

# L'électricité nucléaire, une réalité du vingtième... et du vingt-et-unième siècles

**En un siècle, l'énergie nucléaire est passée du laboratoire au stade industriel et représente aujourd'hui 16 % de l'électricité mondiale. La conjonction de 80 % d'électricité nucléaire et de 20 % d'hydroélectricité assure à la France une électricité nationale à l'abri des risques du marché : c'est le résultat d'une politique énergétique déterminée depuis les années 70. Le ralentissement économique, observé depuis deux décennies, a stoppé un peu partout les investissements énergétiques, aussi faut-il mettre à profit ce temps pour préparer le renouvellement des parcs de production d'électricité, qui devrait démarrer vers 2010 : le nucléaire doit être au rendez-vous.**

**par Rémy Carle**  
*Ancien directeur général adjoint,*  
**EDF**

**N**ous célébrons actuellement - un peu trop discrètement peut-être - le centième anniversaire de découvertes tout à fait fondamentales : celle des rayons X faite par Roentgen en 1895, celle de la radioactivité due à Henri Becquerel en 1896, enfin, en 1898, celle du polonium et du radium, cette épopée si souvent racontée, où s'immortalisèrent Pierre et Marie Curie. Ne devrions-nous pas y ajouter celle de l'électron par Sir Joseph Thomson en 1897 ? L'atome, notion toute théorique chez les philosophes grecs, devient alors, à travers les rayonnements qu'il émet, une réalité dont il est possible d'étudier et de comprendre les propriétés. Quelques années plus tard, Einstein y ajoutait la révélation des mystères de la relativité et de l'équivalence entre matière et énergie. Ces découvertes ont à la fois modifié notre vision du monde de façon irréversible et ouvert à l'humanité des champs d'action considérables. L'usage pacifique de l'énergie dégagée par la fission de certains atomes, en d'autres termes l'électro-nucléaire, est l'un d'entre eux. En un siècle, que de chemin parcouru !

Pour beaucoup, l'atome reste d'abord lié aux événements d'août 1945, à la bombe atomique. Il y a là une réalité tragique qu'il serait vain de nier ; bien au contraire, devons-nous en garder la mémoire pour en éviter le retour. Je laisserai aux spécialistes le soin de savoir si l'atome a, en définitive, sauvegar-

dé la paix des cinquante dernières années et s'il demeure une menace mortelle au dessus de nos civilisations. Il est clair que nous devons tout faire pour en éviter l'usage militaire. Cela passe par le contrôle strict de toute technologie qui pourrait constituer pour certains une tentation d'aller dans cette direction, cela passe aussi, et surtout, par une meilleure répartition des richesses et notamment de l'énergie, un monde moins déchiré par les tensions que créent des niveaux de vie très différents, un monde où seraient établis et défendus les principes pacifiques d'un ordre international. C'est à quoi tend d'ailleurs le traité de non prolifération qui prévoit, à la fois, la non dissémination des techniques nucléaires proliférantes et la mise à disposition de tous des techniques (nucléaires) de production d'énergie.

Mesurons-nous bien à quel point la seconde moitié du vingtième siècle a vu l'entrée en force des techniques nucléaires dans pratiquement tous les secteurs ? Bien sûr, celui de la médecine, où il est présent quasiment partout, du diagnostic à la thérapie. Mais aussi, celui de l'industrie où il assure, par les contrôles non destructifs, la sécurité de multiples appareillages, celui de la conservation des aliments, celui de l'art où il contribue à une autre conservation, celle des chefs-d'œuvre, celui de l'histoire où il est devenu un outil de datation indispensable, celui de la géographie et des sciences connexes

avec l'usage des traceurs, celui de l'espace où l'on n'en finirait pas d'énumérer ses applications. Que nous l'aimions ou non, nous sommes dorénavant dans une civilisation qui utilise les forces cachées au sein de l'atome. Certes, comme toutes les technologies, l'atome implique des risques ; il laisse derrière lui des déchets radioactifs. Des accidents d'irradiation ou de contamination se produisent. Devrions-nous pour autant renoncer à des procédés qui ont déjà sauvé des millions de vies humaines et contribué grandement au confort de nos concitoyens et à

**Carte de France des centrales nucléaires.**  
Photo : Médiathèque EDF.

l'allongement de leur existence ? Au surplus, il ne servirait à rien de vouloir ignorer ces nouvelles technologies. Nous devons leur faire face, maîtriser les risques et gérer les déchets ; c'est d'ailleurs très largement le cas dès aujourd'hui.

## La genèse de l'électronucléaire

Baucoup a été dit et écrit à propos des glorieux épisodes de la recherche scientifique qui ont marqué le début de notre siècle, la découverte des différentes particules et de leurs propriétés, notamment celle du neutron en 1932, la mise en évidence de la radioactivité artificielle en 1935. N'étant pas historien, je ne me risquerai pas à une nouvelle description de cette histoire et me contenterai d'en souligner quelques aspects directement liés à l'émergence de l'électronucléaire. C'est un lieu commun que de souligner l'accélération du progrès technique. Et de fait, c'est moins de dix ans après la découverte du neutron par Chadwick, moins d'un an après l'explication de la fission par Otto Hahn qu'une petite équipe, Frédéric Joliot-Curie, Hans von Alban et Lew Kowarski, dépose des brevets décrivant de façon éton-

namment précise, ce que vont être les installations propres à extraire l'énergie de la fission de l'atome. La réaction en chaîne est née, au moins sur le papier, en 1939. Seconde caractéristique, dès l'abord, même si les Français y jouent un rôle essentiel, l'aventure est internationale. Comme le prouvent les noms des grands savants que nous venons de citer, ceux-ci venaient pratiquement de tous les pays d'Europe. Passant brusquement du laboratoire à l'industrie, une formidable aventure internationale commence, qui suscite de grandes espérances dans un monde

où certains en sont encore à découvrir les promesses de l'électricité.

Hélas, quelques mois plus tard, la deuxième guerre mondiale oblige à penser à autre chose. Et si la recherche des quarante premières années du siècle avait été essentiellement européenne, ce sont les Etats-Unis d'Amérique qui vont prendre le relais.

