

Les enjeux du cycle du combustible

Le renouveau du nucléaire en France : les enjeux
Colloque organisé par la Sfen

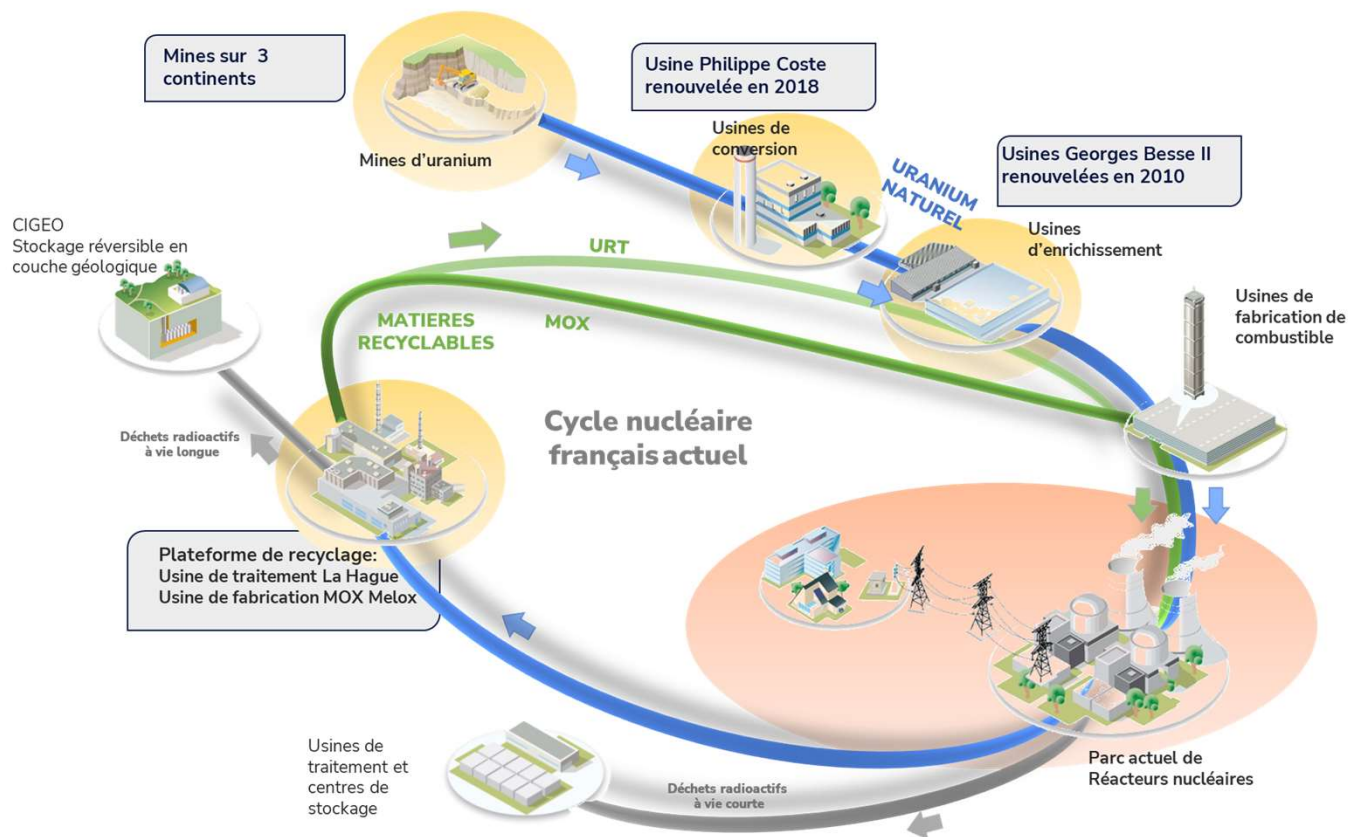
Cécile Evans

Directeur Marketing et Développement stratégique
Activités aval
24 Novembre, 2023

