

Des réacteurs “plutonivores”

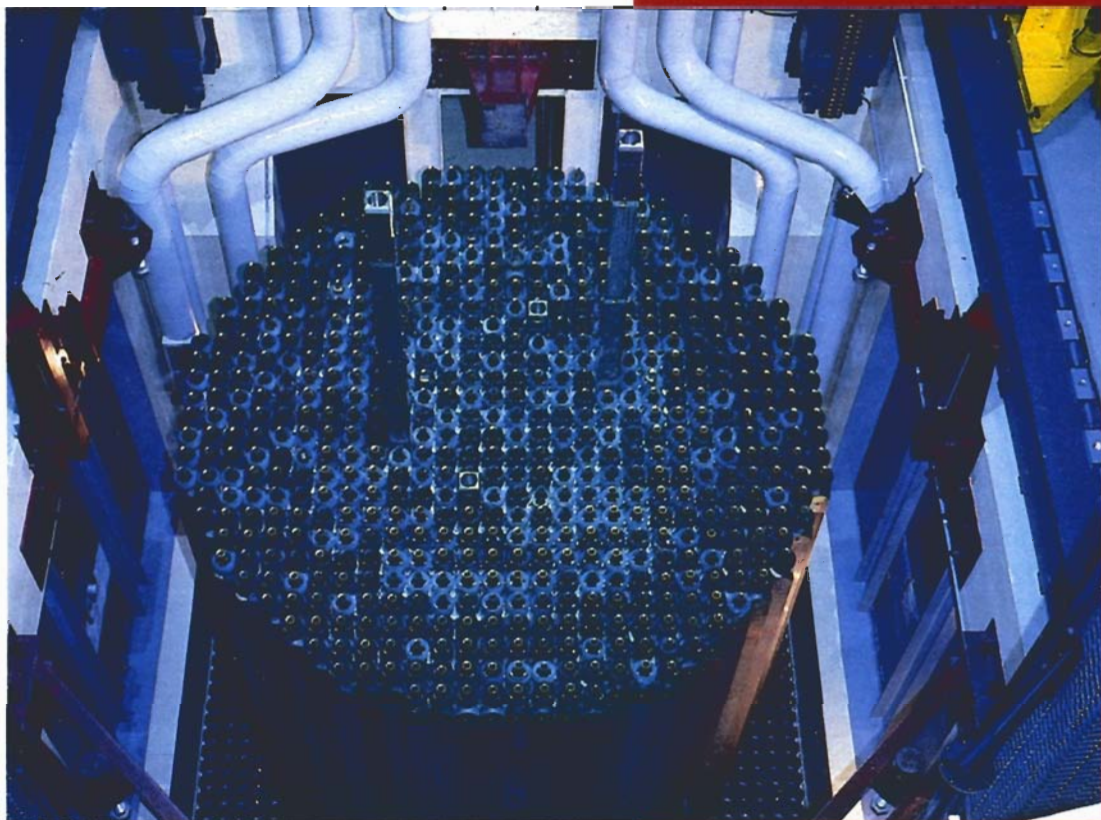
PAR MARC MENNESSIER

Que faire du plutonium produit par les centrales nucléaires françaises au rythme infernal de 11 tonnes par an ? Il n'y a pas si longtemps, c'est-à-dire jusqu'à la fin des années soixante-dix, la question ne se posait même pas. En “brûlant” cet élément radioactif à vie longue (la demi-période du plutonium 239 est de 24 111 ans !), hautement toxique mais aussi hautement énergétique (une tonne de ce radioélément équivaut à 2 millions de tonnes de pétrole), les réacteurs à neutrons rapides (RNR) de type Superphénix devaient, selon les dirigeants politiques de l'époque, doter la France d'un potentiel énergétique équivalent à celui de l'Arabie Saoudite. Pas moins ! Le tout grâce à la surgénération, procédé qui consiste à entourer le cœur du réacteur d'une couverture “fertile” d'uranium 238 (voir dessin p. 105). Bombardé par les neutrons provenant des réactions de fission qui se produisent dans le cœur, cet élément se transforme en plutonium 239 utilisable par la suite comme combustible. Le réacteur de la centrale Superphénix de Creys-Malville (Isère) située sur le Rhône en amont de Lyon est capable de fabriquer, de cette façon, plus de plutonium qu'il n'en consomme (1,2 kg produit pour 1 kg brûlé). Exactement comme une voiture dont le réservoir se remplirait d'essence au fur et à mesure qu'elle roule !

