



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

Présentation du programme de travail d'EDF

Anne PELLE, directrice technique du programme Grand Carénage - DiPS

La poursuite de fonctionnement au rythme des réexamens périodiques

En France, l'autorisation de création d'une installation nucléaire est délivrée par le gouvernement, après avis de l'ASNR. Cette autorisation de création est délivrée sans limite a priori de durée d'exploitation.

Tous les 10 ans, un réexamen approfondi est réalisé pour démontrer l'aptitude de chaque réacteur à poursuivre son exploitation pour les 10 ans à venir.

EDF réalise tous les 10 ans le réexamen périodique de chaque réacteur, afin de :

- Apprécier la situation de l'installation au regard des règles qui lui sont applicables : c'est le volet conformité du réexamen ;
- Actualiser l'appréciation des risques ou inconvénients que peut présenter l'installation pour « les intérêts protégés » (sécurité, santé et salubrité publique et protection de la nature et de l'environnement) : c'est le volet réévaluation du réexamen.



Réexamen périodique = Etape incontournable dans l'exploitation des centrales nucléaires françaises

Examen des installations visant à vérifier leur **conformité** et à se réinterroger sur leur **niveau de sûreté** (risques) et de **protection de l'environnement et du public** (inconvénients), de façon approfondie et à définir, quand cela est possible, des **améliorations** permettant d'augmenter leur niveau de **sûreté** et leur **performance environnementale**.

Préambule

- La poursuite de fonctionnement du Parc nucléaire existant est un levier de compétitivité pour le système électrique national et pour l'économie du pays, avec l'enjeu de la décarbonation. C'est également une garantie de souveraineté et de maintien de l'activité industrielle.
- Les enjeux associés à cette perspective sont systémiques et vont bien au-delà des seuls enjeux techniques liés à la sûreté. Ils concernent les compétences, la formation, la santé et la sécurité des intervenants de l'ensemble de la filière nucléaire mais aussi la compétitivité industrielle nationale, la stratégie de décarbonation de notre économie, l'aménagement des territoires ou encore la souveraineté énergétique nationale.
- EDF a produit un programme de travail avec une vision 360°, qui a permis d'identifier les sujets et thématiques à instruire pour rendre possible cette poursuite d'exploitation du parc et préparer les futurs réexamens périodiques.
- Les enjeux du changement climatique et de la ressource en eau sont intégrés dans ce programme.
- 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
2. La vision internationale
3. Le programme de travail proposé par EDF dans la feuille de route DDF (durée de fonctionnement)
4. Focus revue scientifique internationale : conclusions et recommandations
5. Focus composants non remplaçables : les cuves

1.

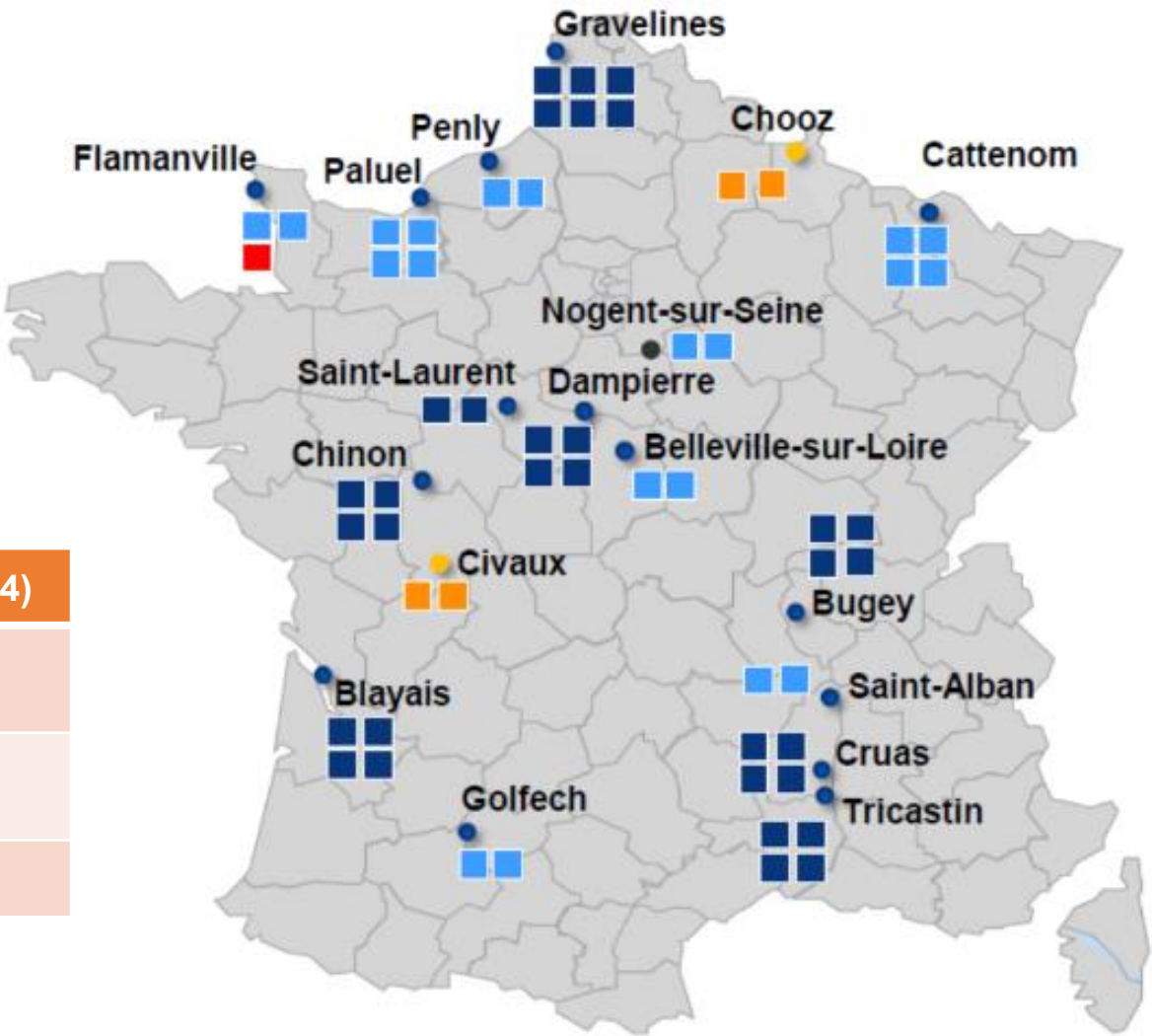
Contexte de la poursuite du fonctionnement jusqu'à 60 ans et au-delà d'une durée de 60 ans

