

# Réunion publique CLI

7 octobre 2025 - CNPE de Cruas-Meysses

***La maîtrise du vieillissement des centrales nucléaires françaises : quelles actions engagées et à venir pour assurer un haut niveau de sûreté ?***

*Dans un contexte de prolongation de leur exploitation au-delà de 40 ans, comment faire face aux défis à relever : la durabilité des composants non remplaçables*

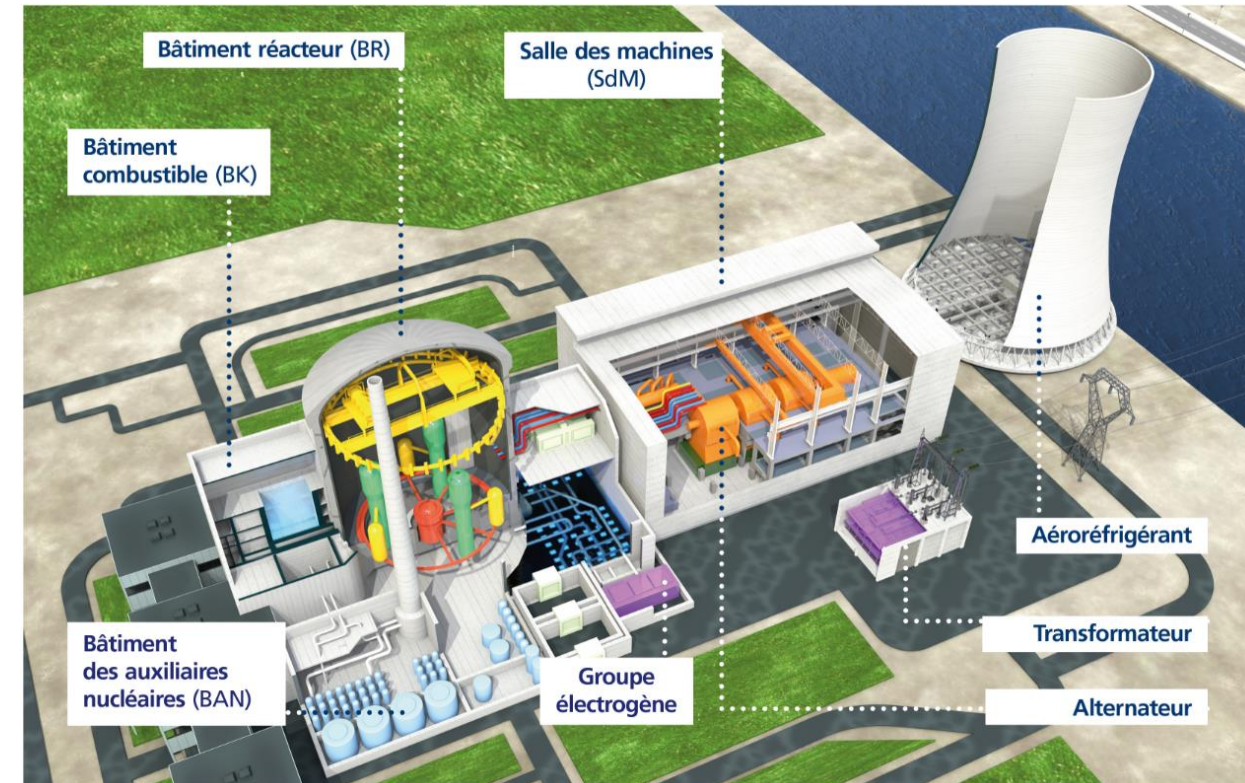


# Contexte - Parc nucléaire

57 réacteurs nucléaires en exploitation répartis sur 18 sites

## Centrale EDF de Cruas-Meysse

- Mise en service : 1984 – 1985
- 4 réacteurs de 900 MWe chacun
- 22,7 TWH produits en 2024
- Soit près de 7% de la production nucléaire française d'EDF et 35 % des besoins en électricité de la région Auvergne Rhône-Alpes

