

# Les piscines de la Hague

Jean-Claude Zerbib, Ghislain Quetel, André Guillemette

## Résumé

La catastrophe de Fukushima, survenue au Japon le 11 mars 2011, a consisté en une situation accidentelle grave imprévue dans les scénarios déterministes des études de sûreté des réacteurs nucléaires : la perte simultanée de l'alimentation électrique et de la « source froide ». L'accident a montré également les difficultés qu'il y avait à gérer à la fois le refroidissement du cœur et celui de la piscine où sont stockées les fractions de cœur « usées », déchargées annuellement par tiers ou par quart de cœur. Ces combustibles « usés » sont entreposés un ou deux ans dans cette piscine jouxtant l'enceinte de confinement du réacteur.

Les piscines d'entreposage ont, dans les réacteurs comme dans les usines de retraitement, deux fonctions principales : évacuer les calories produites par les combustibles et assurer, au moyen d'un écran d'eau, la protection biologique du personnel. Si ces fonctions ne peuvent plus être remplies, le niveau d'eau va progressivement diminuer, la température des combustibles usés va croître et l'approche de la piscine par le personnel deviendra alors impossible.

Le cas des piscines des usines de retraitement, comme celles de La Hague, se distingue de celui d'une piscine réacteur car le temps de refroidissement moyen des combustibles irradiés est supérieur à un an (2 à 10 ans ou plus). L'énergie qu'ils dissipent est plus faible mais les cœurs entreposés se comptent par dizaines et les bâtiments qui les renferment ne disposent pas de protection contre une agression extérieure accidentelle ou malveillante (infrastructure supérieure constituées de poutres métalliques, recouvertes par un bardage).

La capacité d'accueil de La Hague est d'environ 180 cœurs de réacteurs (17 600 tonnes) et la charge actuelle est voisine de 9 700 t, soit 55 % de la capacité totale.

Si Fukushima a montré que « *l'improbable était possible* » (Philippe Jamet, commissaire de l'ASN) et que cet accident était « *un échec collectif en matière de sécurité nucléaire* », comme l'a déclaré le président de l'autorité de sûreté française (ASN) lors d'un forum international de l'AEN, il importe de repenser les critères de sûreté en prenant en considération des accidents résultant d'une erreur humaine ou d'un acte malveillant, tels qu'une chute d'avion, un piratage informatique ou un acte de terrorisme. Les exigences relatives à la sûreté du fonctionnement des piscines et des matériels assurant la maîtrise du refroidissement de l'eau, en situation extrême, sont à redéfinir.

La magnitude du séisme à l'origine de la catastrophe de Fukushima était bien supérieure à celle du séisme historique retenu pour dimensionner les installations. Ceci devrait nous conduire à réexaminer les connaissances en cette matière, pour le site de La Hague.

## Introduction

La catastrophe de Fukushima, survenue au Japon le 11 mars 2011, a rappelé qu'en situation accidentelle grave, au cours de laquelle un réacteur nucléaire se trouve privé simultanément de son alimentation électrique et de sa « source froide », il fallait gérer à la fois le refroidissement du cœur et celui de la piscine où sont stockés les tiers ou quarts de cœur « usés », déchargés annuellement.

Ces combustibles « usés » sont stockés un ou deux ans dans cette piscine jouxtant l'enceinte de confinement du réacteur, avant d'être envoyés dans une piscine de site regroupant tous les combustibles usés issus de plusieurs réacteurs<sup>1</sup>. Le cas des piscines des usines de retraitement se distingue de celui d'une piscine réacteur car le temps de refroidissement moyen des combustibles irradiés est généralement supérieur à un an<sup>2</sup> mais les cœurs entreposés se comptent par dizaines et les bâtiments qui les renferment ne disposent pas d'une protection particulière contre une agression extérieure.

Les piscines d'entreposage ont, dans les réacteurs comme dans les usines de retraitement, deux fonctions principales : évacuer les calories produites par les radionucléides dans les gaines de combustibles et leur environnement proche et assurer, au moyen d'un écran d'eau de plusieurs mètres, une protection biologique qui permet au personnel d'assurer ses tâches quotidiennes.

## 1 - Conception d'une piscine d'entreposage

Dans les usines AREVA NC de La Hague, les combustibles « usés » sont en situation d'entreposage de longue durée<sup>3</sup> ou stockés dans l'eau des piscines de la Hague, pour atteindre un refroidissement de 6,0 à 10 ans avant le cisailage des UOX (6,3 à 14,5 ans pour les MOX déjà retraités).

Figure 1 : Vue d'une piscine de l'usine UP3



Source : AREVA NC 1992

Remplies d'eau déminéralisée, ces piscines profondes de 9,0 mètres, assurent une protection biologique<sup>4</sup> constituée par un écran d'environ 4,5 m d'eau au dessus de la partie haute des « assemblages » combustibles<sup>5</sup>. Ces derniers

1 - Cas de la plupart des pays possédant des réacteurs électronucléaires. En France, tous les combustibles usés sortant des réacteurs sont regroupés dans les piscines des usines de La Hague pour stockage à long terme ou retraitement.

2 - Au bout d'un an, l'énergie dissipée par des combustibles UO<sub>2</sub> est égale à 0,06 % de celle au temps zéro, 0,03 % à 10 ans et 0,01 % à 100 ans. Les décrets du 10 janvier 2003 modifiant les installations UP2-800 et UP3-A permettent d'accueillir des combustibles usés 6 mois après leur sortie de réacteur, le retraitement pouvant avoir lieu 1 an après sortie de réacteur. Dans le cas des combustibles de type Mox, le séjour en piscine du réacteur est de 2,5 ans.

3 - Mi-avril 2011, 9721 tonnes d'U en provenance des réacteurs d'EDF, dont environ 1 380 t de MOX, étaient entreposés dans les piscines de La Hague. AREVA NC, (cf. réunion de CLI de La Hague du 18 avril 2011).

4 - Un mètre d'eau réduit le flux du rayonnement gamma « dur » d'environ un facteur 1000, 2 mètres d'un facteur 1 million, 3 m d'eau d'un facteur 1 milliard, etc.

5 - Le cœur d'un réacteur PWR est constitué d'une série d'environ 150 « assemblages » combustibles ainsi dénommés car ils assemblent de longs tubes (les « crayons » combustibles) en alliage de zirconium (zircaloy) qui renferment environ 360 pastilles de combustible UO<sub>2</sub> ou MOX. Les assemblages sont formés d'une botte de 264 « crayons » suivant une maille carrée. Le poids de matière combustible de l'assemblage varie avec la puissance du réacteur : 461,7 kg pour un 900 MWe et 538,5 kg pour les 1 300 et 1 500 MWe. Pour les 58 réacteurs du parc français le poids moyen est d'environ 493,5 kg. Les assemblages BWR se logent par 16 dans les « paniers » et les PWR par 9.

sont disposés verticalement dans des « paniers », qui comportent, suivant le type d'assemblage combustible, 9, 12 ou 16 éléments (carrés gris clair visibles dans la piscine, Figure 1).

