisions technologiques antérieures.

A.2.3. Royaume-Uni

C'est le ministère de la Défense qui est chargé de centraliser les études de prévision technologique. Il reçoit annuellement, à ce titre, des informations de base (idées nouvelles, etc.) communiquées par l'armée, la marine et, jusqu'à sa suppression au milieu de 1966, par le ministère de l'Air (maintenant rattaché au ministère de la Technologie), ainsi que par de

nombreux établissements de recherche militaires. Dans cette tâche, le secrétariat du Conseiller scientifique du ministre de la Défense est aidé, dans les deux domaines des « études » et de la « recherche » (six scientifiques hautement qualifiés), par le « Defence Operational Analysis Establishment » (DOAE) à Byfleet, Surrey, qui comprend 100 personnes. Les lignes générales sont fixées par trois commissions : (*a*) la Commission des besoins opérationnels (militaires) ; (*b*) la Commission de la recherche militaire (militaires, universitaires et scientifiques de la Défense nationale) ; (*c*) la Commission de mise au point des armes.

Il n'existe pas de plan mobile. A sa place, la « Defence Review » fournit un cadre moins formel qui couvre en partie les développements pour l'avenir proche, et comporte une évaluation économique sur cinq ans environ. Il n'y a aucune durée imposée à la prévision technologique, mais on adopte généralement une échéance de dix ans pour l'étude de développement. Les évaluations se font essentiellement au moyen d'une recherche opérationnelle et d'une analyse des systèmes. Les éléments nécessaires à l'utilisation d'un critère de coût et d'efficacité se sont trouvés récemment réunis, grâce à l'introduction du « Functional Costing System » (adapté du système Plan-Programme-Budget américain, mais de caractère moins formel).

La prévision technologique est organisée sous forme d'une interaction permanente entre trois domaines :

1. Tâches et missions à long terme, essentiellement exprimées par la Commission des besoins opérationnels.
2. Recherches exploratoires, pour lesquelles aucun besoin opérationnel n'a encore été formulé avec précision. Dans ce domaine, la Commission de la recherche militaire est aidée par des commissions temporaires de spécialistes (groupes d'intervention) qui travaillent pendant environ un an, et établissent leurs rapports dans un contexte de prévision technologique exploratoire (partiellement quantitative) ; au début de 1966, six commissions de ce genre fonctionnaient.
3. Besoins techniques des systèmes d'armes destinés à satisfaire les missions et les tâches exprimées en (1). C'est surtout le DOAE qui effectue des études approfondies afin de déterminer le rapport de coût et d'efficacité des différentes stratégies et des différents systèmes d'armes possibles, en utilisant des méthodes de recherche opérationnelle (analyse des systèmes) et les jeux. D'ici peu, le DOAE mettra en service un système de classement quantitatif des projets de développement.

L'exemple du laser illustre de manière typique l'interaction entre ces trois domaines. La découverte a été maintenue dans le deuxième domaine, jusqu'à ce qu'une mission de télémétrie ait été définie comme en (1), et le laser est alors entré dans la phase (3).

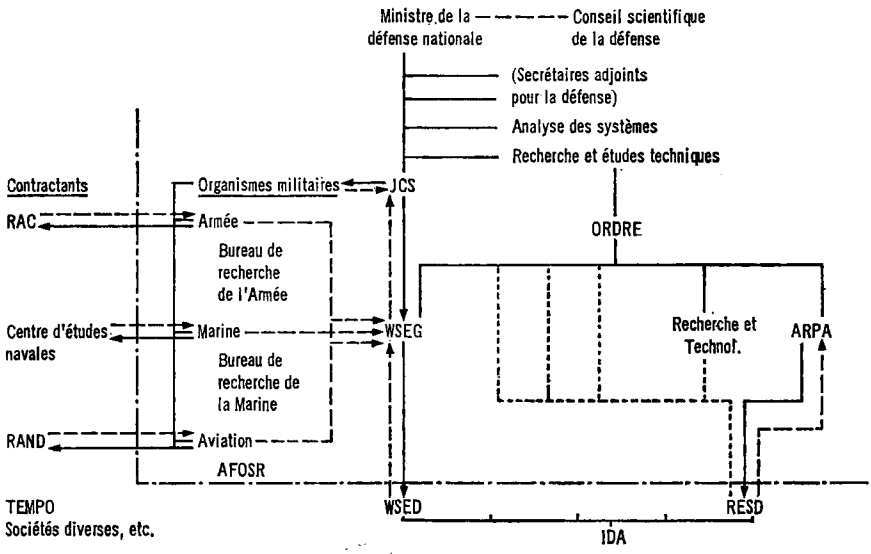
A.2.4. États-Unis

Avant 1961, la planification militaire, à échéance de 5 à 10 ans, était principalement orientée vers les services et les principaux systèmes d'armes, tandis que les études budgétaires reposaient sur des catégories fonctionnelles (mais ne s'attachaient pas suffisamment aux domaines essentiels). *Entre 1947 et 1953*, la prévision technologique, orientée vers les fonctions, était centralisée par le « Research and Development Board » du ministère de la Défense (précurseur de l'actuel « Office of the Director of Defense Research and Engineering »). Un groupe d'environ 20 personnes travaillant à temps partiel coordonnait des informations de base provenant d'environ 2.000 participants occasionnels (une moitié composée de militaires, l'autre de civils). Un document interne a été rédigé en 1947 ; aucun document définitif n'a été établi en 1948 ; puis des documents formels complets ont paru annuellement de 1949 à 1952. Cet effort de prévision technologique a cessé en 1953, au moment où de nombreux services de planification furent supprimés sous l'administration Eisenhower, par suite de compressions budgétaires.

Depuis le début de l'ère McNamara, en 1961, la prévision technologique sert de base au système Plan-Programme-Budget (PPBS) à forte base normative, qui associe tous les aspects des travaux du ministère de la Défense (DOD). Les principaux objectifs du PPBS sont : (*a*) des prévisions de programmes relatifs à des missions plutôt qu'à des armes ; (*b*) la confrontation des besoins et des programmes ; (*c*) l'attribution de moyens permettant d'effectuer des études de coût et d'efficacité sur les diverses structures militaires possibles ; (*d*) l'évaluation permanente des programmes ; (*e*) la coordination des budgets et de la planification à long terme[1]. Le principal résultat ainsi obtenu est un plan mobile de cinq ans.

1. Au sein du DOD (Ministère de la Défense nationale des États-Unis), le terme « services » (ou « armes ») recouvre l'armée, la marine et l'armée de l'air, tandis que le terme « forces » (structure « militaire ») caractérise les services groupés par missions ou tâches fonctionnelles (par exemple : « les forces stratégiques de représailles », « les fusées militaires », etc. ; voir également le graphe de décision illustré ci-après).

La prévision technologique intervient dans la première et dans la seconde phase — planification et établissement des programmes — grâce aux interactions qui se produisent dans l'organisation suivante :



Contrôle administratif
Directives pour l'exécution des tâches
Définition non formelle des tâches
Evolution de la prévision technologique
Frontières entre le Ministère de la défense et ses contractants extérieurs

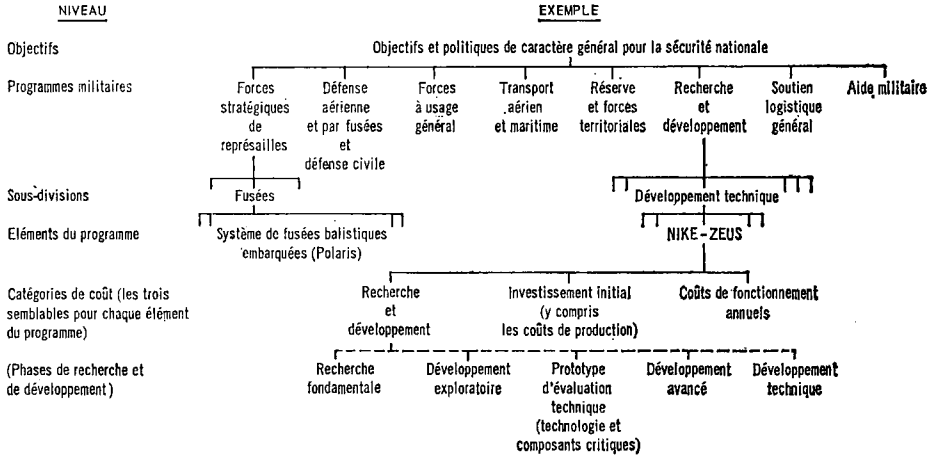
AFOSR = Air Force Office of Scientific Research (Bureau de recherche scientifique de l'armée de l'air)
ARPA = Advanced Research Planning Agency (Service de planification de la recherche avancée)
IDA = Institute for Defense Analysis (Institut d'analyse pour la défense)
JCS = Joint Chiefs of Staff (Chefs d'Etat-Major Inter-armes)
ODDRE = Office of the Director for Defence Research and Engineering (Bureau du Directeur des recherches et des études techniques de la défense)
RAC = Research Analysis Corporation (Société d'analyse pour la recherche)
RAND = RAND Corporation, Santa Monica, Californie
RESD = Research and Engineering Support Division of IDA (Service de soutien des recherches et des études techniques de l'IDA)
TEMPO = Tempo Center for Advanced Studies (Centre d'études avancées), General Electric Co., Santa Barbara, Californie.
WSED = Weapon Systems Evaluation Division of IDA (Division d'évaluation des systèmes d'armes de l'IDA)
WSEG = Weapon Systems Evaluation Group (Groupe d'évaluation des systèmes d'armes)

Le WSEG comprend environ 50 officiers des trois armes, ayant en général le grade de colonel. L'IDA, « Institute for Defense Analyses », situé près du Pentagone, est une organisation civile sans but lucratif, sous contrat exclusif du ministère de la Défense. La division de la recherche (RESD) représente l'élément du niveau scientifique le plus élevé dans l'ensemble du système ; il est composé de docteurs en science, dont un tiers est détaché de facultés universitaires.

La prévision technologique exploratoire et à long terme se caractérise par une décentralisation, tandis que la prévision à moyen terme, qui intervient dans la phase d'estimation des coûts et de l'efficacité, se caractérise par un effort coordonné et un contrôle centralisé. La prévision technologique à long terme trouve essentiellement son origine dans les trois armes (son organisation interne dans les trois armes sera exposée après la description du PPBS). Il n'existe qu'une coordination très formelle entre ces trois armes, et aucun effort centralisé de synthèse.

La plus grande partie des évaluations des systèmes d'armes, des études de coût et d'efficacité, et des analyses de systèmes à moyen terme, est effectuée pour les chefs d'État-Major inter-armes par le WSEG/WSED, en coopération avec les organismes militaires (dans lesquels l'AFOSR, en particulier, joue un rôle essentiel). En général, l'ODDRE n'intervient pas dans la prévision technologique à long terme, sauf dans certains cas particuliers. De même, on ne demande qu'exceptionnellement à la RESD de participer aux travaux de prévision. Le « Systems Analysis Group », qui est chargé des méthodes d'évaluation, apporte un soutien technique aux autres groupes, et effectue la synthèse finale pour le ministre de la Défense, mais il ne participe qu'exceptionnellement (pour des tâches inter-armes) aux travaux d'évaluation proprement dits.

On peut représenter de la manière suivante le « *graphe de décision* » (ou « graphe de pertinence ») qui sert de base au *Système Plan-Programme-Budget :*



Le Programme de recherche et de développement couvre tous les problèmes qui ne sont pas directement associés à des éléments de programmes orientés vers les missions, et en particulier ceux qui intéressent les systèmes d'armes dont la fabrication et la mise en place n'ont pas encore été approuvées (tel que le missile anti-missile NIKE-ZEUS).

Le *processus de préparation des décisions* du système Plan-Programme-Budget, qui a comme point de départ les objectifs généraux nationaux définis par la Maison Blanche, est divisé en trois phases principales :

1. *Détermination des besoins et planification militaire.* Une fois par an, les Chefs d'État-major inter-armes établissent, en commun avec les planificateurs des organismes militaires, un « Joint Strategie Objectives Plan » (JSOP), pour faire concorder les besoins militaires et les principales missions. Les conclusions formelles portent sur une durée de cinq ans et tiennent compte des points de vue à long terme et des prévisions exploratoires. Le Cabinet du ministre de la Défense (OSD) effectue alors une évaluation détaillée des moyens nécessaires pour répondre aux besoins exprimés par le JSOP, et par d'autres services du ministère de la défense. Les analyses de systèmes et les études de coût et d'efficacité sont principalement effectuées par les Chefs d'État-major inter-armes, par le WSEG/WSED (ce qui permet aux trois armes d'exposer leur point de vue, étant donné que toute étude d'évaluation d'un système d'arme est confiée à un groupe comprenant des représentants des trois armes au sein du WSEG), par d'autres organismes participant sur une base contractuelle et, dans des cas particuliers, également par le « Systems Analyses Group », qui travaille dans un cadre inter-armes. Ces études ont pour but d'aider la préparation des décisions (et non de se substituer à la prise des décisions). Le JSOP descend jusqu'au niveau des « sous-divisions » dans le graphe de décision ; il comporte des propositions formelles de changement pour la période des cinq ans à venir. Ces propositions se concrétisent dans les modifications des programmes. Le ministre de la Défense prend ses décisions sur la base du JSOP, après un examen approfondi.

2. *Formulation et révision des programmes.* Au cours de cette phase, les objectifs (*a*) à (*e*) du système PPBS sont appliqués à une durée de cinq ans en ce qui concerne le développement (huit ans pour une utilisation opérationnelle). En particulier, on effectue une évaluation des coûts des éléments de programme, afin de fournir des renseignements de base aux études de coût et d'efficacité. A partir des trois catégories de coût de chaque élément de programme (voir le graphe de décision), il est généralement possible d'associer des coûts d'exploitation annuels aux facteurs de coût actuels, et on peut estimer les coûts d'investissements initiaux d'après l'expérience passée, les « courbes d'apprentissage », etc. Pour la catégorie « recherche et développement », l'évaluation des coûts est essentiellement faite sur une base simple, telle que le « niveau d'effort » (pourcentage approximatif des travaux jugés raisonnables, etc.) dans les trois premières phases de recherche et de développement (recherche fondamentale, développement exploratoire, et prototype d'évaluation technique) ; en ce qui concerne les phases de développement avancé et les études techniques, on détermine le coût des projets en faisant appel, le cas échéant, à des techniques et à des méthodes simples. On détermine les coûts pour chaque année budgétaire, sur cinq ans à partir de l'année en cours, tandis que les armes (exploitation) sont projetées à échéance de huit ans. La structure détaillée des coûts associée à des « coûts périphériques », est portée sur une fiche (« Program Element Summary Data ») dont toutes les informations sont programmées sur calculateur. L'ensemble de ces fiches constitue le « Five-Year Force Structure and Financial Programme » (Programme financier et Structure des Forces armées pour cinq ans), qui est soumis à l'approbation du ministre de la Défense.

   Depuis 1965, la détermination des coûts a été facilitée par un « Cost and Economic Information System » (CEIS), dont l'objectif est d'améliorer la collecte et l'analyse des informations. A partir de 1966, on espère pouvoir disposer de « modèles de coût » sur calculateur ; ces modèles seront capables de fournir rapidement des estimations et d'indiquer les ressources nécessaires, pour des éléments tels que les différentes structures possibles des forces armées, les variations des aspects logistiques, les programmes de fabrication ou de mise en place, etc.

   On maintient le PPBS assez souple afin de pouvoir y introduire des changements chaque fois que cela est nécessaire. Le « Program Change Control System » assure qu'il n'existe qu'un canal principal pour la prise des décisions relatives aux changements. La plupart des modifications sont proposées au moment où un nouveau JSOP est établi en avril de chaque année.
3. *La préparation des prévisions budgétaires annuelles* revient simplement à prendre la partie annuelle suivante du « Five-Year Force Structure and Financial Programme », et à l'utiliser comme élément de base des demandes budgétaires.

Prévision technologique à long terme dans l'Armée de Terre

Depuis 1963, un groupe spécial à plein temps (« Technical and Objectives Branch of the Research and Development Directorate »), qui dépend du Service du matériel de l'Armée et comprend 10 à 12 techniciens, établit annuellement des « Army Long Range Technological Forecasts » (LRTF), prévisions technologiques à long terme de caractère secret. Ce groupe maintient une étroite coopération avec le « Army Research Office ». Son quatrième document de caractère formel a été établi en 1966. Le LRTF comprend trois volumes : « Scientific opportunities » (limites et possibilités fondamentales) ; « Technological Capabilities » (prévisions essentiellement exploratoires dans le domaine de missions largement définies) ; « Advanced Systems Concepts » (prévision essentiellement normative, qui part de la possibilité de réaliser les prévisions fonctionnelles décrites dans le second volume). La méthode fondamentale adoptée est une itération des prévisions technologiques exploratoires et normatives, sans toutefois corriger par une rétroaction les travaux de recherche et de développement réels. Le LRTF, qui est publié par le « Chief of Research and Development of the Department of the Army », constitue un des éléments essentiels du « Basic Army Strategic Estimate », lequel sert de base, à son tour, au « Five Year Plan RDT and E» (thèmes et évaluations de recherche et développement du programme à cinq ans) de l'Armée de terre. Le LRTF est également utilisé pour l'établissement de l'« Army Strategic Plan », qui récapitule les informations de base fournies par l'Armée de terre pour le JSOP (voir la description du PPBS ci-dessus), et pour l'« Army Force Development Plan », à échéance de vingt ans.

En dehors du LRTF, établi périodiquement, l'Armée de terre effectue également une série de « Forecasts-in-Depth » (FID), ou prévisions en profondeur. Il s'agit d'une tentative faite pour explorer à fond certains domaines. Elle comprend dans chaque cas une description de la situation actuelle, une prévision du milieu technique sur 10 à 20 ans, une analyse des

travaux de recherche nécessaires pour atteindre certains objectifs réalisables, et une bibliographie détaillée. La série des FID, publiée par le « Technical Forecasting and Objectives Branch, Research and Development Directorate Army Material Command », comporte des rapports non secrets, par exemple celui de H. T. Darracott « Forecasting in Depth— Information Processing Systems for the Field Army » (1965).

L'« Office of the Chief of Research and Development, Department of the Army » édite une autre série : « Scientific and Technical Application Forecasts », qui comprend des rapports de caractère secret (par exemple sur les applications des lasers) ou non, comme deux rapports de R. Isenson, l'un sur l'excavation (1964 : l'évaluation jusqu'à présent la plus approfondie effectuée dans un domaine déterminé), l'autre sur les applications non cliniques de l'électromiographie (1965, nº de référence DDC : AD - 607 077).

Prévisions technologiques à long terme de la Marine

Un groupe de prévisions technologiques à plein temps, faisant partie de « Advanced Concepts Branch of the Navy Material Command » prépare annuellement un « Navy Technological Forecast » de caractère secret. Le premier document paraîtra en 1967 (les travaux ont, en fait, commencé en 1965); il comportera trois volumes : « Scientific Opportunities », « Technological Capabilities » et « Advanced Systems Concepts (Probable Systems Options) ». Comme l'indiquent ces titres, la méthode fondamentale sera analogue à celle qu'a adoptée l'Armée de terre, mais elle complètera l'itération entre la prévision exploratoire et la prévision normative par une rétroaction permanente à partir des travaux de recherche et de développement. Une coopération étroite avec les divers laboratoires de la Marine sera assurée par la collecte, dans chacun d'eux, des informations technologiques relevant de tel ou tel domaine particulier. La prévision technologique de la Marine aura des objectifs analogues à ceux du LRTF de l'Armée de terre, décrits ci-dessus.

On envisage, pour étudier en profondeur certaines techniques particulières et dégager des stratégies de planification (ce dernier objectif donnant aux études une portée plus grande que celles de la série FID de l'Armée de terre), d'établir une série complémentaire dans le cadre de la même organisation (les « Technology Needs Identification Studies »). Ces études permettront de poursuivre, à échelle réduite, mais de manière permanente, l'effort intense déployé initialement par la Marine dans le cadre du projet SEABED (Advanced Sea-Based Deterrence Summer Study) lancé à Monterey, Californie, en 1964.

Le Chief of Naval Development publie une série de documents sur les objectifs techniques dans les développements exploratoires, qui fournissent une orientation générale à la prévision normative, dans des domaines sortant des missions propres aux forces armées.

Les laboratoires de la Marine publient également, de façon irrégulière, certaines prévisions technologiques particulières qui peuvent avoir ou non un caractère secret. Un exemple de rapport sans caractère secret est celui de W. S. Pellini, « Status and Projections of Developments in Hull Structural Materials for Deep Ocean Vehicles and Fixed Bottom Installations », consacré aux matériaux pour les coques de submersibles et les installations fixes du fond de la mer. C'est le rapport 6.167 du Naval Research Laboratory, Washington, D.C., daté du 4 novembre 1964.

Des prévisions technologiques sont également établies par l'industrie sous contrat avec l'« Office of Naval Research »; par exemple, par le rapport de Lockheed Aircraft intitulé « Research on Oceanic Forecasting » (1964).

Le Marine Corps, situé entre l'Armée de terre et la Marine, a jusqu'à présent adapté le LRTF de l'Armée de terre à ses propres objectifs. En outre, il a confié à la Syracuse University Research Corporation, une étude sur « Les États-Unis et le monde en 1985 » (*ref. lit. 281*). Dans l'avenir, l'Armée de terre et la Marine établiront (peut-être en commun) une version spéciale de leurs prévisions à long terme pour le Corps des « Marines ».

Prévisions technologique à long terme de l'Armée de l'Air

Les travaux d'avant-garde remontent à 1944 : c'est le fameux rapport de Von Kârmân (« Towards New Horizons »), adressé au « Scientific Advisory Board ». Ces travaux ont fait suite à un effort commun intense pour jeter les bases des développements ultérieurs de la propulsion aérienne. Un groupe permanent de prévision technologique a fonctionné entre 1958 et 1960, mais il a été supprimé. On envisage de mettre sur pied un nouveau groupe permanent, dans le cadre de l' « Air Force Material Command » en 1967.

Les principaux éléments de base des prévisions de l'Armée de l'air proviennent de deux séries de travaux, espacées de cinq ans :

1. La « Woods Hole Study », étude effectuée en 1957-58 sous la direction de Von Kârmân, par une centaine de personnes, détachées de groupes indépendants existant dans l'Armée de l'air et spécialisées dans les domaines suivants : avions et fusées,

propulsion, problèmes spatiaux, médecine, matériaux, et sciences du comportement ; l'étude tire son nom de Woods Hole, Massachusetts, où les réunions finales eurent lieu.

2. Le « Project Forecast » de 1963, étude d'envergure effectuée en 1962-63 par un groupe d'environ 100 personnes venant de l'industrie et de l'Armée de l'air (selon d'autres sources, 300 personnes) et travaillant à plein temps pendant des périodes comprises entre trois et six mois. Ces personnes étaient réunies en groupes spéciaux pour l'étude des possibilités (méthode exploratoire) et en groupes techniques (méthode normative), avec l'aide d'unités chargées de donner des définitions de la menace, d'évaluer les coûts et de procéder aux travaux d'analyse et de synthèse. Dans son contexte général, ce projet visait à associer les techniques actuelles et potentielles de différentes manières possibles, et à déterminer l'intérêt de certains développements en vue d'atteindre des objectifs technologiques réalisables dans un délai de 15 à 20 ans. Ce projet a utilisé des méthodes simples, mais à titre strictement accessoire, comme — par exemple — des extrapolations de séries temporelles et de courbes-enveloppes, des matrices verticales de décision, et des méthodes simples de classement numérique des missions et systèmes d'armes polyvalents. Le « brainstorming » a joué un rôle relativement important dans les phases préliminaires de travail.

Les prévisions technologiques de l'Armée de l'Air comportent à l'heure actuelle cinq éléments (tous de caractère secret) :

— Les missions et les tâches associées aux besoins techniques sont exposées dans un plan quinquennal établi chaque année par le Bureau de recherches aérospatiales, sous forme de perspectives à long terme et d'un plan d'action détaillé pour les cinq ans à venir ; ce document récapitule les principaux éléments de base fournis par l'Armée de l'air au JSOP (voir la description du PPBS, ci-dessus).

— Les objectifs technologiques militaires sont exposés dans un plan de guerre technologique de l'Armée de l'air, établi par l'Air Force Systems Command, où sont étudiés les milieux, les menaces, les systèmes, les techniques et les ressources.

— Le « Project Forecast », décrit ci-dessus, définit les options générales et techniques des systèmes pour les 15 ou 20 prochaines années.

— Les déficiences technologiques sont exposées dans les « Technical Objectives Documents », de publication irrégulière, établis par la Research and Technology Division, Air Force Systems Command, où sont analysés en détail 36 domaines techniques différents.

— Le « plan de guerre technologique à long terme », établi par la Research and Technology Division, Air Force Systems Command détermine les affectations de moyens à la recherche et au développement pour 10 ans, conformément aux recommandations exprimées dans le « Project Forecast », en partant de l'hypothèse qu'il est possible d'atteindre les objectifs technologiques identifiés par ce projet.

Une étude complémentaire, de caractère secret, « Technology for Tomorrow », était établie périodiquement (la cinquième et dernière édition 1962-63, a paru en décembre 1962) par Aeronautical Systems Division, Air Force Systems Command. Il est possible que la Research and Technology Division of the Air Force Command reprenne cette étude, dont l'objet était de présenter des motifs conceptuels, exposant la méthode d'étude d'un plan optimal, et définissant les grandes lignes d'une utilisation sélective des ressources et des possibilités en vue de fournir un soutien dynamique aux missions technologiques à long terme. Elle reflétait les idées officieuses des milieux scientifiques et techniques de l'Armée de l'air, et semblait indiquer « qu'un plan détaillé cohérent existait de manière collective dans l'esprit des ingénieurs, des scientifiques et des administrateurs ».

En dehors de ces documents, des études de prévision technologique sont également effectuées sous contrat par des organisations, telles que la RAND Corporation, et par l'industrie. Comme exemples de participation de l'industrie, nous citerons l'étude de caractère secret effectuée pour Lockheed Aircraft par H. A. Linstone, « Mirage 75 : Military Requirements Analysis Generation 1970-75 » ; l'étude de RCA, « Applied Defense Electronic Products : Future Astro-Communication Techniques » ; et l'étude faite par le Centre TEMPO de la General Electric sur les « Projected International Patterns ».

En 1966, l'Armée de l'air a commencé une étude expérimentale du climat politique dans 50 ans, en utilisant la méthode « Delphi » (voir section II.2.3.).

Prévisions inter-armes

Des contacts amicaux et dépourvus de formalisme existent entre les responsables des prévisions technologiques permanentes dans les trois armes. Ces contacts expliquent la

cohérence des systèmes de prévision de l'Armée de terre et de la Marine, tandis que l'Armée de l'air envisage de remettre sur pied un groupe permanent qui adoptera les mêmes méthodes. Dans chaque cas, la structure fondamentale sera la suivante : ouvertures scientifiques, possibilités techniques et concepts des systèmes. Ainsi se trouveront remplies les conditions préliminaires d'une coordination formelle.

A.2.5. Organisation du traité de l'Atlantique Nord (OTAN)

L'OTAN n'effectue aucune prévision technologique approfondie. Toutefois, le Comité Von Kármán a établi en 1961 une série d'Études scientifiques à long terme, traitant de 15 à 20 sujets scientifiques et militaires particuliers. La première phase complète s'est achevée en 1963 ; il a été décidé ensuite de remettre la série à jour à des intervalles de cinq à six ans, en traitant chaque année un certain nombre de questions, en général dans une perspective de 20 ans.

Un Etat-major restreint, placé sous la responsabilité du Secrétaire général adjoint aux Affaires scientifiques coordonne cette activité, qui suit deux procédures différentes : (*a*) un pays membre établit, sur un sujet particulier, un document de travail qui est soumis à une discussion complète de deux semaines par un groupe d'experts composé d'environ 50 personnes ; le texte initial est remanié considérablement en vue de recueillir l'agrément général, (habituellement, une fraction de 25 à 30 % seulement du document initial subsiste) ; (*b*) des groupes mixtes d'experts, composés de représentants de différents pays, établissent un rapport sur un sujet. Tous ces groupes font appel au « brainstorming » et à des méthodes simples telles que l'extrapolation des tendances, etc.

L'*Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD)* (Groupe consultatif pour la recherche et le développement aérospatial) a publié, depuis sa formation en 1952, une série irrégulière de comptes rendus de réunions de groupes d'experts, contenant des prévisions technologiques effectuées dans des domaines particuliers à échéance d'environ 10 ans. Ces domaines sont définis par le « Steering Group » de l'AGARD (dont le Président est le Secrétaire général adjoint aux Affaires scientifiques de l'OTAN, ce qui assure la coordination avec les Etudes scientifiques à long terme). Les groupes d'experts, formés d'industriels et de militaires, se réunissent environ trois fois par an ; certains groupes n'ont que trois ou quatre membres, tandis que des travaux plus importants et plus approfondis sont parfois entrepris dans certains grands domaines (turbines à gaz, avions à décollage et atterrissage verticaux, etc.), pour lesquels on organise occasionnellement de larges conférences. Le principal objectif de la série de prévisions de l'AGARD a été jusqu'à présent de conseiller le Groupe permanent de l'OTAN à Washington (groupe qui a été supprimé au cours de l'été 1966).

Toutes les prévisions technologiques faites par l'OTAN et l'AGARD sont secrètes.

A.3. ÉCHELON NATIONAL

Pour ce qui concerne la prévision technologique militaire, voir l'Annexe A.2.

A.3.1. Autriche

En janvier 1966, lors de la campagne électorale (*réf. bibl. 376*), le Parti du peuple (Österreichische Volkspartei) a effectué une prévision normative générale sur 20 ans, connue en Autriche sous le nom de « Aktion 20 ». Le Parti du peuple ayant formé le gouvernement, cette prévision a été élevée au rang de programme national. Elle porte sur six domaines : la société dans un processus d'évolution, l'enseignement et la politique scientifique, la santé publique, le droit, la situation internationale et l'économie nationale.

A.3.2. Canada

La prévision technologique joue un certain rôle dans les activités de l'AECL (Atomic Energy of Canada, Ltd.) et du Paper and Pulp Research Institute of Canada.

On envisage de créer un groupe de prévision technologique gouvernemental, peut-être par une collaboration entre le ministère de l'Industrie et le Conseil économique.

A.3.3. RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE D'ALLEMAGNE

Les Chemins de fer fédéraux allemends (DBB - Deutsche Bundesbahn) ont publié en 1964 des réflexions préliminaires sur les possibilités technologiques à long terme (*réf. bibl. 298*), et une prévision du trafic, à échéance de 20 ans, était, en 1966, en cours d'établissement au ministère fédéral des Transports; entre 1961 et 1965, une Commission a effectué une étude économique du trafic ferroviaire ultra-rapide de l'avenir. L'Institut IFO de Münich a établi, pour le ministère fédéral des Transports, une prévision du trafic des marchandises pour tous les secteurs des transports.

Les deux partis politiques les plus importants ont utilisé, au cours de leur campagne électorale de 1965, des prévisions nationales générales : le Parti Socialiste (SPD) a publié une brochure : « Deutschland 1975 », comportant des chapitres sur l'enseignement, les transports, l'automation (y compris l'administration hospitalière) et l'énergie nucléaire; l'Union Démocratique Chrétienne (CDU) a répondu par une contre-brochure.

A.3.4. FRANCE

La France a été le premier pays à avoir introduit la prévision technologique à long terme dans sa planification nationale formelle. Sous les auspices de la Délégation générale à la recherche scientifique et technique, un « Groupe 1985 » a pris part à la préparation du Cinquième Plan, couvrant la période 1966-1970. Quelque 35 prévisions technologiques, essentiellement formulées en termes généraux, et ne comportant que des estimations quantitatives limitées, ont été confiées à des instituts de recherche ou à des spécialistes de divers domaines. (Un résumé de ces résultats a été publié sous le titre « Réflexions pour 1985 », voir la *réf. bibl. 278*). Les prévisions individuelles ont passé par trois phases : (*a*) elles ont été revues par le « Groupe 1985 » ; (*b*) au cours de réunions, des scientifiques jeunes et dynamiques et des personnalités chargées de la politique scientifique — les « Jeunes turcs » — les ont discutées en essayant de formuler un « Plan idéal »; (*c*) les Groupes de travail officiels de la Commission de la recherche scientifique, attachée au Commissariat général au Plan, ont revu ces prévisions, et en ont tenu compte pour leurs travaux de planification à cinq ans. Certains des sous-groupes du « Groupe 1985 » subsistent encore à l'heure actuelle dans le cadre de certains ministères, par exemple au ministère des Transports.

Pour le Sixième Plan, qui est en cours d'établissement pour la période 1971-1975, la prévision technologique a déjà commencé dans le cadre du BIPE (voir Annexe A.1.3.). Ce sera une prévision beaucoup plus complète et beaucoup plus systématique que l'expérience effectuée pour le Cinquième Plan.

Depuis 1961, le concept des « *actions concertées* » a été mis en pratique par la Délégation générale à la recherche scientifique et technique. Une seule de ces « actions » — l'espace — a été transformée en « option », c'est-à-dire en programme opérationnel. (Les sens habituellement donnés aux termes « action » et « options » sont ici intervertis.)

Le «Groupe Saint-Geours», qui a pris le nom de son président, directeur de la planification financière et économique au ministère des Finances, se composait de quatre membres représentant l'Administration civile, l'Administration militaire, ainsi que les entreprises privées et les entreprises nationalisées. Il a fonctionné de 1965 à 1966,et a examiné les objectifs nationaux et les missions technologiques, en utilisant à la fois une méthode exploratoire et une méthode normative.

L'ONERA (Office national d'études et de recherches aéronautiques) effectue une prévision technologique qui, semble-t-il, stimule considérablement l'industrie aérospatiale française et permet le lancement de programmes de recherche et de développement.

A.3.5. ISRAEL

Le Conseil national pour la recherche et le développement, attaché au Cabinet du Premier Ministre, a patronné en 1965 un certain nombre de commissions qui ont défini des options générales pour la nation : océanographie, photochimie, applications du brome, et électronique. On envisage, au niveau national, la création d'un groupe de prévision technologique permanent, de grande envergure, au titre du programme d'industrialisation d'Israël. Ce groupe pourra participer aux travaux d'un Comité national de développement industriel (dont le nom n'est pas encore fixé).

Dans le domaine d'importance vitale des ressources en eau, un Bureau national d'études (également appelé « Comité Sporn », du nom de son président, l'Austro-américain Philip Sporn), se réunit une fois par an pour tenter d'évaluer les possibilités générales des nouvelles

techniques telles que la désalinisation de l'eau, au moyen d'énergie nucléaire, etc. L'Office de planification de l'eau, entreprise publique pour la protection et l'utilisation de l'eau, a établi un programme de développement pour 1965-1980, et stimule la recherche et le développement dans ce domaine.

Le ministère de l'Agriculture détermine l'ordre de priorité des recherches par le truchement de commissions qui effectuent certaines prévisions technologiques exploratoires.

Le laboratoire national de physique de l'Université Hébraïque de Jérusalem a commencé en 1954, et a poursuivi depuis lors, une étude technologique prévisionnelle sur la conversion de l'énergie solaire. Bien que, dans l'ensemble, ses applications ne se soient pas révélées économiquement intéressantes pour Israël, il poursuit les travaux de prévision et de développement pour le bénéfice des pays en voie de développement, dans lesquels les conditions sont plus favorables à l'utilisation de l'énergie solaire qu'en Israël où elles sont moins bonnes que pour les procédés classiques de conversion de l'énergie.

A.3.6. Italie

L'industrie italienne a pris l'initiative de prévisions technologiques dans plusieurs domaines qui peuvent servir d'éléments de base possibles pour le plan national en cours d'élaboration.

« Confindustria », association d'industries italiennes, publie des prévisions technologiques annuelles générales sur quatre ans; par exemple, en 1965, « Le Prospettive dell'Industria Italiana nel quadrennio 1965-68 » a été publié sur la base d'informations provenant d'entreprises industrielles.

A la fin de 1965, il existait des Centres nationaux d'étude et de développement, à capital privé, dans quatre secteurs industriels :

- Le Centro Studi Sviluppi Industria Chimica, à Milan (industrie chimique);
- L'Associazione Tecnica del Cimento (industrie du ciment);
- Le Centre Sviluppi Applicazioni Vetro (industrie du verre);
- Le Centro di Ricerche Macchine Utensile (industrie des machines-outils), en coopération avec le Consiglio Nazionale delle Ricerche (Conseil national italien de la Recherche).

On envisage de créer, pour l'industrie sidérugique, un Centre d'études financé par des capitaux publics et privés, et pour lequel l'industrie automobile manifeste un certain intérêt. Ces divers centres, bien qu'essentiellement créés en vue d'assurer une coopération nationale dans la planification des investissements, s'intéressent de plus en plus à la prévision technologique, afin de pouvoir déterminer les possibilités et les besoins à moyen et long terme. La Confindustria peut assumer un rôle de vulgarisation et de diffusion de leurs prévisions.

L'Office national de l'électricité, ENEL, fait une large place à la prévision technologique (voir *réf. bibl. 303*). Les prévisions de consommation sont fondées sur des évaluations détaillées de l'évolution technologique dans le secteur industriel et dans le domaine des applications domestiques (conséquences prévues de la mise en service de systèmes de conditionnement d'air; cuisine électronique de l'avenir; automation de l'industrie, etc.).

Le STET, Office national du téléphone, effectue également des prévisions.

A.3.7. Pays-Bas

Les PTT, à la Haye, constituent le service européen le plus actif dans le domaine de la prévision technologique. En 1949, ils ont établi pour 1970 une prévision technologique (non limitée au trafic postal) qui a apporté de nombreuses surprises. Il existe depuis 1959 un groupe officiel de prévision technologique, dirigé depuis 1963 par le Conseiller pour la planification à long terme auprès du Directeur en chef de la planification financière. Le Conseil d'administration des Laboratoires, qui se réunit quatre fois par an, effectue des prévisions spécialisées, mais le besoin de prévisions technologiques encore plus formelles se fait sentir. On estime que la prévision technologique, en dégageant clairement les objectifs à long terme, a fourni une impulsion normative au service des postes et entraîné une attribution de fonds plus importante à son développement.

Le Conseil de la politique scientifique, récemment institué par le gouvernement, envisage très sérieusement la possibilité de créer un groupe de prévision technologique au niveau national.

A.3.8. Suisse

Un groupe officieux d'étude créé par des industriels de premier plan, surtout dans la partie francophone du pays, a commencé en 1965 à étudier les objectifs nationaux généraux et les besoins d'une politique de recherche nationale.

Les services nationaux des postes et télécommunications, effectuent aussi des prévisions technologiques.

A.3.9. Royaume-Uni

La structure administrative actuelle offre d'excellentes possibilités à la création d'un groupe de prévision technologique, avec le ministère de la Technologie, le « National Economic Development Council » (NEDDY), les « Little Neddies », créés dans le cadre du ministère des Affaires économiques, le « National Research Development Corporation » (NRDC), et la « Industrial Reorganisation Corporation » (IRC), mais ce genre d'activité n'a pas encore été entrepris.

En 1963, le DSIR (Department of Scientific and Industrial Research) a entrepris une étude des obstacles qui pourront s'opposer à la croissance au cours des 20 prochaines années, sur la base d'une analyse d'input/output de 31 secteurs industriels. Ce département est parti d'une hypothèse simple, selon laquelle le niveau technique moyen correspondrait, en 1980, au niveau le plus élevé de 1963. L'étude a été arrêtée en 1965, le DSIR ayant alors été absorbé par le ministère de la Technologie.

A la suite d'une recommandation faite lors de la première Conférence ministérielle sur la science, organisée par l'OCDE en octobre 1963, la National Research Development Corporation a entrepris en 1964-65, pour le compte du DSIR, puis du ministère de la Technologie, une étude sur les conséquences, pour la croissance économique, des recherches sur les nouveaux matériaux (*réf. bibl. 344*). Envisagée sous forme d'une prévision technologique, cette étude est essentiellement devenue une enquête nationale sur les nouveaux matériaux en cours de développement.

Le Cabinet du Premier ministre s'est efforcé de définir des « critères uniformes pour l'évaluation des projets techniques civils », destinés à des fins budgétaires. Il s'intéresse également aux conséquences du choix des objectifs nationaux pour la recherche sous contrats gouvernementaux, et s'attache à remplir un rôle « éducatif » pour l'ensemble de l'administration dans ce domaine.

Le Central Electricity Generating Board (CEGB) a cinq commissions, dont une pour les problèmes à long terme, qui effectue certains travaux de prévision technologique.

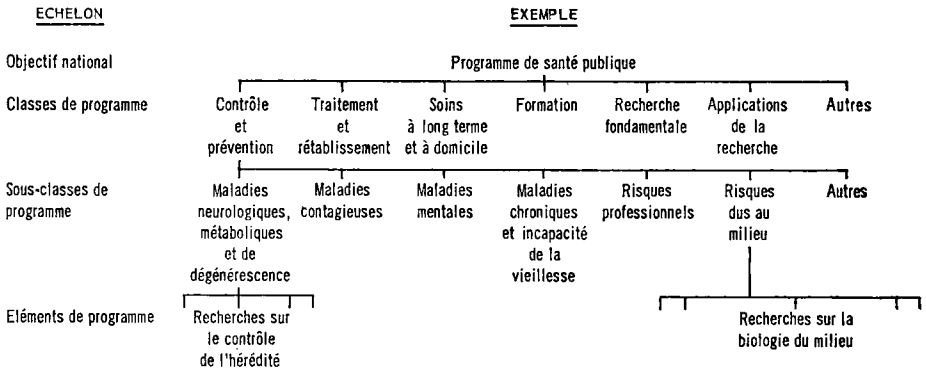
A.3.10. États-Unis

Une tentative faite dès 1937 par le National Resources Committee a conduit à l'établissement d'un document remarquable sur les tendances technologiques et politiques nationales, y compris les conséquences sociales des nouvelles inventions (*réf. bibl. 284*). Au cours des années suivantes, plusieurs prévisions particulières ont été effectuées par diverses commissions. C'est ainsi que le Comité Harding a prévu, en 1954, l'apparition du trafic aérien commercial supersonique.

En 1960, le Sénat a fait étudier les conséquences des techniques nouvelles pour la politique étrangère américaine. Le rapport établi à cette occasion (*réf. bibl. 395*), passe en revue des questions telles que l'énergie nucléaire et la substitution des produits synthétiques aux produits naturels (ainsi que leurs conséquences pour les pays en voie de développement).

En octobre 1965, le *système Plan-Programme-Budget* (PPBS), utilisé par le ministère de la Défense depuis 1961 (voir la description détaillée à l'Annexe A.2.4.), a été adopté dans l'administration civile. La première application du PPBS concerne tous les départements ministériels (dépendant directement du Président) et 22 organismes administratifs, tandis que 17 autres organismes ont été encouragés à l'adopter. Pas moins de 31 organismes administratifs avaient, au printemps 1967, adopté le PPBS. Le PPBS (voir Annexe A.2.4. et, en ce qui concerne son importance dans le secteur civil, le chapitre III.4.), est un système orienté vers les fonctions, qui permet la préparation de décisions et de plans quantitatifs sur cinq ans ; il met en jeu des évaluations à long et moyen terme, et utilise des études de coût et d'efficacité, l'analyse des systèmes, la recherche opérationnelle, des modèles opérationnels, et d'autres méthodes modernes. Son application dans l'administration civile assure l'intégration de la planification et de la prévision, orientées vers des objectifs communs à long terme à l'échelon national.

Le PPBS, tel qu'il a été mis au point dans le secteur civil, est analogue à sa version militaire, et il s'applique essentiellement dans le cadre d'un graphe de décision à quatre niveaux. (Le cas suivant est un exemple hypothétique) :

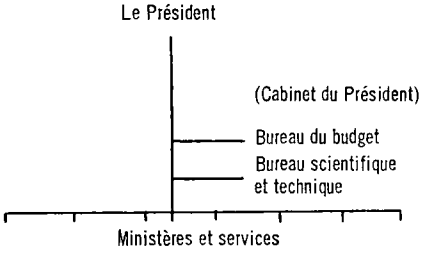


Avant l'introduction du PPBS, l'organisation de la planification et du budget des services de santé, essentiellement pragmatique, n'était pas orientée vers les fonctions ; elle comprenait des Instituts nationaux de la santé ; des Centres communautaires ; la construction hospitalière ; l'hygiène du milieu et la protection des consommateurs ; la santé de la mère et de l'enfant ; d'autres activités. Ce système ne permettait pas de mettre en évidence les choix fondamentaux des recherches et de leurs applications.

La recherche et le développement relevant de fonctions spécifiées (programmes) sont planifiés et inscrits dans le budget sous les rubriques correspondant à ces fonctions, tandis que « la recherche non-fonctionnelle », celle pour laquelle on ne voit pas encore d'utilisations particulières (par exemple, dans le domaine de la santé, la recherche sur les drogues psychédéliques, etc.) est groupée sous le titre distinct de « Recherche et développement ». La procédure quinquennale de planification et d'établissement du budget est analogue à celle décrite pour le PPBS dans l'Annexe A.2.4. L'évaluation est généralement considérée comme une activité interne, effectuée par des groupes d'analyse des systèmes ou d'autres groupes à plein temps. Le ministre de la Santé, par exemple, a créé un poste de Secrétaire-adjoint pour l'analyse des systèmes, de rang analogue au poste correspondant du ministère de la Défense.

Le Bureau du Budget du Cabinet du Président donne des directives aux autres services ministériels et aux autres organismes administratifs.

La structure de la planification et de la prévision de la recherche et du développement sera analogue, dans l'administration, à celle de l'entreprise décentralisée :



Les ministères et les services développeront leurs « affaires » comme le font les divisions décentralisées d'une entreprise, et ils effectueront leurs propres travaux de prévision et de planification. Il n'y aura aucun plan général. Toutefois, le Bureau scientifique et technique

jouera le rôle du « Directeur scientifique » dans une grande entreprise, avec les responsabilités correspondantes en ce qui concerne les conséquences à long terme (mais jusqu'ici la prévision technologique n'a pas été envisagée parmi ces fonctions). De son côté, le Bureau du Budget joue le rôle de « Conseiller général de Gestion » du Président et « instruit » les ministères et les services. C'est le Président et le Congrès qui décident de l'attribution des fonds et qui indiquent également à chaque ministère les objectifs nationaux généraux.

La National Aeronautics and Space Administration (NASA) utilise un système très efficace de prévisions technologiques à long terme, portant généralement sur vingt ans, mais qui, dans ses grandes lignes, s'étend actuellement jusqu'en 1990 et 2000. Ce système repose sur des informations de base décentralisées provenant essentiellement des laboratoires de la NASA, informations dont la synthèse et l'intégration se font en deux endroits : le quartier général de la NASA à Washington, et la Division d'Analyse des Missions du Centre de Recherche Ames. L'objectif général est de pouvoir porter un jugement, au lieu de se contenter de l'intuition. Pour le classement de ses projets, la NASA a mis au point une méthode qui lui est propre, fondée sur les théories des options et des décisions; elle utilise également, pour des tâches particulières, le graphe de pertinence PATTERN. Bien que les sous-traitants de la NASA n'aient pas une grande influence sur ces prévisions, on leur demande leur opinion sur les possibilités à long terme : c'est le cas actuellement pour la mise au point du programme qui fera suite au Programme Apollo. Les commissions scientifiques de la NASA constituent une autre source d'information. La NASA est explicitement obligée, par ses statuts, de favoriser les « retombées », de sorte que la prévision technologique porte également sur les études d'applications (par exemple la conversion de l'énergie solaire). Une Conférence sur l'espace, la science et la vie urbaine, patronnée par la NASA à Oakland en 1963, a étudié la « Ville de l'ère spatiale », et l'application des techniques spatiales et des autres techniques nouvelles à la vie urbaine.

L'Atomic Energy Commission (AEC) utilise, pour son groupe de prévision technologique, beaucoup d'informations provenant des entreprises industrielles. Le rapport au Président sur l'énergie nucléaire civile (*réf. bibl. 347*), rédigé en 1962, comprenait des projections jusqu'en 2000 et au-delà. Il a eu des conséquences profondes dans le monde, et a marqué un tournant important, en dégageant les possibilités économiques imminentes de l'énergie nucléaire. L'utilisation à grande échelle de l'énergie nucléaire, qui a dépassé la prévision faite par l'AEC, a été fortement stimulée par ce rapport.

C'est en partie à la suite de cet encouragement unilatéral à effectuer des investissements dans la recherche nucléaire que les services dépendant du Cabinet du Président : le Bureau du Budget, le Bureau scientifique et technique, ainsi que le Bureau des conseillers économiques, ont entrepris de 1964 à 1966 un examen des politiques et des programmes fédéraux relatifs aux ressources énergétiques, en faisant appel à des études technologiques prévisionnelles dans tout le domaine de l'énergie. Cette étude a été publiée à la fin de 1966 sous le titre « Energy, Research and Development, and National Progress ».

La Federal Power Commission a établi des projections de la demande d'énergie jusque vers 1980, ne faisant appel qu'à des prévisions technologiques limitées.

Le Federal Task Force on Supersonic Transport (Groupe d'intervention fédéral sur les transports supersoniques) a été créé afin de déterminer les aspects techniques et économiques du développement de l'avion supersonique financé par le gouvernement (*réf. bibl. 183*).

Le Bureau of Labor Statistics a achevé en 1966 une prévision sur les tendances technologiques de 36 industries américaines principales d'ici à 1970, à partir de coefficients techniques déduits d'une comparaison des tableaux d'input/output de l'économie américaine en 1958 et 1963. Il procède actuellement à une autre prévision pour 1975. Ces prévisions permettent d'analyser les besoins de main-d'œuvre, les mouvements entre secteurs industriels, les conséquences de l'automation, etc.

Le Department of Labor a terminé en 1966 trois études sur la technique et la main-d'œuvre au cours de la période 1965-1975 dans le secteur des services de santé, les études et le dessin industriel, l'industrie téléphonique.

Le Bureau scientifique et technique du Department of Commerce a créé un Bureau consultatif technique, formé de personnalités industrielles et de chercheurs, qui se réunit une fois par mois et étudie les obstacles opposés à l'innovation technologique, etc.

Des travaux particuliers, effectués par des Commissions présidentielles temporaires, contribuent aux études de prévision technologique et à la définition des buts et des objectifs. Les conclusions formulées par une Commission du Président sur les objectifs nationaux en 1960 (*réf. bibl. 384*) comprenaient des déclarations générales relatives à la technique et à son importance pour les objectifs sociaux. Une commission nationale sur la technique, l'automation et le progrès économique a publié les résultats de ses travaux en 1966 dans un rapport intitulé « Technology and American Economy » (*réf. bibl. 383*). C'est une tentative remarquable en vue de faire l'unanimité de groupes très différents, tels que des industriels

et des syndicalistes, sur le thème des conséquences futures de l'automation. La plus grande partie des études de prévision technologique qui ont été utilisées à ce sujet figure dans les rapports de base (volume II).

La National Academy of Sciences — le National Research Council, qui contribue également à la définition des objectifs sociaux et nationaux pour les sciences fondamentales (voir la *réf. bibl. 20*, mais un effort concernant la recherche appliquée est envisagé pour 1967) a entrepris une tâche extrêmement importante avec son « Committee on Science and Public Policy » (COSPUP). Les rapports du COSPUP (voir également l'exposé détaillé au chapitre I.4.) tentent d'analyser les contributions possibles de la recherche fondamentale aux objectifs sociaux et nationaux, en déterminant systématiquement la valeur externe et interne des activités scientifiques.

Parmi les associations professionnelles, l'Institute of Radio Engineers a rassemblé des prévisions faites à échéance de 50 ans par de nombreux ingénieurs et scientifiques éminents dans le domaine des communications. Les résultats, publiés dans l'ouvrage « Communications and Electronics - 2012 A.D. » (*réf. bibl. 316*) constituent un travail de réflexion intuitive, plein d'imagination, mais peu systématique.

