

Le développement des réacteurs rapides dans le monde

par Vladimir Efimenko, Francis A. O'Hara et Hans-Juergen Laue

Le développement des réacteurs surgénérateurs rapides intéresse aujourd'hui surtout les surgénérateurs refroidis par un métal liquide (LMFBR). Près d'une douzaine de pays ont entrepris des programmes de commercialisation de ces réacteurs, et une dizaine d'autres en élaborent des composants ou font des travaux de recherche et développement à leur sujet.

Cette évolution a commencé il y a plus de 35 ans. Entre temps on a construit et mis en service, outre de nombreux réacteurs rapides de puissance nulle, 19 LMFBR. Le tableau énumère quelques-unes de ces installations.

A l'heure actuelle, dix LMFBR sont en service, cinq sont en construction et l'étude de cinq autres est très avancée. L'expérience accumulée résume 170 années de fonctionnement de réacteurs.*

De gros investissements et des ressources humaines considérables ont été consacrées dans le monde entier à la mise au point des surgénérateurs rapides qui doivent prendre la relève des réacteurs thermiques actuels à cycle du combustible ouvert.

La technique actuelle de production d'énergie par le nucléaire paraît condamnée à relativement brève échéance, car les sources d'uranium aujourd'hui connues seront épuisées dans une cinquantaine d'années. La fission nucléaire offre toutefois, grâce aux surgénérateurs, une source presque inépuisable d'énergie puisqu'ils peuvent tirer de 60 à 70 fois plus d'énergie de l'uranium. De plus, les surgénérateurs accroîtront le volume des ressources d'uranium disponibles vu leur aptitude à utiliser économiquement des minerais plus pauvres.

Tendances divergentes

La notion générale de surgénération a été mise en évidence pour la première fois par les LMFBR expérimentaux des Etats-Unis, du Royaume-Uni et de l'URSS. On en a construit depuis de plus perfectionnés pour faire l'essai de combustibles, de matériaux de construction et de composants. Au début des années 1970 trois prototypes ont été mis en service en France, au Royaume-Uni et en URSS. Ils ont accumulé environ 30 années d'expérience de fonctionnement.

M. Laue est Directeur de la Division de l'énergie d'origine nucléaire de l'Agence, dont font partie MM. Efimenko et O'Hara.

* *The Status of the Liquid Metal Cooled Fast Breeder Reactors*, Collection Rapports techniques de l'Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne (à paraître en 1985).

Réacteurs surgénérateurs rapides en service, en construction ou en projet

Pays	Désignation	Puissance (MWth/MWe)	Date de mise en service
<i>En service</i>			
Etats-Unis	EBR-II	62.5/20,0	1963
URSS	BOR-60	60/12	1969
URSS	BN-350	1000/150*	1972
France	Phénix	605/270**	1973
URSS	BR-10***	10/0	1973
Royaume-Uni	PFR	670/250	1974
Rép. féd. d'Allemagne	KNK-II	58/21	1977
Japon	Joyo	100/-	1977
URSS	BN-600	1470/600	1980
Etats-Unis	FFTF	400/-	1980
<i>En construction</i>			
France	Superphénix I	3000/1242	1985
Rép. féd. d'Allemagne	SNR-300	762/327	1986
Inde	FBTR	42/15	1985
Italie	PEC	118/-	1989
Japon	MONJU	714/280	1991
<i>En projet</i>			
France	Superphénix II	3600/1500	
Rép. féd. d'Allemagne	SNR-2	3420/1300	
Inde	PFBR	1250/500	
Japon	DFBR	2550/1000	
URSS	BN-800	2100/800	
URSS	BN-1600	4200/1600	
Royaume-Uni	CDFR	3300/1250	

* 150 MWe + 120 000 m³/jour d'eau dessalinisée.

** La puissance nominale prévue était de 568/250. Un bon rendement et une gestion minutieuse du combustible ont permis d'augmenter la puissance sans modifier l'installation.

*** A l'origine le BR-5 (5 MWth) qui est entré en service en 1958.

Le BN-600 soviétique, de taille quasi-industrielle, fonctionne de façon satisfaisante depuis près de cinq ans. En 1983, son facteur de charge a été de 72%, sur la base d'un facteur de disponibilité de 77%. On espère mettre prochainement en chantier le BN-800 qui doit entrer en service après 1990.

Le Superphénix I français, de taille industrielle, est presque achevé et doit entrer en service en 1985. Deux autres prototypes sont en construction: le SNR-300 en République fédérale d'Allemagne et le Monju au Japon.