Hormis le fait qu'elles soient constituées d'une cavité remplie d'eau, les piscines d'entreposage de combustibles relèvent d'une conception très spécifique, totalement différente de celle d'une piscine classique. Par exemple, pour des raisons de sécurité (vidange accidentelle), elles n'ont pas, d'évacuation en position basse ni de tuyauteries traversant les parties immergées des parois, ce qui fragiliserait l'étanchéité de l'ensemble. Leur vidange, si elle était nécessaire, serait réalisée par pompage. En pratique, les piscines de La Hague ne sont jamais vidangées, mais elles font l'objet de filtrages continus et d'apports d'eau journaliers, afin de compenser les évaporations.

L'annexe 1 fournit les caractéristiques des piscines en service dans les usines de La Hague.

### **1-1 - Tenue aux séismes**

Les piscines d'entreposage, qui sont des « installations nucléaires de base » (INB), doivent être antisismiques. Elles sont constituées d'une coque en béton<sup>6</sup>. Un cuvelage en inox<sup>7</sup> épouse la face interne de la piscine, en laissant un vide compartimenté entre le béton et le métal, dans lequel des drains, placés dans l'axe des soudures, permettent de vérifier l'étanchéité de la cuve métallique.

Cet ensemble, est posé sur deux rangées de 30 plots de béton, de section rectangulaire (0,70 m x 1,4 m et d'une hauteur de 2,55 m), avec un amortisseur en néoprène (plots « Paulstra ») d'une vingtaine de cm d'épaisseur. La piscine se trouve ainsi posée sur des appuis<sup>8</sup>, en haut des piliers de béton, comme un bateau en « cale sèche ».

La fonction de ces appuis, qui équipent les piscines C D et E, consiste à réduire les accélérations sismiques transmises aux différents matériels fixés sur les parois des piscines (Nymphéas, pompes, tuyauteries) et à leur éviter de rentrer en résonance.

### **1-2 - Situation en cas de brèche**

En dessous de cette structure mixte « métal-béton », il existe du fait même de la conception (coque de béton posée sur des pilotis), une seconde cavité qui recevra partiellement l'eau en cas de percement accidentel de la cuve. Il est notable que les piscines ne sont pas complètement « enterrées », en cas de brèche dans les parois latérales il resterait seulement 2 m d'eau dans le fond de piscine, les combustibles étant ainsi dénoyés de 2,50 m (voir Fig. 3 ci-après).

Mais l'étanchéité de cette dernière cavité n'a pas été prévue dans l'hypothèse d'un scénario catastrophe (fissuration ou percement de la piscine). L'eau pourrait, dans cette hypothèse, se répandre dans les sous-sols de la piscine concernée, accessibles aux personnels, et compliquer très significativement le rétablissement de l'immersion des combustibles. Un trou, en fond de piscine, de 10 cm de diamètre, conduit à une situation non-maîtrisable par les procédures normales de sécurité.

## **2 - Gestion des piscines**

### **2-1 - Le déchargement des assemblages de combustibles**

Les assemblages de combustibles « usés » arrivent « à sec » dans un emballage de transport (appelé « château ») qui sera déchargé suivant l'une des deux options possibles :

- par accostage sous une cellule de déchargement à sec (bâtiment appelé T0), avant transfert dans la piscine D, pour les assemblages destinés à l'usine UP3 de 800 tonnes ;
- par immersion, dans une petite piscine dite de déchargement à NPH, avant transfert dans la piscine NPH, pour les combustibles retraités dans l'usine UP2 de 800 tonnes.

Le schéma de la figure 2, illustre les deux modes de mise en piscine des combustibles « usés ».

Dans la première option, représentée à droite sur le schéma de la figure 2, un « sas » hydraulique permet, après le déchargement, de transférer les assemblages, regroupés dans un « panier », de la cellule de *déchargement* à sec à la piscine d'entreposage en arrivant par un « batardeau » (carré blanc visible sur la droite de la piscine - figure 1). Toutes les manipulations sont assurées, de manière automatique, au moyen d'un « pont perche » (visible à l'arrière de la piscine), qui conduit le nouveau « panier » à sa position programmée dans la piscine. Son acheminement sous eau est réalisé après avoir assuré les déplacements nécessaires des paniers qui empêcheraient le mouvement projeté.

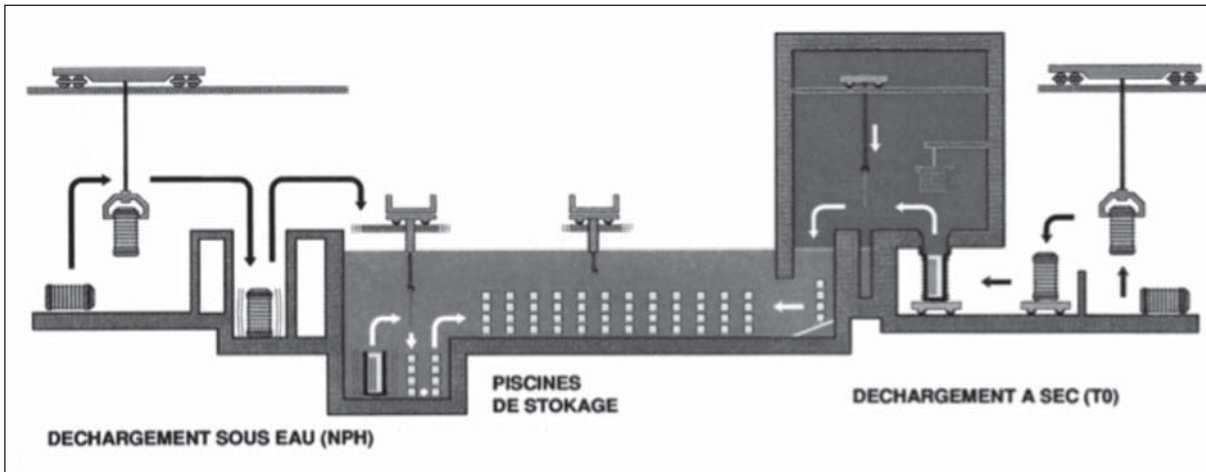
6 - Le fond de piscine a une épaisseur de 1,65 m de béton et les parois latérales de 1,25 m. La piscine NPH, placée sur un radier, renferme en sa partie médiane une âme métallique interne placée en sandwich dans le béton.

