François de Closets

Déchets nucléaires : peut-on se passer du retraitement ?

Forte de son avance technologique, la France est pratiquement la seule à poursuivre dans la voie du retraitement alors que les pays étrangers sont de plus en plus nombreux à pratiquer le stockage sans retraitement. Voici cette autre solution que les responsables français veulent ignorer.

L'avance française en matière de retraitement nucléaire est mondialement reconnue. Jusqu'à présent la thèse française officielle veut que ce retraitement soit écologiquement indispensable à l'avenir de l'énergie nucléaire. Or c'est une position que la France est pratiquement la seule à défendre. Le développement du nucléaire, aussi bien que les nécessités de la sécurité, serait, selon de nombreux spécialistes non-français, encore mieux garanti si l'on se contentait de stocker les combustibles irradiés sous leur forme initiale. Mais la France refuse cette alternative et présente le retraitement comme la seule solution possible. Quelle est cette autre solution connue des seuls étrangers et qui a, en outre, l'avantage de ne pas exclure le retraitement lorsque la surrégénération aura fait la preuve de son efficacité ou que le stockage se sera révélé impraticable à très long terme.

DANS les années 60, les Français faisaient la course à l'avion supersonique avec les Américains. Puis un jour, à leur grande stupéfaction, ces derniers renoncèrent. Nullement troublés dans leurs certitudes, les hauts responsables de l'aéronautique française expliquèrent péremptoirement que ce retrait masquait une victoire : celle du Concorde sur le S.S.T. Les Etats-Unis, conscients de leur retard irrattrapable sur l'avion franco-britannique, préféraient renoncer à la bataille et se préparer pour le supersonique de deuxième génération qu'ils allaient lancer dans les plus brefs délais. Loin de s'interroger, il fallait donc redoubler d'efforts pour exploiter ce succès. Dix ans plus tard, il n'est toujours pas question de supersonique américain, mais il est fortement question d'abandonner la ruineuse exploitation de Concorde. Les Français avaient cru être les premiers alors qu'ils étaient les seuls – avec les Britanniques –; ils avaient considéré leur option comme la seule possible, alors qu'il en était une autre. Face à la perspective du transport supersonique, il fallait également considérer celle du « non-transport supersonique ».

La question se pose aujourd'hui de savoir si, face à la perspective du retraitement des combustibles irradiés, il ne faut pas également considérer celle du « non-retraitement ». Non que l'histoire se répète nécessairement. Mais le fait est qu'aujourd'hui les Français sont pratiquement les seuls à poursuivre dans cette voie et que les responsables du programme nucléaire posent en postulat « hors du retraitement point de salut », alors qu'à l'étranger on considère, et de plus en plus sérieusement, l'éventualité du stockage définitif des combustibles irradiés non retraités. Il paraît donc indispensable à la clarté du débat de savoir qu'en ce domaine les Français sont les seuls, en tout cas, à estimer qu'il n'est aucune autre solution envisageable. Voyons donc, afin de ne pas risquer des mésaventures style Concorde, ce que peut être cette autre solution sur laquelle le silence est délibérément entretenu en France.

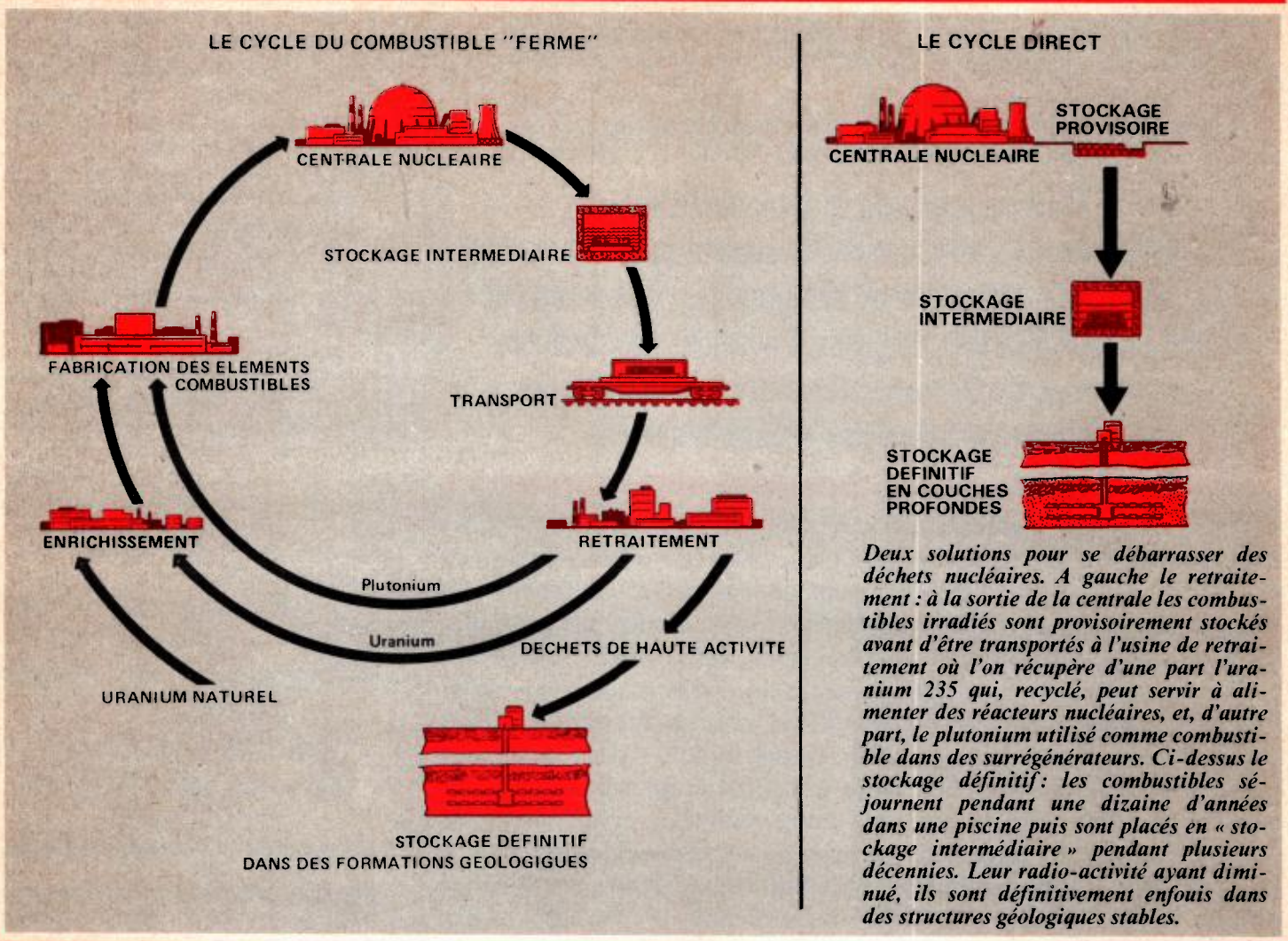
Que les techniciens français possèdent une avance mondiale dans le retraitement des combustibles irradiés, le fait n'est pas contestable. Cette supériorité éclate avec insolence dans les clauses exorbitantes imposées par la Compagnie Générale des Matières Nucléaires (COGEMA) à ses clients étrangers. Seul un quasi-monopole permet de traiter aussi durement ses partenaires. Mais on ne peut, à l'inverse, considérer qu'un succès sur le simple plan technologique justifie une telle entreprise. De la télévision à l'aéronautique, notre histoire récente est trop riche de ces accomplissements qui ne furent jamais transformés sur le plan économique, pour s'en tenir à cette seule appréciation. En dépit des premières batailles remportées, il faut rester lucide, se demander jusqu'où une trop bonne affaire est encore une affaire, dans quelle mesure l'évidence du jour sera encore celle du lendemain.

