



## *Un front commun science-industrie pour de grands défis*

---

Pierre CHAFFIOTTE

Dans le cadre du thème général des «responsabilités réciproques Science-Industrie» retenu par le MURS pour le 4<sup>e</sup> trimestre 1989, il m'incombe, en lever de rideau, d'apporter le point de vue d'un observateur qui n'est ni tout-à-fait un chercheur, ni tout-à-fait un industriel, mais que ses fonctions ont souvent placé à l'intersection de la recherche et de ses applications industrielles : l'ingénieur.

Or, la formation et la carrière de l'ingénieur, dans lesquelles la pédagogie tient bien peu de place, ne le préparent guère à s'exprimer dans ce temple de la transmission du savoir. Il s'y présente plus riche de convictions que de connaissances. Convictions qui transparaissent déjà dans le choix d'un titre de conférence qui situe les relations Science-Industrie au-delà d'un code de bonne conduite entre deux acteurs dont on se serait soudainement avisé qu'ils doivent jouer ensemble sur la scène économique. Ce qui est devenu une évidence ne l'a, en effet, pas toujours été dans l'esprit de nos concitoyens pour qui la Science n'a longtemps eu pour but, noble et désintéressé, que de faire progresser les connaissances, pendant que l'industrie ne

## P. CHAFFIOTTE

voulait que «faire de l'argent». Il ne faut pas sourire au rappel de cette caricaturale simplification, car elle n'a pas complètement disparu du discours public. Elle était monnaie courante dans l'immédiat après guerre. La Science ne s'était alors pas beaucoup déclarée soucieuse d'applications, au point qu'à l'admiration populaire se mêlaient des réflexions du genre : «Progrès des connaissances, pour quoi faire ?», et des allusions aux «chercheurs qui ne trouvent jamais rien». Dans le même temps, à la mauvaise odeur de l'argent, l'industrie ajoutait des relents de collaboration, ce qui contribua à populariser les nationalisations.

Les autorités officielles, au surplus, ne témoignaient pas d'une conviction certaine dans l'utilité de la Recherche.

Elles réanimèrent le CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), né le 19 octobre 1939, quoique sur une échelle plutôt modeste (avec cependant l'ambition de couvrir tous les secteurs, y compris celui des sciences humaines, concept nouveau qui allait prendre corps par la suite). Mais en même temps, ou presque, elles lancèrent de grandes agences d'objectif. Ainsi naquirent le CEA (Commissariat à l'Energie Atomique) dès 1945, l'ONERA (Office National d'Etudes et Recherches Aérospatiales) et l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) en 1946. Dans le domaine de la santé, l'Institut National d'Hygiène, apparu sous l'occupation, ne devait devenir l'INSERM qu'en 1946. Et comme si les gouvernements de l'époque craignaient que l'ONERA n'aille encore pas assez vite dans l'accomplissement de ses missions, ils injectèrent abondamment des crédits d'études dans les sociétés nationales aéronautiques.

Cette politique, qui mettait de nombreux fers au feu fut efficace. Dès 1956, la renaissance de l'aviation militaire française s'illustre dans l'affaire de Suez, et plus tard, par israéliens interposés, dans la Guerre des Six Jours. L'échec commercial de Concorde, auquel échec les Etats-Unis ont largement contribué par une attitude sur laquelle nous reviendrons, ne saurait occulter son succès technique. La guerre des Malouines a révélé au public international l'efficacité redoutable des missiles de l'AEROSPATIALE, issue en 1970 de la fusion de plusieurs sociétés aéronautiques nationalisées. Chacun reconnaît le rôle de chef de file de notre pays dans le programme Ariane. La force de dissuasion française est assez crédible pour être enviée ou critiquée. EDF détient le record en pourcentage d'électricité d'origine nucléaire, et la COGEMA (Compagnie Générale des Matières Atomiques) maîtrise le retraitement du combustible, la séparation et le stockage des déchets. Le CEA et EDF ont apporté une contribution

majeure aux surgénérateurs qui seront peut-être le relai indispensable dans la course vers la fusion nucléaire contrôlée.

Bien sûr, avec le souci d'éthique qui est celui du MURS, conviendrait-il de revenir en profondeur sur certains de ces succès nationaux. Au cours des récentes cérémonies du cinquantenaire du CNRS, un éminent académicien, commentant à sa manière certain discours, me soufflait que cinq années de guerre avaient davantage fait progresser la science que 25 années de recherches paisibles. De tous temps, il est vrai, les besoins militaires ont été un puissant moteur de progrès technique. Ce qui est une piètre excuse du dévoiement de la science par la guerre !

Pourtant, la politique qui a conduit aux succès qui viennent d'être rappelés, est à l'origine de déséquilibres préoccupants. Car, en même temps que l'Etat privilégiait de grands objectifs nationaux en finançant la recherche correspondante, il leur garantissait un marché. Il faut bien constater, avec le recul, que les grands programmes ont eu peu de retombées sur les marchés concurrentiels qui concernent le grand public. La RFA ne peut se prévaloir d'aucun succès comparable à ceux qui viennent d'être rappelés. Et pourtant, tandis que notre balance commerciale est gravement déficitaire, l'Allemagne de l'Ouest présente des excédents dont le cumul, 400 GF, est préoccupant pour la construction de l'Europe. La balance des échanges industriels Franco-Allemands accuse une différence de 40 GF en faveur de nos voisins. Cette distorsion est aggravée par l'écart de hauteur technologique des produits échangés. Selon un rapport que mon collègue du CADAS, Jean CANTACUZENE a tiré de statistiques du Conseil Economique et Social, les produits de faible, de moyenne et de haute technologie représentent respectivement 10, 9 et 7% de nos exportations. Ces pourcentages sont de 15, 22 et 15 pour la RFA. Mais il n'est pas sans signification, pour l'Europe cette fois, que les USA et le Japon vendent en proportions deux fois plus de produits de haute technologie que l'Allemagne Fédérale elle-même, première puissance économique européenne, et pas seulement dans sa branche d'excellence, la chimie, où avec BAYER, BASF et HOECHST, elle aligne les trois plus grands groupes européens. Le chiffre d'affaires de DAIMLER BENZ (246 GF) est exactement le double de celui de la branche automobile de RENAULT (pour 1988 : 123 GF), également surpassé par VOLKSWAGEN (168 GF).

D'autres chiffres tirés des travaux du Conseil Economique et Social sont éloquentes. Malgré la contribution substantielle de l'état français aux grands programmes, les dépenses nationales de Recherche et Développement ne sont que de

## P. CHAFFIOTTE

2,3% du PIB français. Elles atteignent :

2,7% du PIB en RFA

2,6% au Japon

2,8% aux USA

Le rattrapage de notre retard demanderait une augmentation des dépenses de recherche de 25 GF, et nous ne serions pas encore à l'objectif ambitieux du gouvernement, fixé à 3% du PIB. Enfin, la recherche effectuée dans l'industrie représente :

1,78% du PIB marchand en France

2,11% au Japon

2,49% en Allemagne

Il est clair que l'industrie allemande, relativement peu aidée par de grands programmes nationaux financés par l'Etat tend à se suffire à elle-même. Globalement, les recherches et développements effectués par l'industrie française sur ses propres ressources, se montent à 1,22% du PIB marchand. Pour les cinq autres pays du monde les plus industrialisés, la moyenne est de 1,63% de leur PIB marchand.

