

NUCLÉAIRE



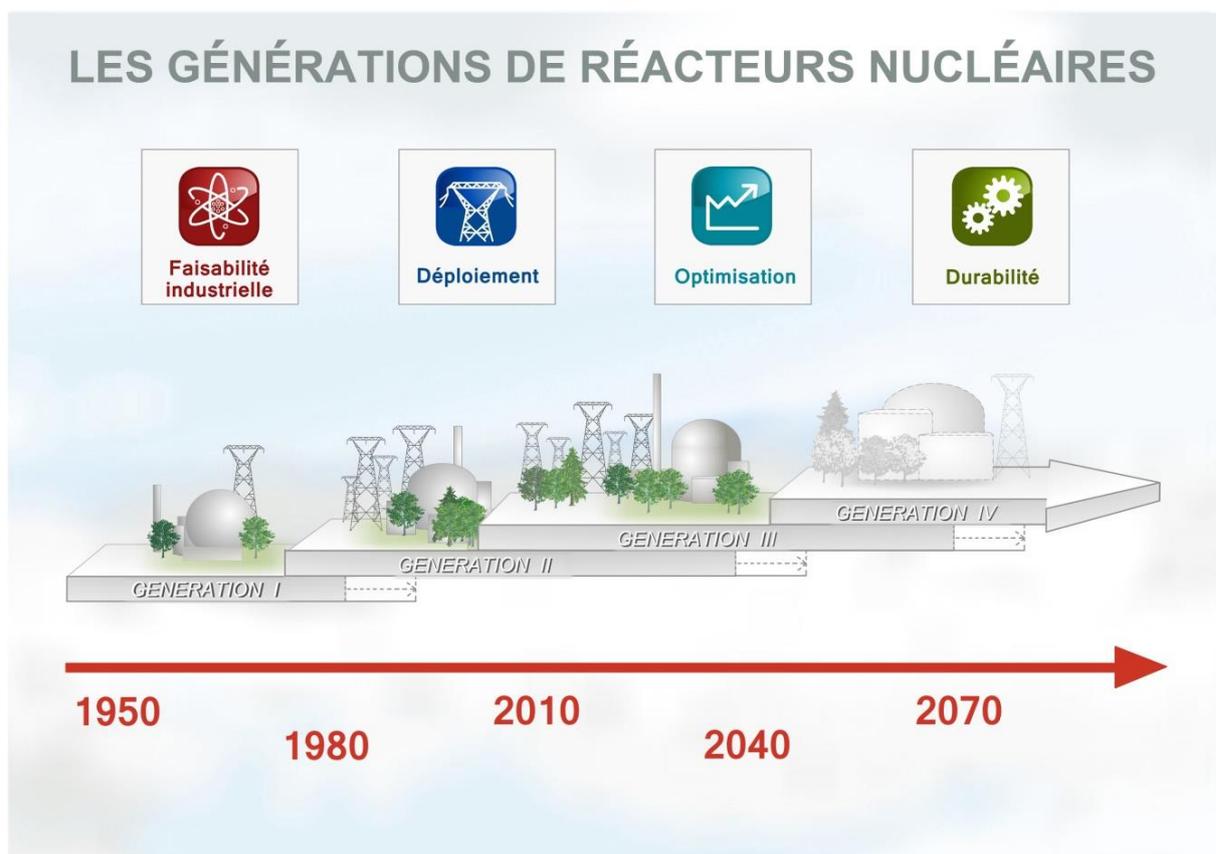
ENCORE RENOUVELABLE

CENTRALE NUCLÉAIRE DE 4^{ème} GÉNÉRATION



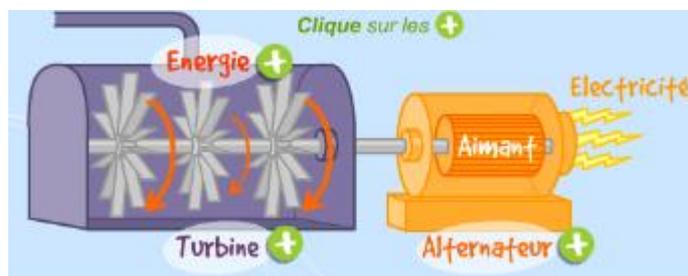
C'est quoi ?