Mais ce n'est là que l'aspect optimiste du tableau. A l'heure actuelle, on pense que la commercialisation des LMFBR s'effectuera dans les années 1980 et 1990 moins vite qu'on ne l'espérait il y a dix ou quinze ans. Dans certains pays, la construction d'un prototype, même de faibles dimensions, se heurte à des difficultés ayant trait à la politique, au financement, à la délivrance des licences et à d'autres problèmes.

Aux Etats-Unis, le réacteur surgénérateur de 380 MWe de Clinch River a été annulé et ce après qu'on ait commencé à aménager le site, achevé plus de 95% de la conception et plus de 98% des travaux de recherche et développement, réalisé d'importants progrès en matière de fabrication et d'essai des composants, et fabriqué ou commandé des composants représentant environ les deux tiers du coût total de l'installation. D'après des décisions récentes, la construction des centrales futures incombera entièrement à l'entreprise privée, sans aucune participation de l'Etat.

En République fédérale d'Allemagne, les enquêtes exigées par les milieux politiques et les modifications apportées aux critères de sûreté particulièrement sévères du SNR-300 ont contribué à en retarder sensiblement la construction. Bien qu'on espère mettre l'installation en service en 1986, ces retards ont entraîné une augmentation considérable des coûts car la construction a commencé en 1973.

Au Japon, la construction de réacteurs rapides industriels a été différée jusqu'à 2010 au plus tôt, alors que le projet japonais antérieur prévoyait la mise en place de dix installations, soit une par an, entre 1995 et 2005.

A quoi sont dues ces tendances et fortunes diverses? Pour mieux comprendre, il faut examiner les caractéristiques techniques des LMFBR, leur état actuel et l'orientation probable de leur évolution.

L'état présent de la technique

Des progrès considérables ont été faits depuis 40 ans dans les domaines de la physique, de l'ingénierie, des combustibles et matériaux, de la sûreté, et du cycle du combustible des LMFBR. L'expérience acquise permet d'affirmer que la technique des LMFBR a fait ses preuves.

On a mis au point des méthodes de calcul et des séries de données nucléaires pour la conception du cœur. De nombreux pays ont acquis une grande quantité d'informations expérimentales et théoriques sur les sections efficaces neutroniques nécessaires au calcul de la physique des LMFBR et les ont échangées par l'intermédiaire d'organismes internationaux tels que

l'AIEA et l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE. En ce qui concerne les principaux paramètres de la physique du réacteur et du cœur, la précision obtenue dans les calculs est très proche de celle qui est jugée nécessaire pour faire des prévisions satisfaisantes.

Les efforts de développement entrepris ont permis de mettre à l'épreuve plusieurs solutions possibles pour les LMFBR. On pense aujourd'hui qu'un combustible à mélange d'oxydes et un refroidissant au sodium sont préférables pour les modèles actuels. Deux conceptions sont généralement admises: le type à cuve et le type à boucle (voir la figure ci-contre), et l'on a acquis une vaste expérience de l'un et de l'autre. Une description détaillée de leurs avantages respectifs sortirait du cadre du présent article. Les études publiées donnent de nombreux arguments en faveur des deux.*