Car le retraitement a pour lui l'évidence. Tant sur le plan écologique qu'économique, il s'impose comme la meilleure solution au point de paraître la seule concevable. Il doit permettre une meilleure gestion des déchets produits par l'industrie nucléaire. N'est-il pas inadmissible de laisser pourrir dans un coin des résidus aussi dangereux que les produits de fission, le plutonium, les actinides ? Il serait proprement scandaleux de faire ce cadeau empoisonné aux futures générations.

En France le retraitement fait l'unanimité des spécialistes en sa faveur

Au contraire le retraitement permet une véritable gestion de ces déchets. Chacun est traité selon sa nature et sa destination finale. On laisse les produits de fission se désactiver avant de les vitrifier, on récupère le plutonium pour le « rebrûler », etc. Il existe donc une sorte de consensus à la française sur l'absolue nécessité du retraitement comme complément de l'industrie nucléaire. C'est ce qu'exprimait André Giraud en avril 1976 : « un peu de réflexion amène à conclure que l'on ne peut ni stocker longtemps les combustibles irradiés dans les réacteurs à eau – il faut les retraiter – ni stocker le plutonium qui s'accumulerait en quantités croissantes. » Valéry Giscard d'Estaing renchérissait en mai 1977 : « Nous ne voyons pas d'ailleurs comment il est possible à quelque groupe de pays que ce soit, dans l'avenir, de traiter le problème des déchets nucléaires sans retraitement. » Et même un organisme aussi critique que la C.F.D.T. disait : « Dans l'état actuel de la technique, ne pas retraiter correspondrait à ne pas assumer les responsabilités qui découlent de l'engagement nucléaire. »

Le discours a à peine évolué au cours des derniers mois. La COGEMA dans son rapport de septembre 81 reconnaît bien d'entrée qu'il existe deux solutions définitives possibles : « Le retraitement des combustibles irradiés et le stockage direct et définitif des combustibles sous leur forme



Deux solutions pour se débarrasser des déchets nucléaires. A gauche le retraitement : à la sortie de la centrale les combustibles irradiés sont provisoirement stockés avant d'être transportés à l'usine de retraitement où l'on récupère d'une part l'uranium 235 qui, recyclé, peut servir à alimenter des réacteurs nucléaires, et, d'autre part, le plutonium utilisé comme combustible dans des surrégénérateurs. Ci-dessus le stockage définitif : les combustibles séjournent pendant une dizaine d'années dans une piscine puis sont placés en « stockage intermédiaire » pendant plusieurs décennies. Leur radio-activité ayant diminué, ils sont définitivement enfouis dans des structures géologiques stables.

initiale. » Mais cette seconde voie est évacuée en quelques lignes, chargée de tous les défauts, les travaux étrangers et réalisations en cours sont systématiquement ignorés et l'on souligne que tous les grands pays nucléaires se déclarent partisans du retraitement sans dire que désormais ils étudient également et conjointement la seconde solution.

Il faut dire que les avantages écologiques du retraitement sont renforcés par l'intérêt économique. Celui-ci est double. Tout d'abord les combustibles irradiés contiennent encore de l'uranium 235 fissile utilisable dans des réacteurs classiques. Lors de l'entrée en centrale la teneur en 235 était de l'ordre de 3 %. Lors du déchargement, après une année passée dans le cœur, on est encore à 0,9 %, soit un pourcentage supérieur à celui de l'uranium naturel. Le plus rationnel est donc de récupérer cet uranium et de le recycler dans des usines d'enrichissement où il repassera dans des barreaux à 3 % pour retourner dans les centrales. Premier intérêt.

Mais il y a plus et mieux. Sous l'effet de l'irradiation dans le cœur, du plutonium s'est formé. On en compte environ 9 kilos par tonne d'uranium irradié. C'est, à priori, bien gênant puisqu'il s'agit d'un élément à la radiotoxicité très élevée et de très longue durée de vie. Impossible donc de s'en débarrasser. Or il se trouve que ce plutonium indésirable est lui-même un combustible nucléaire capable d'être « brûlé » dans d'autres centrales, des surrégénérateurs, qui, tout à la fois dégagent de l'énergie et reforment du plutonium à partir de l'uranium appauvri.

Le plutonium, invité indésirable de l'énergie atomique, devient l'intermédiaire précieux qui permet de tirer l'énergie nucléaire de la totalité de l'uranium et non du seul 0,7 % de l'U 235. Nous pouvons donc tout à la fois multiplier par 50 ou plus les réserves énergétiques de l'uranium et, du même coup, nous débarrasser du plutonium qui disparaît dans l'opération.

Ainsi apparaît la possibilité de réaliser un cycle du combustible complètement bouclé : partant de l'uranium naturel, on passe à l'enrichi qui libère l'énergie de l'U 235 dans les centrales classiques. Avec le retraitement on récupère le plutonium grâce auquel on forme les barreaux combustibles de centrales surrégénératrices où il va tout à la fois libérer de l'énergie et transformer l'uranium en plutonium. A son tour ce plutonium est récupéré par retraitement de ces combustibles pour former de nouveaux éléments combustibles au plutonium lesquels retourneront dans les surrégénérateurs et ainsi de suite. Le cycle est bouclé. C'est bien la façon la plus élégante de se débarrasser du plutonium et toute autre solution paraît intellectuellement moins satisfaisante.

On ne peut contester qu'il s'agisse là de la mise en œuvre la plus rationnelle de l'énergie nucléaire. Le tout est de réaliser effectivement un tel enchaînement d'opérations, ce qui est loin d'être simple. Pour tout dire, nul aujourd'hui ne peut assurer que l'ensemble soit industriellement réalisable dans des conditions économiquement et écologiquement acceptables.