© Orano - Tous droits réservés



Le cycle du combustible français actuel: le monorecyclage



Le parc actuel

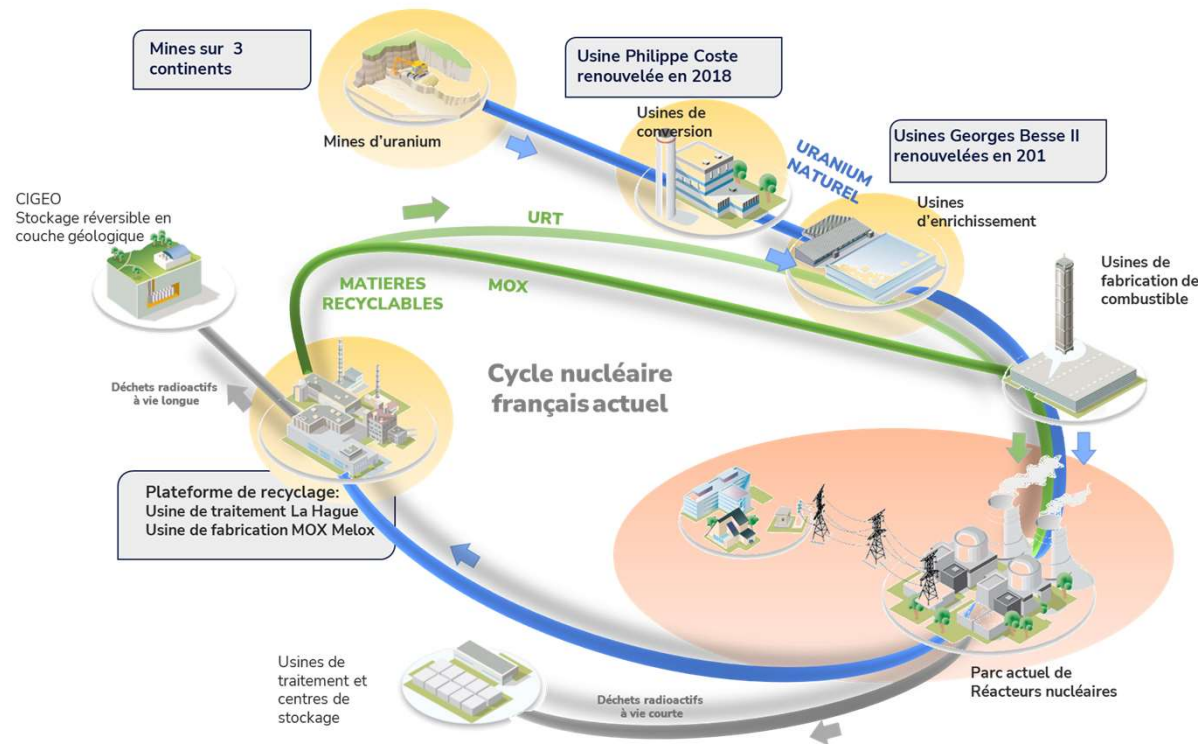
- 56 REP en opération (61 370 MWe)
 - 900 MWe : 32 réacteurs
 - 1300 MWe : 20 réacteurs
 - 1500 MWe : 4 réacteurs
- 1 EPR en construction : démarrage prévu en 2024

A fin 2022:

~ 100 000 Assemblages Combustibles chargés dont 5 900 MOX et 1 300 URE

~30 800 t HM traités pour EDF depuis 1975

Le cycle du combustible français actuel: le monorecyclage



Les bénéfices:

- une économie d'uranium naturel de 20 à 25%
- une diminution par 4 du nombre de combustibles utilisés à entreposer
- un meilleur confinement et une réduction du volume et de la radiotoxicité des déchets ultimes à stocker

Traitement

- Environ 1,000 tHM/an d'UNE traitées

Recyclage du Pu

- 24 REP 900 MWe autorisés à charger MOX:
 - 1er Licensing en 1987
 - 2 derniers réacteurs (Blayais 3 et 4) : autorisation en 2013, 1er chargement prévu en 2024
- Future utilisation du MOX en 1300MWe:
 - Licensing en cours
 - 1er chargement à l'horizon 2030

