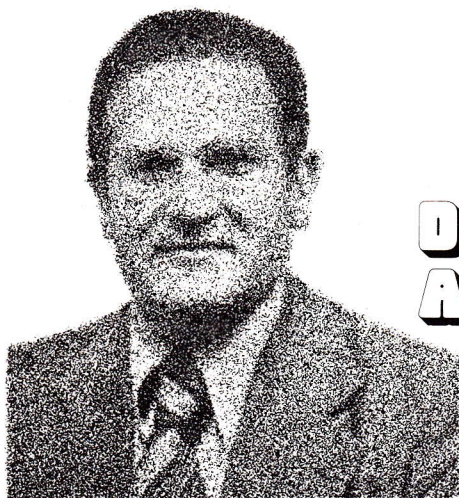




DE LA SCIENCE NATURELLE A L'INGENIERIE PLANETAIRE

A. Villevielle*

Pendant deux millénaires, la phénoménologie de l'atmosphère a été à la base des méthodes pratiques de prévision du climat. Mais d'autres approches sont aujourd'hui nécessaires pour entrer dans la prévision numérique. Quelle que soit l'ampleur des « modèles » construits, la qualité de la prévision restera malgré tout liée à celle de l'observation. Nombreux sont les instruments nouveaux offerts aux météorologistes : radar, laser, sondeur acoustique, aquasonde... Quant aux méthodes, elles intégreront demain des considérations liées au bilan énergétique et utiliseront peut-être la simulation en bassin hydraulique. A. Villevielle fait le point, pour « 2000 », de ce que l'on peut attendre de cette ingénierie à l'échelle de la planète.

Peu de temps avant notre ère, Lucrèce, poète latin, observait les orages et notait ce phénomène curieux : l'apparition de l'éclair donne, en général, le signal de déclenchement d'une averse violente. Il a fallu attendre la décennie 1960 pour que l'Américain Vonnegut vérifie la réalité physique de cette observation, à grand renfort de radars et de moyens aéroportés. Quant au mécanisme du phénomène, il reste, pour l'heure, inexpliqué.

On pourrait illustrer par cette anecdote le long chemin qui mène de la science naturelle — la « leçon de choses » de nos premières classes — à la science physique objective, c'est-à-dire au domaine du mesurable et du démontrable.

On peut y voir, en même temps, l'image de la complexité atmosphérique, où les facteurs les plus variés interviennent, dans des conditions souvent erratiques (l'orage), sous une forme essentiellement transitoire (l'éclair) et à une échelle de dimensions qui se situe, de toutes manières, très au-delà de l'échelle du laboratoire. Cette notion d'échelle est, à tous égards, fondamentale en météorologie.

Pour s'en faire une idée, reprenons le cas de l'orage. Les mécanismes élémentaires qui dirigent la formation du phénomène s'appellent évaporation et convection. Sous l'effet de l'insolation (on parle souvent, en été, des orages « de chaleur »), des bulles d'air chaud et humide s'élèvent du sol, comme de véritables montgolfières, invisibles (sauf un certain trouble qui est sensible à l'œil), et montent jusqu'au niveau où la vapeur d'eau contenue dans ces bulles vient à se condenser : ainsi se forme la particule d'air nuageux.

Par ce processus, on passe de la dimension de la bulle d'air (quelques dizaines ou centaines de mètres) à la dimension du nuage, où le kilomètre devient la nouvelle unité de compte.

Mais le nuage lui-même se construit en fonction des caractéristiques thermocinétiques générales de l'atmosphère, qui s'expriment à une échelle de dimensions supérieures, de la dizaine à la centaine, voire au millier de kilomètres. Par exemple, dans le cas de l'orage, interviennent à ces échelles tout à la fois l'instabilité et la convergence de basses couches qui conditionnent l'érection de la tour nuageuse, et la « ventilation » de l'atmosphère

supérieure qui favorise le tirage de cette sorte de cheminée atmosphérique.

Des modèles « Matriochka »

On voit de la sorte que l'événement atmosphérique représente, en réalité, la superposition de plusieurs étages d'événements fortement imbriqués entre eux. En termes scientifiques, on parlera de l'existence de plusieurs échelles de turbulence (échelle aérologique, échelle globale) et du couplage entre ces différentes échelles.

De façon peut-être plus évocatrice, nous avons proposé, à l'occasion d'un travail avec nos collègues soviétiques sur les problèmes de la convection, le nom de modèle « matriochka », du nom de ces poupées russes, qui s'emboîtent les unes dans les autres, la nème découvrant — ou « expliquant » — la (n + 1)ème.

Telle est bien l'image de l'atmosphère, avec ses échelles « emboîtées ». La plus grande de ces échelles — l'échelle de la « circulation générale » autour du globe —, est précisément l'échelle du climat.

La météorologie synoptique.

Les météorologistes parlent plus facilement d'échelle synoptique. L'explication de ce mot est intéressante parce qu'elle éclaire bien la genèse de la météorologie moderne.

Remontons à Torricelli pour l'invention du baromètre. C'est, comme Pascal le démontre très vite, un instrument de pesée de l'atmosphère. Au fil des années, on reconnaît (et les marins jouent un grand rôle dans cette découverte) que le baromètre donne une indication précieuse sur le temps.

Si l'atmosphère pèse lourd (hautes pressions), le temps stagne ; il peut souvent être beau. Si, inversement, l'atmosphère perd du poids, c'est l'annonce du vent, des pluies et des tempêtes. Mais tout ceci résulte d'observations isolées, ponctuelles.

(*) Chef de l'Établissement d'Études et de Recherches Météorologiques.

(*) Dès 1963, les météorologistes français ont pu montrer, grâce aux observations de satellites, que nombre de cyclones avaient, en réalité, une origine continentale, sur l'Afrique de l'Ouest.

(**) L'explication scientifique de cet état de choses tient à l'annulation d'un facteur dit « de CORIOLIS », associé au mouvement d'entraînement de la Terre en rotation.

La grande nouveauté qui s'introduit au milieu du siècle dernier, avec l'apparition de télécommunications performantes, c'est, en fait, la possibilité d'obtenir un ensemble d'observations coordonnées et synchrones, d'où le terme « synoptique » qui signifie littéralement « observer en même temps ».

Une catastrophe navale — le naufrage d'une partie de la flotte franco-anglaise au siège de Sébastopol, en Crimée — cristallisait, à ce moment, l'idée de la nécessité d'un réseau d'observation météorologique, pour suivre et prévoir l'évolution et le déplacement des grandes tempêtes. Dans les années 1870, naissait finalement une Organisation Internationale de la Météorologie, qui se donnait pour mission de coordonner les réseaux nationaux.

La circulation générale.

Appréhender les événements de l'échelle synoptique devenait dès lors l'objectif n° 1 des météorologistes.

On avait constaté, depuis longtemps, la prédominance d'une circulation générale de l'atmosphère d'Ouest en Est, accompagnant le mouvement de la Terre elle-même — et cette constatation allait dans le sens de la logique.

Mais, curieusement, la situation s'inverse aux latitudes basses, de l'Équateur aux Tropiques : la circulation générale se fait alors d'Est en Ouest, sous forme d'ondes, encore assez mal connues d'ailleurs. En témoigne aussi le mouvement des cyclones, qui migrent en été, depuis les Îles du Cap Vert (*) jusqu'à la mer des Antilles et aux côtes américaines.

En fait, la circulation tropicale n'a pas un caractère exactement « lié » (**); le champ de pression y est à peu près « plat », favorisant l'organisation de circulations autonomes, en cellules (cellules de Hadley), où les mouvements méridiens de hautes et basses couches se compensent. Ces cellules peuvent atteindre de grandes

dimensions et rendre compte d'échanges entre les deux hémisphères Nord et Sud. Le plus spectaculaire de ces échanges n'est autre que la mousson, dont on connaît les effets en Inde, mais qu'il faut situer aussi en Afrique, où elle conditionne la saison des pluies, avec parfois de graves irrégularités (cf. la sécheresse au Sahel, dont le paroxysme a duré plus de cinq ans).

La météorologie des régions tempérées obéit à des lois plus contraignantes.

On a parlé plus haut des « masses d'air ». Ce concept est important ; il traduit l'homogénéité et la constance des caractéristiques thermodynamiques d'une certaine portion de l'atmosphère en mouvement.

La médecine chinoise traditionnelle fait appel, comme on sait, à l'antagonisme du ying et du yang, le principe bénéfique

Projet Chimène : une veine liquide pour simuler la circulation atmosphérique (Centre de recherches de Magny-France).



et le principe maléfique, que la littérature concrétise dans les termes « vent d'Est, vent d'Ouest ».

C'est, d'autre manière, le chaud et le froid — le vent du Sud et le vent du Nord — qui caractérisent les « masses d'air ». Leur conflit est spectaculaire ; il engendre les « perturbations météorologiques », qui se manifestent de différentes manières : sur le baromètre, par une dépression ; dans le ciel, par des formations nuageuses très épaisses qui donnent la pluie.

Les perturbations ne sont pas, en règle générale, des individus isolés. Il existe, plus souvent, des chaînes de perturbations, qui correspondent à des ondes atmosphériques de grande extension, parfois établies en couronne circumterrestre. On parle alors des ondulations du front polaire, parce que l'activité de ces systèmes peut être reliée de façon directe au déplacement des grandes masses d'air froid. En

Le Bangla-Desh inondé en août 74 : des milliers de morts et de sans-abri ; un coût économique et social incalculable...

symétrie, on reconnaît que les précipitations les plus importantes sont associées aux masses d'air d'origine tropicale.

Dans tous les cas, le passage plus ou moins prolongé d'une masse d'air sur l'océan modifie évidemment, de façon considérable, sa structure et son comportement ultérieur.

Vers la prévision numérique du temps.

Cette phénoménologie de l'atmosphère a été longtemps la base des méthodes pratiques de prévision. On ne saurait manquer de citer ici deux Écoles, qui ont tenu une large place en météorologie jusqu'à une date relativement récente : l'École norvégienne, dite des « systèmes frontaux » (Bjerknes) et l'École française, dite « des masses d'air » (Bessemoulin, Pone).

Mais d'autres approches sont nécessaires pour entrer dans la prévision numérique. Comment prendre le problème ? Le mouvement le plus général de l'atmosphère peut être analysé comme

une aérodynamique particulière — une aérodynamique géante puisqu'elle se place à l'échelle du globe.

L'aérodynamique traditionnelle traite de l'écoulement de l'air autour d'un obstacle de forme quelconque ; la météorologie traite de l'écoulement de l'air autour de notre planète, c'est-à-dire autour d'un corps sensiblement sphérique, en rotation uniforme.

La complexité du traitement vient, naturellement, des contraintes particulières imposées par la géophysique : pesanteur qui « colle » l'atmosphère à la Terre, stratification verticale de l'atmosphère, rugosité inégale du sol et des océans, et surtout, inégalité de répartition du rayonnement solaire — le soleil jouant le rôle de source chaude dans la machine thermique atmosphérique.

Toutes les données du problème étant réunies, on dispose d'un système d'équations parfaitement classiques (ce qu'il est convenu d'appeler un « modèle »), que



l'on cherche à résoudre par des méthodes de « discrétisation », c'est-à-dire en procédant par « pas » d'espace et de temps.

L'atmosphère y est représentée dans un système à « points de grille », placé aux mailles d'un réseau géographique régulier, chaque maille ayant un côté de 250 km pour fixer les idées.

Ceci signifie que l'on néglige — provisoirement — les événements d'échelle inférieure, considérés à la manière d'un bruit de fond. Et c'est là, particulièrement, une des limites de l'efficacité de la méthode, et de l'échéance de la prévision, parce que ces événements négligés peuvent être instables et perturber, à terme, l'évolution générale : le « bruit », initialement léger, devient assourdissant.

Les techniques actuelles de prévision numérique donnent des résultats convenables pour les deux ou trois jours à venir. On peut espérer aller plus loin dans l'échéance prévisionnelle, par exemple :

quatre à cinq jours, peut-être la semaine, par des raffinements divers, qui portent notamment sur la réduction de l'erreur de « troncature » déjà citée et sur une meilleure évaluation de la physique des événements irréversibles : rayonnement, turbulence, changements d'état de l'eau.

Mais, de toute manière, la qualité de la prévision — ou pronostic — reste indissociablement liée à la qualité de l'observation — ou diagnostic.

8 000 stations dans le monde.

Sur ce point, la météorologie mondiale a déjà fait un très gros effort. Il y a près de 8 000 stations météorologiques de par le monde ; 500 d'entre elles pratiquent le sondage vertical, ou radiosondage, qui est indispensable pour connaître la stratification de l'atmosphère et le couplage entre les circulations à différents niveaux d'altitude.

Pourtant, ce réseau d'observation présente encore d'importantes lacunes, notamment sur les océans — soit les deux

tiers de la surface du globe. C'est alors qu'intervient le satellite, qui permet d'établir tout à la fois une densité spatio-temporelle et une homogénéité de l'information météorologique, inaccessibles au réseau traditionnel.

Cependant, le satellite ne saurait constituer une panacée : il a ses limites et ses insuffisances.

On n'échappe pas désormais à la complémentarité d'un système d'observation satellitaire et d'un système d'observation terrien. Celui-ci d'ailleurs, utilise de plus en plus des méthodes de sondage à distance — ou télésondage — mises à l'honneur par le satellite. Ainsi le radar, le laser (lidar) et le sondeur acoustique (sodar) offrent-ils de nouveaux champs d'intérêt pour les observateurs météorologistes.

Ces instruments, satellitaires ou terriens, demandent à leur tour l'aide d'autres instruments capables d'opérer *in situ*, au sein de l'atmosphère, pour calibrer leurs mesures. Ainsi de l'aquasonde, sonde de l'eau des nuages, actuellement développée en France.

Grâce à ces moyens d'observation augmentés, on ne peut douter que la prévision elle-même connaîtra des améliorations substantielles.

Tout au moins dans le domaine de ce que nous appellerons l'hérédité rapprochée, à l'échéance de quelques jours, selon les techniques de physique mathématique évoquées plus haut.

S'agissant de prévoir beaucoup plus loin, et d'évaluer en somme le « climat du futur », ce sont d'autres méthodes qui seront mises en œuvre, basées par exemple sur des considérations de bilan énergétique ou peut-être sur la simulation en bassin hydraulique.

Modifier le climat : vers une ingénierie planétaire

De toutes manières, la prévision est entrée dans l'ère numérique. Elle requiert, dès aujourd'hui, les plus gros moyens de calcul existants. Son coût est donc, nécessairement, élevé.

Il est tout à fait singulier d'entendre parler du climat d'une région comme s'il s'agissait d'une constante bien précise et définitivement établie, alors que la perception immédiate, et la simple mémoire, nous en montrent l'extrême variabilité.

Certes lorsque l'on présente des « moyennes climatiques », comme la température, par exemple, les tableaux ne mentent pas : les chiffres cités ont leur valeur statistique, et il est remarquable qu'ils ne varient que relativement peu selon l'échantillonnage pratiqué (les séries d'observation dans le temps sont inégalement longues, et d'une homogénéité parfois discutable).

Mais, en fait, ces moyennes traduisent une certaine loi de compensation entre des écarts positifs et négatifs, et elles déforment, en quelque manière, la réalité, en « gommant » les extrêmes.

Or, l'homme est particulièrement sensible à ces extrêmes. D'abord, comme on peut le voir, par leurs conséquences historiques, puis par leurs conséquences économiques et, enfin, ce ne sont pas les moindres, par leurs conséquences sociologiques. (Voir plus loin : Socio Economie du Climat).



La prévision exige des moyens importants, que l'on peut chiffrer à plusieurs centaines de millions de dollars par an pour l'ensemble des pays du globe. De telles sommes seraient d'ailleurs justifiées par la seule amélioration du rendement agricole, qui représente un produit financier de dix à vingt fois supérieur. Mais est-ce suffisant ?

L'ambition de l'homme ne saurait longtemps se contenter d'une attitude passive, devant un milieu pour le moins capricieux, et parfois excessif dans ses agressions. Modifier le temps, c'est sans doute l'objectif qui nous est fixé pour demain.

Comme on le dira ailleurs, dans ce numéro, il n'est guère imaginable d'agir sur l'atmosphère à la dimension des grands phénomènes météorologiques « synoptiques ».

Climatiser la planète, comme on climatise un quelconque immeuble-tour, nous apparaît impossible, parce que les énergies à mettre en jeu sont tout à fait hors de notre portée (on voudra bien se souvenir qu'un seul orage isolé représente, en termes de puissance, la charge de plusieurs bombes atomiques).

Mais on peut, par contre, jouer sur le caractère instable — ou métastable — de certaines manifestations de l'atmosphère, pour en changer l'évolution au moyen d'une énergie de déclenchement (« trigger ») relativement minime. Ainsi, le judoka profite-t-il de la vitesse propre et de la « quantité de mouvement » de son adversaire pour faire basculer celui-ci et en triompher.

On peut raisonnablement espérer se rendre maître, de la sorte, de certains phénomènes météorologiques, au moins aux petites échelles.

Ce sera le cas du brouillard, qui n'est, en somme, qu'un nuage aux caractéristiques particulières, plaqué au sol ; de la grêle, qui prend naissance dans les parties supérieures des nuages à grand développement vertical ; de la foudre, qui s'élabore à partir de ces mêmes nuages.

Dans les trois cas cités, il s'agit d'éliminer des nuisances, de caractère sporadique ou intermittent.

Il est malheureusement beaucoup plus difficile d'imaginer une action généralisée pour régulariser la production principale de l'atmosphère, à savoir l'eau de la pluie ou de la neige.

Plusieurs approches sont possibles. Toutes se ramènent au déclenchement du processus d'avalanche, par lequel les petites gouttelettes d'eau formées au stade de la nucléation initiale, se rassemblent, ou comme on dit : « coalescent », pour constituer les grosses gouttes de la précipitation.

Il existe des nuages, à structure verticale et pénétrant dans les zones glacées de l'atmosphère, qui présentent, à cet égard, une instabilité naturelle. Le problème est alors : quel détonateur adopter ? où placer le détonateur ?

Aucune solution vraiment satisfaisante n'a été trouvée jusqu'ici, tant du point de vue de la définition des produits d'« insémination » du nuage, qu'au point de vue des véhicules (fusées, moyens aéroportés) qui sont capables d'introduire ces produits dans la zone sensible.

Mais l'espoir existe et les actions de recherche se multiplient dans ce sens, au niveau national (Action concertée DGRST) comme au niveau international, dans le ca-

dre de l'Organisation Météorologique Mondiale.

L'« océan aérien » : un milieu fragile.

« Cette mer qui nous entoure ». On se souvient du livre qui a connu un succès mondial, dans lequel Rachel Carson nous donne à réfléchir sur l'importance de cet environnement maritime, et sur sa précarité.

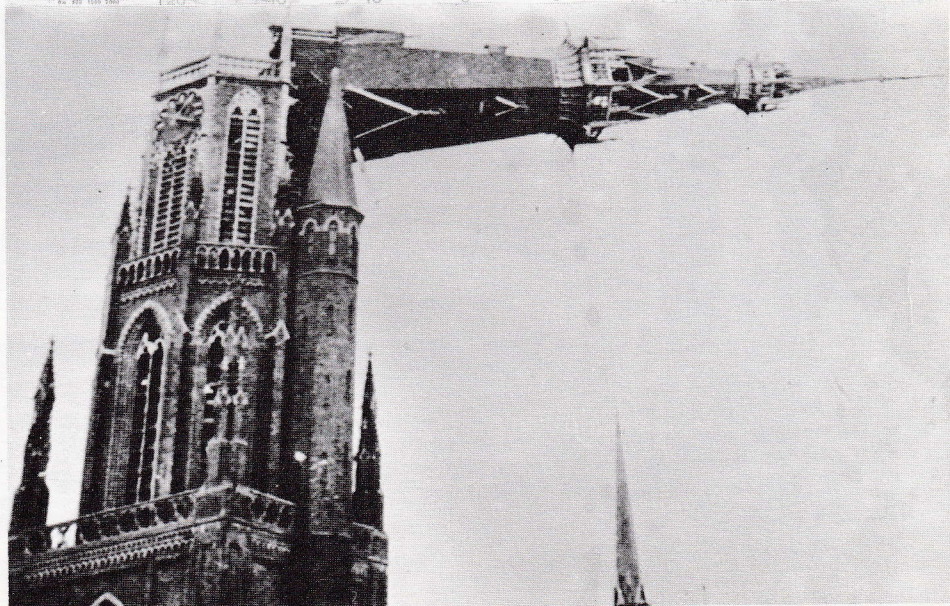
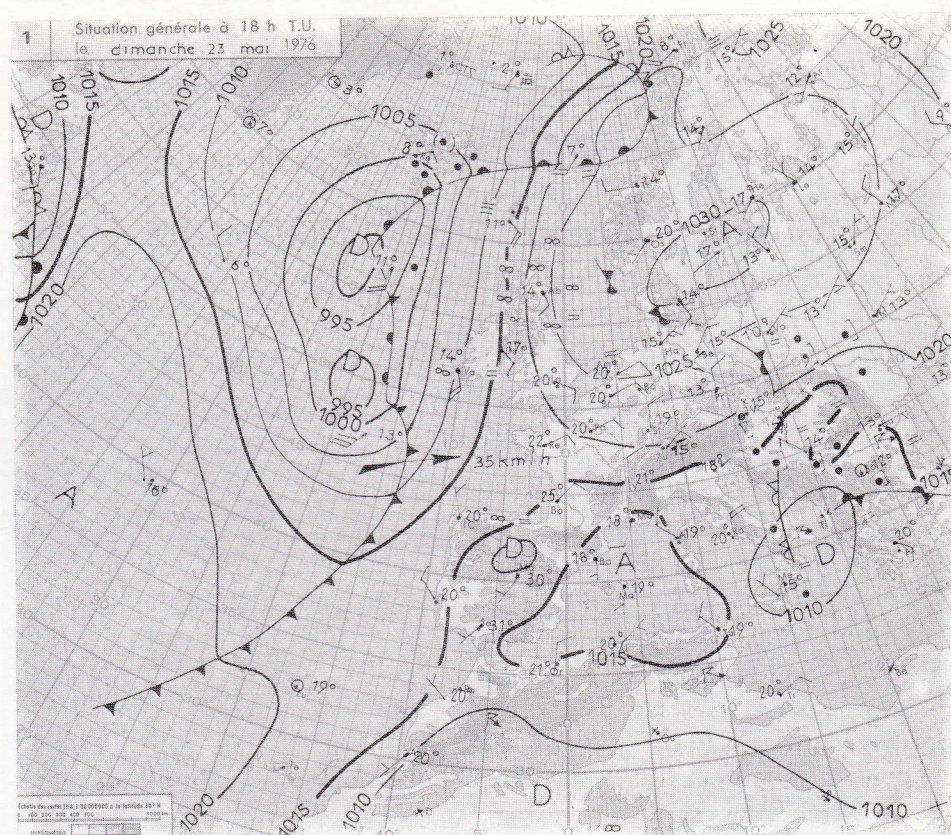
Sommes-nous aujourd'hui convenablement sensibilisés sur ce fait que notre premier environnement géophysique est l'environnement aérien, autrement dit : l'atmosphère ?

C'est, d'abord, on doit le rappeler, un des réceptacles essentiels de la vie. Et il est bien clair que la qualité de l'atmosphère et du climat conditionne largement la qualité de la vie physiologique. Comme son homologue marin, l'océan aérien est un milieu en état de variabilité incessante. Il peut être agressif, mais il est aussi agressé par la pollution et d'autres nuisances anthropogéniques.

Il a fallu, d'ailleurs, cette agression extérieure pour que l'homme prenne véritablement conscience de ce que l'atmosphère représente une partie, parmi les plus précieuses et les plus fragiles peut-être, de son patrimoine naturel. On doit donc se préoccuper de sa meilleure gestion, dans le double souci de la protéger et de rentabiliser l'utilisation de ses ressources (et d'abord : l'eau).

Les études sur le climat sont destinées, dans ces conditions, à un rapide développement au cours des prochaines années. On cherchera à en mieux connaître les causes et, sinon à les maîtriser, du moins à en régulariser les effets. C'est une œuvre d'imagination scientifique, c'est aussi un pari technique difficile, en raison de la complexité des mécanismes et de l'énormité des puissances mises en jeu.

Une carte météo classique : situation générale de l'Europe et évolution probable (23 au 26 Mai 1976).





Socio-économie du climat

L'histoire événementielle nous livre un certain nombre de dates-clés, où, à la faveur d'une bataille ou d'une révolution, le destin des nations a basculé brutalement. Il est à première vue surprenant que le sort de ces nations ait pu parfois être lié à des facteurs météorologiques. Et c'est cependant une réalité qu'illustre, par exemple, le sort de l'Invincible Armada, dont les plans furent déjoués par la tempête, au moment où s'engageait la conquête de l'Angleterre.

L'imagerie populaire a retenu les malheurs de la Grande Armée napoléonienne, vaincue par les rigueurs d'un hiver russe précoce, beaucoup plus que par les charges de la cavalerie cosaque. Dans les deux cas on incriminera l'imprévision météorologique, qui laisse à l'apparition du phénomène naturel le caractère de « coup du sort ».

À l'opposé, on rappellera les conditions du débarquement des troupes alliées sur le continent, durant la deuxième guerre mondiale. La possibilité de ce débarquement était liée à l'occurrence de conditions météorologiques, sinon bonnes, du moins passables, pendant un temps suffisamment long pour permettre le déchargement de masses considérables de matériel.

La prévision météorologique a été, dans ce cas, un succès. Elle a joué, d'ailleurs, un rôle important tout au long de la guerre. Et il est significatif, à cet égard, que l'Allemagne, privée de renseignements météorologiques sur l'Atlantique, ait demandé à ses sous-marins de réaliser, et de transmettre, dans des conditions parfois

risquées, des renseignements sur le temps. Ainsi, lors de l'opération de transfert des deux croiseurs Prinz Eugen et Scharnhorst, de Brest en Allemagne, par la Manche, sous le couvert d'une masse nuageuse particulièrement dense, l'obtention de l'information météorologique par ces sous-marins avait priorité sur l'attaque des convois maritimes.

D'autres événements qui ont marqué l'Histoire de façon importante mais certainement moins dramatique, apparaissent en relation avec des facteurs météorologiques. Ainsi, la première traversée de l'Atlantique en avion, par Lindbergh, a pu se faire d'Ouest en Est, par l'effet des vents favorables. Le trajet symétrique, où Costes et Bellonte affrontaient des vents contraires, a demandé un autre effort quelques années plus tard.

La pluie et le beau temps de la vie économique

L'atmosphère et ses manifestations climatiques, peuvent être bénéfiques ou nuisibles à beaucoup d'activités humaines.

Laissons pour l'anecdote les aléas de l'industrie des parapluies et parasols, ou même l'industrie des paratonnerres, qui oscillent notablement selon les caractéristiques du « temps de saison ». Une industrie artisanale comme celle de l'espadrille, et pour une part, l'industrie du vêtement, peuvent fluctuer de manière considérable en liaison directe avec le temps.

De façon générale, les loisirs et le tourisme, avec ce que l'on appelait autrefois

Des dangers météorologiques variables : de la trombe terrestre anodine au cyclone meurtrier (Telegma, Algérie).

Quand l'orage brise même les clochers d'église.. (Leeuwarden, Hollande).

les « activités de plein air », subissent à plein l'impact des variations de climat. La date de la première neige dimensionne la durée de la saison de nos stations de sports d'hiver, de la même manière que la précocité et l'intensité de la chaleur estivale déterminent le caractère bon ou mauvais de la saison hôtelière sur nos plages normandes, bretonnes, vendéennes ou basques.

Les transports sont, par essence, très sensibles aux effets du climat. On citera en premier lieu, le cas de l'aviation. La dépendance de l'aviation vis-à-vis des aléas atmosphériques a été, en pratique, l'un des éléments qui ont entraîné le développement accéléré de la météorologie depuis la première Guerre mondiale.

Il est significatif, à cet égard, que la Météorologie nationale ait été, jusqu'à une date récente, l'une des Directions du Secrétariat Général à l'Aviation Civile. Une réorganisation est intervenue depuis, mais les liens administratifs et techniques qui rattachent la Météorologie à l'Aviation, demeurent nombreux et forts. L'événement météorologique reste, en effet, présent dans la vie aéronautique. Il suffirait de citer comme exemple, le brouillard, dont l'apparition peut entraîner le déroutement des vols transcontinentaux, y compris, on l'a vu, les vols de Concorde.

La turbulence, le foudroiement constituent toujours des nuisances ou des dangers pour l'avion. Et même la vitesse du vent ne saurait être négligée, puisqu'il existe au voisinage de la stratosphère des courants violents, ou « aérojets », dont la vitesse peut atteindre 300 km/h.

A côté des transports aériens, le transport maritime peut apparaître moins dépendant des conditions météorologiques. Il serait plus juste de dire que cette dépendance, qui s'est manifestée plus tôt dans l'Histoire, a été progressivement maîtrisée par la technique. Mais le routage optimal des navires en fonction du temps sur le parcours, se présente comme un problème important pour aujourd'hui, à l'heure où la perte ou l'économie d'une journée de mer peut se traduire par une modification sensible du bilan financier des transports lourds, tels que les supertankers.

L'industrie générale peut avoir des interfaces multiples avec l'atmosphère. C'est une grande évidence dans le cas d'une industrie extractive, comme l'industrie salinière, qui est soumise aux variations de l'évaporation, donc du vent et de la nébulosité.

Le stock d'énergie hydro-électrique est fonction du remplissage des barrages-réservoirs, et, par conséquent, du régime des pluies. Symétriquement, la consommation d'énergie électrique peut dépendre des conditions météorologiques : par exemple un nuage obscurcissant la région parisienne, fait s'allumer massivement les lampes d'éclairage, et entraîne une surcharge brutale du réseau, à une heure inhabituelle (typiquement : l'après-midi).

Enfin, naturellement, l'agriculture est le secteur de l'économie qui ressent le plus fortement la variabilité du temps et du climat. Les effets peuvent en être limités, localisés dans le temps et l'espace, ou, au contraire, d'ampleur mondiale.

Ainsi, une gelée printanière, ou simplement une période météorologiquement instable, peuvent influencer sur la production,

et donc le cours, des fruits et légumes. Les variations correspondantes sont, en bien des cas, amplifiées par les circuits de distribution.

Il n'est pas indifférent de constater que la qualité — et le prix — du vin, correspondent chaque année à une sorte d'intégrale des conditions climatiques qui ont régné durant l'été.

« Gelée noire » et prix du café

Les mêmes fluctuations apparaissent, à une autre échelle, sur la production agricole et les cours mondiaux. Ainsi, la hausse actuelle et très spectaculaire, des cours du café, qui tend, de ce fait, à devenir une denrée « de luxe », apparaît due pour une bonne part, à une gelée survenue au cours de l'été 1975 (c'est-à-dire l'hiver austral), au Brésil, dans la zone de production caféière de São Paulo. Ce phénomène, parfaitement exceptionnel, que l'on a baptisé la « gelée noire », a désorganisé durablement l'équilibre de l'offre et de la demande sur le produit.

Dans le même ordre d'idée, le blocage prolongé de la circulation atmosphérique au-dessus des territoires les plus productifs de l'URSS, en 1972, a entraîné un déficit de la récolte céréalière, dont les conséquences économiques ont été notables.

Cette même importance est apparue lorsque la France elle-même, et le Nord de l'Europe, ont été à leur tour, victimes d'un autre blocage atmosphérique, avec la sécheresse comme conséquence. Les impacts variés de cet événement climatique (été 1976) sont dans tous les esprits.

On ne saurait être complet dans ce domaine sans citer les sécheresses dramatiques qui affectent épisodiquement l'Inde (lorsque la mousson s'établit à retardement) et plus encore, le Sahel.

Là, l'incidence de l'anomalie climatique n'est pas seulement économique ; l'effet induit est beaucoup plus grave, parce qu'il peut signifier la misère, la sous-alimentation et parfois la mort.

Nous mesurons alors, comme dans le cas des cyclones, le caractère meurtrier de certaines manifestations extrêmes de l'atmosphère et du climat, et, en même temps, la nécessité, de plus en plus grande, d'une gestion globale qui prenne en compte la variabilité atmosphérique, pour moduler les marchés, au niveau de la production et de la distribution.

Une influence socio-politique

Si l'impact économique du climat est connu de longue tradition, la constatation des effets proprement sociologiques est plus récente.

Bien entendu, le premier aspect à citer est le danger météorologique. Si le foudroiement, les inondations, les tempêtes, causent encore dans notre pays, quelques dizaines de morts chaque année, ces chiffres sont sans commune mesure avec ceux que l'on mentionne à propos des cyclones (Caraïbes, Océan Indien, Bengla-Desh, Japon), où le millier de victimes est encore une unité de compte, malgré les moyens d'alerte perfectionnés (repérage par satellite) aujourd'hui mis en place.

La santé est une autre interface entre l'individu et le climat (une science nouvelle : la bioclimatologie, traite de ces problèmes). Nous vivons immergés dans

l'atmosphère qui nous fournit l'oxygène vital ; la modification de la composition de l'air comporte donc un risque épidémiologique, au sens large du terme, avec atteinte possible des voies respiratoires, du système cardio-vasculaire, des tissus cutanés, etc.

Il y a, certes, l'espoir des zones-refuges, de climats — ou plus exactement : de micro-climats — protégés.

Nous ne pouvons plus croire, malheureusement, à l'oasis de Shangri-La, paradis de l'éternelle jeunesse. Les centaines de Hunza, dans l'Himalaya, du Caucase, ou des Andes colombiennes, doivent sans doute leur longévité autant à leur mode de vie et à une certaine diététique, qu'aux bienfaits d'une particulière qualité de l'air. Mais la notion de cure climatique garde sa valeur, par l'effet conjugué de la pureté de l'air et de l'ensoleillement, ou, plus subtilement, des alternances de « types de temps ».

Le climat peut avoir, bien entendu, une influence sociologique plus large.

C'est récemment que l'on a mis en évidence (Missenard) l'effet du climat sur la natalité. Une conséquence singulière voudrait qu'à un été particulièrement chaud et sec, corresponde, par la suite, une natalité en diminution sensible...

Les conséquences des variations climatiques peuvent ainsi atteindre le plan socio-politique. On sait que l'hiver 1789, qui précéda notre Révolution, fut particulièrement rude, et marqué par des difficultés d'approvisionnement qui affectèrent, notamment, la région parisienne. On peut penser que ces événements ont eu pour effet de sensibiliser l'opinion et de cristalliser les inquiétudes sociales.

Dans le monde d'aujourd'hui d'autres phénomènes sociaux significatifs apparaissent liés au climat. Ainsi, de la migration de populations, dans les pays fortement industrialisés, en direction des territoires aux climats plus doux. Aux USA, d'un recensement à l'autre, des taux d'augmentation allant jusqu'à 12 % ont été constatés pour des États du Sud et de l'Ouest. Ces taux anormalement élevés traduisent un transfert des anciennes concentrations industrielles du Nord et de l'Est vers « les pays du soleil », plus favorables du point de vue de la civilisation des loisirs.