7 - Revêtement en acier inoxydable, d'une épaisseur de 6 mm sur le fond et 4 mm sur les côtés, soudé sur un maillage de profilés en forme de U.

8 - Comme les piscines ont été installées en 1981-1985, il y a lieu de s'interroger sur la tenue au vieillissement de ces appuis amortisseurs en élastomère fretté, en charge depuis 30 ans. En cas de perte d'élasticité, le point d'appui deviendrait une zone de poinçonnement.

La deuxième option, dite de *déchargement sous-eau*, est réalisée au niveau de la piscine la plus ancienne (NPH), Le «château», qui renferme 10 assemblages combustibles, est plongé dans une petite piscine, profonde de 13 m (figure 2, gauche), afin de retrouver la protection biologique<sup>9</sup> de 4,5 m d'eau lorsque l'assemblage est extrait de son conteneur, posé en fond de cellule. Une fois l'assemblage extrait de son château, il est placé dans un panier qui sera conduit vers la « piscine NPH », puis éventuellement vers la piscine C.

Figure 2 : Schéma de principe du déchargement des assemblages combustibles, à sec et sous eau



Source : AREVA NC 1998

Que le déchargement ait lieu à sec ou sous eau, il est nécessaire de refroidir les assemblages afin d'éviter le choc thermique lors de l'immersion. Pour les deux options, les châteaux sont placés dans une cellule spécialement adaptée. L'ensemble constitué du conteneur de transport et de ces 10 assemblages, est refroidi par une circulation d'eau interne au château. Des mesures physiques de radioactivité sont effectuées sur cette eau de rinçage afin de vérifier s'il n'y a pas de ruptures de gaines (présence de produits de fission). Si le contrôle de l'eau est positif, les dix assemblages sont alors contrôlés individuellement. Les éléments défectueux sont introduits dans une « bouteille » métallique afin d'éviter la contamination des eaux de piscine. Une mesure neutronique est également faite pour chaque élément combustible afin d'en déduire son taux de combustion moyen.

Après déchargement, l'emballage sera rincé par ce même circuit.

## 2-2 - La décontamination des eaux de piscines

Les eaux des piscines se contaminent essentiellement par les « boues » radioactives d'oxydes<sup>10</sup> qui recouvrent les « crayons » des assemblages combustibles. Ces boues sont produites, lors du séjour dans le réacteur, par l'oxydation des surfaces métalliques due à l'eau du circuit primaire. Ces produits d'oxydation, en suspension dans l'eau du circuit primaire, sont activés durant le séjour du combustible dans le réacteur. Ils se fixent par « impact » sur l'assemblage combustible.

Une petite fraction de ces boues d'oxydes, qui tapissent la surface externe des crayons combustibles et les éléments de structure des « assemblages », va se déliter et contaminer l'eau de piscine. D'autres radionucléides, présents dans les crayons combustibles, peuvent diffuser au travers de microfissures de la gaine et passer dans l'eau (tritium, iodes, césiums). Pour éviter ou réduire toute contamination, les eaux des piscines sont filtrées par plusieurs colonnes de résines échangeuses d'ions. Ces colonnes immergées sont visibles sur les parois de la piscine (figure 1).

Une fois saturées, ces résines qui constituent un déchet radioactif, sont conditionnées dans du ciment. Cette opération est réalisée dans un « atelier de conditionnement des résines » (ACR) où elles sont concentrées, traitées avec des réactifs, avant d'être mélangées à du ciment pour être coulées en fûts puis insérées dans un conteneur en béton contenant des fibres métalliques.

## 2-3 - Les échanges thermiques « combustibles irradiés - eaux de piscines »

La température de l'eau est maintenue en moyenne à 28°-30 °C afin de respecter l'exigence des règles générales d'exploitation - RGE- (T° inférieure à 35 °C). Ce niveau de température, retenu par l'exploitant, permet de réduire

9 - Une épaisseur de quatre mètres divise par plus de mille milliards le flux intense de particules émises par les radionucléides présents dans les assemblages combustibles.

10 - Les boues sont principalement des oxydes de fer, de cobalt et de nickel qui se forment au contact de la surface interne du circuit primaire. Véhiculés par l'eau de ce circuit, ces oxydes sont activés en passant dans le cœur du réacteur. Les radionucléides formés sont principalement des isotopes du cobalt (<sup>57</sup>Co, <sup>58</sup>Co et <sup>60</sup>Co), du <sup>63</sup>Ni et du <sup>125</sup>Sb.



l'évaporation de l'eau (environ 10 m<sup>3</sup>/jour par piscine) faiblement contaminée, mais aussi d'augmenter le rendement de piégeage du cobalt<sup>11</sup> sur les résines.

Le débit de ventilation, qui assure une dépression<sup>12</sup> dans l'ensemble des 3 halls bassins est de 0,46 million de m<sup>3</sup> par heure.

La stabilisation de la température est assurée par des échangeurs thermiques (les « Nymphéas »), placés sur les parois latérales de la piscine (comme les colonnes de résines), raccordés à une batterie de refroidissement externe au bâtiment (une pour UP2 et une autre pour UP3). Ces deux batteries d'aéro-réfrigérants sont placées sur une aire goudronnée de plein air, **externe** aux installations nucléaires.