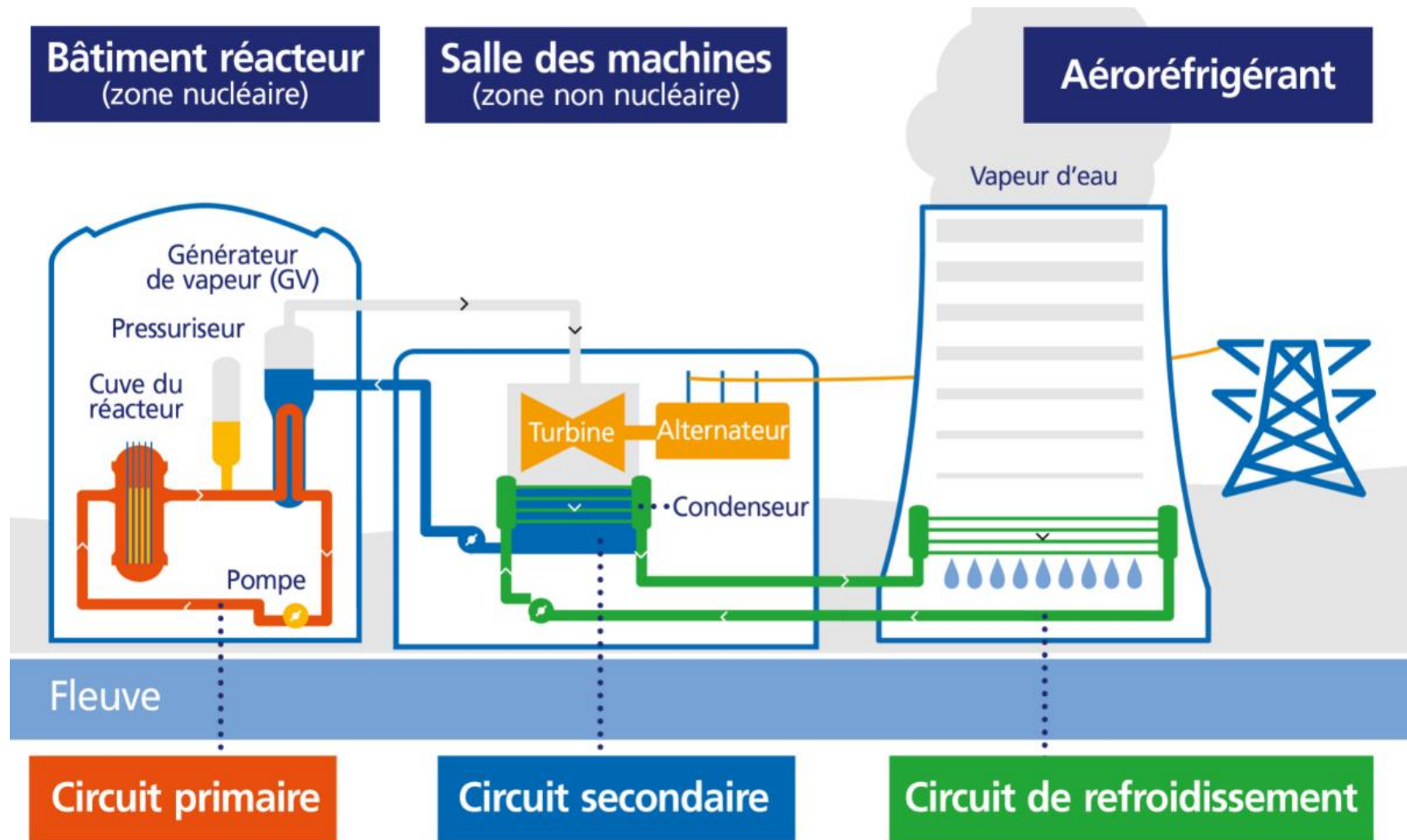


## Grand carénage

Programme industriel nucléaire majeur mené par le Groupe EDF.