Pour rester sur l'exemple américain, on notera aussi l'influence présumée du temps sur les dernières élections présidentielles. Beau temps et mauvais temps sont réputés avoir ici et là un effet mobilisateur ou démobilisateur sur telle ou telle partie de l'électorat...

Il est permis de conclure, en définitive, que le temps et le climat interviennent de façon multiple dans la vie sociale, et peuvent donner, éventuellement, le « coup de pouce » qui fait pencher la balance d'une évolution socio-politique donnée.

Ce sont autant de raisons qui incitent à considérer plus attentivement ce facteur et à chercher à le contrôler.

A. V.



Les climats du passé

Marc Boulanger (*)

Pour comprendre le climat du présent et ses excès (comme la récente sécheresse qui a affecté l'Europe durant l'année 1976), et pour éclairer celui de l'avenir, il faut savoir étudier les oscillations climatiques du passé lointain. C'est l'objectif d'une discipline scientifique qui a pris pour nom la paléoclimatologie et qui couvre les 1 800 000 dernières années de la Terre. Voici un cas de plus où l'histoire longue et la prospective se donnent la main.

Les travaux dans ce domaine ont porté essentiellement sur l'ère quaternaire, parce que la recherche y est plus aisée (meilleure conservation des indicateurs paléoclimatiques, effet négligeable de la dérive des continents et des grands mouvements tectoniques, datation plus exacte, etc.). Les variations climatiques se rapportent principalement aux paléotempératures, qui sont les paramètres les plus aisés à mesurer.

Les outils de la recherche.

La science paléoclimatologie repose sur trois grands moyens d'investigation, que nous examinons ci-après.

Analyse isotopique : les isotopes d'un élément ont tous les mêmes propriétés chimiques mais diffèrent par leur masse atomique. On les appelle isotopes car ils occupent la même place dans la table périodique des éléments. En 1947, Urey a eu, le premier, l'idée d'utiliser comme thermomètre la variation en fonction de la température des rapports isotopiques de l'oxygène contenu dans les carbonates. On a, en effet, mis en évidence que le rapport O^{18}/O^{16} de s foraminifères était une fonction de la température de l'eau de mer au moment où vivaient ces animaux pélagiques (1).

On a également cherché à étendre la mesure de ce paramètre physique température aux précipitations fossiles stockées sous forme de glaces (figure 1). En effet, il a été montré que les rapports isotopiques des précipitations reflétaient les températures moyennes annuelles des lieux de prélèvement.

La mesure du rapport isotopique

O^{18}/O^{16} des carbonates a également été appliquée plus récemment aux concrétions des cavernes. Elle permet l'évaluation des variations de température qui se sont produites au-dessus de la grotte.

Paléontologie : l'étude des variations du climat à partir des vestiges d'animaux ou de végétaux relève du principe de l'actualisme, c'est-à-dire que l'on postule que les mêmes organismes vivaient autrefois dans les mêmes conditions d'ambiance qu'aujourd'hui. Cette idée peut être critiquée dans certains cas particuliers où l'on a noté une grande facilité d'adaptation des organismes, mais elle est généralement applicable avec un bon degré de certitude. Lorsqu'on se trouve en présence d'une association d'animaux ou de végétaux et que l'on connaît les conditions d'existence de chacun d'eux, il est possible de déterminer certains paramètres physiques compatibles avec la vie de tous ces êtres. Cette méthode, qui paraît a priori moins rigoureuse qu'une mesure physique comme l'analyse isotopique, donne en fait des résultats surprenants de précision. Ce mode d'investigation a été appliqué principalement aux organismes pélagiques dans les océans (particulièrement aux foraminifères) et aux pollens sur les continents. On a également

(1) En fait, il semblerait, d'après de récentes études, que ces rapports isotopiques soient le reflet de la composition isotopique de l'eau plutôt que sa température. D'une façon indirecte, ces deux paramètres sont semblables puisque la composition isotopique de l'océan dépend de la plus ou moins grande extension de la calotte glaciaire, donc de la température. Les études et les analyses antérieures gardent donc une certaine valeur. Cependant, dans les régions équatoriales, les variations de température pourraient être beaucoup plus faibles qu'on ne l'avait annoncé, compte tenu du fait que le rapport O^{18}/O^{16} serait un indicateur du climat global et non local.

(*) Établissement d'Études et de Recherches Météorologiques - Paris.



reconstitué, quand c'était possible, les limites de forêts et les répartitions de chaque espèce végétale, ce qui a permis de déterminer certaines caractéristiques des climats anciens. Cependant, il faut tenir compte des spécificités de chaque espèce — température, humidité, insolation, qualité des sols, etc. Les arbres peuvent apporter également des renseignements précieux si l'on étudie leur structure interne : l'analyse des cernes permet ainsi, sur des périodes historiques, de reconstituer des fluctuations climatiques avec une très bonne précision quant à la date. Malheureusement ces reconstitutions ne peuvent être faites que pour des périodes végétatives (printemps, été).

Analyse géologique.

Les varves lacustres ont été également abondamment étudiées. Ce sont des alternances de dépôts détritiques d'hiver et de dépôts d'été plus riches en matière organique. L'analyse des végétaux fossiles permet de reconstituer les paramètres thermiques et la pluviosité de la saison. On peut aussi d'après l'épaisseur et la nature des différentes sédimentations apprécier le passé climatique. L'étude de la variation du niveau des lacs offre également la possibilité de reconstituer les variations de la pluviosité.

D'autres méthodes relevant de la géologie ont été utilisées mais plus rarement. On (1) a notamment analysé la granulométrie de particules quartzeuses dans des carottes de forage : les alizées avaient probablement été plus intenses pendant les périodes glaciaires. On (2) a aussi utilisé les argiles marines comme indicateur paléoclimatique. Ces argiles d'origine continentale sont un reflet du climat qui régnait à l'époque sur les lieux où ils ont été façonnés. Les variations climatiques sont reconstituées dans ce cas par l'examen des changements dans l'assemblage argileux des sédiments, changements caractérisés par une plus ou moins grande abondance de tel ou tel minéral.

Les paléoclimats : quatre ou dix glaciations ?

Nous ne présenterons pas ici une énumération complète des résultats souvent ponctuels obtenus dans l'étude des paléoclimats. Nous tenterons plutôt d'en établir une synthèse et de retracer à gros traits les caractéristiques des périodes glaciaires et interglaciaires.

Aussi loin que le permet l'état de conservation des structures géologiques, on a pu mettre en évidence des périodes glaciai-

res. Mais, pour des raisons que nous avons citées au début de l'article, les études paléoclimatiques ont essentiellement porté sur le Quaternaire (période couvrant les 1 800 000 dernières années). Le milieu océanique qui subit une sédimentation continue s'est révélé plus propice à l'élaboration d'une échelle climatique que le milieu continental. C'est ainsi que, lors des 800 000 dernières années, les chercheurs n'ont pu découvrir sur les continents que quatre glaciations, alors qu'à l'aide des carottages effectués dans les accumulations sédimentaires océaniques, il a été possible de montrer que dix glaciations avaient couvert cette période. Les caractéristiques de ces oscillations du climat commencent à être connues précisément. Il apparaît en effet, au travers de multiples mesures, que les glaciations se sont produites simultanément dans les deux hémisphères. On a établi d'autre part qu'à une fluctuation climatique était liée une variation du niveau de la mer de 100 m environ. En ce qui concerne la modification de température à la surface du globe entre une période chaude et froide, il apparaît, à la lumière de résultats récents qu'elle dépend du lieu géographique : elle est d'une part fonction de la latitude et d'autre part elle est différente selon qu'on la mesure en milieu primitivement marin ou continental.

Ainsi, on a montré que la différence de température à la surface de la mer entre la période froide située 16 000 ans avant Jésus-Christ et la période actuelle pouvait atteindre 10 °C dans les moyennes latitudes, alors que dans les régions équatoriales, elle était de l'ordre de — 2 °C. De plus le pouvoir d'inertie calorifique de l'océan contribue à amoindrir l'amplitude de température à la surface des mers par rapport aux continents.

Ces variations du climat ne sont pas progressives comme on pourrait l'imaginer. Les chercheurs ont été frappés au contraire par la soudaineté (au sens géologique du terme) des invasions brutales du froid. On peut interpréter cette observation de deux manières : ou bien un événement subit a provoqué cette variation brusque du climat, ou bien l'atmosphère, grâce à un ou plusieurs phénomènes évoluant lentement, a changé d'état d'équilibre.

Il semble de plus que, de manière générale, à ces époques, la pluviosité était moindre, mais que les vents étaient plus forts. Ces phénomènes étaient liés à une extension de la banquise et des eaux subpolaires.

Une synthèse des résultats quantitatifs de la paléoclimatologie est difficile à conduire à partir de la grande quantité de résultats souvent ponctuels et parfois contradictoires des mesures. Les spécialistes l'ont compris et ont entrepris le vaste pro-

jet CLIMAP dont le but est de reconstituer l'océanographie de surface de la totalité du globe pour des périodes particulières des 700 000 dernières années.

Variations climatiques : à cause du soleil ?

On a vu fleurir depuis plus d'un siècle une multitude d'explications, plus ou moins plausibles, des oscillations climatiques.

Il convient donc de ne présenter les hypothèses les plus raisonnables qu'avec circonspection. On peut les regrouper en plusieurs grandes classes : la variation de l'activité solaire, les variations de l'orbite terrestre, les variations du champ magnétique, l'activité volcanique, l'autovariation de l'atmosphère terrestre. La plus grande partie des hypothèses ne sont pas des théories à proprement parler, car elles se réduisent souvent à de simples corrélations plus ou moins fortes entre deux ordres de phénomènes.

La première idée qui vient à l'esprit pour expliquer les variations du climat est d'imaginer des modifications ou des oscillations du moteur de la circulation atmosphérique : le soleil. On a donc tenté de savoir si le soleil pouvait subir des modifications même minimes dans son activité. Depuis quelques années des mesures de la « constante solaire » ont été effectuées à l'aide de ballons plafonnant à une trentaine de kilomètres. Des fluctuations de l'ordre de 1 à 2 % ont été enregistrées, en relation avec le nombre de taches solaires. Malheureusement, l'altitude des ballons est encore trop faible pour que la mesure ne soit pas polluée par des phénomènes terrestres et aucune conclusion n'a pu être tirée de ces observations. Des mesures par satellites semblent théoriquement plus prometteuses et permettront peut-être d'établir l'influence réelle de ces phénomènes de taches solaires. Ces dernières qui sont à la source de bien des spéculations, apparaissent à la surface du soleil avec une périodicité moyenne de 11 ans. Des études multiples de corrélation ont été tentées entre le nombre de ces taches et la température ou la pluviosité en divers points du globe terrestre (3). Ces travaux, quoique intéressants, doivent être prudemment interprétés. De toutes façons les phénomènes énumérés plus haut ne sauraient expliquer les grandes glaciations quaternaires et il semble bien difficile actuellement de savoir si le soleil a pu subir des modifications sensibles au cours de ces périodes passées.

(1) Parkin.

(2) Chamley.

(3) King, notamment, a mis en évidence des corrélations étroites entre la pluviosité de plusieurs stations et ce cycle. Il semble cependant que ces comparaisons ne soient valables que dans certains cas et pour des périodes couvrant au mieux quelques cycles.

Une autre idée, déjà ancienne, attire plus les paléoclimatologistes. Elle est connue sous le nom de « théorie de Milankovitch », et se propose d'expliquer les oscillations climatiques par des variations petites des caractéristiques de l'orbite terrestre. Nous ne détaillerons pas ici cette théorie mais nous rappellerons simplement que les paramètres définissant le mouvement spatial de notre planète comme la précession, l'excentricité et l'inclinaison oscillent chacune avec des périodes différentes (21 000 ans pour la précession, de l'ordre de 95 000 ans pour l'excentricité de l'orbite, 40 000 ans pour l'inclinaison). La modification de chacun de ces paramètres entraîne des variations du flux

solaire pour un point donné du globe. La lieraient ces deux phénomènes, on peut néanmoins s'interroger sur certains faits troublants. En effet, si l'on examine les courbes établies, on peut se rendre compte que les variations de l'intensité magnétique accompagnent les variations de température quelle que soit l'échelle de temps considérée. On voit, d'autre part, que plus l'intensité magnétique est forte plus la température est basse ; et, par ailleurs, les variations du champ magnétique précèdent celles de la température moyenne (2). Ces conclusions passionnantes méritent qu'on s'y attarde et des études plus poussées devraient être entreprises dans le cadre de la prévision à longue échéance.

La dernière éruption volcanique importante, celle de l'Agung en 1963, a quelques évolutifs ont été élaborés, seuls capables de simuler ces interactions complexes. On se heurte malheureusement à de nombreuses difficultés, notamment au temps de calcul extrêmement long qu'il faudrait pour simuler les oscillations climatiques à long terme. On se limite donc à des expériences plus simples, en modifiant par exemple des conditions limites comme l'albedo de la surface terrestre, la composition chimique de l'atmosphère, etc...

Ainsi, par la mesure et la modélisation en interaction continue, se construit l'image du climat passé, qui peut aider à comprendre le climat futur.

M. B.



combinaison de ces trois mouvements permet donc d'établir une courbe de variation de l'insolation et ainsi les périodes favorables aux glaciations.

On a comparé la courbe obtenue avec des résultats expérimentaux issus de l'analyse isotopique notamment. Une corrélation semble exister, mais l'étude fine ne permet pas d'affirmer que la théorie de Milankovitch est le moteur unique des oscillations climatiques. On a montré d'autre part que les variations d'énergie mises en jeu à la suite de ce phénomène étaient insuffisantes pour provoquer une glaciation. Cette hypothèse est néanmoins séduisante et peut être considérée comme l'une des plus solides actuellement. Il faut se rappeler que la machine atmosphérique est extrêmement complexe et que des apports, même petits, d'énergie peuvent être suffire à déplacer un équilibre.

Des études récentes entreprises par quelques chercheurs (1) ont permis de montrer qu'il y avait une corrélation étroite entre les variations de température et l'intensité magnétique en un lieu donné. Sans qu'il soit possible encore de déterminer les causes physiques éventuelles qui re-

montré que de grandes quantités de particules pouvaient être injectées jusque dans la stratosphère et former à cet endroit une véritable couche d'aérosols, qui modifie plus ou moins la température de ces niveaux. A la suite de cet événement, on a noté certains phénomènes particuliers affectant le rayonnement solaire à la surface du globe mais pas de conséquences mesurables sur la température au sol. Certains chercheurs considèrent cependant qu'une augmentation de l'activité volcanique, telle qu'elle a été mise en évidence pour le Quaternaire, pouvait être la cause ou une des causes des oscillations climatiques dont cette période a été particulièrement pourvue.

Quoiqu'il en soit, il ne faut pas négliger une possibilité importante de modification du climat : l'autovariation de l'atmosphère. Le système atmosphérique est en effet l'assemblage de phénomènes qui possèdent des temps caractéristiques très différents. La superposition de ces processus qui interagissent de façon non linéaire peut être un moteur puissant de changement de notre environnement. Dans l'optique de telles études, des modèles climati-

Les 800 000 dernières années : 4 ou 10 glaciations ? (Gravure de Zdenek Burian).

Bibliographie succincte

Colloque international du CNRS n° 219, « Les méthodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du Pléistocène » 5-9 juin 1973.

Proceedings of the WMO-IAMAP « Symposium on long-term climatic fluctuations » Norwich 1975. Note WMO n° 421.

The physical basis of climate and climate modelling. GARP Publication Series n° 16.

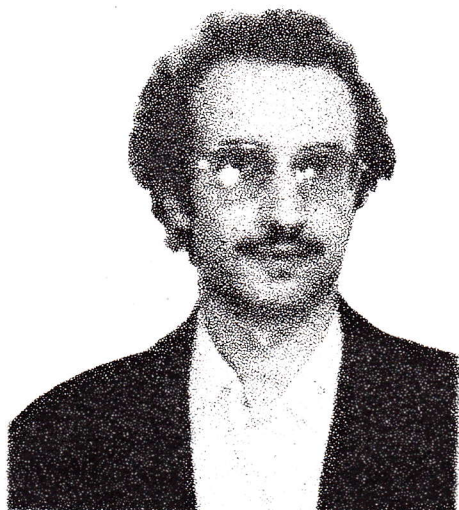
Société Hydrotechnique de France — Compte rendu des XIII^e journées de l'hydraulique. « Influence des activités de l'homme sur le cycle hydrométéorologique », Septembre 1974.

(1) Wolin et Ericson notamment.

(2) Ces résultats ne sont cependant pas tout à fait isolés puisque Bucha, en Tchécoslovaquie, a mis en évidence également des corrélations assez étonnantes entre des indices Ci d'activité géomagnétique et les déviations de température pour Prague sur les 25 dernières années.

LE CLIMAT DU FUTUR

J.F. Royer (*)



Le climat exerce une influence considérable sur les activités humaines. Mais l'homme est encore presque complètement désarmé devant les caprices du temps, et leurs conséquences au niveau de l'agriculture et de l'économie. Il se préoccupe donc d'arriver à une meilleure connaissance des phénomènes climatiques. Ses outils : des modèles qui permettent de simuler le climat. Aujourd'hui, à trois jours de distance ; demain, peut-être, des prévisions à plus longue échéance...

Le climat exerce une influence, plus ou moins directe, mais souvent déterminante, sur les diverses activités de l'homme et sur sa vie quotidienne. Alors que les autres éléments naturels du cadre géographique semblent être relativement stables, le climat apparaît, dans ses variations d'une année à l'autre, soumis à des fluctuations mystérieuses et imprévisibles. Une fluctuation de plus grande amplitude qu'à l'ordinaire surtout si elle a des répercussions néfastes sur la vie économique, ne manque pas de susciter dans l'opinion publique de graves inquiétudes pour l'avenir, la crainte qu'un tel changement soit permanent et irréversible.

Ne sait-on pas en effet que dans un passé certes lointain dans l'histoire humaine, mais tout récent dans l'histoire géologique, notre planète a connu un régime climatique fort différent du régime actuel, et que des calottes glaciaires de plus d'un kilomètre d'épaisseur ont recouvert la partie septentrionale des continents ? Bien que de nombreuses théories aient été proposées, les causes de cette glaciation et des autres fluctuations du climat sont encore très controversées et très mal connues. Malgré les énormes progrès technologiques accomplis depuis le début du siècle, l'homme est encore à peu près totalement impuissant face aux énergies gigantesques mises en œuvre dans les phénomènes météorologiques et climatiques, et désarmé devant les caprices du temps, les adversités du climat, et leurs répercussions sur l'agriculture et sur l'économie.

D'autre part, la croissance industrielle elle-même, par les modifications de la surface terrestre et les nombreuses pollutions atmosphériques qu'elle entraîne, fait déjà sentir son influence sur la climatologie locale (îlot de chaleur des villes). On estime que, vers la fin de ce siècle, cette influence pourrait s'étendre et avoir des répercussions sur le système climatique tout entier.

En raison du grand danger potentiel que ferait courir à notre civilisation tout bouleversement climatique de quelque ampleur, qu'il soit dû à des causes naturelles ou anthropogéniques, il devient urgent de se préoccuper de ce problème et d'arriver à une meilleure connaissance des phénomènes qui contrôlent le climat et en assurent la stabilité. Une telle recherche doit s'appuyer à la fois sur l'étude des climats du passé reconstitués à l'aide des techniques de la paléoclimatologie, sur l'observation globale du climat actuel, notamment au moyen de satellites, et sur une étude conduite à l'aide de modèles physico-mathématiques.

Ces derniers sont, en quelque sorte, des maquettes numériques du système climatique et, intégrés par ordinateur, permettent

de simuler son comportement. Ils sont donc les outils essentiels grâce auxquels on réalise des « expériences climatiques » dont on peut contrôler tous les paramètres et ils jouent ainsi, pour le théoricien des climats, un peu le même rôle que le laboratoire pour le physicien. C'est en multipliant de telles expériences que l'on arrivera progressivement à édifier une théorie du climat sur laquelle pourront s'appuyer des tentatives de prévision scientifique de son évolution.

Étude statistique du climat : un calcul sur 30 ans

Essayons tout d'abord de préciser un peu cette notion de climat. L'état instantané de l'atmosphère constitue le « temps » qui change très souvent. Cette grande variabilité conduit, pour des raisons pratiques, à considérer un état moyen de l'atmosphère que l'on appelle le climat. Cette distinction se justifie par le fait que la plupart des systèmes auxquels on s'intéresse (comme, par exemple, une production agricole) ne réagissent aux fluctuations du temps qu'à travers un certain filtre qui intègre ces fluctuations. On peut donc concevoir le climat comme un ensemble statistique dont les éléments aléatoires seraient constitués par les états instantanés de l'atmosphère au cours de la succession temporelle des situations météorologiques et chercher à déterminer les paramètres statistiques de cet ensemble. La structure de cet ensemble est rendue particulièrement complexe par la présence du cycle des saisons qui se reflète très nettement dans les statistiques mensuelles, et qui est, effectivement, un changement régulier de climat. Les paramètres climatiques sont donc fonction du temps, ce qui rend d'autant plus difficile leur estimation.

La solution apportée à ce problème par la climatologie classique consiste à découper le climat en 12 sous-climats distincts selon les mois de l'année, d'introduire une hypothèse de stationnarité et de calculer des statistiques sur 30 ans pour estimer les paramètres de chacun de ces sous-climats.

Dans cette optique, les fluctuations interannuelles, c'est-à-dire les différences entre les statistiques mensuelles d'une année à l'autre, sont interprétées comme des fluctuations dues à la méthode d'échantillonnage, autrement dit, comme un bruit de fond plutôt gênant que les moyennes sur 30 ans ont précisément pour but d'éliminer, afin de mettre en évidence le signal utile : les paramètres statistiques qui sont les caractéristiques du climat. Toute estimation à l'aide d'un échantillon fini

(*) Établissement d'Études et de Recherches Météorologiques - Paris.



s'accompagnant d'une certaine erreur aléatoire, la question des changements de climat revient à déterminer si les écarts entre les paramètres climatiques calculés pour deux périodes distinctes sont ou non significatifs par rapport à un test statistique approprié.

Cette méthodologie a l'avantage de reposer sur des bases statistiques solides, mais il ne faut pas oublier les hypothèses sur lesquelles on les édifie. Le postulat sous-jacent est que le climat est stationnaire ou varie très lentement (en dehors du cycle saisonnier) et, pour bien le souligner, on pourrait qualifier cette climatologie de « climatologie statique ».

Les utilisateurs de données climatologiques font ainsi implicitement des prévisions climatiques. En utilisant les valeurs relatives à une période passée (les valeurs climatiques sont généralement calculées pour la période 1930-1960) pour représenter les caractéristiques du climat de la période actuelle ou des années à venir, ils supposent que le climat est stationnaire et le restera. Cette méthode de persistance, en l'absence d'une théorie scientifique des changements de climat, reste, à l'heure actuelle, une des procédures les moins arbitraires... et les moins aléatoires.

Diverses méthodes statistiques peuvent être appliquées à l'étude de la structure

Vents contraires et astrologie.

des séries temporelles constituées par les valeurs mensuelles d'un élément climatique et offrir certaines possibilités de prévision. Citons, par exemple, la méthode d'ajustement d'une tendance linéaire, dont l'extrapolation conduit souvent à des déboires. Parmi les avatars de cette méthode, on peut rappeler que, dans la première moitié du siècle, on avait constaté une tendance à la hausse des températures en de nombreux points du globe.

Un réchauffement en l'an 2000 ?

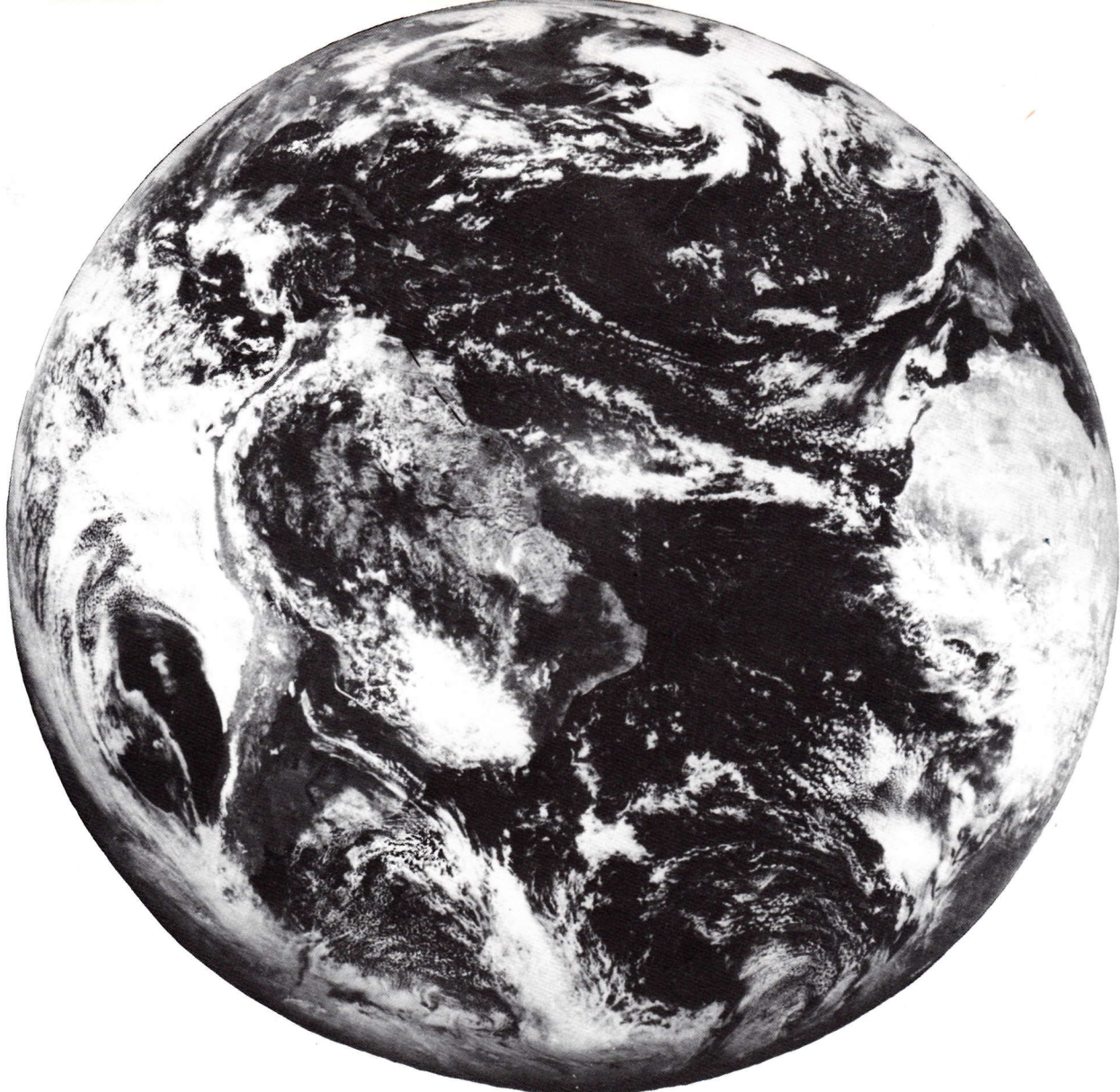
Certains ont attribué cette hausse à l'accroissement de la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère et, extrapolant cette tendance jusqu'en l'an 2000, ont prévu un réchauffement de plusieurs degrés qui pourrait entraîner la fonte des calottes glaciaires, submergeant une grande partie des zones habitées (c'est la fonte des glaces continentales de l'Antarctique et du Groënland qui provoquerait une remontée du niveau de la mer et non celle de la banquise polaire puisqu'elle est constituée de glace flottant à la surface de l'Océan Arctique).

Puis, la tendance s'étant renversée, autour de 1950, on a pu craindre le retour d'un épisode glaciaire... En fait, des variations similaires ont déjà été observées dans le passé. En regardant les courbes correspondantes, on a l'impression que chaque fois qu'une tendance semble se dessiner nettement (et donc pouvoir offrir un espoir de prévision) elle tend aussitôt après à se renverser (et à déjouer notre prévision), comme si le système climatique était animé d'une sorte d'oscillation pseudopériodique au voisinage d'une position d'équilibre.

Des prévisions décevantes

Beaucoup d'espairs avaient été fondés sur l'étude des périodes de ces oscillations qui permettrait, peut-être, de mettre en évidence des cycles climatiques réguliers ou de retrouver, dans les fluctuations du climat, l'influence de cycles connus comme celui des taches solaires. Le bilan de plus d'un siècle de recherche dans ce domaine est assez décevant : beaucoup de ces études n'ont pas été conduites avec une rigueur suffisante, ni selon une méthode statistique précise et il est difficile de juger la valeur de leurs résultats. Les cycles mis en évidence se révèlent souvent tout aussi capricieux que les tendances et tendent à disparaître, ou à changer de phase, lorsqu'on croit les tenir... Des analyses plus rigoureuses montrent qu'on a en général un spectre continu de fréquences dont les amplitudes s'accroissent vers les basses fréquences, sur lequel peuvent se détacher quelques pics provenant d'oscillations un peu plus fortes. Mais les périodes ainsi trouvées, même lorsqu'elles atteignent un niveau de signification suffisant, ne représentent, en général, qu'un faible pourcentage de la variance et se révèlent de peu d'utilité pour la prévision.

Une exception intéressante mérite cependant d'être signalée. Des analyses de la composition isotopique d'une carotte de glaces fossiles prélevée au Groënland ont mis en évidence des périodes voisines de 80 et 180 ans dans le rapport O_{18}/O_{16} de deux isotopes de l'oxygène (ce rapport peut être relié à la température de l'air au moment de la formation de la glace).



En ajoutant deux sinusoïdes — ayant pour période 80 et 180 ans — on arrive à synthétiser une courbe mathématique représentant approximativement les variations observées depuis 1200. En extrapolant cette courbe mathématique, on peut prévoir que, si les cycles naturels persistent, on devrait observer un refroidissement jusqu'en 1990, suivi d'un léger réchauffement se terminant vers 2020.

Mais si on essaie de tenir compte (de façon très qualitative) de l'effet possible du gaz carbonique sur le climat, on arrive à une vision très différente. Dans l'hypothèse d'un accroissement annuel de 3 % de la consommation en combustible, si on admet que 50 % du CO_2 reste dans l'atmosphère et que 10 % d'accroissement du CO_2 conduit à une augmentation de 0.3° de la température globale, on obtient, pour « l'effet de serre » résultant, une courbe qui, ajoutée à la première (ce qui revient à supposer que l'« effet de serre » et les cycles agissent indépendamment sur le climat et sans interférence), fait apparaître que le refroidissement commencé vers 1940 serait bien plus faible, et qu'à partir de 1980 l'effet du CO_2 (qui avait été jusqu'alors compensé par des oscillations naturelles dont la cause est inconnue) deviendrait prépondérant et conduirait à un réchauffement sans précédent du climat global.

Ces deux courbes illustrent assez bien toutes les incertitudes liées à une extrapolation de tendances ou de cycles et à des

raisonnements qualitatifs dont la validité est souvent contestable.

Pour parvenir à des conclusions plus positives, il est nécessaire d'étudier plus en détail les processus qui gouvernent le climat et ses variations.

On voit se dessiner, à travers cette description du climat (voir encart), l'énorme complexité du système climatique qui fait intervenir à la fois, l'atmosphère, les océans, le sol, et la cryosphère (neiges et glaces). Cette complexité est encore accrue par l'existence de nombreux couplages (feedback) entre leurs éléments. Il y a beaucoup de rétroactions négatives qui tendent à amortir les oscillations et à maintenir le climat en équilibre. Par exemple, la relation entre la température et les pertes radiatives : un accroissement de température conduit à une augmentation du rayonnement infra-rouge émis, donc à une perte d'énergie plus grande qui tend à réduire la température.

Mais, il existe également des rétroactions positives qui tendent, au contraire, à amplifier les anomalies et sont un facteur d'instabilité. Un bon exemple est fourni par le couplage entre température et albedo (1) provoqué par une couverture neigeuse. La neige, qui ne peut persister que si la température est suffisamment basse, augmente l'albedo du sol (car elle est très réfléchissante) ce qui a pour effet de diminuer la fraction du rayonnement solaire absorbé par le sol et donc d'accentuer le refroidissement initial. On remarque à ce propos l'importance capitale du cycle

L'Atlantique surveillé en permanence par le satellite géostationnaire SMS (Etats-Unis).

hydrologique, les changements de phase de l'eau intervenant dans les échanges énergétiques, tant par le transport de chaleur latente que par les variations importantes de l'albedo que provoquent les nuages et la neige.

La plupart de ces couplages sont fortement non-linéaires et la présence de certains déphasages (dûs à des temps de réactions différents pour diverses parties du système climatique) peut produire des oscillations entretenues qui peuvent nous apparaître comme des changements de climat si leur période est suffisamment longue. Outre ces causes internes, le climat est également sous la dépendance de facteurs externes tels que les variations possibles du rayonnement solaire, de la composition de l'atmosphère, de sa teneur en poussières (à la suite d'éruptions volcaniques) et des caractéristiques de la surface terrestre.

La multiplicité des causes internes ou externes qui peuvent agir simultanément rend extrêmement difficile et incertaine

(*) Établissement d'Etudes et de Recherche Météorologiques — Paris.

(1) c'est le rapport entre le rayonnement qui a atteint une surface et le rayonnement qui quitte cette surface. Par exemple dans le cas du rayonnement solaire : c'est le rayonnement qui n'est pas absorbé par le sol.

toute analyse empirique des fluctuations du climat. Pour progresser, il faut procéder à une analyse quantitative au moyen des équations physiques régissant ces phénomènes et construire un modèle mathématique traduisant de façon précise et détaillée leurs interactions et leur évolution.

Construire des modèles numériques

Ces modèles sont fondés sur l'application des lois bien connues de la physique. Les principes de la thermodynamique peuvent servir de base à des modèles décrivant le bilan des échanges énergétiques qui sont à l'origine du climat. Une des difficultés de cette approche, encore trop peu développée, est que de nombreux mécanismes essentiels doivent être représentés de façon très schématique par des formules empiriques incertaines. Étant donné que les mouvements atmosphériques et océaniques interviennent de façon essentielle dans ces échanges énergétiques, il est souhaitable de faire intervenir également leur dynamique.

