

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

**Herausgeber:** Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

**Band:** 73 (1984)

**Heft:** 1-2

**Artikel:** Les surrégénérateurs, craintes et espoirs

**Autor:** Michaud, Bernard

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-308628>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 28.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Les surrégénérateurs, craintes et espoirs

par BERNARD MICHAUD,  
Commission fédérale de surveillance de la radioactivité, Fribourg

### Ere nucléaire

En 1982, il existe dans le monde 277 réacteurs nucléaires électrogènes répartis dans 24 pays et produisant 9% du courant électrique. La part de l'électricité nucléaire présente des variations très fortes d'un pays à l'autre:

France	40 %
Suède	36 %
Finlande	30 %
Suisse	28 %
Belgique	22 %
RFA	15 %
USA	12 %

L'expérience accumulée par l'*industrie nucléoélectrique* représente à ce jour plus de 2600 années de fonctionnement. L'humanité est entrée dans l'*ère nucléaire*.

### Centrales nucléaires de type éprouvé

Dans une centrale nucléaire, la chaleur est produite par la *fission nucléaire* qui libère une partie de l'énergie contenue dans l'*uranium*. La fission de 1 g d'*uranium-235* libère 22 000 kWh (thermiques). Cette énergie équivaut à la chaleur dégagée par la combustion d'environ 2 t de pétrole. La chaleur produite dans le *cœur* du réacteur est récupérée par un *fluide caloporteur*; celui-ci cède ses calories à un *circuit eau-vapeur* qui actionne le *groupe turbo-alternateur*.

Le parc mondial des centrales nucléaires est constitué pour plus des 4/5 de réacteurs à eau ordinaire:

- réacteurs à eau pressurisée 55% (en Suisse: Beznau, Gösgen),
- réacteur à eau bouillante 26% (en Suisse: Mühleberg, Leibstadt).

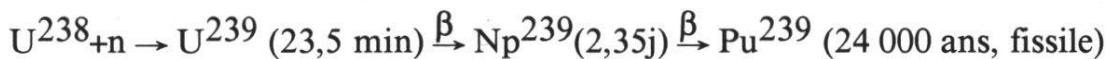
Ces réacteurs, dont le combustible est de l'*uranium* légèrement *enrichi* en *uranium-235*, n'utilisent qu'une petite fraction (1 à 2%) du potentiel énergétique de l'*uranium* naturel et en consomment par conséquent énormément. Les besoins en énergie continuant à croître, on prévoit que dans une cinquantaine d'années environ, les réserves d'*uranium* ne seront plus suffisantes pour alimenter de telles centrales.

### Réacteurs surrégénérateurs

Le recours aux *réacteurs surrégénérateurs* permet de repousser loin dans le futur l'épuisement des ressources en *uranium*. Dans cette filière, en effet, la presque totalité

du potentiel énergétique de l'uranium est utilisable et le facteur de gain énergétique par rapport aux centrales nucléaires classiques se situe entre 50 et 100.

Deux isotopes lourds sont présents dans le cœur de tout réacteur. Le premier, dit *fissile*, se scinde en deux fragments plus légers sous l'action d'un neutron. La *fission* s'accompagne d'une libération d'énergie et de l'émission de 2 à 3 neutrons secondaires assurant l'entretien de la *réaction en chaîne*. L'*uranium-235* (abondance naturelle 0,7 %) est le seul isotope fissile existant dans la nature. Le second, non fissile, peut se transformer en isotope fissile par capture d'un neutron ; on l'appelle *fertile*. L'*uranium-238*, matière abondante (abondance naturelle 99,3 %), peu coûteuse, sous-produit des usines d'enrichissement, est fertile :



Ainsi, dans tout réacteur nucléaire, en même temps que se consomment des noyaux atomiques fissiles (par exemple l'*uranium-235*), se reforment d'autres noyaux fissiles (par exemple le *plutonium-239*) par transmutation de noyaux fertiles. On appelle *taux de régénération* le rapport entre la matière fissile produite et la matière fissile consommée pendant le même temps. Seules des conditions très particulières permettent d'obtenir un taux de régénération supérieur à l'unité. On parle dans ce cas de *surrégénération*. Les réacteurs qui possèdent cette propriété sont dits *surrégénérateurs*.

