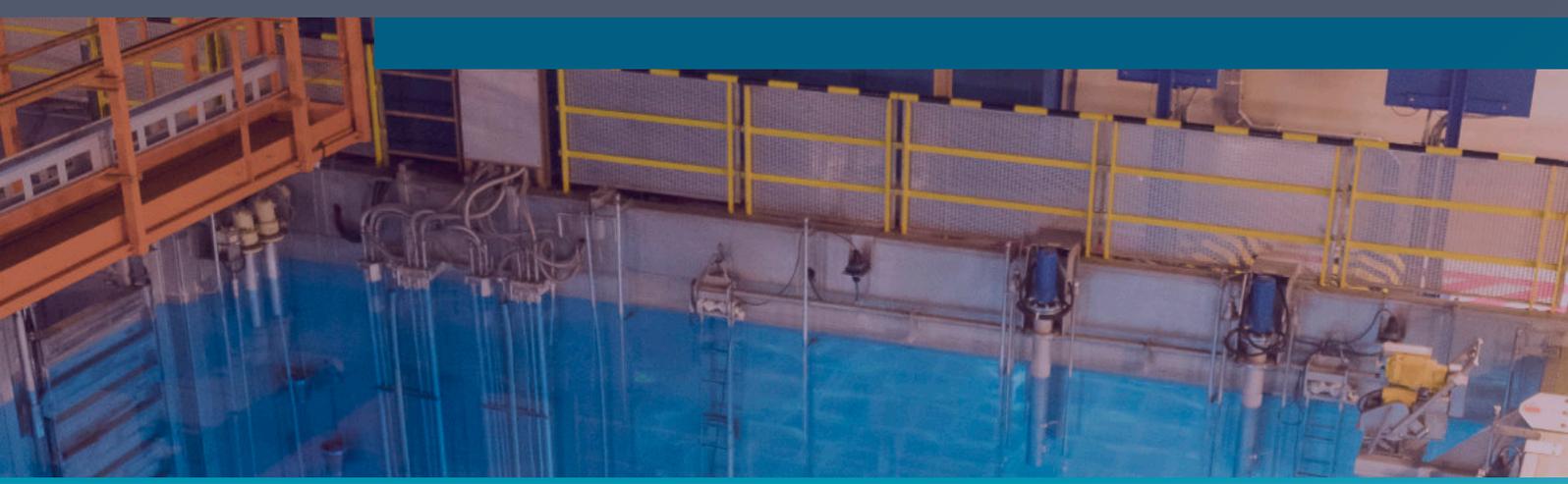
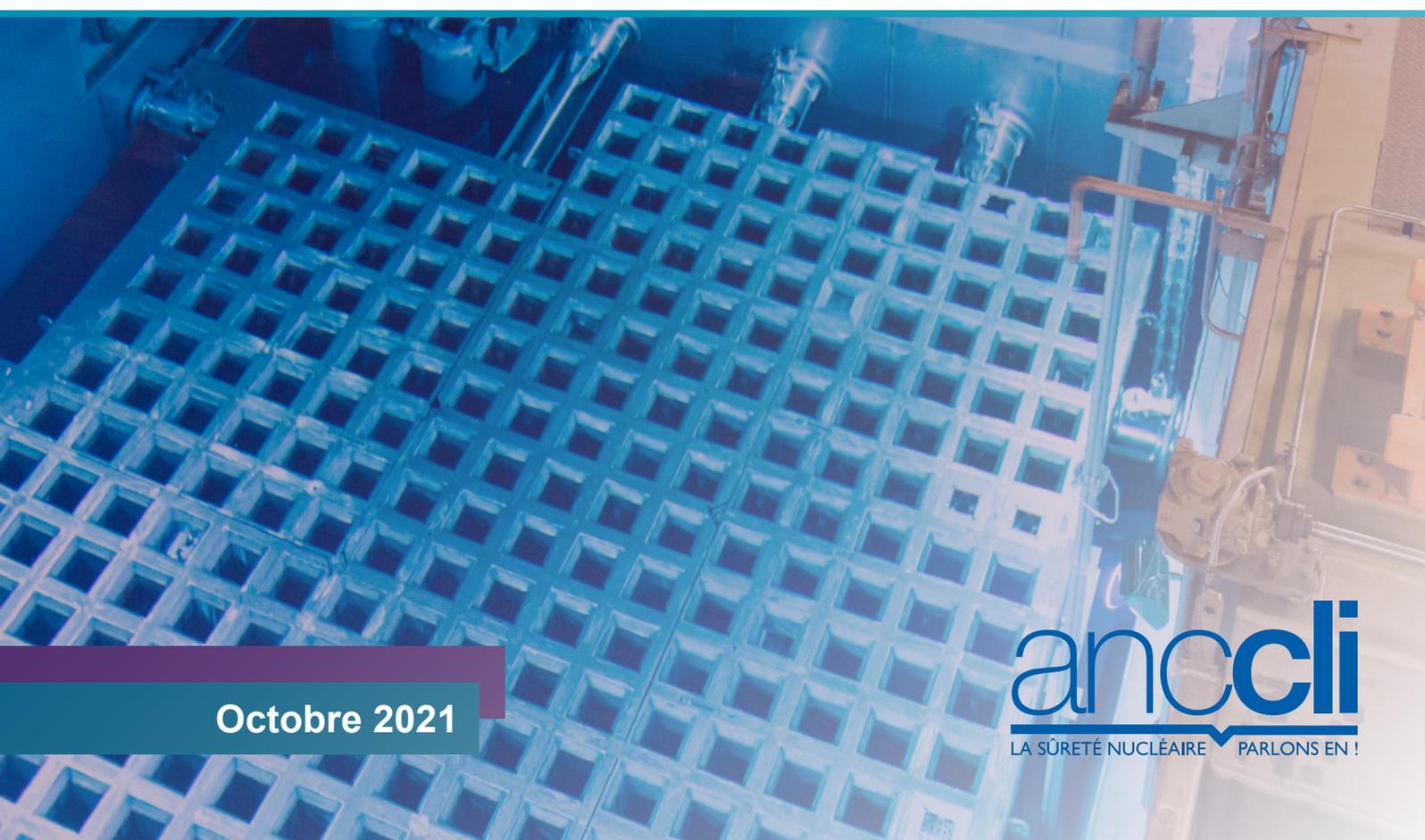




LIVRE BLANC VII de l'ANCCLI



ENTREPOSAGE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE : LES PISCINES ET LEURS ENJEUX



Octobre 2021

anccli
LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE PARLONS EN !

PRÉAMBULE

Cet ouvrage sur les piscines d'entreposage de combustibles est le fruit d'une réflexion engagée dans le cadre des travaux du Groupe Permanent « Sûreté » de l'ANCCLI.

Composé d'une quinzaine de membres issus de 10 CLI différentes, ce groupe pluraliste dispose d'une expertise reconnue résultant des compétences individuelles de chacun de ses membres.

Ces dernières années, les piscines d'entreposage de combustibles sont venues sur le devant de la scène (catastrophe de Fukushima, projet de piscine d'entreposage centralisé, densification des piscines du site Orano La Hague, prolongation de durée de fonctionnement des réacteurs de 900 MWe, débat public PNGMDR...). Cette actualité a conduit le GP « Sûreté » de l'ANCCLI à focaliser son attention sur ce sujet en souhaitant apporter aux CLI à la fois des éléments de base et de compréhension du rôle de ces installations importantes pour la sûreté d'un réacteur mais aussi de pointer du doigt les enjeux qui résultent de leur fonctionnement.

Sans être bien évidemment exhaustif, ce Livre Blanc de l'ANCCLI souhaite, donc, avant tout éclairer les membres des CLI et participer à leur montée en compétence et en expertise citoyenne sur ce sujet.

Enfin, cet ouvrage a été construit dans un esprit collaboratif, cherchant à se focaliser sur l'essentiel de ce qu'il faut savoir. Nous avons souhaité y laisser une place à la Libre Expression, au travers de témoignages personnels du regard des membres sur les piscines d'entreposage de combustibles usés.

Bonne lecture

Jean-Claude DELALONDE

Président de l'ANCCLI

SOMMAIRE

GLOSSAIRE	4
INTRODUCTION	6

PISCINES D'ENTREPOSAGE : UN SUJET QUI N'EST PAS NOUVEAU	11
Réduire la puissance thermique et entreposer avant traitement et/ou stockage définitif	12
Les 3 types de piscines actuelles en France	15
Le projet de piscine d'entreposage centralisé	22

LES PISCINES AU CŒUR DE L'ACTUALITÉ	25
Les enjeux de sûreté	26
Les enjeux stratégiques de gestion du combustible usé	30

EXPRESSIONS PERSONNELLES	35
---------------------------------	-----------

GLOSSAIRE

Les définitions ci-dessous proviennent principalement des sites Internet de l'ASN, de l'IRSN et du CEA.

Actinides mineurs

Les actinides sont une famille du tableau périodique comprenant les 15 éléments chimiques allant de l'actinium (no 89) au lawrencium (no 103). On appelle « actinides mineurs » les actinides formés dans un réacteur nucléaire par capture successive de neutrons par les noyaux majoritaires du combustible. Ces isotopes qui ont une longue demi-vie sont principalement le neptunium 237, l'américium 241 et 243, et le curium 243, 244 et 245.

Alvéole

Emplacement d'entreposage des paniers ou râteliers. Une alvéole peut contenir un assemblage combustible.

ANCCLI

Association Nationale des Comités et Commissions Locales d'Information.

ANDRA

Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs.

APEC

Atelier Pour l'Entreposage du Combustible (EDF - Creys-Malville – Isère).

ASN

Autorité de sûreté nucléaire.

Assemblage

Faisceau de crayons de combustible, reliés par une structure métallique, utilisé dans les réacteurs nucléaires.

BK

Bâtiment combustible.

CLI

Commission locale d'information.

Crayon

Ensemble de pastilles de combustible nucléaire placées au sein d'une gaine en alliage de zirconium d'une longueur d'environ 4 mètres pour les réacteurs à eau sous pression de 900 MWe, et d'un diamètre de 0,95 cm.

Criticité

Risque de phénomènes de fission incontrôlés dans les matériaux fissiles.

DAC

Demande d'autorisation de création.

Défense en profondeur

Principe qui consiste à mettre en oeuvre des niveaux de défense successifs et suffisamment indépendants visant, pour ce qui concerne l'exploitant, à : - prévenir les incidents ; - détecter les incidents et mettre en oeuvre les actions permettant, d'une part, d'empêcher que ceux-ci ne conduisent à un accident et, d'autre part, de rétablir une situation de fonctionnement normal ou, à défaut, d'atteindre puis de maintenir l'installation dans un état sûr ; - maîtriser les accidents n'ayant pu être évités ou, à défaut, limiter leur aggravation, en reprenant la maîtrise de l'installation afin de la ramener et le maintenir dans un état sûr ; - gérer les situations d'accident n'ayant pas pu être maîtrisées de façon à limiter les conséquences notamment pour les personnes et l'environnement.

Dose

Quantité d'énergie communiquée à un milieu par un rayonnement ionisant. Ce terme prend un sens particulier quand il est employé avec un ou plusieurs adjectifs tels que « absorbée », « efficace »...

ECS

L'ASN, en charge du contrôle des installations nucléaires françaises, a demandé le 5 mai 2011 aux exploitants d'engager des évaluations complémentaires de sûreté (ECS) de leurs installations à la suite de l'accident survenu au Japon le 11 mars 2011. Le processus consiste en un retour d'expérience approfondi de cet événement.

Entreposage

Dépôt temporaire de déchets radioactifs.

EPR

European Pressurized water Reactor ou Evolutionary Pressurised water Reactor.

HCTISN

Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire.

IRSN

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

MOX

Combustible à oxydes mixtes d'uranium et de plutonium.

Palier

Famille de réacteurs, 5 familles regroupent les 56 réacteurs en fonctionnement et une famille pour le réacteur en construction :

- CP0 : quatre réacteurs de 900 MWe au Bugey, ce sont les premiers réacteurs mis en service encore en activité ;
- CPY : vingt huit réacteurs de 900 MWe au Blayais, à Chinon, à Cruas-Meysses, à Dampierre-en-Burly, à Gravelines, à Saint-Laurent-des-Eaux et au Tricastin ;
- P4 : huit réacteurs de 1300 MWe à Flamanville, Paluel et Saint-Alban ;
- P'4 : douze réacteurs de 1300 MWe à Belleville, Cattenom, Golfech, Nogent-sur-Seine et Penly ;
- N4 : quatre réacteurs de 1450 MWe à Chooz et Civaux ;
- EPR : un réacteur de 1600 MWe en construction à Flamanville.

PNGMDR

Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs.

Produits de fission

Fragments de noyaux lourds produits par la fission nucléaire ou la désintégration radioactive ultérieure de nucléides formés selon ce processus

PTR-bis

Système supplémentaire de refroidissement.

REP

Réacteur à eau sous pression. Désigne un réacteur nucléaire utilisant l'uranium comme combustible et de l'eau ordinaire maintenue à haute pression (155 bars, afin d'éviter sa vaporisation) comme fluide caloporteur. Le parc électronucléaire français repose sur l'utilisation de cette filière, qui compte le plus grand nombre d'unités en service dans le monde.

RNR

Réacteur nucléaire à neutrons rapides.

Stockage

Dépôt définitif de déchets radioactifs.

tml

Tonne de métal lourd.

tml*i*

Tonne de métal lourd initial.

Uapp

Uranium naturel appauvri.

Unat

Uranium naturel

UNE

Combustible à base d'uranium enrichi (enrichissement entre 3 et 6 % en isotope 235) utilisé dans les centrales nucléaires.

UOX

Oxyde d'uranium.

URE

Uranium de recyclage ré-enrichi.

URT

Uranium de retraitement.

INTRODUCTION

Une part prépondérante de l'électricité produite en France (67,1 % en 2020¹) est d'origine nucléaire, fournie par les 56² réacteurs nucléaires français. Le combustible nucléaire utilisé dans ces réacteurs est principalement issu de l'uranium naturel enrichi en uranium 235.

Les différentes étapes de fabrication, de mise en œuvre, de retraitement, de recyclage, d'entreposage et de stockage de ce combustible sont désignées par le terme de « cycle du combustible nucléaire ». On parle d'amont du cycle pour la partie allant de l'extraction du minerai d'uranium jusqu'à l'utilisation du combustible dans un réacteur, et d'aval du cycle pour la partie débutant à la sortie du combustible irradié du réacteur et s'achevant avec le retraitement et/ou le stockage définitif de déchets radioactifs issus de la gestion de ces combustibles usés.

La gestion du « cycle du combustible » mise en œuvre en France est qualifiée de « cycle fermé » (Figure 1). Il s'agit d'une gestion pour laquelle une partie des combustibles usés sortant des réacteurs subissent un retraitement dans des usines spécialisées à l'issue duquel certaines matières sont recyclées, par opposition à une gestion qualifiée de « cycle ouvert » pour laquelle les matières valorisables des combustibles usés ne sont pas recyclées, les combustibles usés constituant alors des déchets ultimes qui sont entreposés « sous eau » ou à « sec » en attendant un stockage définitif.

