



PROJET DE NOUVEAUX  
RÉACTEURS NUCLÉAIRES  
À GRAVELINES

---

# Clarification des controverses techniques

2024 – VI.1 du 16/09/2024





# Sommaire général

---

1

**Gestion des Matières et des Déchets radioactifs**

2

**Nouveaux Réacteurs Nucléaires**

3

**Débats techniques spécifiques**

4

**Informations générales**



## INTRODUCTION

# Origine des informations

4.12

**Débats relatifs au  
nucléaire**

Les éléments présentées dans le présent document sont extraits des cahiers de controverse des deux Débats publics précédents, à savoir :

- Débat public relatif au Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR), de 2019

<https://pngmdr.debatpublic.fr/approfondir/clarification-des-controverses-techniques>

- Débat public relatif aux Nouveaux Réacteurs Nucléaires et Projet Penly, de 2022 – 2023

<https://www.debatpublic.fr/nouveaux-reacteurs-nucleaires-et-projet-penly/clarification-des-controverses-techniques-3732>

Ce document, voulu par la Commission particulière du Débat public EPR 2 Gravelines, vise à présenter un état ponctuel des débats sur la base des contributions des deux débats précédents.

Il ne vise pas à pas à présenter un état de l'art exhaustif de la technique, ni à figer les éléments du débat. Ainsi, ce document est amené à évoluer et à être complété par la prise en compte des nouveaux points de débat qui apparaîtront au cours de ce débat sur le projet EPR 2 à Gravelines.

# Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs



# Sommaire

1.1

**Le monorecyclage**

1.5

**TFA et seuils**

1.9

**Vulnérabilité des installations**

1.2

**Le multirecyclage**

1.6

**Cigéo, stockage géologique profond**

1.3

**L'entreposage**

1.7

**L'entreposage longue durée**

1.4

**Démantèlement des réacteurs UNGG**

1.8

**Séparation-transmutation**



# Le monorecyclage

## Contexte

Le monorecyclage consiste à réaliser un recyclage du combustible usé et un seul, c'est-à-dire que le combustible usé issu du recyclage n'est pas lui-même recyclé.

Les techniques actuelles mises en œuvre permettent :

- le recyclage du plutonium sous forme de combustible MOX,
- Le recyclage de l'uranium de retraitement (URT) sous la forme de combustible de retraitement enrichi (URE).

Il s'agit de la politique française actuelle.

Elle est à comparer à une politique sans recyclage (comme dans certains pays), et à une politique de multirecyclage.



*La controverse porte principalement sur le choix des indicateurs pertinents et le remontage du bénéfice global.*

4.3

**Le devenir du combustible usé**

4.2

**Le combustible nucléaire**

1.2

**Le multirecyclage**

1.3

**L'entreposage**





# Le monorecyclage

## Faisabilité technique

- Les combustibles MOX ou URE peuvent être utilisés dans les réacteurs du parc actuel, moyennant des aménagements spécifiques.

*Note : dans le cas du MOX, la mise en œuvre de ces aménagements est appelée « moxage ».*

- Le futur EPR 2 pourra fonctionner aussi bien avec du combustible à base d'uranium naturel enrichi (UNE) que sous forme de MOX ou d'URE.
- Les problèmes rencontrés par l'usine Melox ont été évoqués. Orano indique avoir pris des mesures pour améliorer la production et retrouver des capacités adaptées à la taille du parc.

3.4

**Le combustible nucléaire**



*La faisabilité technique du monorecyclage fait l'objet d'un consensus.*



# Le monorecyclage

## Usage des ressources : recyclage du plutonium

Le recyclage du plutonium consiste à extraire ce dernier du combustible utilisé pour fabriquer du combustible MOX.

- Selon Orano, le recyclage du MOX permet d'économiser 10% de la ressource en uranium.
- Global Chance questionne sa pertinence économique dans un contexte où la ressource est abondante et le prix de l'uranium n'est pas élevé.

4.3

**Le devenir du combustible utilisé**



*La controverse porte sur la pertinence économique du recyclage du MOX dans l'objectif d'éviter de consommer de l'uranium*



# Le monorecyclage

## Usage des ressources : recyclage de l'uranium de retraitement (URT)

Le recyclage de l'uranium de retraitement consiste à extraire ce dernier du combustible utilisé pour fabriquer du combustible URE.

- Selon Orano, le recyclage de l'URT permettra une réduction de 10 à 15% des besoins en uranium naturel. L'URT est aujourd'hui une matière stratégique, et le redémarrage de la filière est effectif à partir de 2024.
- Global Chance questionne la pertinence économique de la filière URT dans un contexte d'abondance de la ressource
- Global Chance conteste également l'effectivité du recyclage dans la mesure où seulement 11,8% de l'uranium produit a été recyclé.

4.3

Le devenir du combustible utilisé



*La controverse ne porte pas tant sur le gain espéré que sur la pertinence économique et la mise en œuvre effective du recyclage de l'URT.*



# Le monorecyclage

## Type de matières et déchets produits

- Le monorecyclage conduit à ce que chaque matière composant le combustible utilisé soit traitée, voire valorisée, de la manière la plus adaptée.
- En revanche, l'ensemble de la gestion est complexifié.

## Radiotoxicité des matières et déchets

- Le monorecyclage augmente la radiotoxicité actuelle des déchets et la chaleur qu'ils génèrent, en contrepartie d'une réduction de leur radiotoxicité à long terme.
- La radiotoxicité du combustible MOX utilisé est plus importante que celle du combustible UOX utilisé (2x pour les premières décennies, 8x à très long terme).
- Ces différences n'ont qu'un impact faible sur le stockage géologique profond car elles concernent des éléments peu mobiles comparativement aux produits de fission.

4.3

**Le devenir du combustible utilisé**

1.6

**Cigéo, stockage géologique profond**



# Le monorecyclage

## Volume de déchets et emprise au sol pour l'entreposage

L'entreposage des assemblages de combustible désigne la phase temporaire au cours de laquelle les assemblages de combustible refroidissent, avant leur traitement et leur stockage ultime.

Dans le cas où cet entreposage est prolongé dans le temps sans traitement, on parle d'entreposage longue durée (traité dans un autre chapitre).

- Le monorecyclage permet de traiter l'ensemble des assemblages UNE usés (environ 1200 t/an),
- Il conduit toutefois à devoir entreposer les assemblages MOX et URE usés (100 t/an).
- Les besoins d'entreposage sont ainsi réduits d'un facteur 10 aujourd'hui.

1.3

L'entreposage

1.7

L'entreposage longue durée



*L'intérêt du monorecyclage vis-à-vis du volume nécessaire à l'entreposage n'est pas débattu.*



# Le monorecyclage

## Volume de déchets et emprise au sol pour le stockage ultime

Le monorecyclage est de nature à réduire les besoins pour le stockage définitif des déchets de combustible.

- EDF indique que le recyclage permet une réduction d'un facteur 3 à 5 du volume de déchets de haute activité selon les stratégies mises en œuvre.
- Global Chance conteste ces chiffres et indique que le facteur serait plus proche 1 (à 1,16).



*La différence de résultat n'a pas été élucidée. L'emprise au sol avec monorecyclage tend à être réduite, les valeurs exactes restent à déterminer.*

- D'après l'Andra, le nombre d'alvéoles est proportionnel au nombre d'assemblages de combustible à stocker. Néanmoins, les types de combustible utilisé se distinguent par leur puissance thermique, conduisant à devoir adapter la distance entre les alvéoles et le nombre de colis de combustible utilisé par alvéole.
- Global Chance souligne que le MOX nécessite un espace de stockage plus important et déplore de ne pouvoir accéder à des informations à ce sujet.



# Le monorecyclage

## Sûreté et rejets

- Le monorecyclage conduit à manipuler davantage les matières radioactives, et à générer des quantités d'effluents supérieurs lors du traitement, mais toutefois inférieurs lors du minage de l'uranium.
- En cas d'accident grave, le MOX augmente les risques liés à la réactivité des assemblages de combustible.
- Les technologies mises en œuvre sont éprouvées.



*Le bilan du monorecyclage est débattu. Le bilan de ses avantages et inconvénients dépend du point de vue.*

## Gestion du plutonium

- Le monorecyclage conduit à devoir gérer le stock de plutonium, ainsi que sa qualité du point de vue isotopique. En effet, le monorecyclage dans le parc actuel réduit sa qualité.
- Cette baisse de qualité rend plus difficile son utilisation militaire.
- Tout le plutonium n'est pas consommé et la réduction de la quantité totale de plutonium est de l'ordre de 25%.



# Le monorecyclage

## Coût

Le coût du monorecyclage est débattu. Le rapport Charpin-Pella-Dessus de 2000 indique un surcoût de 7%. Orano conteste cette évaluation et considère que l'opération est économiquement rentable.

Voir également le rapport public thématique de la Cour des comptes « L'aval du cycle du combustible nucléaire » (2019).

## Filières de recyclage

Combustible recyclé	Réacteurs utilisables aujourd'hui	Réacteurs en cours d'étude
MOX	900 MW	1300 MW
URE	900 MW (x4)	1300 MW

Le monorecyclage est perçu de manière différente : pour les exploitants, c'est une étape technologique vers le multirecyclage. Pour Global Chance, le monorecyclage n'est pas nécessaire.



**Le multirecyclage**



# Le monorecyclage

## Géopolitique

Le recyclage réduit le besoin en ressource uranium, et est de nature à renforcer la souveraineté énergétique.

- La fabrication du MOX est réalisée dans des installations françaises.
- La France ne dispose pas d'installation de conversion de l'URT mais dispose aujourd'hui de la capacité d'enrichissement en URE dans l'usine de George Besse 2. L'opération n'est pas réalisée toutefois en France à ce jour.
- La conversion et l'enrichissement de l'URT est réalisée en Russie, ce qui constitue pour Global Chance une potentielle dépendance géopolitique de la France.



*D'un point de vue géopolitique, le fait que toutes les opérations ne soient pas réalisées sur le sol français est débattu.*



# Le monorecyclage

## Éthique

- FNE souligne son opposition totale au monorecyclage notamment dans le but de ne pas léguer des déchets radioactifs aux générations futures, et préconise une autre gestion de ces déchets.
- L'EDF et l'ANDRA défendent la nécessité de décider maintenant du devenir de ces déchets et de ne pas laisser aux générations futures la gestion des déchets d'un programme qu'elles n'auraient pas choisi.
- L'Andra cite notamment l'exemple de la Suède qui a récemment fait le choix du stockage géologique de ses déchets nucléaires.



*D'un point de vue éthique, le débat porte sur la temporalité des décisions, notamment vis-à-vis de la temporalité de la disponibilité de techniques de traitement, et de leur effet potentiel sur l'état des déchets.*



# Le multirecyclage

## Contexte

Le multirecyclage consiste à recycler le combustible MOX utilisé.

Il est envisageable avec des techniques nouvelles ou existantes.

Il est à comparer au monorecyclage ou au stockage direct.

Il existe deux options :

- Multirecyclage dans les réacteurs actuels (réacteur à eau légère, REL)
- Multirecyclage en réacteur à neutrons rapides (RNR)

4.3

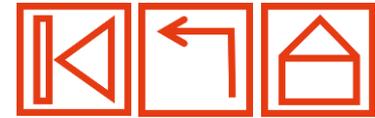
**Le devenir du combustible utilisé**

1.1

**Le monorecyclage**



*La controverse ne porte pas tant sur la faisabilité technique que sur l'opportunité économique et le délai de déploiement.*



# Le multirecyclage

## Grille d'analyse

La grille d'analyse est similaire à celle qui peut être établie pour le monorecyclage.



*Les avis entre les contributeurs sont toutefois plus tranchés sur la question du multirecyclage et assez concis relativement aux autres sujets.*



## Le monorecyclage

On relève les positionnements suivants :

- EDF et Orano ont pour objectif de participer aux travaux engagés dans le cadre de la PPE pour étudier sa faisabilité industrielle, dans la perspective de sa mise en œuvre si elle est décidée à l'avenir.
- FNE et Global Chance s'opposent par principe à cette solution.



# Le multirecyclage

## Faisabilité technique

À chaque recyclage, la qualité du MOX se dégrade (du point de vue de sa composition en isotopes). Pour gérer cette dégradation dans le cadre du multirecyclage, il existe deux solutions principales :

### Multirecyclage dans les réacteurs actuels

Le recyclage nécessite par exemple un mélange avec de l'uranium enrichi.

*Statut* : recyclage expérimenté sur 70 t par ORANO, et plutonium réutilisé dans des réacteurs allemands.

### Multirecyclage dans les réacteurs à neutrons rapides (RNR)

Les RNR peuvent fonctionner avec du plutonium recyclé.

*Statut* : la filière RNR-Na (caloporteur sodium) a atteint le stade industriel avec les réacteurs Phénix et Superphénix. Une modernisation de cette filière a été étudiée dans le cadre du projet ASTRID (2010 - 2019).

Le recyclage complet du plutonium n'a pas encore été démontré.



# Le multirecyclage

## Recyclage et économie des ressources

- Réacteurs actuels : au maximum +10% d'économie en uranium.
- RNR : utilisation du plutonium recyclé, de l'uranium de retraitement et de l'ensemble du stock d'uranium appauvri (potentiel de l'ordre du millier d'années de ressource sans minage).

## Type de matières et déchets produits

- Réacteurs actuels : réduction de la quantité de plutonium et de combustible MOX utilisé, mais augmentation de +30% des actinides mineurs et donc des colis vitrifiés.
- RNR : réduction de la quantité de plutonium, de produits de fission et des actinides mineurs.



*L'ampleur de la réduction possible des actinides mineurs est débattue et dépend de la mise en œuvre de la transmutation.*



# Le multirecyclage

## Sûreté des réacteurs

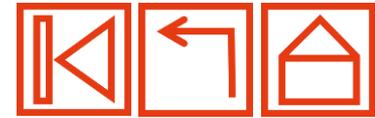
- Les RNR présentent des avantages et des inconvénients en termes de Sûreté nucléaire, par rapport aux réacteurs actuels.
- Ces différences sont prises en compte lors de la conception dans l'objectif d'aboutir à un niveau de sûreté équivalent entre filières contemporaines de réacteurs.



*Ces risques comparés font l'objet de débats entre les contributeurs.*

## Sûreté de la filière de traitement du combustible

- Le multirecyclage implique un nombre important d'opérations sur du combustible contenant du plutonium, lesquelles sont plus difficiles en pratique.
- Le flux de transport n'augmente pas avec le multirecyclage, sous réserve d'une optimisation de la chaîne logistique.
- Le flux de plutonium en circulation augmente d'un facteur 9.



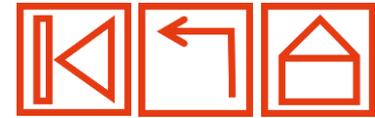
# Le multirecyclage

## Coûts et horizon de déploiement

- Le coût des réacteurs à neutrons rapides est plus élevé.
- Le coût de l'uranium ne justifie pas aujourd'hui le surcoût des RNR, mais ce coût peut augmenter à l'avenir.
- Le déploiement de RNR n'est pas envisagé avant la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle.



*Ces points ne font pas débat*



# L'entreposage

## Contexte

L'entreposage désigne le précédé de gestion d'un combustible usé au cours de laquelle sa **puissance thermique résiduelle** diminue.

L'entreposage précède l'étape de traitement du combustible, ou, si ce dernier n'est pas réalisé, il devient lui-même un mode de stockage à long terme.



*Le débat porte principalement sur les technologies mises en œuvre pour l'entreposage, et son articulation avec la gestion ultime des déchets nucléaires.*



**Le monorecyclage**

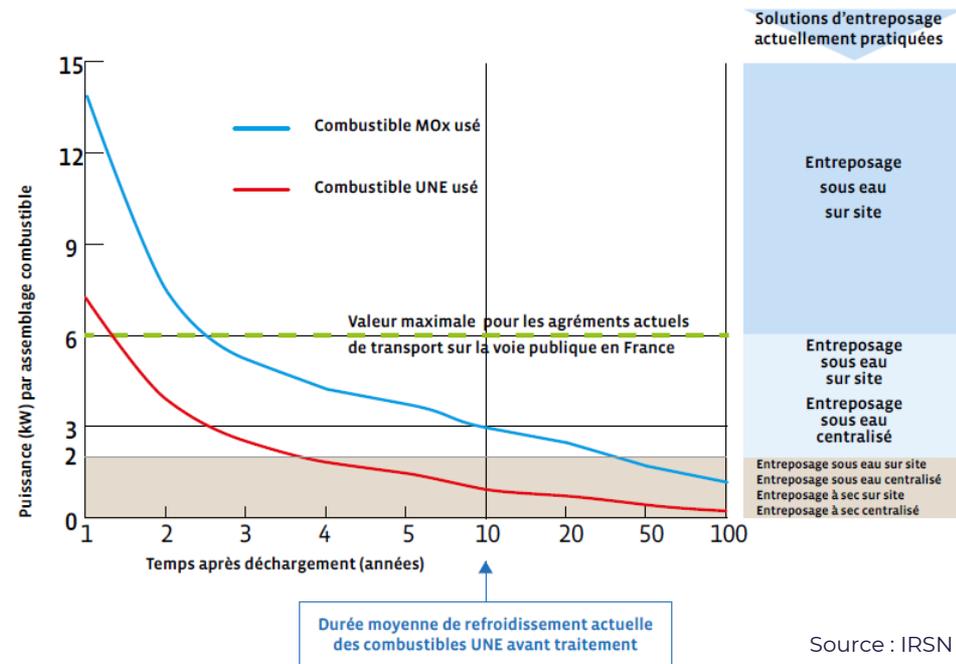


**Cigéo, stockage géologique profond**

# L'entreposage

## Notion de puissance résiduelle

Du fait de sa forte radioactivité, le combustible utilisé produit une grande quantité de chaleur. La radioactivité diminue avec le temps, et la production de chaleur diminue donc elle aussi.