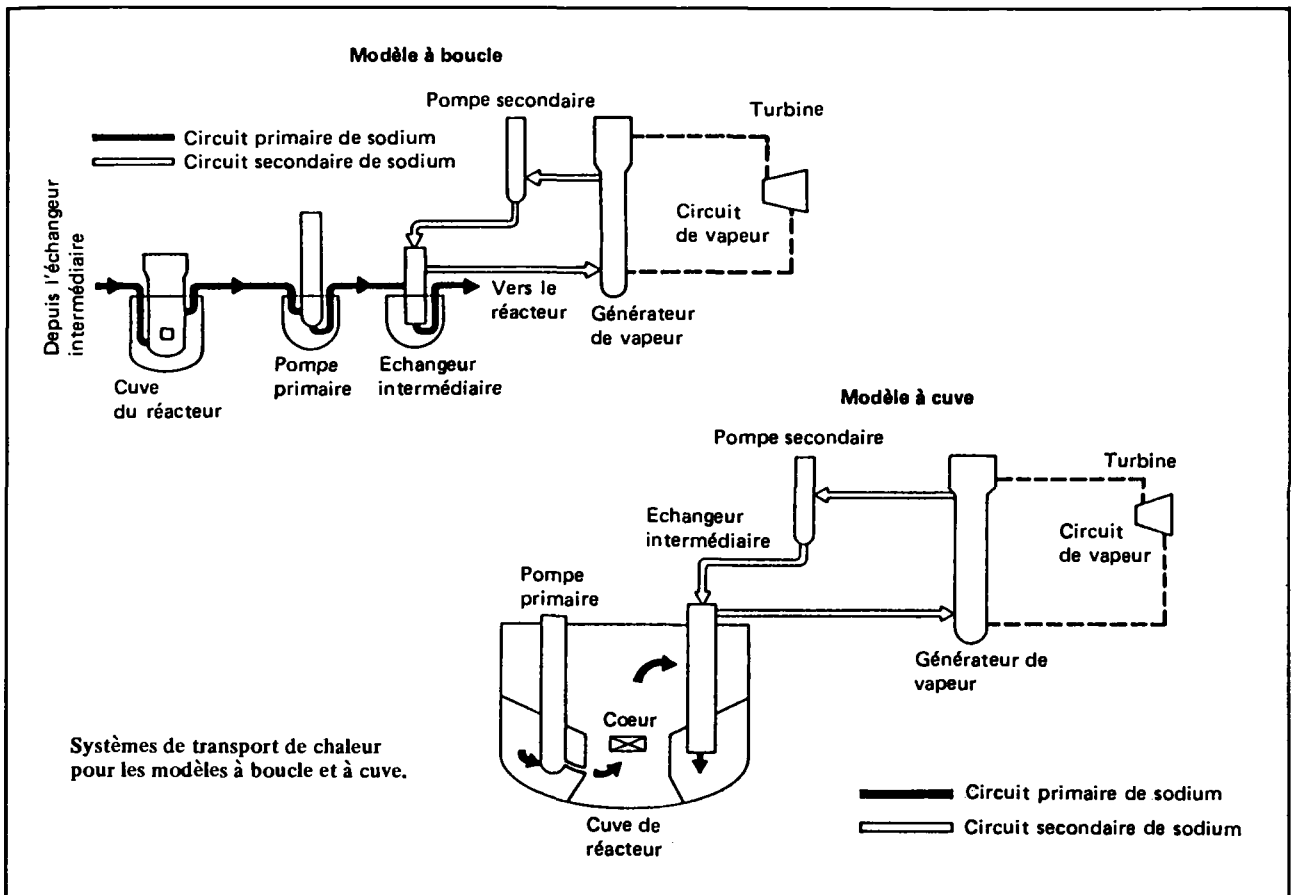
C'est en optimisant les paramètres de la conception du cœur et de l'installation et en tenant compte des limites d'emploi et des propriétés du sodium en tant que caloporteur que l'on a établi les principales caractéristiques des LMFBR prototypes et industriels. Le système de transport de chaleur des réacteurs à cuve et à boucle comporte trois circuits: un circuit de refroidissant primaire, contenant du sodium radioactif chauffé dans le cœur; un circuit secondaire (ou intermédiaire) de sodium non-radioactif; un circuit tertiaire d'eau qui fournit la vapeur aux turbo-alternateurs.

Le cœur a normalement environ un mètre de hauteur et son diamètre peut atteindre quatre mètres. Un manteau d'uranium fertile enveloppe le cœur. La température du caloporteur est de 300 à 400°C à l'entrée du cœur et de 500 à 550°C à la sortie, ce qui donne un rendement thermique (40% environ) supérieur à celui des réacteurs à eau sous pression. Le cœur comporte ordinairement deux zones d'enrichissement du combustible et contient de 100 à 400 assemblages combustibles hexagonaux. Chaque sous-assemblage contient plusieurs centaines d'aiguilles combustibles d'un diamètre extérieur de cinq à neuf millimètres.

On a acquis une bonne expérience de l'efficacité des composants – cuves de réacteur, tuyauterie, pompes à sodium, échangeurs de chaleur intermédiaires, générateurs de vapeur, dispositifs de chargement du combustible et systèmes auxiliaires. Les trois prototypes de LMFBR ont tous connu, au début, une difficulté technique due à des fuites d'eau dans le sodium au niveau des générateurs de vapeur.

Cependant le perfectionnement de la conception des générateurs, l'emploi de dispositifs de protection, la meilleure compréhension du phénomène, les progrès des méthodes de réparation permettent aujourd'hui non seulement de réduire la fréquence de ces fuites mais aussi de faire redémarrer plus vite l'installation après l'avarie. A l'heure actuelle, les travaux sur les générateurs de vapeur des LMFBR indiquent que les contacts entre sodium et eau seront réduits au minimum dans les installations futures.

* Voir Rineiski, A.A., «Comparaison des caractéristiques techniques et économiques des centrales nucléaires équipées des réacteurs thermiques et surgénérateurs actuels», *Atomnaia Energia*, 53 (décembre 1982) pp. 360–67.



