



La poursuite de fonctionnement du Parc en exploitation au-delà de 60 ans (DDF)

Présentation du programme de travail d'EDF

Stefano SALVATOIRES, Directeur de l'Autorité technique
Direction Programmes et Stratégie - DPNT

Préambule

- Les enjeux associés à la perspective de poursuite de fonctionnement du Parc existant au-delà de 60 ans sont systémiques et vont bien au-delà des seuls enjeux techniques liés à la sûreté. Ils concernent aussi les compétences, la formation, la santé et la sécurité des intervenants, la compétitivité industrielle nationale et la décarbonation de notre économie, l'aménagement des territoires ou encore la souveraineté énergétique nationale.
- Le programme de travail proposé par EDF avec une vision 360°, identifie les sujets techniques à instruire pour préparer les futurs réexamens périodiques.
- Il s'agit d'une démarche d'anticipation à +20 ans permettant d'identifier les sujets à enjeux et de construire les réponses et solutions adaptées pour rendre possible une exploitation long terme en toute sûreté.
- Les enjeux du changement climatique et de la ressource en eau sont intégrés dans ce programme, notamment avec les projets internes EDF ADAPT et ressources en eau.
- Le premier jalon structurant sera l'avis de l'ASNR fin 2026 sur les perspectives de poursuite du fonctionnement du Parc existant au-delà de 60 ans.



Sommaire

- 1.** Le contexte de la poursuite de fonctionnement du parc nucléaire au-delà de 60 ans
- 2.** Le panorama international
- 3.** Le programme de travail proposé par EDF : les axes principaux

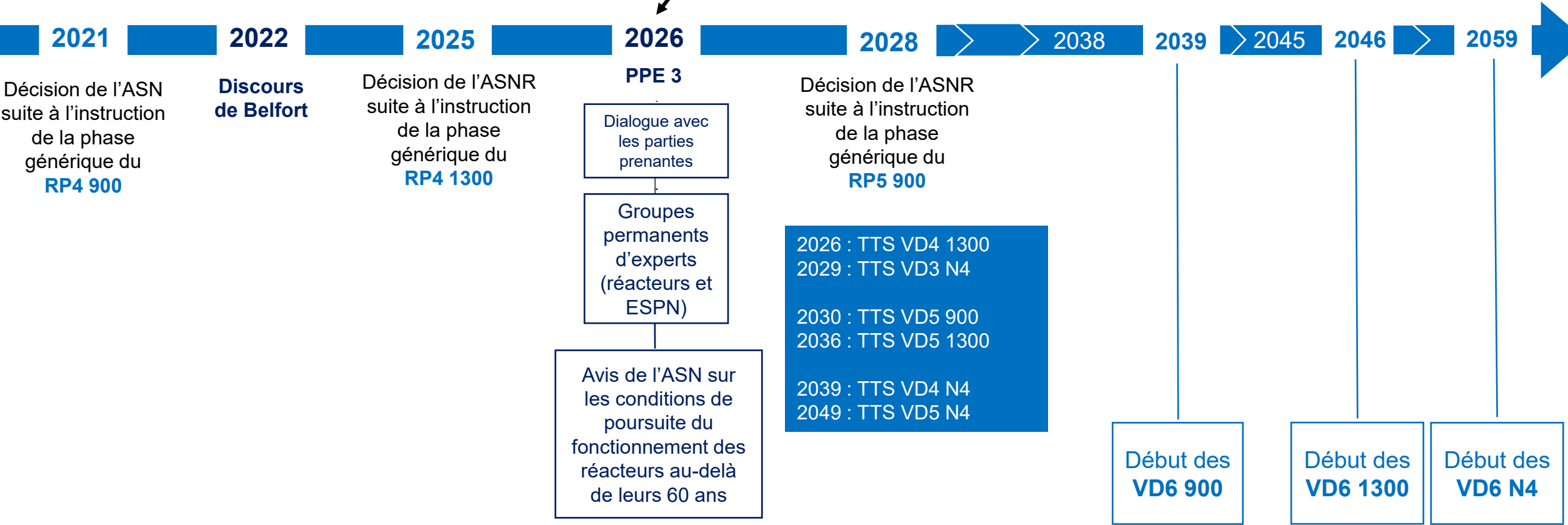
1.