Recyclage de l'URT

- 4 REP 900 MWe autorisés à charger de l'URE:
 - Chargements entre 1994 et 2013
 - Reprise en 2023
- L'ambition d'EDF est de résorber son inventaire d'URT d'ici 2050 en étendant l'utilisation aux réacteurs 1300MWe, sous réserve d'autorisation

Sfen, Le renouveau du nucléaire en France: les enjeux
24/11/2023, © Orano - Tous droits réservés

● La relance du nucléaire

- La France est déjà engagée dans plusieurs programmes massifs, dont la prolongation de son parc nucléaire, et la construction de six réacteurs EPR2 ainsi qu'une option pour 8 EPR2 additionnels
- La mise en place du nouveau programme nucléaire français passe aussi par le développement de programmes de petits réacteurs modulaires (SMR, Nuward) et de réacteurs innovants (AMR).



- Une prolongation de la durée de vie des réacteurs existants dans le monde et des scénarios de doublement, voire triplement, de la capacité nucléaire mondiale d'ici 2050
- Plus de 70 concepts de réacteurs innovants sont en développement dans le monde, avec des besoins pour des nouveaux types de combustibles

- Combustibles oxydes/céramiques avec gaine
- Combustibles TRISO
- Combustibles métalliques
- Combustibles liquides/sels fondus

- LEU < 5% U-235
- LEU+ 5%-10% U-235
- HALEU 10%-20% U-235
- Mixed U & Pu (oxyde, métal, ou sel)

Aujourd'hui Orano dispose d'un portefeuille de mines diversifiées géographiquement

PRODUCTION 2022

7,524 tU

3 PAYS

Augmentation de la participation

Canada



Kazakhstan



South Tortkuduk Project launched
Reserves : 46,000 tU
+ 15 an de production
1ère production en 2023

Niger



New usine Heap Leaching
Au moins 10 years de production à venir

Colloque Sfen, Le renouveau du nucléaire en France: les enjeux
24/11/2023, © Orano - Tous droits réservés

Orano a un portefeuille équilibré de projets miniers pour répondre aux besoins en U3O8 sur le long terme