Le combustible à mélange d'oxydes est désormais classique pour presque tous les réacteurs expérimentaux et pour tous les prototypes et réacteurs de démonstration. On l'emploie généralement sous forme de pastilles cylindriques en atmosphère d'hélium sous gaine d'acier inoxydable. Avec cette configuration et en employant de l'acier austénitique inoxydable pour les gaines et l'enveloppe des tubes on a obtenu des taux de combustion élevés dans de vastes programmes d'irradiation.

Avec le prototype Phénix, par exemple, on a obtenu des pointes de taux de combustion d'environ 12% (plus de 100 000 MW-jours par tonne) dans un sous-ensemble (non-expérimental) et un taux de 80 000 MW-jours par tonne pour près de 4000 aiguilles.* Dans des réacteurs d'essai, on a obtenu des taux de plus de 20% sans détérioration pour un grand nombre d'aiguilles expérimentales. D'autres combustibles (métal, carbure) et des matériaux de construction sont à l'étude.

L'histoire du développement des LMFBR a été marquée par plusieurs préoccupations relatives à la sûreté, notamment du fait de l'ébullition rapide (ou de perte) du caloporteur et de la compaction du cœur. Les excellentes propriétés refroidissantes du sodium

* Voir Benoist, E., Champeix, L., Le développement des réacteurs à neutrons rapides en France de février 1983 à février 1984, *Status of National Programmes on Fast Breeder Reactors*, TWGFR-52, Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne (1984) pp. 108-23.

garantissent toutefois une bonne évacuation de la chaleur résiduelle même en cas d'accident. Les accidents graves dus à la fusion du cœur sont donc extrêmement improbables.

C'est pourquoi l'étude des accidents a surtout porté sur ceux qui sont assez peu probables, ceux que l'on qualifie d'hypothétiques. D'après une opinion récente (1982-83) un LMFBR doit obéir aux mêmes exigences en matière de sûreté (mesurées en terme de risque dû aux accidents) qu'un réacteur à eau sous pression de même puissance et construit à la même date.

Une étude approfondie des risques concernant le SNR-300 allemand a permis de conclure que pour ce réacteur, la fréquence des accidents graves, et leurs conséquences, ne sont pas pires que pour un réacteur à eau pressurisée.* Ceci montre bien que l'on a déjà atteint, pour les LMFBR, des niveaux de sûreté comparables à ceux des réacteurs à eau sous pression.

Bien que la possibilité technique de réaliser un LMFBR ait été démontrée, l'adoption de ce type de réacteur pour la production industrielle d'énergie dépend avant tout de ses perspectives économiques.

* Risiko-orientierte Analyse zum SNR-300, Gesellschaft für Reaktorsicherheit, GRS-51 (1982). Voir également Bayer, A., Koeberlein, K., «Risk-oriented Analysis on the German Prototype Fast Breeder Reactor SNR 300», *Nuclear Safety* 25, 1 (1984) pp.19-32.

Les investissements sont élevés, ce qui influe beaucoup sur le coût de l'électricité produite par le LMFBR. Si l'on considère les investissements nécessaires, la comparaison des réacteurs soviétiques BN-600 (LMFBR) et WWER-1000 (à eau pressurisée) montre que les premiers coûtent de 30 à 50% plus cher que les seconds.*

Une des principales raisons de cette différence est la plus grande quantité d'aciers fins utilisés pour l'îlot du réacteur (cuve, coeur, pompes primaires, échangeurs de chaleur, etc.) dans les LMFBR conçus dans les années 1960 et au début des années 1970. On pense aujourd'hui qu'il est très possible de réduire la quantité, voire parfois la qualité des métaux nécessaires aux LMFBR et d'en abaisser ainsi le coût.

Il reste toutefois une différence sensible que l'on devrait compenser en abaissant les frais du cycle du combustible des LMFBR. Le coût de l'énergie qu'ils produisent n'est guère influencé par celui de l'uranium naturel, mais il dépend du coût du retraitement et de la refabrication du combustible. On a pu démontrer la possibilité de retraitement du combustible des LMFBR à l'échelle pilote et semi-industrielle, mais la preuve reste à faire à l'échelle industrielle, avec des passages annuels d'au moins 250 tonnes de métal lourd (ce qui correspond à 10 GWe, soit sept à huit Superphénix).

Le recours aux LMFBR industriels dépendra pour beaucoup de leur rentabilité par rapport à celle des réacteurs à eau pressurisée. La baisse des prix de l'uranium depuis quelques années et le ralentissement de l'expansion de l'énergie nucléaire retarde de plusieurs décennies l'expansion rapide de ces réacteurs que l'on avait prévue il y a une vingtaine d'années.

