

# RAPPORT A LA COMMISSION D'ENQUETE DE L'ASSEMBLEE NATIONALE SUR LA SURETE ET LA SECURITE NUCLEAIRES

## Usines de retraitement des combustibles irradiés de La Hague et leurs problèmes

Jean-Claude Zerbib, Global-Chance, 31 mai 2018

Nous allons aborder, dans une première partie, les points qui sont à l'origine des problèmes à résoudre aujourd'hui. Le tout premier concerne la gestion des déchets radioactifs, problème qui a toujours été considéré comme trivial alors qu'il est important et pose toujours des questions scientifiques importantes comme celui de l'évolution de la tenue des matériaux sur des périodes de milliers ou de millions d'années. Ce mépris technologique fait que l'on découvre aujourd'hui, après une reprise tardive de la gestion de divers déchets, la complexité réelle des problèmes.

A titre d'exemples, nous allons présenter deux cas à La Hague : celui des boues physicochimiques de la "Station de traitement des effluents N°2" (STE2) et le cas du "Silo Nord-ouest" dans lequel un feu avait pris en janvier 1981. Ce silo de stockage à sec a été noyé et la situation est restée en l'état 37 ans après.

Nous abordons également la réalité qui se trouve derrière la présentation schématique du retraitement : *l'uranium résiduel (95%) et le plutonium (1%) sont recyclés* pour faire de nouveaux combustibles, les combustibles à oxyde mixte (MOX) et les combustibles à uranium de retraitement enrichi (URE). *Les 4% restant sont des déchets* que l'on conditionne avant de les stocker.

### 1<sup>ère</sup> Partie : La source des problèmes

#### 1. Le problème des déchets radioactifs

Toutes les activités industrielles produisent notamment des déchets non-valorisables, et la gestion de ces déchets ne s'inscrit pour les entreprises, qu'au chapitre des "dépenses". Elle ne fait donc pas le bonheur des industriels qui parfois remettent à un perpétuel "plus tard" leur prise en compte. La procrastination devient alors une méthode de gestion.

La gestion des déchets radioactifs n'échappe pas à cette règle. Elle est le "parent pauvre" de la filière nucléaire, et cela concerne tous les maillons du cycle, de la mine d'uranium<sup>1</sup> au retraitement des combustibles irradiés.

Généralement, les déchets sont uniquement *entreposés*, avec pour seul objectif de réduire les risques de nuisances *immédiates*, mais sans qu'il y ait au préalable une réflexion sur leur *reprise* future et encore moins sur leur *conditionnement* définitif en vue de leur stockage.

L'inventaire de chacun de ces déchets est généralement insuffisant et les prélèvements qui permettraient de les caractériser sont peu nombreux.

---

<sup>1</sup> De 1945 à 2001, la France a extrait 52 millions de tonnes de minerai d'uranium de 250 sites pour produire 80 000 tonnes d'uranium (teneur moyenne = 0,154%) [IRSN 2017]. Avant d'arriver au minerai exploitable il a fallu retirer 200 millions de tonnes de "stériles" (roches à teneur trop faible pour justifier économiquement leur traitement). La quantité de déchets était donc énorme (252 millions de t) mais l'évaluation de l'impact chimique et radiologique sur l'homme et l'environnement n'a été abordée que plus de 10 ans après la fermeture de la dernière mine en France.

Ces pratiques empêchent tout "retours d'expériences" qui permettraient d'améliorer cette gestion intermédiaire des déchets, en empêchant par exemple l'usage de certaines substances chimiques dont on découvrirait qu'elles posent des problèmes pour un stockage. En pratique, ces problèmes ne se posent que plusieurs dizaines d'années après, lorsque la pression des Autorités, devenue forte, contraint l'exploitant à mettre en œuvre une solution.

Nous allons donner à ce propos deux exemples pour illustrer ces situations :

➤ *Les boues radioactives de la "Station de traitement des effluents" de La Hague (STE2)*

Cette installation nucléaire (INB 38) traitait chimiquement, depuis 1966, les effluents radioactifs de faible et moyenne activité afin de réduire au maximum leur charge radioactive avant leur rejet en mer. Les boues de co-précipitation produites par ces traitements (qui ont évolué au cours du temps) étaient entreposées dans sept silos ou cuves. Il y avait lors de l'arrêt de l'installation environ 9 300 m<sup>3</sup> de boues<sup>2</sup> (3 300 tonnes).

Il va falloir *reprendre* ces boues (mais les moyens de leur reprise n'avaient pas été prévus<sup>3</sup>), les *caractériser*, les *déshydrater* afin de les *conditionner*, puis d'*entreposer* quelques dizaines d'années les colis de déchets produits (projet de colis de déchets dit colis "C5") avant de les stocker définitivement une fois agréés par l'Andra.

Mais toutes ces boues renferment plus de 5 000 térabecquerels (TBq) de radionucléides *émetteurs alpha à vie longue*<sup>4</sup> (97 kg de plutonium, 370 kg de neptunium, 17 tonnes d'uranium, de l'américium 241 et du curium 244) et une *activité bêta-gamma à vie longue* (césium 137 et strontium 90) près de vingt fois plus importante encore que l'activité alpha.

Pour l'Andra<sup>5</sup>, des déchets contenant des radionucléides à vie longue, d'activité massique<sup>6</sup> comprise entre *un million et un milliard de becquerels par gramme*, sont classés dans la catégorie des "déchets de moyenne activité à vie longue" (MA-VL). AREVA NC indique qu'un colis C5 contiendrait une activité moyenne de l'ordre de 9 TBq [IRSN 2009]. Les boues relèvent donc d'un stockage de type MA-VL (CIGEO).

Mais l'analyse radiochimique de l'IRSN montre que la présence dans les boues asséchées d'une quantité d'eau résiduelle (12 kg par colis) et de certaines substances chimiques corrosives (chlorures notamment) pouvant attaquer la 1<sup>ère</sup> barrière de confinement que constitue le container, complique sérieusement les possibilités de stockage.

Côté radioactivité, le rayonnement alpha des transuraniens présents dans les boues, casse les molécules d'eau (radiolyse) et libère de l'hydrogène qui va s'accumuler dans le conteneur.

Si cet hydrogène vient à s'échapper du conteneur, il peut s'enflammer ou exploser spontanément si une concentration dans l'air voisine de 4% est atteinte.

De plus, comme l'on trouvait dans les rejets en mer du TBP<sup>7</sup>, le "chélateur" qui permet d'extraire le plutonium et l'uranium des solutions de dissolution des combustibles, cela signifie qu'il y a du TBP dans les boues.

---

<sup>2</sup> [ASN-Caen 2017]

<sup>3</sup> Il est maintenant envisagé de réaliser le pompage de ces boues au moyen d'un robot appelé ROV (Remote Operated Vehicle), de les sécher et de les compacter.

<sup>4</sup> [IRSN 2009]

<sup>5</sup> [Andra 2015], chapitre 1, page 14 en application de l'arrêté du 4 avril 2014 [JO 2014].

<sup>6</sup> Les boues de la STE2, de masse voisine de 3 300 tonnes (3,3.10<sup>9</sup> grammes) ont une activité totale proche de 100 000 térabecquerels (10<sup>17</sup> becquerels). Leur activité massique moyenne est donc de l'ordre de 30 millions de becquerels par gramme (3.10<sup>7</sup> Bq/g).

<sup>7</sup> Le Groupe de radioécologie du Nord Cotentin (GRNC) qui a étudié les rejets radioactifs et chimiques des usines de La Hague donne dans un de ses rapport [GRNC 2002] page 26, le tonnage des rejets annuels de tributyl-phosphate (TBP) en mer : 1995 (7,21 t), 1996 (6,17 t), 1997 (4,0 t), 1998 (2,84 t), 1999 (2,11t), 2000 (1,2t).

Cette présence dans les déchets est préoccupante, car après la corrosion du conteneur, l'eau étant arrivée au niveau de ce déchet, le TBP facilitera le départ du plutonium tandis que les substances chimiques corrosives seront libérées. L'IRSN, dans son avis estime cependant que le colis C5 *peut constituer une solution d'attente permettant de procéder à la reprise des boues actuellement entreposées dans l'atelier STE2* [IRSN 2009]. Il restera donc à imaginer un conditionnement inerte des boues, une reprise des colis C5, et une belle facture à payer.

➤ *Le Silo Nord-ouest abandonné*

**Le 6 janvier 1981**, un incendie se déclare dans une casemate, comportant deux fosses de stockage, située dans la zone Nord-ouest du site de La Hague.

