



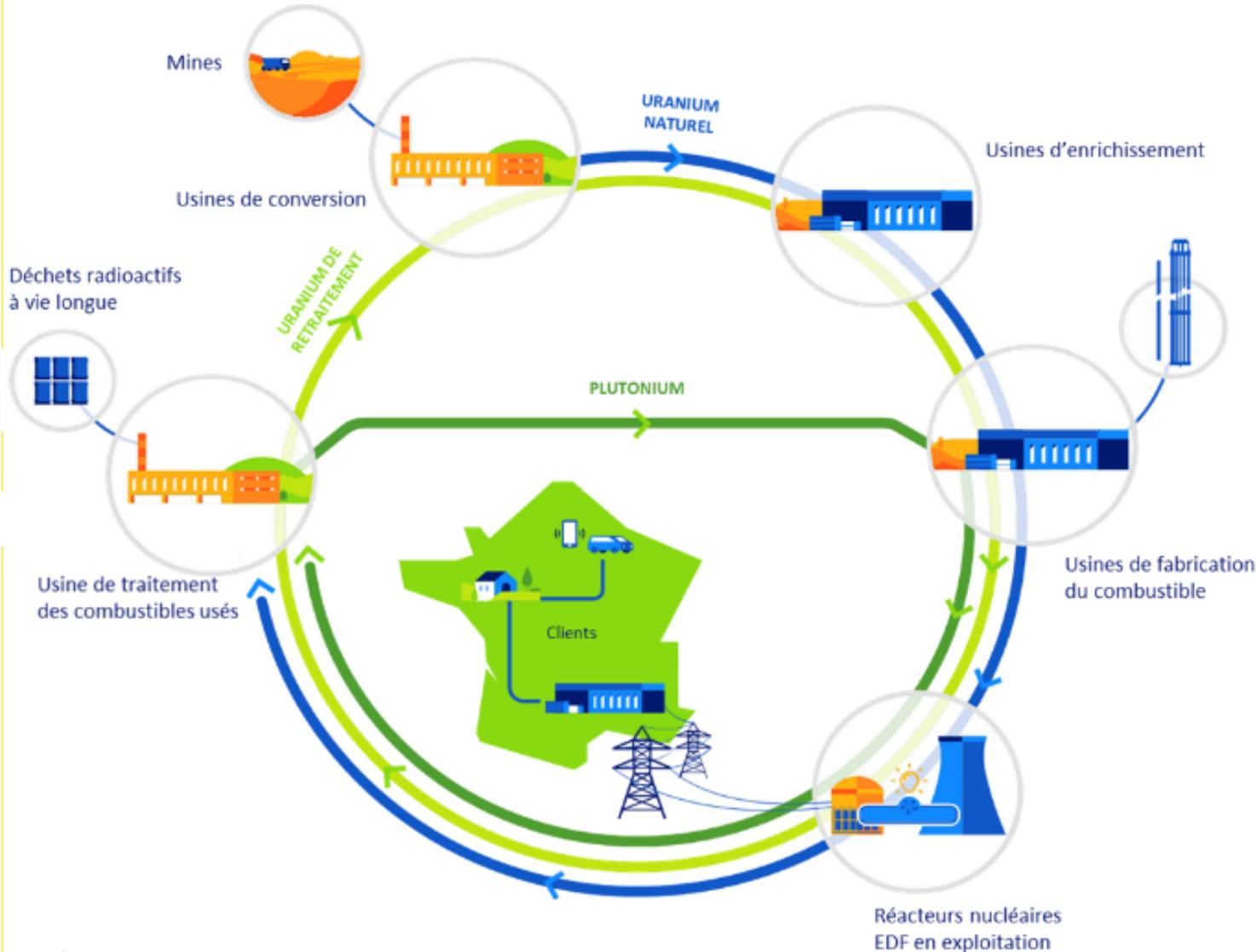
Cycle du Combustible

Réunion plénière HCTISN – 20 mars 2025

Jean-Michel QUILICHINI (EDF) – Corinne SPILIOS (ORANO) – Pierre CHAMBRETTE (ORANO)
Diffusion Normale



Le cycle du combustible



EDF représente **10% de la demande mondiale.**

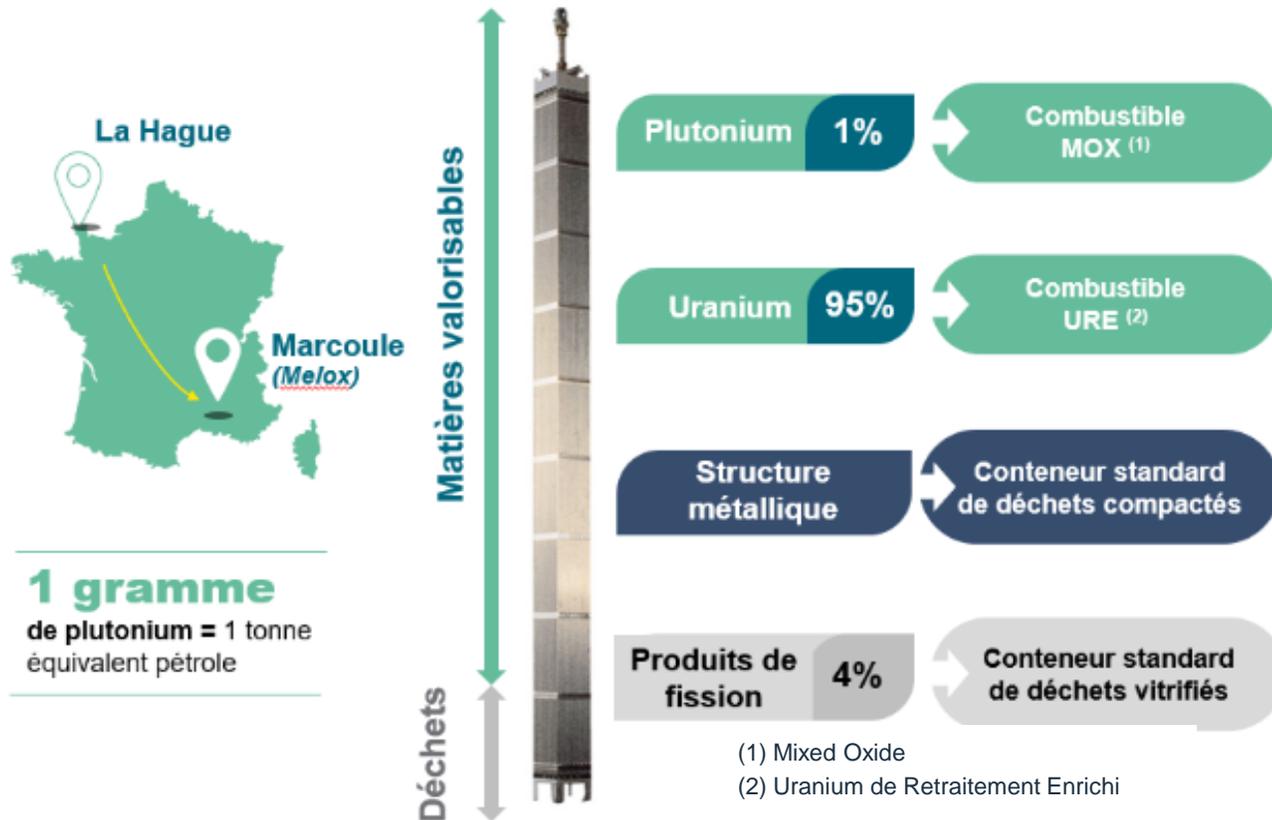
L'amont du cycle, c'est (pour une production à 400 TWh) :