Ainsi, le niveau des dépenses industrielles en R et D semble trahir une faiblesse structurelle de nos industries nationales. Avec ses énormes excédents commerciaux qui peuvent s'investir, en recherche-développement et en équipements industriels très productifs, l'Allemagne lance à ses partenaires européens un énorme défi. Sa faible natalité est un appel pour les frères séparés et il est devenu depuis peu banal de prévoir, à terme probablement court, une réunification économique de fait des deux Allemagnes avant une réunification politique qui n'est même plus redoutée, comme certaine prise de position officielle et les sondages récents l'ont montré.

Nous sommes bien loin du thème central ? Voyons cela de plus près.

Nous avons suffisamment parlé de la recherche par objectifs au début de cet exposé, pour amener le constat que son succès dans les grands programmes nationaux semble avoir incité la communauté scientifique à regrouper une partie de ces moyens, par thèmes. C'est ainsi qu'on a vu apparaître successivement :

. en 1960 la RCP : Recherche Coopérative sur Programme,

- . en 1971 les ATP : Actions Thématiques Programmées, mises en place par Hubert Curien, alors Directeur du CNRS,
- . en 1976 les PIR : Programmes Interdisciplinaires de Recherche.

Exemple : le PIREN pour l'environnement, le PIRMAT pour les matériaux, le PIRSEN pour l'énergie, etc... A peu près en même temps que les «PIR», les «GRECOS» ont été lancés.

On admettait ainsi que la recherche fût en partie contenue entre des bornes que l'on ne voulait pas contraignantes, mais traçant au moins des directions d'objectifs. Y eût-on ajouté une limite temporelle qu'un large pont aurait été jeté vers l'industrie. Car la recherche industrielle, peu importe ce qu'elle est, et nous essayerons tout de même de le dire, outre des objectifs d'application concrets, doit les atteindre dans des délais souvent impératifs.

Dans le même temps qu'appraisaient ces changements dans l'appréciation du rôle de la recherche, le jugement populaire porté sur la Science et l'Industrie perdait de son manichéisme. On découvrait que pour «faire de l'argent» il fallait fabriquer et vendre, en concurrence avec un nombre croissant de pays producteurs de biens et services répondant à des demandes souvent proches de la saturation, du moins pour les pays riches. Vendre, bien sûr, disait-on, en créant ou gonflant artificiellement la demande. Et de condamner la société de consommation, plébiscitée pourtant par la ruée des Allemands de l'est sur les grandes surfaces de l'ouest !

On comprenait que pour adapter l'offre à une demande changeante, il fallait innover et, pour innover, investir dans la recherche et les moyens de productions. C'est-à-dire, sauf à recourir à l'argent des contribuables, se constituer des fonds propres par des bénéfices d'exploitation ou faire appel au marché financier, qui ne répond que par la perspective des dividendes ou des plus-values, eux-mêmes générés par les bénéfices. Les entreprises industrielles devinrent d'autant moins suspectes d'un unique souci de profit qu'on reconnut qu'elles ne faisaient pas qu'assurer la subsistance de millions de Français, mais qu'elles avaient aussi un effet d'entraînement pour l'ensemble des emplois, y compris tertiaires.

En rappelant ce qui est tenu maintenant pour évidence, il faut, en passant, reconsidérer le rapport généralement admis entre le progrès technologique et la croissance des emplois techniques. Une étude du CNGE (Comité National pour le

## P. CHAFFIOTTE

développement des Grandes Ecoles), relative à l'emploi des ingénieurs en France fait ressortir que, globalement, qu'il s'agisse de l'industrie, du tertiaire ou de l'administration, les emplois techniques diminueront au rythme de 1% l'an au cours des quinze prochaines années, avec un mouvement contradictoire traduisant la décroissance très rapide du nombre des emplois peu qualifiés et l'augmentation non complètement compensatrice des fonctions d'encadrement.

Alors que l'image de l'industrie s'améliore ainsi dans l'opinion, qu'en est-il de celle de la Recherche ? Outre son évolution au moins partielle vers ce qui ressemble à une définition d'objectifs, des chercheurs en nombre croissant prennent conscience que les sommes prélevées sur le revenu national par leur activité, se justifieraient mieux si elles induisaient un minimum de retour vers la collectivité, sous forme de progrès technologique générateur de mieux-être. Sans doute pour laver cette attitude d'un insidieux soupçon de culpabilité, on inventa le concept de «valorisation de la recherche», qui a une connotation offensive en direction de l'agent économique structuré pour cette valorisation : l'industrie. Démarche encore bien française, on créa pour cela une agence, l'ANVAR (Agence Nationale pour la Valorisation de la Recherche) en 1967. Le CNRS se dota d'une direction fonctionnelle pour la valorisation de la Recherche. L'Académie des Sciences elle-même, mais bien postérieurement, en 1983, constitua son Comité des Applications, le CADAS, qui tout en restant dans le sein de l'Académie et de l'Institut de France, prend de plus en plus le caractère d'une Académie Nationale des Sciences Appliquées.

L'industrie, de son côté, dans la nécessité où la met la concurrence d'innover en produits de hauteur technologique croissante, rencontre des besoins de recherche qu'elle ne peut satisfaire avec ses seules ressources financières et humaines, et ceci mérite quelques développements.

L'ingénieur est immergé dans un milieu conceptuel et productif où le temps joue un rôle majeur car l'innovation ne le reste que pour autant qu'elle n'est pas copiée. Elle l'est d'autant plus aisément que sa hauteur technologique est faible, tandis que l'appel du marché est souvent fugace. Dans cette fuite en avant des produits ou des procédés innovants, l'ingénieur rencontre des problèmes exigeant une recherche qu'il entreprend avec les moyens du bord. Ces problèmes, le plus souvent contournés plutôt que véritablement résolus, il passe à autre chose ; il n'a pas le temps d'aller en profondeur, de situer dans un ensemble plus vaste les explications qu'il a trouvées sous la pression du besoin immédiat, ce qu'un vrai chercheur prendrait le temps de

faire. Beaucoup de développement se perdent ainsi par défaut de suite autre que l'atteinte d'un objectif toujours urgent. Ce qui serait évité si l'ingénieur pouvait facilement se tourner vers un corps de chercheurs, à condition que celui-ci fût facilement identifiable, se montrât disponible et acceptât de se plier aux contraintes temporelles qui interviennent constamment dans l'activité industrielle.

Il ne s'agit plus seulement pour le chercheur de valoriser ses travaux mais de garder une part de disponibilité pour les besoins de l'ingénieur.

J'entends que l'industrie, à défaut d'une recherche véritablement intégrée, dispose de centres techniques. Mais ma conviction est que la «remontée vers le fondamental» n'est pas plus dans leur mission que dans celle de l'industrie mandataire. La recherche à la portée de l'industrie et de ses centres techniques est la recherche technologique qu'il faut tenter ici de définir. Chacun comprend assez bien la technique comme l'art de faire, l'art d'exécuter. On sait de quoi il s'agit en parlant de la technique d'un virtuose, de celle d'une étoile de la danse, d'un biologiste, d'un chirurgien ; ce qui est déjà une amplification du sens étymologique qui évoque l'aspect manuel, ou gestuel de l'exécution. La technologie a été longtemps, en France du moins, réduite à un «discours sur l'art de faire» ; à la description didactique de l'ensemble des moyens, aussi bien industriels que manuels, de fabriquer les objets. Les Anglo-Saxons ont beaucoup contribué à enrichir le substantif d'une composante scientifique forte, qui, avec le temps, trouve d'autant mieux sa justification que les moyens modernes mis en oeuvre pour fabriquer les objets intègrent très souvent beaucoup plus de «science», en particulier technologique, que les produits eux-mêmes. On manque du reste de statistiques fines distinguant, dans la recherche technologique pratiquée par les entreprises, celle qui est associée à la création de produits nouveaux et celle dont l'objet est l'obtention de gains de productivité.