Dans le "Silo 130", la 1<sup>ère</sup> fosse comporte 750 tonnes de déchets solides divers issus du retraitement dans UP2-400, déposés à partir de 1969 et une 2<sup>ème</sup> fosse où sont entreposées 518 tonnes de déchets depuis 1973.

Il s'agit notamment de "chemises" de graphite<sup>8</sup> (qui ont pris feu) et des extrémités d'éléments de structure des combustibles (queusots) de la première génération des centrales nucléaires dite "graphite-gaz". Après 24h de tentatives infructueuses à l'azote liquide, le feu a été finalement maîtrisé<sup>9</sup> par le noyage de la fosse (conçue pour un entreposage à sec) par 1 400 m<sup>3</sup> d'eau.

**En 2005**, l'ASN avait confirmé la nécessité d'entreprendre au plus tôt la reprise de différents déchets anciens entreposés sur le site (il n'existe pas de dispositif permettant de contrôler l'étanchéité de la fosse).

**En juin 2010**, l'Autorité prescrit à la Direction de La Hague<sup>10</sup> un calendrier contraignant de reprise des déchets pour le silo 130 et fixe des échéances de reprise à la fin des années 2011, 2014 et 2020.

**En avril 2013**, l'ASN se fâche<sup>11</sup> devant l'absence totale d'initiative d'Areva-La Hague. Elle *met en demeure* Areva de présenter d'ici deux mois les moyens mis en place pour surveiller toute fuite d'eau en provenance du silo.

**1<sup>er</sup> mars 2016**, l'IRSN estime qu'en cas de séisme, il est probable que le génie civil des silos 115 et 130, sera fortement fragilisé et présentera des fuites importantes [IRSN 2016].

**Avril 2018**, dans le rapport annuel de l'ASN de 2017, alors qu'il s'est écoulé 35 années depuis l'incendie du silo, l'on peut lire le constat suivant :

*L'ASN a constaté en juillet 2016, lors d'une inspection, qu'Areva NC n'avait pas commencé la reprise effective des déchets entreposés dans le silo 130.*

Peut-on imaginer un plus grand défi de l'Autorité nucléaire en France par un exploitant nucléaire ?

Selon le rapport annuel 2017 de l'ASN<sup>12</sup>, Areva NC construit actuellement une cellule de reprise au-dessus de la fosse contenant les déchets et un nouveau bâtiment dédié aux opérations de conditionnement. L'ASN a porté la date de début de reprise des déchets au 30 avril 2018.

Du 10 au 14 octobre 2016, les inspecteurs des installations nucléaires de base ont conduit une inspection portant spécifiquement sur la "reprise et conditionnement des déchets anciens" du site de La Hague. Le rapport de cette inspection [ASN-Caen 2017], détaille la situation de tous les cas

<sup>8</sup> Les assemblages combustibles étaient insérés dans un tube de graphite appelé "chemise".

<sup>9</sup> Si le graphite ne s'enflamme pas facilement, une fois la combustion démarrée, la température atteinte et la chaleur dégagée rendent l'extinction du feu très difficile.

<sup>10</sup> [ASN 2010]

<sup>11</sup> [AFP 2013], [ASN 2013]

<sup>12</sup> [ASN 2018], page 430.

de déchets à reprendre et à conditionner, parmi lesquels figurent les deux exemples que nous avons présentés sont détaillés.

## 2. Réalité du recyclage des matières nucléaires

Pour justifier le retraitement des combustibles à eau légère, il a été proposé la théorie du "*recyclage des matières nucléaires*" : le plutonium et l'uranium résiduel.

Ce système est présenté chaque année, notamment depuis 2008, par Areva dans ses rapports annuels sur le retraitement des combustibles irradiés. Il s'articule suivant trois arguments que nous reproduisons ici :

§ *Économie des ressources et indépendance énergétique* : Le recyclage des combustibles évite de recourir à l'importation de matières premières fossiles. Il permet une économie d'uranium naturel allant jusqu'à **25 %**.

§ *Facilitation de la gestion des déchets* : Une fois les matières uranium et plutonium extraites du combustible utilisé pour recyclage, les déchets les plus radioactifs (produits de fission) sont concentrés et conditionnés de manière sûre, stable et durable dans une matrice de verre, il s'agit de la vitrification. Quant aux déchets de structure des combustibles utilisés, ils sont compactés, ce qui permet de réduire le volume total des déchets ultimes par **5**.

§ *Réduction de la toxicité des déchets* : Le recyclage diminue jusqu'à **10** fois la toxicité intrinsèque des déchets, grâce au recyclage du plutonium présent dans le combustible utilisé.

Qu'en est-il exactement ?

- Il a été fabriqué pour EDF un total d'environ 1 370 assemblages à base d'uranium de retraitement (URE). Pour enrichir à 4,2% en  $^{235}\text{U}$  les 462 kg d'uranium contenus dans un assemblage<sup>13</sup> URE, il faut utiliser environ 2,26 tonnes d'URE<sup>14</sup>. La fabrication des 1 370 assemblages a donc permis le recyclage d'environ 3 090 tonnes d'URE<sup>15</sup>.  
Fin 2016, il a été retraité à La Hague 22 394 t de combustibles irradiés pour EDF, desquels ont été extraits de l'ordre de 21 300 tonnes d'URE.  
Il a donc été recyclé (3 090 t / 21 300 t) **14,5%** de l'uranium du retraitement et non **25%**. Ce recyclage a produit également 2 450 tonnes d'URT appauvri.  
Mais comme depuis 2013 EDF ne commande plus de combustible URE, alors que le retraitement se poursuit à plus de 1000 tonnes/an, ce taux va décroître continuellement.
- L'assemblage combustible des réacteurs de 900 MW a un volume<sup>16</sup> de 0,16 m<sup>3</sup> [ASN 2001] qui renferme 462 kg d'uranium enrichi. Les déchets du retraitement produisent par tonne retraitée environ 0,7 colis de déchets vitrifiés (CSD-V) et 0,7 colis de déchets compactés (CSD-C). Sachant que ces deux types de colis sont réalisés dans un même conteneur de 0,18 m<sup>3</sup>, une tonne de combustible irradié produit 1,4 colis, soit 0,25 m<sup>3</sup>. Un assemblage de

<sup>13</sup> En France, ces assemblages combustibles sont exclusivement utilisés dans les réacteurs Cruas : les N°4 (1993) et N°3 (1994) puis les N° 1 et N°2 (2009). Pour atteindre les performances des assemblages UOX enrichi à 3,7% en  $^{235}\text{U}$ , ces combustibles, fabriqués à partir de l'uranium de retraitement, sont enrichis à 4,2% (l'uranium de retraitement recèle des isotopes artificiels de l'uranium - $^{232}\text{U}$  et  $^{236}\text{U}$ - qui sont neutrophages et seront également enrichis).

<sup>14</sup> Pour enrichir 1 tonne d'URT à 4,2% avec un taux de rejet à 0,3%, il faut 4,88 t d'URT à 1,1%. Cette opération produit 3,88 t d'URT appauvri.

<sup>15</sup> De 2000 à 2012, EDF a importé de Russie 296 t d'URE enrichi, soit 46,8% du tonnage nécessaire pour fabriquer la totalité de ses 1 370 assemblages URE (633 t) [Louët 2012] et [Louët 2013].

<sup>16</sup> Un assemblage de réacteur de 900 MWe a une section de 0,2 x 0,2 m<sup>2</sup> et mesure 4,06 m de long.

réacteur de 900 MW (0,463 t) correspond donc à un volume de déchets vitrifiés et compactés de 0,116 m<sup>3</sup>.

La réduction de volume apportée par le retraitement (0,16/0,116) est donc égale à **1,4** et non à **5** comme affirmé par l'exploitant Areva.

Il faut noter que dans cette approche, un certain nombre de déchets comme le tonnage d'URE inutilisé et les déchets de faible activité stockés au Centre Manche puis à Soulaines ne sont pas pris en compte dans les volumes de déchets dus au retraitement.

- Il n'existe pas de moyen permettant de réduire la toxicité potentielle des radionucléides. Recycler le plutonium ne fait pas *disparaître* cet élément. En le recyclant sous la forme d'un combustible MOX, son utilisation actuelle dans les réacteurs à eau légère ne permet pas d'en réduire la masse de manière significative. La teneur initiale en plutonium, égale à **8,65%** dans le MOX neuf, passe à **6,66%** après un séjour de 4 années dans le cœur du réacteur, soit une réduction de 23%. D'autre part, Si la masse initiale de plutonium a décré de 23%, l'activité du plutonium résiduel a augmenté de 27% du fait de la modification de la composition des isotopes (augmentation de l'activité du plutonium 241 - <sup>241</sup>Pu - qui donnera par décroissance de l'américium 241, un radionucléide à vie longue -433 ans-). En termes de réduction d'activité d'émetteurs alpha de longues périodes, le MOX n'est donc pas une bonne solution. Comme les combustibles MOX irradiés sont difficiles à retraiter<sup>17</sup>, ils ne seront vraisemblablement pas retraités mais stockés en l'état.