L'Engineering Research Committee, qui dépend de l'Engineers' Joint Council, a commencé en 1962 un important travail de prévision et de définition des recherches techniques nécessaires dans douze domaines où les programmes existants étaient considérés comme insuffisants. Ce travail a surtout porté sur des tâches techniques dans le domaine de la technologie sociale. (Voir également le chapitre I.7.) Les résultats des longs travaux du Comité sont publiés dans un rapport intitulé « The Nation's Engineering Research Needs 1965-1985 » (*réf. bibl. 264*). On envisage de reprendre ces études prévisionnelles à intervalles de quelques années.

La National Security Industrial Association organise des réunions où sont examinées des études de prévision technologique. Cette Association groupe quelques centaines des plus importants fournisseurs du gouvernement dans les domaines de la défense nationale et de l'espace. Des réunions régulières, orientées vers l'avenir, ont été organisées en 1965 par le Comité de la recherche et du développement de la NSIA (par exemple, sur les applications de la micro-électronique) et une réunion est prévue pour l'automne 1967 sur les recherches après 1970, avec une séance sur la prévision technologique proprement dite.

Les activités de la Solar Energy Society peuvent également être citées dans le cadre des associations professionnelles. Cette Association vient de s'intéresser de plus près aux conséquences économiques et sociales avec la Conférence sur l'énergie solaire, tenue à Boston en mars 1966. Il est évident que ce domaine est très important, surtout pour les pays en voie de développement.

Les travaux de prévision de la National Planning Association et de Resources for the Future qui, jusqu'à un certain point, se placent également à l'échelon national, ont été décrits dans les Annexes A.1.9. et A.1.11., respectivement.

A.4. ORGANISATIONS INTERNATIONALES

L'Organisation du Traité de l'Atlantique Nord, OTAN, est mentionnée dans l'Annexe A.2.5.

A.4.1. Les trois communautés européennes. (CEE, Communauté économique européenne, Bruxelles; Euratom, Communauté européenne de l'énergie atomique, Bruxelles ; CECA, Communauté européenne du charbon et de l'acier, Luxembourg).

L'obligation d'effectuer des prévisions technologiques à long terme a sa source dans les statuts de l'Euratom (*article 40*) et de la CECA.

Dans le domaine de l'*énergie*, des prévisions technologiques de grande envergure ont été effectuées en commun par les trois communautés pour les pays de la CEE (anticipant ainsi leur fusion officielle, qui est devenue effective en 1966). Les tâches sont partagées de la manière suivante :

— l'Euratom procède à des prévisions sur l'énergie nucléaire et sur les développements généraux de la production d'électricité ; un premier rapport (*réf. bibl. 305*) a été

publié, accompagné d'une documentation (*réf. bibl. 304*) ; il s'étend jusqu'à l'an 2000, en insistant sur la période 1970-1980. Il donne également des lignes de conduite pour la recherche et le développement dans le domaine de l'énergie nucléaire.

— La CECA entreprend des prévisions à échéance de dix ans dans les secteurs utilisateurs de combustibles (ciment, briques, céramique, papier et pâte, textiles, sucre, chimie), qui consomment 50 à 60 % de la production totale de combustibles, en dehors de la production d'électricité et de la sidérurgie; l'évolution technologique de ces secteurs est étudiée en détail au cours d'une procédure en trois étapes : (*a*) le Battelle Memorial Institute, à Genève, étudie les aspects techniques et économiques généraux ; (*b*) cinq instituts économiques, dont chacun est situé dans l'un des pays de la CEE, à l'exception du Luxembourg, apportent des compléments d'information sur chacun de ces pays ; (*c*) la CECA coordonne les travaux, les complète par itération et en rédige la synthèse (*réf. bibl. 291*) pour un secteur, la série complète devant être publiée en 1966).

— La Communauté Économique Européenne regroupe les résultats obtenus par l'Euratom et la CECA.

Les trois communautés publient ensemble des prévisions approfondies à échéance de dix ans, dans le domaine de l'énergie, pour les pays de la CEE. Le dernier rapport publié concerne la période 1965-1970 (*réf. bibl. 292*), et un rapport relatif à la période 1970-1980 est en préparation. Dans l'avenir, des prévisions technologiques détaillées analogues à celles que nous avons décrites ci-dessus seront consacrées à la demande.

En dehors de ces divers travaux sur la consommation de combustibles, la CECA effectue des prévisions technologiques dans les domaines suivants :

1. Prévision approfondie de la demande d'acier et de la technologie de l'acier, entreprise à intervalles de cinq ans et comportant une proportion importante de prévisions technologiques (automation, etc.). Une étude s'étendant jusqu'en 1965 a été effectuée en 1961 (*réf. bibl. 293*), suivie d'une vérification des prévisions pour les trois premières années de la période (*réf. bibl. 294*) ; une étude, s'étendant jusqu'à 1970, était en cours en 1965-66.
2. L'acier dans la construction des logements : le Battelle Memorial Institute, à Genève, étudie les aspects technologiques (en distinguant 30 types de bâtiments) et la CECA en tire les conclusions. Étude en cours en 1965-66.
3. L'acier dans la construction industrielle et le génie civil. (Prévisions technologiques en partie seulement). Étude envisagée en 1966.
4. Prévision à échéance de 10 ans sur l'évolution technologique dans le domaine des machines et de l'équipement, l'objectif final étant de mieux prévoir la demande d'acier et d'énergie. En phase expérimentale en 1965-1966.
5. Étude de la diffusion horizontale de la technique sidérurgique. Commencée en 1966.

Le « Comité de politique économique à moyen terme » (Comité Langer), aidé par le « Groupe d'étude des perspectives économiques à moyen terme » (Groupe Kervyn de Lettenhove) et par une Division de prévision à moyen terme, a mis sur pied un programme économique pour la région de la CEE. Ce programme ne prend pas encore explicitement en considération l'évolution technologique, mais représente une première tentative de formulation d'objectifs généraux. Un premier programme, concernant la période 1966-1970, a été publié en 1966.

A.4.2. ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE (OACI), à Montréal (Canada) (Institution spécialisée des Nations Unies).

L'OACI publie les prévisions technologiques les plus explicites et les plus imaginatives de toutes celles qu'établissent les organisations internationales. Ces prévisions sont effectuées par un secrétariat interne, techniquement qualifié, à partir d'informations rassemblées au près des organismes nationaux, des compagnies aériennes et, autant que possible, des industries aérospatiales. Des prévisions technologiques ont été effectuées sur les principaux sujets suivants :

1. Conséquences économiques de la mise en service des avions commerciaux à réaction (*réf. bibl. 311*). Prévision faite en 1957-58 — avant la mise en service généralisée des avions à réaction — avec des projections quantitatives jusqu'en 1961, et une perspective qualitative au-delà. Cette étude, qui a largement contribué à combattre les hésitations initiales (dues aux incertitudes économiques), est devenue une « prophétie qui s'accomplit d'elle-même ».

2. Conséquences sociales, techniques et économiques du trafic aérien commercial supersonique (*réf. bibl. 314*), étudiées dès 1959-60, le développement de l'avion supersonique étant alors dans une phase initiale de planification chez les constructeurs. En raison de considérations de propriété industrielle, les renseignements techniques reçus de l'industrie ne furent pas complets, et les bases économiques existant à cette époque aux États-Unis (mais encore absentes en France et au Royaume-Uni) ne furent pas révélées. En 1962, a été publié un addendum contenant des commentaires des pays membres de l'OACI.
3. Prévision quantitative du fret aérien s'étendant jusqu'en 1975, publiée en 1962 (*réf. bibl. 310*).
4. Prévisions périodiques du trafic aérien (passagers, marchandises et postal), en termes quantitatifs détaillés, portant sur une période de dix ans. Parmi les exemples récents, qui tiennent largement compte de l'évolution technologique, on peut citer les prévisions effectuées pour la région de l'Atlantique Nord, publiées en 1966 (*réf. bibl. 312*), et pour la région européenne (1966).
5. Prévision technologique relative à l'exploration et à l'utilisation de l'espace extra-terrestre. En cours d'étude (*réf. bibl. 313*).

A.4.3. Travaux occasionnels d'autres organisations

Commission économique pour l'Europe (CEE), à Genève (organisme des Nations Unies). Prévisions économiques comportant peu de prévisions technologiques; le Groupe des conseillers économiques (dont la cinquième réunion, en 1967, traitera de l'accélération du progrès technique, les études de base ayant été préparées par la CEE en 1966) joue le rôle de bureau d'échange pour les méthodologies nationales.

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) à Rome ; favorise les transferts technologiques horizontaux, c'est-à-dire la diffusion des techniques existantes, la planification de leur mise en service progressive, et les applications particulières.

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), à Paris. Prévisions régionales et mondiales sur l'énergie, portant sur quinze ans, établies à intervalles de cinq ans (« Rapport Hartley », 1957, avec des prévisions jusqu'en 1970. « Rapport Robinson », 1960 avec des prévisions jusqu'en 1975. « Objectifs et problèmes de la politique de l'énergie », 1966 (*réf. bibl. 328*), avec des prévisions jusqu'en 1980, et jusqu'en 1985 pour l'énergie nucléaire). Conséquences économiques et sociales de l'automation (Conférence tenue à Zurich, du 1er au 4 février 1966). Projet d'études-pilotes pour la détermination des besoins techniques des économies en voie de développement. Deux prévisions-pilotes dans les domaines de l'énergie et des matériaux (*réf. bibl. 317 et 318*). Le Centre de développement (qui s'occupe des pays situés en dehors de la région de l'OCDE) ne travaille pas encore dans le domaine de la prévision technologique.

Union internationale des télécommunications (UIT), à Genève ; le plan général établi par l'UIT jusqu'en 2000 comprend des prévisions technologiques en termes globaux; cinq groupes d'études (comités) aident les pays en voie de développement à créer et à développer leurs services de communications. Parmi eux, le groupe GAS 5 donne des conseils sur les méthodes économiques optimales de développement des télécommunications dans les pays en voie de développement.

Nations Unies, New York. Le Comité consultatif des Nations Unies pour l'application de la science et de la technique au développement a essentiellement donné, jusqu'ici, une définition des besoins techniques, en concentrant son attention sur les protéines, le contrôle démographique, l'eau, la désalinisation et la culture des plantes résistantes au sel (*réf. bibl. 392 et 393*). Le Centre de développement industriel s'intéresse essentiellement aux transferts technologiques horizontaux ; il organise des conférences dans divers domaines : utilisation pacifique de l'énergie atomique (1955, 1958 et 1964 à Genève) ; applications de la science et de la technique au bénéfice des régions les moins développées (février 1963, Genève, *réf. bibl. 394*), nouvelles sources d'énergie et développement de l'énergie (août 1961, Rome, *réf. bibl. 345*); désalinisation de l'eau dans les pays en voie de développement (1964, *réf. bibl. 346*).

Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture (UNESCO) à Paris : Rapport sur les tendances actuelles de la recherche scientifique (1961, *réf. bibl. 251*).

A.5. ACTIVITÉS D'AVANT-GARDE DANS LE DOMAINE DES « INSTITUTIONS-VIGIES »

Les travaux permanents, temporaires ou exceptionnels, sont groupés en une seule liste alphabétique

Les instituts de recherche suivants, cités dans l'Annexe A.1., participent également de manière active à la promotion d'« institutions-vigies » et à la réalisation de travaux préliminaires dans le domaine de la technologie sociale :

— Hudson Institute, Croton-on-Hudson, N.Y. (États-Unis) ;
— RAND Corporation, Santa Monica, Californie (États-Unis) ;
— SÉDÉIS - Futuribles, Paris (France) ;
— System Development Corporation, Santa Monica, Californie (États-Unis) ;
— TEMPO Center for Advanced Studies, General Electric Co., Santa Barbara, Californie (États-Unis) ;

A.5.1. AMERICAN ACADEMY OF ARTS AND SCIENCES, Brookline (Boston), Massachusetts (États-Unis)

La « Commission on the Year 2000 » s'est réunie, sous la présidence de Daniel Bell, au cours de l'année universitaire 1965-66. Elle était composée d'environ 30 personnes et s'est réunie trois fois ; un groupe de travail de 10 membres a préparé les réunions et résumé les discussions. Le Hudson Institute a participé à une étude approfondie sur les mondes futurs. Cinq documents ont décrit la méthodologie et le type des informations et des connaissances nécessaires ; l'article sur la prévision technologique a été établi par Donald Schon. Cinq problèmes généraux de l'année 2000 ont fourni le cadre des discussions et ont été étudiés en détail par des groupes de travail spécialisés dans les domaines suivants : la structure politique; les valeurs : l'individu, l'égalité, les droits; les institutions intellectuelles de la société post-industrielle ; le cycle de vie et ses variations ; le système international. Les articles et les procès-verbaux des discussions (*réf. bibl. 352*) ont eu une diffusion restreinte, et on peut s'attendre à ce que la synthèse en soit publiée sous la forme d'un ouvrage.

L'Académie dispose également d'un Comité 1975 (présidé par Carl Kaysen et Jérome Wiesner), qui publie « Daedalus », et a effectué la première tentative d'application de l'analogie historique à une nouvelle technique sous le titre : « The Railroad and the Space Program » (*réf. bibl.* 373).

A.5.2. AMERICAN INSTITUTE OF PLANNERS, Washington, D.C. (États-Unis)

Deux conférences ont été organisées sous le titre général : « The next Fifty Years 1967-2017 ». La première, consacrée au « milieu optimal, dont l'homme est la mesure » s'est tenue du 14 au 18 août 1966 à Portland, Oregon; la deuxième, sur « le milieu futur d'une démocratie » est prévue du 1er au 6 octobre 1967 à Washington, D.C. La principale question posée est la suivante : si nous disposions des moyens techniques et économiques dont la réalisation paraît imminente, quel genre de milieu construirions-nous ? La première conférence s'est concentrée sur la vie urbaine et sur le milieu biologique.

A.5.3. CENTER FOR CULTURE AND TECHNOLOGY, University of Toronto, Toronto, Ontario (Canada)

Le Centre est formé de volontaires, professeurs d'université et étudiants diplômés, sous la direction de Marshall McLuhan. Les principaux travaux de recherche, en 1966, ont porté sur « le profil sensoriel de l'ensemble de la population de l'Ontario » et sur ses variations au cours des trente dernières années, par suite de l'apparition de nouvelles techniques (voir également la section II.2.5.).

A.5.4. THE CENTER FOR THE STUDY OF DEMOCRATIC INSTITUTIONS, Santa Barbara, Californie (États-Unis)

Une Conférence sur la Société technologique a été organisée à Santa Barbara du 19 au 23 décembre 1965.

A.5.5. CENTRE INTERNATIONAL D'ÉTUDES DE PROSPECTIVE, Paris (France)

Créé en 1957 par Gaston Berger, le Centre comprend actuellement 45 personnalités de la vie nationale, sous la direction de Pierre Massé. A la suite des deux dernières études générales entreprises dans le domaine de la science et de la technique et publiées dans les numéros 5 et 12 de la série « Prospective » (*réf. bibl. 78, 79*), un programme de recherche vient d'être proposé au Centre : des groupes internationaux seront créés afin de déterminer, par la méthode « Delphi » ou une technique analogue, les points communs et les différences des besoins et des objectifs sociaux futurs dans les différentes régions du monde.

A.5.6. CIBA FOUNDATION, Londres (Royaume-Uni)

La Fondation a organisé un Congrès sur l'homme et son avenir (*réf. bibl. 350*), et prend une part active à l'entreprise « Mankind 2000 » (l'Humanité de l'an 2000) (voir Annexe A.6.9., ci-dessous).

A.5.7. HARVARD UNIVERSITY PROGRAM ON TECHNOLOGY AND SOCIETY, Cambridge, Massachusetts (États-Unis)

Ce programme de dix ans, financé par un don de 5 millions de dollars de l'IBM Company et dirigé par Emmanuel G. Mesthene et Jürgen Schmandt, a commencé en juin 1964. Au cours de la première année, des propositions ont été reçues, et quinze études d'ampleur limitée ont été financées. Des « Think Seminars » hebdomadaires (réunions de réflexions) ont commencé en 1966, et des Groupes de recherche se sont constitués à partir de ces réunions. Les deux premiers « Groupes de recherche », composés de professeurs de Harvard ou d'autres universités (à temps partiel) et d'étudiants diplômés, devaient commencer à travailler dès l'automne 1966 sur les sujets suivants : « l'enseignement et la technologie de l'information » (problèmes du niveau de l'école secondaire) et « les sciences biomédicales et la société » (organes artificiels, manipulation de l'information génétique, etc.). On envisage la création d'autres groupes de recherche sur la vie urbaine et sur les « nouveaux emplois socialement souhaitables » (dans le cas où l'automation supprimerait les anciens emplois). La méthode de travail consiste d'abord à formuler une synthèse hypothétique à partir des « réunions de réflexion », puis à faire effectuer des recherches par des groupes spécialisés et enfin à préparer la synthèse finale.

A.5.8. INSTITUT FÜR ZUKUNFTSFRAGEN, Vienne (Autriche)

Créé en février 1965, et dirigé par Robert Jungk et Ernst F. Winter, l'Institut prépare actuellement la création d'un « Centre de documentation sur l'avenir » et la publication d'une bibliographie trimestrielle. Il envisage de lancer des programmes de recherche sur le monde futur.

A.5.9. MANKIND 2000, Boekelo (Pays-Bas), Londres (Royaume-Uni)

La Fondation internationale « Stichting Mankind 2000 International » fut créée aux Pays-Bas, sur une idée de Robert Jungk et présidée par Fred Polak. Cette Fondation est particulièrement active au Royaume-Uni, où elle est administrée par James Wellesley-Wesley et où elle bénéficie du soutien moral de la Fondation CIBA. Mankind est appelé à constituer un Institut de recherche international pour la coordination et l'intégration des prévisions technologiques à long terme entreprises dans différents pays.

A.5.10. PARLEMENT SUÉDOIS, Stockholm (Suède)

En 1964, la Banque nationale de Suède a offert au Parlement 500 millions de couronnes suédoises (environ 100 millions de dollars) en vue de la création d'une « étude-vigie » permanente portant sur « l'être humain dans une société en évolution ». Des études seront confiées à l'extérieur et financées par les intérêts de la Fondation (25 à 30 millions de couronnes suédoises par an). La phase initiale (1 million de couronnes en 1965, et peut-être 2 à 3 millions de couronnes en 1966) n'a, jusqu'à présent, comporté aucune étude technique, mais des analyses seront bientôt prises en considération. La Fondation est administrée par un comité mixte formé de membres du Parlement, du Conseil national de la recherche et de l'Académie royale suédoise des sciences de l'ingénieur.

A.5.11. ÉTAT DE CALIFORNIE (États-Unis)

En 1964, l'État de Californie a fait entreprendre, par l'industrie aérospatiale, dans le cadre général d'un travail exploratoire de technologie sociale, quatre études concernant les transports (North American Aviation), le traitement de l'information (Lockheed) ; la prévention des délits (Space General) ; l'évacuation des déchets (Aerojet). L'objectif fondamental était de définir, pour l'industrie aérospatiale californienne (qui représente un facteur économique et social important pour l'État) des domaines d'activités futures pour le cas où les recherches aérospatiales se ralentiraient.

A.5.12. WORLD FUTURE SOCIETY, Washington, D.C. (États-Unis)

Créée en 1966 sous la direction de Edward S. Cornish, la « World Future Society » publie « The Futurist » (*réf. bibl. 395 b*) et patronne des conférences qui traitent de tous les sujets ayant un rapport avec la planification de l'avenir.

A.5.13. WORLD RESOURCES INVENTORY, Southern Illinois University, Carbondale, Illinois (États-Unis)

Ce Centre, patronné par la Southern Illinois University, et dirigé par R. Buckminster et John McHale, se consacre à la poursuite du programme permanent de recherche « The World Design Science Decade 1965-1975 » proposé par R.B. Fuller à l'Union Internationale des Architectes, en 1961. L'objet principal de ce Programme est de rechercher comment « réorganiser les grandes réserves matérielles mondiales et les ressources du milieu de façon à ce que l'ensemble des ressources mondiales, au lieu de ne servir que 44 % de l'humanité, servent les 100 %, grâce à une conception scientifique et une programmation vraiment compétentes ». Au cours des cinq premières années du Programme, le Centre a publié quatre documents (voir *réf. bibl. 363 a*). Les cinq années suivantes seront consacrées à l'étude de questions telles que l'instruction dans le monde, les engins moteurs, les métaux essentiels, l'évolution de l'outil, les services et, ce faisant, pénètrera plus avant dans le domaine de la prévision technologique à proprement parler.

A.5.14. « INSTITUTIONS-VIGIES » ENVISAGÉES

Nous avons pris connaissance de projets concernant la création d'instituts permanents :

— Un Centre international de recherche, en France, annoncé par le ministre d'État Louis Joxe (*réf. bibl. 379*).
— Un Centre qui serait créé à la Columbia University, New York, dû essentiellement à l'initiative d'André Cournand et de Christopher Wright : on annonçait que, vers la fin de 1966, le Centre était dans une phase avancée de préparation.
— Un « Institute for the Future », dont l'implantation était prévue à proximité de la RAND Corporation, à Santa Monica, Californie.
— L'OSTI (Organisation for Social and Technological Innovation) doit être créé à Cambridge, Massachusetts, sous la direction de Donald A. Schon.
— Un autre Centre américain, analogue à l'OSTI, devait être constitué, mais il était encore à l'état embryonnaire fin 1966.
— Un Symposium consacré aux « Formes du Futur » (Patterns of the Future), dont l'initiative est due au Pr. C. H. Waddington, Président de l'Union internationale pour les Sciences biologiques, sous les auspices de l'Union. Ce Symposium se tiendra au printemps 1968. Le thème en sera l'avenir biologique et portera sur des sujets tels que la démographie, l'alimentation, la santé, l'urbanisation, l'enseignement, une meilleure compréhension des problèmes, etc. Il est souhaitable que ce Symposium débouche éventuellement sur une fonction de vigie permanente dans le domaine des sciences biologiques.

Annexe B

BIBLIOGRAPHIE COMMENTÉE

En règle générale, la bibliographie sélective commentée ci-après reprend les ouvrages cités dans le présent rapport. Nous y avons toutefois ajouté les titres de quelques publications que nous n'avons pu consulter ; il s'agit de références bibliographiques qui nous ont été signalées comme se rapportant directement à notre sujet. Nous y avons joint de même certaines références d'ouvrages qui n'étaient pas encore parus au moment de l'établissement de cette bibliographie, mais dont la parution était prévue en 1966 ou 1967.

Une fraction relativement importante des références bibliographiques concerne des publications qu'il est difficile de se procurer ou auxquelles les particuliers n'ont pas librement accès. Nous les avons néanmoins incluses ici, car elles ont constitué une source de renseignements fort intéressante pour l'établissement du présent rapport, et nombre de lecteurs peuvent être à même de se les procurer. Nous avons cité dans les Annexes A.1 et A.2 un certain nombre de publications militaires de caractère secret, et des documents publiés sur abonnement par les instituts de prévision et par les bureaux d'experts-conseils; nous n'avons pas repris ces publications dans la présente bibliographie.

L'auteur voudrait exprimer ses remerciements à tous ceux qui lui ont permis de se procurer des documents non publiés, des manuscrits, des rapports confidentiels, etc., et plus particulièrement aux organismes suivants qui ont contribué à l'étude bibliographique en mettant à sa disposition leurs bibliothèques ou leurs bibliographies particulières : Brown Boveri, Mannheim (Allemagne); British Museum (Royaume-Uni); American Management Association, Lockheed, McGraw-Hill, Stanford Research Institute, System Development Corporation, Marine américaine (États-Unis); Nations Unies. Parmi les bibliothèques publiques, les collections américaines se sont révélées particulièrement intéressantes pour la compilation de la présente bibliographie : Bibliothèque publique de Chicago (Illinois), Engineering Library de New York; Library of Congress à Washington D.C.; Bibliothèque publique de New York.

LA BIBLIOGRAPHIE EST SUBDIVISÉE
SELON LES GRANDES CATÉGORIES SUIVANTES
ET COMPLÉTÉE PAR UN INDEX DES AUTEURS CITÉS

		Numéros
B.1.	SCIENCE FONDAMENTALE ET TECHNIQUE (GÉNÉRALITÉS)	1 - 24
B.2.	INVENTION, INNOVATION ET DIFFUSION DES TECHNIQUES (GÉNÉRALITÉS)	25 - 65
B.3.	TECHNOLOGIE SOCIALE (GÉNÉRALITÉS)	66 - 82
B.4.	MÉTHODES RELATIVES A LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE	83 -190
B.5.	ORGANISATION DE LA PLANIFICATION ET DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUES DANS L'INDUSTRIE	191 -227
B.6.	ORGANISATION DE LA PLANIFICATION ET DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUES EN DEHORS DU CADRE INDUSTRIEL	228 -241
B.7.	EXACTITUDE DE LA PRÉVISION TECHNOLOGIQUE	242 -250
B.8.	PRÉVISIONS TECHNOLOGIQUES RÉELLES : SCÉNARIOS APPROFONDIS DE L'AVENIR	250*a* -285
B.9.	PRÉVISIONS TECHNOLOGIQUES RÉELLES : DOMAINES PARTICULIERS IMPORTANTS	286 -351
B.10.	PRÉVISIONS TECHNOLOGIQUES RÉELLES : OBJECTIFS ET CONSÉQUENCES POUR LA NATION ET LA SOCIÉTÉ	352 -384
B.11.	UTOPIE ET SCIENCE-FICTION	385 -389
B.12.	COOPÉRATION INTERNATIONALE ET PROBLÈMES DES ÉCONOMIES EN VOIE DE DÉVELOPPEMENT	390 -395
B.13.	PUBLICATIONS PÉRIODIQUES	395*a* -401
B.14.	BIBLIOGRAPHIES ET LISTE DE SOURCES D'INFORMATION	402 -413
B.15.	INDEX BIBLIOGRAPHIQUE DES AUTEURS	

***

B.1. SCIENCE FONDAMENTALE ET TECHNIQUE (Généralités)

1. Berkner, Lloyd V., *The Scientific Age - The Impact of Science on Society* (« L'ère de la science, les conséquences de la science pour la société »), 137 pages, Yale University Press, New Haven, 1964.
   Essentiellement une étude des relations entre la science et la politique.

2. Bridgman, P.W., *Reflections of a Physicist* (« Réflexions d'un physicien »), Philosophical Library, 1950.
   Propose l'application de l'analyse opérationnelle pragmatique aux concepts physiques. Une idée ne peut se concrétiser qu'une fois explicitées ses conditions d'application.

3. Bronowski, J., *Science and Human Values*, (« La science et les valeurs humaines ») Hutchinson, Londres, 1956 et 1961.
Non analysé.

4. Conant, James B., *Science and Common Sense* (« La science et le bon sens »), Yale University Press, New Haven, 1952, 10e édition (brochée), jufllet 1964, 344 pages.
Étude en profondeur de l'histoire de la découverte scientifique, faisant ressortir l'importance des systèmes conceptuels à l'origine de la recherche. Les conclusions, tirées de l'étude d'une masse d'informations très riche, sont quelque peu vagues.

5. De Solla Price, Derek J., *A Calculus of Science* (« Un calcul sur la science »), International Science and Technology, nº 15, mars 1963.
Synthèse des ouvrages de l'auteur : « Science since Babylon », 1961 (La Science depuis Babylone) et « Little Science, Big Science » — pour ce dernier voir la *réf. bibl. 6.*

6. De Solla Price, Derek J., *Little Science, Big Science* (« Petite science, grande science »), Columbia University Press, New York, 1963, édition brochée, Columbia, 1965, 118 pages.
Problèmes généraux de la croissance scientifique : nombre de scientifiques, de publications, de diplômes, etc., avec une étude sur l'extrapolation de leurs courbes de croissance. Méthode d'étude très originale, ayant un effet stimulant pour la prévision technologique en général.

7. Green, E.I., *Creative Thinking in Scientific Work* (« La pensée créatrice dans les travaux scientifiques »), Electrical Engineering, vol. LXXIII, juin 1954; reproduit sous forme résumée dans la *réf. bibl. 32*, pp. 118-127.
Comprend trois tentatives de systématisation : 1. Liste de dix aptitudes fondamentales : connaissance, aptitude à s'instruire soi-même, curiosité, observation, mémoire, intégrité intellectuelle, scepticisme, imagination, enthousiasme, ténacité. 2. Graphe de pertinence de la pensée créatrice (extrêmement intéressant). 3. Processus de la pensée créatrice.

8. Heitler, W., *Man and Science* (« L'homme et la science »), Oliver and Boyd, Edimbourg et Londres, 1963.
La Science d'aujourd'hui est trop mécanistique; ses effets sont par suite hostiles à l'homme. Il manque à notre société un sens de la réalité en dehors des frontières de notre science.

9. Holton, Gerard (éd.), *Science and Culture - A Study of Cohesive and Disjunctive Forces* (« Science et Culture, Étude des forces de cohésion et de rupture »), The Deadalus Library, vol. 4, Houghton Mifflin Co., Boston, Mass. 1965.
Les articles les plus significatifs sont ceux de René Dubos « Science and Man's Nature » (La Science et la nature de l'homme), pp. 251-272, et de Harvey Brooks « Scientific Concepts and Cultural Change » (Concepts scientifiques et Évolution culturelle), pp. 70-87; ce dernier article examine le rôle de l'information et de la « rétroaction » dans les sciences physiques et biologiques.

10. Kuhn, Thomas S., *The Structure of Scientific Revolutions* (« La structure des révolutions scientifiques »), Phœnix Books (également vol. II, nº 2, International Encyclopaedia of Unified Science), tous deux dans The University of Chicago Press, Chicago, Ill., 1962, 172 pages (Phœnix edition 1964).
Selon la position fondamentale de Kuhn, la science fondamentale ne peut que se détériorer par des contacts avec les besoins sociaux et avec la société. Il distingue la « science normale », qui se développe autour de paradigmes (concepts intellectuels), et les révolutions qui résultent des crises provoquées par les anomalies, et qui prennent la forme d'une lutte entre des paradigmes nouveaux et différents, jusqu'à ce que le paradigme victorieux soit adopté officiellement et donne naissance à une nouvelle « science normale ». Pour l'auteur, toute tentative faite pour introduire dans ce processus, de l'extérieur, une stimulation ou une concentration ne peut être que nuisible. La science sans objectif imposé remplacera l'évolution-vers-ce-que-nous-voulons-savoir par la solution la meilleure, l'évolution-à-partir-de-ce-que-nous-savons. C'est à ce brillant essai de Kuhn, dont l'influence a été considérable, qu'est

due en partie la croyance très répandue selon laquelle la science fondamentale n'est sujette ni à la prévision, ni au choix, ni à la planification.

11. Lapp, Ralph E., *The New Priesthood - The Scientific Elite and the Uses of Power* (« La nouvelle prêtrise; L'élite scientifique et les utilisations de la puissance »), Harper & Row, New York, 1965.
Rôle du scientifique dans la formulation et la poursuite des objectifs sociaux au niveau national.

12. Pyke, Magnus, *The Boundaries of Science* (« Les frontières de la science »), Pelican Book A 593, Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex, 1963, 208 pages.
Étude générale des limitations de la recherche fondamentale actuelle.

13. Quinn, J.B., and Cavanaugh, R.M., *Fundamental research can be planned* (« Il est possible de planifier la recherche fondamentale »), Harvard Business Review, vol. 42, janv./fév. 1964, pp. 111-124.
On peut relier la recherche fondamentale aux objectifs collectifs à long terme, et la planifier de manière optimale.

14. Ridenour, Louis N., *Physical Science and the Future* (« Les Sciences physiques et l'avenir »), dans : Lyman Bryson (éd.) *Facing the Future's Risks - Studies Toward Predicting the Unforeseen* (« Face aux risques de l'avenir : études pour une prédiction de l'imprévu »), Harper & Brothers, New York 1953, pp. 60-89.
Réflexions sélectives sur la prévision dans les sciences physiques, insistant sur la nécessité de penser en principes fondamentaux, et sur l'interaction de la science, des études techniques et de l'industrie, et particulièrement sur le rôle du groupement de technologies différentes dans l'apparition des innovations.

15. Scientific American, *recueil* groupant les articles suivants : J. Bronowski, *The Creative Process* (« Le processus créatif »); Paul R. Halmos, *Innovation in Mathematics* (« L'innovation en mathématiques »); Freeman J. Dyson, *Innovation in Physics* (« L'innovation en physique »); George Wald, *Innovation in Biology* (« L'innovation en biologie »); John R. Pierce, *Innovation in Technology* (« L'innovation en technique »); John C. Eccles, *The Physiology of Imagination* (« La physiologie de l'imagination »); Frank Barron, *The Psychology of Imagination* (« La psychologie de l'imagination »); Warren Weaver, *The Encouragement of Science* (« L'encouragement de la science »); Scientific American, sept. 1958.

16. Siu, R.G.H., *The Tao of Science* (« Le Tao de la science »), un essai sur la connaissance occidentale et la sagesse orientale, MIT Press, Cambridge, Mass., 1957, MIT Press, édition brochée, août 1964, 180 pages.
Essai très important, quoique relativement peu connu, soutenant la thèse de l'intégration de la science fondamentale et de la société, et celle de l'établissement d'un lien entre la recherche fondamentale et les objectifs sociaux, grâce à l'introduction d'un peu de sagesse orientale. L'auteur distingue trois types de connaissances : la connaissance rationnelle, la connaissance intuitive et la non-connaissance. Cette dernière classe constitue la clef de l'introduction des « valeurs intrinsèques » — bonté, vérité, et beauté — dans la science, et de l'intégration recherchée. Écrit dans une langue très directe et très explicite, cet essai mérite de toucher une vaste audience à l'occasion des tentatives actuellement faites pour intégrer la science et la société.

17. Snow, C.P., *The Two Cultures: and a Second Look* (« Les deux cultures : un deuxième examen »), version développée de : *The Two Cultures and the Scientific Revolution* (« Les deux cultures et la révolution scientifique »), Cambridge University Press, Cambridge, Mass., 1959 et 1963, Mentor Book, The New American Library, New York, 1964, 92 pages.
Ouvrage bien connu sur la scission fatale entre les sciences naturelles et humaines.

18. Taton, R., *Reason and Chance in Scientific Discovery* (« La raison et la chance dans la découverte scientifique »), Science Editions, New York, 1962, 171 pages.
Étude des découvertes scientifiques passées, semblant montrer que la « découverte systématique » a joué un rôle plus grand qu'on ne l'admet généralement. Elle montre que certains grands scientifiques du XIX^e siècle ont pris conscience de leur responsa-

bilité envers la société, et qu'ils ont volontairement choisi des sujets de recherche qui contribuaient aux objectifs sociaux et aux valeurs scientifiques externes.

19. Lord Todd, *Science and Society* (« Science et société »), Conférence donnée à Westminster School en l'honneur de Sir Henry Tizard, Londres, 5 mars 1964, 10 pages.
Plaidoyer en faveur de l'intégration de la science fondamentale et de la société.

20. US National Academy of Sciences, *Basic Research and National Goals* (« Recherche fondamentale et objectifs nationaux »), un rapport au Committee on Science and Astronautics, US House of Representatives; National Academy of Sciences, Washington, DC., mars 1965.
Recueil d'articles écrits par des scientifiques éminents tels que Kistiakowsky, Teller, Weinberg, et beaucoup d'autres.

21. US National Academy of Sciences - National Research Council, *Chemistry: Opportunities and Needs* (« Chimie : Possibilités et besoins »), publication nº 1292, Academy of Sciences—National Research Council, Washington, D.C., 1965.
« Rapport Westheimer », le plus complet des rapports de la série du COSPUP.

22. US National Academy of Sciences—National Research Council, *Physics: Survey and Outlook: Reports on the Subfields of Physics*, National Academy of Sciences (« Physique : enquêtes et perspective : Rapports sur les sous-domaines de la physique, Académie nationale des Sciences »), National Research Council, Washington, DC., 1966, 165 pages.
Huit rapports sur les sous-domaines, constituant les éléments de base de l'enquête sur la physique — le « Rapport Pake » — dans le cadre du COSPUP.

23. US National Academy of Sciences—National Research Council, *Theoretical Chemistry-A Current Review* (« Chimie théorique, Situation actuelle »), publication nº 1292-D, National Academy of Sciences—National Research Council, Washington, D.C., 1966, 44 pages.
Rapport de base sur la chimie théorique pour l'enquête sur la Chimie — le « Rapport Westheimer » — dans le cadre du COSPUP.

24. Weinberg, Alvin M., *Criteria for Scientific Choice* (« Les critères du choix scientifique »), Minerva, 1963, pp. 159-171.
Le directeur du Laboratoire national d'Oak Ridge, dépendant de la Commission de l'Énergie atomique des États-Unis, soutient que l'on peut identifier des critères permettant de faire des choix scientifiques. Il distingue entre critères externes et critères internes. Les critères internes comprennent la « maturité » du domaine et l'existence de bons chercheurs. Les critères externes comprennent l'intérêt scientifique, l'intérêt technique, et l'intérêt social. L'intérêt scientifique concerne également les conséquences pour des domaines scientifiques voisins.

B.2. Invention, innovation et diffusion des techniques (Généralités)

25. Abraham, J.P., Blœmer, K.H., Tavernier, K., *Progrès Techniques, Croissance Économique et Consommation d'Énergie*, Revue d'Économie Politique, Paris 1965, pp. 350-384.
Corrélation fondée sur les informations fournies par les industries consommant de l'électricité ou des combustibles dans les pays du Marché Commun.

26. Audoin, *Situation de l'Industrie Électronique*, Secrétaire Général de la Commission Permanente de l'Électronique du Commissariat Général au Plan, Paris (France), manuscrit, déc. 1965.
Comparaison entre le développement du secteur électronique aux États-Unis et en Europe, faisant apparaître deux facteurs importants : le rôle d'un développement fortement orienté vers les missions dans l'accélération de l'innovation et dans l'élévation du niveau technologique aux États-Unis, et les modifications structurelles prochaines du secteur électronique par suite des modifications technologiques, et en particulier la micro-miniaturisation. L'auteur suggère une méthode de « coalition » entre

les pays européens afin de pouvoir suivre le rythme de développement des États-Unis. Ce document constitue l'une des rares tentatives faites en Europe en vue de comprendre les raisons fondamentales de l'écart technologique séparant les États-Unis et l'Europe dans un secteur important, et insiste sur la nécessité d'une stratégie pour l'avenir.

27. Aujac, H., *Le Passage de l'Invention à la Production*, Exposé présenté au Congrès des Économistes de Langue Française, Orléans (France), mai 1966, 85 pages.

Traité général sur l'innovation technologique, à partir des expériences française et américaine, et esquisse du programme d'étude du BIPE, par le Directeur de cet organisme. L'article comporte différents aspects et exemples de prévision technologique.

28. Barnett, H.G., *Innovation: The Basis of Cultural Change* (« L'innovation : Base de l'évolution culturelle »), McGraw-Hill, New York, 1953.

Expose une hypothèse de travail sur le processus de l'invention et de l'innovation, du point de vue de la détermination, des incitations à l'innovation, de la nature des processus d'innovation et d'admission ou de rejet. L'hypothèse de travail est mise à l'épreuve d'après six formes de culture principales, dont la culture européenne.

29. Bickner, Robert E., *The Changing Relationship between the Air Force and the Aero, space Industry* (« Évolution des rapports entre l'Armée de l'air et l'industrie aérospatiale »), Memorandum RM-4101-PR, préparé pour le Projet RAND de l'US Ai-Force, The RAND Corporation, Santa Monica, Californie, juillet 1964, 79 pages.

Dans le chapitre « Pressing against technological frontiers » (La poussée sur les frontières technologiques), l'auteur préconise un léger relâchement de la poussée extrême exercée par les exigences contractuelles sur les possibilités technologiques. Il estime que la très grande complexité des systèmes, constatée à l'heure actuelle, est due au fait que l'on a tendance à pousser à leurs limites extrêmes les possibilités offertes par une technique temporairement surutilisée, que ce soit par suite d'un besoin urgent conduisant à « faire craquer » les limites, ou par suite d'une tentation optimiste irrépressible à le faire.

30. Blackett, P.M.S., *Tizard and the Science of War* (« Tizard et la science de la guerre ») Nature, mars 1960.

Cet ouvrage comprend une analyse intéressante de la stratégie des travaux de recherche et de développement sur le radar.

31. Bright, James R., *Opportunity and Threat in Technological Change* (« Les occasions et les menaces dans l'évolution technologique »), Harvard Business Review, nov.-déc. 1963.

L'auteur discerne sept domaines technologiques en évolution : les transports, l'énergie, les produits organiques et inorganiques, les caractéristiques des matériaux — « technique moléculaire » — les possibilités sensorielles, la mécanisation physique, la mécanisation intellectuelle. Il souligne un certain nombre de conséquences économiques générales, telles que : la concurrence de secteurs éloignés et de domaines non-traditionnels, les possibilités de commercialisation, la désuétude technique entraînant une durée de vie concurrentielle plus courte, les risques croissants dans les décisions commerciales, etc. Il reconnaît, compte tenu de ces conséquences, la valeur de la prévision technologique comme aide de la gestion.

32. Bright, James R. (éd.), *Research, Development, and Technological Innovation*, (« Recherche, développement et innovation technologique »), Richard D. Irwin, Homewood, III. 1964. 783 pages.

Cette anthologie très utile, établie au profit des étudiants de la Harvard Graduate School of Business Administration, contient des articles originaux ou reproduits, de courtes citations provenant de sources variées, et d'articles et de discussions d'un Séminaire de Harvard, ainsi que des commentaires directs de l'éditeur. La section V, traitant de « la prévision et la planification technologiques » offre un intérêt particulier pour les problèmes de prévision technologique, mais étudie des problèmes qui leur sont étroitement associés : certains articles figurant ailleurs, dans la section I, « Le processus de l'innovation technologique », et dans la section III, « Découverte et évaluation des possibilités technologiques importantes ». Les références suivantes de la présente bibliographie figurent dans l'anthologie de Bright : *réf. bibl. 7, 40, 55, 70, 87, 199, 217.*

33. Brown, Murray, *On the Theory and Measurement of Technological Change* (« Théorie et mesure de l'évolution technologique »), Cambridge University Press, Londres, 1966.

Non analysé.

34. Brozen, Yale, *Determination of the Direction of Technological Change* (« Détermination de la direction de l'évolution technologique »), American Economic Review, vol. 43, mai 1953, pp. 288-302. Analysé par M.C. Urquhart, I.H. Siegel, et W.N. Leonard, pp. 303-312.

Brozen soutient que l'évolution technologique est essentiellement une variable endogène dans le système économique, de sorte que les directions de l'évolution technologique sont entièrement déterminées par l'orientation du marché. Urquhart insiste sur l'importance des facteurs exogènes, et Siegel essaye de trouver un compromis entre ces deux extrêmes.

35. Bruce, Robert D., *The Dimensions of Change* (« Les dimensions de l'évolution »), exposé présenté au First National Joint Meeting, Operations Research Society of America and The Institute of Management Sciences, San Francisco, Calif., 9 nov. 1961.

Discussion utile sur les différents types de modification du milieu et leur mesure, montrant les aspects importants de la prévision technologique. L'auteur était alors Directeur du Service de Planification à long terme du Stanford Research Institute.

36. Carter, C.F., *The Characteristics of Technically Progressive Firms* (« Les caractéristiques des entreprises en progrès technique »), Journal of Industrial Economics, vol. 7, n° 1, mars 1959, pp. 87-104.

Non analysé.

37. Carter, C.F., et Williams, B.R., *Industry and Technical Progress: Factors Governing the Speed of Application of Science* (« Industrie et progrès technique : les facteurs gouvernant la rapidité d'application de la science »), Londres 1957, 244 pages.

Non analysé.

38. Emme, Eugène M., *A History of Space Flight* (« Histoire des vols spatiaux »), Holt, Rinehart, and Winston, Inc., New York 1965.

Compte rendu historique intéressant d'une technique qui prit naissance en 350 avant Jésus-Christ, lorsque les Grecs de l'Antiquité lancèrent leurs premières fusées, les principes fondamentaux de cette technique ayant dans l'ensemble été connus bien longtemps avant qu'on puisse les appliquer techniquement. C'est donc l'histoire d'un long développement technologique, dans lequel les possibilités d'avenir ont été souvent reconnues, mais qui a dû attendre la maturité d'autres techniques, ainsi que l'apparition de mobiles puissants.

39. Enos, John L., *Invention and Innovation in the Petroleum Refining Industry* (« Invention et innovation dans l'industrie de raffinage du pétrole ») : *The Rate and Direction of Inventive Activity* (« Le rythme et le sens de l'activité inventive »), *réf. bibl. 65*, pp. 299-321.

L'auteur trouve un intervalle de 3 à 24 ans entre l'invention et l'innovation — considérée comme l'utilisation commerciale — pour 9 procédés de crackage utilisés de 1913 à 1950. La valeur moyenne de 13 ans est presque la même que pour les 35 principales innovations extérieures au domaine pétrolier, apparues entre 1711 et 1950.

40. Gilfillan, S. Colum, *The Prediction of Technical Change* (« La prédiction de l'évolution technique »), The Review of Economics and Statistics, vol. XXXIV, nov. 1952, pp. 368-385. Réédité dans la *réf. bibl. 32*, pp. 738-754.

Essentiellement une « rétrovision », appliquée à des exemples tels que la télévision — dont on remonte la piste jusqu'à une prédiction satirique en 1847 — avec une étude des 19 inventions les plus utiles apparues dans le quart de siècle précédant 1913; elle montre l'existence d'intervalles de temps très longs entre la première idée et les étapes ultérieures d'invention, d'innovation et de diffusion. Pour ces 19 inventions, le délai moyen entre la première idée et le premier brevet ou le premier modèle en état de fonctionner est de 176 ans. Le délai observé entre le premier modèle en fonctionnement et le succès commercial est généralement compris entre 33 et 38 ans,

en moyenne, pour différentes évaluations statistiques concernant plus de 200 inventions importantes apparues entre 1787 et 1935. A partir de cette histoire du passé, Gilfillan identifie une causalité future — essentiellement fondée sur une notion d'opportunité — et observe que les inventions arrivent en groupe fonctionnellement équivalents, ce qui facilite la prédiction de leurs effets (observation encore essentiellement inconsciente des forces puissantes des processus d'innovation orientés vers les missions).

41. Gilman, William, *Science: USA*, The Viking Press, New York, 1965.
Compte rendu vulgarisé sur la manière dont les percées techniques et scientifiques importantes se sont produites aux États-Unis, et comprenant une perspective d'avenir sur un certain nombre de domaines importants. Manque quelquefois de connaissances scientifiques réelles.

42. Griliches, Zvi, *Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change*, (« Le maïs hybride : une exploration dans l'économie de l'évolution technologique »), Econometrica (Journal de Econometric Society), vol. 25, nº 4, oct. 1957, pp. 501-522.
Étude de la diffusion d'une technique nouvelle importante. L'auteur ajuste les fonctions de croissance logistiques aux résultats obtenus, et explique les différences constatées entre les pentes et les maxima. Il en conclut que la structure et la vitesse de la diffusion peuvent être soumises à l'analyse économique.

43. Griliches, Zvi, *Research Costs and Social Returns: Hybrid Corn and Related Innovation* (« Le coût de la recherche et les bénéfices sociaux : le maïs hybride et les innovations connexes), The Journal of Political Economy, vol. LXVI, nº 5, oct. 1958, pp. 419-431.
Extension de la *réf. bibl. 42*. L'analyse conduit à évaluer les gains au moins à 700 % par an des sommes investies dans les recherches sur le maïs hybride, d'après les chiffres de 1955.

43*a*. Isenson, Raymond, et coll., *Project Hindsight*, First Interim Report, Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Literature, Springfield, Virginia 22151, oct. 1966
Évaluation de 835 « évènements » — germes de nouvelles connaissances — survenus au cours de la mise au point de 20 systèmes d'armes d'importance majeure. La conclusion souligne le rôle de la réflexion normative, et démontre que la contribution de la recherche non dirigée est, en général, décevante.

44. Little, Arthur D., Inc., *Management Factors Affecting Research and Exploratory Development* (« Facteurs de gestion influençant la recherche et le développement exploratoire »), Rapport destiné au Director of Defense Research and Engineering, contrat nº SD-235, Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Mass., avril 1965, 180 pages. Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Literature AD-618, 321.
Évaluation de 63 « évènements » de recherche et de développement exploratoire qui ont joué un rôle important dans l'histoire du développement de six systèmes d'armes complexes. Les principaux résultats obtenus montrent que les nouveaux systèmes d'armes dépendent de nombreuses petites inventions — deux inventions principales seulement ont contribué au développement des systèmes étudiés — et qu'un milieu « adaptable », par opposition aux milieux « autoritaires », est probablement l'une des conditions absolues du succès d'un développement.

45. Little, Arthur D., Inc., *Patterns and Problems of Technical Innovation in American Industry* (« Structures et problèmes de l'innovation technique dans l'industrie américaine »), Rapport PB 181573 à la National Science Foundation, Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Mass., 1963.
De brillantes études de cas, portant sur quatre secteurs industriels, illustrent l'importance de la migration des scientifiques et des ingénieurs, et de l' « invasion » des secteurs statiques par les secteurs industriels dynamiques.

46. Mansfield, Edwin, *Econometric Studies in Industrial Research and Technological Innovation* (« Études économétriques sur la recherche industrielle et l'innovation technologique »), W.W. Norton & Co., New York, pour la Cowles Foundation, 1966.
Non analysé.

47. Mansfield, Edwin, *Intrafirm Rates of Diffusion of an Innovation* (« Vitesse de diffusion d'une innovation à l'intérieur de l'entreprise »), Review of Economics and Statistics, nov. 1963.

L'auteur étudie le remplacement de la locomotive à vapeur par la locomotive Diesel aux États-Unis, entre les deux guerres, et construit un modèle économétrique afin d'expliquer les différences constatées dans le taux d'acceptation.

48. Mansfield, Edwin, *An Introduction to the Economics of Technological Change* (« Introduction à l'économie de l'évolution technologique »), W.W. Norton & Co., New York, 1966.

Ouvrage destiné à des non-spécialistes.

49. Mansfield, Edwin, *Research and Technological Change* (« Recherche et évolution technologique »), Industrial Research, vol. 6, nº 2, fév. 1964, pp. 25-28.

Résumé des résultats exposés dans la *réf. bibl. 50.*

50. Mansfield, Edwin, *The Speed of Response of Firms to New Techniques* (« La rapidité de réaction des entreprises aux nouvelles techniques »), The Quarterly Journal of Economics, vol. 77, mai 1963, pp. 290-311.

Résultats préliminaires d'une étude en cours sur la diffusion des innovations technologiques, et essai de mise en évidence d'une corrélation entre ces résultats. La conclusion suivante est particulièrement intéressante pour la prévision de l'innovation technologique, celle-ci dépendant de la maturité de plusieurs technologies différentes : dans la plupart des industries, il y a peu de chances pour que la même firme soit systématiquement la première à adopter plusieurs innovations. Les pionniers d'une innovation sont souvent parmi les retardataires pour une autre, surtout si un long décalage de temps sépare les innovations considérées.

51. Mansfield, Edwin, *Technical Change and the Rate of Imitation* (« Évolution technique et taux d'imitation »), Econometrica, oct. 1961.

Des modèles, tendant à calculer la rapidité avec laquelle des entreprises imitent un innovateur, sont essayés expérimentalement dans l'industrie sidérurgique, l'industrie du charbon bitumeux, les chemins de fer et l'industrie de la brasserie, aux États-Unis. Les résultats semblent encourageants.

52. Marschak, Thomas A., *Strategy and Organisation in a System Development Project* (« Stratégie et organisation dans un projet de développement d'un système »), dans : *The Rate and Direction of Inventive Activity* (« Le rythme et le sens de l'activité inventive »), *réf. bibl. 65*, pp. 509-548.