Mais ce beau rêve de technocrate appartient aujourd'hui au passé. Depuis l'effondrement des cours du pétrole et surtout de l'uranium – on a découvert, ces dix dernières années, de fabuleux gisements de ce minerai, en particulier au Canada –, la surgénération n'est plus compétitive. Et la situation n'est pas près de s'arranger, surtout quand on sait que le démantèlement des armes nucléaires de l'ex-URSS devrait, à lui seul, provoquer l'afflux sur le marché de 1 500 tonnes d'uranium 235 enrichi à 95 %. De quoi faire fonctionner toutes les centrales nucléaires françaises pendant au moins qua-

Marche arrière toute ! Le plutonium, qui devait garantir notre indépendance énergétique, grâce aux surgénérateurs, est ravalé aujourd'hui au rang de déchet. En l'an 2000, la France en aura accumulé 180 tonnes, sans compter celui issu du démantèlement des armes atomiques. Résultat : le Commissariat à l'énergie atomique tente de mettre au point un nouveau réacteur capable d'éliminer ce radioélément indésirable. Mais le jeu en vaut-il la chandelle ?

rante ans... Enfin, les pannes à répétition de Superphénix, qui n'a fonctionné que 174 jours depuis sa mise en service en janvier 1986 et a englouti plus de 27 milliards de francs d'investissement, ont porté un rude coup à la fiabilité de cette filière. Résultat : le plutonium s'accumule sur les “étagères” de l'usine de retraitement de La Hague (Manche) où il est extrait des combustibles usés provenant des 54 réacteurs à eau pressurisée (REP) du parc électronucléaire d'EDF. Au début du siècle prochain, ce “stock civil” devrait atteindre 180 t, auquel il



CEA

convient d'ajouter le plutonium militaire issu, là aussi, du désarmement. Pour donner une idée, ce dernier représenterait, rien que pour les Etats-Unis et l'ex-URSS, une masse de 200 à 300 t qu'il va bien falloir gérer, si l'on veut éviter la prolifération incontrôlée d'armes nucléaires dans le monde...

Le projet CAPRA, ou Consommation accrue de plutonium dans les rapides, démarré en mars dernier par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), donne – comme son nom l'indique – une idée du virage à 180 degrés qui vient d'être opéré en l'espace de quelques années par les responsables nucléaires français. Plus question de surgénération ! Il s'agit, bien au contraire, de concevoir un nouveau type de RNR "plutonivore" capable d'éliminer le plutonium devenu encombrant tout en produisant de l'électricité à un coût acceptable et en générant le moins de déchets possible.

D'ici à la fin de 1994, une étude de faisabilité va être menée en collaboration avec les équipes britanniques, allemandes et suisses ayant participé au programme de recherche européen EFR sur les réacteurs à neutrons rapides (European Fast Reactor) qui vient de s'achever, ainsi qu'avec des Japonais et des Russes. Selon Jacques Bouchard, directeur des réacteurs nucléaires au CEA, cette première phase pourrait déboucher sur «un projet industriel concret à l'horizon des années 2010, date

Plutonium : il faut éliminer !

La France croule sous les excédents de plutonium. Divers modèles de réacteurs à neutrons rapides, capables d'en consommer de grandes quantités, vont être testés au Centre d'études nucléaires de Cadarache, en particulier sur la maquette expérimentale Masurca (ci-dessus).

à laquelle débutera le renouvellement du parc électronucléaire français».

