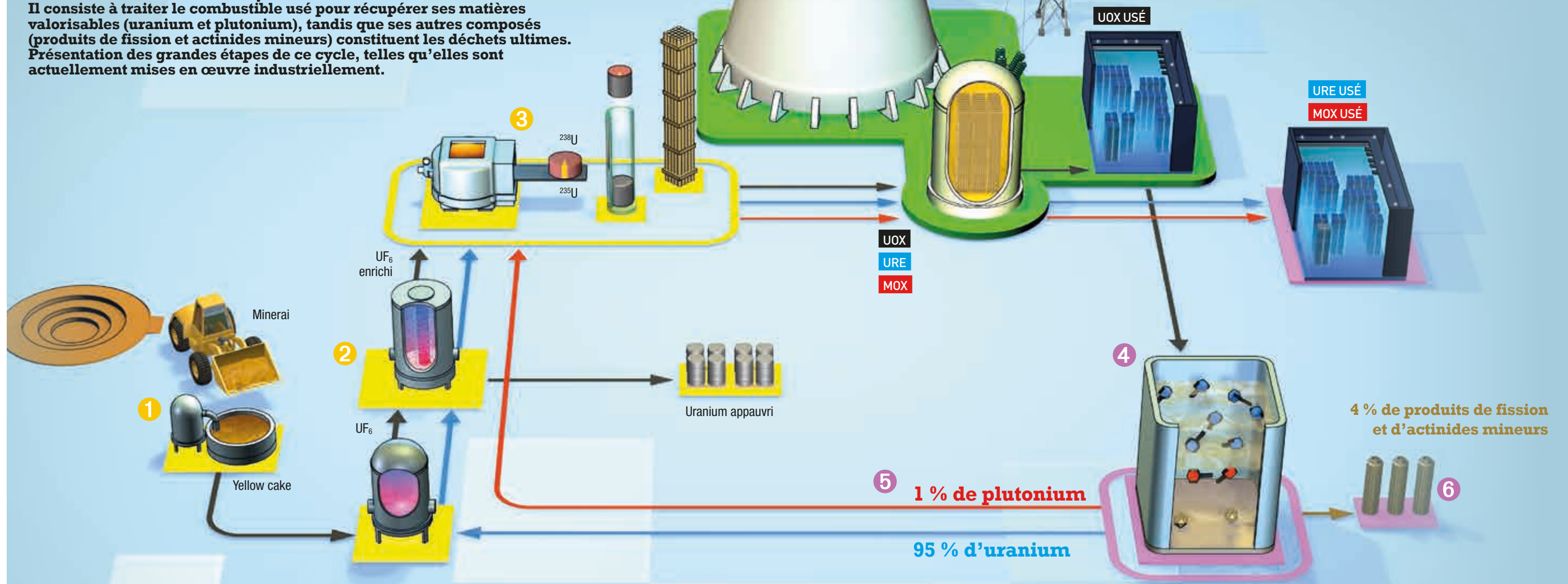


# LES PROCÉDÉS DU CYCLE FERMÉ

La France a fait le choix d'un cycle du combustible nucléaire dit « fermé ». Il consiste à traiter le combustible usé 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 multirecyclier (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'<sup>238</sup>U et 0,7% d'<sup>235</sup>U). Celui-ci est ensuite converti en un gaz : l'hexafluorure d'uranium (UF<sub>6</sub>).
- 2 Enrichissement**  
Seul l'isotope <sup>235</sup>U 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'UF<sub>6</sub> gazeux enrichi est converti en poudre d'oxyde d'uranium (UO<sub>2</sub>). Elle est comprimée en pastilles de 7 grammes qui sont empilées dans des tubes en alliage de zirconium, les « crayons ». Ces derniers sont réunis en faisceaux dans des assemblages de combustible qui sont chargés dans le réacteur pour produire de l'électricité. 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, le combustible usé se compose de 96 % de matières valorisables et de 4 % de déchets ultimes. Ce combustible usé est entreposé en piscine de refroidissement puis subit plusieurs traitements avant d'être dissous dans une solution d'acide nitrique. Celle-ci est mélangée à une solution contenant des molécules extractantes spécifiques pour séparer les matières réutilisables des déchets ultimes.
- 5 Recyclage des matières**  
Plutonium (1 %) et uranium (95 %) dont moins d'1 % d'<sup>235</sup>U sont recyclés, respectivement en combustibles MOX (Oxyde mixte U et Pu) utilisables par 24 des 58 réacteurs actuels, et en URE (uranium de retraitement enrichi). Après un nouveau cycle en réacteur, ces combustibles ne peuvent pas encore être recyclés efficacement dans le parc actuel. Ils sont entreposés en piscine, en attendant leur valorisation dans les réacteurs à neutrons rapides (RNR) 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.

Infographie : Fabrice Mathé - Texte : Aude Ganier