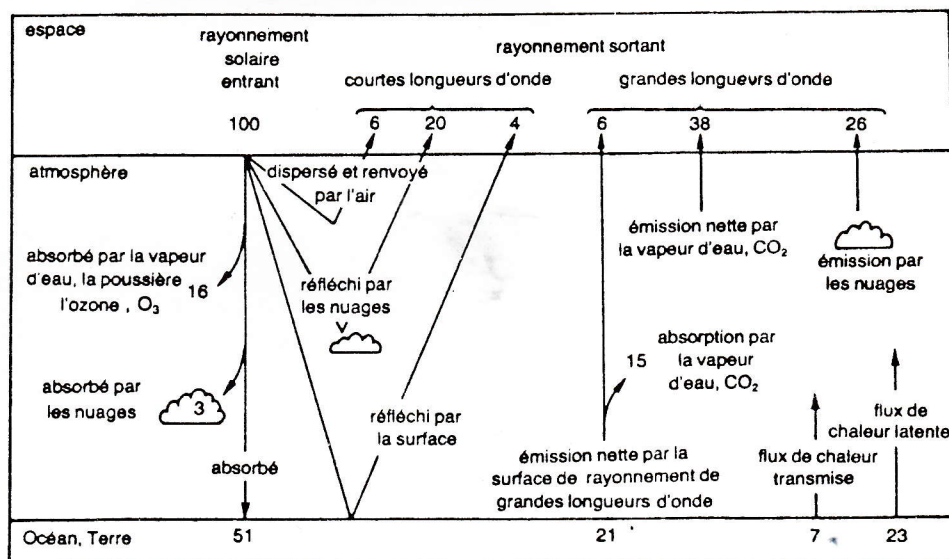
On juge donc préférable, à l'heure actuelle, de développer d'abord des modèles de circulation générale de l'atmosphère, fondés sur les équations de la mécanique des fluides. Ces équations représentent, sous forme différentielle, des principes élémentaires tels que la conservation de la masse (équation de continuité), le transport (ou advection) de chaleur, de quantité de mouvement et de vapeur d'eau, l'équation d'état et l'équilibre hydrostatique de l'atmosphère. Ce sont fondamentalement les mêmes équations que celles utilisées pour la prévision du temps et les techniques pour les résoudre sont similaires.

Les champs des divers paramètres atmosphériques (pression, température, vent, humidité) sont représentés par un nombre fini de composantes, soit par leurs valeurs aux nœuds d'une grille de calcul régulière, soit par les coefficients de leur décomposition en une série de fonctions particulières telles que les fonctions sphériques (méthodes spectrales).

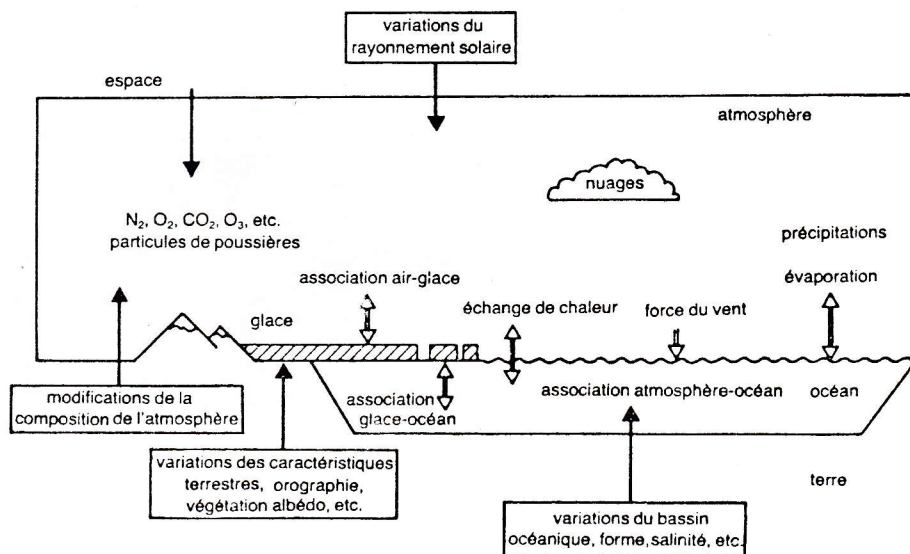
L'intégration de ces équations consiste à calculer des dérivés par rapport au temps, à partir desquelles on fait ensuite évoluer les diverses composantes selon un schéma numérique d'avance dans le temps. Les conditions de stabilité de ce schéma pour un modèle en équations primitives imposent le choix d'un pas de temps assez réduit (de l'ordre de 10 mn). Une formulation particulière, dite semi-implicite, ayant pour effet de filtrer certaines ondes atmosphériques, peut permettre d'étendre ce pas de temps jusqu'à 1 heure.

Une première différence entre les modèles de prévision et les modèles de circulation générale est que ces derniers doivent être globaux, mais peuvent se contenter d'une moins grande finesse dans la représentation spatiale, donc comporter moins de composantes. Par contre, comme il faut pouvoir les intégrer sur des durées plus importantes que les modèles de prévision, leurs critères de stabilité sont plus sévères. Les méthodes spectrales semblent particulièrement bien adaptées pour les modèles de circulation générale.

Un certain nombre de phénomènes ne peuvent être traités explicitement et leur effet doit être pris en compte à travers une « paramétrisation », c'est-à-dire une



Bilan des rayonnements dans le système atmosphère-terre, mettant en évidence la redistribution des rayonnements solaires qui entrent dans le système et les mécanismes de cette redistribution (d'après [2]).



- Processus physiques qui régissent le climat général

Bilan des rayonnements dans le système atmosphère-terre

représentation plus ou moins schématique en fonction des variables calculées par le modèle. C'est le cas notamment des mouvements d'une échelle inférieure à la résolution du modèle, des phénomènes de convection et de turbulence dans la couche limite.

Les échanges thermiques, qui ne jouent qu'un rôle secondaire pour la prévision du temps à quelques jours d'échéance, ont un effet cumulatif, et il est donc indispensable d'en tenir compte pour reproduire convenablement la circulation générale. Ceci conduit à introduire dans les modèles les équations du transfert radiatif des rayonnements visibles et infrarouge, le cycle hydrologique avec une paramétrisation appropriée des processus d'évaporation, de condensation et de précipitation, ainsi que des échanges turbulents de chaleur et de vapeur d'eau avec le sol ou l'océan. Les mécanismes de formation ou de dissipation des nuages sont très complexes et il est difficile de les in-

corporer dans les modèles ; on se contente souvent de prendre une répartition moyenne des nuages selon les statistiques climatiques, et de nombreuses recherches sont en cours pour améliorer la paramétrisation de la nébulosité.

Les paramètres relatifs à la couche superficielle du sol ou de l'océan doivent être spécifiés, car ils jouent pour l'atmosphère le rôle de conditions aux limites. On peut se contenter, en première approximation, de se donner des valeurs fixes pour la température de l'océan, car elle évolue beaucoup plus lentement que celle de l'air, et de calculer la température du sol qui équilibre à chaque instant ses gains et ses pertes de chaleur, ce qui revient à négliger sa capacité thermique. Il est important de tenir compte de la présence éventuelle d'une couverture neigeuse qui modifie alors profondément les échanges thermiques, et d'avoir une paramétrisation reflétant l'accumulation ou la fonte de la neige. Il y a bien entendu bien d'autres processus qui devront être incorporés dans les modèles de climat. A l'heure actuelle, on se contente d'y mettre les mécanismes

les plus importants pour réaliser des expériences qui permettront d'améliorer notre connaissance du fonctionnement de la circulation générale.

Les modèles aujourd'hui : quelques jours à l'avance

Les modèles de prévision numérique ne permettent de prévoir le temps qu'à quelques jours d'échéance. Des études théoriques ont montré que, même si on réalisait un modèle reproduisant parfaitement le comportement de l'atmosphère (ce qui est encore loin d'être le cas), on ne pourrait cependant pas prévoir le temps plus de trois semaines à l'avance à cause des imprécisions inévitables des conditions initiales. On peut donc s'étonner que des modèles, certes plus sophistiqués, mais identiques dans leur principe aux modèles de prévision soient utilisés pour simuler le climat. En réalité, les deux problèmes sont de nature très différente. Dans le cas de la simulation climatique, on ne cherche pas à savoir le temps qu'il fera un jour donné, mais simplement à reproduire le comportement moyen de l'atmosphère et de calculer ses propriétés statistiques. Il est beaucoup plus facile d'estimer la probabilité d'un événement aléatoire (ex : la fréquence d'apparition d'un chiffre donné à la roulette) que de faire une prévision déterministe d'un événement particulier (le prochain numéro qui va sortir). Le premier critère que l'on peut appliquer pour tester un modèle climatique, c'est de voir dans quelle mesure, partant d'une situation arbitraire (ex : l'atmosphère au repos), il est capable de reproduire dans ses statistiques les propriétés connues du climat présent.

Des reconstitutions paléoclimatiques

Les modèles actuels reproduisent assez bien les grands traits de la circulation générale et on peut donc les utiliser avec une certaine confiance dans diverses expériences.

On étudie à l'aide de ces modèles la sensibilité du climat par rapport à des facteurs extérieurs. Il est possible de réaliser des expériences dans lesquelles on fait varier l'un de ces facteurs et de déterminer si la réaction du modèle est significative, ce qui donne une indication de l'importance de ce facteur sur le climat. On peut ainsi voir quelle est l'influence d'une variation de la constante solaire, d'une augmentation du gaz carbonique, ou d'une anomalie de la température de l'océan.

Les modèles peuvent être utilisés également pour des reconstitutions paléoclimatiques. On arrive maintenant, par diverses techniques, à reconstituer la température de l'océan et l'étendue des glaces pour diverses époques du passé. En introduisant ces températures et la couverture de glace comme conditions aux limites dans un modèle, on peut calculer les mouvements correspondants de l'atmosphère et reconstituer la circulation générale correspondante.

Les modèles climatiques sont ainsi des outils puissants pour l'étude du climat. Leur principal inconvénient provient du temps d'intégration assez long nécessaire pour réaliser une expérience climatique, car, pour avoir des statistiques valables, il faut simuler le comportement de l'atmosphère sur plus d'un mois, ce qui nécessite plusieurs heures de calcul sur les ordinateurs les plus performants.

J.F. R.

Qu'est-ce que le climat?

Le climat est formé par l'ensemble des états de l'atmosphère. Les propriétés de l'atmosphère dépendent, avant tout, de ses mouvements de grande échelle qu'on appelle la circulation générale. Une étape importante de la théorie des climats est donc la compréhension et la description appropriée de cette circulation générale, de ses propriétés et de ses causes.

La première question qui se pose est de savoir quel en est le moteur. Pour cela, il faut suivre les transformations de l'énergie solaire qui parvient à la frontière supérieure de l'atmosphère.

Une partie du rayonnement solaire incident est absorbée par l'ozone, le gaz carbonique, la vapeur d'eau, ou par les nuages, et est alors transformée directement en chaleur ; ou bien est renvoyée vers l'espace par diffusion sur les molécules d'air, les aérosols ou par réflexion sur les nuages. Une fraction du rayonnement arrivant finalement à la surface de la terre est encore réfléchi vers l'espace, le reste est absorbé par le sol ou les couches superficielles de l'océan. On appelle « albedo » le rapport d'un flux réfléchi sur le flux incident. L'albedo planétaire, voisin de 30 %, représente une valeur moyenne de l'énergie de rayonnement renvoyée vers l'espace, du fait de la diffusion, de la réflexion sur les nuages et de l'albedo de surface, qui varie selon la nature et l'état du sol ou de l'océan.

Sous l'action du rayonnement absorbé, cette surface s'échauffe et transmet de la chaleur à l'atmosphère, soit directement par conduction ou convection sous forme de chaleur sensible, soit sous forme de chaleur latente par production de vapeur d'eau (qui plus tard en se condensant libérera de la chaleur sensible), soit sous forme de rayonnement infra-rouge par transfert radiatif. Ces flux de chaleur conduisent à la formation au voisinage de la surface d'une couche limite dans laquelle les phénomènes de turbulence sont particulièrement intenses.

Les transferts radiatifs sont influencés par la présence dans l'atmosphère de constituants tels que le gaz carbonique, la vapeur d'eau, les nuages, qui absorbent le rayonnement infra-rouge et élèvent la température locale, provoquant ainsi un « effet de serre ». Finalement, après des absorptions et des émissions successives sur les diverses couches de l'atmosphère, les processus complexes du transfert radiatif aboutissent à la limite supérieure

de l'atmosphère à une perte d'énergie sous forme de rayonnement infra-rouge. Vue de l'extérieur, la Terre et son atmosphère apparaît ainsi comme une sorte de machine thermodynamique qui absorbe du rayonnement visible et rejette du rayonnement infra-rouge de plus basse fréquence, en convertissant une partie en énergie mécanique.

Comme il ne peut y avoir dans ce système ni accumulation, ni perte indéfinie d'énergie, il s'établit un équilibre, et le bilan radiatif global entre l'énergie reçue dans le visible et celle perdue dans l'infra-rouge, tend à être nul. Cet état d'équilibre dynamique, qui dépend des nombreux facteurs (nébulosité, albedo, vapeur d'eau...) intervenant dans les transferts de chaleur et de rayonnement, caractérise le climat de la planète, et toute modification de l'un de ces facteurs est susceptible de conduire à un déplacement de l'équilibre, donc à un changement de climat.

Plusieurs éléments contribuent à rendre inhomogène la répartition géographique de l'énergie reçue par le système : angle d'incidence moyen du rayonnement qui dépend de la latitude et de la saison (l'obliquité des rayons conduisant à répartir leur énergie sur une plus grande surface), nébulosité, albedo du sol qui dépend de sa nature géologique, de son état hygrométrique, des variations de sa couverture végétale ou d'une couverture neigeuse. C'est cette inégalité de la répartition du bilan radiatif, déficitaire aux pôles et positif près de l'équateur, qui entretient les mouvements de la circulation générale. Sous l'influence de la rotation de la terre, les mouvements ne se font pas directement dans le sens des gradients de température, mais sont déviés par la force de Coriolis, et conduisent à la formation des dépressions mobiles des moyennes latitudes qui jouent un rôle important dans les échanges d'énergie entre le pôle et l'équateur. Les océans ont une grande influence sur la circulation générale, car c'est à leur surface (couvrant 2/3 du globe) qu'est absorbée la majeure partie de l'énergie solaire. Les interactions océan-atmosphère sont malheureusement insuffisamment étudiées, de même que la circulation océanique, à laquelle on attribue maintenant 1/3 du transport d'énergie. L'inertie des océans, plus grande que celle de l'atmosphère, fait d'eux un élément stabilisateur très important puisqu'il tend à régulariser le climat.

Antenne de réception au Centre d'Étude
de Météo Spatiale de Lannion, en
Bretagne (France).

Qu'est-ce
que le
climat ?



SURVEILLER LE TEMPS

les satellites météorologiques.

A. Villeveille
R. Lasbleiz (*)

On a pu considérer l'atmosphère comme l'addition d'un certain nombre d'événements locaux et, en quelque sorte compartimentés. Mais à partir du moment où on le perçoit comme un ensemble de phénomènes reliés, littéralement comme une machinerie fonctionnant à l'échelle de la planète, la connaissance du climat doit s'appuyer sur des moyens d'observation eux-mêmes à l'échelle de la planète. En complément du réseau traditionnel d'observation à partir de la terre, dont l'extension est forcément limitée (ne serait-ce que sur les mers, où les lacunes resteront considérables), le satellite répond bien au problème posé.

Le satellite est, par essence « planétaire ». Il est capable, en suivant des orbites variées, de surveiller toute la surface du globe, de façon régulière, sans hiatus, avec une sorte de don d'ubiquité, qui donne une réalité concrète et quotidienne au vieux rêve des météorologistes, la « vision synoptique ».

Le satellite à également, et ce n'est pas la moindre de ses qualités, l'avantage de pratiquer une observation homogène, égale à elle-même en tous lieux, indépendante des facteurs géopolitiques qui affectent les observations du « réseau » classique.

Orbite haute : 36.000 km d'altitude

Les diverses fonctions du satellite, et notamment les fonctions sensorielles, pourront être sensiblement différentes suivant le type d'orbite. On distingue essentiellement les orbites « basses » et les orbites « hautes ».

Pour les orbites basses, l'altitude se situe typiquement entre 800 et 1.600 km. En règle générale, le satellite passe au voisinage des deux pôles ; c'est alternativement de jour et de nuit qu'il survole une région donnée du globe, à nos latitudes.

En ce qui concerne les orbites hautes, l'altitude est alors très exactement fixée à 36.000 km, de telle sorte que par les lois de la mécanique céleste, le satellite, placé dans un plan équatorial, tourne autour de l'axe des pôles à la même vitesse que la terre ; autrement dit il reste stationnaire par rapport à celle-ci.

Situation évidemment privilégiée : de ce balcon d'observation céleste, on peut suivre au fil du temps le mouvement et l'évolution des grandes perturbations qui se déplacent d'Ouest en Est à nos latitudes, ou des cyclones qui migrent d'Est en Ouest aux latitudes équatoriales.

Mais aussi, le satellite géostationnaire a ses infirmités : lorsqu'il s'agit, par exemple, de radiométrie fine (pour l'obtention du profil vertical de température et d'humidité), il ne peut prétendre aux performances du satellite bas, qui travaille plus près de la « cible » terrestre ; ou encore, lorsqu'il s'agit de localiser des stations météorologiques mobiles (le plus souvent : des bouées), le géostationnaire offre beaucoup moins de commodité — toujours par l'effet de la distance — que le satellite défilant.

Il y a donc un certain nombre de missions — et de missions importantes — qui appartiennent logiquement au satellite d'orbite basse.

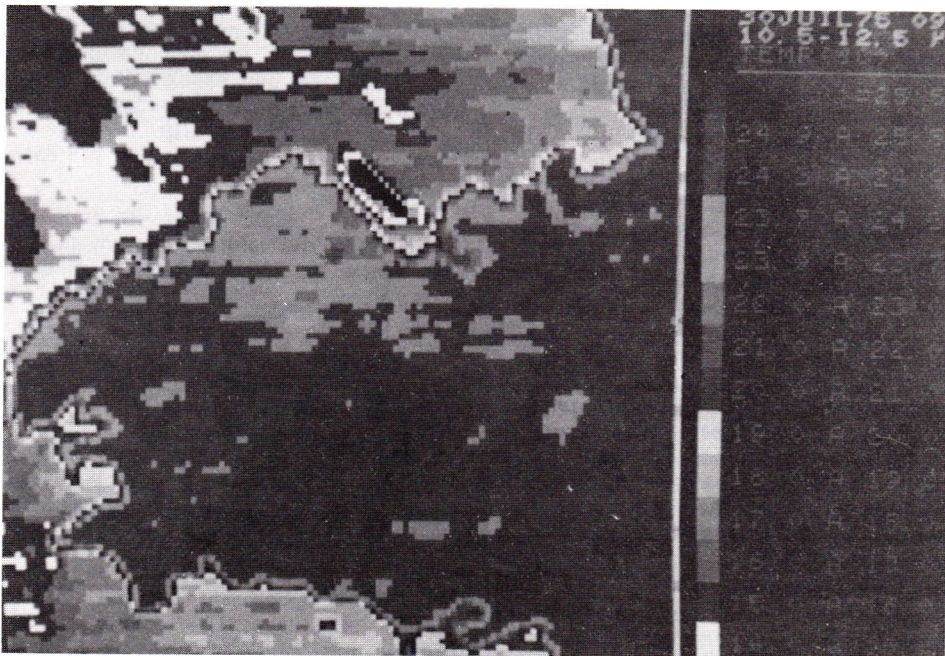
En fait, les réseaux de satellites actuellement prévus comportent un dosage judicieux entre les deux types d'engins,

Un cas particulier de tempête : le cyclone tropical, représente encore le plus meurtrier des phénomènes météorologiques. Les cyclones sont désormais suivis avec beaucoup de précision par les satellites, relayés, à distance des sites menacés, par des avions de reconnaissance spécialisés. Ainsi, les techniques d'alerte des cyclones ont-elles progressé notablement au cours de la décennie écoulée et sauvé de nombreuses vies humaines.

Le satellite et la pêche

Une autre application, assez inattendue, de ces mêmes satellites est liée à l'obtention des températures de mer, par radiométrie infra-rouge.

Là où les nuages s'écartent (car les nuages occultent le rayonnement infra-rouge du sol), le satellite peut ainsi dessiner la carte thermique de la surface de



travaillant à l'étage bas et à l'étage haut de notre environnement spatial. (1)

Surveiller tempêtes et cyclones

La première application des satellites météorologiques, « opérationnelle » depuis plus de dix ans, concerne la surveillance du temps, c'est-à-dire l'ensemble des « météores » nuageux et de leurs associations les plus violentes, les tempêtes.

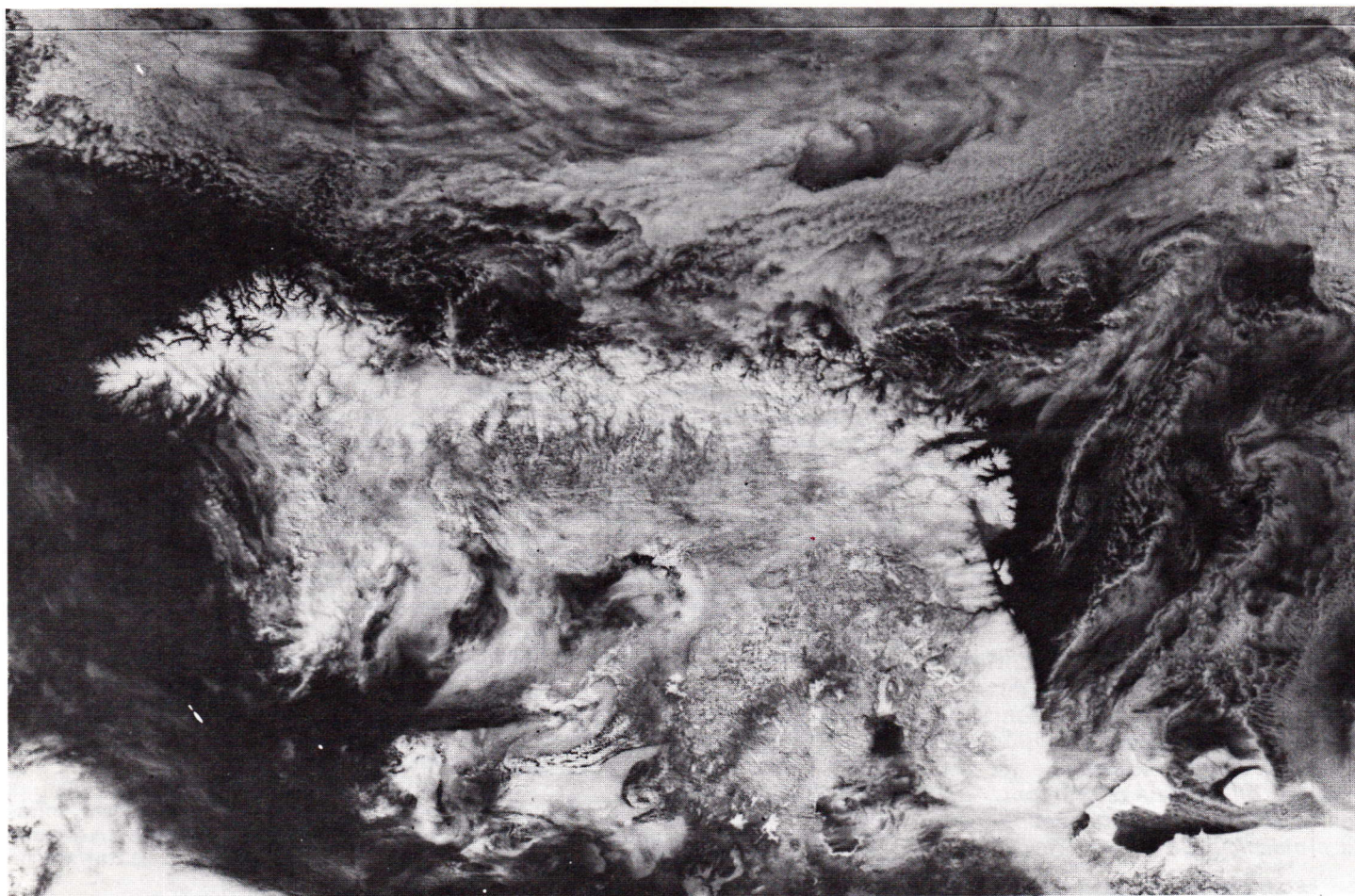
Les stations d'écoute réparties à travers le globe sont aujourd'hui tout à fait armées pour détecter les zones de tempêtes. Celles-ci s'identifient facilement sur les images satellitaires à partir des tourbillons nuageux, ou « vortex », qui les accompagnent.

Thermographie de la Bretagne à partir d'une radiométrie infrarouge des satellites NOAA.

l'océan. Il y reconnaît, aux hautes latitudes, les glaces polaires. Il y reconnaît à d'autres latitudes, et notamment aux latitudes intertropicales, les gradients localement élevés, qui correspondent à un habitat particulièrement favorable pour certaines espèces de poissons, comme le thon.

(*) Chef du Centre d'Etudes de Météorologie Spatiale — Lannion (France).

(1) Les plans actuels prévoient cinq satellites géostationnaires en couronne circumterrestre et deux ou trois satellites polaires bas.



On accède de la sorte à un renseignement utile pour la pêche ; on ne saurait, naturellement, le manier sans précautions.

Les satellites météo : demain

Dans toutes les disciplines spatiales, le développement est rapide et continu. Mais peut-être la palme revient-elle, à certains égards, à la météorologie spatiale. Cela tient évidemment à l'existence d'un besoin très fort, qui correspond à la meilleure gestion de notre environnement atmosphérique.

Dans une première étape, qui a coïncidé avec la décennie 1960 (le premier satellite météorologique — américain — a été effectivement lancé en 1960), on a cherché à poser les bases de la technique nouvelle : des satellites fournissant une plate-forme stable pour des capteurs d'imagerie superficielle ; des moyens d'acquisition adaptés au sol.

La décennie présente cherche à développer plus avant ces premiers acquis, dans le sens de la radiométrie multi-spectrale, qui se traduit concrètement par une information sur tout ce qui se passe dans « l'épaisseur » de l'atmosphère.

La décennie 1980 marquera, selon toute vraisemblance, le passage à l'emploi généralisé du satellite, en complémentarité des réseaux d'observation au sol.

Des plans sont actuellement établis à cet effet dans le cadre de la Veille Météorologique Mondiale (*). Le mot « veille », équivalant à « surveillance », marque bien la destination d'un tel système.

Il s'agit de saisir, à tout moment, les données de l'atmosphère actuelle pour les injecter dans des modèles prévisionnels de différentes échelles, servis par les plus puissants ordinateurs disponibles.

Le satellite sera, de façon sans doute

prédominante, le pourvoyeur de ces données, soit qu'il les obtienne lui-même par les méthodes plus haut décrites de sondage à distance — ou télésondage —, soit qu'il les collecte à partir de « plate-formes » classiques immergées in situ dans l'atmosphère.

Parmi ces plate-formes, les bouées à vocation météo-océanique joueront un rôle particulièrement important, parce qu'elles permettront d'appréhender les indications d'interface Mer-Atmosphère.

Élargissant sa vocation, le satellite en viendra à la surveillance du climat, en contrôlant les données extérieures (2) qui peuvent modifier son évolution.

Ainsi, le soleil sera l'objet de mesures permanentes en vue d'apprécier les variations de son émission radiative globale (jusqu'ici appelée, improprement sans doute, la « constante solaire »).

Dans le même esprit, le satellite surveillera attentivement les deux « frontières » que sont l'hydrosphère (c'est-à-dire le milieu liquide et, notamment, la masse océanique), et la cryosphère, c'est-à-dire la couverture de neige et glaces de notre globe.

On voit, de la sorte, que loin de se confiner dans sa « spécialité », le satellite météorologique viendra se ranger auprès d'autres systèmes de mesure géophysique, et participera, pour une part croissante, à toute les opérations de télédétection de la surface terrestre.

R. L.

Le satellite pourvoyeur de données du lendemain.

La Scandinavie et la Finlande observées par balayage radiométrique.

(*) En anglais : WWW (World Weather Watch) Instituée par l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale).

(2) L'évolution du climat est guidée, d'autre part, par l'autovariation à grande échelle de temps, du système atmosphérique.

Radiométrie et télémesure

Le premier problème technologique qui se pose pour les satellites météorologiques est évidemment celui des « senseurs ». Lorsque l'on cite les « images de l'atmosphère » prises par ces satellites, on ne doit pas entendre une image photographique, au sens classique du terme (encore que les premières séries, comme la série américaine TIROS dans la décennie 1960, aient employé des caméras vidicon de télévision lente).

En fait, il s'agit de radiomètres, à haute sensibilité (détecteurs quantiques), capables d'analyser l'énergie radiative contenue dans un pinceau optique très fin.

Ce pinceau est lui-même capté et focalisé par un télescope, que le satellite anime d'un mouvement de balayage dans deux directions orthogonales, pour couvrir toute la surface terrestre sous-jacente. A partir de ce balayage réalisé rapidement, on compose un signal de télémesure transporté par faisceau radioélectrique jusqu'aux antennes terrestres.

Au sol, un système de réception et traitement assure les opérations symétriques, qui permettent de remonter du signal

à l'image vraie du rayonnement terrestre.

Ce travail s'effectue, de manière parallèle, sur calculateurs et sur visualisateurs. Dans ce dernier domaine, très particulièrement, de gros progrès ont été accomplis récemment, tel le visualisateur à laser VIZIR (15.000 points sur 15.000 lignes en petit format) qui a été développé en France pour les besoins du Centre de Météorologie Spatiale (CMS) de Lannion.

Enfin, le satellite transporte lui-même son information, qu'il peut diffuser en peu de temps sur des zones géographiques étendues. Il joue alors un rôle d'agent de télécommunications spécialisé, d'autant plus précieux que le renseignement météorologique est une denrée rapidement périssable, c'est-à-dire dont l'intérêt diminue très vite avec le temps.

Il y a donc, à partir de ces facteurs, une convergence remarquable en faveur de l'utilisation du satellite en météorologie.

Mais il faut citer aussi ses limites et ses insuffisances. Certaines d'entr'elles tiennent à la géométrie orbitale (satellites bas « défilants » ; satellites hauts « géostationnaires ») ; d'autres proviennent de l'absence de

signature de certains événements météorologiques (ainsi du vent, que l'on ne sait pas mesurer « directement » depuis l'espace)...

De manière générale, la vision du satellite est gênée par l'opacité même de l'atmosphère terrestre, ou bien manque de finesse, par exemple, lorsqu'il s'agit d'apprécier les transferts à l'interface entre la terre et l'atmosphère.

Malgré ses performances remarquables, le satellite doit donc être aidé par des moyens traditionnels, opérant au sein de l'atmosphère. Ces moyens pourront être mis en place sur des plate-formes spécialement conçues à cet effet, capables notamment de converser avec l'engin spatial, de répondre à ses demandes ou de l'alerter si un seuil de danger se trouve atteint. C'est là une fonction, éventuellement moins connue, à laquelle on donne le nom, peut-être insuffisamment évocateur de « collecte de données ».

Surveillance directe et collecte de données constituent, en définitive, les deux missions-clés du satellite météorologique.

Le satellite : un œil électronique

Lorsque nous regardons, depuis le sol, « l'état du ciel », notre champ de vision est étroitement limité (à quelques kilomètres ou à une dizaine de kilomètres, pour fixer les idées), et, de plus, toute une série de facteurs gênants (tels que brume ou précipitations) peuvent intervenir pour réduire ou déformer notre observation.

L'engin spatial bénéficie, par contre, d'un confort visuel à peu près total. Nul écran entre lui et ce qu'il est convenu d'appeler (désagréablement, mais assez justement) la « vase atmosphérique » ; et un champ d'observation prodigieusement élargi, puisque la portée visuelle dépasse 3.000 km dans le cas des satellites bas, tandis que le satellite géostationnaire découvre en permanence une scène égale au quart de la surface terrestre.

Le mot « visuel » apparaît presque instinctivement lorsque l'on parle de la fonction du satellite. Et il est significatif aussi que, par symétrie avec les instruments « capteurs » utilisés pour mesurer les paramètres météorologiques d'ambiance, on cite les instruments « senseurs » installés à bord du véhicule spatial.

C'est qu'en effet le satellite météorologique agit à la manière du système sensoriel

de l'œil humain, qui interprète les rayonnements transmis par les objets. L'œil satellitaire possède, en réalité, à mesure des progrès techniques, des avantages de plus en plus marqués par rapport à l'œil humain.

Sous le rapport de l'acuité visuelle, d'abord. Les satellites géostationnaires américains (SMS/GEOS) distinguent, depuis leur altitude de 36.000 km, une distance inférieure au kilomètre au sol. Le satellite géostationnaire européen (METEOSAT) qui sera lancé courant 77, marque de son côté, des points en matière de résolution infra-rouge, qui pourra aller jusqu'à 5 km.

Mais surtout sous le rapport de l'étendue du registre spectral : bien entendu, le rayonnement visible reste un domaine d'élection pour la radiométrie par satellite.

Mais les gains les plus spectaculaires sont aujourd'hui obtenus dans l'infra-rouge. On sait que le rayonnement infra-rouge « signe » la température du corps émetteur. Dans le cas qui nous occupe, l'émetteur n'est autre que la terre et l'atmosphère, ensemble. En mesurant les radiations du système Terre-Atmosphère dans des petits intervalles spectraux de la gamme infra-rouge, on parvient ainsi à retrouver, par des processus physico-mathématiques

assez inconfortables, le « profil » vertical des températures de l'atmosphère c'est-à-dire la 3^e dimension atmosphérique — en même temps que la température du sol, ou, à tout le moins, la température de la mer.

Une explication complémentaire est ici nécessaire. Pour mesurer le profil vertical de température, on utilise — schématiquement — l'étagement des niveaux d'émergence de différents rayonnements multi-spectraux, que l'on choisit pour ce faire dans une bande d'absorption forte de l'atmosphère. Inversement, pour mesurer la température de surface, il faut « percer » l'écran atmosphérique, et choisir, par conséquent, un rayonnement dans une « fenêtre de transparence », c'est-à-dire une zone spectrale de faible opacité.

L'infra-rouge aujourd'hui, les micro-ondes demain. Les ondes radio ont le défaut de se situer à l'extrême du spectre d'émission du milieu terre-atmosphère ; le niveau du signal est donc très faible. Mais, en revanche, ces mêmes ondes, que l'on peut amplifier notablement à la réception (procédé hétérodyne), ont la vertu de traverser les nuages — ce que ne peuvent faire les ondes infra-rouge — et d'y recueillir, au passage, des renseignements importants.





LE PROJET DINOSAURE

A. Villevieille (*)

Faire tomber la pluie, là où règne la sécheresse... Ce vieux rêve de l'humanité, nous pourrions peut-être le réaliser demain. Mais il faut d'abord pouvoir mieux connaître la nature des nuages, et la meilleure solution consiste à s'installer dans un nuage comme dans un laboratoire naturel qui permette d'observer comment se fabrique la pluie. A. Villevieille explique ici pourquoi seul le dirigeable permet une exploration permanente.

Provoquer la pluie, là où règne la sécheresse : c'est sans doute l'un des grands paris de demain. Pour engager ce pari de la manière convenable, il faut d'abord mieux connaître le nuage et sa population de gouttelettes, et comprendre enfin comment ce nuage fabrique la précipitation. Face au problème ainsi posé, il n'est pas d'autre solution que de s'installer dans le nuage comme dans un laboratoire naturel, avec tous les instruments de micro-physique adéquats.

Mais alors, quel véhicule nous permettra-t-il de résider de façon semi-permanente dans ce laboratoire au sein de l'atmosphère ? L'avion est immédiatement exclu, parce qu'il agresse le milieu ambiant et perturbe ainsi l'observation des effets naturels. Aussi, parce qu'il traverse trop vite les petits volumes d'air nuageux où se déroule la transformation micro-physique recherchée.

