

Cycle du combustible nucléaire

Adapté de <https://www.cea.fr/multimedia/Documents/infographies/Defis-du-CEA-infographie-procedes-du-cycle-du-combustible-nucleaire.pdf> Infographie : Fabrice Mathé - Texte : Aude Ganier

AMONT DU CYCLE

1 Extraction et conversion

L'extraction du minerai uranifère, dans des gisements souterrains ou à ciel ouvert, fournit les ressources nécessaires à la fabrication du combustible. Contenant de 1 à 200 kg d'uranium par tonne, le minerai est dissous par voie alcaline ou acide puis traité pour obtenir une poudre jaune, le *yellow cake* (99,27 % d'²³⁸U et 0,7 % d'²³⁵U) qui est ensuite converti en un gaz : l'hexafluorure d'uranium (UF₆).

2 Enrichissement

Seul l'isotope 235 de l'uranium est fissile (générant de l'énergie lorsque son noyau est cassé par un neutron) ; or il est présent en très faible proportion dans l'uranium naturel (0,7 %). Grâce à l'enrichissement, par un procédé de centrifugation gazeuse, sa proportion augmente entre 3 et 5 %.

3 Fabrication du combustible

L'UF₆ gazeux est converti en poudre d'oxyde d'uranium (UOx). Celle-ci est comprimée en pastilles de 7 grammes qui sont empilées dans des tubes en alliage de zirconium, les « crayons ». Ces derniers sont ensuite réunis en faisceaux dans des assemblages combustibles qui sont chargés dans le réacteur. Par exemple, un réacteur à eau pressurisée (REP) de 900 MWe compte 157 assemblages de 264 crayons.

AVAL DU CYCLE

4 Séparation des éléments

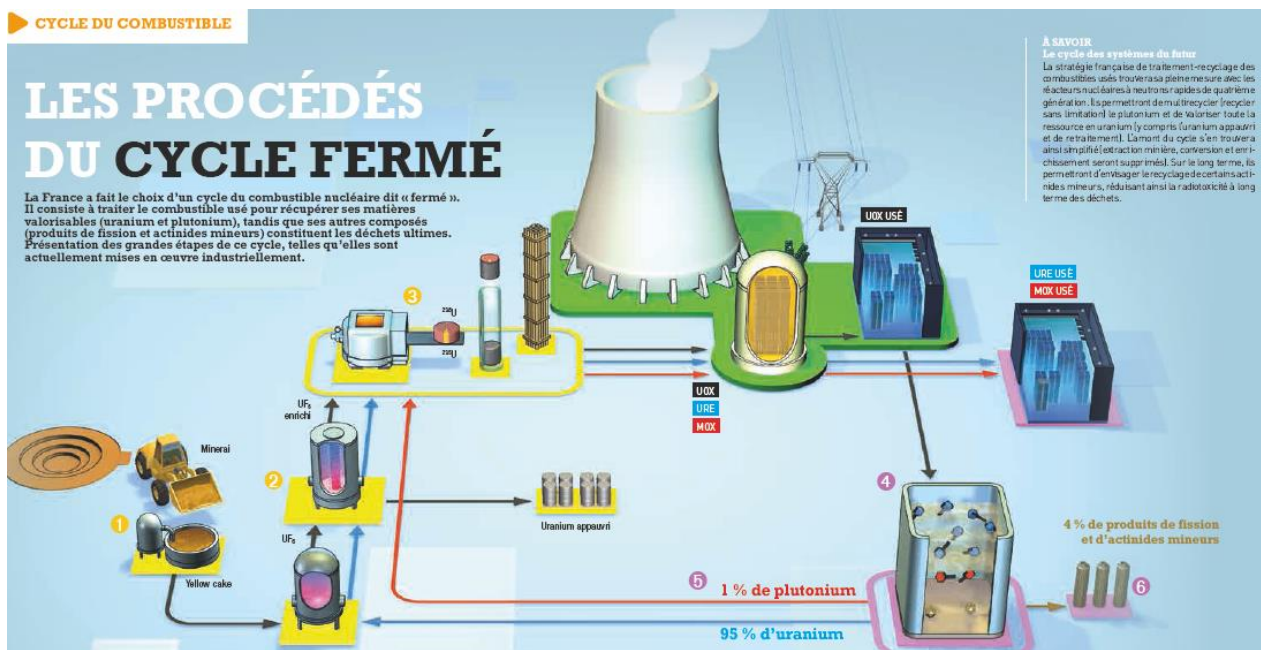
Après environ quatre ans en réacteur pour produire de l'électricité, le combustible utilisé se compose de 96 % de matières valorisables (95 % uranium, 1 % plutonium) et de 4 % de déchets ultimes (produits de fission et environ 0,1 % d'actinides mineurs). Il est dissous dans une solution d'acide nitrique, qui est ensuite mélangée à une solution contenant des molécules extractantes spécifiques pour séparer les matières réutilisables des déchets.

5 Recyclage des matières

Le plutonium (1 %) et l'uranium (95 % dont un peu moins d'1 % d'²³⁵U) sont recyclés, respectivement en combustibles MOX (Oxyde mixte uranium-plutonium) utilisés par 20 des 58 réacteurs du parc actuel, et en URE (uranium de retraitement enrichi). Mais après avoir été réintroduits une fois en réacteur, les combustibles MOX et URE usés ne peuvent plus être recyclés. Ils sont alors entreposés dans l'attente d'un usage différé dans des réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération.

