*Prévision technologique **
Un exemple pratique : l'énergie

M. B. Delapalme
(*Directeur de la recherche scientifique et technique du Groupe E.R.A.P.-E.L.F., Paris*)

Selon une pensée curieusement répandue, non seulement dans l'opinion publique, mais aussi bien chez bon nombre d'experts, nous serions les victimes impuissantes d'une technologie dévorante à l'orientation et au développement de laquelle nous ne pouvons en rien participer. Il nous semble, bien au contraire, que la technologie, qui trouve sa substance dans les découvertes et les méthodes scientifiques, est un instrument, puissant certes, mais instrument tout de même dans les mains de l'homme, qui devrait bien être capable de le maîtriser afin d'accomplir les fins qu'il s'est données. A condition, bien entendu, qu'il soit capable de définir ces fins.

Un bon exemple de cette idée apparemment simple, mais pourtant difficilement reçue, peut être trouvé dans le problème de l'énergie, l'un des plus complexes qui risquent de se poser à l'homme dans les décennies à venir.

Complexe, parce qu'un examen un peu sérieux montre que la disponibilité des ressources risque de conduire à des difficultés de tous ordres : économiques, politiques, techniques, fortement liées les unes aux autres et qui, si elles ne sont pas résolues, pourront conduire à de grandes crises.

Cet exemple est bon, notamment en ce qu'il prouve mieux peut-être que tout autre que le développement scientifique et technique n'est pas une chose isolée en soi et qui doit suivre sa propre vie, mais qu'au contraire, il constitue l'élément essentiel d'un tout, dont l'évolution doit être contrôlée avec soin par l'ensemble des parties intéressées. Cela est particulièrement vrai et important lorsque l'on cherche à bâtir l'avenir et à établir les stratégies correspondantes, les possibilités de la technologie et les orientations à lui donner constituant alors un élément essentiel de la construction.

La prévision technologique peut être abordée de deux façons différentes : la première consiste à imaginer que

* Conférence présentée au cours de l'Assemblée annuelle 1972 de l'European Industrial Research Management Association dont l'auteur est le Président.

les choses vont continuer comme elles sont actuellement, les exponentielles se développant, les techniques les plus avancées avançant encore, et de voir à quelles situations cela peut nous mener, ce qui conduit en général à déterminer à partir de quand ces situations deviendront intenables. C'est curieusement la démarche à laquelle se livrent beaucoup de « prospectivistes » mais si elle peut constituer l'élément de départ du raisonnement, donc une donnée importante de la démarche, elle ne saurait évidemment en constituer la partie unique.

La deuxième manière, et vous aurez deviné qu'elle est à mon sens la bonne, consiste à faire porter le raisonnement sur deux parties bien distinctes de l'évolution, qui sont, d'une part les besoins des hommes et des sociétés, d'autre part les moyens de les satisfaire ; il convient alors, en fin de compte, de déterminer les premiers, leur évolution souhaitable et raisonnable, et de voir comment y adapter correctement les seconds.

Pour ce qui est de l'énergie, un consensus assez général résultant d'une sorte d'application généralisée et diffuse de la méthode Delphi, suppose une augmentation de la consommation d'énergie moyenne mondiale de 4 à 5 % par an pendant les 30 années à venir ; or, 5 % par an pendant 30 ans, cela fait un facteur multiplicateur de 4,3. Bien entendu, il s'agit là d'une moyenne, la croissance pour les États-Unis ne devant pas être la même que pour l'Europe et encore moins pour la Chine mais cette moyenne, apparemment modeste, conduit tout de même à une consommation en l'an 2000 de 20 milliards de tonnes d'équivalent pétrole par an, soit 1/3 des réserves actuellement prouvées pour les hydrocarbures. Plusieurs autres figures ont été fournies pour montrer l'ampleur du problème posé. Par exemple, a-t-il été indiqué que le monde consommerait entre 1970 et 1980 autant de pétrole que depuis le début des temps jusqu'en 1970, soit 30 milliards de tonnes, ou encore que pour se garder des réserves de pétrole raisonnables, il faudrait entre 1980 et 1990 mettre en évidence chaque année l'équivalent de 3 ou 4 « Alaska », 5 Rumaïla, ou 10 Ekofisk !