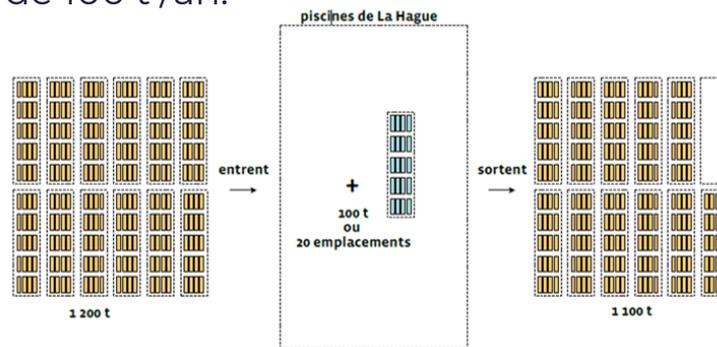
Source : IRSN



# L'entreposage

## Besoins d'entreposage : situation actuelle en France

- Les assemblages de combustible usés sont d'abord entreposés 1 à 4 ans sur site et sous eau dans le bâtiment combustible (dit BK).
- Ils sont ensuite expédiés à la Hague de façon à conserver un inventaire stable sur site (en moyenne 1200 t/an), et ce afin de ne pas saturer les BK (marges d'exploitation).
- Les assemblages sont ensuite traités dans la limite de la capacité de recyclage du MOX, de façon à conserver un inventaire stable en plutonium séparé (en moyenne 1100 t/an).
- L'inventaire de combustible usé à la Hague augmente ainsi en moyenne de 100 t /an.

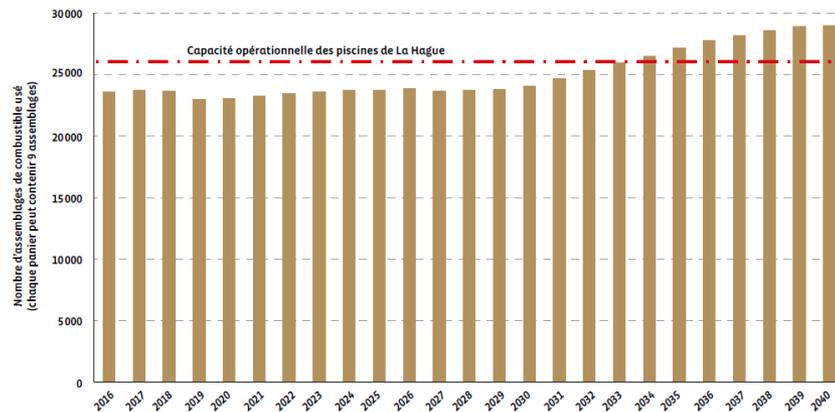




# L'entreposage

## Besoins d'entreposage : situation à venir

- Considérant les capacités d'entreposage à la Hague, l'installation sera saturée à l'horizon 2030.
- Le MOX est aujourd'hui utilisé principalement dans les réacteurs 900 MW. La mise à l'arrêt de ces réacteurs sans remplacement conduira à devoir ralentir le traitement des combustibles usés, de l'ordre de 50 t/an, accélérant la saturation de l'entreposage.



› Évolution de l'occupation des piscines hors BK (source : EDF-Orano)



# L'entreposage

## Milieu d'entreposage

- en **piscine** (sous eau) : favorable pour minimiser la température du combustible. Facilite l'inspection. Nécessite un système de refroidissement actif.
- à **sec** (en air) : réservé au combustible suffisamment refroidi. Refroidissement passif – moins performant pour le MOX utilisé. Complique l'inspection. Des évolutions technologiques sont envisageables pour un combustible moins refroidi.

Pour l'IRSN, les deux systèmes sous eau ou à sec sont au point et performant du point de vue de la sécurité [Rapport IRSN n°2018-00003]



*L'entreposage est nécessairement réalisé en piscine sur site entre 1 et 4 après la sortie du réacteur.*



*Les mérites respectifs de ces solutions sont peu disputés.*



# L'entreposage

## Mise en œuvre

- sur **site** : dans un entreposage associé à chaque centrale nucléaire existante. Permet de ne pas créer de nouveau site nucléaire et de limiter le transport de combustible utilisé.
- de manière **centralisée** : dans un entreposage unique pour toute la France. Permet de limiter la quantité d'installations d'entreposage à construire, maintenir et démanteler.



*Les mérites respectifs de ces solutions sont peu disputés.*



# L'entreposage

## Projets relatifs à l'entreposage

- Considérant les besoins d'entreposage, le Ministère de la transition énergétique et l'ASN ont demandé de poursuivre « les travaux relatifs à la mise en œuvre de nouvelles capacités d'entreposage centralisées sous eau » [Décision du 21 février 2020, à la suite du début public 2019 sur le PNGMDR].
- Une nouvelle installation d'entreposage centralisée sous eau est en projet à La Hague, pour une mise en service en 2034.
- Orano compte également augmenter la capacité du site d'entreposage de La Hague de 30%.
- EDF souhaite également développer à la Hague une installation d'entreposage de combustible MOX en attente du multirecyclage.
- Global Chance met en garde contre le vieillissement des installations et milite pour que soit considérée la possibilité de faire de l'entreposage à sec du combustible usé.



*La stratégie d'augmentation de la capacité d'entreposage est débattue*



# Démantèlement des réacteurs UNGG

## Contexte

Les réacteurs **UNGG** (Uranium naturel graphite gaz) sont les 6 premiers réacteurs nucléaires électrogènes français. Construits dans les années 1960, ils sont tous aujourd'hui à l'arrêt et en cours de démantèlement.

Leur démantèlement est plus complexe que celui des réacteurs à eau pressurisée (REP), pour lequel il existe plus de retour d'expérience national et international. Cela concerne en particulier le composant contenant le cœur : le « **caisson réacteur** ».

4.5

Technologies de réacteur

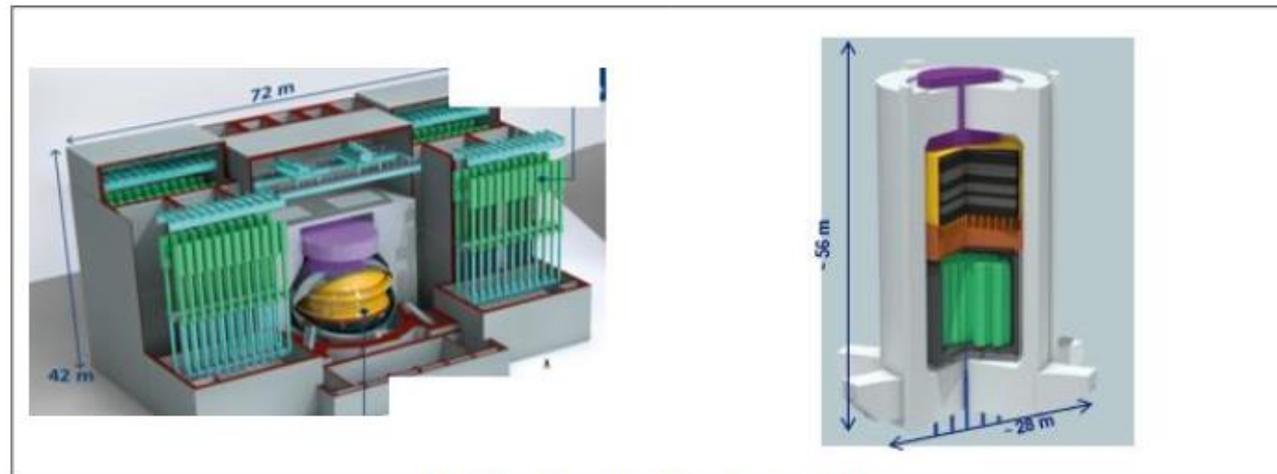


*Le débat porte pour l'essentiel sur la stratégie de démantèlement prévisionnelle, et notamment son calendrier.*

# Démantèlement des réacteurs UNGG

## Le caisson réacteur des UNGG

Le **caisson réacteur** est le composant d'un réacteur UNGG où se trouve le cœur. Il concentre l'essentiel de la radioactivité du réacteur.



Structure des caissons réacteurs UNGG

Source : EDF



# Démantèlement des réacteurs UNGG

## Stratégie de démantèlement

Pour les caissons réacteur, la stratégie initiale consistait à les remplir d'eau (stratégie « sous eau »). En 2016, cette stratégie est abandonnée par EDF du fait de difficultés techniques, au profit d'une stratégie « sous air ».

- ~2030 : démantèlement des centrales, à l'exception des caissons réacteur.
- ~2030 - 2060 : démantèlement du caisson réacteur de Chinon A2 et mise en cocon des 5 autres caissons.
- à partir 2060 : démantèlement des 5 autres caissons. Cette phase pourrait se terminer dans les années 2100.



# Démantèlement des réacteurs UNGG

## Critique de la stratégie de démantèlement

- La stratégie choisie permet de débiter le démantèlement au plus tôt (partie hors caisson réacteur), de mettre en œuvre un démonstrateur et de développer les technologies.
- Le choix du démantèlement sous air n'est pas remis en cause.
- Le calendrier associé est toutefois remis en cause, notamment vis-à-vis du maintien des compétences, de la sûreté et du financement sur une si longue durée.
- Concernant la sûreté, le point crucial est l'étanchéité des caissons réacteur, notamment vis-à-vis des risques d'inondation et de séisme.
- L'IRSN considère que les éléments fournis par EDF ne sont pas à ce jour suffisants pour conclure sur une si longue durée.
- Des éléments ont été fournis par EDF à la suite d'une demande d'ASN. Ils sont soumis à une expertise de l'IRSN.



# TFA et seuils

## Contexte

Aujourd'hui en France, un déchet produit par une installation nucléaire est qualifié de déchet nucléaire indépendamment de son niveau de radioactivité (principe de zonage).

Une alternative est de qualifier le déchet produit en fonction de son niveau de radioactivité. Si ce dernier est inférieur à un seuil suffisamment bas, il peut être considéré comme non-radioactif et libéré (principe de seuil). C'est le principe mis en œuvre dans le reste de l'Europe.



*Le débat porte sur le fait qu'un principe de seuil pourrait être mis en œuvre pour les déchets de très faible activité (dit déchets TFA), dont la radioactivité est infime ou nulle.*

*La mise en œuvre d'un tel principe exige en revanche des méthodes de mesure adéquates de la radioactivité.*

4.6

**La radioactivité**

4.7

**Les déchets nucléaires**



# TFA et seuils

## Principes de gestion des déchets TFA

### Principe de zonage

- Ce principe offre les meilleures garanties en termes de radioprotection, tout en étant facile à implémenter.
- Il permet une traçabilité complète de l'ensemble des déchets radioactifs.
- Il produit une grande quantité de déchets dont la radioactivité est infime ou nulle. Ce flux est amené à s'intensifier avec le démantèlement du parc nucléaire.
- Le centre de stockage des déchets TFA (le Cires) sera saturé entre 2028 et 2038.

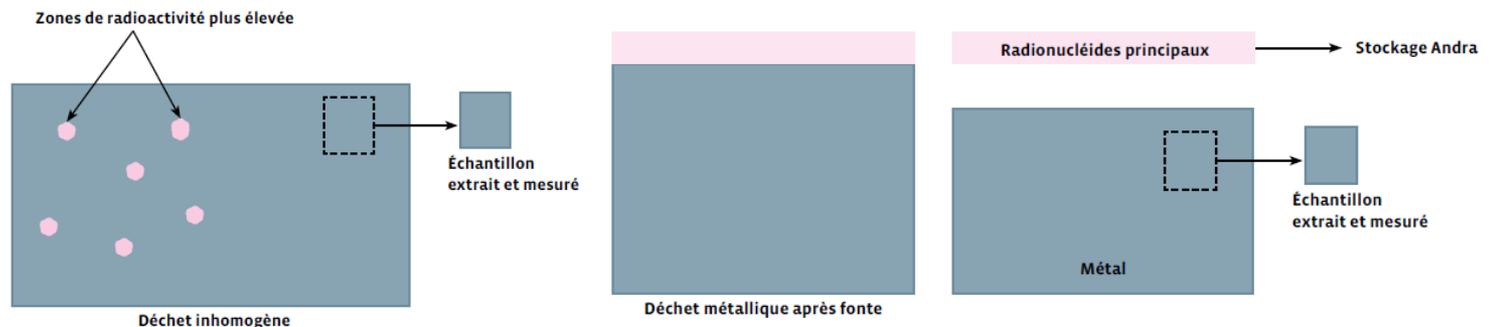
### Principe de seuil

- Ce principe permet de valoriser, de recycler ou de stocker les déchets de très faible activité dans des filières existantes conventionnelles.
- Il favorise un usage des ressources mieux proportionné aux risques réels.
- Le seuil est fixé à partir d'un niveau de dose protecteur (dont les conséquences sur la santé sont négligeables au regard de la radioactivité naturelle).
- Il comporte des enjeux liés aux techniques de mesure du seuil, permettant la libération du déchet.

# TFA et seuils

## Mesure de la radioactivité d'un déchet et ses enjeux

- Pour les déchets TFA, il est nécessaire de mesurer une *faible radioactivité* sur un *grand volume* de déchet.
- Cela implique de devoir réaliser un échantillonnage selon une méthode robuste. Cette dernière nécessite une démonstration rigoureuse des incertitudes dans le cas d'un **déchet inhomogène**.
- La possibilité de réaliser une fusion du déchet (par exemple pour les métaux) renforce cette robustesse car la fusion rend le **déchet homogène** (exemple de Cyclife d'EDF en Suède).





# Cigéo, stockage géologique profond

## Contexte

Depuis 2006 en France, la solution de référence pour la gestion des déchets ultimes de moyenne et haute activité à vie longue (MAVL et HA) est le **stockage géologique profond** incluant une période de réversibilité.

Elle est mise en œuvre par le projet Cigéo mené par l'Andra.

Les alternatives au stockage géologique profond (entreposage longue durée et séparation-transmutation) font l'objet d'autres chapitres.



*Le débat porte notamment sur :*

- la faisabilité technique de Cigeo,*
- la modularité de Cigeo en cas d'un éventuel changement de politique de gestion des déchets MAVL et HA,*
- les aspects éthiques.*

4.7

**Les déchets nucléaires**

1.6

**Cigéo, stockage géologique profond**

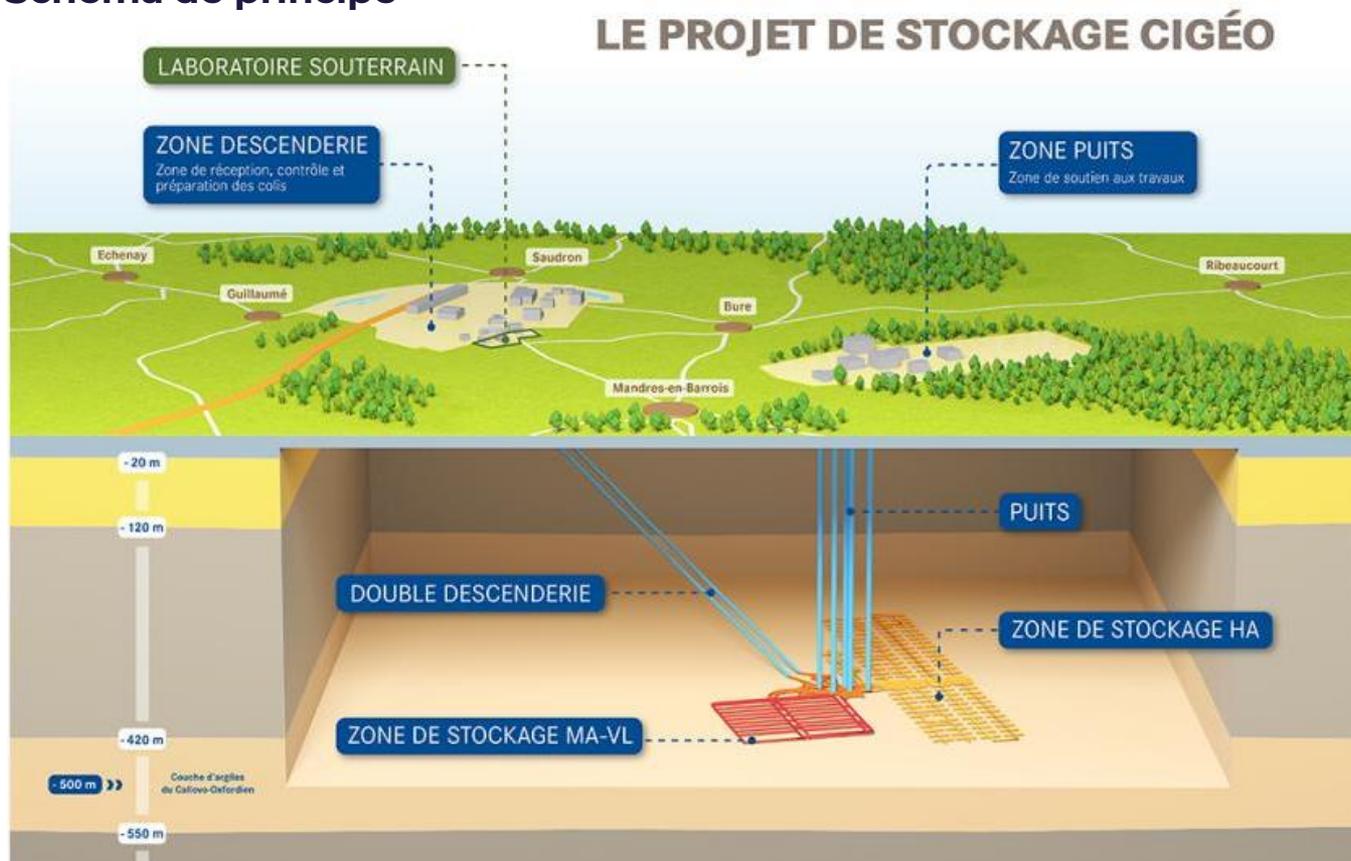
1.8

**Séparation-transmutation**



# Cigéo, stockage géologique profond

## Schéma de principe



Source : ANDRA



# Cigéo, stockage géologique profond

## Statut de la conception

En 2006, le stockage en couche géologique profonde devient la solution de référence.