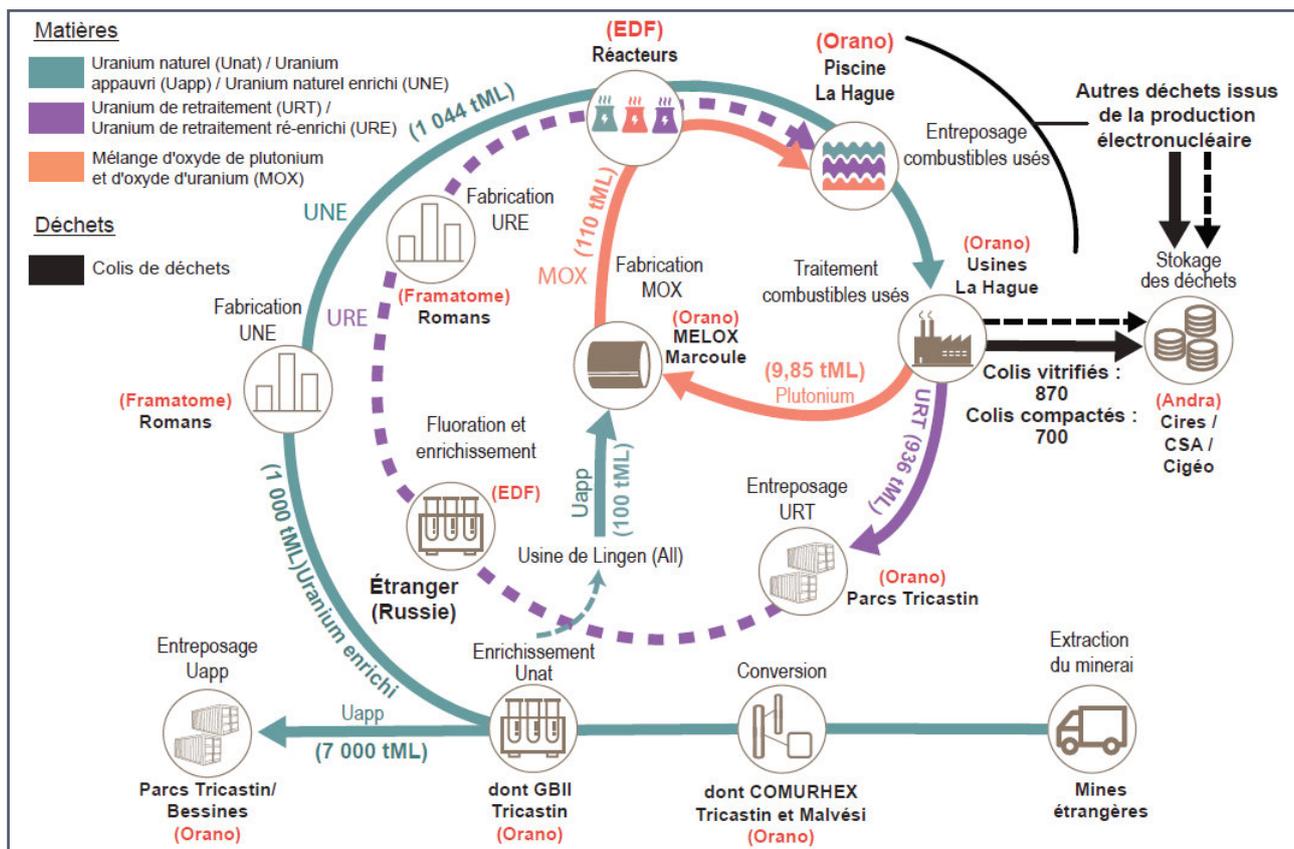


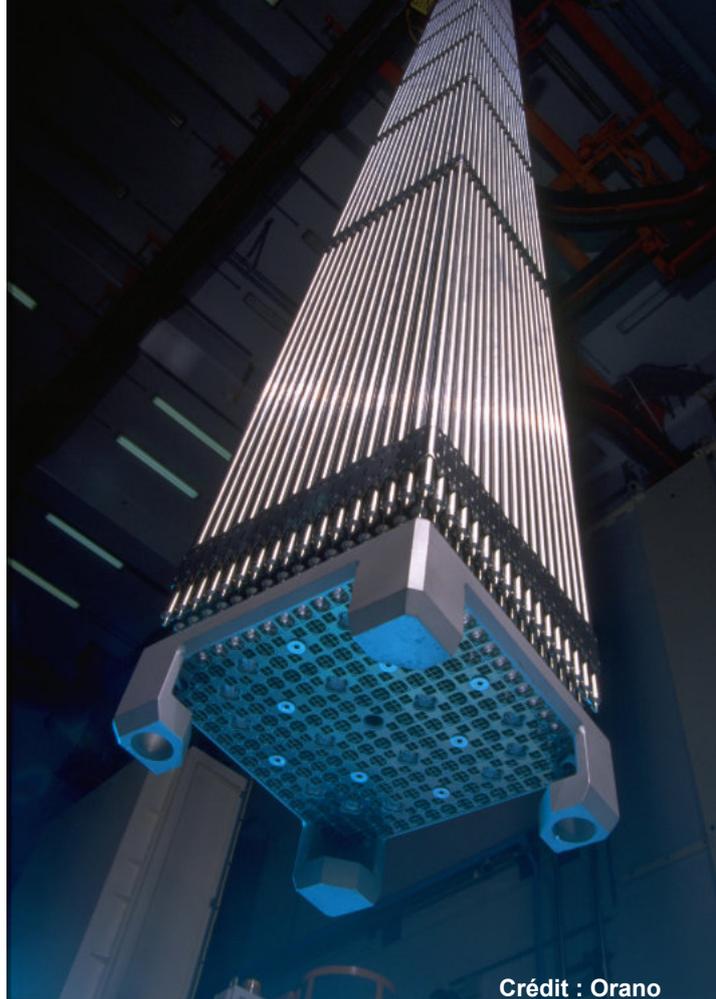
Figure 1. « Cycle du combustible » en France (source : Rapport de la Cour des Comptes « L'aval du cycle du combustible nucléaire ») - Note : les flux indiqués correspondent aux flux de l'année 2017. Les flèches en pointillés correspondent à des étapes non-opérationnelles en 2017.

1. Source : Bilan RTE 2020 - <https://bilan-electrique-2020.rte-france.com/synthese-les-faits-marquants-de-2020/#>
 2. 56 réacteurs pour 18 centrales nucléaires, en tenant compte de l'arrêt de celle de Fessenheim en juin 2020.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE COMBUSTIBLES

L'uranium actuellement utilisé dans les réacteurs français est extrait de mines situées à l'étranger, puis subit plusieurs transformations chimiques avant d'être enrichi en uranium 235, on parle de combustible UNE. Ce combustible est conditionné sous forme de pastilles d'oxyde d'uranium assemblées dans des crayons de combustible. Ce sont ces crayons, regroupés en assemblages (pour exemple : 264 crayons de 4 mètres de haut par assemblage pour les réacteurs de 900 MWe), qui constituent ce que l'on appelle les éléments combustibles qui sont introduits dans la cuve des réacteurs où se produit la réaction en chaîne.

Le bombardement neutronique auquel les assemblages sont soumis en réacteur modifie la composition du combustible : initialement composés d'oxyde d'uranium naturel enrichi (UNE) lorsqu'ils sont neufs, les assemblages usés contiennent encore environ 95 % d'uranium, mais également environ 1 % de plutonium, 0,6 % d'actinides mineurs et 4 % de produits de fission. Leur radioactivité, bien supérieure à celle du combustible neuf, et le dégagement thermique qu'elle génère nécessitent dans tous les cas un temps d'attente sur site, en piscine (entreposage), dite piscine BK (bâtiment combustible) avant tout transport.



Crédit : Orano

En vertu de la doctrine en vigueur en France pour la stratégie de gestion du combustible usé, après leur évacuation, ces assemblages sont destinés à être retraités. Ainsi, les combustibles UNE usés sont entreposés, en piscine, entre de 2 et 3 ans sur le site de production avant d'être évacués vers les usines d'Orano de La Hague, où ils sont à nouveau entreposés dans des piscines dédiées avant leur retraitement (voir page 13 et 18). Les 1 080 tonnes de combustibles UNE usés y subissent un traitement qui consiste à séparer les éléments qu'ils contiennent en trois groupes : l'uranium d'un côté, le plutonium d'un autre, ces deux matières nucléaires étant destinées à une réutilisation immédiate ou différée, et un troisième groupe, déchets ultimes, mélangeant les produits de fission et les actinides mineurs. Le traitement génère également des déchets technologiques (gaines, embouts...) et des rejets liquides et gazeux. **On produit ainsi, à partir des UNE usés, de l'Uranium de Retraitement (URT) qui peut être à nouveau enrichi pour fabriquer un nouveau combustible, combustible d'Uranium de Retraitement Enrichi, dit URE. Cette pratique n'a plus cours, mais elle a été mise en œuvre pendant une quinzaine d'années pour les réacteurs de Cruas-Meys. Environ 1 026 tonnes d'uranium de retraitement (URT) sont, aujourd'hui, en attente, à La Hague, d'une solution de gestion. Environ 10,8 tonnes de plutonium sont recyclées annuellement dans certains réacteurs de 900 MWe sous forme de combustible MOX. Environ 43,2 tonnes de produits de fission et d'actinides dits « mineurs » constituent les déchets dits « ultimes ». Ils sont immobilisés au sein d'une matrice de verre, puis entreposés sur le site de La Hague pour décroissance radioactive et refroidissement, avant évacuation vers un stockage définitif.**

Aujourd'hui, les MOX usés sont considérés comme des matières¹, car il est envisagé de les recycler, soit dans des réacteurs à neutrons rapides (RNR), à l'échéance de plusieurs décennies, soit dans la prochaine génération de réacteurs EPR, à plus court terme, si leur construction était décidée.

Le parc nucléaire français utilise, en premier lieu, du combustible nucléaire à l'Uranium Naturel Enrichi, dit combustible UNE, obtenu à partir de l'enrichissement d'environ 7 800 tonnes d'Uranium naturel (Unat) par an. Ce combustible UNE usé peut être retraité pour produire du combustible MOX (Mélange d'Oxyde de plutonium et d'Oxyde d'uranium). Environ 1 080 tonnes de combustible UNE ainsi que 120 tonnes de combustible MOX sont chargées annuellement dans les réacteurs du parc nucléaire pour une production annuelle d'électricité de l'ordre de 374 Twh (moyenne 2016-2020).

i

1. <https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2020-AV-0363-de-l-ASN-du-8-octobre-2020>

LES PISCINES D'ENTREPOSAGE

Actuellement, en France, les combustibles usés sont entreposés dans des piscines auprès des réacteurs (piscines des bâtiments combustibles dites piscines BK), avant d'être transférés à l'usine d'Orano La Hague pour une seconde phase d'entreposage en piscine et, pour certains d'entre eux (UNE), un traitement.

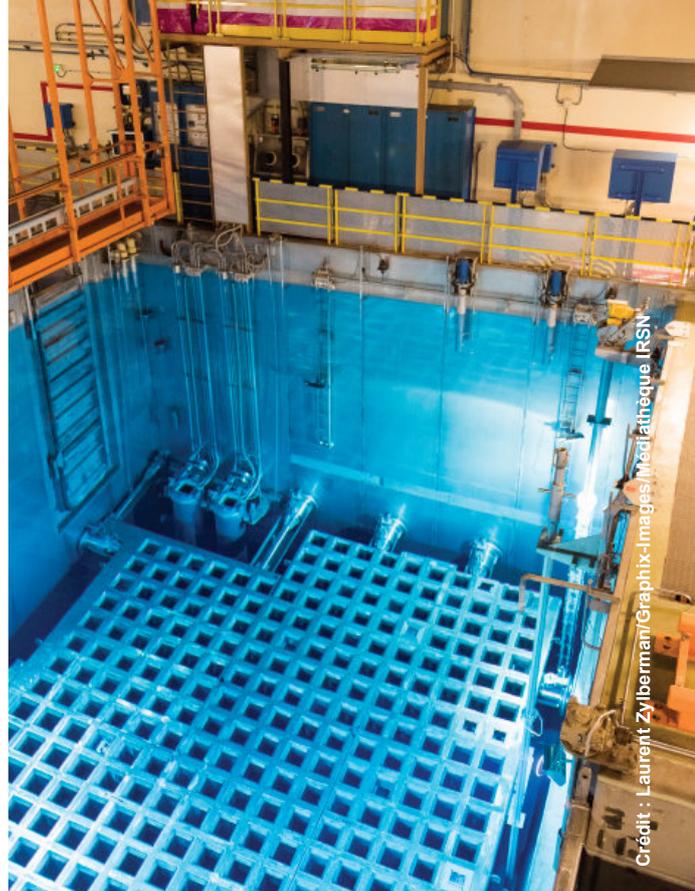
Si l'entreposage du combustible nucléaire fait, aujourd'hui, l'objet d'une attention particulière liée à une évolution des volumes concernés et de la préoccupation pour les risques associés, le sujet n'est pas nouveau pour autant : **le besoin d'entreposage est au contraire inhérent à l'utilisation de combustible dans les réacteurs nucléaires. Quelles que soient les options techniques retenues pour la gestion, différentes phases d'entreposage sont nécessaires.**

La France est ainsi confrontée, comme les autres pays où des réacteurs nucléaires ont été ou sont encore exploités, à des besoins importants et croissants d'entreposage du combustible nucléaire.

À la suite du 4^e PNGMDR (2016-2018), EDF a d'ailleurs engagé l'étude d'une piscine d'entreposage centralisé avec l'objectif d'y entreposer les combustibles MOX usés et URE usés issus de l'exploitation du parc nucléaire en attente de leur valorisation dans la filière des réacteurs de 4^e génération ou, à défaut, de leur stockage à Cigéo, si cette filière ne devait pas être développée à l'avenir.

Compte-tenu des retards prévus (installation prévue en 2034 au lieu de 2030) sur le projet de piscine d'entreposage centralisé, Orano a, en 2021, présenté un dossier projetant de densifier ses piscines sur le site d'Orano La Hague (augmentation de capacité d'entreposage des piscines C, D et E).

Le présent Livre Blanc vise à dresser un état des lieux de cette situation et de ses enjeux et ainsi qu'à poser en débat les questions sur lesquelles les opinions divergent.



Crédit : Laurent Zylberman/Graphix-Images/Medialatèque/IRSN

«La saturation des piscines BK et de l'usine Orano La Hague reste un risque et un enjeu majeurs pour au moins deux raisons :

- 1. Si les piscines sont saturées, il faudra réduire la génération de combustibles UNE usés. Cela ne peut se faire qu'en arrêtant 5 à 6 réacteurs non Moxés.*
- 2. En cas d'aléa entraînant un arrêt prolongé du retraitement ou de la fabrication de MOX ou du transport, c'est tout le parc nucléaire qui devrait être arrêté dans un délai de 2 ans (en 2030, ce délai passerait à 14 mois, si de nouvelles solutions d'entreposage ne sont pas mises en œuvre).*

Cette vulnérabilité entraîne de multiples tensions sur l'ensemble des acteurs en charge de la gestion du « cycle du combustible » : assurer l'approvisionnement électrique en maintenant le niveau de sûreté des installations.

Un projet de piscine d'entreposage centralisé a été déposé mais sa mise en service n'est pas prévu avant 2034. Des parades sont à l'étude dont :

- la densification des piscines de l'usine Orano La Hague,*
- l'augmentation du nombre d'assemblages MOX introduits à l'occasion de chaque recharge des réacteurs 900 CPY*
- et/ou une modulation du type d'entreposage (entreposage à sec dans des conteneurs TN Eagle, initialement prévus pour le transport).»*

Les membres du Groupe Permanent «Sûreté» de l'ANCCLI

PISCINES D'ENTREPOSAGE : UN SUJET QUI N'EST PAS NOUVEAU

Quelle que soit la stratégie de gestion des combustibles usés choisie (recyclage ou stockage), une première phase d'entreposage est toujours réalisée en piscine, attenante au réacteur (piscine BK) pour permettre à la radioactivité et à la température de l'assemblage combustible de diminuer avant tout transport vers La Hague.

Dans les années 1960, la France a choisi de recycler une partie de l'uranium et du plutonium présents dans le combustible usé. EDF a retenu un entreposage des combustibles usés sous eau, estimant que ce mode d'entreposage offrirait de meilleures garanties pour leur reprise et leur traitement.

Aujourd'hui, en France, il existe 3 types de piscines d'entreposage du combustible usé :

- les piscines des bâtiments « combustible » (BK), appelées aussi piscine de désactivation du réacteur – il en existe une pour chaque réacteur, et ce depuis la conception des centrales nucléaires ;
- les piscines d'entreposage de l'usine Orano la Hague, au nombre de quatre – la première a été construite en 1978 ;
- la piscine de l'APEC, dédiée à l'entreposage des assemblages combustible usés et neufs du réacteur Superphénix en cours de démantèlement, située à Creys-Malville et mise en eau en 1989.

Un projet de piscine d'entreposage centralisé est à l'étude pour une mise en service en 2034. L'exploitant privilégie une implantation à La Hague, à proximité du site d'Orano La Hague.

