

## CHAPITRE II : SÉPARATION & TRANSMUTATION

La Commission, dans son rapport N°12 de Juin 2018, avait souligné les incertitudes sur le futur de l'énergie nucléaire et le manque de visibilité sur la stratégie que devront mettre en œuvre les acteurs de la loi et les organismes de recherche pour répondre aux orientations de la loi relative à la transition écologique pour une croissance verte (Loi TECV). Aujourd'hui, même si elles ne sont pas encore complètement détaillées, des orientations nouvelles sont préconisées dans le cadre de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) et la Commission en analyse, dans le cadre de la Loi de 2006, les conséquences sur les matières nucléaires utilisées et les déchets produits par le cycle électronucléaire.

Les études sont soutenues par une recherche fondamentale dont les principaux acteurs sont, outre le CEA, le CNRS et les universités (cf. Annexe VIII).

### 2.1 VERS UNE NOUVELLE CONFIGURATION DU PARC ÉLECTRONUCLÉAIRE

La Loi TECV appelle à une décroissance de production d'électricité d'origine nucléaire dans le mix énergétique qui devrait atteindre 50 % en 2035. La PPE, dans sa version soumise à consultation, prévoit que les premiers réacteurs qui pourraient être fermés de 2025 à 2035, seront des réacteurs de 900 MWe avant leur 5<sup>ème</sup> visite décennale. Certains d'entre eux, actuellement moxés, seront fermés et l'utilisation de Pu sera compensée par le moxage de quelques réacteurs de 1300 MWe. La mise en œuvre d'EPRs de nouvelle génération est envisagée pour maintenir la production électrique au niveau indispensable pour assurer la sécurité d'approvisionnement dans un contexte de transition énergétique et pour pérenniser le tissu industriel.

La transition énergétique nécessitera un ensemble de recherches fondamentales et appliquées présentées dans le chapitre IV.

25

### 2.2 MODIFICATIONS PROPOSÉES DU CYCLE DU COMBUSTIBLE

La fermeture d'un nombre important de tranches de 900 MWe d'ici 2035 a des conséquences sur la politique de recyclage de l'uranium de retraitement (URT) et du plutonium, pratiquée par EdF. En effet, aujourd'hui, seuls les réacteurs 900 MWe sont autorisés par l'ASN à être « moxés ». Le Gouvernement a affirmé dans la PPE son intention de poursuivre la stratégie de traitement-recyclage de l'uranium et du plutonium, au moins jusque dans les années 2040. Le cycle actuel du combustible doit donc être ajusté pour éviter une trop grande accumulation de matières nucléaires valorisables : l'URT entreposé par Orano sous forme d'oxyde d'uranium et le plutonium présent dans les combustibles usés UOx, entreposés d'abord dans les piscines de refroidissement attenantes aux réacteurs (Piscines BK), puis dans les piscines de l'usine Orano de La Hague.

Par ailleurs EdF, Orano et le CEA ont affirmé devant la Commission que l'option de mise en place de réacteurs de 4<sup>ème</sup> génération, à neutrons rapides, reste l'option de référence pour le long terme puisque cette technologie, seule, permet à la fois de consommer l'uranium appauvri, de multirecycliser le Pu, tout en réduisant la radiotoxicité des déchets. Selon EdF et Orano, l'abondance sur le marché et le faible coût actuel de l'uranium naturel conduisent à n'envisager cette option qu'à long terme, lorsque les EPR devront être remplacés (si le déploiement d'une flotte intermédiaire venait à être décidée comme cela est évoqué dans la PPE).

*Face aux incertitudes sur les ressources énergétiques de la France, la Commission constate que cette stratégie est une vision à court terme pour la gestion des matières, soumise aux incertitudes géopolitiques, et donc fragile. Elle risque en effet de remettre en cause l'indépendance énergétique de la France.*

## 2.3 LES CONSÉQUENCES SUR LE CYCLE

### 2.3.1 Sur l'uranium de retraitement (URT)

Le combustible usé sortant des réacteurs REP contient encore 95 % d'uranium qui est séparé lors du retraitement. L'URT ainsi produit peut être ré-enrichi pour fabriquer un combustible à base d'uranium de retraitement enrichi (URE) utilisable dans les réacteurs 900 MWe de Cruas. Le chargement de ce type de combustible a été interrompu par EdF en 2013 pour des raisons économiques mais il est prévu qu'il reprenne en 2023 afin de stabiliser le stock d'URT tout en utilisant des matières issues des combustibles usés des réacteurs REP en fonctionnement. Les premières tranches de réacteurs qui seront chargées à Cruas ne suffiront pas à stabiliser le stock d'URT qui continuera d'augmenter. C'est pourquoi EdF prévoit aussi, vers 2030, d'utiliser plusieurs tranches de réacteurs de 1300 MWe pour recycler l'URT. Le recyclage de l'URE conduit à une économie d'environ 10 % en uranium naturel.

