

ANNEXE

1. INVENTAIRE DES COMBUSTIBLES USES DE PROPRIETE EDF

EDF en tant qu'exploitant d'un parc de production nucléaire est propriétaire et responsable des combustibles servant ou ayant servi au fonctionnement dans ce parc. L'inventaire de combustibles usés de propriété EDF fait l'objet d'une déclaration annuelle au titre de « l'Inventaire National ». Toute installation d'entreposage confondue (dans les piscines des CNPE et dans les piscines de La Hague), le tonnage total de métal lourd de chaque type de combustible usé REP, EL4 et SPX déclaré au 31/12/2021 est reporté dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Inventaire de l'ensemble des combustibles usés EDF au 31/12/2021

Type de combustible	Tonnage (tml)
UNE	11 163,1
URE	626,7
MOX	2 395
EL4	49,4
SPX	176,2

2. CADRE REGLEMENTAIRE DE GESTION DES COMBUSTIBLES USES

La gestion des combustibles nucléaires usés répond aux exigences réglementaires en vigueur énoncées dans le code de l'environnement. Ainsi, l'article L542-1-2 de ce code indique que « *la réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs est recherchée notamment par le retraitement des combustibles usés et le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs* ». Par conséquent, la stratégie du traitement-recyclage des combustibles usés prévaut en France. Actuellement, tous les combustibles à l'uranium naturel dits « UNE » sont traités selon la stratégie de mono-recyclage, les assemblages usés URE et MOX étant quant à eux prévus d'être valorisés dans la stratégie de multi-recyclage en REP puis en RNR.

3. ELIGIBILITE A L'ENTREPOSAGE A SEC DES COMBUSTIBLES USES REP

La stratégie de mono-recyclage actuelle nécessite de disposer facilement des assemblages usés UNE afin de les traiter. Industriellement, cette stratégie écarte donc de fait les assemblages usés UNE de l'inventaire des combustibles usés REP pouvant théoriquement être entreposés à sec présenté dans le Tableau 1 ci-dessus. En effet l'entreposage à sec va complexifier la reprise des assemblages pour permettre leur traitement ultérieur. Cependant, et à titre impérieux¹, il serait possible d'entreposer des combustibles UNE à sec. Les assemblages MOX et URE sont ainsi les combustibles usés REP susceptibles d'être entreposés à sec en attendant leur valorisation à moyen/long terme.

Dans son rapport², l'IRSN considère une « valeur repère » de puissance thermique maximale de 2 kW/assemblage pour pouvoir réaliser de l'entreposage à sec. Seuls les assemblages entreposés dans les piscines de La Hague satisfont cet ordre de grandeur de puissance thermique. Ainsi, et à des fins de simplification de l'exercice, seuls les assemblages entreposés dans les piscines de La Hague au 31/12/2021 sont considérés pour la suite de ce travail.

Par rapport à **une puissance thermique par assemblage inférieure à 2 kW**, la Figure 1 illustre l'évolution de l'éligibilité de l'inventaire des combustibles usés URE/MOX EDF entreposés à La Hague au 31/12/2021.

¹ Eventualité où il s'avérerait nécessaire de garantir une capacité d'entreposage suffisante pour assurer la robustesse du cycle du combustible, et sous condition que l'ensemble des préalables techniques et réglementaires soient effectifs

² Rapport IRSN n°2019-00265 : « Analyse des possibilités d'entreposage à sec des combustibles nucléaires usés de type MOX ou URE »

