

Le nucléaire, précurseur de l'économie circulaire

Bertrand BARRÉ, retraité du CEA et d'AREVA
Professeur émérite à l'INSTN

Cet article est repris d'une première publication dans la revue « Progressistes » de décembre 2014

<http://progressistes.pcf.fr/64888>

Il est publié ci-dessous avec l'aimable autorisation de la rédaction de la revue « Progressistes ».

1. INTRODUCTION

Dans bien des domaines, le nucléaire s'est montré précurseur de tendances modernes. On peut dire, par exemple, que la radioprotection est un exemple d'application avant l'heure du principe de précaution : Les normes d'exposition sont fixées à des niveaux très inférieurs à ceux pour lesquels on constate le moindre effet sanitaire, et on continue à chercher à réduire les incertitudes concernant l'effet éventuel de très faibles doses. De même, le nucléaire est certainement un précurseur de l'économie circulaire. Mais revenons à cette notion.

Par contraste avec l'économie du gaspillage, dont le briquet jetable pourrait être le symbole, l'économie circulaire vise à minimiser, à service équivalent, la consommation de ressources naturelles et la production de déchets ultimes, en mettant en œuvre les principes suivants :

- réduction des déchets à la source ;
- minimisation des "inputs" énergétiques ;
- réutilisation directe des objets usagés ;
- transformation ou refabrication en vue d'une réutilisation ;
- démantèlement et recyclage des matériaux ;
- conditionnement des déchets ultimes pour faciliter leur disposition ;
- disposition des déchets ultimes dans le respect de l'environnement.

Nous allons voir comment ces principes sont mis en œuvre dans le cycle du combustible nucléaire et la gestion des déchets radioactifs qu'il engendre.

2. LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

On ne met pas directement du pétrole brut dans le réservoir de sa voiture. De même, on ne met pas directement le minerai d'uranium dans un réacteur nucléaire : il faut le transformer en combustible par une série d'opérations industrielles qui constituent le **cycle du combustible**. On appelle **amont du cycle**, l'ensemble des étapes qui mènent de la mine au réacteur, et **aval du cycle**, les étapes qui permettent de recycler les matières récupérables dans les combustibles usés à la sortie du réacteur et de conditionner les déchets radioactifs en vue de leur disposition finale.

S'il n'y a pas de recyclage, et que l'on traite les combustibles usés comme des déchets ultimes, on parle de **cycle ouvert**, appellation paradoxale. Le cycle complet est **fermé**.

L'amont du cycle comprend l'exploration, l'extraction du minerai d'uranium et sa concentration avant transport, puis l'enrichissement de l'uranium en isotope 235, dont la proportion passe ainsi de 0,7 à 4% environ, et enfin la fabrication des assemblages combustibles qui pourront être chargés dans le cœur des réacteurs.

Après quelques années à produire de la chaleur que la centrale transforme en électricité, le combustible est usé et doit être remplacé, mais il contient encore beaucoup de matière recyclable sous forme d'uranium résiduel et de plutonium formé in-situ (voir Figure 1).

