

futuribles 2000

AVRIL

- *Energies douces et choix de société*
- *Pétrole, abondance ou rareté ?*
- *Nouvelles énergies : quel avenir ?*

ANALYSE-PRÉVISION-PROSPECTIVE

futuribles

Revue mensuelle de l'Association Internationale Futuribles

55, rue de Varenne, 75007 Paris, France — Tél. 222-63-10

COMITÉ D'ORIENTATION

Michel ALBERT, Serge ANTOINE, Göran BACKSTRAND, Bernard CAZES, Michel CROZIER, Jacques DURAND, François ECK, Emilio FONTELA, Claude GUILLEMIN, Paul-Marc HENRY, Bertrand de JOUVENEL, Edmond LISLE, Daniel MALKIN, Eléonora MASINI, Henri MENDRAS, Pierre MASSÉ, Aurelio PECCEI, Pierre PIGANIOL, Jean SAINT-GEOURS, Michel SALOMON, Philippe de SEYNES, Georges VEDEL.

DIRECTEUR

Hugues de JOUVENEL

RÉDACTION

Gritti HAUMONT, Guy POQUET.

ABONNEMENT (un an): France, 150 FF / Etranger: 170 FF (US: \$ 40)
Envoi par avion sur demande, port en sus.

LE NUMÉRO: 20 F

Les articles signés expriment l'opinion des auteurs et pas nécessairement celle de l'Association Internationale Futuribles. Tous droits de reproduction même partielle, par quelque procédé que ce soit, réservés pour tous pays.

© Association Internationale Futuribles 1979
SIRET: n° 784.31.4940.00031 — ISSN 0183 701 X — Commission
paritaire n° 56798

SPECIMEN

Sommaire

N° 22

Avril 1979

Louis PUISEUX

Les sentiers énergétiques doux 3

Jean-Charles HOURCADE

Choix énergétiques et choix de société 15

Michel GRENON

Prospective pétrolière mondiale 41

Jacques LENOIR

Le chauffage urbain par héliogéothermie 55

Jean-Claude COLLI (interview par Gritti Haumont)

Les chances des énergies nouvelles 67

Michel GODET

Énergie: compte à rebours ou erreur de prévision? 77

Jean-Roger MERCIER

Agriculture organique et auto-subsistance énergétique 83

FORUM

● <i>Scénario de « Croissance énergétique zéro »</i>	7
● <i>Scénario énergétique 1975-2050 aux États-Unis</i>	13
● <i>Projet Alter</i>	31
● <i>Energy in transition (Suède)</i>	37

LE POINT SUR...

<i>La pompe à chaleur : un efficace déplaceur de calories</i>	63
---	----

INNOVATIONS

<i>Une politique énergétique en Orégon</i>	92
--	----

BIBLIOGRAPHIE

<i>Analyses critiques</i>	97
<i>Comptes rendus</i>	101
<i>Vient de paraître</i>	103

Les sentiers énergétiques doux

par Louis Puisseux

« Quand les dieux veulent perdre un homme, dit un ancien proverbe grec, ils lui accordent tout ce qu'il désire. » La surabondance de pétrole à bas prix au cours des années 50-60 a-t-elle perdu l'Europe occidentale? C'est au cours de cette période, en tous cas, que nous nous sommes accoutumés, à l'imitation des Etats-Unis d'Amérique, à ce style de développement à haut profil énergétique qui nous lie aujourd'hui: logements à médiocre isolation thermique, urbanisme et tarification privilégiant l'essor du transport individuel, développement industriel lourd en énergie, etc. Dans tous les secteurs, pour tous les décideurs, la pléthore énergétique à bas prix était identique à la disponibilité de l'air pour respirer: une évidence inscrite dans la nature des choses. Le jeu économique — où chacun mettait sa vertu à contribuer à la prospérité collective en maximisant sa productivité individuelle — consistait donc à préférer partout les techniques économes en capital et en travail (dont les prix étaient orientés à la hausse), fussent-elles voraces en énergie (dont les prix étaient réputés orientés à la baisse).

Le paysan chinois de l'âge classique a longtemps prospéré et multiplié sa descendance en déboisant son territoire: chacun pensait accroître sa production, sa productivité, et l'espérance de vie de ses enfants en arrachant de nouvelles terres arables à l'ingrate nature. « Le loess des montagnes et des plaines n'étant pas fixé par les arbres, encombre les fleuves, les exhausse au-dessus du niveau de la plaine, et dans les parties inférieures de leur cours, il les obture comme un bouchon et les contraint à déborder. Ainsi, le processus entier des terribles inondations chinoises apparaît comme un mécanisme construit intentionnellement. Si quelque ennemi de l'homme avait voulu persécuter les travailleurs de la Grande Chine, il aurait chargé des troupes mercenaires de déboiser systématiquement les montagnes. Le système positif de la culture s'est transformé en machine infernale. Or, l'ennemi qui a fait entrer le loess, le

fleuve, la pesanteur, toute l'hydrodynamique dans cet appareil destructeur, c'est le paysan lui-même. (1) »

De même les conquérants du Nouveau Monde sous Philippe II étaient convaincus de contribuer à la grandeur du roi et au triomphe de la civilisation catholique par la transformation de l'or inca en monnaie espagnole: ils ne savaient pas qu'ils suscitaient ainsi l'inflation et bientôt la ruine de l'empire (2). « Il est toujours vrai ici et pour tel marchand, quels que soient les circonstances et les mouvement des prix, qu'il sera plus riche ce soir s'il reçoit mille ducats de plus; mais il est faux dans l'ensemble du processus qu'une collectivité s'enrichisse par l'accumulation des signes monétaires. » (*Ibidem*, p. 240).

N'est-ce pas là l'un des enjeux majeurs du développement européen d'ici la fin de notre siècle? Nous avons cru servir la prospérité planétaire en profitant au mieux de richesses naturelles que mettrait à notre disposition la domination occidentale sur le Tiers monde. La crise de 1973 nous a réveillés de notre rêve: saurons-nous nous tourner à *temps* vers une civilisation post-énergétique? Car le relais du pétrole par le nucléaire ne laisse guère d'échappatoire, nous le savons aujourd'hui: la stratégie nucléaire européenne est privée de sens si elle ne débouche pas sur le surrégénérateur. A une échéance de quarante ans, retour à la pléthore énergétique et civilisation du plutonium sont synonymes. La toute-puissance pour le bien sous forme de kilowatt-heure inépuisable à bas prix, et la toute-puissance pour le mal sous forme de chantages, malveillances et guerres incontrôlables, sont l'envers et l'endroit de la même réalité physique (3). Nous approchons à grands pas de ce *passage à la limite* qui nous fera prendre en charge la responsabilité de l'écosystème planétaire, avec ce que cela suppose de modération énergétique, ou risquer de disparaître avec toutes les autres espèces vivantes. L'essor du mouvement antinucléaire à travers le monde occidental peut être interprété comme l'intuition de ce dilemme.

A supposer même que l'on découvre très bientôt une forme d'énergie nucléaire non détournable (fission du thorium? fusion?), nous savons bien qu'il y a une limite absolue et infranchissable à la croissance énergétique: l'échauffement des mers et des océans, aggravé par le gaz carbonique, qui mettrait un jour en péril la stabilité des calottes glaciaires. Il nous faudra donc bien apprendre un jour (avant un siècle en tous cas) à déconnecter le progrès social de la crois-

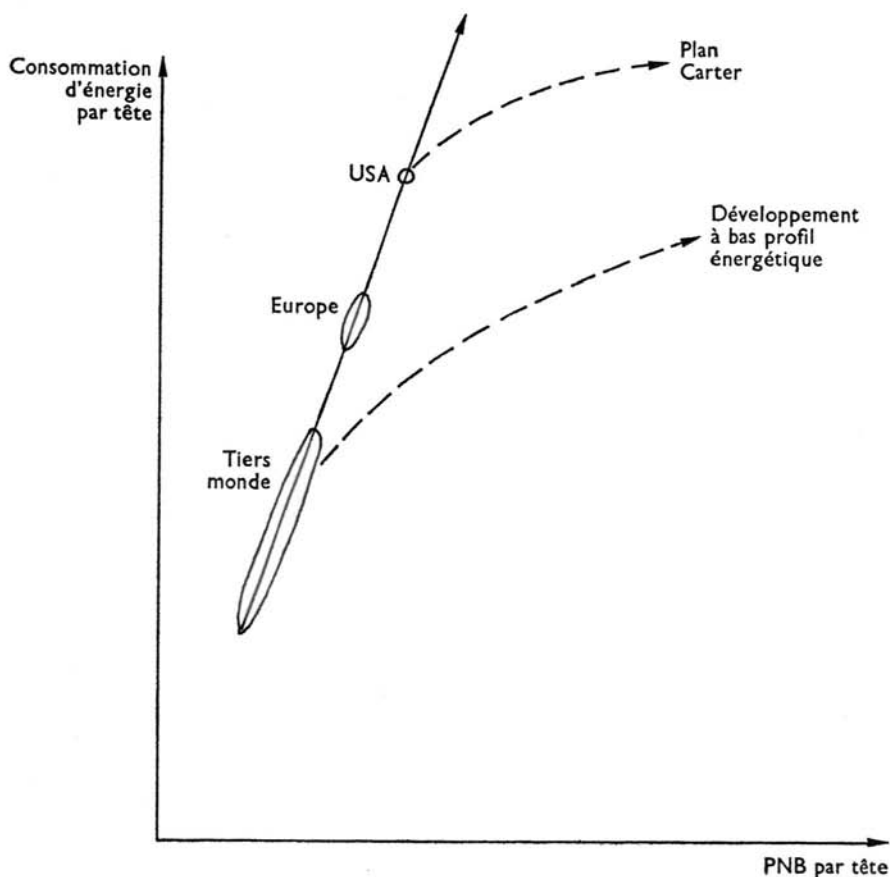
(1) Jean-Paul SARTRE, *Critique de la raison dialectique*, p. 232, Gallimard, 1960.

(2) Cf. La description classique de Fernand BRAUDEL dans *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*, reprise par Sartre comme exemple historique de « contrefinalité ».

(3) Dans les scénarios officiels de réussite du nucléaire, le programme de surrégénérateurs prévu pour la fin du siècle implique plusieurs milliers de tonnes de plutonium en stock et en circulation dans le monde. Il suffit de quelques kilos pour une bombe du type de celle d'Hiroshima.

sance énergétique, à inventer une civilisation post-énergétique. Sur la lancée des pratiques actuelles, qui privilégient toujours les solutions à court terme, (chômage, inflation, etc.), on voit mal comment l'heure de la décélération énergétique pourrait sonner.

Si l'on part au contraire du long terme pour revenir vers le présent, il apparaît que nous n'avons plus de temps à perdre pour éviter une fragilisation irréversible de notre société et de notre écosystème. Il est pourtant encore temps: nous disposons encore de marges de liberté considérables, pour peu que nous sachions nous en servir avec détermination. La problématique en question peut se résumer par le graphique ci-dessous.



Nous vivons, depuis au moins la fin de la deuxième guerre mondiale, sur le modèle d'un style de développement à haut profil énergétique, où l'Europe puis le Tiers monde, s'efforçaient de *ratrapper* les Etats-Unis. Malgré l'immensité de son territoire et de ses ressources énergétiques naturelles, l'Amérique a découvert la vulnérabilité croissante qu'a créée la poursuite de cette trajectoire. Hormis quelques pays bien dotés, comme ceux de l'OPEP, qui peuvent raisonnablement compter hériter du développement des industries lourdes en énergies dans la nouvelle division internationale du travail déjà amorcée, la majorité des pays du Tiers monde, partant de niveaux de consommation très bas, conservent la possibilité d'inaugurer de nouveaux styles de développement, de trouver des *raccourcis* sur le chemin de la croissance.

Coincée entre les deux, encombrée par ses vieilles structures, divisée entre ses nationalismes, l'Europe saura-t-elle changer à son tour? Accepter que le prix directeur de l'énergie soit définitivement orienté à la hausse n'est certes pas une décision politique facile, surtout dans le cadre national. Mais tel est bien le fond de la question. Aussi longtemps que l'on continuera de croire et de faire croire que la réussite du nucléaire pourrait ramener la pléthore énergétique qui fit la prospérité des années 60, toute politique d'économie d'énergie ne sera jamais qu'une maigre solution de transition, décourageant l'investissement à long terme et l'innovation technologique correspondante (4).

Les contributions qui suivent montrent au moins qu'une telle inflexion est techniquement possible, mais que socialement elle passe par la recherche d'un autre mobile du développement. Puissent-elles convaincre les pouvoirs publics français d'y consacrer au moins des moyens d'études plus substantiels, à l'instar de ce qui se fait déjà chez presque tous nos voisins.

(4) Le rôle de l'électricité dans cette perspective mérite une attention particulière. La thèse écologiste classique (cf. LOVINS par exemple) vise à confiner strictement cette forme d'énergie à la desserte des usages spécifiques (éclairage, force motrice, électrolyse, etc.): les formes « nobles » d'énergie ne doivent servir qu'aux usages « nobles », sous peine de gaspillage d'énergie primaire. Soit. Mais n'oublions pas que maints processus industriels (pour le séchage, pour la production du ciment, etc.) gaspillent des calories pour des transformations de la matière qu'une énergie ordonnée — électrique — peut obtenir bien plus économiquement. Le champ de l'innovation technologique (micro-ondes, induction, conduction, osmose, four à plasma, etc.) est vaste, où la substitution de l'électricité aux combustibles entraîne au contraire une économie, parfois considérable, d'énergie primaire.

Scénario de « Croissance Énergétique Zéro » ⁽¹⁾

par Nina Kousnetzoff (Cired)

Le plus ancien scénario à « Croissance Énergétique Zéro »

Dans le projet de politique énergétique élaboré en 1974 par la Fondation Ford, la réduction de la consommation d'énergie et la baisse de la part des énergies fossiles sont des objectifs permettant de protéger les sites, de lutter contre la pollution, d'éviter le risque d'accidents dans les grands systèmes, de laisser plus d'énergie fossile pour les besoins des pays sous-développés, d'éviter des modifications climatiques, et de décentraliser les systèmes producteurs d'énergie. Un modèle macro-économique est utilisé pour établir les liens entre la consommation d'énergie, le niveau de l'activité économique et de l'emploi. La variante « Croissance Énergétique Zéro » (ZEG) propose la stabilisation de la consommation d'énergie dès 1990, le taux de croissance du PNB et de la population ne devenant nul que vers 2050.

Historiquement, c'est la première fois que l'on voit apparaître un scénario proposant un arrêt total de la croissance de la consommation d'énergie. D'autre part, cette étude a une valeur exemplaire, car de tous les scénarios comportant la même hypothèse élaborés depuis, c'est celle qui, de loin, analyse de la façon la plus complète et la plus détaillée à la fois les conséquences économiques, sociales et politiques d'un arrêt de la croissance énergétique.

Par contre, ce projet reste peu ambitieux si on le compare aux études ultérieures : la consommation d'énergie par tête est stabilisée à 15 tonnes d'équivalent charbon par an, ce qui est élevé ; cette stabilisation est obtenue par l'augmentation des rendements et la modification de la structure du PNB par secteurs, sans amélioration de l'adéquation des différents secteurs d'énergie aux types d'usages.

(1) De : « A Time to Choose. America's Energy Future ». Energy Policy Project of the Ford Foundation, Ballinger Publishing Co., Cambridge, Massachusetts, 1974.

Grâce à ces hypothèses modestes, le revenu disponible ne serait inférieur que de 4% au prolongement des tendances actuelles à l'an 2000, et l'offre d'emplois serait légèrement supérieure.

La part des énergies renouvelables (le nucléaire étant stabilisé à son niveau actuel) serait encore faible en 2000. Le nouveau modèle de consommation prévoit une augmentation de la part du secteur public et de la durabilité des produits. Le scénario ZEG diffère du « Technical fix » par une taxe sur l'énergie qui devrait orienter le marché par l'augmentation des prix et permettre une extension du secteur public.

Maintien de la croissance économique

Les taux de croissance prévus pour le PNB (3,48% pour 1975-1985, 3,14% pour 1985-2000) et la consommation d'énergie primaire (1,76% pour 1975-1985, 0,47% pour 1985-2000) supposent une réduction de l'élasticité de la demande d'énergie (0,51% pour 1975-1985, et 0,15% pour 1985-2000). Ce résultat serait atteint grâce à une extension de la part des services dans le PNB au détriment de l'industrie.

Cette modification devrait résulter d'une politique de prix très élevés de l'énergie et d'une taxation uniforme des produits énergétiques, passant de 3 à 15% du prix de 1975 à 2000. Cette taxe découragerait le développement des industries grosses consommatrices d'énergie ; en même temps, son produit augmenterait le budget des services publics de santé, de culture et de transports collectifs.

Prix élevés de l'énergie et planification géographique

Ces hypothèses requièrent donc une politique volontariste du gouvernement. Elles supposent aussi une réponse correcte du marché à la hausse des prix complétée par la suppression des tarifs préférentiels pour les gros consommateurs d'énergie.

La réduction du secteur industriel serait sensible surtout dans les industries de base (plastique, aluminium, acier) et serait accompagnée d'une substitution du travail au capital et aux matières premières, dont l'énergie : recyclage important des déchets industriels, augmentation de la durabilité et de la qualité des biens, augmentation des rendements dans l'utilisation de l'énergie.

On escompte une légère augmentation du nombre d'emplois grâce au développement des services (entretien et services publics sociaux) et une certaine égalisation des revenus, redistribués à travers le budget accru de l'Etat.

Le modèle de consommation comprendrait un peu plus de services collectifs ; on prévoit, de façon assez arbitraire, une saturation pour 1985 de la demande de tous les biens durables par les ménages.

L'autre volet de la politique gouvernementale est une planification géographique du développement industriel. Pour éviter le développement des grands systèmes énergétiques considérés comme dangereux (nucléaire, pétrole de l'Alaska, tankers de gaz naturel liquéfié), on devrait multiplier les communautés urbaines de dimensions moyennes, et les rendre partiellement auto-suffisantes en énergie (électricité comme sous-produit de la vapeur, production combinée de chaleur et d'électricité, brûlage des déchets, chauffage solaire par le toit, énergie éolienne). L'usage accru de la bicyclette et des transports collectifs par rail dans ces communautés permettrait par ailleurs des économies d'énergie dans les transports.

On voit que les grandes modifications par rapport au système actuel doivent se faire dans le secteur industriel, et non au niveau des conditions de vie des ménages : c'est donc là qu'une résistance pourrait apparaître. Les branches les plus touchées sont les grands systèmes producteurs d'énergie traditionnelle (compagnies pétrolières...), les industries grosses consommatrices d'énergie (première transformation des métaux, ciment et verre, alimentation, chimie, papier) et enfin les industries produisant des biens de consommation utilisant de l'énergie (automobile, électroménager). Ces industries représentent une part importante des emplois et des besoins en capitaux du pays. Si malgré le temps accordé pour la réalisation des adaptations, l'effet du marché était insuffisant, on pourrait instaurer des normes obligatoires sur les équipements consommateurs d'énergie ou un impôt lourd sur les voitures à faible rendement, par exemple.

Remarquons que, sur la période 1985-2000, les besoins en capitaux pour la production et les économies d'énergie de la ZEG devraient être inférieurs à ceux requis pour la seule production d'énergie dans le cas de la prolongation des tendances actuelles.

Nouvelles sources d'approvisionnement énergétique

Le trait principal du scénario « ZEG » étant une forte réduction de l'élasticité de la demande d'énergie par rapport au PNB, *l'introduction des énergies non conventionnelles* n'occupe qu'une place assez limitée : à l'horizon 2000, il s'agit surtout de faire un choix parmi des énergies non conventionnelles qui seront développées dans un avenir lointain.

C'est ainsi que l'énergie nucléaire est limitée à la production des centrales en service et en construction seulement. Sont également exclus le développement du pétrole et du gaz synthétique et des schistes bitumineux ; la production du charbon plafonne elle-même assez rapidement. Au contraire, la part de l'énergie solaire (directe et biomasse) et éolienne deviendra importante vers le milieu du XXI^e siècle. C'est pourquoi on envisage de dispenser ces sources de la taxe générale sur l'énergie.

Pour aider à ce redéploiement, il faut fournir des moyens importants à la Recherche et au Développement du secteur public, éliminer les barrières institutionnelles qui empêchent les nouveaux équipements déjà rentables d'affronter le marché et apporter une aide aux petits entrepreneurs.

Le développement de l'énergie solaire est prévu de façon suffisamment modeste pour paraître raisonnable :

- jusqu'en 1985, collecteurs sur les toits pour le chauffage uniquement (au mieux, 1/3 des bâtiments existants équipés en 2000) ;
- après 1985, l'énergie solaire pourrait commencer à être utilisée pour l'air conditionné ;
- à partir de 2000, on pourrait envisager au mieux des centrales solaires rentables d'une capacité totale de 20 000 MW ;
- le brûlage des déchets des villes pourrait fournir 40 millions de tec d'électricité en 2000 ; (2)
- le méthane produit à partir des déchets animaux et végétaux représenterait 120 millions de tec en 2000.

Redéploiement industriel international

La spécialisation du pays dans le cadre de la division internationale du travail serait nettement modifiée par la nouvelle politique énergétique. La réduction de la croissance des industries de base grosses consommatrices d'énergie devrait non seulement limiter leurs exportations mais aussi rendre nécessaire un redéploiement de ces industries dans les pays producteurs d'énergie. Dans ce but, les investissements américains à l'étranger dans ce secteur seraient encouragés ; cette remarque est importante puisqu'elle suggère un maintien du flux de dollars des Etats-Unis vers les pays producteurs d'énergie, même après la forte réduction des flux représentant la contre-partie des importations de pétrole par les Etats-Unis.

Les auteurs ne considèrent les *implications internationales* de la ZEG que jusqu'en 1985, toute évaluation d'un avenir plus lointain leur paraissant trop incertaine. Jusque-là, la réduction des importations de pétrole devrait permettre de se restreindre à des sources sûres et aussi éviter les problèmes de partage des approvisionnements avec l'Europe et le Japon. La réduction des tensions sur les marchés des énergies fossiles devrait également permettre un approvisionnement accru à des prix plus bas pour les pays en voie de développement.

Au-delà de 1985, remarquons qu'avec ou sans exportations correspondantes de capitaux américains, le redéploiement des industries grosses consommatrices d'énergie dans les pays producteurs peut difficilement être décidé unilatéralement par les seuls pays industrialisés.

(2) tec : tonne équivalent charbon.

Un intérêt plus « historique » que technique...

En conclusion, rappelons que l'intérêt du scénario « Croissance Energétique Zéro » est pour nous plutôt historique et philosophique que technique.

Ce scénario, modeste dans la réduction de consommation d'énergie envisagée, l'est aussi dans les moyens requis pour sa réalisation. De plus, la très longue période de transition devrait permettre d'éviter l'effet de surprise et les modifications brutales.

C'est donc un scénario réaliste. Néanmoins, par la place importante qu'il accorde à l'augmentation des rendements dans l'utilisation de l'énergie il est moins adapté au cas de la France ou d'autres pays européens où les économies qui restent à faire sont plus difficiles, qu'à celui des Etats-Unis, dont on connaît l'ampleur du gaspillage d'énergie.

Tableau 1

HYPOTHÈSES DE CROISSANCE ÉCONOMIQUE

	1975	1985	2000	Taux de croissance (%)	
				1975-1985	1985-2000
Population (millions d'habitants) (1970 : 205)		236	265	0,9	0,8
Produit national brut (milliards dollars 1971)	1 451,2	2 019,9	3 226,7	3,4	3,2
Emploi				1,84	1,80
Prix :					
— taux d'inflation global (PNB)				3,85	4,24
— charbon				3,06	8,56
— pétrole brut				3,86	4,62
— produits pétroliers				8,74	6,92
— électricité				4,67	6,54
— gaz				6,57	7,39
Revenu annuel de la taxe sur l'énergie (milliards dollars 1971)			131		

Tableau 2
COMPOSITION DU PNB (%)

	1975	1985	2000
Agriculture	9,4	9,2	8,8
Industrie	28,7	26,3	22,7
— production et transformation de l'énergie	(4,3)	(3,7)	(2,4)
— autres industries	(24,4)	(22,6)	(20,2)
Services	61,9	64,5	68,5
— transport	(3,6)	(3,1)	(2,5)
— entretien biens durables	(9,8)	(11,2)	(13,8)
— autres services	(48,5)	(50,2)	(52,1)

Tableau 3
ÉLASTICITÉ DE LA DEMANDE D'ÉNERGIE PAR RAPPORT AU PNB

	1975-1985	1985-2000
Taux de croissance annuels (%)		
— PNB	3,48	3,14
— consommation d'énergie primaire	1,76	0,47
Élasticité de la demande d'énergie par rapport au PNB	0,51	0,15

Tableau 4
INVESTISSEMENTS REQUIS POUR LA PRODUCTION
ET LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

A. Besoin total en capital 1975-2000 (milliards de dollars)	
Économies d'énergie de « ZEG »	
· Résidentiel et commercial	170
· Transport	—
· Industrie	170
	<hr/> 340
· Infrastructure (20%)	70
	<hr/> 410
Production d'énergie avec extrapolation des tendances actuelles	695
B. Part des investissements pour l'énergie dans les investissements totaux dans l'industrie (%)	
1973	21
1985-2000	
— « Technical Fix » (1)	20
— extrapolation des tendances actuelles	25

(1) Les besoins de « ZEG » seraient inférieurs.

Scénario énergétique pour les États-Unis, 1975-2050 ⁽¹⁾

par Jean-Charles Hourcade

Par rapport à l'ensemble des autres scénarios énergétiques doux, celui écrit par J. Steinhart et son équipe présente l'originalité de faire porter l'attention moins sur les « techniques » d'économies d'énergie que sur des transformations profondes et à long terme, des modes de développement. En choisissant un horizon temporel de soixante-quinze ans, les auteurs semblent vouloir s'être donné des marges de liberté maximales : il est donc très facile de critiquer leur irréalisme. Nous pensons, par contre, qu'il faut utiliser ce scénario comme celui du Groupe de Bellevue pour la France, c'est-à-dire comme une utile provocation intellectuelle.

N'apportant pas d'innovations majeures en matière d'analyse sectorielle des possibilités de réduction des besoins d'énergie, le scénario aboutit à faire ressortir l'aménagement de l'espace comme variable décisive d'un nouveau style énergétique capable de faire passer la consommation américaine de 12 tec/hab à 4,32 tec/hab.

L'aspect le plus révolutionnaire de l'exercice est de faire vivre la majorité de la population américaine dans des villes comprises entre 50 000 et 100 000 habitants où la densité ne dépasserait pas 12 unités d'habitations par hectare. Quant aux grandes villes elles ne pourraient dépasser 200 000 habitants. Cela impliquerait :

- la baisse de la population dans les grandes villes actuelles, en particulier dans 10 des 13 mégalopoles ;
- la stabilisation de la part de la population rurale à travers un « National Homestead Lease Act » qui devrait permettre la location à bas coût de terrains publics, terres inutilisées ;
- l'encouragement à réinvestir les centres des villes (30 000 logements inoccupés à New York en 1975) à travers un National Homestead Lease Act.

(1) *A Low Energy Scenario for the United States 1975-2050* : John STEINHART, Mark E. HANSON, Carol C. de WINKEL, Robin W. GATES, Kathleen BRIDDY, Mark THORNSO, Stanley J. KABALA. Institute for Environmental Studies, University of Wisconsin, Madison, July 1977.

Une telle évolution a des effets directs dans deux secteurs :

— *L'appareil de production* d'abord, qui doit être très décentralisé, réalisant au maximum une autonomie à l'échelle locale et régionale. Le chiffrage effectué par les auteurs est ici peu avancé en matière industrielle. On notera seulement la réduction de la part des industries grosses consommatrices d'énergie dans l'activité globale, la forte croissance des télécommunications et des industries de recyclage. En matière de production agricole, on part de l'idée qu'un sixième d'acre est suffisant pour se nourrir en employant des méthodes de culture peu intensives en énergie. Il faudra donc encourager l'auto-production.

Par ailleurs, la baisse du contenu énergétique de l'agriculture passe par une forte réduction de la viande bovine, nourrie sur herbe, dans les rations alimentaires. Il faut donc encourager la consommation de légumes, fruits, grains et remplacer le bœuf par des produits à moindre coût énergétique (œuf, poulet, poisson, soja).

— *Les transports* : le nouvel aménagement de l'espace a pour conséquence directe de privilégier le maximum d'accessibilité par opposition au maximum de mobilité qui est le but recherché aujourd'hui. Dès lors, la meilleure décentralisation de la production entraînerait une baisse de 50% des besoins en transport de marchandises. Au total, si on compte une réorientation massive vers le rail, on obtient un gain de 70% sur la consommation énergétique des transports de marchandises.

Les besoins de déplacements individuels seraient réduits de 25% par rapport au niveau actuel. Le rapprochement des marchés, des lieux de travail et d'habitation, la croissance des télécommunications, rendent superflue une grande partie de l'activité commerciale et des déplacements qu'elle implique. Par ailleurs, la taille modeste des villes permet de faire de la bicyclette le mode dominant de transport urbain. Dans les villes moyennes envisagées, en effet, un tel moyen de transport devrait permettre de relier tout point en moins d'un quart d'heure, ce qui serait un progrès notable par rapport à la situation actuelle.