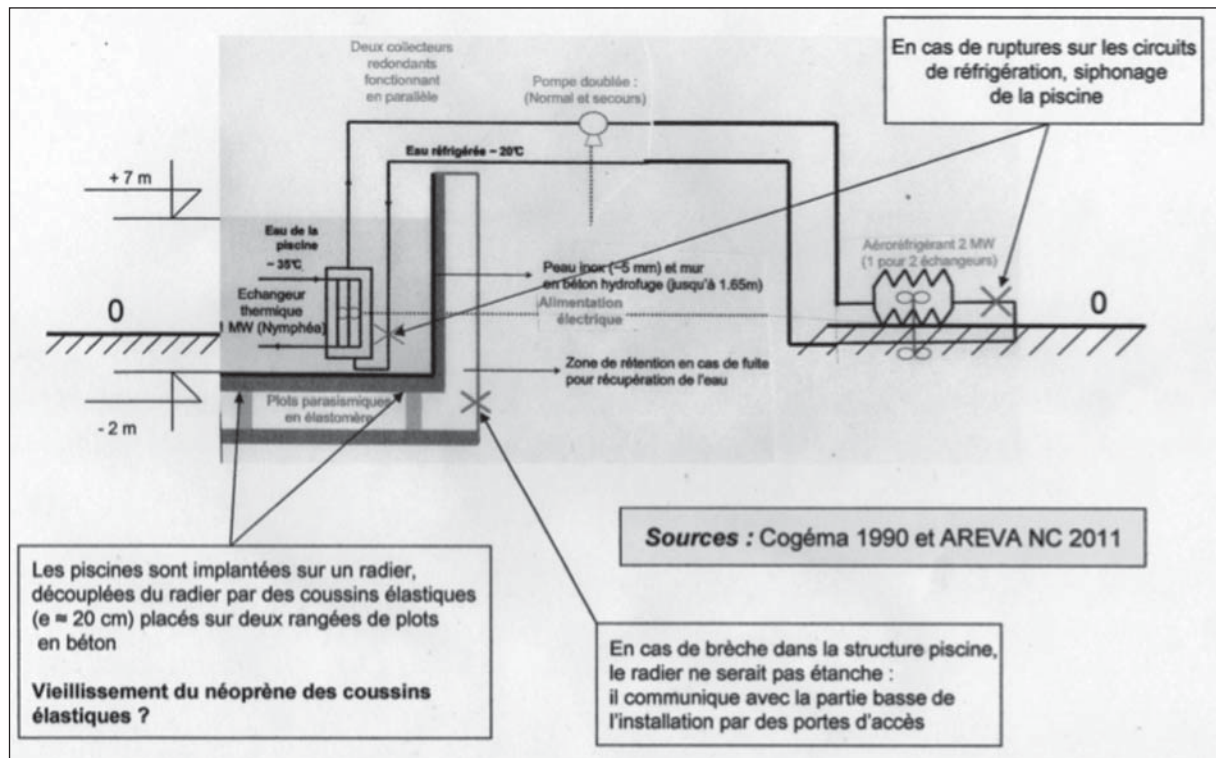
En cas de défaillance d'une de ces deux batteries, la température de l'eau des piscines s'élèvera progressivement en étant accompagnée d'une accélération de l'évaporation.

Le syndicat CFDT de La Hague avait soulevé, de manière argumentée, le problème posé par cette vulnérabilité du refroidissement de NPH auprès du PDG de la Cogéma, M. Jean Syrota, en mars 1991. En plus du manque de résistance des installations aux agressions extérieures (avions, missile, tremblement de terre, terrorisme) la CFDT avait précisé: « les piscines sont recouvertes d'un bardage métallique, il nous semble qu'une agression aérienne est plus probable qu'un tremblement de terre entre les côtes Ouest du Cotentin et les îles Anglo-Normandes ». En octobre 1991, la réponse officielle de la Direction de la Cogéma précisait:

« Pour continuer à fonctionner dans le cadre d'UP2-900, NPH est soumis aux règles fondamentales de sûreté d'UP2-800 établies par les autorités de sûreté et **il ne vous appartient pas d'en contester le bien fondé.** »

Lors de l'inauguration d'UP3, le 14 avril 1992, le ministre de l'industrie, M. Strauss-Kahn n'avait pas reçu les syndicats. Aussi la CFDT lui avait transmis par écrit ses préoccupations en matière de sécurité en insistant sur le fait, qu'en pleine capacité il y aurait alors dans les 4 piscines de La Hague de l'ordre de 165 cœurs de réacteurs<sup>13</sup>. Il y eut une seule réponse du cabinet de M. Strauss-Kahn aux questions posées mais elle ne concerne pas le risque de dénoyage des piscines. Le problème majeur !

**Figure 3 : Schéma du circuit de réfrigération de l'eau des piscines**



11 - Les isotopes radioactifs du cobalt représentent environ les 4/5<sup>e</sup> de la contamination des eaux de piscine.

12 - En assurant une dépression dans une installation nucléaire l'on réduit fortement le risque de « sortie » d'un air contaminé dans les zones adjacentes.

13 - **Extrait de la lettre à DSK** : « Sachant que le cœur d'un réacteur « eau légère » de 925 MW contient 75,5 tonnes d'uranium et que le cœur d'un réacteur de 1300 MW en contient 104 tonnes, cela représente une capacité d'entreposage de 135 à 195 réacteurs réunis sur un même site. »

## 2-4 - Évolution de la charge des piscines de La Hague

Le volume des piscines et les dispositifs de refroidissement étant fixés, la capacité d'accueil va dépendre du temps de refroidissement des assemblages combustibles, de leur taux de combustion et de la nature du combustible<sup>14</sup> (oxyde d'uranium ou oxyde mixte).

L'impact thermique des combustibles entreposés dans les piscines est borné par la capacité des batteries de réfrigération externes. En 2001 une étude de l'IPSN<sup>15</sup> avait estimé que le taux de charge thermique était à 41 % de la capacité de réfrigération maximale des installations, pour un stockage de 7 357 t d'U en 2001.

Aujourd'hui, environ 9 700 t d'U sont entreposés dans les piscines de La Hague. Les combustibles anciens ont vu leur dégagement d'énergie thermique décroître, mais il y a de plus en plus de nouveaux combustibles UO<sub>2</sub> entreposés dont les taux de combustion vont en croissant, et des combustibles MOX qui, à taux de combustion égal, dissipent encore plus de chaleur.

Seuls 63 t de combustibles MOX ont fait l'objet d'une démonstration de faisabilité de retraitement (probablement du combustible MOX étranger), alors que, selon notre estimation, environ 1 380 t de MOX (EDF) sont en stockage de longue durée dans les piscines de La Hague. Par ailleurs, suite à un accord entre EDF et AREVA, entre 2007 et 2017, le retraitement à La Hague ne portera que sur le combustible à uranium naturel enrichi. Le stock de combustible Mox produit par 17 à 19 réacteurs de l'EDF, entreposé à La Hague, ira donc en augmentant (de l'ordre de 126 tonnes par an).

L'évolution du tonnage de combustible retraité et du combustible entreposé, est donnée en annexe 2.

Le bilan thermique ci-après, extrapolé à mi-2011, à partir du tonnage entreposé déclaré par l'exploitant, **est certainement sous évalué**, les combustibles MOX ayant des taux de combustion aussi élevés que ceux des combustibles oxydes (ou UO<sub>2</sub>) et des teneurs résiduelles en plutoniums 4 à 7 fois supérieures à celles des combustibles UO<sub>2</sub>.