*La Commission souligne que plus de 30 000 tonnes d'URT sont déjà entreposées à Tricastin et que de nouvelles installations d'entreposage deviendront très vite nécessaires si le recyclage de l'URT n'est pas mis en œuvre rapidement.*

*Les demandes d'autorisation auprès de l'ASN seront-elles déposées suffisamment tôt pour que les réacteurs de 1300 MWe puissent consommer de l'URE avant la saturation des installations d'entreposage des URT ?*

### 2.3.2 Sur le plutonium

Selon la PPE, l'utilisation du plutonium en tant que matière énergétique repose sur plusieurs volets successifs : le recyclage du Pu sous forme de combustible MOx, puis le recyclage du MOx en EPR dans l'attente d'un recyclage en RNR. Cette nouvelle stratégie soulève de fortes interrogations pour chacun des volets.

La stratégie de mono-recyclage du Pu sous forme de combustible MOx concerne 24 réacteurs de 900 MWe. La fermeture de plusieurs de ces réacteurs remet cette stratégie en cause. C'est pourquoi EDF prépare une demande d'autorisation de « moxage » de réacteurs de 1300 MWe, afin de poursuivre le recyclage du Pu, permettant une économie d'importation d'uranium naturel d'environ 10 % par an.

*Compte tenu de l'ampleur des études à conduire pour moxer les réacteurs de 1300 MWe, et des délais d'instruction par l'ASN de cette option de recyclage du plutonium, la R&D des divers organismes est-elle en mesure de fournir un dossier dans les temps envisagés par les industriels ?*

*Quelles seront les conséquences de la mise en place de cette nouvelle stratégie sur l'ensemble du cycle électronucléaire ?*

L'autorisation de moxage des réacteurs de 1300 MWe, de même que le remplacement de réacteurs REP par des EPR, moxables par conception, permettrait le mono-recyclage de U et Pu tel qu'il est pratiqué aujourd'hui. Néanmoins, il conduit à poursuivre l'entreposage de MOx

usés dont les quantités seraient en augmentation continue en raison de l'absence de RNR pour les consommer.

C'est pourquoi EDF envisage à terme une nouvelle stratégie de multi-recyclage de U et Pu qui ne concernerait que les EPR de nouvelle génération. Ce multi-recyclage du Pu avait déjà été étudié sommairement dans le passé pour des REP et avait été rejeté par EDF pour diverses raisons (coût, faisabilité industrielle non démontrée, enrichissement des déchets en actinides mineurs, sûreté du cycle et des réacteurs...). Cette option technologique, réouverte aujourd'hui, nécessitera de développer un nouveau combustible MOx (Corail ou MIX). La démonstration de sa faisabilité industrielle requiert des études complémentaires et des moyens significatifs qui ne seront pas nécessairement directement transposables à la filière RNR avec plusieurs objectifs.

- Démontrer l'intérêt économique et technologique du multi-recyclage de U et Pu en EPR en attente d'une filière RNR ;
- Maîtriser la fabrication du combustible Corail, ou du combustible MIX, et leur retraitement à l'échelle industrielle ;
- Gérer l'augmentation de la production d'actinides mineurs : quelle sera leur composition isotopique ? quel sera l'impact de cette augmentation sur le retraitement ?
- Gérer la dégradation de l'isotopie du plutonium, qui nécessitera une nouvelle fabrication spécifique pour le combustible : combien de cycles seront envisagés ?
- Maîtriser la réactivité et la sûreté du cœur du réacteur.
- Préparer l'adaptation de la Hague et de Melox qui devront être robotisées pour assurer la radioprotection.
- Évaluer les conséquences sur la nature, la durée de vie, la radiotoxicité et les quantités de déchets produits. Alors que le moxage des réacteurs de 1300 MWe ne change pas la nature des déchets produits par le parc, la mise en oeuvre du combustible Corail, ou du combustible MIX, nécessaire au multirecyclage du Pu, conduit à de nouveaux déchets beaucoup plus riches en actinides mineurs que ceux produits après monorecyclage des UOx.

*Cette stratégie complexe de multirecyclage de U et Pu en EPR entraînera des modifications significatives de l'isotopie du Pu et impliquera une adaptation des installations de fabrication et de retraitement du combustible. Par ailleurs, le nombre limité de cycles pourrait conduire, en l'absence de RNR, à une augmentation de l'entreposage des MOx usés tout en accroissant l'inventaire en déchets de haute activité.*

*La Commission s'interroge sur l'intérêt d'une telle stratégie, présentée comme une première étape pour la maîtrise d'un cycle du combustible RNR, qui exigera des investissements spécifiques lourds.*

*La Commission constate qu'on s'écarte ainsi des objectifs de la Loi de 2006.*

## 2.4 FERMETURE DU CYCLE

Il apparaît ainsi que, sans remettre en cause le recyclage de U et Pu à court et moyen terme qui maintient les installations opérationnelles, l'option d'une utilisation du plutonium associé à de l'uranium appauvri dans un RNR est repoussée à un horizon lointain.