→ Moderniser et rénover l'intégralité des centrales nucléaires, afin de poursuivre l'exploitation des installations en toute sûreté significativement au-delà de 40 ans.

# Contexte - Parc nucléaire





# Réexamen périodique

En France, l'autorisation d'exploiter une installation nucléaire ne précise aucune limite dans le temps.

Tous les 10 ans, chaque installation nucléaire fait l'objet d'un réexamen approfondi (réexamen périodique).

➤ Objectif : évaluer les conditions de la poursuite du fonctionnement pour les 10 années suivantes.

Une visite décennale est organisée pour :

- effectuer des contrôles et confirmer le niveau de sûreté de l'installation
- réaliser des modifications pour améliorer le niveau de sûreté.

A l'issue, un rapport de conclusions du réexamen est rédigé (RCR). Il intègre notamment la synthèse du dossier d'aptitude à la poursuite en exploitation (DAPE) traitant de la maîtrise du vieillissement des systèmes, structures et composants.

**4<sup>e</sup> réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe**

## DAPE : dossier d'aptitude à la poursuite en exploitation

Note technique de plusieurs centaines de pages qui permet de démontrer la maîtrise du vieillissement de nos équipements.

Il fait partie des éléments étudiés par l'ASNR pour autoriser l'exploitation d'une unité de production dix années supplémentaires après son arrêt pour visite décennale.

# Maîtrise du vieillissement

## Vieillissement d'une centrale nucléaire

Processus général par lequel les caractéristiques d'un équipement se modifient graduellement avec le temps ou l'utilisation.

Principaux mécanismes de vieillissement des matériaux (métallique, minéral ou organique) :

- Corrosion
- Corrosion sous contrainte
- Encrassement
- Erosion
- Usure
- Vieillissement thermique
- Fragilisation par irradiation





# Moyens de suivi et de maîtrise du vieillissement

SUIVI

- Contrôles manuels
- Suivi vibratoire des machines tournantes
- Surveillance en salle de commande
- Prélèvements
- Examens visuels
- Examens non destructifs
- Contrôles dimensionnels

MAÎTRISE

- Remplacements préventifs
- Suivi des paramètres physiques et chimiques du circuit primaire principal et du circuit secondaire
- Conservation des matériels à l'arrêt
- Comptabilisation des situations d'exploitation