Contexte de la poursuite du
fonctionnement au-delà d'une
durée de 60 ans

1. Contexte de la poursuite du fonctionnement jusqu'à 60 ans et au-delà de 60 ans

Quelques dates clés

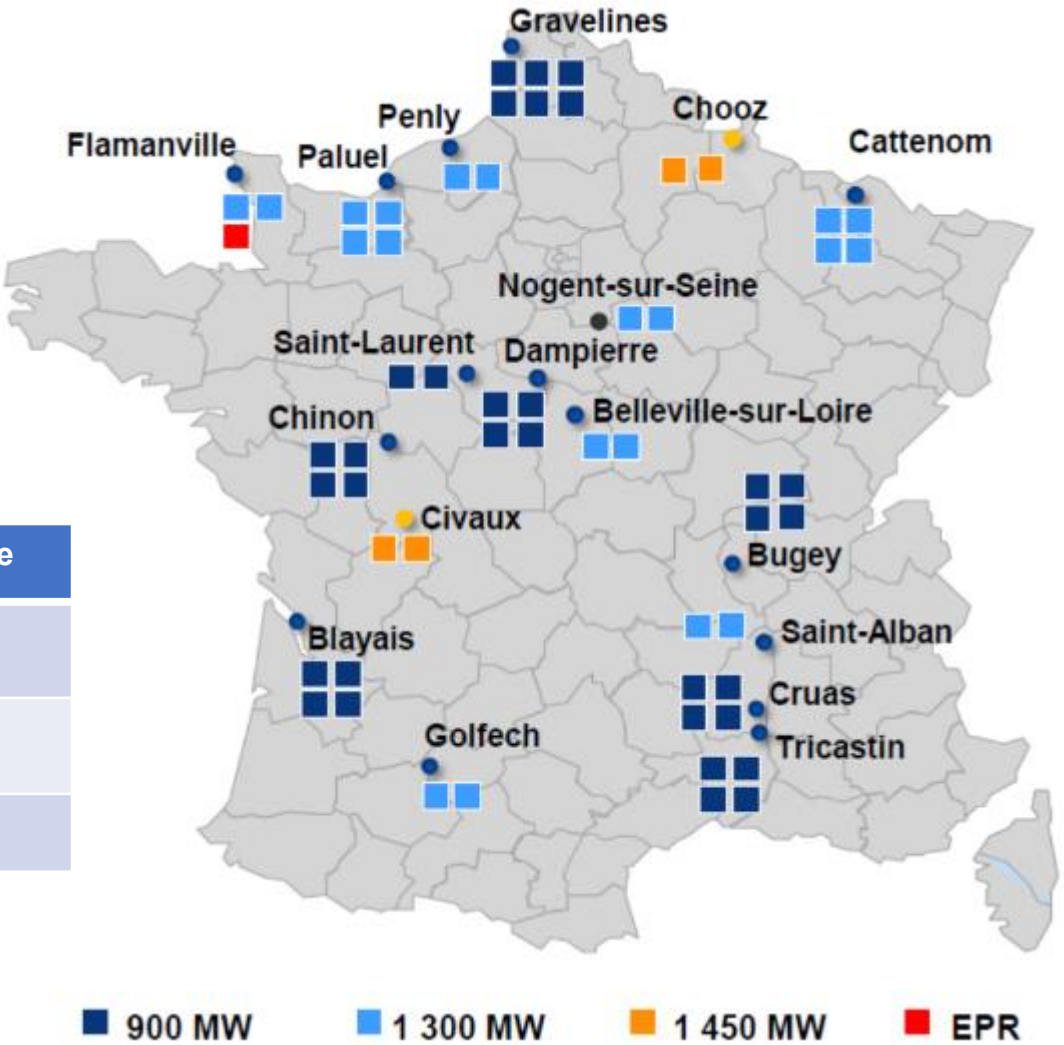
Avant le 31 décembre 2026, le Gouvernement remet au Parlement un rapport relatif à la faisabilité, aux coûts, aux bénéfices et aux conditions de la poursuite du fonctionnement jusqu'à soixante ans et au-delà des réacteurs électronucléaires en fonctionnement en France (...) [loi n° 2023-491 du 22 juin 2023]



1. Contexte de la poursuite du fonctionnement jusqu'à 60 ans et au-delà de 60 ans

Photographie du parc existant *(hors EPR Flamanville 3)*

Palier	900 MWe	1300 MWe	(N4) 1450 MWe
Nombre de réacteurs	32	20	4
Mise en service commerciale	1979 - 1988	1985 - 1994	2000-2002
TTS VD6	2039	2046	2059



1. Contexte de la poursuite du fonctionnement jusqu'à 60 ans et au-delà de 60 ans

L'enclenchement du dialogue technique et des travaux sur la prolongation du parc après 60 ans

- **2021** - Décision générique suite à l'instruction de la phase générique du 4^{ème} réexamen périodique des 32 réacteurs du palier de 900 MWe
- **2022** - Lancement des échanges entre ASN et EDF sur la perspective de poursuite du fonctionnement au-delà de 60 ans
- **2023** - Séminaire international organisé par EDF sur la poursuite du fonctionnement (ISAR)
- **2023** – Edition du programme de travail stratégique pour la poursuite du fonctionnement au-delà de 60 ans, transmission à l'ASN et au gouvernement en réponse au discours de Belfort. Début de la phase d'expertise par l'IRSN
- **2025** - Décision générique suite à l'instruction de la phase générique du 4^{ème} réexamen périodique des 20 réacteurs du palier de 1300 MWe
- **2026** - Position ASNR sur les conditions de poursuite du fonctionnement du parc de réacteurs existants

2.

