

LE COMBUSTIBLE NUCLEAIRE

Installé au cœur d'un réacteur nucléaire, le combustible subit des réactions de fission nucléaire et fournit de la chaleur. Cette dernière est transmise à un fluide caloporteur qui génère de la vapeur et actionne une turbine pour produire de l'électricité. La nature, la forme et le comportement du combustible varient en fonction des types de réacteurs et des applications. Présentation de cette matière et de ses enjeux de recherche dans un réacteur à eau pressurisée (REP).

Sa forme au cœur du réacteur

Le combustible se trouve sous forme de pastilles céramiques empilées dans une gaine métallique. On parle alors de crayons qui sont eux-mêmes regroupés en assemblages, dont l'agencement ordonné (en carré ou en hexagone) constitue le cœur du réacteur.

Les pastilles sont constituées de composés chimiques (souvent un oxyde) contenant la matière fissile. Ainsi, le combustible UO_2 comporte de l'isotope 235 de l'uranium (^{235}U) et le combustible MOX de l' ^{235}U et de l'isotope 239 du plutonium (^{239}Pu).

En chiffres

Pour un réacteur à eau pressurisée (REP) de 900 MW

3,66 mètres de pastilles d' UO_2 par crayon

x **264** crayons par assemblage

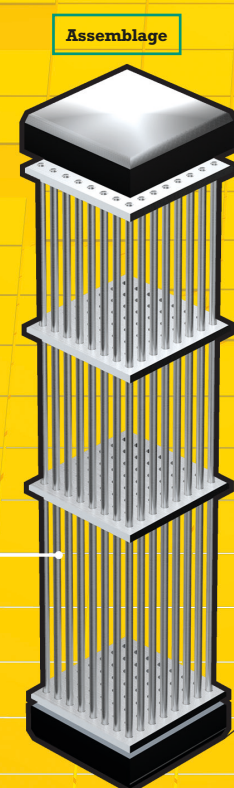
x **157** assemblages dans le cœur

=152 km de pastilles, soit **72** t de combustible

Pastilles de combustible



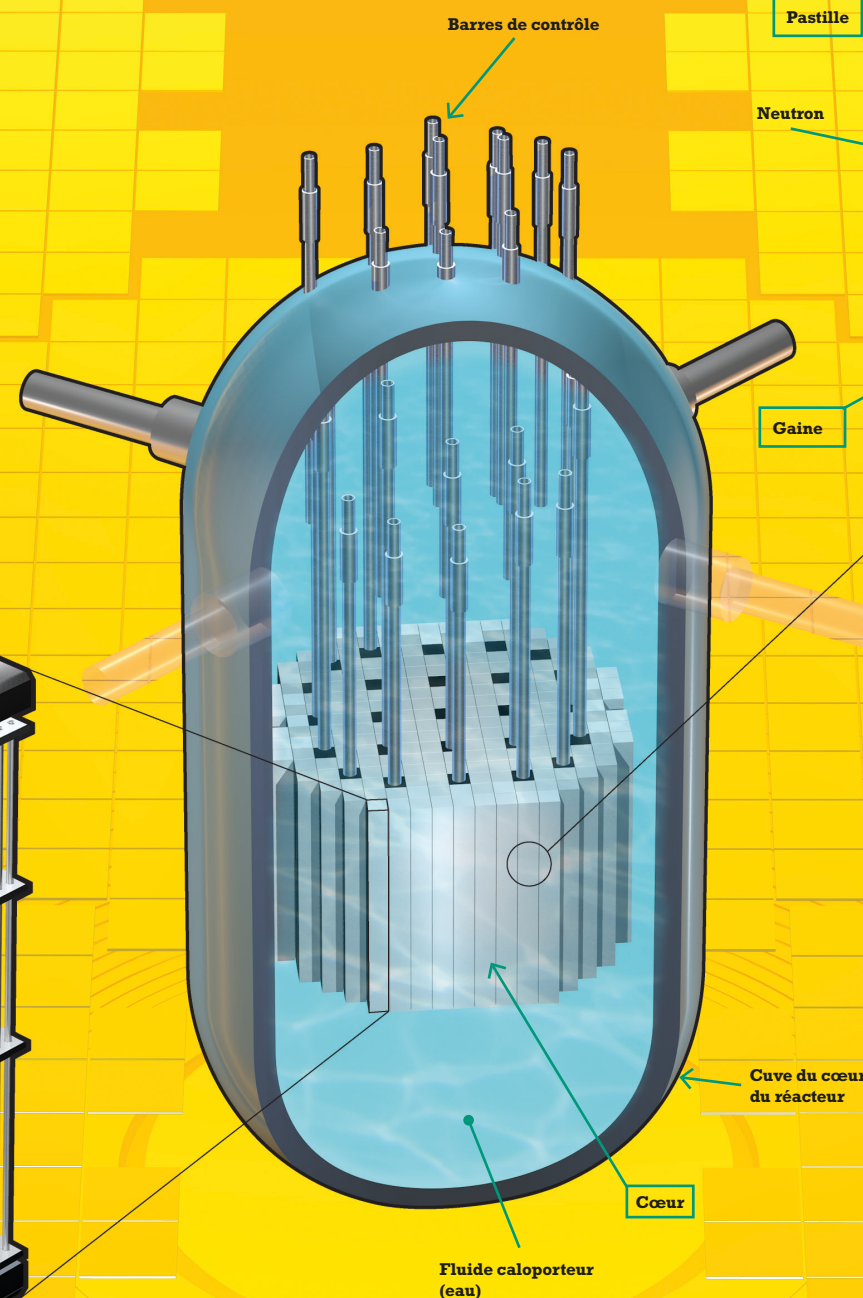
Crayon



Assemblage

À SAVOIR

Les assemblages de combustible restent environ trois ans dans le cœur des différents réacteurs. En effet, au fur et à mesure de sa consommation, le combustible s'appauvrit en matière fissile et s'enrichit en produits de fission, ce qui ralentit les réactions de fission. Il devient alors nécessaire de remplacer le combustible utilisé par du neuf. Pour éviter un arrêt prolongé du réacteur, un tiers des assemblages est renouvelé tous les ans. Les plus récents étant placés à l'extérieur.



Barres de contrôle

Pastille

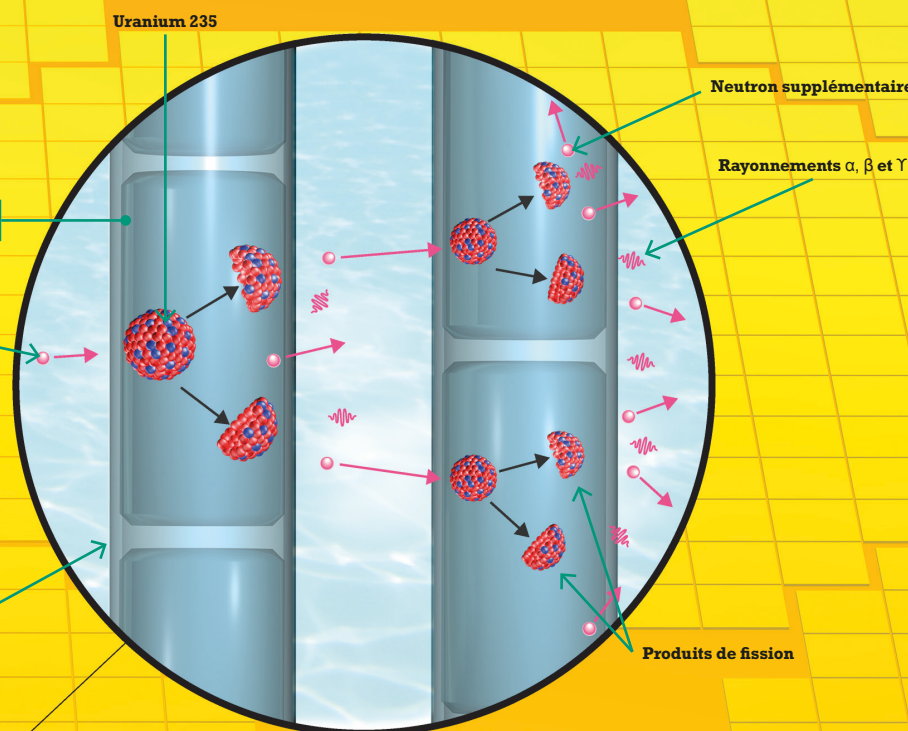
Neutron

Gaine

Cuve du cœur du réacteur

Cœur

Fluide caloporteur (eau)



Uranium 235

Neutron supplémentaire

Rayonnements α , β et γ