Cette autre chose, c'est, bien sûr, hélas, la bombe atomique. Or il se trouve qu'une des voies pour y parvenir, c'est de construire un réacteur, qui permette, par transmutation de l'uranium, de produire une des deux matières premières permettant la confection d'une bombe, le plutonium. Et c'est ainsi que le premier réacteur nucléaire fut construit, non pas pour produire de l'électricité, comme l'imaginaient les brevets de 1939, mais pour en extraire un sous-produit à des fins militaires. La première véritable réaction en chaîne est déclenchée à Chicago en décembre 1942. Reconnaissons le, cet effort, soutenu par des moyens considérables en laboratoires, en experts de toutes disciplines, le fameux projet Manhattan, fut une contri-

bution très importante à l'acquisition des connaissances de base nécessaires à l'énergie nucléaire civile.

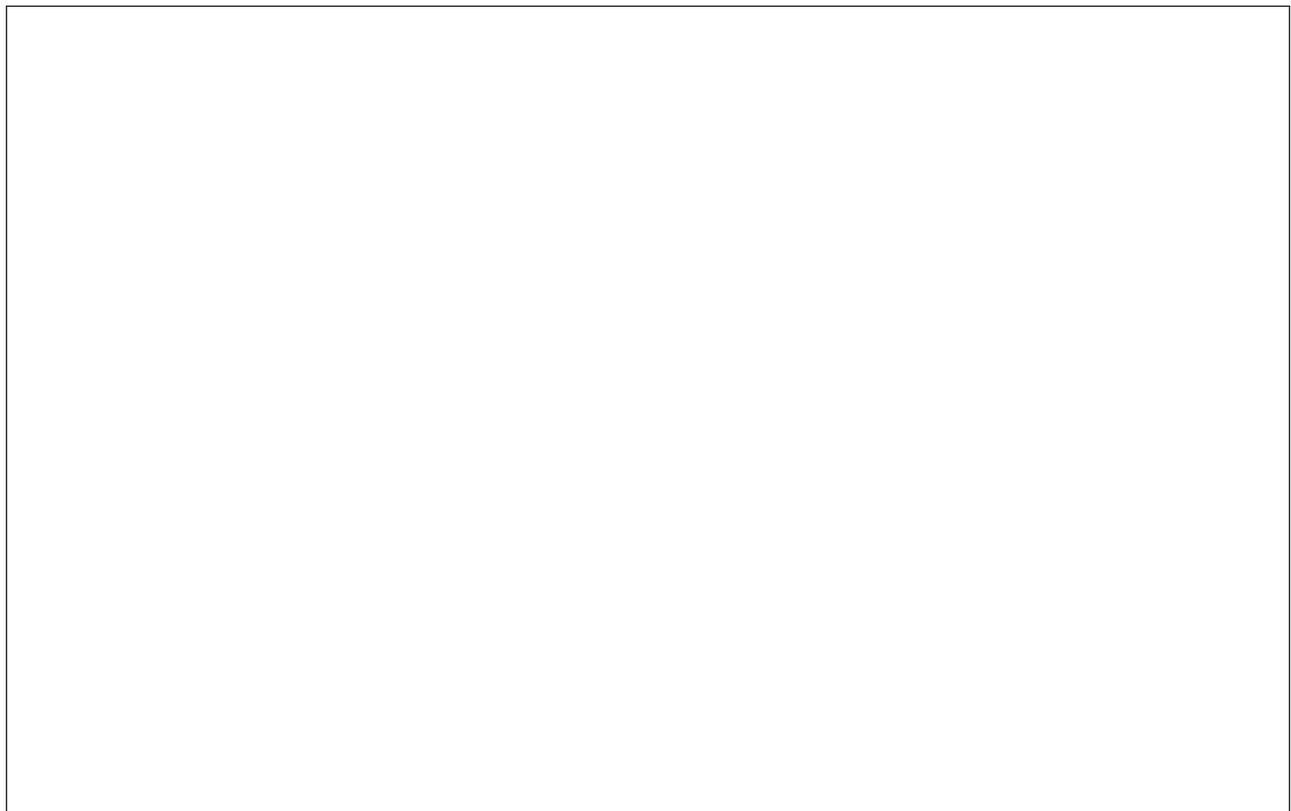
Aussi bien, les cadeaux que les « militaires » étaient voués à faire à ceux des « civils » n'étaient pas terminés. Passant de la guerre chaude à la guerre froide, les stratèges réalisaient ce que l'atome peut leur apporter en termes de transport : grâce à l'énorme concentration d'énergie contenue dans l'uranium, un sous-marin nucléaire peut naviguer sans mouiller pendant de nombreux mois. Des programmes sont lancés, où, encore une fois, les Etats-Unis tiennent la tête. Très vite, pour des raisons techniques qu'il serait trop long d'exposer ici, mais qui ont été rapportées maintes fois, ils convergent sur un certain type de réacteur, utilisant de l'uranium enrichi et l'eau sous pression comme refroidisseur et véhicule de l'énergie. Il est vrai qu'un réacteur de sous-marin est un petit engin, beaucoup plus petit qu'un réacteur électronucléaire normal. Mais, en quelques années, dans les années 50, une technologie va ainsi être mise au point. Et le fait que cette technologie ait d'abord été utilisée, avec succès, dans les conditions difficiles d'un engin militaire sous-marin lui donne une référence et un prestige considérables. Disons le clairement, à travers ces deux épisodes, l'électronucléaire a bénéficié, par les hasards de l'histoire, d'un sérieux « boost » au départ. Mais, soulignons le également, depuis, les chemins du nucléaire militaire et du nucléaire civil se sont séparés. Et il faut qu'il en soit ainsi. C'est progressivement, au cours des années 50, que le « bébé » fut passé aux bras de l'industrie civile.

## Une technologie made in USA

Aux Etats-Unis, tout naturellement, les grands champions de l'électromécanique entreprirent l'industrialisation et la commercialisation de centrales électriques que tout le monde s'accordait à présenter comme conduisant à une production d'électricité abondante et bon marché. Babcock et Wilcox, Westinghouse poursuivirent la voie des réacteurs à eau pressurisée, concurrencés par des outsiders tel Combustion Engineering. General Electric prit le parti de se distinguer en laissant bouillir l'eau de refroidissement du cœur et en envoyant la vapeur primaire ainsi produite directement à la turbine, créant ainsi les réacteurs à eau bouillante. Et je me rappelle que, jeune stagiaire en énergie nucléaire, j'eus l'honneur, lors de mon premier voyage aux « States », en 1956, d'être reçu, à Pittsburgh par