L'évolution

Les premiers LMFBR prototypes et de démonstration ont été conçus ou mis en service à l'époque où les prix de l'uranium commençaient à monter ou étaient déjà élevés. On pensait alors que ces prix continueraient à la hausse et que les LMFBR, malgré les dépenses d'investissement nécessaires, parviendraient à concurrencer les réacteurs à eau légère.

On se rend compte aujourd'hui qu'il ne suffit pas de compter sur la hausse de l'uranium pour compenser les investissements plus élevés qu'exigent les LMFBR. On fait de grands efforts pour les réduire et l'on constate qu'il y a de bonnes chances d'y parvenir.

C'est pour le BN-800 soviétique et le Superphénix II français qu'on a fait les premiers pas dans cette direction. Ils sont l'un et l'autre considérés comme les premiers exemplaires d'une série et leur construction doit commencer prochainement. On a pu augmenter leur puissance sans accroître les dimensions ni les investissements par rapport aux prédécesseurs BN-600 et Superphénix I.

Dans le BN-800, on a apporté des modifications importantes au coeur et au circuit vapeur-eau sans modifier les autres parties de l'installation. En

* Voir Rineiski, A.A., «Comparaison des caractéristiques techniques et économiques des centrales nucléaires équipées des réacteurs thermiques et surgénérateurs actuels», *Atomnaia Energiia*, 53 (décembre 1982) pp. 360-67.

augmentant le volume du coeur, en abaissant le nombre d'éléments du générateur de vapeur, en ramenant de trois à un le nombre des turbo-alternateurs, on a pu porter la puissance électrique de 600 à 800 MWe pour un même investissement.

Dans le Superphénix II, on a fait passer la puissance de 1200 à 1500 MWe et l'on prévoit néanmoins une réduction de l'investissement total dans l'installation. On y est parvenu notamment en réduisant le diamètre de la cuve du réacteur et en raccourcissant le circuit secondaire.

Les moyens de réduire les investissements sont étudiés au Japon pour le DFBR-1000, au Royaume-Uni pour le CDFR et aux Etats-Unis. Il s'agit d'améliorer la rentabilité du LMFBR sans en compromettre la sûreté ni la fiabilité. On cherche surtout à optimiser la conception du coeur, afin de réduire les dimensions de la cuve, du principal système de transport de chaleur et de l'implantation générale de l'installation pour pouvoir réduire d'autant les dimensions du bâtiment du réacteur et des bâtiments auxiliaires, et l'on envisage aussi d'employer des méthodes de construction améliorées.

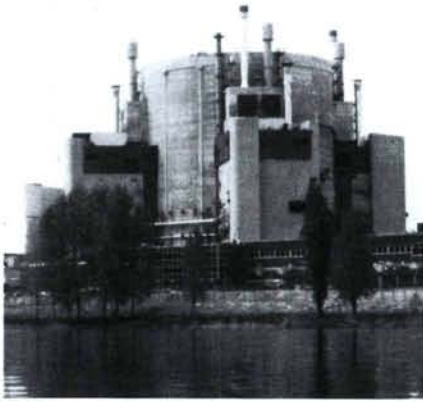
Tous les pays qui s'intéressent aux LMFBR espèrent obtenir une réduction des investissements par d'autres moyens encore, par exemple en normalisant les installations, en supprimant les exigences excessives, en adoptant des techniques nouvelles et en modifiant les conceptions. Cela permet d'espérer raisonnablement qu'au début du siècle prochain les modifications de la conception, de la construction et du fonctionnement des surgénérateurs permettront d'obtenir des coûts de production d'énergie qui ne seront que de 10 à 15% plus élevés que ceux des réacteurs à eau pressurisée.

Les tendances actuelles des programmes d'irradiation du combustible des LMFBR sont elles aussi encourageantes. On a obtenu un taux de combustion de 10% d'atomes lourds (environ 100 000 MW-jours par tonne) dans des prototypes (Phénix, PFR) et des réacteurs expérimentaux (FFTF). Pour les réacteurs futurs (par exemple CDFR et Superphénix II) on envisage des taux de 15 à 20%.* Ces augmentations permettront de réaliser des économies considérables en abaissant les coûts du cycle du combustible.