- 7 000 tU/an d'Uranium Naturel (U_3O_8)
- 7 000 tU/an d'Uranium converti (UF_6n)
- 6 MUTS/an de services d'enrichissement

L'aval du cycle, c'est :

- 1000 à 1 100 t de Combustible Usé à recycler
- 10 à 11 t de Pu extrait
- 105 à 115 t de MOX à produire
- 1 045 t d'Uranium de Retraitement extrait

La stratégie de traitement recyclage du combustible, un atout majeur pour le parc nucléaire français



Grâce à la stratégie française de traitement-recyclage du combustible, le parc dispose d'un avantage compétitif, permettant :

- **un** recyclage de 96% des matières
- **une** diminution de 25% des besoins en matière
- **une** diminution de la radiotoxicité (**facteur 10**) et du volume des déchets **à stocker (facteur 5)**
- **une** réduction de 75% du nombre de combustibles usés à entreposer
- **une** réduction d'environ 50% de l'empreinte carbone **des activités du cycle combustible (qui représentent env. 2/3 de l'empreinte du kWh nucléaire)**

La relance dans la durée de la filière nucléaire en France implique d'anticiper dès à présent la question stratégique des ressources en uranium naturel

Si l'évolution du nucléaire mondiale peut être relativement prévisible à moyen terme, des incertitudes demeureront à plus long terme (taux de croissance du parc nucléaire mondial, tensions géopolitiques, sources de matières premières économiquement accessibles ...) et doivent être intégrées dans les trajectoires de développement.

La vision moyen-long terme du nucléaire nécessite de se poser la question stratégique de l'**approvisionnement en uranium**

La question de la disponibilité effective de la ressource uranium naturel amène la question de la **disponibilité des technologies alternatives** qui doivent corrélérer :

- Une plus forte sécurité d'approvisionnement
- Un cycle nucléaire durable

Les technologies permettant **le recyclage des matières** jouent un rôle clé

Dans une logique assurantielle, pour être prêt le cas échéant, il faut préparer dès à présent les **technologies industrielles** qui pourraient être nécessaires demain

Systemes industriels (réacteur & cycle associé) permettant de progresser dans la valorisation des ressources :

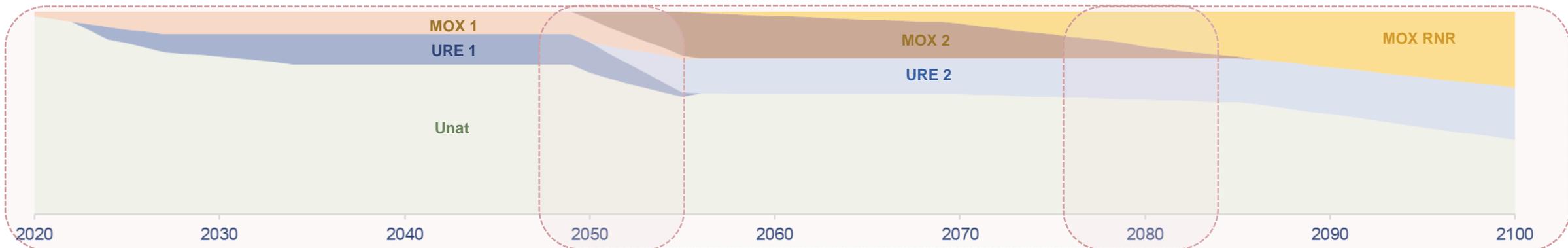
1. **1^{er} cycle : mono-recyclage en REP**
2. **2^{ème} cycle : multi-recyclage en REP**
3. **Fermeture du cycle**

Pour atteindre l'objectif de fermeture du cycle souhaité par l'Etat, plusieurs scénarios sont possibles, en suivant une trajectoire qui reste à définir

Dans l'objectif de répondre à la demande de l'Etat d'assurer la fermeture du cycle, la filière a bâti un schéma industriel de renouvellement des installations de l'aval du cycle, qui s'inscrit dans le temps long et qui a été élaboré pour être en mesure de s'adapter aux décisions qui seront prises dans les années/décennies à venir concernant les niveaux de recyclage visés et les moyens d'atteindre la fermeture du cycle :

- amplification de la configuration actuelle de **mono-recyclage** de l'uranium (URE) et du plutonium (MOX)
- évolution progressive vers le **multi-recyclage de l'ensemble des combustibles usés** (UNE, MOX et URE)
- préparation de la fermeture complète du cycle via le déploiement d'un **parc intégrant des RNR Gen IV** et le cycle associé

Trajectoire illustrative de consommation de combustible nucléaire par le parc sur le long-terme