Westinghouse, à Schenectady par GE, qui me vantèrent, l'un et l'autre, la simplicité, la stabilité, les performances, la sûreté de leurs modèles respectifs et, plus encore, le fait qu'ils étaient chacun moins cher que leur concurrent. Oui, la concurrence était bien là et la compétitivité le but premier poursuivi. Le marché américain se caractérisait déjà à l'époque par la multiplicité des acteurs, notamment des compagnies d'électricité, mais aussi des sociétés d'ingénierie. Celles-ci s'empressèrent de prendre place sur le marché, proposant aux électriciens d'habiller le « Nuclear Steam Supply System », le NSSS, fourni par un des grands électromécaniciens (et à l'époque, il y en avait un grand nombre), pour en faire la meilleure centrale, correspondant aux besoins particuliers de leur client. Ceci aboutit à une multiplicité d'installations différentes, dont chacune avait sans doute ses vertus, mais aussi ses

défauts et, en tout cas, ses incertitudes. A l'opposé de la standardisation, et malgré le travail considérable accompli par les divers laboratoires et, notamment, ceux de l'Atomic Energy Commission, ce processus rendait difficile la validation par la recherche des solutions technologiques choisies. D'autant plus qu'il fallait aller vite, chaque électricien voulant bénéficier aussi rapidement que possible de la nouvelle technologie. Et, alors que les prototypes avaient été mis en route, à Shippingport et à Dresden, respectivement en 1957 et en 1960, avant même que tous les enseignements en aient été tirés, une énorme vague de commandes submergea l'Amérique, de 1960, environ, à 1975, date à laquelle elle devait s'arrêter net. Vers cette époque, une cinquantaine de centrales étaient déjà en service, dont beaucoup au sein de petites socié-



**Centrale nucléaire de Paluel.**

Photo : Marc Monceau - Médiathèque EDF.

tés ne possédant qu'une ou deux unités.

Il ne faut pas déduire de cet historique (d'ailleurs beaucoup trop schématique) que ces réacteurs étaient mauvais ; ils étaient simplement tous plus ou moins des prototypes. Leurs exploitants y faisaient, dans leur grande majorité, leurs premières armes. Et la mise en commun de l'expérience restait très limitée. Il ne faut donc pas s'étonner si, alors que certaines compagnies obtenaient des résultats très convenables, la moyenne des performances demeura longtemps médiocre, notamment le taux de disponibilité, de l'ordre souvent de 60 %. Il ne faut pas s'étonner non plus si, le 26 mars 1979, un concours de circonstances malheureuses conduisit à l'accident de Three Mile Island : une fusion partielle du combustible nucléaire mal refroidi à la suite de plusieurs erreurs des exploitants. A vrai dire, cet « accident », qui ne fit aucune espèce de dégât sur les personnes ou sur l'environnement (sauf psychologique), prouva deux choses : d'une part la robustesse du procédé, puisque, malgré la gravité des erreurs commises, les dispositifs de sûreté jouèrent pleinement leur rôle, d'autre part la sous-estimation faite jusque-là de la probabilité et de l'importance des erreurs humaines.

Dès l'année suivante, les Américains réagissaient avec la création de l'INPO, association de tous leurs exploitants nucléaires, destinée à mettre en commun leurs expériences et à favoriser une approche commune des problèmes et de leurs solutions comme la formation des opérateurs. Le succès de cette démarche est évident, puisque, quinze ans après, les performances des centrales ont crû de façon considérable - la disponibilité moyenne dépassant 80 % - et que les meilleurs experts considèrent

que la probabilité d'un événement analogue à celui de Three Mile Island, estimée d'après les précurseurs, a été divisée par un facteur de l'ordre de 100. Aussi bien cette démarche de l'INPO sera-t-elle imitée ultérieurement, après Tchernobyl, au niveau mondial, par la World Association of Nuclear Operators.

Aujourd'hui, nos amis américains se heurtent à un autre problème, celui de la nécessité de mettre à niveau certaines dispositions de leurs centrales, dispositions définies dans les années 60, et que leurs autorités de sûreté ne cautionnent plus dans les années 90. Et, dans certains cas extrêmes, le coût de ces améliorations peut être tel qu'il les amène à se poser la question de l'arrêt de leur centrale. Que ces quelques cas particuliers ne nous fassent pas oublier que le parc nucléaire américain demeure le premier au monde et que sa productivité continue à progresser d'année en année.

## Le programme électronucléaire français

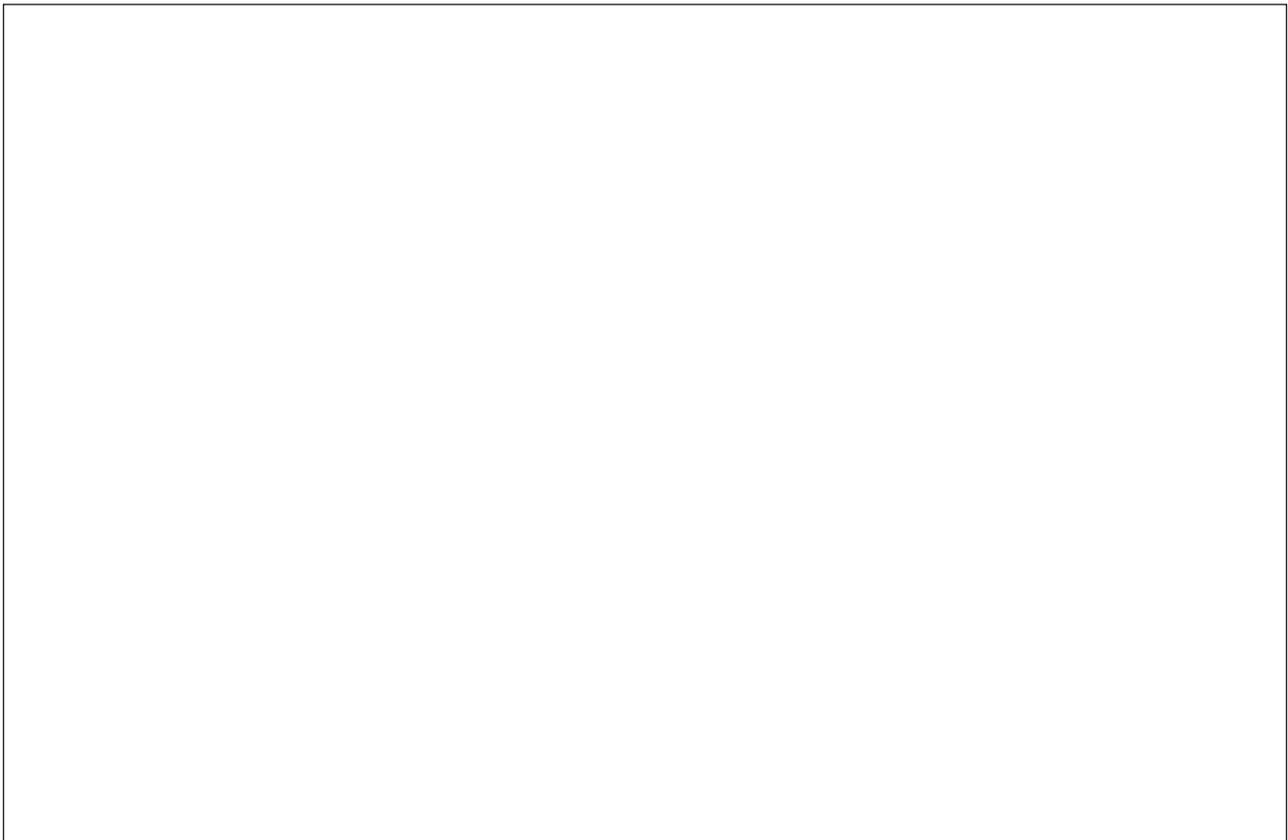
Que se passait-il, pendant ce temps-là, sur le reste de la planète ? De 1960 à 1975, tout un chacun rêvait d'avoir son programme nucléaire. Regardant avec envie ce qui se passait au sein de la nation phare qu'étaient les Etats-Unis, certains choisirent de lui emboîter le pas : ce fut le cas de l'Allemagne et du Japon, dès que les contraintes politiques d'après-guerre leur permirent d'accéder à l'atome. D'autres, tel le Canada qui avait, pendant la guerre, entamé son propre développement sur la filière à eau lourde, ou comme le Royaume-Uni ou la France, essentiellement par manque d'installa-

