

LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE

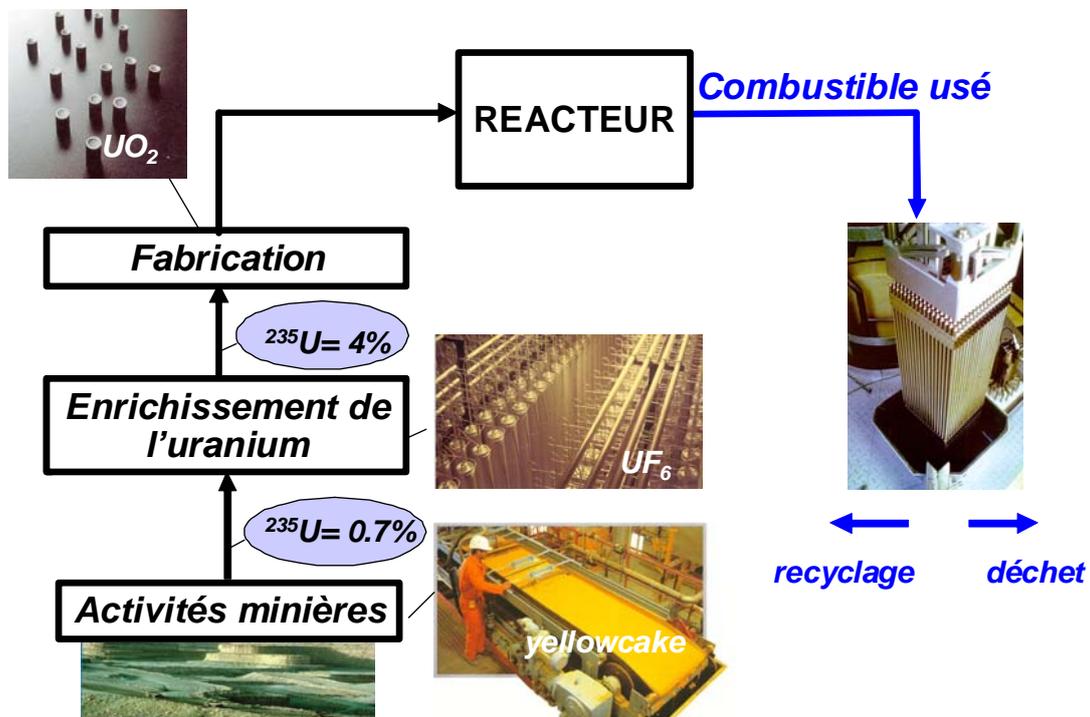
Bernard Boullis

CEA, Direction de l'Energie Nucléaire, Saclay , Gif-sur Yvette Cedex (91191)
bernard.boullis@cea.fr

Le **cycle du combustible nucléaire** est riche de nombreuses transformations, tant dans sa partie amont (de la mine au réacteur) que dans sa partie aval, pour les diverses options de gestion du combustible dit « usé », après son déchargement.

L'amont du cycle consiste à extraire, concentrer, purifier l'uranium ; celui-ci sera ensuite enrichi en isotope ^{235}U (isotope fissile) puis converti sous forme oxyde, le dioxyde d'uranium UO_2 , constituant pour les 58 réacteurs à eau français et pour la plupart des quelques 430 réacteurs électrogènes en opération dans le monde, le combustible nucléaire.

L'aval du cycle, c'est-à-dire la gestion du combustible au terme de son séjour de quelques années en réacteur, est un domaine qui a fait l'objet de nombreuses controverses depuis plus de 20 ans. Cela est en grande partie lié au caractère « dual » de cet objet, qui peut être vu tant comme un **déchet dangereux** (il est très radioactif) que comme **une ressource** (il contient encore près de 95% d'uranium et environ 1% de plutonium) ; le choix d'une stratégie de gestion doit tenir compte de nombreux critères, scientifiques et techniques, économiques, écologiques, politiques, voire éthiques...



Trois grandes options sont aujourd'hui envisagées : le **stockage direct** (comme en Suède, où l'on considère que le combustible est un déchet) ; le **recyclage** (comme en France ou au Japon, où l'on cherche à valoriser le potentiel énergétique résiduel de l'uranium et du plutonium, tout en réduisant volume et toxicité potentielle du déchet ultime) ; enfin, l'option d'attente que constitue **l'entreposage temporaire** des combustibles usés.

La raréfaction des ressources fossiles, les craintes relatives au changement climatique, l'accroissement drastique de la demande en énergie en diverses régions du globe, ont relancé ces dernières années l'intérêt envers l'option nucléaire pour contribuer à la production d'électricité de base. Mais dans le même temps, il apparaît que **des options nucléaires durables (soutenables) ne peuvent être que des options avec recyclage**, tant pour la préservation des ressources naturelles en uranium que pour limiter l'impact à l'environnement des opérations.

La voie mise en œuvre en France avec le recyclage du plutonium sous la forme de combustible MOX (oxyde mixte UO_2 - PuO_2) dans les réacteurs à eau, constitue une première étape, essentielle, dans cette perspective. Mais de nombreuses recherches ont été initiées ou relancées dans de très nombreux pays. Elles visent d'une part à **développer de nouvelles technologies de réacteurs** aptes à tirer le meilleur parti du potentiel énergétique de l'uranium initial (on peut espérer un facteur 50 à 100 entre les réacteurs à eau et des réacteurs dits « à neutrons rapides ») ; mais un effort important est aussi affecté au développement de **concepts avancés de recyclage**, pour adapter, améliorer, ou compléter ce qui est aujourd'hui mis en œuvre. La nouvelle loi votée par le Parlement Français en juin 2006 confirme ces orientations (valoriser le potentiel énergétique, réduire le déchet ultime), et de nombreuses initiatives internationales ont récemment été lancées dans un même sens.

Par ailleurs, évidemment, la gestion du déchet ultime fait également d'études et recherches depuis plusieurs décennies : à l'issue des opérations de recyclage, le résidu (produits de la fission de l'uranium non recyclés) sont immobilisés au sein d'une matrice vitreuse et c'est le **stockage réversible en couches géologiques profondes**, aujourd'hui encore objet de recherches, notamment en « laboratoire souterrain », qui constitue la solution de référence pour la gestion à long terme de ces objets.