# Maîtrise du vieillissement des matériels

## 3 familles de composants :

### Composants non remplaçables

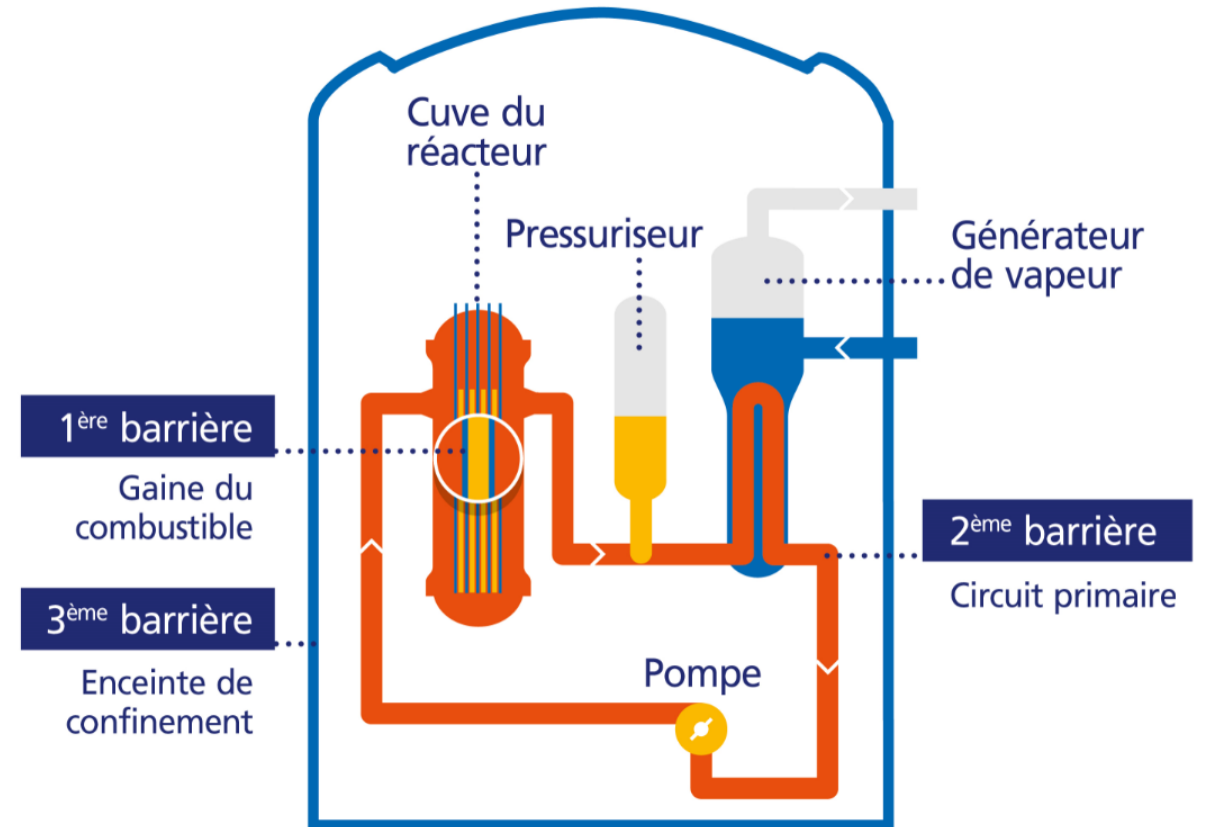
- Cuve du réacteur
- Puits de cuve
- Enceinte de confinement

### Composants difficilement remplaçables

- Câbles électriques
- Coudes des tuyauteries du circuit primaire en sortie de cuve
- Internes de cuve

### Composants remplaçables

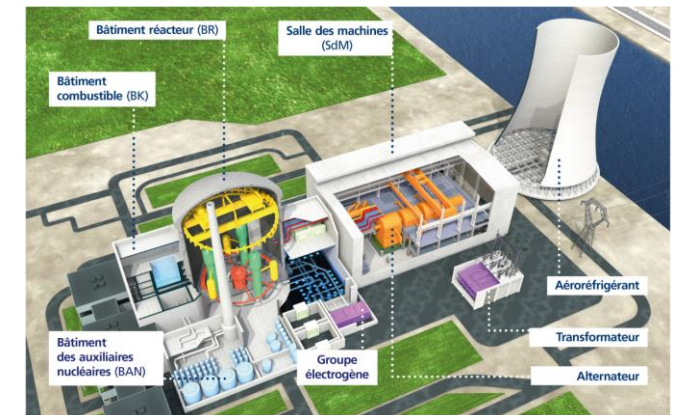
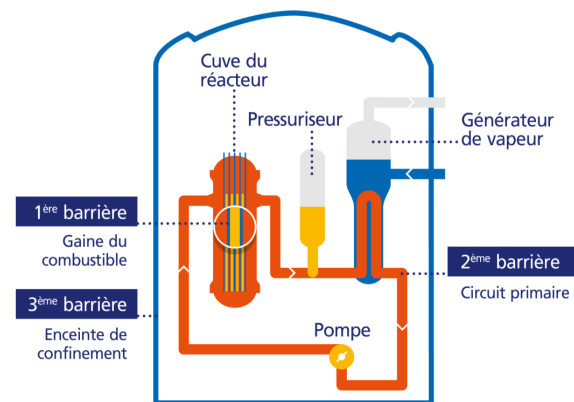
Générateurs de vapeur, joints, robinets, carte électroniques, relais, tronçons de tuyauteries, fluides, etc.





