

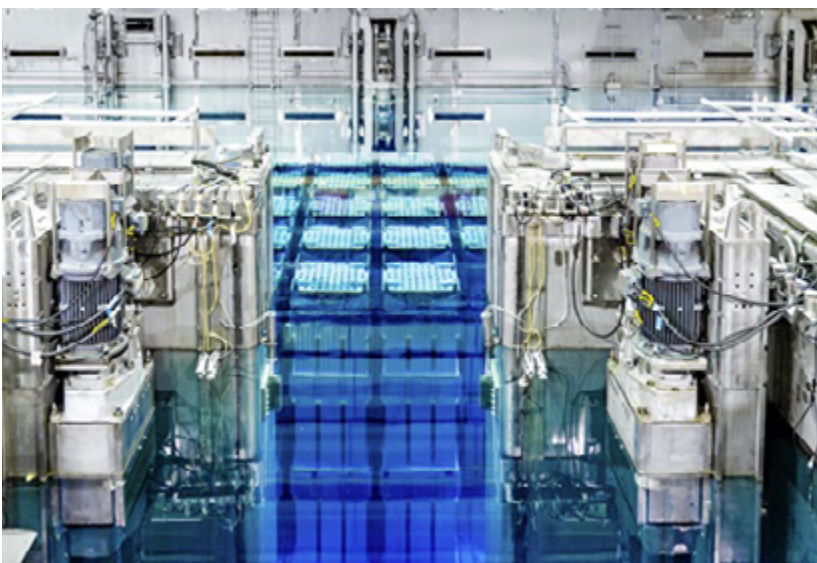
Les solutions d'entreposage des combustibles usés

Après avoir produit de l'énergie dans un réacteur, le combustible nucléaire devient du combustible usé. Celui-ci dégage encore une puissance thermique élevée et contient des radioéléments dont la radioactivité doit diminuer progressivement. Cette situation impose la mise en œuvre de solutions d'entreposage sûres et adaptées.

L'entreposage du combustible usé doit répondre à trois exigences fondamentales : évacuer la chaleur, protéger contre les rayonnements et confiner les substances radioactives. **Pour cela, deux solutions industrielles existent : l'entreposage sous eau et l'entreposage à sec.**

En préparation du débat public de 2019¹ sur la 5^{ème} édition du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR 2022-2026), la Commission particulière du débat public (CPDP) a ainsi animé une démarche de « clarification des controverses »² lors de laquelle le choix de la technique d'entreposage à privilégier pour répondre au besoin de capacités d'entreposage de combustibles usés, sous eau ou bien à sec, a été débattu de manière approfondie. La question a été posée à la fois dans le cas général et dans le cas français. Des arguments ont été exprimés par les différentes parties prenantes qui ont pris part à cette démarche (experts, exploitants, associations), et synthétisés par la CPDP. Dans ce cadre, l'IRSN³ a également produit, en 2018, un rapport d'expertise⁴ sur ce sujet.

En France, la filière a retenu la solution d'un entreposage sous eau pour assurer l'entreposage longue durée des combustibles usés, notamment les combustibles MOX. Ceux-ci sont ainsi acheminés vers l'usine Orano la Hague où ils sont ensuite placés dans des paniers entreposés dans des piscines.



Piscine d'entreposage des combustibles usés. Orano la Hague. Cherbourg. France.
© Larrayadiou Eric

La différence entre entreposage et stockage

Dans la gestion des matières et des déchets radioactifs, il faut distinguer les notions d'entreposage et de stockage :

- **Entreposage** : il s'agit d'une solution temporaire et réversible consistant à conserver des matières ou des déchets radioactifs pendant une durée limitée, dans l'attente d'un traitement ultérieur ou d'une solution définitive. Les installations sont conçues pour permettre la reprise du combustible.
- **Stockage** : solution définitive destinée à isoler les déchets radioactifs de l'environnement sur le très long terme (des milliers à des centaines de milliers d'années), sans intention de récupération ultérieure.

Qu'est-ce qu'une piscine d'entreposage ?