RÉDUIRE LA PUISSANCE THERMIQUE ET ENTREPOSER AVANT TRAITEMENT ET/OU STOCKAGE DÉFINITIF

LA SÛRETÉ DES ENTREPOSAGES

Comme toute installation nucléaire, une installation d'entreposage doit appliquer le principe de défense en profondeur pour prévenir et maîtriser les incidents et les accidents ainsi que pour limiter les conséquences d'un accident grave pour les personnes et l'environnement. Concrètement, pour les installations d'entreposage, les objectifs à atteindre sont les suivants :

- assurer la protection des personnes et de l'environnement contre les rayonnements ionisants, en minimisant les doses reçues au cours de l'ensemble du processus de gestion des objets radioactifs ;
- assurer le confinement des matières radioactives, en maîtrisant tout transfert de radioéléments vers l'environnement en situations normale et incidentelle et en limitant les rejets en cas d'accident, avec plusieurs barrières ;
- assurer la prévention des accidents de criticité ;
- assurer l'évacuation de la puissance thermique issue de la désintégration des substances radioactives, en maintenant un refroidissement suffisant.

S'agissant d'un entreposage, et non d'un stockage, la conception doit aussi permettre la reprise des éléments radioactifs entreposés. Les exploitants doivent donc en assurer leur surveillance, leur gestion (traçabilité, inventaire, caractérisation) et disposer des équipements nécessaires pour leur reprise.

La protection des personnes et de l'environnement est assurée par l'eau qui agit comme un écran de protection.

Le confinement des matières radioactives est assuré par :

- la gaine du combustible,

- l'eau,
- le bâtiment (renforcé pour les piscines de l'EPR et du projet de l'entreposage centralisé),
- la ventilation et la filtration du hall de la piscine.

Pour garantir la sous-criticité (autrement dit, éviter le démarrage d'une réaction de fission en chaîne), l'entreposage doit avoir une géométrie particulière (distance entre les assemblages entreposés en râteliers ou paniers), des dispositifs des assemblages de combustible et/ou une eau borée¹ permettant d'absorber les neutrons ; qui peuvent être complétés par des matériaux dits neutrophages (acier boré qui neutralise la réaction en chaîne).

L'évacuation de la puissance thermique est assurée par le maintien sous eau des combustibles usés et le refroidissement de cette eau par une source froide². Le système de refroidissement des piscines est dimensionné pour maintenir la température en-dessous de 50°C pour protéger le système de filtration.

REFROIDIR LE COMBUSTIBLE : UNE NÉCESSITÉ DE SÛRETÉ POUR LE TRANSPORT ET POUR LE RETRAITEMENT

Les piscines sont indispensables pour le refroidissement des combustibles usés pendant les premières années qui suivent leur déchargement. Les piscines BK servent également pour la réception du combustible neuf et son transfert vers le bâtiment réacteur.

Les combustibles usés dégagent une puissance thermique résiduelle importante liée à la décroissance radioactive. Cette puissance est maximale lorsque les combustibles sont retirés du réacteur puis diminue très fortement dans les premiers

1. Le bore permet de modérer, par sa capacité à absorber les neutrons, la réaction en chaîne. Il est appelé «poison neutronique».

2. Deux types de systèmes de refroidissement sont, aujourd'hui, utilisés en France : eau-eau (comme dans les piscines BK ou eau-air (comme les piscines d'Orano La Hague).

temps du fait de la désintégration des éléments à vie courte, puis plus lentement. Dans les premiers mois et les premières années, la puissance thermique des assemblages de combustible usé est telle qu'il est nécessaire de les refroidir sous eau, pour éviter leur échauffement pouvant mener à la dégradation des gaines qui assurent la fonction de barrière de confinement, et donc potentiellement à un relâchement de radionucléides dans l'environnement.

Après une durée suffisante de décroissance (en piscine BK), il est alors possible de transporter ces combustibles vers les piscines de l'usine d'Orano La Hague où ils vont poursuivre leur décroissance jusqu'à atteindre une température compatible avec les opérations de retraitement effectuées à l'usine d'Orano La Hague. La durée nécessaire avant de pouvoir les transporter dépend du type de combustible, ainsi que du taux de combustion des assemblages (les MOX doivent être entreposés sous eau plus longtemps que les UOX (UNE) par exemple, pour évacuer leur puissance thermique initiale deux fois plus élevée et de leur décroissance plus lente). (Figure 2)

Dans certains pays, le choix a été fait d'un entreposage sous eau prolongé afin d'atteindre un niveau thermique suffisant pour permettre ensuite un entreposage à sec.

En l'état actuel des moyens de transport et d'entreposage à sec, l'IRSN indique que la puissance des combustibles usés doit être inférieure à 6 kW pour permettre leur transport et à 2 kW pour permettre leur entreposage à sec.

i

Figure 2. Courbes de décroissance de la puissance thermique d'un assemblage de combustible UOX et d'un assemblage de combustible MOX, irradiés dans un réacteur français (source : rapport IRSN n° 2018-00003)

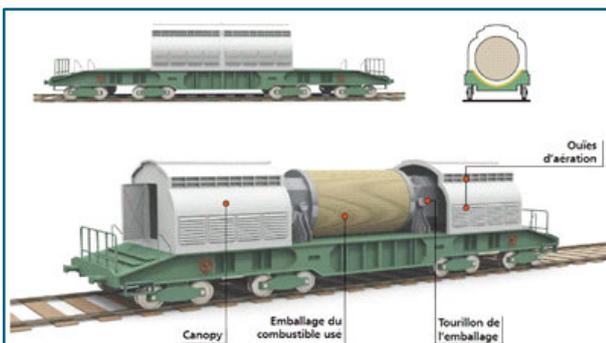
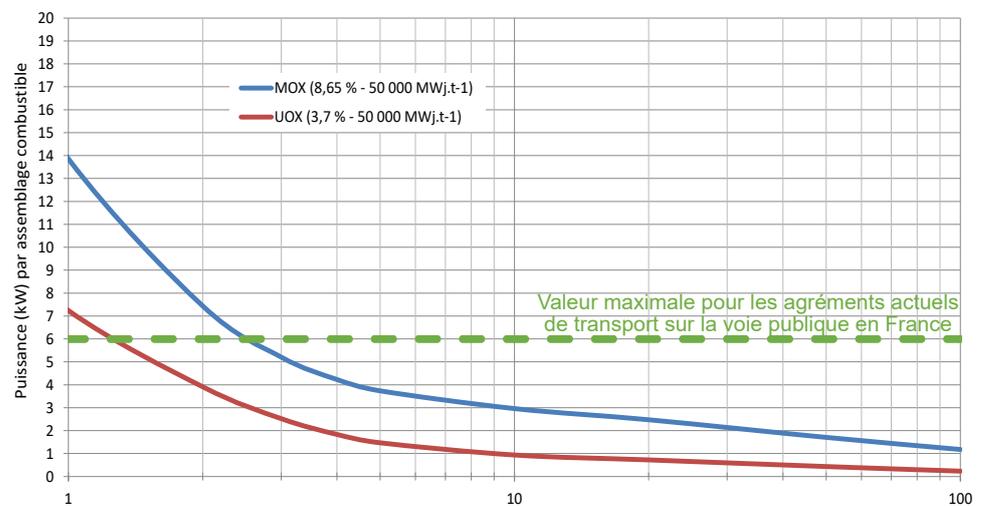


Figure 3. Château de transport de combustible usé (source : EDF)

Le transfert est effectué par rail et route dans des emballages de transport spécifiques appelés « châteaux de transport » (12 assemblages combustibles maximum pour 60 kW maximum, par emballage). (Figure 3)

ÉTAT DES STOCKS DE COMBUSTIBLES USÉS

Comme expliqué précédemment, après leur utilisation, tous les combustibles usés sont, tout d'abord, entreposés dans les piscines des bâtiments combustibles des centrales nucléaires. Ils sont ainsi refroidis pendant 18 mois à 3 ans en moyenne, avant d'être envoyés vers les installations de La Hague exploitées par Orano. À leur arrivée, les combustibles usés sont à nouveau entreposés dans des piscines sur le site de La Hague afin de continuer à être refroidis sur une période qui dure entre 5 et 10 ans, avant leur éventuel traitement.

Ainsi, les capacités d'entreposage des combustibles usés sont constituées des piscines BK des centrales nucléaires et des piscines des installations d'Orano La Hague.

Les quantités de combustible stockés à Superphénix resteront dans la piscine de l'APEC, à Creys-Malville, au moins jusqu'en 2035.

Les quantités de combustible UNE retraitées au fil du temps ont globalement été inférieures aux quantités déchargées des réacteurs, conduisant mécaniquement à une augmentation des quantités entreposées, environ 120 tml (tonne de

métal lourd initial) par an (rapport «Cycle du combustible» du HCTISN - 2018).

À la différence des UNE, les combustibles MOX ne sont actuellement pas retraités, et ce retraitement n'est pas prévu à court ou moyen terme. Leur stock augmente d'une centaine de tonnes par an. Les combustibles MOX présentent la caractéristique de dégager une puissance thermique plus élevée et décroissant moins rapidement que les combustibles UNE. Ils doivent rester plus longtemps dans les piscines de réacteur, avant d'être transportés à La Hague.

Le combustible URE est entreposé après déchargement en piscine BK puis à La Hague, et comme le MOX, il n'est pas retraité et aucun retraitement n'est prévu à court ou moyen terme. À partir de 2023, EDF envisage la relance de l'utilisation d'URE dans les réacteurs de Cruas, puis dans des réacteurs de 1300 MW. Une telle relance conduirait à produire de nouveaux URE neufs et donc à augmenter les quantités d'URE usés entreposés, à court ou moyen terme.

Les réacteurs nucléaires de production d'électricité peuvent utiliser trois types de combustible différents :

- des combustibles à base d'uranium naturel enrichi, dits combustibles UNE,
- des combustibles associés au recyclage de matières extraites du combustible UNE après son utilisation, qui sont :
 - soit à base d'oxyde d'uranium de retraitement (URT) enrichi (URE),
 - soit à base d'oxydes d'uranium appauvri (Uapp) et de plutonium (MOX), actuellement utilisés par 22 réacteurs 900 MWe du palier CPY.

Tableau 1. État des stocks de combustibles à la fin 2018 (source des données : ANDRA)

Combustibles		Quantité (en tML)
UNE	Avant utilisation ou en cours de fabrication	276
	En cours d'utilisation	4 352
	Usés, en attente de retraitement	11 356
MOX	Avant utilisation ou en cours de fabrication	0
	En cours d'utilisation	424
	Usés, en attente de retraitement	2 021
	Rebuts non irradiés, en attente de retraitement	282
URE	En cours d'utilisation	7
	Usés, en attente de retraitement	623
RNR	Cœur neuf de Superphénix, non irradié	70
	Cœur usé de Superphénix	106

1. La capacité utile n'est pas disponible - elle n'est pas rendue publique pour secret des affaires

LES 3 TYPES DE PISCINES ACTUELLES EN FRANCE

LES PISCINES DES BÂTIMENTS COMBUSTIBLE (BK) SUR LES CENTRALES NUCLÉAIRES FRANÇAISES

Les piscines d'entreposage du combustible sont présentes depuis l'origine dans l'industrie nucléaire française, comme dans tout autre pays disposant de centrales nucléaires. Les plus vieilles atteignent donc actuellement, en France, une quarantaine d'années (pour mémoire, en France, la durée d'exploitation d'un réacteur n'a pas été fixée, c'est l'Autorité de Sécurité Nucléaire – ASN – qui au fil des visites décennales, des inspections et des éléments de sûreté présentés par l'exploitant donne ou non l'autorisation de poursuivre l'exploitation).

La piscine BK est située dans un bâtiment, dit bâtiment combustible, accolé au bâtiment réacteur. Elle est constituée d'une structure en béton armé et d'une charpente métallique. Sa conception diffère légèrement d'un palier à l'autre. (Figure 4)

Le bâtiment combustible de la future centrale Flamanville 3 (EPR) possède, en plus, une coque dit « avion », (coque qui le protège de l'impact d'un avion de taille et de masse importantes).

Pour des raisons de sûreté, l'exploitant doit disposer, en permanence, dans cette piscine, d'emplacements libres pour décharger, si nécessaire, les assemblages de combustibles présents dans le réacteur. Les piscines BK doivent également pouvoir accueillir des assemblages de combustibles neufs pour pouvoir procéder au renouvellement du combustible du réacteur.

Enfin, elles contiennent aussi des déchets activés (par exemple, des grappes de contrôle) issus de l'exploitation du réacteur.

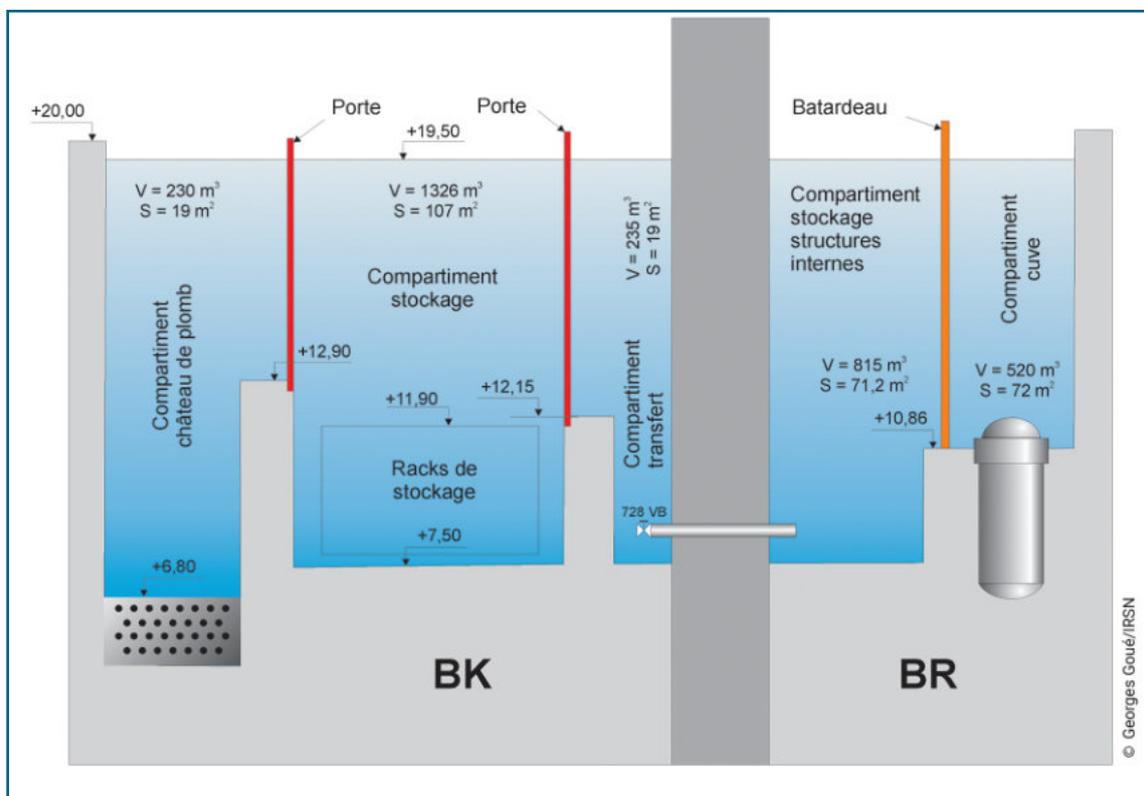


Figure 4. Schéma des piscines d'un bâtiment combustible (BK) et d'un bâtiment réacteur (BR) (source : IRSN)

Tableau 2. Données disponibles¹ sur les piscines BK du parc nucléaire français (source : ASN et IRSN)

Paliers		CNPE	Nombre d'assemblages combustibles en cœur	Nombre d'alvéoles en piscine	Puissance maximale autorisée en piscine (en MW)
900 MWe	CP0	Fessenheim, Bugey	157	313	6,5
	CPY	Blayais, Chinon, Cruas-Meysse, Dampierre-en-Burly, Gravelines, Saint-Laurent-des-Eaux, Tricastin	157	382	10
1300 MWe	P4	Paluel, Flamanville, Saint-Alban	193	459	13
	P'4	Belleville, Cattenom, Golfech, Nogent-sur-Seine et Penly	193	630	13
1450 MWe	N4	Chooz, Civaux	205	612	14
1650 MWe	EPR	Flamanville	241	1 167	20

Les assemblages sont entreposés dans des râteliers, installés au fond des piscines remplies d'eau borée. Une hauteur moyenne d'eau d'environ 7 mètres recouvre les combustibles (hors opération de maintenance). Le nombre d'emplacements d'entreposage (alvéoles) des râteliers présents dans le compartiment d'entreposage, dans lesquels sont placés les combustibles, est compris entre 313 (pour les premiers réacteurs du palier 900 MWe) et 630. Pour l'EPR, 1 167 alvéoles.

La capacité d'entreposage du combustible utilisé s'exprime en tonne de métal lourd initial, tml. i.