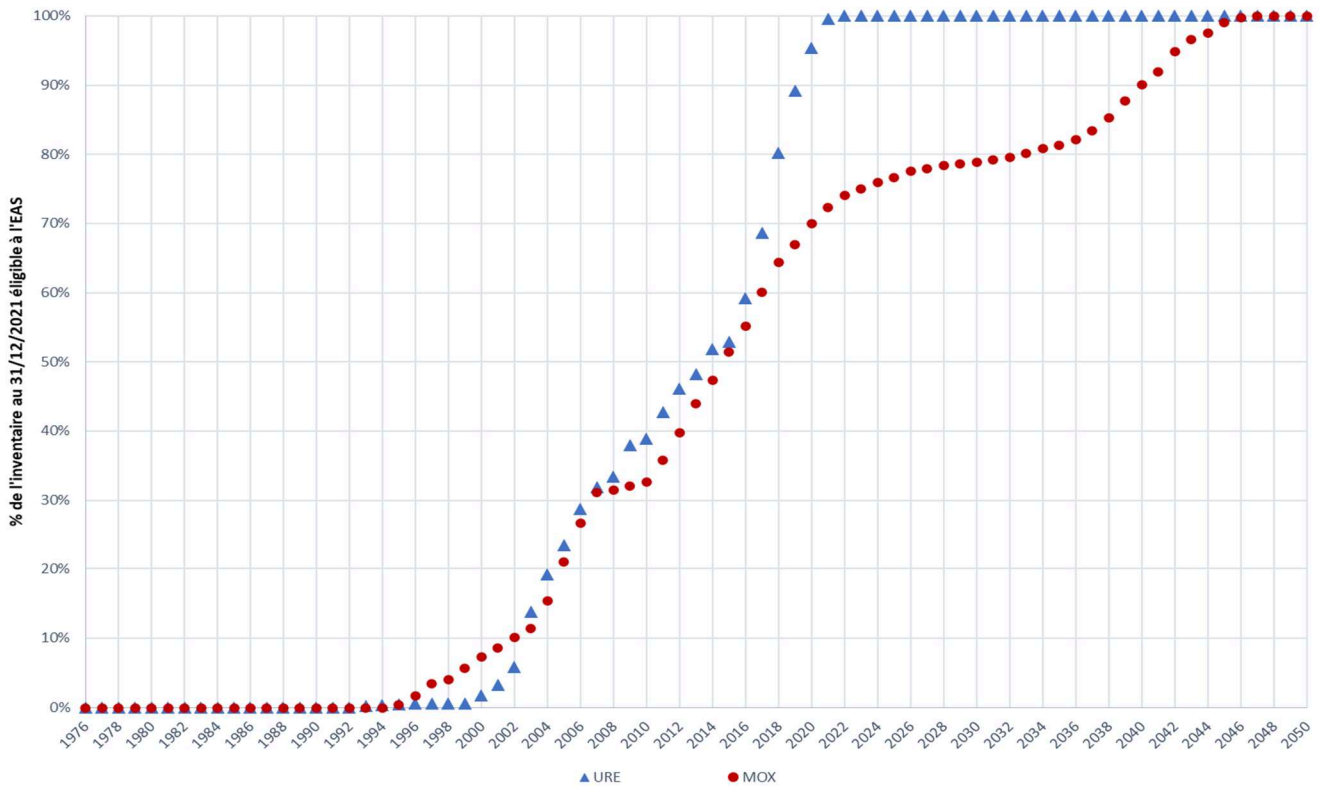


Figure 1 : Evolution de l'éligibilité à l'entreposage à sec des assemblages URE et MOX
Inventaire à La Hague au 31/12/2021 – critère $P_{ther} < 2 \text{ kW/assemblage}$

De la Figure 1, on peut conclure qu'en 2022, **près de 1900 tmi seraient éligibles à l'entreposage à sec en se basant sur le critère unique de puissance thermique maximale par assemblage**. L'inventaire se répartit comme suit :

- 100% de l'inventaire des combustibles URE serait éligible à l'entreposage à sec,
- 74% de l'inventaire des combustibles MOX serait éligible à l'entreposage à sec.

Afin de toujours disposer de capacités suffisantes d'entreposage des combustibles utilisés pour assurer la robustesse du cycle du combustible, EDF étudie avec Orano la possibilité de mettre en œuvre un entreposage à sec en France. Dans le cadre de ces études, Orano a proposé un concept reposant sur le nouvel emballage TN Eagle®. Ce choix résulte de l'ajustement des principaux paramètres suivants :

- Pour être le plus adhérent avec le référentiel français du transport des combustibles usés, utilisation d'un concept mettant en œuvre un emballage métallique de type « dual-purpose » assurant les fonctions de transport puis d'entreposage à sec,
- Utilisation d'un emballage métallique permettant une reprise plus aisée de combustibles usés lors du dés-entreposage,
- Emballage à même d'être exploité dans les installations actuelles de La Hague, en particulier le respect de la charge maximale d'utilisation des ponts de manutention
- Concept permettant de tenir, si besoin, des cadences annuelles de production de l'ordre d'une dizaine par an,

Après une étude de faisabilité puis d'Avant-Projet Sommaire (APS), les principaux critères à respecter pour la constitution des plans de chargement du TN Eagle[®] sont, pour les assemblages d'EDF, reportés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Principaux critères de dimensionnement pour les plans de chargement des TN Eagle[®]

Type de combustible	Puissance thermique max (W/assemblage)	Temps de refroidissement minimum (années)
UNE & URE	920	14
MOX	1 210	26

Pour être entreposable dans le concept TN Eagle aujourd'hui disponible, la puissance thermique maximale des assemblages usés est sensiblement plus faible que la valeur repère jusqu'alors considérée en première approche par l'IRSN. Par ailleurs, au critère de puissance thermique vient s'ajouter un critère de temps de refroidissement pour des raisons de radioprotection en entreposage. Ces deux critères viennent ainsi restreindre un peu plus l'inventaire des assemblages usés entreposables à sec industriellement.