*La Commission estime d'ores et déjà que le programme Astrid a permis des avancées considérables dans tous les domaines scientifiques et technologiques contribuant à la mise en place de RNR. Un bilan global des études Astrid sera produit fin 2019. La Commission l'évaluera.*

*La Commission s'interroge sur la capacité des acteurs du nucléaire à maintenir et développer une expertise et une compétence pour ne pas perdre les acquis de la mise en œuvre de Rapsodie, Phénix et Superphénix et ceux du développement du projet ASTRID en l'absence de projet motivant à l'horizon 2050-2060.*

*La transmission d'une connaissance approfondie concernant les réacteurs, la séparation et le cycle du combustible, la sûreté, la radioprotection... sera indispensable pour gérer de manière sûre, quel que soit son devenir, l'ensemble du parc électronucléaire jusqu'à sa fermeture définitive.*

*La Commission ne peut que regretter l'abandon du projet ASTRID qui fera perdre à la France son leadership alors que ses concurrents comme la Russie et la Chine continuent à miser sur les RNR.*

## 2.5 LA TRANSMUTATION DES ACTINIDES MINEURS

28

L'étude de la transmutation des actinides mineurs est inscrite dans la Loi de 2006. Les recherches concernant la transmutation des actinides ont été évaluées dans les rapports 11 et 12.

Les expériences qui ont été menées au cours des dernières décennies concernent :

- la séparation des actinides mineurs en aval du traitement du combustible UOx usé, soit séparés en groupe (AM = Am+Np+Cm), soit isolés ;
- l'irradiation d'aiguilles contenant des actinides mineurs dans des réacteurs tels qu'HFR (Petten), HBWR (Halden), ATR (INL) et Phénix (Marcoule) sur différents supports (oxyde, matrice inerte, ...).

Les examens post-irradiations des dernières expériences sont encore en cours. Ils permettent de définir une matrice de conditionnement appropriée à la transmutation des actinides mineurs et ils fournissent une première évaluation des taux de transmutation par fission.

Les nouvelles orientations proposées par le CEA comportent :

- des études d'esquisses consacrées à la filière RNR-Na (simulation et plateformes expérimentales permettant de qualifier les composants innovants) ;
- une veille technologique concernant les autres filières de réacteurs de Gen IV dont les Réacteurs à Sels fondus (molten salt reactor ou MSR) qui présentent des potentialités pour la transmutation des actinides. Une R&D sera nécessaire pour lever les nombreux verrous technologiques associés à cette filière.

*La Commission note qu'au niveau mondial, tout comme en France, les études sur les actinides mineurs sont en baisse. Il est impératif de consolider, avec un programme expérimental pluriannuel, le réseau de coopération que le CEA a construit. La Commission souligne à nouveau l'absence actuelle en France d'outils d'irradiation en spectre de neutrons rapides et de plateformes expérimentales dédiées. Ce contexte impose de renforcer les collaborations internationales.*

*Considérant l'intérêt qu'aurait la transmutation de l'américium pour la gestion des déchets dans le futur, la Commission recommande que des études soient poursuivies pour développer les compétences acquises, afin de satisfaire les exigences de la Loi de 2006.*

Récemment, une nouvelle approche est apparue. Elle utiliserait un laser de puissance de nouvelle génération pour produire des neutrons de 14 MeV par une réaction de fusion. Ces neutrons seraient injectés dans un réacteur à sels fondus pour réaliser la transmutation des actinides. Des défis scientifiques et technologiques majeurs resteraient cependant à surmonter :

- réaliser un laser de puissance nécessitant une technologie innovante qui n'est qu'en début de développement ;
- développer une nouvelle filière nucléaire fondée sur l'utilisation d'un réacteur à sel fondu alors qu'il n'existe toujours pas de prototype et donc de filière industrielle au niveau international ;
- disposer d'une filière industrielle de séparation des produits de fission à vie longue et des actinides mineurs.

*Au stade actuel des connaissances, l'ampleur des développements requis au plan scientifique, technologique, et industriel est telle qu'il n'est pas réaliste de fixer une quelconque échéance pour une éventuelle mise en œuvre industrielle de cette approche.*

*Par ailleurs, il convient de noter qu'un retraitement des verres ne serait ni économiquement ni technologiquement envisageable.*