

# L'évaluation du stock de plutonium civil en France fin 2013

Jean Claude Zerbib et André Guillemette

Nous nous proposons de calculer le bilan des masses de plutonium détenues, fin 2013, dans les différents maillons du cycle du combustible, depuis l'extraction du plutonium des combustibles UOX jusqu'à l'entreposage en piscine des combustibles « usés », dans les centrales d'EDF ou à La Hague, en passant par toutes les phases industrielles de la fabrication du combustible MOX.

## Données de base et hypothèses de calcul

- Le rapport<sup>1</sup> ANDRA 2015 (pages 40 à 42), fournit les données suivantes pour fin 2013 :
  - **16 640** tonnes de combustibles à base d'oxyde d'uranium « usés » ou en cours d'utilisation,
  - **620** tonnes à base d'oxyde d'uranium de retraitement, « usés » ou en cours d'utilisation
  - **1 988** tonnes de combustibles de MOX, « usés » ou en cours d'utilisation,
  - **234** tonnes de combustibles MOX « rebutés », entreposées dans les piscines de La Hague.
- La teneur moyenne en plutonium des MOX actuels<sup>2</sup> est de 8,65 %<sup>3</sup> depuis 2007. Cette teneur a varié de 5,3 % à 7,08 %. De 1987 à 2010, la teneur en plutonium des MOX, a été en moyenne de 5,88 %.
- Un combustible MOX neuf, de teneur 8,65 %, contient une charge résiduelle de 6,66 % de Pu lors de son déchargement. Par hypothèse, il sera admis que la réduction de teneur (-1,99 %) est proportionnelle à la teneur du combustible neuf.
- La teneur en plutonium du MOX présent à La Hague sera calculée sur la base de la teneur moyenne MOX neuf de 5,88 % et 4,53 % pour le MOX « usé ».
- La teneur en plutonium des 234 tonnes de combustibles MOX rebutés sera supposée égale aux teneurs moyennes de la période 1987 à 2010 (5,88 %). Notons que fin 2013, AREVA précise que près de 7 000 assemblages ont été livrés<sup>4</sup> à ses différents clients français et étrangers.
- Fin 2013, il y avait à La Hague 56 t de plutonium séparé des combustibles retraités<sup>5</sup>. La part française s'élevait à 70,6 %, soit 39,54 tonnes de plutonium sous forme de PuO<sub>2</sub>.

1 - Rapport de synthèse, ANDRA 2015, 180 pages, 2015.

2 - Les données relatives au combustible MOX sont extraites de l'article « Les combustibles MOX d'EDF, production et stockages, bilans 2011 », Guillemette A et Zerbib J.C, Global Chance N° 33, mars 2013, pp (66-85).

3 - L'augmentation de cette teneur aura des limites car elle implique, au niveau des différentes étapes de la fabrication du combustible MOX, une augmentation des émissions gamma et neutron qui se traduit par des expositions de l'organisme entier et des extrémités plus importantes.

4 - Plus de 4 300 assemblages, de masse unitaire 0,462 tonne, ont été livrés dans 22 réacteurs EDF. Fin 2013, les ventes à l'étranger avaient concerné 8 compagnies japonaises de production électrique (2 réacteurs PWR ont été chargés en MOX), 9 réacteurs allemands (7 PWR et 2 BWR), 3 réacteurs PWR suisses et 2 réacteurs PWR belges. Selon Areva, les Pays-Bas envisagent également d'utiliser du combustible MOX (un PWR de 482 MWe).

5 - Rapport AREVA de 2014 sur le « Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger »

| Type de combustible                 | Utilisation  |              | Combustibles usés et rebutés |              | Tonnage 2013 |                 |
|-------------------------------------|--------------|--------------|------------------------------|--------------|--------------|-----------------|
|                                     | Neufs        | En charge    | Réacteurs EDF ou CEA         | La Hague     | La Hague     | France          |
| UOX                                 | 440          | 4 300        | 3 700                        | 8 200        | 8 200        | 16 640          |
| URE                                 | 0            | 200          | 110                          | 310          | 310          | 620             |
| MOX                                 | 38           | 410          | 340                          | 1 200        | 1 200        | 1 988           |
| MOX rebutés <sup>1</sup>            |              |              |                              | 234          | 234          | 234             |
| RNR <sup>2</sup>                    | 72           | 0            | 141                          | 2            | 2            | 215             |
| Réacteurs de recherche <sup>3</sup> | 0,2          | ?            | 72                           | 9            | 9            | 81,2            |
| <b>Total</b>                        | <b>550,2</b> | <b>4 910</b> | <b>4 363</b>                 | <b>9 955</b> | <b>9 955</b> | <b>19 778,2</b> |

1 - Les combustibles MOX « rebutés » (provenant de l'usine Mélox), sont entreposés dans les piscines de La Hague  
 2 - Les réacteurs à neutrons rapides (RNR), définitivement arrêtés, sont Phénix et Superphénix (105 t + 38 t de combustibles « usés » entreposés à EDF + AREVA).  
 3 - Combustibles entreposés dans les réacteurs de recherche du CEA (5 t UOX + 4 t combustibles UNGG ou métalliques).