Tableau 1 : Taux de charge thermique estimé, mi-avril 2011

Piscine	Puissance dissipée mars 2001	Puissance dissipée estimée mi- 2011	Puissance maximale de refroidissement	Taux de charge estimé mi-2011
NPH	2605 kW	3400 kW	8000 kW	42,5%
C	3986 kW	5300 kW	8000 kW	66,3%
D	5986 kW	7900 kW	16000 kW	49,4%
E	4823 kW	6300 kW	10000 kW	63,0%
<b>Total</b>	<b>17382 kW</b>	<b>22900 kW</b>	<b>42000 kW</b>	<b>54,5%</b>

Sources : IPSN 2001, Marignac 2003, AREVA NC 2011

## 3 - La tenue aux séismes des piscines

Comme le site de La Hague est situé à 180 m d'altitude, il est à l'abri d'un tsunami, mais il doit résister aux séismes. L'intensité du séisme au niveau de l'installation à construire correspond à l'évaluation des effets attendus en ce point. L'intensité retenue par les Autorités de sûreté pour concevoir les installations, a pour base l'intensité du « séisme maximal historiquement vraisemblable<sup>16</sup> » (SMHV). Dans une seconde étape, sont définis les « Séismes Majorés de Sécurité » (SMS) en tenant compte des données géologiques. Il est alors supposé qu'un séisme analogue au SMHV puisse se produire dans l'avenir et que la position de l'épicentre sera plus pénalisante (par exemple, au droit du site) que celle du séisme historique.

L'échelle utilisée est l'échelle MSK (Medvedev, Sponheuer et Karnik) à 12 niveaux, qui caractérise les *effets de surface et non la magnitude*<sup>17</sup> qui évalue l'énergie mise en jeu au foyer du séisme (échelle de Richter). L'intensité

14 - Lorsque le taux de combustion augmente, l'activité des radionucléides formés augmente également, ce qui entraîne un accroissement de l'énergie dissipée. Les combustibles Mox, neufs ou irradiés, dissipent significativement plus de calories que les combustibles à uranium enrichi, à conditions égales.

15 - IPSN, Avis de l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire sur le dossier EDF « Cycle du combustible REP français », Rapport DES n° 468, novembre 2001.

16 - La période analysée concerne une durée de mille ans (voir IPSN 1993 et 1996). Les modalités qui permettent de fixer les niveaux de risques sismiques ont définies dans une règle fondamentale de sûreté, arrêtée par l'Autorité de sûreté (RFS 2001-01). Les séismes les plus agressifs, considérés pour le site de La Hague, datent du 30 mai 1889 (séisme d'intensité VI à 17 km de La Hague) et du 30 juillet 1926 (intensité VI-VII à 60 km de La Hague). Soit un retour d'expérience de moins de 130 ans sur les séismes.

17 - La *magnitude* est une grandeur qui a été définie pour les séismes en Californie (1935) comme étant le logarithme de l'amplitude maximale mesurée en microns à 100 km de l'épicentre. L'amplitude de 1 micron correspond à une magnitude égale à zéro. Il n'y a pas de correspondance simple entre l'échelle d'intensité MSK (1964) et l'échelle de magnitude Richter, car pour une même *magnitude* les *effets de surface* en un point vont varier avec la distance et la profondeur du foyer ainsi qu'avec la nature du sol. Cependant des corrélations sont recherchées entre magnitude et effet de surface pour caractériser les séismes historiques.

retenue pour la conception des bâtiments (VII-VIII) est celle du SMHV majorée d'une unité ce qui correspond à une augmentation de la magnitude conventionnellement fixée à 0,5.

Pour les différents matériels, importants pour la sûreté de l'installation (motopompes, tuyauterie, ancrage des matériels), il est recherché l'intensité réelle à laquelle ils résistent. A cet effet, certains matériels importants pour la sécurité, sont testés pour des spectres de fréquence définis, sur des « tables vibrantes ». Ces spectres de fréquences sont appelés « spectres de dimensionnement » (SDD).

La prise en compte du risque sismique dans les « installations nucléaires de base » (INB), **comme une piscine d'entreposage**, repose sur les critères définis dans la « Règle Fondamentale de Sûreté » (RFS N° 2001-01) et dans des « guides ».

Tous les dix ans, un réexamen des critères retenus en matière de risque sismique est réalisé et une réévaluation des mouvements sismiques (intensité et spectre de fréquence) peut être retenue.

Si après un diagnostic, la résistance de l'installation paraît insuffisante, elle doit être renforcée ou, à défaut, être arrêtée. Pour cette raison, les critères retenus pour la conception des piscines C, D et E ont été plus sévères que ceux pris en compte en 1979 pour les « Nouvelles piscines de La Hague » (NPH).

#### 4 - Les capacités d'approvisionnement en eau

En pratique, les combustibles « usés » sont entreposés dans la piscine du réacteur, 6 mois au minimum (décrets du 10 janvier 2003) avant d'être dirigés vers les usines de La Hague, qui les entrepose à son tour, soit pour les stocker en longue durée, soit pour les retraiter après un temps de refroidissement<sup>18</sup> moyen compris, en pratique, entre 6 à 10 ans (6 à 15 ans pour les tests de retraitement du MOX). Les refroidissements obtenus à La Hague empêchent théoriquement la fusion de la grande majorité des combustibles en cas de mise à sec accidentelle.

Selon l'exploitant, cette situation permet de disposer, dans le cas le plus pénalisant<sup>19</sup>, de l'ordre d'une semaine pour faire un apport d'eau aux piscines défectueuses, au moyen de la réserve de 250 000 m<sup>3</sup> d'eau industrielle (barrage des Moulinets, bassin Ouest, réserve atelier), qui représente environ 20 fois le volume d'une piscine (voir annexe) et, en cas de situation grave, au moyen d'eau de mer.

#### 5 - Les autres critères de sûreté

Après l'attentat du 11 septembre 2001 à New York contre les « tours jumelles », Wise-Paris avait présenté un mémoire au Parlement européen dans lequel il avait évalué le risque potentiel présenté notamment par les combustibles usés entreposés à La Hague.

Selon Wise-Paris, 7 508 tonnes de combustibles nucléaires « usés » étaient alors stockées à la Hague (au 31/05/2001) dans quatre piscines différentes dénommées, NPH et, piscines C, D et E, (plus une cinquième de plus faible capacité au HAO<sup>20</sup>), confinées seulement sous une charpente métallique ventilée en dépression, sans disposer d'un toit de protection en béton contre les agressions aériennes (avions ou missiles). Le rapport notait (page 54/154) que les piscines de l'usine contenaient « 287 fois plus de césium 137 qu'il n'en a été relâché à Tchernobyl<sup>21</sup> ».

Dans le cas d'un accident grave à la Hague (chute d'un avion de ligne), Wise-Paris calculait en annexe de son rapport, que la dose collective serait cinquante fois celle reçue à la suite de la catastrophe du 26 avril 1986 et qu'un attentat contre les installations de retraitement de la Cogéma à La Hague (Manche) pourrait avoir des conséquences catastrophiques.

« L'étude de WISE semble exagérée », avait estimé à l'époque M. Lacoste, président de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Cependant, si la chute en piqué sur la piscine d'un avion de ligne est une hypothèse qui fait débat<sup>22</sup>, les piscines peuvent être atteintes par des tirs de missiles par voie terrestre ou aérienne.