### **3. Les non-dits du retraitement des combustibles URE et MOX irradiés**

Dans tous les textes officiels il est affirmé que le retraitement des combustibles irradiés fabriqués avec de l'uranium de retraitement (URE) ou avec de l'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (MOX) sera effectué.....plus tard.

L'ANDRA, qui rapporte les dires des exploitants, écrit notamment dans les éditions de 2012 et 2015 de son *Inventaire national* :

- *La stratégie d'EDF consiste à faire traiter prioritairement les combustibles à l'oxyde d'uranium naturel enrichi. Les combustibles URE et les combustibles MOX commenceront à être traités à partir de 2030.* [Andra 2012], page 48.
- *La stratégie d'EDF consiste à faire traiter les combustibles à l'oxyde d'uranium naturel enrichi. Les combustibles URE et les combustibles MOX commenceront à être traités à l'horizon 2040.* [Andra 2015a], page 40.

Ainsi, d'une part l'horizon s'éloigne quand on s'en approche, mais en 2040, l'usine UP2-800 qui a démarré en 1994 et l'usine UP3, mise en activité industrielle en 1990, auront 46 et 50 ans en 2040. C'est-à-dire qu'elles seront toutes deux *en attente ou déjà en cours de démantèlement* et rien n'indique qu'une nouvelle usine sera mise en œuvre à cette date.

EDF envisage d'ailleurs de construire une piscine d'entreposage<sup>18</sup> en 2030, d'une capacité de deux fois 5 000 tonnes, pour ses besoins. Ce choix suggère qu'EDF fait l'hypothèse d'un arrêt du retraitement.

---

<sup>17</sup> La teneur élevée en plutonium pose des problèmes de criticité lors de la dissolution du combustible et la haute activité alpha des actinides mineurs nécessite des dilutions avant la vitrification ce qui peut augmenter le nombre de CSD-V produits.

<sup>18</sup> Une ou deux piscines qui seront bunkérisées, à la demande de l'ASN.

Si EDF venait à décider de retraiter les MOX, il faudra pour cela avoir, en plus d'une nouvelle usine de retraitement, un nouveau type de réacteur (réacteurs à neutrons rapides de 4ème génération) permettant de bien mieux consommer le plutonium que les PWR actuels avec le MOX, car si le retraitement d'une tonne de combustible UOX irradié donne environ 10 kg de plutonium, le MOX en fournit de l'ordre de 67 kg.

Qui s'agisse de problèmes techniques ou financiers que rencontre<sup>19</sup> et rencontrera ce projet, il n'est pas acquis que ce nouveau réacteur à neutrons rapides soit au rendez-vous. Il faudrait donc imaginer dès à présent, un "*plan B*" permettant de gérer *la quarantaine de tonnes de plutonium* entreposée à La Hague sous forme de PuO<sub>2</sub>, et la *vingtaine de tonnes de plutonium* présente dans les combustibles MOX rebutés entreposés dans la piscine NPH de La Hague.

Le retraitement des URE et des MOX irradiés est également problématique, car il fournira un uranium du retraitement qui sera un déchet volumineux encore plus difficile à gérer que celui obtenu lors du retraitement des UOX (21 180 tonnes fin 2015), qui posent déjà un problème pour leur stockage à long terme.

#### **4. La protection des installations contre les actes de malveillance**

Afin d'éviter les anachronismes, il faut rappeler que les deux usines de La Hague ont été conçues au milieu des années 1980, une quinzaine d'années avant le début d'une époque où les premiers actes terroristes importants ont été commis contre des installations, comme dans le cas des attentats du 11 septembre 2001 contre les tours de Manhattan et le bâtiment du "Pentagone".

*Aussi, les différentes installations nucléaires de La Hague n'ont donc pas été conçues pour résister à des actes violents de malveillance, comme des tirs de roquettes.*

Comme pour toutes les installations nucléaires, les objectifs des concepteurs des usines UP2-800 et UP3, consistaient principalement à garantir, lors de la conception, la pérennité de la fourniture d'eau et d'électricité pour faire fonctionner des moteurs et des pompes, afin de pouvoir refroidir les eaux de piscines, d'agiter des solutions de produits de fission (homogénéiser les températures et évacuer l'hydrogène), d'assurer la dépression de certaines enceintes de travail, la ventilation des entreposages de déchets de haute et moyenne activité, etc.

Il fallait également que les piscines et les bâtiments résistent au *risque sismique*<sup>20</sup>. Toute rupture d'alimentation en eau ou en électricité comme l'incapacité de certains appareils à assurer leur fonction, peut se traduire par des dommages graves si cela dure, suivant les cas, une quinzaine d'heures ou quelques jours.

La structure métallique, recouverte de tôles, qui a été choisie pour abriter les piscines, avait pour objectif, en cas de séisme, de ne pas entraîner la chute de *matériaux de structure* dans les piscines, des objets lourds qui pourraient endommager les combustibles immergés ou la piscine elle-même. C'est ce qui explique le choix qui a été fait d'une structure métallique légère.

Il n'a donc pas été prévu de murs de béton pour protéger les flans des quatre piscines de La Hague, contre des tirs de projectiles externes.

Ce constat fait, il serait utile de débattre aujourd'hui sur la meilleure manière de faire un entreposage de combustibles irradiés protégé contre les agressions externes.

Etant modulaire, le stockage à sec permettrait un entreposage évolutif sûr, en disposant les "containers", abritant plusieurs combustibles irradiés, dans une installation bunkérisée.

---

<sup>19</sup> Le CEA a proposé au gouvernement de revoir à la baisse la puissance du prototype de 600 MW en ramenant la puissance entre 100 et 200 MW [Le Billon 2018].

<sup>20</sup> Une règle fondamentale de Sûreté (RFS) définit les concepts de "Séismes Maximaux Historiquement Vraisemblables" (séismes les plus pénalisants connus depuis un millénaire) et de "Séismes majorés de sécurité" à retenir pour le projet d'installation nucléaire.

Pour les piscines existantes il est possible d'imaginer des dispositifs de protection autres que la bunkérisation, qui est difficile à mettre en œuvre une fois les piscines construites et chargées de près de 10 000 tonnes de combustibles irradiés.

## 2ème Partie : Le retraitement et la gestion des matières nucléaires

Afin d'étudier les problèmes de sûreté et de sécurité posés par les différents types de combustibles entreposés à La Hague, nous allons reconstituer l'évolution des tonnages de matières nucléaires en fonction du temps, principalement sur la base de diverses données publiées par l'Andra et Areva. Ces tonnages de combustibles et de matières nucléaires qui résultent du retraitement, décrits dans le tableau N°1, permettent après avoir regroupé des données éparses, d'évaluer l'importance de chacun des postes et les *risques potentiels* présentés par les entreposages.

**Tableau N° 1: Tonnages de matières nucléaires, Bilans Andra (en fin d'année)**

Catégories		Stock 2007	Stock 2010	Stock 2013	Stock 2014	Stock 2015
Uranium	Uranium enrichi	3 306	2 954	2 800	3 024	3 635
	Uranium issu du retraitement (tous sites)	21 180	24 000	27 000	28 063	29 180
Combustibles UOX	Combustibles UOX en cours d'utilisation (EDF)	4 500	4 477	4 300	4 373	4 421
	Combustibles UOX usés, sites EDF	3 584	3 626	3 700	11 812	11 568
	Combustibles UOX usés, à La Hague	7 920	8 380	8 200		
Combustibles MOX	Combustibles MOX en cours d'utilisation (EDF)	290	299	410	428	434
	Combustibles MOX usés, sites EDF	308	387	340	1615	1724
	Combustibles MOX usés, à La Hague	720	900	1 200		
	Combustibles MOX "rebutés", à la Hague	NP	NP	234	243	259
Combustibles URE	Combustibles URE en cours d'utilisation (EDF)	79	156	200	166	114
	Combustibles URE usés, sites EDF	31	68	110	458	514
	Combustibles URE usés, à La Hague	220	250	310		
Autres combustibles	Combustibles usés, Défense Nationale	141	146	156	163	163
	Combustibles RNR usés (Superphénix)	104	104	104	NP	NP
	Combustibles réacteurs de recherche + Phénix	NP	53	NP	58	58
Plutonium	Entreposé à La Hague (dont la part française)	61	60	56	56	58
	Part française totale entreposée en France	NP	80	52	53	52

**Sources** : [Andra 2009] (année 2007, pages 92-97), [Andra 2012] (année 2010, pages 49-50), [Andra 2015a], (année 2013, pages 39-43), [Andra 2016] (années 2014 et 2015, page 11). **Nota** : NP = *Non précisé*

Ces données montrent par exemple que de 2007 à 2013, le tonnage de combustibles irradiés entreposés *dans les quatre piscines de La Hague est pratiquement égal à la somme des tonnages de combustibles chargés dans les cœurs des 58 réacteurs d'EDF et ceux des piscines des réacteurs.*

Fin 2015, le tonnage combustible à La Hague était, d'après l'Andra, de **9 681 tonnes** appartenant à EDF, 31,3 t à l'Italie, 0,157 t à la Belgique et 0,148 t à la Suisse, tandis que dans les piscines réacteurs d'EDF **4 221 t** étaient entreposées ([Andra 2017] page 63).