**Tableau 1 : Tonnages de combustibles neufs, en charge ou usés en France en 2013**

Fin 2013, les quatre piscines de La Hague renferment plus de la moitié (50,3 %) des combustibles en charge ou usés et entreposés tant à La Hague que dans les piscines de refroidissement des 58 réacteurs d'EDF.

La masse de combustible usé entreposé à La Hague représente l'équivalent de **116 cœurs** moyens de réacteurs<sup>6</sup> du parc EDF.

Il y a l'équivalent de 114 cœurs dans les centrales EDF, soit environ 0,86 cœur de combustible usé en plus du cœur en charge, par piscine de refroidissement.

#### Calcul des charges en plutonium constituant le stock français

- 1) La masse de plutonium déjà extrait des combustibles d'EDF retraités (**39,5 tonnes**) est entreposée à La Hague, sous forme de PuO<sub>2</sub> en poudre, dans une installation dédiée à cet entreposage.
- 2) Dans les installations où le combustible MOX est fabriqué ou entreposé il y a :
  - 38 t de MOX neufs, soit 3,29 tonnes de plutonium (teneur 8,65 %),
  - 234 t de MOX rebutés, soit 13,76 t de plutonium (teneur 5,88 %),
  - Une masse de plutonium, sous forme de PuO<sub>2</sub>, qui permettra de réaliser 100 t de combustible MOX (flux EDF actuel) soit 8,65 t de plutonium (teneur 8,65 %).

Le tonnage total de plutonium dans les installations de fabrication du MOX est donc de l'ordre de **25,8 tonnes** (3,3 t + 13,8 t + 8,7 t).

6 - Le poids de matière combustible d'un cœur varie avec la puissance du réacteur : 72,5 tonnes pour un 900 MWe, 104 tonnes pour un 1 300 MWe et 110,5 tonnes pour un 1 500 MWe. Pour les 58 réacteurs du parc français (34 réacteurs de 900 MWe, 20 de 1 300 MWe et 4 de 1 500 MWe), le poids moyen pondéré d'un cœur est égal à 86 tonnes.

| Type de combustible                 | Tonnage 2013    | Taux de Pu | Pu potentiel |            |
|-------------------------------------|-----------------|------------|--------------|------------|
|                                     |                 |            | La Hague     | France     |
| UOX usé                             | 16 640          | 1,0%       | 82           | 166,4      |
| URE usé                             | 620             | 1,0%       | 3,1          | 6,2        |
| MOX usé                             | 1 988           | 4,53%      | 54,4         | 90,1       |
| MOX rebuté                          | 234             | 5,88%      | 13,8         | 13,8       |
| RNR Neufs et usés <sup>1</sup>      | 215<br>(72+143) | 20%        | 0,4          | 46,8       |
| Pu EDF + Pu AREVA                   |                 |            | 39,5         | 39,5       |
| Pu MELOX                            |                 |            |              | 12         |
| Réacteurs de recherche <sup>2</sup> | 81,2            | 1%         | 0,09         | 0,81       |
| Propulsion navale <sup>3</sup>      | 156             | 1%         | 0            | 1,56       |
| <b>Total</b>                        | <b>19 934</b>   |            | <b>193</b>   | <b>377</b> |

1 - Les 143 tonnes de combustibles RNR sont entreposées sur le site d'EDF (105 t) et à AREVA (38 t).  
2 - Au CEA sont entreposées 57 tonnes de combustibles de type UOX, 5 autres tonnes sont à La Hague et 0,2 tonne chargée. Les combustibles de types « métalliques et UNGG » sont répartis entre les sites CEA (15 tonnes) et La Hague (4 tonnes). S'agissant de la charge en plutonium, nous retenons un minimum de 1 %.  
3 - Rapport de synthèse, ANDRA 2015, 180 pages, 2015.

**Tableau 2 : Tonnages de plutonium extrait ou présent dans les combustibles neufs, rebutés, en charge ou usés en France en 2013**

Fin 2013, la masse totale du plutonium détenue en France est égale à 377 tonnes.

Fin 2013, les usines de La Hague entreposaient plus de la moitié (51,2 %) du tonnage de plutonium, extrait ou présent dans les combustibles, détenu en France.

### Évolutions de la politique de gestion des combustibles usés

Si l'on considère que le flux de plutonium est équilibré entre la quantité extraite des combustibles UOX lors du retraitement et celle présente à toutes les étapes de la fabrication du MOX, cela implique un flux positif d'un peu plus de 7 tonnes<sup>7</sup> de plutonium par an.

Les piscines de La Hague, qui comportaient fin 2013, **17,6 %** de combustibles MOX et URE, non destinés à être retraités, vont voir d'une part cette fraction des combustibles « usés » augmenter progressivement et d'autre part leur capacités restantes d'entreposage diminuer.