Les conditions les plus favorables consistent à utiliser le *plutonium-239* fissile et l'*uranium-238* fertile dans un réacteur à *neutrons rapides*<sup>1</sup>. Ce n'est que dans ces conditions que l'on peut atteindre des taux de régénération dépassant notablement 1. Le cœur d'un tel réacteur est constitué de matériau fissile et de matériau fertile. Il est entouré d'une couverture en matériau fertile.

Après irradiation prolongée du cœur et de la couverture, il est nécessaire de restaurer les *matières fissiles* (plutonium) et *fertiles* (uranium) et de les séparer des *produits de fission*. C'est l'opération très délicate de *retraitement du combustible*. La manutention et le transport du *combustible irradié* posent des problèmes de radioprotection, de refroidissement et de confinement. Dans le cas des réacteurs à neutrons rapides, la fermeture du *cycle du combustible* par le retraitement du combustible irradié est indispensable, nécessitée par les quantités importantes de plutonium mises en jeu annuellement. A chaque opération, on récupère plus de plutonium qu'on en avait au départ. Ce plutonium excédentaire servira à alimenter de nouveaux surrégénérateurs. On a bon espoir d'atteindre à l'avenir des taux de régénération de l'ordre de 1,4. Le *temps de doublement* correspondant, c.-à-d. le temps nécessaire à un surrégénérateur pour produire la quantité de plutonium nécessaire à l'alimentation d'un deuxième réacteur identique à lui-même serait de l'ordre de 20 ans.

Les surrégénérateurs offrent de nouvelles perspectives de développement à l'énergie nucléaire. Par la valorisation de l'*uranium appauvri* et l'utilisation du plutonium, ils constituent le prolongement le plus intéressant des filières nucléaires actuelles.

<sup>1</sup> Dans les réacteurs nucléaires de type éprouvé, les neutrons sont ralentis dans un *modérateur (neutrons thermiques)*.

## Super-Phénix

La filière de surrégénérateurs qui a atteint un stade de développement avancé est le réacteur à *neutrons rapides*, refroidi au *sodium*, à combustible d'*oxyde mixte de plutonium et d'uranium*. Parmi les nations qui fournissent un effort sérieux dans ce domaine (France, URSS, RFA, Grande-Bretagne, Italie, Japon, USA), la France occupe le premier rang. Après la mise en fonctionnement du réacteur expérimental *Rapsodie* en 1967 et de la centrale de démonstration *Phénix* en 1973, la prochaine étape sera *Super-Phénix*.

Super-Phénix, centrale prototype d'une puissance électrique de 1200 mégawatts, est en construction à Creys-Malville sur le Rhône, à 50 km de Lyon et 70 km de Genève. Le but de Super-Phénix, dont la mise en service est prévue en 1984, est de confirmer à l'échelle industrielle la validité de la filière des réacteurs nucléaires à neutrons rapides refroidis au sodium. La figure 1 montre le schéma du système français de surrégénérateur. Ce type de réacteur se caractérise par le fait qu'il comprend deux circuits de sodium à faible pression. Le circuit primaire refroidit le cœur dont il transfère l'énergie au sodium secondaire non radioactif. La chaudière nucléaire, à *circuits intégrés* ou *piscine*, contient dans une même cuve tout le circuit primaire, y compris pompes et échangeurs intermédiaires.