Pour les communications inter-urbaines, un « Air Deregulation Act » devrait supprimer les transports aériens pour toute distance inférieure à 500 miles (= 800 km). Un « Railroad Revitalization Act » devrait permettre aux trains de prendre en charge l'essentiel des besoins avec le complément des cars. Dans ce cadre, le taux moyen d'utilisation de la voiture individuelle pourrait passer de 13 000 km/h/an à 4 800 km/h/an.

Au total, le scénario de Steinhart *et alii* peut apparaître comme un « anti-Lovins », dans la mesure où l'essentiel du discours porte sur la description d'un modèle en rupture absolue par rapport à celui que nous connaissons et où les nécessaires solutions techniques passent au second plan. Mais il fait plus, peut-être à son insu, en montrant de façon convaincante comment l'aménagement de l'espace (et, en fait, du temps disponible) constitue un point de passage obligé de toute stratégie énergétique « douce ». Nous soulignerons, pour conclure, qu'il s'agit sûrement de la variable la plus rigide de ce scénario.

Choix énergétiques et choix de société

par Jean-Charles Hourcade*

Une stabilisation à long terme de la consommation énergétique des pays développés... de nombreux travaux de recherche s'essayent à démontrer la faisabilité d'une telle hypothèse. J. C. Hourcade analyse, pour Futuribles, la pertinence de divers scénarios français, américains, canadiens et suédois.

Ce texte résume les principales conclusions d'une étude sur les « scénarios énergétiques doux » réalisée au Centre international de recherche sur l'environnement et le développement, avec la collaboration de Laurent Dartois, Dominique Gourmelon et Nina Kousnetzoff.

On constate partout le développement récent de travaux visant à démontrer la possibilité d'une stabilisation à long terme du niveau de consommation énergétique par tête dans les pays industriels avancés. Cette préoccupation repose sur trois motivations principales:

- la certitude sinon d'un épuisement, du moins d'un renchérissement à long terme des ressources d'énergie fossile;
- une grande prudence envers le nucléaire, et surtout envers les surrégénérateurs, comme relai définitif à ces énergies, à cause de leurs implications écologiques et sociales. Ceci exclut le retour à une longue période d'énergie à bas coût et abondante;
- la volonté de promouvoir des systèmes d'approvisionnement fondés sur des énergies renouvelables, supposées « douces » quant à leurs impacts sur les grands équilibres naturels, en tout cas neutres quant au bilan thermique

* Jean-Charles Hourcade est attaché de recherche au Centre international de recherches sur l'environnement et le développement (CIRED).

ou radioactif de la planète. Cela suppose que la demande reste à un niveau modéré, inférieur aux flux d'énergies récupérables qui, inépuisables à long terme, sont limités en unités de temps et d'espace.

Il s'agit donc de stratégies de minimisation des risques à long terme devant la croissance cumulative des dangers d'une poursuite des styles énergétiques actuels, les incertitudes des technologies alternatives (nucléaire, fusion) et la montée de la compétition mondiale pour les ressources. On se trouve en présence de travaux à même finalité, inspirés par une philosophie implicite qui n'est autre que le répondant, au sein du monde scientifique, des motivations du mouvement écologique. C'est pourquoi il importe de les distinguer d'autres études, utilisées dans ce texte comme points de référence (1), qui présentent une approche différente:

- absence de vision « a priori » explicite pour le régime à long terme;
- un horizon temporel généralement plus court et donc des marges de liberté plus faibles;
- une réelle prudence quant à une rupture profonde du modèle de développement;
- prise en compte de contraintes économiques.

Les « sentiers énergétiques doux » constituent une tentative pour cerner une des bornes de l'univers des possibles en prenant le contrepied des prospectives énergétiques développées avant 1973 — encore dominantes aujourd'hui — et qui reposent sur l'hypothèse d'une liaison mécanique énergie/PNB. Ces approches conduisaient soit à une croissance exponentielle de la demande, soit, entre autres chez Frémont Félix (2), à un plafonnement au niveau de 20 à 25 tec/hab. (3), c'est-à-dire deux fois le niveau nord-américain actuel et 4 à 5 fois le niveau européen.

Toute rupture méthodologique en matière de prospective énergétique consiste à considérer l'élasticité énergie/PNB comme une variable d'action et non comme un paramètre technique, puis à s'interroger sur les possibilités de modulation de cette variable (4). Au plan théorique, on doit distinguer la réduction de l'élasticité énergie utile/PNB.

(1) *A time to choose*, Scénario ZEG (Zero Energy Growth), project of the Ford Foundation, Ballinger Publish, 1977.

US Energy Demand: some low energy futures. Demand and Conservation Panel of the Committee on Nuclear and Alternative Energy (CONAES), *Science*, vol. 200, 14 April 1978.

(2) FÉLIX (Frémont), *World markets of tomorrow: economic growth population trends, electricity, quality of life*, Harper & Row, New York, 1971-72.

(3) tec/hab: tonne équivalent charbon par habitant.

(4) On peut se reporter ici à Bertrand CHATEAU et Bruno LAPILLONNE, *La prévision à long terme de la demande d'énergie*, propositions méthodologiques CNRS, Colloque Énergie et Société, Paris, 1977.

Elle peut venir :

- des économies d'énergie proprement dites, ensemble de solutions techniques qui visent à diminuer l'énergie réellement utile pour un bien ou un service donné (climatisation, amélioration du rendement des appareils). C'est un domaine généralement bien connu et exploré, qui donne lieu à des accords assez larges ; le seul débat se situe au niveau des processus institutionnels permettant de réaliser ces économies.
- de la structure même du PNB qui dépend de la structure de la demande finale de biens et services (ce qui renvoie au modèle de croissance), et de la structure du commerce intérieur qui détermine celle de l'activité industrielle du pays et son degré de spécialisation.

Quant à l'efficacité globale du système énergétique, elle détermine l'écart entre la quantité d'énergies utiles et les besoins en énergie primaire. Chaque transformation d'une forme d'énergie en une autre donne en effet lieu à des pertes, en particulier pour les moteurs thermiques (toute la thermoélectricité qu'elle soit d'origine fossile, nucléaire ou solaire) à cause des rendements de Carnot. La variable centrale est ici la structure des énergies secondaires qui détermine en grande partie le rendement du passage énergie primaire/énergie utile. Cela devrait conduire, d'après Amory Lovins, à revoir la place de l'électricité, qu'il est énergétiquement coûteux d'utiliser pour faire de la chaleur (qui représente environ la moitié des besoins en matière d'énergie ; cf. tabl. 1).

L'ensemble des études analysées fait intervenir chacun de ces trois éléments, mais pas toujours de façon assez explicite pour isoler les effets respectifs de chacun d'entre eux. Une telle insuffisance est surtout due à l'impossibilité pratique, aujourd'hui, de mener avec suffisamment de précision l'étude des différentes variables de modulation de la demande.

Le point de vue des producteurs ?

En effet, on ne dispose pas aujourd'hui d'un cadre comptable permettant de « décontracter » suffisamment l'analyse de la demande d'énergie dans la mesure où, comme le montre P. Romain (5), les comptabilités énergétiques actuelles ont été élaborées du point de vue des producteurs. L'un des obstacles majeurs est la mauvaise qualité des données statistiques sur l'énergie utile. Même chez A. Lovins, qui plaide vigoureusement en faveur d'une meilleure prise en compte de la deuxième loi de la thermodynamique, l'analyse s'arrête

(5) ROMAIN (Patrice), *Réflexions critiques sur les bilans énergétiques*, CNRS, collection Énergie et Société, Paris, 1977.

Tableau 1

STRUCTURE THERMODYNAMIQUE DES UTILISATIONS FINALES DE L'ÉNERGIE
DANS LES PAYS DE LA CEE, 1975

	Énergie			Chaleur	Hydrocarbures liquides transportables	Utilisations spécifiques de l'électricité	Source
	primaire	Utilisation finale					
	EJ/an (+)	EJ/an (+)	100 °C	100-600 °C	600 °C		
Canada	6,6	5,2	39	21	9	24	7 (1)
Danemark	0,8	0,6	61	5	5	20	9 (2)
France	6,1	5,2	36	14	11	29	10 (3)
République d'Allemagne féd.	9,7	7,4	50	12	14	18	7 (4)
Italie	4,9	4,0	41	12	12	24	11 (5)
Pays-Bas	2,3	2,0	49	12	17	15	7 (6)
Suède	1,6	1,4	48	14	9	19	10 (7)
Royaume-Uni	8,6	5,8	43	15	13	22	7 (8)
États-Unis d'Amérique	68,8	50,5	35	15	8	34	7 (9)
Total	109,4	81,8	38	15	10	29	7
Dont: Europe	34,0	26,1	45	13	13	22	8
Amérique du Nord	75,4	55,7	35	16	8	33	7

Source: A. LOVINS, *L'économie énergétique dans la région de la CEE, problèmes nouveaux à moyen et à long terme*, ECE (XXXIII)/2/Add. 3, p. 15-16.

en fait à la demande finale (en termes d'énergies secondaires délivrées au consommateur), ce qui, nous le verrons, entache ses conclusions sur la part de l'électricité dans le bilan global. On ne dispose pas non plus d'outils d'analyse permettant de tester la cohérence de modèles de société alternatifs. Cette lacune est surtout évidente dans le secteur industriel où l'on est réduit à projeter des taux de croissance tendant vers zéro à long terme, et, à un degré moindre, dans le secteur des transports.

C'est pourquoi il paraît important de noter qu'en l'état, ces scénarios doivent être utilisés comme des *outils d'analyse permettant de cerner les enjeux de prémices normatifs et ne permettent en aucun cas de démontrer le caractère souhaitable, voire même réalisable*, de l'évolution illustrée. Le Groupe de Bellevue a le mérite de bien vouloir souligner que « l'étude reste faite à un niveau rudimentaire d'évaluations numériques » et que le parti adopté vise à « éclairer le champ des possibilités du point de vue physique, en préjugant le moins possible des caractéristiques socio-politiques de l'avenir. Toutefois, il est clair que le régime énergétique envisagé à long terme s'inscrit davantage dans la perspective d'une société « déconcentrée », valorisant l'autosubsistance, que celle d'une hyper-spécialisation. Ainsi, bien que les hypothèses retenues n'impliquent pas un projet de société au sens politique usuel du terme, ce travail peut apporter un certain éclairage sur les limites physiques d'un tel projet. »

Une certaine convergence fait-elle preuve ?

Le tableau 2 fait apparaître une convergence (6) réelle des niveaux de stabilisation des besoins d'énergie sur le long terme (de 3,1 tec/hab à 3 tec/hab pour l'énergie finale délivrée) si on s'en tient aux versions les plus basses des scénarios présentés pour chaque pays. Cette convergence confère une certaine crédibilité aux niveaux proposés, crédibilité renforcée par le fait qu'ils rejoignent l'ordre de grandeur de la consommation par tête dans l'Europe des Neuf aujourd'hui (4,28 tec/hab).

Contrairement au scénario ZEG (USA) (7), qui conduit à une dissociation totale entre l'énergie et la croissance énergétique, cette stabilisation n'est

(6) Il est très hasardeux de mettre sous forme comparative des études effectuées pour des pays différents quant à leurs caractéristiques climatiques, géographiques, économiques et réalisées selon des méthodologies parfois insuffisamment explicitées. En particulier, des comptabilités énergétiques différentes ne peuvent pas toujours être traduites « sans risques » dans un système comptable homogène. On ne tiendra pas ici compte de ces réserves, puisque ce sont seulement les ordres de grandeur qui nous importent.

(7) Nous désignerons chaque scénario par une abréviation ou le nom de l'auteur, suivi entre parenthèses du sigle du pays étudié. Nous donnerons les références au fur et à mesure des citations. ZEG (USA): Zero Energy Growth, *A time to choose*, *op. cit.*

Tableau 2

STRUCTURES DE DEMANDE ÉNERGÉTIQUE POUR QUELQUES SENTIERS ÉNERGÉTIQUES DOUX (tec/hab)

	EUR	USA ZEG Ford	2000	France Alter	USA IES Wisconsin	2050	Canada Lovins STF	2025	Canada Lovins CS	2025	Danemark Sorensen LC	2025	Nouvelle- Zélande Auckland LN2P	2025	Nouvelle- Zélande Auckland LC	2015	Australie
Énergie primaire	4,78	15,09		3,9	4,32						3,45		(6,36)	(5,22)		4,43	
Énergie finale délivrée	4,28	12,78		3,5	3,88		5,9	3,2		3,1			5,63	3,1		3,84	
Résidentiel	1,7	2,07		1,16	0,74		1,08	1,08					0,69	0,15			
Commercial		2,29		0,38	0,54		0,46	0,14					0,49	0,46			
Transport	0,68	2,06		0,51	0,7		1,45	1,1		0,5			2,15	0,97			
Agriculture	1,9	5,71		0,15	1,89		2,9			0,28			0,15	0,17			
Industrie				1,49				0,88		1,07			2,15	1,05			

atteinte que grâce à un plafonnement (ou une très faible croissance) du produit matériel net par tête à long terme, une fois épuisées toutes les possibilités d'accroître l'efficacité générale des systèmes énergétiques. On peut en fait penser que le scénario ZEG, qui plafonne à 15 tec/hab, se situe dans un horizon temporel à moyen terme où l'on joue à plein sur ces possibilités. Mais à long terme, il conduirait, avec une faible élasticité énergie/PNB, à une reprise de la croissance énergétique. Pour les autres exercices il est fort difficile de juger des niveaux de développement atteints puisque la plupart ne font pas référence à un taux de croissance économique explicite qui, projeté sur cinquante ans et recouvrant une restructuration totale des appareils de production et des modes de vie, n'aurait aucune signification. La production matérielle (industrielle et agricole) conserve le seul indicateur quelque peu significatif et susceptible de fournir une base de comparaison. On voit apparaître une stabilisation de cette production matérielle (industrielle et agricole par tête) dans une fourchette comprise entre 0,75 et 2 fois le niveau de la France en 1975. Dans la mesure où chacun des auteurs introduit des hypothèses différentes sur la durabilité des biens, cela conduirait à un niveau de vie matériel (en termes de valeur d'usage) compris entre 1,5 et 3 fois le niveau « France 1975 ». On est loin, pour reprendre une expression d'A. Lovins, d'une civilisation « troglodytique » qui caractériserait une société stable post-industrielle.

En fait, une fois admise la limitation à long terme du produit matériel, la stabilisation de la consommation d'énergie devient immédiate, le doublement de l'efficacité moyenne des systèmes énergétiques par rapport aux niveaux européens actuels n'étant certainement pas techniquement irréalisable si on raisonne à très long terme. *L'énergie n'est en définitive que la matière première des matières premières*: l'axe du débat doit alors être déplacé. La question décisive devient celle des niveaux du produit matériel, des hypothèses socio-économiques qui la sous-tendent et de leur cohérence avec un mode de vie « confortable » pour tous. Elle peut être éclairée par une discussion sur les déterminants sociétaux des sentiers énergétiques doux.

Les besoins domestiques

La stabilisation à long terme des besoins domestiques d'énergie pose, à notre sens, moins de problèmes de principe que pour d'autres secteurs, dans la mesure où on peut mettre en lumière des facteurs de limitation pour les deux principaux postes (chauffage, eau chaude et électro-ménager):

— la surface des logements qui détermine les besoins de chauffage ne saurait

être définie. Les 100 m² retenus par Alter (FR) (8) pour un ménage moyen de trois personnes ou les 120 m² de Sorensen (DN) (9) correspondent effectivement à un espace confortable pour chaque foyer;

- le parc électro-ménager commence à être saturé dans les pays industrialisés. Les 2 200 kWh/an retenus par Alter permettent d'approvisionner un appareillage complet (cuisinière exclue, mais y compris machine à laver la vaisselle et congélateur). Même le développement éventuel de la petite informatique individuelle ou la « robotisation » accrue des tâches ménagères ne paraissent pas susceptibles de beaucoup modifier l'ordre de grandeur ci-dessus, dans la mesure où ces technologies fondées sur le traitement de l'information seront faiblement consommatrices d'énergie. De plus, on doit remarquer que tout accroissement de l'utilisation de l'électroménager amène l'abaissement des besoins de chauffage, puisque l'essentiel de l'énergie absorbée par chaque appareil est restituée sous forme de chaleur, d'énergie « dégradée ».

Sur cette base, l'amélioration des rendements dans l'électro-ménager, mais surtout la réduction des besoins en *énergie utile* pour le chauffage qu'entraînerait une bonne isolation, devraient permettre de limiter les besoins autour de 1 tec/h pour un climat tempéré. Les gains obtenus sur ce poste sont bien sûr particulièrement impressionnants pour les pays actuellement très gaspilleurs: 65,2% aux USA (IES Wisconsin) (10), entre 66 et 90% au Canada (CS et STF) (11).

On ne peut mettre en doute la réalité des économies qu'apporteraient des solutions techniques telles qu'une meilleure isolation, la régulation thermique, les pompes à chaleur, voire de nouvelles conceptions architecturales. Théoriquement même, on peut envisager des coefficients G voisins de zéro (12). Mais le choix de la valeur de G dépend d'un arbitrage économique entre l'investissement additionnel exigé et la valeur actualisée des économies d'énergie. Or, rien ne nous est dit sur le niveau approximatif des prix de l'énergie ou l'anticipation de la hausse qui rendraient réaliste le choix des coefficients G retenus. Même si l'on admet qu'à l'horizon envisagé les prix de l'énergie

(8) Groupe de Bellevue, Projet Alter.

(9) SORENSEN (Bent), "Energy and Resources, a plan for Denmark according to which solar and wind energy would supply Denmark's need by the year 2050", *Science*, vol. 189, n° 4199, 25 July 1975.

(10) IES Wisconsin (USA), *A low energy scenario for the United States 1975-2050*.

(11) STF Canada: Super Technical Fix.

CS Canada: Conserver Society.

Scénarios présentés par Amory LOVINS, "Exploring Energy Efficient Futures for Canada" in *Carnets d'Épargne*, Conseil des sciences du Canada, vol. 1, n° 4, mai-juin 1976.

(12) G: coefficient de déperdition de chaleur.

seront largement relevés, la transition vers une norme moyenne de 1 tec/hab/an ne sera réussie que si ces relèvements sont pris en compte lors de la construction pour qu'à la fois le constructeur et l'acheteur soient prêts à en payer le prix.

Plus généralement, on peut dire que dans l'habitat la stabilisation à long terme des besoins paraît possible, mais que l'inertie physique du secteur, le développement de tendances récentes comme la prolifération des résidences secondaires, le comportement des acheteurs et des constructeurs, empêchent de dire quand et à quel niveau réel interviendrait cette stabilisation. Alter (FR) et IES Wisconsin (USA) ont le mérite d'insister sur une utilisation rationnelle du cadre bâti: logements inhabités dans les centres des grandes villes américaines, limitation ou aménagement rationnel des résidences secondaires. Mais ceci renvoie à des variables totalement extra-énergétiques que nous analyserons à nouveau quand nous aborderons le secteur transport.

Le secteur commercial

Sur le plan strictement énergétique, les problèmes du secteur commercial sont tout à fait comparables à ceux de l'habitat puisque l'essentiel des besoins concerne le chauffage, les deux autres postes étant les appareillages de maintenance et le traitement de l'information.

Tous les scénarios présentent une stagnation, voire même une forte baisse (CS Canada) de la surface commerciale. Le principal facteur de limitation des besoins commerciaux est bien entendu celui de la croissance du produit matériel. Mais pour un niveau donné d'activité, les différents auteurs avancent un ensemble de variables susceptibles de réduire les besoins commerciaux:

- suppression d'une diversification superflue des produits (Auckland NZLG) (13);
- augmentation de la durabilité des biens, permettant de réduire les flux et les actes commerciaux pour une valeur d'usage donnée (Sorensen (DN));
- commande individuelle, grâce à un « dispatching » vidéo relié à un ordinateur qui assure l'approvisionnement à moindre coût;
- recherche de structures du cadre bâti permettant de réduire l'éloignement entre lieux de production et lieux d'habitation pour rendre superflue toute une partie de la chaîne des intermédiaires commerciaux (IES Wisconsin, USA).

(13) "Energy Scenarios for New Zealand", The University of Auckland, New Zealand, *Energy*, vol. 3, p. 1-14, Pergamon Press, 1978.

Cette limite de l'activité du secteur commercial ne pose d'autre problème de principe que celui de rôle joué par le petit commerce dans l'animation des cités ou les marchés comme lieu de vie collective. Ceci ne doit pas suffire à remettre en cause les ordres de grandeurs proposés, mais il faut souligner l'impossibilité de raisonner en termes purement fonctionnels si l'on veut augmenter et non réduire la communication entre les hommes.

Le transport

C'est, en dehors de l'industrie, le principal secteur où une croissance énergétique zéro pose un problème de principe et non plus de simple « factabilité ». En effet, la justification d'une rupture par rapport aux tendances passées d'accumulation indéfinie de biens matériels repose sur le développement d'une société « conviviale » ce qui implique un accroissement des possibilités de communication des hommes entre eux en dehors de toute considération professionnelle ou commerciale.

Le seul obstacle réel à un développement infini des transports de personnes ne peut être perçu qu'à travers l'analyse des budgets-temps où le temps de transport est retranché du temps libre disponible. Or, chaque fois qu'ils sont explicités, les niveaux retenus dans les scénarios doux apparaissent très faibles (cf. tabl. 3). En effet, la croissance des déplacements envisagée est trompeuse, dans la mesure où elle porte sur des moyennes alors que la demande de transports est aujourd'hui très inégalement répartie. La conséquence est que, dans Alter (FR) par exemple, la quasi-stagnation proposée pour les transports par avion se traduit en fait par le non accès de la majeure partie de la population aux transports aériens.

Tableau 3

OBJECTIFS PROPOSÉS POUR LES BESOINS DE TRANSPORT (en km/hab/an)

	France 1975	Alter (FR)	IES Wisconsin (USA)
Transports intra-urbains (transports en commun, deux roues...)	1 000	2 000	800
Automobiles	3 700	2 700	4 800
Transports aériens	370	400	1 200
Chemins de fer	850	3 000	800
	5 820	8 100	7 600

On retiendra par contre comme objectif le concept de maximum d'accessibilité proposé par IES Wisconsin, à la place de celui de maximum de mobilité, ce qui permet de poser le principe d'une maximisation des contacts pour une quantité de transport déterminée. Cela renvoie à des transformations extrêmement lourdes qui portent à la fois sur le système de transport, la répartition des hommes et des activités sur le territoire et le style d'urbanisation. Dans le cadre des USA, cela implique (d'après IES Wisconsin):

- la stabilisation de la population rurale à travers un « National Homestead Lease Act » qui permettrait la location de terrains publics (terres inutilisées et bases militaires abandonnées);
- un phénomène de dépopulation des mégapoles;
- la limite des grandes villes à 200 000 habitants;
- l'augmentation du nombre des villes de 50 000 à 100 000 habitants.

Sur cette base, c'est bien sûr une nouvelle géographie industrielle qui doit être redessinée pour permettre, à travers une production très décentralisée et diversifiée à l'échelon local, une minimisation des transports de marchandises.

L'arbitrage entre les différents moyens de transport en fonction de la quantité d'énergie par passager/km ou par t/km conduit à favoriser le transport ferroviaire et les transports fluviaux, voire même, en se référant à l'exemple de Rotterdam, à repenser le rôle des deux roues pour les transports intra-urbains de personnes. Si la suppression des transports aériens sur moyenne distance (500 km environ) paraît facile à réaliser, il n'en est pas de même pour la transformation du rôle de l'automobile individuelle. Elle dépend en effet du comportement des usagers qui ne se modifiera que très lentement. Ne se servir de sa voiture que pour les moyennes distances suppose une réduction de la perception de l'automobile à un simple outil, sans autre valeur que celle du rapport rapidité/coût. Le seul facteur réellement dissuasif serait de faire supporter par l'automobiliste l'intégralité des coûts que fait peser l'automobile sur la collectivité en termes d'encombrement.

On remarquera enfin que la structure de l'habitat joue un rôle déterminant dans le recours spontané aux transports collectifs ou à la voiture individuelle, les premiers étant privilégiés dans le cas d'habitats collectifs assez denses. Certaines enquêtes ont démontré qu'au delà d'un indice d'occupation des sols dépassant 1,5 à 2, il est pratiquement impossible de faire régresser l'usage de la voiture individuelle.

La demande industrielle

De façon assez curieuse, les études sur les « sentiers doux » ne mettent l'accent que sur la récupération de la vapeur et font peu de place à la transfor-

mation des procédés technologiques qui permettraient une réduction massive de l'énergie nécessaire. A titre d'exemple, on peut citer parmi les principaux dossiers:

- clinkérisation du ciment par micro-ondes (à 300 °C au lieu de 1200 °C), ferrailles et minerais pré-réduits traités à l'arc électrique, laminage continu pour l'acier, production biologique par bactéries des engrais azotés...
Au-delà des aspects strictement techniques, le contrôle de la production industrielle résulte de deux facteurs:
- la réduction de la demande par la transformation du modèle de consommation, la croissance de la durabilité des biens et le recyclage;
- une insertion différente dans la division internationale du travail.

La transformation du modèle de consommation est considérée au niveau le plus aisément quantifiable, celui de l'allongement de la durabilité des biens. Une approche plus globale, aujourd'hui impraticable en termes chiffrés, devrait inclure des paramètres aussi importants que l'arbitrage *temps libre/biens matériels* dans l'affectation du surplus et l'aménagement corrélatif de l'espace, ou le partage consommation *privée/collective*...

L'allongement de la durabilité des biens doit permettre une augmentation corrélatrice des valeurs d'usage pour un quantum donné de produits matériels. Ce facteur est renforcé par un recyclage systématique des matériaux de base et la récupération. Si l'on reprend l'évaluation de B. Sorensen pour le Danemark, on peut prévoir, à très long terme, une structure industrielle stabilisée avec un secteur recyclage/récupération représentant la moitié de la production.

On doit cependant noter la contradiction possible entre un doublement ou un triplement de la durabilité et le maintien d'une souplesse et d'une réversibilité suffisante des choix de production et de consommation. Deux écueils sont en effet à éviter:

- le fait de transformer toute décision en décision lourde (14) et donc de multiplier les risques entraînés par des choix dont les conséquences réelles ne peuvent être perçues que sur le long terme, alors qu'elles sont très largement irréversibles;
- le fait de conduire à une société non seulement stable quant au volume global de la production matérielle mais aussi stationnaire, ne faisant pas place à des innovations en matière de mode de vie, ce qui suppose une rotation minimale des produits et des techniques.

La structure du commerce extérieur et l'insertion dans la division internationale du travail: l'essentiel de la demande industrielle d'énergie provient

(14) Voir la discussion du concept de *décision lourde* par P. LAGADEC, « L'étude d'impact: instrument d'évaluation des décisions lourdes », *Futuribles*, n° 9, hiver 1977.

en effet de quelques secteurs (sidérurgie, chimie, métaux non ferreux) dont le contenu énergétique par unité de valeur ajoutée est de 4 à 5 fois supérieur à la moyenne et qui sont susceptibles d'être « redéployés » dans les pays du Tiers monde fortement dotés en énergie, en matières premières et disposant de larges capacités de financement. Or, s'il est vrai qu'un partage industriel plus équilibré à l'échelle mondiale est nécessaire, un redéploiement massif dans le sens Nord-Sud, qui porterait sur les maillons amont des industries lourdes, maillons généralement les plus intensifs en énergie mais aussi en capital et faiblement rémunérateurs, ne correspondrait pas un à développement équilibré du Tiers monde (15). On notera d'ailleurs que les perspectives de production décentralisée en relative autarcie, délibérément adoptées par certains scénarios (Alter (FR), IES Wisconsin (USA)) supposent le maintien d'un tissu industriel complet sur le sol national, ce que ne semble pas voir l'IES quand il reprend à son compte les perspectives du scénario ZEG de la fondation Ford.

La place de l'électricité

Par rapport à la thèse de A. Lovins selon laquelle il est nécessaire de réduire la part de l'électricité à des usages strictement spécifiques (5 à 10% du total), les résultats de divers scénarios ne manquent pas de surprendre. La part de l'électricité dans la mesure des énergies secondaires est de 30% pour Alter, 33% pour Sorensen, 25% pour IES Wisconsin.

Un tel résultat s'explique pour deux raisons:

- s'il est vrai qu'il y a une grande déperdition entre l'énergie thermique fournie par une centrale et l'équivalent calorifique des kWh produits, il faut tenir compte d'un *second rendement entre l'énergie délivrée au consommateur et l'énergie utile*. Or ce deuxième rendement est très généralement à l'avantage de l'électricité. Dès lors, les rapports des rendements énergie primaire/énergie utile entre l'électricité d'une part et l'utilisation directe d'hydrocarbures d'autre part, se resserrent. Pour la production de chaleur, par exemple, ils passent de 3 à 1,6 environ. Si on tient compte de la souplesse d'utilisation de l'électricité, de la non divisibilité des investissements qui empêche une diversification totale des vecteurs, la réduction de l'électricité par rapport aux perspectives officielles ne saurait être aussi drastique que celle suggérée par Lovins;

(15) Voir J. C. HOURCADE, *Énergie et division internationale du travail: essai de prospective des industries lourdes sur le bassin méditerranéen*, Éditions du CNRS, ATP n° 26, avril 1978.