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

Photographie du parc existant : 56 réacteurs

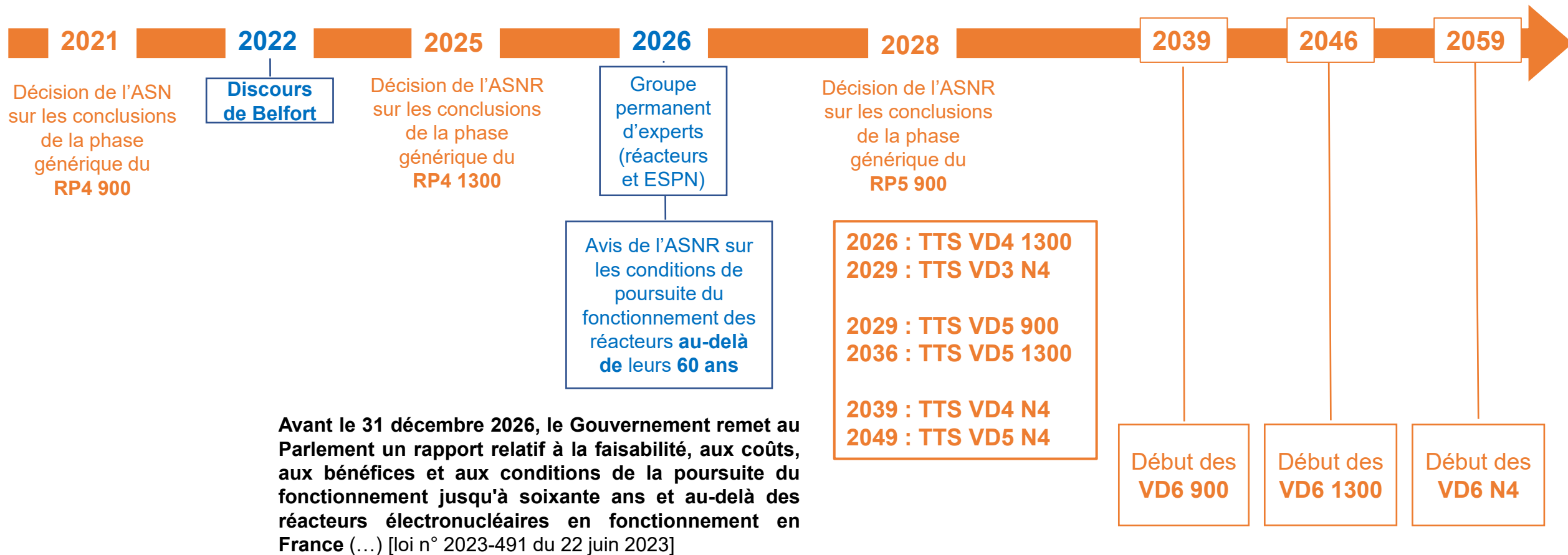
(hors EPR Flamanville 3 en cours de démarrage)

Palier	900 MWe	1300 MWe	1450 MWe (N4)
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

Quelques dates clés



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

Lancement du dialogue technique et des travaux sur la poursuite d'exploitation du parc après 60 ans