Depuis 2001, plusieurs pays travaillent sur les centrales nucléaires de 4^{ème} génération afin d'améliorer la sûreté nucléaire [absence d'effets dommageables sur les personnes et l'environnement] et la réduction des matériaux radioactifs combustibles [uranium] et des déchets. Mais aussi permettre d'autres usages que la production d'électricité tels que la fabrication d'hydrogène, d'eau potable par désalinisation et la valorisation de la chaleur fatale [chaleur perdue]. Les physiciens cherchent aussi à diminuer les risques de prolifération nucléaire en utilisant les stocks de plutonium [potentiellement utilisable à des fins militaires ou terroristes], le tout en essayant de minimiser les coûts de construction et d'exploitation.



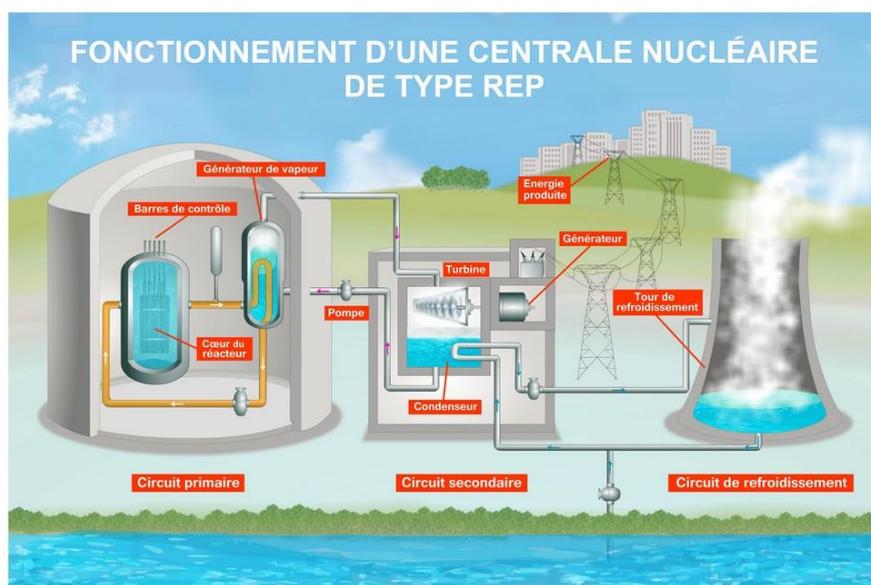
Comment ça fonctionne ?

Pour produire de l'électricité de manière industrielle, on utilise une turbine qui transmet à un alternateur une force suffisante pour le mettre en rotation rapide. Celui-ci va alors transformer en énergie électrique l'énergie mécanique qui lui est communiquée.

