

Les surrégénérateurs : des réacteurs qui peuvent exploser

Solution miracle aux problèmes énergétiques pour les uns, engins apocalyptiques pour les autres, les réacteurs surrégénérateurs (ou surgénérateurs) à neutrons rapides n'ont pas fini de susciter des controverses. En effet, ils sont peut-être les seuls réacteurs à avoir la propriété de fabriquer, à partir d'un matériau « fertile », plus de combustible « fissile » qu'ils n'en consomment, multipliant ainsi par 50 à 100 l'énergie que l'on pourra produire par la fission de l'atome. Mais ils sont en tous cas les seuls réacteurs à avoir la propriété moins agréable de pouvoir exploser accidentellement à la façon d'une bombe atomique.

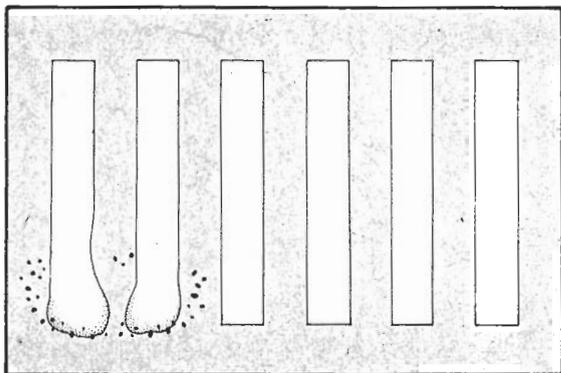
■ Seuls quatre pays ont à l'heure actuelle une certaine expérience des surgénérateurs : les Etats-Unis, la Grande-Bretagne, l'U.R.S.S. et la France. Assez loin derrière on trouve l'Allemagne de l'Ouest.

Les Etats-Unis ont eu bien des problèmes avec ce type de réacteurs, et n'osent pas encore développer la filière. Le premier surrégénérateur à fournir de l'électricité, EBR I, d'une puissance de 1,4 MW (Mégawatt ou million de watts) thermiques et de 0,2 MW électriques, démarra le 20 décembre 1951 à Idaho Falls, mais fondit en novembre 1955. Ses successeurs furent EBR 2 (62 MW thermiques, 16 MW électriques) et ENRICO FERMI (200 MW thermiques, 66 MW électriques) qui démarrèrent en 1963. Le premier a eu un fonctionnement relativement satisfaisant ; mais le second, situé à Lagoona Beach près de Detroit, faillit provoquer la première catastrophe nucléaire civile de l'histoire de l'humanité lorsqu'il subit une fusion partielle le 5 octobre 1966

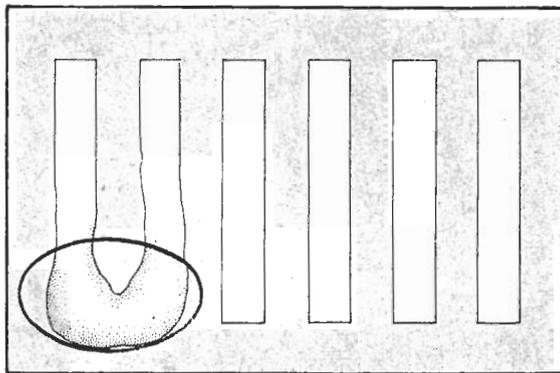
(voir à ce sujet le livre de John G. Fuller, « We almost lost Detroit — Nous avons failli perdre Detroit », Reader's Digest Press, 1975). Detroit est à 50 kilomètres de Lagoona Beach. Actuellement, les Etats-Unis ont en projet un surgénérateur de 1 000 MWth (MW thermiques) et 350 MWe (MW électriques), mais la décision de le construire n'est pas prise.

La Grande-Bretagne a construit ses réacteurs surgénérateurs dans la seule région quasi désertique qu'elle possède, l'extrême Nord de l'Ecosse. DFR (DUNREAY Fast Reactor) de 72 MWth et 15 MWe, fonctionne depuis 1959. PFR (Prototype Fast Reactor), de 600 MWth et 250 MWe, prévu pour 1973, n'a commencé à produire de l'électricité (30 MWe) qu'en octobre 1975, après de nombreuses difficultés. Un projet de 1 300 MWe est envisagé, mais la Royal Commission on Environmental Pollution, dans un document provisoire envoyé le 14 novembre 1975 au Premier Ministre britannique, insiste sur « les problèmes non résolus de