Il s'agit d'une installation permettant d'entreposer en toute sûreté des combustibles usés avant leur traitement. Les combustibles usés séjournent en piscine, sous 9 mètres d'eau, pendant 7 à 10 ans en moyenne, période durant laquelle ils baissent en température et leur radioactivité décroît ainsi de façon naturelle.

1 CNDP, « Compte rendu du débat public », Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), 2019-2021

2 CNDP, « Clarification des controverses techniques », note de synthèse, 21 mars 2019

3 L'IRSN a fusionné le 1er janvier 2025 avec l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) pour devenir l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR)

4 IRSN, « Entreposage du combustible nucléaire usé : concepts et enjeux de sûreté », Rapport n°2018-00003, 2018

Caractéristiques des entreposages sous eau et à sec

Le même niveau de sûreté en exploitation est atteignable par conception pour les deux techniques d'entreposage, sous eau ou bien à sec, mais elles présentent des caractéristiques différentes qui amènent à privilégier l'une ou l'autre solution selon la nature des combustibles à entreposer, la durée d'entreposage envisagée et la destination future.

L'entreposage sous eau

L'entreposage sous eau consiste à placer le combustible utilisé dans des piscines remplies d'eau. Ce mode d'entreposage est systématiquement utilisé immédiatement après la sortie du réacteur.

L'entreposage en piscine (sous eau) exploite les bonnes propriétés physiques de refroidissement de l'eau, directement en contact avec l'assemblage combustible. Des systèmes actifs redondants et sécurisés refroidissent l'eau, assurent sa circulation et permettent de maintenir la température des gaines de l'assemblage combustible sous 50°C environ, ce qui favorise la conservation des assemblages sur le long terme, sans dégradation. Les combustibles sont par ailleurs

facilement accessibles et leur état de conservation peut être ainsi aisément inspecté à tout moment. Concernant la sécurisation du refroidissement, en plus des moyens redondants et secourus prévus, l'importante quantité d'eau offre au système une grande inertie thermique qui facilite, si nécessaire, l'apport de moyens complémentaires.

L'entreposage sous eau est donc privilégié pour un entreposage de longue durée des combustibles utilisés car il apporte les meilleures garanties de bonne tenue des assemblages sur la durée, notamment en vue de leur désentreposage, tout en réduisant les opérations logistiques et de manutention.

+ AVANTAGES

- ▶ Protection contre les rayonnements ionisants très efficace ;
- ▶ Combustible maintenu à faible température (35-50°C) : favorable à la maîtrise du vieillissement des gaines ;
- ▶ Capacités de refroidissement importantes ;
- ▶ Bonne inertie thermique ;
- ▶ Facilité de surveillance du combustible.

- INCONVÉNIENTS

- ▶ Risque de découverture des combustibles (maintien de l'eau en toutes circonstances → ébullition – agressions externes) ;
- ▶ Utilisation de systèmes actifs (pompes ...)
- ▶ Bâtiments de grande taille avec des contraintes de tenue aux agressions ;
- ▶ Difficulté à localiser les pertes de matière première barrière ou les fuites de liner.

L'entreposage à sec

L'entreposage à sec consiste à placer le combustible utilisé dans des conteneurs étanches ou des installations ventilées. Cette technique utilise la circulation naturelle de l'air ambiant (convection) pour évacuer la chaleur des combustibles. Il en résulte des limitations sur la puissance thermique des combustibles qu'il est possible d'entreposer

à sec. Ce mode d'entreposage nécessite des combustibles utilisés suffisamment refroidis, ce qui impose quoi qu'il en soit une phase préalable d'entreposage sous eau. En cas de détection d'une anomalie, l'accès aux combustibles nécessite de disposer d'installations spécifiques (par exemple « cellule chaude ») pour rouvrir l'emballage.

+ AVANTAGES

- ▶ Protection contre les rayonnements ionisants assurée par les structures ;
- ▶ Refroidissement passif par circulation d'air ;
- ▶ Exploitation simple ;
- ▶ En cas d'accident : nombre de combustibles concernés moins important, puissance thermique plus faible, conséquences plus limitées pour l'environnement.