A l'étranger le stockage rallie les suffrages de nombreux experts

A l'inverse, le non-retraitement a toutes les apparences d'une non-solution. Com-

ment admettre qu'on se contente de conserver ces combustibles si dangereux au lieu d'en récupérer le plutonium afin de le détruire ? Pourtant, si l'on veut bien lire ce qui s'écrit et voir ce qui se fait à l'étranger, force est de reconnaître que les experts sont de plus en plus nombreux à se prononcer pour cette solution ou, à tout le moins, en reconnaître la viabilité. Lorsqu'en 1979 les Suédois soumirent à des experts internationaux leur projet K.B.S. 2 visant à stocker définitivement les combustibles irradiés, les Français furent seuls à estimer que cette solution n'était pas satisfaisante. L'Agence Atomique Internationale de Vienne a créé un groupe consultatif pour étudier l'état des travaux dans le monde sur ce problème. Une étude de septembre 1980, de deux chercheurs du Battelle, O.J. Wick et M.O. Cloninger, conclut qu'un dépôt géologique de combustibles irradiés ne présenterait, dans de bonnes conditions, pas plus de dangers qu'un gisement naturel d'uranium. Désormais à toutes les conférences internationales sur le cycle du combustible, on présente un certain nombre de contributions sur le stockage direct. Bref lorsque les Français disent qu'il est impossible de ne pas retraiter, il faut savoir qu'impossible n'est pas étranger et que, partout dans le monde, on s'interroge sur la voie à suivre.

A l'origine, les principales puissances nucléaires, Amérique, Grande-Bretagne, France, se lancèrent dans le retraitement à des fins militaires pour récupérer le plutonium des bombes. Elles passèrent ensuite tout naturellement du militaire au civil avec la perspective de maîtriser le cycle complet du plutonium.

Mais, à ce stade, des difficultés commencèrent, notamment lorsqu'il fallut passer du retraitement du combustible métal provenant des centrales à uranium naturel au combustible oxyde des centrales à uranium enrichi. Simples péchés de jeunesse classiques dans les techniques débutantes, mais qui ne manquèrent pas d'obérer les coûts de l'opération.

Aux Etats-Unis Nuclear Fuel Service, société privée, entreprit dès le milieu des années 60 le retraitement des combustibles provenant des centrales à eau ordinaire et uranium enrichi. 600 tonnes d'uranium furent ainsi retraitées dans les années 1966-1972 à l'usine de West Valley. L'opération avait été lancée sur des bases purement commerciales et la volonté de serrer les coûts avait conduit à sous-estimer gravement les problèmes de sécurité. Il s'agissait d'installations assez « classiques » dans leur conception, très éloignées de ce qu'est, par exemple, l'usine de La Hague aujourd'hui. L'insuffisance de cette technique conduisit à des incidents et contaminations tels que l'usine dut être fermée. Pour la rendre conforme aux normes de sécurité, il eût fallu entreprendre des travaux qui auraient fait augmenter prodigieusement le prix du retraitement. On préféra arrêter les frais.

General Electric avait commencé la construction d'une usine dans l'Illinois. Elle fut mise sous cocon avant d'avoir jamais fonctionné. La troisième usine, celle d'Allied Gulf Nuclear Services à Barnwell, fut de même abandonnée avant d'avoir été terminée.

Car, sur ces entrefaites, le Président Carter, en 1977, avait décidé « de différer indéfiniment » le cycle du plutonium, arrêtant tout à la fois les opérations de retraitement et la construction du surrégénérateur à Clinch River. Les Français n'hésitèrent pas à imputer cette décision à la « sottise » de Carter qui, pourtant, avait certaines connaissances en la matière. En tout état de cause il ne pouvait s'agir que d'une pause qu'il fallait mettre à profit pour donner un avantage décisif aux techniques françaises car, à n'en pas douter, les Américains ne manqueraient pas de se relancer dans l'industrie du plutonium sitôt l'ère Carter terminée. De fait, Reagan se déclara favorable au cycle fermé du combustible. Mais dans son optique libérale, l'Administration n'a pas à s'en mêler, il ne peut s'agir que d'une affaire commerciale. Aux industriels de construire usines de retraitement et surrégénérateurs. Or ceux-ci ne semblent guère pressés de saisir cette opportunité. Ils ne veulent se lancer qu'avec des assurances de l'Etat, notamment en ce qui concerne une participation publique au financement, un engagement sur la reprise du plutonium à un prix déterminé, et une assurance quant aux règles de sécurité définitives. Faute d'obtenir de telles garanties, ils piaffent d'impatience, mais ne s'engagent pas. Pour ce qui concerne le surrégénérateur de Clinch River, l'incertitude continue avec des virevoltes dans tous les sens. Certes les concurrents américains envient la COGEMA, mais ils n'envisagent de suivre ses traces qu'avec les garanties commerciales et techniques existant en France.

En Grande-Bretagne, la B.N.F.L., société mixte, qui avait déjà retraité 20 000 tonnes de combustible provenant de centrales à l'uranium naturel et 100 tonnes d'oxyde d'uranium, produisant au total 12 tonnes de plutonium,dut arrêter en 1973 le retraitement des combustibles oxydes à la suite d'une contamination à leur usine de Windscale. Mais, bien décidés à poursuivre, les Britanniques furent les premiers à passer des contrats pour retraiter des combustibles provenant de l'étranger. Ils s'engagèrent ainsi pour environ 3 000 tonnes – contre plus de 7 000 pour la COGEMA –, encore fallait-il avoir l'autorisation d'étendre l'usine de Windscale. A la suite d'une procédure publique par « hearings », celle-ci fut accordée par le parlement. C'est le projet THORP, très ambitieux, puisque la capacité de la future usine devrait atteindre 1 200 tonnes/an en théorie et plus de la moitié en pratique. Mais le programme pourraît coûter une vingtaine de milliards de francs. Un chiffre colossal qui en fait constamment différer la réalisation.

Reste la France qui, elle, va de l'avant avec l'extension de La Hague, mais qui, on le voit, pourrait finir par rester seule en course et pas seulement seule en tête. A priori cela paraît aberrant. Gardons-nous pourtant de conclure trop rapidement que nous sommes dans le vrai et que les autres font des absurdités. En fait cette évolution traduit tout à la fois l'apparition de difficultés et de possibilités dont il faut prendre la mesure, sans pour autant se croire obligé d'en tirer les mêmes conclusions que les autres.