Après le 11 septembre 2001, des lance-missiles avaient été positionnés durant plusieurs mois autour de l'usine de La Hague pour parer à une éventuelle attaque par avion. Ce dispositif avait toutefois été rapidement levé, « le

18 - Le décret du 10 janvier 2003 relatif à UP2-800 précise en son article 1 que : « Ces combustibles ne pourront être reçus et entreposés que s'ils ont été retirés du réacteur nucléaire depuis au moins 6 mois, et traités dans l'installation que s'ils ont été retirés du réacteur nucléaire depuis au moins un an. »

19 - L'arrêt de l'approvisionnement en eau entraîne une ébullition (2 jours) puis la diminution progressive par évaporation des 4,5 m d'eau, qui assurent la protection biologique. Les « têtes » des assemblages combustibles commencent alors à émerger (10 jours). Des dégradations de gaines commencent au bout de 13 jours (température 500 °C). L'évaporation totale est atteinte en 20 jours environ (Etude complémentaire de sûreté, AREVA NC La Hague, septembre 2011, page 253/305).

20 - La piscine du HAO (Haute Activité Oxyde) a une capacité de 400 tonnes. La conception de la piscine NPH permet le passage des combustibles oxydes entre les deux piscines. Les installations de HAO sont actuellement en cours de démantèlement.

21 - La masse de césium 137 présente dans les combustibles entreposés à La Hague, était évaluée par Wise-Paris à 7,58 tonnes alors que celle émise lors de l'accident de Tchernobyl était égale à 26,4 kg.

22 - Le 11 septembre 2001, le pentagone, bâtiment relativement bas par rapport aux tours jumelles de New York, avait été atteint par un des quatre avions suicide.

*temps pour les militaires de prouver que si un gros porteur se dérouté, un avion de chasse aurait vite fait de l'intercepter* », selon l'ASN (parade qui avait cruellement fait défaut, en 2001, pour les 4 avions détournés aux USA).

## 6 - Les risques en question

La piscine d'entreposage des combustibles doit répondre à quatre exigences :

- 1 - Stabiliser la température des éléments combustibles en évacuant les calories produites par l'absorption des rayonnements dans les « combustibles ». La température de l'eau de chaque piscine étant elle-même stabilisée au moyen d'échangeurs thermiques immergés raccordés par couple à des aéro-réfrigérants (puissance de 2 MW), externes aux bâtiments piscines, afin d'évacuer les calories transférées à l'eau des piscines.
- 2 - Assurer la protection radiologique au moyen d'un écran d'eau d'environ 4 mètres au-dessus de la « tête » des assemblages combustibles. A cet effet, l'évaporation de l'eau est compensée journalièrement afin de maintenir la couche d'eau protectrice.
- 3 - Maintenir en l'état la configuration des assemblages combustibles disposés verticalement dans leurs « paniers » avec les absorbants neutroniques associés.
- 4 - Disposer d'une filtration des eaux de piscines contaminées par les boues radioactives qui adhèrent aux gaines et par la diffusion des radionucléides au travers des microfissures des gaines, à l'aide de batteries de résines échangeuses d'ions (les « Nymphéas » ioniques et cationiques).

Les risques présentés par la piscine d'entreposage des combustibles portent sur des défaillances d'une ou plusieurs de ces exigences :

- La rupture d'étanchéité de la piscine, la défaillance de l'aéro-réfrigérant, mais aussi la rupture d'étanchéité de la liaison entre les « échangeurs thermiques » et les aéro-réfrigérants<sup>23</sup> (dysfonctionnements provoqués par accident ou malveillance) entraîne, avec des temps variables, selon le type de défaillance, le dénoyage des combustibles (quelques jours à une semaine).
- Ces trois types de dysfonctionnement provoquent l'élévation de température des combustibles et des niveaux d'irradiation très importants du fait de la perte de l'écran d'eau qui assure la protection radiologique. Comme les parois du bâtiment piscine sont, vis à vis des rayonnements, très peu absorbantes (tôle d'acier) les forts débits de dose, émis par les combustibles ainsi découverts, rendront toute approche des intervenants extrêmement pénalisante.
- En cas d'explosion provoquée par l'hydrogène (produit par la radiolyse de l'eau) ou de l'impact d'un projectile, le rangement des assemblages combustibles peut être affecté. Les éléments combustibles peuvent également être déformés ou percés. Le rapprochement de deux assemblages, à quelques millimètres, sur une vingtaine de centimètres peut provoquer une excursion critique avec émission d'un flux neutronique très important.
- Le défaut de filtration se traduit par une irradiation externe produite par la masse d'eau contaminée.

## 7 - Le retour d'expérience de la catastrophe de Fukushima

Par une lettre, en date du 23 mars 2011, le Premier ministre français a demandé, en application de la loi relative à la sécurité en matière nucléaire de réaliser une étude de la sûreté des INB au regard de l'accident de Fukushima. Cet audit doit porter sur cinq points : *les risques d'inondation, de séisme, de pertes des alimentations électriques, de la perte du refroidissement et de la gestion des situations accidentelles*. Le 25 mars 2011, le Président de l'ASN donnait son accord pour conduire une étude complémentaire de sûreté sur ces cinq points.

L'exploitant Areva a fourni cette étude portant sur l'ensemble des INB qui constituent les usines de La Hague. Cette étude a été rendue publique<sup>24</sup> par l'ASN en septembre 2011. Cependant, la gestion des situations accidentelles n'aborde pas les situations résultant de malveillances, bien que les analyses mettent en évidence des points vulnérables.

Plus généralement, l'entreposage comme préalable au retraitement ou au stockage définitif, passe aujourd'hui par une voie unique : la mise en piscine des combustibles irradiés.

Il n'existe pas de conteneurs français ou étrangers disponibles, tant à La Hague que dans les centrales de l'EDF, pour réaliser un stockage à sec.

La magnitude du séisme à l'origine de la catastrophe de Fukushima était bien supérieure à celle du séisme historique retenu pour dimensionner les installations. Ceci devrait nous conduire à réexaminer les connaissances en cette matière, pour le site de La Hague

<sup>23</sup> - Les aéro-réfrigérants externes et leurs tuyauteries étant placés jusqu'à sept mètres en dessous du niveau supérieur des eaux de piscine, la rupture du circuit au niveau de l'échangeur et au niveau des aéro-réfrigérants entraînera un siphonage de la piscine qui se videra.