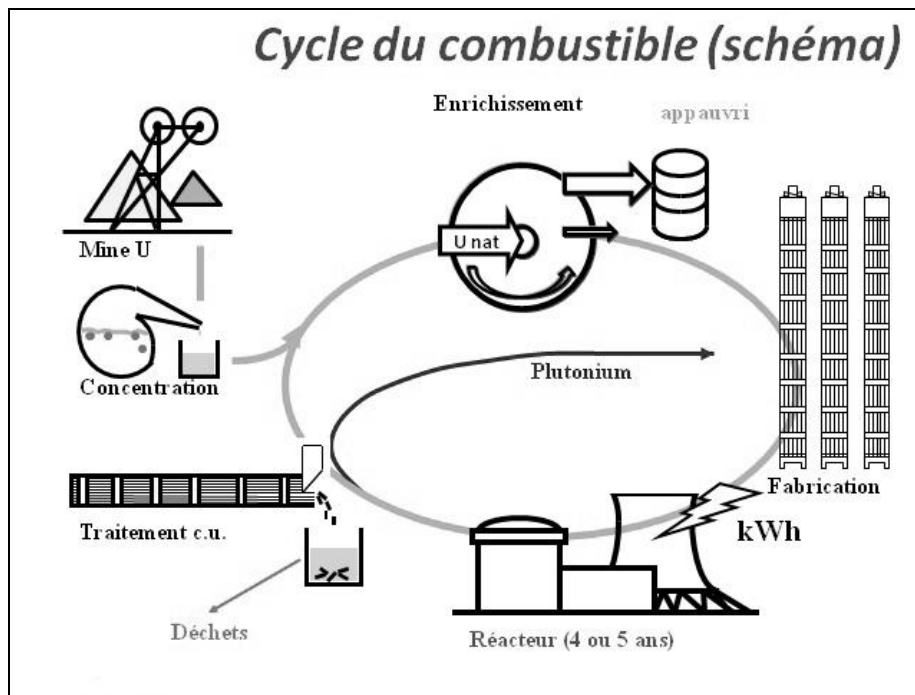


Figure 1 : Cycle du combustible nucléaire

L'aval du combustible est dédié à la gestion de ce combustible utilisé sorti de la centrale : récupération de l'uranium et du plutonium et conditionnement du reste des matériaux de l'assemblage, qui constituent les déchets ultimes, pour préparer, après un entreposage plus ou moins long, leur stockage définitif dans une installation *ad hoc* construite dans une couche géologique profonde qui assurera leur confinement jusqu'à ce que leur radioactivité résiduelle soit devenue inoffensive.

L'uranium et le plutonium servent à fabriquer de nouveaux assemblages combustibles : d'abord les combustibles en uranium résiduel ré-enrichi et les "MOX", que l'on charge dans les réacteurs à eau sous pression REP qui constituent le parc nucléaire d'EDF, et plus tard les assemblages des surgénérateurs RNR "de quatrième génération".

3. L'AMONT DU CYCLE

Dans l'amont du cycle, c'est l'enrichissement qui relève le plus de l'économie circulaire. En effet, pour fabriquer de l'uranium "enrichi" en isotope 235, il faut de l'uranium naturel et de l'énergie pour alimenter l'usine. Le paramètre d'ajustement est la proportion d'uranium 235 restant dans l'uranium "appauvri", résidu de l'opération. Cette proportion est typiquement voisine de 0,25%. Si on la réduit, il faut fournir plus d'énergie mais on économise de l'uranium naturel, et vice-versa.

Le côté "circulaire" de l'opération est que l'uranium appauvri est un résidu mais pas un déchet : s'il ne peut pas être utilisé dans les REP, sauf un peu dans les MOX, il sera le combustible de base des RNR, mélangé à du plutonium qui sera "surgénéré" in situ, un peu comme le catalyseur d'une réaction chimique (voir chapitre 5).

En outre, le passage récent, en France, de la technologie d'enrichissement par diffusion gazeuse à la technologie d'enrichissement par ultra-centrifugation permet une économie d'énergie considérable : l'ancienne usine Georges Besse, sur le site du Tricastin, utilisait à pleine charge toute l'électricité produite par trois des quatre tranches nucléaires immédiatement voisines. La nouvelle usine Georges Besse 2 nécessite 50 fois moins d'électricité.

4. L'AVANT DU CYCLE

Pour les pays qui ont choisi le cycle fermé, tout l'aval est une démonstration d'économie circulaire. Un assemblage REP neuf contient 500 kg d'uranium enrichi à 4% en uranium 235. Dans un assemblage utilisé, on peut récupérer 475 kg d'uranium qui ne contient plus qu'environ 0,9% d'uranium 235, et 5 kg de plutonium (il s'en est formé 15 kg mais 10 kg ont été consommés sur place). Les 20 kg restants constituent les déchets ultimes.

Après ré-enrichissement, l'uranium récupéré dans les assemblages usés du parc EDF traités dans l'usine AREVA de La Hague suffit à alimenter deux tranches nucléaires, tandis que plus de 20 autres ont un tiers de leur cœur constitué d'assemblages MOX. C'est presque 20% d'uranium naturel que l'on économise ainsi. En outre, un assemblage MOX usé remplace huit assemblages standard usés, ce qui économise les volumes à entreposer.