tions d'enrichissement de l'uranium, choisirent d'explorer d'autres voies. Quant à l'URSS, en posture de compétition avec le rival américain, elle s'engagea d'abord dans une filière originale (dérivée de réacteurs plutonigènes), les RBMK, puis, impressionnée par le succès des réacteurs à eau pressurisée, en développa une variante, les VVER. Son isolement ne lui permit pas de bénéficier de l'expérience des autres et de suivre la progression de la culture de sûreté des nations occidentales, et ceci, aggravé, à partir des années 80, par les difficultés économiques ambiantes, devait aboutir, en 1986, au désastre de Tchernobyl.

Le général de Gaulle avait créé le Commissariat à l'énergie atomique dès 1945. En 1953, il fut décidé de lancer un programme industriel devant permettre la production de plutonium à des fins militaires et préparer le futur électronucléaire. Ne disposant ni d'uranium enrichi ni

### En 1953, il fut décidé de lancer un programme industriel français devant permettre la production de plutonium à des fins militaires et préparer le futur électronucléaire

d'eau lourde, notre pays n'avait d'autre choix (à l'image d'ailleurs du Royaume-Uni à la même époque) que la filière dite « graphite gaz ». Chinon, Saint-Laurent et Bugey en furent les étapes, mais il apparut à la fin des années 60 que, outre des difficultés techniques liées à l'usage de l'uranium métal et au refroidissement par gaz, la taille de ces réacteurs et, par suite, leur compétitivité se heurtaient à certaines limites. On a beaucoup souligné les problèmes techniques rencontrés à cette époque, oubliant qu'ils étaient quasi inévitables, s'agissant de prototypes ; ces centrales n'en ont pas moins fonctionné de façon satisfaisante pendant de nombreuses années. Et on ne saurait, au contraire, sous-estimer la somme d'expérience qui fut alors acquise par les différents acteurs ; ce fut l'occasion de mettre en place une législation, de créer les organismes chargés de



**Vue aérienne de la centrale nucléaire de Creys-Malville.**

Photo : Michel Brigaud - Médiathèque EDF.

l'appliquer, de définir un certain nombre de standards, etc. et, surtout, d'acquiescer à une bonne pratique de la construction et de l'exploitation des centrales.

Cette expérience hautement bénéfique ne s'en acheva pas moins dans une certaine confusion, ce que d'aucuns appelèrent la « guerre des filières ». Le Commissariat souhaitait poursuivre dans la même voie. Electricité de France, responsable du développement électronucléaire, soulignait que la France ne pouvait à elle seule porter une technologie originale et voulait rejoindre les développements américains, alors en plein succès. C'est en 1969, après que l'on a cherché en vain à s'entendre avec nos voisins anglais ou allemands sur le « graphite gaz », que le débat fut tranché en faveur de l'introduction de technologies américaines sous licence. A la suite d'un appel d'offres, la technologie à eau pressurisée, portée

par la société Framatome, licenciée de Westinghouse, l'emporta. Cinq ans plus tard, les réacteurs à eau bouillante devaient être éliminés, la société licenciée de General Electric n'ayant pu démontrer ses capacités industrielles. Eviter la dispersion des efforts, se concentrer sur un seul modèle : nous étions entrés de façon tout à fait déterminée dans la standardisation.

### **Une attitude volontariste reposant sur une politique énergétique bien définie**

Il faut le noter, la commande de Fessenheim date de 1970, nettement avant la crise pétrolière, et il avait fallu une offre particulièrement attractive pour être acceptable. C'était une décision sage car elle anticipait sur les développements dramatiques de 1974. Il appartenait au gouvernement

Messmer, aux derniers jours de la présidence de George Pompidou, de décider que, pour échapper à une dépendance énergétique devenue insupportable, nous allions substituer le nucléaire au pétrole dans la plus grande part de la production d'électricité. L'objectif énergétique se précisa en 1979 : notre énergie devait provenir pour 30 % du pétrole, pour 30 % du charbon et du gaz, pour 30 % du nucléaire, le reste provenant des énergies renouvelables, dont l'hydraulique. C'est ce qui s'est trouvé à peu près réalisé vers 1990. On le voit, il y a là une attitude volontariste, une attitude reposant sur une politique énergétique bien définie. Remarquons, en même temps, que cette attitude n'allait pas à l'encontre des lois du marché, les offres faites par l'industrie française étant, depuis la crise pétrolière, tout à fait compétitives, nous dirions aujourd'hui « least cost ». Passée la première

période de la « gymnastique nucléaire », il n'a jamais été construit en France, et d'ailleurs dans la plupart des pays, de nucléaire non compétitif.