— le raisonnement de Lovins ne porte que sur la thermoélectricité d'origine fossile. En effet, la notion de rendement global sur une ressource inépuisable qui n'a d'usage possible qu'à travers une transformation en électricité n'a pas de sens réel. Que ce soit pour l'hydroélectricité ou l'énergie éolienne, il est arbitraire de comparer le contenu calorifique des kilowatt-heure fournis et l'énergie mécanique nécessaire pour les produire. On sera d'accord avec P. Romain (16) pour considérer cette électricité comme de l'énergie primaire. Or parmi les énergies nouvelles, l'hydraulique, l'éolienne et une partie du solaire (pour usages autres que thermiques ou mécanique fixe) ne sont utilisables que grâce à une transformation électrique.

S'il est donc clair que, dans un scénario énergétique doux, l'électricité ne doit pas devenir le vecteur dominant, son niveau réel se stabiliserait bien au-dessus de ceux envisagés par Lovins pour deux raisons: supériorité pour les forces motrices fixes et mobiles et mise en valeur de sources d'énergies renouvelables autrement inexploitable.

On remarquera enfin que le modèle social lié aux sentiers doux passe par le développement des télécommunications, de l'électronique, d'appareillages fins de régulation et de nouvelles techniques électriques... toutes activités qui entraînent une augmentation des usages spécifiques de l'électricité.

La transition : des obstacles socio-politiques majeurs

Plutôt que de s'attacher à une discussion purement technique sur tel ou tel coefficient économique ou de porter un jugement sur tel objectif adopté en matière de mode de vie, la priorité doit être donnée à l'analyse du passage entre la situation actuelle et le régime à long terme. Un certain nombre de travaux donnent quelques éclairages sur ce point (Alter, le scénario suédois) mais force est de reconnaître que la remontée de l'image à long terme vers l'image de départ est rarement effectuée. C'est pourquoi nous présentons une série d'interrogations sur des aspects « non dits », qui nous paraissent décisifs dès lors qu'on passe aux politiques concrètes d'application.

Même s'il est peu pertinent d'utiliser une analyse économique traditionnelle pour raisonner sur le très long terme, on ne saurait, comme le fait A. Lovins, justifier l'absence de toute référence au prix de l'énergie. En effet,

(16) ROMAIN (Patrice), *Réflexions critiques sur les bilans énergétiques*, op. cit.

toute stratégie de réduction de la demande d'énergie ne peut se justifier que par rapport à un niveau donné de prix implicites, au risque de perdre toute cohérence. Une isolation totale des bâtiments ($G = 0$) est théoriquement possible si l'on admet des coûts d'investissement illimités. L'exercice effectué par le CONAES montre par exemple que des niveaux voisins de ceux envisagés par A. Lovins pour les USA deviennent économiquement justifiés sur la base d'un quadruplement des prix de l'énergie entre 1975 et 2000.

Les deux critères sous-jacents à tous les « sentiers doux » sont :

- un taux d'actualisation bas significatif d'une meilleure prise en compte du long terme pour accepter de supporter des surcoûts d'investissement, que ce soit au niveau des appareils utilisateurs ou dans la sélection de l'offre d'énergie;
- une hausse tendancielle des prix de l'énergie et une politique systématique d'anticipation de cette hausse.

Ces deux critères doivent permettre d'orienter l'économie vers des investissements massifs dans le secteur énergétique (production et économies d'énergie) pendant une longue durée. Mais, même si, à long terme, les investissements exigés sont plus faibles que dans le cas d'une stratégie acceptant le dérapage de la demande, le risque existe, pour tout pays qui prendrait le premier la décision de relever ses prix intérieurs, de grever la compétitivité de son économie sur les marchés internationaux.

Par rapport à cette contradiction, deux types de solutions sont envisagées. La première (Alter (FR), Auckland (NZ), IES Wisconsin (USA)) repose sur la réalisation progressive d'une économie tendant à l'*autarcie* et où la nécessité d'exporter est réduite au maximum. Une telle solution n'est pas à exclure a priori, mais on peut douter de sa cohérence pratique en termes de « système industriel complet » dans un espace national en l'état actuel ou prévisible du développement des techniques. Il conviendrait donc de faire l'hypothèse d'un modèle technologique permettant de revenir sur les économies d'échelles, c'est-à-dire de réaliser des petites et moyennes industries à forte productivité, n'exigeant pas de marchés importants pour être centralisées.

La deuxième solution repose sur l'acceptation d'une interdépendance entre les économies nationales, mais suppose, à l'échelle mondiale, l'adoption d'un accord pour anticiper la croissance des coûts énergétiques. Cette question décisive est d'autant plus délicate que les situations de chaque pays quant aux dotations énergétiques sont très inégales; d'autre part, on ne voit pas de raison théorique d'imposer des prix directeurs mondiaux de l'énergie, sans imposer de la même manière une harmonisation de la rémunération des autres facteurs de production (pour lesquels il y a de fait mondialisation du marché).

Le problème du progrès technique

Un sentier énergétique doux n'est probablement pas une stratégie à bas profil technologique, au contraire. Elle repose entre autres sur le développement de moyens de traitement de l'information et de télé-information. On doit par contre être plus prudent quant à l'idée d'une substitution automatique entre le capital et le travail d'une part et l'énergie d'autre part. Il faut éviter de reproduire à ce niveau l'erreur des courbes d'isoproduction de l'économie néo-classique qui postule l'indépendance et la substituabilité des facteurs de production. S'il est vrai, par exemple, que la climatisation, l'augmentation de la durabilité des biens, le recyclage entraîneront la croissance d'activités de main-d'œuvre, le développement des télécommunications, la croissance du rail, la stabilisation du secteur commercial va dans le sens inverse. De même, la nature du progrès technologique mis en œuvre ne se traduit pas automatiquement par un surcoût en biens de production.

Scénarios doux et démocratie

Comme l'a montré l'analyse par poste, les « sentiers énergétiques doux » ne peuvent être envisagés que dans le cadre de choix sociétaux de grande ampleur : transformation du cadre bâti et de la structure des transports, localisation des activités dans l'espace national, choix industriels, sans compter ce que nous venons d'évoquer concernant la stratégie internationale. L'ambiguïté n'est pas levée dans certains travaux de savoir si « la force contraignante du marché » serait suffisante pour enclencher les transformations structurelles nécessaires. En fait, la majorité des auteurs plaide pour une politique planifiée en fonction d'objectifs pré-établis qui permette de coordonner l'évolution de domaines aussi divers. Mais se pose alors la question de la contradiction entre le contenu et le rythme de ces transformations et la participation de la population à ces changements. En clair, un certain rythme de transformations nécessaires pour atteindre les objectifs énergétiques peut être contradictoire avec l'idée même de décentralisation, de convivialité, d'autonomie. Il est donc nécessaire de donner une priorité à la réflexion sur l'articulation entre les choix publics, la transformation des modes de vie, et les initiatives individuelles ou collectives.

Projet Alter :**étude d'un avenir énergétique pour la France
axé sur le potentiel renouvelable**

par Nina Kousnetzoff (Cired)

Le Groupe de Bellevue tente, sur la base d'un pari non nucléaire, d'évaluer un avenir énergétique autosuffisant pour la France, axé à long terme sur l'énergie solaire.

**De la croissance énergétique nulle
à la croissance économique nulle**

Le résultat essentiel du travail est que la limitation des ressources énergétiques au « gisement solaire » impliquerait la stabilisation de l'activité productrice et de la population : la « croissance énergétique zéro » entraîne la « croissance économique zéro ».

La production industrielle, dont la croissance serait réduite à moins de 2% dès la période actuelle, et à moins de 1% après 1985, deviendrait stationnaire (+ 0,1% par an) vers la fin du XX^e siècle. Cet arrêt serait rendu socialement acceptable par deux séries d'hypothèses, portant sur le modèle de consommation et l'organisation du secteur productif...

On considère qu'un niveau de consommation jugé « confortable » en 1978 pourrait être conservé dans le régime à long terme, à condition d'être étendu à l'ensemble des ménages.

Une réorganisation du système de transports permettrait des économies importantes : le centre des villes serait aménagé systématiquement pour l'utilisation des transports collectifs et des cycles, tandis que le train serait utilisé pour les déplacements inter-urbains au-delà de 100 km. Parallèlement, l'automobile individuelle pourrait conserver la place qu'elle occupe actuellement dans la société, à condition de limiter les déplacements à 8 000 kilomètres par an et par ménage. Par contre, le transport par air serait limité à 400 km par an en moyenne par habitant, ce qui manifeste une volonté d'égalisation des conditions de vie pour tous.

Les économies faites dans le domaine des transports permettraient d'augmenter la part des secteurs résidentiel et tertiaire dans la consommation totale d'énergie, et en particulier d'accroître substantiellement la qualité des services sociaux collectifs (enseignement, sanitaire, hôtels, ...).

On voit apparaître la volonté des auteurs de transformer le modèle de consommation, tout en conservant autant que possible le niveau de consommation individuelle déjà atteint : le régime à long terme devrait permettre une certaine saturation pour la population toute entière dans toutes les branches de biens de consommation existant en 1973.

Abandon des grands systèmes énergétiques

Sur le plan de l'appareil productif, peu de choses sont précisées sur la modification des techniques de production industrielle en dehors du secteur de l'énergie. Il est supposé que la durabilité des biens d'équipement pourrait être multipliée par deux, ce qui permettrait d'augmenter considérablement la part des industries de biens de consommation dans l'ensemble du secteur industriel.

Une hypothèse intéressante est la nécessité d'une décentralisation importante, qui permettrait la prise en charge par l'agriculture d'une partie de la production fournie actuellement par le secteur industriel. L'abandon des grands systèmes énergétiques (centrales nucléaires, énergie marémotrice, centrales solaires dans l'espace...) serait compensé par la création de complexes agro-économiques situés à proximité des terres productives et de centrales électriques de dimension moyenne. Ces complexes agro-économiques, qui pourraient être des coopératives, et ne nécessiteraient donc pas une collectivisation de l'agriculture, fourniraient les matières premières de l'industrie chimique et la biomasse à fins énergétiques. Ceci se ferait « au prix d'une modération des excès de consommation et gaspillage actuels » concernant la viande, les produits laitiers et le vin de mauvaise qualité...

Sur ces bases les auteurs introduisent quelques hypothèses classiques sur les économies d'énergie par augmentation des rendements, mais surtout sur une meilleure adéquation des secteurs d'énergie aux types d'utilisations finales. On notera seulement la réduction de l'écart entre l'énergie primaire et la demande finale par le fait que 34% des besoins totaux d'énergie, contre 0% actuellement, seraient satisfaits directement par la chaleur du soleil, ce qui permettrait des économies importantes correspondant à la consommation propre des grands systèmes producteurs d'énergie et aux pertes de transport.

Une stratégie de transition vers l'autosuffisance

Le pari consiste à prendre en compte les technologies solaires susceptibles d'être disponibles à long terme, dont la faisabilité tech-

nique est pratiquement acquise, mais qui sont encore loin d'être rentables.

Aussi ambitieux qu'il paraisse, ce pari est présenté comme une hypothèse modeste, ne prenant pas en compte les éventuelles percées scientifiques de l'avenir : cultures aquatiques, photo-décomposition industrielle directe de l'eau et du gaz carbonique, centrales utilisant l'énergie thermique des mers ou l'énergie des vagues...

L'insertion de ces paris dans le temps apparaît dans une ébauche de scénario de transition :

1975-1990

Techniques nouvelles appliquées au chauffage des locaux seulement.

Recherche et Développement à grande échelle pour fournir des prototypes variés pour la mise en place de filières à long terme.

1995-2000

Tout le potentiel industriel du pays est utilisé pour la production du matériel qui doit assurer l'approvisionnement énergétique à partir de l'énergie solaire.

2000-2025

Mise en place du nouveau système (en particulier, la rénovation complète des secteurs résidentiel et tertiaire n'est terminée qu'en 2025).

On voit donc qu'à partir de 1995, et surtout de 2000, va pleinement entrer en jeu l'hypothèse (introduite plus haut) d'arrêt de la croissance des besoins de consommation. C'est cette hypothèse qui permettrait la réorientation complète du système industriel vers l'approvisionnement en énergie, et cela pour une durée de plus de cinquante ans. L'effort d'investissement dans le secteur énergétique représenterait 12% de la consommation totale du secteur industriel (1). Cet effort est comparable au taux d'investissement industriel total des années 1970. Il semblerait donc impliquer des taux d'épargne élevés et des taux d'actualisation bas qui ne pourraient s'établir sans un niveau de contrainte important. Des contraintes supplémentaires paraissent nécessaires pour permettre effectivement de doubler la durée de vie des biens d'équipement, et aussi figer le modèle de consommation au stade atteint actuellement.

Si on considère maintenant les contraintes provenant de l'environnement international, la liaison entre autarcie énergétique et autarcie économique n'est pas établie dans le projet. En effet, l'hypothèse d'autarcie énergétique, si elle était étendue à tous les pays actuellement importateurs nets d'énergie, remettrait en cause les courants d'échanges mondiaux, et donc aussi bien la position dominante des pays hautement développés que les relations actuelles avec les pays peu développés

(1) Comme pour toutes les autres hypothèses du projet Alter, l'« investissement » est compté ici en unités physiques d'énergie (Mtep), et non en valeur monétaire.

exportateurs d'énergie (2). L'isolement énergétique supposerait donc une indépendance nationale réelle, économique et politique, dont les bases restent à définir.

Notons que cette remarque ne s'applique qu'au régime à long terme, puisque le scénario de transition suppose encore un recours important aux énergies importées.

Le régime à long terme

En résumé, on peut dire que le scénario proposé est :

1) Révolutionnaire pour l'approvisionnement en énergie : régime stationnaire d'auto-suffisance énergétique basée sur l'énergie solaire ; stabilisation de la production industrielle.

2) Conservateur quant aux besoins d'énergie : extension à l'ensemble de la population des niveaux de consommation d'énergie finale déjà atteints par les couches aisées ; contenu énergétique des produits inchangé.

3) Muet sur les moyens économiques, sociaux et politiques requis (3).

Rappelant le caractère expérimental que les auteurs attribuent eux-mêmes à leur scénario, on gardera présent à l'esprit que les hypothèses de nature économique et sociale (souvent volontairement extrêmes) que nous avons passées en revue, sont utiles parce qu'elles aident à situer le projet Alter par rapport aux prévisions plus classiques en matière énergétique.

(2) Il existe dans le scénario une variante à interdépendance planétaire, qui diffère de l'hypothèse de disparition totale des importations d'énergie à long terme : la production nationale de combustibles solides tirés de la biomasse pourrait être remplacée par une importation d'hydrogène des pays à gisement solaire abondant et une exportation correspondante de produits alimentaires fournis par l'agriculture à la place des combustibles solides.

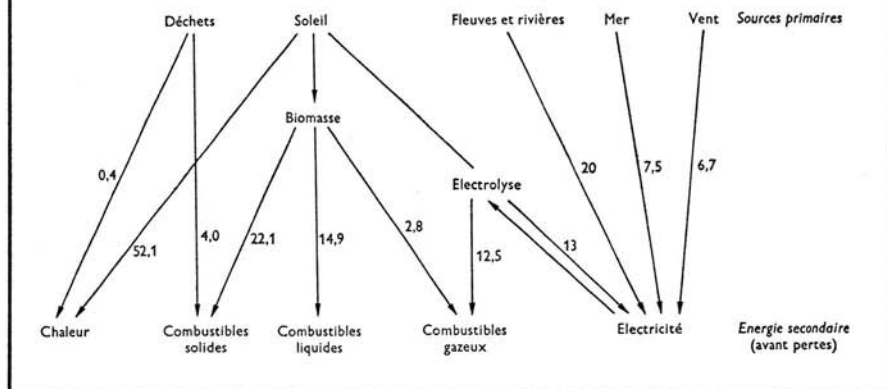
(3) Les auteurs promettent une étude complémentaire traitant de tous les problèmes passés ici sous silence.

Tableau 1
HYPOTHÈSES DE CROISSANCE ÉCONOMIQUE

Taux de croissance annuels

	1975-1985	1985-2000	2000-2025	2025-2050	2050 → +∞
Population	+ 0,6%	+ 0,3%	~ 0	~ 0	0
Besoins en énergie primaire	+ 1,3%	- 0,1%	- 0,3%	- 0,2%	0
Production industrielle	+ 1,5 ~ 2%	< + 1,0%	+ 0,1%	+ 0,1%	0
dont :					
— biens de consommation courante (43%)	+ 2,2%	+ 1,1%			0
— biens d'équipement (57%)	+ 1,4%	~ 0			0
Durée de vie des biens d'équipement	8 à 10 ans	10 à 12 ans	augmentation		
Part des investissements énergétiques dans le total			~ 100%	~ 100%	~ 100%
Part de la consommation d'énergie du secteur industriel nécessaire à la mise en place du nouveau système énergétique		10%	12%	12%	12%

Tableau 2
ÉNERGIE PRIMAIRE PAR SOURCES
(en Mtep)
(Total : 156 Mtep : régime à long terme)



Energy in transition ⁽¹⁾

par Laurent Dartois (Cired)

Première approche d'une étude plus vaste, dirigée par le Secrétariat à l'Énergie suédois, qui a pour but d'examiner les possibilités d'une transition à long terme de la Suède vers les énergies renouvelables (horizon 2025), ce premier rapport détaille plus particulièrement l'amorce d'une transition jusqu'en 1985. Celle-ci repose sur une réduction de la croissance énergétique de la Suède de + 4,5% à + 2% l'an (2) et s'articule autour de trois axes :

- transformation de la structure des usages finaux d'énergie ;
- meilleure sélection des vecteurs d'énergie secondaire ;
- diversification de l'offre d'énergie primaire.

En ce qui concerne les utilisations finales, les auteurs considèrent qu'il est possible de procéder à des *améliorations techniques immédiates* (Technical Fix) afin de réduire les gaspillages d'énergie et de mieux protéger l'environnement. Ils prévoient ainsi que la récupération de chaleur basse température dans l'industrie (papier, ciment) et l'installation de dispositifs anti-pollution sur les automobiles (Volvo) pourraient procurer en 1985 une économie de 2,4 millions de tep (3), soit 6% de la consommation d'énergie actuelle. Ces prévisions sont à mettre en relation avec le fait qu'elles correspondent à peu près à une prolongation des tendances observées par le passé. Les auteurs n'envisagent donc pas d'amélioration technique majeure. Ils laissent, de plus, volontairement de côté les secteurs non industriels parce qu'ils pensent que le haut niveau technique déjà atteint et les résistances du modèle de consommation individuelle ne permettent pas d'envisager d'autres améliorations substantielles.

C'est pourquoi ils insistent sur la nécessité de dépasser rapidement le simple cadre des « économies » pour développer des consommations collectives moins intensives en énergie (loisirs, éducation, santé, trans-

(1) Mans LONNROTH, Peter STEEN, Thomas B. JOHANSSON. — *A report on energy policy and future options*, Secrétariat d'Études suédois, Uddevalla, Suède, 1977.

(2) Soit une diminution de l'élasticité énergie/PNB de 0,9 à 0,4.

(3) 1 tep = 1 tonne/équivalent/pétrole = environ 7 barils de pétrole brut.

ports publics). Mais on peut se demander, à partir du moment où ils reconnaissent eux-mêmes l'importance des consommations individuelles et « leur résistance au changement », si les transformations qu'ils envisagent ne sont pas en fait des corrections à la marge. Hormis le domaine des transports, les secteurs pour lesquels ils proposent un transfert vers les consommations collectives sont, au départ, peu consommateurs d'énergie. De plus, si nous raisonnons maintenant en terme d'énergie utile (4), on s'aperçoit que l'étude laisse de côté les usages basse température (5) alors qu'ils représentent le poste de consommation finale le plus important (6).

Ainsi, la logique de redistribution entre consommation privée et publique qui est proposée ne débouche pas nécessairement sur une modification conséquente de la structure de la demande d'énergie, ni sur une forte réduction de la croissance énergétique, du moins à l'horizon 1985.

Notons également que les auteurs fournissent peu de données chiffrées pour 1985. L'absence de lien entre la structure du PNB et la balance énergétique de la Suède, ne permet pas notamment d'appréhender la consommation spécifique de chaque secteur d'activité.

<i>Demande d'énergie finale en 10⁹ tec</i>	<i>1970</i>		<i>1985</i>	
Consommation privée	23,9	(44%)	27,7	(42,2%)
Consommation publique	5,3	(9%)	7,1	(10,8%)
Investissements	7,3	(13%)	11,5	(17,4%)
Exportations	16,9	(31%)	19,5	(29,4%)
Erreurs et omissions	1,6	(3%)	0,2	(0,3%)
Total	55,0	(100%)	66,0	(100,0%)

Sources : 1970 : Swedish Energy Balance ; 1985 : Estimation personnelle à partir des données de l'étude.

(4) Quantité physique réellement nécessaire (ce qui est différent de la quantité finalement consommée).

(5) Usages de vapeur ou d'eau chaude à moins de 100 °C.

(6) D'après Swedish Energy Balance 1970 : basse température = 42% ; haute température (process heat) = 25% ; transports = 19% ; électricité = 8% ; force mécanique fixe = 6%.

Si nous examinons maintenant la sélection des vecteurs d'énergie secondaire, les auteurs font à juste titre remarquer qu'il convient d'examiner avec attention le *lien existant entre la qualité des énergies secondaires utilisées et les usages qu'on en fait* (7). Ils caractérisent ce lien, en ce qui concerne la Suède, en étudiant, à partir des balances énergétiques du pays, les pertes d'énergie qui apparaissent. Ils en tirent la conclusion que l'électricité pourrait être limitée à des usages très spécifiques (éclairage, moteurs fixes, électrolyse) tandis que dans bien des cas les hydrocarbures pourraient être remplacés soit par du méthanol ou de l'hydrogène (carburants et usages haute température), soit par des sources d'eau chaude ou l'énergie solaire (usages basse température). Certes, cette démonstration peut paraître lapidaire et irréaliste. Il convient cependant de noter que les auteurs ne s'interrogent pas ici sur la faisabilité pratique à long terme de leurs assertions. Ils tiennent simplement à mettre en évidence qu'une des clés de la diversification de l'énergie et d'une moindre croissance énergétique réside dans une meilleure adéquation usages/qualité de l'énergie.

Il résulte des observations précédentes que le système actuel de fourniture d'énergie en Suède — qui se caractérise par la prépondérance des énergies non renouvelables, une production et une distribution fortement centralisées — doit être progressivement remplacé par un système de fourniture plus décentralisé, à partir de sources d'énergie diversifiées. Les auteurs proposent ainsi une alternative d'offre (*alternative 1* dite « nucléaire-charbon ») qui reposerait à l'horizon 1985-90 sur la substitution partielle des hydrocarbures par des énergies non renouvelables telles que les « huiles de synthèse » (liquéfaction du charbon) et l'électro-nucléaire ; et, de façon plus marginale, par des énergies renouvelables (programme hydro-électrique, utilisations locales de la captation solaire). Ils envisagent à plus long terme (horizon 2025) une *alternative 2* basée sur une introduction progressive des énergies renouvelables à fourniture centrale (production à grande échelle du méthanol) ou à fourniture décentralisée (biogaz comme combustible, captation solaire pour les besoins basse température).

Bien sûr, les auteurs s'empressent d'affirmer que ces alternatives n'ont qu'une *valeur heuristique* et qu'elles ne peuvent se succéder mécaniquement dans le temps. Ils font ainsi remarquer que si on appliquait l'alternative 1 dans tous ses tenants et aboutissants, il en résulterait une telle prépondérance du charbon et du nucléaire que les énergies renouvelables auraient peu de chance de se développer. C'est

(7) Nous entendons par « qualité » de l'énergie l'état plus ou moins ordonné de la structure de la matière porteuse d'énergie. Si cette structure est bien ordonnée et stable (faible entropie), on dira d'une énergie qu'elle est de haute qualité. Une énergie à faible entropie peut toujours être transformée en énergie(s) de plus forte entropie. Par contre, la transformation inverse est hasardeuse et conduit à des pertes thermiques importantes. L'exemple le plus connu de ce genre d'« aberration thermodynamique » est la transformation de la vapeur basse température (basse qualité), en électricité (haute qualité).

pourquoi ils soulignent la nécessité d'analyser avec précision le passage d'une alternative à l'autre. Malheureusement ils s'étendent assez peu sur les délais d'introduction des énergies renouvelables, les filières de production, les prix de ces énergies, leurs éventuelles « implications » sociales et environnementales. Qui plus est, l'alternative 1 ne diffère pas fondamentalement du système actuel de production et distribution d'énergie (centralisation, existence d'un vecteur d'énergie secondaire dominant (l'électricité)).

Si bien qu'au regard des incertitudes que révèle ce « scénario énergétique doux », on est amené à s'interroger sur le *projet de société* qu'il sous-tend. Il apparaît qu'il s'agit de poursuivre le « modèle économique » suédois, c'est-à-dire le développement rapide d'une économie hautement technique et spécialisée à l'échelle internationale. Or, la poursuite de l'internationalisation du pays signifie un développement des activités à forte valeur ajoutée, intensives en énergie (« biens lourds »), qui peut aller à l'encontre d'une politique de réduction vigoureuse de la croissance énergétique. Autrement dit, la question qui se pose ici est de savoir s'il est possible d'envisager une transition à long terme vers les énergies douces sans modifier la place de la Suède au sein des nations développées du Nord ?

Cependant, bien qu'ils ne répondent pas à cette question puisqu'ils ne mesurent pas les implications du choix d'internationalisation de l'économie suédoise qu'ils prônent dans leur étude, les auteurs s'attachent à déterminer une *cohérence d'ensemble* à travers l'affirmation qu'on ne peut laisser faire les seules forces du marché et que l'État se doit d'assurer un rôle d'impulsion globale (Plan de l'Énergie, élaboration d'une politique internationale plus « équitable », notamment à l'égard du Tiers monde, répartition des tâches entre gouvernement et Parlement). Ainsi, cette étude a l'originalité de ne pas réduire les choix énergétiques alternatifs à de simples choix techniques, en soulignant la nécessité d'un changement institutionnel et en en fixant les conditions.

Prospective pétrolière mondiale

par Michel Grenon

Les réserves mondiales de pétrole — environ 90 milliards de tonnes — devraient durer une trentaine d'années, au rythme actuel de consommation de l'ordre de 3 milliards de tonnes par an. Si la consommation continuait à croître, au rythme d'avant la crise ou au rythme assagi d'aujourd'hui, les réserves pourraient durer vingt ans, vingt-cinq ans peut-être, c'est-à-dire nous mener à peu près jusqu'à la fin du siècle. Et après? Eh bien, après, on n'en sait trop rien. Deux thèses s'affrontent: celle des tenants de la « catastrophe » d'une part (1) qui nous disent qu'il n'y a plus guère de pétrole supplémentaire à espérer, qu'il sera de plus en plus cher et âprement disputé; et celle des « optimistes » d'autre part, qui pensent qu'il y a encore des quantités importantes de pétrole à découvrir et à produire de par le monde, qu'il faudra bien le découvrir et le produire parce qu'il reste irremplaçable — et irremplacé. Les mêmes rappellent que depuis plus de cent ans on prédit périodiquement la fin prochaine du pétrole, alors qu'on passe en fait de période de pléthore en période de pléthore.

Qu'en est-il au juste? Michel Grenon, de l'IIASA (voir p. 53), auteur de « La pomme nucléaire et l'orange solaire », tente ici de répondre à cette question.

Réserves et ressources

Il est avant tout nécessaire de bien comprendre la distinction entre les réserves et les ressources (cette notion s'appliquant en fait aussi bien au pétrole

(1) En particulier, le Club de Rome, le "Workshop on Alternative Energy Strategies" de Carroll Wilson (du MIT), la CIA, de nombreuses compagnies pétrolières, etc.

ou au gaz naturel qu'au charbon, à l'uranium ou aux ressources minérales dans leur ensemble).