Avec ses éléments combustibles usés, la piscine produit ce que l'on appelle une puissance thermique dont la valeur maximale autorisée dépend des paliers. (Tableau 2)

La capacité totale d'entreposage du combustible (seuil de sûreté) dans les piscines BK du parc EDF est de 8 100 tml. i, pour 16 108 alvéoles. Compte tenu des raisons d'exploitation courante des centrales nucléaires, citées ci-dessus (gestion combustible neuf, gestion déchets activés...), la capacité allouée effectivement pour les combustibles usés était en 2018 de 6 608 tml. i, pour 13 124 alvéoles. (Source : Rapport IRSN n° 2018-00003)

Au regard du taux d'occupation moyen des piscines BK, l'IRSN précise dans son rapport n° 2018-00003, que la capacité totale disponible était de l'ordre de 2 900 alvéoles ; capacité correspondant au nombre d'assemblages combustibles devant être chargés chaque année.

REFROIDISSEMENT DES PISCINES BK

Les piscines sont refroidies par un système qui aspire l'eau au-dessus du niveau des assemblages et renvoie l'eau refroidie au fond de la piscine. Un dispositif appelé « casse-siphon » sur la partie haute de la tuyauterie de refoulement permet d'éviter la vidange de la piscine et le risque de dénoyage du combustible, qui ne serait donc plus refroidi en cas de rupture d'une tuyauterie. (Figure 5)

L'eau aspirée par le haut et réinjectée par le bas est refroidie par des échangeurs de chaleur. Le circuit de refroidissement est doublé afin d'assurer une redondance (donc 2 fois 2) suivant les paliers.

Pour certaines installations, des non-conformités (Golfech 1 et Belleville-sur-Loire 1) et une absence totale des casse-siphons (Cattenom) ont été mises à jour en 2012. Les installations ont depuis été remises en conformité.

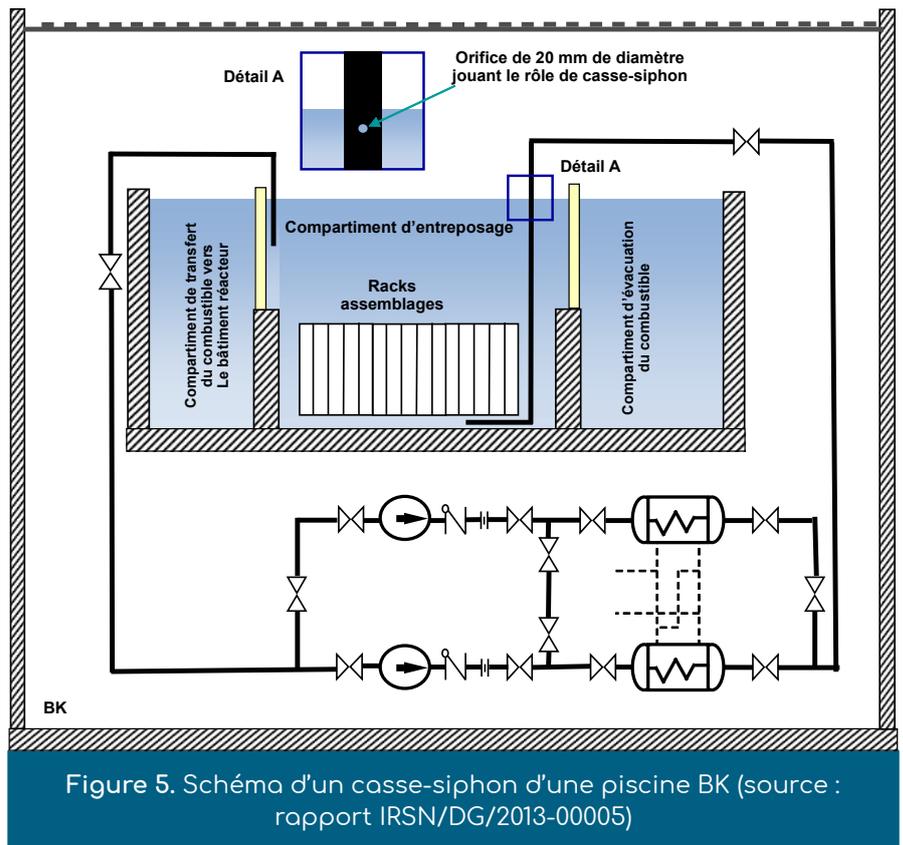


Figure 5. Schéma d'un casse-siphon d'une piscine BK (source : rapport IRSN/DG/2013-00005)

LA MANUTENTION DU COMBUSTIBLE

Dans les réacteurs à eau pressurisée (REP Français), soit dans les 56 réacteurs en fonctionnement du parc français, les opérations de manutention se déroulent grâce à deux piscines communicantes :

- La piscine du bâtiment combustible (BK), qui permet l'arrivée de combustible neuf, leur entreposage ainsi que l'entreposage des combustibles usés et leur évacuation après quelques années (ou mois) de refroidissement,
- Et la piscine du bâtiment réacteur (BR), qui permet le chargement et le déchargement de la cuve.

Les deux piscines communiquent par un tube de transfert horizontal reliant le fond des piscines. (Figure 4)

Les opérations de chargement et déchargement sont effectuées par cycle, tous les 12 à 18 mois, lors d'un arrêt du réacteur (par exemple, lors d'un « arrêt pour simple rechargement – ASR » - pour mémoire un tiers des assemblages est renouvelé par cycle).

Le bâtiment abritant la piscine d'entreposage du combustible communique avec l'extérieur, via une trémie de manutention, s'opérant selon les paliers au-dessus ou sous le niveau de la piscine.

Pour les réacteurs des paliers 900 MWe et les premiers réacteurs de 1 300 MWe (P4), les emballages de transport sont manutentionnés à grande hauteur, avec le risque d'une chute de ces emballages pesant plus de 100 tonnes. À partir des paliers suivants, la conception a été modifiée pour que les opérations de transfert des combustibles se fassent sous le niveau de la piscine, sans avoir à manutentionner les emballages de transport.

La manutention de combustibles neufs est réalisée à sec (sauf pour le combustible MOX), dans la mesure où ils n'ont pas encore une forte puissance thermique et ne sont pas très irradiants. En revanche, les opérations de manutention de combustibles usés fraîchement déchargés doivent se faire sous eau, à la fois en raison de la forte puissance thermique résiduelle et des fortes radiations qui se dégagent de ces assemblages, et pour protéger, grâce à plusieurs mètres d'eau, les opérateurs.

LES PISCINES DE L'USINE D'ORANO LA HAGUE

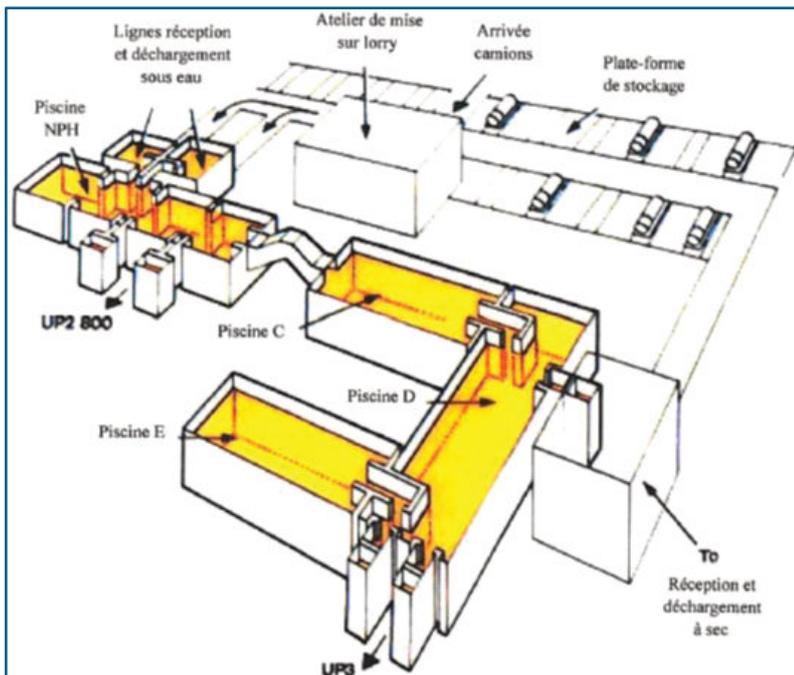


Figure 6. Schéma des piscines de l'usine d'Orano La Hague (source : rapport IRSN n° 2018-00003)

Le site d'Orano La Hague dispose de quatre piscines d'entreposage des combustibles usés : la piscine dite NPH (Nouvelle Piscine de la Hague) et les piscines C, D et E. Les différentes piscines communiquent entre elles. (Figure 6)

Contrairement aux piscines BK des centrales nucléaires où les assemblages sont manutentionnés pour être placés dans les racks immobiles au fond de la piscine, les piscines d'Orano La Hague utilisent des paniers en acier boré : les assemblages sont placés dans ces paniers, et ce sont eux qui sont déplacés puis posés au fond des piscines. Les paniers peuvent être transférés sous eau de la piscine D vers les piscines C ou E via un canal de transfert.

Contrairement aux piscines BK, les piscines d'Orano La Hague contiennent de l'eau non-borée.

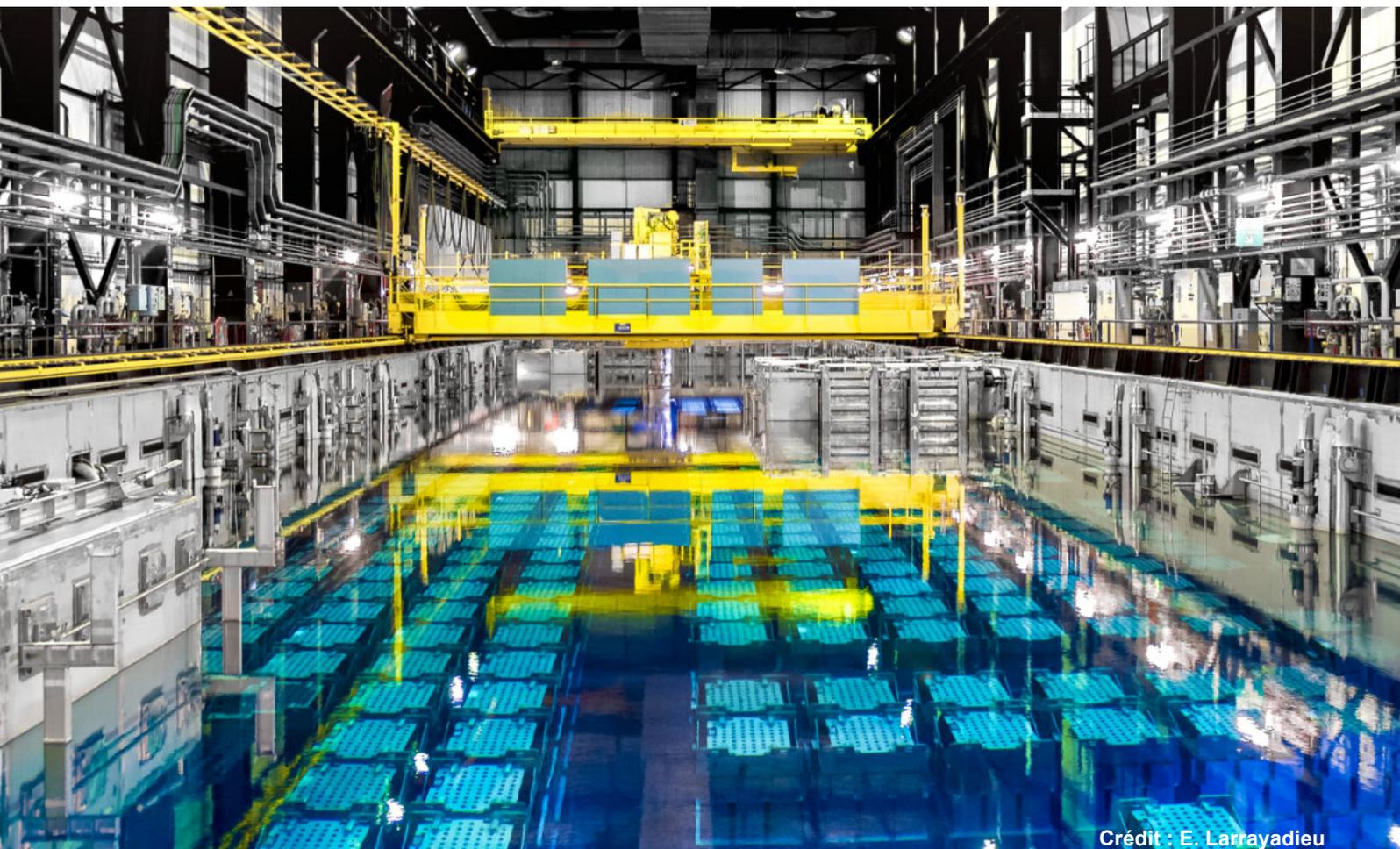
La capacité totale d'entreposage est de 17 600 tml, mais la capacité opérationnelle totale est limitée à environ 13 990 tml, notamment du fait de la conception des paniers d'entreposage utilisés dans les piscines et des contraintes d'exploitation (déchets entreposés et zones interdites d'entreposages pour réaliser les opérations de manutention). (Tableau 3)

Les piscines C, D et E sont composées :

- D'un bâtiment en béton armé couvert par une superstructure en charpente métallique recouverte d'un bardage ;
- D'un bassin d'entreposage, enterré, en béton armé avec un cuvelage interne constitué d'une peau en acier inoxydable (« liner ») assurant l'étanchéité du bassin ; ce bassin est découpé, notamment par des appuis en néoprène fretté, du bâtiment l'abritant.

Tableau 3. Capacité des piscines de l'usine d'Orano La Hague

Piscine	Année de mises en service	Capacité autorisée (en tml)	Charge thermique maximale autorisée (en MW)
NPH	1981	2 000	8
C	1984	4 800	8
D	1986	4 600	16
E	1988	6 200	10



Crédit : E. Larrayadiou

Environ quatre mètres d'eau recouvrent le sommet des combustibles usés. Les opérations de manutention des paniers sont réalisées à faible hauteur au-dessus du fond de la piscine.

Le refroidissement est réalisé au moyen d'une boucle d'eau de refroidissement fermée refroidie par air (comme les pompes à chaleur) avec, côté source chaude, des groupes échangeurs thermiques immergés dans le bassin et, côté source froide, des aéroréfrigérants « secs » disposés à l'extérieur du bâtiment. L'eau des piscines reste donc toujours à l'intérieur des bassins.

Le déchargement des emballages de transport des combustibles usés est réalisé, en cellule, sous eau ou à sec. Le déchargement à sec présente l'avantage de minimiser les risques liés à la manutention des emballages et d'éviter le dépôt de contamination sur les surfaces externes des emballages.