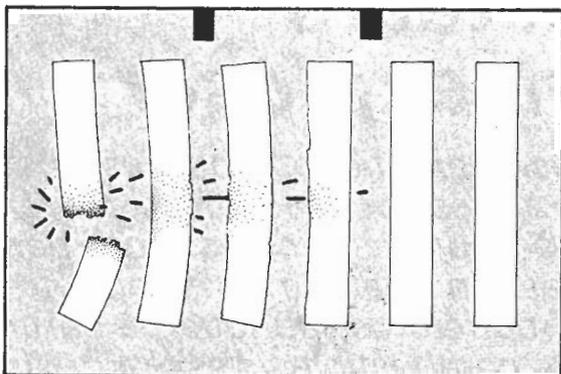
LES DEUX ACCIDENTS POSSIBLES DES SUR



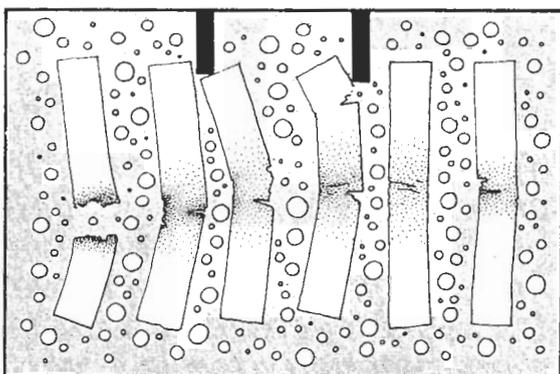
a) Un défaut local de circulation du sodium provoque la fusion partielle de 2 assemblages d'aiguilles combustibles.



b) Le « groupement » de deux ou plusieurs assemblages forme une masse surcritique locale.



a) A la suite d'une rupture d'assemblage, le brusque contact entre le combustible (2 000 °C) et le sodium (500 °C) provoque une explosion thermodynamique.



b) Les dégâts causés par celle-ci bloquent la circulation du sodium et empêchent la chute des barres de contrôle normalement prévues pour stopper un éventuel emballement de la réaction en chaîne.

Dessins Cl. Lacroix

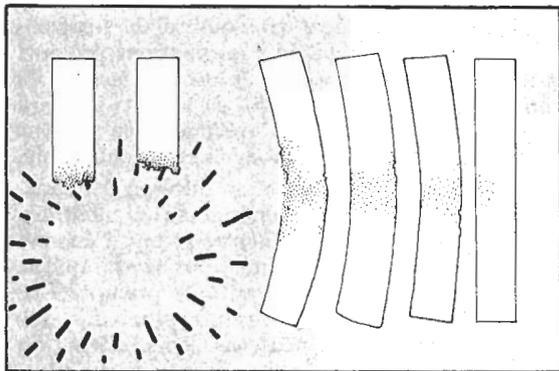
la stabilité du réacteur lui-même » et déclare : « le surrégénérateur doit être situé loin de toute agglomération ».

L'U.R.S.S., après avoir construit les deux surrégénérateurs non producteurs d'électricité BR-5 (5 MWth, 1958) et BOR-60 (60 MWth, 1969), a installé à Chevtchenko, au Nord-Est de la mer Caspienne, son premier surgénérateur de taille industrielle, BN 350 (1 000 MWth, 350 MWe prévus initialement, ramenés ensuite à 150 MWe, le réacteur étant consacré en grande partie au dessalement de l'eau de mer.) Couplé au réseau en 1973, avant Phénix, ce réacteur a eu un grave accident non nucléaire le 19 février 1974 : explosion sodium-eau, puis feu de sodium. Depuis il n'a pas pu encore fournir de l'électricité de façon régulière. Le prochain surrégénérateur soviétique, BN 600 (600 MWe), est en construction à Biéloyarsk, dans l'Oural. Pays immense, le troisième du monde par sa population, doté de ressources gigantesques, l'U.R.S.S. peut à la rigueur se permettre une catastrophe nucléaire civile :

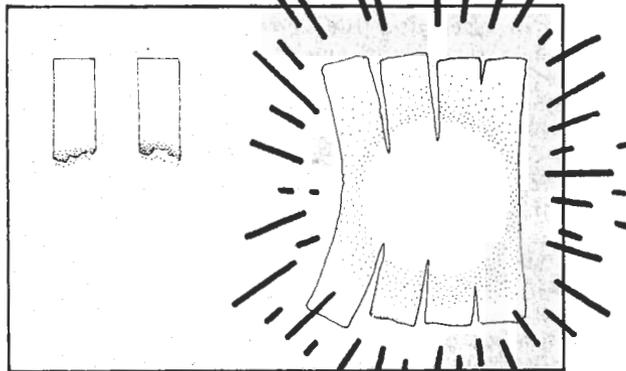
cependant, elle n'a pas osé passer de 350 MWe à plus de 1 000 MWe.