En 2016, l'ANDRA a remis un dossier d'options de sûreté (DOS) présentant les choix de conception du projet et la stratégie de sûreté associée. Ce dossier a été évalué par l'IRSN et l'AIEA. Ces organisations concluent que les objectifs assignés à Cigéo sont raisonnablement atteignables, mais nécessiteront des compléments. En particulier :

- la maîtrise des risques liés à un incendie dans une alvéole contenant des fûts d'enrobés bitumineux,
- la prise en compte hypothétique de failles dans l'argile,
- la prise en compte de la défaillance d'un conteneur de déchets.

Global Chance relève que la capacité à récupérer un conteneur de déchets défaillant est nécessaire pour garantir la réversibilité.

En 2022, le projet CIGEO est reconnu d'utilité publique [Décret n° 2022-993 du 7 juillet 2022, publié le 8 juillet au Journal Officiel]



# Cigéo, stockage géologique profond

## Phase pilote

L'Andra prévoit de déposer en 2019 une demande d'autorisation de création (DAC)

L'Andra planifie une phase pilote d'une dizaine d'année avant la mise en œuvre de la phase industrielle, dans l'objectif de tester l'installation en conditions réelles.



*La durée nécessaire à la phase pilote est débattue.*

## Modularité

La conception de Cigéo est modulaire, c'est-à-dire que les ouvrages sont creusés en fonction des besoins.

Cela autorise en principe une modification de la politique de la France concernant le traitement des déchets MAVL et HA. Par exemple une interruption du traitement, qui conduirait à devoir stocker des assemblages de combustible complets.

L'IRSN relève que ce point ne conduit pas à d'objection de principe, mais nécessite des études supplémentaires.



# Cigéo, stockage géologique profond

## Faisabilité : couche géologique de confinement

La couche géologique où seront stockés les déchets s'appelle le Callovo-Oxfordien (COx). Ses propriétés d'intérêt pour le stockage géologique profond sont notamment :

- sa stabilité dans le temps,
- son étanchéité.

Concernant l'**étanchéité**, plusieurs éléments sont débattus, notamment :

- des fissurations qui pourraient apparaître dans le COx du fait de la réalisation des travaux,
- l'homogénéité du COx et sa composition : teneur en calcium et possible écoulement d'eau,
- gestion de l'hydrogène généré par les colis.

Ces points ne sont pas rédhibitoires dans la mesure où ils sont correctement pris en compte.



# Cigéo, stockage géologique profond

## Sûreté

- L'Andra assure que le stockage géologique profond est la solution de gestion à long terme la plus sûre.
- L'Andra précise que la sûreté repose notamment sur le choix de principe et de dispositions de conception et d'exploitation, et par les évaluations et les contrôles nombreux et réguliers, notamment de l'ASN.



# Cigéo, stockage géologique profond

## Aspects éthiques et socio-économiques

L'évaluation socio-économique de Cigéo est la première réalisée dans la filière nucléaire, mais aussi la première pour un projet d'une telle envergure et sur une durée pluriséculaire.

- FNE, Greenpeace et Global Chance s'accordent pour affirmer leur opposition totale au projet Cigéo. En particulier, est considéré le fait que le stockage géologique profond implique une charge pour les générations futures.
- L'analyse économique met en avant l'avantage d'un stockage, ne serait-ce qu'à titre assurantiel, face aux risques de fragilisation possible de la société [*Contre-expertise de l'évaluation socioéconomique du projet de Cigéo*, Rapport au Secrétaire général pour l'investissement, Bouttes et al. , 2021]
- EDF considère que le projet Cigéo constitue une solution de stockage permettant de garantir aux générations futures une option de gestion qui les libère de toute contrainte de gestion active.



*Le point de dissensus concerne essentiellement la temporalité de la décision de gestion, à mettre en rapport avec les technologies disponibles dans cette temporalité.*



# Entreposage longue durée

## Contexte

L'entreposage longue durée désigne un entreposage réversible dans une installation en surface ou en subsurface, tout en gardant un contrôle humain permanent.

L'entreposage longue durée est une solution alternative pour la gestion des déchets ultimes de moyenne et haute activité à vie longue (MAVL et HA).

Elle a été écartée par le Parlement depuis 2006, au profit du stockage en couche géologique profonde.

1.6

**Cigéo, stockage géologique profond**



*Le débat porte notamment sur l'existence d'éléments nouveaux qui remettraient en question le choix de 2006.*



# Entreposage longue durée

## Objectifs

Il peut être mis en œuvre dans deux objectifs différents :

1. gérer les déchets nucléaires pendant une durée au moins approximativement connue correspondant au temps de développement d'une solution identifiée ;
2. gérer les déchets nucléaires pendant une durée indéterminée pendant que d'autres solutions de gestion sont explorées par la recherche.

En vertu de la stratégie actuelle, les déchets MAVL et HA sont entreposés à sec en surface (à La Hague et à Marcoule). Ils sont destinés au stockage géologique profond. Il s'agit d'une stratégie de type 1.

Une alternative, proposée notamment par FNE et Global Chance, serait celle d'un entreposage dit « pérennisé », situé en subsurface. Les déchets y seraient stockés pour une durée de l'ordre par exemple de 300 ans, le temps que d'autres solutions soient explorées, notamment la séparation-transmutation. Il s'agit d'une stratégie de type 2.



# Entreposage longue durée

## Bilan de la R&D avant 2005

Deux possibilités ont été identifiées pour un entreposage de trois cent ans :

- construire un entreposage conçu pour 100 ans et le renouveler au moins deux fois. La faisabilité de ce concept n'est pas débattue.
- construire un entreposage conçu dès le départ pour 300 ans. La faisabilité de ce concept est plus débattue ; Orano l'estime faisable tandis que l'Andra estime que cette faisabilité n'est pas démontrée.

## Bilan de la R&D après 2005

Les recherches plus récentes ont conduit à des possibilités d'optimisation des entreposages ; par exemple, la durée de vie de l'entreposage actuellement mis en œuvre est passée de 75 à 100 ans.

Les études réalisées par l'Andra n'ont pas montré d'avantage à l'option en subsurface par rapport à l'option en surface ou semi-enterrée (partie basse de l'installation sous le niveau du sol).



# Séparation-transmutation

## Contexte

La séparation – transmutation est un procédé qui consiste à séparer les radioéléments constituant la matière nucléaire, et à transmuter les éléments non valorisables (eg actinides mineurs, produits de fission) en éléments stables (ie non-radioactifs), et ce dans une échéance courte.

La séparation-transmutation est une solution alternative pour la gestion des déchets ultimes de moyenne et haute activité à vie longue (MAVL et HA).

Elle a été écartée par le Parlement depuis 2006, au profit du stockage en couche géologique profonde.

1.6

**Cigéo, stockage géologique profond**



*Le débat porte notamment sur l'existence d'éléments nouveaux qui remettraient en question le choix de 2006.*



# Séparation-transmutation

## Matières nucléaires concernées par la séparation - transmutation

La séparation-transmutation peut concerner en principe l'ensemble des éléments qui constituent des déchets de combustible usé :

- le **plutonium** peut être valorisé sous forme de combustible MOX, et recyclé une fois (monorecyclage) ou plusieurs fois (multirecyclage),
- les **actinides mineurs** peuvent être séparés du plutonium et des produits de fission, moyennant une étape de séparation supplémentaire. Ils peuvent ensuite être transmutés par fission (comme le plutonium) dans des réacteurs existants ou futurs.
- les **produits de fission** peuvent être transmutés ; les moyens technologiques les plus avancés ne le permettent qu'en quantités infinitésimales. La durée de vie plus courte d'une partie d'entre eux laisse la possibilité également d'attendre leur décroissance naturelle.

4.3

Le devenir du combustible usé



# Séparation-transmutation

## Bilan des recherches avant 2005

- Les recherches menées depuis 1991 ont montré que la séparation était faisable en laboratoire mais que l'industrialisation n'était pas acquise, et qu'elle s'accompagne d'un impact très négatif sur le cycle.
- Les **réacteurs à neutron rapides** (RNR) sont les plus indiqués pour réaliser la transmutation des actinides mineurs.
- Les **réacteurs à eau pressurisés** (REP) actuels conduisent à générer de nouveaux actinides mineurs trop pénalisants.
- Les réacteurs pilotés par accélérateur ont encore une maturité trop faible.
- La transmutation ne permet pas en outre de traiter les déchets déjà vitrifiés.
- De plus, la transmutation ne permet pas de gérer les déchets de fin de vie du parc.

4.5

Technologies de réacteur



# Séparation-transmutation

## Bilan des recherches après 2005

Après 2005, la recherche s'est orientée sur la transmutation à titre de complément à une solution de stockage, et a conduit entre autres aux conclusions suivantes :

- la transmutation du curium est trop dangereuse au regard des gains espérés ;
- la transmutation de l'américium réduit la puissance thermique des déchets, avec un gain possible sur l'emprise d'un stockage des déchets ;
- la transmutation conduit à multiplication par 5 à 10 de l'inventaire des actinides mineurs manipulés dans le « cycle du combustible » ;

Des solutions à plus long terme sont possibles :

- réacteurs sous-critiques pilotés par accélérateur.





# Séparation-transmutation

## Possibilités à plus long terme

- **Réacteur sous-critique piloté par accélérateur** (eg projet Myrrha en Belgique, prévu pour voir le jour en 2036) ;
- **Réacteur de fusion thermonucléaire** en tant que source de neutrons pour la transmutation. Ces réacteurs peuvent utiliser un confinement magnétique (eg ITER, dont la mise en service est prévue pour 2034) ou inertiel, par le truchement de faisceaux laser (eg le Laser Mégajoule mis en service en 2014) ;
- **Faisceau laser** pour induire directement la réaction de transmutation. Dans ce cas, les quantités transmütées restent aujourd'hui infinitésimale et impliquent une grande consommation d'énergie.



*Il existe un consensus sur le fait qu'aucune solution de séparation-transmutation n'est adaptable à l'ensemble des déchets de combustible.*



*Les possibilités d'évolution à un horizon plus lointain, de l'ordre de trois cent ans, font l'objet de débat. Cette situation est à relier au débat concernant le choix entre entreposage longue durée et stockage géologique profond.*



# Vulnérabilité des installations

## Contexte

Le « cycle du combustible » conduit à manipuler des matières radioactives dans les installations et à générer des transports de ces matières entre les sites.

Les risques externes, qu'ils soient d'origine naturelle ou humaine, sont à intégrer à la conception des installations nucléaires, ainsi que dans leur exploitation.

Les risques externes peuvent concerner la prise en compte de phénomènes naturels, ou d'actions humaines involontaires ou malveillantes.

4.2

**Le combustible nucléaire**



*Le débat porte sur la vulnérabilité des installations et du transport vis-à-vis de ces risques externes.*



# Vulnérabilité des installations

## Vulnérabilité de la piscine d'entreposage à la Hague

- Orano assure que l'enceinte de l'installation peut résister à la chute d'un petit engin volant de type drone.
- Selon Orano, la chute directe d'un avion gros-porteur n'est pas possible car la configuration des bâtiments qui l'entourent forme une barrière de protection.

## Vulnérabilité du transport

- Global Chance évoque la vulnérabilité induite par le transport de matières hautement radioactives.
- Orano indique au sujet des transports que des dispositions particulières sont en vigueur pour chaque catégorie de déchets.



# Vulnérabilité des installations

## Vulnérabilité de Cigeo

- Global Chance évoque la vulnérabilité de Cigéo par la présence de systèmes pouvant faire l'objet d'une malveillance, comme les systèmes de ventilation.
- L'Andra explique que des dispositions de protection physique spécifiques sont prévues pour couvrir l'ensemble des menaces identifiées, en concertation avec les autorités compétentes.

# 2

# Nouveaux Réacteurs Nucléaires



## 2 / NOUVEAUX RÉACTEURS NUCLÉAIRES

# Sommaire

2.1

**Motivations des  
nouveaux réacteurs**

2.5

**EPR 2 et combustible  
nucléaire**

2.2

**Programme de  
réacteurs identiques**

2.6

**EPR 2 et autres  
déchets nucléaires**

2.3

**EPR 2 et retour  
d'expérience**

2.7

**Impact du  
changement  
climatique**

2.4

**Raisons du choix de  
l'EPR 2**

2.8

**Vulnérabilités des  
réacteurs**



# Motivations des nouveaux réacteurs

## Contexte

La construction de nouveaux réacteurs s'inscrit au sein d'un débat plus large sur le **paysage énergétique** de la France à l'horizon 2050.

Ce paysage énergétique est à articuler notamment vis-à-vis des enjeux suivants :

- l'atteinte de la neutralité carbone de la France aux échéances fixées ;
- l'indépendance énergétique ;
- la robustesse du réseau électrique.



*Selon les acteurs, le débat porte sur le choix des technologies à mettre en œuvre dans le mix énergétique et le mix électrique, et le scénario optimal pour les atteindre.*

*Le débat portant sur le programme de construction de nouveaux réacteurs est donc à mettre au regard du débat portant sur des programmes alternatifs.*



# Motivations des nouveaux réacteurs

## Engagements de la France sur la neutralité carbone

- Au **niveau national** : la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) a pour ambition de donner les orientations pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050.
- Au **niveau européen** : le pacte vert pour l'Europe engage les États sur un objectif de réductions nettes de gaz à effet de serre de 55% en 2030 par rapport à leur niveau de 1990.

Les définitions du **mix énergétique** et du **mix électrique** sont essentielles pour élaborer les stratégies de neutralité carbone. Le programme de construction d'EPR 2 s'intègre dans la définition du mix électrique.



*Il existe un consensus parmi les contributeurs sur la nécessité d'atteindre la neutralité carbone.*



*La composition du mix électrique et le scénario pour l'atteindre, en particulier par la construction de nouveaux réacteurs nucléaires, fait l'objet de débat.*



## 2 / NOUVEAUX RÉACTEURS NUCLÉAIRES

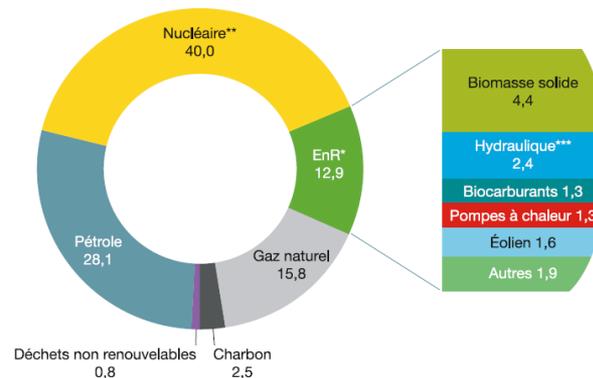
# Motivations des nouveaux réacteurs

### Consommation d'énergie et d'électricité actuelle en France

- **Carbone** : le mix électrique français est l'un des plus décarboné d'Europe. En revanche, 2/3 du mix énergétique en France est d'origine fossile, donc émetteur de CO<sub>2</sub>.
- **Indépendance énergétique** : la balance commerciale énergétique est déficitaire (2020 : importations de 25,2 milliards d'€ de gaz et de pétrole, et exportation de 1,2 milliards d'€ d'électricité).
- **Réseau** : en France, RTE est responsable de l'équilibrage du système électrique.

RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE EN FRANCE  
Total : 2571 TWh en 2020 (données non corrigées des variations climatiques)

En % (données non corrigées des variations climatiques)



\* EnR : énergies renouvelables.

\*\* Correspond pour l'essentiel à la production nucléaire, déduction faite du solde exportateur d'électricité. On inclut également la production hydraulique issue des pompes réalisés par l'intermédiaire de stations de transfert d'énergie, mais cette dernière demeure marginale comparée à la production nucléaire.

\*\*\* Hydraulique hors pompes.

Champ : France entière (y compris DROM)

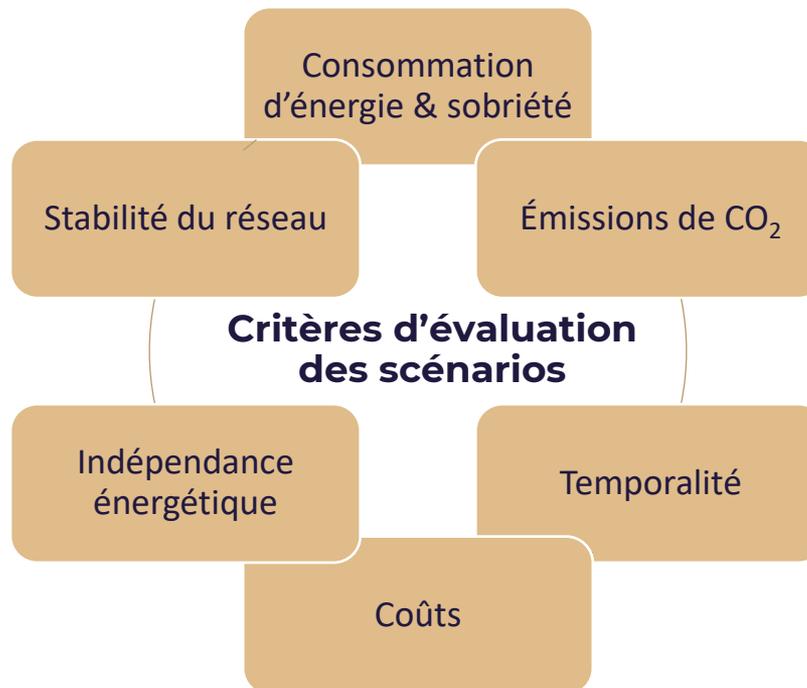
Source : SDES, Bilan énergétique de la France.



# Motivations des nouveaux réacteurs

## Stratégies énergétiques et leur évaluation

Les stratégies énergétiques sont étudiées sur la base de **scénarios** de l'avenir, portant sur la consommation et la production d'énergie, et évaluées sur la base d'un ensemble de **critères**.