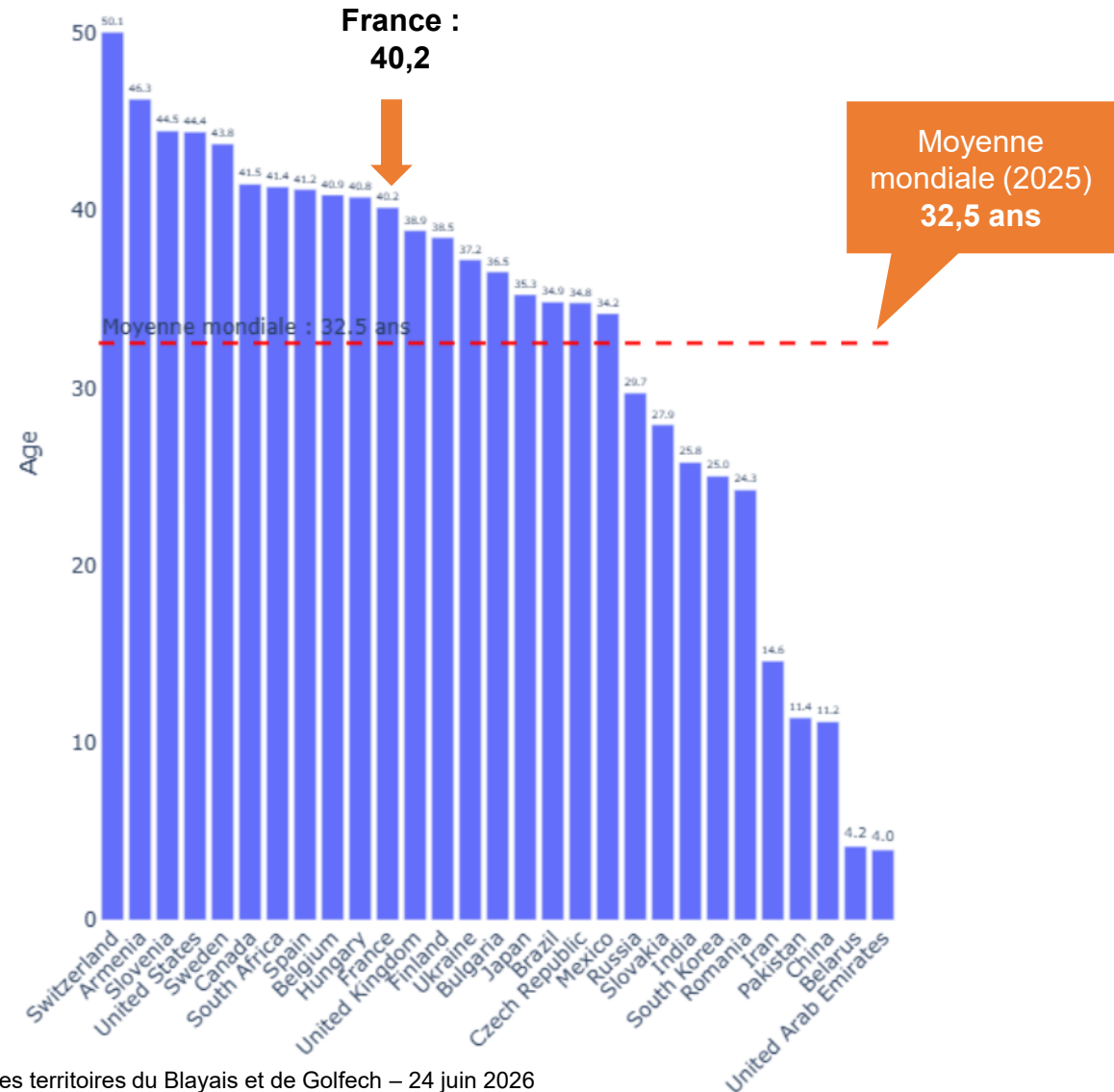
La situation internationale concernant l'exploitation « long terme » des réacteurs nucléaires

2. La situation du parc nucléaire international

**Sur les 49 réacteurs ayant 50 ans ou plus en 2025 :
32 sont aux Etats-Unis (PWR, BWR)**

Les autres sont en Inde (BWR)
au Canada (PHWR)
en Suisse (PWR)
en Russie (PWR et LWGR)
aux Pays-Bas (PWR)
Argentine (PHWR) et au Japon (PWR)

(source SFEN)



2. La situation du parc nucléaire international

Les conditions d'exploitation de long terme des réacteurs nucléaires constituent un sujet d'intérêt mondial, étudié par les principaux exploitants nucléaires

- De nombreux exploitants envisagent de poursuivre l'exploitation de leurs réacteurs au-delà de 60 ans en s'appuyant notamment sur des documents de référence partagés et reconnus (GALL - Generic Aging Lessons Learned Report) et la mise en œuvre de programmes de maîtrise du vieillissement.
- Aux Etats-Unis, 88 réacteurs ont déjà obtenu une licence de fonctionnement jusqu'à 60 ans et, parmi eux, 23 ont obtenu une licence jusqu'à 80 ans (source AIEA 2025).
- Dans d'autres pays (Japon, Slovaquie, République Tchèque, Suisse, Inde...), plusieurs réacteurs ont déjà obtenu l'autorisation de fonctionner jusqu'à 60 ans, voire au-delà.
- La démarche de poursuite du fonctionnement au niveau international est axée sur la maîtrise du vieillissement des Systèmes, Structures et Composants de installations.
- En lien avec les effets du vieillissement des réacteurs à eau sous pression (REP), aucun élément technique de nature générique et susceptible de conduire à l'arrêt systématique avant 60 ans n'a été identifié.