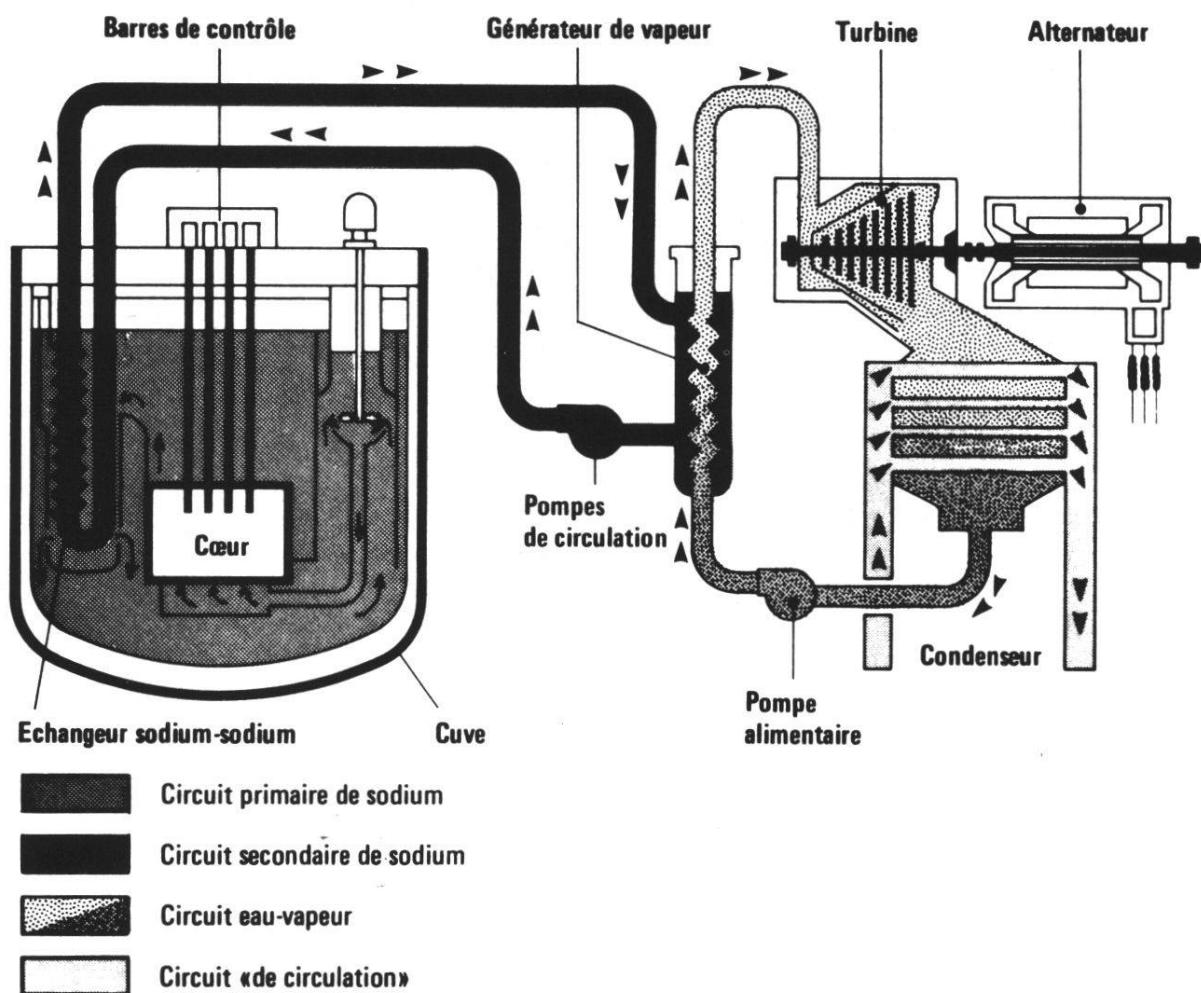


Fig. 1 : Schéma d'un réacteur surrégénérateur et du groupe turbo-alternateur associé.

## Craintes

L'énorme puissance technologique aux mains des hommes, en même temps qu'elle donne des espoirs, inspire également des craintes.

