

LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

La production d'électricité d'origine nucléaire nécessite l'utilisation d'un combustible qui est issu d'un procédé de fabrication et est soumis à de nombreuses transformations en « amont » et en « aval » de l'irradiation dans le réacteur nucléaire. L'ensemble de ces étapes correspond à ce qui est qualifié communément de « cycle du combustible » qui a pour finalité de produire de l'énergie thermique par fission nucléaire dans des réacteurs.

Deux types de gestion du « cycle du combustible nucléaire » peuvent être mis en œuvre :

- L'un est qualifié de « cycle fermé » : les combustibles usés sortant des réacteurs après irradiation subissent un traitement dans des usines spécialisées à l'issue duquel une partie des matières obtenues est recyclée (c'est le cas de la France, du Royaume-Uni, du Japon).
- L'autre qualifié de « cycle ouvert » : les combustibles usés sont considérés comme des déchets qui sont entreposés à « sec » ou « sous eau » à des fins de stockage définitif.

Dans le « cycle fermé », le retraitement du combustible usé permet de séparer et d'obtenir du plutonium, de l'uranium de retraitement et des déchets ultimes. Le plutonium et l'uranium peuvent être réutilisés pour la fabrication de combustibles neufs. Actuellement, seul le plutonium l'est.

DE L'EXTRACTION DU MINÉRAI À LA FABRICATION DU COMBUSTIBLE

EXTRACTION

Les phases amont commencent par l'exploitation minière des gisements d'uranium (mines à ciel ouvert ou souterraines). L'exploitation s'effectue selon les méthodes classiques utilisées dans les installations minières. La présence de radioactivité nécessite cependant des mesures de protection pour les mineurs visant à réduire les concentrations de poussières et de radon (gaz radioactif). Par le passé, la France a exploité plusieurs gisements (Forez, Vendée, Limousin, Languedoc).

Aujourd'hui elle assure son approvisionnement en uranium par des importations de l'étranger (Niger, Canada, Kazakhstan, Australie...).

CONVERSION ET ENRICHISSEMENT

La phase suivante est la concentration du minerai car la teneur en uranium des minerais est en général très faible.

Après une série d'opérations physiques et chimiques, le concentré obtenu a l'aspect d'un gros gâteau de couleur jaune appelé « yellow cake » dont la teneur en uranium est

d'environ 75 % (750 kg d'uranium par tonne) et qui est de l'octaoxyde de triuranium (U_3O_8). Ce « yellow cake » n'étant pas suffisamment pur et n'ayant pas la forme chimique appropriée subit deux opérations, un raffinage et une conversion en hexafluorure d'uranium (UF₄ à Malvési et UF₆ à Tricastin).



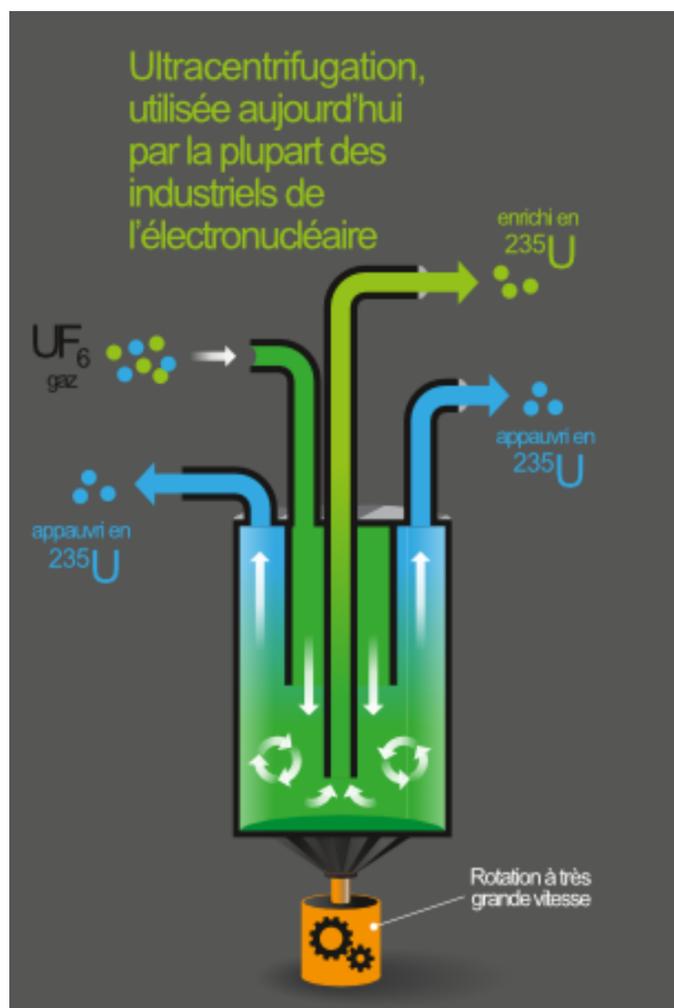
Composition isotopique de l'uranium naturel (source : © Idées fraîches/CEA, 2017)

L'uranium naturel est constitué de trois isotopes :

- l'uranium 238 (99,3 %),
- l'uranium 234 (0,0056 %)
- l'uranium 235 (0,710 %).