Étude de cas sur le développement du Système TH, système de relais hertzien à grande portée, aux Bell Telephone Laboratories, depuis le début de l'étude (en 1952) jusqu'à la fabrication (en 1958). Les évaluations faites en 1954 (époque à laquelle on a procédé au choix entre les principales caractéristiques possibles du système, et où a commencé la planification détaillée du projet), se sont révélées en bonne concordance avec les priorités du programme prédéterminé : 1. Les objectifs, et les coûts de fabrication et de fonctionnement ont été voisins des prévisions. 2. Des retards de développement ne se sont produits que pour certains composants, et on a toujours pu maintenir ces retards inférieurs à six mois. 3. Les estimations totales des efforts de développement ont été trop optimistes — entre 1954 et 1958, il a fallu 401 hommes-années au lieu des 236 estimés. Le service d'étude des systèmes a effectué les prévisions technologiques en deux étapes : en 1952, une étude de la demande économique; en 1954, une étude sur les coûts, les détails, les objectifs du système et le programme de développement.

53. Marschak, Thomas A.; Glennan; Summers, Robert (éditeurs), *Studies in the Microeconomics of Development* (« Études sur la micro-économie du développement »), publié aux États-Unis en 1966.
La *réf. bibl. 250* y est reproduite.

54. McGraw-Hill, *Research and Development in American Industry* (« Recherche et développement dans l'industrie américaine »), Department of Economics, McGraw-Hill Publications, New York, 6 mai 1966.

Résultats d'une enquête sur l'industrie américaine avec des évaluations de l'importance et de la structure de la recherche et du développement industriels en 1966 et

1969, pour 15 secteurs industriels et pour l'ensemble de l'industrie. Les auteurs présentent une estimation des conséquences prévues.

55. Mueller, Willard F., *The Origins of the Basic Inventions Underlying Du Pont's Major Product and Process Innovations, 1920 to 1950*, dans : *The Rate and Direction of Inventive Activity* (« Les origines des inventions fondamentales qui ont ouvert la voie aux principales innovations de procédés et de produits de Du Pont, de 1920 à 1950, dans : Le rythme et le sens de l'activité inventive »), *réf. bibl. 65*, pp. 323-346. Commentaires de Z. Griliches, pp. 346-358. Ré-dité dans la *réf. bibl. 32*.

Certaines inventions sont dues à des méthodes d'étude fortement orientées vers les missions. D'autres ont été plus « accidentelles ». Toutefois, dans certains cas, par exemple dans celui du nylon « accidentel », des missions générales avaient été proposées, par exemple l'étude de la polymérisation. Une étude plus approfondie montrerait probablement une structure analogue à celle de l'invention du transistor — voir *réf. bibl. 57*, — mais l'auteur n'a pas saisi l'occasion.

56. Myers, Sumner, *Industrial Innovations - Their Characteristics and Their Scientific and Technical Information Bases* (« Innovations industrielles, leurs caractéristiques et leurs bases d'information scientifique et technique »), Rapport spécial à la National Science Foundation; National Planning Association, Washington, D.C. avril 1966, 24 pages.

Premier compte rendu d'une enquête en cours de la National Planning Association, utilisant une série d'études de cas sur des innovations de l'industrie civile américaine.

57. Nelson, Richard A., *The Link Between Science and Invention: The Case of the Transistor* (« Relation entre la science et l'invention : Le cas du transistor »), dans : *The Rate and Direction of Inventive Activity* (« Le rythme et le sens de l'activité inventive »), *réf. bibl. 65*, pp. 549-583.

Excellent compte rendu de la fameuse invention. Dans le groupe de Shockley aux Bell Telephone Laboratories, la méthode d'étude envisagée était fortement orientée vers une mission, mais le sens des recherches a été extrêmement modifié après une période d' « apprentissage ». L'impression générale était que les travaux sur l'état solide avaient progressé suffisamment pour constituer un apport significatif à la technique des communications, principal domaine d'intérêt de la Bell, et cette impression a commandé — au début — l'orientation des recherches vers un amplificateur solide. En 1947-48, les expériences de Bardeen et Brattain, orientées vers le développement d'un amplificateur à effet de champ, ont conduit à trouver un amplificateur fonctionnant sur des principes différents : le transistor à contact. Se rendant compte de l'importance des porteurs minoritaires, Shockley prédit d'abord, en 1951, à partir de considérations théoriques, l'emploi du transistor à jonction et en démontra ensuite les possibilités. Nelson insiste sur l'importance de trois facteurs : « apprentissage », interaction entre les personnes, objectifs exprimés en termes généraux.

58. Page, Robert Morris, *The Origin of Radar* (« L'origine du radar »), Science Study Series, Anchor Books, Doubleday & Co., Garden City, N.Y., 1962, 198 pages.

Cet ouvrage, écrit par l'un des principaux responsables du développement du radar aux États-Unis, donne un bon compte rendu historique, notamment des idées prématurées apparues depuis 1900, et tente d'expliquer pourquoi l'idée fructueuse du radar à impulsions s'éteignit en 1930, avant d'être reprise et mise au point sous sa forme complète après 1934.

59. Peck, Merton J., *Inventions in the Postwar American Aluminium Industry* (« Inventions dans l'industrie américaine de l'aluminium après la guerre »), dans : *The Rate and Direction of Inventive Activity* (« Le rythme et le sens de l'activité inventive »), *réf. bibl. 65*, pp. 279-298.

L'auteur conclut que l'oligopole est plus apte à l'innovation que le monopole, comme on pouvait s'y attendre.

60. Rogers, Everett M., *Diffusion of Innovations* (« Diffusion des innovations »), Free Press, New York 1962, 367 pages.

Considéré comme l'un des meilleurs ouvrages sur la question.

61. Schumpeter, J.A., *Business Cycles* (« Cycles économiques »). vol. I, McGraw-Hill, New York, 1939.

Une des idées centrales de la théorie de Schumpeter sur le développement économique est celle du « bourgeonnement » autour des innovations — c'est-à-dire une succession d'innovations associées et d'imitations qui font suite à une innovation importante.

62. Siegel, Irving H., *Scientific Discovery and the Rate of Invention* (« Découverte scientifique et taux d'invention ») dans : *The Rate and Direction of Inventive Activity* (« Le rythme et le sens de l'activité inventive »), *réf. bibl. 65*, pp. 451-540.

L'auteur examine les relations entre la découverte scientifique et l'invention en les considérant comme des concepts et des phénomènes. Ces deux entités sont reliées à la génération, au traitement et à l'utilisation de l'information, dont on reconnaît de plus en plus qu'elle est une « substance » technologique et économique fondamentale, comparable à l'énergie et à la matière.

63. Standard Oil Development Co., *The Future of Industrial Research* (« L'avenir de la recherche industrielle »), compte rendu d'une réunion sur l'avenir de la recherche industrielle à l'occasion du 25e anniversaire de la Standard Oil Development Co., oct. 1944; Standard Oil Development Company, New York, 1945.

Vaste panorama d'opinions qualifiées, exprimées par certaines des personnalités les plus éminentes des universités, de l'industrie et de l'administration américaines. Un certain accord semble se faire sur des concepts tels que : la non-planification de la recherche, la recherche en coopération, l'inutilité des programmes de recherche sur les nouveaux produits pour les petites industries à base scientifique, qui peuvent les mettre au point de façon empirique, etc. Cette conception de l'avenir — qui reflète essentiellement le désir de retrouver les habitudes d'avant-guerre — s'est modifiée de manière profonde au cours des deux décennies qui suivirent sa formulation en 1944.

64. US Agricultural Research Service, *Agricultural Innovations - Foundation for a Modern Economy* (« Innovations agricoles : fondement d'une économie moderne »), Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Washington DC., avril 1965, 43 pages. Reproduit dans la *réf. bibl. 238*.

Contient, entre autres, deux études de cas intéressantes sur des innovations importantes : la technique du maïs hybride et l'élevage des poulets.

65. US National Bureau of Economic Research, *The Rate and Direction of Inventive Activity - Economic and Social Factors* (« Le rythme et le sens de l'activité inventive; facteurs économiques et sociaux »). Une conférence des Universités — National Bureau Committee for Economic Research, Princeton University Press, Princeton, 1962.

Exposés présentés par 24 économistes éminents, et suivis de discussions au cours d'une Conférence organisée à l'Université du Minnesota, en 1960, sur les résultats et les conclusions d'un programme de recherche poursuivi depuis une dizaine d'années. L'ouvrage contient les articles cités sous les références suivantes, dans la présente bibliographie : 39, 52, 55, 57, 59, 62, 244, 246.
Voir également la *réf. bibl. 15*.

B.3. Technologie sociale
(Généralités)

66. Aron, Raymond (éd.), *World Technology and Human Destiny* (« Technologie mondiale et destinée humaine »), The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, 1963.

Compte rendu de la « Conférence Bâle-Rheinfelden », accompagné de réflexions assez générales de philosophes et de penseurs sociaux.

67. Dubos, René, *Environmental Biology* (« Biologie du milieu »), BioScience, vol. 14, no 1, 1964, pp. 11-14.

La recherche biologique dans un contexte d'objectifs sociaux.

68. Dubos, René, *Social Determinants of Medical Knowledge* (« Causes sociales des connaissances médicales »), Journal of the American Medical Association, vol. 194, 27 déc. 1965, pp. 1371-1373.
La science médicale au regard des objectifs sociaux.

69. Ellul, Jacques, *La Technique*, Traduction anglaise *The Technological Society*, Alfred A. Knopf, New York, 1964.
Traité fondamental des problèmes de la technologie sociale, adoptant un point de vue fataliste.

70. Gilfillan, S. Colum, *The Sociology of Invention* (« La sociologie de l'invention »), Follett Publishing Co., Chicago Ill., 1935. Le chapitre « The Social Principles of Invention » (Les principes sociaux de l'invention), pp. 5-13 est reproduit dans la *réf. bibl. 32.*
Le premier chapitre constitue une tentative de structuration systématique du problème analysé selon 38 principes.

71. Ginzberg, Eli (éd.), *Technology and Social Change* (« Technologie et évolution sociale »), Columbia Press, New York, 1964.
Premier volume d'une série de publications issues d'un séminaire permanent de la Columbia University sur la « Technologie et l'évolution sociale »; ce volume comprend des études et des discussions originales. Voir également les *réf. bibl. 81* et *81a.*

72. McLuhan, Marshall, *From Cliché to Archetype* (« Du cliché à l'archétype »), The Viking Press, New York, date prévue de parution : 1967.
Les clichés et les archétypes sont considérés comme des processus, et non comme des structures figées.

73. McLuhan, Marshall, *Culture is Our Business* (« La culture, c'est notre affaire »), McGraw-Hill, New York. Date prévue de parution : 1967.
Les grandes décisions de l'avenir sont les affaires de tous. Les « profils sensoriels » vont devenir un moyen indispensable de définition des objectifs pour l'ensemble du monde. Au cours d'une phase transitoire, on peut arriver à un contrôle sensoriel, véritable planification du milieu dans lequel vivent les hommes. Les gouvernements sont trop « démodés » pour remplir ce rôle.

74. McLuhan, Marshall, *A Message to the Fish* (« Un message aux poissons »), Harcourt Press. Date prévue de parution : 1967.
Traite des milieux que les gens ne voient jamais, bien qu'ils y vivent — de même que les poissons ne voient pas l'eau.

75. McLuhan, Marshall, *Space in Poetry and Painting* (« L'espace dans la poésie et la peinture »), Harper & Row, New York. Date prévue de parution : 1967.
Propriétés spatiales des différents sens, dans le cadre de recherches portant sur le « profil sensoriel » de l'homme.

76. Ozbekhan, Hasan, *Technology and Man's Future* (« La technologie et l'avenir de l'homme »), rapport SP-2494, System Development Corporation, Santa Monica, California, 27 mai 1966, 41 pages.
Vision esquissant le rôle de la prévision technologique, du point de vue général de la technologie sociale.

77. Paloczi-Horvath, George, *Jugend - Schicksal der Welt* (« Jeunesse, destin du monde »), Schweizer Verlagshaus AG., Zurich (Suisse), 1965.
Non analysé.

77*a*. Polak, Fred A., *The Image of the Future* (« L'image du futur »), 2 volumes, Oceana, New York, 1961. Date de publication prévue d'un abrégé aux États-Unis : 1967.
Présente une nouvelle théorie sur la dynamique et la prévision culturelles.

78. Prospective, *Le Progrès Scientifique et Technique et la Condition de l'Homme*, Prospective n° 5, Publication du Centre d'Études Prospectives (Association Gaston Berger), Presses Universitaires de France, Paris, 1960.

Première étude entreprise par le Centre sur le problème de l'évolution due au progrès scientifique et technique, d'un point de vue assez philosophique.

79. Prospective, *La Recherche Scientifique, L'État et la Société*, Prospective n° 12, Publication du Centre d'Études Prospectives (Association Gaston Berger), Presses Universitaires de France, Paris, janv. 1965, 217 pages.

Compte rendu succint des réunions bi-mensuelles d'un groupe de travail du Centre, organisées pendant 18 mois, et enrichies par des contacts avec les États-Unis, l'Autriche et la Belgique. Une introduction de P. Piganiol, suivie d'un exposé général et de plusieurs articles de R. Jungk, L. Massart, E.G. Mesthene, L. Villecourt,C. Wright et autres, traitent des conséquences politiques et sociales du progrès scientifique et technique, et posent les fondements d'une future politique scientifique.

80. Teilhard de Chardin, Pierre, *L'Avenir de l'Homme*, Éditions du Seuil, Paris 1959, Traduction anglaise : *The Future of Man*, Collins, Londres 1964.

L'évolution intellectuelle et sociale de l'homme, sa place et ses responsabilités dans l'univers, considérées comme la base de détermination des objectifs vers lesquels nos efforts devraient tendre — la « Grande Option » de l'homme au XX^{e} siècle. « L'avenir tout entier de la terre et de la religion semble dépendre de l'éveil de notre foi dans l'avenir. »

81. Warner, Aaron W.; Morse, Dean; and Eichner, Alfred S. (éditeurs), *The Impact of Science on Technology* (« Les incidences de la science sur la technologie »), Columbia University Press, New York, 1965.

Volume 2 d'une série de publications issues d'un séminaire permanent de la Columbia University sur la « Technologie et l'évolution sociale ». Voir également les *réf. bibl. 71* et *81a.*

81*a.* Warner, Aaron W., and Morse, Dean (éditeurs), *Technological Innovation and Society* («Innovation technologique et société»), Columbia University Press, New York, 1966.

Volume 3 d'une série de publications issues d'un séminaire permanent de la Columbia University sur la « Technologie et l'évolution sociale ». Voir également les *réf. bibl. 71* et *81.*

82. Wiener, Norbert, *The Human Use of Human Beings* (« L'utilisation de l'homme par l'homme »), Houghton Mifflin Co., Boston, 1950, Deuxième édition révisée Anchor Book A 34, Doubleday, Garden City, N.Y. 1954, 199 pages.

Version de vulgarisation du principal ouvrage de Wiener « Cybernetics », 1948, qui montre clairement les conséquences sociales de la théorie de l'information et des communications. L'auteur a joué un rôle important dans le développement de cette théorie et l'ouvrage rédigé dans un style brillant représente un des essais fondamentaux sur la technologie sociale.

Voir également la *réf. bibl. 165.*

B.4. Méthodes relatives a la prévision technologique

83. Abt Associates, Inc., *Great World Issues of 1980* (« Les grands évènements mondiaux de 1980 »), proposition d'étude soumise à l'US Air Force Office of Scientific Research, Abt Associates, Inc., Cambridge, Mass., 24 avril 1965, 101 pages (Diffusion restreinte).

Vaste exposé, plein d'imagination, sur les méthodes de prévision, et comprenant les sujets suivants : Tableau complet des méthodes de production qualitatives, quantitatives et mixtes, avec une étude de leurs caractéristiques; exposé sur quatre méthodes mathématiques de prévision (extrapolations) : méthode de régression classique, statistiques classiques, statistiques de Bayes, méthodes des systèmes linéaires; simulation pour la prédiction à long terme des processus, à partir d'une évaluation des gammes qualitatives et quantitatives des données et des éléments d'entrée, et conduisant à la probabilité relative des agrégats de classes de possibilités. Il s'agit d'une première tentative faite pour introduire une évaluation probabiliste des informations

d'entrée dans les modèles de systèmes importants : prévisions expérimentales fondées sur les jeux; rôle de la prévision technologique dans la planification à l'échelon militaire, technique, économique et politique. Il y est joint une bibliographie comportant une cinquantaine de titres.

84. Abt Associates, Inc., *Survey of the State of the Art : Social, Political, and Economic Models and Simulations* (« Enquête sur l'état de la technique : simulation et modèles économiques, sociaux et politiques »), rapport préparé pour la National Commission on Technology, Automation, and Economic Progress. Un volume distinct donne le résumé de ce rapport. Abt Associates, Inc., Cambridge, Mass., 26 nov. 1965, 83 pages plus annexes. Paraîtra dans les volumes à venir de « Technology and American Economy. »

Un des rapports de base du Rapport au Président sur la « Technology and American Economy », *réf. bibl. 383;* les auteurs y étudient 57 modèles couramment utilisés ou en cours de mise au point, avec leur typologie, leurs caractéristiques et leurs limitations. Les techniques actuelles de simulation, appliquées aux secteurs administratifs, portent notamment sur la prévision technologique, l'affectation optimale des ressources, la prévision et l'identification des besoins des programmes, l'évaluation des coûts et de l'efficacité, la prévision de l'évolution sociale.

85. Alexander, Thomas, *The Wild Birds Find a Corporate Roost* (« Les oiseaux sauvages nichent en société »), Fortune Magazine, vol. LXX, août 1964, pp. 130 et suivantes

Plaidoyer en faveur de la réflexion imaginative, apportant la preuve du succès de la « science-fiction ».

86. Allen, D.H., *Assessing Industrial Research Projects* (« Évaluation des projets de recherche industrielle »), Science Journal, déc. 1965, pp. 79-83.

Étude des méthodes de comptabilité actualisée; propositions d'amélioration.

87. Ansoff, H. Igor, *Evaluation of Applied Research in a Business Firm* (« Évaluation de la recherche appliquée dans une entreprise commerciale ») dans : *Technological Planning at the Corporate Level* (« La planification technologique à l'échelon de l'entreprise »), *réf. bibl. 195*, pp. 209-224, reproduit dans la *réf. bibl. 32.*

Une méthode de la théorie des décisions combine treize facteurs en une note de mérite à peu près proportionnelle au rendement des investissements. Des concepts multidimensionnels, tels que la « probabilité de réussite », ou la « probabilité de succès de pénétration sur le marché », sont ramenés à de simples indices de probabilité.

88. Asher, D.T., *A Linear Programming Model for the Allocation of R and D Efforts* (« Modèle de programmation linéaire pour l'affectation des ressources à la Recherche et au Développement »), dans : « Special Section on Project Selection and Budgeting in R & D » (Section spéciale sur le choix des projets et l'établissement des budgets de recherche et de développement), IRE Transactions on Engineering Management, vol. EM-9, nº 4, déc. 1962, pp. 154-157.

Méthode de recherche opérationnelle, mise au point pour une entreprise pharmaceutique. Pour les divers projets, on évalue les valeurs nettes actualisées et les probabilités de succès. Le critère de classification est la valeur nette actualisée maximale estimée, compte tenu des heures de main-d'œuvre et des produits chimiques utilisables. Ce modèle convient à la situation particulière du secteur pharmaceutique, où la prévision technologique ne permet généralement pas d'améliorer la « découverte » d'objectifs de recherche. D'après les chiffres enregistrés en 1958 pour les États-Unis, (115.000 composés essayés et seulement 40 nouveaux produits chimiques obtenus) la probabilité de réussite est de 0,0003 et une distribution de Poisson est proposée pour les événements aléatoires.

89. Ayres, Robert U., *On Technological Forecasting* (« De la prévision technologique »), Rapport HI-484-DP, 10 fév. 1965, version révisée (et considérablement améliorée) HI-484-DP (Rev.) 17 janv. 1966. Hudson Institute, Harmon-on-Hudson, N.Y. (Diffusion restreinte).

Étude approfondie des aspects et des méthodes de prévision technologique. L'auteur insiste particulièrement sur les méthodes d'extrapolation associées aux séries temporelles, et considère la méthode des courbes-enveloppes comme un des progrès importants dans ce domaine. L'introduction étudie les pièges éventuels de la prévision tech-

nologique; illustrée d'exemples de prévisions antérieures, elle est particulièrement intéressante. Une bibliographie est donnée en annexe.

90. Bagby, F.L.; Farrar, D.L.; James, G.W.; Badertscher, R.F.; and Cross, H.C., *A Feasibility Study of Techniques for Measuring and Predicting the State of the Art* (« Étude de possibilité des méthodes qui permettraient d'évaluer et de prédire l'état de la technique »). Rapport HqARDC-TR-59-78, établi pour le Plans and Programs Office, Headquarters Air Research and Development Command, US Air Force, Andrews Air Force Base, Washington D.C., par le Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, juillet 1959, 32 pages plus 148 pages d'annexes. Ancien numéro ASTIA : AD 233.350 (même numéro pour Clearinghouse for Federal Scientist and Technical Literature).

Une des premières études sur les possibilités d'application de la prévision technologique, qui analyse les exemples de l'aérodynamique de l'aile delta et de la métallurgie des hautes températures; elle est accompagnée d'une revue générale des processus de recherche et de développement aux États-Unis. Les méthodes de prévision technologique exploratoire sont insuffisantes pour prédire l'état de la technique, mais on a reconnu en général les possibilités offertes par la prévision normative, bien qu'à l'époque on ne se soit pas exactement rendu compte de l'importance de ce type de prévision.

91. Baker, M.R., et Pound, W.H., *R and D Project Selection: Where We Stand* (« Sélection des projets de recherche et de développement : où en sommes nous? »), IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-11, nº 4, déc. 1964, pp. 124-134.

Étude bibliographique sur la sélection des projets de recherche et de développement, comportant l'examen critique de 10 procédures de classement des projets avec les résultats des essais effectués. Les auteurs préconisent des essais complémentaires, et exposent les conséquences des recherches futures. La bibliographie, portant sur 119 documents relatifs à la sélection des projets, est particulièrement intéressante.

92. Beckwith, R.E., *A Stochastic Regression Model for Proposal Success Evaluation* (« Modèle de régression stochastique pour l'appréciation du succès des projets »), IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-12, nº 2, juin 1965, pp. 59-62.

Application de la théorie de la décision à l'appréciation des probabilités pour qu'un projet donné aboutisse à un contrat. L'auteur analyse la nature des facteurs concurrentiels probables ayant une influence sur l'attribution des contrats. ainsi que l'aptitude à apprécier la position de sa propre entreprise. Ce modèle n'est utile que pour l'appréciation dans un cycle fermé, par exemple dans le cadre d'un programme de recherches militaires.

93. Bell, Daniel, *Twelve Modes of Prediction - a Preliminary Sorting of Approaches in the Social Sciences* (« Douze méthodes de prédiction - tri préliminaire des méthodes applicables aux sciences sociales »), Daedalus, été 1964, p. 865.

Non analysé.

94. Beller, William S., *Technique Ranks Space Objectives* (« Méthode de classement des objectifs spatiaux »), Missiles and Rockets, 7 fév. 1966, 3 pages.

Application du système PATTERN, de Honeywell, et des graphes de pertinence à la préparation des décisions, pour l'évaluation de la charge utile de la fusée Apollo à la NASA, Marshall Space Flight Center, à Huntsville, Alabama.

95. Bellman, Richard; Clark, C.E.; Malcolm, D.G.G.; Draft, C.K.; Ricciardi, F.M., *On the Construction of a Multi-Stage, Multi-Person Business Game* (« Mise au point d'un jeu d'entreprise à plusieurs joueurs et à plusieurs phases »), Operations Research, vol. V, nº 4, août 1957, pp. 469-503.

C'est le jeu de l'American Management Association, qui concerne notamment les décisions de gestion relatives aux innovations techniques.

96. BIPE, *Les Voies de développement techniquement possibles et la prévision économique à long terme*, Bureau d'Information et de Prévisions Économiques, Paris, juin 1964.

Les auteurs examinent les programmes permettant d'établir, dans le cadre des travaux préparatoires du Sixième Plan national français, une liste des méthodes de développement techniquement possibles et leurs conséquences économiques probables. La

représentation graphique des relations inter-industrielles, pour chacune des innovations prévues, est particulièrement intéressante.

97. Brandenburg, Richard G., *Quantitative Techniques in R & D Planning (A survey of the State of the Art)*, (« Les méthodes quantitatives dans la planification de la recherche et du développement (État de la technique ») , non publié, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, Pa., juillet 1964.

Étude bibliographique complète et critique des méthodes utilisées dans les cinq domaines suivants : 1. Établissement du budget total de recherche et de développement. 2. Détermination du moment où il convient d'affecter les ressources à la recherche et au développement. 3. Appréciation et sélection des projets de recherche et de développement. 4. Planification des ressources pour les projets retenus. 5. Décision d'introduction des nouveaux produits. L'auteur décrit brièvement les caractéristiques principales de chaque méthode, et les examine d'un point de vue critique.

98. Bratt, Elmer C., *Methodology in Long-Range Forecasting* (« Méthodologie de la prévision à long terme »), The Commercial and Financial Chronicle, vol. 191, n° 5922, 4 fév. 1960, pp. 10-11.

Brève discussion de trois méthodes : tendances séculaires, analyse entrées-sorties, et analyse d'utilisation finale. La troisième méthode est la mieux adaptée aux problèmes actuels.

99. Brech, Ronald, *Planning Prosperity - A Synoptic Model for Growth* (« La planification de la prospérité : Un modèle synthétique de croissance »), Darton, Longman & Todd, Londres 1964.

Le chapitre 3, « A Dynamic Economic Model », pp. 45-64, expose les méthodes utilisées pour l'ouvrage de l'auteur, « Britain 1984 », *réf. bibl. 256*, mais sans grand détail. Le modèle synthétique est la combinaison, par itération, de six modèles différents pré-déterminés : démographique, psychologique, sociologique, technique, politique et économique. L'objectif était de combiner les principes économiques et les méthodes statistiques, afin de prédire une voie possible pour environ 25 ans. L'établissement du modèle technique procède de la diffusion des connaissances existantes plutôt que de la prévision des innovations.

100. Brown, Bernice; et Helmer, Olaf, *Improving the Reliability of Estimates Obtained from a Consensus of Experts* (« Amélioration du degré de confiance des évaluations obtenues par un accord entre experts », rapport P-2986, The RAND Corporation, Santa Monica, Californie, 1964.

Quelques détails sur la méthode « Delphi ».

101. Brown, J.H.; et Cheaney, E.S., *Report on a Study of Future Research Activity and Pertinent Forecasting Techniques for Battelle's Trends in Research Study* (« Compte rendu d'une étude sur les travaux futurs de recherche et les méthodes de prévision adoptées pour l'étude de Battelle sur les tendances de la recherche »), Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, 1965, 51 pages.

Étude et discussion de l'état de la technique et de la méthodologie de la prévision technologique. Il y est joint une bibliographie comprenant 70 titres, portant principalement sur diverses prévisions particulières et sur la méthodologie.

102. Bush, G.A., *Prudent-manager forecasting* (« Les prévisions d'une direction prudente »), approche nouvelle vers une planification à long terme, Harvard Business Review, vol. 39, mai/juin 1961, pp. 57-64.

Méthode originale de « brainstorming » mise au point par Lockheed Aircraft Corporation : On demande à des experts de différents domaines : recherche, études techniques, études commerciales, gestion financière, etc., de jouer le rôle des directeurs responsables des décisions d'une entreprise cliente et, de ce point de vue, d'apprécier les divers plans possibles à long terme.

103. Carter, Anne P., *The Economy of Technological Change* (« Aspects économiques de l'évolution technologique »), Scientific American, vol. 124, n° 4, avril 1966, pp. 25-31.

Comptes rendus de travaux effectués dans le cadre du Harvard Economic Project, afin d'identifier les caractéristiques de l'évolution technologique au niveau des agrégats, par la comparaison des tableaux d'entrées/sorties de l'économie des États-Unis pour 1947 et 1958.

104. Cetron, Marvin J., *PROFILE - Programmed Functional Indices for Laboratory Evaluation* (« Profile : Indices fonctionnels planifiés pour les appréciations au niveau du laboratoire »), Dissertation, American University, Washington, D.C., en préparation; résumé de la conférence de l'US Navy Marine Engineering Laboratory, Annapolis, Maryland, en date du 9 août 1965, présenté au 16th Military Operations Research Symposium, 12 oct. 1965, 17 pages.

Brève description du schéma d'analyse numérique proposé pour la classification des projets de recherche et de développement applicables à la prévision technologique de la Marine des États-Unis.

104*a*. Cetron, Marvin J.; Martino, Joseph; et Roepcke, L., *The Selection of R and D Program Content - Survey of Quantitative Methods* (« Choix des éléments d'un programme de R et D - Examen des méthodes quantitatives »), IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-14, nº 1, mars 1967.

Description de 30 techniques quantitatives utilisées actuellement — leurs caractéristiques, facilité d'emploi et domaines d'application. En annexe, 220 références bibliographiques.

105. Cheaney, E.S., *Technical Forecasting as a Basis for Planning* (« La prévision technologique comme base de planification »), avec une Annexe « A Technique for Forecasting the Attainability of Technical Concepts » par R.J. McCrory, document ASME 66-MD-67, présenté à la Design Engineering Conference, Chicago, Ill., 9-12 mai 1966, (American Society of Mechanical Engineers), New York.

Brève étude des méthodes de prévision technologique, adoptant la typologie de Lenz (voir *réf. bibl. 151*), suivie d'une description des méthodes mises au point et utilisées par le Battelle Memorial Institute : graphes de pertinence pour les prévisions normatives, évaluation du chemin critique avec une matrice de prévision correspondante, et concept de prévision exploratoire probabiliste utilisant une formulation mathématique de la propagation de la variance.

106. Churchman, C.W.; Ackoff, R.L.; Arnoff, E.L., *Introduction to Operations Research* (« Introduction à la recherche opérationnelle »), John Wiley & Sons, New York, 1957.

Ouvrage classique sur la recherche opérationnelle, comprenant des exposés fondamentaux sur le principe des graphes de pertinence ou de décision, désormais très important pour la prévision technologique normative.

107. Clark, Charles H., *Brainstorming - the Dynamic New Way to Create Successful Ideas* (« Nouvelle méthode dynamique pour la génération d'idées fécondes »), Doubleday & Co., Inc., Garden City, N.Y. 1958, 262 pages.

Compte rendu éloquent des avantages du « brainstorming » systématique, notamment selon les méthodes proposées dans les années 50 par la grande entreprise de publicité BBDO, de Buffalo. On peut considérer que le principal intérêt de l'ouvrage réside dans un certain nombre d'exemples pratiques tirés de l'industrie américaine. A cette époque, on ne prévoyait pas les raffinements du « brainstorming », tels que l'analyse par le personnel d'étude, les séries répétées de séances, etc.

108. Combs, Cecil E., *Decision Theory and Engineering Management* (« La théorie de la décision et la gestion technique »), IRE Transactions on Engineering Management, vol. EM-9, nº 4, déc. 1962, pp. 149-154.

Examen général des applications possibles.

109. Cornell Aeronautical Laboratory, *LRTP Mathematical Model Brochure* (« Notice sur un modèle mathématique de planification technologique à long terme »), Rapport du Cornell Aeronautical Laboratory, nº VQ-2044-H-3, établi pour l'US Army Material Command, 30 oct. 1965.

Modèle de sélection analytique programmé pour ordinateur IBM 7090, afin de faciliter la synthèse de l'information dans le processus de planification, et de déterminer ainsi les priorités des tâches de planification technologique à long terme.

110. Cramer, R.H., et Smith, B.E., *Decision Models for the Selection of Research Projects* (« Modèles de décision pour la sélection des projets de recherche »), The Engineering Economist, vol. 9, nº 2, janv.-fév. 1964, pp. 1-20.

Résumé de la *réf. bibl. 91 :* méthode fondée sur l'analyse économique et la recherche opérationnelle. Application de la théorie de l'utilité et du choix des dossiers au problème de la sélection des projets de recherche. Pour chaque projet possible, on évalue les valeurs nettes et les probabilités de réalisation afin d'obtenir des courbes d'utilité. On peut classer les projets sur la base de la valeur prévue ou de l'utilité estimée. Les auteurs mentionnent également l'absence d'indépendance des projets.

111. Cress, H.A., et Cheaney, E.S., *Determining Design Feasibility* (« Détermination de la possibilité de réalisation d'un projet »). Document ASME 63-MD-4, présenté à la Design Engineering Conference, mai 1963, ASME (American Society of Mechanical Engineers), New York.

Adaptation de la prévision technologique à la « Design Method », mise au point par le Battelle Memorial Institute. Voir aussi la *réf. bibl. 214.*

112. Dal Monte, Giorgio, *Leggi naturali di sviluppo delle communicazioni : traffici ed utenze* (« Lois naturelles de développement des communications : trafic et utilisation »), Présenté au XII Convegno Internazionale delle Communicazioni, 8-12 oct. 1964, Gênes, 27 pages.

La croissance des abonnements téléphoniques est donnée par une formule mathématique fondée sur la corrélation avec le revenu national par habitant, au moyen d'une loi de Gompertz, de sorte que l'on peut tenir compte des déphasages entre les développements des différents pays. Il est alors possible de tracer la courbe de croissance téléphonique d'un pays particulier à l'aide de cette fonction générale et d'une deuxième fonction, propre au pays considéré.

113. Dean, B.V., et Sengupta, S.S., *Research Budgeting and Project Selection* (« Financement de la recherche et sélection des projets »), dans : « Special Section on Project Selection and Budgeting in R & D », IRE Transactions on Engineering Management, vol. EM-9, n° 4, déc. 1962, pp. 148-169.

Méthode associant l'analyse économique et la recherche opérationnelle. L'analyse économique des expériences passées d'une société, dans les domaines de la recherche des produits et de la recherche des procédés, fournit des expressions empiriques révélatrices des effets associés au montant global d'un budget de recherche — et permet de déterminer un budget de recherche total — pour différentes classes de projets de recherche. On classe ensuite les nouveaux projets en groupes possédant diverses probabilités de succès et, en suivant des méthodes empiriques, on calcule la valeur nette actualisée de chaque projet. Le critère de sélection adopté est la valeur nette actualisée maximale sous contrainte budgétaire. Les auteurs suggèrent l'utilisation d'une programmation linéaire, fondée sur une analyse empirique.

114. Disman, Solomon, *Selecting R & D Projects for Profit* (« Choix des projets de recherche et de développement en vue du profit »), Chemical Engineering, vol. 69, 24 déc. 1962, pp. 87-90.

Méthode fondée sur l'analyse économique, qui utilise l'évaluation du taux des bénéfices attendus des dépenses de recherche et de développement pour déterminer les dépenses maximales justifiables pour un certain projet. Les résultats ainsi obtenus, multipliés par un facteur de risque de réussite technique et commerciale, permettent de classer les projets les uns par rapport aux autres.

115. Economic Commission for Africa, *Methods of Forecasting Future Demand for Electric Energy* (« Méthodes de prévision de la demande future en énergie électrique »), Conseil économique et social des Nations Unies, New York, rapport E/CN.14/EP/20, 12 juin 1963. Addendum « Long-term forecasts of development of demand and production of electric power », (« Prévisions à long terme de l'évolution de la demande et de la production d'électricité »), rapport E/CN. 14/EP/20/Add. 2, 22 octobre 1963, 16 et 11 pages.

Revue des méthodes d'extrapolation des tendances, d'analyse de régression, et de planification des systèmes globaux.

116. Commission Économique pour l'Europe, *Méthodes et principes de projection des besoins énergétiques futurs*, rapport ST/ECE/ENERGY/2, Nations Unies, New York, 1964, 88 pages, plus annexes. N° de référence à la vente : 64.II.E/Mim. 13.

Enquête approfondie et étude critique. Dans les méthodes examinées, le progrès technique se reflète par des variations progressives des indices de productivité; par des réductions des frais de fonctionnement et des dépenses en capital; et par des indices exprimant les variations de la production en fonction du changement dans l'emploi de main-d'œuvre. Il y est joint une bibliographie de 88 titres.

117. Esch, Maurice E., *Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers* (« Aide à la planification au moyen d'une évaluation technique de nombres de pertinence »), Proceedings of the 17th National Aerospace Electronics Conference, held at Dayton, Ohio, 10-12 mai 1965, pp. 346-351, IEEE—Institute of Electronics and Electrotechnical Engineers, New York, 1965.

Description de la méthode PATTERN de Honeywell, utilisant les arbres de pertinence, par le directeur du Département des Sciences militaires et spatiales de Honeywell, lieu d'origine de la méthode PATTERN.

118. Fange, Eugene K. von, *Professional Creativity* (« Créativité professionnelle »).

Examiné à la *réf. bibl. 137*. Définit les règles fondamentales des séances de « Brainsstorming ».

119. Fontela E.; Gabus, A.; et Velay, C. *Forecasting Socio-Economic Change* (« Prévision de l'évolution socio-économique »), Science Journal, sept. 1965, pp. 81-88.

Description sommaire de l'étude effectuée par le Battelle Memorial Institute, à Genève, afin de déterminer les structures socio-économiques de plusieurs pays européens en 1975. Cette étude utilise des prévisions démographiques et des caractéristiques structurelles de population, et plus particulièrement de la structure de l'emploi, de l'éducation et du revenu, afin de prévoir la structure de la consommation. Elle ne tient pas compte explicitement des techniques nouvelles, mais les résultats peuvent avoir une influence significative sur la planification des techniques futures.

120. Forrester, Jay W., *Industrial Dynamics - A Major Breakthrough for Decision Makers* (« Dynamique industrielle : une percée essentielle pour les responsables des décisions »), Harvard Business Review, vol. 36, nº 4, juillet/août 1958, pp. 37-66.

Expose un modèle de dynamique industrielle en boucle fermée, que l'on peut également utiliser pour la mise au point de modèles dynamiques de prévision technologique; voir également Lenz, *réf. bibl. 151*, où une méthode analogue a été essayée.

121. Freeman, Raoul J,. *R & D Management Research* (« Gestion de la R-D »). Memorandum P-3216, The RAND Corporation, Santa Monica, Calif., août 1965, 8 pages.

Brève étude des analyses quantitatives de la gestion de la recherche et nouvelles idées pour la mise au point de décisions au moyen de l'analyse numérique, etc.

122. Freeman, Raoul J., *A Stochastic Model for Determining the Size and Allocation of the Research Budget* (« Modèle stochastique permettant de déterminer l'importance d'un budget de recherche et son affectation »), IRE Transactions of Engineering Management, vol. EM-7, nº 1, mars 1960, pp. 2-7.

Méthode fondée sur la recherche opérationnelle, utilisant une programmation linéaire pour déterminer l'importance des budgets de recherche et leur affectation aux projets concurrents, pour lesquels ont été faites des évaluations des distributions de probabilité de la valeur nette. Un exemple hypothétique illustre la méthode.

123. Fucks, Wilhelm, *Formeln zur Macht* (« Formules pour le pouvoir »), Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart, 1965.

L'éminent professeur de la physique des plasmas, à l'Université technique d'Aix-la-Chapelle, tente de prévoir les structures futures du pouvoir politique, en ne faisant appel qu'à trois paramètres : la population, la production d'acier et la consommation d'énergie. Il examine différentes combinaisons, en les comparant de manière empirique aux structures actuelles et à un futur « plausible ». La formule adoptée s'énonce : « Le pouvoir est équivalent à la somme de la production d'acier et du produit de la consommation d'énergie par la racine cubique du chiffre de la population ». Sur la base d'hypothèses, assez douteuses, de l'évolution de la production d'énergie et de l'acier dans divers pays, le résultat montre que la Chine, prenant son essor dans quelques années, dépassera la Russie en 1970, laissant derrière elle l'ensemble des États-Unis et de l'Union de l'Europe occidentale en 1980, et devenant égale à l'Alliance occiden-

tale plus la Russie en 1985. Exemple étonnant de prévision réalisée avec aussi peu de nuances que possible.

124. Gargiulo, G.R.; Hannock, J.; Hortz, D.B.; Zang, T., *Developing Systematic Procedures for Directing Research Programs* (« Mise au point de méthodes systématiques de gestion des programmes de recherche »), IRE Transactions on Engineering Management, vol. EM-8, nº 1, mars 1961, pp. 24-29.

Méthode fondée sur la théorie de la décision. Les auteurs proposent deux systèmes : *a*) un Système de présentation des données, permettant d'enregistrer, sous forme matricielle, la situation, l'avancement et les programmes, en termes d'affectation des ressources; *b*) un Système d'évaluation, qui tient compte des aspects techniques, économiques et temporels. Ils retiennent onze facteurs d'importance égale — comprenant certains raffinements intéressants comme « l'enthousiasme escompté du chef du projet », — les évaluent et les enregistrent sur des « fiches de notation de projet », dans trois classes de valeurs : avis favorable, sans opinion, avis défavorable. Aucune analyse numérique n'est proposée, car on ne distingue aucune différence dans l'importance de ces onze facteurs. On regroupe enfin les facteurs économiques et techniques afin d'obtenir des notes de 1 à 10.

125. General Electric Co., *Today's Decisions... Tomorrow's Results - Dollar Planning Model* (« Décisions d'aujourd'hui... Résultats de demain, Modèle de planification fondé sur la valeur monétaire »), General Electric, Light Military Electronics Department, Utica, N.Y. 31 août 1960.

Les nouvelles possibilités commerciales sont définies, par des « équipes » spécialisées pour les divers produits, selon trois niveaux d'évaluation : minimum, probable, maximum. Le modèle comprend également une planification réelle de la recherche et du développement.

126. Goddard, F.E., Jr., et al., *A Technique for Estimating Funding and Manpower Requirements for Research and Development Long-Range Planning* (« Méthode permettant d'évaluer les besoins financiers et les besoins de main-d'œuvre, en vue de la planification à long terme de la recherche et du développement »), JPL Planning report 35-6 Rev. 1, NASA CR-53571, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Californie, 8 nov. 1962. NASA Scientific and Technical Information facility number N 64-18450,

Non analysé.

127. Gordon, William J.J., *Operational Approach to Creativity* (« Méthode opérationnelle de créativité »), Harvard Business Review, vol. 34, nº 6, nov.-déc. 1956, p. 51.

Dans une séance de « brainstorming », seul le chef du groupe connaît la nature exacte du problème, et organise la discussion afin de la diriger vers les questions voulues.

128. Granger, Charles H., *The Hierarchy of Objectives* (« La hiérarchie des objectifs »), Harvard Business Review, vol. 42, nº 3, mai-juin 1964, pp. 63-74.

Méthode fondée sur la théorie de la décision, et utilisant le principe du graphe de pertinence.

129. Green, Paul E., *Bayesian Statistics and Product Decisions* (« Statistiques de Bayes et décisions relatives aux produits »), Business Horizons, Fall 1962, p. 101 et suiv.

Préparation des décisions dans des conditions incertaines, surtout dans le cas où il s'agit de lancer des produits nouveaux ou améliorés. Il est possible d'analyser les délais optimaux, et d'autres aspects de la question.

130. Griliches, Zvi, *Production Functions in Manufacturing: Some Preliminary Results* (« Fonctions de production dans la fabrication : quelques résultats préliminaires »), Exposé présenté à la Conférence on Research in Income and Wealth, 15-16 oct. 1965, National Bureau of Economic Research, Inc., New York; Rapport 6509, Center for Mathematical Studies in Business and Economics, University of Chicago, Chicago, Illinois, 15 déc. 1965.

Premier compte rendu d'exécution d'un programme de recherche sur les principales sources de croissance de la productivité dans les industries manufacturières aux États-Unis, après la deuxième guerre mondiale. L'analyse se propose de déterminer une relation de production fondée sur le nombre d'hommes-heures, le capital, diverses

mesures de la qualité du capital et de la main-d'œuvre, des coefficients de production industrielle et des variables fictives de l'état de la technique, assorties de perturbations aléatoires. Après avoir étudié les conséquences pour la mesure de l'évolution technique des fabrications, l'auteur envisage de vérifier les fonctions de production avec les données du Recensement de 1963.

131. Haase, R.H., et Holden, W.H.T., *Performances of Land Transportation Vehicles* («Performances des moyens de transport terrestres»), Memorandum RM-3966-RC, The RAND Corporation, Santa Monica, Californie, janv. 1964, 138 pages.

Compte rendu détaillé d'une analyse de système qui est censée conduire à l'identification des moyens de transport possibles de l'avenir. Les cinq catégories suivantes constituent les « modules de construction » physiques d'un système de transport généralisé : véhicules, systèmes de propulsion, voies et structures associées, moyens de stockage et d'entretien, et systèmes de commande. Chaque composante est décrite en fonction des pressions économiques et techniques actuelles ou en cours de développement, et l'on en déduit des formules mathématiques. On attribue ensuite à chaque composante la forme qu'elle aura probablement dans l'avenir proche. Les performances des systèmes de transport terrestre et les équations qui en sont déduites pour la circulation sont fondées sur une analyse des combinaisons véhicules-systèmes de propulsion.

132. Hart, Hornell, *Predicting Future Trends* (« Prédiction des tendances futures »), dans *Technology and Social Change* (« Technologie et évolution sociale », Allen, Hart, et al. (éd.), Appleton-Century-Crofts, New York, 1957.

Non analysé.

133. Hartman, Lawton M., Conférence sur la prévision technologique, présentée au Séminaire de planification collective multi-nationale, Institut Européen d'Administration des Affaires, Fontainebleau-Avon (France), sept. 1964, à paraître dans : *Multinational Corporate Planning* (« Planification collective multi-nationale »), Steiner, George A., et Cannon, Warren (éditeurs). Crowell-Collier/Macmillan, 1966.

L'auteur développe, par analogie avec un processus de réaction physique d'un gaz, un modèle mathématique de croissance de l'information qui peut se révéler utile pour une meilleure évaluation des tendances et des facteurs dominants dans certaines techniques particulières.

133*a*. Heinlien, Robert A., *The Worlds of Robert A. Heinlien* (« Les mondes de Robert A. Heinlien »), Ace Books, New York, 1966.

La philosophie de l'extrapolation des tendances.

134. Helmer, Olaf, *Social Technology* (« Technologie sociale »), rapport P-3063, The RAND Corporation, Santa Monica, Californie, fév. 1965. Traduction française sous le titre *Technologie sociale*, dans Analyse et Prévision, Tome 1, n° 1, Paris, janv. 1966. Reproduit partiellement dans la *réf. bibl. 134a.*

Description générale des méthodes de prévision applicables à la technologie sociale, telles que la construction de modèles opérationnels, la rédaction de scénarios, l'utilisation systématique d'experts, etc.

134*a*. Helmer, Olaf, *Social Technology* (« Technologie sociale »), Basic Books, New York et Londres, 1966.

Condensé des rapports des *réf. bibl. 134* et *269*, et nouvelle formulation d'un cadre général pour la prévision dans le domaine de la technologie sociale.

135. Hess, Sidney W., *A Dynamic Programming Approach to R and D Budgeting and Project Selection* (« Méthode de programmation dynamique pour la sélection des projets de recherche et de développement et la fixation des budgets correspondants »), dans : « Special Section on Project Selection and Budgeting in R & D », (Section spéciale sur la sélection des projets et la détermination des budgets de recherche et de développement), IRE Transactions on Engineering Management, vol. EM-9, n° 4, déc. 1962, pp. 170-179.

Méthode fondée sur la recherche opérationnelle, tenant compte des caractéristiques de décision séquentielles, c'est-à-dire de ré-évaluations à différentes étapes du projet, permettant d'évaluer la probabilité de réussite et la valeur brute actualisée. Le critère

de sélection est la maximisation de la valeur nette totale attendue, avec ou sans les contraintes budgétaires initiales. On détermine pour chaque phase les dépenses optimales du projet en utilisant une programmation dynamique. Ce modèle a été apparemment mis au point pour l'industrie pharmaceutique, dans laquelle les projets sont généralement entrepris sans objectif particulier, afin de profiter des résultats des examens des différentes étapes du projet.

136. Hetrick, J.C., et Kimball, G.E., *A Model for the Discovery and Application of Knowledge* (« Modèle de découverte et d'utilisation des connaissances » dans : *Basic Research in the Navy* (« Les recherches fondamentales dans la Marine), vol. II, US Department of Commerce, Washington, D.C. 1959, pp. 5-29.

Les connaissances sont réparties entre les faits inconnus, les faits connus, mais non appliqués, et les faits appliqués, compte tenu de certains niveaux d'effort et de taux de transition. Le modèle vise à faciliter l'analyse, dans le but d'équilibrer les efforts.

137. Hinrichs, John R., *Creativity in Industrial Scientific Research; A Critical Survey of Current Opinion, Theory, and Knowledge* (« Créativité dans la recherche scientifique industrielle »), AMA Management Bulletin nº 12, American Management Association, New York, 1961.

L'auteur analyse, entre autres, différentes conceptions de « brainstorming », et les méthodes voisines des « groupes de discussion » — « buzz groups » — et « d'activité opérationnelle ».)

138. Hoess, Joseph A., *A Discipline for Both Obtaining and Evaluating Alternative Product Concepts* (« Méthode permettant d'obtenir et d'évaluer différents concepts de produits »), Rapport ASME 66-MD-87, présenté à la Design Engineering Conference, Chicago, Ill., 9-12 mai 1966, ASME (American Society of Mechanical Engineers), New York.

Deux méthodes mises au point au Battelle Memorial Institute, utilisées dans le cadre de la « Design Method » : l'une repose sur la théorie de la décision et conduit à un « profil des besoins »; l'autre, fondée sur l'analyse économique, tient compte de l'utilité pour le client et d'une évaluation des risques.

139. Horowitz, Ira, *Evaluation of the Results of Research and Development: Where We Stand* (« Évaluation des résultats de la recherche et du développement : où en sommes-nous? »), IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-10, nº 2, juin 1963, pp. 42-51.

L'auteur examine les efforts actuels sur trois niveaux : le plan général macroscopique, le niveau de l'entreprise, le niveau du projet individuel. Il en conclut que l'ensemble de la question se présente encore mal.

140. Imperial Chemical Industries, *Mathematical Trend Curves - An Aid to Forecasting* (« Les courbes mathématiques descendantes; Instruments de prévision »), ICI Monograph nº 1, Londres, 1964.

Approximation empirique des tendances à l'aide de méthodes statistiques.

141. Isenson, Raymond S., *Technological Forecasting: A Planning Tool* (« La prévision technologique : un outil pour la planification »). Exposé présenté au Séminaire de planification collective multi-nationale (Institut Européen d'Administration des Affaires), Fontainebleau-Avon (France), 9 sept. 1964, publié dans : *Multinational Corporate Planning* (Planification collective multi-nationale), Steiner, George A., et Cannon, Warren (éditeurs), Crowell-Collier/Macmillan, 1966.

Étude essentiellement consacrée à l'évaluation des tendances de paramètres techniques.

142. Isenson, Raymond S., *Technological Forecasting in Perspective* (« Vue d'ensemble de la prévision technologique »), manuscrit, fév. 1966, 24 pages à paraître dans « Management Science. »

Après une brève étude de quelques méthodes publiées concernant la prévision technologique, l'auteur propose une équation de prévision technologique, par analogie avec le développement de la littérature scientifique. Il en tire des formules semi-empiriques, qui sont censées fournir des éléments d'appréciation sur la croissance de l'information dans des techniques particulières, ainsi que pour la compréhension des facteurs dominants, comme le financement, le nombre des scientifiques, les communications, etc.

143. Jestice, Aaron L., *Project PATTERN - Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers* (« Projet PATTERN; Aide à la planification par une évaluation technique de nombres de pertinence), Exposé présenté à la Joint National Meeting Operations Research Society of American et à l'Institute of Management Sciences, Minneapolis. Minnesota, 7-9 oct. 1964. Pamphlet, Honeywell Inc., Washington D.C., 25 pages.

La description la plus complète que l'on puisse se procurer sur la méthode du graphe de pertinence de Honeywell pour la préparation des décisions.