2. EDF a soumis son programme de travail long terme à une revue scientifique et technique d'experts internationaux

Une revue conduite en 2023 et 2024 par 16 experts internationaux – chercheurs, universitaires/scientifiques et industriels, de 4 nations nucléaires : Etats Unis, Japon, Suède et Belgique

L'objectif : recueillir l'avis d'experts internationaux sur la pertinence et la suffisance des actions engagées par EDF au regard de l'état de l'art ou des pratiques à l'international, sur 5 grands sujets d'intérêt pour la poursuite du fonctionnement au-delà de 60 ans.

9 séances de travail et 1 session de présentation des conclusions et recommandations

17 livrables soumis sur 5 grands sujets d'intérêt :

- les puits de cuve
- les cuves des réacteurs
- les coudes E
- les prélèvements
- les internes de cuve



2. Les recommandations de la revue internationale sur le programme proposé par EDF

Le groupe d'experts a estimé que les pratiques d'EDF étaient appropriées et cohérentes avec d'autres méthodologies internationales, notamment les approches américaines et japonaises.

Les experts ont recommandé à EDF de :

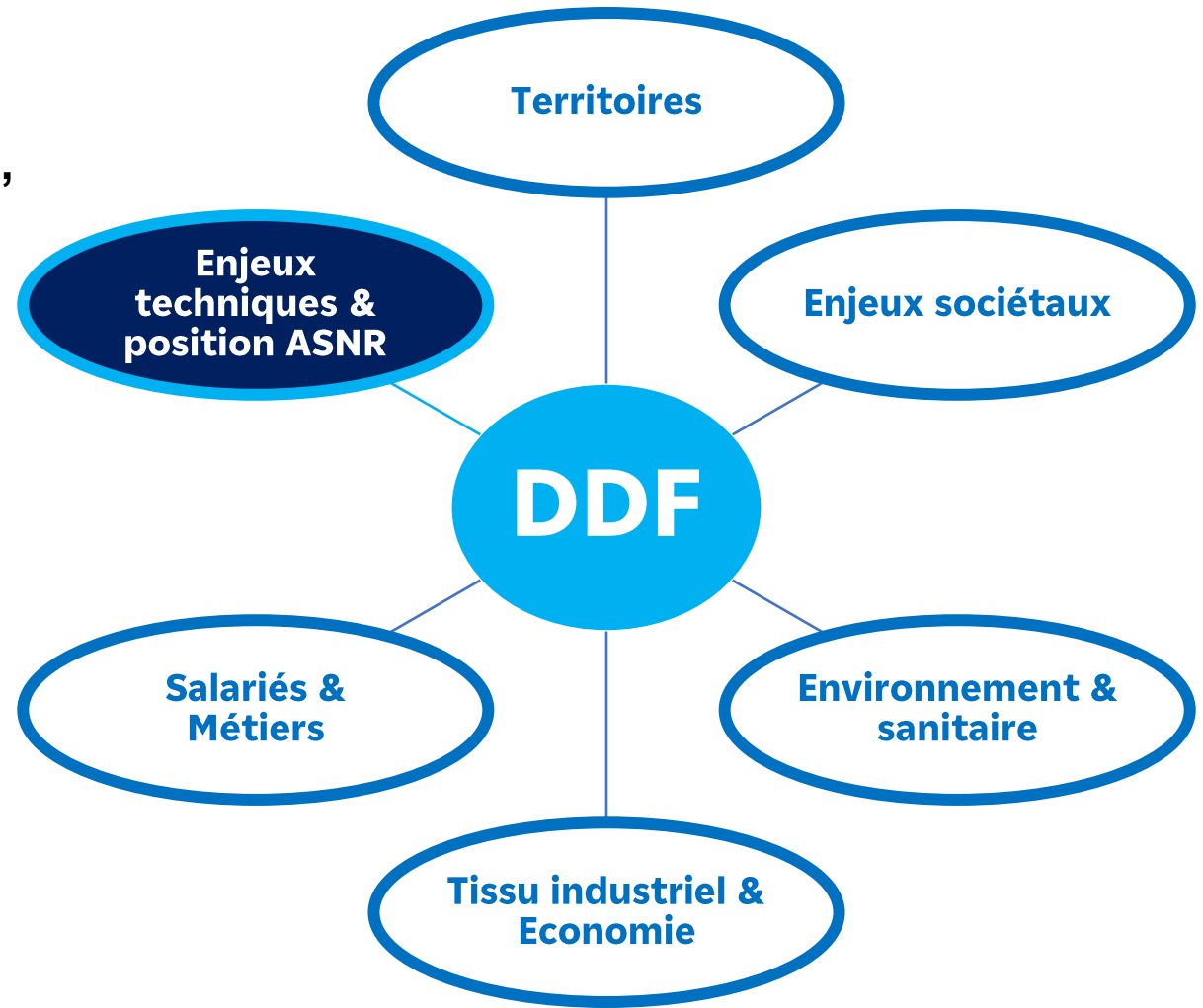
- **Renforcer la coordination opérationnelle avec les équipes en charge du démantèlement des réacteurs de Fessenheim compte-tenu de la complexité des opérations de prélèvements de matériels.**
- **Organiser périodiquement des réunions d'échanges techniques avec le régulateur, en particulier pour échanger sur de nouvelles méthodologies, comme cela se pratique aux États-Unis ou au Japon**
La mise en place par l'ASNR et EDF d'un cadre d'instruction anticipée de méthodes en préparation des futurs réexamens et de modalités d'échanges pour les sujets long terme s'inscrira dans cette logique.
- **Continuer à suivre et participer aux travaux et activités internationaux**
EDF partage avec les autres exploitants les orientations de son programme de travail. Le responsable du volet international du Projet DDF supervise les participations et contributions d'EDF sur la poursuite du fonctionnement à l'international. Depuis mi-2024, EDF participe notamment au projet SMILE (Studsvik Materials Integrity Life Extension).
- **Continuer à favoriser le partage des pratiques à l'international, par exemple pour l'approche BEREMIN (Belgique, Japon, Amérique du Nord).** EDF a partagé le contenu de ses travaux sur les nouvelles méthodes cuves et coudes E lors de la 28^{ème} conférence du SMiRT (Structural Mechanics in Reactor Technology) mi-2025

3.