6 Conditionnement des déchets ultimes

Les déchets ultimes sont piégés dans une matrice de verre : c'est le procédé de vitrification, développé au CEA et mis en œuvre dans les usines d'AREVA La Hague. Ces déchets vitrifiés sont ensuite coulés dans des conteneurs en inox et entreposés en puits, en attendant d'être stockés en couche géologique profonde.



https://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_du_combustible_nucl%C3%A9aire

Le **cycle du combustible nucléaire** (ou **chaîne du combustible nucléaire**) est l'ensemble des opérations de fourniture de combustible aux réacteurs nucléaires, puis de gestion du combustible irradié, depuis l'extraction du minerai jusqu'à la gestion des déchets radioactifs. Ces opérations constituent les différentes étapes du cycle du combustible nucléaire qui interviennent en amont ou en aval du cycle selon qu'elles se déroulent avant ou après son irradiation dans un réacteur. Plusieurs stratégies se distinguent par l'absence ou la présence d'étapes telles que l'enrichissement de l'uranium et le traitement du combustible irradié. En 2006, deux grandes catégories existent : les **cycles sans recyclage** qui considèrent tout le combustible irradié comme déchet et les **cycles avec recyclage partiel** consistant à extraire du combustible irradié déchargé des réacteurs tout ou partie des matières valorisables – c'est-à-dire susceptibles d'être réutilisées pour fournir de l'énergie – afin de fabriquer du combustible neuf. [...]

Différents types de cycles. Pour pouvoir être réalisé industriellement, un réacteur nucléaire doit utiliser un isotope fissile, de demi-vie suffisamment longue et pouvant être produit industriellement. Les isotopes répondant à cette contrainte sont :

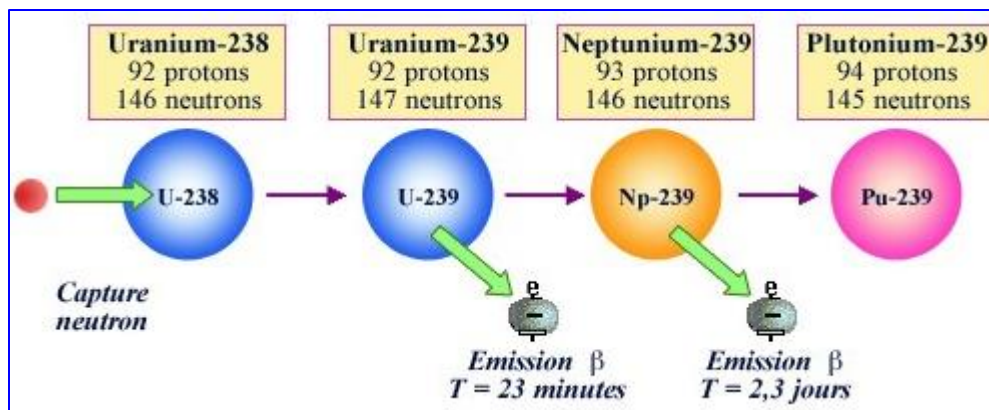
- **L'uranium 235**, isotope naturellement présent dans l'uranium à un taux de 0,72 % ;
- **L'uranium 233**, formé par irradiation à partir du thorium ;
- **Le plutonium 239** [...], formé par irradiation à partir de l'uranium 238.

Par ailleurs, un réacteur contiendra toujours un isotope fertile, qu'il soit naturellement mélangé au matériau fissile (cas de l'uranium naturel), ou qu'il soit nécessaire pour régénérer la matière fissile. Les deux isotopes fertiles présents dans la nature, que l'on peut utiliser dans un réacteur nucléaire, sont le thorium 232 et l'uranium 238. [...]

https://laradioactivite.com/energie_nucleaire/laformationduplutionium239

La transformation d'un noyau fertile en un noyau fissile

L'**uranium-238** constitue plus de 90 % de l'uranium présent dans le cœur des réacteurs. Il participe marginalement à la réaction en chaîne, mais il joue néanmoins un rôle d'appoint important. Par capture d'un neutron, il se transforme en noyau de **plutonium-239** qui subira une fission s'il capte à son tour un neutron. D'une certaine façon, l'uranium-238 fissionne à retardement ou par personne interposée. Il génère du combustible sous forme de noyaux fissiles : il est dit *fertile*.



© IN2P3 ©

https://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_du_combustible_nucl%C3%A9aire_au_thorium

Production de l'uranium 233 à partir du thorium. Dans le cycle du thorium, le combustible se forme lorsque le thorium 232 capte un neutron (dans un réacteur rapide ou dans un réacteur thermique) pour devenir thorium 233, qui servira de combustible nucléaire. En général, après avoir capturé un neutron, le thorium émet un électron et un neutrino par émission bêta pour se muer en protactinium 233, qui, dans une seconde émission bêta, émet encore un électron et un neutrino pour devenir **uranium 233**, le combustible. Cette formation du combustible est réalisée en pratique dans un réacteur.