Pour compliquer l'affaire, est venue se greffer là dessus la constatation que les sources les moins chères d'énergie, celles que l'on s'était accoutumé à trouver « normales » telles que le pétrole du Moyen-Orient, se trouvaient justement dans les pays qui en avaient le moins besoin, et qu'à part la Russie, et à moindre degré les États-Unis, les grands pays très industrialisés, donc très grands consommateurs d'énergie, ne possédaient dans leur sous-sol qu'une part infime des ressources qui leur étaient nécessaires. D'où un nombre considérable de problèmes politiques et économiques, dont les discussions de Téhéran et de Tripoli n'ont été que les premières manifestations.

Enfin, pour finir d'encombrer une situation déjà passablement complexe, à ces problèmes quantitatifs viennent s'ajouter des problèmes qualitatifs : les exigences nouvelles sur l'environnement affaiblissent le recours possible à un charbon trop sulfureux, retardent l'implantation de raffineries réputées pollueuses de l'air et de l'eau, ou de centrales nucléaires pollueuses thermiques, augmentent les coûts du raffinage lorsque, par exemple, le même consommateur exige de conserver la puissance de sa voiture tout en demandant qu'elle pollue moins l'air, les normes et les seuils raisonnables de pollution étant d'ailleurs, notons-le au passage, assez flous.

Voilà donc un problème immense, indiscutable, complexe, et pour lequel il faut, à l'évidence, trouver des solutions. Ces solutions comportent, nous l'avons dit, une large part de problèmes politiques où entrent en jeu les relations entre les pays développés et les autres, entre les pays de régime capitaliste, et les pays de régime socialiste, etc. Une large part aussi de problèmes économiques : pour ne citer qu'un exemple qui en donne la dimension, alors que l'industrie pétrolière a investi plus de 20 milliards de dollars en 1970, une étude récente de la Chase Manhattan Bank estimait que ces investissements feraient plus que doubler pendant les années 70 par rapport à ceux des années 60. Mais la possibilité la plus importante de solution, notamment pour les Européens, se trouve sans doute dans les progrès de la technologie, et c'est bien là le point fondamental que nous avons voulu souligner dès le départ ; à notre sens, la prévision technologique ne doit pas être de dire : la technologie va évoluer comme ceci et comme cela, qu'en ferons-nous (les techniques spatiales, qui vont inévitablement *se développer vont permettre dans d'autres domaines d'atteindre telle ou telle performance) mais au contraire de dire : voici les problèmes économiques et politiques du monde, quelles technologies devons-nous développer pour les résoudre ? Cette remarque, pour simpliste qu'elle puisse apparaître à beaucoup, n'a guère été appliquée jusqu'à présent, et Lord Bowden avait raison lorsqu'il disait à Gif-sur-Yvette en 1967 que « l'idée qu'un pays doit avoir une politique scientifique est toute nouvelle ». C'est d'ailleurs à nouveau la question qu'a posée clairement Harvey Brooks dans la lettre qu'il a adressée au Secrétaire Général de l'O.C.D.E. pour lui présenter le rapport du « Groupe spécial sur les nouveaux concepts du politique de la science ».*

Cette lettre est si importante que je voudrais en lire un passage, d'un poids qui me paraît exceptionnel :

« La conclusion la plus importante de notre Groupe est que l'intérêt nouveau manifesté par nos sociétés pour les aspects qualitatifs de la croissance, joint à une conception plus large du bien-être social, exigera une intégration beaucoup plus poussée de la politique de la science dans l'ensemble de la politique économique et sociale, en ce qui concerne notamment les objectifs humains à long terme du développement économique. La conception qui veut que la politique de la science soit un élément distinct de la politique gouvernementale, que l'on peut isoler des autres, fera place peu à peu à une vue plus large, dans laquelle les possibilités technologiques et les objectifs sociaux seront en étroite interaction, chacun étant considéré à la lumière de l'autre.

« Dans le contexte nouveau qui est en train de se dessiner, nous pensons que le progrès scientifique aura un rôle fondamental à jouer : il permettra d'une part d'éclairer les options sociales qui s'ouvriront à nous, et, d'autre part, il fournira les données de fait et les éléments d'interprétation à partir desquels nous pourrons établir un bilan plus solide et plus rationnel des coûts et avantages du progrès technologique et de la croissance économique : ainsi sera-t-il possible d'opérer des choix mieux informés et plus prévoyants parmi des options toujours plus diversifiées, pour guider l'évolution future de nos sociétés. »

Dans le domaine de l'énergie, c'est la technologie nucléaire qui paraît apporter le plus d'espoirs. Du point de vue des réserves, et à condition que la régénération du combustible puisse être utilisée à temps, l'énergie disponible représente l'équivalent de 30 fois les

Les sources pétrolifères naturelles de Hit en Babylonie (Irak) sont les plus anciennes que l'histoire connaisse.