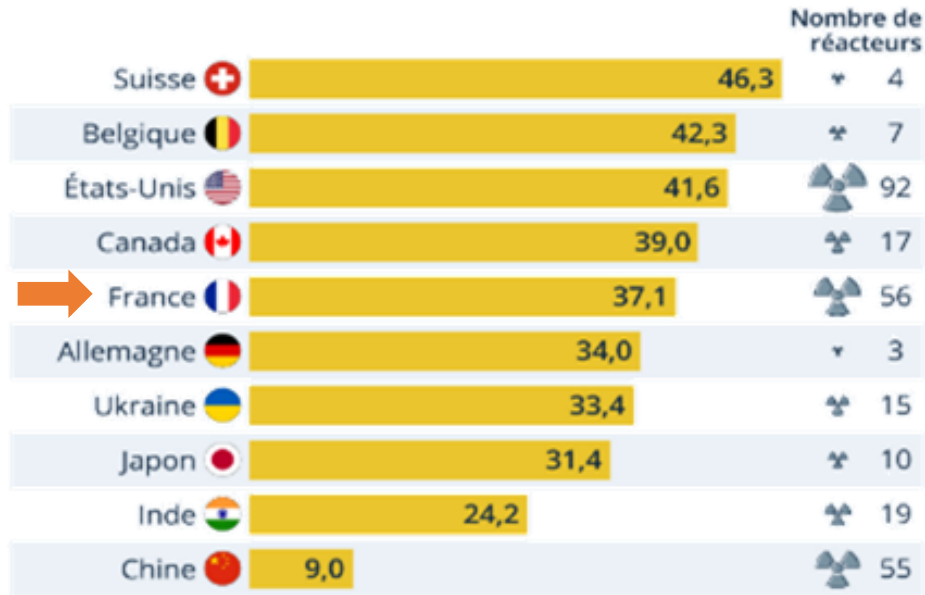
- **2021** - Décision de l'ASN sur les conclusions de la phase générique du 4^{ème} réexamen périodique des 32 réacteurs du palier 900 MWe
- **2022** - Lancement des échanges entre l'ASN et EDF sur la perspective de poursuite du fonctionnement au-delà de 60 ans
- **2023** - Avis de l'ASN sur les perspectives de fonctionnement des réacteurs jusqu'à leurs 60 ans.
- **2023** - Séminaire international organisé par EDF sur la poursuite du fonctionnement (septembre 2023)
- **2023** - Définition par EDF du programme de travail 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 de l'ASNR sur les conclusions de la phase générique du 4^{ème} réexamen périodique des 20 réacteurs du palier 1300 MWe
- **Fin 2026** - Position de l'ASNR sur les conditions de poursuite du fonctionnement au-delà de 60 ans des réacteurs du parc existant

2.

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

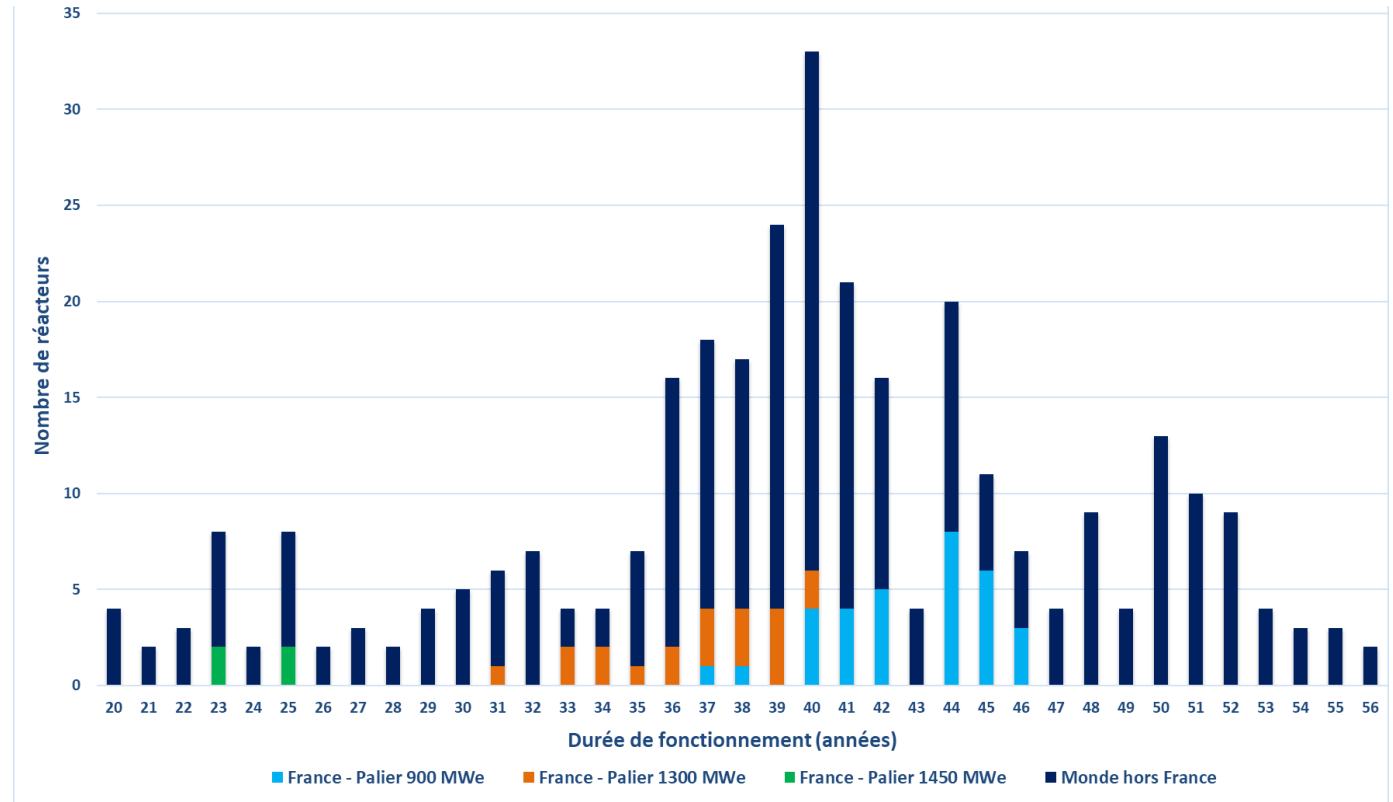
2. La situation du parc nucléaire international