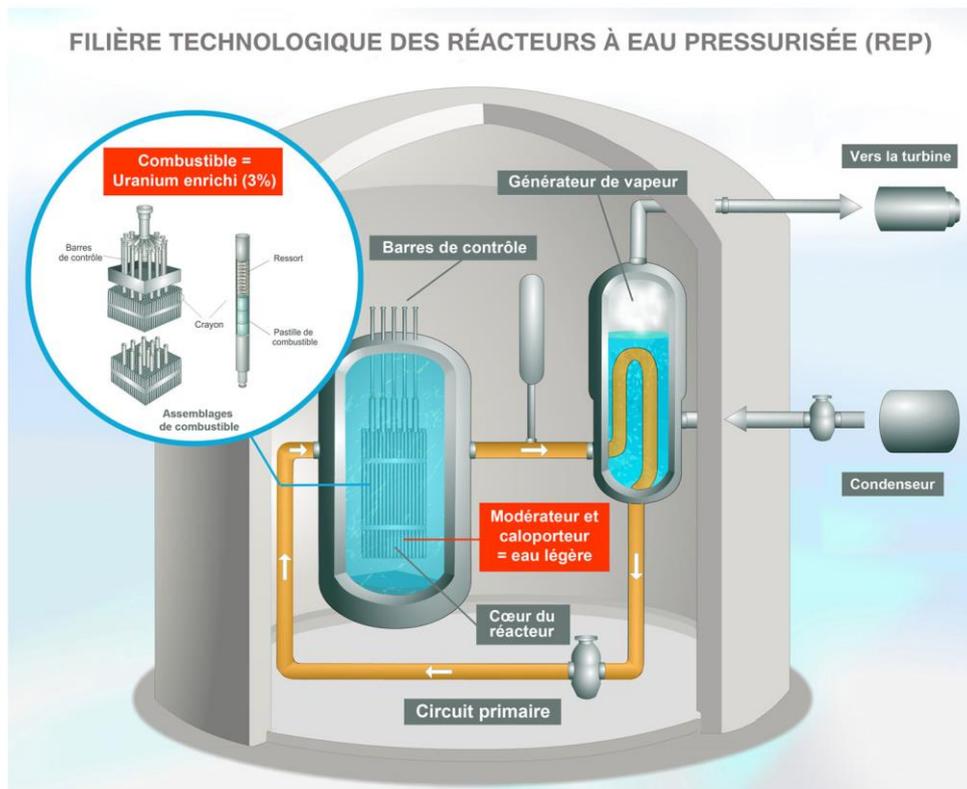


La turbine peut être alimentée de différentes manières : dans une centrale hydroélectrique, c'est l'eau, chutant du barrage, qui lui communique son énergie ; dans une centrale thermique comme dans une centrale nucléaire classique, ce rôle est dévolu à de la vapeur sous pression.

Dans ce cas, on a recours à une « chaudière » qui produit la chaleur à partir de laquelle la vapeur est générée. Mais tandis qu'une centrale thermique brûle du charbon, du pétrole ou du gaz, un réacteur nucléaire produit de la chaleur par des réactions de fission de noyaux atomiques tels que ceux de l'uranium.



Toute chaudière a besoin d'un « fluide caloporteur » pour évacuer la chaleur à transmettre. Dans les centrales nucléaires actuellement en service, ce fluide est tout simplement de l'eau. Dans les « systèmes nucléaires du futur », le rôle de caloporteur pourra être assuré par un métal liquide, comme le sodium ou le plomb, ou par un gaz, l'hélium.



6 filières ont été retenues :

- Réacteur à très haute température
- Réacteur à eau supercritique
- Réacteur à sels fondus
- Réacteur rapide à caloporteur hélium
- Réacteur à caloporteur plomb
- Réacteur à neutrons rapides à caloporteur sodium

Ces six filières diffèrent par la **nature du combustible** (*uranium, plutonium, Mox – un mélange d'oxyde d'uranium et de plutonium*), du **modérateur** (*substance placée au cœur du réacteur ralentissant la vitesse des neutrons et permettant une réaction en chaîne efficace*), et enfin par la nature du **caloporteur**, le fluide chargé de transporter la chaleur.

La 4ème génération correspond aux réacteurs, actuellement en conception, qui pourraient voir un déploiement industriel à l'horizon 2040-2050, et probablement plus tôt en Inde ou en Chine. Ils sont en rupture technologique totale avec tout ce qui a été réalisé jusqu'à présent. Les recherches sur ces systèmes du futur sont menées dans le cadre du Forum international Génération