La France a été pendant près de deux ans en pleine euphorie. Certes, Rapsodie (40 MWth, 1967), le précurseur de Phénix, a connu bien des ennuis : débordements et fuites de sodium, coincements des bouchons tournants, ennuis mécaniques dans la manipulation des assemblages, etc. Mais Phénix, qui a divergé le 31 août 1973, a été couplé au réseau le 13 décembre 1973 (après un essai infructueux le 6 novembre, puis un mois d'arrêt pour intervention notamment sur les barres de contrôle) et a atteint sa puissance nominale (563 MWth, 250 MWe) en mars 1974. Phénix a fonctionné sans incidents jusqu'au 24 novembre 1975, date à laquelle il a été arrêté à la suite d'une fuite d'eau dans un générateur de vapeur. Il a redémarré le 13 décembre 1975 et devait retrouver sa pleine puissance en janvier 1976. La décision doit être prise en avril 1976 de construire le premier surrégénérateur de plus de 1 000 MWe : Super-Phénix, 1 200 MWe, à Malville,

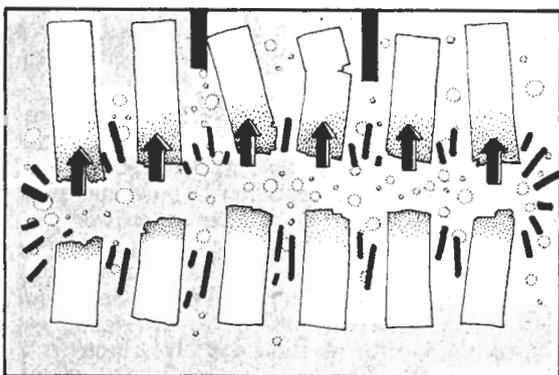
RÉGÉNÉRATEURS



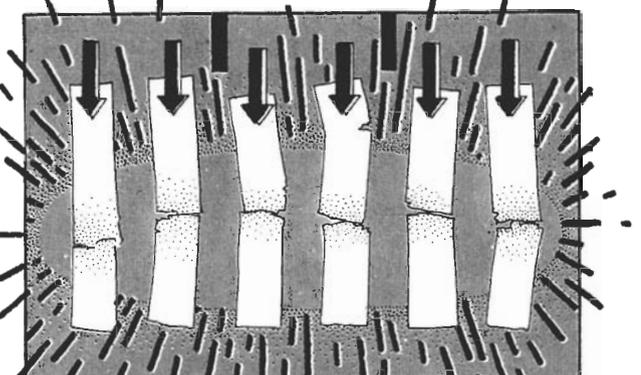
c) La réaction en chaîne s'emballé et il se produit une petite explosion nucléaire (équivalente à quelques kg de TNT).



d) Cette explosion compacte le reste du cœur qui forme une masse surcritique importante. L'explosion est beaucoup plus forte.



e) Le sodium ne circule plus et il entre en ébullition. Il n'assure plus la capture des neutrons. La réaction en chaîne s'emballé et provoque une première « excursion » (explosion).



f) L'enceinte nucléaire a tenu bon. Le combustible « retombe » et forme une masse surcritique, exactement comme lors de la mise à feu d'une bombe A. L'explosion est beaucoup plus violente.

sur le Rhône, à 22 km de Bourgoin, 35 km de Chambéry, 44 km de Lyon, 72 km de Genève.

Comme dans toutes les centrales nucléaires, l'élément de base d'une centrale surrégénératrice est une « chaudière nucléaire » où la fission des atomes dégage de l'énergie, récupérée par un fluide réfrigérant. Ce fluide peut soit actionner directement des turbines, soit chauffer de l'eau, qui sera transformée en vapeur allant actionner une turbine. Ce dernier schéma, le plus répandu, est valable pour les surgénérateurs.

Etant donné l'extraordinaire densité de puissance qui règne dans le cœur des réacteurs surgénérateurs (500 000 watts par litre), le seul fluide réfrigérant actuellement possible est un métal liquide, le sodium. En effet, son coefficient de transfert de chaleur est très supérieur à celui de l'eau. De plus, il ne ralentit pas les neutrons, ce qui est nécessaire pour avoir l'effet de surrégénération. En revanche, l'eau, en plus de son rôle de liquide de refroidissement, possède la propriété de ralentir les neutrons

d'où son emploi comme modérateur dans les centrales « classiques », à neutrons lents. Dans les surrégénérateurs, c'est bien sûr l'inverse qui est recherché. Le sodium présente de nombreux inconvénients :

- il devient fortement radioactif en passant dans le cœur, et cela impose un circuit de sodium secondaire, chauffé par le sodium primaire qui circule dans le réacteur, et cédant sa chaleur à l'eau ;

- il explose au contact de l'eau, d'où nécessité de réaliser très soigneusement les échangeurs sodium-eau ;

- il prend feu au contact de l'air, dégageant des fumées blanches toxiques d'oxyde de sodium. On ne sait pas éteindre un feu de plus de quelques centaines de litres de sodium : il y en aura plusieurs milliers de mètres cube à Super-Phénix.