Pourquoi dira-t-on, l'industrie n'aurait-elle pas ses propres fondamentalistes, comme c'est assez le cas de la pharmacie, de la chimie, de l'espace ? Quelques chiffres donnent la réponse. Le chiffre d'affaires des industries mécaniques, par exemple, hors automobile et aéronautique, est, certes, considérable : 272 GF en 1988. Cependant la moitié environ de leurs effectifs, 514 000, sont dans des entreprises de moins de 500 personnes qui ne peuvent entretenir un laboratoire de recherches.

Pourquoi, dira-t-on aussi, les grandes entreprises industrielles qui, elles, peuvent avoir des laboratoires, embauchent-elles si peu de cadres formés à la

## P. CHAFFIOTTE

recherche ? N'est-ce pas là l'effet de la configuration particulière de l'enseignement supérieur scientifique français où, selon une tradition remontant à la révolution industrielle et même avant, les grandes écoles scientifiques forment des cadres destinés à l'industrie tandis que l'Université à la charge de former des enseignants et des chercheurs ? S'appuyant sur le succès des Instituts Universitaires de Technologie autant que sur l'exemple allemand, nombreux sont ceux qui veulent entraîner l'Université dans une concurrence quelque peu agressive des grandes écoles, alléguant l'incapacité de ces dernières à fournir à l'industrie des cadres techniques en nombre suffisant et formés pour la recherche.

J'ai déjà souligné que l'industrie, mises à part quelques branches particulières ou de très grandes entreprises, n'est pas psychologiquement armée pour faire de la recherche à caractère fondamental. Il faut prendre, d'autre part, l'exemple allemand pour ce qu'il vaut. Si la formation des ingénieurs et techniciens y est généralement donnée dans un cadre universitaire, cela implique tout au plus dans le présent débat, mais ce n'est pas rien, qu'universitaires et industriels usent d'un langage commun pour parler de recherche. Mais en RFA, celle-ci est en général très proche des besoins industriels. Au point même que l'on redoute un recours d'industriels français à des instituts allemands, après la mise en place du Grand Marché. Mieux vaut, c'est du moins mon opinion, chercher à tirer avantage de la dualité des formations scientifiques supérieures françaises que de multiplier à la hâte les ingénieurs d'origine universitaire, en pêchant dans un même vivier de bons bacheliers scientifiques, trop peu nombreux.

Au reste, les différences s'amenuisent. Tandis que l'Université se préoccupe de plus en plus de son adéquation aux besoins de l'économie, en nombre croissant, des élèves des grandes écoles font des cursus de recherche après avoir obtenu leur diplôme d'ingénieur. La possibilité qui leur est de plus en plus souvent offerte de préparer un DEA en cours d'année terminale d'études d'ingénieur leur met le pied à l'étrier pour un Doctorat. Mais ce mouvement ne concerne encore que moins de 10% des 14 000 ingénieurs diplômés en France en 1988.

Plus que des carences dues aux spécificités des formations initiales, interviennent, me semble-t-il, des difficultés de communication. J'ai connu tel universitaire, inventeur d'une sonde nouvelle pour l'analyse des matériaux, qui n'a pu s'entendre avec l'industriel qui l'a commercialisée, le premier reprochant au second de ne l'avoir pas suffisamment associé au développement, tandis que l'industriel



invoquait la constante remise en cause de la définition initiale par l'inventeur. Cet exemple est caractéristique des difficultés rencontrées dans le transfert des connaissances : tandis que celles-ci progressent de façon continue ou tout au moins par courts échelons, les constantes de temps industrielles conduisent à figer l'évolution d'un concept par nature en développement continu, dans une définition qui laisse le temps de réaliser les outillages de production et de service. Lorsque le produit industriel «sort», pour son concepteur initial, il paraît en retrait sur ses idées du moment.

Un biologiste, chef du service d'hématologie d'un grand hôpital, m'a confié récemment que ses collaborateurs avaient été scandalisés de ce qu'il n'ait pas fait poursuivre un fournisseur de tubes de prélèvements dont les opercules, réagissant avec l'héparine altéraient son dosage. Dans une affaire de cette nature, l'ingénieur pose la question : l'industriel s'est-il conformé au cahier des charges. Réponse : il n'y avait pas de cahier des charges, l'administration de l'assistance publique achète ces tubes en masse sur catalogue. Il est très probable qu'un ingénieur ayant un minimum d'expérience industrielle, mêlé à l'équipe hématologique, aurait eu le réflexe de faire un cahier des charges... Mais les ingénieurs n'ont guère de place dans les hôpitaux où la hiérarchie appartient aux médecins, et parfois aux biologistes, du moins tant que le pouvoir ne leur est pas disputé par l'administration...

Le remède, classiquement invoqué, aux carences de communication est dans la multiplication des contacts entre groupes qui doivent échanger des informations. Les comités d'évaluation de la Recherche, les «CRIN» (Clubs de Relations Industrielles) ont été créés dans ce but. Mais ils doivent se défendre d'académisme et ne répondent qu'en partie à une situation nationale qu'on ne saurait réduire à la communication.

Ce sont les hommes qui sont les meilleurs vecteurs du transfert de la recherche vers l'industrie. Il faut échanger les hommes avec leurs idées et non pas seulement les idées sans les hommes qu'elles habitent. Cependant, la mobilité des porteurs de savoir n'implique pas leur déracinement. Fondrait-on les formations initiales dans un moule unique, par exemple universitaire, il resterait que faire de la recherche est un métier, ainsi que le rappelait Hubert Curien à la Villette le 21 octobre dernier en inaugurant l'exposition «Passion recherche». Tout métier s'acquiert sur le tas, selon l'expression populaire, ce tas pouvant être une paillasse de laboratoire.

## P. CHAFFIOTTE

Le métier de l'ingénieur est d'une autre nature que celui du chercheur. Si la recherche moderne se fait de plus en plus par équipes, celles-ci sont, en moyenne, moins nombreuses que celles qui dépendent de l'activité de l'ingénieur. Un chercheur peut encore attacher son nom à une découverte, ce qui facilite le travail des jurys d'attribution de prix ou les élections académiques. L'oeuvre de l'ingénieur, dans l'entreprise industrielle moderne, a un caractère collectif ; il n'est pas sûr qu'Eiffel, cent ans plus tard, eût laissé son nom à la tour que sa société a construite, sans être accusé de s'en approprier le mérite. La fonction d'encadrement, enfin, contribue beaucoup à limiter les élans de l'ingénieur vers la recherche en profondeur, eût-il le goût et les moyens de la faire.

Si chercheurs et ingénieurs peuvent être amenés à exercer durablement leur métier dans un milieu de travail qui n'est pas celui où ils oeuvrent habituellement, cela ne peut concerner qu'une faible fraction des effectifs. Un transfert beaucoup plus ample est réalisable par le détachement sabbatique institutionnalisé de chercheurs de métier vers l'industrie et ses ingénieurs de métier pour y comprendre la gestation et la nature de leurs besoins, généralement pluridisciplinaires. Le CNRS a manifesté sa volonté de développer la mobilité de ses chercheurs, souhaitable aussi à l'Université pour les siens.

Symétriquement, la nécessaire formation évolutive des ingénieurs en cours de carrière, serait efficacement assurée par leur intégration temporaire à des équipes de recherche opérant dans des domaines proches de leur spécialité.