# Motivations des nouveaux réacteurs

## Production d'énergie et d'électricité en France en 2050

En vertu de la SNBC, la décarbonation est principalement réalisée par une électrification massive des usages et au recours à une source d'énergie de substitution lorsque l'électrification est difficile.



*La manière dont l'électricité sera produite est débattue vis-à-vis de deux principales stratégies :*

### Mix nucléaire + ENR

- construction de nouveaux réacteurs nucléaires, assurant notamment la stabilité du réseau,
- construction de nouvelles capacités renouvelables.

### Mix 100% ENR

- construction massive de nouvelles capacités renouvelables,
- développement de moyens de flexibilité additionnels (eg batteries, STEP, hydrogène ou gaz de synthèse).



*D'autres moyens que l'électrification permettent la décarbonation : chaleur géothermique, biomasse et biogaz.*

D'après RTE, les scénarios avec une part du nucléaire sont moins coûteux que ceux 100% ENR [*Futurs énergétique 2050*, RTE 2021]



# Motivations des nouveaux réacteurs

## Consommation d'énergie et d'électricité en France en 2050

Elle dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels :

- l'évolution de la consommation d'énergie finale,
- l'évolution de la part relative de la consommation d'électricité (électrification et décarbonation des usages),
- les efforts atteignables en termes d'économies d'énergie (sobriété),
- les besoins d'énergie pour la réindustrialisation.

Le scénario retenu par RTE et prévu par la SNBC consiste en une diminution de 40% de la consommation d'énergie finale et une augmentation de 30% de la consommation d'électricité d'ici 2050.

*Le programme de nouveaux réacteurs peut apporter une puissance électrique de 10 GW qui peuvent être perçus :*



- *comme un avantage pour l'électrification et la réindustrialisation,*
- *comme une incitation à la consommation, nuisant aux efforts de sobriété.*



# Motivations des nouveaux réacteurs

## Émissions de CO<sub>2</sub> des différentes sources d'énergie

	GIEC (valeur médiane)	EDF, rapporté par la SFEN	ADEME
<b>Nucléaire</b>	12 g-CO <sub>2</sub> /kWh	4 g-CO <sub>2</sub> /kWh (*)	10 g-CO <sub>2</sub> /kWh
<b>Éolien</b>	12 g-CO <sub>2</sub> /kWh		12 g-CO <sub>2</sub> /kWh
<b>Hydraulique</b>	40 – 70 g-CO <sub>2</sub> /kWh		
<b>Photovoltaïque</b>	41 g-CO <sub>2</sub> /kWh		55 g-CO <sub>2</sub> /kWh

\* Cette valeur basse s'explique notamment par le fait que le processus d'enrichissement de l'uranium réalisé dans le cadre du nucléaire français, dont l'électricité a une faible intensité carbone.

Greenpeace considère que le potentiel de décarbonation de l'éolien est neuf fois supérieur à celui du nucléaire.



*Le potentiel de décarbonation des sources d'énergie est débattu, et en particulier celui de l'énergie nucléaire.*



# Motivations des nouveaux réacteurs

## Temporalité

La temporalité désigne notamment :

- le calendrier des objectifs de décarbonation,
- les délais nécessaires à la construction de nouvelles capacités de production.

Concernant les nouveaux réacteurs, la mise en service des premiers d'entre eux est prévue pour **2035 – 2037**, dans l'optique de l'atteinte de la neutralité carbone en 2050.



*Selon certains contributeurs, ce calendrier ne permet pas de tenir les engagements intermédiaires de 2030, voire ceux de 2050 dans le cas où le programme prendrait du retard.*

*La disponibilité des solutions concurrentes aux échéances fixées en terme de maturité industrielle est également débattue, notamment en ce qui concerne les moyens de stabilisation du réseau électrique (stockage et adaptation du réseau).*



# Motivations des nouveaux réacteurs

## Articulation entre indépendance énergétique et approvisionnement en uranium

4.1

La ressource uranium

Les éléments suivants peuvent être relevés :

- L'uranium consommé dans les centrales françaises est importé. Cela implique une dépendance envers les pays producteurs (Canada, Niger, Kazakhstan).
- Cette dépendance est atténuée par la diversification des fournisseurs (du point de vue géographique et géopolitique) et par des contrats à long terme.
- Orano indique assurer à ses clients 20 ans de visibilité grâce à son portefeuille de contrats. Orano indique que 40% des réserves actuelle se trouvent dans des pays de l'OCDE.
- Greenpeace indique que 45% de l'uranium provient du Kazakhstan et questionne la pertinence éthique et stratégique de cette répartition.



*La stratégie d'approvisionnement de la France en uranium est débattue.*



# Motivations des nouveaux réacteurs

## Articulation entre indépendance énergétique et disponibilité de l'uranium

Les éléments suivants peuvent être relevés :

- Selon Orano, les ressources connues représentent 100 ans de consommation mondiale. Selon la SFEN, ce chiffre s'élève à 135 ans pour le minerai à moins de 135 USD/kg)
- Selon la SFEN, les ressources estimées représentent 250 ans de consommation mondiale [*Ressources en uranium*, AIEA/OCDE 2018].

4.1

**La ressource uranium**



*Ce point n'a pas fait l'objet de débat parmi les contributeurs*



# Motivations des nouveaux réacteurs

## Articulation entre indépendance énergétique et le recyclage des matières nucléaires

Le recyclage des matières nucléaires (MOX, uranium de retraitement) permet de réduire les besoins d'approvisionnement en uranium naturel. Les éléments suivants peuvent être relevés :

- D'après la SFEN, l'objectif est de doubler d'ici 2030 la proportion d'énergie issue de matières recyclées.
- D'après Orano, le MOX permet de réduire de 10% les besoins d'uranium naturel,
- D'après Orano, la reprise prochaine du recyclage de l'URT permettra une réduction de 10 à 15% supplémentaires.



*Ces points ne sont pas contestés vis-à-vis de l'indépendance énergétique.*



*Ces points sont en revanche débattus vis-à-vis de l'évaluation globale du recyclage des matières nucléaires.*

1.1

**Le monorecyclage**



# Motivations des nouveaux réacteurs

## Articulation entre indépendance énergétique et opérations de transformation de l'uranium

Les éléments suivants peuvent être relevés :

- L'uranium naturel est transformé en France, notamment l'enrichissement, ce qui garantit une maîtrise du combustible à partir de ce segment.
- Greenpeace met en garde sur le fait que la France ne maîtrise pas la filière d'enrichissement de l'uranium de retraitement et de l'utilisation de technologies étrangères, qui ferait perdre la France son indépendance sur ce segment.

4.2

**Le combustible nucléaire**



*Il existe un consensus parmi les contributeurs sur le fait que la technologie de transformation, et notamment l'enrichissement, doit être conservée en France.*



*Les avantages et les inconvénients des énergies renouvelables sur ce point sont débattus. La production est locale mais la construction des capacités de production nécessite des terres rares, lesquelles ne sont pas produites en France.*



# Motivations des nouveaux réacteurs

## Stabilisation du réseau et ENR intermittentes

L'équilibre entre offre et demande nécessite d'être assuré à chaque instant. Les énergies éoliennes et solaires sont intermittentes, c'est-à-dire que leur production varie en fonction de l'heure de la journée, de la saison et des années.



*Il existe un consensus sur le fait que les besoins en termes de flexibilité du réseau seront croissants avec l'intégration croissante des ENR.*

L'énergie nucléaire apporte des capacités d'équilibrage du réseau :

- il assure actuellement 50% de la flexibilité saisonnière, 25% de la flexibilité hebdomadaire et 15% de la flexibilité journalière.
- l'EPR2 sera capable de passer de 25% à 100% de puissance en 30 minutes.



*La capacité de pilotage du nucléaire est débattue au regard notamment de l'impact des vagues de chaleur (arrêt de centrales), des contraintes de sûreté nucléaire et des conséquences en termes de coûts.*

*La possibilité d'utilisation de solutions de stabilisation alternatives est débattue (batteries, hydrogène, ...)*



# Programme de réacteurs identiques

## Contexte

Dans le dossier du maître d'ouvrage, EDF propose de lancer la construction de centrales nucléaires sous la forme d'un programme de réacteurs EPR 2 identiques.

La construction par programme de modèles identiques est semblable à la manière dont les réacteurs du parc actuel ont été construits (par modèles appelés paliers).

4.8

**Le parc nucléaire français actuel**



*Le débat porte sur l'opportunité de mettre en œuvre d'un programme de réacteurs identiques vis-à-vis notamment des points suivants :*

- *son effet sur la robustesse de la filière et l'effectivité de l'intégration du retour d'expérience,*
- *son effet sur les performances de sûreté des réacteurs.*



# Programme de réacteurs identiques

## Robustesse de la filière

Avant le chantier de l'EPR de Flamanville, la France n'avait pas construit de réacteur depuis plus de 20 ans. Le chantier de Flamanville, qui a débuté en 2007, a quant à lui montré des retards importants et des écarts de coûts et de conformité.

Le rapport Folz préconise « d'afficher des programmes stables à long terme de construction de nouveaux réacteurs en France et d'entretien du parc existant qui donnent aux entreprises concernées la visibilité et la confiance nécessaires pour qu'elles engagent les efforts d'investissement et de recrutement indispensables. »

En vertu de ces conclusions, EDF propose un programme de 6 réacteurs EPR2 de façon à assurer la robustesse de la filière.



*Ce raisonnement est contesté pour les raisons suivantes :*

- la capacité effective d'EDF à prendre en compte le retour d'expérience de Flamanville doit être démontrée,*
- la démonstration de la robustesse de la filière doit être un préalable au lancement du programme.*



# Programme de réacteurs identiques

## Sûreté

D'après EDF et la SFEN, l'EPR 2 garantit le même niveau de sûreté que l'EPR.

La réalisation d'une série de réacteur s'articule avec la sûreté nucléaire de la façon suivante :

- elle a l'**avantage** de limiter la diversité des pièces à concevoir et à produire, de minimiser la complexité des chaînes de fabrication, et de limiter le nombre de procédures de vérifications. Cela permet une meilleure maîtrise de l'ensemble des procédés de la construction à la maintenance, et cette maîtrise participe à la sûreté nucléaire ;
- elle a le **désavantage** d'amplifier le risque d'un défaut générique, c'est-à-dire un défaut détecté sur un réacteur, susceptible de concerner l'ensemble des réacteurs du même modèle, et donc de paralyser le parc si les réacteurs doivent être arrêtés.



*L'intérêt d'une série de réacteurs est donc débattu, en fonction du point de vue considéré.*



# EPR 2 et retour d'expérience

## Contexte

Dans le dossier du maître d'ouvrage, EDF propose de lancer la construction de centrales nucléaires du modèle EPR 2.

Le modèle EPR 2 s'intègre dans une longue lignée de programmes nucléaires et industriels français et a vocation à intégrer le retour d'expérience associé :

- à l'exploitation et à la maintenance du parc de réacteur de deuxième génération,
- à la construction des EPR en France et dans le monde,
- à la capacité industrielle disponible, notamment en termes de main-d'œuvre et de compétences spécifiques.

4.5

Technologies de réacteur

4.9

L'EPR



*Le débat porte sur la capacité d'EDF à intégrer ce retour d'expérience dans le cadre du programme EPR 2*



# EPR 2 et retour d'expérience

## Retour d'expérience sur le parc des réacteurs de deuxième génération en fonctionnement normal

D'après EDF, la prise en compte effective du retour d'expérience est assurée par le processus suivant :

- mise en œuvre d'une surveillance quotidienne, ainsi que d'une surveillance approfondie tous les 18 mois lors de l'arrêt de remplacement du combustible,
- un réexamen complet de l'installation tous les 10 ans, validé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), seule habilitée à autoriser le redémarrage après les contrôles.

EDF, Greenpeace et Global Chance débattent à propos du traitement de des sujets techniques spécifiques, qui concernent notamment les réacteurs N4 et Konvoi.



*Le processus d'évaluation n'est pas contesté en tant que tel.*



*Le désaccord réside dans l'effectivité de la prise en compte du retour d'expérience, notamment à propos de sujets techniques particuliers.*

3

**Débats techniques spécifiques**



# EPR 2 et retour d'expérience

## Retour d'expérience sur les accidents nucléaires

Des enseignements ont été tirés des accidents nucléaires ayant affecté des réacteurs de deuxième génération (et notamment l'accident de Fukushima-Daiichi) :

- EDF donne comme exemple le renforcement des moyens de refroidissement de la piscine combustible.
- La SFEN cite l'exemple de la force d'action rapide nucléaire d'EDF (FARN).



*La prise en compte de ces enseignements n'a pas été contesté par les contributeurs*



# EPR 2 et retour d'expérience

## Retour d'expérience technique et projet sur la construction des précédents EPR

La période de construction des EPR et les premières années d'exploitation des réacteurs de Taishan constituent un retour d'expérience intéressant pour la conception, la construction et l'exploitation de l'EPR 2.

- Greenpeace et Global Chance indiquent que la période disponible pour constituer le retour d'expérience est extrêmement réduite.
- Par ailleurs, l'effectivité de la prise en compte du retour d'expérience est défendue par EDF et la SFEN, mais contestée par Greenpeace et Global Chance, et ce sur la base de sujets techniques particuliers.

4.9

L'EPR



*Il y a consensus sur le fait que l'exploitation de l'EPR de Taishan a permis de faire remonter des anomalies.*



*Le désaccord réside dans l'effectivité de la prise en compte du retour d'expérience à propos de sujets techniques particuliers.*

3

Débats techniques spécifiques



## EPR 2 et retour d'expérience

### Retour d'expérience organisationnel sur la construction de l'EPR de Flamanville

La construction de l'EPR de Flamanville a conduit à de grandes dérives en termes de coûts et de délais. L'organisation interne en termes de gestion de projet est une cause de ces dérives (cf rapport Folz).



*Il y a consensus sur ces points.*

EDF compte prendre en compte ce retour d'expérience pour que les erreurs organisationnelles passées ne soient pas reproduites, en mettant en œuvre en particulier :

- un plateau projet regroupant les équipes d'EDF et de Framatome,
- en impliquant les fournisseurs plus en amont, tout en mettant en place un plan d'action pour réduire le nombre de non-conformités.



*Global Chance conteste l'effectivité du plateau projet sur la base du fait que Framatome est détenu à 75% par EDF.*



# EPR 2 et retour d'expérience

## Capacités industrielles disponibles : les plans en cours

À la suite des difficultés rencontrées par le chantier de l'EPR de Flamanville, deux plans ont été lancés :

- le plan **EXCELL** dont l'objectif est de pallier à la perte de compétence industrielle et de savoir-faire de la filière française ;
- un plan sur l'excellence humaine liée notamment à l'emploi et à la formation. Dans ce domaine, le programme **MATCH** du GIFEN\* vise à analyser les besoins en compétence sur une échelle de 10 ans pour sécuriser les recrutements.
- EDF et la SFEN estiment que ces plans permettront de retrouver le plus haut niveau d'excellence.
- FNE et Global Chance restent dubitatifs, en s'appuyant notamment sur le rapport gouvernemental « Travaux relatifs au nouveau nucléaire (PPE 2019-2028) » et les difficultés rencontrées lors de la construction de Flamanville 3



*Il y a désaccord sur l'évaluation de l'efficacité à terme de ces plans d'actions.*

\* Le GIFEN est un groupement de 5 grands donneurs d'ordre (EDF, ORANO, CEA, Framatome, Andra) et regroupe 24 industriels et 4 associations historiques de la filière. (le Groupe)



## Raisons du choix de l'EPR 2

### Contexte

Dans le dossier du maître d'ouvrage, EDF propose de lancer la construction de centrales nucléaires du modèle EPR 2.

Parmi les caractéristiques techniques du modèle EPR 2, les points suivants peuvent être relevés :

- une conception permettant de simplifier le projet,
- une puissance électrique de 1670 MWe.

4.10  
L'EPR 2



*Le débat porte sur l'impact de ces caractéristiques sur :*

- *la sûreté du réacteur,*
- *l'intégration dans le mix électrique,*
- *l'existence d'alternatives (autres réacteurs nucléaires ou hors-nucléaire).*



## Raisons du choix de l'EPR 2

### Critères techniques influençant la sûreté de l'EPR 2

Les contributeurs se sont largement appuyés sur les avis rendus par l'ASN et l'IRSN sur le dossier d'option de sûreté présenté par EDF.

- Sont débattus des points techniques spécifiques comme : le récupérateur de corium, l'exclusion de rupture, le nombre de trains de sûreté, l'enceinte unique renforcée, niveau de puissance, ainsi que la prise en compte du retour d'expérience ...
- Pour Greenpeace, ces points permettent de conclure que l'EPR 2 n'est pas techniquement résilient,
- Pour FNE, les arguments techniques avancés ne sont pas une preuve de robustesse, ils répondent avant tout à des obligations légales.

3

**Débats techniques spécifiques**



*Le désaccord réside notamment dans l'interprétation des avis et des conclusions sur ces points techniques spécifiques. Selon les contributeurs, cela conduit à condamner plus ou moins complètement l'EPR 2*



## Raisons du choix de l'EPR 2

### Impact de la puissance de l'EPR 2 sur le mix électrique

*Ce point a notamment été traité dans le chapitre concernant les motivations pour la construction de nouveaux réacteurs.*

EDF indique notamment les points suivants :

- la bonne intégration du réacteur EPR 2 dans le mix électrique est une caractéristique présente dès les étapes de conception du réacteur.
- la conception intègre le maximum de production solaire en milieu de journée et le caractère aléatoire de la production éolienne.
- La conception intègre des scénarios inhabituels, comme par exemple la capacité de s'arrêter pendant 48 h tout en redémarrant rapidement, de façon à laisser la priorité aux énergies renouvelables, par exemple de fortes journées d'ensoleillement.

