

L'industrie de l'Energie nucléaire utilise, en France, des assemblages de crayons de pastilles d'Uranium naturel enrichi (UNE). Ces assemblages sont utilisées pendant une durée de 3 à 4 ans. Ensuite ils sont transformés afin d'être stockés. En 2018, La France possédait 3880 m<sup>3</sup> de déchets radioactifs de Haute Activité entreposés en attente de projet Cigéo, projet de stockage de déchets radioactifs de Haute et Moyenne activité à vie longue en formation géologique profonde. Toutefois l'Uranium de ces crayons dégage encore énormément d'énergie et de radiations, il faut donc faire diminuer leur activité afin de pouvoir les transformer, c'est la période de refroidissement. Le problème actuel est la capacité d'entreposage par rapport à la quantité produite de combustible utilisé?

### Etat des connaissances

- En France, le système de refroidissement du combustible utilisé est la mise en piscines de refroidissement. D'abord sur site puis à La Hague (ORANO)

Crayons	sur site (piscine réacteur)	Hors site ( La Hague)
Uranium naturel Enrichi	18 mois	7 à 10 ans
MOX	30 mois	Plusieurs décennies

- La gestion des déchets d'Uranium en France se fait en cycle fermé, c'est-à-dire que l'on réutilise le combustible utilisé pour le MOX. Puis Le MOX utilisé vient se rajouter à l'uranium utilisé dans la gestion des déchets.

- Pour l'instant et en attente du projet Cigéo, réalisation d'un stockage en formation géologique profonde, tout le combustible utilisé, est entreposé en piscine à La Hague, hors le combustible recyclé en MOX.



Photo de l'une des piscines de l'établissement Orano Cycle de La Hague source : ORANO

En France les deux combustibles utilisés dans les réacteurs sont : l'uranium naturel enrichi (UNE) et les oxydes mixtes d'uranium et de plutonium (combustible MOX).

- À l'international, il y a plusieurs politiques d'entreposage :

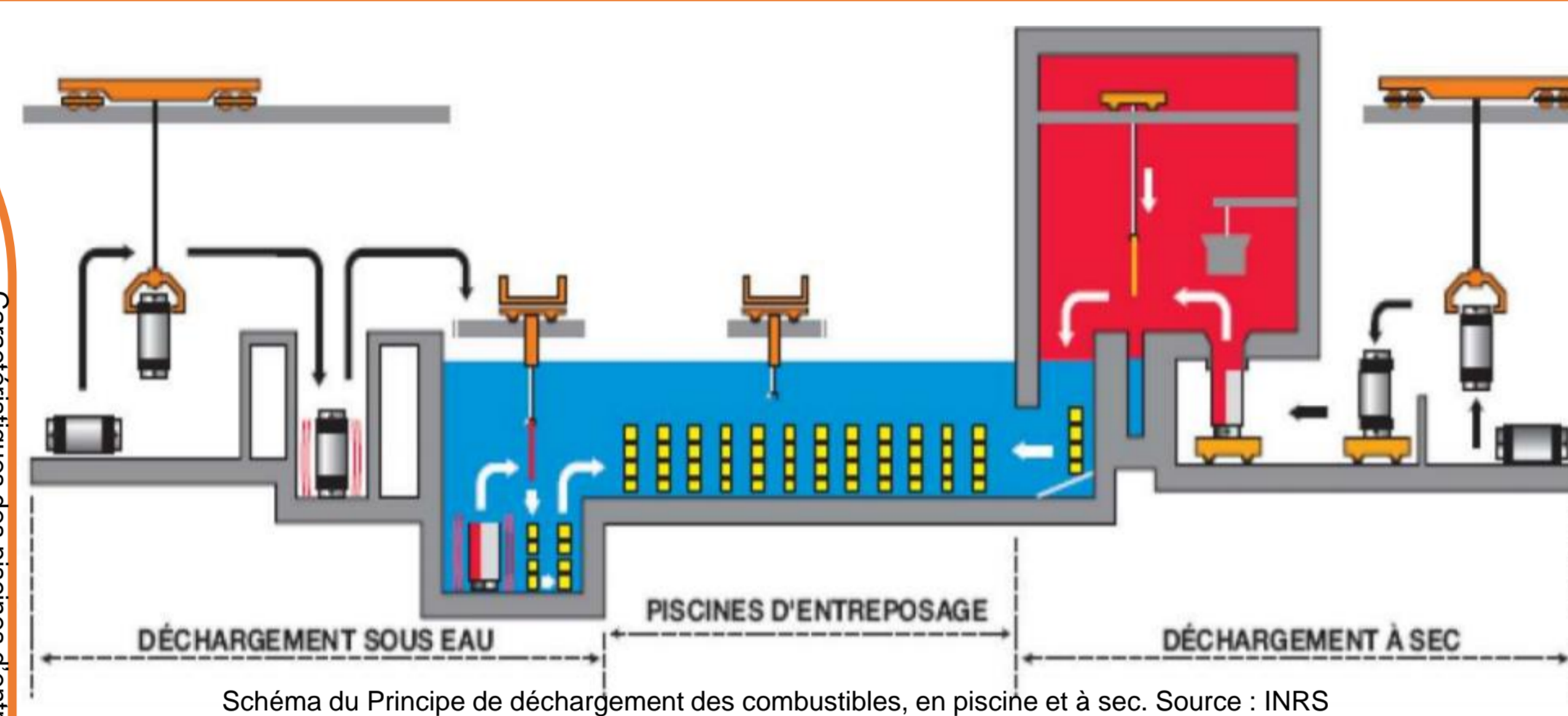
Pays	En piscine	À sec
Espagne / Finlande	X	
Japon / Russie	X	X
Kazakhstan		X