L'utilisation du sodium comme réfrigérant n'est cependant pas la différence principale entre un surgénérateur à neutrons rapides et un réacteur nucléaire ordinaire. La différence

fondamentale vient de ce que dans un surgénérateur, les neutrons ne sont pas ralentis. Il y a en effet deux manières de provoquer une réaction en chaîne. Ou bien on répartit judicieusement la matière fissile au sein d'un « modérateur » qui ralentit les neutrons, multipliant ainsi par plusieurs centaines leur probabilité de désagréger les atomes fissiles qu'ils rencontrent : on a alors les réacteurs à neutrons lents (appelés aussi neutrons thermiques). Ou bien on concentre suffisamment la matière fissile pour que les neutrons rapides rencontrent beaucoup d'atomes fissiles et en désagrègent certains : on a alors les réacteurs à neutrons rapides et la bombe atomique.

Rappelons brièvement le principe de la réaction en chaîne : frappé par un neutron, un atome fissile (Uranium 235, Plutonium 239 ou Uranium 233) se désagrège (se fissionne) et expulse un certain nombre de neutrons, que nous prendrons égal à deux pour simplifier. Sur ces deux neutrons, l'un ira se perdre (capture par un matériau non fissile, fuite à l'extérieur du réacteur), l'autre ira désagréger un autre atome fissile, permettant à la réaction en chaîne de continuer ; c'est l'énergie dégagée lors de la désagrégation ou fission qui est récupérée par le fluide réfrigérant.

Une réaction en chaîne qui peut devenir incontrôlable

Si pour mille atomes fissionnés initialement, exactement mille neutrons sur les deux mille expulsés vont fissionner mille autres atomes, le « coefficient de multiplication » de la réaction en chaîne est égal à un : la réaction en chaîne est entretenue ; on obtient ce résultat grâce à l'action des barres de contrôle. Si pour mille fissions initiales, plus de mille neutrons expulsés provoquent de nouvelles fissions, la réaction en chaîne diverge (si par exemple il y en a 1 002, le coefficient de multiplication est égal à 1,002) ; s'il y en a moins de mille, la réaction en chaîne s'étouffe.

Les choses sont en fait plus compliquées : sur les 1 000 neutrons qui provoquent de nouvelles fissions, la plupart (disons 995) ont été expulsés instantanément : ce sont les neutrons « instantanés » ou « prompts » (attention : ici prompt n'est absolument pas synonyme de rapide). Mais 5 seront émis avec un retard qui peut être important : ce sont les neutrons « retardés ». C'est grâce à eux que l'on peut contrôler facilement la réaction en chaîne.

Supposons que, pour 1 000 atomes fissionnés initialement, il y ait plus de 1 000 neutrons expulsés qui provoquent de nouvelles fissions, par exemple 1 002. Sur ces 1 002, 997 sont « prompts » et 5 « retardés ». Les 997 neutrons prompts ne peuvent à eux seuls entretenir la réaction en chaîne ; celle-ci reste contrôlable grâce aux neutrons retardés.

Si par contre 1 005 neutrons provoquent de nouvelles fissions, il y aura 1 000 neutrons prompts, nombre égal au nombre de neutrons initiaux, et on voit qu'alors les neutrons prompts peuvent entretenir à eux seuls la réaction en chaîne. A ce moment on a atteint le seuil « critique prompt » : la réaction en chaîne s'accélère brutalement et devient incontrôlable.

C'est ici qu'apparaît une différence fondamentale entre les surgénérateurs à neutrons rapides et les réacteurs à neutrons lents : comme dans le premier cas les neutrons sont rapides, la réaction en chaîne « surcritique prompte » se développe 1 000 à 10 000 fois plus vite que dans un réacteur à neutrons lents. Ainsi, on envisage que dans un surgénérateur la puissance pourra doubler toutes les 100 microsecondes, contre 1 seconde environ pour un réacteur industriel à neutrons lents (certains très petits réacteurs expérimentaux ou militaires, à neutrons lents mais à combustible très enrichi, peuvent avoir un comportement intermédiaire).

Si la puissance double en 100 microsecondes, elle est multipliée par plus de 1 000 en une milliseconde : il y a explosion. Pour un réacteur industriel à neutrons lents, où la puissance peut en cas d'accident grave doubler en environ une seconde, un échauffement apparaît qui ralentit immédiatement la réaction en chaîne, puis l'arrête par une fusion partielle du cœur, qui détruit la structure ordonnée et rigoureuse nécessaire à cette réaction dans les réacteurs à neutrons lents. Une fusion partielle par contre n'arrête pas la réaction en chaîne dans un réacteur à neutrons rapides, car elle ne change pas la concentration moyenne ; elle peut au contraire accélérer cette réaction en chaîne.