2.1

**Motivations des nouveaux réacteurs**



## Raisons du choix de l'EPR 2

### Alternatives sous forme d'un autre modèle de réacteur nucléaire

- Pour EDF et la SFEN, l'EPR 2 est le seul choix possible pour un réacteur nucléaire en France dans un futur proche. En effet, les alternatives dans les mêmes termes temporels seraient des réacteurs de 3<sup>e</sup> Génération de conception étrangère, qui sont à exclure pour des raisons de souveraineté et de conformité aux normes de l'ASN.
- Pour l'IRSN : « *en l'état actuel des développements, les réacteurs de quatrième génération n'apparaissent pas être une alternative aux réacteurs EPR 2* ».
- Pour EDF, les SMR sont de trop faible puissance pour constituer une alternative complète (il faut 10 réacteurs SMR Nuward pour une paire d'EPR 2).
- Pour Global Chance, les SMR ont un réel intérêt pour les zones isolées, mais le coût de l'électricité serait plus élevé, les effets de série n'étant pas démontrés.



*Dans les échelles de temps fixées, ces points suscitent globalement peu de désaccord.*



## Raisons du choix de l'EPR 2

### Alternative sous forme d'une autre source d'énergie

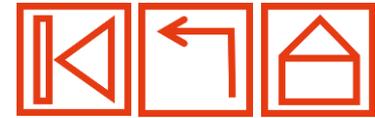
Ce point a notamment été traité dans le chapitre concernant les motivations pour la construction de nouveaux réacteurs.

À ce titre :

- FNE, Global Chance et Greenpeace identifient une incohérence dans le fait d'envisager les moyens techniques avant de questionner la demande en énergie et les choix des sources énergétiques permettant de les satisfaire.
- En outre, selon eux, l'alternative à l'EPR 2 est de ne pas construire de nouveau réacteur nucléaire et de miser sur les énergies renouvelables et la sobriété.



**Motivations des  
nouveaux réacteurs**



# EPR 2 et combustible nucléaire

## Contexte

Dans le dossier du maître d'ouvrage, EDF propose de lancer la construction de centrales nucléaires du modèle EPR 2.

Ces réacteurs EPR 2 consommeront du combustible :

- dont la fabrication doit s'intégrer dans le « cycle du combustible »,
- dont le traitement en tant que déchet doit s'intégrer au sein d'une stratégie de gestion des déchets nucléaires



*Le débat porte sur les points suivants :*

- *la consommation en uranium de l'EPR 2,*
- *le recyclage du combustible utilisé,*
- *l'impact sur les besoins d'entreposage,*
- *l'impact sur le stockage définitif des déchets de combustible.*



# EPR 2 et combustible nucléaire

## Besoins en uranium de l'EPR 2

Selon EDF et la SFEN, les besoins en uranium de l'EPR 2 seront inférieurs à ceux des réacteurs précédents, pour les raisons suivantes :

- Un gain lié à la technologie elle-même : selon EDF, l'EPR 2 consomme a minima 5% de moins par MWh produit. Selon la SFEN, le gain serait de 17%, sur la base du rapport de 2007 du Conseil Supérieur de la Sûreté et de l'Information Nucléaire (CSSIN).
- Un gain lié au « cycle du combustible » : par la possibilité de recycler les matières nucléaires (MOX et URT).



*Ces points ne font pas l'objet de beaucoup de débats vis-à-vis de l'EPR 2.*



*Ce sont en revanche les moyens à mettre en œuvre vis-à-vis du « cycle du combustible » qui font débat : pour l'approvisionnement en uranium ainsi que le recyclage des matières nucléaires.*

2.1

**Motivations des nouveaux réacteurs**

1.1

**Le monorecyclage**



# EPR 2 et combustible nucléaire

## EPR 2 et recyclage du combustible utilisé

- EDF indique que les futurs EPR 2 peuvent fonctionner aussi bien avec du combustible à base d'uranium naturel (UNE) qu'avec du combustible à base d'uranium de retraitement enrichi (URE) ou du MOX.
- EDF et Orano ont pour objectif de participer aux travaux engagés dans le cadre de la PPE pour étudier sa faisabilité industrielle, dans la perspective de sa mise en œuvre si elle est décidée à l'avenir.
- FNE et Global Chance s'opposent au recyclage du combustible.

1.1

**Le monorecyclage**

1.2

**Le multirecyclage**



*Les débats sur ce sujet entre les contradicteurs ne sont pas liés à l'EPR 2 en tant que tel, mais au sujet plus vaste du recyclage du combustible dans le contexte de la filière nucléaire dans son ensemble.*



# EPR 2 et combustible nucléaire

## EPR 2 et entreposage du combustible utilisé

- Les capacités d'entreposage de combustible utilisé seront saturées à l'horizon 2030, avant même le démarrage des nouveaux réacteurs.
- Les combustibles utilisés seront produits par les EPR 2 entre 2040 et 2100, période pendant laquelle les installations de traitement actuelles auront été démantelées.
- Le sujet de la construction des EPR 2 est donc au premier ordre indépendant du sujet de la saturation des capacités d'entreposage des combustibles utilisés.



*Il y a consensus entre les contributeurs sur ce point. Les problématiques liées à l'EPR 2 sont donc renvoyées à celles, plus générales, des options d'entreposage à définir.*



**L'entreposage**



# EPR 2 et combustible nucléaire

## EPR 2 et stockage du combustible utilisé

Les déchets HA et MA-VL sont pressentis pour être stockés dans l'installation Cigéo de stockage géologique profond.

- Orano indique que ces déchets pourront être préalablement entreposés sur le site de la Hague.
- Orano et la SFEN indiquent que le nouveau programme change peu les ordres de grandeur de quantités de déchets à stocker.
- Selon EDF et l'ANDRA, il n'existe pas d'élément technique rédhibitoire qui l'empêcherait. L'ANDRA souligne toutefois qu'elle devra mener les études nécessaires en vertu du processus réglementaire d'autorisation.
- FNE conteste ces conclusions et indique que la capacité d'accueil n'est pas une question résolue.



*Ce point est débattu, du point de vue de la capacité d'accueil, mais également plus généralement, au sujet du principe de Cigéo.*

1.6

**Cigéo, stockage géologique profond**



2 / NOUVEAUX RÉACTEURS NUCLÉAIRES

# EPR 2 et autres déchets nucléaires

## Contexte

Dans le dossier du maître d'ouvrage, EDF propose de lancer la construction de 6 centrales nucléaires du modèle EPR 2.

Ces réacteurs EPR 2 produiront des déchets nucléaires (hors déchets de combustible) lesquels devront être traités.

Il s'agit de déchets de type TFA et FMA-VC.

4.7

**Les déchets nucléaires**



*Le débat porte sur l'impact de la construction de l'EPR 2 sur la gestion de ces déchets*



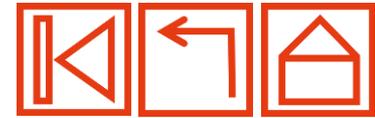
# EPR 2 et autres déchets nucléaires

## Gestion des déchets TFA et FMA-VC issus des EPR 2

- Les déchets TFA et FMA-VC issus des six nouveaux réacteurs EPR 2 constituent de faibles volumes en proportion de l'ensemble des déchets produits par le parc nucléaire actuel.
- EDF estime que la présence des déchets issus des nouveaux réacteurs avancerait la saturation des capacités de stockage d'environ 12 mois pour le CSA et que l'impact sur le stockage TFA serait principalement concentré autour du démantèlement des nouveaux réacteurs à l'horizon 2100.
- EDF estime que le besoin d'augmentation de capacité se situeront vers 2040 pour le Cires et vers 2060 pour le CSA.
- L'Andra et EDF considèrent que compte tenu des capacités de stockage actuelles, des augmentations de capacité seront nécessaires (par extension ou création), indépendamment de la décision de construction de nouveaux réacteurs EPR 2.



*Ces points ne suscitent pas de controverse.*



# Impact du changement climatique

## Contexte

Les conditions environnementales sont destinées à évoluer du fait du changement climatique. Ces évolutions seraient susceptibles d'avoir un impact sur le fonctionnement des réacteurs EPR 2.



*Le débat porte sur la vulnérabilité des réacteurs prévus au programme vis-à-vis du changement climatique, vus sous deux angles :*

- impact des phénomènes connus : augmentation de la température de l'air et de l'eau, évolution du niveau de la mer, diminution du débit des rivières et des fleuves, tensions sur les ressources naturelles et autres effets.*
- capacité à modéliser ces effets de façon à être en mesure d'évaluer ces impacts sur la vulnérabilité des réacteurs.*



# Impact du changement climatique

## Impact des épisodes de fortes températures

- FNE, Global Chance alertent sur le fait que le fonctionnement des centrales en cas de fortes chaleurs est dangereux du point de vue de la sûreté nucléaire, notamment vis-à-vis des capacités de refroidissement des réacteurs.
- D'après Greenpeace, des hausses de température peuvent entraîner l'arrêt de centrales, ou le choix de déroger aux arrêts fixant les conditions de rejet d'eau de refroidissement (exemple de l'été 2022).
- EDF et la SFEN indiquent que le plan ADAPT et le plan « grand chaud » permettent aux centrales de fonctionner en cas de canicule, en vertu des contraintes réglementaires. Les dérogations s'accompagnent d'une surveillance accrue qui n'a pas révélé jusqu'à maintenant de conséquence négative.



# Impact du changement climatique

## Impact de l'augmentation de la température de l'eau et de l'air

- Greenpeace indique que les épisodes de forte température sont amenés à s'amplifier à l'avenir. D'après l'Organisation météorologique mondiale, 15% des centrales nucléaires existantes sont déjà situées dans des zones à fort stress hydrique, une part qui devrait passer à 25% au cours des prochaines années.
- EDF considère les modélisations données par le GIEC, et se place à l'horizon 2100 pour tenir compte du changement climatique. Par ailleurs, EDF utilise des données de température d'air et d'eau dont la période de retour est supérieure à 10.000 ans.
- Les sites en bord de rivière sont plus impactés que ceux situés en bord de mer ; ce point fait consensus.
- EDF précise que pour les EPR 2 qui seraient implantés près d'une rivière, des systèmes sont en cours de conception : tours aéroréfrigérantes humides (permettant de limiter les prélèvements et le réchauffement de l'eau) et des aéroréfrigérants de purge.



# Impact du changement climatique

## Impact des changements des épisodes de tempête

- FNE met en garde contre l'augmentation de la fréquence d'épisodes impliquant des vents violents. Ces épisodes peuvent mettre en danger le réseau de manière plus régulière dans le futur.
- EDF confirme étudier systématiquement le risque de perte d'alimentation électrique dans la conception des centrales nucléaires.
- EDF précise s'appuyer sur les données de Météo France, qui ne montrent pas de tendance significative sur la fréquence et l'intensité des tempêtes à l'horizon 2050 ou 2100.



# Impact du changement climatique

## Impact de l'évolution du niveau de la mer

- Le niveau de la mer augmenterait de 0,4 m à 1 m selon les scénarios [Scénario RCP8.5 du GIEC]
- Greenpeace et Global Chance alertent sur les risques de sûreté posés par l'augmentation du niveau de la mer en l'illustrant par l'inondation de la centrale de Blayais.
- Lors de cet événement de 1999, l'inondation avait conduit à la perte des alimentations électriques de la centrale et au démarrage des groupes de secours.



*La représentativité des données utilisées pour le dimensionnement des mesures de protection est débattue.*

3.2

**Conception des réacteurs**

- Greenpeace alerte sur les surcoûts de conception et de construction des centrales induits par la prise en compte de l'élévation du niveau de la mer. Greenpeace souhaite en outre qu'EDF mette à disposition une étude poussée de l'effet de l'élévation du niveau des mers pour les sites de Penly et Gravelines, en particulier en utilisant le scénario le plus pessimiste.



# Impact du changement climatique

## Impact de la diminution du débit des rivières et des fleuves

- Global Chance relaie les données de RTE qui estime à 3% le temps d'arrêt annuel des centrales dus à l'eau jusqu'en 2050, 71% d'entre eux étant dus à un débit insuffisant des fleuves pour les refroidir. Global Chance alerte sur l'horizon auxquelles les prédictions sont faites puisque les nouveaux réacteurs doivent fonctionner jusqu'en 2100.
- Greenpeace souhaite que des études soient réalisées pour évaluer le temps restant avant qu'il n'y ait plus assez d'eau pour les centrales, et avant que les centrales de bord de mer soient submergées.
- EDF et la SFEN précisent que pour faire face à la diminution du débit des cours d'eau, le refroidissement pourra être réalisé via des tours aéroréfrigérantes. Des systèmes complémentaires (aéroréfrigérant de purge) sont en cours d'étude.
- EDF précise que l'EPR 2 est conçu sur la base du niveau d'étiage calculé à partir du niveau le plus bas observé sur 1000 ans, diminué de 15%, conduisant à un événement ayant une période de retour de 10 000 ans.



# Impact du changement climatique

## Impact de la tension sur la disponibilité de l'eau

L'accès à une ressource en eau est nécessaire pour assurer le refroidissement d'une centrale nucléaire.

- La consommation d'une centrale nucléaire en bord de fleuve a représenté 1% du débit des cours d'eau [Combien d'eau consomment les centrales nucléaires ? – Édition 2023, SFEN, 22 juin 2023, <https://tinyurl.com/44j746hh>]
- Le changement climatique modifie la disponibilité et l'accès aux ressources naturelles, et notamment l'accès à l'eau douce pour les nouveaux réacteurs.

3.2

Conception des réacteurs



*L'adéquation de l'approvisionnement en eau de la centrale de Penly est débattue.*

- La tension sur la ressource en eau est un problème qui dépasse le secteur électronucléaire. Global Chance cite l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) qui en 2022 chiffre à 87% la proportion de l'électricité mondiale qui dépend directement de la disponibilité en eau.



# Impact du changement climatique

## Impact d'autres effets du changement climatique

- Greenpeace rappelle que le changement climatique accentuera les tensions géopolitiques du fait de la compétition pour les ressources naturelles.
- FNE mentionne l'impact du programme sur la diversité et le fait que les nouveaux réacteurs de Penly sont situés sur le littoral.
- EDF indique que lorsqu'un projet de réacteur est décidé, c'est le rôle de l'étude d'impact environnemental de répondre aux questionnements sur son incidence sur l'environnement, et notamment le milieu aquatique. Cette étude peut mener à une adaptation du projet.
- EDF précise que l'étude d'impact s'appuie notamment sur une caractérisation de l'évolution naturelle en l'absence du projet. Pour ce faire, des modélisations hydro-climatiques sont réalisées.



# Impact du changement climatique

## La modélisation des impacts du changement climatique

- EDF indique que les effets du changement climatique sont intégrés dès la conception des centrales.
- EDF déclare que ses méthodes et hypothèses reposent sur les modèles du GIEC (rapports de 2014 et 2022) et de laboratoires indépendants.
- Global Chance et le CNRS soulignent la difficulté des prévisions en matière climatique, lesquelles impliquent une difficulté à anticiper les impacts à l'horizon 2100.
- EDF dit s'y préparer au mieux en considérant des phénomènes ayant des périodes de retour de 10 000 ans.
- EDF indique qu'il dispose d'une démarche de veille continue afin de mettre régulièrement à jour les prévisions climatiques à l'aide des données observées. Le plan ADAPT permet de réaliser des stress tests sur les centrales existantes.
- Global Chance estime cette démarche insuffisante au regard des incertitudes.



# Vulnérabilités des réacteurs

## Contexte

Les risques externes, qu'ils soient d'origine naturelle ou humaine, sont à intégrer à la conception des centrales nucléaires, ainsi que dans leur exploitation.

Les risques externes peuvent concerner la prise en compte de phénomènes naturels, ou d'actions humaines involontaires ou malveillantes.



*Le débat porte sur les vulnérabilités des réacteurs vis-à-vis de ces risques externes. Ces risques sont de diverses natures, et peuvent concerner le séisme, des actes humains malveillants, voire des risques géopolitiques.*



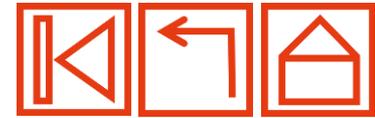
# Vulnérabilités des réacteurs

## Dispositifs généraux dans le cadre de la sûreté nucléaire

- EDF et la SFEN considèrent que les caractéristiques techniques de l'EPR 2 le rendent résilient : diesels de secours d'une autonomie de 100 heures, source d'eau froide indépendante d'une autonomie de 100 heures et, en dernier recours, présence du récupérateur de corium.
- EDF et la SFEN rappellent l'existence de multiples plans d'intervention en cas d'urgence, pour pallier toute éventualité, ainsi que l'existence de la Force d'action rapide nucléaire (FARN) d'EDF.
- FNE juge que le plan national de réponse à un accident nucléaire ou radiologique présenté en 2014 par le Secrétariat Général de la Défense et de la Sécurité Nationale (SGDSN) met en doute la capacité à répondre à un événement majeur.
- FNE questionne la vulnérabilité des réacteurs face aux erreurs qui pourraient être commises par les employés ; ce point n'a pas fait débat.
- L'ensemble des choix et dispositions de sûreté font l'objet d'une instruction notamment par l'ASN et l'IRSN dans le cadre de la demande d'autorisation de création.

4.11

Sûreté nucléaire



# Vulnérabilités des réacteurs

## Prise en compte du séisme

Les réacteurs sont dimensionnés pour résister au séisme avec deux approches :

- ils doivent résister au séisme majoré de sécurité adapté au site d'implantation,
- ils doivent être robuste pour un séisme extrême défini dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté (*stress tests*).

La méthode de détermination des séismes et de conception de l'installation est définie par l'ASN par le biais de ses guides.



# Vulnérabilités des réacteurs

## Dispositifs généraux dans le cadre de la sécurité nucléaire

- EDF et la SFEN indiquent que dès la conception des réacteurs, la possibilité d'occurrence de risques sociétaux ou géopolitiques est prise en compte.
- Ces menaces font l'objet d'une liste de référence, laquelle est confidentielle.
- Greenpeace et Global Chance signalent que la confidentialité de cette liste est un frein majeur à l'appréciation de sa pertinence et de son exhaustivité.
- L'ensemble des choix et dispositions de sécurité font l'objet d'une instruction notamment par le Haut Fonctionnaire de Défense et de Sécurité dans le cadre de la demande d'autorisation de création.