Le tonnage entreposé à La Hague fin 2015 est égal à **113 cœurs** de réacteurs du parc EDF<sup>21</sup>. En prenant en compte le tonnage total de combustible "chargé" dans les réacteurs (4 969 t) et celui entreposé dans les piscines de réacteurs (4221 t), on observe que, fin 2015, il y avait dans les quatre piscines de La Hague (9 712,6 t) **1,06 fois plus de combustibles** que dans les cinquante-huit réacteurs d'EDF, cœurs et piscines réunis.

*Ces chiffres montrent à l'évidence, qu'une telle concentration de combustible irradié ou neuf (les 259 t de MOX rebuté<sup>22</sup>, fin 2015) en un seul lieu, présente un risque potentiel important.*

## **1. Le retraitement des combustibles irradiés des réacteurs à eau légère à La Hague**

Les premiers tonnages de combustibles pour réacteurs à eau légère (UOX) retraités à La Hague, dès mai 1976, étaient des *combustibles étrangers*, car les premiers réacteurs français à eau légère (Fessenheim N°1 et N°2) n'ont été connectés au réseau qu'en avril et octobre 1977. Les premiers déchargements de combustibles irradiés des réacteurs à eau légère français, mis en refroidissement, datent donc de 1980.

### ➤ *Les contrats étrangers de retraitement de combustibles irradiés*

- Les premiers contrats de retraitement, contractés entre 1972 et 1976 avec cinq pays (l'Allemagne, la Belgique, le Japon, les Pays-Bas et la Suisse), portaient sur un total de **512 tonnes** de combustibles irradiés. Ces contrats, signés par le CEA puis par Cogema, ne prévoyaient aucun retour de déchets. Ces combustibles irradiés ont été livrés en 1981 au plus tard. Ils ont été retraités entre mai 1976 et fin 1995.

- Une deuxième série de contrats, a suivi les débuts du retraitement des combustibles à oxyde d'uranium. Ces contrats ont été passés avec les mêmes pays, mais ils ont porté sur un total de **9 683 tonnes**. Les premiers contrats de cette 2<sup>ème</sup> série, signés à partir de 1977 par Cogema, ont concerné 1 640 tonnes de combustibles irradiés. Les suivants, qui portaient sur un total de 6 817 tonnes, ont permis de financer, en plus de l'activité de retraitement proprement dite, la construction<sup>23</sup> de l'usine UP3.

- Une 3<sup>ème</sup> série de contrats (1 226 tonnes), a permis d'atteindre, avec la 2<sup>ème</sup> série, le total de 9 683 tonnes. Les livraisons de combustibles irradiés se sont étalées sur 28 ans (1978-2006) et le retraitement a été pratiquement totalement réalisé en 2007 (il ne restait que 5,34 t en piscine).

L'ensemble des contrats ont porté sur le retraitement de 10 195 t de combustibles irradiés dont seuls 9 683 t feront au total l'objet de renvoi de déchets : 5 389 colis de déchets vitrifiés (CSD-V) et 7 066 déchets compactés<sup>24</sup> (CSD-C), soit un total de 12 455 colis (1 246 m<sup>3</sup>).

-D'autres contrats ont été signés avec l'Italie en avril 2007 (235 tonnes livrées entre début 2007 et fin 2015) et les Pays-Bas (contrats signés en février 2009 portant sur 108,8 tonnes). Les tonnages retraités fin 2016 représentent 82% du contrat italien et 72% du contrat néerlandais.

<sup>21</sup> Avec 34 réacteurs de 900 MW (72,5 t par cœur), 20 réacteurs de 1300 MW (104 t) et 4 réacteurs de 1450 MW (110,5 t), le poids moyen d'un cœur est de 86 tonnes et 493 kg le poids moyen d'un assemblage du parc EDF.

<sup>22</sup> Comme les combustibles neufs rebutés sont ceux qui présentent les plus hautes teneurs en plutonium, ce sont eux qui présentent le *risque de criticité* le plus important. La teneur moyenne en plutonium des combustibles MOX neufs a varié de 5,3 % de plutonium pour les premiers chargements (1987) à 7,08 %. Depuis 2007, le taux moyen est passé à 8,65 % de plutonium.

<sup>23</sup> L'usine UP3, payée par les cinq pays clients de Cogema, appartient depuis la fin des contrats à Areva-Orano. La totalité des 9 693 tonnes, dont la livraison s'est échelonnée entre 1978 et 2006, a été retraitée entre 1978 et 2008.

<sup>24</sup> Selon le rapport [Areva 2017], il a été envoyé fin 2016, 5 319 colis CSD-V représentant 98,7% du total et 1 180 colis CSD-C qui représentent 16,7% du total.



Le tableau N°2 présente un état des tonnages de combustibles retraités et de ceux entreposés dans les usines de La Hague et dans les piscines de réacteurs.

**Tableau N° 2: Tonnages retraités et entreposés à La Hague (LH) en fin d'année**

Année	Tonnages retraités EDF et étrangers	Tonnage total retraité EDF et étrangers	Tonnage MOX entreposé (EDF+ LH)	Tonnage total entreposé à LH EDF et étrangers
2007	915	> 23 000 (50%)	308 + 720	8 849 (99,8%)
2008	932	> 24 500 (55%)	?	9 179 (99,9%)
2009	929	>25 000 (59%)	? + 859	9 421 (100%)
2010	1 049	>26 000 (61%)	387 + 900	9 539 (99,6%)
2011	1 045	>27 000 (62%)	?	9 709 (100%)
2012	1 023	28 569 (64%)	?	9 790 (100%)
2013	1 031	>29 750 (65%)	340 + 1 200	9 759 (99,7%)
2014	1 217	30 972 (66%)	1 615	9 676 (99,6%)
2015	1 206	32 177 (68%)	1 724	9 712 (99,7%)
2016	1 118	33 296 (69%)	?	9 778 (99,6%)

**Notas :** Les chiffres entre-parenthèses représentent la part française. Les tonnages MOX sont inclus dans le tonnage total des combustibles irradiés entreposés.

Fin 2005 il y avait 596 t de MOX entreposées à La Hague dont 48 t à l'Allemagne et 5 t à la Suisse.

**Sources :** [Areva 2008] à [Areva 2017], [Andra 2009], [Andra 2012], [Andra 2015a], [Andra 2016], [Guillemette 2016].

Le bilan montre que 69% du tonnage retraité à La Hague concernait du combustible irradié dans les réacteurs d'EDF. Les tonnages de combustibles irradiés entreposés à La Hague depuis 2007 sont pratiquement français en totalité.

Depuis 2011, le tonnage moyen entreposé dans les piscines de La Hague (9 737 tonnes) se situe à **70% des limites du tonnage autorisé à être entreposé** (13 990 t selon l'ASN-Caen).

C'est la puissance thermique dégagée par les combustibles qui est considérée pour définir une limite au tonnage de combustibles entreposés. La puissance thermique des combustibles MOX est plus de trois fois supérieure, à temps de refroidissement égal, à celle des combustibles UOX.

Il serait utile d'envisager un stockage partiel à sec des combustibles UOX irradiés, procédure souple, utilisée par plusieurs pays et notamment développée à l'étranger par ...Areva-Orano [Laponche 2018].

Cette technique d'entreposage à sec est bien industrielle, car fin 2009, elle concernait aux USA 22% des combustibles irradiés entreposés<sup>25</sup> [U.S.NRC 2017]. Elle pourrait s'appliquer à La Hague avec les combustibles UOX irradiés ou avec les URE en priorité, car les combustibles MOX dégagent une puissance thermique plus de 9 fois supérieure à celle des UOX, du fait de l'activité importante du plutonium résiduel et de celle des actinides mineurs.

Ce stockage modulaire peut être réalisé à l'intérieur d'une enceinte bunkérisée.