- Le problème français est le manque de place et la menace de l'érosion sur les piscines de La Hague, car nous remplissons des piscines qui ne sont pas vidées. Saturation possible : 2030

### Le refroidissement « en piscine »

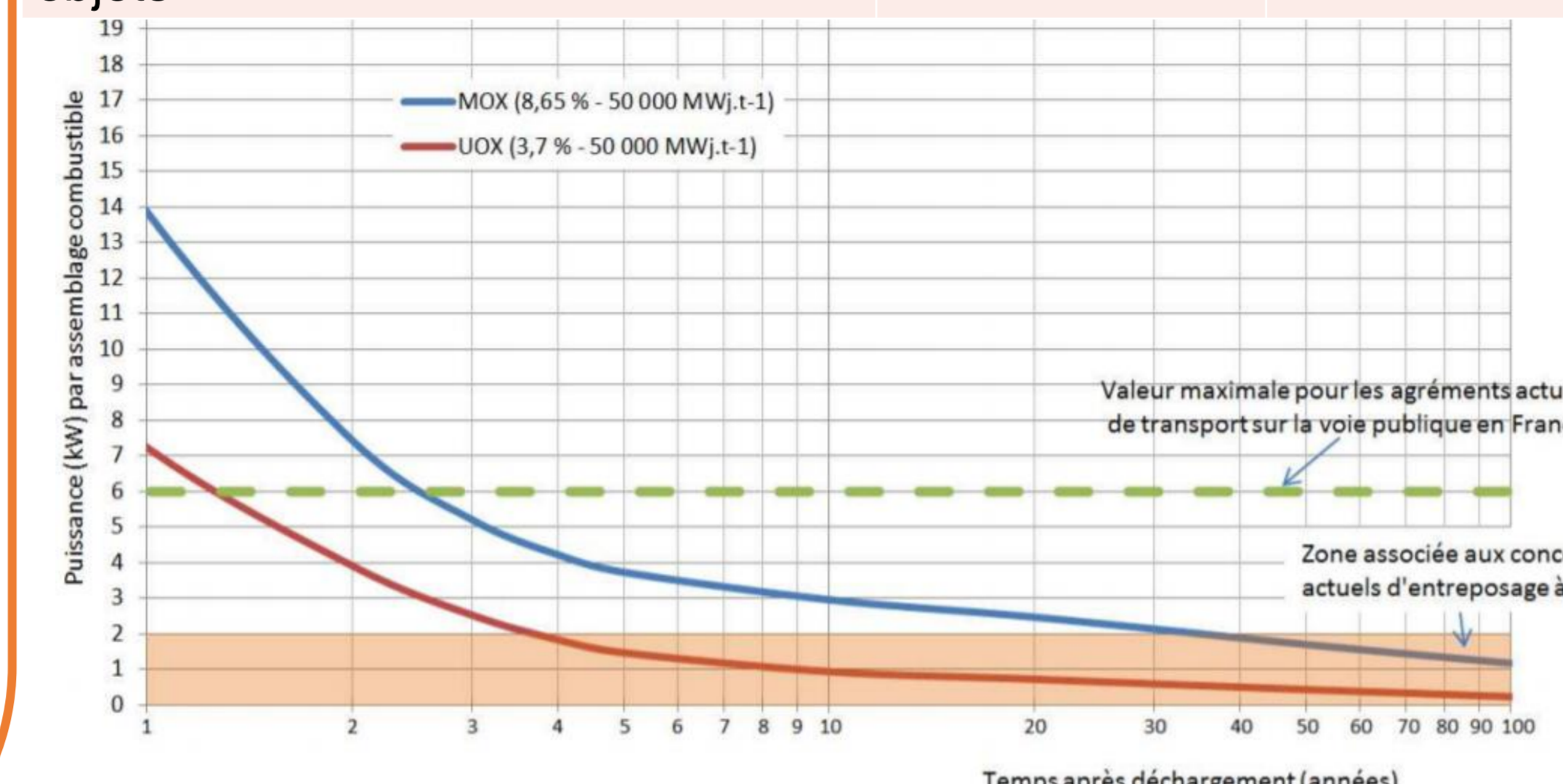
Il y a 2 grands concepts d'entreposage en piscine:

CARACTÉRISTIQUES	PISCINE RÉACTEUR DE TYPE BK	PISCINE ORANO LA HAGUE
Concept d'entreposage	En râtelier assemblés et posés au fond de la piscine	Dans des paniers, une piscine à deux profondeurs d'eau <ul style="list-style-type: none"> <li>manipuler les crayons et les mettre dans les paniers</li> <li>bassin, moins profonde pour stocker les paniers</li> </ul>
Capacités	selon le site	14 à 400 tonnes
Durée de vie prévue	30 à 40 ans	40 ans
Chaleur dégagée (maxi)	2,5 à 4,5 MW	1 à 16 MW
T° de l'eau (maxi)	50°C	40°C
Activité de l'eau (tritium)	7,5 GBq/m <sup>3</sup>	0,037 GBq/m <sup>3</sup>



Objets fondamentaux de sûreté des installations d'entreposage

OBJETS FONDAMENTAUX DE SÛRETÉ DES INSTALLATIONS D'ENTREPOSAGE	EN PISCINE	À SEC
Protection des personnes et de l'environnement contre les rayonnements ionisants	Par eau	Barrière de matériaux solides
Confinement des matières radioactives, en maîtrisant tout transfert de radioéléments vers l'environnement, en situations normale et incidentelles et en limitant les rejets en cas d'accident.	Surveillance des contamination dans l'eau et des boues + bassins de rétention	Plus petite quantité + plusieurs barrières
Prévention des accidents de criticité	Quantité limitée de tritium + alarme	NB
Évacuation de la puissance thermique issue des substances radioactives, en maintenant un refroidissement suffisant	Circuit d'eau fermé	Circuit de ventilation
Surveiller et gérer les objets radioactifs entreposés	Capteurs et mesures	Capteurs mesures
Disposer des équipements nécessaires à la reprise de ces objets	Pinces + colis	Grue + colis



Courbes de décroissance de la puissance thermique d'un combustible UOX et d'un combustible MOX, et Durée de refroidissement nécessaire avant entreposage à sec, pour des combustibles irradiés dans un REP en France; Source : INRS

### Le refroidissement « à sec »

Pour l'entreposage « à sec », il faut que les combustibles soient conditionnés, soit dans un panier introduit dans un emballage avec un mécanisme de fermeture réversible, par exemple visé; soit dans un panier introduit dans un conteneur avec un couvercle soudé de façon étanche.