L'hélicoptère est lui-même impropre à un tel travail scientifique. Reste le ballon, qui a pour premier mérite de ne pas « détraquer » le milieu. Mais le ballon libre est livré aux caprices de sa trajectoire ; le ballon captif n'embrasse qu'un volume atmosphérique assez limité et doit attendre l'événement à poste fixe. Le dirigeable paraît donc être la meilleure — et, en réalité, la seule — approche possible.

La pollution constitue un autre grand thème d'intérêt pour les météorologistes et les spécialistes de l'environnement. La pollution est un nuage, souvent plus ténu et plus diffus que le nuage météorologique, mais qui relève des mêmes lois de la microphysique et de la dynamique atmosphériques. A même problème, même solution : ici encore, le dirigeable semble le seul moyen d'aborder correctement la difficulté expérimentale.

Ces deux considérations ont principalement guidé l'EERM (1), en contact avec la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et le Ministère de la Qualité de la Vie, dans l'étude d'un véhicule nouveau, du type dirigeable, capable d'une observation in situ dans les basses couches et les couches nuageuses de l'atmosphère.

Une des premières conditions requises concernait naturellement, la maniabilité. Il est essentiel, en effet, de pouvoir rester quasi-stationnaire, soit par rapport au milieu (observateur de Lagrange) — dans le cas du nuage, par exemple —, soit par rapport au sol (observateur d'Euler) — dans le cas de sources de pollution géographique — réparties. Également, l'appareil doit pouvoir évoluer en espace réduit (rayon de giration), monter et descendre à grande vitesse (exploration suivant la verticale), voler sans risque au plus près du sol (étude de la couche-limite)...

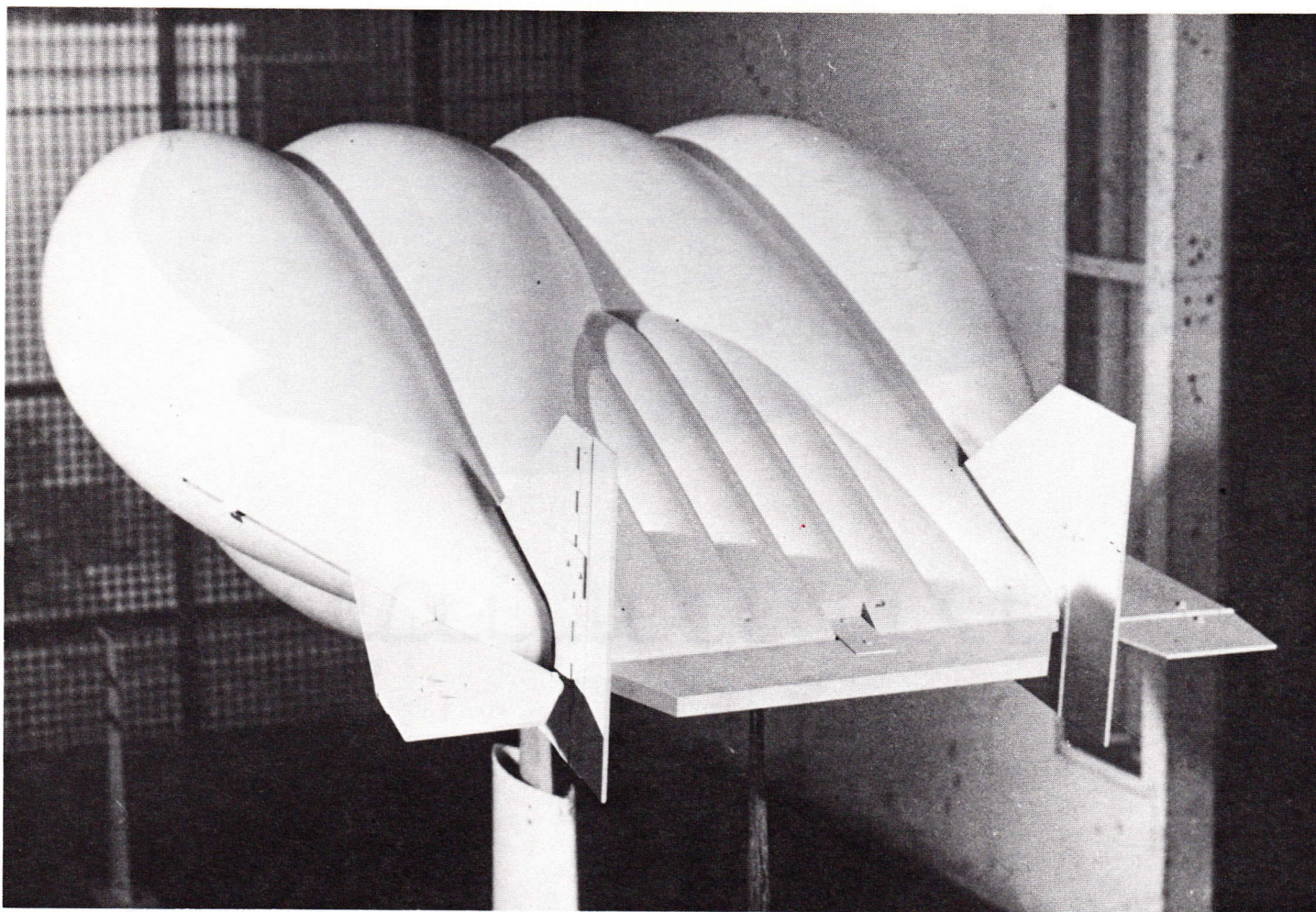
S'y ajoute, bien entendu, une condition de longue autonomie, soit que l'on veuille surveiller de manière systématique un site pollué, soit que l'on étudie au long de la journée — ou en alternance jour-nuit — la variation de tel ou tel phénomène, comme la convection.

Un deuxième ordre de conditions se rapportait à l'économie. A l'échelle du budget prévu (et du savoir-faire du moment) un projet géant n'apparaissait guère, de toutes façons, envisageable. Il fallait jouer la miniaturisation (pour autant que ce terme puisse convenir en matière de ballons !) et la simplicité de tous les sous-systèmes. La première variante retenue est ainsi automatique, c'est-à-dire que le véhicule n'est pas ha-

« La Girouette », par le Quesne (salon de 1898) : Paris au gré des vents.

(*) Chef de l'Établissement d'Études et de Recherches Météorologiques. Paris.

(1) Établissement d'Études et de Recherches Météorologiques, Météorologie Nationale.



bité. Un dispositif de télécontrôle (contrôle à distance par télémessure et télécommande) assure toutes les fonctions de pilotage et d'observation. Les divers composants, y compris la motorisation, sont choisis dans les « articles de catalogue », fiables mais peu chers.

On recherche, par ailleurs, des économies de fonctionnement. L'appareil doit pouvoir être manœuvré avec une équipe minimale de quelques personnes, stocké entre deux vols sans abri spécial, transporté en pièces détachées, de dimensionnement raisonnable, pour être remonté rapidement sur le site d'observation.

En bref, on vise, de toutes les manières possibles, un coût minimal, permettant d'assimiler — au plan financier — le nouveau véhicule à un avion léger de classe moyenne.

Pour diverses raisons, en partie liées à la taille de l'engin (et peut-être aussi à la vague « rétro » ?), ce projet a été nommé *Dinosaure*.

Un véhicule à mi-chemin de l'avion et du ballon

« *Dinosaure* » représente effectivement une coque de ballon avec profil aérodynamique, qui permet la combinaison des effets de portance archimédienne et de portance dynamique, induite, dans le cas particulier, par un moteur à hélice.

La justification de cette formule tient, bien entendu, à la condition de maniabilité déjà citée.

Le pilotage par gouvernes aérodynamiques est analogue à celui d'un avion. Les gouvernes et le pilote automatique sont d'ailleurs empruntés à l'aviation légère et ne demandent pas de développement, et sur-

tout, la forme adoptée, qui est celle d'une aile épaisse permet de compenser, par la portance aérodynamique, les surcharges qui constituent, on le sait bien, un lourd handicap pour le ballon (consommation de carburant, surcharge « climatique », givrage).

Enfin, la sécurité est notablement augmentée par rapport à un aérostat. Si, en effet, par suite de dommages au ballonnet, il y a perte accidentelle de poussée aérostatique, l'engin équilibre son poids en augmentant sa vitesse et son incidence de vol.

Le dessin du véhicule (2) comporte deux carènes trilobées disposées en catamaran, et réunies à l'arrière par une surface de raccordement ; l'ensemble est constitué d'éléments gonflables. On réalise de la sorte un profil d'aile à faible allongement, muni, sur son bord de fuite, de volets de profondeur, et de deux gouvernes d'extrémité jouant différemment en ailerons pour le contrôle latéral. Les gouvernes de direction sont implantées sur les dérives placées à la pointe arrière de chaque carène. Sous les carènes sont placées les coussins servant d'atterrisseurs. Dans le sillon central à l'intrados, entre les carènes, la nacelle propulsive est équipée de deux moteurs à explosion entraînant deux hélices à pas fixe.

On a dit plus haut les avantages principaux de cette carène en aile épaisse, qui permet de développer une portance aérodynamique appréciable sur l'extrados. Mais d'autres considérations ont joué. D'abord, la forme compacte (la projection horizontale est proche d'un carré) présente au sol un couple de « plaquage » élevé. La carène supporte d'ailleurs une trainée aérodynamique à peu près indépendante du vent incident : il n'est pas nécessaire de l'orienter dans le lit du vent.

A mi-chemin entre l'avion et le ballon : la maquette de Dinosaure.

Cette même forme permet aussi d'occuper beaucoup moins de surface de stationnement (24 m de longueur sur 18 m d'envergure hors tout). Toutes les opérations de maintenance sur la nacelle et les moteurs peuvent s'effectuer aisément à l'abri de la carène, qui se comporte ainsi, de manière assez originale, comme une sorte de hangar auto-protecteur.

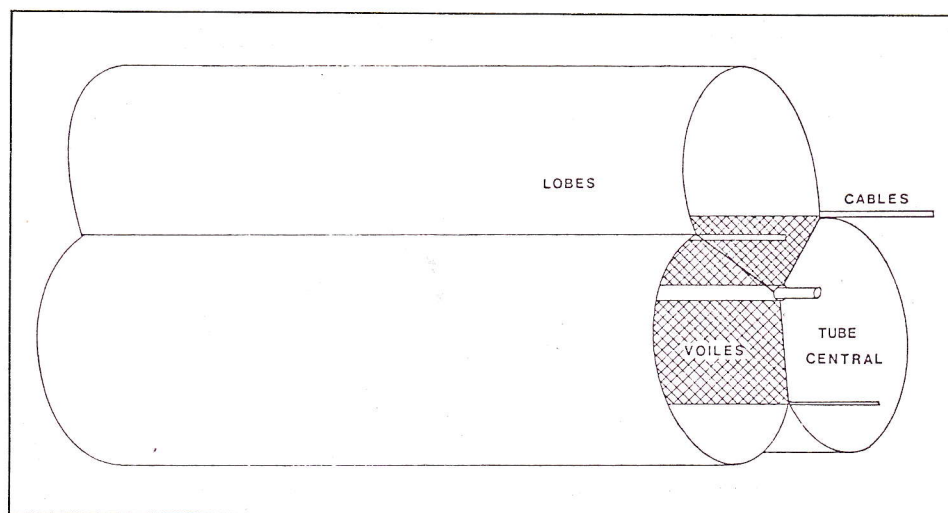
La structure légère en « arête de poisson »

La rigidité de la carène est assurée par un mât central qui la traverse de part en part. Ce mât est formé de tronçons indépendants enfilés dans une gaine de tissu, s'appuyant les uns sur les autres par une rotule, et travaillant exclusivement en compression et cisaillement. Ce mât est sous-tendu par un ensemble de haubans formés par des cables. Ces cables sont eux-mêmes reliés au mât par des voiles tendues par la pression, dans chacun des lobes qui constituent la carène.

Le mât central est maintenu en flambage par les actions contrariées des voiles opposées.

Si la carène est soumise à un effort de flexion supérieur aux conditions de calcul, la poutre plie au droit de l'une des articulations, et revient en place après disparition de l'effort. Elle offre, de ce fait, les mêmes avantages qu'une structure souple. Telle est la formule dite « d'arête de poisson », (due à « *Zodiac* ») qui a été retenue pour la carène. Elle possède deux avantages essentiels.

(2) Étudié avec la SNIAS (Aérospatiale) et la Société ZODIAC (ballons).



Structure en arête de poisson.

En premier lieu, la rigidité est analogue à celle d'une poutre rigide, le module apparent de la carène étant celui des éléments constitutifs (duralumin et acier). Cette rigidité est un des éléments souhaités dans la configuration « avion », pour fixer les caractéristiques de réponse de l'appareil à ses gouvernes aérodynamiques.

Mais aussi le poids de ce type de structure est, à caractéristiques mécaniques identiques, considérablement inférieur à celui de la solution « gonflable pur » (50 % environ) et à celui de la solution semi-rigide à poutre ventrale à treillis (60 % environ). C'est là un avantage considérable dans le devis de poids total qui est, évidemment, très critique pour un dirigeable miniaturisé.

Longévité « tous temps » : plus de 10 ans

La carène semi-étanche est surpressurisée à l'air ambiant par l'intermédiaire d'un ventilateur entraîné par un moteur électrique. Les ballonnets remplis de gaz aérostatique (hélium) sont disposés à l'intérieur de cette carène ; ils transmettent leur poussée par contact entre leur paroi et la paroi intérieure de la carène et des voiles. C'est une configuration classique : la variation d'altitude du dirigeable entraîne une variation du volume des ballonnets qui se dilatent dans l'espace empli d'air de la carène.

Celle-ci comporte un revêtement de surface des produits fluorés, tels que le téflon et le tedlar, qui permettent une excellente résistance aux agents atmosphériques extérieurs. La longévité « tous temps » est estimée supérieure à 10 ans. Les ballonnets eux-mêmes sont confectionnés en matériau à base de polyester, extrêmement étanche ; ils peuvent être facilement contrôlés et changés.

On voit bien l'intérêt de différencier les fonctions de résistance extérieure et d'étanchéité. Celle-ci est assurée dans les meilleures conditions par les ballonnets, qui sont à l'abri des accidents de contact, du vieillissement des matériaux (rayons UV, intempéries) et des fatigues cycliques entraînées par le travail mécanique de la carène.

La maintenance est facilitée par l'emploi de ballonnets modulaires facilement remplaçables. Et, naturellement, la possibilité même de la forme catamaran et de la structure à mât central n'est concevable que si la carène extérieure peut comporter de

nombreux assemblages et des traversées de pièces rigides, incompatibles avec une étanchéité totale à l'air.

Pilotage téléguidé

Le mini-dirigeable DINOSAURE est téléguidé, c'est-à-dire piloté à distance depuis le sol, par un pilote humain.

En fait, le pilotage est semi-automatique ; le servopilote fonctionne en intermédiaire entre les ordres transmis par le pilote au sol et les servo-commandes des gouvernes. Une électronique de pilotage embarquée élabore, à partir des informations de position détectées à bord, les braquages nécessaires à la correction des écarts.

Cette solution permet, sans complication significative de la bouche de commande :

- d'augmenter de manière importante la précision de pilotage,
- d'alléger considérablement la charge de travail du pilote et, donc, d'accroître la sécurité de la mission,
- de modifier les caractéristiques de vol du dirigeable de manière à améliorer sa stabilité dynamique (amortissement).

L'ensemble de contrôle à distance, dit télécontrôle, que l'on retrouve — mutatis mutandis — sur la nacelle d'instrumentation, comporte deux liaisons radio : l'une de télécommande (TLC) pour l'envoi des ordres de pilotage, l'autre de télémesure pour la diffusion des informations retour (TLM). Cet ensemble est complété par la transmission en temps réel de l'image vidéo (moniteur TV) de la région survolée par le véhicule. On y trouve différentes utilisations, en phase d'approche et d'atterrissage par exemple, en plus de la fonction navigation qui est assurée séparément par différents moyens au sol (radar, triangulation radioélectrique).

Un sous-système d'utilisation : les atterrisseurs à coussin d'air

On insistera quelque peu sur ce point, parce que la manœuvre des dirigeables au sol est traditionnellement très consommatrice en main-d'œuvre.

Dans le cas de Dinosaur, le système d'atterrissage est constitué de ventouses pneumatiques qui peuvent être mises en compression ou en dépression. En dépression, la carène est plaquée au sol : c'est la position de garage. En surpression, l'appareil est sans liaison avec le sol et peut donc être déplacé « à main », en translation et rotation, sans difficulté particulière.

Les ventouses sont constituées par des

tores de section circulaire, gonflés en permanence et munis d'une jupe d'adaptation au sol. Chaque ventouse est équipée d'un ventilateur centrifuge permettant de créer à l'aspiration sur le sol, une dépression comprise entre 4 et 8 millibars.

Nacelles d'instrumentation interchangeables

L'idée centrale du projet DINOSAURE est de proposer aux utilisateurs la plus grande souplesse possible, en spécialisant des nacelles « interchangeables », c'est-à-dire démontables et remontables avec facilité (on a prévu une fixation réglable pour ajuster le centre de gravité de l'ensemble). Toutes les nacelles respecteront, bien entendu, la charge-limite fixée arbitrairement à 400 kg.

On disposera donc, en principe, d'une nacelle par mission ; mais différentes variantes sont envisagées, avec moyens communs (télémessure, télécommande), alimentation et cases d'équipement adaptables, sur une nacelle multi-usages. Deux types d'instrumentation peuvent figurer à bord, pour des mesures « in situ » et pour des mesures « extra situ ».

Dans le premier type d'instrumentation, on trouvera, à côté des capteurs aérologiques classiques, des capteurs nouveaux, physico-chimiques (pour la pollution), granulométriques (pour la physique des nuages), et électriques.

Les développements en cours dans le domaine des couches minces et des ondes granulométriques en nuage trouveront là une application directe.

Dans le deuxième type d'instrumentation, il s'agit, de manière générale, de radiométrie multi-spectrale, avec systèmes de balayage plus ou moins sophistiqués, et couplés à la marche du véhicule. De tels systèmes nous ont été rendus familiers par les satellites météorologiques : il s'agit donc, en quelque manière, d'une transposition homothétique de systèmes initialement développés pour l'espace.

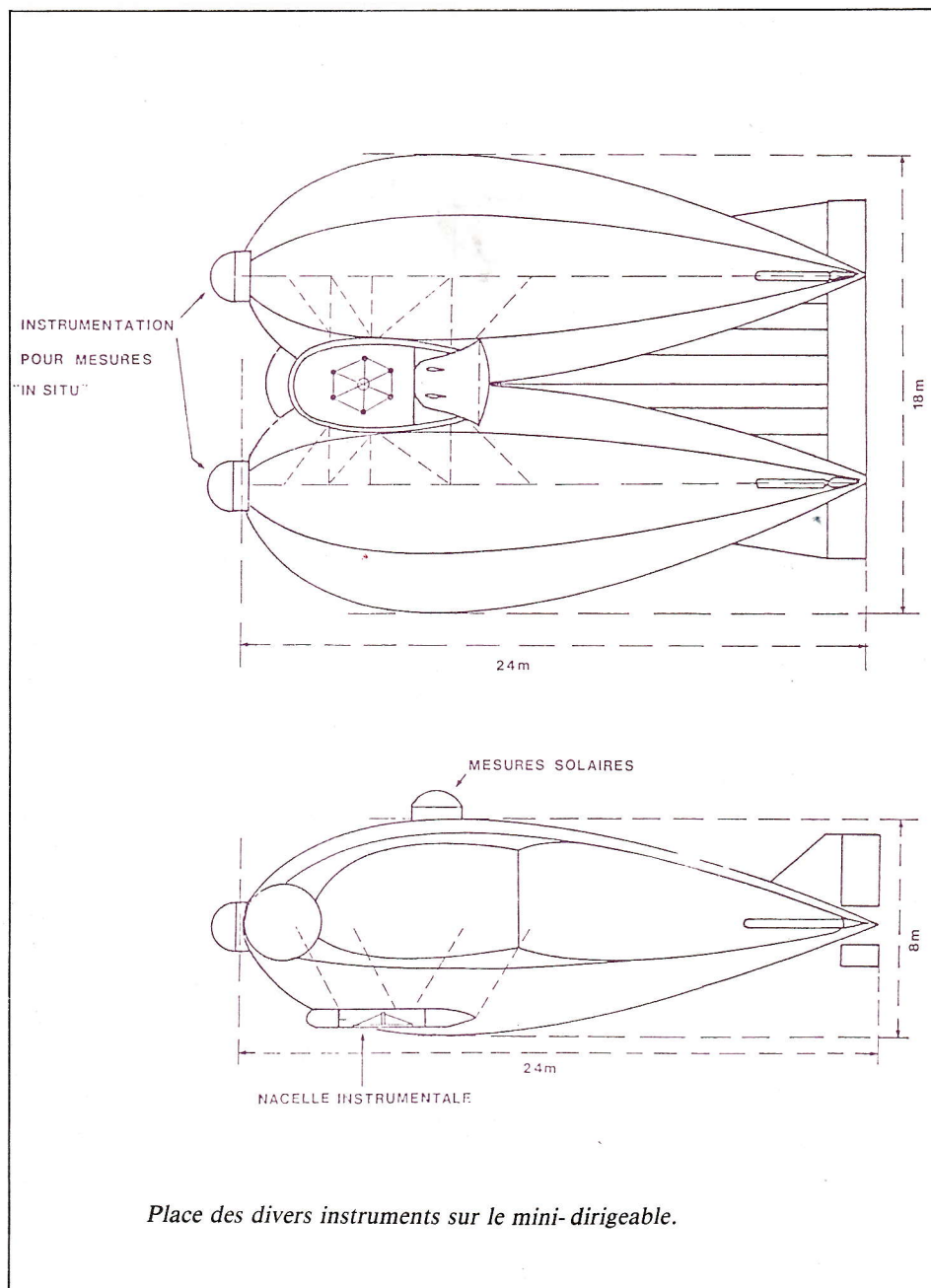
Comme cas particulier, la « photographie » infra-rouge de la carte thermique du sol (thermographie) sera utilisable pour l'étude fine des effets induits par la « tâche chaude » des sites urbains et industriels.

Dinosaure en vraie grandeur

Tout projet, scientifique ou technologique, progresse nécessairement par étapes et par sauts, de la première conception à la réalisation finale. On complète actuellement l'étude de faisabilité du véhicule DINOSAURE par des mesures poussées, à la fois en soufflerie aérodynamique et au banc d'essai en laboratoire des matériaux. Le dossier technique rassemblé prouve que l'engin est viable et peut désormais passer au stade d'une fabrication en vraie grandeur.

Parallèlement, on travaille à mettre au point les différents capteurs de caractère scientifique, qui s'attachent aux utilisations « pollution » et « modification du temps » (c'est-à-dire : pluie provoquée). Mais il est bien d'autres utilisations concevables, qui vont de la surveillance des incendies de forêt au relais d'images de télévision. Le système DINOSAURE a été conçu, à cet égard, avec le souci de la meilleure flexibilité : le court exposé qui précède s'est efforcé de le démontrer, chiffres à l'appui.

A. V.



Place des divers instruments sur le mini-dirigible.

Les performances de Dinosaure

Le projet Dinosaure a été construit autour de quatre spécifications de base :

- une gamme d'altitudes d'utilisation « normale » : jusqu'à 1.500 m (maximum : 3.000 m),
- une vitesse maximale de 30 m.s⁻¹,
- une autonomie de 10 heures (2 heures à 30 m.s⁻¹ ; 8 heures à 10 m.s⁻¹),

— une charge utile de 400 kg.
Ces performances peuvent être tenues par un véhicule de longueur 24 m pour une envergure hors tout de 18 m et un volume utilisable pour la sustentation de 1.400 m3 volume de l'hélium à 1.500 m : 1.160 m3). La propulsion devrait être assurée par deux moteurs Volkswagen d'une puissance totale de 133 CV (la vitesse de croisière de 10 m.s⁻¹ peut être tenue sur un moteur).

Domaine de vol			
Altitude de fonctionnement	H (m)	500	3 000
A même V _{mini} = 4,4 m/s			
Charge utile admissible (Équipements déduits)	CU (kg)	530	227
A même CU = 400 kg			
Vitesse minimale	V min. (m/s)	2,72	6,38

Devis de masse	
Structure	571 kg
Moteurs hélices	184 kg
Équipements divers	86 kg
Masse à vide équipée	841 kg
Charge utile et nacelle	400 kg
Masse hélium	159 kg
Masse carburant	85 kg
Masse totale	1 425 kg

VOULOIR LE TEMPS

H. Augustin (*)

Les tentatives de l'homme pour créer des environnements adaptés à un long séjour dans l'espace ou sur les planètes, mettent en lumière de façon frappante les merveilleuses caractéristiques de l'environnement terrestre et de son principal élément, l'atmosphère. Elles contribuent aussi à nous faire considérer la Terre comme une station spatiale comme les autres, et l'état actuel de l'atmosphère comme un état transitoire dont la conservation est loin d'être garantie. L'homme devra-t-il donc, tôt ou tard, intervenir pour sauvegarder l'intégrité de l'atmosphère, ou même pour améliorer son fonctionnement ?



Cette question risque d'être l'un des problèmes essentiels du prochain millénaire. Bien sûr, elle s'est posée depuis toujours et, dans sa démarche naturelle, portée vers la conquête de la nature par tous les moyens, l'homme a cherché, tant objectivement que subjectivement, à soumettre l'atmosphère à ses besoins sinon à ses désirs. Il a d'ailleurs été aidé par la nature qui a contribué à adapter les races aux climats et de façon plus générale à l'environnement local ou régional.

Sans nous attarder aux efforts subjectifs de l'homme, — qu'ils appartiennent à une certaine forme de spiritualité ou encore à divers artifices destinés à convaincre ses semblables d'un pouvoir mystérieux sur les éléments —, nous voulons ici donner un aperçu de ce qu'il a tenté de faire sur le plan de la physique ou de la physico-chimie et de ce qu'il peut envisager actuellement.

Le domaine atmosphérique que l'on considère se trouve en sandwich entre, d'une part le vide cosmique, et d'autre part une sphère terrestre interne considérée comme insensible aux fluctuations atmosphériques. La frontière atmosphère — terre du domaine sera donc située en dessous de la surface réelle à une distance approximative d'une vingtaine de mètres pour le sol (lithosphère) et d'environ 250 m. pour la mer (hydrosphère).

Vers le cosmos, la frontière du domaine est particulièrement diffuse. Malgré le vide presque absolu qui règne à 85 km d'altitude, la pression y étant le millionnième de la pression au sol, il est en effet possible de détecter des particules atmosphériques ionisées jusqu'à 600 km d'altitude. Au delà de ces particules, restent les champs magnétiques et électriques dont le rôle protecteur contre certaines émissions solaires, notamment les rayons X, semble important. Les atteintes éventuelles à ces milieux raréfiés et à ces champs, qui protègent l'atmosphère de certains rayonnements pénétrants, sont cités ici pour mémoire.

Nous ne pouvons en effet, à l'heure actuelle, aborder de façon valable en ce qui concerne la modification du temps, que les

problèmes posés par les couches dont la pression est supérieure au millième de la pression au sol et donc en-dessous d'une altitude maximale voisine de 50 km.

L'homme intervient.

Il intervient tout d'abord par une défense passive contre l'aléa atmosphérique. Ensuite, par diverses actions volontaires ou involontaires. Une démarche naturelle pour examiner ces interventions serait d'envisager chacun des aléas atmosphériques et les parades passives ou actives de l'homme.

Une synthèse plus rapide apparaît possible à partir des divers éléments du mécanisme atmosphérique.

Le rayonnement, tout d'abord, en étudiant les changements de l'albedo (1) de surface, de l'albedo des aérosols ou des gaz atmosphériques.

Les phénomènes nuageux ensuite, en examinant de plus près les modifications locales que l'homme peut leur apporter.

En chaque occasion, on cherchera à déterminer les influences dynamiques résultantes.

La ville : une bulle d'air chaud.

L'albedo de surface varie entre des valeurs minimales, comparables à celles du corps noir, par exemple celles de la surface des océans, et des valeurs maximales voisines de la réflexion complète, comme celles de la neige fraîche. Entre les deux, il y a les albedos faibles des zones irriguées et les albedos élevés des déserts.

L'importance de l'albedo est considérable vis-à-vis des énergies mises en jeu par l'homme.

Les variations annuelles naturelles, et notamment la croissance et le retrait des neiges, dépassent de loin toutes les possibilités humaines. Cependant, il existe une zone d'instabilité potentielle sur laquelle une action pourrait influencer l'ensemble du climat. En effet, en admettant que la température s'abaisse, la banquise va s'étendre. Cette extension va s'accompagner d'une augmentation de l'albedo et donc d'une réduction de température qui augmentera à nouveau l'étendue de la banquise. Sans facteurs de contrôle, une telle évolution refroidirait rapidement toute la terre. On ne connaît pas encore bien ces facteurs.

Certains chercheurs ont proposé diverses opérations dont il est difficile d'évaluer a priori le résultat. On a ainsi proposé soit de barrer par une digue le détroit de Behring, pour fermer l'entrée du Pacifique aux courants froids, soit, en même temps ou séparément, de répandre sur la banquise une couche de poussière noire, de la cendre par exemple, afin de réduire son albedo. La chaleur solaire ainsi absorbée par les glaces augmenterait leur fusion, provoquant un échauffement global.

(*) Chef adjoint de l'Etablissement d'Etudes et de Recherches Météorologiques.

(1) Albedo : voir article Royer.

Mais, à plus petite échelle, on constate déjà les effets locaux dus à l'urbanisation. Celle-ci augmente l'albedo et réduit la conductibilité thermique du sol. Ces modifications jointes aux effets du chauffage urbain et à l'augmentation du frottement de l'air en surface contribuent à donner aux villes une atmosphère plus chaude que la campagne avoisinante. La bulle d'air chaud ainsi créée est visible sur les photos aériennes infrarouge. Elle peut entraîner des ascendances d'air et augmenter les pluies sous le vent de la zone urbaine.

On a aussi pensé qu'à la suite des grands feux de brousse ou de forêt dans les régions tropicales, l'albedo du sol était réduit par les cendres et que la zone chaude ainsi créée pouvait entraîner des ascendances d'air favorables au déclenchement des averses. Mais cet effet, moins important ici que les effets du feu lui-même, n'a pas encore été mis en évidence de façon certaine.

Il en est de même de certaines tentatives de modification de l'albedo de régions désertiques par le bitumage de grandes surfaces.

À côté de l'albedo de surface, il importe de considérer celui des couches atmosphériques aux diverses altitudes, dont l'importance est comparable. Ce sont surtout les nuages d'eau et de glace qui sont responsables de cet albedo ; mais on trouve aussi les poussières et les aérosols ainsi que la teneur de l'atmosphère en gaz absorbant certaines composantes du rayonnement solaire.

L'albedo moyen des nuages, qui est de 10 à 25 % pour les nuages de glace, peut atteindre 70 à 80 % pour les nuages épais de gouttelettes d'eau liquide.

L'influence humaine peut être ici considérable. Les avions modernes provoquent très souvent des traînées de condensation qui sont des cirrus artificiels. Les effets de ces traînées apparaissent peu importants et sont encore très discutés. Il est très difficile de les séparer des effets des poussières volcaniques projetées dans la haute atmosphère par les grandes éruptions. L'influence de ces dernières a pu être mesurée depuis 1958 dans des observatoires de haute altitude, notamment celui du Mauna-Loa à Honolulu. Les plus fortes éruptions modifient l'albedo global de 2 à 3 % pendant une à deux années. Toutefois, l'éruption du Krakatoa en 1883 a eu pendant près de dix ans une influence sur la couleur du ciel, perceptible notamment par la couleur du ciel au coucher du soleil.

On ne sait pas encore si, à certaines périodes de l'année, ces poussières ne s'accumulent pas de façon privilégiée, à certaines altitudes, y causant des perturbations atmosphériques. L'exemple le plus frappant est celui du Canada en 1816. Cette année là, la persistance des gelées tout au long de l'année avec une absence totale d'été fut attribuée à l'éruption du volcan Tambora en 1815.

L'albedo des couches basses et moyennes de l'atmosphère, est aussi modifié par les poussières arrachées au sol par le vent, les fumées des feux de brousses et celles des usines.

Toutefois jusqu'ici les mesures de densité et d'origine de ces diverses poussières n'ont jamais été systématiquement menées. Tout au plus sait-on que c'est dans les régions tropicales, et notamment en Asie et

en Afrique, que sont produites de façon permanente par érosion éolienne les plus grandes quantités d'aérosols naturels. A ceux-ci, se superposent de façon saisonnière les aérosols dus aux feux de brousse.

Cette production est encore supérieure de deux tiers à celle des usines de l'Amérique du Nord ou de l'Europe, mais les spécialistes prévoient qu'elles s'égaleront vers l'an 2000.

À petite échelle, la seule pratique courante basée sur une modification volontaire de l'albedo atmosphérique est l'utilisation par les agriculteurs de dispositifs producteurs de fumées pour protéger leurs cultures, notamment vignes et arbres fruitiers contre le gel. Il apparaît en effet que le refroidissement par rayonnement nocturne de l'air stagnant au voisinage du sol peut être ralenti, sinon stoppé, par des fumées opaques au rayonnement thermique infra-rouge du sol. Ces fumées sont produites de façon assez économique par des feux d'huiles usées. Des procédés plus perfectionnés sont basés sur l'aspersion d'eau, dont la vapeur est partiellement opaque, elle aussi, au rayonnement. Mais c'est surtout au niveau des feuilles des plantes qu'elle agit. Il se forme en effet sur ces feuilles une couche de glace qui joue le rôle d'isolant thermique et limite leur refroidissement.

On peut aussi penser que de vastes opérations destinées à favoriser la formation de gouttelettes nuageuses à l'aide d'agents d'ensemencement appropriés pourraient contribuer à modifier l'albedo de l'atmosphère au-dessus de zones plus ou moins importantes mais jusqu'ici ce type d'expérience n'a pas retenu l'attention des expérimentateurs.

Un changement de la composition des gaz constituant l'atmosphère peut aussi modifier le bilan radiatif atmosphérique. Du point de vue radiatif, les gaz les plus importants malgré leur faible concentration, sont le gaz carbonique et l'ozone. Au-delà, il importe aussi de considérer le dioxyde de soufre et les divers oxydes de l'azote.

En 2000 : 30 % de plus de gaz carbonique.

La combustion croissante des carburants fossiles semble bien avoir augmenté de 30 parties par million, soit plus de 10 %, la quantité moyenne de gaz carbonique contenu dans l'atmosphère. Une extrapolation jusqu'à l'an 2000 conduit à environ 30 %.

L'augmentation de température due à l'accroissement correspondant de « l'effet de serre » semble, à première vue, devoir être compensée par une augmentation simultanée de la nébulosité.

Une modélisation intensive de ce phénomène a été entreprise, qui conduit à une variation positive de 0,2 à 0,3° C pour chaque accroissement relatif de 10 %. Mais ce n'est encore là, semble-t-il, qu'un résultat provisoire et qui peut être remis en cause par les progrès des modèles comme par une meilleure observation à partir des satellites.

Une modification, même locale, du climat avec un accroissement de gaz carbonique n'a pas été expérimentée ; elle pourrait être tentée dans certaines atmosphères artificielles pour augmenter l'effet de serre.