1 MONO-RECYCLAGE | PARC EXISTANT
La Hague, MELOX actuelles
Jusqu'à 25% d'économie en Unat

2 MULTI-RECYCLAGE REP | PARC EPR 2
Nouvelles usines de l'aval du futur
Jusqu'à 40% d'économie en Unat

3 PREPARATION FERMETURE CYCLE | PARC HYBRIDE
Usines 4^{ème} génération
Jusqu'à 100% d'économie d'Unat

SOMMAIRE

01

Rappel de la stratégie
d'entreposage des combustibles
usés à fin 2024

02

Cycle du combustible
Traitement combustible à La Hague
Fabrication MOX à Melox

03

Usine de Melox
Projet GoMox et Relançons Melox

04

Usine La Hague
Projets NCPF

05

Usine de La Hague
Gestion de Rebut MOX en Boîtes

06

Usine de La Hague
Projet Densification Piscines

07

Usine de La Hague
Projet Entreposage à Sec

08

Vision de la filière sur la gestion
des combustibles URE/MOX

09

Cycle du combustible
Projet Aval du Futur

01 • **Rappel de la stratégie d'entreposage des combustibles usés**

- 1. Une production industrielle des usines en amélioration permettant d'éloigner le risque de saturation des entreposages court terme,**
- 2. Un plan de mitigation du risque qui a progressé,**
- 3. Des orientations de politique nucléaire exposées en CPN du 26 février 2024 portant la nécessité pour la France d'un maintien durable de la production électronucléaire et confirmant la politique de traitement recyclage en visant un cycle intégralement fermé à horizon fin de siècle,**
- 4. Ces orientations et la mise sous contrôle de la production impliquent un éloignement du risque de saturation ; la pérennité des usines au-delà de 2040 et la construction séquencée de nouvelles usines du cycle modulaires, permettent de mettre en œuvre l'objectif de l'Etat de fermeture du cycle par étape via le mono, le multi-recyclage et le lancement de pilotes Gen IV,**
- 5. Cette réflexion a conduit EDF et Orano à proposer à l'instruction de la DGEC l'évolution du portage industriel d'EDF vers Orano de la maîtrise d'ouvrage de la création des nouvelles capacités d'entreposage prévues dans le PNGMDR pour un projet cohérent et optimisé sous la maîtrise d'ouvrage d'un seul acteur.**
- 6. En retour, la DGEC n'a pas émis d'objection au projet industriel, tout en rappelant le maintien d'une vigilance particulière dès lors que les marges disponibles resteront faibles jusqu'à l'horizon 2040 et a formulé des demandes dans l'objectif d'assurer un pilotage rapproché des niveaux d'entreposages et des parades au risque de saturation.**

01

La situation 2024 du cycle renouvelée implique un éloignement du risque de saturation au-delà de 2040 sans recours aux capacités offertes par les plans de mitigation (densification) hors aléa dimensionnant

2028

2040

2042

2045

>>2050

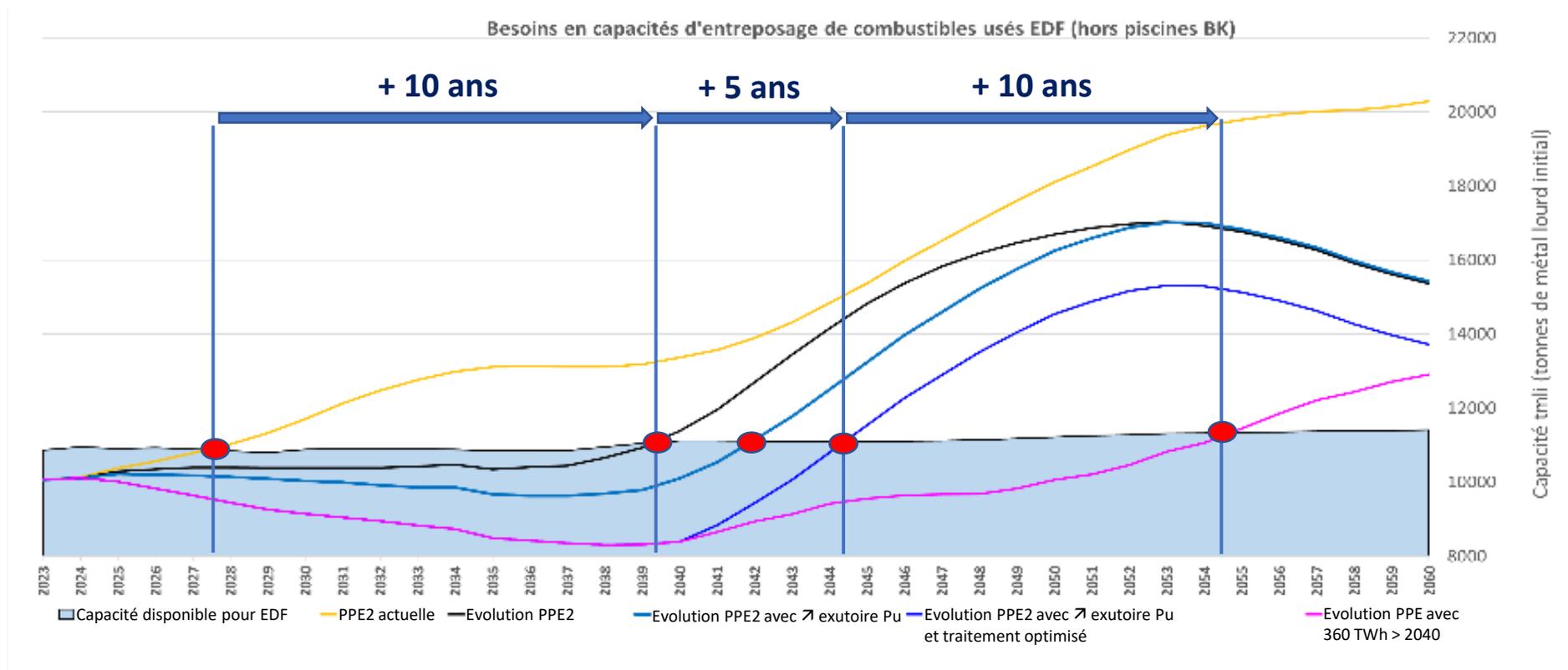
PPE2 actuelle

Evolution PPE2 avec parc à 360 TWh jusqu'en 2040

Evolution PPE2 avec augmentation des exutoires de Pu

Evolution PPE2 avec augmentation des exutoires de Pu et traitement optimisé

Evolution PPE avec parc à 360 TWh au-delà de 2040



02 • Cycle du combustible

Fonctionnement des usines : une production en 2024 ayant permis de conserver les marges d'entrepôts prévues

Melox



- Atteinte des objectifs de production
- Plan d'actions « Relançons MELOX » en cours

La Hague



- Rénovation des évaporateurs de Produits de Fission effective (projets NCPF)
- Conservations des marges des entrepôts prévues

Plan de mitigation : progression des projets pour pallier le risque de saturation des entrepôts

Plan d'actions « Relançons Melox »