→ Age moyen du parc de réacteurs nucléaires en 2022



* Exclut les réacteurs de réserve. En date du 1er juillet.
Source : World Nuclear Industry Status Report 2022

→ 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).



2. La situation du parc nucléaire international

La poursuite du fonctionnement dans le monde

- 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 programme de maîtrise du vieillissement.
- Les modalités réglementaires varient d'un pays à l'autre.
- Aux Etats-Unis, 88 réacteurs ont déjà obtenu une licence de fonctionnement jusqu'à 60 ans et, parmi eux, 20 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.

2. Les grands enseignements de la comparaison internationale

Les principaux enseignements de la comparaison à l'international

- 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 et/ou 80 ans.
- Le partage d'expérience internationale systématique permet de consolider la liste des sujets d'intérêt pour la poursuite du fonctionnement.

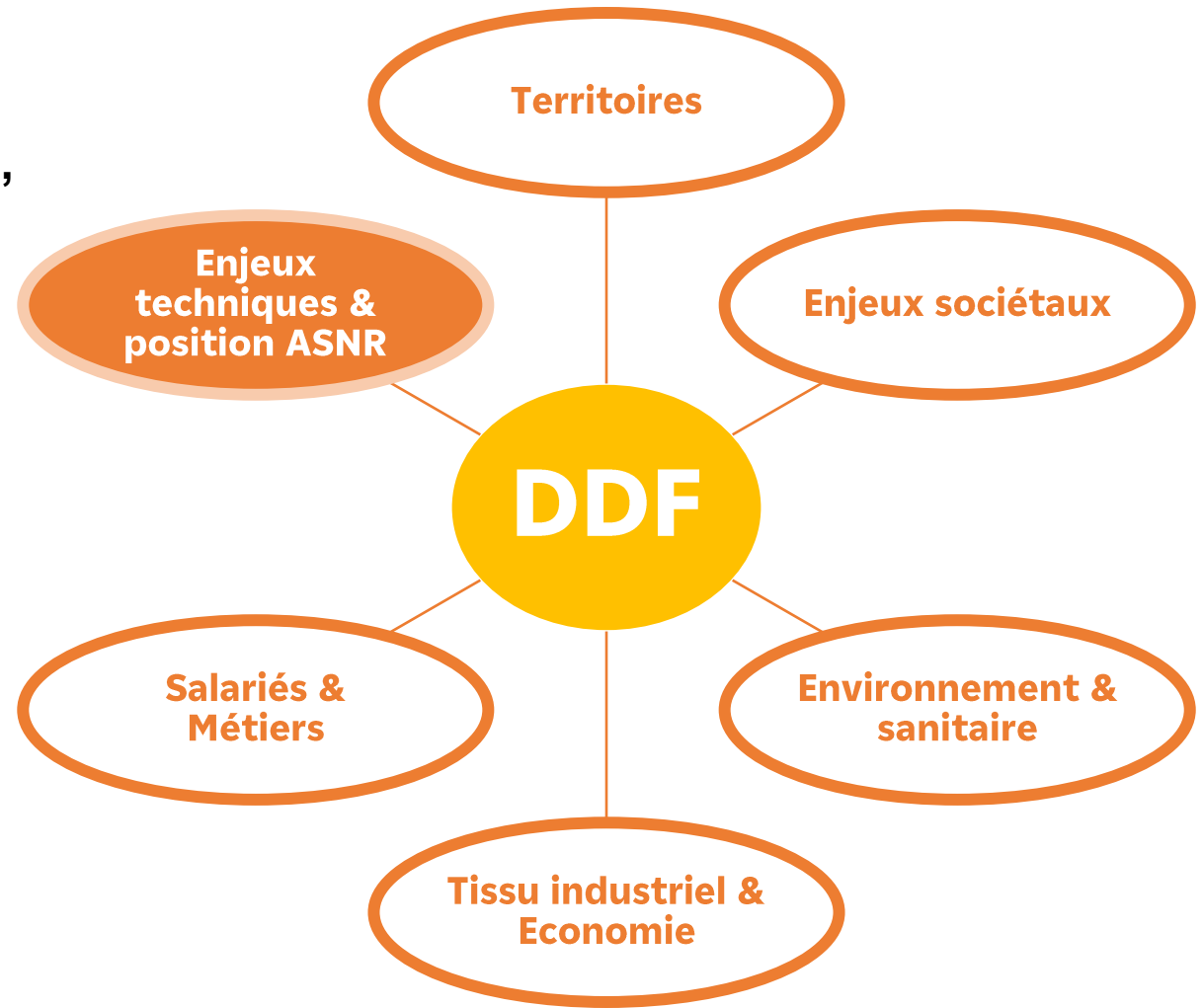
En 2023 et 2024, EDF a confronté son programme de travail avec la communauté scientifique et technique internationale, afin de bénéficier d'un avis sur la pertinence et l'exhaustivité des actions envisagées et consolider la liste des sujets à approfondir pour la poursuite de fonctionnement à long terme.