# Vulnérabilités des réacteurs

## Malveillance interne

Les centrales nucléaires font l'objet d'un ensemble de mesures visant à contrôler son accès, voire, le cas échéant à permettre une intervention sur site.

- Global Chance alerte sur la possibilité d'une malveillance venue de l'intérieur de la part d'un employé, ou les risques liés à une grève des employés.
- EDF assure être conscient de cette possibilité et en tient compte dans la conception de ses centrales.
- Greenpeace souligne la difficulté d'empêcher totalement un tel événement et cite l'exemple de la centrale nucléaire de Doel 4 en Belgique qui avait fait l'objet d'un sabotage en 2014.

4.11

Sûreté nucléaire



*Le débat ne porte pas sur la réalité des mesures prises contre la malveillance interne, mais plutôt sur leur effectivité vis-à-vis de l'ensemble des situations.*



# Vulnérabilités des réacteurs

## Malveillance externe

### Chute d'avion

- EDF indique que la chute intentionnelle d'un avion est prise en compte dans la conception. EDF précise que les installations nucléaires sont protégées par le Code de défense nationale, et que cette défense est partagée entre l'État et l'exploitant.
- Global Chance conteste cette information et soutient que seule est incluse la chute de petits avions de type avion de plaisance.

### Infiltration de personnes externes

- EDF précise que la conception de ses centrales tient compte de cette possibilité via la mise en place d'un plan de sécurité nucléaire, incluant plusieurs niveaux de sécurité et d'accréditation. De plus les centrales sont surveillées par une unité spéciale du GIGN.
- Greenpeace indique que ce risque est difficile à maîtriser puisque des survols de drones ont eu lieu en 2013, et ont conduit à l'installation d'un radar dans le Cotentin.



# Vulnérabilités des réacteurs

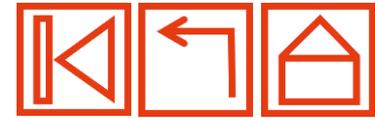
## Malveillance externe

### Risque de cyberattaque

- EDF indique que ce risque est pris en compte dans la conception.

### Destruction des digues anti-inondation

- EDF indique que ce risque est pris en compte dans la conception.



# Vulnérabilités des réacteurs

## Risques géopolitiques

- FNE rapporte les propos de l'AIEA caractérisant la situation à la centrale de Zaporijia en Ukraine d'« intenable ».
- Greenpeace cite la WENRA (association d'autorités de sûreté nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest) qui estime qu'aucune installation nucléaire n'est conçue pour faire face à une guerre.
- La SFEN rappelle que les centrales nucléaires sont théoriquement protégées par la convention de Genève ainsi que par la dissuasion nucléaire.

# 3

## Débats techniques spécifiques



3 / DÉBATS TECHNIQUES SPÉCIFIQUES

# Sommaire

---

3.1

**Retour d'expérience  
sur les réacteurs**

3.2

**Conception des  
réacteurs**

3.3

**Codes de calcul**

3.4

**Combustible  
nucléaire**



# Retour d'expérience sur les réacteurs

---

## Prise en compte du phénomène de fissuration d'un circuit de refroidissement sur Civaux (palier N4) en 1998

- En 1998 sur le site de la centrale de Civaux, un phénomène de fissuration a été détecté sur le circuit de refroidissement.
- Ce phénomène n'était pas connu lors de la conception des réacteurs du parc actuel.
- EDF indique que ce retour d'expérience a permis de mieux définir le tracé de tuyauteries et la conception de pièces spécifiques dans l'EPR.





# Retour d'expérience sur les réacteurs

## Prise en compte du phénomène de corrosion sous contrainte et de fissuration détectés sur le palier N4

- Le 21 octobre 2021, EDF a informé l'ASN de la détection de fissures sur un circuit d'injection de sécurité (RIS) du réacteur Civaux 1, puis de l'arrêt des 3 réacteurs N4 et du réacteur Penly 1. Au 17 novembre 2022, 10 réacteurs sont arrêtés de ce fait.
- La cause de cet arrêt est l'endommagement par corrosion sous contrainte de tuyauteries connectées au circuit de refroidissement primaire.
- L'IRSN a procédé à l'évaluation du procédé d'examen par ultrasons optimisé utilisé par EDF pour détecter ce phénomène [avis N°2022-00066]
- Le 7 juin 2022, l'ASN a déclaré : « *Il s'agit d'un événement sérieux et inédit, dont le traitement complet nécessitera plusieurs années.* »



# Retour d'expérience sur les réacteurs

## Prise en compte du phénomène de fluctuation du débit du caloporteur en entrée du cœur sur l'EPR de Taishan

- Les fluctuations du débit du caloporteur entraînent des fluctuations de flux neutronique, lesquelles entraînent à leur tour des problèmes de corrosion sous contrainte sur les lames de ressort des grilles des assemblages de combustible.
- Selon Global Chance, la prise en compte de ce retour d'expérience n'est pas terminé.
- Selon la SFEN, le retour d'expérience est disponible et a été communiqué. Il va permettre de mettre un ensemble de solutions dont une évolution de la conception des assemblages de combustible de la périphérie du premier cœur du réacteur EPR Flamanville 3.



# Retour d'expérience sur les réacteurs

---

## Choix du modèle de soupape du pressuriseur (PRSV)

Les soupapes du pressuriseur (PRSV) servent à protéger le circuit primaire contre les surpressions.

- Sur l'EPR, le choix s'est porté sur une technologie de soupape de marque SEMPELL issue de la technologie utilisée sur les réacteurs de type Konvoi.
- Il a conduit à des désordres observés sur Flamanville 3 et Olkiluoto 3.
- Ce choix de technologie a été questionné par l'IRSN et l'ASN.
- Pour tenir compte de ce retour d'expérience, sur l'EPR 2, le choix s'est porté sur la technologie des soupapes SEBIM utilisées sur le parc en exploitation (palier N4). Cette technologie comprend deux soupapes montées en série pour chacune des trois soupapes de sûreté.



# Conception des réacteurs

---

## Prise en compte des accidents graves pour le parc actuel

- Global Chance cite un rapport de 2007 du CEA et de l'IRSN indiquant pour les réacteurs de 2<sup>e</sup> Génération : « *Toutefois, dans le cas des centrales existantes, les accidents graves n'ont pas été considérés lors de leur conception.* »
- EDF indique que lors du programme Grand Carénage ainsi que lors de l'examen périodique des réacteurs de 900 MWe, a été retenue comme orientation générale de tendre vers les objectifs de sûreté des réacteurs de 3<sup>e</sup> Génération, comme l'EPR.



# Conception des réacteurs

## Objectifs généraux de sûreté de l'EPR 2

La conception de l'EPR 2 vis-à-vis de la sûreté est décrite dans le dossier d'options de sûreté (DOS) transmis par EDF. L'ASN formule un avis sur ce dossier.

- L'ASN indique que les objectifs généraux de sûreté, le référentiel de sûreté et les principales options de conceptions sont globalement satisfaisants [Avis ASN N°2019-AV-0329 du 16 juillet 2019 et communiqué : <https://tinyurl.com/bdfbtccy>].
- Pour FNE, la conception de l'EPR 2 ne prend pas en compte le retour d'expérience des réacteurs de deuxième génération ou des réacteurs EPR, et les modifications apportées à l'EPR 2 se sont faites aux dépens de la robustesse et de la sûreté nucléaire.



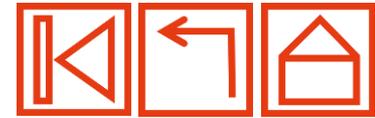


# Conception des réacteurs

## Démarche d'exclusion de rupture pour l'EPR 2

La démarche d'exclusion de rupture concerne certaines tuyauteries primaires et secondaires principales.

- L'ASN estime que « *la démarche d'exclusion de rupture pour les tuyauteries principales du circuit primaire et secondaire du projet de réacteur EPR 2 est acceptable* » [avis ASN N°2019-AV-0329, Courrier ASN CODEP-DCN-2021-040400].
- Pour Global Chance, l'autorisation de la démarche d'exclusion de rupture est inacceptable et constitue une régression de la sûreté nucléaire.



# Conception des réacteurs

---

## Prise en compte des accidents graves pour l'EPR et l'EPR 2

- Pour EDF, la capacité de parer à l'accident grave avec des innovations comme le récupérateur de corium est une des caractéristiques principales de l'EPR.
- Global Chance soutient que les réacteurs, même ceux de 3<sup>e</sup> Génération, ne sont pas conçus pour parer l'accident de perte de refroidissement, en s'appuyant sur le fait que dans ce cas le cœur fond et que cela constitue tout de même un accident grave, même s'il existe un récupérateur de corium.

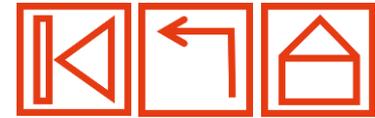


# Conception des réacteurs

## Nombre de trains de sûreté pour l'EPR 2

L'EPR 2 est conçu avec 3 trains de sûreté au lieu de 4 pour l'EPR. Cela conduit à l'abandon de la possibilité de réaliser de la maintenance en puissance.

- Pour EDF, le retour d'expérience conduit à retenir cette architecture en maintenant le même objectif de disponibilité et de sûreté.
- L'IRSN n'émet pas d'objection vis-à-vis de cette évolution [Avis IRNS N°2018-000013] voire indique qu'elle va dans le sens de la simplification de la conception, de la conduite du réacteur et donc de la sûreté [réponse de l'IRSN à la CNDP du 12 juillet 2022].
- Selon Global Chance, 3 trains de sûreté ne peuvent assurer le même niveau de sûreté que 4 trains et cette décision est dictée par une volonté de réduction des coûts et s'effectue au détriment de la sûreté.



3 / DÉBATS TECHNIQUES SPÉCIFIQUES

# Conception des réacteurs

## Maintenance des systèmes de sauvegarde

Pour EDF, le retour d'expérience conduit à privilégier une maintenance des systèmes de sauvegarde lorsque le réacteur est à l'arrêt en raison de moins contraintes imposées sur la maintenance, notamment les exigences liées à la requalification des systèmes.



*Ce point n'a pas suscité de commentaires de la part des contributeurs.*



# Conception des réacteurs

## Enceinte renforcée pour l'EPR 2

L'EPR 2 est conçu avec une enceinte renforcée, plutôt qu'avec une double enceinte comme pour l'EPR. Une enceinte renforcée consiste en une enceinte de confinement du bâtiment réacteur à paroi unique épaisse précontrainte, dont l'ensemble de la surface interne est recouverte par un liner métallique assurant l'étanchéité de l'ouvrage.

- Pour EDF, cette option de conception permet de simplifier et de faciliter la construction tout en assurant le même niveau de protection.
- L'IRSN n'émet pas d'objection vis-à-vis de cette évolution [Avis IRNS N°2018-000013]
- Selon Global Chance, cette décision est dictée par une volonté de réduction des coûts et s'effectue au détriment de la sûreté.



# Conception des réacteurs

## Impact du niveau de puissance de l'EPR 2 sur la sûreté

- La puissance électrique de l'EPR 2 est de 1670 MWe au lieu de 1600 MWe pour l'EPR.
- EDF explique que ce choix est motivé par l'objectif d'atteindre 10 GW avec un minimum de réacteurs, de façon à limiter le foncier. Selon EDF, le niveau de puissance reste très proche de celui de l'EPR de Flamanville.
- En 2018, l'IRSN avait émis un avis défavorable sur l'EPR NM de 1750 MWe [Avis IRSN N°2018-000013].
- Suite à cet avis, EDF a fait évoluer le niveau de puissance à 1670 MWe pour l'EPR 2.
- Selon Global Chance, ce niveau de puissance est un danger pour la Sûreté, et la puissance devrait être limitée à 1200 MWe, comme celle des réacteurs qu'EDF a présenté en République Tchèque.
- FNE émet également des réserves sur le rendement énergétique. EDF conteste ce point de vue en se basant sur les réacteurs EPR de Taishan et d'Olkiluoto, sans toutefois se prononcer sur le rendement.



# Conception des réacteurs

---

## Prise en compte du risque d'inondation pour l'EPR 2

- EDF considère un niveau marin le plus haut calculé à partir du niveau marin maximal théorique (associé à la marée) auquel on ajoute une surcote millénale (associée à des conditions de tempête), et une marge de 1 m. Les franchissements dus aux vagues sont ajoutés au cumul et pris en compte à la conception.
- Global Chance émet des réserve sur la surcote millénale. En effet ces données sont extrapolées sur mille ans à partir de données des marégraphes enregistrées généralement sur trente ans. Global Chance indique que la représentativité de ces données est contestable, notamment dans un contexte de changement majeur du climat dans lequel on s'attend à des événements qui ne se sont jamais produits.



# Conception des réacteurs

## Impact de la disponibilité de l'eau pour les EPR-2 de la centrale de Penly

- Pour le site de Penly, Global Chance s'inquiète de la quantité d'eau douce qui sera prélevée dans l'Yères et estime que les sites choisis ne permettent pas d'assurer de bonnes conditions de sûreté.
- EDF précise que les besoins en eau douce atteindront leur maximum lors de la période de construction, et, en fonction du résultat des études environnementales, EDF prévoit d'adapter les sources d'eau douce.
- EDF précise que pour Penly, la solution retenue combine plusieurs sources d'approvisionnement en eau douce : prélèvement dans l'Yères, la récupération d'eau de pluie, la récupération d'eau issue de la station d'épuration (STEP) de Saint-Martin-en-Campagne et la récupération d'eau de drainage. Cette solution permet de diversifier l'approvisionnement, tout en valorisant en priorité l'eau disponible (eau de STEP et eau de pluie)



## Codes de calcul

---

### Logiciels utilisés dans les calculs

- Global Chance et Greenpeace citent l'ASN concernant des logiciels de calcul qui « *ne sont pas tout à fait appropriés pour le calcul de la répartition de la puissance* ».
- EDF répond que la conception a évolué entre l'EPR NM et l'EPR 2. Pour l'EPR 2, la conception de la chaudière nucléaire conduit au retour de l'instrumentation neutronique connue et validée de l'EPR (Flamanville 3 et Hinkley Point).



## Codes de calcul

---

### **Validation des calculs de mécanique des fluides à l'intérieur des cuves des réacteurs de grande puissance**

Le Konvoi est un réacteur de deuxième génération de puissance 1300 MWe exploité en Allemagne. Sa conception a en partie inspiré la conception de l'EPR.

- Global Chance et Greenpeace indiquent que le protocole de validation est trop léger, du fait qu'il n'a pas impliqué plusieurs méthodes de calcul différentes, et n'a pas pris en compte le retour d'expérience des réacteurs étrangers de type Konvoi.
- Ils indiquent également que le problème de vibration rencontré sur l'EPR de Taishan et ayant pour origine des fluctuations de débit est de même nature que ceux observés sur les Konvoi allemands.
- EDF estime que ces problèmes de fluctuation de débit étaient bien connus et qu'il ne s'agit pas d'un problème nouveau sur les EPR.
- EDF précise que des modifications seront apportées sur l'EPR 2 pour en limiter l'amplitude [avis IRSN 2022-00154-1].



## Codes de calcul

---

### Validation des codes de calculs physiques relatifs au réacteur

Ces codes de calcul servent à déterminer la charge du cœur de l'EPR. Ils ont été modifiés par rapport aux centrales N4 et Konvoi.

- Global Chance et Greenpeace indiquent que la validation par l'expérience de ces nouveaux codes de calcul est manquante.
- EDF précise que les codes de calcul présentent toujours une part de variabilité qui doit être validée physiquement lors des premiers démarrages. C'est la raison pour laquelle le premier cycle d'une centrale comporte une montée en puissance lente afin que tous les paramètres neutroniques (relatifs à la physique du cœur nucléaire) puissent être vérifiés.



# Combustible nucléaire

## Difficultés rencontrées par l'usine Melox

- Les problèmes rencontrés par l'usine Melox font consensus.
- Greenpeace indique que Melox produit à hauteur de 25% de sa capacité seulement.
- Orano prévoit d'atteindre 70 t par an d'ici fin 2022 contre 51 en 2021.
- Orano et EDF ont mentionné un plan d'investissement de 80 millions d'euros d'ici 2025 pour améliorer la production. Ce plan intègre des opérations de maintenance, de formation, ainsi que la construction d'un nouvel atelier.
- Des capacités d'entreposage supplémentaires seront créées sur le site de La Hague pour entreposer les rebuts.
- Orano confirme que les capacités de Melox pourront être adaptées à la taille du parc.

# 4

# Informations générales



## 4 / INFORMATIONS GÉNÉRALES

# Sommaire

---

4.1

La ressource uranium

4.5

Technologies de réacteur

4.9

L'EPR

4.2

Le combustible nucléaire

4.6

La radioactivité

4.10

L'EPR 2

4.3

Le devenir du combustible utilisé

4.7

Les déchets nucléaires

4.11

Sûreté nucléaire

4.4

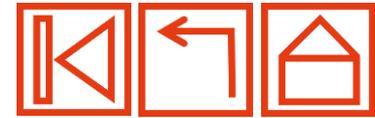
Principe d'un réacteur nucléaire

4.8

Le parc nucléaire français actuel

4.12

Débats relatifs au nucléaire



# La ressource uranium

---

## Disponibilité de la ressources en uranium

- Sur le sol français, il y a 2 ans de stock d'uranium naturel, ainsi qu'un stock important d'uranium appauvri.
- Les ressources connues représentent 100 ans de consommation mondiale d'après Orano, ou 135 ans de consommation mondiale à moins de 135 USD/kg d'après la SFEN.
- Les ressources estimées représentent 250 ans de consommation mondiale, d'après Orano et la SFEN.