En ce qui concerne l'ozone, dont la teneur conditionne la température de la stratosphère, les modifications de sa concentration auraient une importance considérable à l'échelle globale.

L'ozone en danger.

La vapeur d'eau et les oxydes d'azote créés par la combustion à haute température des carburants dans les réacteurs d'avions stratosphériques peuvent, en particulier, réagir sur l'ozone. Une étude de ces effets a été engagée simultanément dans divers pays ; en France, le Comité COVOS, créé par le Secrétariat à l'Aviation Civile, y a consacré de longues années de travail. Il apparaît, à l'heure actuelle, que les craintes concernant les avions stratosphériques étaient très exagérées. Les plus pessimistes concluent à l'innocuité d'une flotte d'une centaine d'appareils supersoniques en vol permanent au-dessus de la terre. Par contre, on a découvert que l'ozone pouvait être détruit par action catalytique des oxydes de chlore, ceux-ci résultant de l'évaporation des fréons utilisés dans les réfrigérateurs et les bombes à aérosol. Un nouvel effort est donc entrepris en France et à l'étranger, pour examiner les effets de ces oxydes du chlore et des divers halogènes. La D.G.R.S.T. en particulier vient de lancer dans ce but une action thématique programmée (ATP) « Stratosphère ».

On pourrait imaginer des actions humaines volontaires sur l'ozone stratosphérique, éventuellement pour compenser les effets des fréons, mais rien n'a encore été proposé.

Le cycle du dioxyde de soufre, dont la production par les industries humaines atteint actuellement le tiers de la production naturelle, préoccupe aussi la communauté scientifique. La capture de ce gaz par gouttelettes de nuage ou de brouillard peut entraîner des concentrations d'acidité locales irritantes pour les voies respiratoires. De plus, on se préoccupe de ce que devient la concentration océanique de cet élément qui, une fois lessivé par les précipitations, s'accumule dans les mers. On en trouve aussi dans les lacs. Tout récemment, les pays nordiques qui constataient un accroissement de l'acidité de leurs plans d'eau avec disparition de certains poissons, ont demandé une enquête internationale. Celle-ci devait notamment rechercher si le dioxyde de soufre émis par l'industrie européenne n'était pas entraîné de façon privilégiée vers la Suède et la Norvège.

Les premiers résultats semblent négatifs, mais ils ont permis de constater les énormes difficultés rencontrées, tant pour mesurer de façon valable ce composant que pour « modéliser » convenablement son transport atmosphérique et son évolution chimique au cours de ce transport.

Ce dernier problème nous éloigne un peu de l'atmosphère elle-même, encore que la prévision du temps doive comporter de plus en plus une prévision complémentaire de la composition de l'atmosphère à ses divers niveaux, en particulier pour permettre la mise en œuvre de mesures préventives d'effet rapide.

De telles prévisions pourraient aussi devenir nécessaires à échéance en ce qui concerne les effets locaux des émissions de chaleur provenant des centrales nucléaires.

En effet, bien que peu importantes à l'échelle globale, ces émissions sont accompagnées soit d'une vaporisation d'eau soit d'un échauffement des eaux de rivière ou des eaux côtières.

Un gros effort est actuellement entrepris pour déterminer ces effets, notamment

par une modélisation appropriée et y porter remède par un choix convenable des méthodes de refroidissement et de la localisation des dispositifs correspondants.

Les « faiseurs de pluie ».

Il nous reste maintenant à aborder le domaine de l'accroissement des précipitations qui depuis la dernière guerre mondiale est l'objet de multiples tentatives et qui doit donner lieu à divers programmes de recherche. En France, le programme de la Météorologie (EERM) est associé à l'Action Complémentaire Coordonnée (ACC) « Modification du temps » de la DGRST (1). Sur la plan international, est en cours d'élaboration un programme intitulé « Programme d'augmentation des précipitations » (PAP), patronné par l'Organisation Météorologique Mondiale.

Ces divers programmes sont indispensables pour éclaircir la situation inextricable créée par la mise en œuvre prématurée, par

(1) Délégation générale à la Recherche Scientifique et Technique — France.

des affairistes peu scrupuleux, des premiers résultats scientifiques.

Ceux-ci apparaissaient effectivement très prometteurs. En introduisant en 1946, un fragment de neige carbonique dans une enceinte de gouttelettes d'eau en surfusion, des chercheurs américains avaient déclenché une congélation brutale des gouttes et une accélération de leur précipitation.

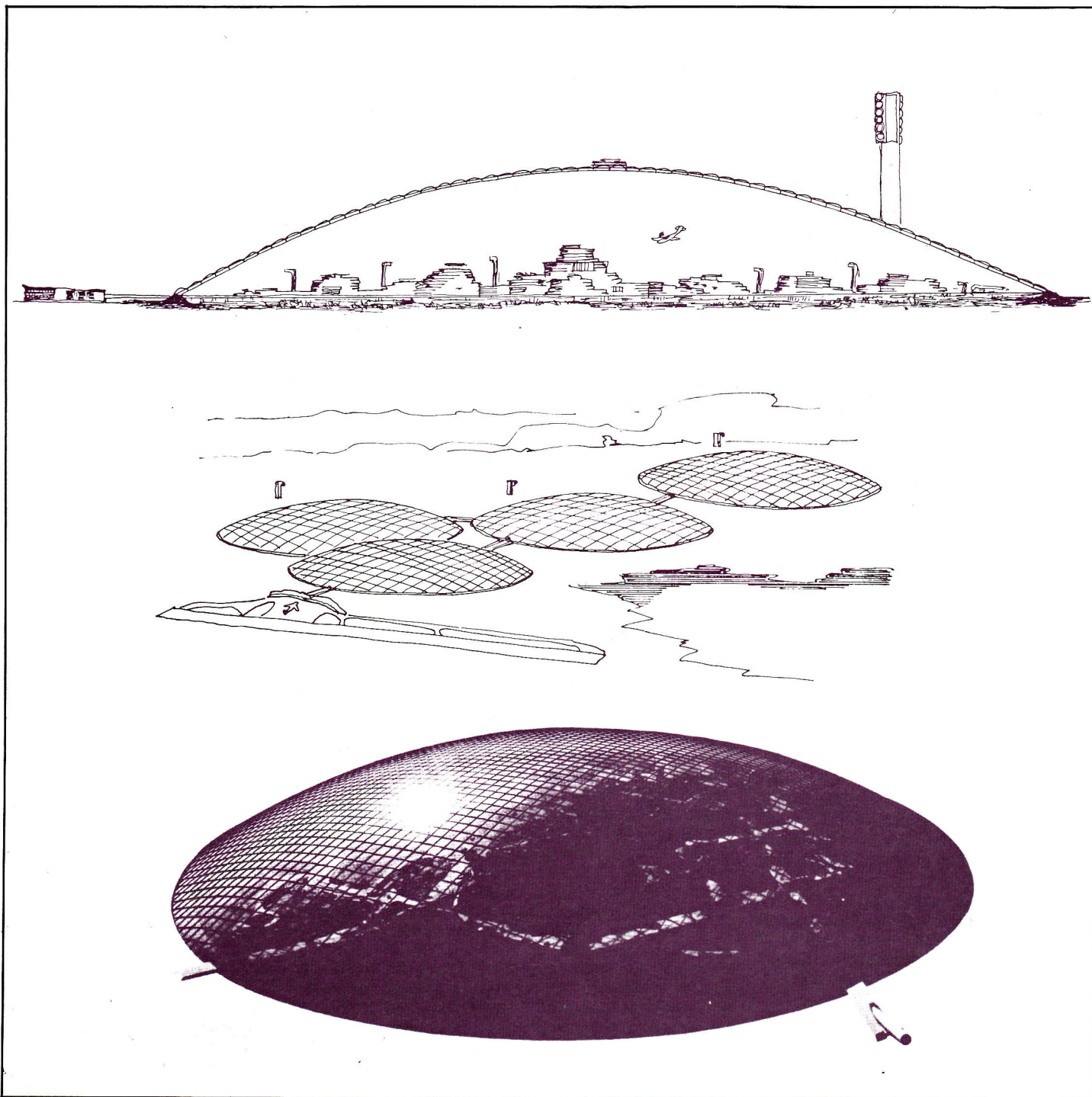
L'expérimentation consécutive dans les nuages naturels d'eau surfondue, avec des cubes de glace carbonique jetés d'avion avait produit, par la création d'énormes tranchées dans ces nuages, des effets assez remarquables. Très rapidement, les chercheurs comprirent que cette action devait accélérer le déclenchement des précipitations et attaquèrent par ce procédé le sommet des gros cumulus.

En de nombreuses occasions, ils obtenaient des résultats spectaculaires. L'ensemencement était suivi d'un bourgeonnement intense et de congélation de la partie la plus haute de ces bourgeons nuageux avec simultanément production d'une averse.

Toutefois, les expérimentateurs consciencieux s'apercevaient bientôt que ces résultats spectaculaires concernaient seulement les nuages très importants qu'ils choisissaient de préférence aux autres et que, même sans être traités, d'autres nuages de développement comparable évoluaient naturellement de façon identique: il s'agissait donc peut-être seulement d'un phénomène de maturité nuageuse naturelle et d'une simple coïncidence.

Mais, quand on a fait l'effort de réunir les moyens d'une telle expérimentation et de la mener à bien, c'est-à-dire d'arriver à atteindre en avion le nuage à la bonne altitude et à opérer au moment opportun, la puissance de l'illusion est considérable. D'au-

Le rêve des planificateurs urbains : une ville de climat stable. Ici le projet d'une ville de l'Arctique 1971, par l'atelier Warmbronn Frei Otto et Ewald Buner, collaborateurs Kenzo Tange, Urtec et Arap associates.





2

L'Orage

tant plus considérable que, même s'il y a un doute dans l'esprit de l'opérateur, les spectateurs très souvent ignorants des problèmes de la météorologie, s'extasiaient sur son pouvoir, voisin de la magie.

Toutefois, sans attendre une vérification scientifique qui, — on s'en est aperçu plus tard —, nécessite d'énormes moyens, des « faiseurs de pluie » se sont lancés à la conquête d'un fabuleux marché. Dans un continent il y a en effet toujours une contrée plus ou moins touchée par la sécheresse et où des pluies, même faibles, peuvent sauver d'importantes récoltes, ou encore une distribution d'eau ou une production hydroélectrique défailante.

Avec une certaine connaissance des phénomènes météorologiques il est possible de prévoir l'apparition sur ces régions de nuages favorables à la pluie et donc d'ajouter à une action supposée efficace une probabilité non négligeable de réussite.

Payés par des syndicats de fermiers, des municipalités ou des producteurs d'électricité, des expérimentateurs bien doués firent rapidement fortune. Il leur suffisait de faire

état de leurs réussites et de passer sous silence leurs échecs. Quand on s'aperçut de cette situation, ils avaient déjà émigré pour vendre leurs services à l'étranger et notamment à des pays peu développés.

A vrai dire, d'autres techniques s'étaient très rapidement développées. On avait rapidement découvert les effets girants de l'iodure d'argent, efficace à partir de -4°C et qui présentait l'avantage de pouvoir être diffusé dans l'atmosphère sous forme de fumées, si bien que les expérimentateurs utilisèrent aussi ce nouveau produit.

Vers 1960, vint s'y ajouter le propane liquide efficace sur les gouttes en surfusion à partir de -1°C , puis l'urée, moins courante, mais que sa chaleur de dissolution positive semble rendre efficace au-dessous de $+6^{\circ}\text{C}$. Enfin, à partir d'une théorie concernant la possibilité de formation de la pluie par une réaction en chaîne dans des nuages entièrement à température positive et donc sans gouttelettes surfondues, on imagina d'accélérer le processus naturel de déclenchement en répandant dans les nuages, à titre d'amorce, soit de petites gouttes d'eau, soit des particules de sel marin.

Il apparaissait en effet, que ces gouttes à peine plus grosses que les gouttelettes naturelles du nuage pouvaient en tombant au milieu de celui-ci les capter par coalescence et atteindre un diamètre suffisant pour éclater en plusieurs petites gouttes avant de sortir de la base du nuage. Si le courant ascendant entretenant le nuage est suffisant pour soulever ces nouvelles gouttes de telle façon qu'elles grossissent à nouveau par coalescence et éclatent encore avant leur sortie du nuage, on voit apparaître une réaction en chaîne qui explique notamment le brusque déclenchement de l'averse lorsque la masse d'eau ainsi suspendue est devenue trop lourde pour le courant ascendant.

Pour tester effectivement cet arsenal de moyens, on ne pouvait compter sur des commerçants. Un Comité de Contrôle, créé en 1956 par le gouvernement américain avait d'ailleurs mis en évidence l'imprécision des résultats avancés par les faiseurs de pluie, tandis qu'une conférence scientifique à Tucson (Arizona) mettait en évidence la nécessité de faire des expériences avec triage au sort et contrôlées statistiquement par des organismes non commerciaux.



Les résultats apparaissaient rapidement contradictoires. On remarquait notamment qu'en utilisant l'iodure d'argent, les premiers résultats étaient positifs, mais qu'au bout d'un certain temps ils semblaient devenir négatifs. On découvrait alors que des noyaux persistaient plusieurs jours sinon parfois plusieurs mois après leur émission. On constatait en outre que certaines essences, notamment les pins et les sapins, concentrent ces noyaux sur leur feuillage.

Ces résultats périssent, pour l'iodure d'argent, le triage au sort et même l'utilisation d'une aire de contrôle qui ne peut à la fois être à l'abri de la diffusion et soumise de façon comparable aux phénomènes météorologiques.

Mais, avant qu'on les obtienne, l'effervescence avait pris l'allure d'une compétition internationale. L'URSS prenait le relais et proclamait urbi et orbi sa maîtrise du temps. Simultanément, en France, des associations de lutte contre la grêle répandaient à qui mieux mieux des kilogrammes d'iodure d'argent dans l'atmosphère pour tenter de faire précipiter les nuages avant qu'ils n'aient atteint le stade « grélique ». Les USA tentaient enfin de réduire la puissance des cyclones par un raisonnement analogue mais avec des moyens considérables.

A l'heure actuelle, l'absence de résultats vraiment probants et la conviction qu'une expérimentation décisive nécessite une énorme quantité de moyens ont quelque peu assagi les chercheurs. Ceci d'autant plus qu'on sait maintenant mieux apprécier la durée de vie des éléments nuageux convectifs souvent trop faible pour qu'une action entreprise sur un individu considéré puisse concerner encore une demi-heure après le même individu.

Positionner exactement la zone et le moment de l'ensemencement, connaître l'évolution granulométrique et dynamique du nuage, avant et après, est une tâche presque insurmontable.

D'un autre côté, tenter des évaluations statistiques de résultats d'opérations à grande échelle, menées dans des conditions très strictes de contrôle sur un terrain choisi internationalement, est le but du programme PAP de l'OMM et il n'est pas évident qu'il réussisse.

Le maître du temps : un fonctionnaire ?

Sur le plan pratique que nous reste-t-il ?

Une excellente technique de dissipation des brouillards givrants en-dessous de -1°C avec du propane, technique utilisée sur les aéroports français, et qui se trouve complétée par un procédé thermomécanique qui permet une trouée dans l'approche pour les brouillards à température positive.

Une meilleure approche des problèmes physico-chimiques de l'eau dans ses trois phases, problèmes qui se révèlent particulièrement ardues et dont les variantes sous l'action de composés divers, plus ou moins hygroscopiques ou isocristallins restent à éclaircir, notamment à la lumière de récents progrès en matière de physique du solide et de physico-chimie moléculaire.

Une meilleure connaissance de l'évolution dynamique des nuages qui apparaît extrêmement complexe et peut prendre des formes extrêmement variées.

Enfin, peut-être, la prise de conscience de la nécessité d'une certaine sagesse internationale.

Si nous revenons à nos atmosphères artificielles pour des stations spatiales telles que celles décrites dans un numéro récent de cette revue (*) et qui compteraient plusieurs milliers de passagers, nous constatons que nous n'avons qu'esquissé le tableau ayant évité notamment les problèmes qui concernent le champ électrique atmosphérique, dont on commence à percevoir l'intérêt tant pour le bien-être des animaux supérieurs que pour les plantes.

Créer, dans une telle station, grâce à des cycles de réactions consommant unique-

19 wagons-citerne recroquevillés à cause du froid en février 1976 à Neufchâteau (France).

ment l'énergie solaire, un domaine atmosphérique ayant des propriétés comparables à celui que nous venons de décrire apparaît comme une entreprise considérable.

Mais imaginons qu'elle soit menée à bien. Pour être vivable, une telle atmosphère devra comporter des champs suffisamment variables, notamment en ventilation, et ne pourra probablement se passer ni d'aérosols, ni d'un lessivage sur place par une pluie dont il faudra bien décider le moment.

Bien sûr, on peut penser que ces cycles seront si pointus que seul un ordinateur pourra les agencer. Mais admettons qu'il reste une marge de liberté... quelle politique pourra en décider pour le bien commun ?... Le maître du temps sera-t-il un simple fonctionnaire ? exécutera-t-il les ordres d'un dictateur ou les résultats d'un vote démocratique ?

Poser un tel problème peut apparaître prématuré et cependant, dès maintenant pour notre domaine terrestre, certaines actions dépassent les frontières nationales. On peut citer en exemple la diffusion de l'iodure d'argent, dont les effets ne semblent heureusement pas bien dangereux, mais aussi d'autres éléments suspects comme les fréons ou le dioxyde de soufre.

Il faut aussi envisager le cas d'une action sur les nuages en un point critique du semi-équilibre entre deux masses d'air, action qui favoriserait la naissance d'une tempête en ce point plutôt qu'en un point voisin, et qui conditionnerait tout ou partie de l'évolution ultérieure du temps avec, au pire, l'éventualité d'inonder un pays ou d'en assécher un autre.

La sagesse viendra-t-elle d'expériences malheureuses et des guerres météorologiques ou d'un contrôle bienveillant, mais sévère, accepté par la communauté des nations ? Il faut se le demander.

* 2000 n° 36, 1976.

La composition de l'atmosphère

Quelle est la composition de l'atmosphère et de quelle façon se régénère-t-elle ?

La masse atmosphérique est environ un millionième de la masse terrestre ; l'oxygène y est apparu sans doute à l'origine par dissociation photochimique de la molécule d'eau dans la haute atmosphère, action rapidement dépassée par la photosynthèse chlorophyllienne dès l'apparition des premières plantes vertes. La pression partielle d'oxygène nécessaire à la respiration des êtres supérieurs, soit environ 200 millibars, semble avoir été atteinte depuis longtemps et l'équilibre actuel avec 4 parties de gaz neutres pour une d'oxygène permet d'éviter les combustions explosives.

La stabilité de la composition atmosphérique est assurée par divers cycles. Tous les éléments présents dans l'atmosphère naissent à la surface de la terre dans certaines zones, et y retournent dans d'autres. On peut en première approche négliger les phénomènes extérieurs au domaine, tout en citant deux d'entre eux à titre d'exemple :

- les éruptions volcaniques,
- les radiations de haute énergie

provenant du cosmos.

La surface agit comme reproductrice de

gaz et d'aérosols de multiples origines. Les principaux sont les poussières éoliennes des déserts, les embruns marins et les microorganismes végétaux.

Elle se manifeste en sens inverse, par absorption des gaz et par récupération des particules, que celles-ci soient sédimentées par gravité ou entraînées par les précipitations.

La notion d'action de surface est à considérer de façon extensive ; elle comporte notamment toute l'action biologique des éléments et leur intervention dans les divers cycles naturels, du carbone, de l'eau ou encore de divers autres éléments secondaires comme le sodium, le calcium, le magnésium ou le soufre.

A ces absorptions et émissions naturelles, il importe d'ajouter celles qui résultent de l'activité de l'homme et notamment de ses industries de production ou de transport avec une mention spéciale du transport aérien.

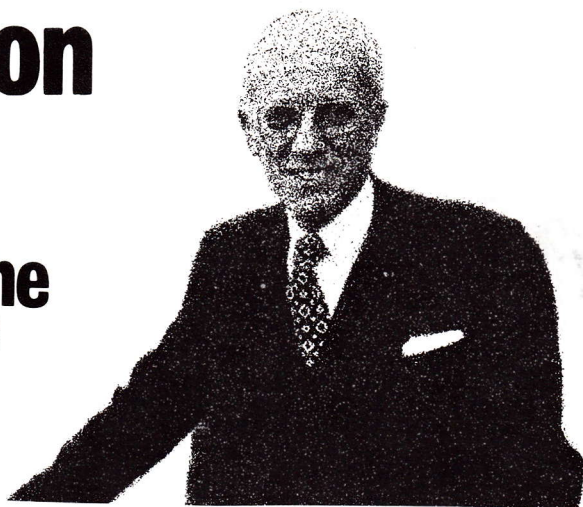
Sans nous étendre ici sur cet immense sujet, il importe de noter que l'atmosphère ne nécessite aucune protection matérielle contre le vide cosmique et que le domaine apparaît comme auto-épurant et capable de se renouveler sans l'intervention humaine.

Estimation des énergies impliquées par les variations du climat à grande échelle

	Globale (Téravatts)	Densité (Watts/m ²)
A - Paramètres extérieurs		
- Constante solaire	173 000	= 340,0
- Energie solaire introduite dans le système terre-atmosphère	123 000	= 241,0
- Radiation brute à la surface terrestre	52 000	= 102,0
- Chaleur géothermique	32	= 0,063
- Pertes par rayonnement dues aux poussières volcaniques et à la stratosphère	100/300	
- Expulsion de glaces polaires antarctiques	50/100 (*)	
B - Paramètres intérieurs au système terre-atmosphère		
- Absorption dans l'atmosphère	45 000	= 88,0
- Energie potentielle utilisable (pour les mouvements atmosphériques)	1 200	= 2,4
- Variation pour une variation de nébulosité de 1 %	350	= 0,67
- Variation de l'évaporation océanique équatoriale	300	= 0,59
- Processus photosynthétiques	+ 92	= 0,18
- Variation de la couverture neigeuse	110	= 0,22
- Variation de l'étendue des glaces polaires arctiques	50 (*)	
C - Paramètres liés à la présence de l'homme		
	an 1970	an 2000
- Production d'énergie	8 = 0,015	40 = 0,075
- Croissance de la teneur en CO ₂ de l'atmosphère	1,5 = 0,003	2,4 = 0,005
- Feux de brousse (injection thermique directe)	3 = 0,006	?
- Poussières troposphériques industrielles et urbaines	1,7 = 0,003	2,5 = 0,005
- Poussières troposphériques végétales	5 = 0,010	6 = 0,012
- Consommation d'eau (évaporation)	140 = 0,270	390 = 0,73
- Défrichage de la forêt tropicale	/	17 (*)

Innovation sociale: à la recherche de modèles ?

François Bloch-Lainé (*)



En Janvier 1977, était créé en France le Centre d'Information sur l'Innovation Sociale, avec l'aide de la Fondation de France. Ce Centre identifiera et analysera les expérimentations en cours dans le domaine social et culturel, principalement en France. Son Président, François Bloch-Lainé, analyse pour « 2000 » les problèmes que peut poser une centralisation de la connaissance de l'innovation.

2000 : L'organisme que vous présidez a été créé pour recenser l'innovation sociale. Est-ce bien pour recenser à la façon d'un centre de documentation, ou bien voulez-vous aller au delà, et favoriser cette innovation sociale et culturelle ?

B-L : La documentation n'est pas une fin en soi. Quand elle porte sur la vie collective, sur ses manifestations les plus neuves, elle est faite pour alimenter l'action, pour accélérer le progrès. Notre but est d'éviter que les informations susceptibles d'être stimulantes ne dorment chez des détenteurs divers, ne communiquant pas entre eux. Les travaux du VII^e Plan, relatifs à la Recherche, après d'autres occasions d'alerte, ont dénoncé le scandale de la mauvaise utilisation des « données » en science humaines, de données éparées, mal collectées, mal conservées et inaccessibles. S'agissant de témoignages particulièrement périssables, parce que faits pour être — si je puis dire — consommés frais, le cloisonnement, la fermeture, la non-communication des sources existantes serait scandaleuse. L'ambition de notre « Centre d'information sur les innovations sociales » est de faire en sorte que les expériences intéressantes soient connues le plus vite et le mieux possible, dans des domaines où les initiatives sont stimulées et guidées par l'exemple.

Les collectivités et les administrations qui encouragent et soutiennent notre projet pensent, comme nous, qu'on peut, en informant, déterminer de bonnes réactions en chaîne. Les innovateurs ont besoin les uns des autres pour se tromper le moins possible, pour réduire le temps nécessaire aux découvertes et aux tâtonnements, quel que soit le secteur de la vie sociale dans lequel ils opèrent. Ils peuvent s'éclairer réciproquement, avec l'aide d'observateurs objectifs.

Il existe déjà des recensements faits en des lieux divers. Nous voudrions d'abord contribuer à leur « inter-connexion », éviter qu'on n'accumule, chacun pour soi, un sa-

voir utile aux autres. Et, en même temps, compléter, enrichir ces accumulations pour qu'elles soient fructueuses, au sens propre du terme.

2000 : L'innovation sociale est souvent citée comme un des moyens, pour la prospective, de « prendre chair ». Pensez-vous que cela soit exact ? Quels sont selon vous les rapports entre prospective et innovation sociale à long terme ?

B-L : S'agit-il pour la prospective de « prendre chair », c'est-à-dire de vérifier ses dires en s'incarnant pour les appliquer, ou de s'inspirer de ce qu'elle constate ? Je ne serais pas rassuré si les observateurs d'innovations sporadiques les considéraient comme le moyen, pour eux, d'essayer ce qu'ils imaginent, comme des lieux d'expériences pour leurs théories. Il y a là une tentation qui m'inquiète chez certains sociologues : concevoir d'abord, essayer ensuite. Disons plutôt que, pour tous ceux qui sont attentifs aux « faits porteurs d'avenir », les innovations sociales constituent des signes à interpréter, des événements significatifs et annonciateurs qui sont préférables aux fantasmes purs.

Ce qui fait l'intérêt des innovations sociales, c'est qu'elles naissent de la base, qu'elles foisonnent avant d'être ordonnées. On peut les analyser de façon un peu systématique pour les comprendre et les classer ; mais il faut se méfier des extrapolations qui procèdent d'un excès de zèle rationnel et qui cataloguent prématurément au musée de l'avenir des choses vivantes, incertaines et changeantes.

Les hommes de la prospective seront les bienvenus dans notre observatoire où ils trouveront, je l'espère, le temps aidant, des éléments de réflexion importants. Mais ils devront être aussi discrets vis-à-vis des acteurs, avec leur impatience de la connaissance de l'avenir, que les amateurs du passé, avec leurs craintes et leurs regrets. Pour qui s'occupe de faire des semis voire de repiquer, comme disent les jardiniers, l'actuel suffit, au moins dans un premier temps. Les grands projets de plantations, de transplantations dans le futur sont, dans la hiérarchie des préoccupations, pour un peu plus tard. Les prospectivistes peuvent accompagner fraternellement les innovateurs, sans les irriter ni les contraindre, sans prétendre les diriger, ni les représenter en les expliquant. S'ils ne prétendent pas trop les précéder, ils seront les bienvenus dans nos confabulations, soucieuses d'abord de l'effet immédiat. Réussissons aujourd'hui ; l'avenir nous sera donné de surcroît. L'avenir d'aujourd'hui a

si vite fait de ressembler au passé de demain !

2000 : Comment définir l'innovation sociale ? Avez-vous tenté de délimiter le champ ouvert ?

B-L : Ce serait une erreur de faire cela trop vite, trop tôt. Le vocable est bon, en ce sens qu'il est stimulant, évocateur et vague à souhait. A partir de quoi fait-on vraiment du nouveau ? C'est difficile à déterminer. Si nous nous enfermions au départ dans une définition trop rigoureuse de l'innovation en la matière, nous risquerions de fausser la réalité et même de tuer la vie, en faisant passer des frontières là où il ne doit pas y en avoir. On peut « sentir » ce qui ouvre des horizons réellement neufs et prometteurs ; mais je ne crois pas qu'on puisse adopter des critères strictes. Ce sera un problème pratique assez dur à résoudre, pour notre Centre, que de choisir ce qu'il convient de faire entrer dans son inventaire, et de consacrer de préférence les recherches, les enquêtes à ce qui est le plus « innovant ».

L'innovation sociale a pour caractéristique de n'être intéressante que si elle est reproductible et, cependant, de ne se prêter jamais, ou presque jamais, à la systématisation en vue de la reproduction en grande série. Autrement dit, il faut pouvoir mettre à la disposition des candidats innovateurs des éléments d'inspiration et même d'imitation qui ne constituent pas, pour autant, des modèles ; des informations exploitables sans avoir la tentation d'en faire des recettes.

2000 : Se pose aussi la question de l'évaluation de l'innovation sociale...

B-L : Il y a, en effet, une tâche d'évaluation à accomplir, en même temps qu'une tâche d'enregistrement. Elle doit être accomplie objectivement. Nous allons progresser peu à peu dans cette voie difficile, en recourant à des experts de diverses disciplines et opinions.

Les notations de valeur ne sont pas simples. Il peut y avoir dans un échec plus de richesses que dans une réussite, quand il s'agit d'actions vraiment neuves, là où le poids des habitudes fait obstacle à la nouveauté, avant de s'effondrer brusquement. La plupart des résultats constatés ont donc une valeur très relative qu'il faut savoir mesurer sans passion ni froideur, avec cœur et modération.

Cette évaluation prendra plusieurs formes : l'auto-évaluation des promoteurs, favorisée par la confrontation avec d'autres expériences ; l'appréciation des usagers ; le contrôle des organismes qui y participent financièrement. Il ne saurait y avoir de grille a priori, qu'elle soit scientifique ou idéologique, qui permettrait de juger souverainement du succès ou de l'échec d'une expérience. Le moment important d'une expérience n'est pas seulement l'achèvement de ses objectifs, (redéfinis au jour le jour), mais les formes de mobilisation et la dynamique sociale qu'elle met en œuvre. L'innovation sociale s'inscrivant aussi dans une société pluraliste où coexistent des systèmes de valeurs différents, son évaluation sera souvent contradictoire.

2000 : Quels sont les projets précis de ce centre ?

B-L : Les premières choses à faire pour réunir une bonne documentation sont d'avoir une méthode de classement, de conservation et de s'entourer de bons observateurs, de

(*) Président du Centre d'Information sur l'Innovation Sociale. Interview de Gritti Hautmont.

bons conseillers. Dans un premier temps, notre Centre va s'efforcer de réunir des personnes compétentes autour de permanents et de semi-permanents, qui auront chacun un domaine de compétence bien déterminé. Avec l'aide de ces conseillers, on conviendra de la méthode et on la mettra au point. Nous visons deux sortes de documents. D'une part, nous développerons le fichier que la revue « Autrement » a amorcé, en notant sommairement tout ce dont on a connaissance et qui paraît intéressant. Un inventaire sommaire, exhaustif, mais incomplet, qui dépendra des informations reçues ou facilement captées et, par conséquent, d'un certain hasard. Nous nous efforcerons en même temps de repérer et de signaler toutes les pistes qui mènent à des documentations existantes, ceci afin d'orienter les chercheurs vers elles à partir d'un point central. D'autre part, nous ouvrirons des dossiers, sur un nombre d'abord limité et progressivement croissant de sujets pour lesquels nous ne nous contenterons pas de capter au vol des informations élémentaires ; nous enquêterons de manière à tenir à jour des dossiers descriptifs et critiques destinés à ceux qui travaillent ou veulent travailler sur les mêmes terrains d'expérience. C'est là qu'interviendront les conseillers d'origines très diverses que nous voulons réunir ; il s'agira de descriptions accompagnées d'évaluations. A partir de ces deux recensements, l'un général et sommaire, l'autre plus restreint et plus approfondi, nous organiserons des échanges d'idées et d'avis. Sans doute procéderons-nous un jour à des publications ; mais nous n'aborderons ce stade que lorsque nous aurons accumulé suffisamment de données intéressantes et que nous aurons acclimaté nos interventions.

Le Centre fonctionnera, au départ, avec une très petite équipe, car nos moyens financiers sont limités. Mais nous nous efforcerons de toucher le maximum de personnes compétentes et intéressées, pour que ce lieu d'information soit aussi un carrefour. Il s'agit de faire gagner du temps aux innovateurs de bonne volonté en leur évitant, soit d'avoir à trouver eux-mêmes ce qui a déjà été découvert, soit de répéter des erreurs déjà commises dont on peut tirer des leçons. Le Centre sera tourné vers l'action, sans y prendre part, car il ne lui appartient pas d'expérimenter lui-même ce qu'il observe et, éventuellement, discute. Ceci pose le problème des relations avec les innovateurs, lesquels, comme tous les sages, préfèrent souvent rester cachés, ne pas crier sur les toits ce qu'ils font difficilement. Nos observateurs auront à faire preuve de beaucoup de tact pour toucher des milieux très sensibles, sans les inquiéter du fait du caractère un peu officiel de notre entreprise, sans qu'ils puissent penser qu'il s'agit d'autre chose que d'une coopérative d'idées. Notre déontologie en ce sens sera très empirique. Il est difficile d'en parler à l'avance, sinon pour affirmer une double volonté de discrétion et d'efficacité.

2000 : C'est tout de même une entreprise ambitieuse que de rassembler sur des expériences innovantes, des documents essentiellement écrits...

B-L : Les rencontres permettront de compléter par des échanges verbaux ce que les documents auront toujours d'insuffisant, de figé, voire d'inexact.

2000 : On peut craindre qu'une information écrite partielle ne rende pas bien compte du déroulement des expériences. L'innovation sociale paraît peu réductible à l'information

écrite.

B-L : Certainement, et c'est pourquoi nous serons très circonspects pour ce qui est des publications. Il y a moins d'inconvénient à ce qu'un dossier, mis à la disposition de qui le souhaite, soit imparfait qu'il n'y en ait à publier de l'à-peu-près. Nous souhaitons donc le maximum de rencontres et d'échanges verbaux sur ce qui nous paraît le plus digne d'être privilégié. Ainsi les appréciations portées, qui sont nécessaires, seront moins dangereuses. Les utilisateurs de l'information ont besoin de savoir si les expériences qui les intéressent sont plus ou moins réussies pour s'en inspirer. Mais, vis-à-vis des sources, les jugements portés peuvent choquer, irriter, voire indigner. Les procédures orales seront toujours préférables aux procédures écrites pour que ceux qui ont agi les premiers puissent communiquer s'ils le veulent bien, grâce au Centre, avec ceux qui envisagent de les suivre. Si l'on fixait, dans les documents conservés, à fortiori dans les publications, des jugements péremptoirs, on risquerait non seulement de fausser la réalité, mais encore de pousser les expérimentateurs à refuser toute communication.

2000 : La position semi-officielle de ce Centre risque-t-elle de faire naître une ambiguïté ?