Inspirées des méthodes chinoises, les premières techniques de forage furent rapidement perfectionnées. Le premier puits de Edwin L. Drake (portant un chapeau haut-de-forme sur la photo), foré à Titusville (Pennsylvanie) en bordure de la rivière « Oil Creek », atteignit le pétrole le 28 août 1859, à la profondeur de ... 69 pieds et demi. Il débitait 35 barils par jour soit environ 5 600 litres *(Photo Usis)*.

réserves d'hydrocarbures liquides et gazeux, quelque chose comme 2 000 milliards de tonnes. Les avantages en sont immenses, notamment pour les pays industrialisés car cette énergie incorpore, si l'on peut dire, beaucoup de matière grise, tandis que la répartition des ressources d'uranium est beaucoup moins soumise aux aléas politiques. Ces avantages ne pourront toutefois être exploités sans que la technologie ait fait de considérables progrès. Pour qu'en l'an 2000, la moitié de l'énergie consommée par le monde soit nucléaire, il faudrait, par exemple, que le nombre de centrales de, disons 1 000 MWe, soit de l'ordre de 10 000 ! Or, une centrale de 1 000 MWe, ce n'est pas un petit jouet ! De plus, de telles techniques ne prennent pas leur assurance du jour au lendemain, et, parmi tant d'autres, les problèmes de fiabilité et de sûreté devront être résolus avec une quasi perfection avant que les industries puissent raisonnablement produire de tels investissements. Mais d'autres conditions auxquelles seules la science et la technologie peuvent apporter des réponses devront parallèlement être remplies : il ne faut pas oublier que l'énergie nucléaire ne peut pas être produite dans n'importe quelles conditions, notamment de quantité : les transports aériens nucléaires semblent, pour le moment, à peu près exclus, le chauffage semble ne pouvoir être assuré que par l'intermédiaire de l'électricité, qui est un moyen bien commode quant à son transport et à son utilisation, mais qui pose des problèmes de rendement sérieux — quant au transport individuel, bien que l'on ait quelque peine à imaginer sérieusement ce qu'il pourra être dans 30 ans, le moins qu'on puisse dire est que la compétitivité de la voiture électrique tous usages est loin d'être assurée.

La seule chose qui paraisse à peu près certaine en fin de compte est qu'il faut consentir l'effort maximum pour amener la maîtrise industrielle la plus rapide possible de l'énergie nucléaire, et particulièrement des filières régénératrices.

Mais ce point même mérite discussion. Car il reste un énorme trou à couvrir qui est celui des besoins d'énergie d'ici la fin du siècle. On prévoit actuellement qu'en 1985 (à mi-chemin) l'énergie nucléaire ne couvrira que 8 à 9 % des besoins mondiaux d'énergie primaire, le reste devant être couvert à peu près totalement par le pétrole (plus de 50 %), le gaz (20 %) et le charbon (15 %), la quantité globale représentant plus de 10 milliards de tonnes d'équivalent pétrole. Or, les conditions dans lesquelles les nouveaux gisements devront être découverts, seront de plus en plus difficiles. On en vient maintenant à forer à 7 ou 8 000 mètres de profondeur là où règnent des pressions de près de 1 000 kg/cm^2 ; les gisements doivent être recherchés sous les mers, aujourd'hui à 50 m de profondeur dans le Golfe de Guinée, à 90 m en Mer du Nord, avec des houles qui peuvent atteindre près de 20 m. Demain sans doute devra-t-on dépasser les limites du plateau continental et descendre à 200 m, 600 m, peut-être 2 000 m sous la mer : des permis miniers sont en tout cas déjà recherchés, certains même accordés, dans de telles zones pour les grandes sociétés pétrolières.

Les problèmes scientifique, technique et technologique posés par ces nécessités ne sont pas minces : trouver des gisements dissimulés sous plusieurs milliers de mètres de matériaux hétérogènes nécessite des géologues et des géophysiciens, un appel aux techniques les plus évoluées, parmi lesquelles le traitement des signaux faibles, perdus dans des bruits parasites intenses, doit avoir recours aux possibilités les plus avancées de l'informatique, et aux théories mathématiques les plus élaborées ; construire des structures capables d'être posées sur la mer par 70 m de fond et de résister à des houles de 20 m pose des problèmes de mécanique et de mathématique associées, que l'on commence à peine à savoir résoudre ; forer et exploiter des puits sous 600 m d'eau, de manière que la fiabilité soit parfaite, car l'éruption d'un puits sous-marin serait une catastrophe bien plus grande que l'accident d'un pétrolier géant, n'en est encore qu'à l'état de gageure.