Cette compétitivité, elle était obtenue, non seulement par la standardisation, mais aussi par une planification permettant de passer aux constructeurs et fournisseurs des contrats groupés pour un grand nombre d'unités, échelonnées dans le temps. Un effort d'investissement put ainsi être programmé de façon rationnelle pour les fabrications lourdes. En même temps, il fallut adapter la technologie acquise par la licence aux spécificités et aux usages de l'industrie française ; certains voulaient « copier », mais cela se révéla rapidement impraticable (par exemple, les nuances de métal ne sont pas exactement identiques des deux côtés de l'Atlantique ; se comporteraient-elles de la même façon sous radiations ?). Sans s'écarter des caractéristiques de base, c'est donc une véritable filière française qui prit naissance. Le CEA, qui, entre temps, avait eu la sagesse d'accepter la nouvelle donne, trouva, dans les travaux de validation correspondants, un champ d'activité considérable. Les bureaux d'études également. En tout cas, cette orientation permit de s'affranchir de pratiquement toute importation de matériel (autre que celle des équipements traditionnellement importés, tels certains ordinateurs) : une centrale nucléaire française est aussi française que n'importe quelle centrale. A partir de 1981, la fin de la licence Westinghouse confirma cette situation, et permit à notre industrie d'agir librement à l'étranger.

Par ailleurs, le rôle de chacun était dorénavant tout à fait clair ; c'est ce que d'aucuns ont appelé le trépied : EDF, maître d'ouvrage et architecte industriel de l'ensemble, le CEA, organisme de recherche et fournisseur (via ses filiales) du combustible, enfin Framatome,

fournisseur de la chaudière. C'est évidemment oublier un peu vite nombre de fournisseurs spécialisés tout à fait importants, au premier rang desquels Alsthom pour les groupes turboalternateurs.

C'est dans ce cadre, très clairement défini d'un bout à l'autre de l'aventure, que furent construits les 58 réacteurs du programme nucléaire français. Investissement considérable (que l'on peut estimer en francs d'aujourd'hui, avec les autres installations nécessaires, à environ 800 milliards de francs), ils ont représenté, en quelque 20 ans, un bouleversement complet du parc de production d'électricité.

On le voit, l'approche française du nucléaire fut fondamentalement différente de l'approche américaine. Elle fut - et demeure à ce jour - essentiellement basée sur une politique énergétique. Répondant à une situation de crise, la dépendance excessive dans laquelle nous nous trouvions, devant admettre cette position désagréable d'une industrie licenciée d'une compagnie étrangère, notre pays sut réaliser que toute autre attitude l'aurait conduit, sinon à l'échec, du moins à de grandes difficultés. Les mauvaises langues, qui ne manquent pas dans le domaine nucléaire, soutiennent volontiers que le programme français a été subventionné. Il n'en est rien. Mais, grâce

à une vision à moyen terme, se traduisant par des contrats groupés (jusqu'à 1 6 « tranches »

commandées simultanément), une sélection rigoureuse des acteurs industriels, un contrôle strict des prix par le maître d'ouvrage, notre pays a su faire du nucléaire français un succès industriel et commercial de premier ordre. Il conviendra de s'en souvenir demain, même si nous devons reconnaître de profonds change-

ments dans notre environnement économique.

## Le cycle nucléaire

Il ne suffit pas de construire des centrales ; il faut aussi les alimenter en combustible et se préoccuper de ce combustible après son irradiation. De ce point de vue, le nucléaire est évidemment plus complexe que la filière pétrole, gaz ou charbon ; il faut bien payer le fait d'avoir une énergie particulièrement concentrée.

Le fait que la France dispose sur son sol de ressources en uranium significatives (contrairement à ce qu'il en est en matière d'autres ressources énergétiques) ne fut pas étranger à la décision de 1974. Aujourd'hui, le marché très ouvert a conduit à mettre ces ressources en réserve ; aussi bien, l'industrie française, essentiellement la Cogema, a su développer à l'étranger les capacités de production nécessaires à l'alimentation de notre parc. Quant aux capacités de traitement, elles existent en France même. La décision de 1974 eut pour corollaire immédiat celle de construire une usine de séparation isotopique, permettant de produire l'uranium enrichi nécessaire et de nous affranchir du quasi-monopole américain existant jusque-là. L'usine Eurodif, construite et exploitée dans un cadre inter-

**La France dispose de deux sites de stockage des déchets faiblement irradiés : l'un, à La Hague, est plein, l'autre, à Soulaïnes (Aube), en cours de remplissage, devrait répondre aux besoins pendant plusieurs décennies**

national, est capable d'une production de 10,5 millions d'UTS, supérieure à nos besoins. Elle est

une de nos grandes réalisations de l'après-guerre. La fabrication des éléments combustibles est assurée par plusieurs usines en France et en Belgique ; celle des combustibles mixtes uranium et plutonium (MOX) est assurée par la Cogema à Marcoule.

S'agissant de combustibles irradiés, les technologies sont évidemment particulièrement délicates.