144. Jouvenel, Bertrand de, *L'Art de la Conjecture*, dans « Futuribles », Édition du Rocher, Monaco, 1964, 369 pages plus index. Traduction anglaise, « The Art of Conjecture », Basic Books Inc., New York, 1967.

Traité classique sur la prévision, sa philosophie en général, les attitudes et les techniques quantitatives utilisées, principalement dans les domaines de la prévision économique et sociale. Un des chapitres propose certaines solutions dans le sens des « institutions vigies » et amorce l'étude des interactions existant entre la prévision technologique et la prévision sociale. Assorti de très nombreuses références bibliographiques, l'ouvrage constitue une véritable synthèse des grands courants de pensée qui s'efforcent actuellement d'expliquer et de programmer l'avenir.

145. Kaplan, A.; Skogstad, A.L.; et Ginshick, M.A., *The Prediction of Scientific and Technological Events* (« La prédiction des évènements scientifiques et techniques »), Public Opinion Quarterly, Printemps 1950.

Non analysé.

146. Kiefer, David M., *Winds of Change in Industrial Chemical Research* (« Un vent de changement dans la recherche chimique industrielle »), Chemical and Engineering News, vol. 42, numéro du 23 mars 1964, pp. 88-109.

Étude des attitudes et des techniques associées à la prévision technologique, telle qu'elle est pratiquée dans l'industrie chimique des États-Unis. Les méthodes étudiées comprennent les listes de contrôle, diverses méthodes d'analyse économique, et des modèles économiques. L'auteur en examine les utilisations et l'expérience acquise dans ce domaine.

147. Klass, Philip J., Part I : *New Approach Pinpoints Vital R & D Needs* 1re Partie : « Une nouvelle méthode révèle les besoins vitaux de la recherche et du développement »), Aviation Week and Space Technology, 28 déc. 1964; Part II : *Rating System Gives Planning Priorities* (2e Partie : « Un système de classification détermine les priorités des programmes »), Aviation Week and Space Technology, 4 janv. 1965.

Méthode PATTERN de Honeywell; graphes de pertinence à plusieurs niveaux pour la préparation des décisions.

148. Kotler, P., *Marketing Mix Decisions for New Products* (« Décisions commerciales sur les nouveaux produits »), Journal of Marketing Research, vol. I, no 1, fév. 1964.

L'auteur propose une méthode d'évaluation des risques, faisant appel pour chaque société à la mise au point de courbes d'indifférence pour le bénéfice escompté en fonction du risque.

149. Lancoud, Ch., et Trachsel, R., *Nouvelle étude du développement probable du téléphone en Suisse/Neue Studie über die wahrscheinliche Entwicklung des Telephons in der Schweiz*, Bulletin Technique PTT/Technische Mitteilungen PTT (en français et en allemand), PTT Berne (Suisse), no 12, 1963, pp. 1-31.

Étude considérée comme un « classique » du genre. Prévision probabiliste fondée sur l'équation de Bernoulli, effectuée en 1956. Dès 1962, elle était sensiblement inférieure à la réalité. Les auteurs introduisent un nouveau facteur, qui tient compte de « l'attrait » résultant d'un accroissement du nombre régional ou total des téléphones : plus ce nombre est élevé, plus l'abonné y trouve d'avantages. Cette notion d' « attrait » ou facteur de « valeur » peut également s'appliquer à l'accueil fait aux techniques nouvelles dans d'autres domaines.

150. Larsen, Finn J., *Long-Range Programming at Honeywell* (« Planification à long terme à Honeywell », dans le document de travail DAS/RS/65.121 « Conférence Amérique

du Nord/Europe sur l'administration de la recherche », Monte Carlo, 22-24 fév. 1965, OCDE, Paris, 28 juin 1965 (Diffusion restreinte; publication envisagée par « Research Management » en 1967, et peut-être par l'OCDE.)

Description de la méthode PATTERN, graphe de pertinence à plusieurs niveaux, par Larsen, qui était à l'époque Directeur des recherches de Honeywell.

151. Lenz, Ralph Charles, Jr., *Technological Forecasting* (« Prévision technologique »), deuxième édition Rapport, ASD-TDR-62-414, Aeronautical Systems Division, Air Force Systems Command, US Air Force, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, juin 1962. Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Literature number AD-408.085, 106 pages.

Extrait du résumé rédigé par l'auteur : cette étude expose plusieurs méthodes permettant de prévoir le rythme du progrès technologique, par extrapolation du rythme actuel; par analogie avec les processus de croissance biologique; par l'étude des événements annonciateurs; par extrapolation de tendances primaires; par l'interprétation des caractéristiques des tendances; par la simulation dynamique du processus de progrès technique. Les travaux comportaient une recherche bibliographique portant sur les principes du progrès technique et sur les méthodes utilisées pour les prévisions.

152. Leontief, Wassily, *Input Output Economics* (« Aspects économiques de l'analyse d'input/output »), Oxford University Press, New York, 1966.

L'ultime état de l'analyse d'input-output, présenté par son « ré-inventeur ».

153. Lilley, S., *Can Prediction Become a Science?* (« La prédiction peut-elle devenir une science ? »), Discovery, nov. 1946, reproduit dans The Sociology of Science, B. Barber et W. Hirsch (éd.), The Free Press, Glencoe, 1962.

Non analysé.

154. Lovewell, P.J., et Bruce, R.D., *How We Predict Technological Change* (« Comment prédire l'évolution technique »), New Scientist, vol. 13 (1963), pp. 370-373.

Bref exposé de la stratégie employée par le Service de planification à long terme du Stanford Research Institute, insistant sur l'importance d'une considération synthétique de nombreux facteurs, et décomposant les opérations de prévision en trois phases : niveau de réalisation, applications et perspectives, conséquences de l'évolution technologique.

155. Maestre, *Note sur quelques éléments méthodologiques d'une stratégie nationale de la recherche*, document non publié, Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique, Paris, 1965, 45 pages.

Des matrices de recherche/production et de recherche/recherche ont été mises au point pour la représentation de l'économie nationale française. L'auteur examine leurs possibilités d'utilisation en vue de prévisions technologiques normatives au niveau des agrégats.

156. Magee, John F., *Decision trees for decision making* (« Graphes de décision pour la préparation des décisions »), Harvard Business Review, vol. 42, juillet/août 1964, pp. 126-138.

Exposé général de la méthode des graphes de décision, qui prend actuellement une importance considérable pour la prévision technologique normative.

157. Mansfield, Edwin, et Hensley, Carlton, *The Logistic Process: Tables of the Stochastic Epidemic Curve and Applications* (« Le processus logistique : tables de la courbe épidémique stochastique et applications »), The Journal of the Royal Statistical Society, 1960, pp. 332-337; Réimpression n° 60, Graduate School of Industrial Administration, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, Pennsylvanie, 1960.

Traitement mathématique de la croissance logistique, tenant compte des distributions de probabilités. L'ouvrage donne des tables très complètes. La formule utilisée est applicable au progrès technique en fonction du temps, par exemple à la diffusion des nouvelles techniques.

158. Mansfield, Edwin, *Rates of Return from Industrial Research and Development* (« Taux de rendement de la recherche et du développement industriels »), The American Economic Review, vol. LV, n° 2, mai 1965, pp. 310-322.

Résultats préliminaires et provisoires d'une recherche visant à trouver une méthode de calcul du taux de profit marginal des dépenses de recherche et de développement, dans l'hypothèse où un modèle de production simple est applicable, l'ensemble de l'évolution technique étant localisé dans les investissements ou dans l'organisation. Les évaluations obtenues par cette méthode sont comparées numériquement aux valeurs mesurées dans plusieurs entreprises des États-Unis.

159. McCrory, R.J., *The Development of a Methodology for Evaluating Potential Weapons Concepts* (« Mise au point d'une méthodologie permettant d'évaluer des concepts d'armes possibles »), proposition établie pour le US Army Material Command, Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, 17 déc. 1963.

Méthode permettant d'évaluer la probabilité d'un concept d'armes donné à mettre au point à une date déterminée, ou à la date à laquelle le système aurait des chances de devenir opérationnel. Les méthodes envisagées sont celles étudiées dans la *réf. bibl. 105*.

160. Meadow, Arnold; et Parnes, Sidney J., *Evaluation of Training in Creative Problem Solving* (« Formation permettant de résoudre les problèmes de créativité »), Journal of Applied Psychology, vol. 43, n° 3, juin 1959, pp. 189-194.

L'expérience du « brainstorming » permet d'améliorer les résultats des discussions.

161. Meadow, Arnold; Parnes, Sidney J.; et Reese, Hayne, *Influence of Brainstorming and Problem Sequence on a Creative Problem Solving Test* (Rôle du « brainstorming » et de l'exposé séquentiel des problèmes dans une expérience de solution créative), Journal of Applied Psychology, vol. 43, n° 6, déc. 1959, p. 314.

On obtient plus de « bonnes » idées si l'on admet toutes les idées, même les plus lointaines, que si l'on ne demande que de « bonnes » idées.

162. Mitchell, R.S., *On the Theory of Value* (« De la théorie de la valeur »). Rapport n° TN-1579, CARDE - Canadian Armament Research and Development Establishment, juin 1964, 20 pages, US Defense Documentation Center number AD-448.078.

Problèmes posés par l'évaluation des travaux associés à un objectif de recherche et de développement, et par l'évaluation de l'objectif lui-même. L'auteur propose une expression formelle pour l'évaluation de l'objectif.

163. Mottley, C.M., et Newton, R.D., *The Selection of Projects for Industrial Research* (« La sélection des projets de recherche industrielle »), Operations Research, vol. 7, nov./déc. 1959, pp. 740-751.

Méthode fondée sur la théorie de la décision, mise au point pour l'entreprise pharmaceutique Chas. Pfizer & Co., Inc., New York. Pour chaque projet, on attribue des notes comprises entre 1 et 3, et correspondant approximativement à des évaluations telles que « imprévisible », « bon(ne) », « élevé(e) », en fonction de cinq critères : probabilité de réussite, durée d'achèvement, coût du projet, nécessité stratégique, gain commercial. La note du projet est le produit de ces cinq notations.

164. Neumann, John von; et Morgenstern, Oskar, *Theory of Games and Economic Behaviour* (« Théorie des jeux et comportement économique »), édition révisée, Princeton University Press, Princeton, 1955.

Ouvrage original sur la théorie des jeux et son application dans un contexte économique ou commercial.

165. Ozbekhan, Hasan, *The Idea of a « Look-Out » Institution* (« L'idée d'une institution vigie »), System Development Corporation, Santa Monica, Calif., mars 1965, 20 pages.

L'auteur propose l'idée d'institutions « vigies », dont le rôle serait de concevoir des futurs possibles, de créer des normes de comparaison entre les futurs possibles, de définir les façons de parvenir à ces futurs possibles au moyen des ressources physiques, humaines, intellectuelles et politiques, que la situation actuelle permet d'évaluer. L'ouvrage comprend une étude intéressante, des méthodes possibles, dans le cadre de la technologie moderne de l'information.

166. Pardee, F.S., *State-of-the-Art Projection and Long-Range Planning of Applied Research* (« Projection de l'état de la technique et planification à long terme de la recherche

appliquée »), rapport P-3181, The RAND Corporation, Santa Monica, Californie, juillet 1965, 24 pages. Paraîtra également dans les Actes de la Second Conference on Research Program Effectiveness, organisée par l'Office of Naval Research, 28-29 juillet 1965, Washington, D.C.

Brève étude de quelques concepts facilitant la prévision technologique : domaines des estimations, listes de contrôle à notation numérique, etc. L'auteur propose aussi un système d'enregistrement simple permettant de suivre l'avancement des travaux.

167. Pound, William H., *Research Project Selection: Testing a Model in the Field* (« Sélection des projets de recherche : essais d'un modèle »), IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-11, n° 1, mars 1964, pp. 16-22.

Modèle de valeur prévue, fondé sur la théorie de la décision, qui attribue des pondérations numériques aux objectifs et, pour chaque projet particulier, les multiplie par l'intérêt attendu de la réalisation des objectifs. La note du projet est la somme de ces produits. Les objectifs envisagés comprennent l'obtention des bénéfices, la connaissance des jeux, etc. Ce modèle se réfère à un modèle général mis au point dans la *réf. bibl. 106*, pour les problèmes qui se posent dans un contexte industriel. Les essais du modèle ont donné de bons résultats.

167*a*. Prehoda, Robert W., *Technological Forecasting Methodology* (« Méthodologie pour la prévision technologique »), Electro-Optical Systems, Inc., Pasadena, Californie, 1966, 56 pages.

Techniques d'extrapolation des tendances, méthodes utilisées pour parfaire la réflexion intuitive, élaboration de scénarios, recherche morphologique.

168. Putnam, A., *State of the Art - A Mathematical Treatment* (« État de la technique : traitement mathématique »), document non publié, Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, 1964.

Décrit dans la *réf. bibl. 101* comme « fondé sur le concept d'une simulation dynamique du processus de croissance technologique ». L'auteur établit les équations des courbes de croissance classiques; il définit le rythme d'évolution de la technique selon les efforts qui y sont consacrés. Ces efforts s'expriment mathématiquement en fonction d'efforts de main-d'œuvre, de l'importance du groupe, des interactions individuelles, et de la « fertilisation croisée » des concepts. L'ouvrage postule également un modèle mathématique du processus de percée. »

169. Raiffa, Howard, et Schlaifer, Robert, *Applied Statistical Decision Theory* (« Théorie statistique appliquée à la préparation des décisions »), Harvard Graduate School of Business Administration, Boston, Mass., 1961.

Version améliorée de la *réf. bibl. 175*, étudiant l'application des statistiques de Bayes à la préparation des décisions.

170. Reitman, Walter R., *Heuristic Decision Procedures, Open Constraints, and the Structure of Ill-Defined Problems* (« Procédures de décision heuristiques, contraintes ouvertes et structure des problèmes mal définis »), dans Shelly, Bryan (éd.), *Human Judgments and Optimality* (« Jugements humains et optimalité »), J. Wiley & Sons, 1964.

Non analysé.

171. Richman, B.M., *A Rating Scale for Product Innovation* (« Une échelle de classement pour les innovations de produits »), Business Horizons, été 1962.

Méthode, fondée sur la théorie de la décision, en vue de classer les possibilités des nouveaux produits.

172. Rosen, E.M., et Sonder, W.E., *A Method for Allocating R & D Expenditures* (« Méthode d'attribution des fonds de recherche et de développement »), IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-12, n° 3, sept. 1965, pp. 87-92.

Légère variante de la méthode de recherche opérationnelle de Hess, fondée sur la programmation dynamique — voir la *réf. bibl. 135*. Les auteurs examinent divers critères pour les structures optimales de financement : *a*) maximisation du profit escompté; *b*) maximisation de la « production totale escomptée », c'est-à-dire du succès des recherches; *c*) obtention d'un profit égal au moins à 55 fois les dépenses non actualisées ; *d*) optimisation de la « production escomptée pendant la vie du produit », c'est-à-dire le succès commercial attendu au cours de la durée du produit.

173. Rosenbloom, Richard S., *Notes on the Development of Network Models for Resource Allocation in R & D Projects* (« Notes sur la mise au point d'une simulation sur réseaux pour l'attribution des ressources aux projets de R-D »), IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-11, nº 2, juin 1964, pp. 58-63.

Étude de l'application possible des méthodes de chemin critique et de la méthode PERT à l'analyse des compromis entre les coûts et le temps, et à l'attribution des ressources. L'auteur donne des idées pour les futures recherches.

174. Rostow, Walt W., *The Process of Economic Growth* (« Le processus de croissance économique »), W.W. Norton, New York, 1952.

Le modèle de Rostow comprend des « propensions » à développer les sciences fondamentales, à appliquer les sciences à l'industrie et à adopter les innovations. Ces « propensions », dans l'examen critique qu'en fait Siegel, sont des complexes culturels dépourvus de signification opérationnelle.

175. Schlaifer, Robert, *Probability and Statistics for Business Decisions* (« Probabilités et Statistiques pour la préparation des décisions dans les entreprises »), McGraw-Hill, New York, 1959.

Ouvrage original qui a conduit à faire entrer l'important concept des statistiques de Bayes dans la préparation des décisions des entreprises. Les statistiques de Bayes mettent en jeu explicitement des « distributions de probabilités antécédentes » pour chaque paramètre du problème. Une version améliorée en est donnée dans la *réf. bibl. 169.*

176. Siegel, Irving H., *Technological Change and Long-Run Forecasting* (« Évolution technologique et prévision à long terme »), The Journal of Business of the University of Chicago, vol. XXVI, nº 3, juillet 1953, pp. 141-156.

Un « classique » de la prévision technologique au niveau des agrégats, donnant des conclusions encore valables. Il traite particulièrement de la décomposition des systèmes d'agrégats au moyen d'une analyse détaillée, afin de leur donner une véritable signification opérationnelle. La proposition de Siegel relative aux études détaillées des relations inter-industrielles dans le cadre d'un tableau d'input-output est appliquée aujourd'hui dans des systèmes de prévision tels que MAPTEK.

177. Sigford, J.V., et Parvin, R.H., *Project PATTERN: A Methodology for Determining Relevance in Complex Decision-Marking* (« Le Projet PATTERN : méthodologie pour déterminer la pertinence dnas la préparation des décisions complexes »), IEEE. Transactions on Engineering Management, vol. EM-12, nº 1, mars 1965, pp. 9-13.

Description du système d'analyse numérique de Honeywell, dans lequel on compare les insuffisances actuelles des techniques aux objectifs nationaux, et dans lequel on détermine des priorités permettant de classer les projets de développement.

178. Smalter, Donald J., *The Influence of Department of Defense Practices on Corporate Planning* (« L'influence des méthodes utilisées par le ministère de la Défense sur la planification des entreprises »), Compte rendu du 7th Annual Symposium on Planning, mai 1964, College of Planning, The Institute of Management Sciences, Pleasantville, N.Y. 1965. A également paru dans Management Technology, vol. 4, nº 2, déc. 1964.

Comprend une étude sur une méthode matricielle tri-dimensionnelle, dont les dimensions sont les ressources, le temps et le marché : « P-E-P » ou « Project Exploratory Planning » (Planification exploratoire des Projets), et sa variante : « Management by Priority of Challenge » (Administration par les priorités des questions), mise au point par International Minerals and Chemicals, à Skokie, Illinois.

179. Swager, William L., *Technological Forecasting and Practical Business Plans for Petroleum Management* (« Prévision technologique et programmes économiques pratiques pour l'administration des sociétés pétrolières »), Battelle, Memorial Institute, Columbus, Ohio, 18 nov. 1965, 18 pages. Sera publié dans « Petroleum Management ».

En prévision, « Quoi ? » est plus important que « Comment ? » Les réseaux représentatifs du « milieu » et les « réseaux représentatifs des objectifs » aident à clarifier la structure des problèmes complexes et des diverses techniques possibles dans un secteur technique. Un modèle qualitatif de graphe de pertinence horizontal a été mis au point pour l'industrie pétrolière.

180. Sweezy, Eldon E., *Technological Forecasting - Principles and Techniques* (« Prévision technologique : principes et techniques »), Conférence présentée au Fourth Sympo-

sium of the Engineering Economy Division, The American Society for Engineering Education, 19 juin 1965, Chicago, Illinois.

L'auteur étudie principalement l'extrapolation des tendances et la représentation contextuelle.

181. Thomas, et McCrory, *The Selection of Military Concepts for Long-Range Research and Development* (« La sélection des concepts militaires pour la recherche et le développement à long terme »), proposition préparée pour l'US Army Material Command, Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, 25 fév. 1964.

Études complémentaires du concept étudié dans la *réf. bibl. 159*, y compris une méthode d'évaluation permettant de déterminer, entre plusieurs concepts d'armes possibles, celui qui a la plus grande probabilité d'être mis au point à une date future donnée. On peut simuler l'espace des décisions sur un calculateur analogique. Les auteurs proposent une méthode originale pour faire la synthèse des opinions des experts et pour mesurer la sensibilité de cette synthèse à une variation de l'opinion d'un expert donné.

182. US Army, *Guidebook - Technological Forecasting* (« Manuel de prévision technologique »), Research Planning Division, US Army Research Office, Arlington, Virginie, juillet 1962 (non secret).

Non analysé.

183. US Interagency Task Group on Technological Forecasting in the US Federal Government, *The Role of the Federal Government in Technological Forecasting* (« Le rôle du gouvernement fédéral dans la prévision technologique »). Rapport au President's Committee on Manpower and to the National Commission on Technology, Automation and Economic Progress, janv. 1966. 89 pages plus annexes. Un des éléments de base du Rapport au Président : *Technology and American Economy* (*réf. bibl. 383*).

Les auteurs s'intéressent principalement aux prévisions de la main-d'œuvre et aux problèmes d'enseignement et de formation, compte tenu de l'évolution technologique. La 1re Partie, portant sur « Le problème : la prévision et la prévision technologique », ainsi que l'Annexe 6 sur « La Méthodologie », qui donne en 42 pages un compte rendu assez rudimentaire avec un tableau de sept activités de prévision technologique et leurs caractéristiques, présentent un intérêt plus général. L'annexe 2 donne une Bibliographie partielle de la prévision dans des domaines techniques (90 titres).

184. US Navy Technological Forecasting Group, *Proposed Naval Technological Forecast* (« Prévision technologique navale »), rapport final (version non secrète). 29 avril 1966, 174 pages.

Les bases de la prévision technologique de la Marine des États-Unis, exposant deux méthodes complémentaires : les prévisions fondamentales — possibilités scientifiques, capacités technologiques, options probables relatives aux systèmes — et les études d'identification des besoins techniques. En d'autres termes, les auteurs associent dans un même système les méthodes orientées vers les possibilités et vers les missions. Le rapport comprend également un chapitre sur la méthodologie et une bibliographie de 49 titres sur la prévision technologique militaire, la plupart des documents mentionnés étant secrets.

185. Wagle, B., *Some Recent Developments in Forecasting Techniques* (« Quelques développements récents des techniques de prévision »), Esso Petroleum Co. Ltd., Londres. Publié en 1966 dans le Journal of the Inst. of Petroleum.

Revue des techniques de prévision, principalement dans le domaine commercial, et portant sur : *a*) le très court terme, c'est-à-dire moins de 6 mois : lissage exponentiel; *b*) le court terme, c'est-à-dire jusqu'à 2 ans : analyse des enquêtes, itération, méthode économétrique; *c*) le moyen et long terme, c'est-à-dire plus de deux ans : méthode économétrique, ajustement des courbes mathématiques.

186. Wagle, B., *Some Statistical Aids in Forecasting* (« Quelques moyens statistiques de prévision »), Rapport interne de l'Esso Petroleum Co. Ltd., Londres; introduction publiée sous le titre *A Review of Two Statistical Aids in Forecasting* (« Étude de deux statistiques en vue de la prévision »), The Statistician, vol. 15, nº 2 (1965).

Synthèse des développements de l'analyse de régression multiple, applicables à la prévision à long terme, et des techniques de lissage exponentiel et associées, applicables à la prévision à court terme.

187. Wagle, B., *A Statistical Analysis of Risk in Capital Investment Projects* (« Une analyse statistique du risque dans les projets d'investissement ») Esso Petroleum Co. Ltd., Londres; à paraître dans Operational Research Quarterly.

Étude des méthodes mathématiques permettant d'obtenir les distributions de probabilité de deux critères de profit largement utilisés : la valeur nette actuelle, et le taux de bénéfice interne, à partir de la moyenne et de la variance des facteurs individuels qui constituent la comptabilité financière.

187*a*. Zwicky, Fritz, *Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologische Weltbild*, Droemer-Knaur, Munich et Zurich, 1966, 268 pages.

Non analysé.

188. Zwicky, Fritz, *Morphological Astronomy* (« Astronomie morphologique »), Springer Verlag, Berlin, 1957, 299 pages.

Après une étude des aspects fondamentaux de sa « méthode morphologique », l'auteur examine de nombreuses applications aux problèmes de l'astronomie. Les méthodes de la morphologie « sans dimension », de la morphologie phénoménologique et de la morphologie dimensionnelle absolue, fournissent des méthodes de plus en plus puissantes d'étude, de construction d'appareils, et d'utilisation des données.

189. Zwicky, Fritz, *Morphologische Forschung* (« Recherche morphologique »), Buchdruckerei Winterthur A.G., Winterthur, Suisse, 111 pages. Peut être obtenu aux États-Unis, à la librairie du California Institute of Technology, Pasadena, Californie.

Traité général de la « méthode morphologique » de l'auteur, étudiant ses applications aux problèmes militaires, techniques, scientifiques et sociologiques.

190. Zwicky, Fritz, *Morphology of Propulsive Power* (« Morphologie de l'énergie propulsive »), Monographs on Morphological Research No. 1, Society for Morphological Research, Pasadena, Californie, 1962, 382 pages. Peut être obtenu à la librairie du California Institute of Technology, Pasadena, Californie.

La plus grande partie de l'ouvrage consiste en réimpression d'articles écrits par l'auteur dans le cadre de ses travaux sur la propulsion par réaction. Toutefois, certains paragraphes traitent des méthodes de la « recherche morphologique », que l'auteur a mises au point et utilisées : il s'agit d'un examen systématique de toutes les solutions possibles d'un problème donné, sans aucun parti pris, utilisant des représentations matricielles à autant de dimensions qu'il y a de paramètres fondamentaux. D'après l'auteur, cet ouvrage est le meilleur compte rendu publié de sa « méthode morphologique ». L'ouvrage est également intéressant en raison de nombreuses applications de la réflexion morphologique, et de la large perspective qui en a été déduite dans le domaine des voyages spatiaux : art de l'ingénieur « planétaire » et possibilité de modifier les orbites des planètes afin de les rendre habitables par l'homme.

Voir également les *réf. bibl. 199, 212, 213, 214, 257, 269, 280*a, *373, 378, 379*.

B.5. Organisation de la prévision technologique et de la planification dans l'industrie

191. American Management Association, *New Products - New Profits* (« Nouveaux produits; Nouveaux profits »), American Management Association, New York, 1964.

Comprend, par exemple, une description du système d'adaptation des « profils » à la recherche, à la production, au marché, à la situation des brevets, etc. mis au point par Du Pont.

192. Ansoff, H. Igor, *Corporate Strategy; An Analytic Approach to Business Policy for Growth and Expansion* (« Stratégie de l'entreprise : méthode analytique d'une politique commerciale de croissance et d'expansion »), McGraw-Hill, New York 1965.

Excellent ouvrage décrivant l'arrière-plan sur lequel il faut concevoir la prévision technologique dans les entreprises. Une caractéristique particulière en est le concept de synergie, que l'on mentionne également sous le nom « d'effet $2 + 2 = 5$ ». On ne peut pas appliquer la totalité de la recherche opérationnelle au problème de la stratégie.

193. Baker, H.D., and Thompson, G. Clark, *Executives Find: Long-Range Planning Pays Off* (« La direction constate que la planification à long terme est rentable »), NICB - National Industrial Conference Board, Business Record, vol. XIII, nº 10, oct. 1956, pp. 435-443.

Sur 142 entreprises étudiées aux États-Unis en 1956, 32 établissaient déjà des plans formels sur 10 ans ou plus; près de 70 des plans formels de cinq ans et 25 des plans formels à moins de cinq ans, mais à plus d'un an. Quelques-unes faisaient des prévisions pour douze à vingt ans.

194. Bowman, Dean O., *Organisation and Steps in Long-Range Planning* (« Organisation et étapes de la planification à long terme ») dans : *Managerial Long-Range Planning* (« Planification à long terme dans l'administration ») *réf. bibl. 222*, 1963, pp. 141-162.

Compte rendu d'une planification à long terme et d'une prévision technologique intégrée dans la Division Autonetics de la North American Aviation.

195. Bright, James R. (éd.), *Technological Planning on the Corporate Level*, Division of Research, Harvard Business School, Boston, Mass. 1961.

Séminaire organisé à la Harvard Business School en septembre 1961. Comprend les *réf. bibl. 87, 206* et *282.*

196. Ewing, David W. (éd.), *Long-Range Planning for Management* (« Planification à long terme dans l'administration »), Harper & Brothers, New York 1958.

Recueil d'articles dont les suivants ont un intérêt marginal pour la prévision technologique : Morton M. Hunt, Bell Lab's 230 Long-Range Planners— voir *réf. bibl. 207*; Robert K. Stolz, Steps in Research Planning; Harry L. Hansen, Timing of New Product Introduction.

197. Faltermayer, Edmund K., *Corporate Horizons : More Companies Peer Into Distant Future, Try to Prepare For It* (« L'horizon des entreprises : un plus grand nombre d'entreprises regardent l'avenir lointain, et tentent de s'y préparer »), The Wall Street Journal, 25 oct. 1961.

Tendance des entreprises, aux États-Unis, à prévoir de 10 à 20 ans dans l'avenir, et à préparer des plans de 5 ans ; exemples de plusieurs grandes entreprises. Voir en particulier une prévision pour 1980, faite par la General Electric sur la structure des achats des consommateurs, et une prévision de la demande d'acier en 2000, effectuée par l'US Steel.

198. Forrester, Jay, *Industrial Dynamics* (« Dynamique industrielle »), MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1961.

Concept fondamental du processus de préparation des décisions dans l'industrie, devenu très fructueux pour la construction de modèles.

199. Gibson, R.E., *A Systems Approach to Research Management* (« Une étude de système pour l'administration de la recherche »). Research Management, vol. V (1962), pp. 215-423, et vol. VI (1963), p. 15; reproduit sous forme résumée dans la *réf. bibl. 32.*

Systèmes en boucles fermées de divers types de recherche et de développement, comprenant des interactions avec les facteurs du milieu et les facteurs sociaux.

200. Gloskey, Carl R., *Research on a Research Department: An Analysis of Economic Decisions on Projects* (« Recherches sur un Département de recherche : Analyse des décisions économiques relatives aux projets »), IRE Transactions on Engineering Management, vol. EM-7, nº 4, déc. 1960, pp. 166-172.

Étude d'un département de recherche dans une entreprise chimique de taille moyenne, dans laquelle chaque projet fait l'objet d'une analyse préalable. Différents échelons participent à l'appréciation du programme de recherche, faite par une Commission de recherche de l'entreprise.

201. Hafstad, Lawrence R., *Making Research Pay: One Corporation's Approach* (« Rendre la recherche rentable : méthode adoptée par une entreprise »), Research Management, vol. VIII, nº 5, 1965, pp. 331-341.

Description des recherches de la General Motors, par le Directeur général des laboratoires de recherche, appliquant la prévision technologique d'une manière complexe, bien que peu formalisée.

202. Haggerty, Patrick E., *Highlighting Breakthrough Strategies* (Exposé sur la stratégie des « percées »), Texas Instruments Inc. First Quarter and Shareholders Meeting Report, 22 avril 1965, et First Quarter and Shareholders Meeting Report, 20 avril 1966, Dallas, Texas, 25 pages — 15 pages.

Discours prononcé en 1965 par le Directeur général de Texas Instruments, dans lequel il décrit la planification technologique à long terme de l'entreprise et, en particulier, le concept de la stratégie des recherches et des programmes d'action tactique. C'est peut-être le meilleur exemple actuel de prévision technologique intégrée dans une planification d'entreprise à long terme. Le discours de 1966 expose les principaux résultats obtenus dans ce domaine. La *réf. bibl. 204* donne une version abrégée du discours de 1965.

203. Haggerty, Patrick E., *Research Management - Survival Issue* (« Administration de la recherche : un problème de survie »), IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-11, n° 1, mars 1964, pp. 3-15.

L'auteur insiste sur la nécessité d'une stratégie de la recherche, en se référant à la stratégie du développement du radar.

204. Haggerty, Patrick E., *Strategies, Tactics and Research* (« Stratégies, tactiques et recherche »), dans le Document de travail DAS/RS/65.121, Conférence Amérique du Nord/Europe sur l'Administration de la recherche, Monte Carlo, 22-24 février 1965. OCDE, Paris, 28 juin 1964 (diffusion restreinte); (publication envisagée en 1967 dans « Research Management » et, éventuellement par l'OCDE.

Description passionnante de la réussite de Texas Instruments, par le Directeur général de cette société. Elle comprend des parties du compte rendu adressé en avril 1965 aux actionnaires, « Highlighting Breakthrough Strategies », *réf. bibl. 202*, et en particulier un exposé des stratégies de la recherche et des programmes d'action tactique.

205. Hertz, D.B., *The Management of Innovation* (« L'administration de l'innovation »), Management Review, avril 1965, pp. 49-52.

Exposé des conclusions d'une enquête effectuée par un bureau d'études réputé, McKinsey & Co. La moitié des idées de recherche lancées dans le secteur chimique, électrique et pharmaceutique a été initialement suggérée par la haute direction. Un contact direct entre la direction et la recherche et le développement est préférable au système des comités. L'auteur décrit brièvement une méthode matricielle qui permet un échange étroit d'informations entre les auteurs des projets et les services fonctionnels. Plusieurs personnes, travaillant dans divers groupes fonctionnels, sont affectées aux équipes qui effectuent des prévisions technologiques.

206. Herwald, S.W., *Appraising the Effects of the Technological State of the Art on the Corporate Future* (« Évaluation de l'effet de l'état actuel de la technique sur l'avenir de l'entreprise »), dans : *Technological Planning at the Corporate Level* (« Planification technologique à l'échelon de l'entreprise »), *réf. bibl. 195*, 1962, pp. 52-69.

L'auteur propose une méthode pour choisir les domaines qui intéressent un cadre fonctionnel particulier, et pour suivre les techniques qui peuvent entraîner des modifications structurelles.

207. Hunt, Morton M., *Bell Lab's 230 Long-Range Planners* (« Les 230 planificateurs à long terme des Bell Laboratories »), Fortune, mai 1954, reproduit dans la *réf. bibl. 196*.

Exposé des rôles du « Systems Engineering Department » des Bell Telephone Laboratories, l'un de ces rôles étant la prévision technologique.

208. Isenson, Raymond S., *Allowed Degrees and Type of Intellectual Freedom in Research and Development* (« Type et degrés de liberté intellectuelle permis dans la Recherche et le Développement »), IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-12, n° 3, sept. 1965, pp. 113-115.

Compte rendu d'une enquête effectuée dans des laboratoires de premier ordre aux États-Unis. Les conclusions en sont que les laboratoires les plus réputés accordent une grande liberté aux individus dans le choix du chemin technique qui conduit à un objectif déterminé, que ces laboratoires ont eux-mêmes une grande liberté pour définir leurs propres programmes de recherche, mais qu'il n'y a pas de corrélation entre la réputation d'un laboratoire et la liberté dont il dispose pour définir lui-même ses programmes de développement.

209. Jantsch, Erich, *A Study of Information Problems in the Electrotechnical Sector* (« Étude des problèmes d'information dans le secteur électronique »), rapport DAS/RS/64.250 (diffusion restreinte), OCDE, Paris, 22 mars 1965, 437 pages.

Comprend un chapitre sur les flux d'information dans les grandes entreprises, chapitre intéressant pour les problèmes de communication qui se posent en matière de prévision technologique industrielle.

210. Kast, Fremont; et Rosenzweig, James R. (éditeurs), *Science, Technology and Management* (« Science, technique et gestion »), Proceedings of the National Advanced Technology Management Conference, 4-7 sept. 1962, Seattle, Washington; McGraw-Hill, New York, 1963.

Expose en particulier l'analyse des systèmes, les méthodes des graphes, ainsi que la méthode PERT-Coût.

211. Krzyczkowski, Roman, *Comprehensive Comparisons and Business Decisions* (« Comparaisons approfondies et décisions commerciales »), IRE Transactions on Engineering Management, vol. EM-5, sept. 1958, pp. 65-71.

Exposé de la méthode comparative globale, méthode de recherche opérationnelle permettant d'évaluer quantitativement différentes solutions techniques possibles d'un problème donné. Une comparaison entre les communications transatlantiques par radio, par câble coaxial et par câble multi-paires, effectuée par l'auteur en 1954, avant la pose du premier câble téléphonique transatlantique, illustre la méthode. Il ne s'agit pas d'une technique utilisable pour la prévision technologique, puisque les facteurs techniques, économiques et opérationnels du système évalué doivent être assez bien connus, mais la méthode peut contribuer à déterminer la direction de l'innovation technique dans la phase de planification de l'entreprise.

212. Lien, Arthur P., *Continuous Technical Planning: Tools, Techniques and Tactics* (« Planification technique permanente : moyens, méthodes et tactiques »), conférence présentée au AMA Course on Fundamentals of Planning, New York, 16 déc. 1965; manuscrit avant publication, Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, 1965, 24 pages.

Bref exposé de la relation entre la prévision et la planification technologique, se référant au système de travail de Battelle.

213. McCrory, R.J., *Derivation of Business Opportunities Through Technical Planning* (« Détermination des possibilités commerciales par planification technique »), conférence présentée à la Design Engineering Conference, Chicago, Ill., 9-12 mai 1966, ASME (American Society of Mechanical Engineers), New York.

Utilisation de la prévision technologique dans le processus de planification technique, tel que l'a mis au point le Battelle Memorial Institute.

214. McCrory, R.J., *The Design Method - A Scientific Approach to Valid Design* (« Une méthode scientifique de conception technique »), document ASME-63-MD-4, présenté à la Design Engineering Conference de ASME en mai 1963, American Society of Mechanical Engineers, New York, reproduit sous forme abrégée dans la *réf. bibl. 32.*

Exposé d'un système en boucle fermée de planification technologique, mis au point au Battelle Memorial Institute.

215. Myers, M. Scott, *Conditions for Manager Motivation* (« Comment éveiller l'intérêt des dirigeants d'entreprise »), Harvard Business Review, vol. 44, n° 1, janv./fév. 1966, pp. 58-71.

Compte rendu d'une enquête de motivation à Texas Instruments, à l'échelon de la société, et du rôle de la motivation dans la planification; rédigé par le Directeur de la recherche administrative de Texas Instrument.

216. Quinn, James Brian, *Long-Range Planning of Industrial Research* (« Planification à long terme de la recherche industrielle »), Harvard Business Review, juillet/août 1961. Reproduit partiellement dans la *réf. bibl. 32.*

L'auteur propose un système de planification intégrée de la recherche, comprenant les fonctions suivantes : fixation des objectifs, détermination des risques et des possibilités technologiques, stratégie de la recherche, sélection des projets.

216*a*. Quinn, James Brian, *Technological Forecasting* (« Prévision technologique »), Harvard Business Review, vol. 45, n° 2, mars/avril 1967, pp. 89-106.

Cet exposé, remarquablement documenté, décrit les attitudes actuelles du « management » vis-à-vis de la prévision technologique, ainsi que les techniques spéciales utilisées par les plus progressives des industries américaines et les formes organiques qui les caractérisent. Différents exemples, pris dans l'industrie, étayent l'argumentation de l'auteur. Le dernier chapitre « Integrating with Decisions » recommande une intégration de la prévision et de la programmation dans ses processus de décision.

217. Quinn, James Brian, *Top Management Guides for Research Planning* (« Guide de la haute direction pour la planification de la recherche »), dans *Research, Development and Technological Innovation, réf. bibl. 32*, pp. 677-700.

Brillante synthèse d'entrevues accordées par 120 hauts directeurs de 35 entreprises américaines. Après avoir posé la question de la prévision technologique, l'auteur décrit certaines applications effectives. Il en examine des aspects généraux, en particulier : les concepts, les types d'organisation, la détermination des risques et les possibilités techniques à long terme, les méthodes de sélection des projets à la lumière des aptitudes et des objectifs de l'entreprise, et l'adaptation des recherches à la stratégie de l'entreprise.

218. Schaidt, Leander, *Program Management Techniques at Martin Orlando* (« Méthodes d'administration des programmes chez Martin Orlando »), IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-10, n° 3, sept. 1963, pp. 124-137.

Des plans de cinq ans sont mis à jour tous les six mois. Ils comprennent les projections des affaires possibles, qui sont alors soumises à un examen approfondi.

219. Schnyder von Wartensee, Robert, *Prospektive Haltung* (« L'attitude prospective »), Industrielle Organisation, 1965, n° 8, pp. 1-6.

Tentative de distinction entre la « prospective », au sens de l'idée française due à Gaston Berger, et la « planification à long terme » que l'on est tenté de confondre avec le dirigisme, erreur très répandue en Europe. Une idée claire des objectifs et des désirs futurs, complétée par une attitude « prospective », permet de dépasser le dirigisme.

220. Scott, Brian W., *Long-Range Planning in American Industry* (« Planification à long terme dans l'industrie américaine »), American Management Association, New York 1965.

Analyse de la planification à long terme dans l'entreprise, à partir d'entretiens accordés par les directeurs de 12 entreprises américaines. L'ouvrage se divise en trois parties intitulées : Historique, Mission, Organisation. Les passages suivants sont intéressants pour la prévision technologique : chapitre 6 : « Assumption About the Future », pp. 104-122; chapitre 7 : « Anticipation of Technological Change », pp. 123-135; chapitre 8 : « The Choice of a Strategy », pp. 136-154. L'auteur reconnaît que la prévision technologique est une tendance importante depuis la fin des années 1950, mais il ne l'étudie pas de manière très détaillée.

220*a*. Sloan, Alfred Pritchard, *My Years with General Motors* (« Ma vie à la General Motors »). Doubleday, Garden City, N.Y., 1963.

Le concept de gestion décentralisée cohérente, introduit par l'auteur à la General Motors quand il en était le Président.

221. Smelt, Ronald, *Capitalising on Creative Capabilities* (« Investissement en aptitudes créatives »), manuscrit, Lockheed Aircraft Corp., Burbank, Calif.

Le processus de l'innovation industrielle, illustré d'exemples pris chez Lockheed, et décrit par le Vice-Président, Directeur scientifique de cette entreprise.

222. Steiner, George A. (éd.), *Managerial Long-Range Planning* (« Planification administrative à long terme »), McGraw-Hill, New York, 1963, 334 pages.

Organisation de la planification à long terme dans 17 entreprises et organismes gouvernementaux des États-Unis, décrite par leurs directeurs de planification à long terme.

223. Stockfish, J.A. (éd.), *Planning and Forecasting in the Defense Industries* (« Planification et prévision dans les industries militaires »), Wadsworth Publishing Co., Belmont, Californie, 1962.

Conférences présentées au Séminaire de l'Université de Californie, à Los Angeles, les 4 et 5 mai 1960).

224. Suits, Guy, *Selectivity - a Modern Research Necessity* (« Sélectivité : une nécessité moderne de la recherche); discours prononcé à Chicago (Ill.) devant l'American Management Association, 15 sept. 1964, reproduit par la General Electric Co., 8 pages.

Bref compte rendu de la position fondamentale de la General Electric en matière de prévision technologique, par le Vice-Président et Directeur des recherches de l'époque. Cet exposé est rendu particulièrement intéressant par plusieurs exemples pratiques sur l'aide que la prévision technologique a apportée à des projets récents de recherche et de développement.

225. Swager, William L., *Industrial Implications of Technological Forecasting* (« Conséquences industrielles de la prévision technologique »). Conférence présentée au Fourth Symposium of the Engineering Economy Division of the American Society for Engineering Education à Chicago, Ill., 19 juin 1965. Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio.

Étude générale de l'organisation de la prévision technologique dans l'industrie.

226. Tolkowsky, Dan, *R & D and Industry in Israel - Some prevalant Attitudes and Misconceptions* (« Recherche et développement dans l'industrie israëlienne : Quelques attitudes et erreurs courantes »), manuscrit avant publication, 1966, 5 pages.

Le problème épineux de l'industrialisation tardive d'Israël, et sa relation avec la recherche et le développement. Il ne faut pas en rendre responsables les seuls facteurs techniques : les facteurs commerciaux et autres sont peut-être plus importants.

227. Wilson, Joseph C., *The Conscience of Business* (« La conscience des affaires »), Discours de John Findley Green à Westminster College, Fulton, Missouri, 16 nov. 1965, 18 pages.

Discours prononcé par le Président de la Xerox Corporation.

Voir également les *réf. bibl. 13 et 32.*

B.6. Organisation de la planification et de la prévision technologiques en dehors du cadre industriel

228. Burn, Ducan; Seale, J.R.; Ratcliff, A.R.N., *Lessons from Central Forecasting* (Critique du Centre de Prévision), Eaton Paper 6, The Institute of Economic Affairs, Londres, 1965, 62 pages.

Critique des prévisions, et surtout de celles faites pour des périodes de cinq à dix ans, dans l'économie britannique, par les administrations britanniques. Les auteurs en soulignent les défauts évidents.

229. Capron, William M., *The Potential Role of Cost Effectiveness Analysis for Evaluation of Government Domestic Programs* (« Le rôle potentiel de l'analyse coût-efficacité dans l'évaluation des programmes gouvernementaux internes »), Conférence présentée au Symposium on Cost Effectiveness Analysis, organisé à l'Institute of Defense Analyses, 15 juin 1965, Washington D.C. Manuscrit, 15 pages.

Introduction du Système Plan-Programme-Budget dans l'administration civile.

230. Enke, Stephen (éd.), *Defense Management* (« Administration de la Défense nationale »), Prentice-Hall, New York 1966.

Tandis que l'ouvrage de Hitch (*réf. bibl. 233*) expose les idées de base du « new look » du ministère de la Défense des États-Unis, ce livre constitue la première tentative d'appréciation de l'expérience ainsi réalisée, pour autant que cela soit possible sans violer de secrets.

231. Enke, Stephen, *Using Costs to Select Weapons* (« Utilisation des coûts pour choisir les armes »), The Journal of the American Economic Association, vol. LV, nº 2, mai 1965, pp. 416-426.

Brève description de l'évolution, des résultats et des limites de la méthode coût-efficacité, faite par l'un de ceux qui ont participé à sa mise au point.

232. Freeman, Raoul J., *The Science Corps* (« L'armée de la science »), Rapport P-3217, The RAND Corporation, Santa Monica, Calif., août 1965, 6 pages.

Propose l'idée d'un organisme administratif central chargé de définir l'organisation et la stratégie nationale de la recherche, de procéder aux évaluations des propositions particulières, d'effectuer des contrôles scientifiques techniques, etc.

233. Hitch, Charles J., *Decision-Making for Defense* (« Préparation des décisions pour la Défense nationale »), University of California Press, Berkeley et Los Angeles, et Cambridge University Press, Cambridge (RU). Les deux éditions en 1965.

Exposé d'ensemble de l'Administration du ministère de la Défense des États-Unis, et des idées de base introduites par McNamara et l'auteur, qui fut « Assistant Secretary » au cours de la période 1961-1965. Ces idées portent sur l'évaluation combinée de plusieurs solutions stratégiques possibles, de techniques d'armes et de ressources économiques; sur l'analyse des systèmes; sur le système plan-programme-budget; sur l'analyse coût-efficacité; etc.

234. Massé, Pierre, *Les Principes de la Planification Française*, manuscrit, 1er oct. 1963, 22 pages. A paru dans diverses publications, par exemple aux Weltwirtschaftliches Archiv (Kiel, Allemagne), déc. 1963.

Compte rendu de l'évolution des principes gouvernant le Plan français, par le Directeur au Plan jusqu'en 1965. L'auteur insiste sur la « voie médiane » d'interaction entre l'ensemble des facteurs économiques et sociaux.

235. Mesthene, Emmanuel G., *On Understanding Change: The Harvard University Programme on Technology and Society* (« Pour comprendre l'évolution : le programme de l'Université de Harvard sur la technique et la société »), Technology and Culture, Printemps 1965, pp. 222-235.

Bref exposé de l'organisation et des objectifs proposés du Programme d'étude, rédigé par son Directeur.

235*a*. Novick, David (éd.), *Programme Budgeting... Program Analysis* (« Budgets de programmation... Analyse des Programmes »), The RAND Corporation, Santa Monica, Californie, 1964 et 1965. En vente auprès de : Superintendent of Documents, US Government Printing Office, Washington, D.C. 20402, 236 pages.

Description de la procédure PPBS utilisée par le gouvernement américain.

236. OCDE. *Étude sur les États-Unis. Rapport des Examinateurs*, Document MO/(63)5, Comité de la Main-d'œuvre et des Affaires Sociales, OCDE, Paris, 20 fév. 1963.

Exposé sur la prévision technologique aux États-Unis, l'accent étant mis sur les besoins de l'emploi.

237. OCDE, *Les gouvernements et l'allocation des ressources à la science;* rapport établi pour la Deuxième Conférence ministérielle sur la Science, Paris. Janv. 1966, OCDE, Paris.

Rapport établi par H. Brooks, C. Freeman, L. Gunn, J. Saint-Geours et J. Spaey. Il contient un court chapitre sur « Les critères de décision en matière de politique nationale », subdivisé en fonction des besoins et des possibilités scientifiques, sociaux et économiques.

238. OCDE, *Le rôle du gouvernement dans l'encouragement des innovations techniques, document de travail*, CMS/CI-65/63-C, Comité intérimaire, Conférence ministérielle sur la Science, OCDE, Paris, 15 déc. 1965, 123 pages.

Renseignements fournis par les gouvernements des pays Membres, et comprenant un rapport des États-Unis sur « La réduction des coûts et les contrats de recherche et de développement ». On y voit comment le ministère de la Défense des États-Unis est

passé de la notion de contrats à « coût réel plus bénéfices » aux contrats forfaitaires ou à intéressement, et comment le gouvernement fédéral appuie les efforts techniques entrepris par les contractants, plus particulièrement dans les domaines dépendant du ministère de la Défense, de la NASA et de Commission de l'Énergie Atomique.

239. Rowen, Henry S., *Improving Decision Making In Government* (« Amélioration de la préparation des décisions à l'échelon gouvernemental »), Conférence présentée au Summer Seminar on Systems Analysis and Program Evaluation, US Bureau of the Budget, 1965. Manuscrit, 28 pages.

Adoption du Système Plan-Programme-Budget dans l'administration civile.

240. UK Advisory Council on Scientific Policy, *Annual Report of the Advisory Council on Scientific Policy 1963-1964* (« Rapport annuel du Conseil consultatif sur la politique scientifique 1963-1964 ») présenté au Parlement par le Secrétaire d'État à l'Education et à la Science; Her Majesty's Stationery Office, Londres, déc. 1964, 48 pages.

Dernier rapport du Conseil sous la présidence de Lord Todd. Il contient un exposé en faveur d'une politique scientifique nationale future insistant sur le rôle de la prévision technologique dans la recherche fondamentale (selon des vues analogues à celles du COSPUP américain, — sur l'innovation dans l'industrie, et sur les programmes gouvernementaux portant sur la technique.

241. US Department of Defense, *Planning-Programming-Budgeting System* (« Système Plan-Programme-Budget »), brochure, Department of Defense, Washington, D.C., 1965, 47 pages.

Brochure d'information sur le Système Plan-Programme-Budget, adopté par le département de la Défense en 1961 et, progressivement — depuis octobre 1965 — par les autres organismes administratifs des États-Unis. Ce système comprend trois étapes : programmes militaires et détermination des besoins, définition et révision des programmes, établissement des estimations budgétaires annuelles. La prévision technologique fait partie de la première étape, au cours de laquelle on effectue des études des systèmes et des analyses de coût et d'efficacité. Les principaux objectifs du Système sont : 1. l'établissement de programmes centrés sur les missions plutôt que sur les services; 2. la détermination des ressources nécessaires aux programmes; 3. la possibilité d'effectuer des études de coût et d'efficacité pour d'autres structures militaires possibles; 4. l'appréciation permanente des programmes; 5. la coordination de la planification à long terme et du financement.

Voir également la *réf. bibl. 184.*

B.7. Exactitude de la prévision technologique

242. Ewell, L.N., *Uncle Sam Gazes into his Crystal Ball* (« " L'oncle Sam " regarde dans sa boule de cristal »), Armed Forces Chemical Journal, vol. VI, janv. 1953, pp. 9-15.

Analyse du Rapport de la Commission Paley relatif aux estimations pour 1975. L'auteur constate plusieurs divergences entre les opinions des experts.