- Projet GOMOX
- Plan d'action maintenance

Densification des piscines de La Hague

- Fabrication des premiers paniers densifiés
- Début densification en juin 2025

Extensions des entrepôts de boîtes de rebuts de MOX sur La Hague

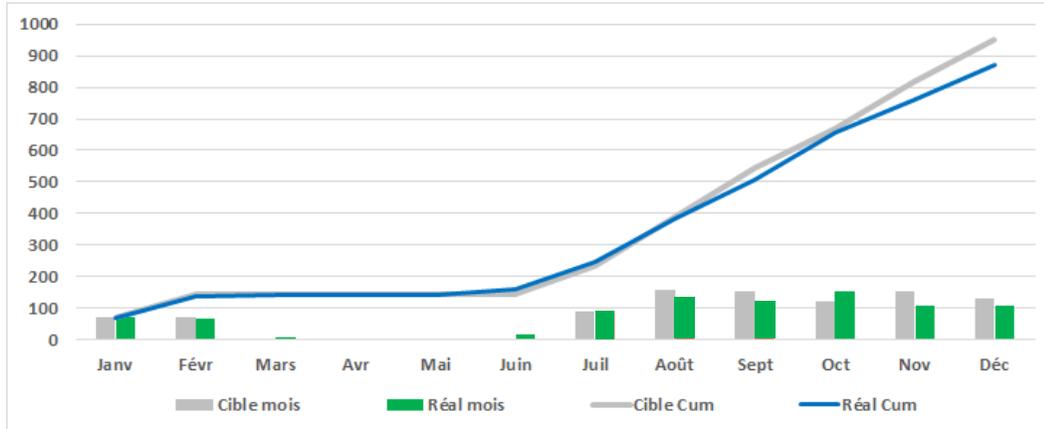
Entrepôt à sec : avancement des études

Projet Aval du futur : Etudes lancées

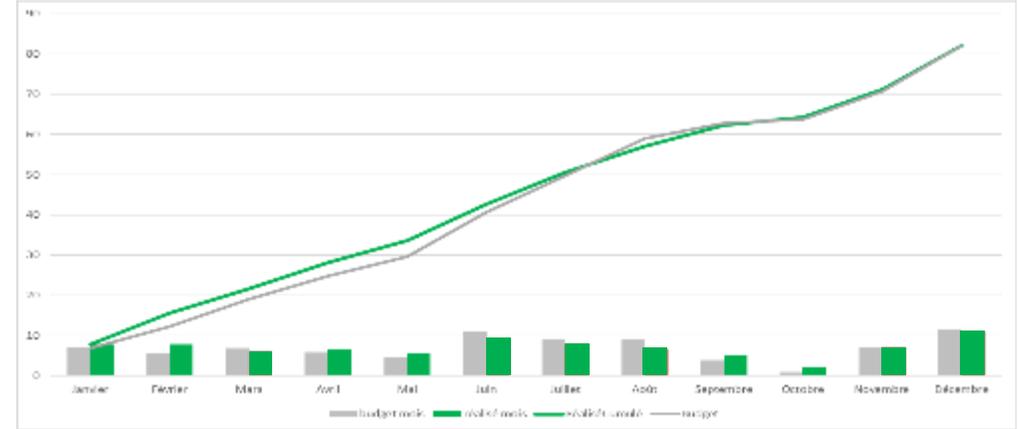
- Nouvelles piscines d'entrepôt des combustibles
- Nouvelle usine de MOX

Une production en 2024 ayant permis de conserver les marges d'entreposages prévues

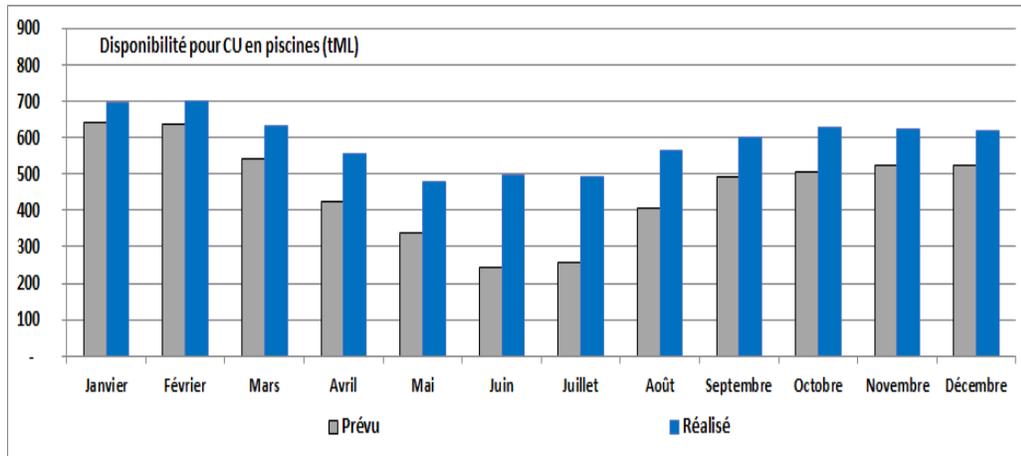
Traitement de combustibles usés en 2024 : 871 tonnes de Métal Lourd initial (tMLi)



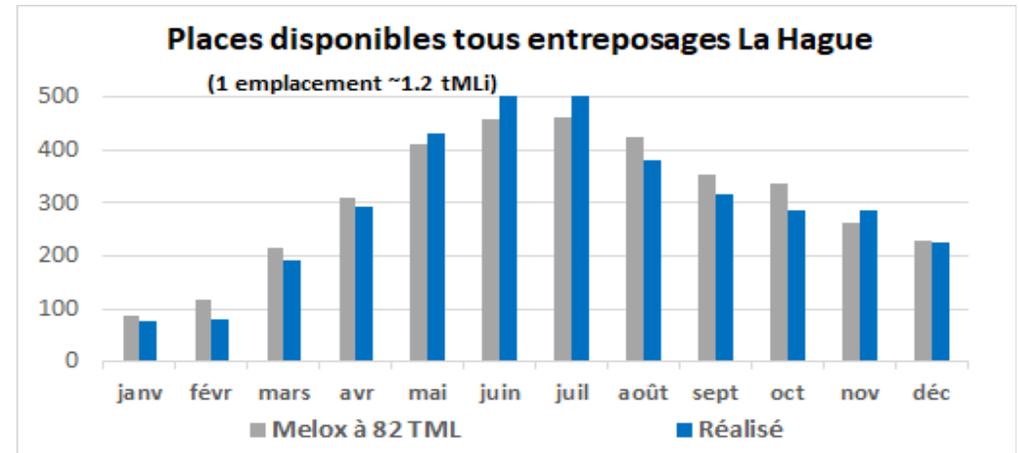
Production de combustibles MOX en 2024 : 82 tonnes de Métal Lourd (tML)



Pour conserver des marges d'entreposage en piscines : 617 tMLi



Pour conserver des marges d'entreposage Pu : 225 places



02 • Cycle du combustible

Historique de production

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Objectifs 2025
Traitement combustible La Hague - tMLi	1118	983	1009	1214	1035	1021	925	882	871	1130
Production MOX Melox - tML	117	93	80	72	77	51	59	82	82*	100

 Basculements NCPF

 Retour en voie humide

* : production incluant une campagne export équivalente à 90 tML « EDF »

Traitement à La Hague

Afin de renforcer la sûreté des capacités d'évaporation de La Hague, 6 évaporateurs ont été mis en service pour remplacer les unités existantes. Les raccordements des 2 nouvelles unités de concentration des produits de fission entre 2022 et 2024 ont limité le traitement des combustibles usés. Ces arrêts planifiés pour les raccordements ont nécessité l'arrêt des ateliers concernés pendant près de 6 mois chacun conformément au planning du projet. Le retour à un traitement au-delà de 1000 tMLi est prévu à partir de 2025.