Avec les déchets du combustible, on fabrique des blocs de verre coulés dans des conteneurs en acier inoxydable, tandis que les parties métalliques des assemblages sont comprimées sous forte pression en galettes, empilées dans des conteneurs similaires. L'ensemble de ces colis sont entreposés sur le site de l'usine dans des bâtiments dédiés en attendant leur stockage géologique.

Depuis 1976, date du début du traitement à La Hague des combustibles usés REP, le volume de déchets issus du traitement d'un assemblage a été réduit par presque un facteur 10, et les deux types de colis décrits ci-dessus sont devenus le standard international.

5. DU MOX AU RNR

Le MOX est un bel exemple de recyclage, mais il n'est rentable qu'une fois. Traiter un assemblage MOX usé est possible (et démontré), mais peu intéressant dans l'environnement REP à cause d'une dégradation de la qualité isotopique du plutonium. Le "vrai" recyclage sera possible dans les surgénérateurs RNR.

Quand de l'uranium baigne dans un flux de neutrons, une partie de ceux-ci est absorbée par l'uranium 238 (celui qui constitue 99,3% de l'uranium naturel) pour former du plutonium. Dans un REP, quand 100 atomes fissionnels, uranium 235 ou plutonium, disparaît, 60 atomes nouveaux de plutonium sont ainsi formés qui compensent un peu cette disparition, mais le bilan fissile global est négatif : pas moyen d'utiliser beaucoup d'uranium 238. Dans un RNR, dont le combustible est un mélange d'uranium (naturel ou appauvri) et de plutonium, le bilan peut être positif : pendant la marche du réacteur on peut former plus de plutonium qu'on en brûle : par des recyclages successifs, on peut alors consommer une grande partie de l'uranium 238 qui est 140 fois plus abondant dans la nature que l'uranium 235.

Cela veut dire que si l'on pratique ce multirecyclage, un RNR pourra tirer 70 à 80 fois plus d'énergie de la même quantité d'uranium naturel qu'un REP de même puissance. Mieux encore, il pourra utiliser comme combustible l'uranium appauvri, entreposé en grande quantités, sans avoir à extraire de nouveau minerai. Pour la France, qui possède des stocks considérables d'uranium appauvri, l'enjeu est considérable.

En outre, les RNR pourraient aussi fissionner une partie des déchets actuels, parmi ceux à longue durée de vie, ce que l'on appelle la transmutation des actinides. La démonstration physique a été réalisée dans le réacteur Phénix, mais il reste à passer à plus grande échelle afin d'évaluer si les avantages de cette opération (simplification du stockage géologique) sont plus importants que ses inconvénients (fabrication et manipulation de combustibles très radioactifs). Ce sera une des missions du démonstrateur ASTRID en cours de développement au CEA.

6. VITRIFICATION ET STOCKAGE GÉOLOGIQUE

Sur nos plages, on voit se multiplier les panneaux attirant à juste titre l'attention sur le temps nécessaire pour "biodégrader" les déchets divers laissés par négligence. On y voit que même dans le milieu corrosif que constitue l'eau de mer il faut des millénaires pour dégrader le verre. On trouve dans la nature des obsidiennes, verres naturels d'origine volcanique, qui sont bien plus anciens.

C'est pourquoi nous avons choisi – et la France est vraiment en pointe dans ce domaine – de faire du verre avec nos déchets radioactifs les plus dangereux, car le verre assure déjà un confinement très efficace. Mais pour assurer un confinement de très longue durée et protéger les personnes et l'environnement des méfaits de la radioactivité, il est stipulé par la loi du 28 juin 2006 que ces colis seront installés dans un stockage profond, situé à 500 mètres de profondeur au milieu d'une couche d'argile qui a été stable depuis 120 millions d'années. C'est le projet CIGEO qui a été soumis l'an dernier à un débat public. Matrice de verre, barrière ouvragée autour des colis, couche d'argile et 500 mètres de terrain au-dessus constitueront autant de barrières contre la migration des éléments radioactifs jusqu'à la biosphère.

Vitrification et stockage géologique sont la mise en œuvre dans le domaine nucléaire des deux derniers principes évoqués au premier chapitre.