Les réserves, ce sont — en appliquant la classification de McKelvey selon deux axes indépendants, la connaissance géologique d'une part, et l'intérêt économique d'autre part — les quantités relativement bien connues (disons à quelque 20% près), géologiquement identifiées, et qu'on sait produire de façon économique dans les conditions actuelles ou prévisibles à court terme. A ces réserves s'opposent, ou mieux, s'ajoutent des gisements identifiés, déjà découverts, mais qu'on ne sait pas actuellement exploiter aux conditions économiques du marché, ou en recourant aux techniques usuelles. Que les prix augmentent, ou que de nouvelles techniques de récupération soient mises au point — ou mieux encore, que les deux conditions soient satisfaites — et ces gisements, devenus exploitables, viendront grossir les réserves. Il en est ainsi de nombreux petits gisements jusqu'alors non économiques, ou d'importants gisements d'huiles lourdes (2). Mais il est aussi des gisements non encore découverts, soit dans des provinces pétrolières déjà partiellement explorées (la mer du Nord par exemple), soit dans des provinces pétrolières encore « vierges » (Antarctique, bassins océaniques, etc.). Ces diverses catégories de gisements connus mais non-économiques ou de gisements restant à découvrir dans les provinces déjà explorées (gisements hypothétiques) ou encore vierges (gisements spéculatifs) constituent l'important ensemble des *ressources* (selon les auteurs, les réserves sont — ou non — incluses dans les ressources). Il est clair que toute politique à long terme doit être basée, non sur les seules réserves, mais sur l'ensemble des ressources qu'on peut raisonnablement espérer mobiliser. La tâche qui consiste à estimer ces ressources est certes difficile (certaines ressources resteront sans doute à jamais hors d'atteinte), mais elle est fondamentale. Comme nous l'avons déjà souligné, elle n'a hélas reçu que peu d'attention.

Le tableau 1 éclaire davantage les différences essentielles entre réserves et ressources. On peut remarquer qu'il y a eu historiquement un grand intérêt pour les réserves, qui sont en un sens « le pain quotidien » de l'industrie extractive, et peu ou pas d'intérêt pour les ressources: les estimations furent souvent le résultat d'un « lobby », et pratiquement jamais — et ceci est particulièrement vrai à l'échelle mondiale — l'objet de programmes officiels.

De quelles méthodes dispose-t-on pour estimer les ressources? Ces méthodes — qui ne firent que récemment l'objet d'un certain intérêt — se divisent en deux grandes catégories:

(2) Dans le domaine des matières nucléaires, il en est de même de l'uranium marin. On sait où il est — en quantités globales colossales — mais on ne sait pas encore le produire à un prix acceptable.

- les statistiques historiques (méthode développée surtout par King Hubbert de l'US Geological Survey) utilisant des statistiques de production et/ou d'exploration, et les adaptant à des courbes théoriques « en cloche » et de type « biologique » pour décrire la « vie » d'une ressource: de ses débuts à sa maturité, puis à son déclin. Cette méthode, qui a conduit à des prévisions spectaculaires pour les Etats-Unis, est surtout intéressante (bien que nous la croyons personnellement inexacte) pour les pays déjà fort avancés dans leur exploration et/ou exploitation pétrolière;
- l'analogie géologique, qui compare des provinces géologiques peu explorées à des provinces mieux connues. En fait, les critères de comparaison sont difficiles à définir: trop simples, les résultats sont grossiers, ou totalement faux; trop nombreux ou complexes, on découvre qu'il n'y a pas deux provinces vraiment comparables. Dans tous les cas, il y a un manque tragique de données, dont beaucoup restent la propriété « privée » (3) des grandes compagnies pétrolières mondiales.

Tableau 1
COMPARAISON DES RÉSERVES ET DES RESSOURCES

	<i>Réserves</i>	<i>Ressources</i>
Intérêt pour:	Grand	Faible dans le passé; commence à se manifester.
Horizon	10 à 30 ans	Long, ou très long terme (50, 100 ans).
Aspect économique	Doivent être rentables	Non rentables aujourd'hui, et faisant éventuellement appel à une technologie qualifiée de « science-fiction ».
Estimées par:	l'industrie	Des membres de l'industrie ou des institutions (gouvernementales, universitaires, etc.).
Données	Relativement fiables; conservatrices; « secrètes »; et orientées vers une exploitation prochaine	Incertaines et spéculatives; davantage orientées vers la connaissance scientifique
Méthodes d'estimation	Travail (coûteux), de nature industrielle: exploration, forages, mesures	Travail sur papier ou informatique (méthodes statistiques historiques, ou d'analogie géologique).

(3) et jalousement gardée...

Tableau 2

GISEMENTS PÉTROLIERS SUPER-GÉANTS DANS LE MONDE
(au 31 décembre 1975) (en millions de tonnes)

Gisement	Pays	Année de découverte	Réserves totales ¹
1. Ghawar	Arabie Séoudite	1948	11 400
2. Burgan	Koweït	1938	9 850
3. Bolivar Coastal ²	Vénézuéla	1917	4 380
4. Safaniya-Khafji ³	Arabie Séoudite/Zone neutre	1951	4 100
5. Rumaila	Iraq	1953	2 740
6. Ahwaz	Iran	1958	2 400
7. Kirkuk	Iraq	1927	2 200
8. Marun	Iran	1964	2 200
9. Gach Saran	Iran	1928	2 100
10. Agha Jari	Iran	1938	1 900
11. Samotlor	U.R.S.S.	1966	1 800
12. Abqaiq	Arabie Séoudite	1940	1 700
13. Romashkino	U.R.S.S.	1948	1 700
14. Berri ²	Arabie Séoudite	1964	1 600
15. Zakum ³	Abu Dhabi	1964	1 600
16. Manifa ³	Arabie Séoudite	1957	1 500
17. Fereidoom-Marjan ³	Iran/Arabie Séoudite	1966	1 400
18. Prudhoe Bay	États-Unis	1968	1 300
19. Bu Hasa	Abu Dhabi	1962	1 200
20. Qatif ²	Arabie Séoudite	1945	1 200
21. Khurais	Arabie Séoudite	1957	1 200
22. Zuluf ³	Arabie Séoudite	1965	1 200
23. Raudhatain	Koweït	1955	1 050
24. Sarir	Libye	1961	1 000
25. Hassi Messaoud	Algérie	1956	950
26. Shaybah	Arabie Séoudite	1968	950
27. Abu Sa'fah ³	Arabie Séoudite	1963	900
28. Asab	Abu Dhabi	1965	800
29. Bab	Abu Dhabi	1954	800
30. Ta-ch'ing	Chine	1959	800
31. East Texas	États-Unis	1930	750
32. Umm Shaif ³	Abu Dhabi	1958	700
33. Wafra	Zone neutre	1953	700

¹ Incluent la production cumulée et les réserves restantes.
(La plupart des estimations sont vraisemblablement conservatives.)

² Partiellement off-shore.

³ Off-shore.

Source: d'après l'étude de la Rand pour la CIA.

Sur ces 33 super-géants, 25 se trouvent au Moyen-Orient. Le premier super-géant découvert fut Bolivar-Coastal, au Vénézuéla, en 1917; et les derniers, Prudhoe Bay, en Alaska en 1968, et Shaybah en Arabie Séoudite la même année. Les États-Unis, longtemps la plus grande puissance pétrolière mondiale, ne possèdent que deux super-géants: Prudhoe Bay, et East Texas (1930).

Signalons une étude récente et fort intéressante de la Rand pour la CIA américaine, basée sur les gisements géants et supergéants (réserves récupérables supérieures à 70 ou à 700 millions de tonnes, respectivement). L'intérêt de baser l'analogie géologique sur les seuls gisements géants et supergéants est que ceux-ci sont peu nombreux (environ 300, soit un pour cent des quelques 30 000 gisements pétroliers découverts à ce jour), mais représentent environ 70% des réserves mondiales. En fait, on peut espérer à terme une contribution croissante des gisements moyens ou petits — comme c'est déjà le cas en un sens aux Etats-Unis — mais on ne réalise pas toujours qu'un litre sur deux du pétrole que le monde consomme provient en réalité de l'un des trente-trois gisements supergéants ! (tabl. 2).

Rétrospective des principales estimations

On compte depuis la fin de la dernière guerre mondiale, une trentaine d'estimations concernant les ressources pétrolières mondiales ultimes (totalité du pétrole restant à produire — déjà découvert ou non — et du pétrole déjà produit en un peu plus de cent ans). Et encore, ces estimations ne sont pas toutes indépendantes, certaines n'étant que des révisions périodiques effectuées par le même expert (L. G. Weeks, par exemple, totalise à lui seul huit estimations, et Moody trois), d'autres n'étant que des « plagiats ». Certaines de ces estimations font plus appel à notre foi qu'à notre science: la méthode utilisée est à peine évoquée, et les données de base sont soigneusement cachées. Deux d'entre elles ont reçu un vague support officiel (de l'US Geological Survey et de l'US National Petroleum Council), les autres étant généralement effectuées par des membres de l'industrie pétrolière, de façon parfois marginale.

Si on porte ces diverses estimations sur un graphique (en faisant diverses hypothèses pour essayer de les rendre comparables), quelques commentaires viennent à l'esprit:

— la « droite de régression » passant par les divers points a une pente positive. Généralement, les estimations ont manifesté une tendance à croître avec le temps, ou à mesure que croissaient aussi les réserves prouvées. Il serait néanmoins bien dangereux d'extrapoler une telle droite de tendance sans aucune précaution ! (fig. 1).

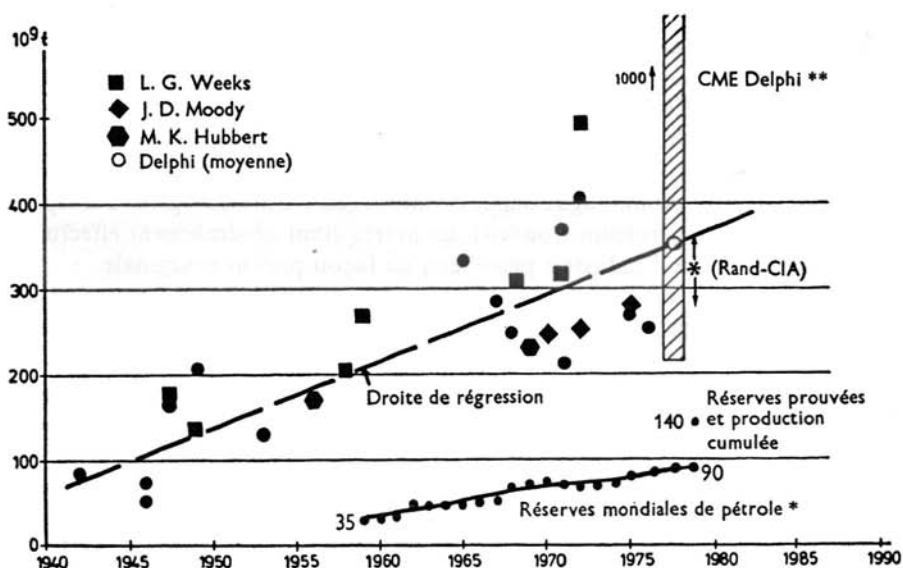
— la dispersion des estimations était à peu près la même il y a trente ans qu'aujourd'hui. Autrement dit, le désaccord des experts reste important.

Ce désaccord est encore apparent lors de la très importante enquête Delphi effectuée par Pierre Desprairies en 1976 et 1977 pour la Commission de conservation de la conférence mondiale de l'énergie (résultats présentés à Istanbul en septembre 1977, X^e session de la CME). Une quarantaine des meilleurs

experts mondiaux ont été consultés. Vingt-sept ont répondu: les estimations portant sur le pétrole mondial restant à produire (excluant donc la production cumulée) ont varié entre 175 et près de 1 000 milliards de tonnes. En fait, 18 réponses — soit les deux tiers — sont relativement groupées dans la tranche 200 à 300 milliards de tonnes, bien que ce relatif consensus soit quelque peu affaibli par les divergences quant aux estimations régionales (estimations pouvant varier d'un facteur 3 par exemple pour la région pourtant la plus explorée, l'Amérique du Nord).

En attendant que la situation de nos connaissances s'améliore, on peut accepter comme hypothèse de travail les valeurs proposées par Pierre Desprairies: il resterait à produire environ 300 milliards de tonnes de pétrole (4) dans le monde, y compris dans les zones polaires et l'*offshore* profond (soit 260 milliards de tonnes en excluant ce pétrole difficile et encore peu connu). Soit environ 100 ans de la production mondiale actuelle: ce n'est pas « énorme », mais ce n'est pas non plus nécessairement la « fin du pétrole »...

Figure 1
ESTIMATIONS DES RESSOURCES MONDIALES DE PÉTROLE



* *World Oil*, Résultat d'août 1960 à 1978.

** Conservation Commission, *Report on Oil Resources*, World Energy Conference, 1977.

(4) Une des limites de l'enquête Delphi était un coût maximum de production de 20 dollars 1976 par baril.

A propos de la future production pétrolière

Selon de nombreux experts la production pétrolière mondiale continuera à croître jusqu'aux débuts des années 1990, atteignant des valeurs de l'ordre de 4,5 à 5 milliards de tonnes par an (contre environ 3 milliards de tonnes aujourd'hui), puis amorçant vite un déclin, pour retomber vers 2010 ou 2020 à des valeurs de l'ordre de 2,5 milliards de tonnes par an. La demande de pétrole, elle, continuant à croître *vigoureusement* (ce que les événements depuis 1973-74 ne confirment pas), il y aurait un déficit croissant, et une irrémédiable crise énergétique, bien plus grave que celle de 1973-74. C'est la thèse du WAES, de la CIA, du Club de Rome, etc., la « crise » pouvant même se produire, d'après certains, dès le début des années 1980 (5).

On peut certes s'interroger sur la future demande énergétique en général, et pétrolière, en particulier. Mais nous laissons cette tâche à d'autres. Nous nous contenterons d'analyser la « fatalité » d'un déclin rapide de la production mondiale de pétrole.

En admettant que la production atteigne 4,5 à 5 milliards de tonnes au début des années 1990, la production cumulée à cette date (à partir de 1977, date de l'enquête Delphi) atteindrait une cinquantaine de milliards de tonnes. Si on accepte le chiffre de 300 milliards de tonnes cité ci-dessus, il resterait à produire quelque 250 milliards de tonnes. Vu l'importance du pétrole dans nos civilisations, on peut penser qu'un long plateau de production, à 4,5 ou 5 milliards de tonnes par an, serait plus souhaitable qu'un rapide déclin. Ceci pourrait se faire en admettant une dégradation du rapport réserves/production (il est de plus de 50 dans le Golfe arabo-persique, mais de 10 seulement aux Etats-Unis, d'où la nécessité pour ces derniers d'un effort intense et permanent d'exploration).

Indépendamment de notre méconnaissance grave des ressources pétrolières (sur 600 bassins pétroliers, 200 — soit le tiers — n'ont pas encore été explorés), il est un deuxième facteur dont on ne mesure pas non plus toujours l'importance : c'est l'inégalité des efforts d'exploration et de développement à l'échelle mondiale. Comme l'a fait remarquer B. Grossling (de l'US Geological Survey, conseiller à la Banque mondiale) sur un peu plus de 3,3 millions de puits de pétrole forés dans le monde depuis les débuts de l'ère pétrolière jusqu'en 1975, près de 2,5 millions (soit plus de 7 forages sur 10) l'ont été dans les seuls Etats-Unis. Mieux, 3,16 millions de puits (soit 95,3%) ont été forés dans les pays développés (pays de l'Est compris); à surface prospective égale, 156 000 puits

(5) Il est bien évident qu'en réalité une crise d'origine politique peut se produire à tout moment, le Moyen-Orient étant ce qu'il est... ou plutôt, ce qu'on l'a fait.

seulement ont été forés dans les pays en voie de développement (Chine comprise). Sur ces 156 000 puits, plus de 100 000 l'ont été en Amérique latine, surtout dans trois pays: le Mexique, le Vénézuéla, et l'Argentine. On peut se poser la question: où en seraient les ressources et réserves mondiales de pétrole si ces proportions avaient été inversées?

Il est évident que toutes les surfaces prospectives ne sont pas équivalentes. Le Moyen Orient en est la meilleure démonstration: 8 000 forages en tout, du début à 1975. Mais ... quels forages ! Rappelons que la productivité moyenne d'un puits est de l'ordre de 800 tonnes par jour au Moyen Orient et de 2,5 tonnes par jour aux Etats-Unis (de 216 en Afrique, de 24 en Amérique latine, et de 6,2 en URSS, toutes valeurs pour 1975).

Mais en matière de pétrole, il faut se méfier des extrêmes. Le tableau 3 montre l'évolution des taux de découvertes, par périodes de 5 ans, pour quatre grandes régions géographiques. Les Etats-Unis (où on retrouve la découverte de l'Alaska entre 1965 et 1970) n'apparaissent vraiment pas comme une province exceptionnelle; depuis 1950 — et mise à part la période 1965-70 — les découvertes y semblent à peu près « stabilisées » à une quinzaine de barils par pied foré, l'amélioration des méthodes d'exploration (sismique de plus en plus fine) compensant la tendance aux « rendements décroissants ».

Tableau 3

ÉVOLUTION DES TAUX DE DÉCOUVERTE
(en bbl/ft - baril/pied foré) *

	États-Unis	Europe de l'Ouest	Amérique latine	Afrique
1970-1974	15,0	1 134,0	208,6	1 062,4
1965-1970	30,3	322,6	158,4	1 189,4
1960-1964	13,9	35,7	117,5	813,6
1955-1959	13,7	26,9	160,6	996,2
1950-1954	16,1	84,8	167,5	77,8
1945-1949	25,5	49,9	191,2	109,8

* On peut convertir en m³/m en multipliant les chiffres donnés par 0,525.

Il apparaît de plus en plus qu'une clé — peut être *la clé* la plus importante — de notre avenir pétrolier réside en l'exploration. A cet égard, on peut encore faire deux commentaires:

— Les découvertes récentes du Mexique sont riches d'enseignements. Il semble bien que les réserves *potentielles* — à ne pas confondre, ou comparer, comme on le fait parfois, avec les réserves *prouvées* de l'Arabie Séoudite —

soient de l'ordre de 25 milliards de tonnes au moins (pétrole et gaz, 200 milliards de barils de pétrole équivalent). Une partie importante de ces ressources se trouverait dans des gisements géants et supergéants, dont on commençait à désespérer d'en trouver encore dans le monde. L'intérêt du gisement de Chicotepec, indépendamment de son ampleur, est que c'est à la fois un gisement relativement profond et difficile à détecter. Il n'est sans doute pas unique.

— On ne peut qu'être frappé de la relative passivité, ou du manque de réaction, à l'échelle mondiale, après la crise de 1973-74 qui aurait dû entraîner une accélération des forages. Le tableau 4 présente l'évolution des forages pétroliers (tous forages confondus; les tendances et rapports seraient les mêmes en ne prenant que les forages d'exploration, comme le montrent les chiffres de la dernière colonne). De 1973 à 1977, les forages du monde non-socialiste ont crû de 36 589 à 57 428. Mais en réalité seule l'Amérique du Nord a réellement augmenté son effort: de 27 602 à 46 479 pour les seuls Etats-Unis (+ 68%), le reste du monde étant resté quasi-inchangé: de 4 366 à 4 752 (+ 9%). Plus de la moitié des forages ont d'ailleurs eu lieu en Amérique latine, et la mer du Nord était responsable de près de 50% des forages supplémentaires d'autre part. Certaines régions, pourtant prometteuses, ont vu stagner ou décroître les efforts d'exploration. Ceci, une fois de plus, illustre le « déséquilibre pétrolier mondial », que confirme encore le tableau 5.

Tableau 4

ÉVOLUTION DES FORAGES PÉTROLIERS MONDIAUX
(PAYS SOCIALISTES NON COMPRIS)

	1970	1973	1975	1976	1977 ("wildcats")	
Afrique du Nord	439	222	258	204	342	(90)
Reste Afrique	300	374	347	231	254	(114)
Océanie	134	83	37	45	47	(22)
Europe	362	398	576	555	576	(252)
Extrême-Orient	230	615	709	697	657	(225)
Amérique latine	2 328	2 057	1 910	2 124	2 232	(485)
Moyen-Orient	242	617	596	604	644	(99)
États-Unis	28 120	27 602	37 235	41 455	46 479	(9 961)
Canada	3 108	4 621	4 292	6 221	6 197	(2 801)
Grand total	35 263	36 589	45 959	52 136	57 428	(14 049)
Grand total moins Amérique du Nord	4 035	4 366	4 432	4 460	4 752	(1 287)

En nombre de forages. Pour 1977, entre parenthèses, les "wildcats" ou forages d'exploration.

Tableau 5

RÉPARTITION DES INSTALLATIONS DE FORAGE DANS LE MONDE
(PAYS SOCIALISTES NON COMPRIS) EN 1978

	Nombre	Pourcentage	
États-Unis	2 304	63,0	} 70,4
Canada	270	7,4	
Amérique latine	366	10,0	
Moyen-Orient	194	5,3	
Afrique	180	4,9	
Asie	172	4,7	
Europe	157	4,3	
Pacifique	12	0,3	
Total mondial	3 655	100	

Et les pétroles non conventionnels ?

Les pétroles non conventionnels — huiles lourdes, sables asphaltiques et schistes bitumineux — sont caractérisés par l'ampleur des quelques gisements connus (Orénoque 100 à 300 milliards de tonnes; Athabasca 100 milliards de tonnes; Colorado 400 milliards de tonnes, d'huiles ou de kérosène en place), et la difficulté, donc le coût, de leur production éventuelle.

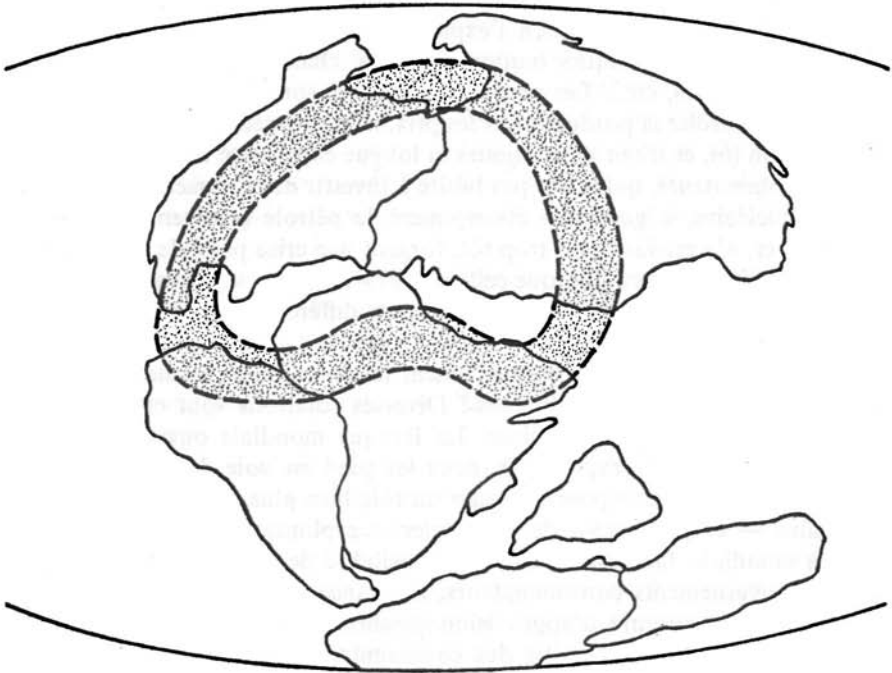
En ce qui concerne les ressources, identifiées mais non-économiques, mais aussi non-encore identifiées, nos connaissances sont particulièrement pauvres. Une enquête mondiale est en cours à l'IIASA, pour tenter de corriger ou mettre à jour des estimations qui remontent souvent à vingt ou trente ans, quand ce n'est pas plus. Les conditions ont pourtant bien changé depuis.

Quant aux méthodes de production, elles n'évoluent que lentement, à cause du manque d'intérêt économique qui s'est manifesté jusqu'à aujourd'hui. Les résultats les plus intéressants ont été obtenus au Canada (projets GCOS et Syncrude, nouveau projet Shell) avec les sables asphaltiques, sous la pression d'un approvisionnement national menacé. Les résultats les plus prometteurs pourraient être attendus des huiles lourdes (gisement de l'Orénoque et autres), auxquelles devraient pouvoir être appliquées des méthodes de récupération assistée à la vapeur, ou de combustion in situ, déjà utilisées avec succès et à grande échelle en Californie. Les schistes bitumineux, belle poire pour la soif pétrolière, apparaissent plus lointains, à moins de percée technologique ou que le prix du pétrole ne dépasse rapidement 20 ou 25 dollars par baril.

La vraie question pour ces pétroles non conventionnels n'est pas de savoir si, et quand, ils pourraient se substituer intégralement au pétrole classique, mais plutôt quelle pourrait être leur contribution à la consommation globale dans l'hypothèse d'un long palier de production, évoquée ci-dessus. D'ici 1990, leur contribution restera vraisemblablement assez faible (100 à 200 millions de tonnes de pétrole par an?), mais elle devrait et pourrait augmenter d'ici la fin du siècle. Les huiles lourdes, entre autres, pourraient jouer un rôle important: il n'est pas de pétrolier qui n'en ait découvertes en cours de forage et classées « non-commerciales ». Les méthodes de récupération assistée, et les prix aidant, ce pétrole déjà découvert devrait progressivement faire surface (signalons que ces ressources ne sont généralement *pas* incluses dans les estimations mondiales de pétrole classique données ci-dessous, fig. 2).

Figure 2

L'ANNEAU PÉTROLIER (d'après Nehring, Rand Corp.)



Curieusement, et sans explication géologique pour l'instant, la plus grande partie des ressources pétrolières connues à ce jour se trouvent réparties dans

un « anneau », large de 1200 à 1600 km, de la période trianique (180 millions d'années, avant la dérive des continents): Afrique du Nord, Moyen-Orient, Sibérie occidentale, Alaska, golfe du Mexique. Cet « anneau » contient aussi les sables de l'Alberta, les schistes du Colorado, et les huiles lourdes de l'Orénoque...

L'exploration piétine : trop de risques

Le rôle de l'exploration apparaît donc de plus en plus primordial, et pour mieux connaître notre patrimoine pétrolier, et pour découvrir de nouvelles réserves, pour accroître et *maintenir* la production mondiale.

Or, il est évident que l'exploration pétrolière piétine et n'est pas adaptée à la situation future, en grande partie parce que le jeu pétrolier mondial a été bouleversé par la crise de 1973-74. Les explorateurs traditionnels — les compagnies — ont été « échaudés » et sont de plus en plus réticents à prendre des risques. Aux risques inhérents à l'exploration — toujours élevés — se sont ajoutés les risques politiques (nationalisations, changements unilatéraux des termes des contrats, etc.). Les producteurs, qui se sont substitués aux compagnies pour contrôler la production et les prix, n'investissent pas réellement dans l'exploration (6), et n'ont pas toujours la longue expérience nécessaire... Et les pays consommateurs, qui n'ont pas hésité à investir des sommes considérables dans le nucléaire, « ignorent » étrangement le pétrole (sauf en aval, par la fiscalité!), et, n'y croyant plus trop tôt, forment une crise possible et sans doute plus sévère, si elle se produit, que celle de 1973-74. Nous semblons là rejoindre les « catastrophistes », mais en fait, nous en différons en pensant que cette crise est loin d'être inévitable.

Comment « débloquer » éventuellement la situation, et relancer l'exploration à la mesure des futurs besoins? Diverses solutions sont envisageables; certaines semblent déjà se dessiner. La Banque mondiale ouvre en un sens la voie, en finançant l'exploration dans les pays en voie de développement les plus nécessiteux. Elle pourrait jouer un rôle bien plus grand encore comme partenaire — et garante — de « triangles »: explorateurs-pays producteurs-Banque mondiale. On pense aussi à la possibilité de cofaces de l'exploration par les gouvernements consommateurs, assurance qui serait sûrement moins coûteuse qu'une rupture d'approvisionnements. On pense aussi à des plans *Tovalop* (réassurances mutuelles des compagnies de transport du pétrole en cas d'accident) appliqués à l'exploration, ou de banalisation des risques.

(6) en tous cas, en dehors de chez eux...

Les lenteurs, et les difficultés, de la pénétration des énergies nouvelles (nucléaire, solaire ou « nouveau charbon », etc.) font ressortir à l'évidence que l'ère du pétrole ne se termine pas, mais qu'elle commence. Il serait temps de la regarder en face.

L'I.I.A.S.A.

L'Institut international d'analyse appliquée des systèmes (IIASA) dont le siège est fixé à Laxenburg en Autriche, est un organisme de recherche non gouvernemental multinational et autonome créé en 1972, qui rassemble 17 pays membres de l'Est et de l'Ouest.

Le programme de recherche sur lequel travaillent environ 70 chercheurs issus pour l'essentiel de ces pays membres, est organisé sous une forme matricielle: autour des deux grands programmes horizontaux (énergie d'une part, alimentation et agriculture d'autre part) s'articulent quatre thèmes verticaux qui sont: ressources et environnement, étude des politiques régionales et urbaines, gestion et technologie, science des systèmes et de la décision.

Outre les recherches menées sur place, l'IIASA accorde une importance particulière à la communication et à la collaboration internationale: des conférences régulièrement organisées à l'Institut sur des thèmes précis permettent aux experts des pays membres de se rencontrer, d'échanger et de confronter leurs expériences, de susciter ou de resserrer la collaboration avec des organismes extérieurs et de renforcer les liens avec les décideurs nationaux.