243. Gilfillan, S. Colum, *The Prediction of Inventions* (« La prévision des inventions »), dans : US National Resources Committee, *Technological Trends and National Policy* (« Tendances technologiques et politique nationale »), Section II, pp. 15-23, juin 1937, voir *réf. bibl. 284.*

Ouvrage « classique », exprimant une opinion très optimiste sur les possibilités de prévision des inventions. L'auteur passe en revue des ensembles de prévisions faites dans le passé, y compris celles d'Edison en 1911, de Steinmetz en 1915, de « Scientific American » en 1920, de l'auteur lui-même et d'autres encore; il y trouve plus de 75 % de prédictions correctes. L'auteur propose une prévision pour la lutte contre le brouillard pour le trafic aérien, avec 25 solutions différentes et se déclare convaincu que plusieurs de ces méthodes possibles aboutiront; dans un article écrit 15 ans plus tard (*réf. bibl. 40*), l'auteur constate que 9 de ces 25 moyens étaient déjà utilisés, mais qu'il n'avait pas prévu le plus important d'entre eux, le radar, car il n'était pas au courant des études secrètes en cours dès 1937. L'auteur, qui est un économiste bien connu, souligne qu'il n'a reçu aucune formation technique. L'ouvrage comprend une bonne bibliographie sur les prévisions technologiques anciennes.

244. Klein, Burton H., *The Decision Making Problem in Development* (« Le problème de la préparation des décisions dans le développement »), dans : *The Rate and Direction of Inventive Activity* (« Le rythme et le sens de l'activité inventive »), *réf. bibl. 65*, pp. 477-497, commentaires de F.M. Scherer et réponses de Klein, pp. 497-508.

On a pu prouver la valeur d'une « hypothèse d'apprentissage initial », à relation linéaire, pour les estimations de la durée de développement de huit programmes de fusées, comprenant 35 estimations de possibilités aux diverses étapes du développement. En ce qui concerne les coûts de développement, on n'a pas pu démontrer la valeur de cette hypothèse. Klein souligne les incertitudes techniques de la mise au point, qui tendent à modifier les développements en cours, notion que Scherer rejette.)

245. Male, Donald Warren, *Prophecies and Predictions in Aviation* (« Prophéties et prédictions dans l'aviation »), thèse de maîtrise non publiée, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., 1958.

Lenz parle de ce travail de la manière suivante dans la *réf. bibl. 151 :* « A partir d'une étude portant sur 200 prévisions dans le domaine de l'aviation, D.W. Male a conclu que : « Parmi les prédictions comportant à la fois un élément de tendance et un élément temporel, moins de 30 % ont été jugées valables en ce qui concerne l'élément temporel. L'étude de Male montre que les auteurs de prévisions relatives à l'aviation n'ont pas fait appel à des méthodes capables de fournir systématiquement des prédictions exactes ».

246. Marshall, A.W., et Meckling, W.H., *Predictability of the Costs, Time, and Success of Development* (« Possibilité de prévoir les coûts, la durée et la réussite des développements »), dans : *The Rate and Direction of Inventive Activity* (« Le rythme et le sens de l'activité inventive »), pp. 461-475, *réf. bibl. 65.*

Étude de cas de 22 systèmes d'armes, concluant que les estimations initiales étaient trop optimistes. On trouve, en général, des accroissements des coûts de production cumulés de l'ordre de 200 à 300 %, et des dépassements de délais de mise au point de 30 à 50 %, mais les résultats techniques sont pratiquement atteints. Le degré d'erreur est très différent d'un système d'arme à l'autre.

247. Patterson, William A., *The Long Flight* (« Le grand vol »), Mainliner, vol. 10, n° 4, United Air Lines, Chicago, Ill., avril 1966, 3 pages.

Perspective des 40 premières années de la société United Airlines, vue par son Président; le passage le plus intéressant est celui où l'auteur déclare qu'il ne s'est jamais rendu compte de la vitesse et du confort des voyages actuels par avion à réaction; du volume du trafic aérien, ni du rôle du transport aérien dans la vie nationale américaine.

248. Peck, Merton J., et Scherer, Frederic M., *The Weapons Acquisition Process - An Economic Analysis* (« Le processus d'acquisition des armes »; Analyse économique), Division of Research, Harvard Business School, Boston, Mass., 1962.

Le chapitre 2, « The Unique Environment of Uncertainty in Weapons Acquisition » (Le contexte d'incertitude de l'acquisition des armes), pp. 17-54, est particulièrement intéressant pour la prévision technologique : il évoque les incertitudes externes — par exemple, l'évolution technique — et les incertitudes internes, telles que les estimations de coût et de durée. L'examen des estimations faites par l'auteur, et par d'autres dans plusieurs cas précédents donne les valeurs moyennes suivantes du rapport entre les prévisions et la réalité : coûts de mise au point : 2,4 à 3,2; délais de mise au point : 1,6; facteurs de performance : 0,8 à 2. Les estimations de performance étaient donc plutôt pessimistes, tandis que les évaluations de coût et de durée étaient plutôt optimistes. On calcule que le cycle de développement des systèmes d'armes modernes est de 8 à 11 ans aux États-Unis.

249. Science, *The Trouble with Technological Forecasting* (« Les difficultés de la prévision technologique »), Science, vol. 144, 16 mai 1964.

Non analysé.

250. Summers, Robert, *Cost Estimates as Predictors of Actual Weapon Costs - A Study of Major Hardware Articles* (« Les évaluations de coûts peuvent-elles servir de prédiction des coûts réels des systèmes d'armes? Étude des principaux matériels »), Memorandum RM-3061-PR, version abrégée (non secrète), The RAND Corporation, Santa

Monica, Californie, mars 1965. Paraîtra également sous forme de chapitre dans la *réf. bibl. 53.*

Étude des prévisions de coûts de 22 systèmes d'armes différents aux États-Unis, pour lesquels une centaine d'estimations individuelles de coût de production avait été faite à diverses étapes de leur mise au point; l'étude a porté sur 67 de ces estimations. Les coûts réels se sont finalement révélés supérieurs dans 80 % des cas. Au cours de la mise au point, les estimations des coûts de production se rapprochent plus ou moins linéairement des valeurs réelles. La pente varie en fonction des projets. En général, on peut exprimer le rapport du coût de production réel à la valeur estimée en fonction du temps, du progrès technique et peut-être d'autres variables, dont certaines seront étudiées ultérieurement par l'auteur.

Voir également les *réf. bibl. 52, 228.*

B.8. Prévisions technologiques réelles : scénarios approfondis de l'avenir

250*a.* Architectural Design, *2000 +*, Numéro spécial de la revue Architectural Design, Londres, fév. 1967.

Au sommaire : R. Buckminster Fuller, « Profile of the industrial revolution » et « The Year 2000 »; John McHale, « 2000 + » (y compris des articles sur l'avenir du futur, l'espace terrestre et extra-terrestre, l'Homme +, les nouvelles symbioses, le jeu du monde, l'avenir de l'homme); Theodore J. Gordon « Les conséquences de la technologie »; Neil P. Hurley, « La révolution des communications ».

251. Auger, Pierre, *Current Trends in Scientific Research* (« Tendances actuelles de la recherche scientifique »), UNESCO, Paris, 1961.

Exposé homogène et complet, à partir d'un grand nombre d'enquêtes individuelles, de l'état des disciplines scientifiques et techniques en 1959-60, montrant les tendances qualitatives de l'avenir proche.

252. Bellamy, Edward, *Looking Backward* (« Vue sur le passé »), United States, 1887.

Rétrospective faite à partir de l'an 2000. H.S. Commager remarque : « Rien de ce qu'il a écrit au sujet du monde nouveau n'était scientifiquement ni mécaniquement impossible, mais presque tout ce qu'il a supposé au sujet de la raison et de la moralité était improbable. »

253. Birkenhead, Earl of, *The World in 2030 A.D.* («Le monde de l'an 2030»), Hodder and Stoughton, Londres, 1930, 215 pages.

Prévision vaste et apodictique faite par un non-scientifique, spécialiste de la politique et du droit, High Steward de l'Université d'Oxford et Lord Rector de l'Université d'Aberdeen. Les prévisions sont remarquablement bonnes en ce qui concerne les facteurs de performance des nouvelles techniques, moins bonnes en ce qui concerne les techniques particulières permettant de réaliser ces performances, et assez mauvaises en ce qui concerne les conséquences sociales et économiques. Environ deux tiers des performances prévues pour 2030 se sont matérialisées avant 1960: c'est le cas de l'énergie nucléaire; des traversées transatlantiques aériennes à plus de 15.000 mètres d'altitude et à près de 1.000 km à l'heure grâce à la propulsion par réaction — mais l'auteur a supposé que des moteurs nucléaires seraient nécessaires; des premiers préparatifs d'un voyage sur Mars — il rejette le voyage sur la Lune comme une « aventure froide et peu attirante »; des textiles synthétiques bon marché; de la télévision en couleur, etc. Au contraire, en ce qui concerne la disparition de la saleté et de la pollution, le silence total de toutes les machines et de la circulation routière — dont l'auteur pensait qu'elle serait quatre fois seulement plus dense qu'en 1930 — et la disparition des maladies épidémiques, l'ouvrage témoigne à propos des phénomènes sociaux, d'un optimisme naïf qui ne serait probablement plus partagé en 1966.

254. Bliven, Bruce, *Men Who Make The Future* (« Les hommes qui construisent l'avenir »), Pilot Press, Londres, 1943.

Compte rendu plein de fantaisie, par un journaliste scientifique, des activités scientifiques dans lesquelles on peut prédire des percées. Le chapitre final lance un appel en faveur d' « inventions sociales ».

255. Bliven, Bruce, *Preview for Tomorrow: The Unfinished Business of Science* (« Prévision de l'avenir : l'entreprise scientifique non achevée »), New York 1953.
Non analysé.

256. Brech, Ronald, *Britain 1984: Unilever's Forecast - An Experiment in the Economic History of the Future* (« Grande-Bretagne 1984 : Prévisions de Unilever - Un essai en histoire économique de l'avenir »), Darton, Longman & Todd, Londres 1963.
Prévision économique à échéance de 20 à 25 ans, complétée par une prévision technologique fondée sur des connaissances en évolution, et utilisant le « modèle synthétique » décrit dans la *réf. bibl. 99*. L'accent est mis sur le marché de consommation, et sur la prévision des structures d'achat et de distribution des revenus. L'auteur examine les facteurs psychologiques et sociologiques qui échappent à l'analyse économique, en retenant pour cet exercice un « modèle synthétique » incomplet. Les domaines techniques considérés sont : l'énergie, les nouveaux matériaux, les processus industriels et la conception des machines, les transports.

257. Brown, Bernice; Gordon, T.J.; et Helmer, Olaf, *Appendix to the Report on a Long-Range Forecasting Study* (« Annexe au Rapport sur une étude de prévision à long terme »), The RAND Corporation, Santa Monica, Californie, sept. 1964.
Annexe à la *réf. bibl. 269*.

258. Brown, Harrison, *The Challenge of Man's Future - An Inquiry Concerning the Conditions of Man During the Years that Lie Ahead* (« Le défi de l'avenir de l'homme - Enquête sur la situation humaine au cours des années à venir »), Viking Press, New York, 1954.
Constitue essentiellement une étude des ressources portant sur trois grands thèmes : la nourriture, l'énergie, les matériaux. Le chapitre VII, sur les « Structures de l'avenir », contient quelques excellentes réflexions socio-économiques, y compris une étude des problèmes des pays en voie de développement et les conséquences possibles des techniques nouvelles. La prévision relative à l'énergie nucléaire, concluant à un début de commercialisation en 1975 et à des coûts de production d'électricité approchant de 6 mills/kWh, était encore trop prudente. L'auteur envisage une nouvelle version de cet ouvrage.

259. Brown, Harrison; Bonner, James; Weir, John, *The Next Hundred Years* (« Les cent prochaines années »), Viking Press, New York, 1957, 193 pages.
Résumé d'une série de conférences sur les problèmes industriels à long terme de ressources et de population, prononcées au cours de réunions organisées par Robert V. Bartz, Directeur du « Industrial Associates Program » du California Institute of Technology. L'ouvrage constitue un exemple important de prévisions à long terme sur les ressources, en particulier dans les domaines des matières premières, de la main-d'œuvre, de la nourriture, de l'énergie et de l'éducation.

260. Business International, *Corporate Planning Today for Tomorrow's World Market* (« Planification de l'entreprise aujourd'hui, en vue du marché mondial de demain »), BI Research Report nº 84, Business International, 757 Third Avenue, New York, N.Y. 10017, juillet 1964, $ 40.
Enquête et perspective générales, du point de vue de la planification de l'entreprise, comprenant certaines prévisions technologiques, sociales et politiques.

261. Calder, Nigel (éd.), *The World in 1984* (« Le monde en 1984 »), The Complete New Scientist Series, 2 Volumes, Pelican Book A 720 (vol. 1) et A 721 (vol. 2), Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex, 1965, 215 pages (vol. 1) et 205 pages (vol. 2).
Série complète de 99 brefs articles, rédigés par des personnalités de premier plan, spécialistes des sciences sociales et naturelles ou de la vie publique. Ces articles ont paru en 1964 dans le « New Scientist », avec un article de l'éditeur résumant les principales prévisions sur l'évolution et ses conséquences. Ils constituent un exercice de « brainstorming » unique, en raison de la qualité et de la réputation des participants. La mosaïque qui en résulte ne fournit pas encore une image cohérente du monde en 1984, bien que les sujets aient été soigneusement choisis dans tous les domaines scientifiques et techniques importants, ainsi que parmi les aspects économiques, politiques, sociaux et artistiques de l'avenir. Il semble surprenant que cet ensemble de noms fameux n'ait produit aucune idée importante en dehors de celles qui étaient déjà à

l'étude. Cela est dû en partie au choix d'un cadre temporel de vingt ans, qui laisse peu de temps pour le mûrissement des principes non encore parvenus au stade du laboratoire, et en partie à la procédure suivie au cours de ce « brainstorming par correspondance », qui conduisait à faire des commentaires sur les possibilités plutôt qu'à essayer d'abord de se mettre d'accord sur une structure de missions (désirs et exigences), puis d' « inventer l'avenir » en conséquence. De nombreux aspects de cette remarquable entreprise gardent au moins toute leur valeur.

262. Clarke, Arthur C., *Profiles of the Future - An Enquiry into the Limits of the Possible* (« Profils du futur - Enquête sur les limites du possible »), Victor Gollancz Ltd., Londres, 1962, 223 pages.

L'auteur, ancien président de la British Interplanetary Society, est l'un des auteurs de prévisions technologiques ayant le moins de préjugés, et en même temps l'un des plus imaginatifs et des plus « sensibles » : voir également la *réf. bibl. 295*. Cet ouvrage, comportant des prévisions jusqu'en 2100, témoigne de l'imagination de l'auteur, comme de sa solide culture scientifique. Un « plan de l'avenir » sommaire prévoit, par exemple : en 1990, la production d'énergie par fusion; en 2000 : la colonisation des planètes, l'intelligence artificielle, l'énergie « sans fil », les structures sub-nucléaires; en 2010 : les dispositifs télésensoriels; en 2015 : le contrôle météorologique; en 2025 : le contrôle de l'hérédité; en 2030 : les industries minières spatiales; en 2035 : un contact avec des extra-terrestres, la bio-technique; en 2065 : la vie artificielle; en 2075 : le contrôle du climat, une vitesse voisine de celle de la lumière; en 2080 : l'intelligence des machines dépasse celle de l'homme; en 2085 : les vols inter-stellaires; en 2090 : la transmission de matière, le duplicateur de matériaux; en 2095 : le cerveau mondial, l'immortalité; en 2100 : réunions avec des extra-terrestres, ingénieurs astronomiques. Certaines des estimations relatives à l'époque précédant l'an 2000 semblent prudentes pour nos connaissances actuelles, tandis que les prévisions pour l'époque ultérieure paraissent plus fantaisistes. Le tableau obtenu est probablement mieux équilibré que ne l'indiquerait une méthode intuitive non critique.

263. Dewhurst, J. Frederick; Coppock, John O.; Yates, P. Lamartine; et coll., *Europe's Needs of Resources* (« Les besoins de l'Europe en ressources »), Twentieth Century Fund, New York, 1961, et Macmillan, Londres.

Étude approfondie, avec des projections de ressources jusqu'en 1970, et une structure de consommation future.

264. Engineers' Joint Council, *The Nation's Engineering Research Needs 1965-1985* (« Les besoins de la Nation en recherches techniques, 1965/1985 »), Sub-committee Reports of the Engineering Research Committee, Engineers' Joint Council, New York, 1962, 212 pages.

Entreprise ambitieuse de prévision technologique, visant à définir les besoins, dans douze domaines pour lesquels il est apparu que les programmes et les organismes existants étaient insuffisants. Des conséquences sociales apparaissent dans des domaines techniques parfois surprenants.

265. Esso Rivista, *Tra 25 Anni* (« Dans 25 ans »), Esso Rivista, Anno XVII, n° 5, sept.-oct. 1965, 28 pages.

Vaste prévision à horizon de 25 ans, établie par la Société italienne Esso, et comportant huit articles dus à des auteurs italiens de premier plan, dans les domaines suivants : développement culturel, recherche scientifique, le Nord et le Sud, le travail, les villes, l'économie, l'agriculture, l'éducation.

266. Furnas, C.C., *The Next Hundred Years - the Unfinished Business of Science* (« Les cent prochaines années - L'entreprise scientifique inachevée »), Williams & Wilkins, Baltimore, Md., 1936.

Étude des possibilités et des missions effectuée dans de nombreux domaines par un ingénieur métallurgiste bien connu et très productif. Bien que l'auteur aperçoive de nombreuses possibilités techniques, il est très prudent dans la prévision de leur réalisation et de leurs conséquences. Par exemple, en ce qui concerne l'énergie nucléaire : « On n'a pas encore dit le dernier mot, mais n'achetez pas d'actions d'une Société de développement de l'énergie atomique. Vous y perdriez certainement ». Et, en ce qui concerne la télévision, à un moment où Zworykin avait déjà inventé son « iconoscope » : « J'attends mon appareil de télévision, mais je ne peux pas attendre tou-

jours. Quand je pense que la première transmission d'impulsions par radio a été effectuée en 1840 par Joseph Henry et que la première radiodiffusion ne s'est faite qu'en 1920, j'ai peu d'espoir de vivre assez vieux pour voir la télévision. Personne n'a encore osé penser à la télévision en couleurs naturelles ». Quand l'ouvrage a été publié, la première émission régulière de télévision était sur le point de commencer au Royaume-Uni, et l'invention de la télévision en couleurs allait se faire dans moins de dix ans. Bien que l'auteur ait identifié de manière remarquable certaines missions et certains besoins, il lui manquait la compréhension de la puissante force d'entraînement que ceux-ci peuvent exercer sur les développments, comme la Deuxième Guerre mondiale l'a prouvé. Croyant en un processus d'auto-développement, l'auteur s'est méfié des possibilités que son excellente intuition technique lui faisait entrevoir.

267. Galton, Lawrence, *Science Stands at Awsome Thresholds* (« La science à un tournant tragique »), New York Times Magazine, 2 déc. 1962.

Vaste prévision dans les domaines de la science fondamentale et de la technique.

268. Good, Irving John (éd.), *The Scientist Speculates - an Anthology of Partly-Baked Ideas* (« Les savants s'interrogent - Une anthologie d'idées pas encore mûres »), Heinemann, Londres 1962.

Recueil assez peu systématique de plus de 100 idées, en partie déduites des besoins, en partie découvrant des possibilités. On y trouve parfois une étude des conséquences sociales. Les scientifiques qui ont fourni des articles sont souvent peu connus. Certaines des réflexions placées sous le titre « Ideas about ideas » (Idées sur les idées), et en particulier une étude sur « The Place of Speculation in Modern Technology and Science » (Le rôle de la spéculation intellectuelle dans la science et la technique modernes), par J.D. Bernel, sont assez superficielles.

269. Gordon, T.J., and Helmer, Olaf, *Report on a Long-Range Forecasting Study*, Rapport P-2982, The RAND Corporation, Santa Monica, Californie, sept. 1964. Traduction française *Prospective à long terme* dans « Futuribles », n° 88, Paris, 10 mars 1965. Reproduit en partie dans la *réf. bibl. 134 a.*

Application à grande échelle de la méthode « Delphi », avec des groupes constitués dans six vastes domaines différents : percées scientifiques, croissance démographique, automation, progrès spatiaux, probabilité et prévention de la guerre, systèmes d'armes futurs. Les auteurs ont visé dans l'ensemble un avenir de 50 ans. Ils en déduisent des « coupes » du monde pour 1984 et 2000, et esquissent les futurs concevables pour l'année 2100.

270. Hutchings, Jr., Edward (éd.), *Frontiers in Science, A Survey* (« Les frontières de la Science, une enquête »), Basic Books Inc. (États-Unis), 1958.

Recueil assez superficiel d'articles, en partie écrits par des scientifiques éminents. sur l'état de la technique et sur certaines conséquences futures dans les domaines physiques et biologiques. Il comprend une controverse intéressante entre Sir Charles Darwin, avec l'article « Forecasting the future » (Prévision de l'avenir), pp. 100-116 — où l'on trouvera une étude de prévisions démographiques et quelques prévisions technologiques mélancoliques — et Fred Hoyle, qui lui répond dans l'article « Forecasting the Future? » (Prévision de l'avenir?), pp. 117-121, où il énumère les possibilités qui peuvent influer sur la croissance démographique.

271. Jungk, Robert, *Die Zukunft hat schon begonnen* (« L'avenir a déjà commencé »); traduction anglaise : *Tomorrow is Already Here - Scenes from a Man-Made World*, Hart-Davis, Londres 1954.

Évaluation journalistique des progrès actuels de la science et de la technique, ne comportant que de rares prévisions explicites.

272. Kahn, Herman, *On Alternative World Futures: Issues and Themes* (« Les différents avenirs possibles du monde : évènements et thèmes »), Rapport HI-525-D for the Martin Company, Hudson Institute, Harmon-on-Hudson, N.Y., 20 mai 1965; version révisée du premier chapitre, *Some Basic Techniques, Issues, Themes, and Variables*, (« Quelques techniques, évènements, thèmes et variables de base); a été présenté à la Harris Conference on New Approaches to International Relations, University of Chicago, Ill., 1-4 juin 1966, Rapport HI-525-D (Ch. 1 seulement, Rev. 3), 1er mars 1966 (Diffusion restreinte).

Étude de différentes structures possibles de l'avenir, faisant appel aux méthodes, particulières à l'auteur et à l'Hudson Institute (analogie historique, rédaction de scénarios, « pré-recherche », exposés et recherche sur exposés), complétées par une méthode d'étude simultanée des aspects techniques, économiques, politiques et culturels. L'un des objectifs de l'ouvrage est de définir une méthodologie cohérente. Le chapitre IX, sur les nouveaux thèmes techniques, étudie les extrapolations par la méthode des enveloppes, et examine, en 35 pages, les résultats les plus importants de prévisions technologiques publiées.

273. Landsberg, Hans H.; Fishman, Leonard L.; et Fisher, Joseph L., *Resources in America's Future - Patterns of Requirements and Availabilities 1960-2000* (« Les ressources de l'avenir en Amérique - Structures des besoins et des possibilités 1960-2000). Publié pour Resources for the Future, Inc., par The John Hopkins Press, Baltimore, Md., 1963, 1017 pages.

Étude approfondie et impressionante, qui n'essaie pas de saisir toutes les conséquences de l'évolution technologique au cours de la période de référence. En dehors d'une brève analyse des différentes possibilités des techniques futures, les auteurs examinent les ressources afin de savoir si elles adopteront une structure conforme à telle ou telle possibilité : par exemple, si les combustibles fossiles et nucléaires sont suffisamment abondants pour répondre à une structure donnée de la consommation d'énergie; mais ils n'essaient pas de prévoir le partage entre ces deux combustibles. Le volume est divisé en trois parties principales : les besoins futurs de la vie, la demande en matériaux-clefs, le caractère adéquat des ressources. Les prévisions probabilistes sont classées selon trois niveaux : élevé, moyen et inférieur. La perspective générale donne des raisons d'optimisme.

274. McGraw-Hill, *The American Economy - Prospects for Growth Through 1980* (« L'économie américaine - Prévision de croissance jusqu'en 1980 »), McGraw-Hill Department of Economics, McGraw-Hill Publications, Inc., New York, sept. 1965, 17 pages.

Résumé de prévisions économiques tenant compte de nombreux effets intégrés de l'évolution technologique. Par exemple, 35 % des investissements seront consacrés à l'automation en 1980 contre 11 % en 1955; le taux d'innovation dans l'industrie se caractérisera par le fait que 60 % de tous les produits n'auront pas été fabriqués dans les 15 ans qui précèdent, contre 40 % en 1965; les dépenses de recherche et de développement passeront de 22 milliards de dollars en 1965 à 46 milliards en 1980; la productivité augmentera de 50 %, etc.

275. New York Times Magazine, *The Future* (« L'avenir »), New York Times, 19 avril 1964, section 6, 2e Partie, pp. 86-118.

Large ouvrage de vulgarisation, rédigé en termes généraux et comportant six articles : A. Toynbee : « At Least the Beginning of One World » (Le début, au moins, d'un monde unique) : l'unité mondiale est prévue pour l'an 2000; H.S. Commager : « A Visit in the Year 2000 » (Une visite dans l'an 2000) : les États-Unis ne seront pas l'Utopie, de nombreux problèmes nouveaux ayant remplacé les anciens; C. Randall : « Industry: Incredible New Markets » (Pour l'industrie, de nouveaux marchés incroyables) : un grand nombre de concepts industriels fondamentaux vont changer radicalement; J.B.S. Haldane : « A Scientific Revolution? Yes » (Une révolution scientifique? Oui) : la science, en éliminant le bonheur, peut signifier la misère : dans cinq siècles, la science sera la psycho-physique; M. Mead : « Human Nature will Flower if » (La nature humaine fleurira, si) : au vingtième siècle, les hommes de l'âge de pierre ont un potentiel de grandeur; H.L. Dryden : « No Tourists on the Moon » (Pas de touristes sur la lune) : les voyages sur la lune seront communs pour les astronautes en l'an 2000, mais non pour l'homme moyen.

276. Plessner, Max, *Ein Blick auf die grossen Erfindungen des 20. Jahrhunderts* (« Un coup d'œil sur les grandes découvertes du XXe siècle »), Berlin 1892.

Considéré comme l'ouvrage le plus extraordinaire de prévision technologique du XIXe siècle, avec une bien meilleure compréhension des possibilités techniques — l'auteur était ingénieur — que dans les études plus « poétiques » qui abondaient à l'époque. Un exemple est la description assez précise de la télévision.

277. Prehoda, Robert W., *Designing the Future - The Role of Technological Forecasting* (« Construire l'avenir - Le rôle de la prévision technologique »), à paraître chez Chilton Books (États-Unis) en juin 1967.

L'auteur est directeur des études de marchés et des programmes de diversification de l'Electro-Optical Systems Inc., à Pasadena, Californie. L'ouvrage est divisé en trois parties : « Economic Considerations »; « Promising Material Development »; et « Biological Applications ». Il comporte une bibliographie.

278. *Réflexions pour 1985*, La Documentation Française, Paris 1965.

Exposé quelque peu vulgarisé des résultats du « Groupe 1985 », qui a fourni des prévisions à long terme pour la préparation du Ve Plan national français. On y trouve des prévisions à échéance de 20 ans pour près de 30 domaines différents, comportant parfois des prévisions de main-d'œuvre et des indications pour une stratégie de la recherche.

279. Sarnoff, David, *By the End of the Twentieth Century* (« Vers la fin du xxe siècle »), Fortune Magazine, mai 1964, pp. 116-119.

Liste de prévisions apodictiques, sans arguments analytiques, établie par le Président de RCA. Près de 50 prévisions particulières sont proposées pour l'an 2000 dans les domaines suivants : alimentation, matières premières, énergie, santé, génétique, communications, voyages, défense nationale, aéronautique et espace. La plupart des prévisions portent sur le développement d'applications techniques de découvertes scientifiques déjà réalisées. Cette liste met à jour une liste analogue établie par le Général Sarnoff, que Fortune Magazine avait publiée en 1955.

279*a*. Science Journal, *Forecasting the Future* (« Prévoir l'avenir ») - Publication prévue pour oct. 1967.

Prévisions portant sur les domaines suivants : science, médecine, espace, ressources naturelles, alimentation, énergie, matériaux, automation, communications, transports, villes, démographie et avenir du monde. Les articles se proposent de formuler des prévisions sérieuses, servant de base à l'établissement des plans actuels — et non pas de simples spéculations.

280. Scientific American, *The Future as Suggested by the Development of the Past 75 Years* (« L'avenir, tel qu'il est suggéré par l'évolution des 75 dernières années »), Scientific American, oct. 1920.

Vaste prévision sur 75 ans, avec 65 prédictions précises d'inventions.

280*a*. Stine, G. Harry, *Forecast 2000 AD*, sera publié aux États-Unis en 1967.

Prévisions fondées principalement sur une extrapolation des tendances.

281. Syracuse University Research Corporation, *Science and Technology in the 1985 Era* (« La science et la technique vers 1985 »), Syracuse, N.Y., 15 mars 1964. Clearinghouse for Scientific and Technical Information number AD 613.525, 44 pages.

Compléments à un rapport intitulé : « The United States and the World in the 1985 Era » (Les États-Unis et le monde vers 1985), établi pour le Marine Corps des États-Unis. Ce document comprend plusieurs prévisions très rudimentaires dans cinq domaines techniques particuliers : transports, communications, calculateurs et automation, énergie électrique, technique spatiale, ainsi que dans le domaine des ressources naturelles et dans celui de la santé publique et de la médecine. Aucune analyse n'y figure.

282. Teller, Edward, *The Next Hundred Years* (« Les cent prochaines années »), dans : *Technological Planning at the Corporate Level* (« Planification technologique à l'échelon de l'entreprise »), *réf. bibl. 195*, 1962, pp. 148-166.

Plusieurs prévisions, établies par le scientifique bien connu.

283. Thomson, Sir George, *The Foreseable Future* (« L'avenir prévisible »), University Press, Cambridge (RU), 1955, éd. rév. 1960, 145 pages.

Prévisions établies par un Prix Nobel britannique de physique (1937) et portant sur les vastes domaines indiqués par les titres des chapitres : énergie et puissance; matériaux; transports et communications; météorologie; alimentation; certaines applications de la biologie; certaines conséquences sociales; pensée naturelle et artificielle. La méthode adoptée consiste à « examiner quels sont les progrès techniques ultérieurs probables, puis à étudier l'influence qu'ils auront vraisemblablement sur la vie des

gens », par opposition à la méthode qui consiste, à partir d'une étude de l'évolution probable de la société, à « inventer l'avenir », comme le dit D. Gabor. Les prévisions particulières de Thomson, peu nombreuses, mais déduites d'une analyse réfléchie, représentent donc une prévision classique de valeur limitée pour un monde qui est prêt, en fait, à « inventer » son avenir. Son analyse est extrêmement intéressante, car elle reconnaît l'importance de la détermination des limites naturelles et d'une réflexion en termes de « principes d'impuissance. »

284. US National Resources Committee, *Technological Trends and National Policy - Including the Social Implications of New Inventions* (« Tendances technologiques et politique nationale — y compris les conséquences sociales des nouvelles inventions »), Subcommittee on Technology, US National Resources Committee, US Government Printing Office, Washington, D.C., juin 1937.

C'est peut-être là le premier essai sérieux de prévision technologique à l'échelon national et sur de nombreux points, il n'a pas encore été dépassé. Trois parties : I. Aspects sociaux de la technologie. II. Science et technique. III. Techniques diverses. La Partie I contient deux articles de S.C. Gilfillan, mentionnés séparément dans cette bibliographie sous les numéros 243 et 365. La Partie III contient une description de la prévision dans différents domaines; une étude des tendances et de développements espérés mais non prouvés; une estimation des effets de l'évolution technologique et des facteurs sociaux et économiques (le public acceptera-t-il la télévision et paiera-t-il pour l'avoir?); une détermination des nouveaux marchés possibles, et une esquisse des futurs domaines de recherche.

285. Vassiliev, M., et Gouschev, S. (éditeurs), *Life in The Twenty-First Century* (« La vie au XXIe Siècle »), traduit du russe; a paru pour la 1re fois en Russie en 1959, Penguin Special, Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex, 1961, 222 pages.

Très mauvais compte rendu, plein d'incompréhensions et de malentendus, des interviews que les deux journalistes ont obtenus de 29 ingénieurs et scientifiques russes connus. Leur incapacité à poser des questions techniques détaillées et à comprendre l'état de la technique et les tendances actuelles les conduit souvent à s'émerveiller des conséquences évidentes et à court terme, et à négliger les aspects intéressants. Ils se sont crus obligés d'écrire une partie des interviews sous forme romancée, comme des « scènes de la vie future », et d'insister chaque fois que cela était possible sur la suprématie du matérialisme dialectique et des techniques russes, considérée comme une condition préalable à ces résultats. Il peut être néanmoins intéressant, pour un lecteur compétent, d'essayer de retrouver les éléments originaux des prévisions faites à échéance de 50 ans, pour l'an 2007, par les scientifiques russes.

Voir également les *réf. bibl. 41* et *289a.*

B.9. Prévisions technologiques réelles : Domaines particuliers importants

286. Aerospace Industries Association, *Aerospace Technical Forecast 1962-1972* (« Prévision technique dans le domaine aérospatial 1962-1972 »), Aerospace Industries Association (AIA), Washington, D.C., 1962.

Large prévision, établie surtout en vue de définir les besoins de matériaux, de composants, de sous-systèmes, d'essais, etc.

287. Andrade, E.N. da C., *The Atom* (« L'atome «), Benn's Sixpenny Library, n° 103, Ernest Benn Ltd., Londres, 1927, 78 pages.

Possibilités de la fusion et de la fission due au défaut de masse.

288. Ayres, Robert U., *Technology and the Prospects for World Food Production* (« Technique et perspectives de la production mondiale de nourriture »), HI-640-DP (2e Rev.) Hudson Institute, Harmon-on-Hudson, New York, 19 avril 1966, 71 pages.

Exposé extrêmement original d'un sujet ancien et fort discuté. La méthode générale est indiquée par les titres des chapitres principaux : pertes et inefficacité; conversion capital/énergie. L'auteur étudie, sous une forme très critique, les techniques futures possibles, telles que les milieux artificiels, la synthèse à partir des combustibles fossiles, la mariculture, et le contrôle météorologique. Les chances de pouvoir satisfaire complètement les exigences de production de nourriture ne sont pas mauvaises.

289. Brennan, Donald G., et coll., *Future Technology and Arms Control* (« Technique future et contrôle des armements »), HI-504-RR, Hudson Institute, Harmon-on-Hudson, New York, 1er juin 1964. (Secret).
Non analysé.

289*a*. Calder, Nigel, *The Environment Game* (« Le jeu du milieu »), Secker & Warburg, Londres 1967.
Étude passionnante et généralement bien documentée, mettant en jeu l'analyse des systèmes des relations existant entre l'homme et son milieu, considérées dans le contexte des technologies futures; le sujet essentiel en est la technologie de la production alimentaire. L'auteur conclut que, aux environs de l'an 2000, la production d'aliments synthétiques prendra le relais de l'agriculture. Néanmoins, avant que soit atteint ce stade, la science contribuera effectivement à l'accroissement de la productivité agricole. L'homme, chasseur né, pourra, après une autre génération d'esclavage, se libérer de la sujétion « contre-nature » de la production agricole de ses aliments, et se consacrer à des objectifs neufs qui stimuleront son intelligence. Une seule ombre au tableau : le problème mondial de la faim devra être résolu au cours des trois dernières décennies du siècle, alors que la population du globe, s'accroîtra du double pendant cette même période.

290. CECA, *La Consommation d'Énergie dans certaines Branches industrielles*, Document 2765/65 f, Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, Haute Autorité, Luxembourg, 5 mai 1965, 45 pages.
Enquête sur les sources d'information, les méthodes d'analyse, et les principaux résultats de prévisions de la CECA sur la consommation de combustibles, compte tenu de l'évolution technologique.

291. CECA, *Der Energieverbrauch in bestimmten Industriezweigen - Entwurf eines zusammenfassenden Berichts* (« La consommation d'énergie dans certains secteurs industriels : projet de rapport récapitulatif »), vol. II, chap. 1, Der Energieverbrauch der Zementindustrie (La consommation d'énergie dans l'industrie du ciment), Document 4485/65 d, Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, Haute Autorité, Luxembourg, juin 1965. (Document interne).
Partie d'une synthèse des prévisions technologiques sur la consommation de combustibles dans divers secteurs industriels jusqu'en 1975.

292. CECA, CEE, et CEAA, *Étude sur les perspectives énergétiques à long terme de la Communauté européenne*, Haute Autorité de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, Commission de la Communauté Économique Européenne, Commission de la Communauté Européenne de l'Énergie Atomique; Luxembourg 1964, 639 pages.
Prévision approfondie, dans le domaine de l'énergie, pour la période 1965-1975, compte tenu de l'évolution technologique.

293. CECA, *Objectifs Généraux « Acier »*, Mémorandum sur les objectifs de 1965, Méthodes d'élaboration et résultats détaillés; Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, Haute Autorité, Luxembourg 1962, 540 pages.
Prévision sur cinq ans de la demande et de l'évolution technologique dans l'industrie sidérurgique des pays membres de la Communauté. Une prévision normative définit les objectifs.

294. CECA, *Objectifs Généraux « Acier »*, Rapport sur l'état d'exécution des objectifs généraux « acier » pour l'année 1965; Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, Haute Autorité, Luxembourg, 1964, 109 pages.
État (en 1960-1963) des prévisions normatives faites sur cinq ans, pour la période 1960-65.

295. Clarke, Arthur C., *Extraterrestrial Relays* (« Relais extra-terrestres »), dans Wireless World, oct. 1945.
Première proposition, faite sur une base scientifique, en vue d'utiliser des satellites artificiels en orbites stationnaires pour les communications, avec une étude des caractéristiques d'un tel système. C'est là un exemple de prévision technologique qui n'a pas été prise au sérieux à l'époque, mais qui s'est réalisée presque exactement tel qu'elle avait été envisagée.

296. Clarke, J.S., *The Outlook of an Engineer on Social Problems* (« Un ingénieur examine les problèmes sociaux »), Document AD L 1/65, Automobile Division, The Institution of Mechanical Engineers, Londres, 1964, 44 pages.

Étude approfondie des possibilités technologiques futures dans le secteur de l'automobile, compte tenu des facteurs sociaux, par l'Ingénieur en chef de Joseph Lucas.

297. Colborn, Robert (éd.), *Modern Science and Technology* (« Science et technique modernes »), Van Nostrand, Princeton, New Jersey, 1965.

Recueil d'articles repris de International Science and Technology, représentant surtout des comptes rendus imaginaires de l'état de la technique, avec des indications sur les tendances futures.

297*a*. Cole, Dandridge M., *Beyond Tomorrow - The Next 50 Years in Space* (« Après-demain - L'espace au cours des 50 années à venir »), Amherst Press, Amherst, Wisconsin, 1965, 168 pages.

Vaisseaux spatiaux de 50.000 tonnes capables de transporter 10.000 passagers — fusées cargo à lancement par accélération électromagnétique linéaire. Près d'un million d'individus pourraient habiter l'intérieur d'un astéroïde creux, mesurant 30 km de long et 15 km de large, éclairé intérieurement par réflexion de la lumière solaire.

298. Deutsche Bundesbahn, *Vorstellungen des Vorstandes zur Verbesserung der Wirtschaftlichen Lage* (« Rapport de la Direction sur l'amélioration de la situation économique »), DB-Schriftenreihe, Folge 13, Deutsche Bundesbahn, Frankfurt/Main, République Fédérale d'Allemagne, 1er sept. 1964, 64 pages.

Prévision économique et technologique, établie par le Conseil des Chemins de fer fédéraux allemands, avec des recommandations préliminaires pour un programme d'action.

299. Diebold, John, *Management and Railroad Cybernetics* (« Administration et cybernétique dans les chemins de fer »). Conférence prononcée devant l'Union internationale des Chemins de fer, le 4 nov. 1963, à Paris; Diebold Group Professional Paper, The Diebold Group, Inc., New York, 1963, 13 pages.

Prévision générale des conséquences futures des techniques de l'information sur les systèmes ferroviaires.

300. Diebold, John, *What's Ahead in Information Technology* (« L'avenir des techniques de l'information »), Harvard Business Review, sept./oct. 1965.

Nous sommes au seuil d'une « révolution de l'information », qui va modifier très largement les méthodes de gestion.

301. Dubos, René, *Mirage of Health: Utopias, Progress, and Biological Change* («Le mirage de la santé : Utopie, progrès et évolution biologique »), Harper and Bros., New York, 1959.

Non analysé.

302. Eddington, Sir Arthur, *New Pathways in Science* (« Nouvelles voies en science »), Messenger Lectures 1934, Cambridge University Press, Londres 1947; Ann Arbor Paperbacks, University of Michigan, 1959.

Contient un chapitre sur « L'énergie sub-atomique » écrit en 1932 et fondé sur un discours présenté par l'auteur à la World Power Conference à Berlin en 1930. Il évoque la possibilité de l'énergie d'annihilation entre les protons et les électrons — une idée erronée avant la découverte des anti-particules — et celle de la fusion nucléaire. Il évalue justement cette dernière possibilité comme réalisable entre des noyaux d'hydrogène; le rendement énergétique est déterminé correctement, et la température nécessaire presque exactement : 20 millions de degrés au lieu de 100 millions de degrés Kelvin.

303. ENEL, *Relazione del Direttore Generale al Consiglio di Amministrazione sull'Attività dell'Ente nel 1964* (« Rapport du Directeur général au Conseil d'Administration, sur l'activité de l'entreprise en 1964 »). Ente Nazionale per l'Energia Elettrica, Rome, avril 1965, 464 pages.

Rapport annuel du Directeur général des entreprises italiennes nationalisées d'électricité, le Prof. Angelini, comprenant un chapitre important sur les prévisions et programmes, avec une part considérable de prévision technologique.

304. EURATOM, *Dokumentation - Lage und Perspektiven der Kernenergie in der europäischen Gemeinschaft*, EURATOM (« Documentation : situation et perspectives de l'énergie nucléaire dans la Communauté européenne ») (Europäische Atomgemeinschaft), Bruxelles, juin 1965, 274 pages.

Rapport de fond concernant les prévisions de l'Euratom sur l'énergie nucléaire jusqu'à l'an 2000, avec une discussion détaillée des informations initiales, des méthodes et des conclusions. Certains résultats ne figurent pas explicitement dans la conclusion, mais on peut les trouver dans le texte de l'étude. La *réf. bibl. 305* donne les conclusions de cette étude dans le cadre politique.

305. EURATOM, *Erstes hinweisendes Programm für die europäische Atomgemeinschaft* (« Premier programme indicatif pour la Communauté européenne de l'Énergie atomique »), Commission de l'Euratom, Bruxelles, juin 1965, 39 pages.

Résumé d'une prévision technologique générale de l'énergie nucléaire jusqu'en l'an 2000, exposé de manière plus détaillée dans la *réf. bibl. 304.*

306. Gardner, John W., *Electricity without Dynamos - The Coming Revolution in Power Generation* (« Électricité sans dynamos - La révolution montante de la production d'électricité »), Pelican Book A 625, Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex, 1963.

Description de l'état de la technique et des perspectives, à partir d'un « accord des personnes informées », dans le domaine de la conversion directe de la chaleur en électricité, et en particulier des piles à combustibles, de la magnéto-hydrodynamique, et des générateurs thermo-électriques et thermo-ioniques. Écrit au moment où la vague d'optimisme était à son maximum, cet ouvrage néglige tout examen approfondi des circonstances économiques actuelles et futures. Les choses auraient été vues différemment en 1966.

307. Gee, Cyril C., *The Structure and Future Prospects of the Electronic-Based Industries in the United Kingdom* (« La structure et les perspectives d'avenir des industries à base électronique au Royaume-Uni »), Heywood & Co., Londres 1960, 36 pages.

Ouvrage provoqué par la conférence de Mullard sur l'évolution de la structure de l'électronique industrielle dans les années 1960, Londres 1960. Les principales parties qui concernent la prévision technologique sont les « Areas of Future Growth » (Domaines de croissance future), pp. 27-29, et les « Problems Facing the Industry » (Problèmes se posant à l'industrie), pp. 29-33. Les rôles que devaient jouer la micro-miniaturisation et l'électronique industrielle en 1965 ont été assez correctement prévus. En ce qui concerne les calculateurs, les éléments cryogéniques envisagés ne se sont pas encore concrétisés. L'auteur reconnaît la nécessité d'une méthode d'approche dynamique de la vente, mais ne parle pas de la demande future en matière de recherche et de développement.

308. Guéron, J., et coll. (éditeurs); *The Economics of Nuclear Power* (« L'économie de l'énergie nucléaire »), vol. 1, dans la série « Progress in Nuclear Energy », Pergamon Press, Londres 1956.

Réimpression partielle de documents établis pour la Conférence de Genève en 1955. Il ne s'agit pas vraiment de prévision technologique directe, mais les études des ressources et des besoins sont fondées néanmoins sur des bases assez solides.

309. Haase, R.H., *Analysis of Some Land Transportation Vehicles - Today and Tomorrow* (« Analyse de certains moyens de transport terrestre - Aujourd'hui et demain »), Rapport P-2625, The RAND Corporation, Santa Monica, Californie, août 1962.

Première tentative d'analyse des systèmes, exposée de manière plus complète dans la *réf. bibl. 131.*

310. ICAO, *Air Freight - Trends and Developments in the World Air Freight Industry, A Preliminary Study and Forecast* (« OACI; Le frêt aérien; Tendances et évolution de l'industrie mondiale du frêt aérien; Prévision et étude préliminaires), Document 8235-C/937, International Civil Aviation Organisation, Montréal, Canada, 1962, 111 pages.

La partie prévisionnelle vise 1975. Les conséquences des techniques nouvelles constituent l'un des éléments fondamentaux du rapport.

311. ICAO, *The Economic Implications of the Introduction into Service of Long-Range Jet Aircraft* (« OACI, Les conséquences économiques de la mise en service des avions à réaction longs-courriers), Document 7894-C/907, International Civil Aviation Organisation, Montréal, Canada, juin 1958, 66 pages.

Prévision technologique et économique approfondie, établie avant le début de la mise en service à grande échelle des avions commerciaux à réaction, avec des prévisions quantitatives détaillées jusqu'en 1961, prévisions qui ont joué un rôle décisif dans la mise en service rapide des avions à réaction.

312. ICAO, *North Atlantic Traffic Forecasts (March 1966)*, (« OACI, Prévisions du trafic aérien sur l'Atlantique Nord, mars 1966 »), Circulaire 76-AT/11, International Civil Aviation Organisation, Montréal, Canada, mars 1966, 33 pages.

Prévisions du trafic aérien des passagers, du frêt et du courrier pour 1975 pour la région de l'Atlantique Nord. Elles comprennent les tendances des prix, des facteurs de charge et d'économie de fonctionnement. Elles tiennent compte des nouvelles techniques, y compris la mise en service des avions supersoniques en 1972 et 1974.

313. ICAO, *Questions Relating to Outer Space* (« OACI, Questions relatives à l'espace extra-terrestre »), Document de travail C-WP/4316, 16 nov. 1965, International Civil Aviation Organisation, Montréal, Canada, 11 pages.

Projet de participation de l'OACI aux programmes d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-terrestre, comprenant des fonctions de prévision technologique.

314. ICAO, *The Technical, Economic and Social Consequences of the Introduction into Commercial Service of Supersonic Aircraft - A Preliminary Study* (« OACI, Les conséquences techniques, économiques et sociales de la mise en service commerciale des avions supersoniques, Étude préliminaire »), Document 8087-C/925, Organisation de l'Aviation civile internationale, Montréal, Canada, août 1960, 118 pages. Annexe n° 2 : Résumé des remarques des États contractants sur le Rapport préliminaire, complété par des éléments d'autre origine, Document 8087-C/925, Annexe n° 2, juin 1962, 41 pages.

Prévision technologique sous forme d'une analyse de systèmes complets — y compris le système logistique, et diverses conséquences. En raison de considérations de propriété industrielle, les éléments techniques de ce rapport ne sont pas complets.

315. Industrial Research, *Exploring the Sea, etc.*, (« Exploration de la mer, etc. »). Séries d'articles dans Industrial Research, mars 1966, pp. 7-114.

Sept articles, dont les auteurs (parmi lesquels J.Y. Cousteau et W.A. Nierenberg) donnent une vaste perspective du développement futur de l'océanographie, tenant compte de l'exploitation économique des ressources sous-marines et des aspects militaires.

316. Institute of Radio Engineers, *Communications and Electronics - 2012 A.D.* (« Communications et électronique, an 2012 »), Compte rendu du IRE, vol. 50, n° 5, mai 1962, pp. 562-656, The Institute of Radio Engineers Inc. (groupé depuis au sein du IEEE — The Institute of Electrical and Electronics Engineers), New York.

Série de 60 articles courts, dont plusieurs rédigés aux États-Unis par des scientifiques, des ingénieurs et des directeurs de recherche éminents dans ce domaine. Un effort de « brainstorming », peu structuré, qui a fourni beaucoup de philosophie générale, quelques extrapolations logiques concrètes, et un petit nombre d'idées fascinantes et utopiques — dont certaines probablement réalisables.

317. Jantsch, Erich, *Research and Development Trends in the Materials Sciences* (« Tendances de la recherche et du développement dans les Sciences des matériaux »), Document de travail DAS/SPR/66.3, OCDE, Paris, 14 juin 1966, 106 pages.

Reproduction d'un document, entièrement rédigé en 1963, tentant principalement de faire apparaître les tâches de recherche, les possibilités résultant des connaissances existantes et les conséquences futures des développements inter-disciplinaires. L'auteur montre en particulier l'importance d'une « science unifiée des matériaux » et les conséquences potentielles de recherches biologiques sur les développements des matériaux. Les prévisions ne portent, en ce qui concerne les conséquences économiques, que sur une partie du domaine des matériaux.

318. Jantsch, Erich, *Some Aspects of Potential Economic Implications of Current Research and Development Trends in the Energy Field* (« Certains aspects des conséquences économiques potentielles des tendances actuelles de recherche et de développement dans le domaine de l'énergie »), Document de travail DAS/SPR/66.2, OCDE, Paris, 31 mai 1966, 126 pages.

Réédition d'idées et de prévisions datant de 1962-63, et mises par écrit en 1963. Vue complète et « synthétique » de l'ensemble du domaine de l'énergie, complétée par une évaluation à long terme de la nature des ressources, qui permet de se rendre compte des voies de développement futur. On y trouve aussi une étude des conséquences économiques générales jusqu'en l'an 2000, et au-delà.

319. Kármán, Theodor von, *Towards New Horizons* (« Vers de nouveaux horizons »). Rapport établi pour le US Air Force Scientific Advisory Group, 7 nov. 1944.

« Classique » de la prévision technologique militaire, et le premier des travaux périodiques ultérieurs de l'Armée de l'Air des États-Unis. L'auteur a tenté d'identifier les différents moyens de développer la technique des turbines à gaz et de dégager les points d'intervention nécessaires aux différentes options techniques; son étude est devenue un guide de la recherche et du développement dans le domaine de la propulsion aérienne. Il avait prévu les avions supersoniques et reconnu la possibilité des fusées balistiques intercontinentales.

320. Leach, Gerald, *New Sources of Energy* (« Nouvelles sources d'énergie »), Progress of Science Series, Phoenix House, Londres, 1965.

Étude des possibilités techniques de conversion de l'énergie.

321. Levy, Lillian (éd.), *Space: Its impact on Man and Society* (« L'espace : ses conséquences pour l'homme et la Société »), W.W. Norton & Co., New York, 1965.