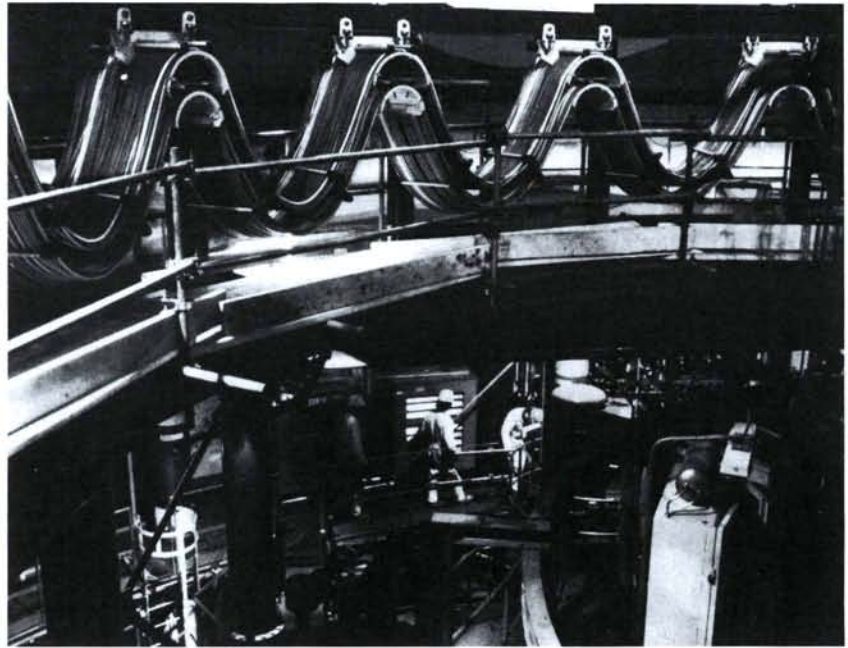
L'expérience accumulée dans le domaine du cycle du combustible permet une estimation réaliste des investissements nécessaires aux usines de retraitement. Les estimations faites en 1983 au Royaume-Uni indiquent qu'une usine de retraitement d'une capacité annuelle de 50 tonnes de métal lourd, capable de retraiter le combustible de trois réacteurs rapides, coûterait moins de 5% de l'investissement total nécessaire pour les réacteurs et leur cycle du combustible complet.**

* Voir Anderson, R.G., Etude sur le Royaume-Uni, «IWGFR Meeting on Predictions and Experience of Core Distortion Behaviour», 1-4 octobre 1984, Manchester (à paraître) et Bernard, A., et Van Dorsselaere, J.P., «General Presentation of the Core Mechanical Behaviour Approach in France», IWGFR Meeting on Prediction and Experience of Core Distortion Behaviour, 1-4 octobre 1984, Manchester (à paraître).

** Smith, R.D., «A Review of the UK Fast Reactor Programme», mars 1984, dans *Status of National Programmes on Fast Breeder Reactors*, TWGFR-52, Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne (1984), pp. 77-107.



Le Superphénix, réacteur surgénérateur rapide en voie d'achèvement à Creys-Malville (France), doit entrer en service en 1985. (Photo EDF)



Malgré les modifications subies par le calendrier des LMFBR depuis une quinzaine d'années, la nécessité de leur emploi reste incontestée. La situation en ce qui concerne leur technique et leur sûreté est favorable. Des progrès considérables ont été réalisés dans ces deux domaines; c'est l'économie qui demeure le principal obstacle. La coopération internationale peut offrir une solution à ce problème, comme elle l'a fait sur le plan technique.

Ce qui complique l'entrée sur le marché du réacteur surgénérateur rapide, c'est la durée et le coût de sa mise au point, la nécessité d'un cycle du combustible fermé et l'idée que, vu la baisse récente de la demande d'énergie dans le monde industrialisé, on n'en aura peut-être pas besoin avant 20 ou 50 ans, selon les pays.

Ainsi s'expliquent en partie les trois attitudes — enthousiasme débordant, indifférence, quasi-refus — que l'on constate dans les pays qui ont entrepris de réaliser des réacteurs surgénérateurs.

Les retards apportés à la commercialisation des LMFBR ont fait qu'on s'intéresse davantage à élaborer des modèles plus économiques. On a maintenant plus de temps devant soi. Cela signifie que les LMFBR qu'on mettra en service après l'an 2000 seront plus perfectionnés, moins chers et capables de concurrencer les réacteurs à eau légère avec des prix d'uranium beaucoup plus bas que si on les avait commercialisés à la fin des années 1980 et au début des années 1990.

Un surgénérateur sans retraitement n'en est pas un. Si l'on veut utiliser ces réacteurs il est donc indispensable de fermer le cycle du combustible. Or, le cycle du combustible fermé des LMFBR, et notamment le retraitement du combustible, doit encore faire ses preuves à l'échelle industrielle. Pour justifier la construction d'une usine de retraitement de taille industrielle, il faudrait qu'il y ait en service environ 10 GWe (soit sept ou huit installations de la puissance du Superphénix).