Promouvoir une collaboration scientifique internationale de haut niveau est un des objectifs fondamentaux de l'Institut où les recherches se font en étroite liaison avec les pays membres, représentés soit par leur académie des sciences respective, soit par une institution nationale spécifiquement créée pour assurer les liaisons avec l'Institut: c'est le cas de l'AFDAS pour la France.

Créée en 1971, l'AFDAS est une association régie par la loi du 1^{er} juillet 1901. Ses membres peuvent être des personnes physiques choisies pour leur compétence et leur expérience dans le domaine de l'analyse de systèmes et des personnes morales publiques ou privées qui s'intéressent à l'ensemble de la discipline. L'AFDAS représente la France au sein de l'IIASA; elle est chargée d'animer et de susciter des échanges réguliers entre la communauté scientifique française et l'IIASA. D'une façon générale, l'AFDAS s'efforce de participer activement à l'effort de coordination des activités françaises dans le domaine de l'analyse de systèmes.

(Adr.: c/o CNRS—15 quai A.-France 75700 Paris—555 92.25 poste 21.50)

projet

N° 134 AVRIL 1979

Le malaise des travailleurs sociaux. Essai d'explication (B. Lestienne)

Le travailleur social n'a-t-il aucun pouvoir? (J. Wacapou). — La travailleuse familiale, entre les urgences et la contestation (M. Lepoutre). — Pour les AS, une formation en devenir (G. Morinière). — Ambiguïtés d'une politisation (N. Barec). — Revaloriser les rôles (A. Ramoff). — Vivre la marginalité (M. Thévenaut). — Situations et ouverture.

L'Europe économique. L'élargissement de la Communauté (J. Mallet). — Face à la crise, une Europe industrielle (G. Tardy). — La convergence économique franco-allemande (K. P. Schmid).

Pour un meilleur service public de l'emploi (table ronde avec T. Béranger, L. Bodin, J. Leroy, T. Le Roy et R. Salais). — Le point de vue des entreprises (M. Hannart).

Les leaders socialistes devant l'opinion, F. Mitterand et M. Rocard, 1968-1979 (J. L. Parodi et P. Perrineau).

Regards sur le monde. Où va l'Iran?

De Medellín à Puebla: une nouvelle optique?

Projet, 14 rue d'Assas, 75006 Paris. Le numéro 13 F, abonnement, un an (10 numéros): 110 F (étudiants 95 F).

En vente dans les kiosques, drugstores et librairies.

Economie et Humanisme

N° 246, mars-avril 1979

Le malaise artisan

- C. Peyssel et J. Grangean: L'avenir des métiers
- M. Auvolat: L'artisanat dans le système économique
- R. Caillot: Artisanat et nouvelle politique du bâtiment
- B. Zarka: Comment les artisans se représentent leur situation sociale?
- A. Picard: La formation des artisans
- M. Durand: Aspects internationaux de l'artisanat

- P. Brechon: Les frontières de l'action syndicale: la stratégie de la CFDT

Commandes à *Économie et humanisme*, 99, quai Clémenceau, 69300 Caluire, tél. (78) 23.21.78. — CCP Lyon 1529-16 L

Prix du numéro: 25 F. Expédié: 29 F

Le chauffage urbain par héliogéothermie

par Jacques Lenoir

Dans notre système économique, dont le modèle de croissance est fondé sur l'économie de marché, il est logique d'exploiter les gisements de matières premières les plus rentables et... de tendre à les épuiser. C'est dans le domaine de l'énergie que la situation se dégrade le plus rapidement.

La politique actuelle de diversification des approvisionnements ne fait que retarder le moment où la pénurie d'énergie et son renchérissement vont devenir de plus en plus difficilement supportables pour un pays tel que la France, pauvre en ressources nationales d'énergie et, de ce fait, soumis à la loi des puissances qui contrôlent et contrôleront les ressources mondiales, aussi bien pour les combustibles classiques que pour l'uranium.

C'est au contraire une politique volontariste de conservation de l'énergie qui devrait être notre véritable impératif, car la conservation se définit comme la mise en œuvre des solutions les plus compétitives utilisant le minimum d'énergie non renouvelable.

Pour mener une politique de conservation, il faut une véritable révolution dans nos comportements économiques: en effet, l'emploi de l'énergie fossile (qui est une haute énergie) pour satisfaire aussi bien les besoins à hautes qu'à basses températures, a eu pour conséquence de renforcer la prédominance des préoccupations des producteurs d'énergie sur celles des utilisateurs. C'est à la suite de tels errements que le programme nucléaire et celui des prospections *off shore* ont aujourd'hui pris le relais des programmes pétroliers et charbonniers antérieurs.

La conservation de l'énergie doit se fonder au contraire sur les besoins des utilisateurs, afin de déterminer les solutions les plus adéquates dans chaque

cas, en distinguant notamment entre les besoins réels de haute énergie et ceux de basse énergie (1).

Ainsi, pour les besoins des industries de base et de transformation, comme pour les transports, c'est dans l'amélioration des rendements, dans la récupération des effluents thermiques et dans l'efficacité de l'utilisation de ceux-ci, que l'on doit investir.

Pour les besoins de basse énergie, qui ne devraient requérir que des températures modérées, c'est l'utilisation maximale des sources de basse énergie qui doit prédominer, c'est-à-dire des effluents thermiques locaux d'origines diverses (effluents industriels, héliothermie...).

Nous allons illustrer ceci par un exemple d'application de la conservation de la basse énergie au chauffage urbain. Mais, auparavant, situons les enjeux: les besoins réels de haute énergie représentent environ 60% de notre consommation annuelle, qui se situe actuellement à 180 millions de tep, soit 2 100 milliards de kWh thermiques (th).

Les besoins de haute énergie peuvent se répartir entre:

— thermique industrielle	600 milliards de kWh th
— transports	350 milliards de kWh th
— électricité d'origine thermique	300 milliards de kWh th (140 milliards de kWh e)

Rappelons que l'électricité d'origine hydraulique représente 60 milliards de kWh.

Les besoins réels de basse énergie représentent environ 40% du total, soit 850 milliards de kWh th. Ils se décomposent en:

- chauffage des locaux (habitat, commerce, industrie);
- eau chaude (sanitaire et divers);
- traitements industriels à basse température (séchage...).

Il faut y ajouter les besoins frigorifiques collectifs (entrepôts, climatisation...) assurés par l'énergie électrique. Dans ce total de basse énergie, 70% environ sont consommés dans les agglomérations urbaines.

L'enjeu actuel, qui intéresse l'application de la conservation de l'énergie au chauffage urbain, représente donc 600 milliards de kWh thermiques.

(1) Les besoins de basse énergie sont ceux où l'effet recherché est soit l'ambiance (20 °C), soit l'eau chaude sanitaire (40 °C), soit le séchage modéré (à partir de 50 °C), soit la conservation par le froid (entre 0 et - 20 °C).

La conservation et le chauffage urbain

Appliquer la conservation de l'énergie au chauffage urbain, c'est récupérer et utiliser au mieux les effluents calorifiques recueillis localement tout au long de l'année pour desservir les installations de chauffage par un réseau de distribution d'eau chaude.

Or, les besoins sont très variables suivant les saisons: ainsi, en région parisienne, la puissance nécessaire lors des pointes hivernales (-7°C) est plus de quatre fois supérieure à sa valeur moyenne annuelle et, en période estivale, les besoins sont presque nuls: par exemple, pour une consommation annuelle de 20 millions de kWh th, ce qui correspond à une puissance moyenne de 2 300 kW, il faut prévoir une installation de 10 000 kW.

D'autre part, les effluents calorifiques ont une variabilité très différente de celle des besoins; ils peuvent en effet se composer:

- d'effluents industriels (y compris ceux d'incinération d'ordures) dont la production calorifique mensuelle est relativement constante;
- d'effluents calorifiques recueillis aux condenseurs d'installations frigorifiques collectives;
- d'effluents héliothermiques.

Pour ces deux dernières catégories, les variations mensuelles entre plein été et plein hiver sont dans la proportion de 10 à 1.

Les estimations globales sur les possibilités de récupération des effluents conduisent à des rapports moyens de 2/3 et 1/3 entre l'héliothermie et les autres effluents pour satisfaire les besoins. Mais il est bien évident que les situations locales conduiront à des valeurs très différentes, suivant les agglomérations concernées.

Les conditions de mise en œuvre d'un tel chauffage urbain sont fondamentalement différentes de celles d'un chauffage traditionnel. Car, en premier lieu, pour les 3/4 environ, l'énergie nécessaire est produite en saison chaude et consommée en saison froide; il faudra donc réaliser un stockage intersaisonnier avec le minimum de pertes.

Ce stockage représente des volumes considérables, car cela revient à utiliser des centaines de mètres cubes par habitant pour emmagasiner environ 4 000 kWh, avec une variation de niveau thermique du stockage de l'ordre de 10°C .

Une autre différence fondamentale, c'est la température de l'eau chaude à véhiculer dans les radiateurs. En effet, dans le cas du chauffage collectif au fuel, les températures de distribution dépassent fréquemment 100°C : isolation des bâtiments, surface de chauffe des radiateurs, canalisations, ont été trop souvent réduits à l'extrême, ce qui est mauvais à la fois pour le bilan énergétique et pour le vieillissement des immeubles.

La conservation nécessite d'opérer à des températures aussi basses que possible pour accroître la captation de l'énergie des effluents: nous verrons que cela a une très grande importance économique pour l'héliothermie.

Pour la mise en œuvre de la conservation, il faut, dans un premier temps, prévoir la rénovation thermique des bâtiments inadaptés (isolation par l'extérieur et modifications éventuelles des radiateurs) de manière à permettre l'utilisation d'eau à 50 °C environ, température également suffisante pour le sanitaire.

D'autre part, un tel niveau de température permet d'optimiser tous les transferts thermiques en utilisant des pompes de chaleur plus performantes: on sait que leur consommation électrique croît, à puissance de transfert donnée, en proportion des écarts de température auxquels elles sont soumises.

Le développement du chauffage électrique : une impasse

Or, minimiser une telle consommation électrique est un des objectifs essentiels de la conservation de l'énergie, et il suffit, pour souligner ce fait, de donner la mesure de l'impasse économique à laquelle aboutirait l'extension du chauffage électrique.

Comme nous l'avons mentionné plus haut, compte tenu de la variabilité des besoins et des pertes en ligne (10%), la puissance installée dans les centrales doit être égale à cinq fois environ la puissance moyenne. Or, l'énergie électrique ne se stocke que de façon marginale: il faudrait donc, à la limite, multiplier par cinq les investissements de production et de distribution par rapport à une production normale et cela reviendrait alors à produire un kilowatt/heure à 0,60 F environ, au niveau de l'utilisateur (2).

Ayant passé en revue les aspects généraux de l'utilisation de la conservation de l'énergie pour le chauffage urbain, nous allons maintenant décrire ce que comporte une installation de chauffage par héliogéothermie et montrer son intérêt économique.

(2) Le coût du kWh nucléaire est de 14 centimes environ pour un taux d'utilisation des équipements de production et de distribution électrique de 85%. Dans le cas de l'extension du chauffage électrique, ce taux tendra à une valeur de 20% et le coût du kWh multiplié par 85/20, sera de 60 centimes.

Le chauffage urbain par héliogéothermie

Le principe en est le suivant: associer une nappe géothermique tiède, réservoir naturel de chaleur, à des panneaux solaires, source naturelle de chaleur, prélever et distribuer l'énergie thermique au moyen de pompes de chaleur.

En période froide, la nappe fournit l'énergie calorifique nécessaire. En période chaude, l'apport des panneaux solaires permet de restituer à la nappe l'énergie compensatrice des prélèvements annuels.

Les pompes de chaleur, plus exactement dénommées pompes de transfert thermique, ont pour fonction d'alimenter:

- la distribution de chaleur pour le chauffage des locaux et l'eau chaude sanitaire;
- la distribution de froid pour la climatisation et le frigorifique;
- les échanges thermiques avec la nappe et les panneaux solaires.

Le complexe de chauffage urbain schématisé ci-contre comprend:

- un circuit de transfert thermique,
- un circuit géothermique,
- un circuit de distribution de chaleur,
- un circuit de distribution de froid,
- un circuit héliothermique,
- un circuit d'effluents calorifiques industriels.

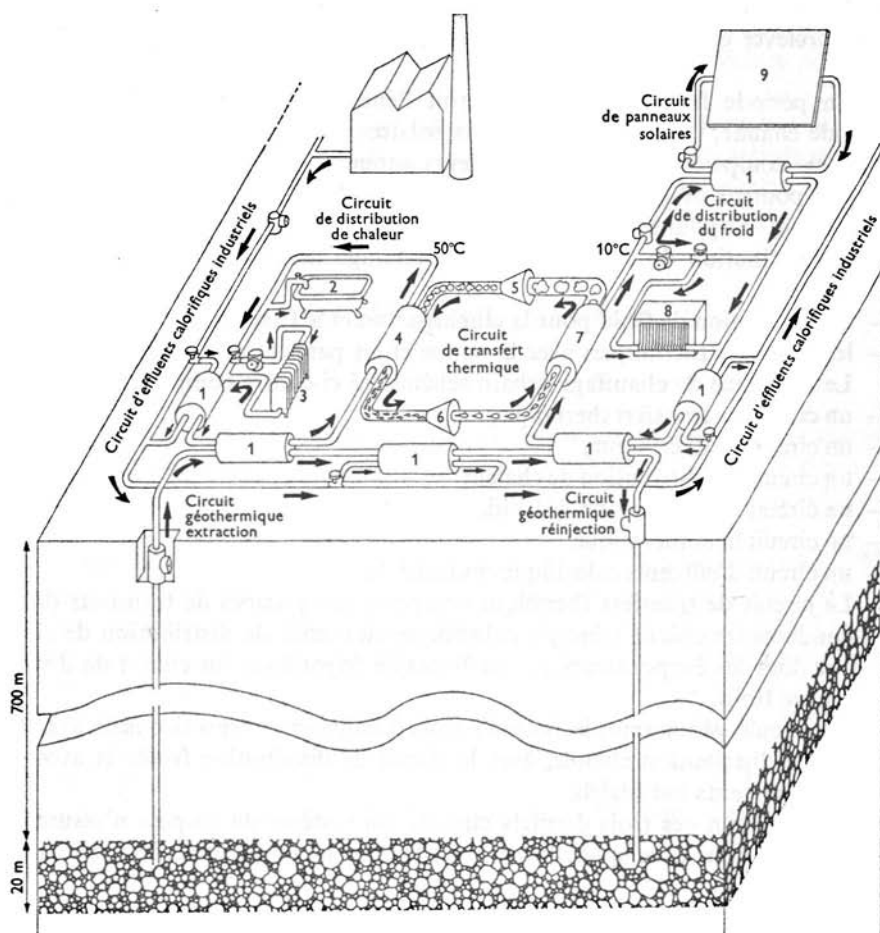
Le circuit de transfert thermique comporte des pompes de transferts dont les condenseurs cèdent l'énergie calorifique au circuit de distribution de chaleur et dont les évaporateurs cèdent l'énergie frigorifique au circuit de distribution de froid.

Le circuit géothermique possède trois échangeurs, respectivement avec le circuit de distribution chaude, avec le circuit de distribution froide et avec le circuit d'effluents industriels.

Pour chacun des trois derniers circuits, un système de by-pass n'assure la liaison thermique avec la géothermie que lorsque les conditions d'échange sont remplies:

- avec le circuit de distribution chaude lorsque la puissance calorifique délivrée par le circuit de transfert excède les besoins des utilisateurs de chaleur.
- avec le circuit de distribution froide lorsque la puissance frigorifique délivrée par le circuit de transfert excède les besoins des utilisateurs de froid (y compris ceux des panneaux solaires).
- avec le circuit des effluents thermiques industriels, lorsqu'une partie du potentiel calorifique de ceux-ci peut être transférée directement à la nappe géothermique.

Le circuit de distribution de chaleur alimente les émetteurs calorifiques et l'eau chaude sanitaire.



L'ALLIANCE GÉOTHERMIQUE + SOLAIRE

- 1 Échangeurs
- 2 Eau chaude sanitaire
- 3 Radiateurs
- 4 Condenseur
- 5 Compresseur

- 6 Détenteur
- 7 Évaporateur
- 8 Émetteur frigorifique
- 9 Capteur solaire

Le circuit de distribution de froid alimente les émetteurs frigorifiques et la fourniture d'eau réfrigérée. Il est relié au circuit héliothermique par des échangeurs qui prélèvent l'énergie reçue par les panneaux solaires.

Le circuit d'effluents calorifiques industriels est relié par échangeurs non seulement au circuit géothermique, mais aussi aux deux circuits de distribution de chaleur et de froid. Pour chacun de ces deux circuits, un système de by-pass n'assure la liaison thermique que lorsqu'une partie du potentiel calorifique de ces effluents peut leur être transférée directement.

L'implantation d'un tel chauffage urbain utilisant de l'eau chaude à 50 °C est particulièrement rentable, car ses circuits essentiels présentent les caractéristiques suivantes :

Géothermie

Les installations pour les nappes tièdes (par exemple, l'albien 30 °C et 700 m de profondeur) coûtent à puissance thermique équivalente environ trois fois moins cher que celles pour les nappes chaudes (par exemple, le Dogger 70 °C et 1 800 m de profondeur).

Panneaux solaires

Avec récupération totale de l'énergie annuelle et avec un fonctionnement à basse température, la surface nécessaire de panneaux est environ 10 fois plus faible que celle que l'on devrait mettre en œuvre dans une installation classique dimensionnée par l'équilibre des ressources et besoins hivernaux. Leur coût total est environ 20 fois plus faible, car les panneaux utilisés sont radiants et non à effet de serre.

Pompes de transfert

Avec des écarts de température ne dépassant pas 40 °C entre source chaude et source froide, et avec des transferts thermiques échelonnés, leurs coefficients de performance, voisins de 10, sont 3 à 4 fois plus élevés que ceux des pompes classiquement utilisées :

- la puissance installée et le coût d'investissement sont 3 à 4 fois plus faibles;
- leur consommation électrique ne représente que 10% de la fourniture calorifique totale.

Effluents calorifiques industriels

Ceux-ci, provenant par exemple d'incinération d'ordures ménagères, sont récupérés à 100% grâce au stockage géothermal, avec un rendement d'utilisation environ quatre fois plus élevé que celui des installations classiques de ce type de chauffage urbain.

Sur un plan global, la rentabilité se traduit par des coûts moyens du kWh thermique, délivré aux réseaux de distribution particulièrement compétitifs, compris entre:

- 4 centimes, lorsque la totalité des effluents calorifiques est d'origine industrielle;
- 10 centimes, lorsque la totalité des effluents calorifiques est d'origine héliothermique et que l'on se trouve dans des zones peu ensoleillées (1 500 heures/an).

Le coût s'élève à 6 centimes, s'il s'agit d'une installation recevant le tiers de ses ressources thermiques à partir d'effluents industriels, dans une zone moyennement ensoleillée (1 800 heures/an).

Dans la plupart des cas, l'économie d'énergie primaire (équivalent pétrole) sera de l'ordre de 75%, la consommation électrique des pompes correspondant au complément d'énergie primaire.

Sur le plan national, l'intérêt économique est considérable, car:

- les nappes tièdes sous-jacentes aux plaines sédimentaires s'étendent sous 70% environ du sol français;
- la population intéressée consomme entre 80 et 90% du total des énergies à bas niveau;
- la reconstitution annuelle des nappes tièdes permet d'envisager leur exploitation indéfinie sur de vastes zones urbaines.

Une économie de 25 millions de tep

L'enveloppe globale des énergies annuelles que l'on pourrait assurer à moyen terme, représenterait une économie nette de l'ordre de 25 millions de tep (tonnes équivalent pétrole), la rénovation thermique des immeubles urbains devant apporter une économie supplémentaire du même ordre: le total représenterait donc 70% de nos besoins actuels d'énergie à bas niveau.

La conservation de l'énergie a un impact économique trois à quatre fois plus grand que celui de l'électricité thermique.

Le développement du chauffage urbain, avec l'aménagement rationnel des ressources thermiques locales, permettra, grâce à l'héliogéothermie, de satisfaire une très grande partie des besoins de chauffage à bas niveau, à des coûts compétitifs avec la plus grande partie du chauffage classique (fuel-charbon) et très largement inférieurs au coût réel du chauffage électrique.

La conservation de l'énergie doit être l'impératif majeur de notre politique énergétique: l'effort d'investissement doit être au moins triple de celui à consacrer à l'électricité nucléaire.

La pompe à chaleur : un efficace « déplaceur de calories »

par C. Streiff*

Les pompes à chaleur (PAC) font partie des systèmes de transformation d'énergie au principe connu de longue date, mais au développement limité — tout au moins sous leur aspect d'appareil de chauffage — par les faibles prix du pétrole pratiqués jusqu'en 1973. Or elles présentent, par rapport aux systèmes de chauffage classiques, l'intérêt suivant: si une chaudière à fuel ou à gaz, ou des résistances électriques, ne font que transformer de l'énergie chimique ou électrique en chaleur, les PAC, elles, se servent de cette énergie pour extraire de la chaleur d'un milieu (appelé « source froide ») et en apporter à un autre (appelé « source chaude »), à température plus élevée. Et pour une même quantité de chaleur dégagée, les PAC utilisent deux à quatre fois moins d'énergie chimique ou électrique.

Mais ce principe même induit une limitation importante aux applications des PAC: pour les faire fonctionner, il faut disposer d'une source froide, c'est-à-dire d'un milieu (eau, air, sol) dont on puisse extraire suffisamment de chaleur, et donc faire baisser la température, sans que cela pose de problèmes. A l'inverse, si des besoins de chauffage et de réfrigération existent en parallèle, dans des domaines compatibles avec le fonctionnement d'une PAC, celle-ci peut apparaître en quelques sortes comme une « machine-miracle »: en consommant une certaine quantité d'énergie, elle pourra, par exemple, produire deux fois cette quantité sous forme frigorifique et trois fois la même quantité sous forme calorifique.

Si elles permettent d'économiser de l'énergie au cours de leur fonctionnement, les PAC représentent un investissement (en francs, et aussi en énergie) plus élevé que les systèmes classiques, car elles font appel à une technologie relativement sophistiquée.

* Centre d'Energétique, Ecole des Mines, Paris.

Les procédés existants, au moins expérimentalement, sont les suivants:

- PAC « thermodynamiques »: elles mettent en œuvre un cycle avec changement d'état d'un ou de plusieurs fluides. Ce sont:
 - les PAC à compression, à un fluide. Ce fluide est successivement comprimé, condensé, puis détendu, vaporisé. La compression se fait par un moteur qui peut être électrique, à gaz ou à fuel (diesel). C'est le seul type de PAC qui ait connu un certain développement industriel comme appareil de chauffage;
 - les PAC à absorption, à deux fluides. Elles ne consomment que très peu d'énergie mécanique (pour faire circuler les fluides). Par rapport aux précédentes, elles présentent donc l'avantage de consommer une énergie moins « noble » (calorifique au lieu de mécanique), mais par contre le rapport entre chaleur fournie et énergie consommée est plus faible;
 - les PAC à éjection (un fluide), à résorption (trois fluides), au stade des études et recherches.
- PAC « thermoélectriques », qui utilisent « l'effet Peltier », c'est-à-dire la propriété de certains contacts métalliques de créer des différences de température lorsqu'ils sont parcourus par un courant (également au stade de la recherche).

Champ d'application

Les PAC de petite puissance sont utilisées essentiellement dans l'habitat. Dans une utilisation individuelle, les sources froides les plus couramment utilisées sont l'air extrait de l'habitation (pour assurer le renouvellement d'air et l'air extérieur), mais ceci limite leur puissance et entraîne la nécessité d'un chauffage d'appoint, réduisant ainsi considérablement l'intérêt des PAC.

Mais des systèmes plus complexes existent également: on peut, par exemple, combiner captation d'énergie solaire et utilisation d'une PAC, les panneaux solaires devenant la « source froide » de la PAC, ce qui permet de capter l'énergie solaire à basse température et augmenter ainsi le rendement de captation. On peut encore améliorer ce type de système en y introduisant un stockage de chaleur en nappe phréatique, quand les conditions s'y prêtent.

Les PAC peuvent également servir à un chauffage collectif. Leur taille importante permet alors, pour des PAC à moteur à gaz, de mettre en place des systèmes dits « à énergie totale », où l'on récupère les pertes calorifiques du moteur. Mais les installations de chauffage collectif qui donnent aux PAC tout leur intérêt sont sûrement les installations géothermiques: une PAC permet

d'utiliser au mieux la ressource géothermale, en surchauffant le fluide géothermal à sa sortie de terre (source chaude) et en le refroidissant avant son retour en terre (source froide).

Autre exemple d'installations de puissance importante utilisant au mieux les possibilités des PAC: les ensembles piscine-patinoire (patinoire = source froide, piscine = source chaude), où la PAC est à la fois appareil de chauffage et appareil frigorifique.

En dehors des coûts d'investissement et d'entretien, un critère de comparaison entre ces différents systèmes peut être le rapport moyen entre l'énergie rendue utilisable par une PAC et sa consommation d'énergie primaire: c'est le coefficient de performance global (COP global), critère lié d'une part aux questions d'indépendance énergétique et de déséquilibre du commerce extérieur, d'autre part aux préoccupations de sauvegarde du patrimoine naturel de la planète et d'économies de ses ressources fossiles. Le tableau suivant donne des ordres de grandeur du COP global de quelques types d'installations de chauffage. Pour les systèmes à la fois calorifiques et frigorifiques, le COP global (avec la définition donnée ci-dessus) est évidemment bien meilleur (de l'ordre du double).

<i>Type d'installation</i>	<i>COP global</i>
PAC électrique à compression, pour habitat individuel (source = air)	0,45
PAC électrique à compression pour habitat collectif	0,7
PAC à absorption, à gaz (utilisée sans appoint)	1,2
PAC à compression, à moteur à gaz avec récupération des pertes calorifiques du moteur	1,7
<i>Situations de référence:</i>	
Chauffage électrique intégré	0,35
Chauffage traditionnel au gaz	0,8

Si tous les systèmes auxquels on vient de faire allusion utilisent des énergies fossiles (directement ou par l'intermédiaire de l'électricité), ce point n'a rien de nécessaire, et une orientation pleine de promesses de la technologie peut être la mise au point de systèmes autonomes, destinés à la production décentralisée d'énergie (calorifique ou frigorifique).

Le meilleur exemple en est peut-être la réfrigération solaire par PAC à absorption: une PAC qui sert à produire du froid, dont l'énergie calorifique provient du soleil, et dont les pompes de circulation de fluide sont alimentées par un générateur photovoltaïque, paraît prometteuse par ses applications dans les pays chauds et dans les régions isolées (ce type de système est actuellement à l'étude).

Mais quelle que soit l'origine de l'énergie qu'elle consomme, la PAC est sûrement le système qui a fait le mieux apparaître qu'économiser l'énergie ne signifie pas seulement consommer moins en valeur absolue — c'est-à-dire, pour les techniciens, appliquer une connaissance de l'énergétique s'arrêtant au « premier principe » de la thermodynamique — mais aussi et surtout, adapter la production d'énergie aux besoins: distinguer les besoins par type d'énergie mécanique et calorifique (ne pas chauffer des appartements avec de l'énergie électrique); et surtout, pour l'énergie calorifique, distinguer les besoins par niveaux de température — c'est-à-dire, pour les techniciens, dépasser le « premier principe » et faire intervenir les notions d'entropie, d'anergie, d'exergie, etc.

Ces remarques délimitent d'ailleurs le champ d'application des PAC: un domaine très varié (industrie ou habitat, petites et grosses puissances, installations autonomes ou raccordées au réseau électrique, large gamme de températures d'utilisation), mais loin d'être universel parce que chaque type de PAC répond à des besoins bien spécifiques. Si bien qu'un avenir « intelligent » pour les PAC passe sûrement plus par la satisfaction cas par cas des besoins couplés de chaleur et de froid, ou leur intégration dans des systèmes complexes, géothermiques ou héliogéothermiques, que par leur généralisation en tant que simple système de chauffage.

Les chances des énergies nouvelles

Interview de Jean-Claude Colli*
par Gritti Haumont

Gritti Haumont: *Quelles sont, d'après vous, les chances des énergies nouvelles à l'horizon de la fin du siècle? Est-on déjà en mesure de prévoir le volume que ces énergies représenteront par rapport à la consommation globale?*

Jean-Claude Colli: Le problème se pose plus en termes qualitatifs que quantitatifs. Le point important en matière d'énergies nouvelles est la diversification d'utilisation qu'elles entraînent. A l'horizon 2000, on ne peut définir la place des énergies dites nouvelles que par rapport à une répartition différente des utilisations de l'énergie. La mutation énergétique dans laquelle nous entrons sera en effet marquée par la prise en compte de la vocation spécifique de chaque énergie, chacune d'entre elles devant couvrir des besoins de nature différente. Il y a tout un score qualitatif de la nouvelle énergétique — au-delà même des énergies nouvelles — qui n'apparaît pas dans un bilan chiffré.