B.L. : En schématisant jusqu'à la caricature, on peut dire que notre mission est d'établir des ponts entre les « officiels » et les « marginaux ». Jean-Michel Belorgey a parlé des « paradoxes de l'innovation sociale », notamment de celui-ci : l'Administra-

tion lucide, qui est normalement préposée à l'établissement et au maintien de normes, doit se préoccuper en même temps de la remise en cause pertinente de ces normes, dans une société qui change vite et où l'évolution sociale risque toujours d'être à la traîne des modifications techniques et culturelles

Voilà donc les ministères, les municipalités, les entreprises publiques et privées les plus sages qui nous chargent de faire émerger tout ce qui est pour eux, pour elles, le plus légitimement et le plus utilement contrariant. Cette légitimité, cette utilité du non-conformisme ne se décrètent pas. Tout au plus peut-on, quand on est du côté de l'autorité normalisante, les reconnaître après avoir fait en sorte qu'elles soient prouvées par des essais répétés et réussis. On peut donc, à travers un organisme indépendant du type de celui que nous voulons constituer, favoriser la répétition probante, afin de hâter le processus de reconnaissance, sans exercer d'influence directive ni compromettre prématurément les pouvoirs publics

Rien de suspect — dans le sens de l'hypocrisie ou du masochisme — chez des élus ou des fonctionnaires de bonne foi qui disent à des aventureux sympathiques, plus ou moins proches d'eux : « Dites-nous ce qu'à votre avis nous avons tort de faire ou de ne pas faire. Dites-le nous moins avec des mots qu'avec des actes ».

F. B.L.

Pourquoi un Centre d'Information sur l'Innovation Sociale ?

Le changement et les innovations sociales dans la vie quotidienne intéressent aujourd'hui un public de plus en plus large : désirs de changement personnel et de transformation de la société ; aspirations à une participation (individuelle et collective) plus grande aux décisions et à une possibilité d'autonomie réelle ; besoins d'information et d'échange sur de nouveaux modes et de nouvelles structures micro-sociales, permettant participation et création. (Les grandes structures, l'hyperspécialisation et le rôle dominant des professionnels suscitent de plus en plus d'interrogations).

Les acteurs de l'action culturelle et sociale (créateurs, responsables professionnels, travailleurs sociaux, collectivités locales, associations diverses, chercheurs en sciences humaines, journalistes et hommes des médias...) travaillent de façon cloisonnée, sans interconnexion, et ont du mal à « situer » ce qu'ils font, avec les risques de duplications et de tâches inutiles que cela entraîne. Ils demandent donc une plus grande fluidité, mais aussi une plus grande crédibilité de l'information dans ces domaines, et souhaitent comprendre les processus de développement ou de régression des expériences en cours.

L'objectif du C.I.I.S. est de faciliter la tâche de tous ceux qui s'intéressent ou qui sont engagés dans l'innovation sociale, en mettant à leur disposition des informations souvent dispersées sur des expériences peu ou mal connues. Ceci implique de les identifier, de les analyser, de les actualiser (les plus importantes), de les regrouper sous des formes variées (fiches, dossiers, rencontres, lettre d'information), de les diffuser sous des formes adaptées aux besoins des différents utilisateurs : acteurs directs, corps intermédiaires (syndicats, partis politiques, associations), pouvoirs publics.

Programme d'action

Un recensement (sous forme de fiches et de dossiers) de toutes les sources d'information concernant chaque thème d'investigation : fichiers et centres de documentation existants et accessibles, informateurs compétents, revues spécialisées, autres sources d'information prioritaires (centres de recherche, chercheurs, thèses en cours, associations, administrations...)

- Un fichier général d'informations brutes regroupant, sur chaque thème d'investigation, les informations ponctuelles recueillies sur des expériences spécifiques en France et à l'Étranger.

- Un ensemble de dossiers actualisés sur les thèmes d'investigation qui seront considérés comme « prioritaires ». A partir d'entretiens avec des experts (isolément ou en groupes réunis pour la circonstance) et d'enquêtes sur le terrain donnant lieu à des descriptions, des analyses critiques et suivies.

- Des rencontres restreintes autour d'expériences spécifiques permettant à des praticiens, des chercheurs ou des fonctionnaires d'échanger leurs points de vue.

- Une « Lettre d'Information » destinée à relier entre eux les acteurs concernés et à sensibiliser un public plus large.

Bureau

Président : M. François Bloch-Lainé
Vice-Présidents : Roger Seydoux et Serge Antoine
Secrétaire Général : Michel Belorgey
Délégués : M. Henry Dougier et M. Chamdon



En créant le projet INTERFUTURS, quinze pays Membres de l'OCDE ont manifesté le désir d'examiner ensemble les problèmes à long terme des sociétés industrielles avancées et de leurs relations avec les pays en développement.

Quelles sont les ambitions et les limites de ce projet ?

Jacques Lesourne, qui en est le directeur, nous en présente ici les grandes lignes.

Né à la Rochelle, 48 ans, il a été de 1958 à 1976 Directeur Général de la SEMA, et à ce titre, a joué en Europe un rôle essentiel dans le développement de l'économie appliquée, des études urbaines et de la recherche opérationnelle. Il est actuellement aussi professeur d'économie () et Vice-Président de l'IIASA, Centre de recherche international créé à Vienne par 17 pays de l'Est et de l'Ouest. Il vient de publier « les systèmes du destin ».*

ment ; c'est-à-dire, deux ou trois par très grande zone géographique et culturelle. Ces consultants exprimeront leurs points de vue sur les problèmes traités, à titre personnel, sans pour cela engager leurs gouvernements. Mais comme il ne seront pas membres de l'équipe permanente, ils n'auront pas de choix déchirants à effectuer entre les problèmes des collectivités auxquelles ils appartiennent et les propositions qui seront faites aux gouvernements des pays développés. La réponse à la question que vous m'avez posée, « est-ce un projet pour pays riche », serait « oui » dans la mesure où ce projet est financé par les gouvernements des pays riches, et « non » sur deux autres aspects, puisqu'il ne traite pas uniquement des problèmes des pays développés mais aussi des interactions entre pays développés et pays en voie de développement.

2000 — Vous allez procéder à la mise en place de données destinées à constituer une sorte de modèle mondial — Comment vous définissez-vous par rapport aux autres modèles globaux ?

J.L. — Ce projet part de deux préoccupations : les problèmes qui se posent aux pays développés, et les relations entre pays déve-

Le projet "INTERFUTURS"

Jacques Lesourne

2000 — Le projet « Interfuturs » est censé analyser l'évolution des sociétés industrielles avancées. Ceci signifie-t-il qu'il s'agit d'un projet intéressant les pays riches exclusivement ?

J.L. — Ce projet est financé par 16 pays développés : ceci constitue sa caractéristique. Mais nous comptons traiter deux aspects différents : d'une part le problème des lignes d'avenir des pays développés et d'autre part le problème des relations entre pays développés et pays en voie de développement. Il paraît sage d'avoir voulu traiter ces deux problèmes ensemble, puisque très souvent quand on traite des problèmes des pays en développement, on tente de les régler sans s'occuper de ce qu'il advient aux pays développés.

Notre approche est différente et je souhaite que d'autres groupes d'études dans le monde s'attachent à analyser le même problème. En ce qui concerne les grands problèmes mondiaux, je ne crois pas qu'il puisse y avoir une équipe de recherche qui en ait le monopole et l'apanage. Des équipes ayant diverses localisations géographiques et des

points de vue différents devraient traiter ces problèmes, et c'est à partir des échanges entre ces équipes et les différents gouvernements concernés, que se dégagerait une certaine compréhension plus globale. Ainsi l'IIASA (1) situé à Vienne traite certains problèmes, d'autres sont abordés par les Nations Unies, qui viennent d'ailleurs de constituer un « projet 2000 » (lancé par le département des Affaires Économiques et Sociales de l'ONU). Je ne peux que souhaiter, pour ma part, que les pays en voie de développement mènent des études à long terme ; c'est déjà le cas pour certains d'entre eux. Le projet Interfuturs apportera sa contribution à cet ensemble.

Il ne s'agit pas d'un projet pour pays riches uniquement, dans la mesure où on étudiera les relations entre les deux types de pays, mais il est exact qu'il reste financé par des pays riches.

Pour éviter les biais qui pourraient en résulter nous avons décidé, d'une part d'avoir une équipe permanente composée de chercheurs originaires des pays qui financent l'étude, mais aussi une douzaine de consultants de pays en voie de développe-

ment. Son objectif le plus important est de déboucher sur des propositions qui soient utiles aux gouvernements et qui les aideraient à prendre maintenant des décisions concernant des problèmes qui « conditionnent » le très long terme. Ce projet a donc comme objectif de déboucher sur des actions politiques. Naturellement ce n'est pas au niveau du projet que nous commencerons à étudier les décisions de détail, mais nous voudrions être capables de faire des propositions qui permettent ensuite un dialogue, une concertation entre les gouvernements des pays développés. Cet objectif essentiel, ainsi que les délais dont nous disposons, nous ont amenés à décider de ne pas construire un modèle mondial qui nous demanderait des années de travail. Il existe déjà un certain nombre de modèles qui ont tous des qualités et des défauts ; le nôtre n'aurait ni les mêmes qualités ni les mêmes défauts, mais de toute façon le projet risquerait d'être terminé avant qu'on puisse utiliser réellement

(*) Au Conservatoire National des Arts et Métiers. Interview de Gritti Haumont.

(1) International Institute for Applied System Analysis, Vienne — Autriche.

le modèle élaboré. Cette voie paraissait donc sans issue. De plus, dans ce type de modèle, on est amené à privilégier certains problèmes par rapport à d'autres. Nous avons donc décidé d'abandonner cette approche mais d'utiliser les modèles existants dans les domaines où, en fonction de nos hypothèses, il semble qu'ils puissent nous apporter un éclairage différent.

Notre objectif initial est d'explorer un champ plus vaste, où d'ailleurs le sociopolitique a sa place, en commençant par une phase d'exploration. L'une des caractéristiques les plus importantes du projet et l'une de ses grandes difficultés est son ampleur, dans la mesure où, à priori, aucun problème mondial futur ne lui est en théorie étranger.

Il se pose des problèmes importants de choix et de traitement de données d'une grande ampleur. Nous débiterons donc par une double phase exploratoire en traitant le problème selon deux approches. La première approche globale consiste à faire d'une part le recensement, l'analyse et la critique des modèles mondiaux existants, d'autre part à réfléchir en termes historiques et systémiques sur l'évolution globale dans le passé de même que sur le rôle et le fonctionnement des institutions existantes vis-à-vis du long terme à l'échelle nationale ou internationale. La seconde approche est par domaines ; elle consiste à dresser une liste de domaines et à faire, pour chacun d'eux, le tour des études existantes, des problèmes déjà détectés, des questions sur lesquelles des difficultés politiques se posent, et le panorama des interactions entre ces thèmes et d'autres domaines. La liste des domaines choisies comporte la population, l'énergie, les matières premières, l'alimentation et l'agriculture, l'environnement physique, le commerce international, la localisation internationale de l'industrie, les problèmes de finance, de monnaie ou d'endettement. Nous aborderons aussi le rôle des facteurs sociologiques, et les problèmes de dynamique interne des sociétés développées. Il existe en effet toute une série de facteurs importants dans l'évolution socio-économique des pays industrialisés, que l'on n'a aucune chance de saisir dans la liste précédente.

Nous comptons aussi analyser la dynamique interne de certaines sociétés en développement, non pas à partir d'une centaine de pays en voie de développement, mais à partir d'un petit échantillon, de façon à mieux comprendre les différences — en termes de dynamique interne — qui se manifestent entre ces deux types de sociétés.

A partir de ces deux approches nous choisirons parmi les problèmes ceux qui nous paraissent les plus importants, ou qui ont le plus de chances de pouvoir être traités de façon convenable dans le cadre de nos moyens et des délais qui nous sont impartis. Nous définirons ensuite un certain nombre de scénarios, dans une troisième phase, en comparant les avènements et les enchaînements possibles.

2000 — La mise en place d'un groupe de travail international, destiné à avoir une certaine cohérence, pose-t-elle des problèmes particuliers ?

J.L. — Ce projet doit durer 3 ans. Il a démarré cette année à partir de rien, sinon, au départ, des instructions des divers gouvernements, sans programme de recherches défini. Compte tenu de la nécessité très importante d'une communication avec les gouvernements, et donc du fait de passer un temps considérable à échanger des informations, ce projet paraît très court. L'équipe

permanente a du être rassemblée entre janvier et octobre 1976. Ce projet est donc limité, et d'un point de vue optimal, il est probablement trop court. Mais comme il s'agissait d'un projet de recherches très stimulant, nous avons réussi, dans un délai très rapide, à réunir une équipe de très bonne qualité, qui a accepté de venir effectuer cette étude à Paris. Il fallait éviter ensuite que l'équipe ne soit déséquilibrée : nous devions d'une part réaliser des équilibres nationaux — non pas tant pour des questions de quotas qui n'ont pas une importance très grande à l'OCDE — mais pour établir une communication adéquate avec les gouvernements concernés. En effet pour établir de bons contacts avec les pouvoirs publics d'un pays, il est préférable d'avoir au sein d'une équipe une personne appartenant à ce pays. Nous tenions également à assurer un certain équilibre des connaissances : l'un des Directeurs adjoints par exemple, est un spécialiste d'économie internationale, de questions financières et monétaires ; un autre connaît surtout les problèmes de matières premières et de localisation de l'industrie ; le troisième s'intéresse plutôt aux aspects globaux du développement.

Notre objectif était d'assurer d'une part cet équilibre des compétences, mais aussi d'avoir deux experts au lieu d'un, sur des thèmes donnés, de façon à pouvoir disposer de deux points de vue très différents. Car sur des thèmes très complexes, difficiles à analyser, on ne peut raisonnablement espérer qu'une seule personne soit en mesure de présenter une vue assez globale de la question. Nous avons donc à la fois des économistes et des chercheurs plus tournés vers les scénarios socio-politiques...

Notre approche initiale devait être aussi ouverte que possible ; il aurait été maladroit de présenter comme définitive telle ou telle méthode d'analyse prospective. En effet, tous les membres de l'équipe peu familiarisés avec cette approche précise auraient été « stérilisés » par ce cadre, alors qu'ils pourraient apporter beaucoup dans un cadre moins limité.

J'ai donc plutôt cherché à ce que se crée progressivement un certain consensus sur la manière de mener ce projet, qui m'apparaît comme une construction continue, empirique et opératoire au jour le jour. Il ne s'agit pas d'une recherche menée par une équipe nationale de personnes se connaissant depuis longtemps, et ayant déjà élaboré une doctrine ensemble. Nous devons élaborer nos méthodes en même temps que se déroule ce projet. J'ai cherché à ce que les membres de l'équipe soient intellectuellement très ouverts : tous les experts spécialisés dans un domaine ont une ouverture d'esprit qui les fait s'intéresser à d'autres thèmes et en particulier aux problèmes politiques qui se posent vis-à-vis des pays en voie de développement.

Nous ne sommes ni « radicaux », ni « conservateurs ». Si l'attitude de l'équipe paraissait trop radicale, c'est-à-dire, dans le contexte, trop favorable aux thèses défendues par certains pays en voie de développement à l'égard des pays industrialisés, notre crédibilité s'épuiserait très vite vis-à-vis des gouvernements des pays développés. Si, en revanche, nous étions trop conservateurs, notre image vis-à-vis des pays en développement se détruirait rapidement. Par là même, nous intéresserions moins les pays développés, dans la mesure où nous serions moins susceptibles d'apporter des observations qui soient en dehors des sentiers bat-

tus. L'ensemble des membres de l'équipe partage ce qui est en définitive un choix idéologique : aider à l'évolution du monde sans être ni du côté des conservateurs, ni de celui des « révolutions naines » — si on peut employer cette expression. J'ai bon espoir que nous garderons cette relative cohérence.

Mais je pense aussi qu'on n'a pas toujours besoin, dans un projet de prospective, du moins d'une telle ampleur, d'une cohérence totale. Certaines contributions tout à fait essentielles peuvent se relier au reste, mais d'une manière qui n'est pas nécessairement monolithique. Si nous voulions formaliser toutes les données qui vont sortir du projet dans un certain nombre de scénarios bien précis — au sens de la méthode française des scénarios — en signifiant que seule cette approche nous paraît pertinente, nous partirions d'une vision beaucoup trop monolithique à l'échelle mondiale. Une approche de ce type ne peut se justifier qu'à l'échelle d'un sujet particulier. Pour prendre un exemple récent, celui du « Plan Bleu » d'actions en Méditerranée (1) une certaine souplesse y apparaissait : on y trouve en effet des études particulières sur des projets susceptibles de réussir, un scénario « de catastrophe » et des scénarios normatifs à côté d'un scénario tendanciel. Donc, déjà, à un niveau infiniment plus facile à appréhender, il y avait une ouverture du type de celle que nous préconisons.

Parallèlement à cette équipe permanente proprement dite, nous disposons d'un groupe consultatif présidé par le Professeur Ruffolo et composé de personnalités de premier plan, toutes très différentes, choisies selon l'objectif suivant : il s'agissait de les faire « réagir » à propos des études menées. Ceci à temps très partiel, puisqu'ils nous consacrent quelques journées par an. Ceci leur permet d'ailleurs de garder une certaine distance par rapport à nos préoccupations et de nous fournir un éclairage, qui, je le crois, sera utile. Un projet de prospective doit, à mon sens, vivre en symbiose avec le monde actif. Cette dizaine de conseillers ont été choisis en fonction de leurs personnalités très différentes et du fait qu'ils appartiennent à des horizons très divers. Leur rôle est double : critiquer les rapports qui leur sont soumis et d'autre part définir avec le groupe de travail l'orientation générale du projet : par exemple, la question leur a été posée : Devait-on faire ou non un modèle mondial ? Leur apport sera aussi précieux au niveau des suggestions de nature plus politique.

2000 : On dispose aujourd'hui de différentes approches du long terme, toutes insatisfaisantes : modèles, scénarios qualitatifs très lourds, recettes de la futurologie. Quel type d'approche préconisez-vous ? L'utilisation de l'analyse de système pour des opérations de très grande ampleur pose-t-elle des problèmes méthodologiques importants ?

J.L. : Avant tout, je ne crois pas qu'il y ait entre prévision et prospective le fossé qu'on a toujours voulu y mettre. La connaissance que l'on a du futur est d'une certaine manière toujours ancrée dans le présent, (c'est aujourd'hui que l'on fait la prospective sur demain), et dans la compréhension qu'on a du présent et du passé. La faiblesse de la prévision c'est qu'elle a parfois seulement été l'extrapolation d'invariants relativement superficiels sur le présent et sur le passé ; ce-

(1) Voir « 2000 », N° 38 — 1976.

PRODUIT NATIONAL BRUT PAR TÊTE				
DOLLARS				
RÉGION	1960	1963	1973	Taux de croissance 1963-73 %pa
Pays à économie de marché	550	630	1 060b	6.7c
dont Pays développés	1 500	1 780	3 740d	8.6e
dont Pays en voie de développement	130	150	230b	5.5c
Afrique	130	150	230b	5.5c
Amérique du Nord	2 750	3 060	6 140	7.2
Amérique latine	330	370	610b	6.4c
Moyen-Orient	250	290	500b	7.0c
Asie de l'Est et du Sud-Est	110	140	...	9.8f
Europe	1 060	1 350	3 030d	9.4e
Océanie	1 320	1 510	2 950d	7.7e

b) 1971 ; c) croissance 1963-71 %pa ; d) 1972 ; e) croissance 1963-72 %pa ; f) croissance 1963-70 %pa.

Source : O.N.U. world statistics in Brief. 1976.

PRODUCTION INDUSTRIELLE						
	1960	1972	1975	1980	1990	2000
Répartition de la production industrielle (%)						
Pays en voie de développement	9.0	9.3	10.3	12.2	17.8	25.0
Pays développés à économie de marché	75.2	69.4	64.4	87.8	82.2	75.0
Europe de l'Est	15.8	21.3	25.3	87.8	82.2	75.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Production par tête						
	1960	1972	1975	1980	1990	2000
Pays en voie de développement	38	61	68	101	220	460
Pays développés	618	1048	1014	1293	1987	2839
Europe de l'Est	283	696	864	1293	1987	2839
Total	242	401	408	531	818	1239
					792	1120

Source : UNCTAD IV, Nairobi - Mai 1976.

Tableau 1. EXPORTATIONS 1960-1975 (en millions de dollars)				
	1960	1970	1975	
Total mondial	12 830	312 400	861 500	
• Pays à économie de marché				
— développés	8 570	224 700	575 400	
— en voie de développement	2 740	52 900	195 600	
• Pays d'Europe de l'Est	1 300	31 000	79 000	
• Pays socialistes d'Asie	204	2 380	6 600	

Source : O.N.U. Manuel de statistiques du commerce international et du développement 1976.

Tableau 2. LES APPORTS NETS DE L'AIDE PUBLIQUE AU DÉVELOPPEMENT, EN PROVENANCE DES PAYS DU CAD. AUX PAYS EN DÉVELOPPEMENT ET AUX AGENCES MULTILATÉRALES						
Pays	Montants en millions de dollars des EU et en pourcentage du PNB.					
	Moyenne 1964-1966		1971		1975	
	millions de \$	en % du PNB	millions de \$	en % du PNB	millions VDE \$	en % du PNB
Australie	114,9	0,51	202,2	0,53	506,8	0,61
Autriche	10,0	0,11	12,3	0,07	64,4	0,17
Belgique	83,0	0,49	146,1	0,50	377,7	0,59
Canada	120,5	0,23	391,1	0,42	879,7	0,58
Danemark	14,7	0,15	74,4	0,43	205,3	0,58
Finlande	2,7	0,03	13,3	0,12	48,2	0,18
France	775,1	0,78	1 075,3	0,66	2 090,9	0,62
Allemagne	444,7	0,39	734,2	0,34	1 688,8	0,40
Italie	62,0	0,10	182,7	0,18	182,3	0,11
Japon	214,9	0,24	510,7	0,23	1 147,7	0,24
Pays-Bas	70,9	0,37	216,1	0,58	604,0	0,75
Nouvelle-Zélande	10,0	0,19	16,7	0,23	65,8	0,52
Norvège	11,7	0,17	42,3	0,33	183,7	0,66
Suède	42,6	0,21	158,9	0,44	566,0	0,82
Suisse	11,3	0,08	28,4	0,12	103,6	0,18
Royaume-Uni	483,8	0,48	561,8	0,40	863,4	0,37
États-Unis	3 453,0	0,49	3 324,0	0,32	4 007,0	0,26
Total des pays du CAD	5 925,8	0,44	7 690,5	0,35	13 583,3	0,36

Source : OCDE - Coopération pour le développement - Examen 1976

ci chez les plus mauvais des prévisionnistes : Mais par le passé, les prévisionnistes les plus avertis étaient déjà à la recherche d'invariants plus profonds qui ne donnaient donc pas une seule tendance et qui permettaient des prévisions conditionnelles.

C'est à partir de cette démarche que l'idée de prospective s'est développée. On pouvait utiliser l'imagination créative pour construire une image de l'avenir et essayer d'en déduire des cheminements à partir des conditions que l'on s'imposait.

Il n'y a pas une unique manière d'appréhender l'avenir. Je suis donc tout à fait hostile à ceux qui voient dans les méthodes existantes autre chose que des manières extrêmes d'appréhender l'avenir ; ce sont aussi parfois des méthodologies que l'on peut rarement employer, faute de temps et de moyens. Prenons la méthode française des scénarios, méthode riche, intéressante, qui a l'avantage de chercher une interprétation du présent et du passé qui fait intervenir des dimensions sociologiques, politiques et pas seulement économiques. Elle a l'intérêt de mettre en place à côté d'autres aspects plus quantitatifs, des concepts et des relations qualitatives entre ces concepts. Cette méthode est satisfaisante mais lourde ; elle a le défaut qu'en pratique on ne peut pas toujours préciser les concepts et les relations entre les concepts.

Donc si l'on n'est pas très prudent, cette méthode court parfois le risque de comporter du verbiage ou d'introduire des concepts qui restent relativement flous, faute de temps et de moyens pour construire d'abord l'analyse de système qui devrait sous-tendre les scénarios. Donc malgré des avantages considérables, elle bute sur ce genre de limites, qui ne sont pas des limites intrinsèques et définitives, mais pratiques. Donc je plaide beaucoup pour qu'en France, il y ait des moyens de recherche en prospective qui permettent de faire progresser la méthode des scénarios, car faute de moyens, elle a très peu progressé depuis le « scénario de l'inacceptable ».

Les crédits consacrés aux études ayant baissé, il n'était plus possible de faire dans ce cadre des recherches méthodologiques. Si l'on veut progresser, il faudra mettre au point des analyses de système formalisées, qui peuvent être qualitatives, mais doivent être beaucoup plus poussées.

Une autre approche est celle des modèles mondiaux qui a ses avantages et ses défauts. Pour avantages : elle oblige à définir certains rapports de manière précise, à réunir des données, en déterminant ce qui existe et ce qui manque, et à se poser de ce fait un certain nombre de questions de fond. Le problème est que, faute de moyens, on établit souvent ces inter-relations sur la partie facilement quantifiable, c'est-à-dire sur la partie économique, sans traiter des thèmes socio-politiques. Mesarovic et Pestel expliquent qu'il y a dans leur modèle 4 strates qui vont des bases matérielles vers l'économique et le politique, mais leur modèle n'a jamais dépassé la strate économique, et encore au sens des modèles macro-économiques relativement classiques. Il ne faut donc pas condamner les modèles mondiaux, même si l'on rencontre beaucoup d'inexactitudes dans le rapport Meadows. C'est une voie riche, mais également lourde.

Il existe une troisième approche, que je nommerai « semi-quantitative ». Elle s'appuie sur les points de vue des experts pour essayer de représenter d'une manière un peu

plus précise les relations entre les facteurs intéressant l'avenir. Le fait de demander à des experts d'évaluer ce qui a des chances de se réaliser effectivement, permet de rendre progressivement cohérentes les vues de ces experts. Cette approche reste relativement légère, tout en donnant prise à une certaine quantification. Plutôt que d'opposer toutes ces démarches, il faut se rendre compte que, par des voies assez différentes, elles tentent toutes de « décortiquer » le système environnant, de déterminer les liaisons fondamentales entre les éléments de ce système et la manière dont elles peuvent évoluer. Il s'agit finalement de trouver une approche méthodologique qui permette cette analyse à des coûts acceptables. Le problème du coût et des délais impartis à une recherche a son importance. Je ne crois pas qu'il y ait de mauvaises méthodes en prospective, il n'y a que des utilisations stupides de certaines méthodes. Toutes ces méthodes sont limitées : elles ne sont que des moyens — partiels — de « grappiller » un peu de cette globalité que l'on perçoit. Il est nécessaire d'avoir une compréhension très profonde du présent et du passé pour pouvoir se permettre d'analyser l'évolution du système global dans l'avenir.

La prospective reste, de toute manière, très liée à l'état de développement des sciences sociales : elle évolue au fur et à mesure des progrès dans ce domaine.

Sur certains points de l'avenir, les sciences peuvent nous donner un éclairage ; mais sur d'autres, on ne sait pas grand chose. La prospective consiste à remplir de la façon la moins absurde tous les « blancs »

qui subsistent, sur lesquels on devrait normalement se taire, puisque l'état des sciences ne nous permet pas de les combler de façon définitive. Mais je ne suis pas d'avis que lorsqu'une explication scientifique fait défaut, il vaut mieux se taire.

Au contraire, il me semble que, parfois, il vaut mieux faire des « impasses » intelligentes que de tout vouloir appréhender. Mais cet état des choses entraîne un risque : il est dangereux en prospective d'être doctrinaire. Ceci peut paraître féroce à l'égard des prospectivistes, mais on ne devrait pas rejeter d'emblée tel ou tel type d'approche sans bien évaluer les conditions dans lesquelles ces méthodes sont employées.

2000 : Que dire des moyens dont vous disposez ? Constituent-ils une limite par rapport à l'ampleur du projet et au degré d'investigation ?

J.L. : On peut dire deux choses : certes, la durée du projet est un peu courte puisque le projet se terminera en 1978 dans le cadre du budget décidé par les gouvernements ; mais ceci reste un point de vue de technicien. De toute façon, notre recherche a été organisée sur la base de ces délais et de nos moyens financiers. La grande difficulté de ce type de projet est au fond que, sur des problèmes de cette ampleur, on peut concevoir des équipes de n'importe quelle taille, c'est-à-dire employant 15, 100 ou 1000 personnes. De toute façon, le volume de financement dont nous disposons permet de faire une recherche intéressante ; ce qu'il faut évidemment éviter, c'est de chercher à refaire ce qui ne peut-être fait qu'avec des équipes beaucoup plus importantes. Faire de la prospective en posant au départ la nécessité de ré-évaluer

complètement les réserves de toutes les grandes matières premières, pour prendre cet exemple, serait parfaitement illusoire. Notre seule chance est de prendre les travaux déjà effectués, dont on sait qu'ils sont sérieux, et d'utiliser leurs conclusions. Le problème c'est d'essayer de trouver dans chacun des domaines abordés les études qui sont réellement solides et sérieuses, et qui pourront donc servir de base à une réflexion plus large.

Un autre aspect essentiel de toute étude prospective, mais en particulier de celle-ci, c'est l'existence d'une phase dite de « communication » qui débutera dès 1977.

La communication avec les gouvernements, au sens large c'est-à-dire les administrations, constitue un aspect important de tout projet international. Nous avons commencé à réfléchir à cette phase primordiale dans la mesure où nous voulons aboutir à un message qui débouche sur un dialogue entre gouvernements. Cette phase de communication devrait se poursuivre parallèlement à notre recherche : maintenir des contacts avec quinze gouvernements représente un effort considérable pour 1977 et 1978. Assurer une communication avec des organismes aussi complexes que des instances gouvernementales en matière de prospective n'est déjà pas très facile à l'échelle nationale — et c'est rarement réussi. A l'échelle internationale, cette coopération est encore plus délicate à mettre au point, mais elle est la condition du succès.

J. L.

“INTERFUTURS”

Le projet de recherche « INTERFUTURS » a été créé, en janvier 1976, par le Conseil de l'OCDE pour répondre aux vœux des gouvernements Membres conscients de la nécessité de réexaminer l'orientation de leurs politiques face à la rapide transformation et aux complexités croissantes de l'économie mondiale. Proposé au départ par le gouvernement japonais en mai 1975, ce projet, intitulé officiellement « L'évolution future des sociétés industrielles avancées en harmonie avec celle des pays en développement », devrait permettre de reconsidérer sous un jour nouveau, et en les situant dans leur contexte international, les problèmes et les perspectives des sociétés industrialisées. Le projet Interfuturs a pour objet d'examiner les scénarios d'évolution possibles des sociétés industrielles avancées dans le contexte des transformations des conditions de la production, des échanges, de l'investissement et des relations monétaires. Il tiendra compte, dans toute la mesure du possible, des relations à long terme entre les pays Membres de l'OCDE eux-mêmes, ainsi que entre ces pays et les différentes régions du monde, en particulier les divers groupes de pays en développement. Il devrait donc apporter un complément significatif à l'analyse de certains problèmes qui seront abordés au

cours du Dialogue entre les pays industrialisés et les pays en développement. Le programme de recherche tiendra compte le plus possible des tendances socioculturelles, des problèmes et possibilités relatifs à l'énergie, aux matières premières, à l'environnement, ainsi que des transformations futures des structures et des systèmes économiques internationaux en fonction de l'interdépendance croissante entre les nations. Le projet, dont la durée sera de trois ans, a été doté d'un budget d'environ 4 millions de dollars, et pourra également obtenir des fonds de sources extérieures telles que des fondations. Le Directeur de l'équipe de recherche est le Professeur Jacques Lesourne, assisté du Professeur William Branson, du Professeur Yoshihiro Kogane, et du Professeur Wolfgang Michalski.

Le programme de recherches

comporte quatre phases principales :

Phase A : Établissement d'un cadre général nécessaire à l'élaboration de divers scénarios futurs. Juin 1976 - Juin 1977.

Phase B : Réflexion sur des sujets spécifiques nécessaires à la compréhension des éléments intervenant dans les scénarios fu-

turs. Juin 1976 - Juin 1977.

Phase C : Élaboration de scénarios futurs, destinés à servir de base à l'évaluation de différents schémas de développement à long terme, et à l'analyse de leurs implications politiques. Cette phase s'appuiera sur les deux phases précédentes. Juin 1977 - Fin du projet.

Phase D : Établissement de communications effectives entre l'équipe et les gouvernements participants, et éventuellement d'autres groupes dans les pays Membres. Janvier 1977 - Fin du projet.

Un certain nombre de sujets spécifiques ont été retenus pour un premier examen. En voici quelques-uns choisis dans une liste sensiblement plus longue :

- adaptation à long terme à d'importants changements dans les prix relatifs des facteurs de production,
- maintien des apports de capitaux en direction des pays en développement ;
- stabilisation des fluctuations de prix des produits de base ou adaptation à celles-ci ;
- possibilités de redistribution géographique de certaines industries de traitement des matières premières ; et,
- effets et implications d'une synchronisation des cycles économiques.

Projet « Interfuturs »

176, Avenue Charles-de-Gaulle, Neuilly



La culture méditerranéenne: une culture du passé et de l'avenir?

Claude Fabrizio *

Une fois de plus dans son histoire, l'espace méditerranéen est le lieu privilégié d'une confrontation entre des sociétés différentes. Différences économiques, structurelles mais aussi idéologiques et culturelles. Ces différences sont aussi, curieusement, et malgré les situations conflictuelles que l'on connaît, autant de points de départ pour un nouvel ordre, lui aussi d'abord économique, où des remises en cause d'ordre culturel ne peuvent pas ne pas s'ensuivre et s'observent déjà ici ou là. L'article de C. Fabrizio constitue un prolongement au numéro spécial (n° 37) consacré par « 2000 » à l'avenir de la Méditerranée.

Ce n'est pas la première fois que le monde méditerranéen voit se résoudre, en de paradoxales synthèses, des conflits de puissance en apparence presque inexpiables. Faut-il du reste, en l'occurrence, parler de synthèse véritable ou d'un ordre imposé par des impérialismes successifs, jouant dans l'ordre culturel comme dans tout le reste ? Il n'est pas utile, pour saisir mieux le sens des évolutions récentes, d'observer comment apparurent, cohabitèrent et s'anéantirent, plusieurs fois au cours des quatre mille ans de la période historique, des mondes dont les différences recouvraient pourtant un nombre élevé de traits convergents. De cette considération du passé, on peut tirer, avec la prudence de l'historien, bien sûr, des éléments prospectifs sur ce que pourra et devra être la

civilisation méditerranéenne de demain...

Rapportée à la totalité de l'espace mondial, l'histoire des civilisations se concentre pour l'essentiel sur un nombre très limité de zones géographiques de dimension variable, mais où, dans tous les cas, la connivence d'un milieu et d'une organisation socio-économique suffisamment différenciée et sophistiquée permettent de dessiner avec précision le contour et les linéaments d'une aire culturelle spécifique. Selon l'historien anglais Toynbee, on peut, des origines à nos jours, répertorier vingt-et-une sociétés qui, à une ou plusieurs époques, ont joué un rôle déterminant dans l'histoire du monde, mais dont six seulement sortent directement de la vie primiti-

(*) Chargé d'études au Service des Etudes et de la Recherche, Secrétariat d'Etat à la Culture.

ve, sans antécédent, sans parenté aucune.