En considérant ces critères de dimensionnement du TN Eagle[®], et sur la base de l'inventaire des combustibles URE/MOX entreposés dans les piscines de La Hague au 31/12/2021, il est possible de retracer une nouvelle chronique d'éligibilité à l'entreposage à sec de l'inventaire URE/MOX, représentée en Figure 2.

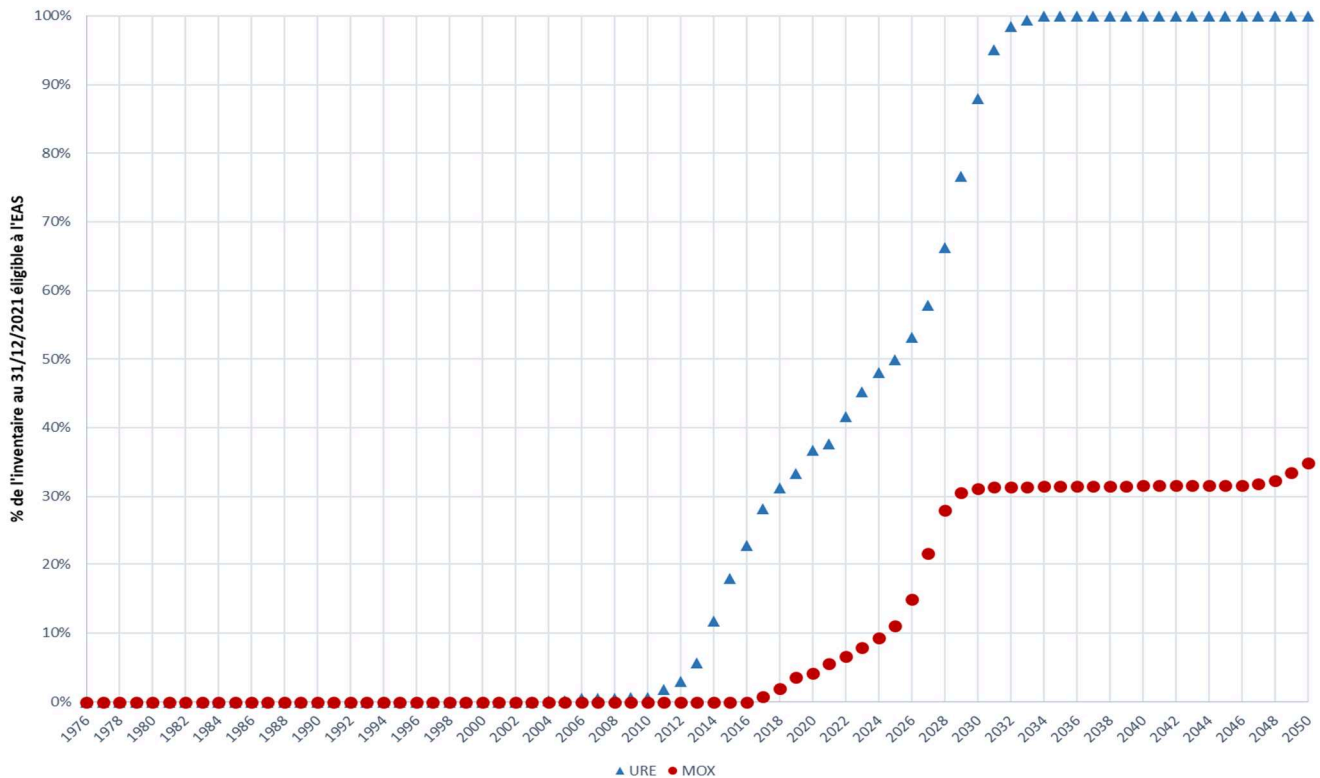


Figure 2 : Evolution de l'éligibilité à l'entreposage à sec des assemblages URE et MOX
 Inventaire à La Hague au 31/12/2021
 URE : $P_{ther} < 920$ W/assemblage & $TR_{min} > 14$ ans - MOX : $P_{ther} < 1\ 210$ W/assemblage – $TR_{min} > 26$ ans

L'inventaire réellement éligible à l'entreposage à sec est plus faible et disponible plus tardivement que celui précédemment exposé en Figure 1 :

- Pour les assemblages URE, la totalité de l'inventaire entreposable à sec n'est disponible qu'à l'horizon 2034,
- Pour les assemblages MOX usés, du fait de l'évolution des gestions (augmentation de la teneur Pu) et de leur plus lente décroissance thermique, la part éligible à l'entreposage à sec reste quasiment stable à 31% de l'inventaire initial à partir de 2029.

D'ici à 2029, et de manière progressive, c'est donc un potentiel d'environ 1000 tmlt de mélange URE/MOX qui serait potentiellement entreposable à sec. C'est la raison pour laquelle le concept détaillé dans le DOS déposé en novembre 2021 par Orano pour le bâtiment d'entreposage à sec, présente un inventaire total pouvant atteindre 900 tmlt.