On peut finalement distinguer quatre types de réactions en chaîne, suivant que les neutrons qui gouvernent cette réaction sont retardés (cas normal) ou prompts (accidents), et suivant qu'ils sont lents ou rapides :

	<i>neutrons retardés</i>	<i>neutrons prompts</i>
<i>neutrons lents</i>	<i>réacteur à neutrons lents (fonctionnement normal)</i>	<i>réacteur à neutrons lents (accident)</i>
<i>neutrons rapides</i>	<i>réacteur à neutrons rapides (fonctionnement normal)</i>	<i>réacteur à neutrons rapides (accident) et bombe atomique</i>

L'explosion nucléaire à laquelle on aboutit lorsque, dans un surgénérateur à neutrons rapides, le seuil critique prompt est franchi, porte le nom plus rassurant d'« excursion nucléaire ». A titre d'exemple, nous allons étudier le cas du réacteur Super-Phénix.

On envisage actuellement pour Super-Phénix deux excursions nucléaires successives (mais il pourrait y en avoir davantage dans certaines conditions).

« NOUS AVONS FAILLI PERDRE DETROIT »

■ L'écrivain John G. Fuller voulait écrire une nouvelle d'anticipation sur une catastrophe nucléaire civile. Mais au cours de son enquête préliminaire, il s'aperçut que de graves accidents étaient déjà survenus à des réacteurs nucléaires, et que l'un d'eux — celui du sur-générateur Enrico Fermi — aurait pu facilement conduire à la catastrophe. Il décida alors d'écrire un livre sur cet accident. Pour son livre, « *We almost lost Detroit* », l'auteur a visiblement été conseillé par des ingénieurs atomistes.

Avant de décrire l'accident d'Enrico Fermi, l'auteur examine cinq accidents antérieurs, dont trois sont particulièrement intéressants, puisqu'il s'agit d'emballlements de la réaction en chaîne.

12 décembre 1952 : à la suite de fausses manœuvres sur les barres de contrôle, le petit réacteur canadien à eau lourde NRX, situé à Chalk River, s'emballa. Cependant, comme il s'agit d'un réacteur à neutrons lents et uranium naturel, la puissance met deux secondes pour doubler : le processus n'est pas explosif, et est arrêté par vidange de l'eau lourde qui sert de modérateur. Cette possibilité n'existe pas dans les réacteurs surrégénérateurs à neutrons rapides, qui n'ont pas de modérateur.

29 novembre 1955 : en raison de déformations des barreaux de combustible, et d'actions insuffisantes sur les barres de contrôle, le petit surrégénérateur américain EBR 1, situé à Idaho Falls, s'emballa à son tour. On frôla le seuil critique prompt : la puissance double tous les deux dixièmes de seconde. La réaction en chaîne est arrêtée par retrait de la couverture extérieure d'Uranium 238 (cette possibilité n'existe plus dans les réacteurs surrégénérateurs de taille supérieure). Malgré l'arrêt de la réaction en chaîne, la moitié du cœur fond.

3 janvier 1961 : à la suite d'un accident ou d'une erreur de manutention sur les barres de contrôle, un petit réacteur militaire américain à eau ordinaire (SL 1, Idaho Falls) franchit le seuil critique prompt. Ce réacteur très compact, à neutrons ralentis mais à uranium très enrichi, a un comportement intermédiaire entre un réacteur industriel à neutrons lents et un surgéné-

rateur à neutrons rapides ; de plus, du fait de sa petite taille, il suffit de lever une barre de contrôle pour franchir le seuil critique prompt. Il en résulte une explosion (correspondant probablement à moins d'un kg de T.N.T.) qui tue l'un des trois techniciens chargés de ce réacteur ; les deux autres sont tués par irradiation.

Le réacteur surrégénérateur à neutrons rapides Enrico Fermi ne s'est pas emballé ; mais il en a été bien près, et étant donné sa puissance (140 fois celle d'EBR 1), on a frôlé la catastrophe.

5 octobre 1966 : une pièce de métal ayant entravé la circulation du sodium primaire, deux assemblages d'éléments combustibles du réacteur Enrico Fermi fondent. Le réacteur est immédiatement arrêté. L'agglomération du combustible fondu pourrait former une masse surcritique, d'où petite explosion localisée, compaction du reste du cœur et « excursion nucléaire » d'ensemble, terme pudique pour « explosion ». Il ne se forme pas de masse surcritique : ou bien la masse fondue est insuffisante, ou bien la configuration après fusion ne le permet pas. Mais l'accident n'est pas terminé pour autant. « Dans un réacteur à neutrons rapides, la partie dynamique de l'accident ne peut être considérée comme terminée avec la fusion ou le défaut thermique général des éléments combustibles. Au contraire, il est concevable que la partie sérieuse de l'accident commence seulement à ce moment » (J.R. Dietrich, Technology of Nuclear Reactor Safety). Pendant un mois, les ingénieurs redoutent un éventuel « réarrangement » du combustible qui provoquerait une excursion nucléaire ; ils n'osent pas intervenir car l'insertion d'instruments dans le cœur modifie la géométrie et peut entraîner l'excursion. Enfin ils se décident à intervenir. Par chance, tout se passe bien, mais il faut 18 mois pour découvrir la pièce de métal qui a provoqué l'accident. Analysant l'accident, un ingénieur du projet Enrico Fermi aura la formule qui donne son titre au livre : « *We almost lost Detroit* », c'est-à-dire « Nous avons failli perdre Detroit »... Detroit a 1 600 000 habitants. □