Contient des articles écrits par le Président L.B. Johson, James E. Webb, Glenn Seaborg, et d'autres. Compte rendu, assez vulgarisé, d'une prévision des conséquences sociales, comprenant des prédictions technologiques relatives aux communications par satellites, au contrôle météorologique, à la propulsion spatiale nucléaire, à la médecine, à la technique de l'alimentation, etc.

322. Litton Systems, Inc., *US Defence Posture - Overview 1964-1974* (« Situation de la défense nationale des États-Unis; Perspective 1964-1974 »), publication n° 3373, Guidance and Control Systems Division, Litton Systems, Inc., juin 1964.

Contexte militaire et politique du « marché de la défense » aux États-Unis dans les dix prochaines années.

323. Lundberg, Bo K.O., *Pros and Cons of Supersonic Aviation in Relation to Gains of Losses in the Combined Time/Comfort Consideration* (« Avantages et inconvénients de l'aviation supersonique, en fonction des gains ou des pertes, compte tenu des horaires et du confort »), Journal of The Royal Aeronautical Society, vol. 68, n° 645, sept. 1964, pp. 611-630.

Étude effectuée selon la méthode d' « analyse des systèmes globaux », par le directeur général de l'Institut de Recherche Aéronautique de Suède. Il conclut négativement quant à l'intérêt de l'aviation supersonique, en raison des facteurs de sécurité, de bruit et autres, qu'il prévoit et examine dans un contexte de prévisions techniques et économiques.

324. Lundberg, Bo K.O., *Speed and Safety in Civil Aviation* (« Vitesse et sécurité dans l'aviation civile »), Conférence présentée au troisième Congrès international des Sciences aéronautiques (ICAS III), 27-31 août 1962, Stockholm. *Part I: Speed* (« Vitesse »), Rapport FFA 94 (1963), *Part II: Safety* (« Sécurité »), Rapport FFA 95 (1963), *Part III: Speed versus Safety; Concluding Remarks; Discussion* (« Vitesse en fonction de la sécurité; remarques finales; discussion »), Rapport FFA 96 (1964), Flygtekniska Försöksanstalten — (Institut de Recherches aéronautiques de Suède), Stockholm.

Analyse complète des caractéristiques techniques et économiques de l'aviation supersonique et de ses conséquences sur l'économie et la société en général. L'auteur, directeur général du FFA, s'inquiète de la sécurité, du bruit et d'autres facteurs, et met en garde contre la mise en service prématurée des avions supersoniques. Il définit les conditions de la réussite de cette mise en service, et propose un compromis au

cours d'une période de transition. Il examine brièvement l'aviation transonique — Mach 1,1 à 1,5 — et l'aviation hypersonique — plus de Mach 5. Exemple marquant de prévision technologique faite sur une base générale, proche de « l'analyse des systèmes globaux », et essayant en particulier de prévoir les conséquences pour la société.

325. Mentzer, William C., *The Next 40 Years* (« Les 40 prochaines années »), Mainliner, vol. 10, n° 4, United Air Lines, Chicago, Ill., avril 1966, 2 pages.
Prévision, sur 40 ans, de l'évolution de la technique des avions civils et du trafic aérien, faite par le Vice-Président chargé des études et de l'entretien de United Air Lines.

326. Muller, H.J., *Out of the Night - A Biologist's View of the Future* (« Sorti la nuit; Un biologiste regarde l'avenir »), Victor Gollancz, Londres, 1936.
Écrit en 1925, cet ouvrage remonte à 1910, en ce qui concerne les principales idées biologiques exposées, c'est-à-dire au moment où le généticien, futur Prix Nobel, était encore étudiant. Muller présente un futur lointain dans lequel nous pénétrons à peine grâce à la biologie moléculaire. Cet ouvrage a eu de très grandes répercussions, car il évoquait les possibilités de l'eugénique et le pouvoir d'influencer les caractéristiques génétiques, et il donnait un aperçu audacieux de l' « invention sociale » la plus troublante que l'on puisse imaginer, même aujourd'hui. Selon l'auteur, « la réalisation de ces inventions sera encouragée quand nous disposerons d'un système où leur intérêt sera convenablement apprécié », affirmation qui constitue un exemple de formulation des objectifs sociaux.

327. Ogbrun, William Fielding; avec Adams, J.L., et Gilfillan, S. Colum, *The Social Effects of Aviation* (« Les effets sociaux de l'aviation »), Houghton Mifflin Co., Boston, and Riverside Press, Cambridge, Mass., 1946.
Contient deux chapitres généraux intéressants, tous les deux apparemment écrits par Gilfillan, sur la prévision de l'avenir, pp. 32-57, et sur la prévision des effets sociaux des inventions, pp. 58-82. Le premier de ces chapitres distingue les prévisions selon qu'elles se fondent ou non sur des mesures. L'ouvrage contient dans l'ensemble de très bonnes prévisions technologiques, bien qu'il soit volontairement vague sur des thèmes tels que la mise en service des avions à réaction pour le trafic commercial. Il prédit toutefois que les tarifs aériens transatlantiques seront ramenés à 3 cents par passager-kilomètre, prévision qui est très proche des conditions réelles, 20 ans après. L'ouvrage passe en revue de nombreux aspects des conséquences sociales.

328. OCDE, *Energy Policy Problems and Objectives* (« Objectifs et problèmes de la politique en matière d'énergie »), Paris, août 1966.
Comprend des prévisions concernant l'énergie jusqu'en 1980 et l'énergie nucléaire jusqu'en 1985. Les prévisions reposent : *a*) sur la détermination de la tendance économique générale, et *b*) sur l'étude de secteurs globaux, comme l'industrie, les transports, les produits de grande consommation, etc., avec des études plus détaillées pour certains secteurs industriels à évolution plus rapide.

329. Picard, Fernand, *The Future of Automobile Technique* (« L'avenir de la technique automobile »), document 980 A, présenté à l'International Automotive Engineering Congress, Detroit, Michigan, 11-15 janv. 1965, Society of Automotive Engineers, New York, 14 pages.
Étude des développements actuels et futurs possibles.

329*a*. Polak, Fred L., *The New World of Automation* (« Le monde nouveau de l'automation »), dans Dutch, seconde édition, sept. 1966.
Non analysé.

330. PTT Suisse, *Grundlagen für die Planung von Fernmeldeanlagen* (« Éléments de base pour la planification des installations téléphoniques »), PTT, Berne (Suisse), nov. 1965, 33 pages.
Prévision jusqu'en l'an 2000, pour les télécommunications helvétiques, avec une brève étude des hypothèses et de la méthode adoptée.

331. Putnam, Palmer Cosslett, *Energy in the Future* (« L'énergie dans l'avenir »), Van Nostrand, Princeton, 1953, 107 pages.

Exemple de prévision technologique ayant conduit à des erreurs. Due à un consultant de l'Atomic Energy Commission, et fondée sur une étude effectuée pour l'AEC en 1949, elle avait pour objet d'évaluer la demande mondiale plausible d'énergie au cours des 50 ou 100 prochaines années. Les évaluations partent de l'hypothèse que l'énergie nucléaire peut coûter deux fois plus que l'énergie provenant des combustibles fossiles et peut être utilisée dans certains domaines et pour certains objectifs, sans jamais dépasser 10 à 20 % de la consommation énergétique totale. Aucune tentative n'est faite pour étudier l'énergie nucléaire en tant qu'autre solution possible.

332. Ramo, Simon (éd.), *Peacetime Uses of Outer Space* (« Utilisations pacifiques de l'espace extra-terrestre »), McGraw-Hill, New York, 1961.

On trouve parmi les auteurs L.V. Berkner, E. Teller, W. Libby, et d'autres scientifiques éminents. De larges prévisions technologiques portent sur les points de vue techniques, sociaux, politiques et commerciaux, avec leurs conséquences dans les domaines suivants : communications, navigation mondiale, voyages terrestres, étude de l'univers, entreprise privée concurrentielle dans l'espace, prédiction météorologique, énergie nucléaire, etc.

333. Samson Science Corporation, *Microelectronics - Revolutionary Impact of New Technology* (« Microélectronique - Conséquences révolutionnaires de la technique nouvelle »), Rapport Samson n° 2, peut être obtenu à Samson Science Corporation, 270 Park Avenue, New York, N.Y., 1965, 34 pages.

Étude très explicite des aspects les plus importants de l'apparition des circuits intégrés : modifications dans l'industrie, intégration verticale de la fabrication, concurrence entre les technologies hybride et monolithique, situation de la Logique de l'état solide d'IBM dans la structure évolutive, chances de réussite dans l'industrie microélectronique, et conséquences et tendances futures « évidentes » et « subtiles ».

334. Samson Science Corporation, *Satellite Communications - Comsat and the Industry* (« Communications par satellites : La Comsat et l'industrie »), Rapport Samson n° 1, peut être obtenu à Samson Science Corporation, 270 Park Avenue, New York, N.Y., déc. 1964, 84 pages.

Étude des tendances du marché, suivie de prévisions générales du marché jusqu'en 1975. La comparaison des communications par satellites et par câbles océaniques, sur la base d'une analyse des coûts et des performances techniques, montre que les satellites présentent des avantages marqués. Les auteurs examinent de manière critique les débuts des systèmes de satellites militaires et de satellites commerciaux, et étudient les accords internationaux. Ils en déduisent aussi les conséquences pour l'industrie en général, en termes de nouveaux défis et de nouvelles possibilités, de recettes et de tarifs d'exploitation des satellites, ainsi que de perspectives financières pour la Comsat, tandis qu'un chapitre final évoque l'avenir plus lointain. Il s'agit d'une évaluation sérieuse représentant une « analyse de systèmes globaux », également valable pour les aspects économiques et techniques.

335. Sanders, Ralph, *Project Plowshare - The Development of the Peaceful Uses of Nuclear Explosions* (« Projet « Plowshare »; Le développement des utilisations pacifiques des explosions nucléaires »), Public Affairs Press, Washington, 1962.

Comprend une étude détaillée des possibilités économiques et des conséquences économiques, sociales et politiques.

336. Schurr, Sam; et Marschak, Jacob, *Economic Aspects of Atomic Power* (« Aspects économiques de l'énergie atomique »), publié pour la Cowles Commission for Research in Economics par Princeton University Press, Princeton, N.J., 1950.

Exemple extrêmement intéressant de prévision technologique, fondée sur des connaissances techniques insuffisantes en raison du secret imposé à l'époque. L'essai de détermination des coûts de production d'électricité a été effectué à partir d'une évaluation soigneuse de toutes les informations non secrètes dont on a pu disposer; les résultats ont été entièrement faussés parce qu'un manque de compréhension technique a conduit à deux erreurs principales : 1. Il a été admis que les réacteurs sur-régénérateurs pouvaient « brûler » complètement les matériaux fissiles et fertiles sans prélèvement de combustible en dehors du « gain » de régénération : une déclaration de l'Atomic Energy Commission, insistant sur la nécessité d'un re-traitement chimique, d'un recyclage du combustible, etc., a été ignorée. Dans ces conditions, le calcul des coûts du

cycle du combustible a donné 0,002 mills/kWh, sur la base de 20 $ la livre d'uranium; 2. Il a été admis qu'il n'y avait « aucune information confirmant la diminution importante du coût unitaire des groupes de production avec l'accroissement de la puissance de la centrale au-dessus de 75 MW », bien que les estimations disponibles de l'AEC aient déjà imaginé un effet d'échelle maintenant largement confirmé. Une gamme de prix de 140 à 315 $/kW a été adoptée, le calcul donnant alors des coûts fixes de 4 à 10,2 mills/kWh, sur la base d'un facteur de charge de 50 % seulement. L'étude des conséquences est toutefois excellente et peut être considérée comme un « classique ». Neuf secteurs industriels sont soigneusement analysés, du point de vue de trois conséquences possibles : réduction des coûts, modifications des processus, changements d'emplacement. D'autres chapitres traitent des conséquences pour les économies régionale et nationale, et de l'effet sur l'industrialisation des régions en retard. L'ouvrage comprend également une très bonne comparaison entre l'énergie classique et l'énergie nucléaire, et une étude sur les différences de structure de coûts de l'énergie classique et de l'énergie nucléaire. Dans l'ensemble, les effets de l'énergie nucléaire sur l'économie ne sont pas surestimés : 1 % d'accroissement pour la productivité, aucun accroissement important de la demande d'énergie, etc.

337. Scortecci, Antonio, *Riflessioni sull'avenire della produzione siderurgica di massa e di qualità* (« Réflexions sur l'avenir de la production sidérurgique de masse et de qualité »), Conférence présentée à l'Université de Tokyo le 7 avril 1965, à l'occasion du 50e anniversaire de l'Institut sidérurgique du Japon; La Metallurgica Italiana, Anno LVII, mensile n. 8, agosto 1965, pp. 281-289.
Prévision concernant la technique sidérurgique.

338. Smith, Nicholas M., *Operations Research in the Next 20 Years: A Technological Forecast* (« Recherche opérationnelle dans les 20 prochaines années : Une prévision technologique »), Research Analysis Corporation, antérieur à 1965.
Non analysé.

339. Sporn, Philip, *Electrical Power Demand and Supply in the United States, and the Role of Research in the Quarter-Century Ahead* (« Demande et offre d'énergie électrique aux États-Unis, et le rôle de la recherche dans les 25 années à venir »), Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, vol. 101, 2e Partie, no 82, p. 390 ff., Londres, 1954.
Étude intéressante d'un certain nombre d'innovations possibles dèjà bien connues et des conditions dans lesquelles elles pourraient susciter un large intérêt économique — par exemple les pompes thermiques, l'énergie solaire, etc. Conclusions sur la stratégie future de la recherche.

340. Sporn, Philip, *Research in Electric Power* (« Recherches sur l'énergie électrique »), Pergamon Press, Oxford, Macmillan, New York, 1966.
Non analysé.

341. Steel (Périodique), *What Industry Hopes to Learn From Nature* (« Ce que l'industrie espère apprendre de la nature »), Steel, 25 nov. 1963.
Il est possible que la « biotechnique » soit le marché d'avenir pour l'électronique. Une méthode pleine d'imagination, dans une voie qui n'a pas encore reçu toute l'attention qu'elle mérite : chercher à s'instruire auprès de la nature plutôt qu'essayer de la dépasser, comme on l'a fait jusqu'ici.

342. TEMPO, *Future Navy Systems, Vol. I: Introduction to Political-Military Environment of Warfare* (« Futurs systèmes navals; Vol. I : Introduction au cadre politico-militaire de la guerre »), Rapport RM-61-TMP-95, TEMPO—Technical Military Planning Operation, General Electric, Santa Barbara, Californie, 31 déc. 1961, 83 pages, Defense Documentation Center number AD-401, 346.
Base d'une étude complète de guerre navale, définissant les missions et les besoins dans un cadre général géographique, militaire et politique.

343. Thirring, Hans, *Energy for Man—Windmills to Nuclear Power* (« L'énergie au service de l'homme : des moulins à vent à l'énergie nucléaire »), Indiana University Press, Bloomington, Ind., 1958.

Ouvrage fréquemment cité, qui ne contient que des prévisions technologiques assez vagues, mais de bonnes réflexions sur les ressources énergétiques et les structures d'utilisation. Pour certaines techniques, par exemple les machines thermiques, l'ouvrage comprend des évaluations des principaux paramètres.

344. UK National Research Development Corporation, *The Implications for Economic Growth of Research on New Materials* (« Conséquences, pour la croissance économique, des recherches sur les nouveaux matériaux »); Londres; la version non secrète doit paraître en 1967.

Initialement envisagé comme une prévision technologique complète dans les sciences des matériaux, ce rapport semble constituer principalement une enquête nationale approfondie sur les nouveaux matériaux en cours de développement au Royaume-Uni.

345. Nations Unies, *Nouvelles sources d'énergie et développement de l'énergie.* Rapport pour la Conférence des Nations Unies sur les nouvelles sources d'énergie (Énergie solaire, énergie éolienne, énergie géothermique), Rome (Italie), 21-31 août 1961; Nations Unies, New York, 1962.

Actes d'une conférence, assortis de plusieurs prévisions technologiques principalement orientées vers les besoins et les désirs des pays en voie de développement.

346. Nations Unies, *Le dessalement de l'eau dans les pays en voie de développement* (« Water Desalination in Developing Countries »), 1 volume texte anglais, 3 volumes texte français, tous les deux aux Nations Unies, New York, sept. 1964.

Évaluation des besoins en eau et de l'intérêt du dessalement de l'eau, ainsi que des solutions techniques réalisables.

347. US Atomic Energy Commission, *Civilian Nuclear Power... A report to the President-1962* (« Énergie nucléaire civile - Rapport au Président, 1962 »), AEC, Washington, D.C., 20 nov. 1963.

Prévision optimiste à long terme, portant sur l'an 2000 et au-delà, établie par l'AEC avec l'aide de l'industrie des États-Unis; a eu une portée considérable pour l'énergie nucléaire. Elle peut être considérée comme marquant le tournant entre une période de perspectives sombres et celle du démarrage dynamique de l'installation de centrales nucléaires à grande échelle.

348. US National Academy of Sciences—National Research Council, *Economic Benefits from Oceanographic Research* (« Bénéfices économiques de la recherche océanographique »), Publication 1228, Committee on Oceanography, National Academy of Sciences—National Research Council, Washington D.C., 1954, 50 pages. (Épuisé).

Il est regrettable que cette première tentative d'analyse des coûts et de l'efficacité, dans un domaine de recherche fondamentale qui évolue à l'heure actuelle vers l'application, se soit égarée en raison d'une base mathématique erronée dans l'évaluation. L'analyse économique, fondée sur la comptabilité financière actualisée permettant de calculer la valeur nette actuelle des investissements dans la recherche océanographique, est décrite en annexe; elle est erronée en plusieurs points, et suppose a priori que les profits provenant de la recherche ne cessent d'augmenter au taux de 100 % par an. Les résultats portant sur les profits relatifs des applications, allant des pêcheries à la prévision météorologique à long terme et aux loisirs du bord de mer — font apparaître des rapports compris entre 1 et 8,1 pour les bénéfices actualisés et les coûts, avec une moyenne générale de 4,4. Ces résultats doivent être appréciés à la lumière des hypothèses posées a priori et n'ont — hélas — aucune valeur.

349. Wagle, B., *Forecast of Future Transport Requirements in the United Kingdom* (« Prévisions des besoins futurs du Royaume-Uni en transports »), Esso Petroleum Co. Ltd., Londres 1965, article soumis pour publication à l'Oxford Bulletin of Statistics, 46 pages.

Résumé des prévisions faites antérieurement dans ce domaine, et prévisions pour 1975, corrigeant le rapport de la Commission Hall, considéré comme trop pessimiste. Par exemple, la prévision du nombre d'automobiles privées est de 18,3 millions, contre 14 à 15,5 millions prévus par la Commission Hall.

350. Wolstenholme, Gordon (éd.), *Man and his Future* (« L'homme et son avenir »), publication de la Fondation CIBA, J. & A. Churchill Ltd., Londres, 1963, 410 pages.

Exposés, suivis de discussions, présentés à un Congrès de la Fondation Ciba, groupant 27 personnalités éminentes de la biologie et de la médecine. Les principaux sujets ont été les suivants : évolution de l'homme (J. Huxley); ressources alimentaires mondiales (C. Clark, J.F. Brock); population mondiale (G. Pincus, A.S. Parkes); aspects sociologiques (C.S. Coon, A. Glikson, D.M. MacKay); santé et maladies (A. Szent-Györgyi, H. Koprowski, A. Comfort); eugénique et génétique (H.J. Muller, J. Lederberg, tous les deux Prix Nobel, qui insistent sur la rétroaction négative du progrès culturel sur le progrès génétique, et demandent des moyens sociaux de contrôle démocratique et une application ultime de l'eugénique sur la base des futurs progrès de la biologie); l'avenir de l'esprit (H. Hoagland, B. Chisholm); considérations éthiques (J.B.S. Haldane). Une bibliographie comprenant 109 titres est jointe aux actes de cet important Congrès.

351. Zebroski, E.L., *The Timing of Large-Scale Utilisation of Plutonium* (« Les étapes de l'utilisation à grande échelle du plutonium »). Exposé présenté à la Conference on Commercial Plutonium Fuels, 1-2 mars 1966, Washington D.C., General Electric Co., San José, Calif., 12 pages.

Exposé des prévisions de la General Electric sur le développement futur de l'énergie nucléaire et le rythme de mise en service des réacteurs rapides. Une analyse de « systèmes globaux » montre comment l'aspect économique des réacteurs rapides dépend du développement de l'économie des réacteurs à eau, dans une économie transitoire mixte de réacteurs thermiques et rapides, ainsi que l'effet « synergistique », c'est-à-dire l'amélioration mutuellement profitable de l'économie d'exploitation des réacteurs à eau.

Voir également les *réf. bibl. 119, 131, 190, 243.*

B.10. Prévisions technologiques réelles : Objectifs et conséquences pour la nation et la société

352. American Academy of Arts and Sciences, *Working Papers of the Commission on the Year 2000* (« Documents de travail de la Commission de l'An 2000 »), vol. I : Exposé préliminaire; actes des réunions de la Commission, 22-24 oct. 1965 et 10-12 fév. 1966; vol. II : Les 34 prochaines années, thème de conjoncture; vol. III : Questions et mises en garde concernant la prévision; la structure politique.; vol. IV : Valeurs et droits; vol. V : Institutions intellectuelles; le cycle de vie, le système international. Commission of the Year 2000, American Academy of Arts and Sciences, Boston, Massachusetts, 1966 (diffusion privée seulement). Une version condensée des documents de travail sera publiée dans l'édition de l'été 1967 de Daedalus.

Documents de travail détaillés, suivis de discussions, dont une synthèse sera publiée en 1967. Le Volume III contient un article de A.A. Schon « Le problème : prévision et prévision technologique », qui donne une opinion négative des possibilités de la prévision technologique, et nie qu'elle soit largement pratiquée. Le but général du Comité de l'An 2000 est de laisser les esprits évoluer librement dans le domaine des questions générales de la technologie sociale ou, comme le dit son président, Daniel Bell, « d'acquérir l'expérience d'un Luftmensch ».

353. American Scholar, *The Electronic Revolution* (« La révolution électronique »), série comportant des articles de J. Bronowski, M. McLuhan, etc., The American Scholar, été 1966.

Non analysé.

354. Baade, Fritz, *Der Wettlauf zum Jahre*, 5e éd. 1962, Traduction anglaise : *The Race to the Year 2000* (« La course vers l'an 2000 »), Doubleday, Garden City, N.Y., 1962, et The Cresset Press, Londres, 1962.

Perspective globale qui comprend relativement peu de prévisions technologiques directes, mais qui fournit de bons éléments de base pour ces prévisions dans les domaines suivants : démographie, production alimentaire, compétition Est-Ouest, main-d'œuvre, énergie, acier, course à l'enseignement. Ouvrage manquant d'imagination.

355. Barach, A.B., *1975 and the Changes to Come* (« 1975 et les changements à venir »), Harper & Brothers, New York, 1962.
Non analysé.

356. Bryson, Lyman (éd.), *Facing the Future's Risks—Studies Toward Predicting the Unforeseen* (« Face aux risques de l'avenir : Études en vue de prédire l'imprévu »), Compte rendu d'une Conférence marquant le 200e anniversaire de la création de l'assurance mutuelle en Amérique; New York 1952; Harper & Brothers, New York 1953.
Traite surtout des grandes questions politiques et sociales. L'article de L.N. Ridenour, sur les sciences physiques et l'avenir (voir *réf. bibl. 14*), est intéressant pour la prévision technologique.

357. Bloomfield, Lincoln P. (éd.), *Outer Space: Prospects for Man and Society* (« L'espace extra-terrestre : perspectives pour l'homme et la société »), Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1962.
Non analysé.

358. Darwin, Sir Charles Galton, *The Next Million Years* (« Le prochain million d'années »), Doubleday, Garden City, N.Y. 1953.
Étude de l'explosion démographique dans un esprit malthusien. Darwin pense qu'aucune stabilisation n'est possible sur une longue période, et que plus ou moins tard on atteindra dans tous les domaines la marge de famine, de sorte qu'une fois de plus la population sera limitée par des taux de mortalité élevés.

359. Diebold Group, Inc., *Automation: Impact and Implications* (« Automation : conséquences et effets »), Communications Workers of America, AFL-CIO, Washington, avril 1965, 182 pages.
Non analysé.

360. Diebold, John, *Beyond Automation - Managerial Problems of an Exploding Technology* (« Au-delà de l'automation : problèmes de gestion dans une technique en évolution explosive »), McGraw-Hill, New York, 1964.
Conséquences de la technologie future de l'information.

361. Diebold, John, *Time Will Have No Stop* (« Le temps ne s'arrête pas »). Parution prévue aux États-Unis en 1967.
Conséquences sociales de la technologie de l'information. Le titre est une réponse à l'affirmation de Aldous Huxley : « Time must have a Stop » (Le temps doit faire une pause).

362. Dunlop, John T. (éd.), *Automation and Technological Change* (« Automation et évolution technologique »), The American Assembly (Columbia University), Spectrum Book S-AA-7, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1962, 2e édition, fév. 1965, 186 pages.
Actes et résolution finale de la Vingt et Unième Assemblée américaine, 3-6 mai 1962, Columbia University. Exposé assez général, peu structuré, de l'évolution technologique et de ses conséquences pour la société. La résolution exprime des recommandations de politique publique et privée « afin d'améliorer largement les résultats du processus complexe de l'évolution technologique. »

363. Friedrichs, Günter (éd.), *Automation - Risiko und Chance* (« Automation : Risques et chances »), 2 volumes, Europäische Verlagsanstalt, Frankfurt/Main (Allemagne), 1966, 1172 pages.
Actes d'une Conférence patronnée par la I.G. Metall — syndicat allemand des fabrications métalliques — à Oberhausen, en mars 1965. Articles rédigés notamment par W.P. Reuther (le chef syndicaliste américain), N.W. Chamberlain, W. Claussen, M.S. Harris et O. Brenner. L'attitude générale des syndicats allemands envers l'automation est faite de suspicion, et d'une dramatisation des effets supposés sur le chômage.

363*a*. Fuller, R. Buckminster; et McHale, John, *World Design Science Decade, 1965-1975*, Document One: Inventory of World Resources, Human Trends and Needs (R.B. Fuller and J. McHale); Document Two: The Design Initiative (R.B. Fuller); Document

Three: Comprehensive Thinking (R.B. Fuller); Document Four: The Ten Year Program (J. McHale). Publiés par the World Resources Inventory, Southern Illinois University, Carbondale, Illinois, 1963 à 1965.

Premiers résultats d'un programme décennal de recherches ininterrompues, proposé en 1961 par R.B. Fuller à l'Union Internationale des Architesctes, projet patronné par la Southern Illinois University. Les objectifs principaux du programme sont indiqués à l'Annexe A.5.13.

364. Gabor, Dennis, *Inventing the Future* (« L'invention de l'avenir »), Secker & Warburg, Londres 1963, Pelican, Book A 663, Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex, 1964, 199 pages.

L'ouvrage, dont le titre est devenu le slogan d'un mouvement mondial de scientifiques et de « futuristes », soutient qu'il faut choisir l'avenir parmi de nombreux avenirs possibles. Partant des trois grands dangers auxquels notre civilisation se heurte — la guerre nucléaire, la surpopulation, et l'âge des loisirs — l'auteur développe une contre-stratégie, afin de mobiliser l'aptitude de l'homme à survivre et à en éprouver du plaisir. Gabor caractérise de la manière suivante le rôle de la technique dans cette lutte : « Jusqu'ici, l'homme a lutté contre la nature; désormais, il le fera contre sa propre nature. » L'auteur est professeur de physique électronique appliquée à l'Imperial College of Science and Technology à Londres, et Fellow de la Royal Society : sa qualité de spécialiste des sujets scientifiques et techniques lui permet de traiter de nombreux exemples bien choisis et ajoute à la valeur de cet ouvrage qui est déjà considéré comme un « classique », et exerce une grande influence.

365. Gilfillan, S. Colum, *Social Effects of Inventions* (« Les effets sociaux des inventions »), dans : US National Resources Committee, *Technological Trends and National Policy* (« Tendances technologiques et politique nationale »), Première partie, Section III, voir *réf. bibl. 284.*

Déduisant les intérêts des innovations des besoins et des désirs sociaux, l'auteur — qui réussit remarquablement ses prévisions quand il part de l'aspect technique, voir *réf. bibl. 243* — ne peut toujours éviter le piège d'une « réflexion entraînée par le désir », contre laquelle il met en garde dans la *réf. bibl. 40.*

366. Gordon, Theodore, J., *The Future* (« L'avenir »), St. Martin's Press, New York, 1965.

Non analysé.

367. Greenberger, Martin (éd.), *Computers and the World of the Future* (« Les calculateurs et le monde futur »), MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1962.

Excellentes conférences prononcées par V. Bush, C.P. Snow, N. Wiener et d'autres.

368. Hearle, Edward F.R., *Electronic Data Processing for Cities - The Broad Look* (« Le traitement électronique de l'information pour les villes - Perspectives d'ensemble »), Memorandum P-2714, The RAND Corporation, Santa Monica, Californie, février 1963, 11 pages.

Bref exposé des possibilités de progrès techniques contribuant à un objectif social général.

369. Keynes, John Maynard, *Essays in Persuasion* (« Essais sur la persuasion »), Rupert Hart-Davis, Londres 1931, nouvelle édition 1951.

La Partie V, « L'avenir », comprend deux articles : « Clissold », pp. 349-357, écrit en 1927, fait des commentaires sur « The World of William Clissold » article pessimiste de H.G. Wells, et « Economic Possibilities for our Grandchildren », pp. 358-373, écrit en 1930. Le dernier article, « planant sur l'avenir », exprime l'opinion optimiste du fameux économiste, selon laquelle le rythme du progrès économique ne se ralentira pas sous l'effet d'une crise économique mondiale. L'importance de l'innovation technique est soulignée; elle conduira à une évolution historique différente de celle des époques antérieures. Le problème économique n'est pas le problème permanent de la race humaine et peut être entièrement résolu en 100 ans.

370. Lapp, Ralph E., *Man and Space - The Next Decade* (« L'homme et l'espace; La prochaine décennie »), Secker & Warburg, Londres 1961.

Tentative d'examen du problème spatial dans un cadre social. Par exemple, les coûts élevés des vols au-delà de la lune entraîneront une coopération entre les pays, etc. Étude du problème des objectifs souhaitables du programme spatial : l'évolution d'un objectif scientifique et militaire, initialement bien défini, vers un ensemble d'objectifs moins formels (y compris les aspects de politique étrangère), a provoqué une « contrainte » interne dans le programme spatial américain.

371. Little, Arthur D., Inc., *Projective Economic Studies of New England* (« Études économiques projectives sur la Nouvelle-Angleterre »), Rédigées dans le cadre d'un Plan global de développement et de conservation des ressources hydrauliques, pour l'US Army Engineer Division, New England Corps of Engineers, Waltham, Mass.; Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Massachusetts, 1964/65, 528 pages.
Prévision de développement régional jusqu'en l'an 2000, tenant compte du développement des industries manufacturières, des structures d'emploi, etc. La prévision technologique joue un rôle périphérique.

372. Lundberg, Ferdinand, *The Coming World Transformation* (« La transformation mondiale est en marche »). Doubleday, Garden City, N.Y., 1963.
Non analysé.

373. Mazlish, Bruce (éd.), *The Railroad and the Space Program - An Exploration in Historical Analogy* (« Les chemins de fer et le programme spatial; Une exploration en analogie historique »), dans la série : Technology, Space, and Society, publiée par the American Academy of Arts and Sciences, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1965, 223 pages.
Premier essai d'application systématique de l'analogie historique à une « innovation sociale » importante de notre époque. Une préface décrit la méthode, et le premier chapitre, rédigé par le rédacteur principal, en tire les conclusions. Les sept autres chapitres portent plus ou moins sur l'histoire des chemins de fer, avec peu ou pas de tentatives d'analogie avec le programme spatial.

374. McLuhan, Marshall, *Understanding Media: The Extensions of Man* (« Comprendre le milieu : les extensions de l'homme »), McGraw-Hill Paperbacks, McGraw-Hill, New York 1965, 3e éd. janv. 1966, 364 pages.
Ouvrage visionnaire du sociologue et critique culturel canadien, exposant l'idée de l'extension du système nerveux central de l'homme par l'électricité — suivant l'extension de sa puissance par la mécanisation — et considérant que les siècles d'explosion et de spécialisation accrue font maintenant place à l' « implosion » de l'ère électronique. Un quart environ de l'ouvrage, exposant les conséquences de cette évolution, contient certaines prévisions technologiques dont la portée est une des plus grandes que l'on puisse trouver dans ce genre d'ouvrages.

375. Neumann, John von, *Can We Survive Technology* (« Pouvons-nous survivre à la technique? »), Fortune, juin 1955.
Non analysé.

376. Österreichische Volkspartei, *Aktion 20.* Document non publié, Österreichische Volkspartei, Vienne (Autriche), janv. 1966.
Cadre initial d'une prévision normative sur 20 ans intéressant les domaines suivants : enseignement, santé publique, droit et société, situation internationale, économie nationale. Les questions susceptibles d'être traitées par la prévision technologique figurent surtout sous ce dernier titre.

377. Paine, Thomas O., *The City as an Information Network* (« La ville considérée comme réseau d'information »), IEEE International Convention and Exhibition, le 22 mars 1966, à New York; document 66-TMP-32, TEMPO Center for Advanced Studies, General Electric Company, Santa Barbara, Californie, 1966, 8 pages.
Aperçu général de l'évolution technologique dans un cadre d'objectifs sociaux.

378. Philipson, Morris (éd.), *Automation - Implications for the Future* (Automation; Conséquence pour l'avenir), Vintage Books V-46, Alfred A. Knopf and Random House, New York, 1962, 456 pages.

Cet ouvrage est essentiellement une anthologie d'articles antérieurement publiés; il prévoit les modifications que l'automation fera subir à l'organisation économique, sociale et politique — avec, occasionnellement des vues sur des progrès technologiques particuliers — et examine ses conséquences pour l'industrie, la main-d'œuvre, la théorie, l'administration, les sciences sociales, l'enseignement, et les loisirs. Parmi les 18 auteurs, on trouve J. Diebold, D. Gabor, A. Goldberg, S. Ramo, W.P. Reuther, N. Wiener. La Deuxième Partie, sur les « Conséquences pour la théorie », qui comporte une étude sur les possibilités de futures machines « intelligentes », est peut-être d'intérêt fondamental pour la prévision technologique. Un article rédigé par Dennis Gabor, en particulier, « Inventing the Future » — qu'il ne faut pas confondre avec le livre portant le même titre, et qui ne contient pas cet article — est intéressant pour les problèmes de la prévision technologique, car il étudie la vision directrice et la puissance de motivation de quelques innovations technologiques, et expose l'idée d'une « boîte de prévision » électronique pour évaluer des tendances.

379. Réalités, *Le Colloque de l'Avenir*, Réalités, n° 245, juin 1966, pp. 49-64.

La première partie, « Quarante spécialistes de dix pays différents explorent les chemins du futur » résume, de manière déplorablement rudimentaire et journalistique, les résultats d'une conférence sur la méthodologie de la prévision à long terme, conférence que la revue avait organisée à Paris, les 29 et 30 mars 1966. Parmi les participants figuraient M. Abrams, L. Armand, D. Bell, O. Helmer, B. de Jouvenel, P. Massé, P. Uri, mais les 9 pages mentionnent les œuvres qu'ils ont publiées et ne donnent guère de compte rendu de la conférence. La deuxième partie, « Cinquante sages, dont 25 prix Nobel et le Dalaï Lama, répondent aux questions qui passionnent l'humanité », est censée représenter un certain accord sur des questions importantes de l'avenir social, politique, économique et technique, mêlées à un certain nombre de questions d'importance universelle et permanente. La revue ne donne même pas la liste des 50 « sages ».

380. Scientific American, *Technology and Economic Development* (« Technologie et développement économique »), avec, entre autres, des articles de Asa Briggs, Kingsley Davis, J.W. Feiss, F. Harbison, W. Leontief, E.S. Mason, R. Revelle, S.H. Schurr, N.S. Scrimshaw. Initialement publié sous forme de compte rendu dans « Scientific American » de sept. 1963; et sous forme d'ouvrage par Alfred. A. Knopf, New York, 1963, dans la série Pelican Book A 761, par Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex (Angleterre) 1965, 237 pages.

Population, ressources naturelles, enseignement et problèmes de l'industrialisation, vus en liaison avec les besoins des pays en voie de développement. Une bibliographie de 65 titres est jointe.

381. Theil, Pierre, *Pour que les Hommes vivent mieux*, Hachette, Paris, 1958.

Prévisions dans le domaine de la technologie sociale, et en particulier de la technique de l'alimentation.

382. US National Aeronautics and Space Administration, *Conference on Space, Science, and Urban Life* (« Conférence sur l'espace, la science et la vie urbaine »), organisée à Oakland, Californie, 28-30 mars 1963; NASA report SP-37, Washington, D.C., 1964.

Conférence de niveau élevé, à laquelle participaient des représentants de l'administration, des milieux scientifiques et de l'industrie, pour étudier les applications futures de l'exploration spatiale à la vie quotidienne. Les études se sont concentrées sur la ville de l'ète spatiale » et les applications générales des nouvelles techniques à la vie urbaine. La ville d'Oakland a exprimé son ambition de devenir la première « ville de l'ère spatiale ».

383. US National Commission on Technology, Automation, and Economic Progress, *Technology and American Economy* (« La technique et l'économie américaine »), vol. 1, févr. 1966. Sur demande adressée au Superintendent of Documents, US Government Printing Office, Washington, D.C., 20402, 115 pages.

Ce Rapport au Président traite surtout des problèmes de l'emploi et de la structure des revenus à la lumière des progrès rapides de l'automation et de la technique en général. On peut trouver un grand intérêt à comparer les opinions opposées, soigneusement notées, des industriels et des chefs syndicalistes sur certains problèmes. L'accord

obtenu est toutefois considéré comme très encourageant pour des formulations plus précises du problème. Le Volume 1 ne donne que le texte complet du rapport de la Commission. Les autres volumes, à paraître, comprendront les études individuelles confiées en vue de l'établissement de ce rapport : parmi ces études, voir la *réf. bibl. 183.*

384. US President's Commission on National Goals, The *Goals for Americans - Programs for Action in the Sixties* (« Objectifs pour les Américains - Les programmes d'action pour 1960-1970 »), comprenant le Report of the President's Commission on National Goals, et des chapitres soumis à l'examen de la Commission, A Spectrum Book, Prentice-Hall, New York, 1960, 8e éd., Janv. 1964, 372 pages.

Cette étude de l'administration Eisenhower a conduit à un exposé assez complet et général, insistant particulièrement sur la politique étrangère des États-Unis, mais restant assez vague en ce qui concerne les actions proposées. Dans un chapitre sur l'évolution technologique, Thomas J. Watson, Jr., alors Directeur Général d'IBM, préconise la formulation d'objectifs sociaux pour le développement technologique.

Voir également les *réf. bibl. 20, 284, 296, 300, 301, 309, 314, 321, 323, 324, 325, 326, 327, 332, 343, 345, 346, 350.*

B.11. Utopie et science-fiction

385. Conklin, Groff (éd.), *Great Science Fiction by Scientists* (« Grandes nouvelles de science-fiction par des scientifiques »), Collier Books, New York, 1962, 313 pages.

Nouvelles de science-fiction écrites par 16 scientifiques, comprenant A.C. Clarke, J.B.S. Haldane, J. Huxley, J.R. Pierce, L.N. Ridenour, L. Szilard, et N. Wiener. Du point de vue du style, peu de ces nouvelles sont « grandes ». Certaines sont toutefois intéressantes, car elles tentent de mettre en garde contre les abus de la science, parfois en ridiculisant les méthodes scientifiques actuelles.

386. Daedalus, *Utopia* (« Utopie »), Daedalus (Journal of The American Academy of Arts and Sciences), Boston, Mass., printemps 1965.

Exposé général du phénomène d'utopie, principalement d'un point de vue social. Comprend un article de John R. Pierce sur les techniques des communications et l'avenir.

387. Huxley, Aldous, *Brave New World* (« Le meilleur des mondes »), Albatross Modern Continental Library, vol. 47, Hamburg 1934.

Célèbre ouvrage de science-fiction, qui a donné naissance à l'attitude pessimiste envers l'avenir et à l'anxiété quant aux conséquences à long terme dans le domaine de la technologie sociale.

388. Mann-Borgese, Elisabeth, *Ascent of Woman* (« L'ascension de la femme »), Traduction allemande : *Aufstieg der Frau - Abstieg des Mannes?* List Ferlag, Munich, 1966.

Utopie optimiste, par la plus jeune fille de Thomas Mann, fondée sur la confiance dans l'évolution biologique et culturelle. Certaines situations analogues à celles du « Meilleur des Mondes » de Huxley, telles que la procréation artificielle et « l'élevage » des enfants, sont examinées d'un point de vue positif, et s'intègrent dans la structure d'un super-organisme mondial, qui résultera d'une société dominée par la conscience collective. Finalement, les deux sexes se fondront dans un système évolutionnaire passant d'une jeunesse femelle à une maturité mâle, évolution que chaque être humain subira.

389. Szilard, Leo, *The Voice of the Dolphins* (« La voix des dauphins ») et d'autres histoires, Simon and Schuster, New York, 1961, 123 pages.

Nouvelles de science-fiction écrites par le célèbre scientifique. La nouvelle qui a donné son titre au recueil est une rétrospective à partir des années 1980, avec, en arrière-plan, une certaine gravité démontrant le besoin d'une planification à long terme dans le domaine politique et social. La nouvelle intitulée « Report on Grand Central Terminal », intéressante dans un contexte sérieux, est une satire du parti pris scientifique.

B.12. Coopération internationale et problèmes des économies en voie de développement

390. Hollomon, J. Herbert, *International Co-operation in Technological Progress* (« Coopération internationale dans le progrès technique »), Conférence présentée au Symposium on International Co-operation in Advanced Technology, 2 mai 1966, Hanovre (Allemagne), 14 pages.

Conférence du Secrétaire adjoint au Commerce, chargé des questions scientifiques et techniques aux États-Unis. L'auteur énumère diverses questions générales pouvant faire l'objet d'une coopération internationale : météorologie et sciences atmosphériques, ressources en eau, biomédecine, transports ultra-rapides, croissance industrielle rapide, et concentration urbaine.

391. Karaosmanoglu, A., *Science Planning and Economic Planning*, dans : *Scientific Research and Economic and Social Development* (« Planification de la science et planification économique », dans « Recherche économique et développement économique et social »), Compte rendu de la Quatrième Réunion des Directeurs nationaux des Équipes-Pilotes sur la Science et le Développement économique, Paris, 16-17 déc. 1965. Document de travail DAS/SPR/66.1, OCDE, Paris, 17/28 juin 1966.

Le rôle de la prévision technologique dans les économies en voie de développement est étudié et démontré par l'exemple du Projet des Équipes-Pilotes de l'OCDE. L'auteur insiste en particulier sur les besoins sociaux de l'évolution technologique.

392. Commission consultative des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique au développement, *Deuxième Rapport*, Nations Unies, New York, mai 1965.

Les domaines de recherche suivants ont été retenus en fonction des besoins des pays en voie de développement : protéines, problèmes de population, eau, dessalement, cultures résistant au sel.

393. Commission consultative des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique au développement, *Troisième Rapport*, Conseil Économique et Social, Comptes rendus officiels : Quarante et unième séance, supplément n° 12, Nations Unies, New York, mai 1966, 124 pages.

La Partie IV traite de l'application et de l'adaptation des connaissances existantes, et de l'acquisition des nouvelles connaissances. Cette dernière catégorie concerne les domaines suivants : production alimentaire y compris les questions des ressources en eau et du dessalement; santé; problèmes démographiques; ressources naturelles; industrialisation, logement et planification urbaine; transports et communications; enseignement, y compris les nouvelles méthodes d'enseignement.

394. Nations Unies, *Conférence sur l'application de la science et de la technique au profit des régions insuffisamment développées*, Genève, fév. 1963, Nations Unies, New York, 1964.

Non analysé.

395. US Senate, *United States Foreign Policy—Possible Non-Military Scientific Developments and Their Potential Impact on Foreign Policy Problems of the United States* (« Politique étrangère des États-Unis : Développements scientifiques non militaires possibles, et conséquences pour les problèmes de politique étrangère des États-Unis »), Washington, D.C., 1959.

Contient, en dehors d'une étude sur l'énergie nucléaire et d'autres développements, un examen des incidences économiques de la synthèse de certains matériaux artificiels analogues aux produits naturels, et en particulier des conséquences pour les pays producteurs de matières premières.

Voir également la *réf. bibl. 380.*

B.13. Publications périodiques

395*a*. *Atomes*, mensuel (France).

Publie un certain nombre de prévisions sérieuses.

395*b*. *The Futurist*, bi-mensuel, publié par la World Future Society P.O. Box 19285, Twentieth Street Station, Washington, D.C. 20036.
« Bulletin du Monde de demain » — publié pour la première fois en juillet 1966. Comprend des articles rédactionnels, des informations et des références bibliographiques. Le numéro de février 1967 est plus étoffé que les précédents : 16 pages.

396. *International Science and Technology*, mensuel (États-Unis).
Comptes rendus sur l'état de la technique, avec l'exposé des tendances futures.

397. *McGraw-Hill Yearbook of Science and Technology*, McGraw-Hill, New York (États-Unis).
Exposés annuels, depuis 1961, destinés à compléter la McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, McGraw-Hill, New York, 1960. Ils seront inclus dans la nouvelle édition de l'Encyclopédie.

398. Neue Zürcher Zeitung, *Technische Beilage*, supplément hebdomadaire (Suisse).
Comptes rendus sur l'état de la technique, avec l'exposé des tendances futures.

399. *New Scientist*, hebdomadaire (Royaume-Uni).
Spécialisé dans la collecte de prévisions particulières, avec des interprétations de la valeur possible des découvertes scientifiques en vue des développements technologiques.

400. New York Times, *Science Review*, supplément hebdomadaire (États-Unis).
Articles intéressant surtout les sciences fondamentales et les techniques.

400*a*. *Prognosen - Plâne - Perspektiven*, hebdomadaire, publié par l'Institut fur Zükunftsfragen, Vienne (Autriche), commencée le 4 février 1967, cette publication a été ensuite suspendue provisoirement.
Courts articles rédactionnels, informations, revues d'ouvrages dans les domaines intéressant la prévision de l'avenir.

400*b*. *Science Journal*, mensuel (Royaume-Uni).
Le numéro d'octobre 1947 sera consacré à une série d'articles « Forecasting the Future » reposant sur une prévision technologique sérieuse. Voir *réf. bibl. 279a*.

401. *Scientific American*, mensuel (États-Unis).
Comptes rendus de l'état de la technique, avec l'exposé des tendances futures. En ce qui concerne les séries de publications militaires à caractère secret, ainsi que les séries spéciales proposées sur abonnement par les instituts de prévision et les bureaux d'études, voir également les parties suivantes de l'Annexe A : *A.1. 5, 7, 8, 9, 12, 13, 14, A.2. 2, 4, 5, A.3. 6*.

B.14. Bibliographie et liste des sources d'information

402. Caldwell, Lynton K., *Science, Technology and Public Policy: A Selective and Annotated Bibliography 1945-1965* (« Science, technique et politique publique : bibliographie sélective et commentée, 1945-1965 »). Projet préliminaire. Institute for Public Administration, Indiana University, Bloomington, Ind., 1er nov. 1965.
Bibliographie bien commentée de plus de 1.000 ouvrages relevant de douze catégories générales dans le domaine de la politique scientifique, parmi lesquels « La nature et les conséquences de la technique », « La science, la politique et l'administration », et d'autres, qui intéressent la prévision technologique. Une version révisée, parue en 1966, comprend des articles provenant de vingt périodiques.

403. Comité de Liaison des Centres Nationaux de Productivité des Pays Membres de la CEE, *Sources d'Information économique à la disposition des Chefs d'Entreprise des Pays de la Communauté Européenne Économique désireux de pratiquer une Gestion prévisionnelle*, Comité de Liaison des Centres nationaux de Productivité des Pays Membres de la CEE, Bruxelles, 1964, 91 pages.

Liste, accompagnée d'une brève description, des centres, organisations, associations, banques, etc., pouvant fournir des informations de base, de nature généralement économique, pour la prévision.

404. Institut für Zukunftsfragen, *Horizonte*, Institut für Zukunftsfragen, Vienne, Autriche.
Revue bibliographique trimestrielle, en plusieurs langues, comportant des résumés indicatifs sur les publications qui intéressent l'avenir, principalement dans le domaine économique, social et politique. Doit commencer à paraître en 1967.

405. Johnston, R., *The Factors Affecting Technical Innovation: Some Empirical Evidence* (« Les facteurs affectant l'innovation technique : quelques résultats empiriques »), OCDE, Direction des Affaires Scientifiques, Paris, 5 mars 1965 (Diffusion restreinte), 34 pages.
Bibliographie comprenant 98 titres, et précédée d'une synthèse critique.

406. Kamrany, Nake M., *Economic Development Planning and Informations Systems: A Discussion and Bibliography* (« Développement économique, planification et systèmes d'information : Étude et bibliographie »), Rapport SP-2167, System Development Corporation, Santa Monica, Calif., 10 janv. 1966, 90 pages.
Bibliographie de près de 1.000 titres, précédée d'une étude très brève sur l'utilisation des systèmes d'information exploitables sur calculateurs dans les études économiques de planification du développement. Une partie importante de la bibliographie, consacrée à la méthodologie de la planification du développement, comprend des publications intéressant la prévision technologique.

407. SÉDÉIS, *Les Futuribles à travers livres et revues*, dans les numéros suivants de Futuribles : n° 61 (1er juillet 1963), n° 67 (10 nov. 1963), n° 77 (10 mai 1964), n° 83 (1er nov. 1964), n° 104 (10 nov. 1965), n° 107 (20 déc. 1965), SEDEIS - Société d'Études et de Documentation Économiques, Industrielles et Sociales, Paris (France).
200 résumés très complets et très instructifs de publications sur l'avenir, principalement dans le domaine social, politique et économique, présentant un certain rapport avec la prévision technologique.

408. Smith, Bruce L.R., *The Concept of Scientific Choice: A Brief Review of Literature* (« Le concept du choix scientifique : brève étude bibliographique »), Rapport P-3156, RAND Corporation, juin 1965, 54 pages. Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Literature number AD 616.977.
Bibliographie choisie, de 53 titres, précédée d'une synthèse critique comportant des renvois se rapportant à ces publications et à d'autres.

409. Stromer, Peter R., *Long-Range Planning and Technological Forecasting: An Annotated Bibliography* (« Planification à long terme et prévision technologique : Bibliographie commentée »), Special Research Bibliography SRB-63-12, Lockheed Missiles and Space Company, Sunnyvale, Californie, nov. 1963, 39 pages. Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Literature number AD 441.618; NASA Scientific and Technical Information Facility number N 64-22200. *Supplement 1*, special Research Bibliography 65-1, 1965, 33 pages. Clearinghouse number AD-457.949, NASA number N 65-19831.
La bibliographie principale contient 96 titres, et le supplément 77, tous bien commentés. L'accent est mis sur la planification dans les industries aérospatiales et militaires.

410. Thornton, S.F., *Planning: A Bibliography* (« Planification : Bibliographie »), Rapport TM-1391-00-01, System Development Corporation, Santa Monica, Californie, 14 fév. 1964, 36 pages. Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Literature number AD-341.331.
La bibliographie contient des publications sur la prévision.

411. Nations Unies, *Bibliographie choisie sur la recherche industrielle, de 1944 à juin 1964*, Document de référence 1, établi pour le Séminaire inter-régional sur les Instituts de développement et de recherche industriels dans les pays en voie de développement,

30 nov.-12 déc. 1964, Beyrouth (Liban); Centre de développement industriel, Département des affaires économiques et sociales, Nations Unies, New York, 1964, 37 pages.

Références à 288 ouvrages, sous-divisés en sept groupes de sujets généraux.