Les difficultés tout d'abord, ce sont celles rencontrées par le cycle uranium-plutonium. Elles sont de plusieurs ordres. Citons pour mémoire – en dépit de son extrême gravité – l'argument lié à la prolifération des bombes. Mettre en circulation des tonnes de plutonium ainsi que les techniques permettent de le produire risque de faciliter la réalisation de « petites bombes » ; ne pas toucher aux combustibles présenterait un moindre risque. Deuxième série de difficultés, celles liées à la maîtrise des technologies. Que peut-on dire aujourd'hui ? Le retraitement des combustibles d'oxyde d'uranium provenant des centrales à eau ordinaire est certainement faisable et, avec quelques efforts de déve-

Déchargement d'un conteneur « Castor » fabriqué en R.F.A. Il peut tout à la fois servir au transport et au stockage intermédiaire, voire définitif, du combustible irradié.

loppement, réalisables sur le plan industriel. Cela paraît acquis. L'expérience de Phénix permet d'attendre avec optimisme la mise en marche de Super-Phénix. Le plus grave ennui à ce stade réside dans l'augmentation considérable des coûts qui remettent en cause l'équilibre économique de la filière. Mais n'oublions pas que, pour que celle-ci tourne dans le cycle complet, il faudra encore maîtriser d'autres étapes. Il y aura le retraitement des combustibles à très forte irradiation provenant de Super-Phénix, puis la fabrication des combustibles plutonium plus délicate à réaliser avec les nouvelles normes de sécurité obligeant à travailler davantage en télérobotique. Pour que le cycle soit bouclé, il faut donc que chaque usine fonctionne à son stade. Centrale classique – retraitement de l'uranium – fabrication des éléments plutonium – retraitement des combustibles de surrégénération, tout paraît faisable, mais tout n'est pas fait et tout le système se bloquera si l'on bute sur des difficultés insurmontables, à telle ou telle étape, sur le plan industriel. En outre nul ne peut honnêtement faire aujourd'hui le bilan économique de l'opération.

Les futurs combustibles nucléaires rendront le recyclage de l'uranium de plus en plus difficile

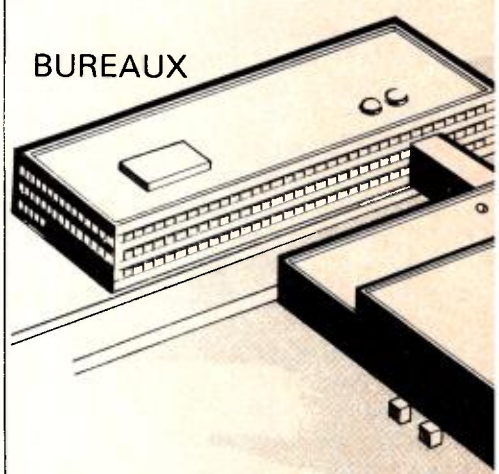
Point essentiel : quel est le prix du plutonium ? Si l'on considère qu'il faut retraiter en tout état de cause, alors on peut le chiffrer a presque rien. C'est en quelque sorte un sous-produit. Il en va différemment si l'on considère qu'il existe une autre solution écologique et que le retraitement n'est justifié que par la production du plutonium. Bref de graves incertitudes économiques demeurent sur l'économie du cycle uranium-plutonium.

Ces incertitudes économiques sont renforcées par de récentes évolutions techniques. On sait que l'uranium récupéré peut être recyclé, c'est un autre avantage sur le plan économique. Hélas ! pas si grand qu'on pourrait le penser. Tout d'abord l'uranium de récupération a le tort d'être enrichi en un isotope, le 236, qui « mange » les neutrons. Il est donc de moins bonne qualité que l'uranium naturel et ne peut être mêlé que dans de faibles proportions à ce dernier. En effet l'uranium 236 comme le 235 tend à diffuser à travers les barrières. C'est dire qu'en enrichissant en 235, on risque aussi d'enrichir en poison neutronique. Bref le recyclage n'est pas simple. Il le sera d'autant moins dans l'avenir que l'on va changer les combustibles des centrales P.W.R.. Il s'agit aujourd'hui de barreaux d'oxyde d'uranium enrichi à 3 % qu'on retire après une irradiation d'un an soit avec un taux de combustion (le « burn up ») de 33 000 mégawatts-jour par tonne. Mais, probablement à partir de 1987, on utilisera des combustibles enrichis à 4,5 % et restant 18 mois en réacteur. On aura alors un taux de « burn up » plus élevé de 45 000 mégawatts-jour par tonne se traduisant par un pourcentage d'U 235 résiduel plus faible et une teneur en 236 plus élevée. On fera ainsi une économie d'uranium de 7 %. En revanche, le recyclage n'aura plus grand intérêt.

Mais n'est-on pas contraint de passer par le plutonium et les surrégénérateurs pour éviter une pénurie dramatique d'uranium ? Impossible de répondre catégoriquement à une telle question puisque cela dépend tout à la fois de la consommation, de la production et des réserves. Toutes valeurs inconnues. On constate simplement que la consommation dans les années à venir sera plus réduite que prévu par suite du ralentissement général des programmes, que la prospection est encore loin, très loin, d'avoir fait le tour de tous les gisements existants et que de nouvelles techniques nous permettront de moins gaspiller l'uranium. Ce pourrait être le cas en particulier de la séparation par laser. En effet l'enrichissement tel qu'on le pratique aujourd'hui ne récupère pas tout l'U 235. Dans l'uranium appauvri que l'on rejette au sortir des usines d'enrichissement, il reste encore 0,25 % d'U 235. Or une usine comme Eurodif n'aura pas moins de 200 000 tonnes d'uranium appauvri en l'an 2 000. On peut espérer récupérer quelques dizaines de milliers de tonnes si, comme il est possible, cette technique se révèle utilisable. En outre, et c'est le point essentiel, la mise en place d'un cycle complet uranium-plutonium n'est qu'une perspective à très long terme. Or les combustibles stockés sans retraitement pourraient toujours être repris et retraités dans quelques décennies si cela se révélait nécessaire. Le fait qu'ils aient attendu si longtemps aurait pour seul résultat d'avoir fait décroître leur radio-activité et de faciliter ainsi le retraitement. Bref, en ne retraitant pas aujourd'hui on ne se condamne pas à ne retraiter jamais.

Dans de nombreux pays, les écologistes tentent d'imposer le retraitement... loin de chez eux

L'argument le plus décisif pour le retraitement reste donc la gestion des déchets. On ne peut pas laisser des barreaux pleins de plutonium et autres substances radioactives rester indéfiniment en piscine. Il faut en faire quelque chose. C'est la raison qui a conduit certains pays non engagés dans le cycle uranium-plutonium à faire retraiter leurs combustibles. Il est d'ailleurs significatif que cette décision ait été bien souvent prise sous la pression des écologistes. Dans de nombreux pays, ce sont eux qui s'opposent au fonctionnement des centrales en l'absence de retraitement. De fait, il est intolérable que l'on produise des combustibles irradiés sans se soucier de leur devenir au risque de se trouver dans quelques années avec des dizaines de milliers de tonnes de barreaux très dangereux dont on ne pourrait plus rien faire sans provoquer les plus graves contaminations. Si le stockage définitif des combustibles est écologiquement intolérable, il faut retraiter quelles que soient les difficultés techniques ou les incertitudes économiques. Mais, pré-