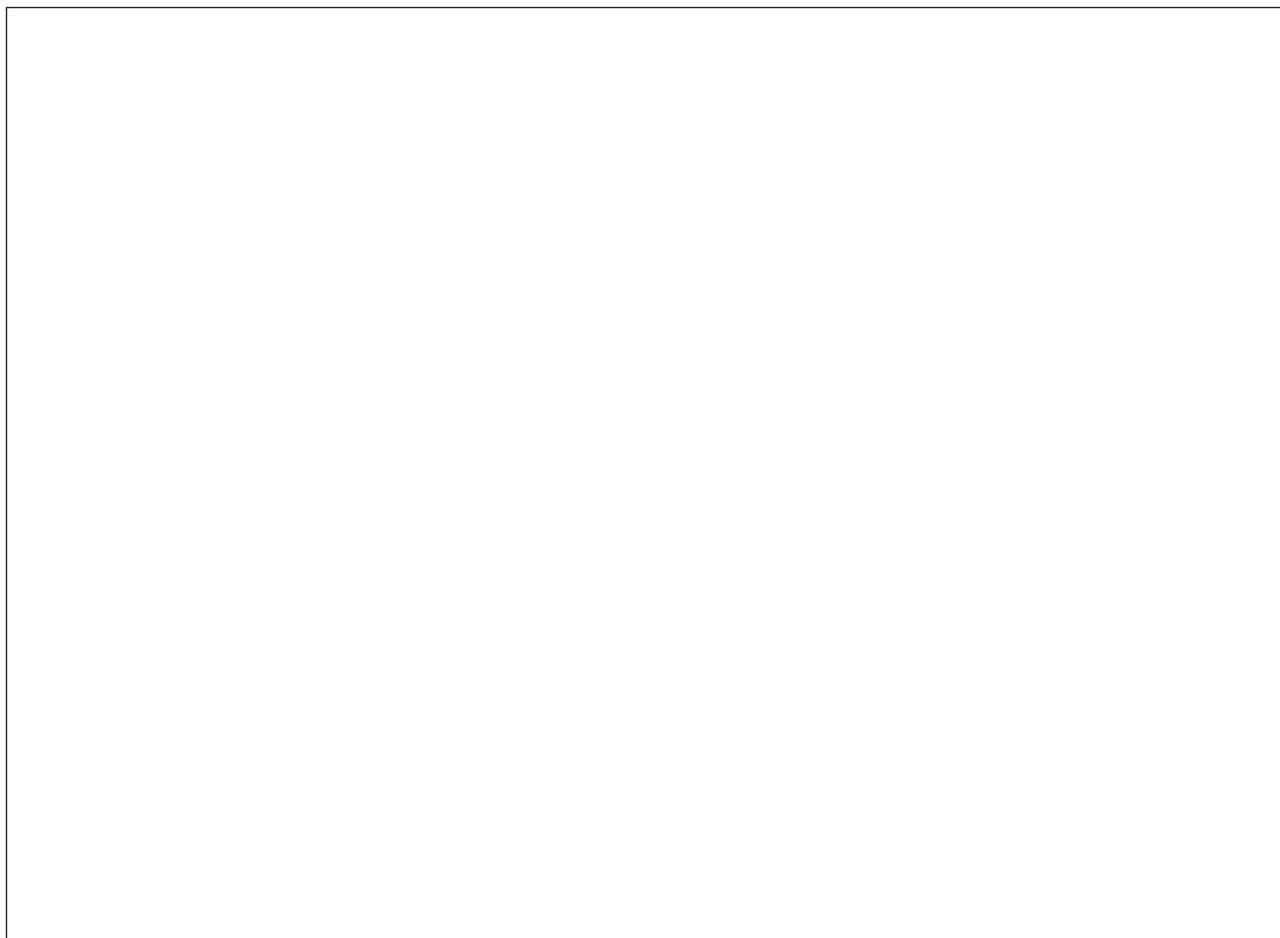
Mais la France (avec le Royaume-Uni) est le pays qui a la plus ancienne et solide expérience en matière de retraitement du combustible irradié. Cette opération est essentielle, car elle permet de trier les composants du combustible usé, les matières fissiles recyclables d'une part, les déchets radioactifs d'autre part ; ainsi peut-on à la fois diminuer la radioactivité à stocker et poursuivre l'utilisation de l'uranium. L'usine de La Hague, d'une capacité de retraitement de 1600 tonnes de combustibles par an, fonctionne régulièrement au-delà de sa capacité, et ceci sans incident notable. C'est dire l'expérience accumulée.

Reste à stocker les déchets ultimes. Certes, la filière nucléaire produit un volume de déchets bien inférieur à ce que produit, par exemple, l'usage du charbon. Mais

les déchets nucléaires font peur. Et il est vrai que ces déchets sont dangereux, s'ils ne sont pas convenablement conditionnés et stockés. Dès mon entrée au CEA en 1955, je pus me rendre compte combien ce problème, même s'il n'était pas encore réellement présent, préoccupait les responsables. Et il a, en vérité, fait l'objet d'études constantes depuis plus de quarante ans. Dès les années 70, la France disposait, avant tout le monde, du procédé de vitrification qui a prouvé depuis sa parfaite adéquation au problème (et qui ne manquera pas, le jour venu, d'être utilisé pour tous les déchets non nucléaires que l'on se contente aujourd'hui de disperser ou de stocker dans la cour de l'usine).

La France dispose de deux sites de stockage des déchets faiblement irradiés ; l'un, à La Hague,

est plein, l'autre, à Soullaines (Aube) est en cours de remplissage et devrait répondre aux besoins pendant plusieurs décennies. Cette question est donc résolue, à condition bien sûr que la surveillance de ces stockages soit convenablement assurée (et ceci pour une période limitée). Pour les déchets hautement radioactifs, si le procédé de conditionnement, la vitrification, existe, il reste à définir le stockage lui-même et sa localisation. Après les tentatives infructueuses, autour de 1990, pour trouver un site de stockage profond, une loi, votée le 30 décembre 1991, fixe la démarche à suivre : test pendant plusieurs années de « laboratoires », simulant les conditions du stockage, puis nouvelle loi définissant, en accord avec les populations



*Centrale nucléaire de Chinon.*

Photo : Marc Monceau - Médiathèque EDF.

concernées le ou les stockages proprement dits. Nous sommes donc dans une phase d'études de ce que doit être un stockage ; d'autres études, par exemple sur la transmutation de certains déchets à vie longue en déchets à vie plus courte se poursuivent en parallèle.

Aussi, s'il reste encore à ce jour un « chaînon manquant », notre pays peut-il espérer disposer dans quelques années, grâce à une politique dans la durée, de l'ensemble des maillons de la « chaîne nucléaire ».

Le nucléaire permet à l'industrie française d'être

exportatrice de ses technologies. A côté des exportations d'électricité qui rapportent à la France, bon an mal an, 15 milliards de francs, nous vendons des services, des centrales, des combustibles, des usines. On connaît les succès que nous avons remportés en Afrique du Sud, en Corée, en Chine, pour ne parler que des centrales. Certes, il ne s'agit pas, ce faisant, de favoriser la prolifération ou de répandre des installations qui ne seraient pas exploitées avec toute la compétence et la prudence nécessaires. Notre pays applique en ce domaine les règles internationales ; par ailleurs, il procède, en général, par voie de partenariat avec les organismes clients, assurant ainsi le transfert de technologie et la formation des personnels nécessaires.

## Des résultats particulièrement remarquables

Le nucléaire français n'a pas été exempt de maladies de jeunesse ; n'avait-on pas d'ailleurs pris en compte dans les calculs économiques un taux de disponibilité initial de 70 % pour en tenir compte ? En fait, la valeur mesurée a toujours été supérieure. Un « effet

parc » a été observé au cours des années 80 : toute anomalie, observée sur une tranche, pouvant se retrouver sur les tranches analogues, les précautions prises pour en éliminer l'éventualité pesaient sur les performances de l'ensemble. Et ces précautions, répondant à des exigences croissantes, ont engendré une dérive inquiétante des dépenses de maintenance. Un effort de rigueur fut alors entrepris et a porté ses fruits. Une baisse continue des

dépenses d'exploitation de 2 % par an a été observée de 1992 à 1997.