Les axes principaux du programme de travail proposé par EDF

3. Une approche multi domaines – vision 360°

- **Analyse multi-domaine suivant 6 grands axes, dont un programme de travail technique**
- **Ouverture d'un projet interne EDF en 2024** pour instruire les enjeux techniques & position de l'ASNR



3. Les enjeux techniques

COMPOSANTS NON REMPLAÇABLES

1. Cuve

- Etude du vieillissement de l'acier sous irradiation
- Développement d'approches avancées pour la justification des cuves

2. Puit de cuve

- Etude du comportement du béton sous irradiation
- Développement de la démarche de justification des ouvrages

COMPOSANTS DIFFICILEMENT REMPLAÇABLES

Interne de cuve

- Etude du vieillissement des matériaux aux horizons visés
- Développement de modèles multi-physiques pour les dommages considérés

Coudes E

Coudes E

- Etude du vieillissement thermique de l'acier
- Développement d'approches avancées pour la justification des composants

Câbles

- Développement de modèles de vieillissement sur base expérimentale et multi-échelle
- Développement de nouveaux Examens Non Destructifs (END)



Enceinte

- Exploitation de la maquette Vercors pour l'étude du vieillissement des enceintes
- Etude d'étanchéité et de tenue en accident grave
- Développement de nouveaux Examens Non Destructifs (END)

COMPOSANTS REMPLAÇABLES

Contribution à l'optimisation de la maintenance des composants remplaçables, évaluation des opportunités de modernisation

Et aussi...



Innovation en traitement des données

Objectif, détecter le plus tôt possible des phénomènes précurseurs de vieillissement

#IA #BigData



Changement climatique

- Décliner les scénarios planétaires aux échelles locales
- Evaluer la résilience des centrales nucléaires au changement climatique
- Proposer des solutions d'adaptation



International

Maintien d'une R&D à l'état de l'art en s'appuyant sur des collaborations stratégiques à l'échelle planétaire

3. Les axes de travail dans le cadre de la poursuite de fonctionnement des réacteurs au-delà de 60 ans

- **Poursuivre la « maîtrise du vieillissement » des Systèmes, Structures et Composants constituant les réacteurs**
- **Poursuivre l'adaptation des installations au changement climatique**
- **Promouvoir l'innovation dans tous les domaines**
- **Préserver le patrimoine industriel que constitue un réacteur nucléaire**

3. Les axes de travail dans le cadre de la poursuite de fonctionnement des réacteurs au-delà de 60 ans

La « maîtrise du vieillissement »

- **Composants non remplaçables** : les cuves des réacteurs, les puits de cuve¹ et les enceintes de confinement → stratégies de maintenance et démarche de justification pour la durée de fonctionnement envisagée
- **Composants difficilement remplaçables** : les coudes E², les internes de cuve et les câbles → stratégies de maintenance et démarche de justification pour la durée de fonctionnement envisagée
- **Composants remplaçables** → stratégies de maintenance, maîtrise de l'obsolescence et maintien de la qualification aux conditions accidentelles

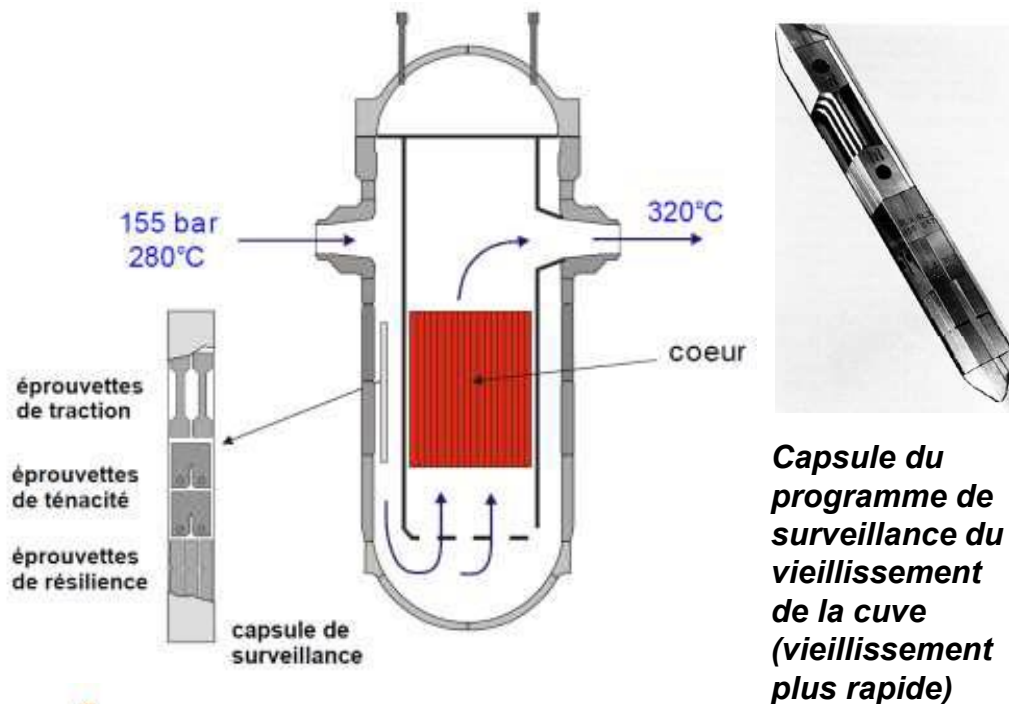
¹ *Ouvrage en béton armé supportant la cuve du réacteur*