A raison d'un RNR dévoreur de plutonium pour cinq à dix réacteurs à eau pressurisée (REP) classiques, et à condition que l'on procède à un ou deux recyclages de MOX (combustible mixte composé de 7 % de plutonium et de 93 % d'uranium 238) dans ces mêmes REP, il devrait être possible de stabiliser et de réduire peu à peu le stock de plutonium national.

Dans cette optique, le projet CAPRA, auquel le CEA consacre 390 millions de francs pour 1993 et 1994 (sans compter la participation d'EDF, de Framatome et des partenaires étrangers), doit aboutir à la mise au point d'un RNR dont la consommation nette de plutonium avoisine les 80 kg par terawatt-heure électrique produit (1 TWh = 10^{12} Wh). Ce qui permettrait de brûler entre 640 et 800 kg de plutonium par an et par réacteur selon la puissance de ce dernier, qui devrait être de 1 200 ou 1 500 mé-

suite de la page 103

gawatts (1 MW = 10^6 W). A titre de comparaison, la consommation nette de Superphénix fonctionnant en "sous-génération" – comme cela est prévu à partir de l'an 2000, lorsque toutes les couvertures fertiles d'uranium 238 auront été retirées (voir dessin page ci-contre) – tourne autour de 10 à 20 kg de plutonium par TWh. Soit quatre ou cinq fois moins. Mais il est vrai que le prototype de Creys-Malville n'a pas du tout été conçu dans cette optique...

Trois voies de recherche vont être explorées dans le cadre de CAPRA. La première consiste à porter à 45 % la teneur en plutonium du combustible mixte contenu dans le cœur du nouveau réacteur, contre 15 à 20 % dans les RNR actuels. Ce qui permettrait de "brûler" davantage de plutonium mais aussi de diminuer, en corollaire, la part d'uranium 238, du combustible qui, comme on l'a vu, a la propriété (bien fâcheuse aujourd'hui !) de se transformer en plutonium 239 en capturant les neutrons libérés par les réactions de fission. De la sorte, on améliorerait sensiblement le rendement de l'opération.

La deuxième voie, plus radicale, vise d'ailleurs à se passer totalement d'uranium ! Mais pour réussir ce pari très ambitieux (pour ne pas dire osé), il faut s'assurer que ce combustible "100 % plutonium" puisse être fabriqué et retraité avec les procédés actuellement mis en œuvre par la Compagnie générale des matières nucléaires (COGEMA), notamment au sein de l'usine de retraitement de La Hague, et qu'il ne pose pas de problèmes de sécurité majeurs. Or, rien n'est moins sûr. Pour l'instant, il est envisagé de remplacer l'uranium par une matrice inerte en céramique ou en métal (tungstène ou molybdène), laquelle envelopperait le plutonium, rejoignant en cela les études déjà engagées dans le cadre des projets Cerber et Cermet sur les combustibles des REP du futur (voir *Science & Vie* n° 907, p. 91). Toutefois, il paraît douteux que ce programme "uranium zéro" aboutisse dans des délais raisonnables, vu les énormes efforts de recherches qu'il requiert.