# Composants non remplaçables

*Quelques exemples*





# Maîtrise du vieillissement de la cuve du réacteur

## Rôle du composant :

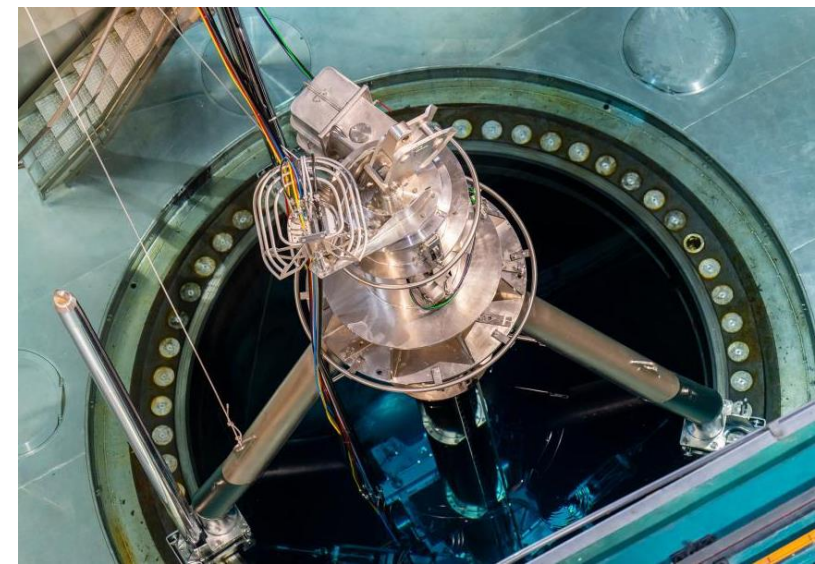
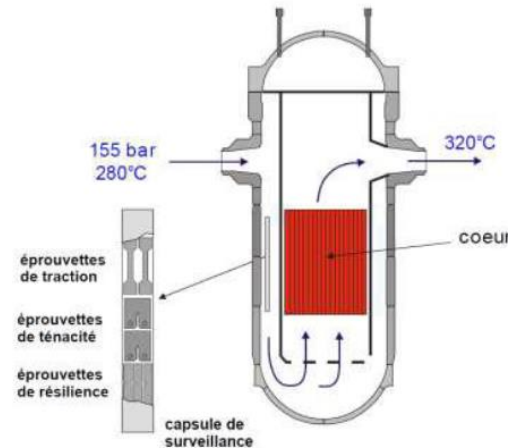
- La cuve du réacteur est le centre du circuit primaire principal et constitue une partie de la 2<sup>e</sup> barrière de confinement. Elle renferme le cœur du réacteur.

## Principaux mécanismes de vieillissement :

- Fragilisation par irradiation de la zone de cœur (acier de la cuve).
- Vieillessement thermique des tubulures d'entrée et de sortie.

## Programme d'inspection en service :

- Depuis la conception, un programme de surveillance pour le **suivi des effets de l'irradiation** sur les propriétés mécaniques de l'acier des cuves est mis en œuvre (échantillons mis dans la cuve).
- A chaque visite partielle, des **inspections télévisuelles** (pénétrations fond de cuve, taraudages de bride de cuve) sont réalisées.
- Tous les 10 ans, visite complète à l'aide d'un instrument spécifique : la **machine d'inspection en service (MIS)** est mise en œuvre. Les examens réalisés se font par ultrasons ou par radiographie.
- Protection de l'acier vis-à-vis des effets de l'irradiation** par insertion de grappes hafnium dans le cœur absorbant les neutrons.



# Maîtrise du vieillissement de la cuve du réacteur

## L'inspection de la cuve

L'intégrité et la résistance de la cuve du réacteur sont contrôlées millimètre par millimètre avec la machine d'inspection en service (MIS), qui est télécommandée. Trois techniques de contrôle sont utilisées : les ultrasons, la gammagraphie et les examens télévisuels.