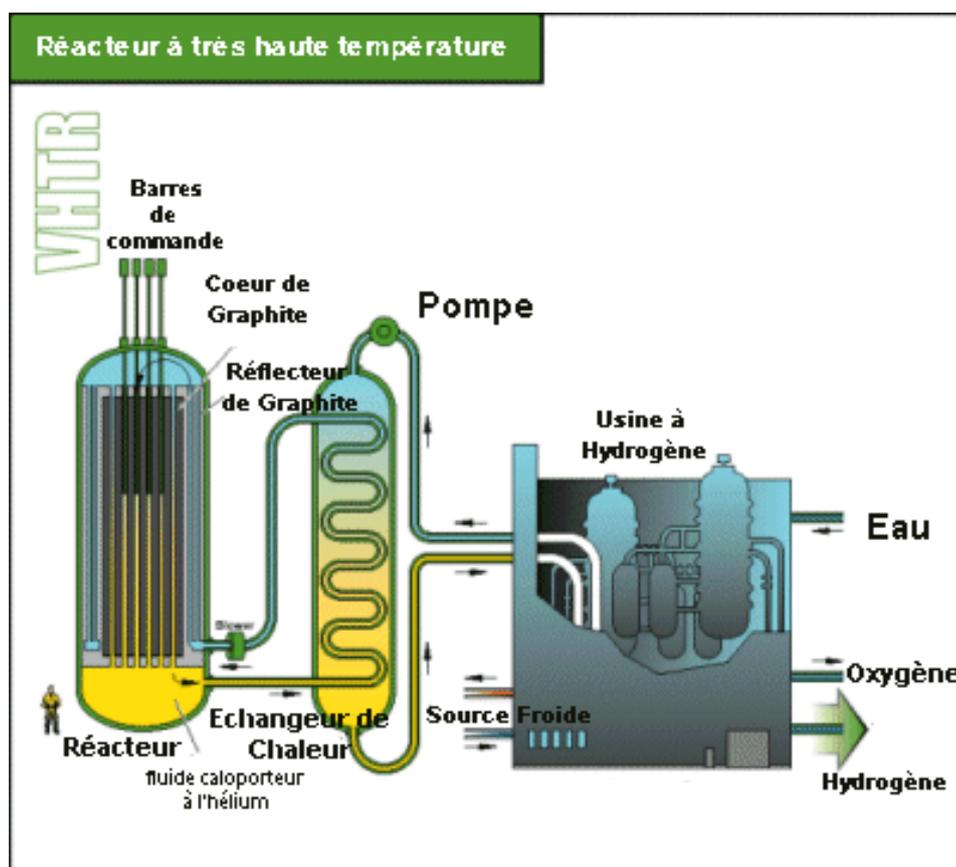
IV qui a établi les quatre critères auxquels ils devront répondre : la **durabilité**, la **sûreté**, la **compétitivité économique** et la **résistance à la prolifération nucléaire**. En 2006, le CEA a été mandaté par l'Etat Français pour étudier la conception d'un réacteur de 4e génération [projet ASTRID, à l'arrêt pour l'instant].

Réacteur à très haute température [VHTR]

C'est un réacteur à très haute température [1 000°C/1 200°C], refroidi à l'hélium, dédié à la production d'hydrogène ou à la cogénération hydrogène/électricité.

Un objectif prioritaire du VHTR est qu'il puisse brûler son combustible avec une efficacité beaucoup plus élevée que les réacteurs actuels. La quantité de déchets de haute activité à durée de vie longue produite par un VHTR est, à production électrique égale, nettement moindre que dans un REP grâce au rendement thermodynamique et au taux de combustion du combustible beaucoup plus élevé. Le combustible irradié peut être stocké en l'état (sans retraitement) et avec un conditionnement simplifié et peu coûteux, est particulièrement adapté pour le stockage géologique direct.

Avantages: rendement élevé [50%], idéal pour la production de chaleur industrielle, possibilité de production d'hydrogène, très grande sécurité passive [fusion du cœur impossible].