En parallèle, la disponibilité des équipements et la sûreté de l'ensemble ne cessaient de s'améliorer ; en témoigne l'évolution des différents indicateurs (alors que la collecte des événements se fait chaque année plus fine) : par exemple, le nombre des arrêts automatiques, non programmés, par 7 000 heures de criticité est passé de 3 en 1990 à 1,4 en 1997. La disponibilité des centrales est aujourd'hui régulièrement au dessus de 80 % et un objectif de 85 % est en vue pour la fin du siècle. Par ailleurs, on peut dire qu'aucun signe de vieillissement n'est perceptible à ce jour ; les études de durée de vie entreprises laissent penser que les centrales existantes pourraient vivre largement plus de 40 ans.

Le combustible nucléaire a été si remarquablement performant depuis le démarrage du nucléaire que l'on est tenté de l'oublier. C'est pourtant un succès pluridisciplinaire tout à fait remarquable. La mise en service du combustible enrichi en plutonium dit combustible MOX, qui s'est passée sans problème, a confirmé la qualité des études qui l'ont précédée et des procédés de fabrication utilisés. La santé du combustible est un facteur important, non seulement de

la disponibilité, mais aussi de la propreté des circuits et, donc, de la diminution des doses reçues par les agents de maintenance. Un effort particulier est fait en ce domaine : le nombre d'intervenants recevant une dose annuelle supérieure à 20 millisievert (qui était de 1200 en 92, et de 200 en 97) devrait passer à 0 à l'horizon 2000.

Des résultats similaires sont observés dans les usines du cycle : la disponibilité y est excellente, le volume des déchets y décroît régulièrement ainsi que, là où le problème se pose, les doses reçues par le personnel. Ce ne sont pas quelques éléments ponctuels et d'ailleurs généralement insignifiants, mis en avant par les opposants, qui peuvent occulter valablement un tableau tout à fait positif et en progrès.

Si le nucléaire produit dans le monde 16 % de l'électricité consommée, la France, avec 80 % de nucléaire et environ 20 % d'hydraulique, dispose d'une électricité totalement nationale. Cette électricité est affranchie des risques du marché : EDF peut donc s'engager sur ses prix à long terme, ce qui est très important pour certaines industries grosses consommatrices, et elle le fait à la baisse : après une baisse de l'ordre de 20 % entre 1986 et 1996, une nouvelle baisse de 14 % est en cours sur la période 1997/2000.

N'omettons pas de souligner d'autres avantages du nucléaire. D'une part, il est un outil puissant d'aménagement du territoire, puisque, contrairement à l'hydraulique et au charbon, il peut être installé, non en fonction de la matière première, mais en fonction des besoins énergétiques des régions et de la stabilité du réseau ; malgré des oppositions locales qui ont empêché certaines implantations souhaitables, notre parc de production est mieux adapté aux besoins, et ce avec un nombre de centrales bien inférieur à celui qu'il était il y a trente ans. D'autre part,

le nucléaire est générateur d'emploi, puisqu'il consiste à rémunérer du travail, en lieu et place d'achats de charbon et de pétrole importés. Enfin, on le sait, l'électricité nucléaire évite les rejets de gaz à effet de serre, notamment le gaz carbonique. Ceci permet à la France de rejeter globalement environ 6 tonnes de CO<sub>2</sub> par habitant contre 10 à 12 pour l'Angleterre et le Danemark ou 13 pour l'Allemagne. Elle permet donc à notre pays d'aborder avec sérénité les échecs fixés à Kyoto. Energie écologique, elle évite également les autres rejets nocifs des centrales conventionnelles.

## Laisser la porte du nucléaire ouverte

La stagnation des programmes nucléaires mondiaux, y compris en France, incite certains à penser que le nucléaire n'aura été, dans l'histoire énergétique, qu'une parenthèse. Et il en résulte incontestablement une démobilisation des efforts, qui est lourde de dangers.

Or tous les experts s'accordent à penser que les besoins en énergie vont continuer à croître au niveau mondial, quels que soient les efforts d'économie accomplis. Quels efforts peuvent faire les 2 milliards d'hommes et de femmes qui ne disposent toujours pas d'électricité ? Au cours du prochain siècle, la consommation d'énergie devrait avoir doublé par rapport à ce qu'elle est en 1998 et la part d'électricité dans cette énergie totale aura sûrement augmenté. Peut-on imaginer faire face à cette situation, à des conditions économiques raisonnables, sans une contribution du nucléaire ? Seule la découverte d'une source nouvelle pourrait nous le faire croire. Tant

que cette découverte n'est pas faite, nous n'avons pas le droit de l'anticiper. Et dans un monde qui prend de plus en plus conscience des risques de changement climatique, ne devons-nous pas remplacer au moins une part des combustibles fossiles par des formes d'énergie non émettrices de gaz à effet de serre ? Certes, les énergies renouvelables peuvent y contribuer, mais seulement de façon limitée.

### Une baisse continue des dépenses d'exploitation de 2 % par an a été observée de 1992 à 1997

impérative qui soit, de laisser la porte du nucléaire ouverte, comme d'ailleurs celles de toutes les autres formes d'énergie, de façon à pouvoir prendre demain les décisions les plus appropriées à l'état de nos connaissances et aux contextes sociopolitiques qui prévaudront. Il se trouve que, sauf en Extrême-Orient, les besoins de capacités de production nouvelles, suite au ralentissement de la croissance, sont aujourd'hui très faibles et que nous n'avons donc pas de décision d'investissement à prendre. Il nous faut mettre ce temps à profit. Pour ce faire, deux ordres de réflexion paraissent essentiels.