Or, seul l'uranium 235 est fissile. La plupart des réacteurs nucléaires actuels fonctionnent avec un combustible comportant une proportion d'uranium 235 supérieure à celle qui est présente à l'état naturel. Il convient donc d'augmenter par "enrichissement isotopique" jusqu'à atteindre la teneur en ^{235}U de 3,7% à 4%.

L'enrichissement peut se faire selon plusieurs procédés. Les deux procédés qui ont atteint un développement industriel sont la diffusion gazeuse et l'ultracentrifugation. Le procédé d'enrichissement par ultracentrifugation utilise la force centrifuge pour séparer, compte tenu de leur masse différente, l'isotope 238 des 234 et 235 de l'uranium. Ce procédé est 50 fois moins gourmand en énergie électrique que la diffusion gazeuse. La France utilisait jusqu'en 2012 ce procédé dans l'usine Georges-Besse 1, sur le site de Tricastin. Depuis l'enrichissement se fait par ultracentrifugation dans l'usine George-Besse 2.



Centrifugeuse (source : © Idées fraîches/CEA, 2017)

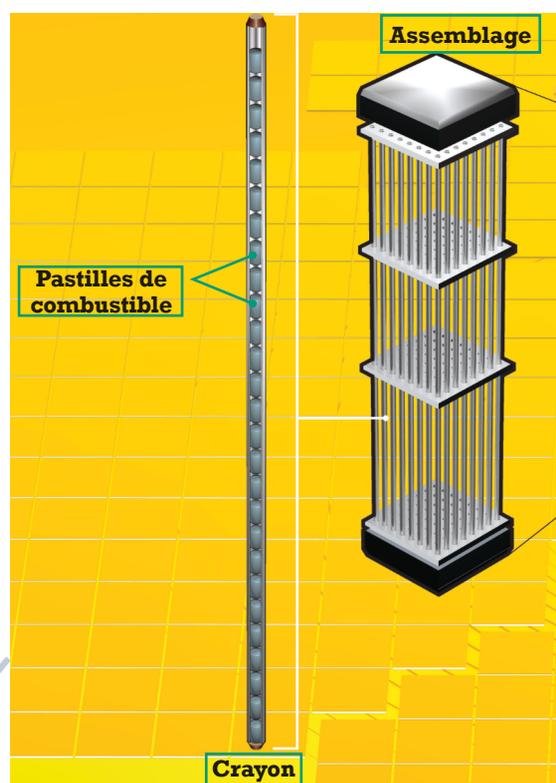
FABRICATION DU COMBUSTIBLE UOX

La dernière étape de la phase amont est la fabrication des combustibles qui seront placés dans les réacteurs. L'hexafluorure d'uranium en provenance de l'usine d'enrichissement est transformé en dioxyde d'uranium (UO_2), conditionné par frittage en petites pastilles cylindriques. Celles-ci sont empilées dans de longs tubes métalliques appelés "crayons".

Ces crayons sont à leur tour réunis, insérés aux deux extrémités dans un embout métallique perforée (la "tête" et le "pied" de l'assemblage) et maintenus à l'aide de 5 grilles pour former des assemblages. Ainsi le cœur d'un réacteur à eau sous pression de 900 MWe comporte 157 assemblages, réunissant chacun 264 crayons d'environ 4 mètres, soit plus de 11 millions de pastilles. L'assemblage renferme 461,7 kg d'uranium.