Extension de la durée
des mines en production



South Tortkuduk
Kazakhstan

Ouverture de mines
dans de nouveaux pays



Zuuvch Ovoo
Mongolia

Rendre les dépôts miniers
non-économiquement
viables à date accessibles



Imouraren
Niger

Prospection pour le
future



Projets d'Exploration
Athabasca Bassin,
Canada



2nd LIXI pad @SOMAIR
Niger



Nurlikum Mining
Uzbekistan



McClean Lake
Canada

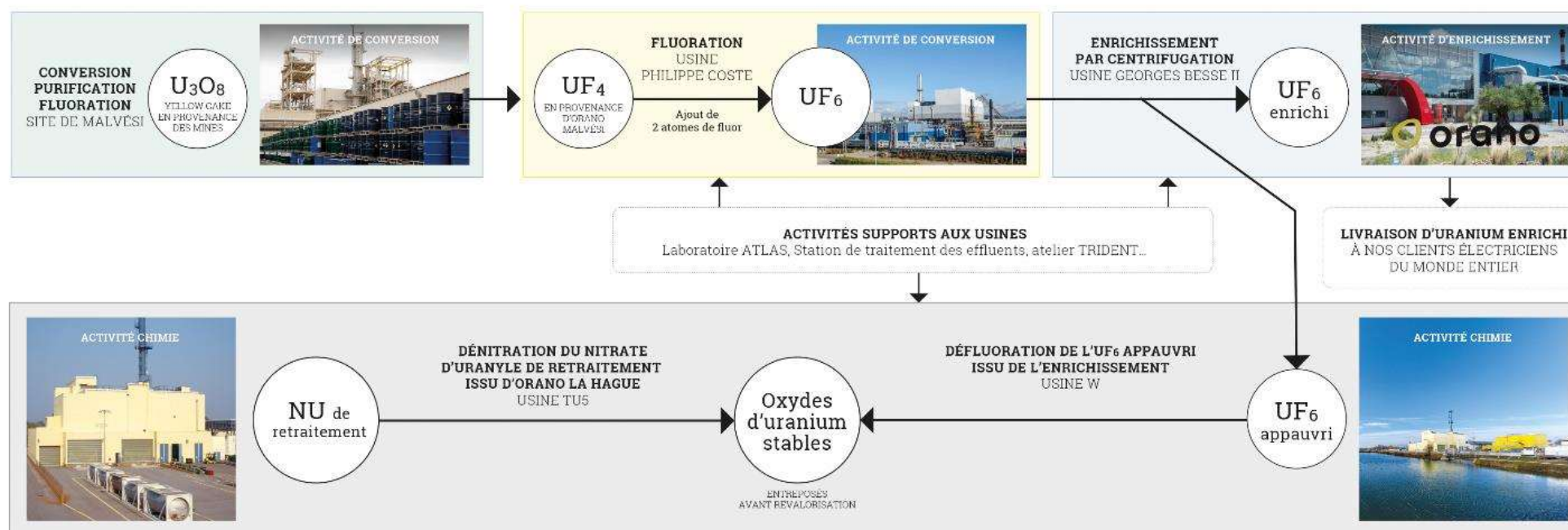


Colloque Sfen, Le renouveau du nucléaire en France: les enjeux
24/11/2023, © Orano - Tous droits réservés

Le cycle de transformation de l'uranium:

Purification, Fluoration, Conversion, Enrichissement,
Défluoration et Dénitration sur les sites de Malvési et du Tricastin

Une plateforme intégrée
90% de l'outil industriel renouvelé



Colloque Sfen, Le renouveau du nucléaire en France: les enjeux
24/11/2023, © Orano - Tous droits réservés

Les marchés de la conversion et de l'enrichissement sont en mutation

Principaux facteurs

1

La capacité nucléaire mondiale est appelée à croître

- L'identification du nucléaire comme pilier de la transition énergétique se généralise
- Le développement technologique et commercial des AMR et de SMR exacerbe ce développement

2

La guerre en Ukraine pose un contexte d'instabilité géopolitique

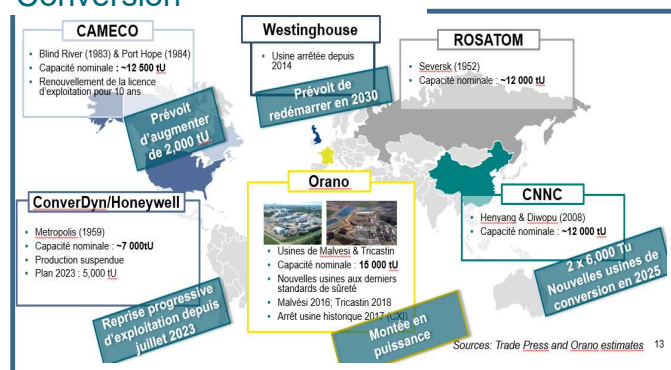
- possibles sanctions sur l'uranium enrichi russe
- Embargo possible de la part de la Russie

→ De nombreux électriciens souhaitent désormais se désensibiliser aux approvisionnements russes

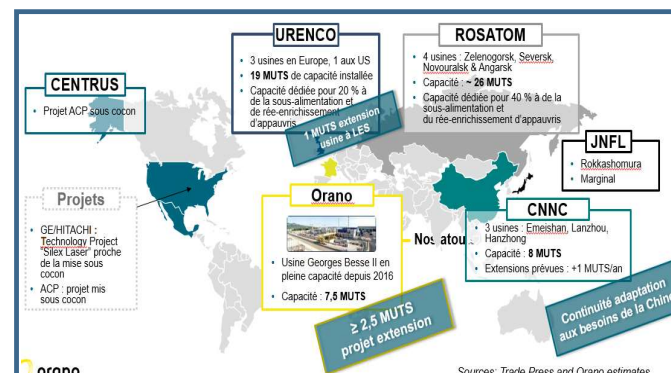
Implications

Tension sur les marchés ouverts de l'amont

Conversion



Enrichissement



Source: Analyse Orano

Colloque Sfen, Le renouveau du nucléaire en France: les enjeux
24/11/2023, © Orano - Tous droits réservés

• Les réponses apportées par orano

En cours

AMC2 – Maintenance des cylindres

- Réalisation d'un nouvel atelier de maintenance des cylindres

Sept 2023
Début travaux

2025
Mise en actif

Laboratoire Isotopes Stables (LIS)

- Laboratoire permettant l'enrichissement d'isotopes non-nucléaires à destination de nouveaux marchés de pointe (industrie, médical, recherche...)