Il s'agit là d'une critériologie trop chronologique. La prise en considération plus large des données d'une histoire géographisée conduit à une nomenclature et à une répartition un peu différentes des grands foyers de civilisation et de culture. On peut alors estimer que, du moins jusqu'à la période récente, où l'occupation humaine a achevé d'investir des territoires demeurés vides depuis les origines, les principales aires culturelles, dont l'identité perdue à travers toute la période historique, même si plusieurs civilisations s'y sont succédées, sont au nombre d'une dizaine à peu près. Très grossièrement, il s'agit, pour l'Asie : de la Chine, du sous-continent indien, de la Djezireh mésopotamienne et du plateau iranien ; pour l'Afrique : du Nord de la vallée du Nil et, pour des périodes plus ou moins brèves, du Maghreb et de la zone sahélienne ; pour l'Amérique : de l'isthme mésoaméricain au sens large et des hauts plateaux andins — ici encore pour quelques siècles seulement. Quant à l'Europe, sa géographie culturelle consiste principalement en deux zones de dynamisme culturel, alternatif ou simultané selon les époques : l'ensemble Manche-Mer du Nord-Baltique d'une part, d'autre part, et de façon presque ininterrompue depuis quatre mille ans, le bassin de la Méditerranée. Presque partout ces zones coïncident avec les territoires où se sont fixées très tôt des populations d'agriculteurs, d'artisans, de commerçants, de marins, cependant que les grands espaces steppiques ou les zones froides demeuraient très tard l'apanage de sociétés nomades beaucoup moins organisées, donc plus pauvres et comme telles moins susceptibles d'imposer durablement leurs modes de vie et leurs valeurs, malgré l'exception remarquable que constitue à cet égard la civilisation des steppes d'Asie Centrale.

Il semble donc exister des zones privilégiées où les données naturelles se combinent de façon particulièrement favorable au développement de groupes humains de plus en plus évolués. Mais il serait tout à fait erroné de croire que chacune des grandes aires culturelles du monde se développa en autarcie, sans contact avec les autres, y compris les régions intermédiaires, aux cultures moins largement répandues, moins durables et moins élaborées. C'est vrai du monde chinois, de l'Inde, de la Perse.

Il n'en va pas autrement de la Méditerranée, où bien des civilisations se mêlèrent et qui, si elle exerça, directement ou non, une influence profonde sur l'histoire du reste du monde, reçut également de sociétés parfois extraordinairement éloignées dans l'espace et dans le temps des apports dont les effets durent encore, même s'ils ne transparurent plus qu'à travers des avatars si nombreux qu'ils sont devenus méconnaissables et donnent le visage de l'universel et de l'éternité à ce qui fut modifié, bouleversé bien des fois au cours des siècles.

Dans ses « Leçons sur la Philosophie de l'Histoire », Hegel, s'efforçant de lire en profondeur le sens de l'évolution humaine, assigne au monde européen-méditerranéen la dénomination flatteuse de « centre de gravité de l'histoire universelle », par un mouvement de pensée qui tient à la fois à l'ambition de chaque civilisation à s'ériger en conquérante et donc en détentrice privilégiée du dynamisme hu-

main, et à l'importance extrême de l'idée d'universalité dans l'histoire de la pensée occidentale. Si l'évolution de la pensée scientifique depuis le siècle dernier et peut-être surtout la remise en cause des grands équilibres mondiaux dans la période récente nous a amenés à nous livrer à une lecture moins triomphaliste du développement et de la mort des civilisations, il n'en reste pas moins que l'Europe impérialiste des débuts de la société industrielle ne pouvait pas ne pas se retourner sur son passé avec le sentiment d'une fortune extraordinairement favorable et où tout ou presque semblait sortir naturellement du monde gréco-romain et du christianisme.

Comment en effet ne pas être frappé par la force, par la réalité de l'identité culturelle méditerranéenne au travers des siècles ? Ses manifestations paraissent tout d'abord relever de l'évidence pure et simple et développer presque spontanément les conséquences d'un heureux concours de circonstances, où une évolution humaine exemplaire ne ferait que déduire avec une aisance souveraine les conséquences d'une série d'éléments naturels exceptionnellement favorables à la vie ? « La Méditer-

ranée est belle surtout par deux caractères : son cadre si harmonique et la vivacité, la transparence de l'air et de la lumière. Telle qu'elle est, elle trempe admirablement l'homme. Elle lui donne la force sèche, la plus résistante ; elle fait les plus solides races ». Emporté par le lyrisme d'une sorte d'éthno-physiologie cosmique, Michelet rassemble ainsi les traits majeurs de ce qui serait « l'esprit » de la culture méditerranéenne : harmonie, vivacité, clarté, force et sobriété — cette « force sèche », opposée sans doute à la brutalité lourde et mouillée de la barbarie nordique, sans parler même de l'infériorité évidente et pour ainsi dire naturelle des autres civilisations. Il y aurait donc correspondance point par point entre l'espace méditerranéen et les civilisations qui s'y sont épanouies, l'expression la plus achevée de cette coïncidence providentielle étant la civilisation gréco-romaine et ses développements dans l'Europe chrétienne, dont la supériorité intrinsèque expliquerait l'exten-

*Ce pourrait être une fresque romane...
Fragment de tissu copte trouvé dans les
fouilles d'Antinoë (Egypte).*



sion, sous des formes plus ou moins évolutives, à la plus grande partie du monde.

Certes, cette interprétation de l'histoire universelle est de moins en moins courante, mais elle fut très largement celle des deux siècles précédents, dans la pensée officielle du moins, et, sans même s'en rendre compte, beaucoup d'Européens en demeurent aujourd'hui profondément imprégnés. C'est pourquoi il peut paraître utile et intellectuellement sain de réfléchir un peu plus avant à quelques aspects considérés comme caractéristiques de la culture méditerranéenne, à savoir son caractère essentiellement gréco-romain, l'importance prise très tôt par la pensée scientifique dans cette culture, enfin la symbiose entre les valeurs intellectuelles, morales, artistiques issues de l'Antiquité à la fin de l'Empire romain et le développement sans entraves d'un christianisme qui devait lui aussi, pensait-on, à sa force probante intrinsèque le succès qu'il devait connaître ensuite en Europe et dans le reste du monde.

Nous sommes habitués à concevoir la Méditerranée comme le réceptacle par excellence d'un univers culturel où Homère,

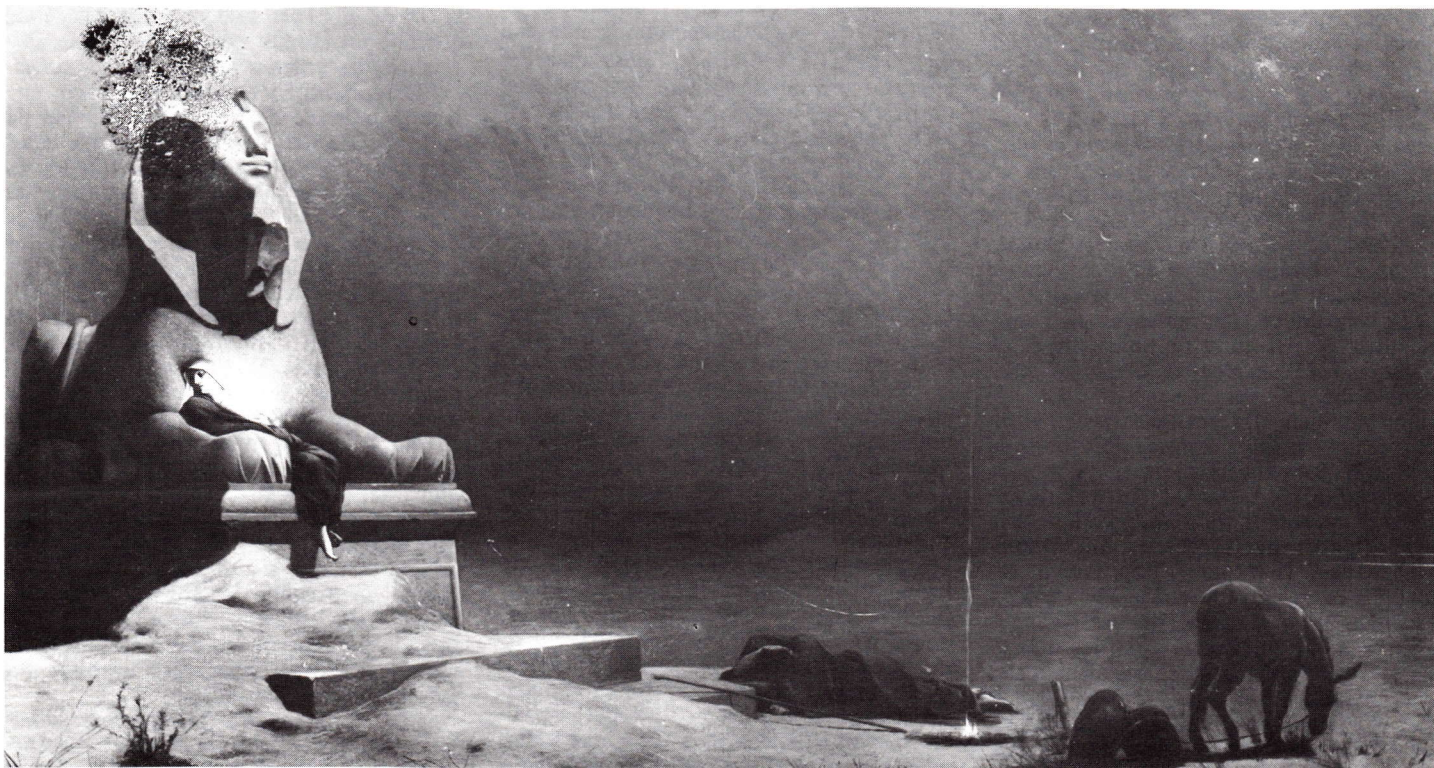
ses dont l'académisme intellectuel était si friand naguère encore. On est trop accoutumé en effet à ne considérer dans l'histoire de la Méditerranée que la période, assez brève en réalité, puisqu'elle couvre au mieux trois siècles et demi, où elle fut un lac romain : le « mare nostrum » si souvent invoqué et si mal connu. En fait les tendances à très long terme de l'histoire méditerranéenne pourraient se résumer très schématiquement comme l'alternance d'une polarisation à l'Est ou à l'Ouest de la maîtrise de cet espace.

C'est en Méditerranée orientale que se situent à l'aube de la période historique les Etats qui vont successivement tenter d'en contrôler tout le bassin : d'abord l'Egypte, puis, avec un assez bref intermède perse, une phase d'expansion phénicienne et carthaginoise à laquelle se heurteront d'abord les colonies grecques de la Sicile et du Sud de l'Italie, puis Rome, qui absorbera successivement les territoires puniques, la Grèce et ses dépendances, l'Egypte et enfin l'actuel Moyen-Orient.

Curieux épigone de l'Empire romain, la Bysance de Justinien tente de refaire à son profit l'unité méditerranéenne, avant

le. Entre temps la Méditerranée aura alternativement perdu presque tout son intérêt aux yeux des Etats européens, à la suite des grandes découvertes maritimes des XV^e et XVI^e siècles, puis elle sera redevenue une zone névralgique de l'univers, à la suite du percement de l'isthme de Suez et surtout de la pénétration européenne au Moyen-Orient, qui s'accroît considérablement lorsque le pétrole devient une source d'énergie et une matière première essentielle. Quant à la phase de colonisation européenne proprement dite, elle est somme toute assez brève. Quoi qu'il en soit, le monde méditerranéen porte, profondément, la marque des innombrables vicissitudes de son histoire. Il n'est que de songer à la profondeur de l'influence grecque, jusqu'à une date très récente, à Alexandrie, à l'indéniable parenté de certaines traditions des pays balkaniques et de la Turquie, à l'importance de l'apport arabe dans le folklore espagnol, pour avoir une idée de la complexité et de la diversité du jeu des influences que les hasards de l'histoire ont entraîné pour telle ou telle partie du monde méditerranéen.

Mais on n'atteint ici qu'un premier



Virgile, Dante et Valéry, où le Parthénon, le Colisée, Florence et Saint-Pierre de Rome se répondent et renvoient sur le mode des phrases ou des formes à une continuité intellectuelle et culturelle dont chacun d'eux ne serait que l'une des expressions particulières. Mais un peu de réflexion à la fois historique et géographique nous amène à considérer les choses de façon quelque peu différente. Bien des civilisations se succédèrent en effet autour de la « mer médiatrice des terres », soit sur l'une ou l'autre de ses rives, soit sur la totalité de son pourtour, dans la grandeur et la chute alternatives d'empires qui se voulaient pourtant symboles de la durée. Cette diversité, ces disparités confinant à la contradiction se retrouvent largement dans la géographie méditerranéenne, si l'on songe que s'y rencontrent trois continents profondément différents l'un de l'autre et dont les influences paraissent difficiles à fondre en une de ces synthèses harmonieuses

que la foudroyante croissance de la puissance arabe islamise presque en totalité les rives est et sud de la mer romaine, et même, pour huit-cents ans, une partie non négligeable de la rive européenne, puisqu'il s'agit de l'Espagne. Le rêve carolingien de reprendre le contrôle du monde méditerranéen se concrétisera en fait seulement à partir du XI^e siècle, à travers l'entreprise ambiguë des Croisades, puis de façon détournée, dans la montée étonnante de quelques villes de commerce italiennes, dont l'exemple le plus caractéristique est naturellement Venise. Au XV^e siècle, nouveau bouleversement : malgré les efforts des puissances européennes, malgré Charles-Quint, malgré la bataille de Lépante, la Méditerranée tombe sous le contrôle de l'Empire ottoman, dont la domination, à vrai dire épisodique en Lybie et au Maghreb, qui deviennent repères de corsaires, durera pour le reste jusqu'au début du XX^e siècle dans la partie orienta-

Un Orient idéalisé nourrissait les rêves romantiques... Repos en Egypte, de Luc Olivier Merson (XIX^e siècle).

niveau d'analyse. L'apport de régions plus lointaines, pour être moins évident, n'en a pas moins exercé une influence profonde sur l'élaboration et l'évolution de la civilisation méditerranéenne. C'est sans doute l'influence africaine qui, le monde musulman mis à part, a joué le moins fortement, sauf dans l'ancienne Egypte, où certains modèles graphiques, un certain usage des couleurs, et surtout l'importance des cultes animaux : crocodiles, hippopotames, chats, bovins, etc... ont une origine africaine évidente. Malgré le succès des religions égyptiennes dans la Rome impériale, on ne peut dire que ces influences aient été très étendues dans l'ensemble. Plus large aura été l'influence économique, puisque l'ivoire, les animaux, les peaux et surtout l'or et les esclaves en provenance d'A-

frique seront abondamment utilisés dans le monde antique et, par la suite, dans la partie septentrionale, profondément arabisée, du continent. L'influence des peuples d'Europe du Nord et Centrale sur la Méditerranée est difficile à discerner aussi au temps de la puissance grecque, puis romaine. On a souvent décrit l'apport des envahisseurs achéens et doriens dans l'élaboration de la civilisation grecque, mais il est plus délicat, quoique nécessaire, de mesurer ce qui est dû, dans le monde romain, à la civilisation des Celtes et des peuples germaniques, à part certains éléments, d'une grande importance évidemment, comme le perfectionnement de la technologie des métaux. Ce n'est que plus tard, au cours du Moyen-Age, que s'élaborera, plus ou moins difficilement, la synthèse entre les civilisations des peuples originaires d'Europe centrale et orientale et la culture gréco-romaine. De ce difficile équilibre l'une des meilleures illustrations est peut-être donnée dans le conflit pluri-séculaire entre la papauté et les empereurs germaniques.

Mais c'est sans doute l'influence de l'Asie qui est la plus profonde et la plus durable. On a déjà cité certaines des invasions de peuples asiatiques dans le monde méditerranéen : les Perses et, beaucoup plus tard, les Turcs ottomans, dont l'expansion ne s'arrête, au XVII^e siècle, que devant Vienne et les forteresses de la future Tchécoslovaquie. On sait moins que les fils de Gengis Khan baignèrent leurs chevaux dans les vagues de l'Adriatique et que, bien des siècles plus tôt, des peuples orientaux vinrent se fixer en Méditerranée occidentale : les Etrusques, originaires de Lydie sans doute, non seulement en Toscane, mais sur les côtes de Sardaigne et de Corse, et les Phéniciens en Catalogne et en Andalousie. Si ces influences sont aujourd'hui bien effacées, elles jouèrent en leur temps un rôle considérable dans la diffusion des connaissances et du progrès — ou de la régression — des techniques. Les apports asiatiques à l'édification de la civilisation méditerranéenne, qui s'expliquent avant tout par la circulation des produits rares en provenance de la Chine, de l'Inde et de l'archipel malayo-javanais, concernent véritablement tous les domaines : religieux, artistique, scientifique, et bien entendu économique. Ephèse, Antioche, Tyr et Sidon et, au temps du fragiles limes oriental, Palmyre, Petra ne devaient leur opulence qu'à leur rôle de terminaux économiques. Au confluent des courants commerciaux en provenance d'Asie et d'Afrique, c'est la même raison qui explique la prodigieuse fortune d'une ville comme Alexandrie, qui aura jusqu'à 500 000 habitants, où se mêleront toutes les races du monde connu, et qui exercera un rayonnement énorme sur toute la Méditerranée, non seulement dans l'ordre économique, mais intellectuel, artistique, religieux, politique, comme, un peu plus tard, Constantinople. C'est dans le domaine religieux que l'influence de l'Asie proche, du Proche-Orient, mais aussi de pays beaucoup plus lointains, fut considérable. La faveur des cultes orientaux à Rome était énorme : culte d'Atys, de Baal, de Mithra — qui se répandit jusqu'en Grande-Bretagne et parmi les légions de Germanie — enfin et surtout christianisme et, en plein Moyen-Age, catharisme. Le christianisme a été réinterprété tant de fois à travers les données successives de la philoso-

phie européenne qu'il paraît presque scandaleux de rappeler ses origines orientales, mais celles-ci, outre les éléments véhiculés à travers la tradition hébraïque, sont nombreuses et profondes.

C'est du reste avec la même saveur d'exotisme que les autres religions originaires d'Égypte et du Moyen-Orient, que le ressentaient les communautés grecques de la Mer Egée et les Romains qui y prirent dès l'origine de l'intérêt. Quant au catharisme, forme européenne du manichéisme perse, c'est dans la France de langue d'oc qu'il exercera son influence la plus importante et la plus durable. Mais il y a plus étonnant encore : au delà de la Perse, il n'est pas jusqu'à l'Inde, dont l'influence ne se retrouve dans l'érémisme des Pères du désert, directement dérivé de certaines pratiques hindouistes ou bouddhistes, et dans les exercices spirituels des moines du Mont Athos — la « sainte montagne » de l'Eglise orthodoxe, vénérée depuis l'époque de l'Empire byzantin dans tout l'Est de la Méditerranée et au delà.

Il est un autre domaine habituellement considéré comme un pur produit de la culture gréco-romaine : ce sont les éléments de l'arithmétique classique et de la géométrie euclidienne. Ici de nouveau on se doit de constater l'importance des apports orientaux : le zéro est originaire de l'Inde, les bases de la trigonométrie et de la géométrie dites de Thalès, si elles furent bien formalisées dans les villes grecques d'Asie mineure, proviennent bien plus sûrement d'apports beaucoup plus anciens et d'origine babylonienne ou sumérienne. Dans un autre domaine de la connaissance, cet instrument essentiel qu'est l'alphabet, s'il fut officialisé et utilisé pour la première fois largement dans le monde grec et romain, fut inventé par les Phéniciens, qui en tirèrent peut-être eux-mêmes les éléments d'apports encore plus étrangers au monde méditerranéen classique. Pour revenir encore aux sciences exactes, on ne saurait trop insister sur l'importance de l'apport arabe. On le sait, c'est dans le monde islamique que, au Moyen-Age, se maintint et s'enrichit le patrimoine scientifique du monde méditerranéen antique. Il n'est que de citer les noms d'Averroès en mathématiques, d'Avicenne en médecine, de Farabi en acoustique et théorie musicale, pour prendre conscience de l'importance de l'apport islamique au développement de la connaissance scientifique telle que nous la concevons aujourd'hui. Enfin, on ne citera que pour mémoire l'influence sensible que la musique et la poésie des petites cours arabes d'Andalousie exercèrent sur l'art des troubadours occitans et l'art des mosquées et des palais du Maghreb occidental sur tel ou tel aspect de l'architecture ou la décoration des églises romanes du Sud-Ouest de la France — influence qui succédait à celle que pendant deux siècles avait exercé l'art des peuples nomades d'Asie centrale sur les émaux, les enluminures et les chapiteaux d'époque romane ou sur les objets de l'art mérovingien.

Sans doute dira-t-on qu'il est pour le moins paradoxal de soutenir que la culture méditerranéenne fut largement faite d'apports extérieurs et voudra-t-on rappeler qu'elle exerça au moins autant d'influence sur les autres civilisations qu'elle n'en reçut d'elles. Il est bien évident que l'influence romaine s'exerça jusqu'à la Baltique ou dans les profondeurs de la plaine

russe ; que l'art hellénistique servit de modèle à une partie de la production plastique des Scythes ou à la sculpture du Gandhara et, au delà, d'une certaine période de l'art chinois et même japonais. Il est vrai aussi que la coïncidence entre le retour aux valeurs de l'Antiquité gréco-romaine et l'expansion foudroyante de l'Europe à partir du XVI^e siècle n'est pas seulement l'effet d'un hasard purement fortuit. Mais il n'est pas besoin d'insister sur ce point : toute l'histoire de la civilisation européenne jusqu'à une époque très récente fut écrite à partir de tels postulats. C'est au nom de la supériorité ontologique des valeurs méditerranéennes que les Britanniques construisirent à Singapour des édifices publics sur le modèle du temple de Jupiter à Baalbek et que la moitié des gares construites au siècle dernier à travers le monde s'efforcèrent de s'inspirer, sinon de l'architecture, du moins de la décoration des palais florentins. D'un bout à l'autre de la planète, quelle débauche de peinture, de sculpture, de constructions qui se voulaient italianissimes ! Tant était grande l'influence de l'impérialisme culturel de la Méditerranée, en un temps où celle-ci, telle une étoile morte dont la lumière parvient à la Terre bien des millénaires après, était devenue un monde exsangue en proie aux rivalités des grandes puissances montantes.

Il était donc tentant d'esquisser une lecture inversée de l'histoire culturelle de la Méditerranée — histoire qui plaiderait non plus pour l'uniformité culturelle des grands empires, mais pour le maintien des disparités et, si l'on ose dire, le mélange des genres, c'est-à-dire des univers culturels et des civilisations. Ce que nous apprennent en effet les principaux pôles culturels du monde méditerranéen à travers l'histoire, c'est l'importance de la rencontre de courants très différents. Ainsi s'expliquent le rôle joué par les Phéniciens, la prééminence d'Alexandrie, celle de Byzance et, beaucoup plus tard, celle de la République de Venise, dont la richesse fut immense. L'enrichissement par la différence, c'est aussi ce qu'enseignent la civilisation musulmane de Palerme, l'art mozarabe, et ces longues discussions à Castel del Monte où Frédéric II Hohenstaufen, empereur très chrétien, discutait avec des théologiens musulmans des subtilités de la mystique soufie, résurgence arabisée du néo-platonisme alexandrin.

La culture méditerranéenne d'aujourd'hui porte la trace de tant d'événements contradictoires. Certes, dans la vie quotidienne, et si l'on songe à tous les pays, si différents, qui bordent la mer la plus célèbre du monde, certaines influences sont plus perceptibles que d'autres. Mais l'essentiel est de saisir ces pays dans leur différence, qui fit au cours des siècles du monde méditerranéen un lieu de rencontre extraordinairement riche. Aujourd'hui que l'influence des sociétés industrielles semble l'emporter largement à travers le monde, cette différence, ces diversités sont plus que jamais un élément culturellement positif en lui-même. Est-il menacé de disparaître ? Que faut-il faire pour maintenir les spécificités du monde méditerranéen pris comme un tout ? La réponse à cette question n'est pas facile à formuler en termes simples. L'essentiel est en tout cas que toutes les sociétés ont besoin de se retrouver, de s'enraciner dans des traces. Ces vestiges, il ne faut pas les effacer.



LA TRAHISON DE L'OPULENCE



Au-delà de certains seuils critiques de développement, le mode industriel de production affecte les bases de la liberté humaine : le mythe de l'opulence est trahi par ses propres rituels. En raison de cette contre-productivité paradoxale, les outils et les institutions écartent les hommes des fins qu'ils affirment : la médecine rend malade, l'école stupide, le transport immobilise, les communications rendent sourd et muet. J.P. Dupuy et Jean Robert viennent de consacrer un essai à cette « trahison de l'opulence » (1), où les principes d'une société qui se laisse aller à une croissance anarchique se retournent contre elle. 2000 publie ici un passage consacré au « temps pollué ».

La rareté du temps-marchandise C'est à une date relativement très récente que le temps a fait son apparition dans l'économie. Entendons-nous bien : il ne s'agit pas ici du temps comme repère chronologique des événements, mais du temps comme ressource. Comme ce fut le cas pour l'air, l'eau, l'idée que le temps puisse être une ressource est apparue lorsque la rareté commença à en être ressentie douloureusement. On s'aperçut alors que toute activité économique « demandait » du temps, « consommait » du temps, et que les ressources correspondantes n'étaient pas illimitées. Une nouvelle contrainte fut donc introduite dans les modèles économiques, traduisant comme pour les ressources matérielles, que les quantités consommées ne peuvent dépasser les quantités disponibles. Corollairement, un nouveau problème se posait, celui de l'affectation « optimale » des ressources en temps.

A la même époque, l'économie publique prenait son essor, les économistes se préoccupant de définir et d'évaluer la rentabilité sociale des projets publics. Or, dans un certain nombre de secteurs, celui des transports, celui des communications, les investissements publics sont en principe à l'origine de coûts en ressources matérielles et d'avantages en ressources temporelles : ces investissements sont censés faire « gagner du temps » (investissements routiers, modernisation des centraux téléphoniques, etc.). De la volonté de disposer d'une commune mesure pour peser coûts et avantages est né le concept de « valeur du

temps ». Pour l'économiste, ce concept procède de la constatation que les individus opèrent, semble-t-il, des substitutions entre leurs ressources matérielles et leurs ressources en temps : ils sont prêts apparemment à troquer une partie des unes contre une augmentation des autres, et réciproquement. Ainsi, l'économiste considère qu'en travaillant ils aliènent un temps qu'ils pourraient consacrer à des activités plus « agréables », et ce afin d'accroître leurs ressources matérielles. Inversement, lorsqu'ils choisissent un mode de transport rapide mais coûteux, il est admis que cette consommation n'est pas une fin en soi, mais un moyen d'augmenter les ressources temporelles disponibles pour des activités « finales », au prix d'un renoncement à une partie des ressources matérielles disponibles pour ces mêmes activités finales.

Le rappel de ces notions montre, si besoin est, que la théorie économique de la valeur du temps s'inscrit dans un contexte socio-culturel bien particulier : celui de nos sociétés industrielles de gens « pressés ». Il n'est nul besoin d'approfondir très avant la littérature anthropologique pour constater que cette conception du temps comme ressource est totalement étrangère à bon nombre de cultures, le plus souvent jugées « primitives » il est vrai. Or, le contexte dans lequel nous sommes placés nous paraît si « naturel » que nous n'en voyons même plus les paradoxes, pourtant troublants. Un des moindres n'est sans doute pas celui qu'exprime Staffan B. Linder en ces termes : « De tout temps on s'est attendu à ce que l'un des bénéfices de l'abondance économique soit une manière de vivre tranquille et harmonieuse, une sorte d'Arcadie. Or ce que l'on observe est exactement le contraire. La cadence s'accélère, et nos vies deviennent, en fait, de plus en plus fiévreuses ».

(1)

Pour s'en tenir aux auteurs les plus célèbres, Marx et Engels avaient effectivement prophétisé que c'est par l'accroissement de la productivité du travail que l'on pourrait un jour sortir du « règne de la nécessité » pour entrer dans celui de la « liberté ».

Toujours pas l'Arcadie

Un des plus grands paradoxes de notre époque est sans doute que la productivité du travail a augmenté dans des proportions considérables depuis le moment où

Engels écrivait ces lignes, mais qu'on ne voit toujours pas le moindre signe annonçant la proximité de cette « Arcadie », où tous, largement détachés des soucis se rapportant à la vie matérielle, consacraient leur temps à des activités « plus nobles ». Bien au contraire, comme le dit Linder, jamais les rythmes n'ont été aussi hâle-tants, le temps si rare. Nous manquons perpétuellement de temps pour jouir des objets qui meublent nos vies et à la production desquels nous sacrifions tant. Ces moments qui éclairent une vie et pendant lesquels nous communiquons intensément avec un être, un paysage, une œuvre d'art, sont gâchés par le fait, et surtout la conscience du fait, que nos minutes sont rares et que beaucoup d'activités se les disputent. Le rythme fébrile, l'agitation forcée que nos concitoyens connaissent les mènent parfois au bord de la paralysie, de même qu'une machine tournant en surcapacité connaît des risques de blocage. Seuls les experts passés maîtres dans l'art de gérer leur « budget-temps » arrivent à s'en sortir. Mais une société qui fait un grand succès à des livres tels que Comment élever vos enfants à la maison à vos moments perdus est certainement une société malade. Une autre dimension de cette pollution du temps est le fait que la proportion de notre temps que nous consacrons à des activités qui sont des fins en elles-mêmes s'amenuise sans cesse. Comme l'écrit Bertrand Russell : « Il y avait jadis une aptitude à l'allégresse et au jeu qui a été en partie inhibée par le culte de l'efficacité : l'homme moderne considère que toutes les choses qu'il fait doivent l'être en fonction de quelque chose d'autre, et jamais pour elles-mêmes ». Tel est le cas du travail, dont la durée sur longue période est pratiquement stable, en dépit d'une baisse régulière mais faible, observée ces dix dernières années (2) ; tel est le cas des transports, en particulier des déplacements domicile-travail (3) ; tel est le cas, de façon plus générale, et c'est un paradoxe au deuxième degré, de toutes les activités qui sont censées nous faire « gagner du temps » et qui nous occupent de plus en plus de temps ! Par exemple, contrairement aux évidences, l'apparition des aides électriques et mécaniques n'a pas réduit sensiblement le temps total que la femme au foyer consacre aux tâches ménagères. Plus généralement encore, même le temps

(*) Presses Universitaires de France — Décembre 1976.

(1) Staffan B. Linder, *The Harried leisure class*, Columbia University Press, 1970.



dit libre prend cette coloration de moyen : c'est le cas des vacances, dont l'idéologie commune tend à faire l'occasion du temps retrouvé, et qui ne sont en fait que moyen : moyen de « faire » des pays, selon cette expression à la mode si affreuse, mais si révélatrice, moyen d'accumuler les photographies qu'on montrera aux amis, etc. Même sur la plage on n'est pas là pour être sur la plage, on est là pour bronzer.

La réification du temps

De ces phénomènes paradoxaux, certains économistes proposent une interprétation qui prend pour acquise la réification du temps en substance que l'on peut acheter, échanger, accumuler à volonté.

Notre société, selon le mot de Bertrand Russel, est celle où l'on apprend à faire deux fois plus d'épingles en un temps donné plutôt que de faire une quantité d'épingles en deux fois moins de temps. En d'autres termes, les gains de productivité sont convertis en ressources matérielles au lieu de l'être en ressources temporelles. C'est le fondement même de la croissance économique, considérée comme un phénomène inévitable et souhaitable. Donc, la durée du travail restant sensiblement la même, de plus en plus de biens se disputent un temps de non-travail inchangé. La consommation de ces biens prenant du temps, le temps devient un bien rare par rapport aux choses. En d'autres termes, le temps étant devenu une marchandise comme les autres, sa « valeur » s'accroît.

Quelles conséquences cela a-t-il sur notre mode de vie ? Chacune des activités qui composent une journée, que ce soit les repas, les déplacements, les loisirs, etc., « consomme » à la fois des ressources matérielles et du temps. Certaines consomment relativement beaucoup plus de temps que de ressources (la contemplation d'un jardin zen), pour d'autres c'est l'inverse (la tournée des boîtes de nuit). Les activités sont donc relativement plus ou moins « chronophages ». Or chacun est censé arbitrer entre elles compte tenu de ses préférences propres — qui se traduisent par des taux de compensation entre activités : par exemple, un peu plus de travail peut être compensé par tant d'heures de cinéma en plus, ou bien un peu moins de télévision peut être compensé par tant d'heures de lecture supplémentaire, etc. —, la nécessité de l'arbitrage résultant justement de la double rareté en ressources matérielles et temporelles : on ne peut pas tout avoir à la fois. Il est donc à prévoir qu'à mesure que le temps devient de plus en plus rare par rapport aux choses, les arbitrages se déplaceront au détriment des activités les plus chronophages. Par ailleurs, pour une même activité, il y a en général possibilité de substituer, dans une certaine mesure, des objets au temps ou l'inverse : il est également à prévoir que le temps devenant de plus en plus « cher » par rapport aux objets, on s'arrangera de plus en plus pour substituer les seconds au premier.

C'est bien ce que l'on constate. Prenons par exemple ce phénomène très ca-

ractéristique des sociétés « riches » qu'est le déclin de la qualité des services (phénomène non incompatible avec celui d'une augmentation de la quantité des services). Pour entretenir notre patrimoine, nos biens, nous disposons, en général, de trois moyens de procéder, qui font appel à des ressources différentes : entretenir nous-mêmes ce patrimoine en y consacrant notre propre temps, faire appel aux services d'entreprises spécialisées (c'est-à-dire se payer le temps des autres) et enfin... ne pas entretenir, et remplacer nos biens à un rythme rapide. Quand la valeur du temps croît, le coût généralisé du premier moyen devient de plus en plus élevé par rapport à celui des deux autres, ainsi que celui du deuxième par rapport au dernier (en admettant que la productivité du temps de travail des sociétés de service croît, mais moins rapidement que la productivité dans la fabrication des biens). Cela expliquerait que nous consacrons de moins en moins de temps nous-mêmes à l'entretien de notre patrimoine et que nous fassions de plus en plus appel à la dernière solution : nous gardons nos objets de moins en moins longtemps. Pour Linder, la société américaine offre une illustration proche de la caricature de ce genre de situation : les Etats-Unis seraient le pays du monde occidental où les vêtements seraient les plus fripés et les plus sales, les automobiles les moins souvent lavées et révisées, les maisons les plus mal entretenues, etc. Tout ceci conduisant au résultat paradoxal qu'une société où les gens accordent tant d'importance à leur niveau global de consommation est aussi celle où ils se désintéressent le plus de chaque consommation en particulier.

Cette diminution de la qualité des services, qui est liée à une diminution du temps passé à l'entretien de chaque bien de consommation, peut très bien s'accompagner, et c'est le cas, d'une augmentation de la quantité des services : il suffit que le volume de la consommation à entretenir progresse plus vite (maisons plus grandes, voitures plus performantes, chaînes hi-fi plus complexes, etc.) que ne diminue le temps unitaire d'entretien. Et l'on aboutit à la situation également paradoxale d'une économie où les services prennent de plus en plus d'importance et sont d'une qualité de plus en plus médiocre.