Ces sortes d'échanges supposent une profonde évolution des mentalités. Les entreprises industrielles n'aiment guère se séparer momentanément de leurs cadres même pour les besoins d'une formation permanente dont tout le monde reconnaît la nécessité, sans en prendre les moyens. Il n'est pas sûr, d'autre part, qu'elles soient suffisamment prêtes à assurer les relais financiers qui aideraient à accélérer la mobilité des chercheurs, en attendant que le statut de la fonction publique la prenne en compte sur une grande échelle.

Le volume actuel des transferts de connaissances du fondamental vers les applications s'exprime par quelques chiffres. 1800 contrats passés par le CNRS avec l'industrie pour un montant total de 333 MF, ne représentent que 3,5 % du budget du Centre. L'Association ARMINES, l'un des plus actifs des organismes greffés sur de grands établissements d'enseignement et de recherche, en l'occurrence les Ecoles

des Mines, a un chiffre d'affaires de l'ordre de 160 MF. La SERAM (Société d'Etudes et Recherches des Arts & Métiers), pourtant interface entre l'industrie et l'école formant annuellement le plus d'ingénieurs en France, l'ENSAM (Ecole Nationale Supérieure d'Arts & Métiers), gère 35 MF seulement de contrats industriels de R et D. Le budget de l'ANVAR est de 1GF. Les Sociétés de Recherches sous contrat sont peu nombreuses et ne survivent que grâce à une part importante de fonds publics dans leur chiffre d'affaires. Au total, une estimation officieuse du Ministère de l'Industrie chiffre à 2 GF le total des contrats de recherche passés entre l'industrie et les organismes de recherche non dépendants d'elle. Il reste donc beaucoup à faire pour relever un défi interne à la communauté européenne dans laquelle une industrie française plus performante est également indispensable à l'Europe, dans une concurrence mondiale dont les acteurs ne se sont pas encore tous révélés.

A l'échelle de la planète justement, apparaissent des défis d'une autre nature et d'une autre ampleur, qui appellent une mobilisation de la communauté scientifique internationale tout entière.

Avant d'aborder quelques exemples qui envahissent l'actualité, il est nécessaire de rappeler que le relai amplificateur de l'industrie pour les applications des sciences fonctionne au prix d'investissements énormes et, surtout, avec de très grandes constantes de temps. La production annuelle mondiale de véhicules de tourisme, par exemple, se chiffre par dizaines de millions d'unités. Pour la seule Europe occidentale, le marché des voitures particulières et des petits industriels a approché les 15 millions d'unités en 1988. Un nouveau modèle d'automobile a une gestation de cinq années en moyenne et appelle un investissement de 5 à 7 milliards de francs. Et encore, sa construction utilise-t-elle des lignes de production d'organes mécaniques généralement existantes. Le lancement d'un nouveau moteur demande lui aussi, étude, développement et outillage de production compris, cinq ans et plusieurs milliards d'investissement. Enfin, le volume du parc de véhicules à lui seul oppose une inertie gigantesque au changement. C'est dire qu'une réglementation normative d'un tel produit de masse ne peut pas reposer sur de simples présomptions scientifiques.

Des présomptions ? On se rappellera, à ce propos, les allégations américaines selon lesquelles les vols stratosphériques de Concorde menaçaient la stabilité de la couche d'ozone. Il ne fallut pas moins de quatre ans, de 1972 à 1976, à un comité d'études, le COVOS présidé par le regretté Professeur Edmond Brun, pour démontrer qu'une flotte de 100 Concorde régulièrement exploités n'aurait aucun effet décelable sur l'ozone atmosphérique.

Ne peut-on pas aussi parler de présomptions scientifiques quand l'écologie est invoquée pour arbitrer des rivalités industrielles ?

Le dépérissement des forêts d'Europe Centrale a été le point de départ, sinon le prétexte, d'une opération de culpabilisation de l'automobile où l'Allemagne Fédérale, disposant d'une avance industrielle confortable dans les systèmes d'injection de carburant et la production de céramiques catalytiques, a pesé de tout son poids sur la Commission de Bruxelles pour faire adopter des normes communautaires sévères destinées à limiter l'émission de polluants dans les échappements des véhicules. Ces normes renchérissent les automobiles de 3500 à 5000F. et augmentent leur consommation de 10 à 15 % ! Les ingénieurs français, peu défendus par leurs représentants officiels dans les négociations, souhaitaient un répit pour donner une égale priorité à la «propreté» et à l'économie, et étaient sur le point d'y parvenir. Il n'y ont d'ailleurs pas renoncé. En attendant, ils se trouvent dans la situation où les petits moteurs de moins de 1,4 l., qui représentent les trois-quarts de la production nationale, seront relativement plus pénalisés que les moteurs des grosses et luxueuses berlines allemandes. Il attendent une preuve scientifique convaincante que l'urgence de «propreté» justifiait le relâchement d'une politique d'économie d'énergie dont on sait, maintenant, qu'elle a été déterminante pour conjurer la crise du pétrole. Bien-sûr, qui n'a pas pesté contre l'odeur des gaz d'échappements, coincé sous le tunnel de St Cloud au retour d'un long week-end en Normandie ? Confort et écologie peuvent aller de pair, mais sont deux choses distinctes. Le premier peut s'obtenir par une meilleure organisation de la circulation dans les zones ponctuelles du territoire où il manque, ce qui ne concerne pas nécessairement les habitants du Gers ou de la Haute-Loire ! L'écologie est une chose trop sérieuse pour être confondue sans nuance avec l'aspiration au confort.

Le «trou d'ozone» au-dessus du pôle sud offre un autre exemple où davantage qu'une bonne concertation entre la Science et l'Industrie, une action commune est nécessaire. Le «trou d'ozone» est attribué aux CFC, les chloro-fluorocarbones, utilisés pour la production du froid dans les bombes aérosols, les mousses plastiques, les extincteurs. Leur décomposition par photolyse donne des radicaux dont certains, agissant comme des catalyseurs, détruisent l'ozone atmosphérique qui protège les organismes vivants du rayonnement ultraviolet, de longueur d'onde de 250 à 320 nanomètres. L'ozone contribue, en outre, à la structure thermique de la stratosphère.

Le phénomène est complexe et saisonnier. Il présente aussi des variations pluriannuelles. Par exemple, la quantité d'ozone au-dessus du pôle sud a régulièrement diminué depuis 1979 jusqu'en 1987. Mais elle est brusquement remontée en 1988 au niveau de 1981. Or, si l'on dispose de mesures précises à différentes altitudes au-dessus du pôle sud et en de nombreux points du globe, il est difficile de trouver quelques références fiables à une tentative directe d'évaluation quantitative du risque final. Autant que dans l'augmentation de la fréquence des cancers cutanés, le Professeur Latarget, voit ce risque dans la disparition ou la mutation des innombrables micro-organismes qui, aussi bien sur terre qu'en mer, assurent l'équilibre de la biosphère. D'un point de vue au moins qualitatif, le danger est suffisamment identifié pour qu'un protocole ait été signé en octobre 1988 à Montréal par 45 pays afin d'imposer différentes étapes de réduction de la production des CFC. N'en retenons ici que, pour la CEE, fortement exportatrice de CFC (ATOCHÉM, filiale d'ELF AQUITAINE, est le deuxième producteur mondial après DU PONT DE NEMOURS), la production des CFC devra avoir complètement cessé à l'horizon 2000.