Le déchargement à sec est beaucoup plus avantageux que le déchargement par voie humide :

- Effluents et déchets : 3 fois moins importants,
- Moins de personnel nécessaire pour le déchargement,
- Déchargement plus rapide,
- Moins de dose intégrée par le personnel.

i

LA PISCINE DE L'APEC

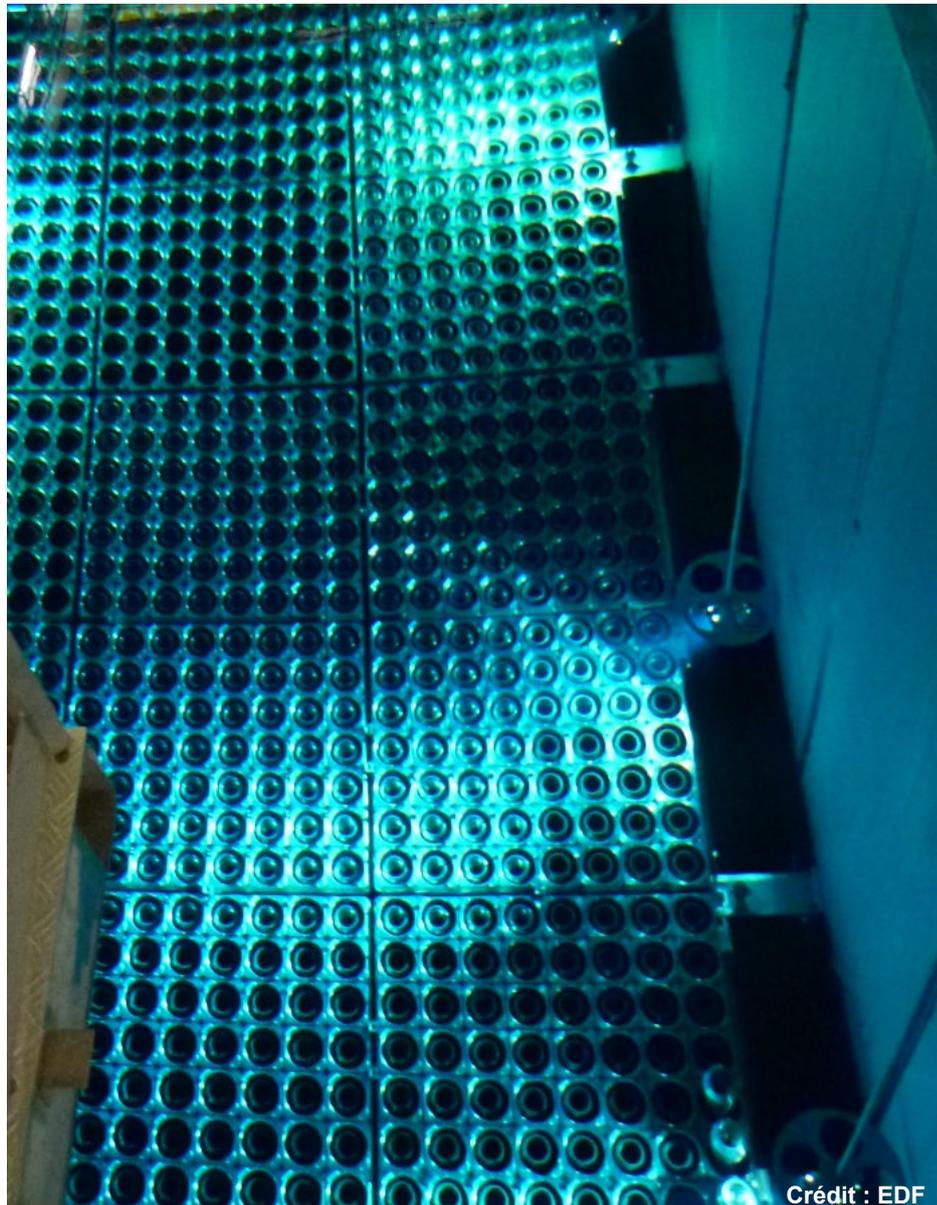
Pour le réacteur à neutron rapide (RNR) Superphénix, actuellement en cours de démantèlement, qui a été partiellement exploité pendant une dizaine d'années, son combustible usé (597 assemblages), ainsi qu'un lot fabriqué mais non utilisé de combustible neuf (441 assemblages), sont actuellement entreposés dans la piscine de ce réacteur, dénommée APEC. Le retraitement de ces 176 tmlr de combustible n'est pas prévu à court ou moyen terme.

Autorisée par décret en 1985, la piscine (APEC) a été mise en eau en mai 1989. L'exploitation de la piscine est autorisée jusqu'en 2035. La puissance résiduelle thermique maximale autorisée est de 2,15 MW.

Conçue en béton armé, avec un revêtement intérieur en acier inoxydable assurant son étanchéité, la piscine contient 2 250 m³ d'eau déminéralisée, non-borée. Les assemblages sont entreposés dans des racks, dont la géométrie assure notamment une fonction de sûreté vis-à-vis du besoin de convection et du risque de criticité. La piscine dispose d'une fosse de chargement et d'une fosse de déchargement.



Le combustible du réacteur Superphénix est un mélange d'environ 80 % d'uranium 238 (238U) et jusqu'à 20 % de plutonium 239 (239Pu).



Crédit : EDF

LE PROJET DE PISCINE D'ENTREPOSAGE CENTRALISÉ

Au regard du rythme actuel d'accroissement des quantités de combustibles usés à entreposer, EDF a présenté à l'ASN une solution de type piscine d'entreposage centralisé, en septembre 2015.

L'ensemble des travaux relatifs à la mise en œuvre de nouvelles capacités d'entreposage ont permis notamment d'évaluer la disponibilité des capacités d'entreposage pour les combustibles usés au regard des perspectives de croissance des stocks et de confirmer le besoin de nouvelles capacités d'entreposage à l'horizon 2030.

Dans ce contexte, l'article 10 de l'arrêté du 23 février 2017 faisant suite au PNGMDR 2016-2018 a prescrit à EDF le dépôt de la demande d'autorisation de création (DAC) d'un nouvel entreposage avant fin 2020 afin de répondre à ces besoins.

EDF a remis un Dossier d'Option de Sûreté pour ce projet d'installation en avril 2017, dont l'instruction a conduit à un avis favorable de l'ASN en juillet 2019, ouvrant sur la phase de préparation du dossier de demande d'autorisation de création (DAC) de l'installation.

En réponse, EDF a indiqué avoir lancé les études d'une solution d'entreposage centralisé des combustibles usés sous eau, mais n'être pas en mesure de déposer cette demande dans les délais prévus. En effet, EDF a reconsidéré sa stratégie et a annoncé, le 30 juin 2020, avoir demandé à Orano de réaliser une étude de faisabilité pour l'implantation d'une nouvelle piscine d'entreposage à La Hague. Cette faisabilité a été confirmée fin 2020.

EDF se trouve aujourd'hui conforté pour conduire la suite du projet, proposer un site d'implantation et engager le processus de concertation publique associé. Plusieurs sites ont été étudiés. Les travaux réalisés amènent à privilégier aujourd'hui une implantation à La Hague (Manche), à proximité du site industriel Orano. EDF indique que le site de La Hague présente des caractéristiques techniques favorables et que cette implantation a aussi l'avantage de minimiser le nombre de transports d'emballages de combustibles usés.

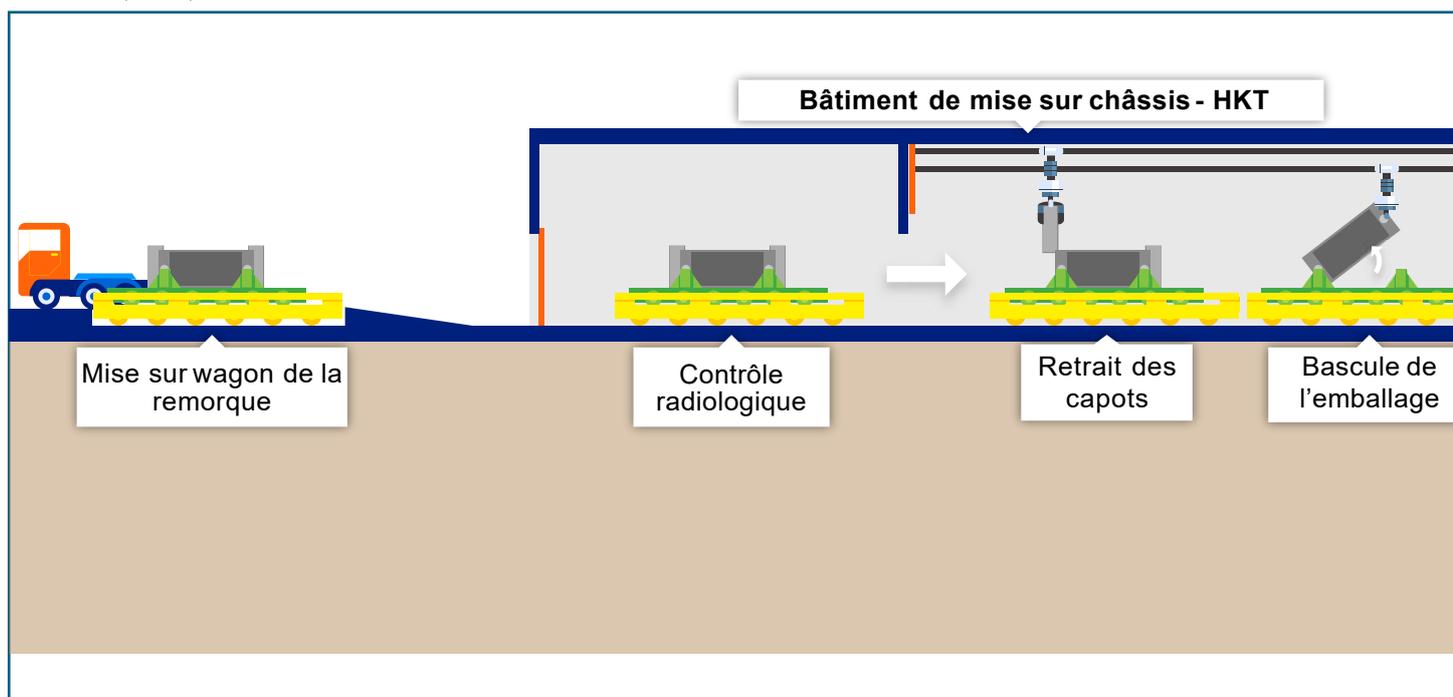


Figure 7. Schéma présentant le parcours d'un assemblage combustible et quelques-unes

Le projet d'EDF consiste en un entreposage constitué d'un bassin semi-enterré, qui pourrait accueillir 6 500 tml de combustibles usés, soit environ 13 000 assemblages. EDF prévoit le dépôt de la Demande d'Autorisation de Création (DAC) en fin d'année 2022 et un début de mise en service en 2034.

Ce premier bassin pourrait être complété d'un deuxième bassin.

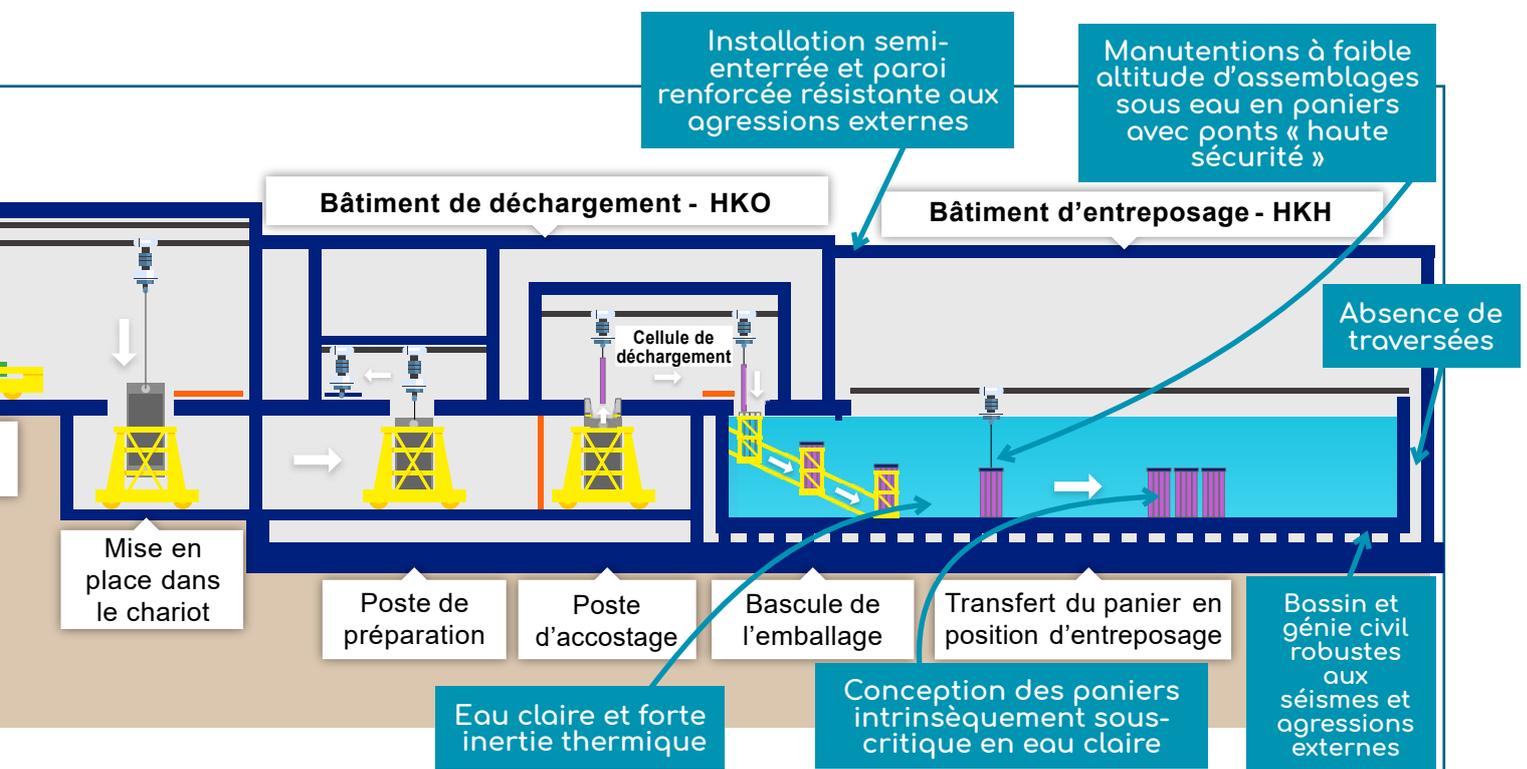
EDF destine cette piscine à recevoir principalement du MOX, de l'PURE, ainsi que le combustible de Superphénix. Elle pourrait également recevoir des combustibles UNE usés en fonction des besoins.

Le combustible serait déchargé des emballages de transport à sec, et mis en panier dans une cellule fermée. Le déchargement de la piscine se ferait selon le même procédé, en sens inverse. Comme à La Hague, les assemblages seraient donc rangés dans un panier, qui serait ensuite transporté et rangé en piscine. Le panier serait composé d'acier boré, assurant la maîtrise de la sous-criticité à lui seul, ce qui permet un remplissage de la piscine à l'eau claire (sans bore), comme à La Hague. Le refroidissement, tel que présenté au stade du dossier d'option de sûreté, se ferait de manière proche de ce qui existe à La Hague, par échangeurs de chaleur immergés, couplés avec des aérothermes atmosphériques. (Figure 7)

Dans leur décision rendue le 21 février 2020, le Ministère de la transition écologique et solidaire et l'Autorité de sûreté nucléaire, en conclusion du débat public sur le 5^e plan national de gestion des matières et déchets radioactifs indiquent que «s'agissant de la politique d'entreposage des combustibles usés, le débat a fait ressortir un consensus autour de la nécessité de nouvelles capacités d'entreposage de combustibles usés à l'échéance de 2030, ainsi que des spécificités du contexte français, qui confirment la pertinence de l'entreposage sous eau à cette échéance».

Dans cette décision, le MTES et l'ASN ont décidé que :

- «Le PNGMDR prévoira la poursuite des travaux liés à la mise en oeuvre de nouvelles capacités d'entreposage centralisées sous eau en tenant compte des délais nécessaires à leur construction.»
- «Le PNGMDR étudiera par ailleurs les délais de déploiement d'une solution d'entreposage à sec et la nature des combustibles usés qui pourraient y être entreposés, si cela s'avérait nécessaire en réponse à un aléa fort sur le «cycle du combustible» ou à une évolution de politique énergétique.»



des options de sûreté du projet de piscine d'entreposage centralisé d'EDF (source : EDF)

LES PISCINES AU CŒUR DE L'ACTUALITÉ

Au regard de leur fonction d'entreposage du combustible usé, les piscines doivent répondre à de multiples enjeux dont, des enjeux de sûreté et des enjeux de stratégie de gestion du combustible. Cette gestion peut conduire, comme dans certains pays, à opter pour des choix d'entreposage sous eau ou à sec des combustibles usés. La France a fait le choix d'un entreposage sous eau de ses combustibles usés.