- INCONVÉNIENTS

- ▶ Evacuation plus faible de la puissance thermique des combustibles : 2 kW/assemblage (plus pour des chargements partiels ou hétérogènes) / pour le MOX, refroidissement préalable en piscine nécessaire potentiellement important ;
- ▶ Température du combustible, notamment au chargement (350-450°C) : sollicitations mécaniques des gaines et accélération des phénomènes de vieillissement ;
- ▶ Surveillance de l'état des combustibles difficiles ;
- ▶ Densité d'entreposage plus faible ;
- ▶ Retour d'expérience inexistant pour les opérations de reprise et pour les combustibles MOX pour des entreposages de longue durée ;
- ▶ Retour d'expérience faible en France (référentiel de sûreté, surveillances, installations supports, etc.).

Les orientations nationales à l'issue du débat public sur le PNGMDR 2019-2022

Au regard de ces éléments et à l'issue des échanges et analyses produites lors du débat public de 2019 sur le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), le Ministère de la transition écologique et l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASN), dans leur décision de février 2020⁵, ont demandé :

- **De poursuivre le développement de nouvelles capacités d'entreposage centralisées sous eau**, solution qui apporte dès aujourd'hui des garanties sur la capacité à manutentionner et à transporter les assemblages après un entreposage de longue durée, et permet de laisser toutes les options de gestion ultérieure ouvertes (traitement pour recyclage ou bien stockage) ;

- **Et d'étudier en parallèle les dispositions associées à de l'entreposage à sec.**

Ainsi, le PNGMDR 2022-2026, publié en décembre 2022, précise que « s'agissant des capacités d'entreposage des combustibles usés, le cinquième PNGMDR réaffirme le besoin d'une piscine d'entreposage centralisé du combustible usé tout en ouvrant la voie à l'étude, voire au développement de capacités d'entreposage à sec pour répondre aux besoins complémentaires de nouvelles capacités et en renforçant la démarche d'anticipation de ces besoins ». Dans ce cadre, plusieurs études ont été menées. En 2021, Orano a notamment déposé auprès de l'ASN un Dossier d'options de sûreté (DOS) relatif à un projet de construction d'un bâtiment d'entreposage à sec pour les combustibles usés de types MOX et URE sur le site de la Hague.

Apports du débat public sur le PNGMDR 2027-2031

Le compte rendu du débat public sur la 6^{ème} édition du PNGMDR 2027-2031⁶ a été publié en avril 2026. Ce débat a mis en évidence :

- Une forte préoccupation concernant la saturation des capacités d'entreposage, en particulier des piscines ;
- Le fait que l'entreposage sous eau reste aujourd'hui la solution industrielle de référence, maîtrisée et disponible ;
- Une attention portée à l'entreposage à sec, reconnu comme une option crédible, largement utilisé à l'international.

À ce stade, l'entreposage sous eau reste toutefois privilégié en France. En effet, le choix d'une solution ou de l'autre dépend des choix nationaux en termes de gestion des combustibles usés. Ainsi, en France, le choix d'utiliser l'entreposage en piscine est d'abord lié à la décision de traiter et de recycler les combustibles usés.



Atelier sur les impacts territoriaux à Cherbourg le 27/01/2026 dans le cadre du débat public sur le PNGMDR 2027-2031

L'entreposage sous eau dans le projet Aval du futur

Les perspectives à moyen et long terme mettent en évidence un besoin de nouvelles capacités d'entreposage à partir de 2040. Aujourd'hui, les bassins d'entreposage sous eau existants sur le site Orano la Hague sont autorisés, par décret, à accueillir 17 600 tonnes de combustibles usés. **À terme, le projet Aval du futur prévoit de nouvelles installations qui permettraient d'entreposer jusqu'à**

19 500 tonnes de combustibles dans trois bassins de 6 500 tonnes chacun, pour répondre aux besoins d'EDF et des clients internationaux. Ces nouvelles installations remplaceraient alors les installations actuelles, qui seraient démantelées. Cette évolution permettrait d'assurer une gestion sûre et flexible des combustibles usés, y compris au-delà de 2040.

⁵ « Décision du 21 février 2020 relative au plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), Journal officiel de la République française, 25 juin 2020

⁶ CNDP, Compte rendu débat public sur la 6^{ème} édition du PNGMDR, publié en avril 2026