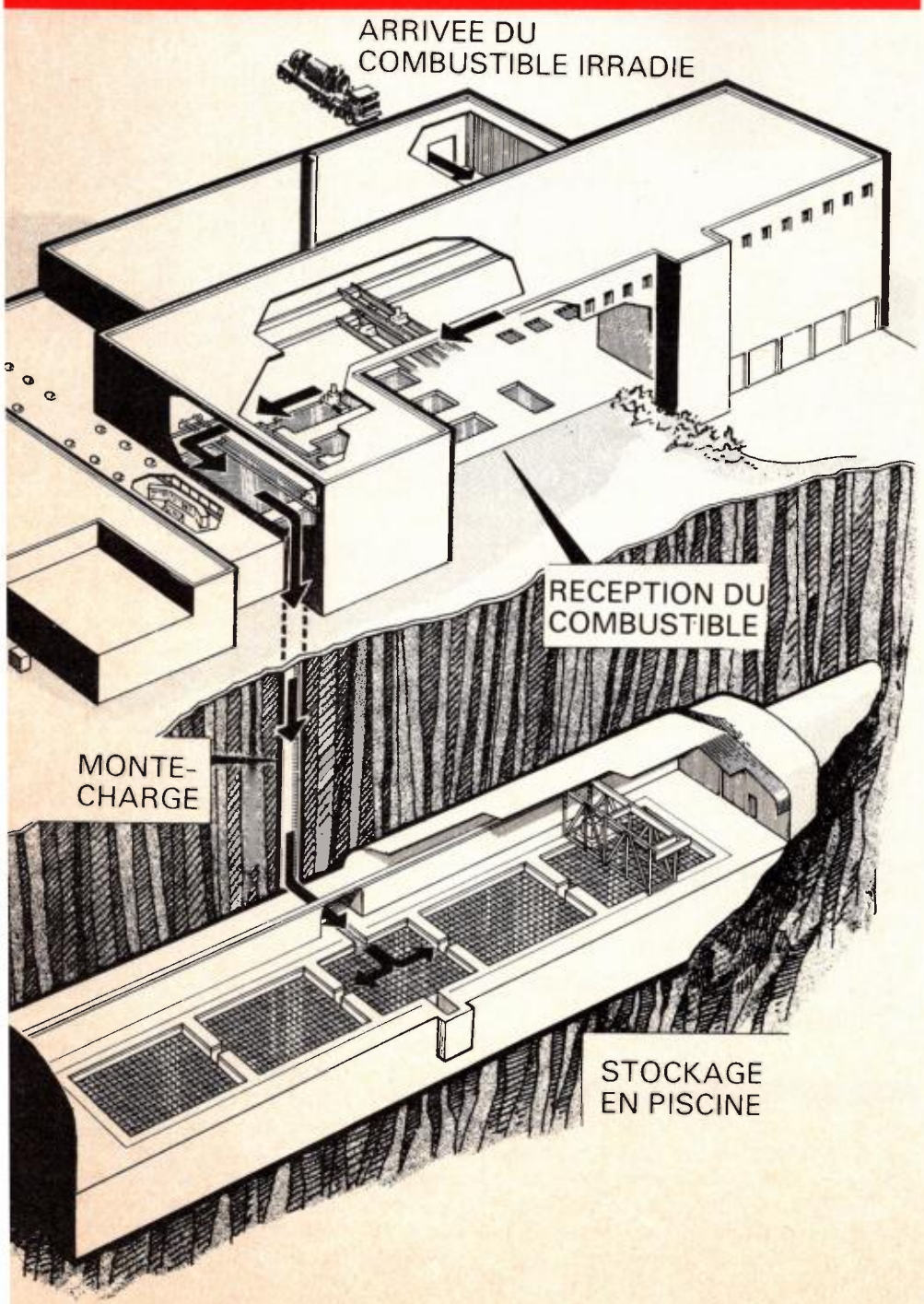
Le projet suédois CLAB, dont l'entrée en service est prévue pour 1985, pourra en 40 ans désactiver, dans une piscine construite dans une couche de granit, 1 500 tonnes de combustible irradié. Une deuxième tranche de même capacité entrera en service 6 mois plus tard. Le combustible, conditionné, sera ensuite enfoui dans une formation granitique profonde.

cisément, on ne pense plus à l'étranger que le cycle court soit nécessairement un désastre écologique.

Au sortir du réacteur, l'ensemble de la matière irradiée se trouve prise dans de longues aiguilles en zircalloy – 4 mètres de longueur, 1 cm de diamètre – elles-mêmes assemblées en éléments combustibles. Voyons un peu plus avant le contenant et le contenu. Le contenu tout d'abord. Dans une tonne d'uranium irradié on va trouver 35 kilos de produits de fission, constituant une famille nombreuse d'éléments radio-actifs émetteurs bêta ou gamma a durée de vie courte ou moyenne. Les plus ennuyeux sont le strontium 90 (période de 28,5 années) et le césium 137 (période 30 ans). Pour ces produits, il faut attendre environ trois siècles pour que le taux de radio-activité revienne pratiquement au niveau du bruit de fond naturel. Mais il convient de distinguer deux émissions distinctes, l'émission thermique et l'émission radio-active. La première, qui oblige à disposer d'un système permettant d'évacuer la chaleur, se prolonge pendant une dizaine d'années. Au-delà, ne subsiste, comme phénomène significatif, que l'émission radio-active. Ainsi en un premier temps il faudra réfrigérer et, en un second, seulement confiner et se protéger.

Mais, outre les produits de fission, il y a également les actinides, noyaux atomiques plus lourds que l'uranium, formés sous l'impact du bombardement neutronique et qui émettent des rayons alpha. Le plus abondant et le plus fameux est le plutonium, mais il n'est pas le seul. On trouve également de l'américium, du neptunium et du curium. Ces émetteurs alpha ont des durées de vie catastrophiques, allant de quelques milliers d'années pour le plutonium à quelques millions d'années pour le neptunium. A l'échelle humaine, ils sont éternellement radio-actifs, on ne peut miser sur aucune décroissance en cours de stockage. Pour la tonne d'uranium irradié il faut compter sur près d'un kilo d'actinides présentant à peu près les mêmes caractéristiques. Or le retraitement ne récupère et ne fait disparaître que le plutonium. Restent les autres actinides, dix fois moins abondants, certes, mais également vivaces et toxiques. Certains comme le neptunium 237 joignent même à une haute toxicité une très grande mobilité dans l'environnement. On a bien envisagé de « brûler » l'américium comme le plutonium dans les surrégénérateurs, mais rien de bien concluant n'a été accompli dans ce sens. Bref, il ne faut pas oublier que, dans les déchets qui pourraient être vitrifiés après retraitement, se trouveraient encore des éléments à vie très longue. C'est dire que les verres mis en sites géologiques doivent également avoir une très grande longévité.