Ce qui vient d'être dit à propos de notre patrimoine matériel peut être étendu à notre patrimoine physique : l'entretien de notre propre corps, le souci de notre santé, à ceci près que la solution de renouvellement anticipé n'est évidemment pas envisageable dans ce cas (au moins en ce qui concerne le renouvellement complet car il reste des solutions de renouvellement partiel : par exemple, le port d'un dentier se substituant à l'entretien quotidien des dents). On observe également un très net déclin de la qualité de cet entretien. Le temps de sommeil est de plus en plus considéré comme un temps gaspillé. Des recherches se développent pour essayer de le réduire. En attendant qu'elles aboutissent, on essaie de rentabiliser ce temps, par exemple par des méthodes d'enseignement pendant le sommeil. Tout ceci, ajouté au rythme haletant de la vie éveillée, conduit à une diminution de la qualité du sommeil, ce qui favorise l'augmentation rapide de la consommation des pilules pour dormir, barbituriques et autres tranquillisants. Pour ce qui est de l'hygiène personnelle,

ici encore les biens se substituent au temps, les déodorants, parfums, eaux de Cologne remplaçant bien souvent une toilette qui demanderait trop de temps. Les repas étant une activité relativement chronophage, on leur consacre un minimum de temps, ce qui rend plus difficile la digestion et moins vif le plaisir. Quant à l'exercice physique, activité qui demande beaucoup de temps pour en général peu de consommation de ressources matérielles (sauf s'il s'agit de sports coûteux par l'équipement qu'ils demandent : tennis, ski, équitation,...), le temps qui lui est consacré tend bien souvent asymptotiquement vers zéro.

La raquette de tennis jamais utilisée

Dans le même ordre d'idée, le temps qui est consacré à s'occuper des autres, et en particulier des enfants et des vieillards, est de plus en plus remplacé par l'utilisation de ressources matérielles : le père de famille qui n'a plus le temps de parler avec ses enfants compense ce manque de relations par des cadeaux coûteux. Les vieillards ne trouvent plus place dans les familles et sont parqués dans des hospices, où le temps d'attention à autrui est mieux « rentabilisé ». Le médecin peut expédier la consultation en cinq minutes à condition de prescrire beaucoup de médicaments. On pourrait multiplier les exemples de cette sorte.

Nous avons rappelé qu'un des effets attendus de l'abondance a toujours été un détachement suffisant par rapport aux problèmes matériels de l'existence pour permettre de se consacrer à des activités de méditation, de réflexion personnelle, de pratique des arts, d'enrichissement de l'esprit, ou tout simplement de « farniente ». Erreur, nous répond l'économiste. Il s'agit là d'activités particulièrement « chronophages ». La concurrence avec d'autres occupations demandant beaucoup de ressources matérielles ne leur laisse aucune chance. Certes, on « consomme » de plus en plus de livres, de disques, etc., mais il s'agit justement là d'objets que le plus souvent l'on ne fait que collectionner sans même avoir le temps de les lire ou des les écouter. Les activités qui occupent la majeure partie du temps de cette harried leisure class, en dehors du temps de travail, sont de plus en plus celles qui demandent beaucoup d'« inputs » matériels par unité de temps. Dire que plus de temps va leur être consacré ne veut pas dire qu'on consacrerait beaucoup de temps à une seule consommation : au contraire on consacrerait de plus en plus de temps à un nombre croissant de consommations avec de moins en moins de temps pour chacune d'elles. Parmi ces activités, la plupart des activités « sociales » : vie en société, réceptions, clubs, etc. Il note par exemple que, lors d'un dîner en ville, la plupart des gens seraient choqués d'être les seuls invités. Alors qu'à une autre époque, ou en d'au-

(2) La durée du travail était en France de l'ordre de 44 h par semaine en 1972, soit 10 % de plus que les 40 h fixées par la loi de 1936. Augmentation moins que compensée par l'allongement de la durée des vacances passées de 2 à 4 semaines, soit une réduction de 4 % du temps de travail annuel. Ces dix dernières années, la durée du travail a baissé régulièrement mais de moins de 1 % par an. Dans le même temps, l'économie croissait annuellement de presque 6 %. Entre 1896 et 1968, le taux d'activité global n'a baissé que de 20 % environ, alors que la productivité était multipliée par 9.

Même le temps dit « libre » devient un moyen : sur la plage, on est là pour bronzer...

tres lieux, cela constituerait au contraire une marque d'attention, on y voit plutôt une occasion perdue de se faire, non pas des amis, mais des relations sociales. Cette même volonté de rentabiliser son temps peut conduire à la situation extrême où le temps par unité de consommation devient nul ou quasi nul : c'est le cas de la raquette de tennis que l'on achète, mais que l'on n'utilise pas, de la carte de club que l'on acquiert pour ne jamais ou presque le fréquenter. A ce stade, la possession a purement et simplement remplacé l'usage.

Le sens contre l'homme ou le contresens

Telle est donc l'explication que la théorie économique « bourgeoise » est capable d'apporter au phénomène paradoxal de l'encombrement du temps : tout s'expliquerait par la rareté et donc la cherté croissantes du temps.

Ce que montre Linder, en effet, c'est que l'encombrement du temps de non travail par les consommations arrive à gâcher complètement la qualité de l'usage qui est fait de ce temps.

Cette impuissance logique du modèle économique dominant est d'autant plus saisissante que nous savons qu'il s'est en fait donné dès ses prémisses la réponse à la question qu'il se pose. Cette question est en effet : comment expliquer qu'à mesure que les gens deviennent plus riches ils deviennent plus futiles, plus incapables de se rencontrer, de s'intéresser à autre chose qu'à eux-mêmes, qu'ils ne prennent plus le temps de penser aux « vraies » questions ? Comment se fait-il qu'ils n'agissent plus par eux-mêmes, et ne sachent plus que « consommer » ce que d'autres font pour eux ? Et l'homme castré que ce modèle met en scène possède déjà, au moins en puissance, toutes ces « qualités », si l'on peut dire !

Ce n'est pas la notion économique d'arbitrage qu'il faut mettre en cause, bien que son importance soit liée historiquement à une société donnée, la nôtre, et que l'économiste néo-classique se rende coupable d'ethnocentrisme en en faisant une catégorie universelle. Il est vrai que, dans la société industrielle, on ne peut pas « tout avoir », mais c'est parce qu'il s'agit d'avoir justement, et non pas d'agir. Le type de rareté que nous connaissons, rareté d'avoir et rareté de pouvoir, n'est pas une fatalité, on ne le répètera jamais assez, mais le résultat du processus d'expropriation des capacités d'action autonome que nous dénonçons. L'arbitrage au sens économique du terme suppose deux conditions : la rareté et la commensurabilité. Dans une société où ces choses qui prétendent s'appeler la santé, l'éducation, la qualité des relations interpersonnelles, la qualité de la vie, la qualité de l'environnement sont produites par des systèmes hétéronomes et sont des valeurs d'échange, ces deux conditions sont satisfaites : la capacité de production nécessairement limitée des systèmes hétéronomes assure la première ; l'interchangeabilité des inputs — le travail abstrait — donne l'illusion de la seconde. Mais si c'est par la mise en œuvre de leurs capacités de production autonome, appuyée sur une base hétéronome suffisante, que les gens engendrent ces valeurs d'usage incommensurables que sont les rapports qui les unissent au monde, aux autres et à eux-mêmes, on voit mal comment ils pourraient « arbitrer » entre elles.

L'homme industriel arbitre donc, il

arbitre entre ce qu'il peut recevoir des organisations qui font les choses à sa place. L'économiste néo-classique a bien raison sur ce point, mais ce qu'il ne voit pas, c'est que l'homme, même industrialisé, ayant aussi besoin de sens, n'achète pas seulement la « santé », la « qualité » qu'on lui offre, il achète aussi du sens, ou plutôt les signes de ce qui manque à ces marchandises pour en faire autre chose que de simples ersatz : signes que la médecine industrielle n'est pas cette énorme machine anonyme mais une mère pleine d'attention ; signes qu'il n'est pas, lui, un simple unput interchangeable avec tous les autres, mais une personne unique dotée d'un statut ; signes aussi qu'il n'est pas géré par ces monstres non humains que sont les interfaces, mais par des hommes qui ont nom : Président de la République, Premier Ministre, etc. Tous ces signifiés l'étant par des signifiants coûteux, et d'autant plus efficaces qu'ils sont coûteux.

Or la logique du signe en synergie avec la logique du toujours plus engendre, nous le savons, ces processus compétitifs qui se développent en boule de neige, dans lesquels chacun se retrouve en moyenne, en ce qui concerne l'enjeu, gros Jean comme devant, mais tous ayant perdu sur les variables sacrifiées à la compétition. C'est la contre-productivité par encombrement. Dans le problème qui nous occupe, on comprend pourquoi l'encombrement du temps qui rend la vie si absurde n'arrive pas à freiner la croissance. Dans toute compétition, il arrive un moment où l'intérêt collectif est de s'arrêter. Mais il suffit que certains continuent pour que les autres en fassent autant de peur d'être distancés.

Contre-productivité par encombrement

Cette même logique est capable de rendre compte de la situation paradoxale d'individus passant leur temps à essayer d'en gagner. Notons tout d'abord que le marché « raisonne » comme l'économiste (l'inverse étant aussi vrai). Ce qui veut dire qu'à mesure que le niveau de vie, donc la valeur du temps, et son encombrement augmentent, les individus sont prêts à payer de plus en plus cher pour accéder à ces moyens techniques dont la fonction manifeste est de faire « gagner du temps » : ouvre-boîtes électriques et autres Concorde. Pourquoi il en est ainsi, et pourquoi ils se retrouvent finalement encore plus encombrés, c'est ce que nous allons voir maintenant.

Dans une société où la richesse matérielle est aussi le moyen d'acheter du (faux) sens, il n'est pas étonnant que ce qui accompagne nécessairement cette richesse, l'encombrement du temps, ait les mêmes fonctions de signe. Le mode de vie fiévreux qui est celui de la classe dominante devient une référence par rapport à laquelle on se situe. Ainsi Michel Crozier note que « tous les Français qui accèdent à des responsabilités sont suroccupés, et ceux qui veulent y accéder ou veulent avoir l'air d'y être parvenus le sont encore plus... Dans un tel cercle vicieux, l'encombrement devient une drogue et un signe même de la supériorité de ceux qui sont in » (4).

L'encombrement devient donc une valeur en soi. Des extraits d'enquêtes auprès d'étudiants, de hauts fonctionnaires et de chefs d'entreprises illustrent nettement cette affirmation (5) :

« Si le monde était désencombré, il ne serait pas humain. Il serait invivable ».

« Grâce à l'encombrement, nous vivons plus intensément ».

« L'encombrement n'est pas pour moi une interdiction de vivre, mais une raison supplémentaire de vivre ».

« Il faut être passionné pour être encombré ».

« Quand je ne suis pas encombré, je m'ennuie ».

« Gagner du temps » étant une nécessité pour l'homme encombré, tout ce qui signifie que l'on cherche à gagner du temps va être valorisé. L'homme moderne va vite, fait tout vite. L'homme moderne, l'« homme de caractère », l'« homme d'entreprise », n'a pas le droit d'être un homme lent. Les médias les plus divers nous enfoncent bien cette idée dans le crâne (6). Mais que la recherche du temps de vivre n'ait rien à voir à l'affaire est évident. Déjà le philosophe Alain notait que les gens qui « gagnent un quart d'heure » en allant de Paris à Deauville à fond de train utilisent ce quart d'heure à se vanter de l'avoir fait.

Mais y a-t-il vraiment temps gagné ? Les observations rappelées plus haut permettent d'en douter. Que se passe-t-il donc ? Quand le temps unitaire consacré à une activité (tâches ménagères, déplacement) diminue, du fait de l'utilisation de moyens techniques plus performants, on constate que corrélativement le volume de cette activité augmente, de telle sorte que le temps global qui lui est consacré change peu. La raison en est la suivante. En dehors de leurs fonctions utilitaires manifestes, ces activités ont valeur de signe : signe d'attention à autrui que la ménagère déploie à l'intention des membres de sa famille, signe de statut que constituent les déplacements lointains. Or, ce qui est signifiant, c'est la peine que l'on prend à ces activités. Si celle-ci diminue, par réduction du temps unitaire, il sera nécessaire d'en faire plus pour que la valeur signifiante reste inchangée. La ménagère tirera bien parti des aides électriques, pourra même acheter des plats tout préparés, en un mot déploiera les signes de modernité (ce d'autant plus qu'elle appartient à une catégorie sociale élevée), mais elle s'arrangera pour passer un temps suffisant à la cuisine « en y mettant du sien » (7). Pour les déplacements de tourisme, une plus grande facilité et une plus grande rapidité pour se rendre à des distances moyennes dévalorisent ces dernières en tant que signes : Acapulco détrône Torremolinos, et le temps de transport ne change guère.

La recherche du sens se retournant contre lui, l'humain contre l'homme : voilà le triste sort de l'homme trivialisé.

(3) Ces dernières années, les diminutions de la durée du travail ont été compensées pour un tiers ou pour moitié par l'allongement des trajets. De toute façon, il suffit que la durée quotidienne du trajet domicile-travail s'allonge de trois minutes pour neutraliser la réduction de la durée du travail que l'on observe actuellement en France.

(4) M. Crozier, in L'homme encombré, Prospective, n° 15, avril 1969.

(5) L'homme encombré, op. cit.

(6) Témoin cette publicité pour Matra trouvée dans un Boeing 707. Il s'agit d'une bande dessinée où on voit un homme mûr, beau, bronzé, commandant de bord d'un Boeing, se poser à Orly en provenance d'Acapulco. Il se précipite dans sa Matra, fonce à Méribel, chausse ses skis, passe sa nuit à danser, la termine dans les bras d'une belle, repart dans sa Matra pour Orly où il fera décoller son avion vers les Tropiques (et gare à l'accident !).

(7) Cf. Ph. d'Iribarne et al., Les consommations alimentaires, Cerebe, 1972 ; J. Vanek, op. cit.

LES VILLES DU FUTUR ONT-ELLES BESOIN D'UN PASSE IMAGINAIRE?

Bernard Lassus et Michel Conan

Les villes nouvelles n'ont pas de passé. Le passé, pour elles, n'est pas visible au niveau de l'architecture, ou des monuments historiques ; c'est le rocher ou la colline sur lesquels elles ont été construites. A travers le cadre naturel, on peut recréer un passé imaginaire : c'est le propos de ce « jardin de l'antérieur » conçu par Bernard Lassus et Michel Conan. Souvent le passé d'une ville est identifiable par les fragments de ses divers moments construits qui se perpétuent visibles par ses anciens monuments et ses vieux quartiers.

Pour une ville nouvelle, son passé ce n'est pas le construit, c'est le rocher, le champ ou le bois sur lesquels elle vient d'être construite ; c'est aussi la vie des hommes qui ont façonné cette région.

Pour que le passé de cette ville nouvelle (1) reste présent, son centre devrait être constitué d'une zone naturelle et d'une zone construite. Par cette confrontation, la zone à dominante construite apparaîtrait comme plus sécurisante que la zone à dominante naturelle, qui devrait être ressentie comme sauvage et un peu angoissante.

Trop souvent, les quelques arbres, précieusement conservés autour du nouveau bâti, ne font qu'indiquer par leur présence qu'ils sont les vestiges d'un bois disparu, et témoignent que c'est à son détriment que le construit a pu se développer, renforçant ainsi la brutalité du bâti.

Une coupure nette entre les deux zones rendrait l'opposition entre « zone naturelle » et « zone construite » plus saisissante, mais cette coupure ne serait pas semblable sur toute sa longueur.

Son aménagement pourrait être basé sur une dissociation du tactile et du visuel ; c'est-à-dire que lorsqu'il y aurait vue générale, à partir d'un point haut, l'accès physique serait rendu difficile, voire impossible, et inversement, lorsqu'il y aurait accès physique, la découverte serait différée et le champ visuel très réduit.

Un premier élément de cette coupure pourrait être un mur, un rempart, dont le traitement matière serait différent de l'ensemble des autres éléments de la zone construite, s'inspirant peut-être des vieilles murailles de la région.

Nous ne pouvons pas aborder chacune des zones sans avoir posé le rapport de l'image de ce centre secondaire par rapport à celle du centre principal.

Ceci implique que le contraste interne zone naturelle zone construite n'empêche pas le centre secondaire d'apparaître comme globalement plus naturel et plus végétal que le centre urbain, celui-ci apparaissant de ce fait comme encore plus urbain.

Dans la zone construite, le végétal serait très présent mais en tant que végétal domestiqué : arbres d'ornement, taillés ou non, fleurs en massif, et éventuellement arbres fruitiers. Par contre, ces végétaux travaillés seraient totalement exclus de la zone naturelle.

Si la signification des deux zones dépend du passage de l'une à l'autre, elle dépend également de la diversité des systèmes relationnels de leur structure interne.

La zone construite finirait aux terrasses qui, du mur rempart, surplomberaient la zone naturelle.

Les sols de ces lieux seraient traités en des états de surface à forte granulométrie.

Les façades des bâtiments situés sur l'axe principal, et celles implantées à proximité, seraient traitées en façades végétales.

Les façades végétales serviraient de support à des végétaux envahissants ; ce qui impliquerait la présence de jardinières profondes et de surfaces de treillis. Avant que les végétaux aient eu le temps de les envahir, il faudrait que ces façades puissent être identifiées comme végétales.

Une ornementation de façades en motifs de béton moulé, coloré dans la masse, s'inspirant de plantes, de fleurs, de feuilles et même de certains animaux, ainsi que de divers dessins de treillis permettraient cette identification.

Parallèlement à la géométrie des bâtiments, une géométrie de jardinières et d'arbres d'ornement se développant en partie basse redessinerait l'axe principal sur certaines fractions de sa longueur.

De vastes jardinières serviraient de continuité et de support aux éléments du mobilier urbain, en particulier à l'éclairage public.

Cette structure, tout en facilitant les regroupements, introduirait d'autres échelles de lecture de l'axe principal et des façades.

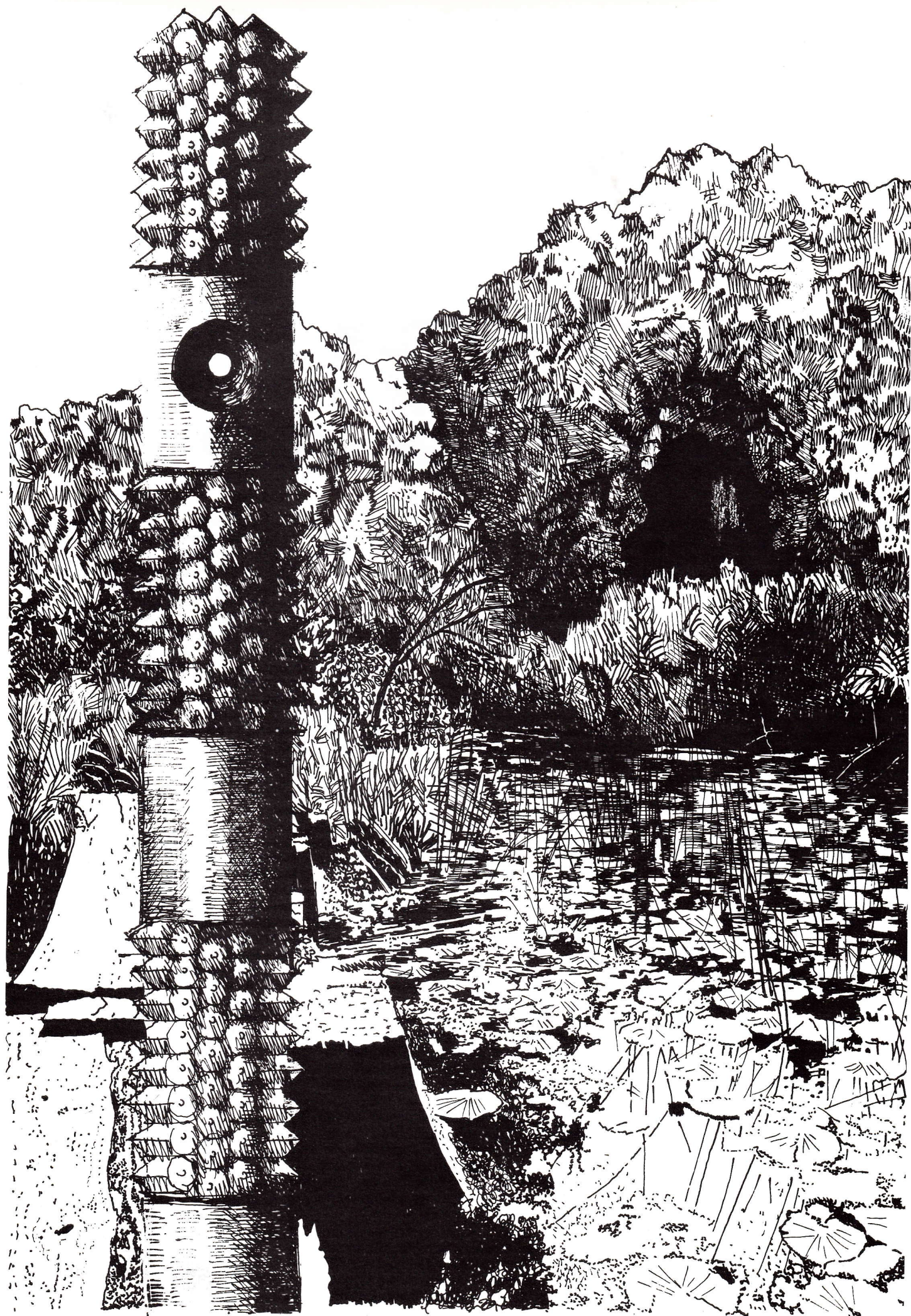
Au niveau du piéton, à mesure qu'il se rapprocherait de la partie la plus centrale, les surfaces verticales de végétal deviendraient miroir, transparence et brillance. Les sols blancs et lisses favoriseraient les réflexions de lumière de ces surfaces verticales, devenues progressivement des boutiques.

Une vaste trame horizontale, formant plafond au-dessus des circulations, supporterait l'éclairage public et renforcerait la dissociation entre l'échelle tactile, traitée en brillance, et les parties supérieures des façades qui se poursuivraient végétales à l'échelle visuelle.

Dans la partie à dominante habitat, la continuité construite serait organisée autour de petits groupes d'arbres taillés, entourés de façades colorées qui s'opposeraient aux couleurs des végétaux pour renforcer leur aspect objet. Lorsqu'il n'y aurait pas d'arbres, les façades construites se répondraient l'une l'autre en façades végétales plantées au gré des habitants.

Pour l'ensemble de la zone construite, les entrées d'immeubles collectifs seraient des transitions subtiles entre la maison et la rue : lieux abrités, favorisant le repos, peut-être la conversation, et donnant à voir, sorte de jardin d'hiver au travers desquels il faudrait se promener pour entrer dans la maison. Volumes intermédiaires, presque indépendants de la façade, ces constructions

(1) Extraits des études effectuées par Bernard Lassus à la demande de la Société Centrale Immobilière de la Caisse des Dépôts, pour la consultation d'urbanisme de l'étang de Saint-Bonnet-le-Lac, ville nouvelle de l'Isle-d'Abeau, au printemps 1975.



légères aideraient à constituer l'échelle tactile, et établiraient des continuités avec les trames support du mobilier urbain.

Dans une avenue proche des remparts, à contre vue, un micro-paysage miniaturisé autour d'une fontaine serait un rappel du jardin de l'antérieur, un des lieux principaux de la zone naturelle.

Pour être crédible, la zone naturelle doit être suffisamment étendue pour qu'on ne puisse pas en apprécier visuellement les limites, que ce soit du point de vue préférentiel des terrasses de la zone construite ou pour le piéton en promenade. En aucun cas, les circulations piétonnières ou automobiles ne devraient permettre de faire consciemment le tour de cette zone.

La franchise de la coupure du mur serait renforcée par le flou des autres limites.

La différence entre zone construite et zone naturelle est essentiellement marquée par l'opposition entre une zone où l'on juxtapose des éléments mesurables, des maisons, des routes, des équipements, et une zone incommensurable à l'intérieur de laquelle on peut remarquer certains éléments mesurables : un arbre au bord de la forêt.

Mais nous savons bien que cette zone naturelle ne peut plus être incommensurable, elle n'est qu'un support à un incommensurable imaginaire : peut-être le « démesurable ».

A partir du pied du rempart s'étend le jardin de l'antérieur.

Malgré l'absence d'allées et de chemins, on découvrirait, de moins à plus sauvage, quelques prairies parsemées de groupes d'arbres, de rares animaux domestiques, des champs presque abandonnés où subsisteraient des parcelles d'anciennes cultures, des friches, des bois, des buissons, une roselière entourant un étang difficilement accessible, des franges de forêt où on ne ramasse plus les branches mortes et plus loin un autre étang.

Puis isolés les uns des autres, sortes d'îlots, des micro-paysages qui illustreraient les légendes et les contes de la région.

A la tombée du jour, on entendrait, non loin des bords de l'étang, sonner étrangement la cloche engloutie du lac de Bar, plus loin surgirait du fond de l'eau, dans un halo lumineux, l'image d'un village englouti.

Pour repérer ces lieux secrets et s'orienter, une colonne serait implantée auprès de chacun de ces micro-paysages. En haut de chacune d'elles, par un œilleton, accessible en montant quelques marches, on apercevrait une ou plusieurs colonnes, annonçant la Tour de la Belle Allemande, la Grot-

te de la Bonne Femme, l'Arbre Enchanté, le Loup de Virieu...

Un exemple : à la fin de l'après-midi, au moment où le promeneur prend conscience que le jour a déjà bien diminué et que la nuit commence à arriver, des sons faibles et sourds semblent provenir des alentours de l'étang de Saint-Bonnet.

Si le promeneur souhaite les identifier et en situer plus précisément la provenance, guidé par eux, il se rapproche des bords de l'étang et reconnaît différents bruits de cloches émanant de l'étang lui-même. Avant qu'il ait pu s'approcher davantage, de nombreux éclairs sillonnent la profondeur et la surface de l'eau.

Puis plusieurs de ces points deviennent rapidement des taches, puis des plages lumineuses de plus en plus étendues, aux limites floues ; à mesure qu'elle s'agrandissent, leur centre laisse apparaître du fond de l'étang, en vue aérienne, des images mobiles de maisons, de rues et de monuments inconnus.

L'écartement des plages lumineuses, la forme de leurs franges et l'échelle commune des paysages tendent à suggérer que des fissures au fond de l'étang laissent entrevoir un monde autre, peut-être englouti mais plein de lumière, dont l'étendue ne semble pas se limiter à sa seule surface, mais très au-delà de l'étang.

Puis, subitement, les images s'effacent. L'étang et ses roseaux réapparaissent mais plus sombres. Le promeneur, se figeant pour mieux entendre, constate que les cloches ne sonnent effectivement plus, puis se souvient qu'elles se sont tuées quelques instants avant que les images ne disparaissent...

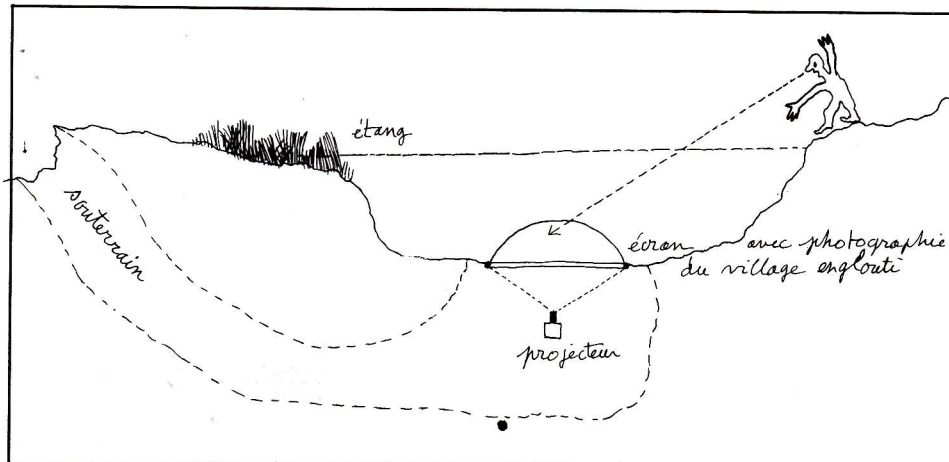
Ces cheminements visuels précis pallieraient à l'absence de cheminements tactiles organisés.

Ainsi, à nouveau, lorsqu'il y aurait vue générale d'un point haut, l'accès physique serait rendu difficile, et inversement lorsqu'il y aurait accès physique le champ visuel serait très réduit et la découverte successive.

A l'usage, de multiples ébauches de sentes naîtraient entre les ronces et les orties.

Par hasard, on découvrirait des entrées de souterrains effondrés après quelques mètres, permettant d'imaginer tout un réseau de galeries souterraines.

Dans le jardin de l'antérieur, il serait possible de jouer dans la prairie, de reconnaître les plantes, d'écouter le croassement des grenouilles, de se risquer dans les bois, et à partir des miniaturisations de contes de songer au passé légendaire de ces lieux.



DES ICEBERGS POUR L'ARABIE SAOUDITE

Parmi les grands projets (réalistes ou pas ?) d'aménagement des territoires, la revue « 2000 » résume ici l'idée qui consiste à se servir des icebergs comme réservoirs d'eau douce pour les pays arides, en l'occurrence ceux du golfe persique.

Un bureau d'études français, le Cicero étudie cette idée pour l'Arabie Saoudite : alimenter en eau douce les Saoudiens avec des icebergs provenant du pôle sud. La fonte d'une de ces montagnes de glace fournirait, dit-on, à Riad 1 million de mètres cubes d'eau. Voici quelques synthèses de presse sur ce projet situé à mi-chemin entre la météorologie et l'aménagement des territoires.

L'Arabie Saoudite dort sur un fabuleux trésor : 20 milliards de tonnes de pétrole — peut-être 30 ou 40, — mais elle manque d'eau. Or, pour un pays désertique, l'eau c'est vital. Après le dessalement de l'eau de mer qui a coûté 1 milliard de dollars d'investissement, après une vaste campagne de prospection des nappes souterraines qui a donné de bons résultats grâce d'ailleurs au BRGM, on songe maintenant à l'eau des glaces. A la formidable réserve d'eau douce que représentent les icebergs.

Les Saoudiens veulent, tout simplement, boire l'eau des icebergs après les avoir capturés et remorqués du pôle Sud jusqu'à leurs côtes. Projet digne de Jules Verne mais qu'un homme, Paul-Emile Victor, et un petit bureau d'études français, Cicero, sont en passe de transformer en réalité.

La chasse aux icebergs ce n'est pas une nouveauté. A voir ces montagnes de glace dériver dans les mers australes, d'aucuns avaient déjà imaginé une exportation possible dès la fin du XIX^e siècle. C'est ainsi que de petits icebergs, tirés par des navires jusqu'à Valparaíso, servirent à l'alimentation en eau douce du port chilien. Plus récemment, dans les années 50, la ville de San Francisco fut approvisionnée, par bateaux, en glace provenant de l'Alaska. Les Américains ont même songé un moment à utiliser ces blocs de glace flottants comme porte-avions. Il faut dire que dans ce monde glacé les dimensions sont hallucinantes : Une belle pièce mesure 1 à 2 km de long sur 250 à 300 mètres de large. Au-dessus de l'eau 50 mètres, et sous l'eau 250 ! Le tout pesant

1 million de tonnes, soit 1 million de mètres cubes d'eau garantie.

La chasse aux icebergs, n'est pas une mince affaire, mais techniquement d'après l'étude du Cicero elle est aujourd'hui parfaitement réalisable.

Première chose, choisir sa proie. On a le choix. Dans la mer de Wedell elles abondent. De préférence de bonne taille, sans fracture, ni caverne.

Pour cela, on procède, depuis des hélicoptères, à une véritable radiographie du bloc de glace. Des sonars immergés sondent ses flancs. Si nécessaire, on fera sauter une excroissance gênante pour obtenir un morceau bien régulier. Reconnu sans faille, de bonne taille et de bonne forme, l'iceberg va être capturé.

Il faut attendre que les courants le fasse dériver jusqu'aux parages de l'Île Bouvet au large de l'Afrique. Après, c'est l'assaut en règle mené par une armada de cinq remorqueurs, une flottille d'hélicoptères et un pétrolier transformé en navire de soutien.

Les chasseurs doivent tout d'abord fixer dans la masse des points d'ancrage soigneusement choisis pour que la traction s'exerce au bon endroit et que le bloc ne risque pas de se briser.

Le dessus de l'iceberg est devenu un véritable chantier. Les hélicoptères font une navette incessante dans les rafales de vent en apportant, suspendus sous leurs flancs, d'énormes tuyaux d'acier. Une foreuse à tête chauffante creuse les premiers puits à 80 mètres en retrait de l'avant. Un tube de 6 mètres de long et 1 mètre de diamètre s'enfonce dans la glace. Sept autres puits

sont ainsi creusés en cercle et armés par un tube d'acier. Ensemble ils forment l'ossature sur laquelle on va fixer le point d'ancrage. Le monstre est équipé de cinq prises capables de résister à des tractions de 250 tonnes.

On déploie maintenant sur le toit de l'iceberg une étrange machine qui tient du pont roulant, de la guillotine et du fil à couper le beurre. A nouveau on creuse des puits dans la glace, entre deux puits on tend une lame chauffante... Oui, c'est une machine à découper les icebergs. Elle va permettre de découper les angles à l'avant du bloc de glace afin d'obtenir une forme aérodynamique qui facilitera l'avancement dans l'eau. L'iceberg ressemble de plus en plus à un porte-avions.

Et le voyage commence. Un voyage de six mois qui utilise au maximum les courants, le tout à la vitesse de 2 km/h, halé par cinq remorqueurs de 45 000 CV chacun.

Lorsque l'iceberg pénètre dans l'Océan indien, le climat se réchauffe. Plus question de voyager tout nu. Il faut « habiller » le monstre. Véritable travail d'Hercule que « d'emballer » à l'aide d'une bâche isolante, sur 250 mètres de haut, ce mur de glace. Mais le plus difficile reste encore à faire. Il faut installer sous l'iceberg une autre bâche de 4 000 mètres carrés. Opération qui nécessite cette fois l'intervention de plongeurs par 200 mètres de profondeur.

Ainsi « langé », l'iceberg peut affronter le soleil torride et l'eau tiède de l'Océan Indien. La fonte n'a été que de 5 %. Dernière opération et non des moindres : une fois arrivé en vue des côtes du Yémen, dans le golfe d'Aden, le gigantesque glaçon va être débité en tranches, afin de pouvoir franchir le détroit de Bab el-Mandeb. Des lames de glace de quarante mètres d'épaisseur que l'on « habillera » avant de les remorquer jusqu'à la côte d'Arabie Saoudite.

Coût de l'opération : 600 millions de francs. Une somme qui met le mètre cube d'eau douce au même prix qu'à Paris : 1 franc.

Si le gouvernement de Riyad donne le feu vert... et 100 millions de dollars, le premier iceberg capturé à titre expérimental pourrait abreuver Jeddah dans quatre ans.