## 2. Le retraitement de combustibles MOX irradiés

Le tableau 3 suivant fournit les caractéristiques des combustibles MOX retraités à La Hague entre 1992, la première campagne de retraitement des MOX et 2008, la dernière campagne (17 années).

<sup>25</sup> Sur les 62 383 tonnes de combustibles irradiés, 13 856 tonnes étaient entreposés à sec.

A l'exception d'environ 5 tonnes de MOX appartenant à la Suisse ces combustibles retraités provenaient d'Allemagne (93%).

**Aucun combustible MOX français n'a été retraité** et très probablement aucun ne le sera dans les années à venir.

Si le retraitement des 73 tonnes de combustibles MOX irradiés, étalé sur **17** années, montre que le retraitement des MOX irradiés est "faisable", cela ne signifie pas pour autant qu'il soit judicieux de le faire d'un point de vue de la gestion des MOX irradiés.

**Tableau 3: Caractéristiques des tonnages de combustible MOX usés retraités à La Hague**

Année	Tonnages (tonnes)	Taux de combustion	Teneur Pu résiduelle	Refroidissement jours (ans)
<b>1992</b>	4,69	37 357	?	?
<b>1998</b>	4,92	20 837	6,61 %	2 294 (6,28)
<b>2004</b>	10,64	33 245	4,18%	5 297 (14,51)
<b>2006</b>	16,49	38 695	4,15 %	5 095 (13,96)
<b>2007</b>	31,34	40 633	4,20 %	5 017 (13,75)
<b>2008</b>	5,13	52 067	7,19 %	2 292 (6,28)
<b>Total/moyenne</b>	<b>73,21</b>	<b>34 735</b>	<b>4,58%</b>	<b>4 680 (12,82)</b>

**Sources** : Caractéristiques des combustibles fournies au GRNC par Cogema

**Nota** : Les valeurs moyennes sont des valeurs pondérées par les tonnages retraités

Si le risque de "criticité" est toujours présent durant l'entreposage et le retraitement des combustibles irradiés UOX classiques, ce risque est bien plus important encore avec les combustibles MOX neufs, usés, ou avec les solutions de dissolution lors du retraitement du combustible MOX irradié (et plus encore avec du MOX neuf).

La teneur élevée en actinides mineurs (neptunium, américiums et curiums) augmente significativement l'activité incorporée dans le verre.

### 3. Le conditionnement des déchets de haute et moyenne activité

Le retraitement des combustibles irradiés produit notamment des déchets de haute activité constitué des produits de dissolution après extraction des uraniums et des plutoniums. Ces solutions radioactives qui comportent les produits de fission et les actinides mineurs (neptunium, américiums, curiums) sont vitrifiées puis entreposées.

Les matériaux de structures qui ont été cisailés sont conditionnés ou entreposés sous eau :

- Entre 1990 et 1995, ces déchets de structure des combustibles des réacteurs à eau légère étaient placés dans des fûts en acier inoxydable et bloqués par une matrice de ciment.
- De 1995 à 2002, les coques et embouts des combustibles traités<sup>26</sup>, ont été entreposés dans les piscines dites du "stockage organisé des coques" (SOC) de l'INB 80, et *sont toujours en attente de reprise pour leur conditionnement*.

Il faudra récupérer ces déchets, les trier, les sécher, les conditionner puis les transférer pour le conditionnement final<sup>27</sup> (colis CSD-C). Le montage des équipements et les essais qui viennent de débuter, devraient durer 3 ans [Lavenu 2018].

<sup>26</sup> De 1995 à 2002, plus de 6 000 tonnes de combustibles ont été retraitées à UP2-800.

Un exemple de plus en matière de gestion des déchets où, dans ce cas, ils ont été entreposés de manière sûre, mais sans se préoccuper des conditions futures de leur reprise.

- Depuis 2002, les déchets de structure des combustibles usés des réacteurs à eau légère sont compactés et conditionnés en conteneurs standard de déchets compactés (CSD-C). [Andra 2015b].
- Les déchets actuellement produits sont conditionnés "en ligne" c'est-à-dire sans entreposage préalable. Les colis sont entreposés dans l'Entreposage de Coques Compactés (ECC).

➤ *Evolution de la production de colis de déchets, de leur expédition et de l'entreposage*

Le tableau N°4 présente l'évolution, depuis 2007, du nombre de colis vitrifiés et compactés produits, de ceux retournés aux clients étrangers et de la part française de ces déchets entreposés à La Hague. Il montre que si la quasi-totalité des déchets vitrifiés ont été retournés aux clients étrangers, la situation est très différente pour les déchets compactés dont le conditionnement final par compaction a été adopté tardivement. Les premiers CSD-V ont été expédiés en 1995 (Japon) alors que les CSD-C n'ont commencé à être renvoyé qu'en 2009 (Pays-Bas).

**Tableau N°4 : Evolution des nombres de colis de déchets vitrifiés et de déchets compactés produits, expédiés ou entreposés à La Hague**

Année	Colis de déchets vitrifiés (CSD-V et CSD-B)			Colis de déchets compactés (CSD-C)		
	Produits	Expédiés (1)	Entreposés (2)	Produits	Expédiés (1)	Entreposés (2)
2007	?	4 164 (77,5%)	9 088 (87,7%)	?	0	6 089 (46,3%)
2008	?	4 472 (83,0%)	9 573 (90,9%)	1 542	0	7 631 (47,8%)
2009	839	4 472 (83,0%)	10 412 (91,2%)	1 459	80 (1,2%)	9 010 (49,4%)
2010	724	4 780 (88,7%)	10 828 (94,1%)	1 472	292 (4,1%)	10 270 (52,1%)
2011	611	5 081 (94,2%)	11 138 (96,8%)	1 342	596 (8,4%)	11 308 (55,0%)
2012	639	5 171 (95,8%)	11 665 (97,8%)	885	848 (11,9%)	11 941 (57,4%)
2013	810	5 171 (95,8%)	12 441 (97,8%)	1 075	974 (13,8%)	12 852 (60,4%)
2014	1 100	5 227 (97,0%)	13 491 (98,5%)	822	1 034 (14,6%)	13 614 (62,4%)
2015	1 084	5 247 (97,4%)	14 555 (98,5%)	808	1 144 (16,2%)	14 284 (64,3%)
2016	999	5 319 (98,7%)	15 201(99,0%)	733	1 180 (16,7%)	14 981 (65,8%)

Sources : [Areva 2008] à [Areva 2017] pour l'ensemble des données.

Nota : (1) Les chiffres entre-parenthèses représentent la part du total des colis qui seront expédiés.

(2) Les chiffres entre-parenthèses représentent la part française des colis entreposés.

La Hague a produit en moyenne 851 colis de déchets vitrifiés par an et 1 126 colis de déchets compactés par an durant la période 2008-2016.

➤ *Les capacités d'entreposage de La Hague*

Les deux ateliers de vitrification des produits de fission et des actinides mineurs des usines de La Hague : "R7" dans l'usine UP2-800 et "T7" dans l'usine UP3 disposent localement d'une capacité de stockage, destinée à assurer le refroidissement des colis pendant 5 années environ. Seul le "T7", dispose, en plus de ses capacités d'entreposage (3 600 colis), d'une annexe : "Extension d'Entreposage des Verres" (E/EV) de 8 640 colis. La taille de cette extension évolue, par ajout de

<sup>27</sup> Les coques et embouts versés dans un étui métallique sont compactés. Les "galettes", obtenues par compression de l'étui, sont empilées dans un conteneur en inox.

modules. Les trois "alvéoles" prévues<sup>28</sup> comportent chacune 324 puits de béton, qui peuvent accueillir 4 212 conteneurs de déchets vitrifiés (CSD-V), ce qui permettra de doubler la capacité d'entreposage (12 240+12 636 CSD-V).

Comme le retraitement produit environ 0,7 CSD-V par tonne, cette capacité totale d'entreposage correspondra aux déchets vitrifiés produits par le retraitement de 35 800 t de combustibles irradiés. La capacité d'entreposage des déchets vitrifiés ne devrait pas poser de problème dans les années à venir.



Les colis de déchets vitrifiés sont entreposés dans des puits en inox, de 20 m de profondeur (13 colis/puits) sous cette dalle de béton de 1,70m d'épaisseur. Photo : Ouest-France (10/2013)

➤ *Assurer la sécurité et la sûreté de l'entreposage des déchets vitrifiés*

Pour assurer la stabilité à long termes du colis, il faut stabiliser la température du verre. Si cette température vient à augmenter, le verre peut cristalliser et devenir impropre au stockage géologique profond. Cette température critique de cristallisation varie avec la composition chimique et radiochimique du verre [Advocat 2008].