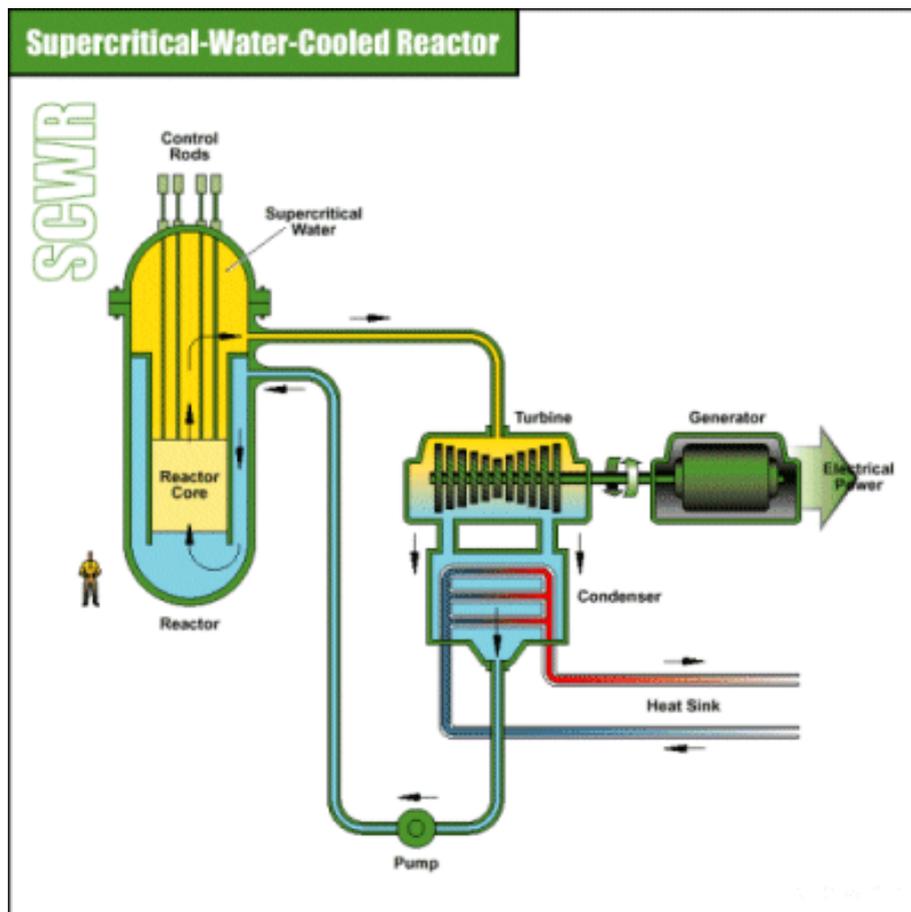


Réacteur à eau supercritique [SCWR]

Ces réacteurs fonctionneront à des valeurs de pression et température situées au-dessus du point critique de l'eau, soit au-dessus de 374 °C et de 221 Bar.

On ne distingue plus la phase liquide de la phase vapeur quand l'eau se trouve à l'état supercritique. L'eau supercritique est couramment utilisée dans les modèles avancés de centrales au charbon, au mazout et au gaz. Le rendement du réacteur à eau supercritique est supposé être environ 1,3 fois supérieur à celui des modèles classiques refroidis par eau.

Avantages : rendement de 45% environ, forte rentabilité, possibilité de spectre de neutrons thermiques ou rapides.

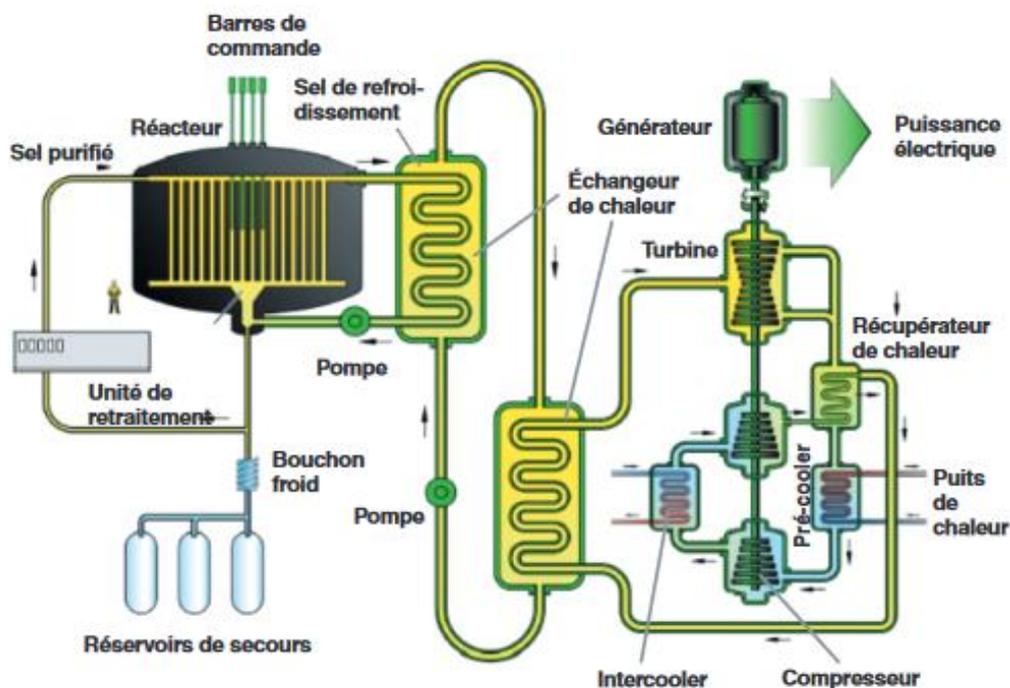


Réacteur à sels fondus (MSR)

Ces réacteurs fonctionnent à des températures plus élevées que les réacteurs classiques, ce qui se traduit par une efficacité accrue dans la production d'électricité. En outre, comme ils fonctionnent à faible pression, les risques de ruptures et de fuites de fluide de refroidissement en cas d'accident sont réduits, ce qui améliore la sûreté du réacteur.