Dans le cœur d'un surrégénérateur, une brusque augmentation de la température a des effets qui peuvent en modifier la *réactivité*. Une augmentation de celle-ci pourrait conduire, si les barres de contrôle ne tombent pas, ce que l'on aimerait pouvoir exclure à tout prix, à un emballement du réacteur que l'on appelle *excursion nucléaire*. Le réacteur finirait par s'arrêter par la dispersion du combustible. Le *confinement primaire* est en principe dimensionné pour résister à l'énergie mécanique maximale libérée lors d'une telle excursion nucléaire. D'autre part, le *sodium liquide*, dont la compatibilité avec les matériaux du réacteur est bonne, réagit en revanche très violemment avec l'eau et s'enflamme au contact de l'air, ce qui explique en partie la complexité du réacteur. Quelque faible que soit sa probabilité, un accident avec rupture du confinement et volatilisation d'une partie du cœur aurait de graves conséquences radiologiques aux environs de la centrale.

Le *retraitement*, indispensable, du combustible des surrégénérateurs posera des problèmes à la fois de *radiochimie* et de *criticité* beaucoup plus difficiles à résoudre que pour les réacteurs actuels.

Le coût de construction d'une centrale telle que Super-Phénix est environ deux fois supérieur à celui d'une centrale nucléaire à eau pressurisée de série, de même puissance. Le coût du cycle du combustible est également plus élevé et continue à croître en raison de l'augmentation du retraitement et donc du plutonium.

L'avènement des surrégénérateurs constituera le véritable départ de la commercialisation du *plutonium* et des transports civils de plutonium en quantité importante, ce qui oblige à envisager la possibilité de détournements à des fins de construction d'armes nucléaires. On craint d'autre part que la nécessité de garantir une haute sécurité pour ces transports conduise à la militarisation d'une branche de la production d'énergie électrique.

Face aux risques sociologiques des grands systèmes centralisés, d'aucuns pensent enfin que l'introduction des surrégénérateurs constitue un pas décisif dans la mise en place effective d'un type de société incompatible avec les valeurs dont se réclament encore nos démocraties pluralistes.

## Perspectives

Les réacteurs surrégénérateurs ont aujourd'hui une réalité technologique indiscutable. Mais l'introduction de toute nouvelle technologie exige un temps de développement et de mise au point très long dans le domaine énergétique. Ce n'est qu'à partir de l'an 2000 que la percée des surrégénérateurs aura un impact sur l'industrie nucléaire.

Pour la plupart des pays industrialisés, la fission nucléaire, perpétuée par le recours en temps utile aux réacteurs surrégénérateurs, est une des solutions aux problèmes d'approvisionnement en énergie. Les grands défis de l'avenir seront la compétitivité et l'acceptation par l'opinion publique.

Face à la profonde inquiétude de l'homme contemporain, il n'est pas inutile de rappeler ici que la science et la technique doivent être au service de l'homme et non asservies à la volonté de puissances de pouvoirs tyranniques, aussi bien politiques qu'économiques. Les hommes de science assument à cet égard une responsabilité particulière.

## Bibliographie

APAG : Livre jaune sur la société du plutonium. Association pour l'Appel de Genève, Editions de la Baconnière : Neuchâtel 1981.

ASPEA, FORATOM : The breeder reactor and Europe. Conférence Association suisse pour l'énergie atomique/FORATOM, Lucerne, 14-17 oct. 1979.

CHEVRIER, C., et al. : Les surrégénérateurs. Revue générale nucléaire 6 (1979).

COURVOISIER, J.C., GRAENICHER, H., DE HALLER, G., LUTZ, H.R., OESCHGER, H., et ROSSEL, J. : Bases physiques et techniques de l'énergie nucléaire. Rapports de la SHSN sur l'énergie nucléaire 3. Berne 1980.

EDF, CEA : Les surrégénérateurs. Sofedir : Palaiseau (France) 1978.

KHODAREV, E. : Les réacteurs surgénérateurs rapides à métal liquide. Bull. Agence internat. de l'énergie atomique 20, 29-38 (1978).

SHSN : La sécurité de l'énergie nucléaire. Rapports de la SHSN sur l'énergie nucléaire. Berne (à paraître).

WILSON, R. : Physics of liquid metal fast breeder reactor safety. Rev. Mod. Phys. 49, 893-924 (1977).