3.

Le programme de travail
proposé par EDF pour la
poursuite du fonctionnement
au-delà de 60 ans

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



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

Bâtiment réacteur

Contrôle commande

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 pour permettre la poursuite du fonctionnement au-delà de 60 ans

- **Poursuivre la maîtrise du vieillissement des Structures, Systèmes 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**

Nota concernant le séisme du Teil : Le programme de travail engagé par EDF à la suite du séisme du Teil survenu le 11 novembre 2019 en Ardèche et ses éventuelles retombées ont vocation à être traités en amont de la poursuite du fonctionnement des réacteurs des sites de Cruas et Tricastin au-delà de 60 ans.

3. Les axes de travail pour permettre la poursuite du fonctionnement 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 démarches de justification
- **Composants difficilement remplaçables** : les coudes E², les internes de cuve et les câbles → stratégies de maintenance et démarches de justification
- **Composants remplaçables** → stratégies de maintenance, maîtrise de l'obsolescence et maintien de la qualification aux conditions accidentelles

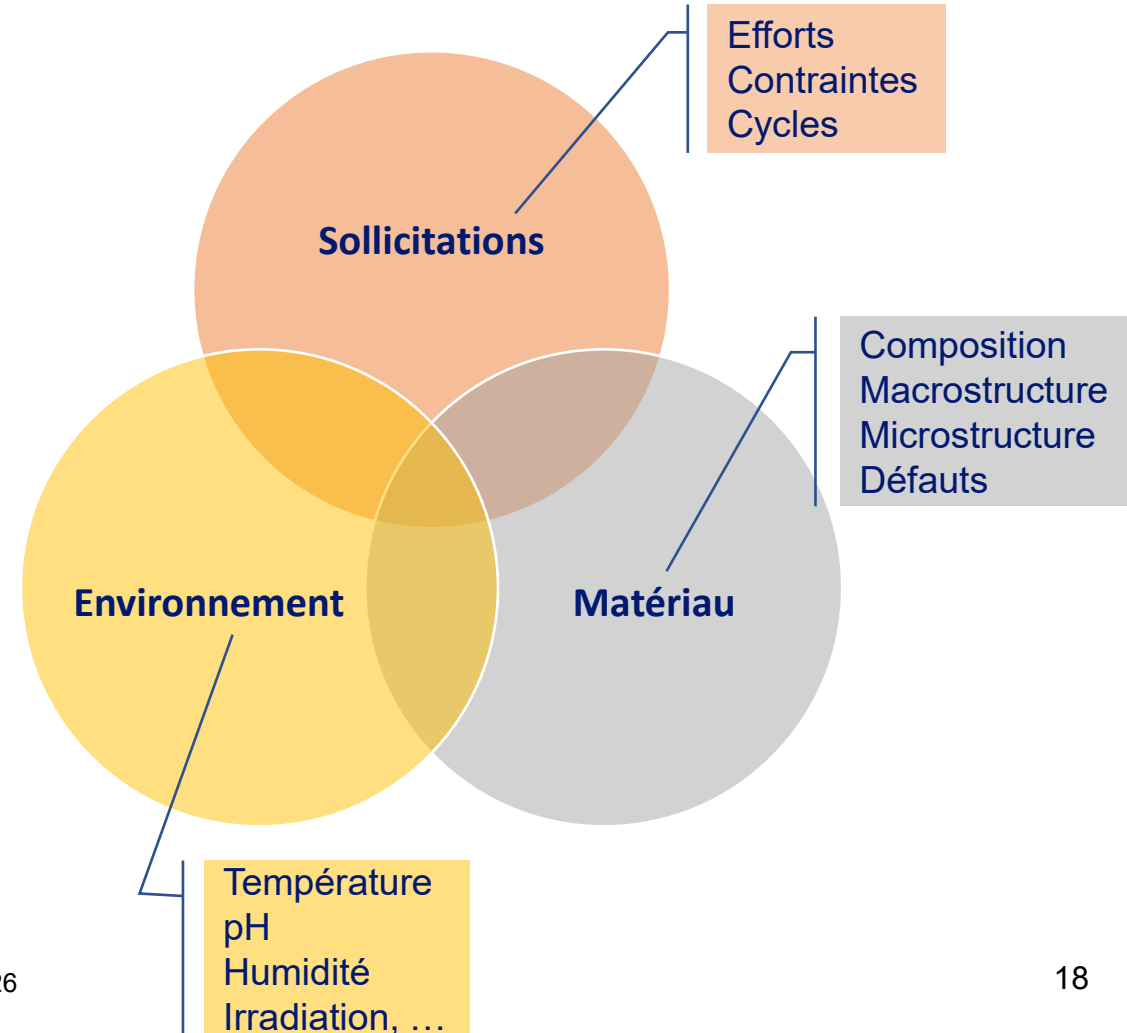
¹ *Ouvrage en béton armé supportant la cuve du réacteur*