Bien avant Montréal, depuis 1972, un programme d'études de produits de substitution aux CFC a été mené par une association groupant 19 producteurs de la CEE, des USA, du Japon, de l'Australie, qui y ont déjà investi 150 MF. Ce programme a abouti aux HFA, les hydrofluoroalcanes, dont la famille doit encore s'accroître pour répondre à la variété des emplois des CFC. Le seul Groupe ATOCHÉM, tout seul, a prévu d'y consacrer 2 milliards de francs d'ici 1998.

La loi du progrès veut que les produits de substitution aux CFC conservent les avantages qu'ils ont apportés dans leurs applications. Pour le froid, ils ont remplacé l'ammoniac, le dioxyde de soufre, le chlorure de méthyle, tous trois toxiques. Comme propulseurs d'aérosols, ils ont éliminé les hydrocarbures : butane, propane, diméthyléther, tous inflammables (les fluides de lutte contre l'incendie, Bromure de méthyle, le bromochlorométhane, eux aussi toxiques ont été supplantés par les CFC).

Quelques chiffres, qui ne tiennent pas compte des pays du bloc communiste, font mesurer l'ampleur de la reconversion au niveau mondial. Les HFA incorporant un ou deux atomes d'hydrogène dans leur molécule ont des propriétés thermodynamiques moins bonnes que les CFC. Ils ne peuvent leur être substitués tels quels pour la réfrigération et la climatisation. Il faut donc remplacer un parc de 610

## P. CHAFFIOTTE

millions de réfrigérateurs et congélateurs domestiques et les climatiseurs de 250 millions de véhicules. Accessoirement, pour les mêmes raisons thermodynamiques, les HFA accroissent de 10 % l'énergie consommée pour la production du froid. Pour celle-ci seule, le coût de la reconversion mondiale est estimée à 3000 ou 4000 GF par ATOCHEM. Le remplacement du gaz propulseur dans les bombes aérosols produites à raison de 8 milliards d'unités par an est moins contraignant. Avec, en plus, les mousses de confort dont le marché est de 3,2 MT/an, la production des HFA, 400 000 T/an, nécessitera la construction de 40 usines dans le monde en moins de 7 ans.

J'entends déjà l'objection que cela fait beaucoup de grain à moudre pour l'industrie chimique et les fabricants de matériels. Mais une partie de ces sommes ne serait-elle pas mieux affectée à d'autres objectifs si la menace liée à la disparition de l'ozone était surestimée ou simplement moins pressante, ou si les CFC n'avaient qu'une part de responsabilité dans le problème de l'ozone, ou même si celui-ci ne relevait que de phénomènes naturels, comme on commence à le dire ? Et le précédent des CFC, dont on mit trente ans après leur apparition, à observer les méfaits ne vait-il pas se renouveler avec les HFA, avec d'autres nuisances encore inconnues ? Tandis que les producteurs mondiaux de CFC ont pris l'initiative d'études toxicologiques et environnementales à long terme, ils attendent des scientifiques qu'ils se mobilisent davantage pour valider de bons modèles prédictifs et pour bien évaluer le risque final. Bien qu'ils soient pratiquement prêts à produire des substituts, ils souhaitent d'abord que l'on ne se trompe pas sur l'urgence des mesures à prendre. Sans prendre prétexte de la brusque et sensible remontée de la quantité d'ozone antarctique entre 1987 et 1988, ils aimeraient qu'une explication en soit donnée. Car les conséquences économiques de la substitution des HFA aux CFC prendraient beaucoup moins d'ampleur dès lors que le remplacement des appareils correspondrait à leur renouvellement en quelque sorte naturel pour obsolescence. C'est aux scientifiques, en outre, plus qu'aux industriels, qu'il revient de convaincre du danger les dirigeants des 126 pays non signataires du protocole de Montréal ; parmi ces pays, assez nombreux sont ceux qui ont acquis la technologie des CFC et de leurs applications et ne sont pas disposés à l'abandonner. Il ne faut pas leur laisser l'excuse que seuls les pays riches ont les moyens de se prémunir contre un risque qu'ils seraient soupçonnés d'exagérer afin de reconstituer leur avance technologique. S'il est un sujet où la communauté scientifique peut tirer avantage de son internationalisme, c'est bien celui-ci !

Voyons enfin, un autre exemple qui appelle une mobilisation planétaire : l'accroissement de la teneur en CO<sup>2</sup> de l'atmosphère, résultant du destockage des combustibles fossiles : charbon, pétrole, gaz naturel, lignite, tourbe, etc... utilisés pour produire de l'énergie par combustion. Nous rejoignons ici l'une des préoccupations majeures du MURS, exprimée dans son appel du 26 août 1989 : **«Toute source d'énergie ne doit être utilisée qu'au bénéfice de l'homme, sans atteinte à la biosphère»**. Le CO<sup>2</sup>, en effet, ainsi que d'autres gaz comme le méthane qui interviennent dans une moindre mesure, interfère avec la biosphère en augmentant la retenue du rayonnement infrarouge réémis par la terre après qu'elle ait reçu la quasi totalité du spectre solaire. Il en résulte ce qu'on désigne par «effet de serre», dont on sait mesurer la cause première, sinon les conséquences : des courbes fines tracées à partir de mesures continues faites à l'observatoire du MAUNA LOA à HAWAII depuis le milieu des années 50 présentent une pente constante de 0,6 ppm/an jusqu'en 1970, où un point d'inflexion fait passer la pente de 0,6 à 1,1 ppm/an. Pour le proche passé, les données ne sont pas très sûres. On estime qu'à la fin du siècle dernier l'atmosphère contenait 280 ppm de CO<sup>2</sup>, à rapprocher de 323 mesurées en 1970 et 345 actuellement. La teneur oscille de façon saisonnière, avec une amplitude régulière et variable selon les points de mesure : 15 ppm en ALASKA, 6 ppm au MAUNA LOA, pratiquement zéro au pôle sud.

Ainsi apparaît un facteur climatique modulant attribuable à la photosynthèse opérée par les immenses forêts tropicales. Cette modulation peut représenter 10 années d'accroissement de la moyenne locale. Selon une communication faite en 1988 par William Nierenberg de la NAE (National Academy of Engineering), des modèles donnent, pour un doublement de la teneur en CO<sup>2</sup>, une élévation de température de 1 à 4°. Au rythme actuel d'accroissement moyen, il s'étalerait sur 300 ans. Mais il faut compter avec des changements de pente comme celui qui s'est produit en 1970. Effectivement, d'autres auteurs sont beaucoup plus pessimistes. Le Docteur Irving M. Mintzer du World Resources Institut, par exemple, estime qu'au rythme actuel de combustion des combustibles carbonés fossiles, la fourchette d'élévation de température pourrait être comprise entre 5 et 15° en 2075. Et, si l'on prend en compte un accroissement notable (et souhaitable) de la consommation en énergie de pays en voie de développement, la fourchette se situerait entre 10 à 30° !

De nombreuses raisons peuvent expliquer l'énorme dispersion entre les prévisions : d'abord la faiblesse des modèles climatologiques capables eux-mêmes de prédire les variations de densité de la couverture nuageuse qui résultera de

## P. CHAFFIOTTE

l'accroissement de la température. Puis l'incertitude sur l'action des océans, dont on soupçonne qu'elle est considérable, puisque le stock de dioxyde de carbone dissous est estimé à dix fois le stock atmosphérique. Des équipes de recherche se préoccupent d'évaluer la fixation du carbone océanique par les organismes marins, coquillages et coraux. Y trouveront-ils l'explication de la différence entre rythme d'émission et accroissement mesuré de la teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub> ? Mon collègue Pierre BOUVAREL, du CADAS et du Comité Académique de l'environnement, dans un article qu'il a livré à la Revue Forestière Française de juillet, note en effet que le stock atmosphérique ne s'accroît que de 2,9 gigatonnes/an, alors que 5 gigatonnes/an sont émises. Enfin, parmi les causes de dispersion des prévisions à long terme, il convient de mentionner qu'un effet de serre additionnel non encore introduit dans les modèles, peut résulter du processus même de la réduction de la teneur en ozone atmosphérique.