² *Coudes des tuyauteries principales du circuit primaire en entée de cuve*

3. Un composant non remplaçable : la cuve

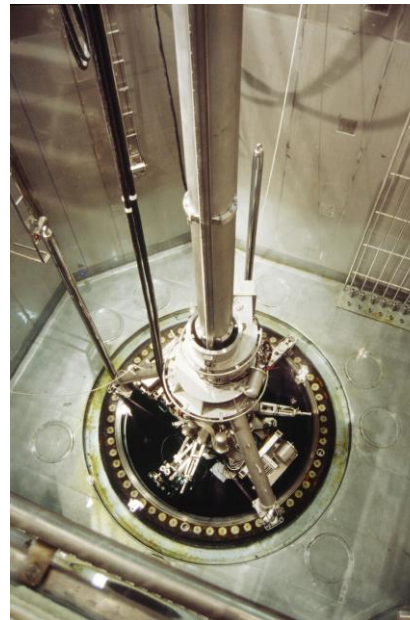
EDF a déjà mis en œuvre des dispositions de suivi des cuves et de mitigation de leur vieillissement

Programme de surveillance de l'irradiation par capsules pour connaître avec anticipation l'évolution de la ténacité de l'acier et vérifier le critère mécanique.

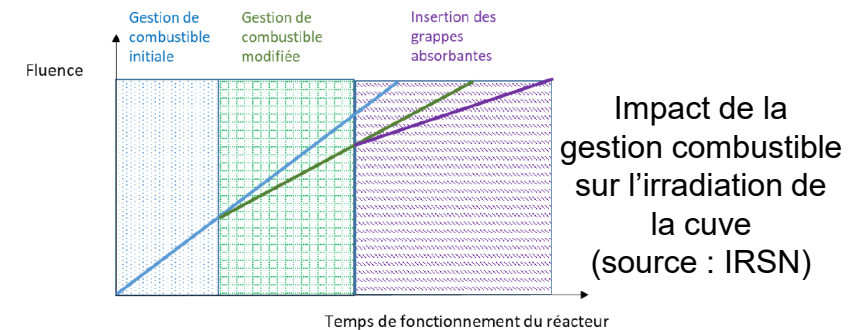


Contrôle décennal de la cuve avec la machine MIS* en zone de cœur pour vérifier l'absence d'évolution d'indications.

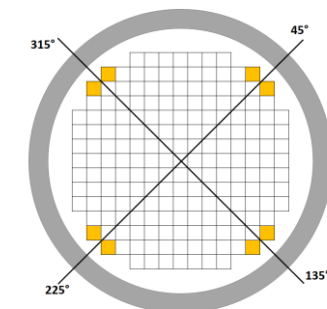
*Machine d'Inspection en Service



Protection de l'acier vis-à-vis des effets de l'irradiation par gestion combustible faible fluence et insertion de grappes hafnium dans le cœur absorbant les neutrons



Impact de la gestion combustible sur l'irradiation de la cuve (source : IRSN)



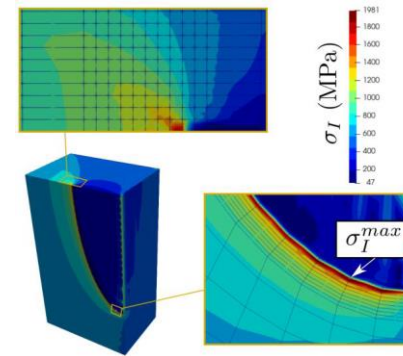
Position des grappes hafnium dans les cuves 1300 MWe (vue de dessus)

3. Un composant non remplaçable : la cuve

Les axes de travail complémentaires

Modernisation des calculs mécaniques

Depuis l'invention du paramètre K en 1954 (approche globale d'Irwin), la discipline de la mécanique de la rupture a progressé. On dispose désormais de critères d'approche locale **représentant mieux la physique**, permettant en particulier de prendre en compte les effets de géométrie et d'échelle entre les éprouvettes de laboratoire et les grandes structures. EDF a industrialisé un modèle (modèle de Beremin) et propose son application à la cuve



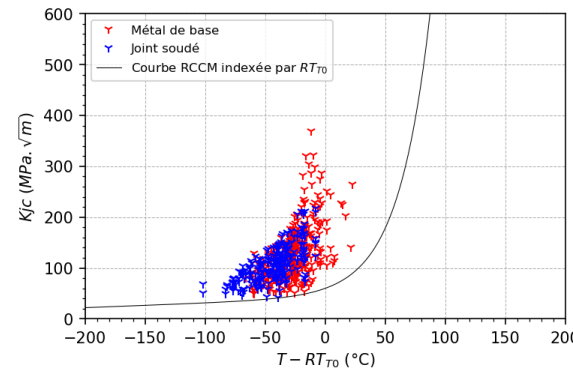
Contraintes au voisinage d'un défaut

Possibilités d'extension des dispositions de chauffage des bâches PTR

Ce chauffage, déjà mis en œuvre pour quelques cuves, permet de réduire le chargement généré par le choc thermique accidentel en cas d'injection de sécurité. EDF étendra la mise en œuvre de ce dispositif **si nécessaire**.