La première, beaucoup moins grave, peut être provoquée par exemple par une déformation brutale du cœur due à la propagation d'une rupture d'assemblage (Kramer, Jacobi, Krig, « Local Failure Propagation in LMFBRs » Conférence sur la maturité de l'énergie nucléaire, avril 1975). Cette déformation interromprait la circulation du sodium primaire et empêcherait les barres de contrôle de chuter. Dans ces conditions, le sodium se met à bouillir, ce qui augmente le coefficient de multiplication, et le réacteur devient « surcritique prompt ». Il y a une explosion libérant une énergie totale de 30 milliards de joules, ce qui correspond à 8 tonnes de T.N.T. Mais cette

explosion est « molle », a un mauvais « rendement », et l'énergie mécanique qu'elle libère est de 100 millions de joules. Compte tenu du fait qu'à même énergie mécanique libérée, une excursion nucléaire a des effets deux fois plus importants qu'une explosion classique (Cowler et Hoskin, « Comparison of the pressure effects of energy release from nuclear excursions and chemical simulations », G.B., 1973) cela équivaut à 50 kg de T.N.T. La cuve étant prévue pour résister à une énergie mécanique de 200 kg de T.N.T., elle devrait résister à cette première explosion.

Il peut alors se produire une explosion thermodynamique (transfert thermique entre le

combustible fondu et le sodium) correspondant à 200 kg de T.N.T.

Beaucoup plus grave, il peut y avoir une deuxième excursion nucléaire plus violente que la première. Le phénomène est le suivant : la libération des produits de fission au cours de la première excursion a provoqué une dispersion axiale du combustible, le cœur du réacteur a été séparé en deux fragments (pour simplifier), et la partie supérieure retombe sur la partie inférieure. C'est le principe des premières bombes atomiques : on envoyait l'une sur l'autre deux masses « sous-critiques » pour constituer une masse « sur-critique ». La vitesse d'augmentation du coefficient de multiplication peut alors être considérable : pour Super-Phénix, on envisage officiellement 0,22 par seconde, mais cela peut être bien plus. Avec 0,22 par seconde, on a une explosion équivalent à une dizaine de tonnes de T.N.T. dont 400 kg sous forme mécanique : la cuve prévue pour résister à 200 kg de T.N.T. devrait se rompre.

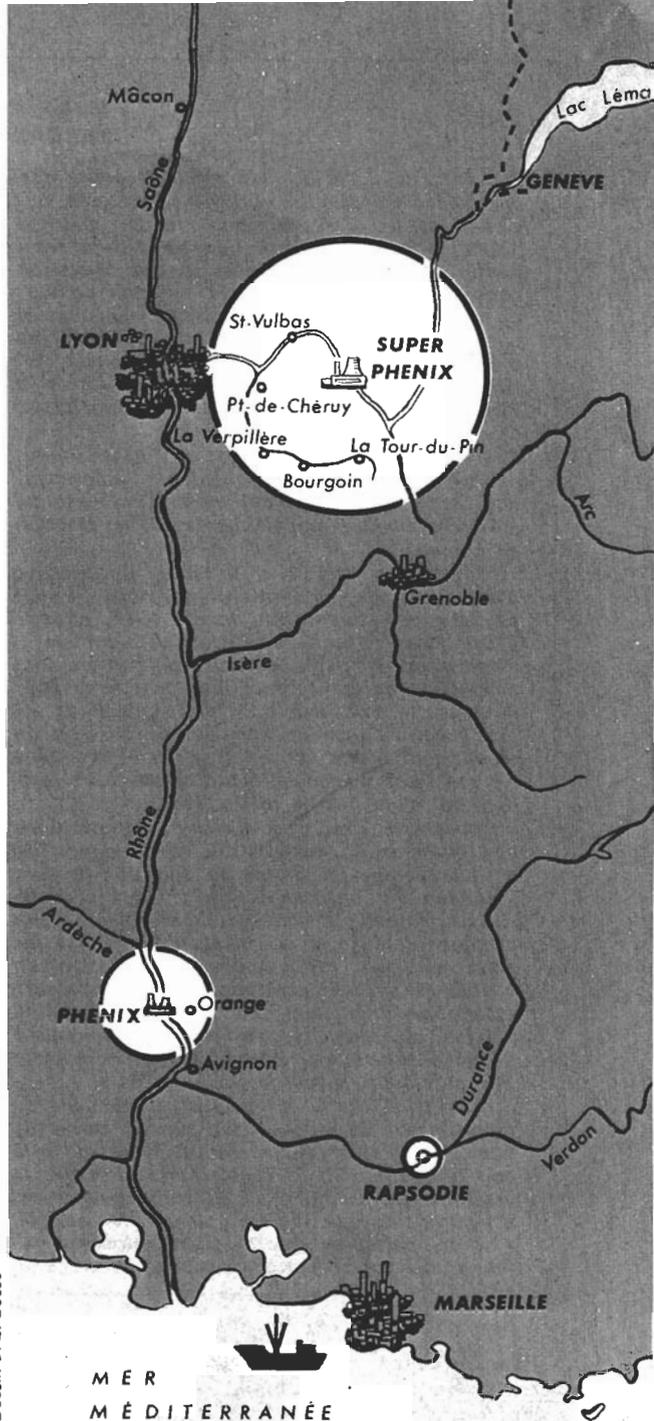
Voici le point fondamental : même dans les documents officiels, il est écrit que le calcul de la deuxième excursion nucléaire comporte des incertitudes considérables. On ne connaît pas :