Mais une particularité intéressante de ces technologies nouvelles ou naissantes est, non seulement qu'elles doivent absolument être développées, mais qu'elles doivent l'être dans un temps très court : *le besoin est immense et impérieux dans les 20 ou 30 ans à venir, il sera moindre ensuite.*

Ainsi, et je serais tenté de penser que c'est le point le plus important de cet exposé, la prévision technologique doit-elle comporter le terme essentiel de la fourchette de temps dans laquelle la disposition de ces technologies sera nécessaire : trop tôt, l'industrie peut ne pas suivre — trop tard, la technique nouvelle peut devenir « obsolète ». Il se pose alors le problème fondamental de la répartition des efforts (qui finissent par se traduire en termes financiers) dans le temps. Si nous restons dans le domaine de l'énergie, on peut se demander, par exemple, si la répartition qui est faite entre les recherches sur l'énergie nucléaire et celles qui concernent l'énergie fossile est satisfaisante. Dans une très intéressante communication présentée à la « Southwest Social Science Conference » de Dallas, il y a un an, le Professeur Jurgen Schmandt remarquait qu'en 1971, sur un total de 350 millions de dollars, le Gouvernement Fédéral en avait consacré seulement 17 aux études concernant de nouvelles méthodes d'exploitation des hydrocarbures conventionnels (tels que la gazéification du charbon), 23 aux problèmes de pollution liés à la production d'énergie électrique, contre 307 millions de dollars pour l'énergie nucléaire. Cette disparité peut paraître balancée par les dépenses réalisées dans les laboratoires des grandes compagnies pétrolières, qui affectent une faible part (1 %) d'un chiffre d'affaires considérable à la recherche et au développement. Il n'en reste pas moins que la question n'a jamais, semble-t-il, été posée clairement, et par des entités responsables de l'ensemble du problème (mais en fin de compte, y en a-t-il ?) de savoir comment devrait être dosée dans le temps la répartition des efforts consacrés à la solution des problèmes technologiques commandant l'avenir de l'énergie.

Pour compléter ce tableau, trois termes doivent être mentionnés.

Le premier, pas seulement parce qu'il est de mode, mais aussi parce qu'il devrait être un puissant facteur d'orientation des technologies et qu'il posera des problèmes politiques et économiques sérieux, est celui des nuisances. Il est, à lui seul, un bon exemple des relations étroites qui doivent s'établir entre les hommes politiques, les économistes et les hommes de science, si l'on veut optimiser au sens le meilleur du terme (c'est-à-dire pour le bien des hommes) telle ou telle activité. On rappellera volontiers ce que disait à ce sujet Edward N. Cole, Président de General Motors dans le numéro de Janvier 1972 de « Research Management » : « Nous devons accroître nos efforts pour fournir des données scientifiques en nombre et en qualité croissants

La première raffinerie de pétrole brut en Californie.

« Forêt californienne » *(Photo Usis)*.

de façon que les décisions puissent être prises sur une base logique et raisonnable. Nous ne pouvons baser les grandes options nationales sur de mauvaises informations ou sur pas d'informations du tout, sur des motivations émotionnelles ou politiques. Or, cela s'est trop souvent produit en ce qui concerne les règles établies par le Gouvernement dans les années récentes. » Il apparaît effectivement à peu près certain que, correctement posés, et bien expliqués, les différents problèmes de nuisances devraient, à condition d'un effort scientifique et technologique convenable, être résolus pour des coûts acceptables par l'économie.