S'il est vrai que l'on a bien en main la situation technique, la possibilité de financer la démonstration de l'emploi industriel des LMFBR laisse à désirer. Les investissements à long terme s'avèrent difficiles, surtout du fait que le marché des capitaux paraît plutôt orienté vers les rendements à court terme. Cela signifie que l'on ne trouvera les capitaux nécessaires que si quelques grands organismes, par exemple l'EDF en France, CEGB au Royaume-Uni et plusieurs compagnies allemandes de services publics mettent en commun leurs ressources pour financer les installations.

La pénurie de capitaux n'est qu'une des circonstances qui militent en faveur d'une coopération internationale. L'exemple des pays de l'Europe occidentale et de ceux du Conseil d'assistance économique mutuelle (CAEM) montre que la coopération peut permettre de réaliser des économies considérables. Cette coopération produit aussi un effet synergétique en matière de conception et offre un marché plus large aux installations plus nombreuses nécessaires pour tirer profit de la production en série.

La coopération internationale permet aussi de faire des économies dans le cycle du combustible car une installation donnée pourra desservir plus tôt un plus grand nombre de réacteurs. La coopération internationale est donc appelée, dans ces trois domaines, à jouer un rôle important pour l'avenir des LMFBR.

Dans les pays européens qui ont déjà décidé d'harmoniser leurs efforts, il est pratiquement certain qu'il y aura plusieurs surgénérateurs en service d'ici la fin du siècle.

Quant aux plans antérieurs, on voit que le Superphénix I, qui doit atteindre la criticité en 1985, sera opérationnel et permettra d'acquérir une expérience suffisante pour Superphénix II, qu'on espère voir en service au milieu des années 1990. En République fédérale d'Allemagne, le SNR-2 sera probablement prêt en l'an 2000. De même, le Royaume-Uni pourrait

La coopération mondiale dans le domaine des réacteurs rapides: conjonction des efforts

C'est sous le signe de la coopération internationale que se réalisent les programmes de développement des réacteurs surgénérateurs rapides. La recherche et le développement concernant ces réacteurs est peut-être le domaine où la coopération internationale a remporté les plus larges succès.

La collaboration et les échanges d'information internationaux ont été très actifs dès les années 1960. C'est pour les favoriser que l'AIEA a créé, en 1967, le Groupe de travail international sur les réacteurs rapides, afin de coordonner ses activités dans ce domaine. L'AIEA a

depuis organisé plus de 80 conférences, colloques, comités techniques et réunions de spécialistes dans le domaine des réacteurs rapides.

Cette coopération va des échanges ouverts d'informations, lors de nombreuses réunions internationales, au lancement de projets communs tels que SEFOR; les programmes communs Rép. féd. d'Allemagne/Belgique/Pays-Bas; le consortium monté pour Superphénix qui a récemment abouti au groupe ARGO; les arrangements conclus au sein du Conseil d'assistance économique mutuelle (CAEM).

Europe occidentale

La France a conclu en 1977 d'importants accords avec la République fédérale d'Allemagne, associée à la Belgique et aux Pays-Bas (DeBeNe), en vue de mettre en commun le savoir-faire concernant les systèmes générateurs de vapeur des LMFBR, la mise au point des éléments combustibles et la conception. L'organisation centrale créée à cette fin et pour la future commercialisation des surgénérateurs, connue sous le nom de SERENA, a été fondée en 1978; c'est la seule société de l'Europe occidentale continentale qui délivre des licences pour les générateurs futurs à la République fédérale d'Allemagne, à la France et à d'autres pays. L'amélioration de la coordination et de la coopération européennes pour la construction des trois centrales prévues dans ces pays paraît désormais possible.

C'est dans ce cadre que les activités de R&D en France et en République fédérale d'Allemagne sont harmonisées depuis 1977 par un comité directeur et neuf groupes de travail spécialisés, et complétées par un échange continu d'informations et par des actions communes.

Un groupe ouest-européen élargi fonctionne depuis août 1983 pour l'étude des systèmes nucléaires à neutrons rapides. Ce groupe, connu sous le nom d'ARGO, se propose de promouvoir le surgénérateur de manière à contribuer à assurer l'approvisionnement énergétique de l'Europe. Outre la France, quatre pays y ont adhéré dès le début: la Belgique, l'Italie, les Pays-Bas et la République fédérale d'Allemagne. Un memorandum intergouvernemental d'accord, signé à Paris en janvier 1984, y a introduit la Grande-Bretagne. Le groupe reste ouvert à d'autres membres éventuels.

En février 1984, l'Electricité de France (EDF) et l'organisme britannique Central Electricity Generating Board (CEGB) ont signé à Londres un accord de travail

en commun sur les centrales à réacteurs rapides, prévoyant la participation éventuelle de CEGB au projet Superphénix II.

