

LES PROCÉDÉS DU CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

La France a fait le choix d'un cycle du combustible nucléaire dit « fermé ». Il consiste à traiter le combustible utilisé pour récupérer ses matières valorisables (uranium et plutonium), tandis que ses autres composés (produits de fission et actinides mineurs) constituent les déchets ultimes. Présentation des grandes étapes de ce cycle, telles qu'elles sont actuellement mises en œuvre industriellement.



À SAVOIR
Le cycle des systèmes du futur
 La stratégie française de traitement-recyclage des combustibles usés trouvera sa pleine mesure avec les réacteurs nucléaires à neutrons rapides de quatrième génération. Ils permettront de multirecycliser (recycler sans limitation) le plutonium et de valoriser toute la ressource en uranium (y compris l'uranium appauvri et de retraitement). L'amont du cycle s'en trouvera ainsi simplifié (extraction minière, conversion et enrichissement seront supprimés). Sur le long terme, ils permettront d'envisager le recyclage de certains actinides mineurs, réduisant ainsi la radiotoxicité à long terme des déchets.

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 ²³⁵U 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 usé 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.

Retrouvez sur www.cea.fr, le Hors-série « Innover pour un nucléaire durable » des Défis du CEA paru en octobre 2014.