<sup>24</sup> - Evaluation complémentaire de la sûreté des installations nucléaires de base, Site de La Hague, 305 pages, septembre 2011 (<http://www.asn.fr/sites/rapports-exploitants-ecs/AREVA/La-Hague/flash.html#11>)



Les séismes les plus agressifs, considérés pour le site de La Hague, datent du 30 mai 1889 (séisme d'intensité VI à 17 km de La Hague) et du 30 juillet 1926 (intensité VI-VII à 60 km de La Hague). Aussi une intensité de VII-VIII a été retenue pour la conception des bâtiments est (SMHV majorée d'une unité) ce qui correspond à une augmentation de la magnitude conventionnellement fixée à 0,5. Mais la localisation en mer du foyer rend difficile l'appréciation des dégâts et donc de la quantification de l'intensité réelle. Ce retour d'expérience d'environ 120 ans sur l'histoire des séismes de la région couvre-t-il le séisme le plus fort connu ?

## Annexe 1

# Caractéristiques des piscines de La Hague

Les usines UP2-800 et UP3 disposent de 4 piscines d'entreposage, appelées NPH (Nouvelle Piscine de la Hague), et piscines C, D et E.

### *Piscine C :*

- Construite en 1981 et insérée dans un bâtiment de dimensions 92 m x 39 m
- Volume en eau : 10 650 m<sup>3</sup>
- Dimensions : 71,30 m X 16,60 m x 9,00 m (soit 10 267 m<sup>3</sup>)
- Capacité à la conception : 2 400 tonnes, portée à 4 800 t par densification du stockage<sup>1</sup>.

### *Piscine D :*

- Construite en 1982 et insérée dans un bâtiment de dimensions 90 m x 24 m
- Volume en eau : 12 340 m<sup>3</sup>
- Dimensions : 82,60 m X 16,60 m X 9,00 m (soit 12 340 m<sup>3</sup>)
- Capacité à la conception : 2 400 tonnes, portée à 4 600 t par densification du stockage.

### *Piscine E :*

- Construite en 1985 et insérée dans un bâtiment de dimensions 85 m x 29 m
- Volume en eau : 14 768 m<sup>3</sup>
- Dimensions : 77,40 m X 21,20 m X 9,00 m (soit 14 768 m<sup>3</sup>)
- Capacité à la conception : 2 000 tonnes portée à 6 200 t.

Les trois piscines C, D et E, avaient donc une capacité<sup>2</sup> de 6 800 tonnes qui a été portée à 15 600 t de combustibles irradiés (facteur 2,3).

Par convention, ce tonnage ne concerne que le poids de la matière combustible (uranium, plutonium). Comme la première charge d'un réacteur varie : 72,5 t (900 MWe), 103,9 t (1 300 MWe) et 110,4 t (1 500 MWe) de métal lourd, soit environ 85,9 t en moyenne<sup>3</sup> par cœur, la capacité maximale d'entreposage de ces trois piscines a été portée de **79** à **181** cœurs de réacteur.

Ces trois piscines sont équipées d'un pont-perche robotisé commandé depuis un poste externe à la piscine concernée.

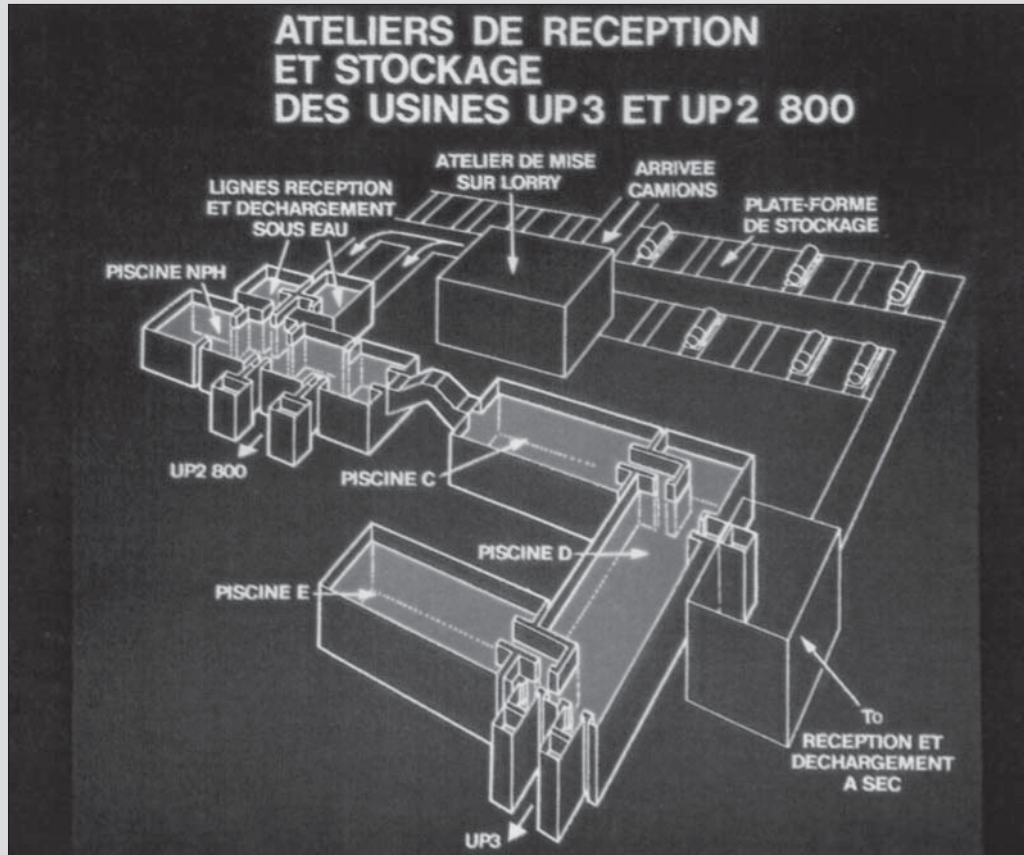
Les piscines C, D et E, sont implantées, en forme de U, au même niveau du génie civil et sont en liaison entre-elles par un batardeau avec des portes qui forment une sorte d'écluse. Le schéma de la figure 4 illustre la position des deux modes de réception et l'emplacement des piscines. Un chariot de transfert, au fond de l'eau, assure le passage d'une piscine à l'autre et un pont-perche robotisé, attaché à chaque piscine, assure les déplacements et les positionnements automatiques des paniers d'assemblages.

1 - L'épaisseur des matériaux neutrophages (acier inoxydable boré) qui séparent les assemblages combustibles, les uns des autres, est augmentée, ce qui permet de les rapprocher sans augmenter le flux neutronique. Cette opération permet d'entreposer plus d'assemblages et d'augmenter ainsi la capacité de stockage des piscines existantes. Cette densification doit cependant être compatible avec les capacités de refroidissement (Nymphéas) immergées dans les piscines.