Les MSR produisent également moins de déchets et sont conçus pour fonctionner sans combustible solide, ce qui élimine les difficultés liées à la fabrication et au stockage définitif de ce type de combustible. Ces réacteurs pouvant être adaptés pour différents cycles de combustible nucléaire (cycles uranium-plutonium et thorium-uranium, par exemple), il est possible de puiser dans des ressources en combustible plus importantes. Ils peuvent par ailleurs être conçus pour « brûler » des déchets nucléaires ou être utilisés en tant que surgénérateurs. La chaleur élevée que génèrent ces réacteurs peut être exploitée pour la production d'électricité, mais aussi pour d'autres applications nécessitant une chaleur industrielle élevée.

Avantages: réduction des déchets, production de combustible simplifiée, résistance élevée à la prolifération grâce à l'inventaire réduit de matériaux de fission.

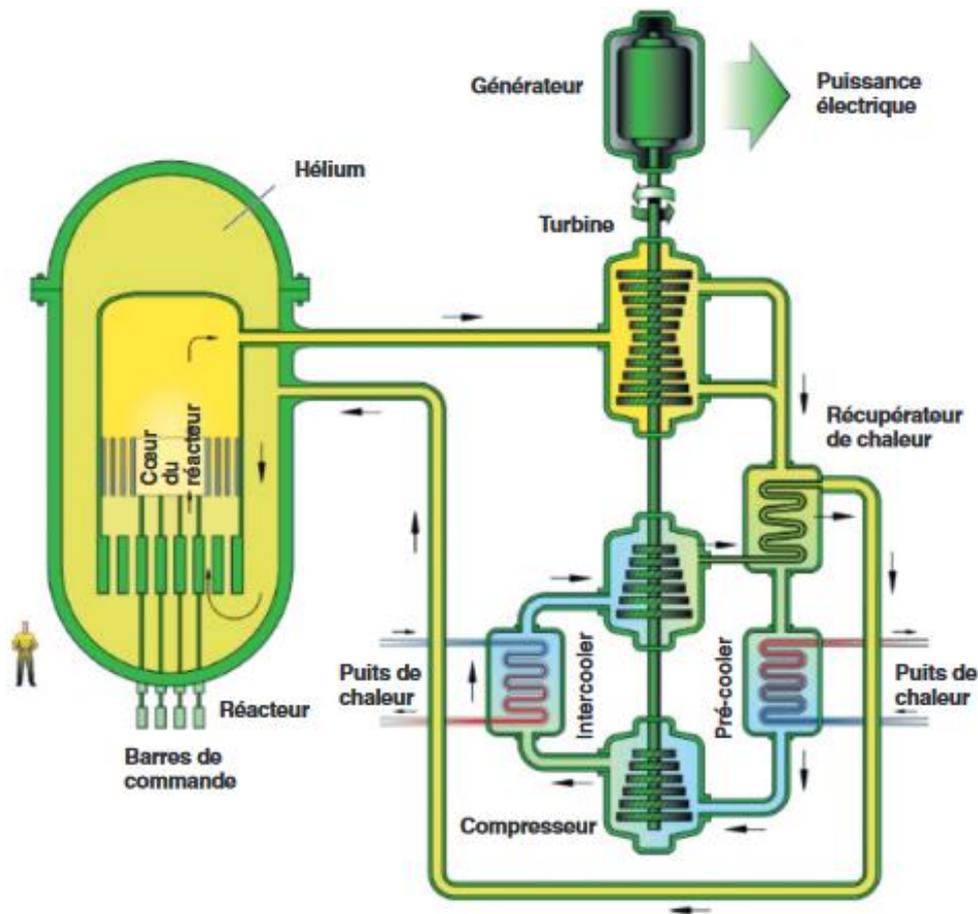


Réacteur à neutrons rapides à caloporteur hélium

Ces réacteurs bénéficient d'excellents taux d'utilisation du combustible et peuvent fonctionner à des températures élevées. Ils génèrent également une chaleur industrielle qui peut être mise à profit pour la production d'hydrogène et pour des applications basse température, telles que le dessalement de l'eau de mer ou le chauffage urbain.