- les caractéristiques neutroniques du réacteur après la première excursion,
- la vitesse de chute des assemblages.

Si par exemple la vitesse d'augmentation du coefficient de multiplication monte à 1,5 par seconde (valeur envisagée par Boudreau et Jackson, dans « Recriticality Considerations in LMFBR Accidents », USA, 1974), la puissance de l'explosion, si les modèles de calcul sont au point, est de 30 tonnes de T.N.T., dont plusieurs tonnes sous forme mécanique. A ce moment la cuve est soufflée, et l'enceinte de confinement vraisemblablement rompue sinon soufflée elle aussi. Le cœur du réacteur (20 tonnes d'acier + 35 tonnes d'oxydes d'uranium et de plutonium) est porté à la température extraordinaire de 8 000 Kelvin (7 727° Centigrades). Cette « vapeur » extrêmement radioactive et à une température colossale peut donc s'échapper et se répandre sur des kilomètres à la ronde, et même être transportée à des dizaines de kilomètres s'il y a un vent assez fort.

Enfin, l'explosion peut être encore bien plus violente si les modèles sur lesquels s'appuient les calculs actuels sont faux. Or ces modèles n'ont été testés que sur des quantités de quelques kilogrammes de matière fissile, alors qu'il y aura dans Super-Phénix 35 tonnes de combustible nucléaire, réparties dans une configuration extrêmement compliquée.

Le célèbre physicien pro-nucléaire Hans Bethe admet que la dose mortelle de plutonium inhalé est de 300 microgrammes, si ce plutonium reste en permanence dans les poumons. En fait, on admet que les poumons peuvent se débarrasser de 85 % du plutonium. La dose mortelle de plutonium inhalé est donc d'environ 2 milligrammes. Il y aura 5 tonnes de plutonium



Dessin J. L. Gosse

L'ESCALADE DES SURREGÉNÉRATEURS EN FRANCE

« Le surrégénérateur doit être situé loin de toute agglomération », déclarent les Britanniques. Les Français vont construire Super-Phénix à 44 km de Lyon et à 72 km de Genève. Or, Super-Phénix (3 000 MW thermiques) sera plus de 5 fois plus puissant que Phénix (563 MW thermiques), 75 fois plus puissant que Rapsodie (40 MW thermiques). Sur la carte la surface des cercles est proportionnelle à la puissance.

dans Super-Phénix. Bien entendu, une partie du plutonium pourra rester dans le réacteur, et la répartition du plutonium expulsé ne sera pas efficace à 100 %. Un rapport de l'Université de Michigan, réalisé sous la direction de l'ingénieur Henry J. Gomberg, et publié en juin 1957, indiquait qu'un grave accident survenant au surgénérateur Enrico Fermi — quinze fois moins puissant que Super-Phénix — pourrait tuer 133 000 personnes. Il n'est donc pas déraisonnable de penser qu'un grave accident survenant à Super-Phénix pourrait tuer plus d'un million de personnes.

Super-Phénix, premier des surgénérateurs géants : un projet « fou furieux ».