Il restera toujours des déchets dont la radio-activité persistera pendant des millions d'années



Voilà donc un contenu extrêmement dangereux, un prisonnier à ne pas laisser échapper. Le tout est de savoir si la prison pourra être éternelle à l'image de son prisonnier. Les éléments combustibles sont donc composés d'oxyde d'uranium, d'uranite, servant en quelques sorte de matrice à ces corps radio-actifs. Ils sont pris dans une fine gaine métallique en un alliage très résistant : le zircalloy. Des chambres d'expansion des gaz sont prévues dans lesquelles s'accumulent les éléments gazeux produits par les désintégrations radio-actives. En l'absence de retraitement telle serait donc la « prison principale ». Que vaut-elle ?

En tout état de cause, les éléments combustibles au sortir du cœur passent dans une piscine pour dégager le plus gros de la chaleur et de la radio-activité. Un an d'attente paraît le délai minimum avant retraitement. En cas de non-retraitement cette période durera une dizaine d'années au minimum. Au-delà l'émission thermique n'est plus un problème. Or les aiguilles de

combustibles sont prises dans des grilles d'espacement qui structurent le faisceau en un ensemble de 21 cm de côté. On peut désormais démanteler cet ensemble et mettre les aiguilles en une botte serrée. L'intérêt est considérable puisque le volume occupé par une même masse d'uranium irradié diminue de moitié dans l'opération. Celle-ci est délicate s'agissant de longues et fines aiguilles de 4 à 5 mètres de long, mais elle est faisable. Elle se fait aux Etats-Unis, en Allemagne et même en France elle s'étudie dans un atelier de Marcoule. Après démontage, on passe à une phase de stockage intermédiaire de plusieurs décennies, un siècle ou plus. Au terme de laquelle on visera un stockage définitif.

Plusieurs problèmes se posent donc. Le premier : la tenue des gaines en zircalloy. Rien n'est possible, en effet, si elles se fissurent rapidement et laissent s'échapper les produits de fission. De ce point de vue, les techniciens ont eu plutôt d'heureuses surprises. Les gaines tiennent remarquablement bien. Plusieurs décennies assurément, un siècle ou beaucoup plus dans des conditions favorables pensent les experts les plus optimistes. Une exception toutefois : les éléments combustibles provenant des centrales à uranium naturel gainées de magnésium. Celles-ci sont assez rapidement détériorées par le chlore contenu dans l'eau des piscines. Pour ce cas particulier nous verrons qu'un stockage prolongé ne peut se réaliser qu'à sec.

La piscine, elle-même, a l'avantage d'être très sûre. Selon une étude récente de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (A.I.E.A.), on n'a constaté aucun incident notable sur ces installations depuis 1947. Il s'agit, en effet, d'une sécurité passive. L'épaisseur d'eau joue le rôle de bouclier protecteur et laisse les éléments combustibles accessibles en permanence. On ne se trouve pas à la merci d'une panne. Toutefois l'eau des piscines doit être constamment recyclée et épurée au travers de filtres à résines échangeuses d'ions. Ces dernières se chargent de produits radioactifs et forment des déchets qui s'ajoutent à ceux provenant du démontage : structures d'assemblage métallique et autres. Il ne faut donc pas croire que, dans une telle perspective, tout problème de déchet est éliminé.

Mais le plus gros problème des piscines est évidemment la place. Ne finirait-on pas, avec une telle solution, par avoir à surveiller des parcs de piscines absolument monstrueux et ingérables ? Il est vrai que, dans sa version la plus simple, le stockage prend beaucoup de place. Mais différentes techniques sont possibles et sont effectivement employées à l'étranger, pour accroître la densité. On doit alors utiliser des « paniers empoisonnés », c'est-à-dire contenant des absorbeurs de neutrons, bore ou cadmium, pour éviter tout accident de criticité. Empaquetant des aiguilles éventuellement superposées sur deux étages, on arrive à

Installation de stockage à sec des combustibles irradiés à la centrale nucléaire de Wylfa e

entasser énormément d'éléments irradiés en peu de place. Selon une étude de I.L. Rybaltchenko et J.-P. Colton de l'A.I.E.A. la densité de stockage pourrait ainsi passer de 4 tonnes par mètre carré à près de douze. La problème le plus délicat devient alors celui de la résistance mécanique du plancher des piscines classiques obligé de supporter un tel poids.

Six piscines olympiques suffiront pour entreposer l'uranium irradié des Etats-Unis en 1995

Il est clair que l'ensemble des installations susceptibles de gérer ainsi les combustibles, avec le démantèlement, les dispositifs spéciaux de stockage compact, les piscines longue durée doivent être tout spécialement conçues. Peut-être même faudrait-il prévoir des systèmes de soudure sous l'eau permettant de réparer éventuellement une rupture de gaine. Tout cela est faisable, mais de même qu'il ne faut pas se laisser prendre à l'apparente simplicité du cycle uranium-plutonium, il ne faut pas davantage croire que le stockage direct consiste à laisser là l'uranium irradié sans plus s'en occuper. Il s'agit, en tout état de cause, de produits des plus dangereux et dont la gestion, quelle qu'elle soit, est nécessairement compliquée. Il n'existe pas de façon simple et pratique de procéder lorsqu'on a tant de plutonium et autres radionuclides sur les bras.

Le stockage compact devient-il compatible avec les besoins de l'industrie nucléaire ? Pour fixer les ordres de grandeur, un réacteur P.W.R. produit un peu moins d'une vingtaine de tonnes de combustibles irradiés par an. Dans l'avenir, avec les nouveaux combustibles plus enrichis, on pourrait descendre à une douzaine de tonnes. C'est dire que, avec cette technique, une centrale ne remplirait guère qu'un mètre carré par an, pour le stockage intermédiaire de longue durée. Si l'on prend l'exemple des Etats-Unis, on estime qu'en 1995, 63 000 tonnes d'uranium irradié auront été déchargés des centrales. Cela représente des besoins considérables en stockage classique, en revanche si l'on peut créer des installations de stockage com-

Grande-Bretagne d'une capacité de 350 tonnes.

pact, cela correspondrait environ à six piscines olympiques... sans compter toutes les installations annexes évidemment. Disons simplement que l'ordre de grandeur des installations n'a rien d'inconcevable si l'on peut mettre au point cette forme de stockage.