412. US National Science Foundation, *Current Projects on Economic and Social Implications of Science and Technology 1964* (« Projets en cours sur les conséquences sociales et économiques de la Science et de la Technique, 1964 »), Publication NSF 65-16, National Science Foundation, juin 1965, 180 pages. Sur demande au Superintendent of Documents, US Government Printing Office, Washington, D.C. 20402.

Excellente compilation, commentée, de 405 projets de recherche aux États-Unis, indiquant également la forme sous laquelle ils ont été publiés. Parmi ces projets, beaucoup comprennent des éléments de prévision technologique, et en particulier les sujets groupés dans les sections sur les conséquences pour certaines industries, sur l'automation et les conséquences pour la main-d'œuvre, sur l'innovation (y compris les conséquences d'inventions particulières et de processus nouveaux), et sur la préparation des décisions.

413. Wasserman, Paul et Silander, Fred S., *Decision-Making: An Annotated Bibliography, Supplement, 1958-1963* (« Préparation des décisions : Bibliographie commentée ») avec un Supplément, 1958-1963), Cornell University, Graduate School of Business and Public Administration, supplément publié en 1964.

Non analysé. La bibliographie est peut-être complète, étant donné que les débuts de la théorie de la décision ne datent que de 1945 environ.

Voir également les *réf. bibl. 83, 89, 91, 101, 104a, 116, 142, 183, 184, 243, 277, 350, 380.*

B.15. Index bibliographique des auteurs[1]

Abraham, J.P.: 25.
Abrams, Mark: 379.
Abt Associates, Inc.: 83, 84.
Ackoff, R.L.: 106.
Aeronautical Res. Inst. of Sweden: 323, 324.
Aerospace Industries Association: 286.
Alexander, Thomas: 85.
Allen, D.H.: 86.
American Academy of Arts and Sciences: 352, 373, 386.
American Assembly: 362.
American Management Association: 137, 191, 212, 220, 224.
American Scholar: 353.
Andrade, E.N. da C: 287.
Angelini: 303.
Ansoff, H. Igor: 87, 192.
Architectural Design: 250*a*.
Armand, Louis: 379.
Arnoff, E.L.: 106.
Aron, Raymond: 66.
Asher, D.T.: 88.
Audoin: 26.
Auger, Pierre: 251.
Aujac, H.: 27.
Ayres, Robert U.: 89, 288.

Baade, Fritz: 354.
Badertscher, R.F.: 90.
Bagby, F.L.: 90.
Baker, H.D.: 193.
Baker, N.R.: 91.
Barach, A.B.: 355.
Barnett, H.G.: 28.
Barron, Frank: 15.
Battelle Memorial Institute: 90, 101, 105, 111, 119, 138, 159, 168, 179, 181, 212 213, 214, 225.
BBDO: 107.
Beckwith, R.E.: 92.
Bell, Daniel: 93, 352, 379.
Beller, William S.: 94.
Bellamy, Edward: 252.
Bellman, Richard: 95.
Berkner, Lloyd V.: 1,332.
Bernel, J.D.: 268.
Bickner, Robert E.: 29.
BIPE: 96.
Birkenhead, Earl of: 253.
Blackett, P.M.S.: 30.
Bliven, Bruce: 254, 255.
Bloemer, K.H.: 25.
Bloomfield, Lincoln P.: 357.
Bonner, James: 259.
Bowman, Dean O.: 194.
Brandenburg, Richard G.: 97.
Bratt, Elmer C.: 98.
Brech, Ronald: 99, 256.
Brennan, Donald G.: 289.
Brenner, Otto: 363.
Bridgman, P.W.: 2.
Briggs, Asa: 380.
Bright, James R.: 31, 32, 195.
Bronowski, Jacob: 3, 15, 353.
Brooks, Harvey: 9, 237.

1. Les chiffres correspondent à la numérotation de la bibliographie.

Brown, Bernice: 100, 257.
Brown, Harrisson: 258, 259.
Brown, J.H.: 101.
Brown, Murray: 33.
Brozen, Yale: 34.
Bruce, Robert D.: 35, 154.
Bryson, Lyman: 356.
Burn, Duncan: 228.
Bush, G.A.: 102.
Bush, Vannevar: 367.
Business International: 260.

Calder, Nigel: 261, 289*a*.
Caldwell, Lynton K.: 402.
California Institute of Technology: 259.
Cannon, Warren: 133.
Capron, William M.: 229.
CARDE: 162.
Carnegie Institute of Technology: 97.
Carter, Anne P.: 103.
Carter, C.F.: 36, 37.
Cavanaugh, R.M.: 13.
CECA: 290, 291, 292, 293, 294.
CEE (Marché Commun) : 292, 403.
Centre d'Études Prospectives: 78, 79.
Cetron, Marvin J.: 104, 104*a*.
Chamberlain, N.W.: 363.
Cheaney, E.S.: 101, 105, 111.
Churchman, C.W.: 106.
CIBA Foundation: 350.
Clark, C.E.: 95.
Clark, Charles H.: 107.
Clarke, Arthur C.: 262, 295, 385.
Clarke, J.S.: 296.
Claussen, W.: 363.
Colborn, Robert: 297.
Columbia University: 71, 81, 81*a*, 362.
Combs, Cecil E.: 108.
Commager, H.S.: 275.
Commissariat Général au Plan: 26.
Conant, James B.: 4.
Conklin, Groff: 385.
Coppock, John O.: 263.
Cornell Aeronautical Laboratory: 109.
Cornell University: 413.
Cousteau, J.Y.: 315.
Craft, C.J.: 95.
Cramer, R.H.: 110.
Cress, H.A.: 111.
Cross, H.C.: 90.

Deadalus: 386.
Dal Monte, Giorgio: 112.
Darwin, Sir Charles: 270, 358.
Davis, Kingsley: 380.
Dean, B.V.: 113.
Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique: 155.
De Solla Price, Derek J.: 5, 6.
Deutsche Bundesbahn: 298.
Dewhurst, J. Frederic: 263.
Diebold Group, Inc.: 299, 300, 359, 360, 361.
Diebold, John: 299, 300, 360, 361, 378.
Disman, Solomon: 114.
Dryden, Hugh L.: 275.
Dubos, René: 9, 67, 68, 301.
Dunlop, John T.: 362.
Dyson, Freeman J.: 15.

Eccles, John C.: 15.
Economic Commission for Africa: 115.
Economic Commission for Europe: 116.
Eddington, Sir Arthur: 302.
Eichner, Alfred S.: 81.
Ellul, Jacques: 69.
Emme, Eugène M.: 38.
ENEL: 303.
Engineers' Joint Council: 264.
Enke, Stephen: 230, 231.
Enos, John L.: 39.
Esch, Maurice E.: 117.
Esso Petroleum Co.: 185, 186, 187, 349.
Esso Rivista: 265.
Euratom: 292, 304, 305.
Ewel, L.N.: 242.
Ewing, David W.: 196.

Faltermayer, Edmund K.: 197.
Fange, Eugene K. von: 118.
Farrar, D.L.: 90.
Feiss, J.W.: 380.
Fisher, Joseph L.: 273.
Fishman, Leonard L.: 273.
Fontela, E.: 119.
Forrester, Jay W.: 120, 198.
Freeman, Christopher: 237.
Freeman, Raoul J.: 121, 122, 232.
Friedrichs, Günter: 363.
Fucks, Wilhelm: 123.
Fuller, R. Buckminster: 250*a*, 363*a*.
Furnas, C.C.: 266.

Gabor, Dennis: 283, 364, 378.
Gabus, A.: 119.
Galton, Lawrence: 267.
Gardner, John W.: 306.
Garguilo, G.R.: 124.
Gee, Cyril C.: 307.
General Electric Co.: 125, 342, 351, 377.
Gibson, R.E.: 199.
Gilfillan, S. Colum: 40 70, 243, 284, 327, 365.
Gilman, William: 41.
Ginshick, M.A.: 145.
Ginzberg, Eli: 71.
Glennan: 53.
Glikson, A.: 350.
Gloskey, Carl R.: 200.
Goddard, F.E., Jr.: 126.
Goldberg, Arthur: 378.
Good, Irving John: 268.
Gordon, Thomas J.: 257, 269.
Gordon, Theodore J.: 250*a*, 366.
Gordon, William J.J.: 127.
Gouschev, S.: 285.
Granger, Charles H.: 128.
Green, E.I.: 7.

Green, Paul E.: 129.
Greenberger, Martin: 367.
Griliches, Zvi: 42, 43, 55, 130.
Guéron, J.: 308.
Gunn, L.: 237.

Haase, R.H.: 131.
Hafstad, Lawrence R.: 201.
Haggerty, Patrick E.: 202, 203, 204.
Haldane, J.B.S.: 275, 350, 385.
Halmos, Paul R.: 15.
Hannock, J.: 124.
Hansen, Harry L.: 196.
Harbison, F.: 380.
Harris, Michael S.: 363.
Hart, Hornell: 132.
Hartman, Lawton M.: 133.
Hearle, Edward F.R.: 368.
Heinlien, Robert A.: 133*a*.
Heitler, W.: 8.
Helmer, Olaf: 100, 134, 134*a*, 257, 269, 379.
Hensley, Carlton: 157.
Hertz, D.B.: 124, 205.
Herwald, S.W.: 206.
Hess, Sidney W.: 135.
Hetrick, J.C.: 136.
Hinrichs, John R.: 137.
Hitch, Charles J.: 230, 233.
Hoagland, H.: 350.
Hoess, Joseph A.: 138.
Holden, W.H.T.: 131.
Hollomon, J. Herbert: 390.
Holton, Gerard: 9.
Honeywell, Inc.: 117, 143, 147, 150, 177.
Horowitz, Ira: 139.
Hoyle, Fred: 270.
Hudson Institute: 89, 272, 288, 289.
Hunt, Morton M.: 196, 207.
Hurley, Neil P.: 250*a*.
Hutchings, Edward, Jr.: 270.
Huxley, Aldous: 387.
Huxley, Julian: 350, 385.

ICAO: 310, 311, 312, 313, 314.
IG Metall: 363.
Imperial Chemical Industries, Ltd: 140.
Industrial Research: 315.
Institute for Public Administration: 402.
Institut für Zukunftsfragen: 400*a*, 404.
Institute of Economic Affairs: 228.
Institute of Management Sciences: 35, 178.
Institute of Radio Engineers: 316.
International Science and Technology: 297, 396.
Isenson, Raymond S.: 43*a*, 141, 142, 208.

James, G.W.: 90.
Jantsch, Erich: 209, 317, 318.
Jestice, Aaron L.: 143.
Jet Propulsion Laboratory: 126.
Johnson, Lyndon B.: 321.
Johnston, R.: 405.
Jouvenel, Bertrand de: 144, 379.
Jungk, Robert: 78, 271.

Kahn, Herman: 272.
Kamrany, Nake M.: 406.
Kaplan, A.: 145.
Karaosmanoglu, A.: 391.
Kármán, Theodor von: 319.
Kast, Fremont: 210.
Keynes, John Maynard: 369.
Kiefer, David M.: 146.
Kimball, G.E.: 136.
Kistiakowsky, George: 20.
Klass, Philip J.: 147.
Klein, Burton H.: 244.
Koprowski, H.: 350.
Kotler, P.: 148.
Krzyczkowski, Roman: 211.
Kuhn, Thomas S.: 10.

Lancoud, Charles: 149.
Landsberg, Hans H.: 273.
Lapp, Ralph E.: 11, 370.
Larsen, Finn J.: 150.
Leach, Gerald: 320.
Lederberg, Joshua: 350.
Lenz, Ralph Charles, Jr.: 105, 120, 151, 245.
Leonard, W.N.: 34.
Leontief, Wassily: 152, 380.
Levy, Lillian: 321.
Libby, Willard: 332.
Lien, Arthur P.: 212.
Lilley, S.: 153.
Litton Systems, Inc.: 322.
Little, Arthur D., Inc.: 44, 45, 371.
Lockheed Aircraft Corp.: 102, 221, 409.
Lovewell, P.J.: 154.
Lundberg, Bo K.O.: 323, 324.
Lundberg, Ferdinand: 372.

MacKay: 350.
Maestre: 155.
Magee, John F.: 156.
Malcolm, D.G.: 95.
Male, Donald W.: 245.
Mann-Borgese, Elisabeth: 388.
Mansfield, Edwin: 46, 47, 48, 49, 50, 51, 157, 158.
Marschak, Jacob: 336.
Marschak, Thomas A.: 52, 53.
Marshall, Andrew W.: 246.
Martino, Joseph: 104*a*.
Mason, E.S.: 380.
Massart, L.: 78.
Massé, Pierre: 234, 379.
Mazlish, Bruce: 373.
MacCrory, R.J.: 105, 159, 181, 213, 214.
McGraw-Hill, Inc.: 54, 274, 397.
McHale, John: 250*a*, 363*a*.
McLuhan, Marshall: 72, 73, 74, 75, 353, 374
Mead, Margaret: 275.
Meadow, Arnold: 160, 161.
Meckling, W.H.: 246.
Mentzer, William C.: 325.
Mesthene, Emmanuel G.: 78, 235.
Mitchell, R.S.: 162.

Morgenstern, Oskar: 164.
Morse, Dean: 81, 81*a*.
Mottley, C.M.: 163.
Mueller, Willard F.: 55.
Mullard, Ltd: 307.
Muller, H.J.: 326, 350.
Myers, M. Scott: 215.
Myers, Sumner: 56.

National Advanced Technology Management Conference: 210.
National Industrial Conference Board: 193.
National Planning Association: 56.
Nelson, Richard A.: 57.
Neue Zürcher Zeitung: 398.
Neumann, John von: 164, 375.
New Scientist: 261, 399.
Newton, R.D.: 163.
New York Times: 267, 275, 400.
Nierenberg, W.A.: 315.
Novick, David: 235*a*.
OCDE: 150, 204, 209, 236, 237, 317, 318, 328, 391, 405.
Ogburn, William Fielding: 327.
Österreichische Volkspartei: 376.
Ozbekhan, Hasan: 76, 165.

Page, Robert Morris: 58.
Paine, Thomas O.: 377.
Pake: 22.
Paloczi-Horvath, George: 77.
Pardee, F.S.: 166.
Parkes, A.S.: 350.
Parnes, Sidney J.: 160, 161.
Parvin, R.H.: 177.
Patterson, William A.: 247.
Peck, Merton J.: 59, 248.
Philipson, Morris: 378.
Picard, Fernand: 329.
Pierce, John R.: 15, 385.
Piganiol, P.: 78.
Pincus, G.: 350.
Plessner, Max: 276.
Polak, Fred L.: 77*a*, 329*a*.
Pound, William H.: 91, 167.
Prehoda, Robert W.: 167*a*, 277.
Prospective: 78, 79.
PTT Suisse : 149, 330.
Putnam, A.: 168.
Putnam, Palmer Coslett: 331.
Pyke, Magnus: 12.

Quinn, James Brian: 13, 216, 216*a*, 217.

Raiffa, Howard: 169.
RAND Corporation: 29, 57, 100, 121, 131, 134, 166, 232, 235*a*, 244, 246, 250, 257, 269, 309, 368, 408.
Ramo, Simon: 332, 378.
Randall, C.: 275.
Ratcliff, A.R.N.: 228.
Réalités: 379.
Reese, Hayne: 161.
Reitman, Walter R.: 170.
Réflexions pour 1985: 278.
Resources for the Future, Inc.: 273.
Reuther, Walter P.: 363, 378.
Revelle, Roger: 380.
Ricciardi, F.M.: 95.
Richman, B.M.: 171.
Ridenour, Louis N.: 14, 356, 385.
Roepcke, L.: 104*a*.
Rogers, Everett M.: 60.
Rosen, E.M.: 172.
Rosenbloom, Richard S.: 173.
Rosenzweig, James R.: 210.
Rostow, Walt. W.: 174.
Rowen, Henry S.: 239.

Saint-Geours, J.: 237.
Samson Science Corporation: 333, 334.
Sanders, Ralph: 335.
Sarnoff, David: 279.
Schaidt, Leander: 218.
Scherer, Frederic M.: 244, 248.
Schlaifer, Robert: 169, 175.
Schnyder von Wartensee, Robert: 219.
Schon, Donald A.: 352.
Schumpeter, Joseph A.: 61.
Schurr, Sam: 336, 380.
Science: 249.
Science Journal: 279*a*, 400*b*.
Scientific American: 15, 243, 280, 380, 401.
Scortecci, Antonio: 337.
Scott, Brian W.: 220.
Scrimshaw, N.S.: 380.
Seaborg, Glenn T.: 321.
Seale, J.R.: 228.
SÉDÉIS: 407.
Sengupta, S.S.: 113.
Shelly, Bryan: 170.
Siegel, Irving H.: 34, 62, 176.
Sigford, J.V.: 177.
Silander, Fred S.: 413.
Siu, R.G.H.: 16.
Skogstad, A.L.: 145.
Sloan, Alfred Pritchard: 220*a*.
Smalter, Donald: 178.
Smelt, Ronald: 221.
Smith, Bruce L.R.: 408.
Smith, B.E.: 110.
Smith, Nicholas M.: 338.
Snow, C.P.: 17, 367.
Sonder, W.E.: 172.
Spaey, J.: 237.
Sporn, Philip: 339, 340.
Standard Oil Development Co.: 63.
Stanford Research Institute: 35, 154.
Steel: 341.
Steiner, George A.: 133, 222.
Stine, G. Harry: 280*a*.
Stockfish, J.A.: 223.
Stolz, Robert K.: 196.
Stromer, Peter R.: 409.
Suits, Guy: 224.
Summers, Robert: 53, 250.
Swager, William L.: 179, 225.
Sweezy, Eldon E.: 180.

Syracuse University Res. Corp.: 281.
System Development Corporation: 76, 165, 406, 410.
Szent-Györgyi: 350.
Szilard, Leo: 385, 389.

Taton, R.: 18.
Tavernier, K.: 25.
Teilhard de Chardin, Pierre: 80.
Teller, Edward: 20, 282, 332.
TEMPO: 342, 377.
Texas Instruments, Inc.: 202.
Theil, Pierre: 381.
Thirring, Hans: 343.
Thomas: 181.
Thompson, G. Clark: 193.
Thomson, Sir George: 283.
Thornton, S.F.: 410.
Todd, Lord: 19, 240.
Tolkowsky, Dan: 226.
Toynbee, Arnold: 275.
Trachsel, R.: 149.

UCLA (University of California, Los Angeles): 223.
UK Advisory Council on Scientific Policy: 240.
UK National Research Development Corp: 344.
UNESCO: 251.
Unilever: 99, 256.
United Nations: 115, 116, 345, 346, 392, 393, 394, 411.
Uri, Pierre: 379.
Urquhart, M.C.: 34.
US Agricultural Research Service: 64.
US Air Force: 151, 319.
US Army: 182.
US Atomic Energy Commission: 331, 347.
US Bureau of the Budget: 229, 239.
US Department of Defense: 241.
US Interagency Task Group on Technological Forecasting in the US Federal Government: 183.
US National Academy of Sciences - National Research Council: 20, 21, 22, 23, 348.
US National Aeronautics and Space Administration: 382.
US National Bureau of Economic Research: 65, 130.
US National Commission on Technology, Automation and Economic Progress: 84, 183, 383.
US National Resources Committee: 243, 284, 365.
US National Science Foundation: 412.
US Navy, Marine Engineering Laboratory: 104.
US Navy Technological Forecasting Group: 184.
US President's Commission on National Goals: 384.
US Senate: 395.

Vassiliev, M: 285.
Velay, C.: 119.
Villecourt, Louis: 78.

Wagle, B: 185, 186, 187, 349.
Wald, George: 15.
Warner, Aaron W.: 81, 81*a*.
Wasserman, Paul: 413.
Weaver, Warren: 15.
Webb, James E.: 321.
Weinberg, Alvin M.: 20, 24.
Weir, John: 259.
Westheimer: 21, 23.
Wiener, Norbert: 82, 367, 378, 385.
Williams, B.R.: 37.
Wilson, Joseph C.: 227.
Wolstenholme, Gordon: 350.
World Future Society: 395*b*.
Wright, Christopher: 78.

Yates, P. Lamartine: 263.

Zebroski, E.L.: 351.
Zwicky, Fritz: 187*a*, 188, 189, 190.

CENTRE d'ÉTUDES
sur la
RECHERCHE et l'INNOVATION
(C.E.R.I.)
116, Bd Péreire - PARIS-XVII•
Tél. 755-87-18

CENTRE D'ETUDES
RECHERCHE
(C.E.R.)
116, Bd Péreire - PARIS-XVIIe
Tél. 755-87-18

Annexe C

LISTE DES CONTACTS ÉTABLIS EN VUE DE LA RÉDACTION DE CE RAPPORT

La présente Annexe contient la liste complète des contacts établis dans le cadre de la présente étude. Elle est présentée par pays. Dans presque tous les cas, les visites ont été faites aux adresses effectivement données dans cette liste, à moins que les discussions avec les personnes mentionnées n'aient eu lieu ailleurs pour des raisons pratiques. Dans un petit nombre de cas, des conversations téléphoniques ont dû remplacer les visites prévues, mais elles ont été suffisamment importantes pour être incluses dans cette liste.

Les astérisques indiquent les organismes qui ont bien voulu faciliter l'établissement de contacts dans leurs pays respectifs.

C.1. AUTRICHE

(8 Oct. 1965; 11 fév. 1966)

Institut für Zukunftsfragen, Goethegasse 1, Vienna 1. (Prof. Dr. Ernst F. Winter, Co-Directeur).

Metallwerk Plansee A.G., Reutte, Tirol. (Dr. W.M. Schwarzkopf, Directeur général; Dr. Sedlatschek, Directeur, Division de Recherche).

C.2. BELGIQUE

(9 et 16 nov. 1965)

CEE - Communauté Économique Européenne (Marché Commun), Direction Générale des Affaires Économiques et Financières, 80, rue d'Arbon, Bruxelles 4. (Georges Brondel, Chef de la Division Énergie; M. Molitor, Secrétaire de la Commission des Programmes à Moyen Terme).

CNPS - Conseil National de la Politique Scientifique, 8, rue de la Science, Bruxelles 4. (Jacques Wautrequin.)

Euratom - Communauté Européenne de l'Énergie Atomique, Direction Générale Économie et Industrie, 45, rue Béliard, Bruxelles 4. (J.C. Leclercq, Chef, et M. van Meerwink, Division Programme nucléaire - politique énergétique).

European Research Associates (Union Carbide), 95, rue Gatti Gamond, Bruxelles 18 (Uccle). (Roger M. Gillette, Directeur Exécutif.)

Gevaert - Agfa N.V., Septestraat 27, Mortsel (Antwerpen). (Ir. J. Fierens, Directeur de Recherche).

C.3. CANADA

(12-13 mai 1966)

Centre for Culture and Technology, University of Toronto, 96, St. Joseph Street, Toronto 5, Ont. (Prof. Marshall McLuhan, Head.)

ICAO - Organisation Internationale de l'Aviation Civile, 1080 University Street, Montréal 3, P.Q. (T.S. Banes, Director, Air Navigation Bureau; J.A. Newton, Chief, Fligth Branch; Dr. J.H. Heierman, Chief, Ground Branch; T.Y. Yang, Chief, Economics Section; A.D. Hayward, Economist; E.M. Lewis, Chief, External Relations.)
Le 13 mai 1966, une réunion d'étude a été organisée sous la présidence de M. J.L. Orr, Conseiller à la Recherche Industrielle, Ministère de l'Industrie, avec les participants suivants :

Atomic Energy of Canada Lrd., Kent Building, 150 Kent Street, Ottawa, Ont. (L.R. Haywood, Vice-Président, Engineering.)

Canada Packers Ltd., Executive Offices, St. Clair Avenue West, Toronto, Ont. (Dr. G.F. Clark Vice-Président.)

Canadian Industries Ltd., P.O. Box 10, Montréal, P.Q. (Dr. J.A. Bilton, Research Manager.)

The Consolidated Mining and Smelting Co. of Canada Ltd., 630 Dorchester Blvd. W., Montréal 2, P.Q. (R.B. Heath, Reserach and Corporate Development.)

Defence Research Board, Canadian Forces Headquarters, Ottawa 4, Ont. (Dr. G.S. Field, Vice-Président, également Président : NATO Long-Term Scientific Studies Committee.)

Department of Citizenship and Immigration, Economics and Research Division, Laurier Building, 340 Laurier Ave. W., Ottawa, Ont. (G. Alexandrin.)

Department of Defence Production, General Services Branch, No. 4 Temp. Building, Ottawa, Ont. (M. Eliesen, Data Processing Division.)

*Department of Industry, Program Advisory Group, Office of the Industrial Research Advisor, MacDonald Building, 123 Slater Street, Ottawa 4, Ont. (J.L. Orr, Industrial Research Advisor; H.C. Douglas, Deputy Industrial Research Advisor; D.H.E. Cross; F.H. Lehberg.)

Department of Mines and Technical Surveys, Mines Branch, 555 Booth Street, Ottawa, Ont. (V.A. Haw, Special Projects Administration.)

Dominion Bureau of Statistics, Business Finance Division, Tunney's Pasture, Holland Avenue, Ottawa, Ont. (H. Stead, Scientific Expenditure Surveys.)

Dominion Tar and Chemical Co. Ltd., Sun Life Building, Montréal, P.Q. (Dr. C. Marchant, Director of Development.)

Dunlop Research Centre, Sheridan Park, Ont. (Dr. G.W. Tarbet).

Economic Council of Canada, Royal Trust Building, 116 Albert Street, Ottawa, Ont. (A.H. Wilson.)

Ethyl Corporation of Canada Ltd., 48 St-Clair Avenue East, Toronto, Ont. (R.H. Shannon, Manager, Chemical Products Department.)

The Griffith Laboratories Ltd., 757 Pharmacy Avenue, Scarborough, Ont. (J.S. Wenzel, Vice-Président, Operations.)

Imperial Oil Enterprises Ltd., P.O. Box 3022, Sarnia, Ont. (G.A. Purdy; R.G. Reid.)

The International Nickel Co. of Canada Ltd., 55 Yonge Street, Toronto 1, Ont. (L.S. Renzoni, Assistant Vice-President and Manager of Process Research.)

Litton Systems, 25 Cityview Drive, Rexdale, Ont. (Dr. J.J. Green, Director of Research.)

Maple Leaf Mills Ltd., 43 Junction Road, Toronto, Ont. (J.H. Hulse, Director of Research.)

National Energy Board, Colonel By Towers, 969 Bronson Avenue, Ottawa, Ont. (T.L. de Fayer, Director, Economics Branch; O.W. Hamilton, Chief, Markets & Forecasts Division; M. Schwarz, Markets & Forecasts Division.)

National Research Council, 100 Sussex Drive, Ottawa, Ont. (Dr. J.D. Babbitt and G.T. McColm, International Relations and Economic Studies; R.E. McBurney, Industrial Research Assistance; R. Scott, Technical Information Services.)

New Brunswick Research and Productivity Council, P.O. Box 1236, Fredericton, N.B. (M. Cowley.)

Northern Electric Co. Ltd., P.O. Box 3511, Station C, Ottawa, Ont. (J.A. Grant.)

Ontario Research Foundation, 43 Queen's Park Crescent East, Toronto 5, Ont. (J.D. Jones.)

Polymer Corporation Ltd., Sarnia, Ont. (E.L. Litchfield, Corporate Planning.)

Privy Council Office, Science Secretariat, East Block, Ottawa, Ont. (Dr. J.R. Whitehead, Deputy Director.)

Province of Ontario, Department of Economics and Planning, Toronto, Ont. (W.G.R. Cameron.)

Pulp and Paper Research Institute of Canada, 570 St. John's Road, Pointe Claire, P.Q. (Dr. L.R. Thiesmeyer, President; F. Stevens.)

Research Council of Alberta, 87th Ave. & 114th Street, Edmonton, Alberta. (Dr. E.J. Wiggins, Director of Research.)

Research Council of Manitoba, Norquay Building, Winnipeg 1, Manitoba. (D.W. Craik, Director.)

Saskatchewan Research Council, University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask. (Dr. T.E. Warren, Director.)

United Aircraft of Canada Ltd., P.O. Box 10, Longueil, P.Q. (G. Valdmanis.)

C.4. RÉPUBLIQUE FÉDÉRALE D'ALLEMAGNE
(13-15 Déc. 1965)

BBC - Brown, Boveri & Cie. Aktiengesellschaft, Kallstader Strasse, Mannheim-Käfertal. (Dr. Depenbrock, Head, Department « New Products »; Mr. Weyss.)

Bundeswirtschaftsministerium (Ministère fédéral des Affaires Économiques), Bonn. (Min. Rat. Dr. Lotz.)

Deutsche Bundesbahn (Chemins de fer fédéraux), Hauptverwaltung, Friedrich-Ebert-Anlage 43-45, Frankfurt/Main. (Min. Rat Dipl. Ing. Hans Pottgiesser; Bundesbahnoberrat Dipl. Ing. Kurt Bauermeister.)

Farbwerke Hœchst, Frankfurt-Höchst. (Dr. Dorrer and Dr. Karl Damaschke, Technische Direktionsabteilung.)

SEL - Standard Electrik Lorenz A.G., Hellmuth-Hirth-Strasse 42, Stuttgart-Zuffenhausen. (Erich Runge, Co-ordinator for Product Planning.)

Studiengruppe für Systemforschung, Werderstrasse 35, Heidelberg. (Dr. Helmut Krauch, Dir.; Reinhard Coenen; M. Czemper.)

C.5. FRANCE
(Janv.-Fév. 1966)

BIPE - Bureau d'Informations et de Prévisions Économiques, 122, avenue de Neuilly, Neuilly (92). (H. Aujac, Directeur.)

Centre d'Études Prospectives, 17, rue d'Astorg, Paris. (Louis Villecourt.)

CGE - Compagnie Générale d'Électricité, 54, rue La Boétie, Paris 8e. (Gérard Lehmann, Directeur scientifique.)

Commissariat Général au Plan, 18, rue de Martignac, Paris 7e. (M. Lemerle.)

CSF - Compagnie Générale de Télégraphie sans Fil, Direction de la Prospective, Domaine de Corbeville, 91, Orsay. (B. Blachier, Directeur adjoint.)

*Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique, Service du Plan de Développement, 103, rue de l'Université, Paris 7e. (M. Cognard, Chef de service; Louis Villecourt.)

Ministère des Armées, Centre de Prospective et d'Évaluations, 231, bd St-Germain, Paris 7e. (M. de l'Estoile, chef du centre).

Prof. Jacques Monod, Institut Pasteur, 35, rue du Docteur-Roux, Paris 15e.

OTAN - Organisation du Traité de l'Atlantique Nord, place du Maréchal de Lattre de Tassigny, Paris 16e. (Dr. John L. McLucas, Secrétaire Général adjoint à la recherche ; Dr. Wattendorf ; Dr. Schall).

OTAN - Organisation du Traité de l'Atlantique Nord, AGARD — Groupe consultatif pour la recherche et le développement aérospatiaux, 64, rue de Varenne, Paris 7e. (Dr. Jones, Directeur.)

Régie Nationale des Usines Renault, Centre Technique, Direction des Études et Recherches, 112, rue des Bons Raisins, Rueil (Seine-et-Oise). (Fernand Picard, Directeur.)

*J. Saint-Geours, Directeur de la Planification, Ministère des Finances, et Président du Groupe temporaire « Groupe Saint-Geours ».

Saint-Gobain, Division Glaces, 62, bd Victor Hugo, Neuilly (92). (Gérard Pédraglio.)

- Saint-Gobain, Techniques Nouvelles, 23, bd Georges Clemenceau, 92-Courbevoie. (Claude Oger, chef du service de Développement.)

SÉDÉIS - Société d'Études et de Documentation Économiques Industrielles et Sociales, 205, bd. Saint-Germain, Paris 7e. (Bertrand de Jouvenel, Directeur Général).

- UNESCO - Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture, place Fontenoy, Paris 7e. (Y. de Hemptine, Directeur.)

C.6. ISRAEL
(14-27 février 1966)

Agricultural Research Institute, Beit-Dagon. (Prof. Arnon, Directeur.)

Atomic Energy Commission, Tel-Aviv. (Prof. Ernst David Bergmann, Président, en retraite depuis).

Bank of Israel, Jerusalem (Dr. Dov Zussman.)

General Choref, Ministère de la Défense, Jerusalem, et Président de la Commission Nationale de l'Automation.

Dead Sea Works, Sdom. (Mr. Shamil, Directeur de travaux ; Dr. Kenat, chef du département de la recherche et du développement.)

Discount Bank, Investment Company, Tel-Aviv. (Dan Tolkovsky, Directeur.)

Prof. Dostrovski, Weizmann Institute, Rehovot; Co-ordinateur national des recherches hydrauliques.

Economic Planning Authority, Prime Minister's Office, Jerusalem. (M. Danieli.)

Elron Electronics Co., 88 Hagiborim Street, Haïfa. (M. Galil, Directeur.)

M. S. Freier, Physics Department, Weizmann Institute, Rehovot.

Hebrew University, Jerusalem. (Prof. Amiran, Vice-Président.)

Hebrew University, Kaplan School of Economic and Social Sciences, Jerusalem. (Dr. Yehezkel Dror.)

Hebrew University, Research and Development Authority and « Yissum » Research and Development Corporation, Jerusalem. (Prof. Gross, Président.)

Israel Institute of Productivity, Tel-Aviv. (M. Meidan, Directeur.)

Israel Mining Industries, Laboratory, P.O. Box 313, Haifa. (Dr. Baniel, Directeur; Ir. Y. Araten, Directeur, New Fertilizers Division.)

Ministère des Affaires Étrangères, Jerusalem. (Ya'acov Yannai, Directeur-adjoint aux Affaires économiques; Zvee Dover, Affaires Culturelles.)

National Committee for Technological Manpower Forecasting, Jerusalem. (S. Ishai; Prof. Hanani.)

*National Council for Research and Development, Prime Minister's Office, Hakiria 3, Jerusalem, and 84, Hachashmonaim Street, Tel-Aviv. (Prof. Alexander Keynan, Président; S. Ishai; Dr. Lapidot; Dr. Braunstein; Ben Zvi; M. Eschel; Naomi Amzalak.)

National Physics Laboratory, Hebrew University, Jerusalem. (Prof. Harry Tabor, Directeur.)

National Water Planning Corporation, Tel-Aviv. (M. Gurevitch.)

Negev Institute for Arid Zone Research, P.O. Box 79, Be'er Sheva. (M. Schechter, Directeur; M. Matz, Head, Res. & Dev. Dept.)

Technion (Israel Institute of Technology), Haifa. (M. Goldberg, Directeur; Prof. Jules Cahen; Prof. Pinkas Naov; Prof. Ben Uri, Dept. of Electrical Engineering; Dr. Mordechai M. Levy, Dept. of Industrial and Management Engineering.)

Technion Research and Development Foundation, 59 Hagalil Street, Haifa. (Prof. Karni, Directeur, R. Zernik, Industrial Services.)

Timna Copper Mines, Eilat. (M. Weiss, Directeur Technique; Theodore Balberyszski, Chef des recherches et du développement.)

Weizmann Institute for Science, Rehovot. (Prof. Lifson, Academic Director; Prof. Gillis, Recteur, Graduate School.)

Weizmann Institute for Science, « Yeda » Development Corporation, Rehovot. (Dr. Salomon, Managing Director; Prof. Taub.)

C.7. ITALIE

(13-28 oct. et 17-19 déc. 1965)

ANIE - Associazione Nazionale Industrie Elettrotecniche ed Elettroniche, via Donizetti 30, Milan. (Prof. Ing. Giuseppe Bauchiero, Membre du Conseil.)

Prof. Adriano Buzzati-Traverso, Directeur, Laboratorio Internazionale di Genetica e Biofisica, CNR, via Claudio 1, Naples.

*Centro di Specializzazione e Ricerche Economico-Agrarie per il Mezzogiorno, Università di Napoli e Cassa per il Mezzogiorno, Corso Garibaldi 100, Portici (Naples) (Prof. Manlio Rossi Doria, Directeur.)

CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche, Ufficio Attività di Ricerca di Interesse Industriale, piazzale Rodolfo Morandi 2, Milan.

Confindustria - Confederazione Generale dell'Industria, piazza Venezia, Rome. (Dr. Mattei, Secrétaire-Général Adjoint; Dr. Orfeo Bosone.)

CSM - Centro Sperimentale Metallurgico, via Barberini 36, Rome. (Prof. Oscar Masi, Directeur).

ENEL - Ente Nazionale Energia Elettrica, Direzione Generale, via del Tritone 181, Rome. (Prof. Ing. Arnaldo Angelini, Directeur Général.)

ENEL - Ente Nazionale Energia Elettrica, Direzione per la Programmazione, via del Tritone 61, Rome. (Ing. Carlo Giordani, Directeur.)

Fertilmacchine, Associazione Nazionale Commercianti di Prodotti per l'Agricoltura, piazza G.G. Belli 2, Rome. (Prof. Bassanelli.)

FIAT S.p.A., Divisione Bilancio, Corso Marconi 10, Turin. (Dott. Giuseppe Carbonaro, Directeur.)

FIAT S.p.A., LRCAA (Laboratoires), Corso G. Agnelli 200, Turin. (Ing. Carlo F. Bona, Directeur des Laboratoires FIAT.)

*IRI - Istituto per la Ricostruzione Industriale, via Veneto 89, Rome. (Dott. Gaetano Cortesi, Directeur Général; Ing. Guido Frigessi di Rattalma.)

Prof. Alfonso Liquori, Directeur, Istituto Chimico, Università di Napoli, via Mezzocannone 4, Naples.

*Ing. G. Mancinelli, Directeur, Istituto Ricerche Spaziale del CNR, via Serchio 9, Rome.

Ing. Gino Martinoli, piazza Sant' Erasmo 5, Milan.

Ministero per la Ricerca Scientifica e Tecnologica, piazza della Minerva 38, Rome. (Dott. Rossi, Chef de Cabinet.)

Montecatini, Società Generale per l'Industria Mineraria e Chimica (a fusionné avec la Société Edison pour former la nouvelle Société « Montecatini Edison S.p.A. »). via Filippo Turati 18, Milan. (Prof. Luigi Morandi, Vice-Président; Prof. Mazzanti, Chef de la Div. des Recherches; Dott. Paolo Oldano, Chef du Service des Plans; Dott. Umberto Colombo, Division de la recherche.)

Ing. C. Olivetti S.p.A., Ivrea. (Ing. Sergio Descovich, Directeur du laboratoire central de recherches; E. Piol; Chef du bureau central de planification des produits.)

Pirelli S.p.A., piazza Duca d'Aosta 3, Milan (siège), Albicocca factories. (Ing. Valentino Zerbini, Directeur des laboratoires de recherche sur le caoutchouc.)

*Prof. Antonio Scortecci, Cattedra di Siderurgia, Facoltà di Ingegneria, Università di Genova; adresse privée : via Assarotti 56, Gênes.

SNAM - Società Nazionale Metanodotti (ENI Group), Laboratori Riuniti Studi e Ricerche, San Donato Milanese—Metanopoli, c.p. 3757, Milan. (Prof. Dino Dinelli, Directeur; Ing. Adriano Caprara, Chef des Plans ENI.)

Società Italiana Telecomunicazioni Siemens S.p.A., piazzale Zavattari 12, Milan. (Ing. Giorgio Dal Monte, Directeur Général.)

*STET - Società Torinese degli Esercizi Telefonici (regroupe toutes les compagnies nationales de téléphone), via Paesiello 27, Rome. (Ing. Graziani; Ing. Sartorio.)

C.8. LUXEMBOURG

(8 novembre 1965)

CECA - Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, Haute Autorité, Direction Générale Économie et Énergie, Direction « Études et Structure », 29, rue Aldringer, Luxembourg. (Pierre Maillet, Directeur; J.P. Abraham, Chef de la Division de l'Énergie.)

C.9. PAYS-BAS

(10-15 novembre 1965)

AKU - Algemene Kunstzijde Unie N.V., 76, Velperweg, Arnhem. (Drs. Mulder, Chef du Investment Planning Dept.; Mr. Minkema.)

BPM - Bataafse Internationale Petroleum Maatschappij N.V. (Groupe Royal Dutch/Shell, Division des Recherches Internationales, 21, President Kennedylaan, La Haye. (Ph. M. Huis) Chef du bureau de coordination des recherches.)

ISYS - Informatie Systemen N.V. (Groupe Philips), 144, Noordeinde, La Haye. (Prof. Ir. J. M. Unk, Président,)

Kamerlingh Onnes Laboratory, Université de Leyde, 18, Nieuwsteg, Leyde. (Prof. Dr. J. van den Handel, Directeur-adjoint.)

Organon N.V., 6, Kloosterstraat, Oss. (Prof. Dr. M. Tausk, Directeur.)

PTT Bedrijf - Service des P et T, 12 Kortenaerkade, La Haye. (H. Reinouds, Directeur en chef des Affaires Financières et Économiques; M. van Duren, Directeur des Laboratoires de recherche.)

Mines d'État, Geleen (Dr. C. van Heerden et Ir. P.H. de Bruijn, des Laboratoires centraux de recherche.)

Université Technique de Delft, Département des Sciences Générales, subdivision des Mathématiques, 134, Julianalaan, Delft. (Prof. Dr. Ir. L. Kosten.)

Technisch-Physische Dienst TH et TNO, 1, Stieltjesweg, Delft. (Ir. G.J. van Os, Directeur Adjoint.)

TNO - Organisation Centrale pour la recherche scientifique aux Pays-Bas, 148, Juliana van Stolberglaan, La Haye. (Prof. Dr. W.H. Julius, Président.)

TNO - Laboratoire Central, 2, Schoemakerstraat, Delft. (Prof. Dr. A.J. Staverman.)

*TNO - Département économico-technique, 21, Koningin Marialaan, La Haye. (Drs. J.C. Gerritsen, Directeur; Drs. I Pels.)

TNO - Département des recherches cliniques sur les médicaments, 148, Juliana van Stolberglaan, La Haye. (Dr. W.G. Zelvelder.)

C.10. SUÈDE

(22 nov.-3 déc. 1965)

ASEA - Almänna Svenska Elektriska A.B., Västeras. (Ing. Ralf Thorburn, Assistant, Technical Directorate; Ing. Knut Bönke, Manager, Admin. Dept., Central Laboratories; Jan Ollner; Kurt Oster.)

A.B. Bofors, Bofors-Karlskoga. (Ing. Sten Henström, Chief Engineer, Head, Design Dept. for Guns and Vehicles; Ing. Tord Krey, Chief Engineer, Head, Metallurgical Dept.; Dr. Erik Bengtsson, Director, Chemical Division; Ing. Stig Djure and Ing. Per-Erik Jarnholt, Research and Development, Electronics and Ammunition Division.)

L.M. Ericsson, Telefon, A.B., L.M. Ericssonsvägen 4-8, Midsommarkransen (Stockholm 32). (Dr. C. Jacobaeus, Technical Director.)

FOA - Försvarets Forskningsanstalt, Linnégatan 89, Stockholm 80. (Dr. Martin Fehrm, Director General; K.G. Mattson.)

Försvarsstaben, Östermalmsgatan 87, Stockholm 90. (Captain P. Rudberg.)

FTL - Försvarets Teletekniska Laboratorium, Linnégatan 89, Stockholm 80. (Torsten Gussing, Director.)

A.B. Götaverken, Stjärngatan 9, Göteborg. (Jan Stefenson, Chief Engineer, Head, Engine Dept.; Mr. Björkenstam, Head, Planning Dept.)

Husqvarna Vapenfabriken, Huskvarna. (Gösta Rehnqvist, Managing Director; Gunnar Brynge, Technical Director; Ivar Ljungberg; Mr. Wickenberg; Mr. Börg.)

Incentive A.B., Arsenalsgatan 4, Stockholm. (Hans Wagner, Scientific-Technical Director.)

*IVA - Ingeniörsvetenskapsakademien, Grev Turegatan 14, Stockholm 4. (Prof. Sven Brohult, Director; A. Carlsson; Hans G. Forsberg.)

Axel Johnson institutet för industriforskning, Nynäshamn. (Ing. Olof Hörmander, Director.)

Bo Lundberg, Director General, Flygtekniska Försöksanstalten, Ranhammarsvägen 12-14, Bromma (Stockholm.)

Nordiska Armaturfabrikerna A.B., Gelbgjutaregatan 2, Linköping. (Ing. Thure Wilhelmsson, Technical Director.)

Ing. Gösta Rydbeck, Président, Swedish National Committee IEC, Kontors-Center, Hagagatan 29, Stockholm.

SAAB - Svenska Aeroplan Aktiebolaget, Linköping. (Doz. Tore Gullstrand, Technical Director.)

SAS - Scandinavian Airlines System, Ulvsundavägen 193, Bromma flygplats, Bromma 10 (Stockholm). (Johan H. Paus, Director, Traffic; Mr. Isaakson, Commercial Research Manager.)

Statsradsberedningen, Forskningsberedningen, Lilla Nygatan 1 (adresse postale : Mynttorget 2), Stockholm 2. (Prof. Bror Rexed.)

Telestyrelsen, Kungliga, Brunkebergtorg 2, Stockholm. (Dr. Hakan Sterky, Directeur général — en retraite depuis lors.)

C.11. SUISSE

(4-12 octobre et 15 décembre 1965)

Prof. Dr. Jakob Ackeret, ETH (Université Technique), Chaire d'Aérodynamique, Zürich.

Battelle Memorial Institute, 7, route de Drize, 1227 Carouge-Genève. (Dr. Fontela, Head, Social Economic Research; Dr. Csillaghy; André Gabus; Dr. Clement Velay.)

BIGA - Bundesamt für Industrie, Gewerbe und Arbeit, Bundesgasse 8, Berne. (Dr. K. Wegmann, Directeur Adjoint.)

A.G. Brown, Boveri & Cie, 5401 Baden. (Dr. Rudolf Sontheim, Administrateur délégué; Dr. Ernst Jenny, Chef du Laboratoire de développement thermique.)

CIBA - Aktiengesellschaft, Klybeckstrasse 141, 4000 Bâle 7. (Dr. Hans Joerg, Directeur-adjoint chargé de la Planification.)

Commission Économique pour l'Europe (des Nations Unies), Palais des Nations, Genève. (J. Rudzinski, Division de la Recherche et des Plans; Mr. Dilloway, Division de l'Énergie.)

Prof. Andreas Dreiding, Université de Zurich, Institut de Chimie, Rämistrasse 76, Zürich.

*Dr. Eduard Fueter, Neugut, 8820 Wädenswil.

Dr. Fritz Hummler, Administrateur délégué, Ateliers de Construction Mécanique de Vevey, Vevey; précédemment Eidgenössischer Delegierter für Arbeitsbeschaffung und Kriegsvorsorge.

*Prof. R. Mercier, EPUL - École Polytechnique de l'Université de Lausanne, 33, avenue de Cour, Lausanne.

Meynadier & Cie, A.G., Vulkanstrasse 110, Zürich-Altstetten. (Dr. Eduard Buhl, Directeur des recherches.)

Nestlé Alimentana Afico, Laboratoire de recherche, Entre deux Villes, Vevey. (Dr. Robert Egli, Directeur.)

PTT - Services suisse des Postes et Télécommunications, Speichergasse, 6 Berne. (R. Trachsel, Chef de la Section de Planification.)

Gebr. Sulzer, Winterthur. (Dr. de Haller, Directeur des recherches; Mr. Züblin, Chef de la Section de Planification.)

Stanford Research Institute, European Office, Pelikanstrasse 37, Zürich 1. (Dr. J. Olin, Directeur.)

C.12. ROYAUME-UNI

(10-22 janvier 1966)

Albright and Wilson Ltd., 1 Knightsbridge Green, London S.W.1. (W.E.K. Piercy, Director in Charge of Development.)

Prof. P.M.S. Blackett, President, The Royal Society, London; également Deputy Chairman, Advisory Council on Technology.

BP - The British Petroleum Company Ltd., Britannic House, Finsbury Circus, London E.C.2. (J.L. Gillam, Central Planning Dept.; J.N. Haresnape, Research Coordination Dept.; Mr. Duckworth.)

Ronald Brech Ltd., 18 Wimbledon High Street, London S.W. 20.

*Cabinet Office, Whitehall, London S.W.1. (Fergus H. Allen, Chief Scientific Officer; Dr. T. Swaine.)

CEGB - Central Electricity Generating Board, Sudbury House, 15 Newgate Street, London E.C.1. (Dr. L. Rotherham, Member for Research.)

CIBA Foundation, 41 Portland Place, London W.1. (A.V.S. de Reuck, Deputy Director.)

*Sir John Cockroft, The Master, Churchill College, Storey's Way, Cambridge.

Cryosystems Ltd., 40 Broadway, London S.W.1. (Lord Ironside, Manager.)

Department of Education and Science, Curzon Street, London W.1. (G.J. Spence, Secretary, Council for Scientific Policy.)

DOAE - Defence Operational Analysis Establishment, Byfleet, Surrey. (Mr. Brittain.)

Elliott Automation, Ltd. 34 Portland Place, London W.1. (B. Asher, Group Economist.)

Esso Petroleum Company Ltd., Esso House, Victoria Strret, London S.W.1. (D.M.A. Masterman, Corporate Planning Dept. A.J. Caines.)

Christopher Freeman, Director, Unit for the Study of Science Policy, University of Sussex, Falmer, Brighton, Sussex.

Prof. Dr. Ing. Dennis Gabor, Imperial College of Science and Technology, Dept. of Electrical Engineering, City and Guilds College, Exhibition Road, London S.W.7.

GEC - General Electric Co. Ltd., Hirst Research Centre, East Lane, Wembley, Middlesex. (Peter Alexander Demetriou.)

ICI - Imperial Chemical Industries Ltd., Imperial Chemical House, Millbank, London S.W.1. (Lord Beeching, Deputy-Chairman; A.G. Cooke, Central Res. & Dev. Dept.).

IRD - International Research and Development Co. Ltd. (Parsons Group), Fossway, Newcastle-upon-Tyne 6. (H. Rose, Research Manager.)

Joseph Lucas Ltd., Great King Street, Birmingham 19. (Dr. J.S. Clarke, Group Chief Engineer.)

Sir Harrie Massey, University College, London, Dept. of Physics, Gower Street, London W.C.1.; également Chairman, Council for Scientific Policy.

Ministry of Aviation (maintenant rattaché au ministère de la Technologie), Horseguards Avenue, London S.W.1. (Sir Walter Cawood, Chief Scientist.)

Ministry of Defence, Whitehall, London S.W.1. (Dr. A.H. Cottrell, Deputy Chief Scientific Adviser, Studies; W.B.M. Lord, Assistant Chief Scientific Adviser, Research.)

Ministry of Technology, Millbank Tower, Millbank, London S.W.1. (Dr. J.B. Adams, Controller — actuellement Member for Research, Atomic Energy Authority; Dr. Alcon C. Copisarow; D.H. Tompsett; Mr. Goat.)

Mullard Ltd. (Groupe Philips), Mullard House, Torrington Place, London W.C.1. (Clive Barwell, General Manager, Central Marketing Services; Dr. K. Hoselitz, Deputy Director, Mullard Research Laboratories; P.E. Senker, Manager, Economic and Market Research Dept.)

The New Scientist, Cromwell House, Fulwood Place, London W.C.1. (Nigel Calder, Editor.)

NRDC - National Research Development Corporation, Kingsgate House, 66-74 Victoria Street, London S.W.1. (Dr. Basil J.A. Bard, Member; M. Zvegintzov; Dr. Fendley.)

Dr. Max Perutz, Deputy Director, Medical Research Council Laboratory for Molecular Biology, Hills Road, Cambridge.

The Plessey Company Ltd., Vicarage Lane, Ilford, Essex. (D.H.C. Scholes, Technical Director.)

*Science Journal, Associated Iliffe Press Ltd., Dorset House, Stamford Street, London S.E.1. (Robin Clarke, Editor.)

Shell International Petroleum Co. Ltd., Group Oil Planning Co-ordination, Shell Centre, London S.E.1. (L.C. Kuiken, Planning Techniques, Supply and Planning; Mr. Jenkins, Environment, Supply and Planning.)