2 - Les capacités maximales autorisées des piscines NPH et des C-D-E, ont fait l'objet de textes réglementaires (Marignac 2003) : En 1981, 8 400 t d'U, soit environ 98 cœurs, en 1993, 13 990 t d'U, soit environ 163 cœurs et en 2003, 17 600 t d'U, soit environ **181 cœurs**.

3 - Le parc français comprend 34 réacteurs de 900 MWe, 20 réacteurs de 1 300 MWe et 4 réacteurs de 1 500 MWe. En pondérant le nombre de réacteurs par le poids de chacun des cœurs, nous obtenons un poids moyen de 85,9 tonnes par cœur de réacteur.

Figure 4 : Schéma d'implantation des piscines d'entreposage des assemblages combustibles



Source : AREVA NC 1992

### Piscines NPH

- Construite en 1976 la piscine principale<sup>4</sup> est insérée dans un bâtiment comportant plusieurs zones : la zone A (dimensions 98 m x 23 m) et les zones B et C (60 m x 60 m) où se trouvent notamment les piscines de déchargement.
- Dimensions de la piscine : 83,0 m X 15,0 m X 9,0 m
- Volume en eau : environ 11 000 m<sup>3</sup>
- En lien avec la piscine C, cette piscine de l'usine UP2-800 a fait l'objet d'une remise en conformité du point de vue de sa tenue aux séismes. Sa capacité qui était de 2000 t à la conception n'a pas été modifiée<sup>5</sup>, mais pour répondre aux nouvelles exigences de tenue aux séismes, la piscine NPH a été compartimentée en trois parties.

En cas de perte totale des fonctions de refroidissement, le temps de mise à sec des combustibles est de 10 jours (à pleine capacité) avec le taux actuel de remplissage des piscines (environ 9 700 t d'U mi-2011 pour une capacité maximale de 17 600 t d'U – AREVA NC, CLI de la Manche du 18 avril 2011).

Tableau 3 : Équipement des piscines des usines de La Hague

Piscine	Puissance maximale (MW)	Nombre d'aéro-réfrigérants	Nombre de pompes	Nombre de Nymphéas	Nombre de collecteurs
C	8	4	2	8 (1 MW)	2
D	16	8	4	16 (1MW)	
E	10	5	2	10 (1 MW)	
NPH	8	4	4	8 (1 MW) 8 (0,5 MW)	2
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>21</b>	<b>12</b>	<b>50</b>	<b>4</b>

4 - Au début des années 90, l'installation NPH a été remise aux normes afin de tenir compte notamment de la nouvelle valeur du Séisme De Dimensionnement (SDD de 1979 = intensité VIII sur l'échelle MSK).

5 - Ajoutée à la capacité de 15 600 t des piscines C, D et E, celle de NPH porte à 17 600 t la capacité totale.

## Annexe 2

### Tonnages de combustibles entreposés et retraités dans les usines de La Hague

Le tableau 4 fournit les tonnages retraités dans les usines de La Hague entre 2000 et 2009. Le tonnage retraité annuel moyen s'établit autour de 1 000 t/an, ce qui est inférieur d'environ 300 tonnes au tonnage déchargé des réacteurs de l'EDF.

**Tableau 4 : Caractéristiques détaillées des combustibles irradiés retraités au cours des dix dernières années (2000-2009)**

Année	UP2		UP3		Total retraité
	Tonnage Mox	Tonnage Uox	Tonnage Uox	Tonnage RTR	
2000	0	810,331	387,166	0	1 197,497
2001	0	733,455	217,145	0	950,600
2002	0	550,655	509,910	0	1 060,565
2003	0	707,333	407,864	0	1 115,197
2004	10,644	449,578	640,668	0	1 100,890
2005	0	683,482	429,170	0,0515	1 112,704
2006	16,491	300,576	698,017	0,1073	1 015,191
2007	31,341	425,041	490,201	0	946,583
2008	5,130	293,626	638,476	0,0822	937,314
2009		242,533	686,443		928,976
<b>Total</b>	<b>63,606</b>	<b>5 196,610</b>	<b>5 105,060</b>	<b>0,241</b>	<b>10 365,517</b>

UOX = Oxyde d'Uranium,

MOX = Oxyde Mixte d'uranium et de plutonium,

RTR = « Research Testing Reactor »

Le tableau 5 récapitule les tonnages de combustibles entreposés dans les piscines de La Hague. Ces données sont à comparer avec la capacité totale d'entreposage égale à 17 600 t.

**Tableau 5 : Tonnages de combustibles entreposés dans les piscines de La Hague**

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Uox		7156	7410				
U retraitement		155	172				
Mox		479	543				
<b>Total REP</b>		<b>7 790</b>	<b>8 125</b>		<b>8 831</b>	<b>9 170</b>	<b>9 421</b>
Variation			+335			+399	+251
Plutonium	25,8				41,5	37,8	37,2



## Bibliographie

AREVA NC 1992. Les techniques du retraitement. Cogéma La Hague, mars 1992.

AREVA NC 1998. INB 116-117-118, Dossier d'enquête publique La Hague. Brochure d'information Cogéma décembre 1998.

AREVA NC 2009. Usine de La Hague, Notre métier : Traiter le combustible nucléaire pour le recycler. Dossier remis le 30 mars 2009 aux membres de la CLI Hague lors de la visite des installations pour la MAD des anciennes installations de l'usine UP2 400 – L'INB 80.

AREVA NC 2011. Les piscines d'entreposage. CLI locale d'information – AREVA NC La Hague – 18 avril 2011.

AREVA NC 2011. Évaluation complémentaire de la sûreté des installations nucléaires de base, Site de La Hague, 305 pages, septembre 2011.

Cogéma 1979. Usine UP2 – 800. Rapport public de sûreté. Cogéma Établissement de La Hague, Édition de novembre 1979.

Cogéma 1990. Usine de retraitement UP3, Courrier du 6 avril 1990 à la CSPI, réf HD/AJ HAG 0000090 00266.

IPSN 1993. Mille ans de séismes en France : Catalogue d'épicentres, paramètres et références, Lambert Jérôme, Levret Agnès, Cushing M et Durouchoux Christophe, 1993.

IPSN 1996. Recherche des caractéristiques de séismes historiques en France, Levret A., Cushing M. et Peyridieu G., Atlas de 140 cartes macrosismiques, Publication IPSN, 2 vol., 400p. et 140 cartes, 1996.

IPSN 2001. Avis de l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire sur le dossier EDF « Cycle du combustible REP français, Rapport DES n° 468, novembre 2001.

Journal Officiel n° 9 du 11 janvier 2003. Décrets du 10 janvier 2003 autorisant la Compagnie générale des matières nucléaires à modifier les installations nucléaires de base UP2-800 et UP3-A situées sur le site de La Hague.