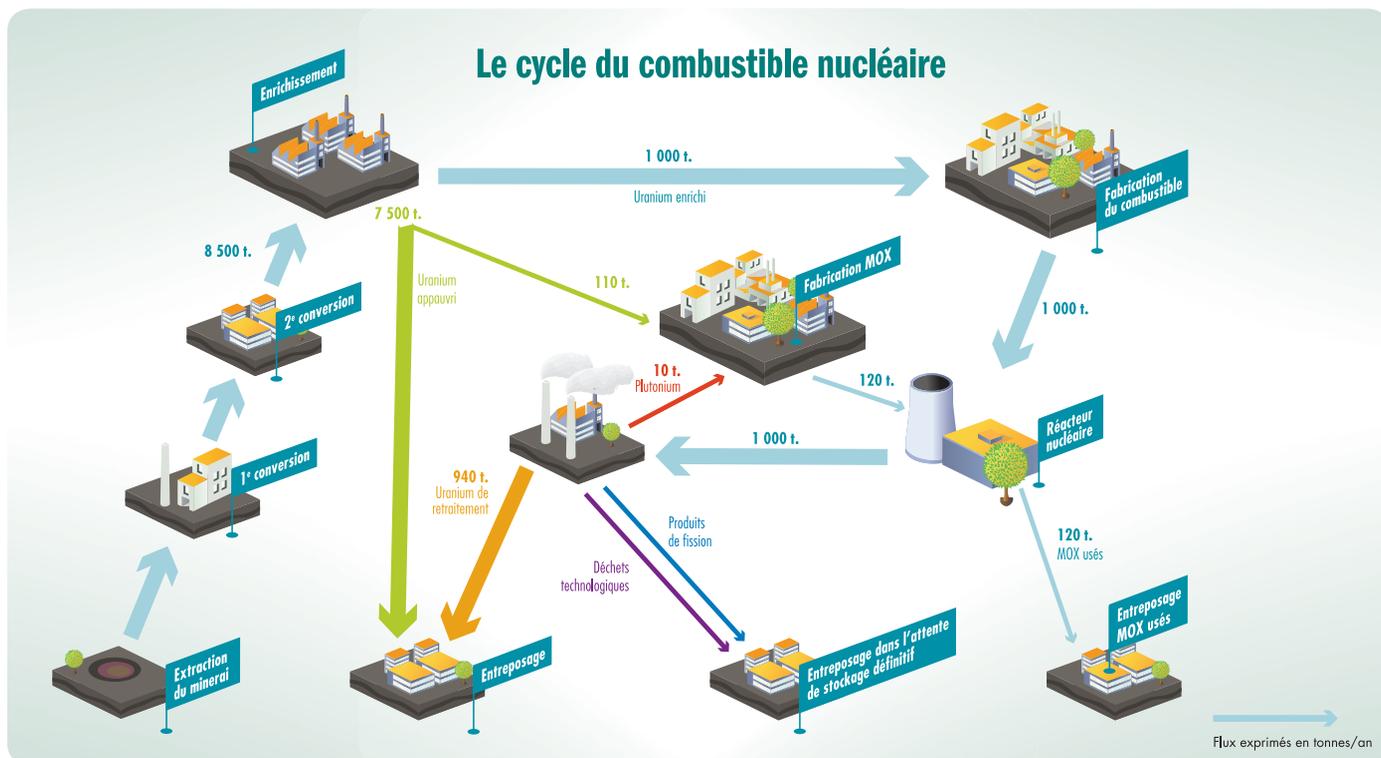
FABRICATION DU COMBUSTIBLE MOX

Depuis plusieurs années un autre type de combustible, le « MOX » (mélange d' UO_2 et d'oxydes de Plutonium PuO_2) est également fabriqué en France dans l'usine MELOX, de Marcoule. Ce combustible est formé d'un mélange d'uranium appauvri et de plutonium, provenant du retraitement du combustible irradié. En France le MOX est autorisé dans vingt-quatre réacteurs de 900 MWe.



Assemblage UOX pour centrale nucléaire (source : © Idées fraîches/CEA, 2017)

Le cycle du combustible nucléaire



Cartographie du cycle du combustible et de ses installations, en France (Crédit : Autorité de sûreté nucléaire - ASN)

UTILISATION DU COMBUSTIBLE

Le combustible nucléaire va évoluer dans le réacteur sous l'effet du flux neutronique qui provoque des réactions nucléaires (fission, activation par captures neutroniques, dégagement thermique). L'usure du combustible est évaluée par son taux de combustion (burnup) qui s'exprime en gigawatt jour et par tonne (GWj/t) de métal lourd.

ENTREPOSAGE

Le combustible utilisé à sa sortie du réacteur est extrêmement chaud à la fois thermiquement et radioactivement (flux neutronique et rayonnement gamma). Il convient donc de l'entreposer provisoirement en piscine de réacteur en vue d'un refroidissement suffisant (1 an et demi pour les UOX et 3 ans pour les MOX) permettant le transport dans l'usine de retraitement (La Hague).

L'eau assure à la fois un rôle de barrière de radioprotection et de dissipateur thermique.

RETRAITEMENT

Le retraitement consiste à séparer, dans le combustible utilisé, les matières réutilisables (uranium et plutonium) des produits de fission et des actinides mineurs sans utilité.

Rédigée par les membres du groupe d'experts scientifiques associés et du groupe permanent « Santé » de l'ANCCLI - 2021