Construction
plus de 150
Personnes
mobilisées

2023
Mise
en service

Extension des capacités d'enrichissement (GB2)

- Projet d'extension des capacités de GB2 de 7,5 MUTS/an à 10 MUTS/an
- Objectif : accompagner l'indépendance des électriciens occidentaux vis-à-vis de la Russie / anticiper une pénurie potentielle à moyen terme

2024
Début du
Génie Civil

2028
Première
production

2030 - 2031
Pleine
Capacité

Retrouver nos pleines capacités de défluoruration (W)

- Projet pour repasser de 2 à 4 fours (demande clients en défluoruration)

2023
Anticipation des
approvisionnements
à temps long
d'équipements
spécifiques

2026
Mise en service

A l'étude

LEU + - Low Enriched Uranium (6% -8%)

- Adaptation de GB2 pour produire à des teneurs de 5% à 6% (en cours), à 8% (à l'étude) – En réponse à la demande de certains clients (dont US)

HALEU – High Assay Low Enriched Uranium

- Orano étudie l'opportunité de construire une installation de HALEU (combustible aux teneurs allant jusqu'à 20%) pour accompagner les développements des nouveaux concepts de réacteurs (Advanced Modular Reactors).
- Orano dispose des expertises et en savoir-faire en enrichissement et en chimie de l'uranium / métallisation pour compléter la chaîne de valeur existante

URT - Uranium de retraitement

- Réflexion actuelle avec EDF et l'Administration Française quant à l'opportunité de construire une filière industrielle européenne de conversion et enrichissement de l'uranium de retraitement (URT)

Colloque Sfen, Le renouveau du nucléaire en France: les enjeux
24/11/2023, © Orano - Tous droits réservés

• La stratégie française

- La stratégie déployée en France est basée sur le mono-recyclage avec l'objectif futur d'être en mesure de fermer complètement le cycle du combustible
- Les recherches sur les réacteurs RNR et le cycle associé se poursuivent.
- Le programme France 2030 via l'appel à projet sur les petits réacteurs innovants, a relancé l'investissement sur les technologies RNR
- Un passage à l'échelle industrielle de manière massive ne peut être envisagé avant la seconde moitié du siècle.
- La solution de multi-recyclage des matières via l'utilisation de combustibles de type MOX2 (i.e. contenant du Pu issu du traitement d'assemblages MOX usés) dans les réacteurs à eau sous pression (REP) pourrait permettre de stabiliser les stocks de combustibles usés et de plutonium, de continuer à progresser sur le taux de recyclage des matières, et de préparer l'option du multirecyclage en réacteur rapide



• La plateforme de recyclage française: 50 années d'expérience au service du parc français et de clients étrangers

Plateforme logistique multimodale (rail, route, maritime)



Transports de combustibles usés:

7,500 transports français

2,500 depuis l'étranger

L'usine de traitement de La Hague



Traitement de combustibles REL:

~30 000 tHM pour la France

~10 500 tHM pour 6 autres pays

L'usine de fabrication de Melox



Fabrication de MOX REL:

~ 3 000 tHM de combustibles MOX , chargés dans 43 réacteurs dans le monde

• **Les usines actuelles de l'aval du cycle**

- **Démarrage des usines actuelles en 1990 (UP3), 1994 (UP2-800) et 1995 (Melox)**
- **La Hague: Un programme d'investissements significatifs de maintenance et de renouvellement d'équipements sur le site, renforcé ces dernières années, par exemple:**
 - remplacement des évaporateurs de produits de fission existants par de nouveaux équipements, Nouvelle unité de concentration des produits de fission » (NCPF)
 - remplacement de la roue du dissolvant
- **Melox:**
 - Un changement de poudre UO₂ appauvri
 - un programme d'investissements conséquents pour retrouver un niveau de production à 100tML/an, voire plus, dans les années à venir
- **Ecoles des métiers (mise en œuvre avec le soutien de l'état):**
 - Site de La Hague : formations sur les métiers spécifiques de LH de 1000 personnes par an.
 - Melox: Campus du recyclage: formation de 250 employés et sous-traitants annuellement
40 stations/modélisations industrielles des opérations de Melox dans un environnement non-radioactif, formation digitale, réalité augmentée