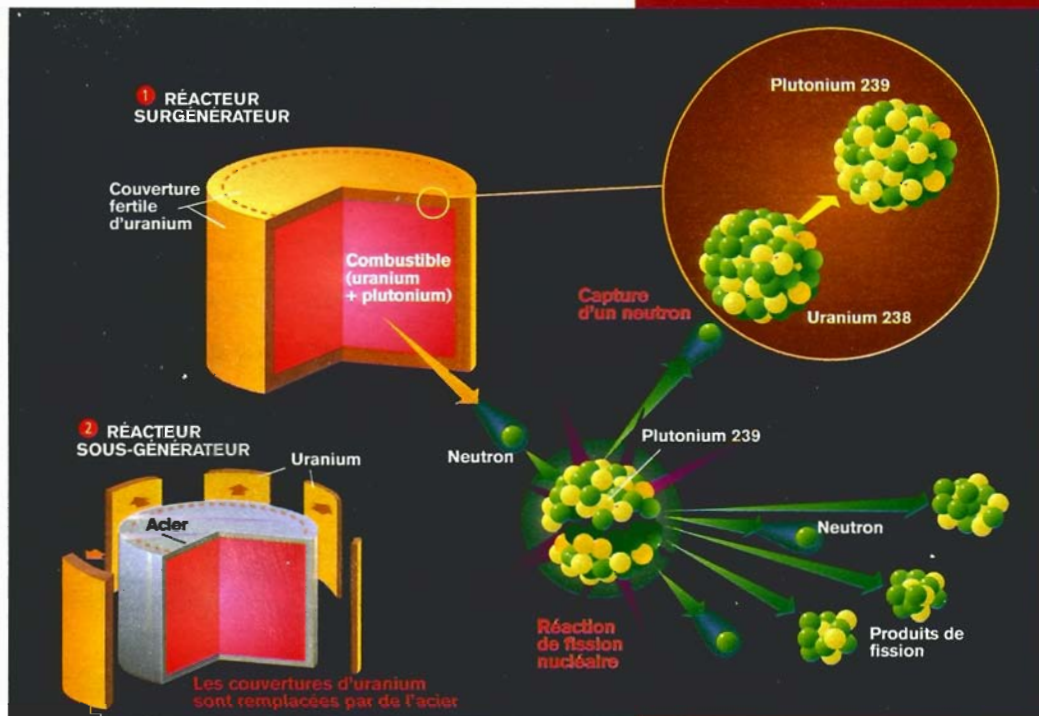
Plus réaliste, la troisième solution, intermédiaire entre les deux précédentes, consiste à fabriquer un combustible contenant 60 % de plutonium en vue d'atteindre une consommation nette comprise entre 90 et 100 kg par TWh. Le principe : remplacer les oxydes mixtes de plutonium et d'uranium (PuO_2 et UO_2) utilisés dans les RNR actuels par un mélange de nitrures. Avantage, selon les experts du CEA : ce type de combustible se retire très bien en raison de sa grande solubilité, même avec des teneurs très élevées en plutonium. En revanche, il engendre d'importantes quantités de carbone 14 radioactif, du fait de l'activation de l'azote.

Enfin quelle que soit la solution envisagée, le réacteur CAPRA devra être capable d'"inciné-

rer" des quantités conséquentes d'actinides mineurs (famille d'éléments radioactifs comprenant notamment le neptunium 237 et l'américium 241). L'idée consiste à transformer ces radioéléments à vie longue, qui proviennent des déchets des centrales nucléaires, en éléments à vie plus courte ou en éléments stables, en leur faisant subir des réactions de fission. Deux options sont possibles : soit on mélange les actinides au combustible de façon homogène et dans de faibles proportions (de l'ordre de 1 à 2 %), soit on les concentre (jusqu'à 45 %) dans certaines parties du cœur du réacteur.

Les premières expérimentations devraient se dérouler dans le courant de l'année 1994, qu'il s'agisse de fabriquer des oxydes (ou des nitrures) mixtes à très forte teneur en plutonium, de tester diverses configurations de cœur sur la maquette expérimentale Masurca, installée à Cadarache (Bouches-du-Rhône), ou de procéder à des irradiations expérimentales dans les petits réacteurs d'essais Osiris et Siloé et surtout dans Phénix, l'ancêtre de Superphénix, basé à Marcoule (Gard). A ce propos, le CEA attend le feu vert de la Direction de la sûreté des installations nucléaires (DSIN) pour redémarrer ce RNR de 250 MW qui a soufflé ses vingt bougies cet été. Il est actuellement arrêté suite, notamment, à la découverte, il y a trois ans, de fissures dans le circuit secondaire où circule le sodium qui sert à transmettre la chaleur produite dans le cœur du réacteur vers le turbo-alternateur. Grâce à sa grande souplesse de chargement, Phénix devrait permettre de réaliser des essais grandeur nature sur de courtes durées. Chose impossible avec Superphénix dont on ne peut changer le combustible que tous les quatre ans.