Smiths Industries Ltd., Aviation Division, Kelvin House, Wembley Park Drive, Wembley, Middlesex. (C.J.E. Hosegood, Financial Manager.)

Prof. Lord Todd, University Chemical Laboratory, Lensfield Road, Cambridge; précédemment Chairman, Advisory Council on Scientific Policy.

Unilever Ltd., Research Division, Unilever House (New Bridge Street and Victoria Embankment), London. (Dr. D.H. Laney; A.C. Smith; M. Armstrong.)

Urwick Diebold Ltd., 40 Broadway, London S.W.1.

Vickers Ltd., Vickers Engineering Group, Vickers House, Millbank Tower, Millbank, London S.W.1. (D.R. Micklem, Marketing Manager, Planning Dept,; Norman Smith, Manager, Commercial Evaluation, Planning Dept.)

C.13. ÉTATS-UNIS

(21 mars-18 mai 1966)

Abt Associates, 14, Concord Lane, Cambridge, Massachusetts 02138. (Dr. Clark C. Abt, President; Robert Rea, Vice-President; John Blaxall; Louis J. Cutrona.)

American Academy of Arts and Sciences, 280 Newton Street, Brookline Station, Boston, Massachusetts 02146. (Dr. John Voss, Executive Officer.)

American Institute of Physics, 335 East 45th Street, New York, N.Y. 10017. (Dr. Van Zandt Williams, Director.)

American Management Association, Inc., Research and Development Division, 135 West 50th Street, New York, N.Y. 10020.

American Research and Development Corp., Room 2308, John Hancock Building, Boston, Massachusetts (General Georges F. Doriot, Chairman and President.)

A.T. & T. - American Telephone and Telegraph Corp., 195 Broadway, New York, N.Y. (F.R. Latter, Head, Engineering Dept.; Mike Ewasyshyn, Engin. Dept.; Karl Blum.)

Battelle Memorial Institute, 505 King Avenue, Columbus, Ohio 43201. (Mr. Bagley, Assoc. Man., Mech. Engin. Dept.; Joseph Hoess, Mech. Engin. Dept.; Joe H. Brown, Jr., Bob Crosby et Daniel Molnar, tous au Technical Economics Dept.).

Battelle Memorial Institute, Washington Office, 1755 Massachusetts Avenue N.W., Washington, D.C. 20036. (Dr. William J. Harris, Jr., Assistant to the Vice-President; George Beiser.)

Prof. Daniel Bell, Chairman, Dept. of Sociology, Columbia University, New York, N.Y. 10027.

The Boeing Company, Space Division, 20403 68th Street, Kent, Washington (Adresse des principaux bureaux : 7755 East Marginal Way, Seattle, Washington). (Yusuf A. Yoler, Chief Scientist.).

Prof. Harvey Brooks, Dean, Division of Engineering and Applied Physics, Harvard University, Pierce Hall - Room 217, Cambridge, Massachusetts 02138; également Chairman, COSPUP, National Ac. of Sciences.

Prof. Harrison Brown, Dept. of Geology, California Institute of Technology, Pasadena, California 91109.

Bureau of the Budget, Executive Office of the President, Executive Office Building, 4th & Pennsylvania Avenue, N.W., Washington, D.C. 20506. (Henry S. Rowen, Assistant Director — Président de RAND Corporation depuis l'été 1966.)

Department of the Air Force, Air Force Office of Scientific Research, D Building, 4th & Independence Avenue, S.W., Washington, D.C. (Major Joseph P. Martino, Assistant for Research Coordination.)

Department of Defense, Pentagon, Arlington, Virginia. (Stephen Enke, Deputy Assistant Secretary, Economics.)

Department of Defense, ODDRE - Office of the Director of Defense Research and Engineering, Pentagon, Arlington, Virginia. (Dr. Chalmers W. Sherwin, Deputy Director; Colonel Raymond S. Isenson.)

Department of the Navy, Headquarters Naval Material Command, Main Navy Building, 17th & Constitution Avenue, N.W., Washington D.C. 20360. (Marvin J. Cetron, Head, Technological Forecasting Group.)

Diebold Group Inc., 430 Park Avenue, New York, N.Y. 10022. (John Diebold, President; Charles H. Bloom, Head, Diebold Research Program; Herbert Blitz, Director, Internal Research Dept.; Hector Cortes.)

Prof. René Dubos, Rockefeller University, York Avenue at 66th Street, New York, N.Y.

E.I. du Pont de Nemours and Co., Du Pont Building, Market Street, Wilmington, Delaware, 19898. (Francis B. Vaughan and J.W. Libby, Jr., Development Department.)

Fairchild, Semiconductor Division, 313 Fairchild Drive, Mountain View, California 94041. (Dr. Robert Noyce, Group Vice-President, Semiconductor & Instrumentation; Phil Lenihan, Manager, Market Research; Richard L. Molay.)

Laura Fermi, 5532 S South Shore Drive, Chicago, Illinois.

General Electric Co., corporate offices, 570 Lexington Avenue, New York, N.Y. 10022. (Dr. Raoul J. Freeman, Manager, Quantitative Analysis, Corporate Planning Dept.)

General Electric Co., Atomic Products Division, Advanced Products Operation, 175 Curtner Avenue, San José, California 95125. (Dr. Zebroski, Manager, Sodium Reactor Technology; Prof. Murphy, Manager, Advanced Engineering.)

General Electric Co., TEMPO Centre for Advanced Studies (TEMPO Dept., Defense Planning Operation, Defense and Aerospace Group), 816 State Street, Santa Barbara, California 93102. (Dr. Thomas O. Paine, Head; Dr. J. Fisher; Dr. R. Hendrick; Harry Iddings; Roman Krzyczkowski; T. Rubin.)

General Motors Corp., Technical Center, Research Laboratories, Warren, Michigan 48090. (Dr. Lawrence R. Hafstad, Vice-President in Charge of Research Laboratories; J.M. Campbell, Scientific Director; Dr. Robert Thompson, Director, Mechanical Engineering Dept.; J.C. McElhany, Administrative Director; E.N. Bowen; Lee Buzan; Don Borland.)

Prof. Eli Ginzberg, Dept. of Economics, Columbia University, New York, N.Y. 10027.

Prof. Zvi Griliches, Dept. of Economics, University of Chicago, Room 405, Social Sciences Building, 1126 East 59th Street, Chicago, Illinois 60637.

Dr. Lawton M. Hartman, Science Policy Research Division, Room 203 K, Library of Congress, 1st & Independence Avenue, S.E., Washington, D.C.

Harvard University, Program on Technology and Society, 61 Kirkland Street, Cambridge, Massachusetts 02138. (Dr. Emmanuel G. Mesthene, Executive Director; Dr. Jürgen Schmandt, Assistant Director.)

Hewlett Packard, 1501 Page Mill Road, Palo Alto, California. (Austin Mark, Assistant Manager, Corporate Planning.)

Honeywell Inc., Military and Space Sciences Dept., 1701 Pennsylvania Avenue, N.W., Washington, D.C. 20006. (Maurice E. Esch, Director.)

Hudson Institute, Quaker Ridge Road, Croton-on-Hudson, N.Y. 10520. (Max Singer, President; Herman Kahn, Director; Dr. Robert Ayres; Morris Isenson; Robert Panera.)

IBM - International Business Machines Corp., corporate offices, Old Orchard Road, Armonk, N.Y. 10504. (James A. Haddad, IBM Director of Technology and Engineering; W.J. Lawless, IBM Director of Corporate Planning.)

IBM - International Business Machines Corp., Research Division, Thomas J. Watson Research Centre, Yorktown Heights, N.Y. (Dr. S.P. Keller, Director of Technical Planning.)

IDA - Institute for Defense Analyses, 400 Army Navy Drive, Arlington, Virginia. (Dr. Robert Fox, Deputy Director, Research and Engineering Support Division.)

IMC - International Minerals and Chemical Corporation, Skokie, Illinois. (P.A. Toll; W.B. Spence.)

ITT - International Telephone and Telegraph Corp., 320 Park Avenue, New York, N.Y. 10022. (Dr. Henri G. Busignies, Senior Vice-President; Paul R. Adams, Director of Research.)

Prof. Polykarp Kusch, Dept. of Physics, Columbia University, Room 911, Physics Building, Columbia University, 119th Street & Broadway, New York, N.Y. 10027.

Arthur D. Little, Inc., 25 Acorn Park, Cambridge, Massachusetts 02140. (Dr. Howard O. McMahon, President; Hamilton James, Vice-President, Management Services Division; Dr. Gordon Raisbeck, Engineering Div.; John Thompson and Jack White, Man. Services Div.)

Lockheed Aircraft Corp., Burbank, California 91503. (Dr. Ronald Smelt, Vice-President and Chief Scientist; Dr. Robert Schairer, Head, Corporate Development Office.)

Prof. Edwin Mansfield, Wharton School of Finance and Commerce, University of Pennsylvania, Dietrich Hall, 37th & Locust Streets, Philadelphia 4, Pennsylvania.

Mc-Graw-Hill, Inc., 330 West 42nd Street, New York, N.Y. 10036. (Douglas Greenwald, Chief Economist; W.B. Flanigin, Eastern Regional Vice-President; John Markus, Manager, Information Research.)

Prof. Seymour Melman, Dept. of Industrial and Management Engineering, Columbia University, Room 320, SW MUDD Building, New York, N.Y. 10027.

Prof. Robert K. Merton, Dept. of Sociology, Columbia University, New York, N.Y. 10027.

3M Company - Minnesota Mining and Manufacturing Company, 2501 Hudson Road, St. Paul, Minnesota. (Dr. Robert Adams, Technical Director, International Division; Dr. Krogh, Head, Corporate Technical Planning and Coordination; Edward F. Devaney, Market Analysis; J.J. Brigham; Carl Schach, Operations Research Dept.; Ray Stirett.)

NASA - National Aeronautics and Space Administration, 600 Independence Avenue, S.W. Washington, D.C. (Boyd C. Myers, Deputy Associate Administrator for Office of Advanced Research and Technology; Richard J. Wisniewski, Deputy Director, Program Coordination.)

National Academy of Sciences - National Research Council, Committee on Science and Public Policy (COSPUP), 2101 Constitution Avenue, N.W. Washington D.C. 20418. (Robert E. Green, Executive Secretary.)

National Bureau of Standards, Institute for Applied Technology, Connecticut and Van Ness Avenues, N.W., Washington D.C. (Dr. Evelyn Murphy.)

National Commission on Technology, Automation and Economic Progress (dissoute depuis). (Dr. Garth Mangum, Executive Secretary — actuellement au Upjohn Institute for Employment Research, 1101 17th Street, N.W., Suite 905, Washington, D.C. 20036.)

National Planning Association, 1606 New Hampshire Avenue, N.W., Washington, D.C. (Dr. Gerhard Colm, Chief Economist.)

*National Science Foundation, 1800 G. Street, N.W., Washington D.C. (Dr. Henry David, Head, Office of Science Resources Planning; Dr. Frank Hersman.)

North American Aviation, Inc., General Offices, 1700 East Imperial Highway, El Segundo, California 90246. (F.D. Pfotenhauer, Corporate Director, Operations, Market Planning; R.M. Grant, Market Planning.)

North American Aviation, Inc., Los Angeles Division, Los Angeles International Airport, Los Angeles, California 90009. (R.R. Janssen, Assistant to the Vice President, Research & Engineering; R. Murphy, Research and Technology Requirements.)

North American Aviation, Inc., Autonetics Division, Anaheim, California 92803. (Dr. C.E. Bergman, Assistant Director for Program Development, Advanced Programs and Marketing Division.)

North American Aviation, Inc., Space and Information Systems Division, Downey, California 90241. (W.E. Walter, Manager, Space Programs for Advanced Programs within Advanced Programs Development.)

*Office of Science and Technology, Executive Office of the President, Executive Office Building, 17th & Pennsylvania Avenue, N.W., Washington D.C. 20506. (David Beckler, Assistant Director.)

Quantum Science Corporation, 800 Welch Road, Palo Alto, California 94304. (Dr. Roy E. Murphy, Director, Operations Research and Economic Analysis Division; Dr. Muller.)

Prof. Isidor I. Rabi, Dept. of Physics, Columbia University, New York, N.Y. 10027.

RAND Corporation, 1700 Main Street, Santa Monica, California 90406. (Dr. Murray A. Geisler, Logistics Dept.; Dr. Richard Nelson; Andrew Marshall.)

RCA - Radio Corporation of America, 30 Rockefeller Plaza, New York, N.Y. 10020. (Theodore A. Smith, Executive Vice President, Corporate Planning.)

Resources for the Future, Inc., 1755 Massachusetts Avenue, N.W., Washington D.C. 20036. (Hans H. Landsberg; Sam Schurr.)

Prof. E.B. Roberts, MIT - Massachusetts Institute of Technology, Alfred P. Sloan School of Management, Room 52-535, 50, Memorial Drive, Cambridge, Massachusetts 02139.

Rockefeller Foundation, 111 West 50th Street, New York, N.Y. 10020. (Dr. Gerard R. Pomerat, Associate Director.)

The Salk Institute for Biological Studies, 10010 North Torrey Pines Road, La Jolla, California 92109. Adresse postale P.O. Box 1809, San Diego, California 92112. (Dr. Jonas E. Salk, Director; Dr. Jacob Bronowski, Dr. Renato Dulbecco, Dr. Melvin Cohn, Resident Research Fellows.)

Samson Science Corporation, 270 Park Avenue, New York, N.Y. 10017. (Dr. Mirek Stevenson, President; Dr. Rind, Vice President.)

Dr. Irving H. Siegel, The Upjohn Institute for Employment Research, 1101 17th Street, N.W., Washington, D.C. 20036.

Prof. Eugene B. Skolnikoff, Political Sciences Division, MIT - Massachusetts Institute of Technology, Room 417, Grover M. Hermann Building, 50 Memorial Drive, Cambridge, Massachusetts 02139.

Smith, Kline and French, Inc., Laboratories, 1500 Spring Garden Street, Philadelphia, Pennsylvania 19101. (John P. Young, Director of Research and Development Agreements.)

Philip Sporn, Chairman, System Development Committee, American Electric Power Co., Inc., 2 Broadway, New York, N.Y. 10008.

Standard Oil Company of New Jersey, 30 Rockefeller Plaza, New York, N.Y. 10020. (H.E. McBrayer, Head, New Investment Dept,; Dr. R.J. Nunziato, New Inv. Dept.; Mr. Dull, Coord. and Planning Dept.; Mr. Weeks, Esso Research and Engineering Co.)

*Stanford Research Institute, Menlo Park, California 94025. (Dr. Stewart P. Blake, Executive Director, Management and Social Systems; Dr. Robert Bruce, Director of Planning and Development, Industrial and Development Economics; Albert Shapero, Director, Technology Management Programs, Management and Social Systems; William S. Royce, Director, Long Range Planning Service; Robert F. Stewart, Manager, Research on the Theory and Practice of Planning; James M. Menefee, Manager of Development-West.; Mr. A. Hacke, Jr.)

Prof. Robert Summers, Wharton School of Finance and Commerce, University of Pennsylvania, Dietrich Hall, 37th & Locust Streets, Philadelphia 4, Pennsylvania.

System Development Corporation, 2500 Colorado Avenue, Santa Monica, California 90406. (Hasan Ozbekhan, Director of Corporate Planning.)

TEMPO, voir à : « General Electric. »

Texas Instruments, Inc., 13500 North Central Expressway, P.O. Box 5474, Dallas, Texas 75222. (S.T. Harris, Senior Vice President, Corporate Development; Donald R. Burrus, Manager, Advanced Economic Planning; Ralph Dosher, Manager, Corporate Planning.)

TRW Systems (Thompson-Ramo-Woolbridge), One Space Park, Redondo Beach, California. (Arnold R. Anchordoguy, Assistant Director, Planning and Control; Ralph B. Davidson.)

Union Carbide-Corp., 270 Park Avenue, New York, N.Y. 10017. (John Shacter, Manager, Computer Planning Dept.)

United Aircraft Co., General Offices, East Hartford, Connecticut 06108. (Perry W. Pratt, Vice President and Chief Scientist; W.A. Osborne, Manager, Marketing, Planning and Programming.)

United Aircraft Co., Pratt & Whitney Aircraft Division, East Hartford, Connecticut 06108. (Dr. Richard L. Ducan, Manager, Advanced Planning; Dr. R.I. Strough, Advanced Planning.)

United Aircraft Co., Corporate Systems Center, Farmington, Connecticut. (Alexander Sherman, Manager, Advanced Systems Research.)

United Nations, Center for Industrial Development (actuellement UNIDO—UN Industrial Development Organisation), United Nations Plaza, New York, N.Y. (Hans Einhaus).

United Nations, Advisory Committee on the Application of Science and Technology to Development, United Nations Plaza, New York, N.Y. (Dr. Guy B. Gresford, Acting Secretary; since then appointed UN Director for Science and Technology).

Varian Associates, 611 Hansen Way, Palo Alto, California. (Mr. Brickner, Director for Long-Range Planning; Dr. William McBride, Assistant to the President.)

Xerox Corporation, Midtown Tower, Rochester, N.Y. 14604. (Michael J. Kami, Vice-President in Charge of Corporate Planning; et al.)

Dr. Fritz Zwicky, Mt. Wilson and Palomar Observatories, California Institute of Technology, Astrophysics Building, 1201 East California Boulevard, Pasadena, California 91109.

Au cours de la « Conférence sur les transferts technologiques et l'innovation », tenue du 15 au 17 mai 1966 à Washington, D.C., l'auteur a pu recueillir des informations intéressantes pour cette étude grâce aux conférences et à des contacts personnels. Les conférenciers suivants ont contribué de manière très importante aux thèmes examinés dans ce rapport :

Dean O. Bowman, Vice President, Management Systems and Planning, Autonetics Division of North American Aviation;
Dean Harvey Brooks, Harvard University;
Dr. Robert Charpie, Director of Technology, Union Carbide Corp.;
Aaron Gellmann, Vice President, Planning, North American Car Co.;
Dr. J.E. Goldman, Director, Scientific Lab., Ford Motor Co.;
Dr. J. Herbert Hollomon, Assist. Secretary of Commerce for Science and Technology;
Michael Michaelis, A.D. Little, Inc.;
Dr. Jack A. Morton, Vice President, Appl. Res., Bell Telephone Laboratories.

En outre, l'auteur a obtenu d'utiles informations auprès des personnalités suivantes :

Prof. James R. Bright, Harvard Univ., Grad. School of Business Adm.;
Prof. Norman Kaplan, Program of Policy Studies, George Washington Univ.;
W.T. McInarnay, Senate Small Business Committee, Subcommittee on Science and Technology;
Robert Solo, Princeton University.

INDEX DES NOMS ET DES ORGANISMES CITÉS

Cet index se réfère au texte principal et à l'Annexe A.
La Bibliographie commentée (Annexe B) comporte un index des auteurs cités (Annexe B.15).

Abt Associates (US) : 17, 138, 139, 149, 152, 207, 212, 223, 225, 227, 261, 264, 269, 282, 325.
Ackeret, Jakob : 69.
Adams, Henry : 136, 163.
Adelson, M. : 275.
AECL (Atomic Energy of Canada Ltd.) : 341.
Aerojet General (US) : 146, 195.
AGARD (OTAN) : 341.
AID (US) : 326.
Air Reduction (US) : 240.
Alcolac (US) : 214.
Allen, D.H. : 221.
Alimon, C. : 230.
American Academy of Arts and Sciences (US) : 149, 203, 309, 350.
American Airlines (US) : 87.
American Institute of Planners (US) : 350.
American Management Association (US) : 128, 262, 353.
American Research and Development Corp. (US) : 74, 285.
American Society or Newspaper Editors (US) : 42.
Andrade, E.N. da C. : 62.
Ansoff, H. Igor : 138, 242.
ASEA (Suède) : 121, 147, 218, 222, 285, 291.
Asher, D.T. : 138, 239.
ASME (American Society of Mechanical Engineers) : 127.
Aston, F.W. : 62.
Atomic Forum (US) : 332.
A.T. & T. (American Telephone and Telegraph Corp., US) : 46, 51, 95, 97, 120, 295, 299.
Auden, Wystan Hugh : 57.
Ayres, Robert U. : 116, 145, 169, 173, 181, 182, 184, 202, 236, 259.

Baker, H.D. : 134, 145.
Baier (Allemagne) : 84.
Bardeen : 49.
Battelle Memorial Institute : 93, 127, 138, 139, 144, 147, 152, 200, 206, 210, 212, 214, 226, 232, 253, 257, 259, 260, 265, 270, 279, 282, 320, 325, 348.
Bayes, Thomas : 207.
BBC - Brown Boveri (Allemagne) : 302, 353.
BBDO (US) : 148, 155, 264.
Beckwith, R.E. : 138, 242.
Beeching, Lord : 313.
Bell, Daniel : 350.
Bell Telephone Laboratories (US) : 46, 50, 51, 89, 97, 118, 295, 299.
Berger, Gaston : 351.
Bers : 68.
BIPE (France) : 148, 228, 231, 342.
Birkenhead, Earl of : 63.
Boeing Co. (US) : 51, 52, 80, 90, 97, 147, 235, 292.
Bofors (Suède) : 99, 287.
Boltzmann, Ludwig : 212.
Bonke, Knut : 137, 222.
Brandenburg, Richard G. : 134, 145.
Brattain : 49.
Brech, Ronald : 146, 203.
Brennan, Donald G. : 149.
Bridgman, P.W. : 59.
Bright, James R. : 128.
Bronowski, Jacob : 69, 88.
Brooks, Harvey : 16, 25, 29, 41, 45, 67, 175, 312.
Brown, Harrison : 114.
Brown, J.H. : 225.
Bush, Vannevar : 117.

Campbell, J.W. : 118.
Canadian Paper and Pulp Research Institute : 147, 224, 341.
Carbonaro, Giuseppe : 232.
Carothers, Walter : 79.
Cawood, Sir Walter : 185.
CDU (Allemagne) : 342.
CECA (Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier) : 22, 148, 228, 319, 320, 326, 347, 348.
CEE (Commission Économique pour l'Europe) : 112, 348, 349.
CEGB (Central Electricity Generating Board R.U.) : 53, 125, 344.
Center for the Study of Democratic Institutions (US) : 350.
Centre International d'Études de Prospective (France) : 153, 351.

Centre for Culture and Technology, University of Toronto (Canada) : 160, 350.
Cetron, Marvin J. : 192, 193, 254.
CGE - Compagnie Générale d'Électricité (France) : 333.
Chadwick, Sir James : 62, 63.
Cheaney, E.S. : 139, 225, 257, 270.
Churchill, Sir Winston S. : 117, 199, 287, 309.
Churchman, C.W. : 138, 225, 243.
CIBA Foundation (R.U.) : 351.
Clarke, Arthur C. : 117.
Cohen, Karl : 261.
Columbia University (US) : 352.
Combs, Cecil E. : 134.
Conant, James B. : 83.
Conference on Quantitative Description of Technological Change : 71.
Conference on Technology Transfer and Innovation (Conférence consacrée aux transferts technologiques et à l'innovation) : 25, 87, 292, 312, 322.
Confindustria (Italie) : 343.
Confucius : 57.
Cornell Aeronautical Institute (US) : 265.
Corplan Associates (US) : 326.
COSPUP (Committee for Science and Public Policy, US National Academy of Science) : 19, 61, 67, 70, 135, 315.
Cournand André : 352.
Cramer, R.H. : 137, 221, 239.
CSF - Compagnie sans Fil (France) : 287, 333.

Daedalus : 350.
Darracott, H.T. : 339.
Dean, B.V. : 137, 221, 239, 265.
Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique (France) : 236, 342.
De l'Estoile, H. : 138, 241.
Demetriou, Peter Alexander : 219.
De Solla Price, Derek J. : 164, 169.
Deutsche Bundesbahn (Allemagne) : 342.
Diebold Group (US) : 276, 280, 327.
Disman Solomon : 137, 216.
DOAE - Defence Operational Analysis Establishment (RU) : 262, 335.
Doriot, Georges : 95, 283.
Douglas Aircraft (US) : 81.
DSIR - Department for Scientific and Industrial Research (RU) : 344.
Dubos, René : 23, 42, 50, 103, 105, 317.
Du Pont de Nemours (US) : 79, 91, 285, 290, 293.
Dushman, Saul : 63.
Dynamar (France) : 332.

Eastman Kodak (US) : 29, 86.
Eddington, Sir Arthur : 62.
Edison, Thomas A. : 116.
Einstein, Albert : 49, 61, 62, 63, 71, 212.
Eisenhower, Dwight : 304.
Elliott-Automation (RU) : 120, 287.
Ellul, Jacques : 104.
ENEL (Italie) : 343.
Engineering Institutions' Joint Council (RU) : 315.
Engineers' Joint Council (US) : 106, 314, 347.
Equity Research Associates (US) : 332.
Ericsson, L.M. (Suède) : 147, 292.
ESSA (US) : 237.
Esso (RU) : 81, 291.
Esso Research and Engineering (US) : 81, 194.
Euratom : 22, 318, 319, 347.
Exploitations de la Mer Morte : 313.

Fairchild (US) : 100, 120, 194.
Fange, Eugene K. von : 154.
FAO - Food and Agricultural Organization : 349.
Fermi, Enrico : 63, 64.
Fermi, Laura : 64.
FIAT (Italie) : 232.
Fisk, James B. : 89.
Fleming Sir Alexander : 49.
FOA (Centre de Recherches militaires Suédois) : 111, 120, 333.
Ford Foundation (US) : 72, 232, 329.
Ford Motor Co (US) : 74, 285.
Forrester, Jay W. : 95, 225.
Fourier : 61.
Freeman, Raoul : 138, 239, 312.
Freier, S. : 313.
Frisch, O. : 63.
Fuller, R. Buckminster : 352.
Furnas, C.C. : 33, 63.

Gabor, Dennis : 16, 33, 36, 46, 69, 103, 106, 159, 276.
Garguilo, G.R. : 138, 241.
GEC - General Electric Co. (RU) : 137, 147, 216, 218.
Gellman, Aaron : 87.
General Dynamics (US) : 139, 253.
General Electric (US) : 46, 50, 72, 86, 100, 113, 116, 119, 121, 134, 139, 148, 149, 175, 176, 187, 201, 261, 262, 263, 266, 267, 276, 288, 304, 331, 336, 340, 350.
General Motors (US) : 100, 186, 290, 291.
Gevaert-Agfa (Belgique) : 185.
Gibbs : 212.
Gilfillan, S. Colum : 16, 33, 34, 48, 114, 116, 193, 203, 225.
Goldmark, P. : 34.
Gordon, T.J. : 139, 149, 152, 158, 263.
Göring, Hermann : 79.
Götaverken (Suède) : 310.
Grace, W.R. (US) : 240.
Green, E.I. : 151.
Griliches, Zvi : 72, 232, 233.
Groupe 1985 : 100, 309, 342.
Gvishiani, Jermen : 318.

Hahn, Otto : 63.
Halban : 63
Hammarskjöld, Dag : 113.

Handler : 68.
Hartman, Lawton M. : 136, 168, 173, 233.
Harvard University (US) : 127.
Harvard University Economic Project (US) : 148, 230.
Harvard University Program on Technology and Society (US) : 351.
Heisenberg, Werner : 212.
Helmer, Olaf : 16, 139, 149, 152, 155, 224, 263.
Hensley, Carlton : 233.
Hercules Powder (US) : 146, 227.
Hertz, H. : 78.
Hess, Sidney W. : 138, 239.
Hetrick, J.C. : 138, 241.
Hewlett-Packard (US) : 280.
Hinrichs, John R. : 154.
Hitler, Adolf : 49, 57.
Hoess, Joseph : 214.
Holton, Gerard : 137, 173.
Honeywell (US) : 65, 70, 127, 133, 140, 144, 146, 147, 185, 202, 236, 244, 250, et suiv., 258 et suiv., 288.
Hoskold : 137, 216.
Hudson Institute (US) : 149, 201, 304, 327, 350.
Hughes Aircraft (US) : 81.
Humphrey, Hubert H. : 133, 259, 306, 311.
Huxley, Aldous : 159.
Hyland : 78.

IBM - International Business Machines (US) : 52, 66, 80, 83, 86, 87, 90, 98, 119, 120, 226, 262, 293, 351.
ICI - Imperial Chemical Industries (RU) : 54, 81, 313.
IDA - Institute for Defence Analyses (US) : 186, 305, 325, 336.
IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers (US) : 127.
IFO Institut (Allemagne) : 332, 342.
Illinois Institute of Technology (US) : 94, 326.
IMC - International Minerals & Chemicals (US) : 236.
Incentive AB (Suède) : 74, 285.
Institute of Management Sciences (US) : 128.
Institute of Radio Engineers (US) : 127, 347.
Institut für Zukunftsfragen (Autriche) : 110, 351.
International Union of Architects : 352.
International Union of Biological Sciences: 352.
Insenson, Raymond S. : 136, 161, 165, 168, 339.
Israël Mining Industries (Israël) : 99.
Israël Ministry of Agriculture : 343.
Israël National Council for Research and Development : 342.
Israël National Physics Laboratory : 342.
Israël Water Planning Corp : 342.
Italian Industrial Study Centres : 343.
IIT - International Telephone and Telegraph (US) : 120.
IVA - (Académie royale suédoise des sciences de l'ingénieur) : 315, 351.

Joliot-Curie, Frédéric : 63, 64.
Jouvenel, Bertrand de : 104, 271, 321.
Joxe, Louis : 352.
Jung, Carl Gustav : 154.
Jungk, Robert : 351.

Kahn, Herman : 149, 201, 271, 307.
Kaiser Aluminium (US) : 263.
Kantrowitz, Arthur : 83.
Kappel, Frederick R. : 95.
Kármán, Theodor von : 114, 194, 303, 339, 341.
Kaysen, Carl : 350.
Kettering, Charles : 114.
Keynes, John Maynard : 233.
Klefer, David M. : 146.
Kimball, G.E. : 138, 241.
King, Alexander : 311.
Klein, Burton H. : 189.
Kotler, P. : 139, 222.
Kowarski, Lew : 63.
Kraft, Victor : 59.
Kuhn, Thomas S. : 19, 58.
Kurz, Mordechai : 115.
Kusch, Polykarp : 42.

Lancoud, Charles : 137, 206.
Le Bon, Gustave : 62.
Lenz, Ralph Charles, Jr : 25, 93, 116, 137, 138, 139, 163, 169, 173, 179, 225, 270, 283.
Leontief, Wassily : 229.
Liebig, Justus von : 79.
Lindenmann (Lord Cherwell) : 117, 199.
Linstone, H.A. : 340.
Little, Arthur D. (US) : 72, 83, 91, 94, 120, 144, 230, 279, 280, 300, 327.
Litton Industries (US) : 74, 285, 287.
Lockheed Aircraft (US) : 48, 50, 66, 83, 155, 283, 339, 340, 353.
Lundberg, Bo K.O. : 267.

Madariaga, Salvador de : 40.
Mann-Borgese, Elisabeth : 160.
Mansfield, Edwin : 72, 80, 84, 137, 138, 206, 233.
Marconi : 78.
Markham, Jesse : 72.
Marschak, Thomas A. : 114, 118.
Marshall, Andrew W. : 118.
Martin-Marietta (US) : 327.
Massé, Pierre : 351.
Mazlich, Bruce : 203.
Mayman, Ted : 81.
McCrory, R.J. : 121, 122, 152, 200, 210 et suiv., 257, 259, 260, 165, 270.
McGraw-Hill (US) : 39, 73, 75, 76, 284, 301, 328, 353.
McHale, John : 352.
McKinsey (US) : 287.

McLuhan, Marshall : 34, 106, 151, 154, 160, 200, 266, 273, 309, 350.
McNamara, Robert S. : 42, 98, 119, 238, 262, 303, 307.
Meckling, W.H. : 118.
Meitner, Lise : 63.
Mesthene, Emmanuel G. : 351.
Michaelis, Michael : 292, 332.
Millikan, Robert : 114.
Ministère des Armées (France) : 241, 305, 326, 332 et suiv.
3 M Company - Minnesota Mining and Manufacturing Co. (US) : 29, 97, 148, 218, 221, 253, 264, 291, 293.
Molina : 104.
Monsanto Chemical (US) : 146.
Morgenstern, Oskar : 109, 263.
Mottley, C.M. : 138, 241.
Mount Wilson and Palomar Observatories (US) : 195.
Muller, Hermann J. : 153.
Myers, M. Scott : 299, 300.

Napoleon III : 79.
NASA - US National Aeronautics and Space Administration : 95, 119, 139, 147, 157, 237, 252, 256, 305, 326, 346.
National Planning Association (US) : 38, 72, 280, 328, 347.
National Security Industrial Association (US) : 128, 155, 347.
Nations Unies : 111, 317, 349, 353.
Nelson, Richard : 72.
Nestlé (Suisse) : 79.
Newcomb, Simon : 117.
New Scientist (RU) : 111, 153.
Neue Zurcher Zeitung (Suisse) : 40 .
Neumann, John von : 263.
Newton, Isaac : 212.
Newton, R.D. : 138, 241.
Nordiska Armaturgabrikerna (Suède) : 241.
North America Aviation (US) : 81, 91, 98, 138, 147, 148, 194, 208, 237, 243, 267, 288, 294, 300.

OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) : 22, 98, 120, 318, 319, 349.
OCDE : 39, 149, 225, 281, 284, 311, 319, 344, 349.
ODDRE - Office of the Director of Defense Research and Engineering, US Department of Defense; and DDRE : 83, 117, 337.
OTAN : Organisation du Traité de l'Atlantique Nord : 146, 155, 184, 303, 345.
Olin Mathieson (US) : 13.
Olivetti (Italie) : 87, 99.
Olsen : 137, 213.
ONERA (France) : 342.
Oppenheimer, Robert : 57.
Osgood, Charles : 227.
Osterreichische Volkspartei (Autriche) : 341.
OSTI (US) : 352.
Ozbekhan, Hasan : 16, 103 et suiv., 139, 269, 271, 272, 273, 274, 321.

Pacific Gas & Electric (US) : 87.
Pacifico, Carl : 137, 214.
Pake : 68.
Peace Corps (US) : 266.
Pearl, Raymond : 169.
Peck, Merton J. : 118.
Pellini, W.S. : 339.
Perutz, Max : 41.
Pfaffmann : 68.
Pfizer, Chas. (US) : 241.
Piore, E.R. : 90.
Planck, Max : 212.
Plessey (RU) : 121.
Plessner, Max : 48, 115.
Poincaré, Raymond : 61.
Polak, Fred. L. : 104, 154, 351.
Popper, K.R. : 58.
Pound, William H. : 134, 138, 145, 242, 243.
Prognos (Suisse) : 332.
Prospective (France) : 351.
PTT (Suisse) : 344.
PTT Bedrijf (Pays-Bas) : 343 et suiv.
Purnam, A. : 137, 173.

Quantum Science Corporation (US) : 94, 110, 148, 162, 228, 231, 280, 282, 329.
Quinn, James Brian : 283 et suiv., 288 et suiv.

Rabi, Isidor I. : 33.
RAND Corporation (US) : 47, 50, 72, 126, 134, 139, 148, 149, 155, 188, 191, 192, 208, 224, 230, 262, 263, 265, 282, 304, 306, 312, 320, 328, 331, 340, 350, 352.
Rasser : 68.
Raytheon (US) : 325.
RCA - Radio Corporation of America (US) : 86, 113, 281, 287, 340.
Rea, Robert : 138, 139, 225, 264.
Réalités (France) : 125.
Resources for the Future (US) : 41, 101, 223, 329, 347.
Ridenour, Louis : 137, 173.
Rockefeller Foundation (US) : 319.
Roosevelt, Franklin Delano : 49, 68.
Rosen, E.M. : 138, 240.
Rosenbloom, Richard S. : 139, 261.
Rostow, Walt Whitman : 225.
Royal Dutch/Shell (Pays-Bas/RU) : 17, 121, 287, 297, 298.
Royal Society (RU) : 315.
Rutherford, Lord : 62, 63, 64.

Saint-Geours, J. : 342.
Saint-Gobain (France) : 256.
Samson Science Corporation (US) : 110, 120, 162, 228, 281, 329.

Scherer, Frederic M. : 72, 118.
Schlaifer, Robert : 207.
Schmandt, Jurgen : 351.
Schon, Donald A. : 125, 350, 352.
Schumpeter, Joseph A. : 84.
Schurr, Sam : 114.
Scientific American (US) : 116, 319.
Scientific Research (US) : 165.
Scott, Brian W. : 284.
Seaborg, Glenn T. : 57.
SÉDÉIS (France) : 104, 109, 330, 350.
Seitz, Frederick : 65.
Sengupta, S.S. : 137, 221, 239.
Shockley : 49.
Siegel, Irving H. : 43, 109, 125, 225, 229, 233.
Siemens & Halske (Allemagne) : 261.
Simulatics (US) : 332.
Siu, R.G.H. : 19, 58, 59, 66, 67, 104.
Smith, Adam : 229.
Smith, B.E. : 137, 221, 239.
Snow, C.P. : 61.
Sobelman : 137, 215.
Soddy : 62.
Solar Energy Society (US) : 347.
Sonder, W.E. : 138, 240.
Sorokin, Pitirim A. : 59.
Southern Illinois University (US) : 352.
Souvestre : 48.
SPD (Allemagne) : 342.
Sporn, Philip : 342.
Standard Oil of New Jersey (US) : 121.
Standard Oil of Ohio (US) : 74, 285.
Stanford Research Institute (US) : 16, 47, 76, 94, 110, 115, 144, 195, 237, 267, 279, 280, 284, 330, 353.
State of California (US) : 352.
Steinmetz, Charles : 116.
Sterne, Laurence : 279.
STET (Italie) : 343.
Stevens, C.F.B. : 224.
Stine, G.H. : 117.
Stollar Associates (US) : 332.
Strassmann, Fritz : 63.
Studiengruppe für Systemforschung (Allemagne) : 331.
Sud-Aviation (France) : 91.
Summers, Robert : 189.
Swager, William L. : 139, 253, 257, 260, 270.
Swedish Defence Staff : 333.
Swedish National Bank : 351.
Swedish Parliament : 351.
Syracuse University Research Corp. (US) : 339.
System Development Corporation (US) : 17, 134, 139, 148, 149, 232, 265, 266, 267, 271, 274, 275, 282, 320, 331, 350, 353.
Szilard, Leo : 63, 159.

Taton, R. : 61.
Taylor : 78.
Teal, Gordon : 137, 214.
Teller, Edward : 63.
TEMPO Center for Advanced Studies (General Electric, US) : 46, 47, 50, 72, 86, 134, 139, 148, 149, 175, 188, 201, 263, 266, 276, 288, 304, 331, 332, 336, 340, 350.
Textron (US) : 74, 285, 287.
Thomas : 139, 152, 265.
Thomson, Sir George : 59, 66.
Todd, Lord : 67.
Trachsel, R. : 137, 206.
TRW Systems (US) : 81, 94, 146, 158.

UIT - Union Internationale de Télécommunications : 349.
UNESCO : 317, 349.
Unilever (RU/Pays-Bas) : 146, 292.
Union Carbide (US) : 65, 74, 80, 99, 285, 287, 288.
United Aircraft (US) : 65, 111, 120, 293, 300.
United Airlines (US) : 120.
Universities-National Bureau Committee for Economic Research (US) : 72.
UK Advisory Council on Science Policy : 67.
UK Cabinet Office : 311, 344.
UK Committee for the Scientific Survey of Air Defense : 79.
UK Ministry of Defense (and Min. of Aviation) : 185, 335.
UK Ministry of Technology : 344.
UK National Economic Development Council : 344.
UK National Research Development Corporation (NRDC) : 74, 344.
US - AFC (Atomic Energy Commission) : 114, 119, 121, 346.
US Air Force : 47, 50, 128, 148, 158, 194, 225, 230, 237, 240, 253, 261, 264, 265, 303, 305, 325, 328, 339.
US Army : 266, 304, 338.
US Bureau of Labor Statistics : 230, 346.
US Department of Commerce : 346.
US Department of Defense : 21, 39, 96, 98, 117, 119, 237, 238, 244, 304, 306, 335, 344, 345.
US Department of Economics : 230.
US Department of Health, Education and Welfare : 41, 345.
US Department of State : 325.
US Department of Transportation : 41.
US Department of Urbanization : 41.
US Executive Office of the President : 315, 345.
US Federal Power Commission : 346.
US Marine Corps : 339.
US Marine Engineering Laboratory : 254.
US National Academy of Sciences - National Research Council : 19, 65, 68, 114, 237, 315, 347.
US National Commission on Technology, Automation and Economic Progress : 346.
US National Resources Committee : 114, 344.

US National Science Foundation : 29, 312.
US Navy : 62, 78, 138, 147, 209, 241, 243, 254, 304, 339, 353.
US Office of Science and Technology : 311, 345, 346.
US President's Commission on National Goals : 346.
US Senate : 318, 319, 344.
US Social Services Research Council : 71.

Varian Associates (US) : 90.
Verne, Jules : 159.
Vickers (RU) : 293.

Waddington, C.H. : 352.
Wallenberg, Marcus : 147.
Walpole, Horace : 151.
Walter, E. : 138, 237.
Waras : 229.
Watson-Watt, Sir Robert : 79.
Weinberg, Alvin M. : 17, 19, 58, 59, 68.
Weizmann, Chaim : 61.
Weizmann Institute for Science (Israël) : 61, 313.
Western Electric (US) : 295.
Westheimer : 68.
Westinghouse (US) : 121, 186, 292.
Whitford : 68.
Wiener, Norbert : 62, 161, 213, 235, 321.
Wiesner, Jerome : 350.
Winter, Ernst F. : 351.
World Future Society : 352.
World Resources Inventory : 352.
Wright brothers : 117.

Xeros Corporation (US) : 46, 66, 77, 86. 87, 99, 147, 226, 293, 296, 299, 302,

Young : 78.

Zebrosky, E.L. : 139, 179, 261, 269.
Zinn, Walter : 63.
Zwicky, Fritz : 126, 139, 196, 256, 270.
Zworykin : 340.

EXTRAIT DU CATALOGUE

LES MINISTRES ET LA SCIENCE
Textes réunis, avec une introduction et des notes, par Emmanuel G. Mesthene, Secrétaire de la Conférence Ministérielle sur la Science (mai 1965)
196 pages — F 10 — FS 10 — DM 8,30 — 15s. — $ 2,50

DEUXIÈME CONFÉRENCE MINISTÉRIELLE SUR LA SCIENCE
La recherche fondamentale et la politique des gouvernements (janvier 1966)
84 pages — F 6 — FS 6 — DM 5 — 9s. — $ 1,50

Les sciences sociales et la politique des gouvernements (janvier 1966)
118 pages — F 6 — FS 6 — DM 5 — 9s. — $ 1,50

Les gouvernements et l'innovation technique (janvier 1966)
68 pages — F 4 — FS 4 — DM 3,30 — 6s. — $ 1

Les gouvernements et l'allocation des ressources à la science (janvier 1966)
72 pages — F 4 — FS 4 — DM 3,30 — 6s. — $ 1

Dans la série « Politiques nationales de la Science » :
SUÈDE (Politique scientifique en) (janvier 1964)
68 pages — F 4 — FS 4 — DM 3,30 — 6s. — $ 1

GRÈCE (septembre 1965)
84 pages — F 6 — FS 6 — DM 5 — 9s. — $ 1,50

BELGIQUE (février 1966)
132 pages — F 8 — FS 8 — DM 6,60 — 13s. 6d. — $ 2

FRANCE (juillet 1966)
144 pages — F 8 — FS 8 — DM 6,60 — 12s. 6d. — $ 2

ROYAUME-UNI - ALLEMAGNE (juin 1967)
268 pages — F 22 — FS 22 — DM 18,30 — 32s. — $ 5,50

JAPON (octobre 1967)
250 pages — F 20 — FS 20 — DM 16,60 — 30s. — $ 5

ÉTATS-UNIS (mars 1968)
580 pages — F 46 — FS 45 — DM 38,20 — £ 3 18s. — $ 11,50

SCIENCE ET PARLEMENT (avril 1965)
Rapport final de la Deuxième Conférence Parlementaire et Scientifique organisée conjointement par le Conseil de l'Europe et l'OCDE à Vienne du 23 au 27 mai 1964, par Pierre Piganiol
200 pages — F 8 — FS 8 — DM 6,60 — 12s. 6d. — $ 2

ORGANISATIONS SCIENTIFIQUES INTERNATIONALES (mars 1965)
294 pages — F 25 — FS 25 — DM 21 — 37s. 6d. — $ 6

Supplément (janvier 1966)
88 pages — F 5 — FS 5 — DM 4,20 — 7s. 6d. — $ 1,25

OECD SALES AGENTS
DÉPOSITAIRES DES PUBLICATIONS DE L'OCDE

ARGENTINE - ARGENTINE
Editorial Sudamericana S.A.,
Alsina 500, BUENOS AIRES

AUSTRALIA - AUSTRALIE
B.C.N. Agencies Pty, Ltd.,
191 Collins Street, MELBOURNE, 3000.

AUSTRIA - AUTRICHE
Gerold & Co., Graben 31, WIEN 1
Sub-Agent : GRAZ : Buchhandlung Jos. A. Kienreich, Sackstrasse 6.

BELGIUM - BELGIQUE
Standaard Wetenschappelijke Uitgeverij
Belgiëlei 147, ANVERS.
Librairie des Sciences
76-78, Coudenberg, BRUXELLES 1.

CANADA
Queen's Printer - L'imprimeur de la Reine,
OTTAWA.

DENMARK - DANEMARK
Munksgaard Boghandel, Ltd., Nörregade 6,
KÖBENHAVN K.

FINLAND - FINLANDE
Akateeminen Kirjakauppa, Keskuskatu 2,
HELSINKI.

FORMOSA - FORMOSE
Books and Scientific Supplies Services, Ltd.
P.O.B. 83, TAPEI.
TAIWAN.

FRANCE
Bureau des Publications de l'OCDE
2, rue André-Pascal, 75 PARIS-16e
Principaux sous-dépositaires :
PARIS : Presses Universitaires de France,
49, bd Saint-Michel, 5e
Sciences Politiques (Lib.), 30, rue Saint-Guillaume, 7e
La Documentation Française, 31, quai Voltaire, 7e
13 AIX-EN-PROVENCE : Librairie de l'Université.
33 BORDEAUX : Mollat.
38 GRENOBLE : Arthaud.
59 LILLE : Le Furet du Nord.
67 STRASBOURG : Berger-Levrault.

GERMANY - ALLEMAGNE
Deutscher Bundes-Verlag G.m.b.H.
Postfach 9380, 53 BONN.
Sub-Agents : BERLIN 62 : Elwert & Meurer.
MUNCHEN : Hueber, HAMBURG : Reuter-Klöckner; und in den massgebenden Buchhandlungen Deutschlands.

GREECE - GRÈCE
Librairie Kauffmann, 28, rue du Stade, ATHÈNES-132.
Librairie Internationale Jean Mihalopoulos
33, rue Sainte-Sophie, THESSALONIKI

ICELAND - ISLANDE
Snæbjörn Jónsson & Co., h.f., Hafnarstræti 9,
P.O. Box 1131, REYKJAVIK.

INDIA - INDE
International Book House Ltd.,
9 Ash Lane, Mahatma Gandhi Road, BOMBAY 1.
Oxford Book and Stationery Co. :
NEW DELHI, Scindia House.
CALCUTTA, 17 Park Street.

IRELAND - IRLANDE
Eason & Son, 40-41 Lower O'Connell Street,
DUBLIN.

ISRAEL
Emanuel Brown,
35 Allenby Road, and 48 Nahlath Benjamin St.,
TEL-AVIV.

ITALY - ITALIE
Libreria Commissionaria Sansoni
Via Lamarmora 45, FIRENZE.
Via Paolo Mercuri 19/B, ROMA.
Sous-Dépositaires : GENOVA : Libreria Di Stefano. MILANO : Libreria Hœpli. NAPOLI : Libreria L. Cappelli. PADOVA : Libreria Zannoni. PALERMO : Libreria Dante. ROMA : Libreria Rizzoli, Libreria Tombolini. TORINO : Libreria Lattes.

JAPAN - JAPON
Maruzen Company Ltd.,
6 Tori-Nichome Nihonbashi, TOKYO.

KENYA
New Era Associates
Ghale House, Government Road,
P.B. 6854.
NAIROBI.

LEBANON - LIBAN
Redico
Immeuble Edison, Rue Bliss, B.P. 5641.
BEYROUTH.

LUXEMBOURG
Librairie Paul Bruck
22, Grand'Rue,
LUXEMBOURG.

MALTA - MALTE
Labour Book Shop, Workers' Memorial Building,
Old Bakery Street, VALLETTA.

MOROCCO - MAROC
Éditions La Porte, *Aux Belles Images.*
281, avenue Mohammed V, RABAT.

THE NETHERLANDS - PAYS-BAS
W.P. Van Stockum & Zoon.
Buitenhof 36, DEN HAAG.
Sub-Agents : AMSTERDAM C : Scheltema & Holkema, N.V., Rokin 74-76. ROTTERDAM : De Wester Boekhandel, Nieuwe Binnenweg 331.

NEW ZEALAND - NOUVELLE-ZÉLANDE
Government Printing Office,
20 Molesworth Street (Private Bag), WELLINGTON and Government Bookshops at
AUCKLAND (P.O.B. 5344)
CHRISTCHURCH (P.O.B. 1721)
DUNEDIN (P.O.B. 1104)

NORWAY - NORVÈGE
A/S Bokhjörnet, Akersgt. 41, OSLO 1.

PAKISTAN
Mirza Book Agency, 65, The Mall, LAHORE 3.

PORTUGAL
Livraria Portugal, Rua do Carmo 70, LISBOA.

SOUTH AFRICA - AFRIQUE DU SUD
Van Schaik's Book Store Ltd.,
Church Street, PRETORIA.

SPAIN - ESPAGNE
Mundi Prensa, Castelló 37, MADRID 1.
Libreria Bastinos de José Bosch, Pelayo 52,
BARCELONA 1.

SWEDEN - SUÈDE
Fritzes, Kungl. Hovbokhandel,
Fredsgatan 2, STOCKHOLM 16.

SWITZERLAND - SUISSE
Librairie Payot, 6, rue Grenus, 1211 GENÈVE, 11 et à LAUSANNE, NEUCHATEL, VEVEY, MONTREUX, BERNE, BALE et ZURICH.

TURKEY - TURQUIE
Librairie Hachette, 469 Istiklal Caddesi, Beyoglu, ISTANBUL et 12 Ziya Gökalp Caddesi, ANKARA.

UNITED KINGDOM - ROYAUME-UNI
H.M. Stationery Office, P.O. Box 569, LONDON, S.E. 1.
Branches at : EDINBURGH, BIRMINGHAM, BRISTOL, MANCHESTER, CARDIFF, BELFAST.

UNITED STATES OF AMERICA
OECD Publications Center, Suite 1305,
1750 Pennsylvania Ave, N. W.
WASHINGTON, D.C. 20006. Tel : (202) 298-8755.

VENEZUELA
Libreria del Este, Avda F. Miranda, 52,
Edificio Galipan, CARACAS.

YUGOSLAVIA - YOUGOSLAVIE
Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, P.O.B. 36,
BEOGRAD.

Les commandes provenant de pays où l'OCDE n'a pas encore désigné de dépositaire peuvent être adressées à :
OCDE, Bureau des Publications, 2, rue André-Pascal, 75 Paris (16e).
Orders and inquiries from countries where sales agents have not yet been appointed may be sent to
OECD, Publications Office, 2, rue André-Pascal, 75 Paris (16e).

PUBLICATIONS DE L'OCDE
2, rue André-Pascal, Paris-XVI^e^
Dépôt légal n° 1.755. Juin 1968.
N° 21.930

●

IMPRIMÉ EN FRANCE

PRIX F 35 FS 35 DM 29 52 s. 6 d. $ 8,70