La montée du niveau des mers provoquée par la fonte partielle des neiges dites éternelles, des calottes polaires, et par l'expansion thermique des couches océaniques de surface est la conséquence primaire et évidente de la hausse générale des températures. Mais d'autres effets sont à redouter : l'évaporation à la surface des terres restant émergées entraînerait la désertification de régions entières pendant que des pays comme le BANGLADESH disparaîtraient sous les eaux ; l'échauffement des océans, la perturbation des circulations de gaz dissous peuvent contribuer à accroître encore les émissions de CO<sub>2</sub> par dégazage.

Heureusement, si l'on peut dire, les contre-mesures qui relèvent de l'industrie sont pratiquement disponibles et n'entraînent pas de risque périphérique ou secondaire qui n'ait été considéré. S'il est incontestable que la terre se réchauffera par l'effet des émissions anthropogénétiques de CO<sub>2</sub>, il tombe sous le sens que le remède consiste à brûler de moins en moins de carbone fossile, tout en le faisant le mieux possible, c'est-à-dire avec un bon rendement, ce qui est au pouvoir de l'industrie. Le vrai problème est encore de déterminer dans quel délai, à quel rythme il faut engager les recours en fonction de leur efficacité, de la bonne appréciation du stockage permanent réalisé par les organismes marins ; en fonction aussi, ne l'oublions pas, de leur acceptation par les pays en voie de développement. Comme dans l'exemple de l'ozone, faute de l'adhésion de ceux-ci, le programme d'ensemble ne réunira pas l'indispensable consensus mondial.

Ou est-il utopique d'espérer que des modèles écosystémiques assez fiables



pour être bien acceptés par les pays les plus riches, conduiront ceux-ci à une forme de solidarité internationale où ils anticiperaient leurs obligations, afin de laisser temporairement aux pays en développement l'usage des technologies les plus simples et les moins dispendieuses ?

Décrire, voir simplement énumérer la longue liste des solutions alternatives à la combustion du carbone fossile sortirait des limites et de l'objet de cet exposé où les exemples ne veulent que faire prendre conscience des enjeux et des responsabilités solidaires de la science et de l'industrie, par le rappel d'ordres de grandeur.

En 1987 (sources : AFME, Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie), la consommation mondiale d'énergie a été de 7800 MTep. A lui seul, le pétrole, pour lequel on dispose des meilleures statistiques, a représenté 38% du total, avec 2950 MTep. Mais les trois quart du pétrole consommé l'ont été par le quart seulement de la population mondiale. Pour prendre l'exemple de la France, la part du pétrole, dans les 200 Mtep d'énergie consommée, a été de 86 Mtep, soit 43%. C'est plus que la moyenne mondiale. 50% de la consommation nationale reviennent aux transports et 25% au chauffage domestique. Grâce à de nombreuses incitations bien coordonnées, un effort particulier a été fait en faveur des énergies renouvelables. Mais celles-ci, en 1987, n'ont représenté qu'une petite fraction des besoins nationaux : la géothermie, malheureusement disponible à bas potentiel dans le sous-sol national (température inférieure à 150°), pourrait fournir au mieux 6 Mtep, soit 3% des besoins totaux. L'énergie tirée du bois la même année 1987 équivalait à 7 MTep pour un potentiel de 10 MTep qui suppose un reboisement systématique. D'autres sources diverses «d'énergies nouvelles» ont fourni 2% des besoins.

Sait-on bien tirer partie de l'énergie solaire ? Selon un rapport du CODER (Comité d'études et de rapports de l'Académie des Sciences), nous recevons en effet du soleil 1600 fois la consommation nationale d'énergie. EDF a fait, avec la Centrale Themis, une expérience de conversion par machine thermodynamique. Pour les 2 MW produits, l'occupation des sols par les miroirs automatiquement orientables, ou héliostats, est de 5 hectares. Rivaliser avec une seule tranche nucléaire EDF, 900 MW, exigerait un grand nombre d'installations unitaires couvrant une surface totale de 22 km<sup>2</sup>. Les photopiles offrent la conversion la plus simple. La puissance de crête reçue par m<sup>2</sup> au sol est théoriquement de 1,4 KW/m<sup>2</sup>, mais pratiquement de 1 KW, le soleil étant au zénith et par temps clair. Le rendement

## P. CHAFFIOTTE

limite de conversion est compris entre 16 et 20% avec le coûteux silicium monocristallin. Avec du silicium amorphe hydrogéné, beaucoup moins cher, un rendement de 10% est un objectif raisonnable. Il faudrait donc couvrir de panneaux une surface de 9 km<sup>2</sup> pour obtenir une puissance de crête égale à la puissance continue d'une tranche EDF de 900 MW. Contrairement à Themis où les variations d'ensoleillement étaient lissées par un stockage thermique en amont de la source chaude du cycle de Rankine, avec des photopiles, plutôt que de recourir au difficile et coûteux stockage de l'électricité, il faudrait sans doute faire appel au pompage hydroélectrique. On aurait aussi à compter avec les pertes par connection des photopiles qui délivrent un courant continu à basse tension dans des configurations assez pointues d'impédance de charge.

De façon bien plus favorable, se présente la conversion photosynthétique de l'énergie solaire par la biomasse, d'où l'on peut facilement tirer, sous forme d'alcool éthylique et surtout méthylique, des combustibles liquides d'un stockage et d'un emploi commodes. Ils sont d'une grande qualité pour les moteurs à allumage commandé, en raison de leur moindre tendance au cliquetis. La filière méthanol, en outre peut être empruntée à partir du charbon, et aussi du gaz naturel pour lequel elle constitue, accessoirement, un bon vecteur de transport et d'utilisation. Malheureusement, comme leur combustion directe, la méthanolisation du gaz naturel et du charbon conduit au déstockage du carbone fossile et à la production de CO<sup>2</sup>. Elle n'est donc pas un remède à l'effet de serre.

Le Brésil a remarquablement prouvé que les combustibles issus de la biomasse, en l'occurrence l'éthanol, sont des substituts presque immédiatement disponibles aux produits pétroliers. Malheureusement tous les pays ne peuvent utiliser cette filière et on ne manquera pas de noter que, vis-à-vis du CO<sup>2</sup> atmosphérique, le cycle combustion-reconstitution de la biomasse est, tout au plus, neutre.

La forêt tropicale convenablement exploitée et reboisée est la meilleure source d'alcools de combustion, les cultures basses, même intensivement poussées, ayant un rendement trop faible. (Le Brésil a été contraint d'acheter de l'alcool aux USA pour satisfaire les besoins de son parc automobile largement converti à l'éthanol produit à partir de la canne à sucre nationale). Selon une étude faite il y a une dizaine d'années par Creusot Loire, 1250 km<sup>2</sup> de forêt tropicale exploitée, et reboisée en espèces à croissance rapide, peuvent produire 2 millions de tonnes de méthanol/an, soit 1 MTep/an. La Guyane à elle seule, par exemple, qui couvre 90.000 km<sup>2</sup>, dont

80.000 de forêts, pourrait fournir 8 MTep/an, soit le cinquième des besoins actuels français pour les transports. Le même rendement appliqué aux 1.100.000 km<sup>2</sup> de forêts de l'Afrique Centrale donnerait 1.000 MTep, soit les 2/5 de la consommation mondiale de pétrole, mais seulement 12% des besoins actuels mondiaux en énergie. On peut raisonnablement supposer que les forêts d'Amérique du Sud et du Sud-Est asiatique auraient, chacune, une production potentielle voisine de celle des forêts africaines, ce qui conduit, très approximativement, à 40% des besoins mondiaux. Il n'est pas nécessaire de souligner combien cette évaluation est spéculative, ne serait-ce qu'en raison des énormes problèmes de peuplement et de transport internes que poserait l'exploitation d'aussi vastes enfers verts.