Il s'agit là d'un stade transitoire. Au-delà il faut passer au définitif, c'est-à-dire non plus contenir les produits de fission classiques qui auront presque tous disparus, mais les dix kilos d'actinides par tonne qui auront conservé toute leur activité. Comme pour les déchets vitrifiés, on envisage l'enfouissement dans des structures géologiques profondes et stables. Evidemment on va renforcer les barrières, c'est-à-dire enfermer les aiguilles dans des conteneurs constituant un deuxième confinement. Mais ici on compte en millénaires et non plus en décennies. Les « cages », quelles qu'elles soient, finiront par être attaquées au fil des siècles et des millénaires. Ne va-t-on pas voir ces atomes si dangereux quitter la matrice d'uranite et partir en ballade, emportés par l'eau, pour revenir à la surface. Tout est là. L'oxyde d'uranium est un produit naturel bien connu. Il constitue une remarquable matrice pour les actinides formant une sorte de solution solide. C'est dire qu'a priori le plutonium et ses cousins ne seraient relâchés qu'au rythme même de la dissolution de l'uranite. Très lentement, car l'uranite est remarquablement peu soluble dans l'eau. Dans ces conditions on peut considérer que le relâchement de ces produits dangereux ne se ferait qu'à un rythme si lent qu'il deviendrait compatible avec les exigences biologiques pour peu que l'on choisisse des structures géologiques appropriées.

Une bonne illustration de ce fait a été donnée par la mine de l'Oklo au Niger. L'attention des géologues fut attirée par le fait que l'uranium de ce gisement avait une teneur en U 235 inférieure à la normale. C'était de l'uranium appauvri tout comme celui qui sort des réacteurs. On comprit alors qu'il y a 1,7 milliard d'années, le gisement avait fonctionné comme une pile naturelle. A l'époque la teneur en U 235 n'était pas de 0,7 %, mais de 3 %. L'uranium était « naturellement enrichi » en quelque sorte. Du coup la concentration fut suffisamment forte pour que le gisement se mette à diverger tout comme une pile. Il se forma donc, et en quantité importante, du plutonium au sein de l'uranite. Or on constate d'après les produits de désintégration qu'on en a retrouvé, que ce plutonium resta complètement emprisonné dans l'oxyde d'uranium. C'est assurément la preuve que les ingénieurs ont spontanément choisi dans les combustibles irradiés le meilleur piège à plutonium possible.

Ainsi, entre la bonne tenue des gaines et celle de l'uranite, le problème du stockage définitif paraît bien avancé. Toutefois il faut mettre une réserve d'importance. L'oxyde d'uranium n'est insoluble dans l'eau qu'en l'absence d'oxygène. Dans un milieu oxydant, il devient cent mille fois plus soluble et ne présente plus aucune garantie. Il faut le savoir. Mettez un peu d'oxygène et vous ouvrez la prison. Le site de stockage définitif devra donc être conçu comme un milieu réducteur absolument garanti dans lequel l'oxygène ne puisse en aucun cas et sous aucune forme s'infiltrer.

A 1 000 mètres sous terre, des mausolées recueilleront des sarcophages nucléaires

Il faut encore que la formation géologique soit parfaitement stable et imperméable. Que des mouvements tectoniques ou des failles ne viennent pas bouleverser les aiguilles dans leur repos éternel. Les géologues estiment que l'on connaît aujourd'hui de telles formations : mines de sel, structures granitiques ou basaltiques. Ils envisagent donc de créer de grands mausolées souterrains à 500 ou 1 000 mètres de profondeur au fond desquels on enterrera les barreaux bien enfermés dans des sarcophages spécialement conçus. Tout sera ensuite rebouché et nos descendants n'auront plus rien à surveiller et plus rien à craindre. De ce point de vue la destination finale des combustibles stockés ressemble assez à celle des déchets vitrifiés également destinés à l'enfouissement.

Tel est donc le schéma général du cycle court qui comporte plusieurs variantes, notamment avec la possibilité d'un stockage intermédiaire prolongé à sec et non dans des piscines. Là encore, il ne faut pas se laisser prendre à la simplicité apparente, à l'évidence de ce scénario. Rien n'est facile lorsqu'on manipule de pareilles matières et l'on rencontrera bien des difficultés en route pour appliquer cette solution. Toutefois on voit se multiplier à l'étranger les études et les expériences pour mettre en œuvre de telles techniques. Aux Etats-Unis on a commencé à stocker en piscine les aiguilles après démentèlement. Une société privée, Metal Products Corporation, propose ses services pour faire ce travail. Un peu partout on développe des moyens de stockage supplémentaires car l'on sait déjà que d'ici à l'an 2 000, il faudra trouver en dehors des piscines de réacteurs une capacité de stockage supplémentaire de 20 000 tonnes. D'ores et déjà Barnwell propose de porter de 300 à 4 500 tonnes la capacité de ses piscines en recourant au démantèlement. General Electric pourrait de même assurer un stockage prolongé de 2 000 tonnes dans les piscines de l'usine sous cocon de Morris.

Le principal producteur d'électricité, la fameuse Tennessee Valley Authority, pousse activement les recherches dans cette direction. D'une part elle fait étudier les piscines existantes ou à construire dans la perspective d'un stockage prolongé, de l'autre elle pousse les recherches sur les systèmes de stockage à sec. Plusieurs solutions sont envisagées. Soit des conteneurs pour aiguilles démontées que la société Brook-Perkins espère fabriquer pour un coût de 25 dollars le kilo d'uranium irradié, soit des puits ou des casemates en surface, soit des reposoirs au fond de tunnels. Le Département de l'Energie fait étudier aujourd'hui des centres de stockage à sec dont la capacité pourrait atteindre 100 000 tonnes. Le coût serait de 340 millions de dollars pour des trous en surface et de 992 pour une installation en tunnel. Dans tous les cas il s'agit d'assurer des stockages d'au moins cent ans. A l'opposé de ces solutions A.F.R., comme disent les Américains pour Away Fron Reactor, la société exploitant la centrale de Maine Yankee, a demandé l'autorisation de transformer sa piscine-réacteur en un stockage à longue durée de crayons démontés, assurant ainsi, sur place, la conservation des combustibles correspondant aux 35 années de vie de la centrale.

Autre exemple significatif : la Suède. Le consortium électrique S.K.B.F. a, en un premier temps, passé contrat avec la CO-

GEMA et les Anglais de BNFL, pour le retraitement de 870 tonnes de combustibles irradiés. C'est cette garantie de retraitement donc de gestion finale des déchets qui permet de faire tourner les centrales en conformité avec la loi suédoise. En revanche, les Suédois ne sont pas intéressés par le plutonium car ils n'envisagent pas de construire des surrégénérateurs, et se plaignent des très dures conditions contractuelles de la COGEMA. Ils se sont donc engagés dans la voie du stockage direct. De fait, ils ont entrepris en 1980 – avec d'ailleurs la coopération discrète de la COGEMA – la construction d'un centre de stockage intermédiaire en piscine près d'Oskarshamn, c'est le projet CLAB. Les piscines seront construites dans le granite à 25 mètres de profondeur. La capacité de 3 000 tonnes initialement prévue pourra être étendue à 9 000 et l'entrée en service est prévue pour 1985.