Pour les verres dénommés "R7T7" utilisés à La Hague (domaine thermique de cristallisation de ce verre compris entre 630°C et 1200°C), les conditions nominales de ventilation des entreposages de colis de déchets vitrifiés sont prévues pour que la température au cœur du verre reste inférieure à 510°C afin d'éviter les risques de cristallisation.

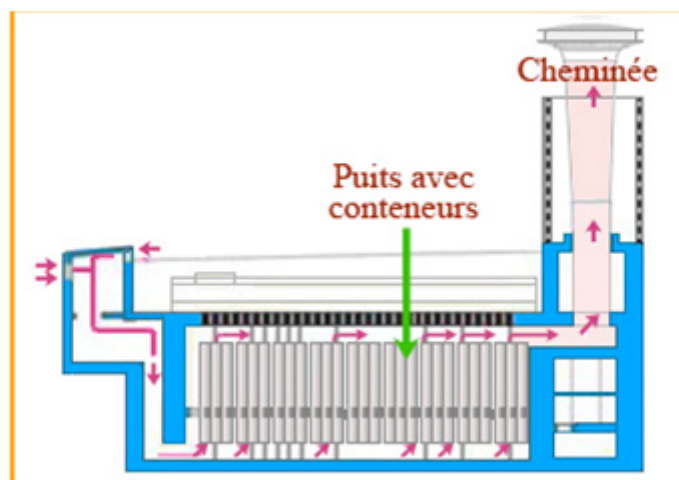
Une règle fondamentale de sûreté (RFS) de l'ASN précise les conditions thermiques à assurer<sup>29</sup> : *l'entreposage sur le site des déchets conditionnés (conteneur de verre) doit se faire dans des conditions garantissant que leur température à cœur reste, en toutes circonstances, inférieure à la température de transformation de phase du verre avec une marge d'au moins 100 °C*».

Le refroidissement de l'empilement des colis<sup>30</sup> est assuré par une circulation d'air qui passe entre deux enveloppes d'inox puis est évacuée par une cheminée (voir schéma ci-après). Plusieurs réseaux assurent la dépression à l'intérieur des puits, afin d'éviter tout transfert de la contamination externe des colis. La température de chaque puits est suivie par thermocouple [ASN 2011a].

<sup>28</sup> La 1<sup>ère</sup> extension, inaugurée le 30 octobre 2013, a augmenté d'un tiers (4 212 colis CSD-V) la capacité d'entreposage.

<sup>29</sup> La RFS III.2.b, article 2.6 du 12 novembre 1982.

<sup>30</sup> Lorsque la puissance thermique d'un colis, entreposé dans T7 ou R7, est d'environ 2kW, le colis peut être transféré dans E/EV. Les puissances thermiques des verres issus du retraitement des combustibles UOX, sont de l'ordre de 2,5 kW par colis au conditionnement, 1 kW à 10 ans et 0,4 kW à 50 ans.



3

#### *Schéma d'une installation d'entreposage de déchets vitrifiés*

Il est nécessaire de disposer en permanence des dispositifs de soufflage d'air et de leur alimentation électrique pour assurer le maintien du refroidissement des colis, car la ventilation par convection simple avec évacuation par la cheminée (hauteur 40 m) ne suffit pas à elle seule pour assurer une température à cœur du colis inférieure à 510°C.

*La perte du système de refroidissement pendant 48h* entraînerait une montée en température des bétons de structure (90°C) et des verres radioactifs (650°C). La limite thermique de cristallisation du verre serait franchie ce qui dégraderait les colis de déchets vitrifiés de manière irréversible. La reprise des conteneurs surchauffés s'avèrerait difficile et leur reconditionnement (par fusion du verre) très problématique.

*Les déchets compactés* posent moins de problèmes que les déchets vitrifiés. Après le cisailage et la dissolution, les coques, grilles et embouts rincés sont placés dans des "étuis" métalliques de 80 litres, puis séchés afin d'exclure toute présence d'eau (risque de production d'hydrogène par radiolyse de l'eau).

Ces étuis sont compactés pour obtenir une "galette" égale au 1/5<sup>ème</sup> du volume initial au moyen d'une presse de 2 500 tonnes. Sept galettes sont ensuite placées dans un conteneur standard de déchets en inox<sup>31</sup> qui est fermé par soudage pour former un "Colis standard de déchets compactés" (CSD-C) d'environ 600 kg.

<sup>31</sup> Conteneur d'environ 1,4 m de hauteur et 43 cm de diamètre.



*Colis de déchet compactés CSD-C (Document Areva)*

Au 31 décembre 2016, seuls 16,7% des CSD-C avaient été expédiés. La fraction restante concerne principalement l'Allemagne (55,6%) et le Japon (23,9%) [Areva 2017a].

#### **4. Bilan du recyclage de l'uranium du retraitement (URE)**

Les assemblages fabriqués avec de l'uranium du retraitement (URT) enrichi<sup>32</sup> ont été produits jusqu'en 2012, comme le montre le tableau N°5. Dans l'hypothèse où les derniers assemblages URE fabriqués ont été utilisés dès 2013, cela signifierait que depuis 2017, les cœurs des quatre réacteurs de la Centrale de Cruas ne comportent plus de combustible URE en charge.

La Hague a retraité uniquement 4 assemblages de combustible URE (1,44 tonne) de clients étrangers, dans l'usine UP3 (en 2006) en même temps que 20 assemblages UOX.

Ces combustibles sont plus irradiants que des combustibles UOX irradiés et l'uranium de retraitement qui en résulte est également plus irradiant, ce qui en finale interroge sur l'utilité de cette forme de recyclage.

Dans un dossier sur le cycle du combustible intitulé "Impact Cycle 2007" et adressé à l'ASN par EDF, il était d'ailleurs prévu que durant la période 2007-2017, il ne sera pas retraité des combustibles usés base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (MOX) ou à base d'uranium issu du traitement de combustibles usés (URE).

---

<sup>32</sup> En France, les assemblages combustibles URE sont exclusivement utilisés dans les 4 réacteurs Cruas : les N°4 (depuis 1993) et N°3 (1994) puis les N° 1 et N°2 (2009). Pour atteindre les performances des assemblages UOX utilisant de l'uranium naturel enrichi à 3,7% en <sup>235</sup>U, ces combustibles URE, sont enrichis à 4,2% (l'uranium de retraitement recèle des isotopes artificiels de l'uranium neutrophages qui sont enrichis, comme les uraniums 232 et 236).

**Tableau N° 5 : Evolution du nombre d'assemblages URE fabriqués en France (fin d'année)**

Année	Assemblages URE fabriqués	
	Total	EDF
2007	1 000	720
2008	1 200	836
2009	1 300	927
2010	1 860	1 127
2011	2 170	1 284
2012	2 500	1 370
2013	2 700	1 370
2014	3 700	1 370
2015	4 000	1 370
2016	4 000	1 370

Sources : [Areva 2008] à [Areva 2017]

D'après l'Andra, en 2015 il y avait 114 t d'URE dans les 4 réacteurs de Cruas. Avec les 514 tonnes d'URE irradiés entreposés à Cruas et La Hague l'on obtient un total de 628 t, valeur proche des 633 tonnes fabriquées pour EDF (1370 assemblages de 462 kg). Il ne doit plus rester de combustible URE chargé dans les réacteurs.

Est-ce la fin de l'expérience des combustibles URE ?

### 5. Bilan du recyclage de plutonium dans les combustibles à oxyde mixte d'uranium et de plutonium (MOX)

La Communauté Européenne publie (28 pays) les données relatives à l'emploi du plutonium dans les combustibles MOX. De 1996 à 2015, ce sont 195 tonnes de plutonium qui ont été mis en œuvre en 20 ans, soit près de 10 tonnes par an.

Tableau N° 6 : Utilisation du plutonium dans les combustibles MOX (28 pays de la CE)

Année	Poids (kg)	Année	Poids (kg)	Année	Poids (kg)	Année	Poids (kg)
1996	4 050	2001	9 070	2006	10 210	2011	9 410
1997	5 770	2002	9 890	2007	8 624	2012	10 334
1998	9 210	2003	12 120	2008	16 430	2013	11 120
1999	7 230	2004	10 730	2009	10 282	2014	11 603
2000	9 130	2005	8 390	2010	10 636	2015	10 780

Source : [EC 2017]

La part française dans ce bilan plutonium ne fait pas l'objet de données publiques.