Production MOX à Melox

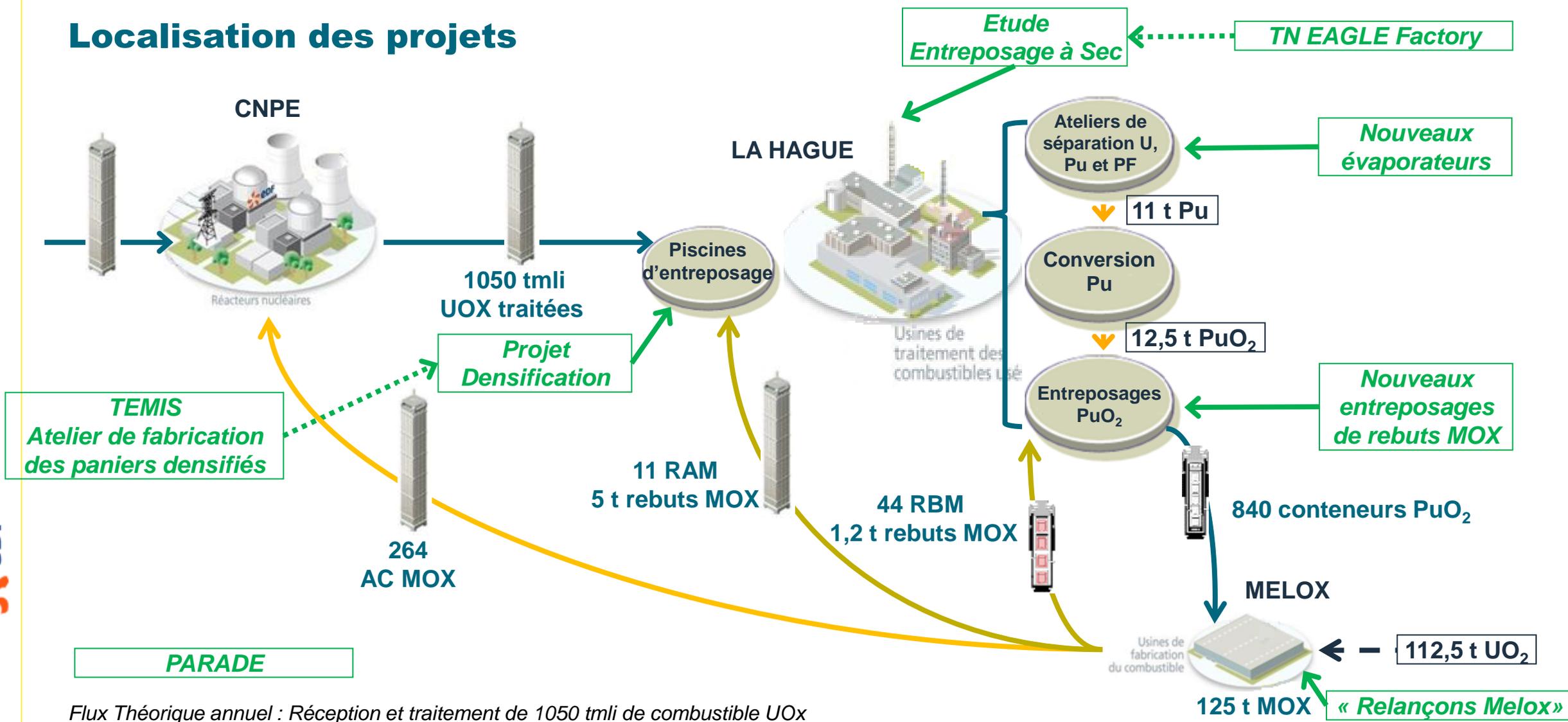
Depuis 2022, la production de l'usine de Melox est en amélioration. De manière non exhaustive, cela est principalement lié au retour à un procédé dit à « voie humide » de l'UO₂ et en particulier à l'amélioration des rendements qualité (supérieurs à 85% en 2024).

L'année 2024 a été marquée par la production de 67 tML de MOX pour EDF et d'une campagne de production de combustibles MOX pour un client Japonais (environ 15 tML). Ce qui donne une production « équivalente EDF » de plus de 90 tML (du fait de la prise en compte du changement de design des combustibles et de leur complexité ainsi que les intercampagnes entre chaque client).

Le plan d'amélioration de la production continuera dans les années à venir pour atteindre durablement 125 tML de MOX avant la fin de la décennie.

02 • Cycle du combustible – Flux théorique Plutonium

Localisation des projets



Flux Théorique annuel : Réception et traitement de 1050 tmi de combustible UOX

03 • Usine de Melox – Projet GoMox

Viser un retour à une capacité de production d'environ 125 tML

- en doublant les machines critiques via des projets d'investissements conséquents
- en intensifiant les opérations de maintenance

3 nouvelles unités de production prévues

- **Seconde unité de dosage secondaire (NDE)**
Autorisation ASNR pour les travaux d'implantation reçue en 2024
Montage de la boîte à gants / Procédé testé en inactif dans le nouveau hall d'essais du site de Melox
Cible de démarrage 2028
- **Seconde unité de chamottage (NCG)**
Demande d'autorisation déposée au premier trimestre 2025
Cible de démarrage 2029
- **Seconde unité d'homogénéisation (NHY)**
Cible de démarrage 2030

Parties prenantes principales

Maîtrise d'ouvrage : Orano Recyclage

Maîtrise d'œuvre / fabricant : Orano Projets

Chaudronnier : Orano Temis



Structure boîte à gants NDE



Procédé NDE

03 • Usine de Melox – Relançons Melox

Poursuivre le renforcement de la maintenance

Intensification des opérations de maintenance

- Effectifs de maintenance accrus permettant de résorber les en cours de maintenance préventive et curative
- Plus de 90 chantiers de maintenance réalisés
- Amélioration sensible de la fiabilité des unités de production critiques

Maitrise de l'irradiation des boites à gants

- Mise en place d'écran de protections radiologiques complémentaires sur l'ensemble des boites à gants
- Nettoyages poussés des boites à gants
- Revue de pairs sur la débitmétrie des boites à gants

Formation

- Ces actions se sont accompagnées d'un effort de formation tout particulier avec par exemple la création d'une école des métiers à Melox et une extension prévue en 2025.