Deuxième facteur important, qui n'apparaît pas non plus au niveau des chiffres: pour un pays comme la France, mettre en place une véritable industrie des énergies nouvelles — cela va de l'isolation à la centrale solaire — c'est aussi s'armer pour l'exportation de technologies spécifiques. Cette exportation de technologies n'est pas non plus prise en compte dans un bilan énergétique national, mais c'est un facteur non négligeable au niveau de la balance des paiements (pensons à notre position actuelle, exportatrice de technologies nucléaires).

Passons aux données chiffrées: elles varient selon que l'on donne de l'énergie nouvelle une définition « stricte » ou une définition plus large. Au sens strict, c'est l'énergie solaire, plus la géothermie. Je dirais donc — mais c'est plutôt un scénario indicatif qu'une prévision solide — que l'ensemble de ces deux types d'énergies devrait représenter de l'ordre de 5% du bilan énergétique national en l'an 2000. Il faut ajouter que l'essentiel de la nouvelle énergétique à cette époque-là se traduira par une non-consommation d'énergie.

* Délégué à la Qualité de la Vie. (France)

Car les 5% que je viens de mentionner représentent 5% de la production d'énergie grâce à ces moyens nouveaux (énergie solaire ou géothermique). Mais la mutation essentielle du troisième millénaire, dans lequel nous entrons — heureusement — avec vingt ans d'avance, consistera à apprendre à obtenir les mêmes résultats en consommant moins d'énergie. Si bien que l'essentiel de l'effort nouveau dans ce domaine s'inscrira en dehors de la comptabilité énergétique: cela constitue une révolution à laquelle il faudra s'habituer. L'essentiel des tep (1) gagnées ne figurera donc pas dans le bilan national. C'est là qu'intervient encore l'énergie solaire, mais de manière passive, c'est-à-dire à travers une meilleure conception architecturale et une prise en compte de l'environnement climatique destinée à économiser l'énergie. Au total on peut évaluer à 5% de la production totale d'énergie le volume représenté par les énergies nouvelles; s'y ajoutent environ 4% dus à l'utilisation passive de ces mêmes énergies. En additionnant résultats « passifs » et production active, on parvient donc à un total de l'ordre de 10% du montant global de la consommation.

Mais il faut bien voir que les résultats sont différents selon que l'on prend en compte, ou non, l'énergie hydraulique au titre des énergies solaires. Quand on se reporte à des projections américaines (en particulier celles qui sont dues au Council for Environmental Quality) on y trouve des chiffres de l'ordre de 20 à 30% pour les énergies nouvelles en l'an 2000, qui comprennent l'énergie hydraulique: et il est vrai qu'il s'agit là d'une forme d'énergie solaire indirecte. Par conséquent si, dans un pays comme la France on comptabilise aussi l'hydraulique au titre des énergies naturelles, on parvient à plus de 15% pour l'an 2000. Il ne s'agit là que d'un ordre de grandeur...

Au-delà de ces estimations, il faut souligner un facteur beaucoup plus important: lorsqu'on regarde le bilan prévisionnel de l'an 2000 — volontariste, je le précise, supposant donc une politique active — on constate que la moitié environ des formes présentées dans ce bilan n'existait pas il y a dix ans en France. Le taux de nouveauté de ce bilan énergétique sera donc de 50% en l'espace de vingt ans: ce qui paraît fabuleux...

Que représentent ces 50%? Les énergies nouvelles, bien sûr; l'énergie nucléaire qui aura à cette époque une importance majeure (alors qu'elle était, il y a dix ans, négligeable), mais aussi les techniques nouvelles d'utilisation ou de production de l'énergie (l'hydrogène, la liquéfaction du charbon, la récupération de chaleur) et l'épargne en matière d'énergie, c'est-à-dire les économies réalisées dans ce domaine. Cet ensemble constitue la définition la plus large des énergies nouvelles, ou plutôt, de la nouvelle énergétique.

(1) Tonne équivalent pétrole.

G. H.: *Ces énergies nouvelles rempliront-elles indifféremment le rôle des énergies classiques (à concurrence donc de 10% environ des besoins) ou faut-il s'attendre à une certaine diversification de l'offre énergétique?*

J.-C. C.: Nous aurons à faire face à une mutation, à mon sens tout à fait fondamentale, et de portée politique majeure: jusqu'à aujourd'hui, pour des raisons statistiques et économiques, on avait tendance dans les pays dits développés à commencer par évaluer les besoins en termes de consommation, et à évaluer seulement ensuite les ressources nécessaires pour répondre à ces besoins. Cette démarche entraînait deux conséquences essentielles en matière de comportement économique. La première consistait à considérer que la consommation était une donnée non soumise à la critique. Deuxième conséquence: on considérait que la responsabilité de la politique énergétique incombait essentiellement au secteur de la production. La politique énergétique reposait donc surtout sur les producteurs d'énergie.

Désormais cela ne devrait plus être le cas: la future politique énergétique consistera essentiellement, nous l'avons vu, à épargner l'énergie, à améliorer l'indice énergétique de la nation et à abaisser le taux de consommation. Ce qui ne relève donc plus des producteurs d'énergie, puisque, bien loin de chercher à faire vendre de l'énergie, il s'agira plutôt d'en consommer moins. On verra donc se produire en matière de politique énergétique, un transfert de responsabilité de l'énergie vers l'ensemble de l'économie française, je dirais même vers l'ensemble des citoyens, puisque la politique de l'énergie dépendra aussi bien de chaque individu que des fabricants de réfrigérateurs ou de moteurs...

Partir de l'usage au lieu de partir du puits

Cette mutation implique aussi qu'on s'intéresse plus désormais à la spécificité de l'utilisation de l'énergie qu'au problème spécifique de la production. Il faudra partir de l'usage, alors que l'on avait tendance à partir du puits ou de la production. Chaque besoin en termes d'énergie devra dorénavant être analysé ainsi: ne peut-on pas en limiter la quantité, ou obtenir le même résultat à moindre coût énergétique? Utilise-t-on la meilleure source d'énergie pour le satisfaire?

Prenons un exemple concret en matière de chauffage: le chauffage, ou la chaleur, les techniciens vous le diront, est la forme la plus dégradée de l'énergie. C'est le désordre des molécules qui produit la chaleur; cette énergie désordonnée devrait donc être obtenue à partir de matières aussi brutes que possibles. Or actuellement, on utilise pour produire de la chaleur, les deux formes d'éner-

gie les plus sophistiquées: le pétrole et l'électricité. Pour le pétrole, dont la molécule est un chef-d'œuvre naturel, la meilleure utilisation est certainement la chimie, mais certainement pas le chauffage. Il en est de même pour l'électricité, qui représente l'une des formes les plus « raffinées » d'énergie. Il n'est pas question d'exclure l'utilisation d'électricité ou de pétrole pour le chauffage; il faut commencer par faire l'inventaire précis de toutes les sources de chaleur disponibles et utilisables pour le chauffage: c'est le cas de la géothermie et de l'énergie solaire. Cette dernière ne peut constituer qu'une source partielle sous forme de capteurs, ou bien sous une forme plus passive: l'accueil par l'architecture des calories dispersées par l'environnement bio-climatique. Autre exemple: il est clair que pour produire de la porcelaine, le gaz constitue la meilleure forme d'énergie, parce qu'il a une flamme très pure... de même, pour les télécommunications ou l'éclairage, rien ne remplace l'électricité...

Une politique de l'énergie devra donc dorénavant être fondée sur les objets consommateurs. Nous allons vers une qualification énergétique: recherche de la qualité spécifique de chaque énergie et définition du champ de besoins qu'elle peut couvrir.

G. H.: *Le volume des efforts de recherche consentis actuellement vous paraît-il suffisant ?*

J.-C. C.: Quelques projections indicatives ont été effectuées en confrontant le désirable et le possible. Des prévisions de ce type impliquent des efforts particuliers qui ne se traduisent pas forcément en termes financiers. L'ensemble des crédits publics ou para-publics qui ont été consacrés aux énergies nouvelles a considérablement augmenté en l'espace de quelques années. En ce qui concerne la géothermie et le solaire, la séquence budgétaire a été multipliée par quatre ou cinq entre 1975 et 1979. Il faudra y ajouter d'autres efforts, notamment en ce qui concerne le développement de l'utilisation de la biomasse. Il est très difficile de chiffrer ces efforts, l'avancement d'une politique énergétique de ce type ne reposant pas uniquement sur des bases financières (financer quatre nouveaux prototypes ne garantit pas un progrès significatif). Le progrès viendra surtout de la banalisation et de la vulgarisation de ces techniques.

Le problème essentiel se situe autour de l'évolution des comportements. Ainsi, ce n'est qu'à travers la combinaison d'une recherche technique affirmée et d'un marché de plus en plus étendu qu'on atteindra la baisse escomptée du prix des photopiles solaires. Mais pour obtenir — c'est l'objectif — une division par dix du prix des photopiles, l'extension du marché est au moins aussi importante que la recherche fondamentale. Autre cas, celui des centrales solaires: il est clair qu'elles auront peu de place dans un pays comme la France, mais couvriront mieux les besoins de pays très ensoleillés, ou en voie de déve-

loppement. L'objectif, dans ce cas précis, est donc de fabriquer des prototypes suffisamment au point pour pouvoir vendre des séries.

L'essentiel de l'effort devra porter sur le chauffage et donc sur la conception du logement. On retrouve à ce niveau le thème de la biomasse, le bois constituant aussi un moyen de chauffage. On pourrait ainsi introduire progressivement le bois comme moyen de chauffage, sous une forme plus moderne que par le passé (granulats, bois, déchets récupérés et concentrés). Tout cela implique des investissements importants. Dans la nouvelle énergétique, un effort financier considérable est nécessaire au départ pour permettre ensuite un faible coût, sinon une gratuité de l'énergie. C'est ce que j'appelle la dialectique entre le capital et le revenu. L'objectif désormais est d'acheter du temps: cela signifie qu'il ne faut plus considérer que le capital argent doit être économisé à tout prix, c'est-à-dire au prix d'un épuisement du capital énergie, ce qui était le cas jusqu'à présent. Dans le cas d'un grand immeuble, gros consommateur d'énergie, on minimise l'investissement financier d'optimisation de l'énergie au prix d'une consommation d'énergie-capital très importante. Désormais, il faudra accepter de dépenser du capital financier pour obtenir du revenu énergétique.

Ce changement d'attitude implique des efforts très importants: mais on ne doit pas les trouver uniquement dans le budget de l'État. Il faut que les décideurs, c'est-à-dire les banquiers et les industriels, apprennent à consentir des investissements lourds au départ et à considérer que l'équilibre financier de l'opération se fera à long terme. C'est le cas de la géothermie: les surcoûts entraînés par les forages et les installations ne sont arithmétiquement « ratrapés » qu'en une dizaine d'années. C'est un horizon inhabituel pour un banquier... mais le long terme, c'est le quotidien de demain.

G. H.: Encore faut-il pouvoir convaincre banquiers et promoteurs?

J.-C. C.: Les mutations s'opéreront plus rapidement et plus concrètement qu'on ne le croit. On peut prévoir que, d'ici quelques années, un candidat à l'achat d'un logement commencera à s'intéresser à la consommation énergétique, forçant ainsi le promoteur à prendre en compte le coût du fonctionnement énergétique de ce logement dans son argumentation de vente.

Toutes les décisions économiques sont le résultat de la confrontation, implicite ou explicite, de diverses raretés. Après analyse des contraintes ou des raretés on constate généralement que la « bonne décision » passe par la moindre rareté.

J'ai ici sous mes yeux, à Neuilly, le quartier de la Défense. C'est pour moi le symbole du résultat de décisions prises pendant la période productiviste, abondante en énergie, dont nous sortons. Lors de la construction de ce type d'immeuble, la denrée la plus rare était l'espace constructible: on a donc cherché à l'économiser au maximum. L'énergie, en revanche, n'a pas été considérée

comme rare. Or ces immeubles sont des tours de refroidissement, grosses consommatrices d'énergie (ascenseurs, climatisation assistée). Actuellement on ne prendrait plus une décision de ce type, car au score des raretés, l'énergie a considérablement remonté, le terrain restant d'ailleurs toujours aussi rare. C'est ainsi qu'évoluent les décisions.

Désormais, à cause de l'avancement de la technologie, on sera confronté à un arbitrage entre une bonne isolation, une bonne conception architecturale économisant l'énergie, et le coût du terrain. Ces facteurs détermineront des solutions différentes de celles qui sont considérées comme « normales » de nos jours. Les mutations industrielles et sociales se sont souvent faites à partir de nouvelles raretés ou de nouvelles opulences. Nouvelles opulences: l'apparition du charbon, puis du pétrole, au XVIII^e siècle, a créé la civilisation industrielle: leur rareté va vraisemblablement maintenant la modifier.

Il y a donc un risque de renversement de tendance et l'énergie est certainement un des facteurs déterminants en ce qui concerne le changement dans nos sociétés.

G. H.: Reprenons le thème des recherches entreprises et de leur soutien financier. Ne sont-elles pas un peu dérisoires par rapport aux efforts consentis pour le développement de l'énergie nucléaire?

J.-C. C.: Je ne tiens pas à me lancer dans une bataille de chiffres. On dispose cependant de données comparables: ce sont celles qui ont trait à la recherche développement dans l'un et l'autre domaine. Il est logique, dans des comparaisons de ce genre, de mettre de côté la construction de centrales, car il s'agit là d'une industrie, de la production de machines destinées à fournir de l'énergie. Mais on a souvent reproché à l'État la disproportion entre la recherche développement consacrée au nucléaire, et celle affectée au solaire ou à d'autres énergies nouvelles. Le montant de la recherche développement dans le domaine du nucléaire représente 2,5 à 3 milliards de francs par an; le chiffre correspondant pour les énergies nouvelles est de 300 à 400 millions de francs (10 à 15% de l'effort consenti pour le nucléaire). Il faudrait y ajouter l'ensemble des subventions accordées par l'Agence pour les économies d'énergie, qui contribue à nous faire entrer dans l'ère de la nouvelle énergétique en développant de nouvelles techniques d'utilisation. Au total, l'ensemble des efforts consentis pour les énergies nouvelles se monte donc à environ 1 milliard de francs, c'est-à-dire plus d'un tiers de l'effort de recherche développement du nucléaire.

Je constate qu'il faut tenir compte de la nécessité d'une production en masse de l'énergie. On peut espérer une décentralisation et une dédensification des productions énergétiques; il n'empêche que sur un plan global il faudra bien fournir les quelques 300 millions de tep nécessaires en l'an 2000, même si l'on tient compte des économies réalisées d'ici là.

D'un point de vue technologique, aucune énergie, à part le nucléaire (ou le pétrole), ne peut couvrir des besoins à cette échelle. Le problème ne peut donc être posé en termes d'arbitrage entre une forme d'énergie et une autre. Les énergies nouvelles ne peuvent pas remplacer toutes les autres formes d'énergie classiques. L'objectif doit être de tirer parti de toutes ces énergies, et d'en tirer le meilleur parti. Or l'argent affecté au nucléaire ne l'est pas aux dépens du solaire ou de la géothermie: les 10% que l'on pourrait déplacer d'une énergie à une autre ne pourraient de toute manière accélérer la production des tep nécessaires.

A l'horizon 2000, si l'on revient à un scénario indicatif, l'on peut prévoir que le nucléaire couvrira 30% des besoins énergétiques français; tout simplement, parce que si l'on n'utilise pas l'énergie nucléaire, on sera automatiquement renvoyé au pétrole. Il n'y a pas, à mon sens, d'autre alternative... Il faut donc choisir entre la possibilité d'une moindre dépendance économique nationale, ou d'une dépendance accrue en matière d'approvisionnement.

G. H.: Les États-Unis consacrent un effort important à la recherche en matière d'énergie solaire, en particulier dans l'État de Californie.

J.-C. C.: On a tendance à oublier, que le soleil américain est une fois et demi plus présent qu'en Europe. Autre point: dans le « Sun Belt », la ceinture des États du Sud des États-Unis, la climatisation est une nécessité réelle; ce n'est pas le cas en France, où elle reste un luxe. Enfin, l'Américain moyen consomme trois fois plus d'énergie qu'un européen: par conséquent les Américains peuvent d'autant mieux annoncer des scores intéressants en termes d'économies d'énergie qu'ils partent d'un bilan catastrophique.

En Europe il deviendra de plus en plus difficile de marquer des points supplémentaires en matière de bilan énergétique. Chaque progrès dans ce domaine coûtera désormais très cher. Si l'on essaie de dresser un classement international des efforts en matière d'énergies nouvelles, la première place revient incontestablement aux États-Unis. Mais sur un plan purement technologique, la France est le seul pays, à part les États-Unis, qui soit aussi bien placé dans des secteurs aussi variés. En d'autres termes, la politique française assure une « couverture » très large des rubriques (des piles photo-voltaïques aux capteurs solaires, en passant par les études sur la biomasse. Immédiatement après, dans ce classement, vient la RFA.

G. H.: Pourquoi ne pas suivre une autre politique, comportant un accroissement global du volume des recherches, de manière à accélérer le moment où ces énergies seront effectivement opérationnelles?

J. C. C.: J'ai écrit ce livre pour essayer d'explorer ce qui pourrait être fait dans la meilleure des hypothèses. Mais je n'ai pas le droit d'ignorer les contraintes

économiques, financières ou psychologiques qui pèsent sur le domaine que je décris. Gouverner, c'est prévoir, mais en arbitrant et en trouvant des compromis. Il existe beaucoup de gens prêts à descendre dans la rue, au nom de l'écologie, pour critiquer telle ou telle option; cependant dès qu'il s'agit de remettre en question leur comportement ou leur situation personnelle, leurs slogans s'affaiblissent considérablement. Sans vouloir généraliser, il se trouve que diverses associations écologiques qui s'élèvent contre la construction d'un équipement touristique donné, sont comme par hasard, composées de propriétaires de terrains dont la valeur pourrait être affectée par l'opération prévue. Nombre de partisans du solaire ou adversaires du nucléaire au nom de l'environnement se donnent le plaisir de rêver l'avenir: vision utopique légitime, utile même. Mais lorsqu'il s'agit de prévoir une politique, les problèmes ne sont plus les mêmes: le budget national, les attitudes de la population, les contraintes de l'industrie et la concurrence internationale sont autant de facteurs dont il faut tenir compte. Je vois donc difficilement la possibilité de mener une autre politique énergétique en gardant comme horizon l'an 2000.

J'ajouterai ceci: on dispose actuellement d'un bel exemple d'exercice théorique — et sérieux — sur la mise en œuvre d'une politique radicalement différente (ou une alternative, selon un terme fréquent en ce moment): il s'agit justement du projet Alter. Ce projet est intéressant à plusieurs titres. Les auteurs modifient radicalement l'approche habituelle du problème énergétique en donnant d'emblée la priorité à l'utilisation de la biomasse et à la bio-énergie. Ils ont aussi l'honnêteté de constater qu'ils ne sont pas en mesure de dessiner un scénario pour l'an 2000; car, ne se donnant pas de droit à l'utopie totale, illimitée, ils se sont rendus compte que la mise en pratique de leurs idées prendrait un demi-siècle... Le scénario est donc prévu à l'horizon 2050. Ils ont tenté de définir un certain nombre de conditions de mise en œuvre de cette politique dont il faut être conscient. Ils prévoient pour 2050 une consommation énergétique marchande inférieure à celle de 1978, ce qui implique une révolution dans les attitudes et les comportements actuels.

Leur objectif fondamental passe par la libération vis-à-vis du nucléaire, le nucléaire étant pris comme symbole de la concentration énergétique (c'est une énergie de type urbain, productiviste, l'équivalent d'un porte-avion énergétique...). Pour parvenir donc à réduire la consommation énergétique, et par là même la part du nucléaire, ils sont amenés, par exemple, à envisager l'interdiction de l'automobile particulière. C'est une optique, dirais-je, un peu « Robespierriente ». Il faut donc avoir à l'esprit les conséquences que peuvent entraîner de tels objectifs, et savoir les assumer.

Si le groupe Alter était en charge d'un ministère de l'Énergie, il se heurterait aux résistances populaires contre ce type de conséquences. Il serait donc bien obligé d'en tenir compte...

Ce qu'il faudrait, en fait, pour développer l'utilisation de la biomasse, c'est engager une politique de remembrement de la forêt française. La France a la plus grande forêt d'Europe, mais le principal obstacle à une exploitation énergétique de cette forêt, c'est la mosaïque de propriétés privées dont elle est composée, qu'il faudrait nationaliser ou racheter. Je vous laisse imaginer quelles seraient les réactions des Français (très attachés à la terre) le jour où le gouvernement leur demanderait de constituer des groupements d'intérêt énergétique agricoles ou forestiers, et de mobiliser une partie de leurs propriétés forestières dans l'intérêt énergétique national. On en viendra là: il suffit d'attendre que le prix du pétrole monte encore... En ce qui concerne les points forts de toute politique énergétique nouvelle, tous les gens sérieux sont d'accord: c'est sur le plan des échéances que les points de vue divergent: l'objectif des uns est de faire de la « grande » prospective, celui des autres est de gouverner.

J'ai le sentiment, en tant qu'économiste, que la période productiviste dont nous sortons a été en même temps une période de sophistication linéaire de l'intelligence économique. Sophistication, car les calculs économiques sont devenus de plus en plus raffinés; linéaire, parce que tous ces calculs sophistiqués ont fait surgir de plus en plus de questions, mais toujours en aval d'une hypothèse inchangée de croissance économique. L'approche macro-économique a un grand rôle dans l'état de la situation actuelle: en effet, le responsable économique a eu tendance à aborder les problèmes globalement: les indices globaux nous sont devenus familiers. Mais on ne s'est pas rendu compte que la macro-économie, en vertu de sa propre dynamique, entraînait un mépris progressif pour la micro-économie. Or la micro-économie, c'est le quotidien; moyennant quoi certains facteurs difficiles à comptabiliser ont été oubliés: l'environnement, la qualité de la vie, le temps aujourd'hui dégradés. Ils se sont dégradés en sous produits des décisions économiques à court terme: c'est le « syndrome bancaire »; et d'autre part en fonction des grandes justifications macro-économiques: c'est le « syndrome globaliste ».

Ces deux syndromes ont lié leurs raffinements et leurs terribles oublis pour créer la situation dans laquelle nous nous trouvons: la pénurie d'énergie n'a été qu'un révélateur de ces blocages.

La prochaine frontière à conquérir n'est plus désormais le « calculé », c'est le « vécu »...

Énergie: compte à rebours ou erreur de prévision ?

par Michel Godet

« Le monde manquera de pétrole au milieu des années 1980. » Cette prophétie émanant d'une récente publicité de la British Petroleum... ne fait que refléter les rapports alarmistes sur l'avenir énergétique du monde. Citons, par exemple, le rapport de la CIA en avril 1977, la conférence d'Istanbul en septembre de la même année, le rapport WAES réalisé par le MIT et l'IEJE, et plus récemment le rapport au Club de Rome présenté par Thierry de Montbrial (1).

Abondance ou pénurie? A l'origine de cette controverse sur les ressources énergétiques disponibles, il y a souvent une confusion entre réserves prouvées et ressources ultimes. C'est ce qu'indique ici rapidement Michel Godet, dont l'analyse rejoint sur certains points celle de Michel Grenon. Michel Godet est actuellement chargé de mission au projet FAST (prospective) à la Commission des communautés européennes.

Au sein d'un troupeau de moutons blancs il se trouve toujours quelques moutons noirs pour témoigner d'une autre réalité. Ainsi, pour l'énergie, des experts de renommée mondiale comme Michel Grenon et Peter Odell (2)

(1) Il s'agit dans l'ordre de:

- "The international Energy situation: outlook to 1985." Rapport CIA, Avril 1977;
- l'enquête Delphi réalisée par F. Desprairies, directeur général de l'IFP à l'occasion de la conférence mondiale sur l'énergie d'Istanbul;
- rapport WAES (Workshop on alternative energy strategies) réalisé en commun par le MIT (U.S.A.) et l'IEJE (Grenoble) 1977;
- *Énergie: Le compte à rebours*, publié aux éditions J. C. Lattes, 1978.

(2) M. Peter Odell, conseiller chargé des problèmes de l'exploitation du pétrole en mer du Nord au Secrétariat de l'énergie britannique, est professeur de géographie économique et directeur de l'Institut de géographie économique à l'École d'économie des Pays-Bas.

affirment, non sans raisons, que nous ne sommes pas prêts de connaître une pénurie physique en énergie fossile.

Abondance ou pénurie? A l'origine de cette controverse il y a le plus souvent la confusion entre réserves prouvées et ressources ultimes.

Un rappel de définitions, dans lesquelles chaque mot compte, s'impose pour éclairer cette question.

Les réserves prouvées représentent ce qui, avec certitude, est immédiatement productible à partir des puits existants, aux conditions économiques et technologiques actuelles. Les ressources totalisent le montant estimé de ce qui existe, mais dont une partie seulement peut être exploitée aux conditions actuelles de prix et de technologie. On peut faire, à partir de cette distinction, un certain nombre de remarques:

- a) Les réserves prouvées, c'est-à-dire ce que l'on est certain de récupérer, sont systématiquement sous-estimées, dans la mesure où l'on ne compte pas ce qui est probable (3). En réalité, la loi des grands nombres jouant, « en moyenne presque deux fois plus de pétrole et de gaz qu'on ne l'estime a priori est finalement extrait des puits » (4).
- b) Aux conditions techniques actuelles, en moyenne, seuls 20% à 25% du pétrole existant dans un puits sont récupérés. Les progrès de la récupération secondaire et tertiaire permettraient d'atteindre des taux de 40%, voire 50%; ce qui, du même coup, doublerait les réserves prouvées.
- c) Environ 50% des bassins sédimentaires mondiaux se situent dans les mers à plus de 200 m de profondeur. Ce potentiel n'est pas le plus souvent compté dans les ressources.
- d) Si les experts sont divisés sur les montants récupérables suivant les différents niveaux de prix, ils s'accordent à peu près pour estimer qu'à 25 dollars le baril les réserves exploitables sont trois fois plus élevées qu'à 10 dollars le baril.

L'ère des ressources illimitées : pas avant 2050...

L'évolution prévisible des conditions économiques et technologiques implique qu'une réflexion prospective s'attache plus aux ressources qu'aux réserves, selon la terminologie définie ci-dessus.

(3) On ne comptabilise que les quantités que l'on est certain de récupérer à 100%, mais pas celles que l'on pense récupérer à seulement 80%, 50% ou 40%.

(4) *Ressources for the future*, n° 58, March 1978.

En ce qui concerne les *sources classiques*, les estimations sur les ressources ultimes en énergie fossile varient d'après le WAES et l'IIASA:

- pour le pétrole entre 180 et 335 milliards de tonnes équivalent pétrole; une partie seulement de ce pétrole pourra être récupérée, vraisemblablement 50 à 60% dans le meilleur des cas;
- pour le gaz naturel entre 200 et 500 milliards de tep; l'incertitude provient du caractère relativement récent des recherches, beaucoup de zones inexplorées restent prometteuses;
- pour le charbon entre 6 000 et 11 000 milliards de tep, l'essentiel de ces ressources étant situé aux États-Unis, en URSS et en Chine. La comparaison des chiffres montre qu'il est légitime d'avancer que les réserves récupérables de charbon sont entre cinq à dix fois plus élevées que celles de pétrole.

A ces chiffres, il faut ajouter les ressources non conventionnelles (sables asphaltiques, schistes bitumineux, etc. (5)) dont la prise en compte revient à multiplier les ressources de pétrole conventionnel par trois ou quatre. Mais ces perspectives ne doivent pas trop faire rêver car les nombreux obstacles technologiques, économiques et écologiques pourraient limiter à 5 ou 10% le taux de récupération de ces ressources.

De leur côté, les réserves d'uranium à faible coût sont comparables au montant des réserves récupérables de pétrole classique. L'ère des ressources quasi illimitées ne commencera dans la deuxième moitié du XXI^e siècle qu'avec la fusion, le solaire et la géothermie. Au chapitre de la réalité de demain, qui dépassera sans doute la fiction d'aujourd'hui, il faut mentionner les géopressions: immenses réserves de méthane et de vapeur situées en grande profondeur (6).

Le compte à rebours des réserves pétrolières

Quelles que soient les hypothèses que l'on peut faire sur la croissance économique et les économies d'énergie, la consommation mondiale d'énergie devrait se situer entre 12 et 15 milliards de tep en l'an 2000 (contre 5,6 milliards en 1974). La consommation de pétrole, qui représenterait toujours 50% du total, passerait alors de 3 milliards de tep à environ 7 milliards de tep.

(5) C'est dans cette catégorie qu'il faut ranger les récentes découvertes dans le bassin de l'Orénoque au Venezuela dont les ressources sont évaluées à deux fois celles de l'Arabie Séoudite.

(6) En anglais, "geopressures zones". Consulter à ce propos le rapport du Congrès UNITAR-IIASA "The future supply of oil and gas", Pergamon 1977.

Dans ces conditions, la consommation cumulée de pétrole dans la période 1975-2000 s'éleverait à 125 milliards de tep soit 30% de plus que les 90 milliards de tep de réserves prouvées actuelles (7).