Cependant, en décembre 2014, Areva annonçait la livraison du 4 000<sup>ème</sup> assemblage MOX à EDF [Areva 2014a], "Les livraisons pour EDF représentent au total plus de 13 000 tonnes de combustibles usés traitées à l'usine AREVA la Hague et plus de 130 tonnes de plutonium recyclées à Melox". Ce tonnage montre bien que la France a une part très majoritaire dans le total utilisé dans la CE (184 t de plutonium, fin 2014).

En France, la moyenne du taux de plutonium utilisé de 1987 à 2010 dans les combustibles MOX a été de 5,88%. De 1996 à 2015, EDF a utilisé environ 4 200 assemblages MOX dont 1800 de 2007 à 2015 avec un taux moyen de 8,65% de plutonium [Guillemette 2013].

Ces données conduisent à une utilisation de 137 tonnes de plutonium<sup>33</sup> de 1996 à 2015, soit 70% du plutonium utilisé dans la Communauté Européenne.

Le tableau N°7 donne le nombre d'assemblages fabriqués par Melox. Ces données montrent que fin 2016, EDF a acquis 61% des assemblages MOX fabriqués par Melox.

**Tableau N° 7 : Evolution du nombre d'assemblages MOX fabriqués en France par Melox**

Année	Assemblages MOX fabriqués	
	Total	EDF
2007	5 000	?
2008	5 000	3 000
2009	5 900	3 300
2010	6 200	3 600
2011	6 400	3 800
2012	6 700	4 000
2013	7 000	4 300
2014	7 300	4 500
2015	7 640	4 800
2016	7 880	4 800

Sources : [Areva 2008] à [Areva 2017]

La fabrication des MOX pour EDF est réalisée à partir du plutonium extrait des combustibles irradiés déchargés de ses réacteurs. L'évolution de la part française dans le plutonium obtenu annuellement par retraitement est présentée dans le tableau N°8.

**Tableau N° 8 : Plutonium entreposé à La Hague sous forme de PuO<sub>2</sub>**

Année	Plutonium entreposé (tonnes)	
	Total	France
2007	61	(68%) 41,5
2008	62	(61%) 37,8
2009	60	(61,9%) 37,1
2010	60	(62,8%) 37,7
2011	57	(63,5%) 36,2
2012	56	(67,5%) 37,8
2013	56	(70,6%) 39,5
2014	56	(73,4%) 41,1
2015	58	(74,5%) 43,2
2016	59	(74,8%) 44,1

Sources : [Areva 2008] à [Areva 2017]

**Nota :** Les rapports Areva fournissent le tonnage total entreposé (valeur arrondie à la tonne près) et la fraction en % appartenant à chacun des clients, dont la France.

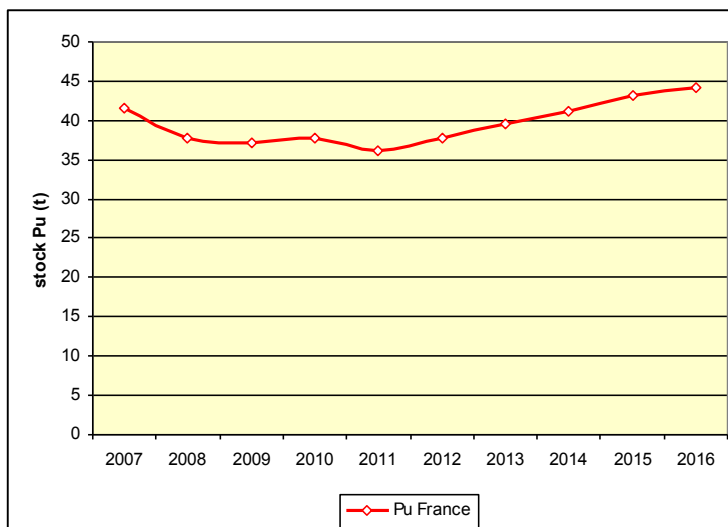
La figure relative à l'évolution du stock de plutonium entreposé à La Hague sous forme de PuO<sub>2</sub>, montre que depuis 2011 ce stock est croissant [Zerbib 2018], alors que les prévisions pour la période 2007-2017 prévoyaient d'équilibrer le flux provenant du traitement des combustibles usés et le flux recyclé dans le combustible à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (MOX). Ce principe permet de limiter la quantité de plutonium présent sous forme séparée dans les

<sup>33</sup> De 1996 à 2015, Melox a fabriqué 2 400 assemblages MOX au taux de 5,88% et 1 800 à 8,65%. Ces assemblages, utilisés uniquement dans les réacteurs de 900 MW utilisent 461,7 kg de matière combustible (uranium appauvri et plutonium).



installations et d'éviter une dégradation excessive des qualités de celui-ci avant recyclage [ASN 2011].

### **Evolution du stock de plutonium français stocké à Areva-Orano La Hague**



Source : [Areva 2008] à [Areva 2017]

De 2007 à 2016, une moyenne de 58,5 tonnes de plutonium était entreposée à La Hague, dont 39,6 tonnes de plutonium français (67,7%). A ce tonnage s'ajoute celui du plutonium présent dans les assemblages MOX rebutés<sup>34</sup> que nous estimons égale à 15,7 t en 2016 soit un total d'environ 55 tonnes de plutonium.

## **6. Conclusions**

-Une pratique courante montre qu'à La Hague les déchets radioactifs sont uniquement *entreposés* de manière sûre, mais sans qu'il y ait au préalable une réflexion sur leur *reprise* future ni sur leur *conditionnement* en vue de leur stockage définitif. Le retour d'expérience tardif est inopérant et critique tant du point de vue des problèmes technologiques posés que de leurs impacts économiques.

-Des moyens plus coercitifs devraient être fournis à l'ASN pour imposer aux exploitants des mises en sûreté de situations devenues critiques du point de vue de la radioprotection des personnes et de l'environnement.

-Des expertises pluralistes, indépendantes et contradictoires, devraient être conduites pour évaluer la réalité du *recyclage* des matières nucléaires issues du retraitement des combustibles irradiés ainsi que la pertinence du recyclage de l'uranium du retraitement pour la fabrication de combustibles URE et celui de l'emploi du plutonium dans des combustibles MOX.

-Une étude sur les moyens techniques qui réduiraient la vulnérabilité de l'entreposage en piscine à La Hague devrait être conduite, dans la mesure où dans la situation actuelle de leurs charges en combustibles irradiés (elles renferment l'équivalent de 113 cœurs de réacteurs), la bunkérisation des piscines existantes n'est matériellement pas réalisable.

-La construction de nouvelles capacités d'entreposage devraient comparer les options industrielles disponibles que sont le stockage en piscine et l'entreposage à sec.

<sup>34</sup> En 2009, il y avait 193 t de MOX rebutés entreposés à La Hague et 259 t en 2015 (+67 t en 6 ans), soit une croissance moyenne de 11 t/an. Cette donnée conduit à 99 tonnes produits après 2007 avec une teneur en plutonium égale à 8,65%. Avant 2007 (171 t) la teneur moyenne était de 5,8%.

-La définition d'une politique claire de gestion des combustibles irradiés (retraitement / stockage en l'état) pour les prochaines décades à venir devient un besoin urgent avant même de définir le volume et le lieu d'implantation d'une extension des capacités d'entreposage françaises.

-L'utilisation future du plutonium repose sur la mise au point de réacteurs à neutrons rapides capables de mieux consommer ce combustible que ne le font les réacteurs à eau légère. Cependant, si ces réacteurs ne sont pas développés, il faut imaginer un "Plan B" pour le devenir de la cinquantaine de tonnes de plutonium entreposée à La Hague notamment.

## Bibliographie

[Advocat 2008], Advocat Thierry et al, "*Dévitrication et stabilité thermique des verres*", Document CEA, Le conditionnement des déchets nucléaires, pages (48-49), 17 décembre 2008.

<http://www.cea.fr/Documents/monographies/Conditionnement-déchets-nucléaires-verres.pdf>

[AFP 2013], AFP, "*Risque de fuite: Nouvelle mise en demeure d'Areva La Hague par l'ASN*", 11 avril 2013, <http://www.romandie.com/news/n/ Risque de fuite Nouvelle mise en demeure d Areva La Hague par l ASN89110420132207.asp>

[Andra 2009], Andra, "*Rapport de synthèse 2009 Inventaire national des matières et déchets radioactifs*", 242 pages, Chatenay-Malabry, juin 2009.

[Andra 2012], Andra, "*Rapport de synthèse 2012 Inventaire national des matières et déchets radioactifs*", 210 pages, Chatenay-Malabry, juin 2012.

[Andra 2015a], Andra, "*Rapport de synthèse 2015, Inventaire national des matières et déchets radioactifs*", 180 pages, Chatenay-Malabry, juin 2015.