04 • Usine La Hague – Projets NCPF

Restauration des capacités de traitement des usines UP3 et UP2-800

Construction de 6 nouveaux évaporateurs (montant un peu inférieur à 1 Milliard €)

- Etudes et réalisations menées en parallèle pour les 2 ateliers

Durée totale des projets NCPF (études et réalisation) : 8 ans

- Décembre 2015 : Dépôt des dossiers d'option de sûreté
- Avril 2023 : Mise en Service des 3 évaporateurs dans l'usine UP3
- Juin 2024 : Mise en Service des 3 évaporateurs dans l'usine UP2-800

Démarrage / Mise en service avec moins de 15 jours de décalage par rapport au prévisionnel

- Fonctionnement des évaporateurs très satisfaisant
- Maintien des cadences nominales dans la durée
- Atteinte des cadences maximales sur chaque évaporateur

Parties prenantes

Maîtrise d'ouvrage : Orano Recyclage

Maîtrise d'œuvre / fabricant : Orano Projets

Chaudronnier : Orano Temis



Evaporateur



Cuves d'alimentation

Réunion plénière HCTISN

05 • Usine de La Hague – Gestion de Rebut MOX en Boîtes (RBM)

Avec la mise en service du 3^{ème} entreposage, la capacité d'entreposage des RBM permet de couvrir la production prévisionnelle à 2040

Entreposage RBM n°1

- Mise à disposition travée E en mai 2022 suite à autorisation ASNR délivrée mi-Avril 2022 - Capacité Entreposage de 378 conteneurs actuellement utilisée

Entreposage RBM n°2

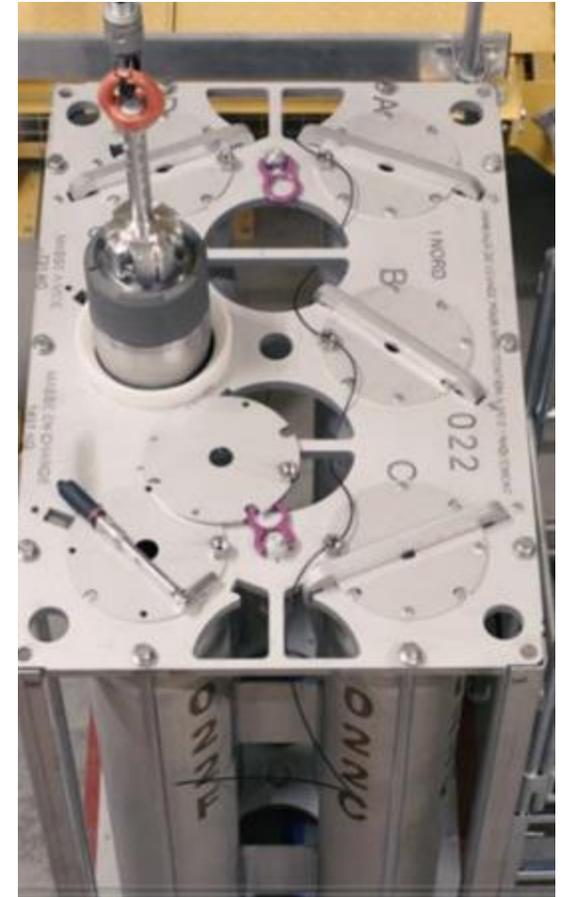
- Autorisation ASNR de Modification Notable pour 2^{ème} entreposage délivrée en Mars 2023
- Mise en Service Actif de l'entreposage à fin aout 2023 (690 conteneurs)

Entreposage RBM n°3

- Dossier de modification notable déposé le 29 septembre 2023 pour une autorisation souhaitée au printemps 2025
- Mise en Service Actif de l'entreposage prévisionnelle au 2^{ème} semestre 2025
- Capacité Entreposage visée de 1200 conteneurs

Recyclage RBM dans l'unité recyclage plutonium

- Réalisation de travaux importants de fiabilisation de l'installation entre janvier 2022 et juillet 2023 en complément à une maintenance lourde du broyeur
- Très bon fonctionnement en 2024 avec 70 conteneurs recyclés soit un résultat très supérieur à l'objectif prévisionnel de 30 conteneurs



Module d'entreposage = 6 AA227

06 • Usine de La Hague - Projet Densification Piscines

Proposer en situation d'aléas jusqu'à 30% de places supplémentaires en piscine

Objectif

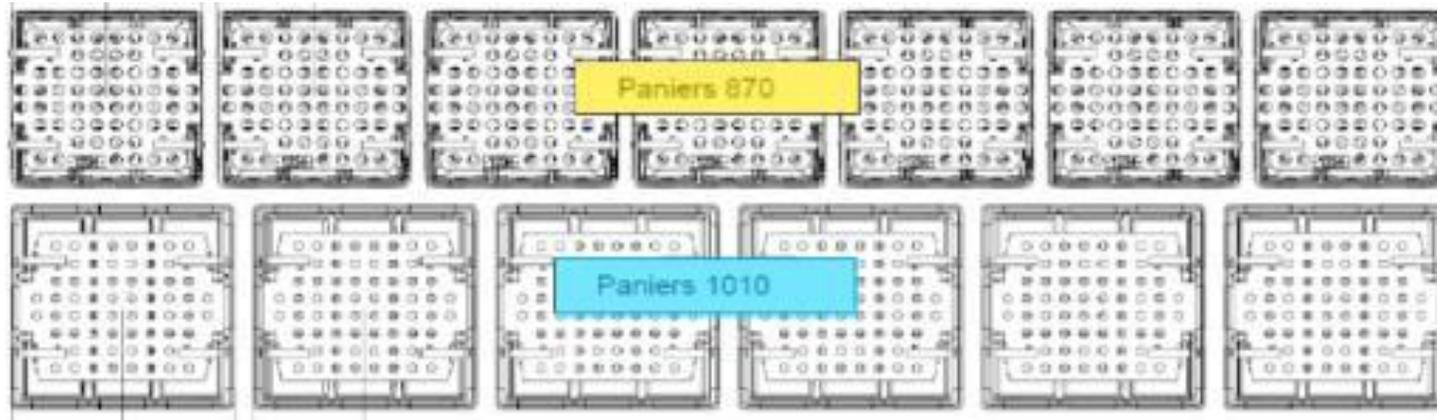
Augmenter les capacités d'entreposage de combustibles usés dans le respect des limites définies par les décrets ministériels (DAC)