Exploitation plus complète du programme de surveillance de l'irradiation (PSI) des matériaux

La méthode « Master Curve », utilisée dans de nombreux pays, **permet de déterminer la ténacité du matériau de manière plus directe** que la méthode actuelle (sans passer par l'intermédiaire de la résilience). EDF se prépare à la mettre en œuvre.



Ténacité des matériaux de cuve :
points expérimentaux
et courbe enveloppe codifiée

Adaptation du calendrier du PSI

Le calendrier actuel est conçu pour couvrir une durée de fonctionnement de 60 ans. EDF l'a révisé pour **couvrir une durée d'au moins 80 ans**.

Examens Non destructifs

EDF analyse l'opportunité, à l'horizon DDF, de développer et qualifier un nouveau procédé pour un défaut cible de 4 mm de hauteur (5 mm avec le procédé actuel)

3. Les axes de travail dans le cadre de la poursuite de fonctionnement des réacteurs au-delà de 60 ans

Démarche de prise en compte des effets du changement climatique vis-à-vis de la sûreté nucléaire

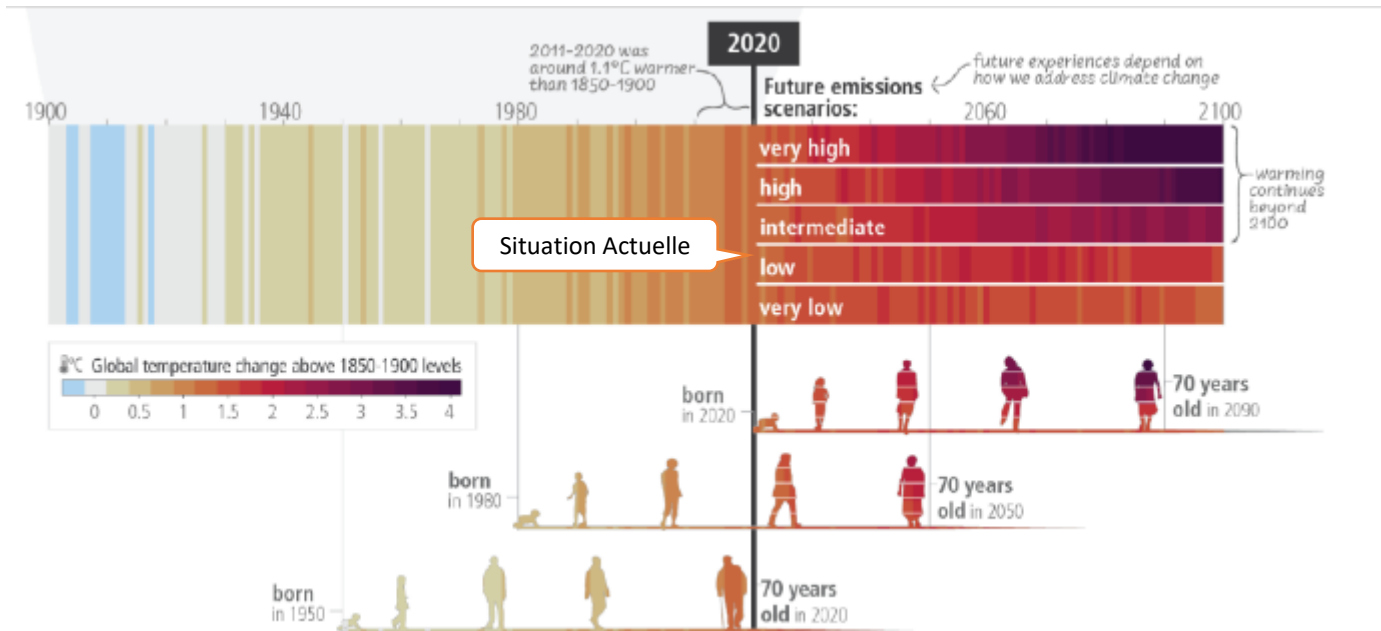
- **Etudes d'agressions** externes d'origine naturelle réévaluées tous les 10 ans dans le cadre des réexamens périodiques
→ Dispositions matérielles et d'exploitation
- **Veille climatique** : suivi de l'évolution des connaissances internationales sur le changement climatique et l'évaluation de ses effets
- **Veille scientifique** assurée par le service Climatique EDF réalisée tous les 5 ans environ en cohérence avec le pas de temps des rapports du GIEC
- **Surveillance en continu autour des CNPE** de la survenue d'Événement Climatique Majeur et REX annuel