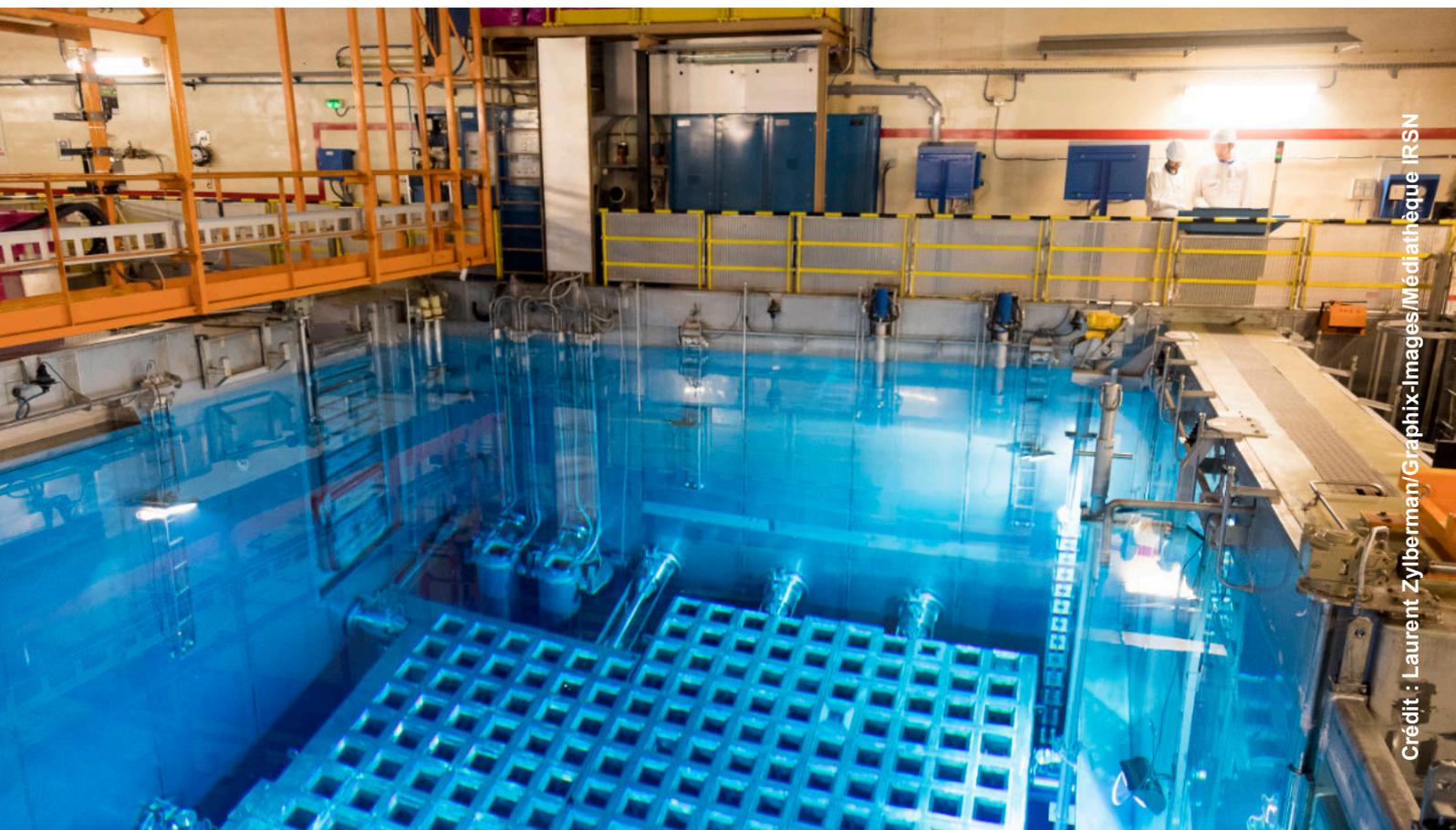
Cette deuxième partie du Livre Blanc vise à dresser un état des lieux des enjeux de sûreté et stratégiques liés à cette gestion des combustibles et à poser en débat les questions sur lesquelles les opinions divergent.

LES ENJEUX DE SÛRETÉ

Deux événements majeurs ont conduit à la prise de conscience progressive de l'impact que pourrait avoir un scénario de découverture des assemblages combustibles entreposés en piscine, conduisant à leur échauffement, puis à la dispersion d'une quantité importante de radionucléides dans l'environnement.

1. **Les attentats du 11 septembre 2001 aux États-Unis.** Cet événement a conduit à s'interroger sur les conséquences d'une éventuelle chute d'avion – volontaire ou non – ou plus généralement aux actes de malveillance sur une piscine d'entreposage du combustible. Pour le site de La Hague, la quantité de combustibles au sein de ces piscines est telle que les conséquences d'un accident majeur sur l'une d'entre elles pourraient dépasser largement les conséquences d'un accident majeur sur un réacteur.
2. **L'accident de Fukushima-Daïchi du 11 mars 2011.** Si les rejets liés à l'accident de Fukushima proviennent des réacteurs accidentés, des inquiétudes importantes ont porté sur les piscines d'entreposage de combustible (notamment celle du réacteur n° 4) au début de l'accident. Le risque d'un accident majeur sur les piscines, en plus des réacteurs, était réel et a été sérieusement envisagé par les autorités nippones. L'estimation des conséquences d'un tel scénario a conduit les autorités à envisager un temps la nécessité d'évacuer la population dans un rayon de 250 km, qui inclut une partie de Tokyo. Cet accident a renforcé la prise de conscience du « potentiel de danger » des piscines, mais également la prise de conscience de la complexité d'un tel accident, qui aurait entravé les actions de gestion de l'accident grave sur les réacteurs. Le retour d'expérience de l'accident de Fukushima réalisé à l'international a porté sur les réacteurs, mais a également intégré les piscines d'entreposage.

À cet intérêt porté sur la sécurité et la sûreté des entreposages de combustibles s'est ajouté depuis quelques années une inquiétude croissante sur le risque de saturation des capacités d'entreposage existantes. Le risque que fait peser cette perspective de saturation sur la sécurité d'approvisionnement électrique contribue à amener la question des piscines d'entreposage sur le devant de la scène.



LES FONCTIONS DE SÛRETÉ DES PISCINES

Les capacités d'entreposage du combustible en France ont été déployées en obéissant aux principes qui guidaient la sûreté nucléaire au fil de leur développement.

L'entreposage du combustible en piscine est exposé principalement au risque de perte du refroidissement qui peut entraîner une perte de l'intégrité des assemblages et une dispersion de radionucléides dans l'environnement, ou la reprise d'une réaction en chaîne incontrôlée (criticité). Les causes peuvent être des agressions internes ou externes, des actes de malveillances ou des erreurs humaines.

Pour répondre à ce risque, la conception d'une piscine doit satisfaire, comme les réacteurs nucléaires, à trois fonctions principales de sûreté, que sont la maîtrise de la criticité, le refroidissement des assemblages et le confinement :

1. **La maîtrise de la criticité** vise à garantir, en toutes circonstances, qu'aucune réaction en chaîne ne puisse avoir lieu.
2. **Le maintien du refroidissement** vise à empêcher le dénoyage des assemblages combustibles, afin de leur éviter d'atteindre une température qui conduirait à leur endommagement.
3. **Enfin, le confinement**, par barrières successives, vise à empêcher la dispersion de radionucléides dans l'environnement.

Pour assurer la protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants, la hauteur d'eau est, en moyenne, de 7 mètres, au-dessus des éléments combustibles, avec un minimum d'un mètre lors des opérations de manutention. L'eau de la piscine agit comme écran de protection radiologique dans toutes les conditions (normale, incidentelle et accidentelle).

Le bore ajouté à cette eau, pour des raisons d'exploitation, assure une marge supplémentaire de sûreté vis-à-vis de la maîtrise de la criticité.

À noter que les piscines de conception récente (EPR, projet de piscine d'entreposage centralisé d'EDF) sont équipées de coques de protection contre les chutes d'avion.

La maîtrise de la criticité (garantir la sous-criticité) repose sur différentes options selon les piscines :

- dans les installations d'EDF, cette maîtrise est assurée par l'espacement des assemblages de combustible entre eux et de la matière (acier boré ou pas) des râteliers d'entreposage.
- dans le cas des piscines de La Hague, ou du projet de piscine d'entreposage d'EDF, la maîtrise de la criticité repose sur l'utilisation de panier d'entreposages en acier boré, maintenant un espacement minimal entre les assemblages. L'eau de ces piscines n'est pas borée.

Le refroidissement est assuré :

- dans les piscines d'EDF, par un circuit pompant l'eau dans la piscine, puis la réinjectant après passage dans un échangeur thermique.
- sur le site d'Orano La Hague, les échangeurs sont immergés directement dans la piscine, et le refroidissement se fait par des aérothermes. Ce dernier système évite tout transfert d'eau, potentiellement contaminée, à l'extérieur de la piscine, et limite de façon significative les risques de vidange accidentelle d'une partie de la piscine (rupture d'une tuyauterie). Toutefois, ses capacités de refroidissement sont moins importantes.

Le système de refroidissement des piscines est dimensionné pour maintenir la température de l'eau, en fonctionnement normal, en-dessous d'une valeur de l'ordre de 50°C. Une élévation importante de température de l'eau pourrait impliquer un arrêt des systèmes de ventilation et mettrait en défaut le confinement du hall de la piscine. Une augmentation importante de la température entraînerait également des contraintes sur les structures telles que le liner de la piscine ou les râteliers d'entreposage, du fait des phénomènes de dilatation.

Le confinement repose pour les réacteurs sur trois barrières de sûreté : la gaine des assemblages, la cuve, et l'enceinte de confinement. Pour

les piscines, la défense en profondeur est moins bien assurée. Les gaines constituent toujours une première barrière, mais il n'y a pas de cuve, ni d'enceinte de confinement. L'eau dans laquelle sont immergés les assemblages est considérée comme une deuxième barrière. Néanmoins, elle est d'une efficacité limitée pour la fonction de confinement, puisqu'elle ne permet pas d'éviter le relâchement de radionucléides gazeux. Cette barrière est alors complétée par un système de ventilation du hall de la piscine.

En cas de mise à l'air des combustibles usés, du fait d'une baisse importante du niveau d'eau, l'augmentation de la température pourrait conduire à une réaction d'oxydation vive des gaines (au-delà de 600°C) avec un risque de relâchement important de radionucléides et un risque de production d'hydrogène (risque d'explosion). Le maintien de l'eau dans la piscine est assuré par un cuvelage étanche (le « liner »), complété par le génie civil du bassin et du bâtiment.

En cas de perte d'intégrité d'une gaine de combustible, l'eau capterait une partie des radionucléides qui seraient relâchés et le système de ventilation du bâtiment, récupérant les fuites, permettrait de filtrer les effluents gazeux et les aérosols – on parle alors de confinement dynamique. En complément, un système d'épuration de l'eau de la piscine (exemple : filtration sur résines échangeuses d'ions) limiterait les quantités de substances radioactives transférées vers

l'atmosphère du hall de la piscine par évaporation de l'eau.

La ventilation permet de contrôler la température et l'hygrométrie de l'air du hall de la piscine. Le bâtiment combustible doit être maintenu en dépression par rapport à l'extérieur (confinement dynamique).

Pour les situations accidentelles pouvant conduire à l'ébullition de l'eau de la piscine, l'ouverture d'un exutoire permettant d'évacuer la vapeur d'eau, très légèrement contaminée, à l'extérieur est tolérée transitoirement pour éviter la montée en pression de l'atmosphère du bâtiment combustible (les conséquences radiologiques induites sont donc faibles). En tout état de cause, un système de refroidissement de l'eau de la piscine doit pouvoir être mis en service pour arrêter l'ébullition et rétablir le confinement assuré par le bâtiment.

La masse d'eau dans les piscines BK confère une plus grande inertie thermique et conduit à un délai plus long que dans les réacteurs avant un risque de dénoyage des assemblages combustible. Ce délai permettrait l'intervention de la FARN (Force d'Action Rapide Nucléaire).

EDF a indiqué à l'ASN, dans le cadre des Évaluations complémentaires de sûreté post-Fukushima (ECS), que « la mise en œuvre de moyens efficaces de limitation des conséquences d'un

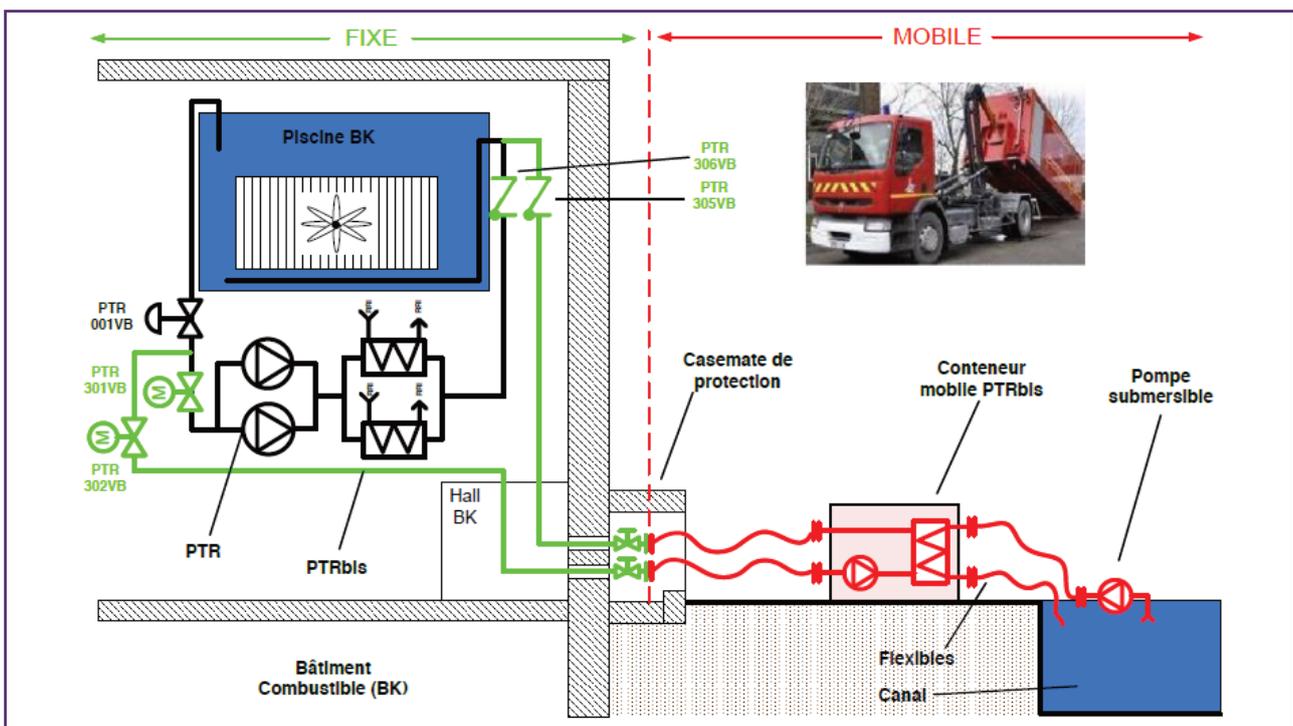


Figure 8. Schéma de principe du circuit de refroidissement mobile de la piscine combustible (PTR bis) (source : EDF SA - 2018 - Note de réponse aux objectifs du 4^e réexamen périodique du polier 900 MWe)

dénoyage prolongé d'assemblages de combustibles irradiés n'est pas envisageable sur les piscines de désactivation de ses réacteurs ».

La fonction de sûreté de confinement reste un point sensible des piscines actuelles d'entreposage d'EDF.

ÉVOLUTION DE LA ROBUSTESSE DES INSTALLATIONS

L'actuel 4^e réexamen de sûreté des réacteurs de 900 MWe conduit EDF à renforcer la robustesse de ses installations et notamment de la piscine ; sans pour autant atteindre les niveaux de sûreté des nouvelles installations nucléaires, pour l'EPR, par exemple, ou encore le projet de piscine d'entreposage centralisé.

L'ASN précise dans le cahier n° 2 (février 2021) sur la phase générique du 4^e réexamen périodique de sûreté des réacteurs de 900 MWe que « les modifications résultant de l'ensemble des études fournies ou à venir compléteront la démonstration de sûreté et constitueront des améliorations majeures de la sûreté des piscines d'entreposage du combustible. Les résultats de ces études et les modifications prévues par EDF, complétées des demandes de l'ASN, permettront de répondre aux objectifs visés pour ce réexamen. »

Dans le cadre des travaux prévus pour renforcer la sûreté (4^e réexamen des réacteurs 900 MWe), le système de refroidissement fixe actuel (deux dispositifs redondants) sera complété par un système (PTR-bis), permettant la reprise du refroidissement de la piscine BK en boucle fermée, avec une partie fixe et une partie mobile, mise en place en cas d'accident.

Pour l'EPR, il est prévu une protection renforcée de la piscine vis-à-vis du risque d'agression externe, au moyen de la mise en place d'une « coque avion ». Cette paroi épaisse qui recouvre les bâtiments réacteurs et combustible, ainsi qu'une partie des bâtiments auxiliaires est présentée comme pouvant faire face à la chute d'aéronef. Le refroidissement de la piscine de l'EPR est assuré par trois systèmes redondants et indépendants.