² *Coudes des tuyauteries principales du circuit primaire, situés en entrée de la cuve*

3. Les axes de travail pour permettre la poursuite du fonctionnement au-delà de 60 ans

La maîtrise du vieillissement passe par :

- La connaissance des mécanismes de vieillissement pouvant affecter chaque composant,
- La mise en œuvre d'un suivi en exploitation et d'une stratégie de maintenance adaptés,
- La prise en compte du retour d'expérience national et international,
- La recherche proactive sur les réacteurs de phénomènes de vieillissement non préalablement identifiés sur certaines zones des réacteurs.



3. Les axes de travail pour permettre la poursuite du fonctionnement au-delà de 60 ans

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

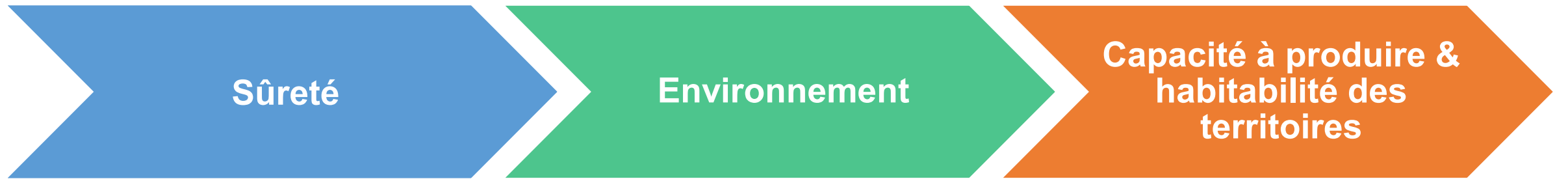
- **Etudes d'agressions** externes d'origine naturelle réévaluées tous les 10 ans dans le cadre des réexamens périodiques
→ Dispositions matérielles et d'exploitation
- **Veille climatique** : suivi de l'évolution des connaissances internationales sur le changement climatique et l'évaluation de ses effets
- **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. Les axes de travail pour permettre la poursuite du fonctionnement au-delà de 60 ans

Adaptation au changement climatique : de la sûreté à l'habitabilité des territoires



Etudes des risques

Etudes d'impact

Démonstration de protection des intérêts
mise en œuvre dans le cadre
des Réexamens Périodiques

Le projet **ADAPT** vient en complément de la démarche mise en œuvre dans le cadre des réexamens périodiques

La démarche d'adaptation évalue le changement climatique dans une approche évolutive et systémique pour s'inscrire résolument dans une approche de préservation de l'habitabilité des territoires

3. Les axes de travail pour permettre la poursuite du fonctionnement 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
 - 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 pour permettre la poursuite du fonctionnement 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 de 60 ans
- La **gestion du patrimoine industriel**, en complément des 2 points ci-dessus, autour des thématiques principales suivantes :
 - *Fonctions supports (diesels, production air / eau / vapeur, ventilation, effluents)*
 - *Contrôle-commande*



4.

Focus sur la revue scientifique internationale : conclusions et recommandations

4. Le REX international : focus sur l'ISAR (International Scientific Advisory Review)

Une revue conduite par 16 experts internationaux (*chercheurs, universitaires/scientifiques et industriels*) de 4 nations nucléaires – Etats Unis, Japon, Suède et Belgique

L'objectif était de recueillir l'avis des experts 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 certains 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.

5 sujets :

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



4. Le REX international : focus sur l'ISAR

Conclusions & recommandations générales

- Sur la base des informations fournies, le groupe d'experts internationaux n'a identifié aucune lacune ni dissension entre les experts concernant l'approche proposée par EDF pour la maîtrise du vieillissement à long terme.
- Des suggestions visant à continuer de surveiller, d'assurer la veille et contribuer à l'état de l'art international dans les domaines abordés ont été formulées pendant la revue par le groupe d'experts.
- Le groupe d'experts a estimé que les pratiques d'EDF sont appropriées et cohérentes avec d'autres méthodologies internationales, notamment les approches américaines et japonaises.