On envisage de déployer cette technologie dans un avenir proche, car elle constitue non seulement un moyen efficace de produire de l'électricité, mais ouvre aussi la voie à des applications de cogénération (une production combinée de chaleur et d'électricité) qui pourront venir alimenter un vaste marché de chaleur industrielle.

Avantages: grande efficacité, forte réduction des déchets, taux élevé de rendement des combustibles.

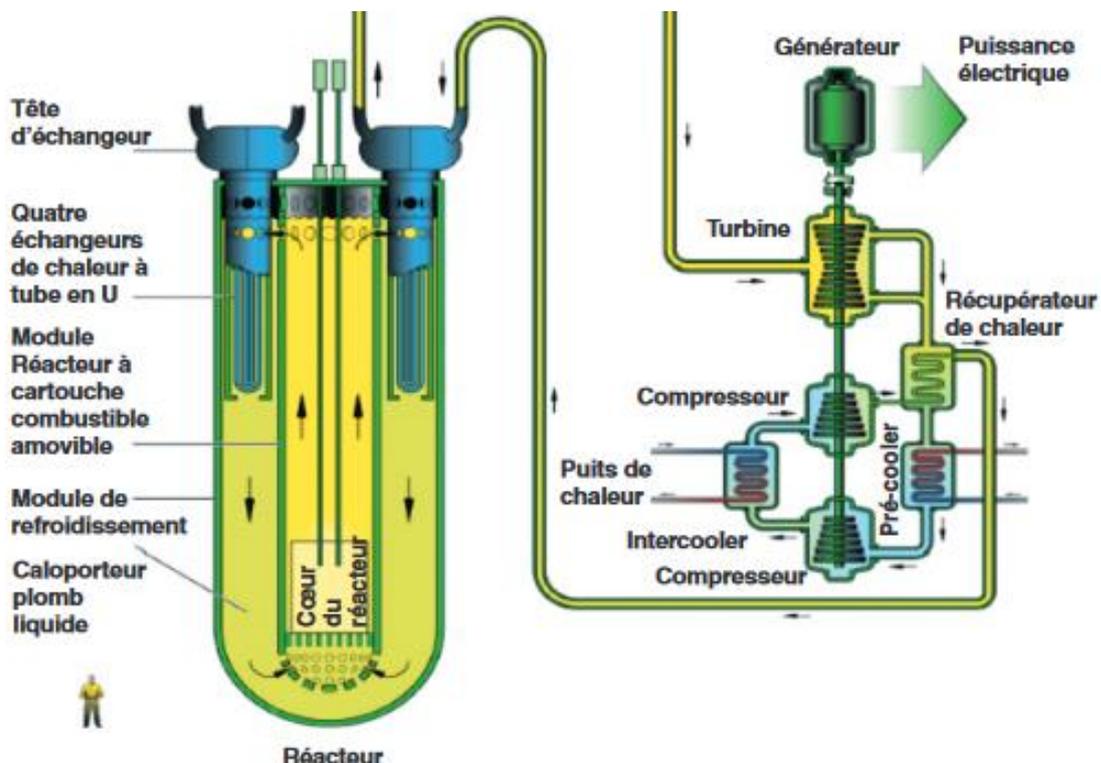


Réacteur à neutrons rapides à caloporteur plomb

Les réacteurs fonctionnant en spectre de neutrons rapides améliorent considérablement le rendement énergétique de l'uranium naturel par rapport aux réacteurs à neutrons thermiques. Cette utilisation optimisée du combustible permet d'étendre la durée de vie des programmes électronucléaires à plusieurs milliers d'années et offre des avantages non négligeables pour ce qui est de la gestion des déchets nucléaires.

Le plomb dispose d'un atout important par rapport au caloporteur sodium qui motive son développement : c'est la compatibilité chimique du plomb (et de ses alliages) avec de l'eau et l'air.