Pour le projet de piscine centralisé, EDF devrait aller encore plus loin, puisque dans son avis sur le dossier d'option de sûreté présenté par EDF, « l'ASN estime nécessaire que, dans sa demande d'autorisation de création, EDF prenne en compte la chute accidentelle d'aéronefs de l'aviation militaire et commerciale ».

Ces évolutions de conception marquent indéniablement une amélioration de la robustesse de la piscine, par rapport aux piscines actuelles, vis-à-vis des agressions externes.

TRAVAUX POST-FUKUSHIMA

À la suite de l'accident nucléaire de Fukushima, l'ASN a prescrit à Orano (Areva) d'intégrer aux dispositions du noyau dur « des moyens robustes de réalimentation en eau des piscines » des usines de retraitement de La Hague.

Pour les piscines des BK, la principale amélioration, à la suite de l'accident de Fukushima, a été la mise en place d'une source d'eau ultime pour réalimenter la piscine en eau.

Dès 2013, l'ASN considérait que « malgré les améliorations décidées lors des réévaluations successives de la sûreté de l'entreposage du combustible en piscine de désactivation (3^e visite décennale pour les 900 MWe, première visite décennale pour le pallier N4, 3^e visite décennale pour les 1 300 MWe et les prescriptions faisant suite aux évaluations complémentaires de sûreté), l'état actuel des piscines de désactivation restera en écart notable avec les principes de sûreté qui seraient appliqués à une nouvelle installation ». Dans le cadre des 4^e visites décennales des réacteurs de 900 MWe, EDF a prévu de mettre en place un dispositif de refroidissement de la piscine combustible supplémentaire, appelé « PTR-bis », afin de se rapprocher du design de l'EPR.

Dans son avis n° 2021-00001 concernant les situations couvertes à Fukushima + 10 ans, l'IRSN relève « du fait de difficultés techniques (production insuffisante de certains puits et qualité des nappes) ou liées aux études environnementales, 24 réacteurs ne disposeront pas de leur source d'eau diversifiée à fin 2021. Pour ces réacteurs, EDF a prévu des solutions alternatives provisoires avec l'utilisation de réserves en eau existantes ou l'installation de bâches souples. »

L'IRSN précise, dans ce même avis, qu'EDF n'a pas fourni de démonstration de sûreté (c'est à dire d'études s'inscrivant dans le cadre du domaine complémentaire du rapport de sûreté) relative à la maîtrise d'une situation entraînant la perte de la source froide ou d'une situation entraînant la perte d'alimentation électrique de plusieurs réacteurs d'un même site.

LES ENJEUX STRATÉGIQUES DE GESTION DU COMBUSTIBLE USÉ

EDF possède une piscine accolée à chacun de ses réacteurs. Le taux de remplissage de chacune d'entre elles varie d'une installation à l'autre et au regard du taux d'occupation moyen de ces piscines, l'IRSN précise dans son rapport n° 2018-00003, que la capacité totale disponible serait de l'ordre de 2 900 alvéoles (sur un total de 16 000 alvéoles). Cependant, il existe des disparités entre les piscines, et certaines sont bien plus remplies que la moyenne et sont proches de la saturation.

Fin 2018, le taux de disponibilité dans les piscines de La Hague était d'environ 7 %, soit un peu plus de 1 000 tML (représentant environ une année de production).

Au total, l'inventaire l'ANDRA (bilan à fin 2018) recensait sur l'ensemble du territoire plus de 14 200 tml de combustibles usés ou rebuts en attente de retraitement. (Tableau 1 - page 12). Cet inventaire augmente, chaque année, d'environ 120 tml de MOX et d'une quantité variable d'UNE.

Au regard des perspectives de saturation et du rythme actuel d'accroissement des quantités de combustibles usés à entreposer, des travaux sont lancés depuis plusieurs années dans le cadre du PNGMDR 2016-2018 (article 10 de l'arrêté du 23 février 2017) et d'études prospectives menées par EDF (non publiques) afin d'estimer la date de cette saturation.

L'ensemble de ces travaux relatifs à la mise en œuvre de nouvelles capacités d'entreposage ont permis notamment d'évaluer la disponibilité des capacités d'entreposage pour les combustibles usés au regard des perspectives de croissance des stocks et de confirmer le besoin de nouvelles capacités d'entreposage à l'horizon 2030.

Dans ce contexte, l'article 10 de l'arrêté du 23 février 2017 a également prescrit à EDF le dépôt de la demande d'autorisation de création d'un nouvel d'entreposage avant fin 2020 afin de répondre à ces besoins, à l'échéance 2030 (compte-tenu des délais de dépôt de dossier, d'instruction et de construction). En réponse, EDF a indiqué informellement avoir lancé les études d'une solution d'entreposage centralisé des combustibles usés sous eau, mais n'être pas en mesure de déposer cette demande dans les délais prévus. En effet, EDF a reconsidéré sa stratégie et a annoncé par voie de presse le 30 juin 2020 avoir demandé à Orano de réaliser une étude de faisabilité pour l'implantation d'une nouvelle piscine d'entreposage à La Hague. EDF a annoncé comme nouvelle échéance pour la mise en service de la piscine d'entreposage centralisé, 2034.

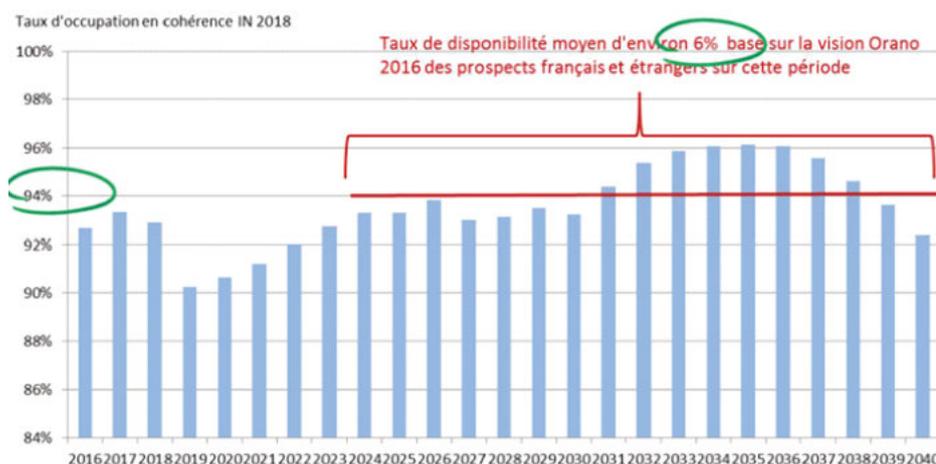


Figure 9. Évolution du taux d'occupation des piscines de la Hague - Présentation d'Orano "Enjeux et Perspectives" au HCTISN

ÉVOLUTION DE LA QUANTITÉ DE COMBUSTIBLES ENTREPOSÉS

La quantité de combustibles entreposés dans une piscine est suivie et connue avec précision pour s'assurer que le maintien des principales fonctions de sûreté est toujours assuré.

Des évolutions ayant un impact sur la sûreté ont été réalisées ces dernières années sur les piscines des sites d'EDF et d'Orano de La Hague.

En 2003, Areva (Orano) a obtenu l'autorisation de relever les quantités de combustible entreposées dans ses piscines, au sens de la puissance thermique résiduelle maximum admissible, en vue de densifier l'entreposage et d'éviter ainsi la nécessité de construire de nouvelles capacités d'entreposage. Les quantités totales autorisées pour l'ensemble des quatre piscines sont passées de 8 400 tML (correspondant à environ 98 cœurs) en 1981 à 17 600 tML (environ 181 cœurs) depuis 2003. Cette densification a pour conséquence d'augmenter la puissance thermique à évacuer et donc d'augmenter le potentiel de danger en cas d'accident.

En 2021, Orano a déposé un nouveau dossier d'option de sûreté, en vue de déposer une demande d'autorisation, pour la densification de 3 des 4 piscines du site Orano La Hague.

L'objectif est de « limiter à une valeur aussi basse que raisonnablement possible l'inventaire radioactif en cours de désactivation dans chaque bâtiment combustible des réacteurs en exploitation ».

UNE GRANDE VARIÉTÉ D'OPTIONS DANS LE MONDE

Certains pays ont opté de rallonger le temps de décroissance des éléments combustible en piscine pour ensuite envisager un entreposage dit à sec. Cet entreposage se fait alors généralement dans des « châteaux » recevant plusieurs assemblages. Les châteaux peuvent être entreposés sur les sites des centrales ou de manière centralisée. Cela étant, l'entreposage sous eau peut également être retenu dans le cas d'une stratégie de gestion sans retraitement.

L'entreposage en piscine peut également servir de solution d'attente de choix de stratégie de gestion. En France, cet entreposage intervient pour les combustibles dont le retraitement n'est pas prévu à court terme et moyen terme. Il s'agit

des combustibles usés de type MOX, URE, ou RNR. Leur entreposage se fait dans les piscines de La Hague (sauf pour les combustibles RNR de Superphénix qui sont entreposés dans la piscine de l'APEC à Creys-Malville), dans l'optique officielle d'un traitement différé. Leur entreposage pourrait se faire sous eau dans une piscine dédiée en considérant que cette solution d'attente ne présage pas du choix de leur retraitement ou non. C'est ce que semble prévoir EDF avec son projet de piscine d'entreposage centralisé.

L'entreposage « d'attente » pourrait également concerner du combustible usé pour lequel aucun retraitement n'est envisagé, avant qu'une installation de stockage ne soit disponible. Dans ce cas, l'entreposage « d'attente » pourrait se faire soit sous eau, soit à sec après un temps de refroidissement en piscine suffisant.

En revanche, l'entreposage en piscine ou à sec ne peut en aucun cas constituer une solution de gestion définitive. L'exploitation de ce type d'installation nécessite une intervention humaine, et ne peut donc pas être envisagée pour des durées de plus de quelques décennies (100 ans pour le projet de piscine centralisé d'EDF).

En l'absence de retraitement, l'entreposage en piscine ou à sec ne serait donc qu'une étape intermédiaire avant le stockage géologique des assemblages, qui est la solution retenue ou envisagée dans un certain nombre de pays.

D'autres options de traitement peuvent être avancées, telles que la séparation et transmutation de certains radionucléides, mais restent très hypothétiques dans l'état actuel des connaissances.

La grande majorité des pays ayant exploité ou exploitant des réacteurs nucléaires n'ont soit jamais eu recours soit cessé de recourir au retraitement, sur leur territoire ou à l'étranger, de leurs combustibles.

À l'heure actuelle, seuls la France, la Russie, la Bulgarie et la Hongrie (par contrat avec la Russie) et les Pays-Bas (par contrat avec la France) ont recours au retraitement de leurs combustibles à l'échelle industrielle. L'Allemagne et le Royaume Uni ont cessé le retraitement. Au Japon, il est suspendu à cause des difficultés à mettre en route l'usine de retraitement de Rokkashô-mura et faute de débouché pour le plutonium extrait. Les autres pays procèdent à l'entreposage de leurs combustibles dans la perspective d'un stockage direct pour certains, d'un retraitement différé

pour d'autres, et dans l'attente d'un choix à venir sur la stratégie à suivre pour beaucoup. Ces pays peuvent, en fonction des orientations et de l'avancement de leur stratégie, opter pour l'entreposage à sec ou sous eau de leur combustible usé.

L'IRSN, dans son rapport N°2018-00003 « Entreposage du combustible nucléaire usé : concepts et enjeux de sûreté » établi en réponse à une saisine de la Commission d'enquête parlementaire sur la sûreté et la sécurité des installations nucléaires, rappelle que la puissance thermique unitaire des combustibles à entreposer est un élément déterminant pour définir les types d'entreposage envisageables. L'entreposage en piscine est impératif pour les combustibles peu refroidis et l'entreposage à sec convient bien aux combustibles très refroidis.

Dans ce rapport l'IRSN rappelle quelques grands principes de ces deux types d'entreposage :

- L'entreposage en piscine est particulièrement adapté aux combustibles présentant une forte puissance thermique unitaire, et donc ne pouvant rester sous air sans dégradation des gaines.
 - L'eau a en effet un pouvoir caloporteur élevé et les systèmes actifs de refroidissement l'utilisant permettent de maintenir à des valeurs basses les températures des gaines des combustibles. De plus, une piscine offre une inertie thermique importante, facilitant la mise en œuvre de moyens de secours en cas de perte des systèmes de refroidissement.
 - Les entreposages sous eau présentent des garanties, du fait des températures d'entreposage faibles et des possibilités d'examen direct des gaines. En outre,

des parades (mise en sur-conteneur du combustible défaillant...) peuvent être mises en œuvre en cas de détection de phénomènes de dégradation.

- L'entreposage à sec est réservé aux combustibles suffisamment refroidis (environ 2 kW en moyenne par assemblage de combustible pour les concepts actuels).
 - Il présente, de ce fait, l'intérêt de faire généralement appel à des systèmes de refroidissement passifs, ce qui limite les contraintes d'exploitation, et se prête particulièrement bien à une construction modulaire, s'adaptant aux besoins, voire permettant le remplacement de modules anciens au cours du temps. Les exigences de sûreté sont le maintien du refroidissement passif et la qualité des barrières de confinement entre les matières radioactives et l'environnement.
 - Dans les entreposages à sec, la capacité d'examen direct et aisé des gaines de combustibles est plus réduite. Les contrôles réalisés sont au mieux indirects (absence de relâchement de gaz dans la cavité de l'emballage...), voire impossibles (cas des conteneurs soudés étanches contenant les combustibles et constituant la seconde et ultime barrière de confinement) ; ils ne permettent pas une détection d'un mécanisme de vieillissement.

De plus, la température plus élevée des gaines pourrait entraîner des risques d'endommagement et donc des difficultés, en cas de transport et de reconditionnement.

La saturation des piscines des bâtiments combustible et de l'usine Orano La Hague est un enjeu majeur, notamment pour la sécurité de l'approvisionnement électrique.

Les retards dans la mise en œuvre des choix de gestion augmentent les tensions sur les acteurs de la filière nucléaire. Le retard pris pour la mise en service de la piscine d'entreposage centralisé en est un exemple, qui demande de trouver des parades d'attente (densification des piscines d'Orano La Hague, entreposage à sec dans des conteneurs TN Eagle, initialement prévus pour le transport).

Les choix de gestion des combustibles usés et la caractérisation de la notion de matière ou de déchets radioactifs passés et futurs ont joué, jouent et joueront un rôle crucial pour ne pas paralyser l'ensemble du « cycle du combustible ». Ces choix et leur délai de mise en œuvre ont un impact bien au-delà des enjeux présentés dans ce Livre Blanc autour des piscines d'entreposage du combustible usé.

Qu'ils soient techniques, économiques et/ou politiques ces choix et leur délai de mise en œuvre ne doivent pas fragiliser ce « cycle » et doivent prendre en compte et anticiper des aléas que pourraient rencontrer chacune de ses étapes et installations.

Du choix du mono-recyclage, au respect des engagements français sur la non-prolifération des armes nucléaires, en passant par les projets de relance des RNR, de construction de futurs EPR, du moxage des réacteurs de 1300 MWe, d'entreposage centralisé..., la société civile reste une partie prenante avec son droit à la transparence, à la participation à la gouvernance et à son regard sur l'évolution du « cycle du combustible ».

Il paraît incontournable pour l'ANCCLI que la société civile puisse participer aux décisions qui conduiront notre pays dans telle ou telle orientation du « cycle du combustible ».

Des débats publics devront être engagés sur ces sujets et ils devront constituer de vrais leviers d'actions sur les décisions...

L'ANCCLI a d'ores et déjà engagé une réflexion, avec l'ensemble des CLI, pour un Livre Blanc sur le « cycle du combustible ».

EXPRESSIONS PERSONNELLES

L'ANCCLI a profité de la rédaction de ce Livre Blanc pour proposer aux rédacteurs qui le souhaitent de s'exprimer librement sur ce sujet majeur de l'entreposage des combustibles nucléaires.

(Ces expressions personnelles n'engagent que leur auteur)

«La question n'est pas d'être pour ou contre les piscines d'entreposage de combustible nucléaire. Dans le cycle du combustible nucléaire, ces piscines sont incontournables, donc la vraie question est plus à poser sous la facette « que souhaitons-nous pour demain comme énergie ».