4. Le REX international : focus sur l'ISAR

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'inscrit 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 prévoit notamment de partager le contenu de ses travaux sur les nouvelles méthodes pour les cuves et les coudes E lors de la 28^{ème} conférence du SMiRT (Structural Mechanics in Reactor Technology) mi-2025.

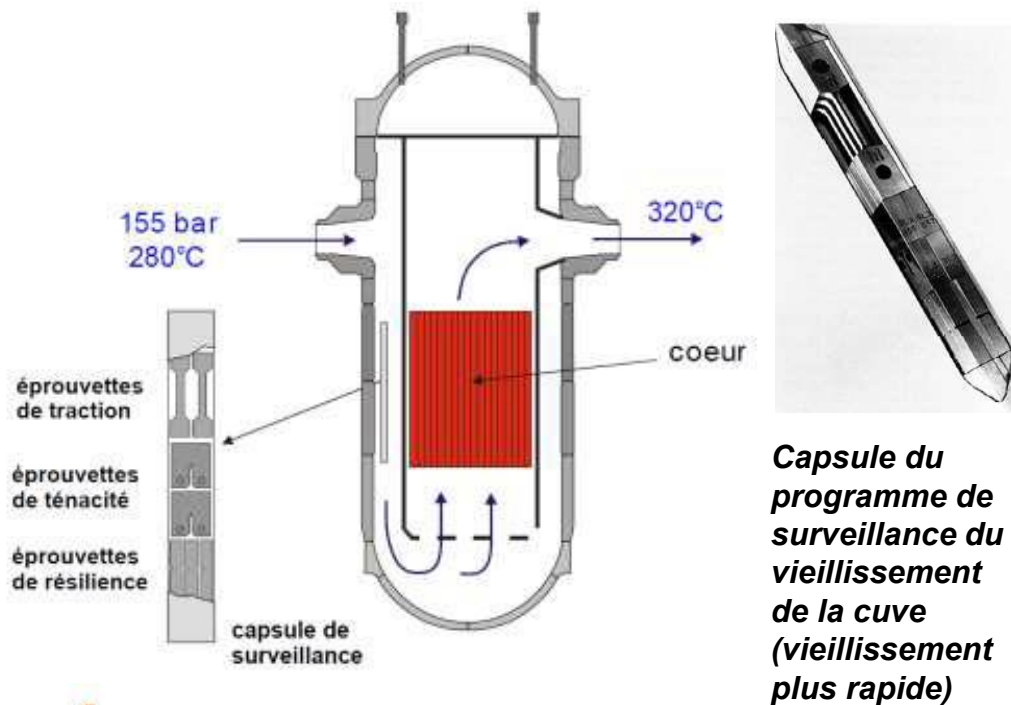
5.

Focus sur les cuves : programme de maîtrise du vieillissement

5. Axes de travail dans la continuité du programme de maîtrise du vieillissement actuellement déployé sur le parc

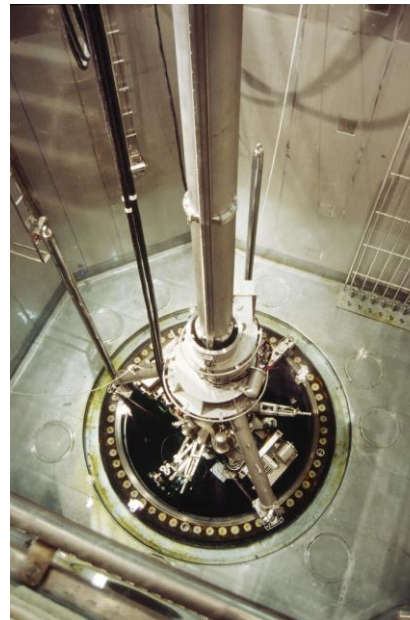
EDF met déjà en œuvre des dispositions de suivi des cuves et de mitigation de leur vieillissement.

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.

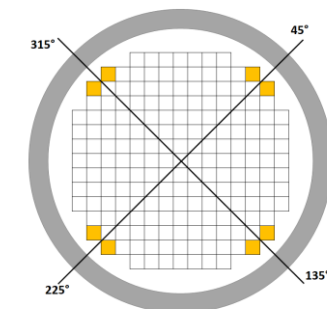
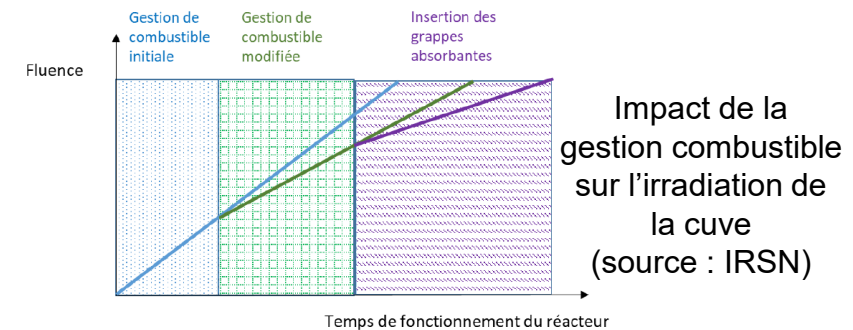


Contrôle décennal de la cuve avec la machine MIS* en zone de cœur pour vérifier l'absence d'évolution d'indications.