Pour les énergéticiens responsables, il est clair que les énergies renouvelables ne peuvent pas, et de loin, couvrir les besoins en énergie de l'humanité, surtout si l'on prend en compte le développement des nations les plus pauvres. La convergence de quelques prédictions donne en effet à réfléchir. Selon une estimation de l'AFME remontant à quelques années, la consommation mondiale d'énergie, en l'an 2000, sera comprise entre 7 à 10 GTep (elle a approché les 8 GTep en 1988 déjà) ; en 2020, entre 10 et 20 GTep. La part des pays en développement (qui représenteront 80% de la population mondiale en 2000) passera de 22% en 1960 à 35% en 2020. Pour l'OCDE, les besoins en énergie par habitant seront de 5,8 Tep en 2000, de 6,4 en 2020. Alors qu'ils ne passeront que de 1 à 1,5 Tep dans la même période pour les pays en développement, les pays de transition restant à 0,4 Tep/habitant ! On voit à quel point est réaliste l'affirmation que le niveau de développement s'exprime par la consommation d'énergie par habitant ! Les populations du tiers-monde représenteront 90% de la population totale dans moins d'un siècle (2070). Quel redoutable challenge pour les énergéticiens !

Dès lors, pour le moyen et le long terme, considérant à la fois le risque d'effet de serre, et la montée des besoins, on ne peut éluder la nécessité du recours à l'énergie nucléaire.

J'ai eu la surprise de découvrir par hasard, au cours d'un vol qui me conduisait à Sidney, un article du journal «The Australian» du 11 octobre 1988, dont l'auteur, Graeme James, titrait : «Nuclear plants inevitable», pour rapporter une conférence de presse du Président de la Western Mining Corporation : «Si vous considérez le problème mondial de l'environnement, il ne fait pas de doute qu'une proportion de l'énergie consommée dans le monde sera d'origine nucléaire. Nous n'avons pas

## P. CHAFFIOTTE

de pluies acides en Australie, mais nous créons, cela est sûr, du dioxyde de carbone et nous avons notre part dans le problème mondial». Quand on sait de quelles ressources en charbon dispose l'Australie, quand on connaît ses positions vigoureusement antinucléaires, il y a de quoi être étonné. Il est vrai que l'Australie est aussi productrice d'uranium et que le même article mentionnait la signature de contrats de fourniture de ce métal au Japon, à la Suède, à l'Angleterre et à la Corée du Sud !

Les réserves d'uranium représentent 40 années de consommation, mais on peut parier que la nécessité les prolongerait. C'est du moins ce que l'on constate avec le pétrole, dont, depuis quinze ans, les réserves prouvées restent de trente années, comme si le besoin poussait devant lui un stock sans cesse reconstitué. Il est cependant certain que les combustibles fossiles, y compris l'uranium, s'épuiseront. Mais une première extension de la capacité énergétique de l'uranium est offerte par le recyclage d'une partie du plutonium produit par les réacteurs et récupéré par le retraitement. EDF en a l'expérience. Il est d'autre part relativement facile d'extraire davantage d'isotope 235 de l'uranium naturel en poussant le cycle d'enrichissement.

La technique des surgénérateurs bien maîtrisée avec le prototype Phenix de 250 MW électriques, a été confirmée par Superphenix de 1200 MWe, malgré un incident purement technologique, considérablement grossi par les médias. Or, les surgénérateurs multiplient par un facteur de 50 à 80 le potentiel énergétique de l'uranium. Cela laisse beaucoup de temps pour mettre en oeuvre, si cela s'avère jamais possible, une fusion nucléaire que l'on qualifie de «propre», alors qu'elle sera, au mieux, moins «sale» que la fission.

Au surplus, la «propreté» d'une filière énergétique ne saurait être confondue avec sa sécurité. A côté des 76% d'électricité produite par ses centrales nucléaires en 1987, EDF a exploité au maximum le potentiel national en énergie la plus «propre» qui soit, l'énergie hydraulique, qui a représenté 20% de sa production la même année. Or, il y a encore peu, EDF observait qu'il se rompt en moyenne un barrage par an dans le monde. Par bonheur, tous ne sont pas aussi meurtriers que le barrage de Malpasset qui tua plus de 400 personnes, à Fréjus.

Tchernobyl est venu en contrepoint de cette catastrophe oubliée. Les erreurs de conception et les négligences dans l'exploitation de la centrale soviétique ne sauraient être invoquées pour amoindrir la sévérité de l'avertissement.

L'énergie nucléaire exige une grande rigueur technologique, non seulement dans la conception et la construction des centrales, mais également dans leur exploitation et les suites de celle-ci, que sont les procédures de manipulation des déchets. C'est bien à ce propos que devrait jouer ce devoir de solidarité que nous avons précédemment lié à la qualité des modèles scientifiques prédictifs de l'effet de serre et des conséquences. Plutôt que de chercher à vendre des centrales aux nations en développement, les pays disposant de la haute technologie nucléaire devraient se faire une obligation de multiplier les centrales chez eux, pour prolonger l'utilisation des combustibles fossiles par les premières en attendant leur conversion à la biomasse quand elles le peuvent. Si de bons modèles font aussi apparaître quelque long répit avant de recourir massivement à l'inévitable énergie nucléaire, ce répit, et pas seulement les tentations que fait naître la disponibilité quasi illimitée de cette forme d'énergie, doit être utilisée solidairement par les chercheurs et les industriels pour améliorer sans relâche la sécurité des installations, la sûreté des stockages de longue durée des déchets et l'innocuité des procédures de démantèlement des unités réformées, productrices elles-mêmes de déchets. Le vrai problème de l'énergie nucléaire est en effet la manipulation, l'éventuelle conversion et le stockage des rejets nucléaires. En investissant 50 GF à la Hague, la France, qui exploite le sixième de la puissance installée, a fait son devoir. Ce qui est loin d'être le cas pour d'autres nations nucléaires.

C'est à ce prix, sans doute élevé, que l'on pourra considérer que l'énergie nucléaire, après être entrée par effraction dans l'histoire de l'humanité, peut devenir sa chance. Jules Verne n'a jamais été autant visionnaire que lorsqu'il imagina, dans «L'île mystérieuse», cette conversation citée par le Professeur Latarjet, en exergue à un rapport à l'Académie des Sciences :

- *«Qu'est-ce qu'on brûlera plus tard à la place du charbon ? demanda le marin*
- *L'eau , répondit Smith, mais décomposée en ses éléments constitutifs, l'hydrogène, l'oxygène utilisés séparément, ou simultanément, fourniront une source de lumière et de chaleur inépuisable, d'une intensité que la houille ne saurait avoir. L'eau est le charbon de l'avenir.*
- *Je voudrais bien voir cela, dit le marin*
- *Tu t'es levé trop tôt, répondit Smith».*

Trop tôt...