Le deuxième terme concerne le jugement que l'on peut porter sur le caractère raisonnable de l'hypothèse faite concernant l'évolution de la consommation d'énergie dans le monde. C'est évidemment un problème fondamental si l'on songe que sur 30 ans, par exemple, le coefficient multiplicateur tombe de 4.3 pour un taux de 5 % par an à 2.4 pour un taux de 3 %. Si l'on note que la consommation moyenne d'énergie par habitant est actuellement aux U.S.A. plus de 3 fois supérieure à celle des autres pays de l'O.C.D.E. — et que Russes, et bien entendu Chinois, en sont plus loin encore, on se rend compte qu'il y a une bonne marge à remplir. Mais il est toutefois bien possible que l'augmentation du prix de l'énergie due à une situation difficile (presque de pénurie) jointe à l'inquiétude inspirée pour certains pays devant la baisse de leurs ressources propres (certains responsables américains considèrent comme angoissante la pensée de devoir bientôt dépendre pour plus de 50 % de l'extérieur en ce qui concerne leurs besoins en énergie primaire), conduise à revoir très sensiblement les conditions d'utilisation habituelles de l'énergie dans les pays dits riches, conditions dont il faut bien reconnaître qu'elles s'apparentent souvent à du gâchis. On peut rappeler à cette occasion que la conjonction des lois de la physique et du gâchis conduit actuellement les U.S.A. à n'utiliser réellement que moins de 50 % de l'énergie primaire qu'ils dépensent et que si les choses continuent à aller comme elles vont, cette proportion décroîtra encore dans l'avenir. Là encore, de nouvelles questions pourront être posées aux technologues, allant de l'augmentation du rendement des centrales électriques à une meilleure isolation des locaux, et régulation de leur chauffage, en passant par une révision complète de l'alternative transports individuels/transports en commun.

Le troisième terme, auquel on s'étonnera peut-être de voir consacrer si peu de place ici, est celui des autres possibilités de fourniture d'énergie. C'est ainsi par exemple que l'énergie consommée en une année par le monde est à peu près égale à celle rayonnée par le soleil sur une part de la surface de la terre égale à 10 millions d'acres. Un certain nombre de savants attachent à cette possibilité (qui fournirait de l'énergie sans nuisances, même techniques ou acoustiques) une grande importance. Malheureusement, l'accomplissement n'en est pas certain, *même à long terme, et il ne peut être question de lâcher la proie pour l'ombre.*
La prévision technologique prend dès lors un tout autre tour que celui qu'on lui a donné souvent par le passé : au lieu d'accrocher tant bien que mal l'avenir du développement économique et social à un développement technique incontrôlé, on commence, bien au contraire, par estimer les besoins, et l'on essaye d'apprécier les degrés de leur ampleur, de leur nécessité, de leur caractère inéluctable. Les techniques à mettre en œuvre pour y répondre doivent alors être examinées, non seulement dans le pur contexte scientifique, mais au moins autant dans celui de l'économie et du temps.

*Et, comme les moyens dont on dispose sont limités (plus encore en cerveaux et en techniciens qu'en argent, qui n'en est qu'une traduction incomplète), on est bien obligé de choisir. C'est bien alors ce choix qui fait toute la différence que nous avons tenu à souligner dès le début, entre la technologie que l'on subit et la technologie que l'on maîtrise. A titre d'exercice d'école, nous serions tentés de supposer, dans cette optique, et pour le domaine de l'énergie, que les technologies à développer le plus vite possible concernent les hydrocarbures conventionnels et les économies d'énergie ; qu'il faut, parallèlement, se préparer à faire prendre la relève (*industrielle, réelle, massive, sûre*) par l'énergie nucléaire et, notamment, par les réacteurs régénérateurs et, qu'enfin, des études à caractère plus fondamental doivent être menées avec l'intensité convenable (mais sans que ce soit au détriment des précédentes), concernant les énergies qui devront prendre la relève au XXIe siècle en se révélant pratiquement inépuisables : fusion nucléaire le plus probablement, énergie solaire peut-être.*

On est loin ici des idées avancées telles que celles conduisant à savoir à quelle date on ira sur la planète Mars, quand les ordinateurs seront dotés d'intelligence, ou si l'on saura créer la vie à partir de rien avant l'an 2000. Mais j'ai voulu, par la simplicité et la naïveté (toutes apparentes d'ailleurs à mon sens) de mes propos, mettre l'accent sur la nécessité de ne pas échapper par le rêve aux réalités des temps présents, et sur le devoir qui s'impose aux hommes de sciences de travailler pour la société et non pas pour eux-mêmes, fût-ce au nom de ce Moloch qu'on appelle la Science.

Dans son savant et classique ouvrage sur la prévision technologique, Éric Jantsch, citant Harvey Brooks, notait qu'il était plus facile de mettre en route un programme spatial résultant de la décision d'un petit nombre, que d'établir de grands programmes dans le domaine des transports ou de l'habitat, ces derniers demandant au contraire un consentement général. N'est-ce pas là souligner un vice profond de nos organisations et de notre société, et n'y aurait-il pas lieu d'y chercher avec vigueur des remèdes? Les hommes de la recherche industrielle pourraient certainement prendre une grande part à cette indispensable action.