Par un memorandum signé à Londres le 2 mars 1984, des sociétés industrielles et des organismes de recherche de Belgique, de France, de Grande-Bretagne, d'Italie et de République fédérale d'Allemagne sont convenus de grouper leurs activités concernant l'élaboration et la construction de réacteurs surgénérateurs rapides. Une participation néerlandaise est aussi envisagée. D'après ce memorandum, l'objectif essentiel de la collaboration est d'employer le plus efficacement possible les ressources permettant d'avancer l'adoption de réacteurs rapides rentables.

Le large échange d'informations envisagé a pour but de réaliser un programme progressif de construction de réacteurs de démonstration en Europe et d'inspirer aux compagnies d'électricité la confiance nécessaire au lancement d'un programme complet de construction de réacteurs industriels. Chaque réacteur de démonstration bénéficierait de l'expérience acquise par son prédécesseur et les perfectionnements successifs aboutiraient à un modèle qui pourrait servir de base aux réalisations nationales. Chaque réacteur pourrait à son tour devenir un centre pour les activités de recherche, de développement et de conception de tous les participants.

De plus, les organismes britanniques et français intéressés au cycle du combustible ont également signé en mars 1984 deux mémoranda énonçant les principes de la coopération en matière de fabrication et de retraitement du combustible. Des négociations sont en cours pour l'extension de ces dispositions à d'autres pays qui collaborent dans le domaine des réacteurs.

Europe orientale

En Europe orientale, la coopération s'est instituée en 1980 lorsque les pays membres du CAEM ont signé un accord de collaboration pour l'étude d'un grand réacteur surgénérateur rapide. Le programme de R&D comporte des travaux en commun sur la physique du réacteur, la conception du cœur, la thermo-hydraulique, la mise au point de composants et d'instruments, la sûreté du réacteur rapide et son cycle du combustible.

Les études s'effectuent dans les laboratoires et installations de différents pays: installations critiques de la République démocratique allemande (RDA), de Roumanie et d'URSS; installations thermo-hydrauliques de RDA, de Tchécoslovaquie, et d'URSS; réacteurs surgénérateurs rapides BOR-60 et BN-350 en URSS.

L'instrumentation destinée aux LMFBR est mise au point par des établissements de recherche scientifique de Hongrie, de Pologne, de RDA, de Tchécoslovaquie, et d'URSS; elle est essayée sur les réacteurs BOR-60 et BN-350.

Plusieurs modèles de générateurs de vapeur pour LMFBR, mis au point en Tchécoslovaquie, ont été essayés avec succès sur le BOR-60. Le générateur de vapeur et ses vannes, pour le LMFBR de grande puissance, est élaboré en commun par des spécialistes de Tchécoslovaquie et d'URSS.

Le matériel de retraitement du combustible des réacteurs rapides, ainsi que les systèmes de commande et l'instrumentation des usines de retraitement sont en cours d'élaboration en Tchécoslovaquie, en RDA, en Pologne et en URSS. Des études communes d'optimisation du retraitement du combustible ont permis de conclure que la capacité optimale d'une usine serait d'environ 1500 tonnes de combustible par an. Ceci suffirait à desservir des centrales d'une capacité totale de 40 à 50 GWe. Outre les méthodes de retraitement par voie humide, les spécialistes de Tchécoslovaquie et d'URSS mettent au point des techniques de retraitement à sec.

décider de construire le CDFR de manière à le mettre en service à la fin du siècle. En URSS, le BN-600 sera suivi du BN-800 qui constituera, au début des années 1990, la première tranche d'une série qui comptera peut-être vingt installations. Par la suite, viendra peut-être le BN-1600, après l'an 2000. Le Japon espère achever le Monju vers 1990 et peut-être aussi un réacteur de démonstration plus puissant d'ici à l'an 2000.

Ces divers scénarios permettraient de se passer d'installations de taille industrielle pour le cycle du combustible jusqu'au-delà de l'an 2000. Il faudrait toutefois disposer d'installations de démonstration pour préparer les grandes usines de l'avenir.

Par la suite, une série de LMFBR éprouvés seraient disponibles sur le marché, créant le besoin de grandes installations de retraitement et de fabrication de combustible. On disposerait donc de nombreux réacteurs surgénérateurs au moment où les réserves de combustibles fossiles liquides seraient épuisées, ce qui, d'après diverses estimations, arriverait dans les débuts du 21^{ème} siècle. L'objectif général des LMFBR – être une source durable d'énergie pour satisfaire la demande mondiale – serait ainsi atteint.