Paramètres hydrométéorologiques d'intérêt :

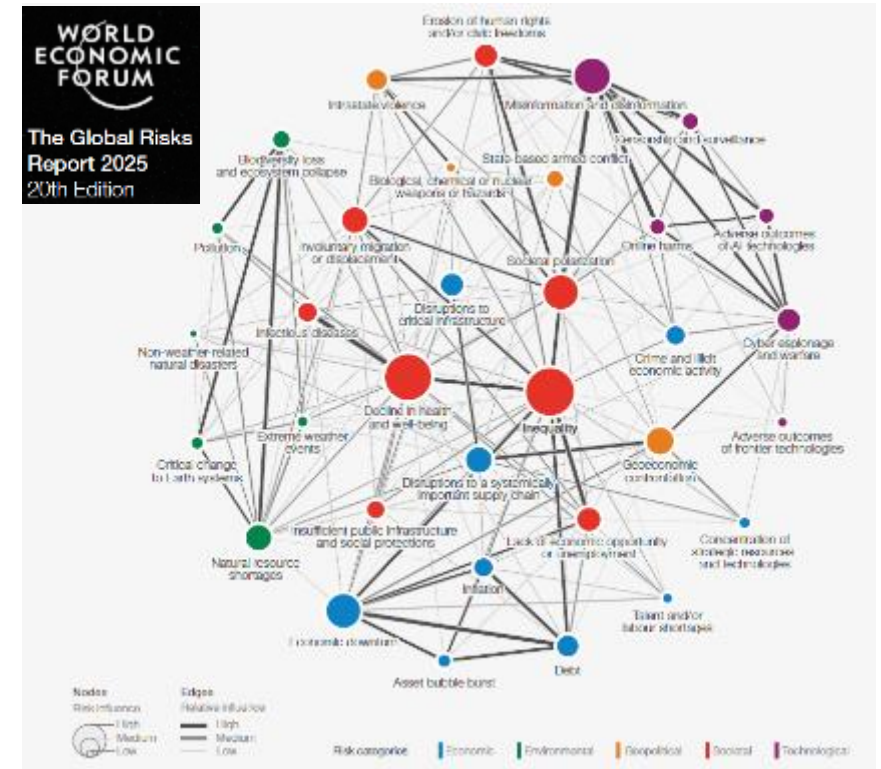
- Températures élevées de l'air et de l'eau
- Niveau marin
- Etiage (*sites bord de rivière*)

3. Le changement climatique, un phénomène évolutif et systémique

> Un phénomène de long terme dont l'intensité évolue avec le temps et dépend des choix de l'Humanité



> Un phénomène aux conséquences systémiques



EDF intègre les conséquences du changement climatique sur les volets « Risques » et « Inconvénients » dès le RP5, ainsi que, depuis 2020 et en continu, sur la sécurisation de la production électrique avec le projet ADAPT.

3. Une adaptation prouvée aux conditions extrêmes



Les solutions d'adaptation sont disponibles à l'échelle industrielle
La clé de l'adaptation est **la capacité d'anticipation** des conditions futures

3. Les axes de travail dans le cadre de la poursuite de fonctionnement des réacteurs au-delà de 60 ans

L'innovation

- Importance de l'innovation en réponse aux enjeux liés aux compétences, à l'attractivité de la filière et aux enjeux industriels, notamment grâce au déploiement de nouvelles solutions
- **Pour la poursuite du fonctionnement, les innovations visent notamment un usage élargi :**
 - De l'analyse des données («*data analytics*») et de la surveillance continue des paramètres d'exploitation
 - De la simulation et des maquettes numériques sur base physique (jusqu'au développement de « jumeaux numériques » de composants, d'équipements ou d'ouvrages des installations)
 - L'utilisation de l'intelligence artificielle afin d'analyser l'ensemble des données permettant notamment d'identifier d'éventuels nouveaux phénomènes de vieillissement et d'optimiser les programmes de maintenance
 - La capacité à refabriquer certains composants (ex : fabrication additive, compression isostatique à chaud)

3. Les axes de travail dans le cadre de la poursuite de fonctionnement des réacteurs au-delà de 60 ans

Le programme industriel d'EDF

EDF entreprend des actions sur trois plans pour assurer la pérennité du fonctionnement du parc nucléaire :

- Les Réexamens Périodiques
- Le programme de travail qui prépare la poursuite du fonctionnement des réacteurs existants du parc nucléaire français au-delà d'une durée de 60 ans
- La gestion du patrimoine industriel, en complément des 2 points ci-dessus, autour des trois thématiques principales suivantes :
 - *Fonctions supports (diesels, production air / eau / vapeur, ventilation, effluents)*
 - *Contrôle-commande*
 - *Evolutions réglementaires*



3. Les autres sujets d'intérêt dans le cadre de la poursuite de fonctionnement des réacteurs au-delà de 60 ans

- **La performance de production du parc nucléaire** pour répondre à la demande d'énergie décarbonée
- **Les compétences** : un enjeu de maintien des compétences de l'exploitant, de la filière industrielle nucléaire et de développement de nouvelles compétences (innovation technologique)
- **L'ancrage territorial des centrales** : un enjeu de maintien de compétences locales, de lieux de formation, d'emplois localisés dans les territoires, d'infrastructures (logements, santé, mobilité...)



Merci