- Passage d'une capacité de 12 000 tMLi à 15 200 tMLi au maximum
- Remplacer les paniers actuels de section 1010 x 1010 par des paniers de section 870 x 870
- Création possible de 718 nouveaux emplacements sur les piscines soit de l'ordre de 3 200 tMLi supplémentaires

Stratégie de déploiement

Le scénario de traitement retenu par Orano et EDF pour la période 2024-2040 vise à recouvrir des marges significatives par rapport aux capacités actuelles des piscines de La Hague sans recours à la densification

- Orano et EDF ont pour objectif de déployer les nouveaux paniers densifiés à partir de juin 2025 jusqu'à disposer d'une réserve de capacité de 1 500 tMLi
- La densification complète des piscines conduirait à la création d'une réserve de capacité de 3 200 tMLi

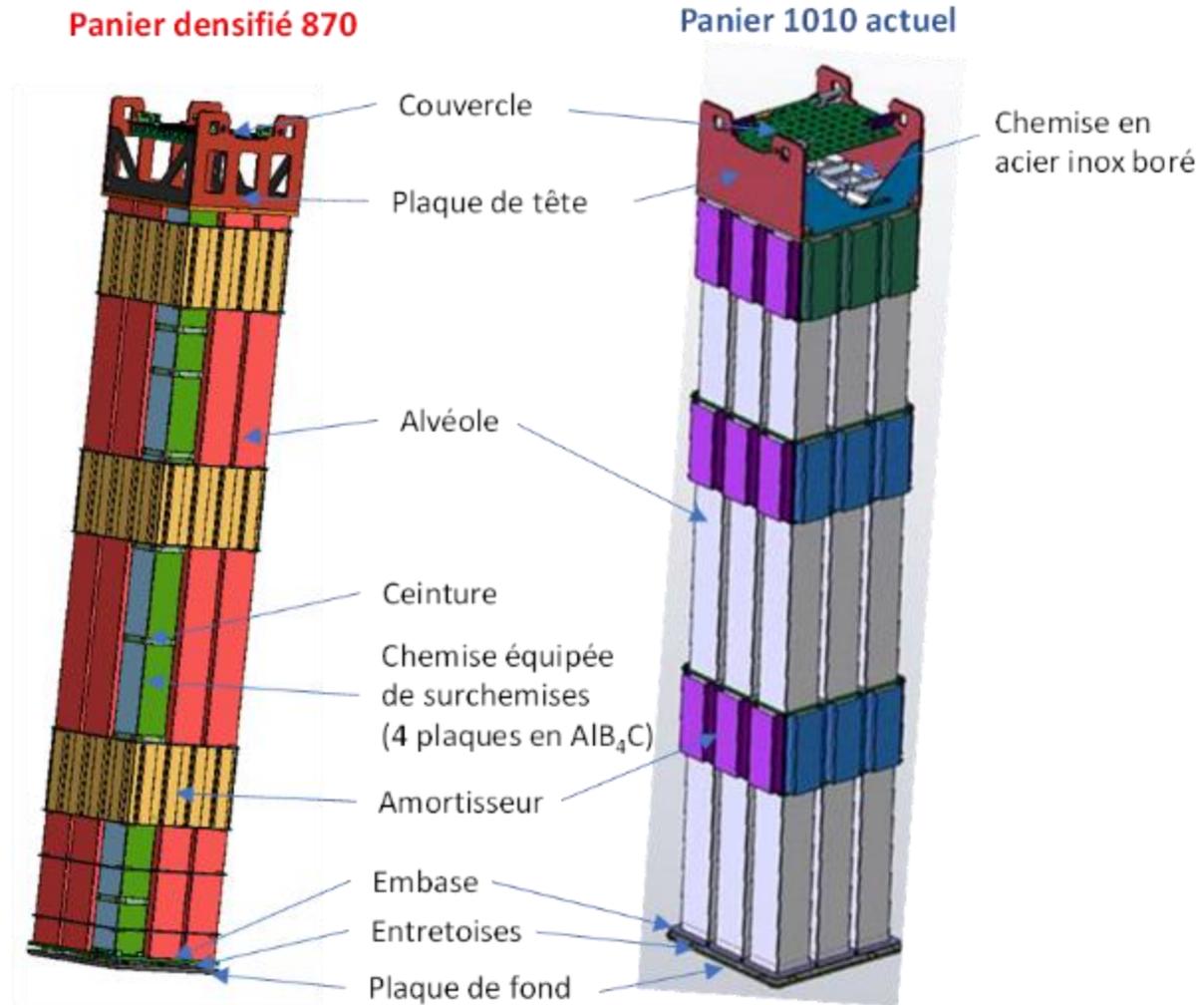


06 • Usine de La Hague - Projet Densification Piscines

Avancement du projet

Mise en œuvre du premier panier de densification de 1 500 tMLi

- Avis ASNR sur le Dossier d'Options de Sûreté transmis le 14/02/2022
- Dossier de modification notable déposé le 27/12/2022 et autorisé le 18/12/2024
- 1^{er} panier fabriqué le 14/02/2025
- Début de la densification à partir de juin 2025



Aluminium boré (AlB_4C) : matériau neutrophage

07 • Usine de La Hague - Projet Entreposage à Sec

Une parade additionnelle étudiée pour mise en œuvre en cas d'aléas majeurs

But de l'entreposage à sec

Disposer en cas d'aléas majeurs d'une capacité d'entreposage pour une fraction des combustibles MOX et URE en emballages TN Eagle

- Capacité 77 emballages correspondant à environ 900 tMLi
- Durée maximale d'entreposage de 30 ans

Stratégie de déploiement

L'entreposage à sec est une parade à la densification des piscines C, D et E dont la nécessité sera réévaluée après la mise en service du premier palier de densification

- Agrément de transport du TN Eagle obtenu le 5/02/2024
- Dépôt du dossier d'option de sûreté révisé du bâtiment d'entreposage en janvier 2023 / Instruction technique ASNR finalisée
- Réalisation en 2025-2026 des modifications dans la piscine NPH permettant de charger un emballage TN Eagle avec des combustibles entreposés en piscine à l'horizon 2027