A l'arrêt depuis juillet 1990, la centrale de Creys-Malville ne redémarrera pas, au mieux, avant le milieu de l'année prochaine. Il faudra, pour cela, que le nouveau décret d'autorisation de création, qui fait suite à l'enquête publique qui s'est achevée début octobre, soit signé par le gouvernement. Une fois transformé en sous-générateur – c'est-à-dire pas avant l'an 2000 –, Superphénix aura pour mission, dans le cadre du projet CAPRA, de tester la fiabilité et la disponibilité de la nouvelle filière plutonivore. Ce choix paraît curieux, vu les péripéties que ce temple de l'atome, digne de Concorde ou du paquebot France, a connues en huit ans. Il est vrai qu'il est envisageable, en cas de nouvelle défaillance, de se rabattre, par exemple, sur le RNR de 280 MW de Monju dont les Japonais sont en train de se doter. Mais il est clair aussi que, pour les plus ardents défenseurs de Superphénix, le concept de surgénération n'est pas mort. Nul ne peut prévoir, font-ils remarquer, ce que seront les besoins énergétiques



A. Meyer

dans un demi-siècle. Dans cette hypothèse, mais aussi, plus prosaïquement, pour justifier l'énorme investissement qu'il représente et pour couvrir les frais de fonctionnement qu'il occasionne même à l'arrêt (entre 750 et 800 millions de francs rien que pour 1993 !), Superphénix doit "tourner" coûte que coûte. Même s'il faut pour cela lui faire manger du plutonium. Ce qui, pour une installation de ce type, s'apparente vraiment à un acte contre nature !

On peut aussi s'interroger sur la nécessité de se doter de réacteurs plutinivores, comme le fait remarquer Jean-Paul Schapira, directeur de recherche à l'Institut de physique nucléaire au CNRS : «A quoi bon retraiter, et donc extraire le plutonium des combustibles usés provenant des centrales d'EDF, si c'est pour le brûler par la suite ? Si on veut vraiment se débarrasser du plutonium civil, il faut d'abord commencer par ne plus en produire. Pour cela, il faut cesser le retraitement et stocker les combustibles irradiés en l'état. Les Allemands ont montré qu'il était possible de conserver ces déchets dans des conteneurs spéciaux remplis d'argon pendant cent ans en toute sécurité. Ce procédé, nommé Castor, permettrait de garder le plutonium en réserve au cas où on en aurait effectivement besoin un jour. En outre, passé ce délai, une part importante des déchets à vie courte sont désactivés et le retraitement se fait dans de meilleures conditions.»

Enfin, la mise au point d'un réacteur de type CAPRA prendra, au bas mot, une bonne vingtaine

Surgénération et sous-génération

Un réacteur à neutrons rapides, comme Superphénix, peut fonctionner sous deux modes. En entourant le cœur de couvertures d'uranium 238 **1**, les neutrons provenant des réactions de fission transforment cet élément en plutonium 239, utilisable par la suite comme combustible. Dans ce cas, le réacteur fonctionne en surgénérateur, c'est-à-dire qu'il produit plus de plutonium dans ses couvertures qu'il n'en "brûle" dans le cœur. Mais, en l'an 2000, les couvertures d'uranium "fertiles" seront remplacées par de l'acier **2** : Superphénix (s'il fonctionne encore) deviendra alors sous-générateur, consommant plus de plutonium qu'il n'en créera.

d'années. De quoi laisser le temps à une foule de petits Saddam Hussein de récupérer le plutonium militaire en circulation dans le monde, lequel, contrairement à son homologue civil, n'a pas besoin d'être retraité pour servir à fabriquer une bombe ! Dès lors ne serait-il pas plus sûr et plus économique d'opter pour des solutions plus expéditives ? Comme l'explique encore Jean-Paul Schapira, «il suffirait, par exemple, de mélanger ce plutonium aux autres déchets nucléaires à haute activité qui sont vitrifiés à haute température pour le rendre définitivement inutilisable». Ça n'est apparemment pas ce qui est envisagé pour le moment...