A ce rythme, même en récupérant 40% des ressources ultimes au lieu de 20% actuellement, celles-ci seront épuisées en 2025. Par ailleurs, les réserves prouvées stagnent depuis 1973, par conséquent le compte à rebours risque de s'accélérer.

Parallèlement, comme l'a souligné la conférence d'Istanbul, l'inertie des structures énergétiques — jusqu'ici il a fallu à peu près un siècle pour qu'une forme d'énergie passe de 1 à 50% du bilan énergétique — montre que les énergies nouvelles, solaire, géothermie, etc. ne prendront une importance significative que dans la deuxième moitié du XXI^e siècle... En attendant, le relai nucléaire est indispensable.

Abondance des ressources et compte à rebours de réserves sont, sans doute, deux propositions vraies: l'erreur de prévision consiste à les considérer comme contradictoires et à n'accorder crédit qu'à l'une d'entre elles.

La prévision et ses erreurs

Ce n'est pas la première crise de l'énergie que connaît le monde occidental: en 1928, on envisageait déjà sérieusement la gazéification du charbon et l'exploitation des schistes; la pénurie annoncée à cette époque s'est résolue en surabondance d'énergie. La découverte du pétrole au Proche-Orient dans les années qui suivirent explique cette erreur, mais ne la justifie pas. La cause de cette erreur se trouve dans l'absence d'imagination et de réflexion face à l'avenir: les ambitieux programmes énergétiques dans le domaine du charbon et du nucléaire, lancés après la crise de Suez en 1956, n'ont finalement pas été réalisés (8).

Aujourd'hui, la majorité des experts en énergie s'accorde pour dire que les ressources ultimes de pétrole sont comprises entre 200 et 300 milliards de tep — c'est notamment cette convergence relative (9) des opinions qui ressort de l'enquête Delphi réalisée par F. Desprairies auprès de 29 experts dont plus de la moitié étaient attachés à des compagnies pétrolières. Comme le souligne M.

(7) Cf. à ce propos R. LATTES, « Le futur énergétique: synthèse des études récentes ». Rapport du CEA mars 1978. On notera que la consommation cumulée de pétrole jusqu'à aujourd'hui est d'environ 45 milliards de tep.

(8) Cf. à ce propos l'article de A. FERRARI et R. LATTES, « Prévoir le passé: la rétrospective au service de la prospective énergétique », n° 16, *Futuribles*, juillet-août 1978.

(9) Convergence relative car les estimations diffèrent d'un facteur deux à trois dans cette enquête.

Grenon, « il ne faut pas donner trop d'importance à la convergence des analyses des experts des compagnies pétrolières: ces experts travaillent de la même manière, suivant les mêmes critères et en s'appuyant sur les mêmes données de base » (10).

Les prévisionnistes de l'énergie regardent trop souvent l'avenir avec des yeux aveuglés par le présent et sont conduits à revoir sans cesse en hausse leurs estimations. Une enquête Delphi aurait donné un chiffre de 50 à 70 milliards de tep — si elle avait été menée dans les années quarante et du double dans la décennie suivante: convergence ne signifie pas cohérence, en matière énergétique un consensus fait rarement une bonne prévision et n'empêche pas les crises.

Vers quelles crises ?

Des développements précédents, on retiendra que, malgré l'abondance des ressources énergétiques à long terme, notamment en combustibles fossiles (pétrole, gaz et charbon), plusieurs comptes à rebours sont commencés:

- l'abondance physique d'énergie fossile n'exclut pas une crise de capacité conjoncturelle résultant de l'insuffisance des investissements de recherche et d'exploration — comme en témoigne de façon inquiétante la stagnation de réserves prouvées depuis 1973;
- l'inertie des structures énergétiques montre qu'il faut développer dès maintenant les énergies nouvelles (solaire, géothermie) si l'on veut qu'elles jouent un rôle significatif dans les premières décennies du XXI^e siècle.

La crise de capacité pourrait servir de détonateur à une double crise politique d'approvisionnement et économique par suite de renchérissement brutal. D'un côté, la dépendance des pays occidentaux à l'égard du pétrole OPEP va se renforcer d'ici à 2000, particulièrement pour les États-Unis. De l'autre, les pays de l'OPEP voient leurs excédents extérieurs diminuer d'année en année alors que les besoins pour financer leur développement sont croissants. Déjà en 1977, le cheikh Yamani, ministre saoudien du pétrole, déclarait qu'« il serait prudent de prévoir pour 1990 un prix du pétrole dépassant 25 dollars le baril » (11). Aujourd'hui la crise iranienne suffit pour que le baril de pétrole se négocie à 19-20 dollars sur le marché de Rotterdam contre 12 dollars il y a encore quelques mois!

(10) Cf. « La pomme nucléaire et l'orange solaire ».

(11) Cf. *Le Monde*, supplément *Europa* du 21 décembre 1977.

L'ère de l'énergie chère ne fait que commencer, il est à craindre que le désordre international ne soit pas capable d'accepter et de gérer des renchérissements progressifs. Or, les conséquences économiques seront d'autant plus graves que les hausses seront brutales.

L'intensification nécessaire des investissements et recherches pour développer les énergies nouvelles implique la mobilisation de moyens financiers considérables au moment même où d'autres priorités s'imposent (reconversions industrielles). Cette crise financière pourrait se doubler de problèmes d'ajustement de structures énergétiques à des formes plus décentralisées. Il est vrai que ces problèmes d'ajustement, notamment pour l'énergie solaire, concerneront plus les pays du Tiers-Monde que les pays développés.

L'incertitude de l'avenir commande d'adopter une stratégie souple et de rejeter les paris. Ne pas croire les prévisionnistes, mais ne pas exclure qu'ils aient raison, telle est l'attitude nécessairement contradictoire qui devrait conduire à intensifier les investissements et les recherches sur les hydrocarbures, sur les énergies nouvelles et la fusion nucléaire tout en recourant partiellement à la fission nucléaire (avec tous les risques et incertitudes que l'on sait), mais seulement comme relai provisoire jusqu'à l'avènement d'énergies nouvelles (solaire, géothermie) et, éventuellement, de la fusion nucléaire.

Agriculture organique et auto-subsistance énergétique :

le pré-XXI^e siècle américain

par Jean-Roger Mercier

Tout ce qui peut contribuer à maintenir à long terme une vie en zones rurales nous concerne. Ce renversement de tendance aurait évidemment des conséquences socio-économiques, politiques et culturelles considérables. Beaucoup considèrent encore que la tendance « naturelle » de notre société est à la réduction de la population active travaillant dans l'agriculture, tendance qui a été automatiquement accompagnée d'un exode rural élevé partout dans le monde.

Cette évolution peut être stoppée. Cela ne se passera pas sans une modification, au moins de fait, des rapports de force entre pouvoir central et pouvoirs régionaux. Mais cet aspect politique ne doit pas masquer l'importance des facteurs technologiques. Là encore, on croit qu'il n'existe qu'un seul éventail de technologies possibles pour un niveau de développement donné. L'idée de « l'alternative », c'est justement l'acceptation de choix différents, spécifiques au problème posé ou aux préférences de l'individu et du groupe social concernés. Jean-Roger Mercier décrit ici plusieurs expériences « alternatives » d'agriculture organique aux États-Unis.

L'utilisation irréfléchie de ressources renouvelables peut être coûteuse, sans espoir réel d'abaissement des prix de revient (transformation de l'énergie thermique du soleil en énergie mécanique) (1) alors qu'on peut en revanche utiliser judicieusement des sources d'énergie fossiles, si cela peut contribuer à créer des conditions différentes (cogénération par exemple) (2).

Une des conclusions logiques de tout cela, c'est que la technologie appropriée n'est pas un concept dont l'utilisation est réservée au Tiers-Monde, mais qu'elle nous concerne tous; mais il faudra encore du temps pour mettre au point des technologies appropriées destinées à servir *hic et nunc*. Une bonne question, à l'issue de la partie technique qui va suivre, consisterait à se demander ce qui, parmi les expériences U.S. décrites, pourrait servir à résoudre les problèmes toujours plus aigus du Tiers-Monde.

Une bonne réponse serait « tout, mais pas de la même manière ». Dans certains cas (New Alchemy Institute par exemple), certaines expériences pourraient être directement reproduites dans n'importe quel pays du monde. Dans d'autres (Small Farm Energy Project), c'est moins les techniques appliquées qui ont valeur d'exemple que l'approche adoptée et l'association étroite entre agriculteurs et conseillers techniques.

Dans tous les cas, et pour tordre le cou au « transfert de technologie », il nous paraît préférable de parler « d'expansion de technologie » pour signifier que l'invention technologique doit être le fait de tous et de tous les pays, et non simplement une reproduction en un autre point du monde d'expériences occidentales.

Au cours de plusieurs voyages récents aux États-Unis, j'y ai observé plusieurs expériences intéressantes en termes d'utilisation alternative d'énergie. L'agriculture organique était le thème principal de mes recherches. Prise dans un sens beaucoup moins mythique qu'en France, cette forme d'agriculture, qui se définit comme n'utilisant aucun produit chimique de synthèse, est en passe de démontrer sa rentabilité dans le cadre même du système économique dominant (même avec un prix de vente des produits non majoré d'une prime de qualité biologique).

Ce phénomène surprenant est le résultat de l'action de plusieurs facteurs... Les coûts de production ont énormément augmenté ces dernières années, en particulier le prix des engrais azotés. Les agriculteurs conventionnels doivent faire face à des dépenses considérables qui se traduisent par un endettement sans cesse croissant (la dette brute globale de l'agriculture nord américaine est

(1) C'est le cas des pompes solaires vendues dans le Sahel ou des centrales solaires thermiques.

(2) La cogénération est l'utilisation directe, pour le chauffage domestique, de la chaleur de rejet des centrales thermiques.

de 120 milliards de dollars U.S., à rapprocher des 101 milliards de dollars U.S. de valeur ajoutée de cette branche). Les agriculteurs organiques, malgré des coûts assez élevés en termes de main-d'œuvre, ont réalisé d'importantes économies en remplaçant les engrais de synthèse par le compost, la rotation céréales-légumineuses et/ou l'apport de matières organiques provenant de déchet urbains. On sait que l'un des principaux inconvénients du compost est la main-d'œuvre nécessaire dans le mode traditionnel de fabrication. Des solutions originales et astucieuses sont en train d'être testées sous l'impulsion de groupes privés (agriculteurs ou firmes de consultants): compost en ligne avec retournement par outil tracté ou compost ventilé. Signalons qu'en France il existe un procédé, mis au point par le CIDR, de fabrication semi-industrielle du compost, destiné prioritairement au Tiers-Monde, mais dont il est peut-être possible de tirer des éléments pour la France.

L'agriculteur organique arrive ainsi à économiser une bonne partie des quelques 80 dollars/acre (environ 800 F/ha) que consomme son homologue conventionnel en produits chimiques divers.

Les rendements des « organiques » sont très proches de ceux des « conventionnels »: ils ne sont inférieurs que de 10%, ce qui en tout état de cause blanchit l'agriculture organique de l'accusation de « retour à l'agriculture de grand-papa »; mais cela n'en reste pas moins surprenant sans le recours aux intrants dits « modernes ». A la réflexion, et après discussion avec des autorités comme Jérôme Goldstein (3), trois facteurs concourent à permettre ces gains de productivité:

- Les variétés actuelles, quoique mises au point pour répondre spécifiquement aux fortes doses d'intrants modernes, ont un rendement potentiel nettement supérieur à celui des variétés anciennes.
- La mécanisation permet une intervention adaptée, et surtout en temps propice.
- La capacité de gestion des agriculteurs actuels, c'est-à-dire la faculté de combiner au mieux les diverses activités, a beaucoup augmenté. Il est d'ailleurs passionnant de voir, dans un article publié par la revue *Science*, que ce phénomène se retrouve dans une population extrêmement originale: les Amish. Ils sont connus pour leur refus de la société « moderne », leurs buggies et leurs labours à cheval.

Pour ce qui est de la défense des cultures — outre le fait que le principe « une plante saine est moins attaquée qu'une plante entretenue artificiellement » est l'un des dogmes de l'agriculture organique — elle s'effectue essentiellement

(3) Éditeur de "Pesticide Strategy: The Least is Best" (« il vaut mieux en mettre le moins possible »).

par le biais de sarco-binages, de contrôle biologique, mais aussi par des astuces agronomiques peu connues comme le semis tardif. Les attaques brutales de parasites ne semblent pas trop redoutées des agriculteurs organiques.

L'étude montre qu'à l'intérieur de la communauté des Amish, il y a en fait une différenciation très forte qui se retrouve dans les résultats (énergétiques et économiques): la fraction qui a suivi une certaine évolution sans abandonner ses principes fondamentaux obtient une combinaison énergéto-économique nettement supérieure à ceux qui n'avaient pas évolué. L'impression est un peu la même chez les agriculteurs organiques qui, loin d'être de superbes solitaires, se tiennent au courant de l'évolution de l'agriculture américaine, voire mondiale.

Enfin, l'utilisation de l'énergie est bien meilleure chez les « organiques » que chez les « conventionnels ». On sait maintenant, depuis un bon moment, faire des bilans énergétiques. Cette méthode, appliquée par William D. Lockeretz dans le Corn Belt à l'époque où il travaillait au CBNS, a montré qu'en moyenne (avec une supériorité continue des organiques), les 14 fermiers organiques sur qui portait l'enquête, transformaient l'énergie environ 2,5 fois mieux que leurs homologues conventionnels pour la production végétale. Cette démonstration ponctuelle n'est évidemment pas suffisante et il faudrait pouvoir répondre à au moins deux autres questions:

- 1) A quoi correspondaient les déficits en phosphore et en potassium observés en seconde année chez les agriculteurs organiques dans l'enquête Lockeretz?
- 2) Que se passe-t-il quand on intègre l'élevage, et que l'on raisonne au niveau de l'exploitation?

Les indications dont on dispose aux États-Unis et en France, montrent que cette supériorité énergétique des organiques est sans doute réelle, ce qui constitue un argument très fort en leur faveur.

L'agriculture organique est délicate à appréhender en tant que phénomène social. Là encore les études de synthèse font défaut, soit qu'elles n'existent pas du tout, soit que leurs auteurs sont trop engagés dans le soutien militant pour pouvoir prendre le recul nécessaire.

Le nombre total d'agriculteurs organiques aux États-Unis, à supposer qu'il soit possible de définir clairement ce concept, est lui-même difficile à estimer. Dans l'ensemble des États-Unis, les agriculteurs organiques seraient au total 10 000 à 12 000, surtout concentrés dans le Nord-Est, la Californie et le Centre-Est (région au sud des Grands Lacs). Si ce sont plutôt les exploitations familiales qui dominent, il faut bien voir quelle réalité sociale recouvre ce concept: la superficie moyenne des exploitations aux États-Unis est d'environ 160 hectares. C'est donc dans cet ordre de grandeur que va se situer la taille des fermes organiques, ce qui pourrait étonner les agriculteurs français.

La proportion entre faire-valoir direct et métayage ne semble pas différencier très nettement agriculteurs organiques et agriculteurs « conventionnels » (pour reprendre la terminologie de William Lockeretz). Ce ne sont donc pas les purs critères économiques qui caractérisent au mieux l'agriculture organique.

Les motivations sont multiples, mais comme en France se manifeste à un moment donné un sentiment de « ras-le-bol » devant la manipulation dont les agriculteurs sont l'objet de la part des grandes firmes agro-industrielles. Cette manifestation d'autonomie n'a pas d'ailleurs toujours poussé sa logique jusqu'au bout, les Européens reconnaîtront un petit nombre de biodynamiciens (10%?), mais il y a aussi des firmes vendant leur méthode, Wonderlife par exemple. Le passage, ou comme on dit souvent, la « conversion » à l'agriculture organique se fait le plus souvent pour des motifs de santé (la famille de l'exploitant ou son cheptel) ou d'économie — l'exploitant refusant de continuer la course aux revenus. Il paraît d'ailleurs étonnant que dans les enquêtes, les motifs d'ordre moral ou religieux n'apparaissent pas davantage (à peine un dixième des agriculteurs interrogés par Lockeretz et Wernick dans une enquête auprès de 250 exploitants). Les rencontres que nous avons pu faire en juillet 1978 nous avaient laissé une impression bien différente. A Booni dans l'Iowa, Dick Thompson, après nous avoir montré ses tas de compost, son troupeau en plein air et ses cultures très vigoureuses, nous avait répondu « C'est le Saint-Esprit qui m'a dit cultive organique vers 1970 ». Et d'autres agriculteurs avaient eu une attitude très semblable.

Petites fermes, mais grande aventure

L'attitude d'Edgar Wuebben est toute différente. De tous les coopérateurs du Small Farm Energy Project, c'est lui qui collectionne le plus de réalisations. Le Small Farm Energy Project (projet « Énergie pour les petites exploitations »), marque dans le Nebraska le début d'une grande aventure qui risque, vers 1980, de s'étendre à 13 autres États. Au départ, une forte personnalité, Martin Strange, et son « Center for Rural Affairs ». Ancien militant anti-guerre du Vietnam et défenseur des droits civiques, il a décidé comme beaucoup d'autres d'aller lancer des opérations concrètes en zone rurale. D'où la création de son centre, association à but non lucratif destinée à promouvoir toutes les actions pouvant accroître le bien-être des ruraux. Cela va de l'électrification rurale à l'étude de la concentration des banques privées en zone rurale (il n'y a cependant pas aux États-Unis de géant comme le « Crédit Agricole »). Et puis, un jour, lui est venue l'idée du Small Farm Energy Project (SFEP). Non pas qu'il pense que la science et la technologie puissent résoudre tous les maux de

la société rurale actuelle, mais il a compris que l'agriculture américaine était aussi malade de son énergie. Ce sont donc avant tout des motifs d'ordre économique qui ont prévalu à la conception du SFEP.

Des fonds fédéraux permettront au projet d'entamer une période de trois ans (qui se termine fin 1979) dont la première phase sera consacrée à une animation auprès des agriculteurs du Nebraska pour trouver des volontaires (« coopérateurs » du projet): conférences, projections de diapositives, distributions de petites notes techniques — bref, un travail intensif qui a permis de trouver 25 coopérateurs, c'est-à-dire des agriculteurs qui s'engageaient à:

- fournir leur travail gratuitement pour construire, entretenir, contrôler et réparer des installations destinées à économiser l'énergie sur leur exploitation;
- financer la moitié des coûts en matériaux pour ces installations.

Ça n'a évidemment pas été facile. L'université de Nebraska a même découragé les gens au départ. Pourtant, certaines réalisations se sont faites dans le courant de 1978:

- chauffage solaire de bâtiments d'élevage et d'habitations,
- chauffe-eau solaires pour étables,
- séchoirs solaires à maïs,
- séchoirs solaires à fruits et légumes,
- aérogénérateur de 4 kW,
- machine à tourner le compost.

L'approche du SFEP est au moins aussi intéressante que les économies d'énergie procurées par les installations. C'est une expérience financièrement modeste (environ 120 000 dollars U.S., soit 500 000 F par an), mais qui repose sur une grande confiance entre les coopérateurs et leurs consultants: l'agriculteur participe de très près à la conception des projets. Ainsi, un projet de fermentation méthanique de lisier de porc a-t-il été refusé par les agriculteurs à qui il était destiné, parce qu'ils l'ont estimé trop cher et nécessitant trop de main d'œuvre.

La règle implicitement admise par les coopérateurs est la suivante: les installations faites doivent être amorties en moins de dix ans, c'est-à-dire qu'elles doivent plus économiser en dix ans que leur prix de revient. Une seule exception: un aérogénérateur, retenu cependant à cause de son caractère très novateur. C'est qu'en effet le SFEP est là pour améliorer le revenu des agriculteurs et, en dernière analyse, leur permettre de rester sur leurs terres.

La nouvelle alchimie

Visionnaire, c'est bien le terme qui vient à l'esprit en visitant le New Alchemy Institute et en discutant avec ses responsables. Entre le petit groupe qui s'installait sur la presqu'île de Cape Cod dans le Massachusetts vers la fin des années soixante, et les trois instituts qui en sont nés, il y a bien des aventures, personnelles et collectives.

L'éclair de génie des fondateurs, c'est maintenant seulement qu'on le comprend: une récente étude de l'université de Purdue dans l'Indiana a montré qu'il coûtait actuellement 400 000 dollars U.S. (près de 2 millions de francs) pour créer un emploi en agriculture. Parmi les raisons de ce chiffre énorme: le coût de l'énergie, la course à la surmécanisation (nous avons entendu parler d'un fabricant de matériel agricole dont le plus petit tracteur (bas de gamme) faisait 500 CV!), mais surtout, un marché foncier très serré (ce que l'on commence d'ailleurs à connaître en France).

Or l'idée des nouveaux alchimistes était de faire la démonstration qu'il était possible de faire vivre une personne grâce à un acre (0,4 ha) de terre dans un environnement pas particulièrement favorable, sans évidemment tomber dans une surexploitation des ressources fossiles de la planète par une culture intensive à base de produits chimiques de synthèse, mais en combinant harmonieusement soleil, vent et eau avec une amélioration organique des sols. Plus encore, en associant connaissances traditionnelles, empirisme, bon sens, et les acquis scientifiques et technologiques les plus avancés: nouveaux matériaux plastiques, ou régulation électronique...

A partir d'une idée de système « unique » (faisant vivre le plus de personnes possible dans le minimum d'espace), les fondateurs ont créé l'Arche de l'île du Prince-Edward au Canada, à travers un grand nombre d'expériences partielles qui les a entre autres rendus célèbres dans les domaines de l'aquaculture et de la pisciculture.

Il y a eu d'abord la reconstitution en miniature d'un écosystème fermé d'eau douce, avec trois bassins s'alimentant successivement par gravité, abritant poissons et cultures aquatiques, le dernier bassin situé dans une mini-serre, servant à purifier l'eau thermiquement et biologiquement, une eau repompée jusqu'au bassin supérieur par une éolienne.

Une autre série d'expériences porte sur la pisciculture en cuves plastiques transparentes (fibre de verre renforcé) qui, laissées en plein air, se sont révélées de remarquables capteurs solaires, remplissant le double rôle de captage et de stockage de l'énergie solaire incidente tout en abritant une activité productrice de protéines. Et pas n'importe quelle activité: les 5 à 10 °C de température gagnés par les cuves solaires ont permis de pousser la productivité piscicole

très loin. Les rendements, ramenés à l'hectare se chiffrent par dizaines de tonnes par an. Voilà ce qui, d'une part attire un grand nombre de scientifiques, et d'autre part crée une technologie qui pourrait, dans certaines conditions, être reproduite dans d'autres pays du monde, en particulier ceux où les problèmes d'alimentation sont cruciaux. C'est bien l'idée qui a présidé à la création de l'Institut des nouveaux alchimistes au Costa Rica. Branche moins glorieuse et moins spectaculaire pour l'instant que le Centre de Woods Hole (Cape Cod), mais engagé dans un travail de base qui en suit les mêmes principes.

L'achèvement actuel du travail de l'Institut est la conception de l'Arche, qu'il serait possible d'analyser à l'aide d'une série de concepts philosophiques et mystiques.

Très prosaïquement, il s'agit de grandes serres conçues pour capter et stocker l'énergie solaire de la manière la plus passive possible, c'est-à-dire sans le recours à des fluides intermédiaires, la seule partie mobile pouvant être des ventilateurs chargés de redistribuer l'air chaud (en pratique surtout pour éviter des surchauffes le jour et stocker pour la nuit). Ces abris bioclimatiques (bioshelters) contiennent un mélange soigneusement planifié de cultures végétales (arbres à croissance rapide pour les fruits et/ou le bois, légumes à très forte productivité, plantes d'ornement) et de bassins d'aqua-pisciculture. Les créateurs disent que cette proportion a été choisie identique à celle que représentent les mers par rapport aux surfaces exondées sur la planète.

L'Arche du Canada, conçue grâce aux tentatives expérimentées au Cape Cod, a été inaugurée par le président Trudeau l'an passé. Elle aura coûté très cher, mais le but de John Todd est justement d'abaisser énormément le coût des abris bioclimatiques. Se dessine un nouveau projet: les « Arches marines » grands bateaux à voile croisant sur les océans, avec autonomie énergétique, transportant d'un continent à l'autre espèces rares et souches génétiques.

Compter sur ses propres forces

C'est la moins mauvaise définition que l'on pourrait donner du concept « self-reliance », autour duquel tournent toutes les expériences relatées ici. Certains en ont fait leur mot d'ordre: ainsi de l'« Institute for Local Self-Reliance » à Washington, D.C. Parmi les dirigeants David Morris, qui appartient à la même génération (30 à 40 ans) que tous les gens dont il a été question ici, mais un choix différent: travailler en milieu urbain avec la logique suivante:

- les gens sont actuellement en majorité dans les villes;
- si l'on parvient à la « self-reliance » dans les villes — en particulier sur le plan énergétique — ce sera encore plus facile en zone rurale.

Tout comme Marty Strange, la préoccupation de base de David Morris est politique. Mais entre le « power » politique et le « power » électrique, il y a plus qu'une homonymie, ce que les anti-nucléaires français ont bien compris. L'Institut est donc très actif dans le domaine de l'énergie en zone urbaine, avec des réalisations aussi diverses que du compost à base de résidus de légumes provenant du marché du Bronx ou des aérogénérateurs de moyenne puissance (2 à 10 kW), dont un en plein centre de New York sur un immeuble dans un quartier défavorisé.

La grande bombe de l'Institut vient cependant à peine d'éclater : une étude sur la possibilité, pour le District of Columbia (c'est-à-dire la ville-capitale de Washington) de « compter sur ses propres forces » en matière d'énergie. Quel défi, surtout dans un pays comme les États-Unis où la conception des voitures comme l'équipement ménager répondent à des besoins énormes d'énergie, jusqu'à présent tirée de sources fossiles.

C'est justement à travers la réduction des consommations — à niveau de service égal — que l'étude aborde le problème. Il est possible de pousser cette réduction très loin, entre autres en modifiant la conception des appareils, l'isolation des maisons et l'éducation des usagers. Ce qui est important c'est que, dans la situation actuelle, sur un dollar dépensé pour acheter de l'énergie, 14 cents seulement restent à la communauté du District of Columbia, le reste étant exporté de la zone. Par contre, un dollar investi dans l'économie d'énergie a un effet multiplicateur local de 2,5 c'est-à-dire qu'il crée au total 2,5 dollars de revenus locaux. Sur le plan technique, la cogénération (récupération de la chaleur actuellement gaspillée par les centrales thermiques) permettrait immédiatement une efficacité beaucoup plus forte de la production d'énergie. Mais dans le long terme (l'étude ne précise pas, mais comme pour le projet Alter, fait l'hypothèse implicite que le niveau de consommation d'énergie — avant politique d'économies d'énergie — reste au niveau actuel), les technologies solaires décentralisées au niveau des habitations permettraient de satisfaire le plus gros des besoins maîtrisés.

Abris bioclimatiques ou abris anti-atomiques ?

Il aura été très peu question ici des recherches officielles, qui pourtant disposent de moyens importants (l'effort 1979 du Département de l'Énergie sera de près de 500 millions de dollars sur le solaire, soit près de 10 F par habitant) et qui poursuit des directions intéressantes. Mais l'espoir vient nettement d'initiatives privées à la base, donnant à tous et en particulier aux agriculteurs le désir et les moyens de s'exprimer et de créer.

Il n'a pas non plus été beaucoup question de la Californie, haut lieu de l'effervescence « renouvelable ». Selon certains, « le nucléaire y serait mort ». Let it be!

Une politique énergétique volontaire en Orégon

L'Orégon est un Etat du Nord-Ouest des Etats-Unis qui bénéficie d'une législation particulièrement avancée en matière de protection de l'environnement. Les mesures prises dans le domaine de l'énergie depuis quelques années sont à cet effet significatives.

En 1975, l'Etat d'Orégon créait son propre bureau pour l'énergie, le premier de ce type aux Etats-Unis. Ses activités consistent à prévoir et programmer la demande future en énergie, à encourager les mesures de conservation et le développement de ressources énergétiques renouvelables, ainsi qu'à superviser le fonctionnement de tous les équipements producteurs d'énergie. D'autre part, une politique énergétique volontaire a été menée depuis 1977 avec la mise en place d'un éventail de mesures concernant le réglementation de l'éclairage public, des avantages fiscaux pour les installations utilisant l'énergie solaire, l'obligation pour de nombreux services publics d'informer et de conseiller leurs clients sur les possibilités de conservation de l'énergie, la création d'un compteur d'efficacité énergétique pour les habitations, l'interdiction de stocker des déchets nucléaires dans l'Etat...

L'ensemble de ces mesures a incontestablement influencé les comportements des usagers: la baisse de la consommation individuelle d'énergie, le respect strict des limitations de vitesse en sont un indice.

Enfin, il convient de signaler qu'un certain nombre de mesures prises dans l'Orégon ont suscité l'intérêt du gouvernement fédéral qui étudie actuellement leurs possibilités de généralisation.

Source: James (P). — « Ecotopia in Oregon ». *New Scientist*, Vol. 81, n° 1136, 4 janvier 1979.