Il y a 4 types d'entreposage à sec:

Type d'entreposage	Exemple de concept
Casemate ou puit	MVDS (Modular Vault Dry Store) d'Hongrie
Silo vertical en surface, semi-enterré ou enterré.	MACSTOR d'AECL au Canada
Silo horizontal	NUHOMS d'ORANO aux USA
Emballage	TN 24 d'Orano en Belgique

- POINTS POSITIFS**
- ✓ Protection radiologique assurée par les structures
  - ✓ Refroidissement passif
  - ✓ Exploitation très simple
  - ✓ En cas de ruptures de confinement :
    - ✓ Nombre de combustible moins important
    - ✓ Puissance thermique plus faible

- POINTS NEGATIFS**
- ✗ Faible capacité d'évacuation de la puissance thermique
  - ✗ Pour le MOX, nécessité d'un passage de plusieurs dizaines d'années en piscine avant passage « à sec ».
  - ✗ Température élevée du combustible
  - ✗ Difficulté pour surveiller le combustible

- CONCLUSION du système « à sec »**
- Adapté aux combustibles très refroidis
  - Gestion passive
  - Mais difficulté à surveiller
  - Vulnérable aux attaques externes
  - Pas de valorisation de l'énergie de refroidissement

- POINTS POSITIFS**
- ✓ Protection radiologique très efficace
  - ✓ Combustible maintenu à faible température
  - ✓ Capacités de refroidissement importantes
  - ✓ Inertie thermique importante
  - ✓ Facilité de surveillance des assemblages

- POINTS NEGATIFS**
- ✗ Risque de découverture des assemblages
  - ✗ Utilisation de systèmes actifs
  - ✗ Conception complexe des installations avec de nombreuses contraintes
  - ✗ Difficulté à localiser des pertes de confinement de la première barrière ou des fuites de liner

- CONCLUSION du système « en piscine »**
- Idéal pour des combustibles peu refroidis
  - Mais besoin de surveillance constante
  - Vulnérable au manque d'eau ou/et d'électricité,
  - Valorisation de l'énergie de refroidissement

### Conclusion

Les deux systèmes répondent à des besoins différents. Les normes françaises forcent à l'utilisation de méthode mixte. Grâce aux systèmes en piscine, on peut atteindre des niveaux de puissance compatibles avec le transport. Le but étant de passer à un système de possible « à sec » à l'ouverture de Cigéo horizon 2030, qui devrait apporter une solution au problème de capacité dans les piscines actuelles.

**BIBLIOGRAPHIE**

- ANDRA. « Inventaire national des matières et déchets radioactifs 2020 ». Inventaire. Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs, 2020. [https://www.andra.fr/sites/default/files/2020-02/Andra-MAJ\\_Essentiels\\_2020-Web.pdf](https://www.andra.fr/sites/default/files/2020-02/Andra-MAJ_Essentiels_2020-Web.pdf).
- CHOLLET, Pascal, et Yves GUENON. « INTERIM DRY STORAGE SYSTEM TECHNOLOGIES AND INNOVATIONS VARNA 2002 ». COGEMA LOGISTICS, 17 mai 2002. <https://ins.laea.org/collection/NCL/CollectionStore/Public/3307033070688.pdf?r=1&r=1>.
- Holtec International. « HI-STORM 100 ». Consulté le 7 décembre 2020. <https://holteinternational.com/products-and-services/nuclear-fuel-and-waste-management/dry-cask-and-storage-transport/hi-storm/hi-storm-100/>.
- IRSN. « Analyse des possibilités d'entreposage à sec de combustibles nucléaires usés de type MOX ou URE ». Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, avril 2019. [https://www.irsn.fr/fr/expertise/rapports\\_expertise/Documents/surete/IRSN\\_Rapport-2019-04265\\_Analyse-Possibilites-Entreposage-MOX-URE.pdf](https://www.irsn.fr/fr/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN_Rapport-2019-04265_Analyse-Possibilites-Entreposage-MOX-URE.pdf).
- IRSN. « Entreposage du combustible nucléaire usé : concepts et enjeux de sûreté ». Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, juin 2019. [https://www.irsn.fr/fr/expertise/rapports\\_expertise/Documents/surete/IRSN\\_Rapport-2019-00003\\_Entreposage-du-combustible-nucleaire-usa.pdf](https://www.irsn.fr/fr/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN_Rapport-2019-00003_Entreposage-du-combustible-nucleaire-usa.pdf).
- Laradioactivite.com. « Radioactivité : Entreposages combustibles usés », 2018. [https://www.laradioactivite.com/site/pages/Entreposage\\_Combustibles\\_Uses.htm](https://www.laradioactivite.com/site/pages/Entreposage_Combustibles_Uses.htm).
- ORANO US. « TN Americas Reactor Services - AREVA Nuclear Materials ». Consulté le 7 décembre 2020. <http://us.aveva.com/EN/home/2376/aveva-nuclear-materials-in-americas-reactor-services.html#tab=tab-2>.