# Le combustible nucléaire

## Les différents types de combustible

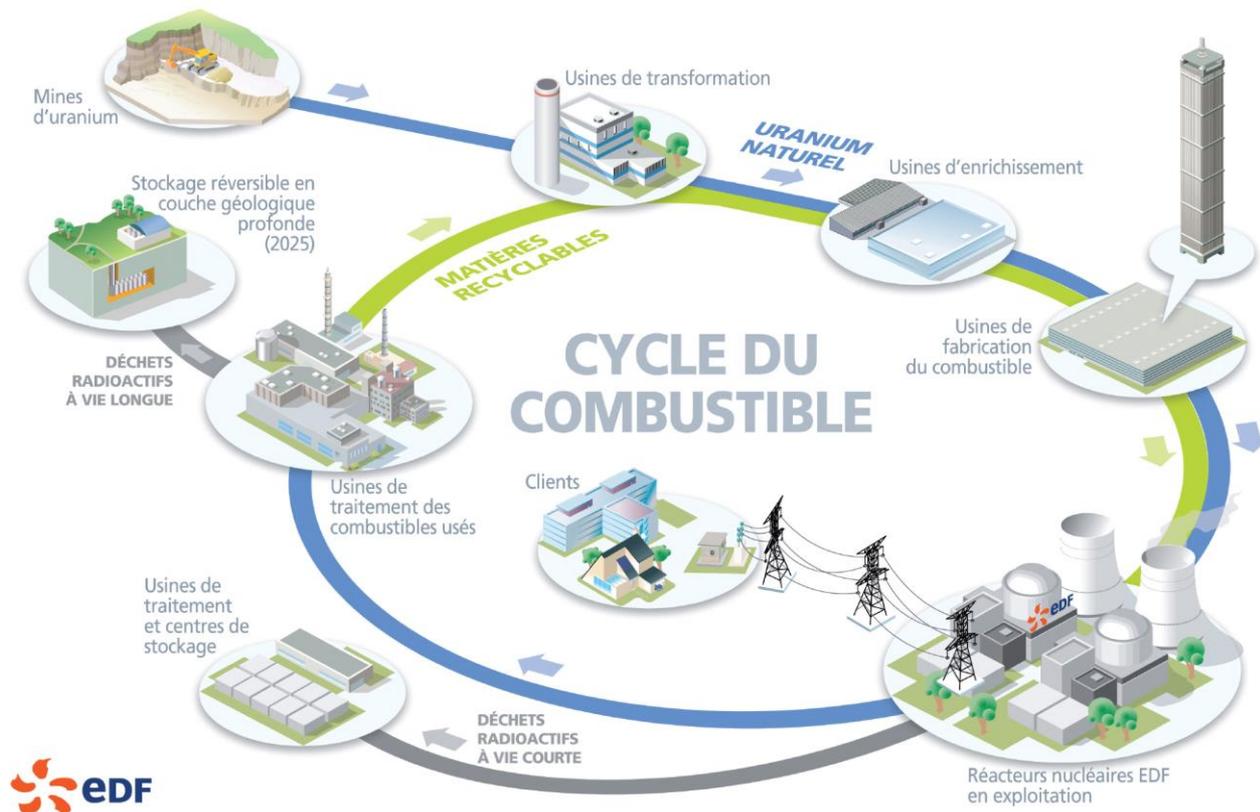
- **UNE (Uranium Naturel Enrichi)** : combustible standard des réacteurs à eau légère constitué d'oxyde d'uranium naturel enrichi en uranium 235 ( $^{235}\text{U}$ ) [ASN]
- **URT (Uranium de Retraitement)** : uranium extrait du combustible utilisé dans les usines de traitement du combustible.
- **URE (Uranium de Retraitement Enrichi)** : combustible nucléaire constitué d'URT enrichi en uranium 235 ( $^{235}\text{U}$ ).
- **MOX** : combustible nucléaire à base d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium [ASN].
- **« Cycle du combustible »** : désigne l'ensemble des opérations qui accompagnent la production d'électricité nucléaire : de l'extraction du minerai d'uranium à la fabrication de combustible (amont du cycle), de son utilisation dans un réacteur, à son traitement puis son recyclage jusqu'à son élimination définitive (aval du cycle). Le "cycle du combustible" est dit fermé s'il comprend le traitement du combustible irradié et le recyclage des matières fissiles issues du traitement [ASN].

[ASN] : définitions extraites du lexique de l'ASN [<https://www.asn.fr/>].



## 4 / INFORMATIONS GÉNÉRALES

# Le combustible nucléaire



Source : EDF



# Le combustible nucléaire

## Installations du « cycle du combustible »

En France, les installations concernées sont les suivantes :

- des usines de conversion de l'uranium,
- une usine d'enrichissement de l'uranium,
- une usine de fabrication de combustible UNE (oxyde d'uranium naturel enrichi),
- des usines de traitement du combustible utilisé,
- une usine de fabrication de combustible MOX (oxyde mixte d'uranium et de plutonium),
- des installations d'entreposage de l'uranium appauvri, du combustible utilisé (UNE ou MOX) et des déchets radioactifs issus du traitement,
- des installations de stockage de déchets radioactifs.

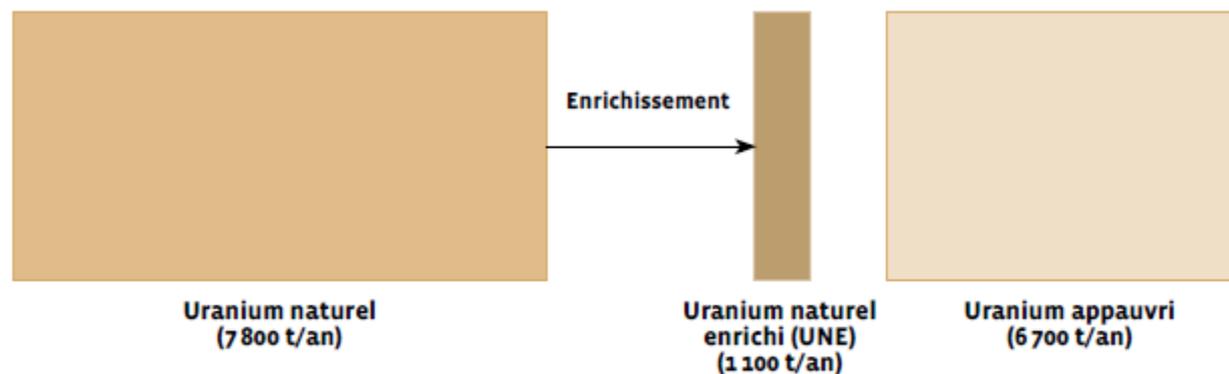
# Le combustible nucléaire

**Composition de l'uranium naturel :**  
0,7% d'uranium 235 fissile

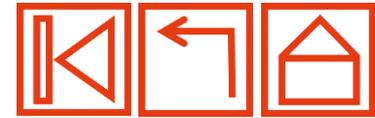
**Composition du combustible nucléaire :** 4% d'uranium 235



**Enrichissement**



➤ *Chaque année, pour les besoins du parc français, environ 1100 tonnes d'uranium enrichi sont produites à partir de 7800 tonnes d'uranium naturel, produisant ainsi 6700 tonnes d'uranium appauvri<sup>2</sup>.*



#### 4 / INFORMATIONS GÉNÉRALES

# Le combustible nucléaire

## Composition du combustible utilisé :

- 94% uranium (dont 0,9% d'uranium 235 fissile)\*
- 1% de plutonium\*
- 0,1 d'actinides mineurs
- 4% de produits de fission

\* *Valorisables avec les technologies actuelles*



# Le combustible nucléaire

## Contribution des éléments à la radioactivité

- **Produits de fission à vie courte.** Ils dominent la radioactivité du combustible utilisé les premières dizaines d'années. Leur période radioactive est d'environ 30 ans en moyenne ; il faut 300 ans pour diviser leur radioactivité par 1000.
- **Produits de fission à vie longue.** Ils sont peu radiotoxiques mais mobiles, et ont une influence sur les rejets de long terme d'un stockage.
- **Actinides mineurs (principalement américium, neptunium et curium).** L'américium 241 a une période radioactive de 500 ans et est le principal contributeur à la radiotoxicité des combustibles utilisés pour les durées intermédiaires.
- **Plutonium.** Il est le contributeur principal de la radiotoxicité du combustible utilisé à long terme. Le plutonium 239 a une période radioactive de 24 000 ans, et il faut attendre 240 000 ans pour que sa radioactivité soit divisée par 1000.



# Le devenir du combustible utilisé

## Classification

Le combustible utilisé constitue un déchet à moyenne et haute activité à vie longue (catégories MA-VL et HA).

## Les étapes de sa gestion

- **Entreposage immédiat** sous eau sur site (typiquement dans le bâtiment combustible BK), le temps que sa puissance résiduelle soit suffisamment basse pour permettre son transport ou son entreposage à sec
- **Entreposage intermédiaire**, temporaire si le combustible utilisé fait l'objet d'un traitement, ou définitif si ce n'est pas le cas. Cet entreposage peut être réalisé sur site, ou de manière centralisée dans un site spécialisé.
- **Traitement du combustible** (eg en France dans l'installation de la Hague)
- **Gestion de long terme** (eg stockage en couche géologique profonde)

4.5

Les déchets nucléaires



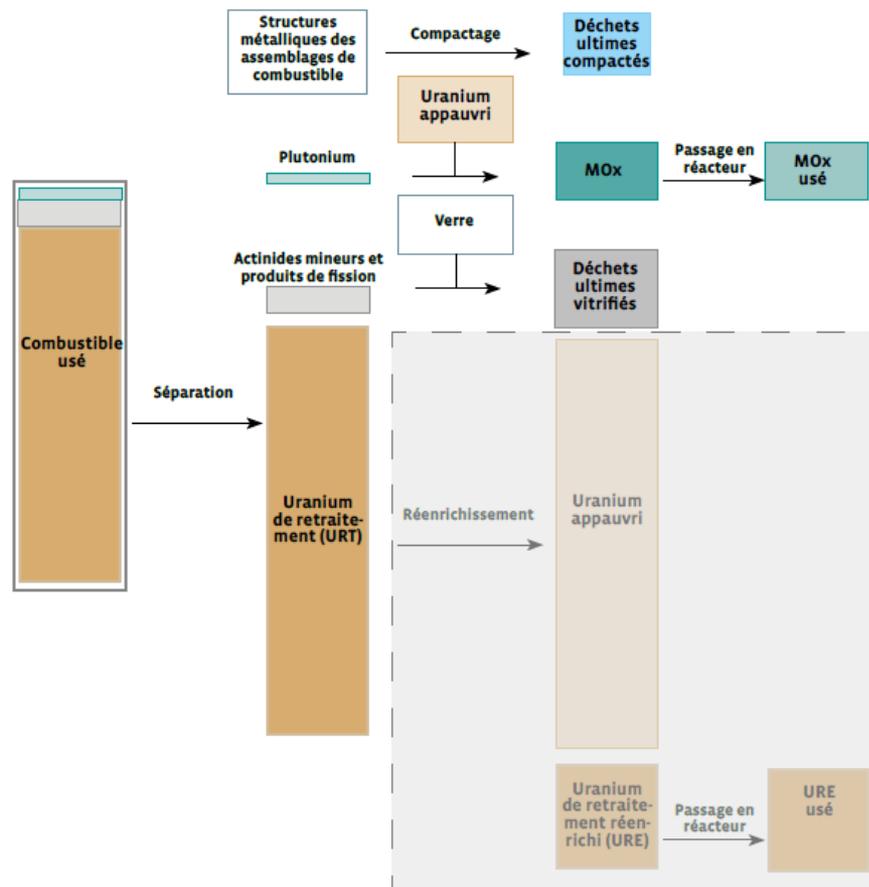
# Le devenir du combustible utilisé

## Le traitement du combustible utilisé aujourd'hui en France

Le combustible utilisé est aujourd'hui mis en œuvre selon le principe du monorecyclage :

- Le plutonium du combustible utilisé est extrait des matières nucléaires, puis mélangé à de l'uranium appauvri pour fabriquer le MOX. Le MOX est utilisable aujourd'hui dans 24 réacteurs du parc français.
- L'uranium du combustible utilisé est extrait pour former de l'uranium de retraitement (URT). Cet URT est réenrichi pour fabriquer de l'uranium de retraitement enrichi (URE). L'URE était utilisé jusqu'en 2013 dans les 4 réacteurs de la centrale de Cruas, avant que la filière soit suspendue. Depuis 2024, l'URE est à nouveau utilisé dans la centrale de Cruas. L'URT non utilisé est actuellement entreposé sur le site Orano de Tricastin.

# Le devenir du combustible utilisé



> L'utilisation de l'URE dans les réacteurs EDF a été arrêtée en 2013 mais EDF prévoit de la rétablir en 2023.





# Le devenir du combustible usé

## Gestion à long terme

En France, 3 options ont été considérées depuis 1991 :

- **Séparation – Transmutation** : procédé consistant à séparer les éléments constituant la matière nucléaire et à transmuter les éléments radioactifs non valorisables (eg actinides mineurs, produits de fission) en éléments stables (ie non-radioactifs), et ce avec une échéance courte.
- **Entreposage de longue durée** : entreposage dans une installation en surface ou en subsurface, en gardant un contrôle humain permanent
- **Stockage en couches géologiques profondes** : stockage définitif en couche géologique stable sans nécessité d'un contrôle humain.

En 2006, l'ASN a conclu que le stockage géologique en couche profonde (incluant une période de réversibilité) était la solution dont la faisabilité était la plus acquise et présentant le caractère le plus définitif. La solution a été sélectionnée en tant que solution de référence.

1.8

Séparation-  
transmutation

1.7

L'entreposage longue  
durée

1.6

Cigéo, stockage  
géologique profond



# Principe d'un réacteur nucléaire

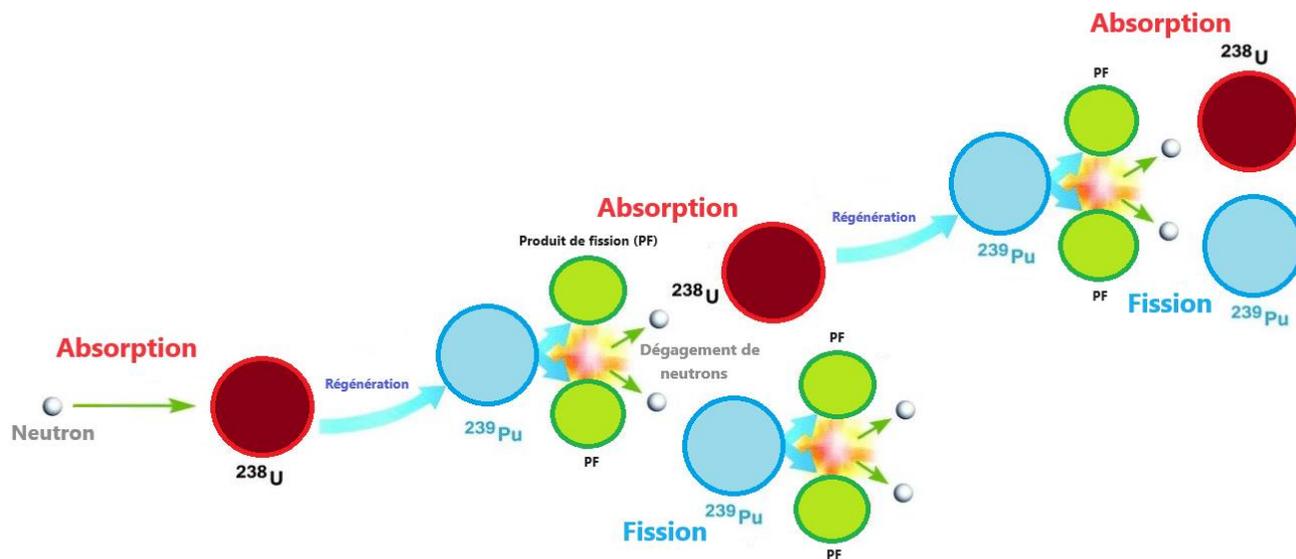
## Principe de fonctionnement

- Le **cœur** d'un réacteur contient du combustible nucléaire au sein duquel se produit la réaction en chaîne de **fission nucléaire**.
- La possibilité de perpétuer la réaction en chaîne dépend de la géométrie du cœur et de sa composition chimique. Elle peut nécessiter la présence d'un **modérateur**, c'est-à-dire un matériau dont la fonction est de ralentir les neutrons.
- La fission nucléaire produit une grande quantité de **chaleur**, laquelle est transmise à un **fluide caloporteur** qui circule au travers du cœur.
- Le caloporteur transmet cette chaleur jusqu'à un **système de conversion d'énergie** : la chaleur est transformée en mouvement (par une turbine), lequel est ensuite transformé en **électricité** (par un alternateur).
- L'électricité produite alimente ensuite le **réseau électrique**, auquel sont connectées toutes les applications utilisant cette source d'énergie.



# Principe d'un réacteur nucléaire

## Réaction de fission nucléaire



Source : SFEN



# Technologies de réacteur

## Principales technologies utilisées en France

De par le monde, il existe d'innombrables variations techniques de réacteurs nucléaires. En France, nous connaissons principalement trois technologies :

- les **réacteurs à uranium naturel graphite gaz (UNGG)** dans lesquels le caloporteur est du  $\text{CO}_2$  sous pression et le modérateur est du graphite. Ce sont les premiers réacteurs nucléaires électrogènes français, ils sont aujourd'hui tous à l'arrêt et en cours de démantèlement ;
- les **réacteurs à eau pressurisée (REP)**, comme les réacteurs actuels et l'EPR, dans lesquels le caloporteur est de l'eau sous pression, laquelle porte également la fonction modérateur ;
- les **réacteurs à neutrons rapides à caloporteur sodium (RNR-Na)**, comme Phénix, Superphénix et ASTRID, dans lesquels le caloporteur est du sodium liquide. Ce dernier est transparent pour les neutrons et ne produit pas d'effet modérateur.