L'exemple est particulièrement intéressant à cause du sérieux suédois. Ici on ne fait rien sans en avoir débattu à fond et le débat ne consiste pas à mettre face à face un expert et un opposant pour engager un dialogue de sourds. Face à une alternative aussi grave, on demande à de vrais experts, vraiment neutres, de faire un vrai travail pour présenter un vrai rapport. Bref le contraire même de ce qui est fait en France. Tout a donc été posé, réfléchi par les Suédois, tout au long du cycle du combustible, et les solutions envisagées sont soumises aux plus rigoureuses contraintes. De la chute d'une météorite géante au séisme – on connaît la sismicité du plateau scandinave ! – en passant par les actions de commando et les glissements de terrain, tout a été pris en compte. Si l'option du stockage final a été retenue c'est véritablement qu'elle présente toutes garanties. Mais le stockage « à la suédoise » n'est ni simple, ni bon marché. Outre l'énorme centre de stockage intérimaire, le simple conditionnement final est très coûteux. En effet la momie radio-active est placée dans une série de sarcophages comme les plus grands pharaons. Les aiguilles sont enfermées dans des boîtes de cuivre et l'on coule du plomb à l'intérieur pour remplir les intervalles. Ensuite chacun de ces conteneurs de cuivre sera descendu dans un puits individuel creusé le long des galeries souterraines. Puis le puits sera rempli de bentonite pure.

D'autres mausolées sont prévus pour les déchets divers. Dans ces conditions K.B.S. estime qu'en coûts actualisés le stockage définitif des combustibles non retraités coûte à peu près aussi cher que celui des déchets traités, compte non tenu du prix du retraitement et de la gestion des déchets secondaires qui en résultent. Il ne s'agit donc nullement d'une « solution miracle » simple et bon marché.

Le cas de l'Allemagne Fédérale est également très significatif. Alors que la législation de 74 imposait le retraitement, celle de 81 reconnaît la possibilité d'un stockage définitif en mines de sel des combustibles non retraités. Là encore le changement d'attitude a fait suite à une étude du centre de Karlsruhe reconnaissant la sûreté de

Le stockage peut aussi être une étape intermédiaire en attendant que le retraitement ait fait ses preuves

cette solution. Double intérêt du « cas allemand ». D'une part l'option du cycle complet uranium-plutonium n'est nullement abandonnée, d'autre part en Suède comme en Allemagne, contrairement à ce qui s'est passé aux Etats-Unis, la décision d'envisager le stockage direct a suivi et non précédé les études techniques. Aujourd'hui la société G.N.S. propose des conteneurs Castor qui pourraient tout à la fois servir au transport et au stockage intermédiaire, voire définitif. La société D.W.K. a demandé un permis de construire pour deux grands centres de stockage intermédiaires, à sec, en conteneurs Castor, qui pourraient être édifié à Gorleben et Ahaus.

Pour ce qui est des Britanniques notons que dans la revue *Nuclear Engineering International* de novembre 81, des experts du C.E.G.B. – l'E.D.F. britannique – et du N.N.C. – le C.E.A. britannique – annoncent qu'en 1980 le premier organisme a prié le second d'étudier le stockage longue durée des combustibles provenant des dix centrales A.G.R. avec, là encore, le recours au stockage « à sec » et non plus en piscine. « Le stockage n'exclut pas l'option d'un retraitement ultérieur quand les besoins de plutonium apparaîtront plus nettement et que la technologie aura fait ses preuves. Un stockage prolongé ne peut que faciliter les choses » disent les experts britanniques.

Ce très rapide tour d'horizon montre bien que le devenir des combustibles et déchets se pose en terme d'alternative et non de solution unique. Il prouve également que l'interrogation est écologique autant qu'économique. Nul doute, en effet, que si le retraitement avait été la seule solution écologiquement admissible Allemands et Suédois l'auraient seule retenue quel qu'en soit le coût. Il est curieux de constater que certains mouvements antinucléaires peu au fait de ces conclusions continuent à exiger le retraitement pour raisons écologiques, ce qui arrange fort bien les affaires de la COGEMA...

Ainsi, parti d'une situation dans laquelle on posait en postulat que le nucléaire n'était écologiquement tolérable qu'à travers le retraitement, on découvre que le non-retraitement est, selon les experts non-français, considéré comme aussi sûr, voire plus sûr. Le paradoxe s'explique aisément. Il est vrai que l'utilisation et la disparition du plutonium dans les surrégénérateurs est bien plus satisfaisante en soi que son accumulation dans le sous-sol. Qui n'échangerait un tel produit contre de l'électricité ! Mais il serait naïf d'oublier que ce résultat ne peut être acquis qu'au prix de nombreuses manipulations de matière radio-active : retraitement des combustibles « classiques », fabrication des combustibles plutonium, retraitement des combustibles de surrégénérateurs, etc. A tous ces stades, en fouillant dans la matière radio-active, on crée inévitablement des déchets. Moins chargés sans doute en plutonium que les barreaux irradiés, mais fort encombrants. Parmi ces déchets il en est qui finissent par disparaître comme les produits de fission émetteurs bêta et gamma, il en est qui s'incrustent comme tous les actinides émetteurs alpha. Ainsi, s'il est vrai que le cycle fermé aboutit à concentrer sous une forme plus commode le principal, il conduit également à produire des déchets secondaires assez mal commodes à conditionner et à stocker.

Le choix définitif dépend aussi de l'avenir des surrégénérateurs

La conclusion évidente c'est qu'il existe aujourd'hui deux voies entre lesquelles le choix est possible, sur lesquelles peuvent également planer certaines incertitudes économiques et technologiques. Cette constatation ne préjuge en rien du choix final qui pourrait être fait et qui repose notamment sur une étude approfondie de la surrégénération. Ce qui est anormal et profondément malsain, c'est qu'on s'obstine en France à nier cette évidence partout admise. C'est particulièrement fâcheux dans un domaine où plane encore tant d'incertitudes. Nul aujourd'hui ne peut prédire avec exactitude le devenir du cycle uranium-plutonium. Il se peut que les difficultés s'aplanissent assez rapidement et qu'il se révèle la solution idéale du siècle prochain ; il se peut, au contraire, que l'on bute sur des difficultés qui s'opposent à sa mise en œuvre opérationnelle. On peut fort bien poursuivre dans cette voie, sans ignorer cette vérité.

A tout prendre n'est-il pas plus rassurant, alors que nous développons le programme nucléaire, de se dire que nous avons devant nous deux solutions et non pas une, qu'un échec sur le cycle fermé uranium-plutonium ne se transformerait pas en un désastre écologique ? Voilà plutôt une bonne nouvelle à l'heure où tout le monde convient que la France a définitivement passé le point de non-retour dans l'utilisation de l'énergie nucléaire. Quant à la voie du plutonium, elle doit pouvoir s'imposer parce que la meilleure et non prétendument parce que la seule. Ce peut être un choix, ce n'est pas une fatalité. ●