Une nouvelle pompe solaire pour les pays du Tiers monde

Une nouvelle pompe solaire pourrait résoudre de nombreux problèmes dans les villages du Tiers monde. Vingt de ces appareils sont en service effectif depuis un à deux ans et les perspectives sont prometteuses.

Ces pompes sont actionnées par des cellules photo-électriques qui alimentent leur moteur. Leur entretien est réduit au minimum. Elles commencent à fonctionner peu après le lever du jour, leur puissance et donc leur débit, augmentant avec la montée du soleil. Elles s'arrêtent automatiquement dès que les radiations deviennent trop faibles.

La puissance de ces pompes, comprise entre 600 et 1 300 W, leur permet d'assurer un débit variant entre 15 000 et 120 000 l d'eau selon la profondeur du puit. Le coût d'une installation de ce type est imputable pour 70% au prix des cellules solaires. Sachant que celui-ci diminue rapidement et devrait encore baisser dans les prochaines années, cette pompe deviendra de moins en moins chère et donc plus facilement accessible aux villages du Tiers monde.

University of Waterloo, 200, University Avenue West, Ontario, Canada
N2L 3G1

Irrigation grâce à l'énergie éolienne

Deux villages des régions arides du Pakistan ont leur vie transformée grâce à l'énergie éolienne. Mahmoud Futehally, avec l'aide de l'Appropriate Technology Development Organization et des villageois eux-mêmes, y ont installé deux moulins à pales multiples pour le pompage de l'eau.

D'une conception assez simple, ces moulins peuvent être fabriqués localement par le forgeron du village avec des matériaux faciles à trouver. Les moulins font près de quatre mètres de diamètre, leur fabrication et leur installation ne reviennent qu'à 2 400 dollars et ils sont capables de pomper au moins 30 000 l d'eau par jour.

Ces moulins, tout en fournissant de l'eau potable, alimentent des conduits d'irrigation en béton qui sillonnent l'étendue des terres cultivées. Ils sont alimentés par un réservoir d'eau à tête basse. A des distances choisies, des tubes d'alimentation verticaux à sortie extérieure permettent d'insérer des tuyaux, de brancher des syphons et de connecter l'autre extrémité avec des tuyaux en plastique perforés placés sous terre pour l'irrigation.

La transmission, depuis l'éolienne jusqu'à la pompe est en bambou, donc aisément remplaçable en cas d'accident.

ATDO. Ministry of Finances, 17 — B Satellite Town, Rawalpindi. Pakistan.

Un centre d'énergie rural au Sénégal

Le Brace Research Institute du Canada, sur les instances du PNUE, a entrepris l'étude d'un centre d'énergie rural pour le Sénégal. Les objectifs recherchés sont de fournir la chaleur pour la cuisson des aliments, l'énergie nécessaire au pompage de l'eau et un minimum d'électricité pour l'éclairage.

Une étude préalable du site a montré un régime de vents adéquat pendant neuf mois de l'année, un ensoleillement constant bien que souvent diffus, ainsi que de bonnes ressources en eau.

Dans ce contexte, plusieurs projets d'études ont été menés et sont maintenant terminés. La cuisson des aliments pourra être assurée par des cuisinières à vapeur à l'énergie solaire, et le pompage de l'eau par éolienne ainsi que par un groupe générateur utilisant du biogaz qui produira également l'électricité pour l'éclairage. Certaines recherches complémentaires s'avèrent encore nécessaires. Par exemple quel sera l'effet de la variation de rapports entre le méthane et le gaz carbonique sur le fonctionnement du groupe générateur qu'ils alimentent? Comment obtenir une énergie mécanique à partir du soleil de façon économique? A cet effet, le Brace Research Institute oriente actuellement ses recherches vers les moteurs solaires, le stockage de la chaleur solaire dans des réservoirs. Il a également construit un petit « digesteur » à méthane à Mac Donald College.

BRI, Mac Donald College de l'Université McGill, Ste Anne de Bellevue
HOAICO, Québec, Canada.

Bientôt une loi favorisant le rachat des entreprises par leur employés

Dans un pays de tradition capitaliste comme les Etats-Unis, où l'entreprise privée est particulièrement forte, il peut paraître assez surprenant de voir se développer un mouvement en faveur du rachat des firmes par leurs employés.

La prise en charge par les travailleurs de leur outil de production intervient le plus souvent en situation de crise, à la suite d'une décision de fermeture

consécutives à des difficultés financières. Refusant de perdre leur emploi et d'entraîner la communauté dans des difficultés économiques probables, l'ensemble des salariés se mobilise pour trouver, dans un premier temps, les capitaux nécessaires au rachat de la firme, et dans un deuxième temps assurer son fonctionnement.

De telles expériences se multiplient actuellement aux Etats-Unis et sont observées avec un double intérêt. D'une part, elles permettent à un certain nombre d'entreprises, généralement de petite ou de moyenne taille, de survivre. Si l'on sait que entre 1968 et 1976, les grosses firmes n'ont créé aux Etats-Unis que 1 à 8% du total des emplois créés, la survie des entreprises de taille plus réduite paraît un enjeu important au niveau de l'emploi. D'autre part, le rachat d'entreprises par leurs salariés s'accompagne souvent de l'expérimentation de nouvelles formes d'organisation de la production qui devraient bénéficier d'une attention croissante dans les années à venir.

L'ensemble de ces raisons explique qu'un groupe de chercheurs de l'université de Cornell aux Etats-Unis ait choisi d'étudier les mouvements de transfert de propriété aux salariés. Leurs recherches ont débouché sur l'élaboration d'un projet de loi, déposé au Congrès américain le 1^{er} mars 1978, et qui, si tout se passe bien, devrait être voté au cours des années 1979-1980.

Les modalités du projet de loi sont les suivantes (1):

Il est prévu que l'Economic Development Administration (ministère de l'Economie) soit responsable de l'application de la loi. Ceci étant justifié d'une part par sa fonction au sein du gouvernement, d'autre part par son soutien antérieur à des expériences de transfert de propriété. L'Economic Development Administration disposera donc d'un budget d'environ 100 millions de dollars pour la première année (avec un accroissement de 10% par an) dont 90% seront affectés à des prêts aux nouvelles organisations et 10% à l'assistance technique.

Deux points méritent d'être précisés:

En premier lieu le projet de loi met l'accent sur le choix éclairé du mode de gestion en fonction des différentes options possibles. Pour bénéficier du prêt et de l'assistance technique, « l'organisation doit certifier au secrétaire que le choix du mode de propriété et de contrôle a été fait par l'ensemble de ses membres, au vu des différentes possibilités offertes par l'Etat dans lequel l'opération a lieu. »

A noter également une conception large de l'assistance technique qui ne consiste pas seulement à conseiller sur les aspects financiers et juridiques mais

(1) Pour plus de renseignements sur le contenu du projet de loi, se référer à la communication de William Foot Whyte, "The voluntary jobs preservation and community stabilization act", 9^e Congrès mondial de sociologie, août 1978.

aussi sur l'organisation future de la firme. A cet effet, l'accent est mis sur « la conception d'un environnement de travail prenant en compte la motivation des travailleurs, la productivité, la satisfaction et l'amélioration de la qualité de vie au travail avec notamment une participation accrue des travailleurs au processus de décision ».

Les réactions des syndicats sont plus complexes. D'un côté, ils ne peuvent que regarder d'un œil favorable des mesures visant à préserver ou créer des emplois; de l'autre ils sont conscients que le transfert de propriété aux employés remet en question leur existence dans l'entreprise.

Les universitaires sont eux aussi impliqués dans ce projet de loi, d'une part parce qu'ils en sont les initiateurs et d'autre part parce qu'ils pourront être habilités, dans certains cas, à remplir les fonctions d'assistance technique. Ils considèrent favorablement la possibilité de concrétiser leurs recherches et d'établir des passerelles entre l'université et le monde du travail.

Le projet de loi sur le transfert de propriété aux employés paraît donc innovant tant au niveau de l'organisation de la production que des relations entre les différents acteurs concernés. L'avenir proche nous fixera sur les possibilités d'application et ses implications réelles dans la vie économique américaine.

I. Analyses critiques

TACCOEN Lionel. — *La guerre de l'énergie est commencée.* — Paris, Flammarion, 1978. — 306 p.

Comment vont s'équilibrer les demandes croissantes en énergies occasionnées actuellement pour le Tiers monde par une population en inflation et pour l'Occident par l'augmentation de la consommation privée.

Dans *La guerre de l'énergie est commencée* Lionel Taccoen, responsable du service d'information de l'EDF, montre que les bouleversements dus au pétrole ont rendu les pays développés gros consommateurs d'énergie et qu'ils vont inéluctablement provoquer les mêmes effets dans le Tiers monde. Dans cette perspective, même si les problèmes énergétiques varient selon les pays, dans tous les cas, la concurrence sur le pétrole va s'accroître, les économies d'énergie vont devenir indispensables, le nucléaire va être développé pour assurer la transition avant l'utilisation des énergies nouvelles.

La révolution énergétique

L'évolution énergétique du monde, lente jusqu'en 1950 avec le charbon, a été accélérée brutalement avec le pétrole du fait de son bas prix. La croissance de la consommation énergétique qui en a résulté a révolutionné successivement l'agriculture, l'industrie, les transports et le mode de vie, sans qu'il y eut jamais consultation de la population.

Lionel Taccoen réfère ces changements à partir notamment du cas de la France.

L'agriculture française est devenue exportatrice et les ouvriers agricoles, dernier, sous prolétariat, ont disparu parce que les rendements se sont améliorés grâce à l'utilisation des machines agricoles et des engrais, c'est-à-dire grâce au pétrole.

L'industrie française a crû en puissance. L'énergie s'est substituée à la main-d'œuvre. La productivité s'est améliorée, mais la consommation d'énergie,

bien qu'en baisse relative, représente encore 40% du total ce qui rend ce secteur sensible à la crise et complique la résolution du chômage (l'énergie nécessaire au maintien d'un emploi est croissante).

Les transports se sont considérablement développés, transformant l'habitat, le commerce, l'environnement. L'automobile en est la cause principale; or, son rendement est faible.

Le mode de vie a évolué. Les logements sont surchauffés, les équipements électroménagers et les équipements de bureau se multiplient, les escalators et les ascenseurs remplacent les escaliers. Il en résulte une consommation d'énergie égale à celle de l'industrie.

Cette évolution est celle des pays développés. Elle se traduit maintenant par des besoins énergétiques faibles dans l'agriculture, en baisse dans l'industrie mais en hausse dans les transports, le secteur tertiaire, le résidentiel, c'est-à-dire en majorité pour des besoins individuels.

La croissance de la demande

Si la croissance de la consommation énergétique est issue de l'industrialisation pour les pays développés, elle est d'abord le résultat de l'expansion démographique dans le reste du monde.

Cette analyse, Lionel Taccoen la vérifie à contrario au Bouthan où aucune pénurie n'existe car la demande n'a pas augmenté, la population restant stable.

Partout ailleurs, la demande s'est accrue considérablement mais les situations diffèrent selon l'équilibre entre l'offre et la demande.

Certains pays « misérables », le Népal, l'Inde, non seulement n'assurent pas leur consommation mais dégradent leur environnement. En brûlant trop de bois, ils mettent en danger leurs forêts; en utilisant les excréments comme combustible, ils laissent le sol se dégrader faute d'engrais.

D'autres, « les mutants » (Brésil, Corée) commencent à exploiter toutes les ressources et se tournent vers les producteurs, devenant concurrents de l'Occident.

Les producteurs, « les privilégiés », Koweït, Iran..., parce que leur consommation est très inférieure à leur production permettent le développement de l'Occident mais pour combien de temps? L'afflux de capitaux y déstabilise la société.

Enfin, les grands consommateurs, « les nantis » : Europe, Japon, USA... sont ceux qui ont pu satisfaire leur demande grâce à leurs ressources et à celles des producteurs.

Récession ou équilibre ?

D'ici à l'an 2000 tous les pays risquent donc de se retrouver en concurrence. Même si les pays occidentaux ralentissent leur croissance, leur consommation doublera, passant de 5 à 10 milliards de tonnes d'équivalent pétrole. Même si la décolonisation économique reste faible, les pays du Tiers monde qui compteront 5 milliards d'hommes devront multiplier leur consommation actuelle de 1 milliard de tep par 5. Or, si l'on fait le bilan de l'ensemble des productions possibles d'énergie en l'an 2000, on ne trouve une production totale que de 13,9 milliards de tep. Comment combler la différence ? Pour que la consommation égale la production, deux hypothèses sont envisageables : soit une consommation restreinte parce que le Tiers monde reste dans sa misère ou que les pays industrialisés stagnent dans un marasme économique profond, soit une production en augmentation grâce à des financements adéquats pour chaque énergie.

La seconde hypothèse nécessite que tous les pays réalisent des économies d'énergie et qu'ils s'équipent nucléairement. L'Europe a aussi tout intérêt à élaborer une politique énergétique commune et à diversifier ses achats. Dans ce cadre, la France semble bien placée grâce à sa maîtrise du cycle nucléaire et surtout à son savoir faire qu'elle peut exporter.

Le problème de l'énergie n'est pas seulement technique !

L'analyse de Lionel Taccoen peut séduire, sa prospective déçoit.

Une synthèse des principales causes de l'augmentation de la demande éclaire le débat sur la « crise ». L'analyse des retombées de cette croissance devrait favoriser des décisions moins techniques, moins partisans, plus « écologiques ».

Que nous propose-t-il finalement ? Une seule issue : le nucléaire, l'énergie des « pauvres », mais aussi des riches. Elle décuplera pour l'an 2000. Les autres sources au mieux, doubleront.

Est-ce bien la seule alternative à la stagnation ? N'est-ce pas un plaidoyer *pro domo*, étrange pour un partisan des écologistes même si cette solution est présentée comme transitoire. N'est-il pas toujours tentant de développer une production pour profiter des investissements et du savoir faire ?

François Letailleur

DELUMEAU Jean. *La peur en Occident. XIV^e-XVIII^e siècles.* Paris Fayard, 1978.-485 p.

La peur en Occident inventorie les craintes et les angoisses qui ont habité les hommes entre la sortie du Moyen Age et la Révolution. C'est toute cette période dite « moderne », celle que nos manuels scolaires présente comme la lente ascension d'un rationalisme constructeur de sciences positives et de culture classique, qui s'offre aux lecteurs de Jean Delumeau comme une sombre négation des significations humanistes de la Renaissance, de la Réforme, des Lumières. Simple retour du refoulé? Face cachée de tous ces mouvements historiques qui prônent la clarté et la raison? Le livre de Jean Delumeau cherche et réussit parfaitement à dépasser cette simple constatation de l'ambivalence de toute période ou de toute culture.

C'est qu'en effet les frayeurs dont il s'agit dépassent le simple niveau de la réaction individuelle; dans une civilisation essentiellement terrienne, la peur viscérale, instinctive de la mer, de la nuit et de l'ombre, des loups, des épidémies, des phénomènes naturels inexplicés, de l'infécondité, du nouveau, de la faim se métamorphose en maléfices; un processus de socialisation les fait pénétrer dans l'univers de la culture, sous la forme de proverbes (ceux qui mentionnent le loup) de croyances (la bête du Gévaudan, les monstres marins, le nouement de l'aiguillette) de légendes (les sabbats) de malheurs présagés (les comètes, les éclipses) de comportements divers (l'exorcisme, la recherche du bouc émissaire) etc. Sur ce fond acculturé de peurs naturelles, pendant le millénaire qui précède la Révolution française, des événements marquants, particulièrement de 1348 à 1660, viennent surajouter leur poids de menaces: la peste noire de 1348, l'interminable guerre de cent ans, l'avance turque, la guerre de trente ans, les nombreuses révoltes populaires (500 entre 1590 et 1715 dans la seule Aquitaine, près de 300 dans la campagne anglaise de 1735 à 1800) contre la disette ou le fisc, le grand schisme, la sécession protestante, la multiplication des bandes de pillards, le va-et-vient des hommes de guerre avant la création des casernes par Louvois, développent un climat d'épouvante, d'insécurité, d'angoisse. La crainte du Jugement Dernier avec son préalable de cataclysmes terrifiants, popularisée dans la deuxième moitié du XV^e siècle, par les mass media de l'époque, l'imprimerie et la gravure, le théâtre et le sermon, sublime en peurs eschatologiques les épreuves quotidiennes de malheur et d'appréhension.

Comme le souligne Delumeau, « le miracle de la civilisation occidentale est qu'elle vécut toutes ces peurs sans se laisser paralyser par elles. » La lecture des textes prophétiques relatifs aux dernières étapes de l'histoire humaine admettrait l'interprétation pessimiste de la fin catastrophique du monde; elle autorise aussi une interprétation optimiste; le millénarisme antérieur à l'ère

chrétienne réactive du XVI^e au XIII^e siècle l'espoir de jours meilleurs, apportant une réponse sécurisante à l'angoisse des gens.

Des prédicateurs religieux, au moment où se développe l'urbanisation, puisent dans une main-d'œuvre sans travail, détachée du milieu rural sans être intégrée à la ville grandissante, les fidèles qui mèneront la guerre hussite, la révolte taborite ou la guerre des paysans. Mais à ces remises en question violentes de l'ordre social, les classes dirigeantes préfèrent une autre entreprise salvatrice, celle de la théorisation des peurs et des angoisses; les épidémies, les calamités naturelles, les victoires turques, les disettes, les hérésies, sont l'œuvre d'une puissance du mal, celle de Satan; la chrétienté entourée par les forces mauvaises se trouve en état de siège. Delumeau excelle à montrer la constitution d'une mentalité obsessionnelle et la mobilisation de toutes les énergies contre l'offensive démoniaque; l'identification du juif, de la sorcière, de l'hérétique, du mendiant comme agents du mal est justement un élément principal de cette mentalité à la recherche du traître.

L'élaboration d'un tel monde, menacé et cerné, fut l'œuvre d'une culture savante. La peur du diable existait dans la croyance populaire; mais celle-ci se défendait contre une théologie terrorisante par une acceptation résignée des forces démoniaques où se mêlaient la crainte et le ricanement; Satan et ses acolytes sont aussi terribles que ridicules et amusants. L'augmentation des dangers en Europe oblige la classe dirigeante à conditionner par des réflexes de peur et de vigilance une population souvent indifférente à l'hérésie; ainsi au XV^e siècle comme au début du XVI^e siècle beaucoup de paysans émigrèrent vers les territoires contrôlés par les Turcs.

Un pouvoir, à la fois religieux et civil, installe une idéologie où la hantise de l'hérésie devient le moyen d'éliminer toutes les déviances, tous les marginaux — la sorcière, l'hérétique, le vagabond, le fou, le juif — qui viennent contrecarrer l'effort centralisateur d'un Etat et d'une Eglise qui recherchent l'encadrement d'une société assiégée.

Louis Arenilla

II. Comptes rendus

COLLI Jean-Claude. — *Les énergies nouvelles*. — Paris, Fayard, 1979. — 294 p.

Le nouveau livre de Jean-Claude Colli, délégué à la Qualité de la Vie, nous fournit un excellent traité de gestion de notre capital énergétique, aussi bien au plan national qu'au plan individuel. Tournée vers le court terme et la consommation, l'humanité n'a utilisé qu'une des formes d'énergie disponible, l'énergie « marchande ». La montée de la consommation « apparente », favorisée par la baisse des prix du pétrole épuise les stocks: mieux vaut utiliser les flux. Que sont-ils? Comment les utiliser? Quels sont les coûts? Aux réponses

techniques et économiques, Jean-Claude Colli ajoute une réflexion méthodologique et politique qui relie clairement présent et futur et nous débarrasse de quelques mythes. Souhaitons qu'il clarifie le débat et n'ayons qu'un regret, la place réduite faite aux chiffres.

François Letailleur

BERG, Eugène. — *Chronologie internationale 1945-1977*. — Presses universitaires de France (Collection « Que sais-je? »), 1979. — 128 p.

Ce nouveau « Que sais-je? » énumère les principales dates de l'histoire internationale de l'après-guerre de la Conférence de Yalta de février 1945 jusqu'au déclenchement du conflit entre le Vietnam et le Cambodge le 31 décembre 1977. Mettant l'accent principal sur les faits diplomatico-stratégiques, il n'en néglige pas pour autant les événements économiques marquant cette période.

Dé lecture facile et de maniement aisé, il représente un instrument de repère utile dont tout lecteur pourra tirer profit.

JUNGK, Robert. — *L'État atomique*. — Paris, Éditions R. Laffont, 1979. — 270 p. — (Coll. Réponses Écologie).

Livre écrit, dit Robert Jungk, « avec peur et colère »... peur des menaces qui pèsent sur la liberté et sur les hommes. Colère contre ceux qui sont prêts à renoncer à ces biens au nom du profit... « L'énergie nucléaire fait en effet peser aujourd'hui sur l'humanité une menace d'autant plus considérable que tout accident causerait non seulement d'énormes dégâts dans l'immédiat, mais aurait des effets qui se prolongeraient dans l'avenir. » Il est donc urgent d'exposer les conséquences possibles de l'utilisation de l'énergie nucléaire, car ces dangers sociaux et politiques ont jusqu'à présent été éclipsés par des considérations sur ses effets biologiques et écologiques.

Les pollutions radioactives dues aux affluents, la manipulation et le stockage des déchets, des accidents comme ceux qui ont déjà eu lieu aux États-Unis et en U.R.S.S. constituent des risques majeurs.

Mais le choix nucléaire fait peser sur les démocraties une menace d'une autre sorte: immédiate, celle-ci, et à caractère politique. Entrés en possession du plutonium, de petits pays pourront fabriquer, hors de tout contrôle, des bombes atomiques; des groupes de criminels ou de fanatiques pourront transformer en otages des villes entières. Pour se prémunir contre tous ces risques, les démocraties sont tenues de renforcer leurs systèmes de surveillance. Déjà certains droits des citoyens sont grignotés. Des mesures très rigoureuses sont à l'étude et leur application entamera fatalement les libertés fondamentales.

Gritti Haumont

EIZNER N., HERVIEU B. — *Anciens paysans, nouveaux ouvriers*. — Paris, Librairie-Éditions l'Harmattan, 1979. — 248 p.

La mise sur pied d'un appareil productif moderne et puissant a été un objectif majeur de l'économie française depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale. Il s'est traduit par une diminution massive de la population active agricole et son passage à l'industrie.

L'embauche des « nouveaux paysans » s'est d'abord effectuée dans les métropoles d'équilibres, puis dans une deuxième phase, la création de « usines aux champs » a donné origine à une véritable population d'ouvriers ruraux.

Ce livre étudie le double aspect (mutation/exode de ruraux d'une part, industrialisation d'autre part) d'un phénomène sociologique qui a profondément marqué les campagnes françaises au cours de trois décennies. Il décrit également les luttes qui depuis 1968 agitent le monde rural et ont permis aux nouveaux ouvriers ruraux de provoquer une redistribution des forces sociales dans les campagnes.

Malgré un langage assez hermétique pour des non-spécialistes, ce livre apporte quelques bons éléments de réflexion sur la mutation qui touche actuellement le monde rural.

Anne Charreyron

III. Vient de paraître

- BOUDON, Raymond. — *La logique du social. Introduction à l'analyse sociologique.* — Hachette, coll. « L'esprit critique ». — 224 p.
- CERON, Jean-Paul et BAILLON Jean. — *La Société de l'éphémère.* — Coéd. Presses universitaires de Grenoble/Maison des sciences de l'homme, coll. « Actualités-Recherche ». — 256 p.
- CHEVALIER, Jacques et collab. — *Centre, périphérie, territoire.* — Presses universitaires de France, coll. « Publications du Centre universitaire de recherches administratives et politiques de Picardie ». — 360 p. — 45 F.
- COLLOQUE (5^e) NATIONAL DE DÉMOGRAPHIE DU C.N.R.S., n° 935, Nice, 14-16 avril 1976. — *Les disparités démographiques régionales.* — Ed. du C.N.R.S., organisateur: R. Duchac, 55 communications en français. Fig., cartes, tabl. — 616 p. — 235 F.
- Critiques de l'économie politique.* — N° 6. 1979. Maspero, au sommaire: Spécificités de l'impérialisme français. Multinationales et procès de travail en Amérique latine. La famille et les sciences sociales. — 136 p. — Br. 24 F.
- DONNADIEU, Gérard. — *Jalons pour une autre économie.* — SYFIP (64, r. Taitbout, 75009 Paris), préf. du Pr François Perroux. — 60 F. — (Février 78.)
- Échanges (Les) agro-alimentaires de la France.* — Documentation française, coll. Notes et études documentaires, n° 4487. — 90 p. — 10 F.
- FARCY, Henri de. — *Un million d'agriculteurs à temps partiel.* — Le Centurion, coll. « Faire notre histoire ». — 168 p. — 36 F.
- GOSELIN, Gabriel. — *Changer le progrès.* — Seuil, coll. « Esprit ». — 224 p. — 52 F.
- LESQUEN, Henry de et LE CLUB DE L'HORLOGE. — *La politique du vivant.* — Albin Michel. — 320 p. — 55 F.
- MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE. — *Comptes rendus « Inova »: Innovation industrielle.* — Eyrolles, vol. 1, accompagné d'un fasc.: Jeux de l'utopie, fasc. 3, 110 fig. — 658 p. — 100 F.
- O.C.D.E. — *Bulletin de droit nucléaire.* — O.C.D.E., n° 22, décembre 78, 20 × 27. — 72 p. — 36 F.
- O.C.D.E. — *Le charbon vapeur. Perspectives jusqu'à l'an 2000.* — O.C.D.E., 15,5 × 24. — 180 p. — 48 F.
- PERRIER, Jean-Luc. — *Énergie solaire.* — Éditions techniques et scientifiques françaises, 181 ill. — 328 p. — 68 F.
- TOUSCOZ, Jean. — *Transferts de technologie, sociétés transnationales et nouvel ordre économique international.* — Presses universitaires de France, coll. Travaux et recherches de l'Institut du droit de la paix et du développement de l'Université de Nice. — 332 p. — 70 F.
- Unesco and the media.* — Diff. (Paris) H. Champion, coll. Études et travaux de l'Institut universitaire de hautes études internationales de Genève, n° 15, 16 × 23. — 64 p. — Br. FS 75. — (Genève) Droz.
- YAGUELLO, Marina. — *Les mots et les femmes.* — Payot, Paris, coll. Langages et sociétés. — 204 p. — 53 F.

Association Internationale Futuribles

*Fondateur : Bertrand de Jouvenel; Président : Philippe de Seynes;
Délégué général et secrétaire général : Hugues de Jouvenel*

L'Association a pour but:

- d'agir comme centre d'information, de documentation et d'analyse pour les études sur l'avenir (collecte, évaluation, confrontation des opinions et des données);
- de susciter et d'entreprendre des recherches sur les faits, les idées, les options dont dépend l'avenir de nos sociétés et de diffuser toutes idées susceptibles de contribuer au progrès social.

TOUR DE GUET

La première fonction de Futuribles est d'identifier et d'analyser **qui fait quoi, où et comment** dans le vaste domaine de la réflexion sur l'avenir et ceci, grâce à un fichier des personnalités et des centres de recherche, à une bibliothèque spécialisée, à un important système documentaire et à un réseau de 2 000 correspondants répartis sur 70 pays. Cet « outil » sert à l'établissement de dossiers documentaires, de bibliographies sélectives et d'instrument d'évaluation et de planification de la recherche.

RECHERCHE

La fonction « recherche » a pour objectif de contribuer à une meilleure compréhension des problèmes contemporains, des facteurs de permanence et de changement et d'aider à la définition de politiques appropriées. Six thèmes majeurs sont inscrits au programme de l'année 1979, à savoir:

- Prospective, systèmes de décision et action
- Modes de vie et changement social
- Citoyenneté active et institutions
- Environnement et cadre de vie
- Gestion du patrimoine naturel et économies de ressources
- Relations internationales et stratégies d'acteurs.

FORUM PRÉVISIONNEL

L'Association organise régulièrement des tables rondes, des séminaires, des conférences internationales, dont l'objectif est de susciter — sur des thèmes précis — une confrontation permanente entre des personnes de disciplines, d'idéologies, et de pays très différents.

PUBLICATIONS

- une revue mensuelle *Futuribles*
- un bulletin de liaison bimestriel: « Futur-Informations »
- des rapports de recherches (livres, miméo).

Pour tous renseignements, adhésion-abonnement, s'adresser au siège de Futuribles

55, RUE DE VARENNE F-75007 PARIS — FRANCE — Tél.: (1) 222.63.10

Sommaire

N° 22

Avril 1979

Louis PUISEUX

Les sentiers énergétiques doux 3

Jean-Charles HOURCADE

Choix énergétiques et choix de société 5

Michel GRENON

Prospective pétrolière mondiale 41

Jacques LENOIR

Le chauffage urbain par héliogéothermie 56

Jean-Claude COLLI (interview par Gritti Haumont)

Les chances des énergies nouvelles 67

Michel GODET

Énergie: compte à rebours ou erreur de prévision? 77

Jean-Roger MERCIER

Agriculture organique et auto-subsistance énergétique 83

Forum 37

Innovations 92

Bibliographie 97