[Andra 2015b], Andra, "*Catalogue descriptif des familles 2015, Inventaire national des matières et déchets radioactifs*", 318 pages, Chatenay-Malabry, juin 2015.

[Andra 2016], Andra, "*Bilan à fin 2015, Inventaire national des matières et déchets radioactifs*", 16 pages, Chatenay-Malabry décembre 2016.

[https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/documents/pdf/fr/inventaire\\_national\\_des\\_matières\\_et\\_dechets\\_radioactifs\\_-\\_bilan\\_a\\_fin\\_2015\\_0.pdf](https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/documents/pdf/fr/inventaire_national_des_matières_et_dechets_radioactifs_-_bilan_a_fin_2015_0.pdf)

[Andra 2017], Andra, "*Sixième rapport national sur la mise en œuvre des obligations de la Convention commune*", 251 pages, octobre 2017. <https://www.andra.fr/download/site-principal/document/actualites/2017-10-23-france-6e-rapport-cc-.pdf>

[Areva 2008], Areva, Rapport 2007, "*Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations AREVA NC de La Hague*", 40 pages, Juin 2008.

[Areva 2009], Areva, Rapport 2008, "*Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations AREVA NC de La Hague*", 40 pages, Juin 2009.

[Areva 2010], Areva, Rapport 2009, "*Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations AREVA NC de La Hague*", 36 pages, Juin 2010.

[Areva 2011], Areva, Rapport 2010, "*Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations AREVA NC de La Hague*", 44 pages, Juin 2011.

[Areva 2012], Areva, Rapport 2011, "*Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations AREVA NC de La Hague*", 39 pages, Juin 2012.

[Areva 2013], Areva, Rapport 2012, "*Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations AREVA NC de La Hague*", 39 pages, Juin 2013.

[Areva 2014], Areva, Rapport 2013, "*Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations AREVA NC de La Hague*", 44 pages, Juin 2014.

[Areva 2014a], Areva, "Livraison à EDF du 4 000ème assemblage de combustible MOX", Communiqué de presse, 10 décembre 2014.

<http://www.new.areva.com/FR/actualites-10419/livraison-a-edf-du-4-000eme-assemblage-de-combustible-mox.html?XTMC=01%20FSAR&XTCR=1059?xtmc=Retraitement%20des%20mox%20allemands%20%C3%A0%20la%20hague&xcr=200>

[Areva 2015], Areva, Rapport 2014, "*Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations AREVA NC de La Hague*", 47 pages, Juin 2015.

[Areva 2016], Areva, Rapport 2015 "Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations AREVA NC de La Hague", 44 pages, Juin 2016.

[Areva 2017], Areva, Rapport 2016 "Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations AREVA NC de La Hague", 44 pages, Juin 2017.

Areva 2017a], "Areva Bilan & état des lieux des combustibles étrangers au 31 décembre 2016", CLI Areva, octobre 2017

[ASN 2001], ASN, " Comportement du combustible dans les réacteurs à eau sous pression", ASN, 13 juillet 2001, Note d'information. <https://www.asn.fr/Informer/Actualites/Centrales-nucleaires-EDF-Combustible>

[ASN 2010], ASN, "L'ASN prescrit un calendrier pour la reprise des déchets anciens du silo 130 de l'établissement AREVA NC de La Hague", ASN, 29/07/2010 10:29 Note d'information, <http://www.asn.fr/L-ASN/ASN-en-region/Division-de-Caen/Actualites-de-votre-region/Reprise-des-dechets-anciens-du-silo-130-d-AREVA-NC-de-La-Hague>

[ASN 2011], ASN, " Cycle du combustible REP Français", Lettre au Directeur de la division du combustible nucléaire d'EDF, 9 mai 2011.

[ASN 2011a], ASN, "Décision n° 2011-DC-0230 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 juin 2011 relative à la surveillance de la température des puits des extensions de l'entreposage des verres (EEVSE et EEVLH) de l'atelier T7 de l'INB 116". <https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Decisions-individuelles/Decision-n-2011-DC-0230-de-l-ASN-du-16-juin-2011>

[ASN 2013], ASN, "L'ASN met en demeure AREVA NC de démontrer l'efficacité des moyens de surveillance du silo 130 sur le site de La Hague et de mettre en œuvre des dispositifs permettant de limiter les conséquences d'une éventuelle fuite de ce silo", 11 avril 2013, Paris. <https://www.asn.fr/Informer/Actualites/Mise-en-demeure-d-AREVA-NC-La-Hague>

[ASN-Caen 2017], ASN Division de Caen, "Lettre au Directeur de l'établissement AREVA NC de la Hague, du 22 mai 2017", Inspection des installations nucléaires de base INSSN-CAE-201 6-067\$ du 10 au 14 octobre 2016 Thème « reprise et conditionnement des déchets anciens du site de la Hague» <https://www.asn.fr/content/download/110797/878085/.../INSSN-CAE-2016-0678.pdf>

[ASN 2018], ASN, "Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2017", 476 pages, avril 2018, Montrouge.

[EC 2017], European Commission, "Euratom, Supply agency, Annual report 2016", <http://ec.europa.eu/euratom/ar/last.pdf>

[GRNC 2002], GRNC, "Inventaire des rejets chimiques des installations nucléaires du Nord-Cotentin", Volume 1, décembre 2012, publié par l'IRSN.

[Guillemette 2013], Guillemette A. et Zerbib JC, "Les combustibles MOX d'EDF : Radiotoxicité et bilans thermiques, production et stockages, bilans 2011", Les cahiers de Global Chance, N° 33, pages (66-81), mars 2013.

[Guillemette 2016], Guillemette A, Zerbib JC, Autret JC, "Quid du retour vers leur pays d'origine des déchets issus du retraitement des combustibles de réacteurs à eau légère usés « importés » ?", Les cahiers de Global Chance, N°38, janvier 2016.

[IRSN 2009], IRSN, "Avis de l'IRSN sur le caractère réhibitoire ou non du colis dit « C5 » vis à vis de la sûreté, tant durant la période de réversibilité du stockage des déchets de moyenne activité et de haute activité et à vie longue (MA-HAVL) qu'à long terme.", 15 octobre 2009. [http://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/Documents/Avis\\_IRSN\\_DSU\\_2009-130.pdf](http://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/Documents/Avis_IRSN_DSU_2009-130.pdf)

[IRSN 2016], IRSN, "Evaluations complémentaires de sûreté, Situation redoutée : incendie en silos 115 et 130", lettre à l'ASN, 1<sup>er</sup> mars 2016. <http://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/2016/Documents/mars/Avis-IRSN-2016-00068.pdf>

[IRSN 2017], IRSN, "L'extraction de l'uranium en France", Fiche N°1 : données et chiffres clés, février 2017.

[JO 2014], Journal Officiel, "Arrêté du 4 avril 2014 modifiant l'arrêté du 9 octobre 2008 relatif à la nature des informations que les responsables d'activités nucléaires et les entreprises mentionnées à l'article L. 1333-10 du code de la santé publique ont obligation d'établir, de tenir à jour et de transmettre périodiquement à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs", JO du 27 avril 2014.

[Laponche 2018], "L'entreposage à sec des combustibles irradiés", Le Club Mediapart, vendredi 4 mai 2018 <http://www.global-chance.org/L-entreposage-a-sec-des-combustibles-nucleaires-irradies-pas-si-bete>

[Le Billon 2018], Le Billon Véronique, "*Astrid, le futur réacteur à neutrons, en suspens*", Les Echos, N022624, page 18, 30 janvier 2018.

[Louët 2012], LOUËT C-A, "*Bilan 2011 des flux et stocks de matières*", Direction générale de l'énergie et du climat, Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, 4 octobre 2012.

[http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/Diaporama\\_Flux\\_et\\_stocks-Presentation\\_4\\_oct\\_2012\\_cle86e1da.pdf](http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/Diaporama_Flux_et_stocks-Presentation_4_oct_2012_cle86e1da.pdf)

[Louët 2013], LOUËT C-A, "*Bilan 2012 des flux et stocks de matières*", Direction générale de l'énergie et du climat, Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, 12 décembre 2013.

<http://docplayer.fr/61047985-Bilan-2012-des-flux-et-stocks-de-matieres.html>

[Lavenu 2018], Lavenu Solène, "*Les investissements se poursuivent*", Presse de la Manche, 18 mai 2018.

[U.S.NRC 2017], U.S.NRC, "*Spent Fuel Storage in Pools and Dry Casks, Key Points and Questions & Answers*", August 09, 2017. <https://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/faqs.html>

[Zerbib 2018], Zerbib JC et Guillemette A, "*Plutonium entreposé à La Hague 2010-2016* ", Global Chance, document de travail, 13 février 2018.