# Technologies de réacteur

## Comparaison des 3 principales technologies de réacteur utilisées en France

	Réacteur à eau pressurisée	Réacteur à neutrons rapide à caloporteur sodium (RNR-Na)	Réacteur à uranium naturel graphite gaz (UNGG)
Statut	Parc actuel, EPR, EPR 2	Phénix, Superphénix, ASTRID	Construits dans les années 1960, tous en cours de démantèlement
Combustible	Oxyde d'uranium enrichi ou MOX	Oxyde mixte d'uranium appauvri et de plutonium	Uranium métallique non-enrichi
Modérateur		∅	Graphite
Caloporteur	Eau liquide (~ 150 bar, ~300 °C)	Sodium liquide (~pression atmosphérique, ~550°C)	CO <sub>2</sub> gazeux sous pression (1 à 43 bars, 230 à 470°C)



## 4 / INFORMATIONS GÉNÉRALES

# La radioactivité

### Dose équivalente

La dose équivalente (unité : Sievert) permet d'évaluer l'impact d'un rayonnement radioactif sur la matière vivante.

La radioactivité peut provenir de sources naturelles ou artificielles ; l'impact de la radioactivité sur la santé n'est pas dépendant de son origine.

#### 1 Diagnostic médical



Gamme de variation :  
de 0 à 15 mSv

C'est la première source d'exposition artificielle. Elle dépend du type d'examen (radiographie ou scanner), de la zone du corps à ausculter et du nombre d'actes dans l'année. Pour une même personne, l'exposition médicale est très différente d'une année à l'autre.

#### 2 Gaz radon



Gamme de variation :  
de 0,54 à 3,15 mSv

Le gaz radon émane surtout des roches granitiques et volcaniques. L'exposition varie en fonction des caractéristiques du sol, de l'habitation (matériaux, fondations, ventilation qui facilitent ou non le transfert du gaz) et des modes de vie (fréquence d'aération).

#### 3 Rayonnements du sol



Gamme de variation :  
de 0,36 à 1,1 mSv

Les rayonnements telluriques dépendent de la nature du sol. Par exemple, la présence de granit, riche en éléments radioactifs, augmente la dose efficace. D'autres facteurs font varier l'exposition : temps passé à l'intérieur des bâtiments et matériaux de construction utilisés.

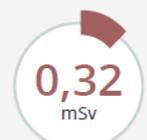
#### 4 Eaux, aliments et tabac



Gamme de variation :  
de 0,4 à 3,1 mSv

Les aliments et les eaux de boisson contiennent naturellement des éléments radioactifs. Cette source d'exposition est plus importante pour un consommateur fréquent de poissons et de crustacés ainsi que pour les fumeurs.

#### 5 Rayonnements cosmiques



Gamme de variation :  
de 0,3 à 1,28 mSv

Les rayonnements cosmiques sont provoqués par les particules en provenance du Soleil et de la Galaxie qui bombardent la Terre. Les personnes qui voyagent fréquemment en avion et les habitants de région d'altitude sont davantage concernés.

#### 6 Installations nucléaires industrielles et militaires



Gamme  
de variation faible

Cette exposition est liée aux retombées des anciens essais d'armes nucléaires et à l'accident de Tchernobyl, notamment dans les Vosges, le Jura, les Alpes du Sud, les Pyrénées et l'est de la Corse. Les centrales et les installations nucléaires ont peu d'impact sur l'exposition de la population (0,01 mSv/an).

Source : IRSN



#### 4 / INFORMATIONS GÉNÉRALES

# Les déchets nucléaires

## Classification des déchets nucléaires

Les déchets nucléaires sont classés selon une matrice comportant deux caractéristiques principales :

- leur activité,
- leur durée de vie.

La combinaison de ces caractéristiques définit une catégorie et le mode de traitement qui lui est associé.

CATÉGORIE	Déchets dits à vie très courte	Déchets dits à vie courte	Déchets dits à vie longue
Très faible activité (TFA)		 Stockage de surface (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage)	
Faible activité (FA)	Gestion par décroissance radioactive	 Stockage de surface (centres de stockage de l'Aube et de la Manche)	 Stockage à faible profondeur à l'étude
Moyenne activité (MA)			 Stockage géologique profond à l'étude (projet Cigéo)
Haute activité (HA)	Non applicable		

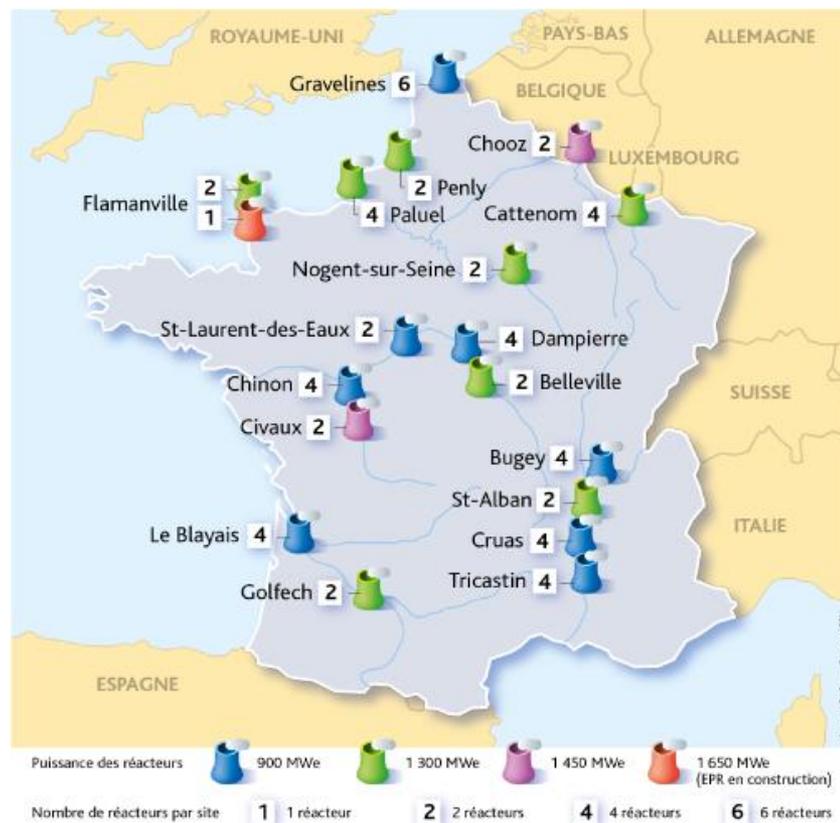
Source : ANDRA



#### 4 / INFORMATIONS GÉNÉRALES

# Le parc nucléaire français actuel

## Répartition géographique des centrales nucléaires





#### 4 / INFORMATIONS GÉNÉRALES

# Le parc nucléaire français actuel

## Classement des réacteurs

Les réacteurs à eau pressurisée du parc actuel en France sont classés par modèle – appelé **palier**. Ils sont considérés comme des **réacteurs de deuxième génération**.

Le parc de réacteurs en France sera complété par le réacteur EPR de Flamanville 3 à fin 2024

**4.8**  
L'EPR

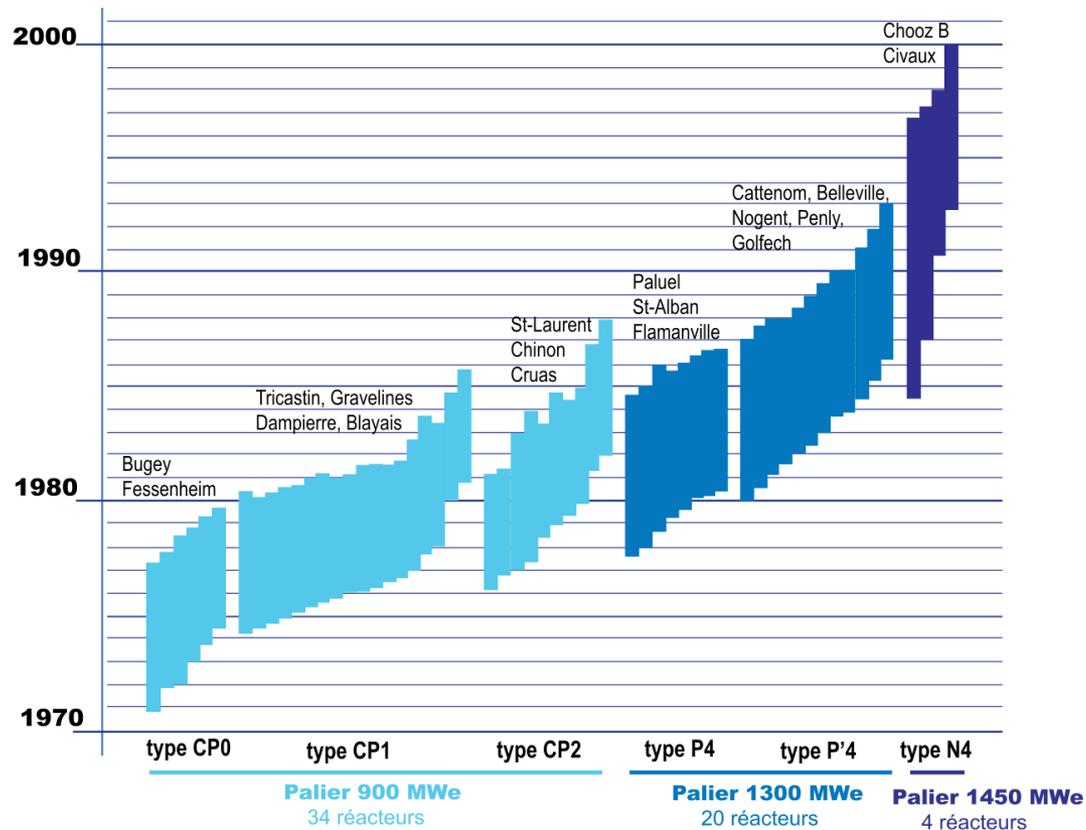
Palier	Puissance électrique	Nombre de réacteurs	Centrale	Période de construction
<b>CP0</b>	900 MWe	4	Bugey (4)	1970 - 1979
<b>CPY (CP1 &amp; CP2)</b>	900 Mwe	28	Tricastin (4), Gravelines (6), Dampierre (4), Blayais (4), Chinon (4), Cruas (4), Saint-Laurent (2)	1974 – 1985
<b>P4</b>	1300 MWe	8	Paluel (4), Saint-Alban (2), Flamanville (2)	1977 – 1986
<b>P4'</b>	1300 MWe	12	Belleville-sur-Loire (2), Cattenom (4), Golfech (2), Nogent-sur-Seine (2), Penly (2)	1980 – 1993
<b>N4</b>	1450 MWe	4	Chooz (2), Civaux (2)	1984 - 1999



## 4 / INFORMATIONS GÉNÉRALES

# Le parc nucléaire français actuel

## Chronologie de construction des réacteurs



Source : Mediawiki/Roulex\_45



#### 4 / INFORMATIONS GÉNÉRALES

# L'EPR

## EPR en construction ou en fonctionnement dans le monde

Pays	Nom du réacteur	Date de pose du premier béton	Date de mise en service commerciale
Finlande	Olkiluoto 3	2005	16 avril 2023
France	Flamanville 3	2007	Fin 2024 (prévisionnel)
Chine	Taishan 1	2009	13 décembre 2018
	Taishan 2	2010	7 septembre 2019
Royaume-Uni	Hinkley Point C 1	2018	2029 - 2031 (prévisionnel)
	Hinkley Point C 2	2019	> 2029 (prévisionnel)



## L'EPR 2

---

### Programme de construction

Dans le dossier du maître d'ouvrage, EDF propose de lancer la construction de centrales nucléaires par un programme :

- de réacteurs EPR 2 identiques,
- répartis en trois paires de réacteur,
- sur les sites de centrales nucléaires existantes, à savoir : Penly, Gravelines, et Bugey ou Tricastin

# L'EPR 2

## Comparaison entre l'EPR et l'EPR 2

La technologie de l'EPR a évolué :

- tout d'abord vers l'EPR NM (Nouveau Modèle),
- puis vers l'EPR 2.

Caractéristiques principales	EPR	EPR 2
Puissance thermique	4500 MWth	4590 MWth
Puissance électrique	1600 MWe	1670 MWe
Nombre de trains de sauvegarde	4	3
Concept « two-room »*	Oui	Non
Enceinte extérieure	Double paroi en béton avec un liner métallique intérieur	Simple paroi épaisse en béton avec liner métallique intérieur
Récupérateur de corium	Oui	Oui

\* Possibilité d'accès au bâtiment réacteur en fonctionnement



## L'EPR 2

---

### Alternatives à l'EPR 2

Les alternatives à l'EPR 2 sont de trois natures :

- Les **réacteurs à eau pressurisée de grande puissance de 3<sup>e</sup> Génération** : AP1000 (USA), APR1400 (Corée du Sud), HPR1000 (Chine), VVER1200 (Russie).
- Les **réacteurs de 4<sup>e</sup> génération** : plusieurs concepts existent à différents niveaux de maturité dans différents pays.
- Les **petits réacteurs modulaires (SMR)** : de puissance inférieure à 300 MWe, leur fabrication peut être faite en grande partie en usine. Il existe de nombreux concepts (plus de 60) à différent niveaux de maturité dans différents pays : Nuward (France), Nuscale (USA), KLT (Russie), HTR-PM (Chine), SMART (Corée du Sud).



## 4 / INFORMATIONS GÉNÉRALES

# L'EPR 2

### Instructions techniques par l'ASN et l'IRSN

- Le 15 avril 2016, EDF a sollicité l'avis de l'ASN sur la configuration de sûreté de l'EPR NM par le dossier d'options de sûreté (DOS). L'ASN a souhaité recueillir l'avis de l'IRSN sur ce dossier.
- Le 19 janvier 2018, l'IRSN a rendu un avis sur l'EPR NM [Avis IRSN N°2018-000013], en émettant notamment des réserves sur la puissance envisagée (1750 MWe).
- Le 30 janvier 2018, EDF a informé l'ASN de son intention de faire évoluer la configuration technique de l'EPR NM, la nouvelle configuration étant appelée EPR 2.
- En juillet 2019, l'ASN a rendu son avis [Avis N°2019-AV-0329] sur la configuration EPR NM. L'ASN a notamment considéré que la démarche d'exclusion de rupture n'était pas suffisamment justifiée.
- Des échanges entre l'ASN, l'IRSN et EDF ont eu lieu pour apporter des compléments et expertiser les nouvelles options choisies pour l'EPR 2.
- En 2021, un courrier de l'ASN confirme la possibilité de l'application d'une démarche d'exclusion de rupture à certaines tuyauteries des circuits primaires et secondaires principaux [CODEP-DCN-2021-040400]



# Sûreté nucléaire

## Définitions

La **sûreté nucléaire** est l'ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires, ainsi qu'au transport des matières radioactives, prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets.

La **sécurité nucléaire** comprend les mesures de prévention, de détection et de réaction au vol, au sabotage, à l'accès non autorisé, au déplacement illégal de matières nucléaires ou à tout autre acte malveillant concernant des matières nucléaires. Les actes de malveillance concernent d'une part le vol ou le détournement de matières nucléaires, d'autre part les actes de sabotage ou agressions pouvant porter atteinte à la santé des personnes ou à l'environnement, notamment par relâchement de substances radioactives.

[cf Glossaire de l'AIEA]



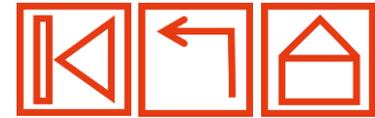
# Sûreté nucléaire

## Dispositifs d'intervention en France

Des plans d'intervention sont élaborés dans l'objectif de protéger le personnel, le public et l'environnement :

- PUI : plan d'urgence interne, élaboré par l'exploitant,
- PPI : plan particulier d'intervention, élaboré par les autorités locales,
- PPP : plan particulier de protection.

En cas de situation accidentelle, la Force d'action rapide nucléaire (FARN) d'EDF peut intervenir sous 24 h.



# Sûreté nucléaire

---

## Contrôle de l'accès aux centrales

- Le Commandement spécialisé pour la sécurité nucléaire (Cossen), créé en 2017, assure le contrôle et le suivi administratif de toute personne accédant aux installations et activités nucléaires.
- Les installations nucléaires disposent de moyens de protection physique (clôtures, vidéosurveillance, systèmes d'alarme, gardes armés).
- Les centrales sont surveillées par plus de 800 membres du Peloton spécialisé de protection de la gendarmerie (PSPG), formé par le GIGN.



4 / INFORMATIONS GÉNÉRALES

# Débats relatifs au nucléaire

---

## Débat Public relatif au Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR)

**Date :** 17 avril > 25 septembre 2019

### Contributeurs à la clarification des controverses techniques :

- Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra)
- CEA
- CLI (Commission nationale d'information) de Cruas
- EDF
- France Nature Environnement (FNE)
- Global Chance
- IRSN
- ORANO
- WISE

**Maîtrise d'ouvrage :** ASN et DGEC

**Site du débat :** <https://pngmdr.debatpublic.fr/>





4 / INFORMATIONS GÉNÉRALES

# Débats relatifs au nucléaire

---

## Débat Public relatif aux Nouveaux Réacteurs Nucléaires et Projet Penly

**Date :** 27 octobre 2022 > 27 février 2023

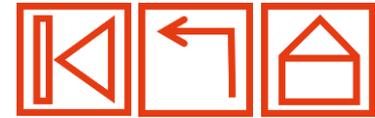
### Contributeurs à la clarification des controverses techniques :

- Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra)
- Centre National pour la Recherche scientifique (CNRS)
- France Nature Environnement (FNE)
- Global Chance
- Greenpeace
- Orano
- Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN)

**Maîtrise d'ouvrage :** EDF

**Site du débat :** <https://www.debatpublic.fr/nouveaux-reacteurs-nucleaires-et-projet-penly>





# Les 6 principes de la CNDP



## INDÉPENDANCE

Vis-à-vis de toutes les parties prenantes



## NEUTRALITÉ

Par rapport au projet



## TRANSPARENCE

Sur son travail, et dans son exigence vis-à-vis du responsable de projet



## ARGUMENTATION

Approche qualitative des contributions, et non quantitatives



## ÉGALITÉ DE TRAITEMENT

Toutes les contributions ont le même poids, peu importe leur auteur



## INCLUSION

Aller à la rencontre de tous les publics