TN EAGLE factory

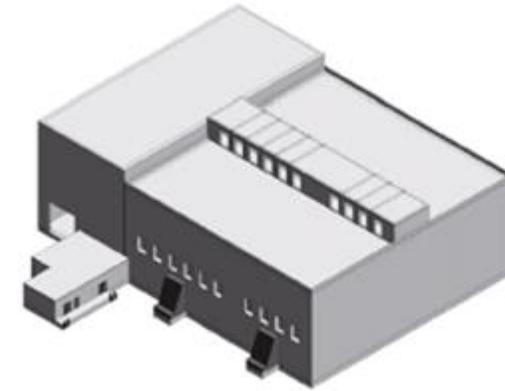
Inauguration d'une ligne d'assemblage à Cherbourg en 2024

Fabrication de 10 TN Eagle et Approvisionnement de 16 monoblocs

- Réception des 2 premiers emballages à date en début 2025
- Réception du 10^{ème} emballage prévue à fin 2025



Emballage TN Eagle



Bâtiment modulaire



TN Eagle Factory

Réunion plénière HCTISN

Dans ce contexte, reprise du recyclage de l'uranium naturel – Avancement et perspective sur le parc actuel

- L'objectif d'EDF est de maîtriser l'évolution de son stock d'URT en lien avec la durée de vie du parc et en intégrant les aspects stratégiques d'usage des matières
 - Le recyclage de l'URE a repris à Cruas avec une 1^{ère} recharge livrée en 2023 ; dès fin 2025, les 4 tranches de Cruas auront été chargées en URE
 - L'ouverture de tranches 1300 MWe à l'URE est également prévue dans le futur :
 - Quatre tranches 1300 MWe sont d'ores et déjà identifiées pour faire l'objet des modifications matérielles leur permettant de recevoir des recharges URE
 - 1^{ère} recharge URE 1300 MWe prévue en 2028 ; le nombre de tranches 1300 MWe chargées en URE pourra être à terme de l'ordre d'une dizaine
-
- ✓ La relance de la filière URT de nouveau opérationnelle depuis 2023 constitue une démonstration stratégique de la capacité à recycler l'URT
 - ✓ Le principe de diversification de la filière est en cours

Projet d'évolution de la gestion des combustibles Mox dans le parc

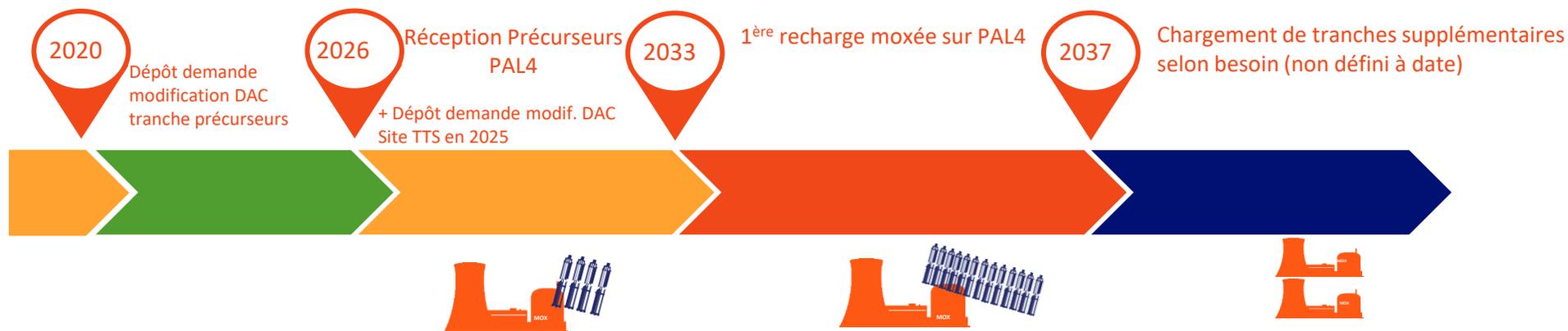
08

Stratégie d'évolution des exutoires de Pu sur le palier 900

- Le recyclage du Pu dans les assemblages MOX est actuellement mis en œuvre sur 22 des 32 réacteurs 900.
- Deux nouveaux réacteurs (Blayais 3 et 4) seront moxés dans le futur, pour disposer d'un nombre optimal d'exutoires de recyclage de Pu dans les assemblages Mox fabriqués par l'usine de Mélox

Stratégie d'évolution des exutoires de Pu sur le palier 1300

- La démonstration du MOXage du palier 1300 est découpée en 2 étapes distinctes, 1) l'introduction de 4 assemblages précurseurs sur PAL4 ; 2) l'introduction de recharges complètes sur PAL4.
- Le décret n° 2025-191 d'autorisation d'introduction des 4 assemblages précurseurs a été publié le 26 février 2025



Un enjeu majeur pour garantir l'équilibre du cycle dans la durée :

- **capacité de moxage du palier 1300** en relais de tranches 900 moxées mises à l'arrêt afin de maintenir un exutoire Pu
- irradiation de quelques crayons expérimentaux nécessaire pour **valider l'option de multi-recyclage (MRREP)** des MOX usés

MRREP = étape transitoire en attendant la fermeture complète du cycle avec des RNR, et adaptable permettant d'augmenter l'économie de ressources naturelles (40%), de valoriser les MOX, de piloter les inventaires de CU et de Pu, et de préparer le multi-recyclage en RNR

09 • Cycle du combustible – Projet Aval du Futur

Un schéma industriel pour l'Aval du futur assurant la pérennisation de la politique de traitement recyclage et répondant aux attentes du CPN et des PPE actuelles et futures

Renouvellement de l'usine de traitement de La Hague

- Capacité totale de traitement à terme : équivalente aux capacités actuelles
- Capacité d'entreposage à terme : 3 bassins de 6 500 tmlr chacun
- Capacité à traiter industriellement les MOX et URE
- Approche modulaire et séquencée pour couvrir le juste besoin
- Objectif de mise en service du premier bassin du futur atelier de déchargement et entreposage (ADEC) en 2040
- Objectif de mise en service de l'usine de traitement à ajuster en lien avec les autorités ASNR et HFDS

Renouvellement de l'usine de recyclage de Melox

- Réalisation du nouvel atelier de fabrication de MOX : équivalent aux capacités nominales de Melox
- Réalisation d'un entreposage de PuO₂ : en substitution à long terme aux capacités d'entreposage actuelles du site de La Hague
- Objectif de mise en service à l'horizon 2040

Merci



orano

Donnons toute sa valeur au nucléaire