● **Le futur des usines de l'aval du cycle**

- **Dans la décennie 2040, les usines de l'aval du cycle actuelles auront atteint 50 ans de fonctionnement**
- **Des travaux de modernisation/prolongation et de renouvellement d'usines à anticiper**
- **Conseil de Politique Nucléaire de février 2023:**
 - **La relance du nucléaire implique une réflexion sur la question du cycle du combustible, celui-ci contribue à l'autonomie stratégique**
 - **Au regard des trajectoires qui seront intégrées dans la PPE, des réflexions à engager pour tirer les conséquences de la relance du programme nucléaire français sur la gestion des déchets ultimes**
- **Conseil de Politique Nucléaire de fin 2023:**
 - **Des décisions attendues sur l'aval du cycle: Poursuite des travaux en vue de renouveler des installations aval du cycle nucléaire prise de décision sur la stratégie post 2040 d'ici fin 2026 au plus tard**

• **Le programme de R&D français sur le multirecyclage en REP, cycle de transition préparant la fermeture du cycle avec le déploiement des RNR**

- **Le CEA, EDF, Framatome et Orano ont mis en place un programme de R&D et d'études de faisabilité industrielle associée afin d'étudier l'intérêt du multi-recyclage en REP des matières (Plutonium et Uranium) en terme de compétitivité et de gestion des matières et déchets.**
- **Le programme de R&D de multi-recyclage en REP (MRREP) en cours permet de progresser sur les deux points suivants :**
 - **Le traitement des MOX-REP usés, en mélange avec les UNE et URE usés: une première étape vers le multi-recyclage en RNR**
 - **La définition et la qualification de combustibles MOX2, via des évolutions simples des combustibles MOX, et la faisabilité technique et économique d'une étape intermédiaire permettant le multi-recyclage du plutonium dans les réacteurs EPR2 moyennant des adaptations très limitées pour respecter les référentiels de sûreté et les contraintes et objectifs d'exploitation**
- **Ce cycle de transition doit permettre :**
 - **De recycler tous les types de combustibles usés, UNE, URE, MOX et de stabiliser les inventaires de combustibles usés et le plutonium dans les entreposages**
 - **De contribuer à la pérennisation et modernisation de la filière de recyclage française**

Le Renouvellement des installations de l'aval du cycle: le juste équilibre entre l'évolution des besoins et la maturité de la R&D

Enjeux de R&D à moyen terme:

Le **multirecyclage** des matières dans la **future flotte de REP** via le déploiement potentiel des gestions **MOX2** à l'horizon 2040



Enjeux industriels à court-terme:

Poursuivre le **monorecyclage** dans les **réacteurs 900MW** et préparer le recyclage dans les **réacteurs 1300MW** d'ici la fin décennie 2020



Objectifs de long terme :

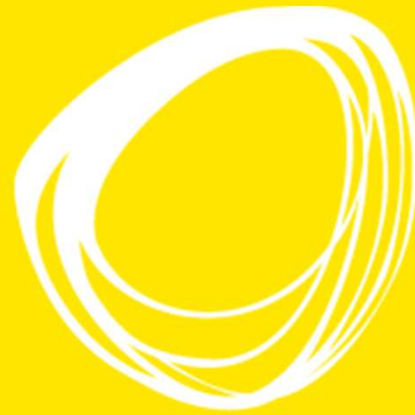
L'étude des **options technologiques de réacteurs à neutrons rapides** permettant d'assurer la **fermeture complète du cycle** et l'**indépendance énergétique vis-à-vis de l'uranium naturel**



Modernisation des installations existantes

Renouvellement des usines

Colloque Sten, Le renouvellement du nucléaire en France: les enjeux
24/11/2023, © Orano - Tous droits réservés



orano

Donnons toute sa valeur au nucléaire