*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, qui absorbent les neutrons



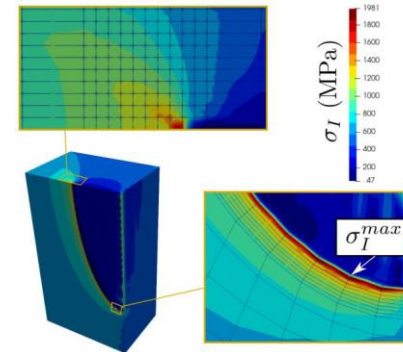
Position des grappes hafnium dans les cuves 1300 MWe (vue de dessus)

5. Axes de travail complémentaires pour permettre la poursuite du fonctionnement au-delà de 60 ans

Modernisation des calculs mécaniques

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 développé un modèle (modèle Beremin industriel) et propose son application à la cuve.

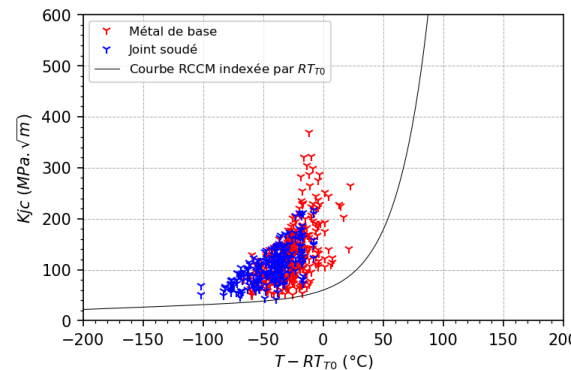


Contraintes au voisinage d'un défaut

Exploitation approfondie du Programme de Surveillance des effets de l'Irradiation (PSI) sur les 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 a développé cette méthode et propose son application à la cuve.



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

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 en cas d'injection de sécurité, en situation incidente ou accidentelle.

EDF étendra la mise en œuvre de ce dispositif **si nécessaire**.

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 (END)

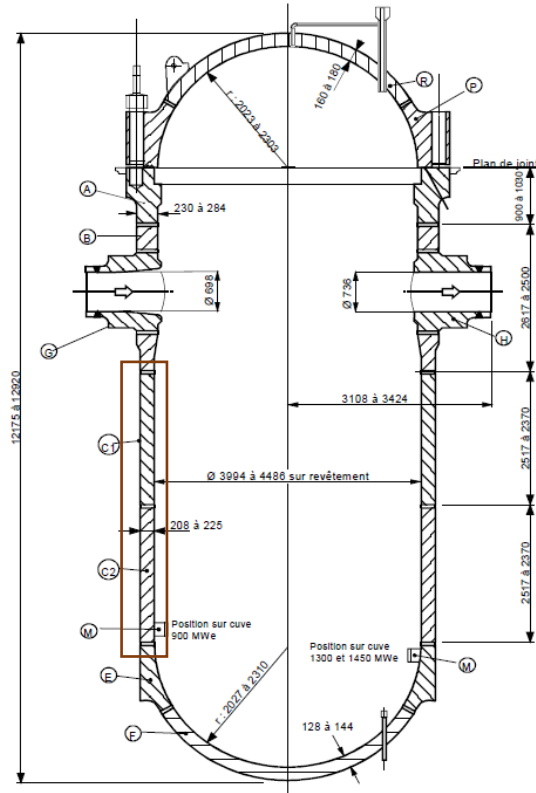
EDF analyse l'opportunité, à l'horizon DDF, de développer et qualifier un nouveau procédé pour un défaut cible de 4 mm de hauteur (5 mm avec le procédé actuel).



Merci



Principes de la démonstration de tenue des cuves



La démarche de vérification de tenue en service de la zone irradiée des cuves s'appuie sur un dossier d'analyse de tenue mécanique reposant sur une approche couplant :

- Le suivi en service de chaque cuve via un examen non destructif (END) visant à rechercher la présence d'éventuels défauts et à mesurer leurs dimensions, le cas échéant.
- La connaissance des propriétés du matériau en tenant compte du vieillissement en service (fragilisation sous irradiation), fondée sur le Programme de Surveillance des effets de l'irradiation (PSI) via les éprouvettes contenues dans des « capsules » placées à l'intérieur de chaque cuve.
- L'analyse mécanique des contraintes auxquelles sont soumis les composants de la cuve vis-à-vis du risque de rupture brutale, en postulant la présence d'un défaut.

L'analyse mécanique vérifie que, à chaque instant, les contraintes subies par le matériau lors d'un choc thermique, en situation incidentelle ou accidentelle, restent inférieures à la résistance du matériau en présence d'un défaut hypothétique, positionné dans la zone la plus sollicitée de la cuve :

**L'irradiation du matériau modifie sa ténacité,
ce qui réduit la marge à la rupture calculée lorsque la durée de fonctionnement augmente**