Le principal défi des prochaines décennies est le changement climatique initié par l'augmentation du CO² dans l'atmosphère, tel que semble le porter la grande majorité des experts reconnus en climatologie. Cette élévation de CO² provient du relâchement de ce gaz contenu dans la croûte terrestre depuis la création de celle-ci. Seule la réduction de cette exploitation de ressources dites fossiles infléchira cette tendance.

Si nous souhaitons conserver la vie humaine telle que nous la connaissons, les sources de production d'énergies propres face au CO² sont limitées et le nucléaire en fait partie et c'est là le vrai choix qui s'offre à nous. Pour conserver une énergie abondante, sûre et disponible à tout instant, le réseau doit inclure des moyens de production pilotables.

Cette démonstration étant faite, il est clair que les piscines d'entreposage sont un maillon essentiel de la transition énergétique orientée vers la réduction des émissions de CO² et par corollaire du réchauffement climatique.»

Emmanuel MOULIN - Collège «Syndicat» de la CLIN du Blayais

«Les piscines nucléaires : Contribution d'un Ingénieur citoyen :

Les fameuses piscines nucléaires (piscines combustibles) font l'objet de beaucoup d'exploitations médiatiques, basées sur la méconnaissance au mieux, sur l'exploitation malhonnête des peurs, voire carrément délirantes au pire.

Ces piscines combustibles constituent un lieu stratégique d'une chaîne industrielle qui produit une électricité décarbonée, sûre, à un prix inférieur pour le consommateur à la moyenne des prix européens et sans nuire à la santé ou à l'environnement.

La notion de saturation des piscines évoquée dans le texte du livre blanc est dépendant du combustible à livrer ($\frac{1}{4}$ du combustible en cuve est renouvelé tous les ans) ou à évacuer en parallèle des arrêts pour renouvellement combustible. Le cycle du combustible étant maîtrisé, la saturation des piscines peut intervenir en absence de stratégie de long terme.

Les solutions d'entreposage à sec puis de stockage sous forme d'assemblage combustible sans retraitement ne vont dans le sens ni de la bonne gestion des déchets, ni de la réduction de leur volume, ni de la sécurité, pas d'inspection possible. Au mieux, elles peuvent être utilisées sur un laps de temps court et en aucun cas ne sauraient constituer une solution définitive.

Pour donner un ordre de grandeur, un assemblage combustible de « 2kW... est froid ». 2 kW représente la puissance d'un fer à repasser, avec une semelle de l'ordre de 250 cm² à comparer à la surface d'un Assemblage Combustible de 40 m² d'un REP de 900MWe.

Les piscines sont construites selon un référentiel de conception et d'exploitation proposé par l'exploitant et validé par les autorités de tutelle, qui présente l'énorme avantage d'être évolutifs pour le nucléaire français à la différence des référentiels qui pour la majorité des pays sont figés à la construction.

L'indépendance et la compétence de l'ASN appuyées par l'expertise de l'IRSN, le professionnalisme et l'expérience de l'exploitant viennent renforcer la confiance que l'on est en droit d'apporter au dispositif.

Les scénarios catastrophistes (chute d'avion, de météorite, attentats ou cataclysmes naturels) ne sont que de la mauvaise catastrophe fiction.

Dernier point, on peut regretter l'impossibilité d'introduire dans le livre blanc, des études des coûts des différentes solutions techniques, faute de données disponibles.»

Christian DESGRANGES - membre CFE-CGC de la CLI de Saint-Laurent-des-Eaux et du collège syndical de l'ANCCLI

« Saturation des piscines de combustible : l'irresponsabilité d'EDF

L'énergie nucléaire est généralement présentée d'une manière simpliste comme étant abondante, stable, propre car ne produisant pas de carbone, et donc bonne pour le climat. Si les problématiques liées aux déchets sont débattues, le combustible, de son origine depuis les mines d'uranium (Niger, Kazakhstan, Canada, ...) jusqu'au réacteur nucléaire, puis après sa sortie du réacteur, est ignoré. Prétendument recyclable à l'envi, il s'accumule sans solution dans des piscines.

Ce livre blanc sur les piscines nécessaires à ce combustible en aval des réacteurs lève un peu le voile sur cet élément fondamental de l'énergie nucléaire. Il contribue à montrer la complexité de cette énergie, qui avec ses rejets d'effluents chimiques et radioactifs, ses déchets qui doivent être isolés de la biosphère pendant des siècles et ses combustibles usés qui doivent séjourner longtemps en piscine d'entreposage, est loin d'être une énergie propre.

La saturation, à l'horizon 2030, des piscines d'entreposage de combustibles irradiés est anticipée depuis 2010, mais, à quelques années de l'échéance, EDF n'a pas encore déposé de demande d'autorisation de création de nouvelles capacités d'entreposage. Même le calendrier, déjà tendu, imposé par voie réglementaire¹ n'est pas respecté. Une telle situation fait poindre un risque d'occlusion pour l'ensemble de la filière. Plus l'échéance approche, plus il sera difficile pour EDF de garantir l'approvisionnement électrique du pays. Aucune explication n'est apportée quant aux raisons de ce retard et aux parades prévues.

La saturation prévue est due à l'accumulation du combustible MOx (rebuté et usé). Ainsi, si quelques réacteurs parmi les plus anciens, les seuls habilités à consommer du MOx, ne sont pas autorisés à poursuivre leur fonctionnement au-delà de 40 ans, il faudra diminuer la part du retraitement afin de ne pas séparer plus de plutonium que nécessaire. En retirant moins de combustibles des piscines de la Hague, la saturation arrivera encore plus vite que prévu. Et une fois la saturation atteinte, il faudra arrêter 10% du parc nucléaire, soit 5 à 6 réacteurs non Moxés.

C'est en cas d'aléa entraînant un arrêt prolongé du retraitement, de la fabrication de MOx ou du transport que la situation pourrait devenir problématique. L'engorgement des piscines entraînerait l'arrêt de tout le parc nucléaire en quelques mois, menaçant ainsi l'approvisionnement électrique du pays. Avec la pénurie d'entreposages, l'industrie nucléaire impose la poursuite du retraitement et l'exploitation des réacteurs les plus anciens qui consomment le plutonium extrait. Mais cette politique est dangereuse : les autorités de contrôle, face à un dilemme insoluble, devront

1. Selon l'Arrêté du 23/02/17 relatif au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, « EDF dépose avant le 31 décembre 2020 auprès du ministre chargé de la sûreté nucléaire une demande d'autorisation de création pour une nouvelle installation d'entreposage de combustibles usés, ou une demande de modification substantielle s'il s'agit de l'extension d'une installation existante ».

trancher entre la sûreté et l'approvisionnement électrique. Elles pourraient alors être obligées d'accepter des manquements graves à la sûreté pour permettre la poursuite de l'exploitation des réacteurs nucléaires. Une telle situation est inacceptable et montre l'irresponsabilité d'EDF.

Tout est fait pour garder le secret sur cette situation alarmante. L'IRSN avait censuré tout le chapitre « aléas » et presque tous les chiffres de son rapport d'expertise sur le sujet. L'ACRO a dû saisir la CADA pour que la partie « aléas » soit dévoilée. Quant au rapport rédigé par EDF, Orano et l'ANDRA, il reste entièrement couvert par le « secret des affaires » !

EDF annonce désormais une nouvelle piscine « centralisée » pour 2034, mais cette échéance sera-t-elle tenue ? En parallèle, l'industrie nucléaire bricole pour essayer de reporter de quelques années supplémentaires l'occlusion inévitable : elle veut densifier les piscines de La Hague en réduisant ainsi les marges de sûreté, mettre des assemblages dans des châteaux prévus pour le transport... sans aucune garantie que cela sera suffisant.

Cette nouvelle piscine est annoncée à La Hague qui a déjà la plus forte concentration au monde de combustibles usés. Prévue avec une protection renforcée, elle y côtoierait les piscines existantes, densifiées, moins bien protégées contre les agressions extérieures. Ces évolutions dans les exigences de sûreté soulignent les vulnérabilités des piscines existantes, à La Hague et près des réacteurs nucléaires.

Ironiquement, cet engorgement est dû à des matières prétendument valorisables mais sans solution de gestion à long terme. Pour une industrie qui a l'ambition de sauver la planète du péril climatique, cela ne fait pas sérieux. Parviendra-t-elle seulement à alimenter le pays en électricité dans une dizaine d'années ?

En conclusion, il est impératif :

- *de renforcer la résistance des piscines existantes à La Hague et près des réacteurs nucléaires face aux agressions extérieures grâce à une coque à la place du simple bardage métallique existant ;*
- *de trouver des parades au retard de la piscine en projet en misant notamment sur l'entreposage à sec, plus rapide à mettre en place ;*
- *de réduire la dépendance du pays à l'énergie nucléaire qui fragilise l'approvisionnement électrique ;*
- *et d'assurer la plus grande transparence sur le taux d'occupation des piscines et les risques liés à leur saturation.*

ACRO, FRAPNA Drôme Nature Environnement, GSIEN et
Sortir du Nucléaire Bugey

« La France, en 2015, a organisé la COP 21 qui a abouti à l'accord de Paris. C'est un événement exceptionnel qui a marqué le début de ce siècle et dont notre pays a été l'élément moteur. Les représentants de 195 états signataires de cet accord s'engageaient à réduire drastiquement leurs émissions de gaz à effet de serre dans les décennies qui viennent. Or, tous ces représentants (dont de nombreux Chefs d'État) sont bien conscients que la consommation électrique ne va pas baisser dans le futur : pour ne donner qu'un exemple, la seule création des monnaies virtuelles est un gouffre énergétique. Il est certain que ces consommations nouvelles d'énergie ne vont pas diminuer dans l'avenir et ne pourront pas être comblés par d'autres économies d'énergie. Les responsables politiques de tous ces pays signataires vont devoir se tourner (s'ils ne l'ont pas déjà fait !) vers une source productrice d'électricité à un coût raisonnable, non consommatrice de combustibles fossiles et produisant de façon continue et donc non intermittente, le plus grand nombre de kWh par km² occupé. Une seule source d'énergie répond à tous ces critères tout en étant, de plus extrêmement contrôlée : l'énergie nucléaire.

Ainsi, malgré ce que disent les détracteurs de cette énergie, 63 réacteurs nucléaires sont entrés en fonction depuis l'accident de Fukushima (33 réacteurs pendant la décennie précédente) et 53 sont en construction dans 19 pays.

La France exploite depuis plus de 50 ans cette source d'énergie, avec un succès universellement reconnu. Elle a, de plus, fait le choix judicieux d'inclure dans le cycle du combustible nucléaire le retraitement des combustibles irradiés dans son usine située sur le Site ORANO à La Hague. Ce choix a été guidé par l'ambition de répondre aux objectifs de développement durable et permet ainsi la réutilisation d'éléments valorisables tels que les actinides majeurs (plutonium et uranium 235) et une économie de près de 20% de matière nucléaire ! L'impact écologique est également important car on ne stocke alors que des déchets ultimes ne

représentant que 3 à 4% du combustible usé ! Ce n'est pas pour rien que la Chine souhaite retraiter ses combustibles usés avec l'aide de la France. Notre pays est le seul en effet à avoir une expérience de réussite industrielle complète dans ce domaine ! Il ne faut pas oublier, de plus, que l'avenir fera une part importante aux réacteurs surgénérateurs (la moitié des réacteurs de génération IV sont sur ce principe) et utiliseront donc du plutonium issu du retraitement de combustibles usés

En France, après une première phase de désactivation et refroidissement des éléments combustibles usés en piscine, auprès du réacteur, ceux-ci sont expédiés à l'usine de La Hague où, avant d'être retraités, ils sont à nouveau stockés dans d'autres piscines de désactivation. Au regard des projections à court et moyen terme des flux d'assemblages en provenance des CNPE, légèrement supérieurs aux capacités de retraitement de l'usine, il devient urgent de programmer la construction d'une extension des possibilités de stockage des futurs arrivages, même si on exclut une panne importante de la chaîne de retraitement.

En conséquence, la meilleure implantation pour une piscine de désactivation « nouvelle génération » ne peut être que le site de La Hague : sous-sol robuste et éprouvé, une seule manipulation et un seul transport entre le CNPE d'origine et celle-ci. Le stockage en piscine est très sûr : l'inertie thermique de ce grand volume d'eau, soumis à un échauffement extrêmement faible est telle qu'une coupure accidentelle du refroidissement n'aura aucun impact sur l'intégrité des assemblages avant la restitution de la source froide ou que des moyens de substitution, ne soient mis en oeuvre. L'implantation de cette nouvelle piscine permettra de continuer d'assurer dans les meilleures conditions le retraitement qui reste la meilleure option sur le plan de l'exploitation industrielle de l'énergie électronucléaire tout en respectant les exigences légitimes de la Sécurité Nucléaire. Il s'inscrit en lettres d'or dans la démarche PNGMDR et dans la pérennité du projet CIGEO.»

Yves Baron, Jacques Foos, Bernard Hellenbrand, Jean-Paul Martin en tant que membres des CLI du Cotentin directement impliqués par le stockage en piscine des combustibles usés (collège associatif et collège des personnalités qualifiées)

«Les piscines d'entreposage du combustible usé sont elles suffisamment sûres ?

La condition indispensable pour garantir la sûreté est le maintien du refroidissement des assemblages combustibles entreposés sous eau dans les piscines.

La demande de poursuite de fonctionnement des réacteurs de 900MWe au-delà de 40 ans, s'est accompagnée d'importantes modifications, ainsi un appoint en eau et un système de refroidissement complémentaire vont être installés. Dans son cahier N°2 de février 2021, l'ASN considère que « les moyens supplémentaires prévus par EDF constitueront des améliorations majeures de la sûreté des piscines d'entreposage du combustible , .. et permettront de répondre aux objectifs visés pour ce réexamen ».

A la différence du réacteur, les piscines fonctionnent à la pression atmosphérique et à une température de 50°C avec une masse d'eau très importante, ce qui amène à des scénarios accidentels à cinétique lente, ainsi il faudrait au moins 50 heures en cas de perte totale des moyens de refroidissement, pour atteindre le début du découverture du combustible entreposé, ce qui laisse amplement le temps pour la mise en place des parades prévues (intervention de la FARN par exemple).

En ce qui concerne le retraitement des combustibles usés, la stratégie retenue par la France (utilisation du combustible usé et du plutonium produit dans le combustible MOX) permet, d'une part de réduire l'utilisation d'uranium naturel et amène donc une économie des ressources, d'autre part permet de réduire le volume des déchets haute et moyenne activité à vie longue ainsi que les besoins d'entreposage. La France est l'un des rares pays pouvant maîtriser l'intégralité des technologies nécessaires au retraitement des combustibles usés, ce qui représente un avantage technique et commercial certain pour notre industrie.»

Donald BERQUEZ - membre SFEN et CLI de Gravelines

ANCCLI

3 Allée des Mûriers, 59 229 TETEGHEM, France

E-mail : yveslheureux@anccli.org

Site Internet : www.anccli.org

Tous droits réservés ANCCLI

Crédit de la photo de couverture :
Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN



La question n'est pas d'être pour ou contre les piscines d'entreposage de combustible nucléaire. Dans le cycle du combustible nucléaire, ces piscines sont incontournables...

...il est impératif d'assurer la plus grande transparence sur le taux d'occupation des piscines et les risques liés à leur saturation...

Au regard des projections à court et moyen terme des flux d'assemblages en provenance des CNPE, légèrement supérieurs aux capacités de retraitement de l'usine, il devient urgent de programmer la construction d'une extension des possibilités de stockage des futurs arrivages, même si on exclut une panne importante de la chaîne de retraitement.

Les moyens supplémentaires prévus par EDF constitueront des améliorations majeures de la sûreté des piscines d'entreposage du combustible.

En conséquence, la meilleure implantation pour une piscine de désactivation « nouvelle génération » ne peut être que le site de La Hague : sous-sol robuste et éprouvé, une seule manipulation et un seul transport entre le CNPE d'origine et celle-ci.

C'est en cas d'aléa entraînant un arrêt prolongé du retraitement, de la fabrication de MOx ou du transport que la situation pourrait devenir problématique. L'engorgement des piscines entraînerait l'arrêt de tout le parc nucléaire en quelques mois, menaçant ainsi l'approvisionnement électrique du pays et d'assurer la plus grande transparence sur le taux d'occupation des piscines et les risques liés à leur saturation.

On peut regretter l'impossibilité d'introduire dans le livre blanc, des études des coûts des différentes solutions techniques, faute de données disponibles.