L'énergie nucléaire est une technologie jeune. L'historique rappelé ci-dessus ne montre-t-il pas qu'en fait les centrales nucléaires n'ont été véritablement étudiées qu'environ une vingtaine d'années aux Etats-Unis (et dans quelques autres pays comme le Canada et l'URSS) et ensuite une vingtaine d'années en Europe ? Est-ce suffisant pour une technologie totalement nouvelle sous certains aspects ? Ensuite, l'essentiel des travaux faits, d'un côté comme de l'autre, a consisté à rendre les centrales (existantes) plus résistantes aux agressions externes et aux déficiences internes (y compris humaines) réelles ou supposées. Il

en est résulté inévitablement un entassement de mesures de précaution, souvent prises à la hâte, qui a singulièrement complexifié les installations, les rendant à la fois plus coûteuses et plus difficiles à gérer. Nous avons aujourd'hui, grâce à l'expérience, grâce aussi aux méthodes d'analyse probabiliste, la possibilité de distinguer ce qui est important de ce qui l'est moins, donc de simplifier nos installations, sans en diminuer, bien sur, le niveau de sûreté et peut-être, même, en l'augmentant. Il faut faire ce travail, sur les différentes filières mises en œuvre jusqu'ici. Et le faire en liaison étroite avec les autorités de sûreté compétentes, faute de quoi les promoteurs les trouveraient en travers de leur route le moment venu.

Durant les dernières années, les énergies concurrentes, comme, par exemple, les turbines à gaz, ont fait de grands progrès, notamment économiques ; elles l'ont fait d'ailleurs pour regagner le terrain qu'elles avaient perdu. Pendant ce temps-là, le nucléaire, embourbé dans ses querelles avec les opposants, n'a pas fait le même effort. Et pourtant, il a à l'évidence un potentiel de progrès beaucoup plus important.

Notre pays prépare l'avenir, en commun avec la République Fédérale d'Allemagne, en définissant en détail l'European Pressurised Reactor (EPR), centrale directement inspirée des modèles développés en France et en Allemagne. Cette synthèse entre deux modèles également réussis constitue un exercice tout à fait passionnant qui devrait déboucher sur un produit très attractif, « licenciable » à la fois dans les deux pays, ce qui permet de penser qu'il le serait également ailleurs. Aussi bien d'autres pays européens s'intéressent-ils au programme par le biais de l'association EUR. Il serait hautement souhaitable qu'un premier exemplaire d'EPR soit

construit dans un avenir relativement proche (malgré l'absence de besoin de nouvelle capacité) de façon à anticiper le renouvellement du parc vers 2010.

Ne faut-il pas en même temps reconsidérer certains choix ? Il est clair, par exemple, que les réacteurs à eau bouillante, qui, par nature, sont exemptés des problèmes liés aux générateurs de vapeur mais qui en rencontrent d'autres, ont fait, ces dernières années, beaucoup de progrès. Vaut-il la peine, même si l'on a choisi une autre voie au départ, « d'aller y voir » ?

Et puis, il y a les centrales de seconde génération, celles qui permettent, à travers la fission du plutonium produit par les réacteurs de première génération, d'utiliser la totalité du minerai d'uranium comme source d'énergie (alors que les centrales actuelles n'en consomment que 1 à 2 %). La France a perçu - comme d'autres pays - l'intérêt de ce développement, crucial pour l'usage à long terme du nucléaire, dès les années 60, et y a consacré, à travers Cadarache, Rapsodie, Phénix et Superphénix, beaucoup d'efforts. Malheureusement, des vicissitudes politiques ont conduit à l'arrêt prématuré de Superphénix. Cette décision, intervenant au moment où les maladies de jeunesse (beaucoup moins nombreuses qu'on a voulu le dire, mais dont l'impact s'était trouvé amplifié par les procédures administratives) apparaissent surmontées, au moment où l'arbre (qui avait, certes, coûté cher) allait porter ses fruits, a été ressentie par tous ceux qui s'impliquaient dans ce programme depuis de nombreuses années comme une profonde injustice et un coup porté à la préparation du nucléaire de demain. Elle ne doit pas, en tout cas, signifier l'arrêt des recherches et travaux concernant les réacteurs à neutrons rapides. La mise au point d'une nouvelle filière est une œuvre à la fois d'envergure et de longue durée ; c'est pour cela

que les développements effectués l'ont été dans un cadre international. C'est dans un tel cadre qu'il convient de les poursuivre.

Second ordre de réflexion, il est clair que les programmes nucléaires du futur ne se réaliseront pas dans les mêmes conditions que ceux du passé. Non seulement il paraît exclu qu'il y ait en 2020 un « programme nucléaire français » qui se ferait plus ou moins en contradiction avec ce qui se passerait dans les pays voisins, mais, bien au-delà, je crois que nous avons beaucoup de mal à imaginer ce que sera alors le cadre dans lequel se développeront les nouvelles capacités de production d'électricité. Quels seront les acteurs de cette production, comment seront-ils reliés aux consommateurs, quelles seront les parts de la production centralisée et de la production décentralisée ? Ce ne sont là que quelques-unes des questions auxquelles il faudrait pouvoir répondre pour préparer efficacement l'avenir.

Nous avons tous tendance à penser que l'évolution « libérale » actuelle ne favorise pas l'énergie nucléaire. Ceci est exact si l'on pense le nucléaire en ses termes actuels. Il faut donc l'adapter pour être prêt à ce nouveau contexte. C'est une tâche difficile, certes, car elle oblige à remettre en cause beaucoup de nos présupposés. Faut-il, pour faciliter la tâche des petits producteurs, « revisiter » les centrales modulaires, plus petites, donc plus faciles à financer, dont un processus industriel adéquat permettrait de limiter le coût ? Faut-il, au contraire, imaginer le nucléaire dans un cadre systématique d'associations éventuellement internationales ? Il est temps de libérer nos imaginations pour être prêts au monde énergétique du vingt-et-unième siècle.

Il ne manque certainement pas d'entrepreneurs prêts à investir dans le nucléaire et à proposer au marché de demain les produits

convenables. Mais il y a à cela une condition impérative : qu'ils soient convaincus que ce marché existe, qu'il ne sera pas encombré d'a priori idéologiques, que maîtres d'ouvrage et fournisseurs pourront y exercer leur métier, bien sûr dans le respect de la sûreté et de l'environnement, mais de façon rationnelle. Il n'est que temps que les responsables politiques reconnaissent de façon non ambiguë l'importance, présente et future, du nucléaire et incitent, par l'établissement de règles claires, à une préparation active de l'avenir. S'il prennent leurs responsabilités, ils n'auront pas de mal, en s'appuyant sur les résultats du nucléaire d'aujourd'hui, à convaincre les citoyens.

Dans le cas contraire, nous aborderions les échéances des années 2010/2020 dans l'impréparation, nous serions alors acculés à des solutions à court terme, et nous aurions manqué un rendez-vous de l'histoire absolument crucial pour l'avenir de notre planète. ●