4. ELIGIBILITE A L'ENTREPOSAGE A SEC DES COMBUSTIBLES EL4

Les combustibles EL4 sont d'ores et déjà entreposés à sec dans l'installation CASDAD du CEA Cadarache. Par ailleurs, leur entreposage ne constitue pas un enjeu par rapport à celui des assemblages REP vis-à-vis desquels des nouvelles capacités sont nécessaires.

5. ELIGIBILITE A L'ENTREPOSAGE A SEC DES COMBUSTIBLES SPX

Le cas des combustibles issus du fonctionnement du réacteur Superphénix (SPX) est quelque peu différent des combustibles REP précédemment évoqués. En effet, compte-tenu de la faible durée de fonctionnement de ce réacteur et de la présence d'un cœur neuf fabriqué et n'ayant pu être utilisé suite à la fermeture définitive du réacteur, les combustibles ont soit vécu une très faible irradiation, soit aucune irradiation. Le potentiel énergétique des assemblages reste encore très important. Ce sont des contraintes de criticité uniquement qui limitent le chargement (pas d'enjeu radioprotection) du fait justement de la faible irradiation des assemblages.

Les combustibles SPX sont actuellement entreposés dans la piscine de l'Atelier Pour l'Evacuation des Combustibles (APEC) sur le site de Creys-Malville (INB141). Le décret d'autorisation de cette installation prévoit une fin d'exploitation au 31/12/2035. Dans cet objectif, EDF étudie avec Orano plusieurs scénarios dont la faisabilité d'entreposer à sec l'ensemble de ces combustibles dans l'attente d'une solution d'entreposage pérenne sous eau. Les résultats de cette étude ont montré que l'ensemble de l'inventaire pourrait être éligible à l'entreposage à sec au moyen d'un maximum de cinquante emballages de type TN Eagle[®]. De plus, cela requiert des adaptations de l'installation APEC afin de minimiser le nombre d'emballages et donc de transport, de pouvoir transporter des mélanges de combustibles neufs avec des assemblages faiblement irradiés³ et de disposer d'un site d'entreposage à sec à même de les recevoir. L'ensemble de ces points sont en cours d'études.

A noter également qu'EDF étudie d'autres solutions techniques pour entreposer les combustibles SPX.

Enfin, il convient de préciser que, tout comme pour les assemblages EL4, l'entreposage des assemblages SPX ne constitue pas un enjeu par rapport à celui des assemblages REP vis-à-vis desquels des nouvelles capacités sont nécessaires.

³ Ce qui est interdit dans la réglementation actuelle sur les transports de matières radioactives

6. CONCLUSION

Le traitement des combustibles usés (UNE) selon la stratégie du mono-recyclage écarte la plus grande part de l'inventaire EDF. Hormis les cas des assemblages EL4 et SPX qui ne constituent pas un enjeu majeur par rapport à la sécurisation à long terme de l'entreposage des combustibles usés, les quantités éligibles industriellement à l'entreposage à sec grâce au concept d'emballage TN Eagle déjà développé atteignent environ 1000 tml à l'horizon 2030.

Par ailleurs, même si les solutions techniques existent ou pourraient exister, la mise en œuvre effective d'une solution d'entreposage à sec en France requiert les prérequis suivants :

- Disposer d'une Installation Nucléaire de Base (INB) disposant des autorisations réglementaires nécessaires pour accueillir ce type d'entreposage,
- Disposer d'une structure d'entreposage à sec dont le concept doit être approuvé par les autorités françaises (ASN, SHFDS, etc.),
- Disposer des moyens industriels et techniques permettant de réaliser les étapes de chargement des assemblages et préparation des emballages pour leur entreposage à sec,

Actuellement, aucun de ces prérequis n'existe ou n'est opérationnel en France pour les combustibles de type REP/RNR. EDF dans le cadre de la sécurisation des entreposages de combustibles usés travaille avec Orano dans la mise en œuvre d'une telle installation. Conformément aux demandes du PNGMDR, ce travail a donné lieu au dépôt, en novembre 2021, auprès de l'ASN d'un Dossier d'Options de Sureté (DOS)⁴ pour cette future installation d'entreposage à sec.

Les éléments quantitatifs sur la part de l'inventaire entreposable à sec ont été détaillés dans le présent document. Pour autant, il est important de rappeler que l'ensemble des travaux réalisés dans ce cadre visent à sécuriser l'entreposage des combustibles usés afin d'assurer la résilience nécessaire du cycle du combustible dans un horizon court terme en attendant la mise en œuvre de la piscine d'entreposage centralisé d'EDF.

⁴ Entreposage à sec – Dossier d'Options de Sureté (DOS) - ELH-2021-066232 – 04/11/2021