#### Impacts de la diminution des capacités d'entreposage

Les dispositions recommandées fin juin 2010, par le « Groupe permanent usines et déchets<sup>8</sup> », qui consistaient à équilibrer le flux de plutonium issu du retraitement avec les besoins en plutonium pour réaliser les combustibles MOX destinés aux réacteurs de 900 MWe d'EDF, avaient été entérinées par l'ASN<sup>9</sup> pour la période 2007-2017.

Il avait été décidé que le flux de plutonium serait équilibré<sup>10</sup> (de 2007 à 2017) et qu'il ne serait pas retraité de combustibles de types MOX et URE, comme le demandait EDF.

Devant l'augmentation des tonnages de combustibles « usés », entreposés dans les piscines de réacteurs et dans celles de La Hague et la *réduction consécutive des capacités d'entreposage*, de nouvelles dispositions sont prises en matière de retraitement des combustibles usés.

Le principe de *l'équilibre des flux de plutonium est abandonné*, au profit d'une augmentation du tonnage d'UOX retraité, afin d'augmenter les capacités d'entreposage, à La Hague notamment.

L'examen des tonnages de combustibles « usés » entreposés ou retraités et du tonnage de plutonium extrait, montre bien que dès 2010, ce changement de stratégie a été mis en œuvre, en augmentant :

7 - Cet apport, de plus de 7 tonnes de plutonium par an, provient du déchargement annuel de 100 t de MOX usés (6,66 t/an de Pu) et de 35 t de combustible URE (0,39 t/an de Pu).

8 - « Avis relatif à l'examen de la cohérence du cycle du combustible REP français », du 30 juin 2010.

9 - Lettre au Dr de la Division combustible de l'EDF, du 9 mai 2011.

10 - Cette pratique permet également d'avoir du plutonium non dégradé par la production d'américium 241 produit par la décroissance du plutonium 241 (période T = 14,35 ans).

- le tonnage de combustibles UOX « usés » retraités<sup>11</sup>, ce qui conduit à un tonnage de plutonium supérieur aux besoins et à une augmentation du tonnage d'uranium de retraitement entreposé.
- et consécutivement les capacités d'entreposage des piscines de réacteurs (réacteurs EDF et La Hague). Après avoir connu une augmentation moyenne de 215 tonnes de combustibles usés par an, dans les piscines de La Hague en 2007-11, l'accroissement du tonnage entreposé se ralentit et amorce même une décroissance en 2014.

Ceci signifie aussi que les 1 150 t d'UOX retraitées pour EDF à partir de 2014 (12,9 tonnes de plutonium extraites), sont remplacées dans les piscines de La Hague par environ 1 150 t d'UOX usés en provenance des centrales EDF, auxquelles il faut ajouter 100 t/an de combustibles MOX et 35 t/an de combustibles URE non retraitées<sup>12</sup>.

Cette nouvelle stratégie a pour corollaire une augmentation du tonnage de plutonium entreposé, du tonnage des combustibles URE et MOX « usés » et de l'uranium de retraitement.

| Année | Tonnage entreposé | Tonnage retraité | Plutonium français |
|-------|-------------------|------------------|--------------------|
| 2007  | 8 849             | 947              | 41,5               |
| 2008  | 9 179             | 937              | 37,8               |
| 2009  | 9 421             | 929              | 37,1               |
| 2010  | 9 539             | 1 049            | 37,7               |
| 2011  | 9 709             | 1045             | 36,2               |
| 2012  | 9 790             | 1023             | 37,8               |
| 2013  | 9 759             | 1 172            | 39,5               |
| 2014  | 9 676             | 1 217            | 41,1               |

**Tableau 3: Tonnages de combustibles entreposés ou retraités dans les usines de La Hague et celui du plutonium extrait, La Hague 2014**

Sources : Rapports Areva 2007 à 2014 sur le « Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger »

Fin 2013, le retraitement des combustibles URE usés est également envisagé à La Hague<sup>13</sup>. Compte tenu de l'arrêt de la fabrication de ce type de combustible depuis 2012, il est possible que le tonnage total des combustibles URE (620 t), en charge ou usés, n'évolue plus dans un avenir proche<sup>14</sup>. Mais il n'y a pas de changement annoncé en matière de retraitement des combustibles MOX.

11 - Le retraitement de combustibles UOX d'EDF est passé de 950 t/an avant 2009 à 1 050 t/an de 2010 à 2013, puis à 1 150 t/an à partir de 2014.

12 - 100 t de MOX usés (6,66 % de Pu) et 35 t d'URE usés (1,12 % de Pu).

13 - Un avis positif, sous certaines réserves relatives au temps de refroidissement, est donné par l'IRSN (Avis IRSN du 9 décembre 2013 « AREVA La Hague - INB 117 et INB 116 - Réception, déchargement, entreposage, transfert par le TIP et traitement de combustibles dits URE -publié le 21/10/2014).

14 - L'économie d'uranium naturel apportée par l'emploi d'uranium du retraitement et pénalisée d'une part par l'enrichissement à 4,2 % en 235U, afin d'atteindre les performances de l'Unat enrichi à 3,7 %, et d'autre part, une fois « usé », si ce combustible est retraité, par le déchet irradiant constitué par l'uranium résiduel.