## P. CHAFFIOTTE

Un siècle plus tard, en 1984, l'Académie des Sciences, pour sa part, a étudié le stockage et l'utilisation différée sous forme d'hydrogène, d'éventuels excédents d'énergie nucléaire. Nous n'en dirons ici que l'expérience acquise par GAZ DE FRANCE dans le confinement souterrain du gaz naturel s'est avérée transposable à l'hydrogène ; que ce gaz est le combustible banal des étages supérieurs des fusées spatiales ; que l'Institut Français du Pétrole dispose de la technique des piles à hydrogène depuis une bonne dizaine d'années ; que les Soviétiques ont fait voler, ou s'appêtent à faire voler, un avion de transport dont les turbo-réacteurs brûlent de l'hydrogène. Mais, avant de mettre de l'hydrogène dans sa voiture, le marin devra attendre encore...

Il est une conséquence indirecte à tirer de l'affaire de Tchernobyl. Je me trouvais à Moscou en mai dernier, au moment de la réunion des représentants des peuples de l'URSS qui fait date dans l'histoire de cette nation. La glasnost ramenait à la surface, parmi bien d'autres débats, les querelles que l'accident de Tchernobyl a allumées entre des membres de l'Académie des Sciences de l'URSS chargés de l'enquête et les habitants des régions contaminées. Si la bonne foi des premiers ne fait pas de doute pour leurs confrères étrangers, il est évident que l'opinion du citoyen soviétique doute de leur crédibilité. C'est ainsi que dans les défis écologiques à moyen et long terme à l'échelle de la planète, outre des devoirs réciproques de partenariat, que l'on peut maintenant résumer simplement dans le schéma : connaître, expliquer, prévoir, afin d'imaginer, créer, et investir à bon escient pour produire. La Science et l'Industrie ont l'obligation d'acquérir et de préserver solidairement une crédibilité qui soit plus forte que l'attrait du «scoop» pour l'opinion.

Une opinion qui tend à retourner à des schémas simplificateurs comme celui par quoi cet exposé a débuté et qui rejettent pêle-mêle Science et Industrie dans l'enfer des fatalités humaines. La peur qu'inspirait le pouvoir de la Science depuis le matin du 6 août 1945 et que les peuples ont reportée sur les utilisations pacifiques de l'énergie nucléaire, trouve un aliment nouveau dans les avancées de la génétique. L'industrie menace l'humanité par ses déchets. Cette étrange solidarité née de la méfiance d'une partie des habitants de la planète ne peut, pour la Science et l'Industrie, que renforcer la nécessité d'élargir leur front commun à la Lutte contre la désinformation scientifique. Exemple de désinformation ? Avec la Hague, la France va devenir la poubelle nucléaire du monde ! Or, les capacités de la Hague correspondent aux besoins nationaux de retraitement à l'horizon 2000. Faut-il

reprocher à la COGEMA d'utiliser des surcapacités temporaires pour financer ses installations ?

Etonnante contradiction, ayant nié tout fondement moral traditionnel au comportement de l'homme, on s'efforce d'inventer de nouvelles éthiques censées lui rappeler quelques devoirs individuels ou collectifs vis-à-vis de son devenir.

Comme on l'a vu avec la pollution par l'automobile, une industrie disposant d'une confortable avance technologique peut flirter avec la désinformation pour précipiter l'adoption de réglementations qui la favorisent. Le système actuel d'évaluation des performances des scientifiques, qui repose sur la notoriété de leurs publications, les livre aux tentations d'un effet d'annonce prématurée. On se rappelle encore l'illustre précédent du moteur à eau. L'un de mes collègues, énergéticien réputé, garde encore le traumatisme de l'obligation que son employeur lui fit d'aller enquêter sur une affaire où il n'était pas nécessaire d'avoir ses connaissances pour déceler la supercherie. Mais où sa seule présence sur les lieux fut tenue pour caution.

On se souvient aussi des affaires plus récentes de la mémoire de l'eau, de la fusion froide, et même de la précipitation avec laquelle nous est parvenue d'Extrême Orient la nouvelle de la création d'une molécule miracle anti-Sida, information qui rappelle à propos la querelle franco-américaine que fit naître la découverte du virus HIV. Cela n'aurait sans doute pas grande importance, grâce à la prodigieuse capacité de la Science à s'auto-censurer par la multiplication des observations et des expériences, sans le colossal pouvoir amplificateur des médias qui, pour «faire court», sont parfois amenés à extraire une information de son contexte scientifique. Un pouvoir capable d'induire de fausses paniques qui, du fait du poids exercé par l'opinion sur les gouvernements, peuvent conduire ceux-ci à édicter des réglementations inutiles, prématurées, ou inapplicables à l'échelle planétaire.

Pour tenter de dépassionner l'information scientifique et technique du grand public, en aidant ceux dont le métier est de la transmettre sereinement, le CADAS met en place, avec le concours du CNRS et de la Cité des Sciences, le CISTIM, Centre d'Information Scientifique et Technique pour les médias. Ce n'est une innovation qu'en France puisqu'un tel organisme fonctionne en Grande Bretagne, sous l'égide de la Fondation CYBA. Mais le Centre français ne remplira sa mission que si les acteurs de la recherche scientifique, technologique et de leurs applications,

**P. CHAFFIOTTE**

acceptent de rentrer dans le jeu et de faire l'effort de se mettre à la portée du public. De grands scientifiques ont donné l'exemple en rédigeant des ouvrages qui, indépendamment de la qualité de leur contenu, feront sans doute date dans l'histoire de la diffusion de la pensée. L'honnête homme du XX<sup>e</sup> siècle doit son initiation à la biologie moléculaire, à la génétique, à l'astrophysique, par ceux là même qui font ces sciences, tout en témoignant du souci de faire partager leur savoir.

Pour leurs lecteurs, la joie initiatique s'accompagne d'une sensation bien proche de l'émotion esthétique qu'éveillent les oeuvres d'art. C'est pourquoi, après avoir souhaité que se développe une véritable complémentarité -au point où j'en suis, j'irai même jusqu'à dire complicité- entre la Science et l'Industrie, et décrit les voies que je crois pouvoir y conduire, je n'en suis que plus à l'aise pour dire ma conviction que l'aspect utilitaire de la Science ne saurait faire oublier qu'elle doit aussi être encouragée pour elle-même. La création artistique, qui ne fait guère progresser l'homme dans la compréhension de ses origines et de son destin, doit beaucoup au mécénat. Il est souhaitable qu'une nouvelle forme de mécénat contribue au financement d'une recherche qui ne se fixe d'autre but que d'apporter à l'humanité une meilleure connaissance d'elle-même. C'est en considération de ce besoin que l'on peut remercier les grandes sociétés industrielles qui ont apporté une première mise dans la Fondation pour la Recherche et ses Applications, née cette année rue Mazarine, à l'ombre de la Coupole de l'Institut de France. Mais il reste encore à inventer de bonnes règles fiscales pour encourager le néomécénat voué à la Science.

Et puis, le lecteur trouve aussi dans les ouvrages évoqués plus haut cette «Passion de la Recherche» qui est le thème central de la remarquable exposition organisée à la Cité des Sciences à l'occasion du cinquantième anniversaire du CNRS.

Cette passion au service de la connaissance par la recherche n'est-elle pas de même nature transcendante, en définitive, que celle des grands mystiques en quête d'une vérité qui contient toutes les autres, une vérité primordiale et unique ?

**Pierre CHAFFIOTTE**  
**Ingénieur A & M**  
**Membre correspondant de l'Institut**  
**section des sciences mécaniques**