Produits de fission

Son comportement sous flux neutronique

Bombardé de neutrons, le combustible est le siège de réactions de fission à l'origine de sa consommation et de la production de chaleur au sein du réacteur.

- **Fission** : en capturant un neutron, les noyaux des atomes lourds d' ^{235}U ou de ^{239}Pu se « cassent » en deux noyaux principaux (produits de fission) et engendrent deux ou trois neutrons supplémentaires et divers rayonnements (α , β et γ).
- **Réaction en chaîne** : les neutrons supplémentaires produisent de nouvelles réactions de fission et donc de nouveaux neutrons, qui seront à leur tour disponibles pour casser des noyaux. Cette réaction en chaîne est régulée par un milieu modérateur qui ralentit les neutrons. Elle est également pilotée par des barres de contrôle introduites dans le cœur pour éviter une multiplication incontrôlée des neutrons.
- **Production de chaleur** : à chaque fission, une énergie cinétique est véhiculée par les produits de fission et les neutrons. Elle se transforme en chaleur quand ces derniers sont freinés dans la matière environnante. Conséquence : la pastille s'échauffe, la chaleur « migre » vers la gaine, puis vers un caloporteur (ici de l'eau pressurisée) qui voit sa température augmenter (~ 300°C).

Ses enjeux de recherche

Pour assurer sa performance et sa sûreté quelles que soient les applications, il faut comprendre et anticiper son comportement dans les conditions extrêmes présentes au cœur du réacteur. Cela implique la prise en compte de nombreux phénomènes physiques :

- **Neutronique** : évolution du profil de puissance du combustible...
- **Thermique** : températures du combustible et de la gaine ; transfert de chaleur vers le caloporteur...
- **Mécanique** : évolution géométrique du combustible ; déplacements, fissuration et gonflement de la pastille liés aux produits de fission ; contraintes sur la gaine liées aux pastilles, à l'irradiation et au déplacement de l'eau...
- **Physico-chimique** : création, migration et relâchement des gaz issus de la réaction de fission ; augmentation de la pression dans la gaine...