Aucune filière de réacteurs n'a connu tant d'accidents sérieux (EBR I, Enrico Fermi, BN 350) ; le fait est encore plus frappant si l'on considère que peu de surgénérateurs ont été construits. Le rapport Rasmussen, qui présente des chiffres rassurants (que l'on peut d'ailleurs critiquer) quant à la probabilité d'accidents, concerne uniquement les réacteurs à eau légère, et absolument pas les surrégénérateurs. Les documents officiels attestent qu'aucune étude quantitative de probabilité n'a été faite en France. Signalons aussi que pour Enrico Fermi, il avait été déclaré que la probabilité de fusion de plus d'un assemblage était rigoureusement nulle : le 5 octobre 1966, deux assemblages ont fondu.

Tant de causes peuvent être à l'origine d'une « excursion » nucléaire (rupture locale d'un assemblage, mais aussi éjection de barres de contrôle, fautes au déchargement, compaction provoquée par un tremblement de terre ou une explosion non nucléaire accidentelle ou provoquée, prise de la centrale par un commando suicide) que l'on a tout lieu de craindre une catastrophe sans précédent si les surgénérateurs géants, dont Super-Phénix doit être le premier, voient le jour.

L'augmentation de puissance de Phénix à Super-Phénix (250 MWe à 1 200 MWe) est énorme. Voici la progression beaucoup plus sage, qui a été adoptée dans d'autres filières (en MWe) :

Graphite-gaz anglais : 50, 140, 160, 250, 300, 420.

Graphite-gaz français : 40, 70, 200, 480, 520, 540.

Eau ordinaire sous pression (USA) : 90, 175, 265, 430, 575, 700, 790, 840, 870, 1 050.

Bien mieux, Super-Phénix aura une enveloppe de confinement de moins que Phénix ! La cuve double enveloppe et la cuve d'enceinte primaire de Phénix seront en effet remplacées par une seule cuve, dite « de sécurité ».

Avec les surrégénérateurs, on pourra fabriquer 50 à 100 fois plus de plutonium qu'avec les autres réacteurs. C'est intéressant pour la production d'énergie ; mais cela va multiplier

par autant les risques liés au plutonium. Le nombre de centrales vendues à l'étranger augmentera considérablement, et tous les pays de la planète, plus quelques groupes privés, finiront par avoir la bombe atomique (si une guerre nucléaire mettant un point final à notre histoire n'éclate pas d'ici là). Les quantités de plutonium en circulation seront considérables, ce qui multipliera les risques de vol, sabotage, terrorisme. Il faudra des mesures de sécurité extrêmement strictes. A ce sujet, voici ce qu'écrit dans le document cité plus haut la « Royal Commission on Environmental Pollution » : « Le surrégénérateur doit comporter sur place les installations nécessaires à la fabrication et au retraitement de son combustible afin d'éliminer les risques dus au transport du plutonium. Il doit être muni de tous les moyens de protection possibles, aussi bien sous forme de dispositifs physiques que d'une force armée de sécurité. Le système doit être conçu de telle sorte qu'il soit possible de mesurer et de surveiller minutieusement les flux de plutonium. Les coûts supplémentaires inhérents à de telles conditions sont le prix inévitable d'un programme sûr et responsable d'évaluation des dangers des surrégénérateurs commerciaux. »

Il est clair que la France dispose actuellement avec Super-Phénix de son projet « fou furieux ». Le projet « fou furieux » était un projet américain appelé initialement projet Pacer du nom de son inventeur. Il s'agissait de faire exploser sous terre, dans les « lentilles géologiques » de l'état du Montana, plusieurs centaines de bombes H, puis de récupérer l'énergie ainsi dégagée. Les habitants du Montana ne l'entendirent pas de cette oreille et rebaptisèrent le projet du nom de « fou furieux ». Le projet fut évidemment abandonné.

Au cas où la construction de surgénérateurs se révélerait économiquement nécessaire, ce qui reste à démontrer, les principes suivants devraient du moins être respectés :

1. Développement de dispositifs permettant d'exclure physiquement le risque d'excursion nucléaire.

2. Tant que ce risque existe, construction souterraine des surrégénérateurs.

3. Augmentation progressive des puissances réalisées, ce qui exclut le saut de Phénix (250 MWe) à Super-Phénix (1 200 MWe).

Resteraient bien sûr les risques et les contraintes liés à l'emploi massif du plutonium. Et c'est un problème qui jusqu'à ce jour, n'a hélas pas de solution.

Jean-Pierre PHARABOD ■

Jean-Pierre Pharabod a travaillé comme ingénieur pendant sept ans et demi au CEA et surtout à l'EDF. Il a participé à l'élaboration des programmes de cinétique neutronique de la filière graphite-gaz (notes CEA N-945 et N-948), aux essais des réacteurs Chinon-1 et Saint-Laurent-1, et à de nombreuses études de contrôle et de sûreté. Il a démissionné de l'EDF en 1970 et est actuellement ingénieur au Laboratoire de Physique Nucléaire des Hautes Energies de l'Ecole Polytechnique.