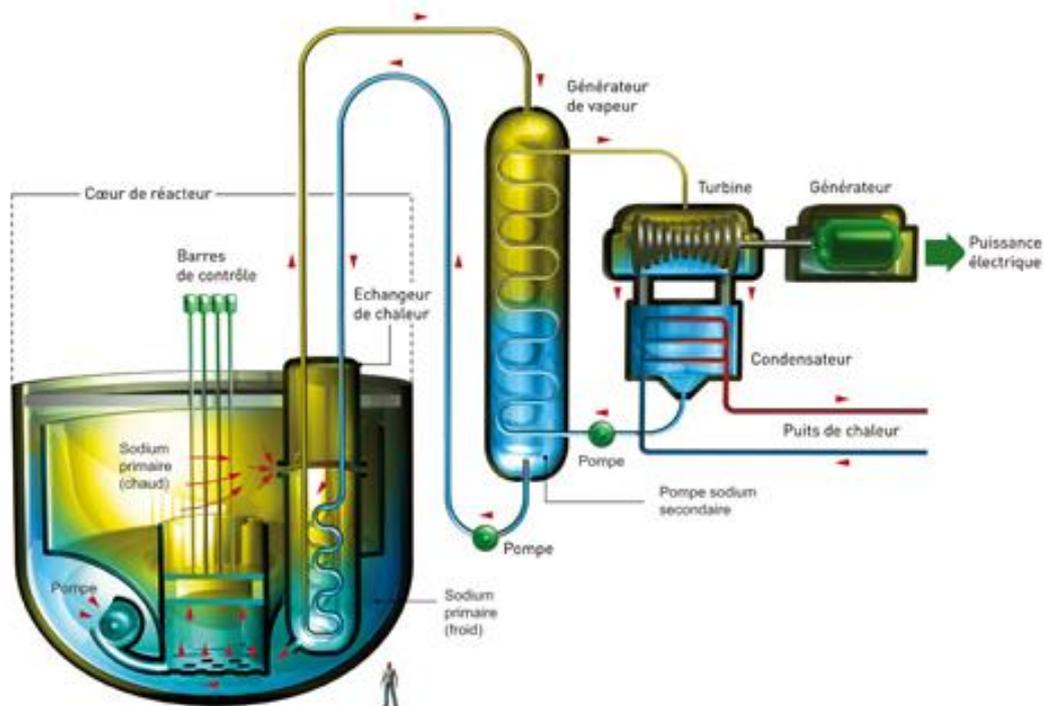
Avantages: extrêmement résistant à la prolifération, grande sécurité passive, possibilité de remplacer le noyau du réacteur au lieu de le recharger en combustible.



Réacteur à neutrons rapides à caloporteur sodium (SFR)

Les réacteurs fonctionnant en spectre de neutrons rapides améliorent considérablement le rendement énergétique de l'uranium naturel par rapport aux réacteurs à neutrons thermiques. Cette utilisation optimisée du combustible permet d'étendre la durée de vie des programmes électronucléaires à plusieurs milliers d'années et offre des avantages non négligeables pour ce qui est de la gestion des déchets nucléaires. Le réacteur à neutrons rapides présentant le plus haut degré de maturité technologique, à savoir le modèle refroidi au sodium, totalise aujourd'hui plus de 400 années-réacteur d'expérience acquise dans le cadre de la conception, de la construction, de l'exploitation et du déclassement de tranches expérimentales, de prototypes, de tranches de démonstration et de tranches commerciales dans divers pays, dont l'Allemagne, la Chine, les États-Unis, la Fédération de Russie, la France, l'Inde, le Japon et le Royaume-Uni.

Avantages: grande efficacité thermique, brûlage des actinides, production efficace de matériaux de fission.



Réacteur rapide à caloporteur sodium. © DR

AVANTAGES

- Permet d'utiliser directement l'uranium naturel ou appauvri et de produire 50 à 100 fois plus d'électricité avec la même quantité de minerai que les réacteurs actuels.
- Permet de réduire la quantité de déchets radioactifs et de transformer des déchets de haute activité à vie longue en éléments à vie plus courte.
- Permet de produire de l'hydrogène.
- Plus de sûreté nucléaire.
- Système de production électrique non émetteur de gaz à effet de serre.
- On peut utiliser sans limitation tout le plutonium produit par le parc actuel des réacteurs.

INCONVENIENTS

- Coût très élevé pour la recherche.
- Des travaux de recherche sont encore nécessaires avant que ces six systèmes de réacteurs innovants de la quatrième génération puissent être utilisés.

Pour en savoir plus :

<http://www.cea.fr/Documents/monographies/reacteurs-nucleaires-sodium-pourquoi-reacteurs-rapides-sodium.pdf>

<https://www.iaea.org/fr/themes/reacteurs-nucleaires-de-puissance>

<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/reacteurs-de-4e-generation>