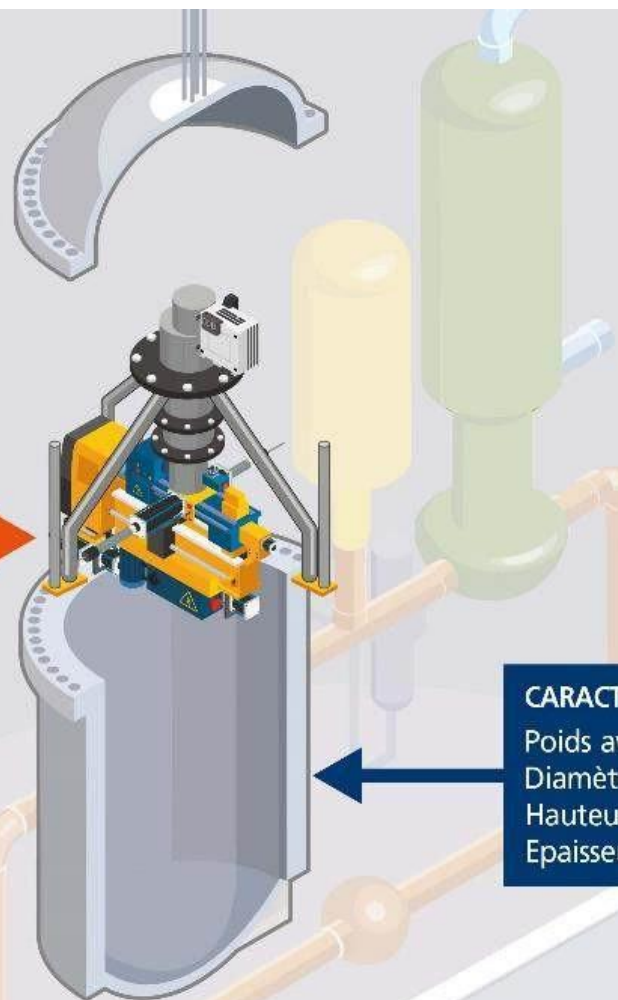
Les ultrasons, proche de l'échographie médicale, contrôlent l'épaisseur du métal.



Les caméras vidéo inspectent l'état de la surface interne de la cuve.



La gammagraphie, comparable à une radiographie médicale permet d'examiner le volume des parois de la cuve.



Temps entre deux contrôles



Durée de l'épreuve



Hauteur de la machine d'inspection en service

### CARACTÉRISTIQUES DE LA CUVE

Poids avec couvercle : 300 t  
Diamètre intérieur : 4 m env.  
Hauteur avec couvercle : 13 m  
Épaisseur minimale : 20 cm



# Maîtrise du vieillissement de l'enceinte de confinement

## Rôle du composant :

- L'enceinte de confinement constitue la 3<sup>ème</sup> barrière de confinement. Elle protège également le circuit primaire principal et les équipements qu'elle abrite contre les agressions externes.

## Principal mécanisme de vieillissement :

- Relaxation de la précontrainte du béton de la paroi de l'enceinte.

## Programme d'inspection en service :

- **Capteurs insérés dans le béton de l'enceinte de confinement**, à même de détecter tout comportement anormal (extensomètres pour mesurer en continu la déformation de l'ouvrage).
- **Inspections visuelles** en fonctionnement.
- **Epreuve enceinte, inspection périodique tous les 10 ans** : enceinte de confinement mise en pression au niveau qu'elle subirait en situation accidentelle (5 bar), pour vérifier son comportement mécanique et son étanchéité.

## Etudes R&D :

- **Installation VERCORS** : « VErification Réaliste du COnfinement des RéacteurS », (Seine-et-Marne). Maquette à l'échelle 1/3 des enceintes de confinement des centrales permet un vieillissement accéléré et réaliste par rapport à un ouvrage réel. L'accélération provient de l'effet d'échelle : en divisant l'épaisseur de la paroi par 3 on accélère le séchage d'un facteur 9.

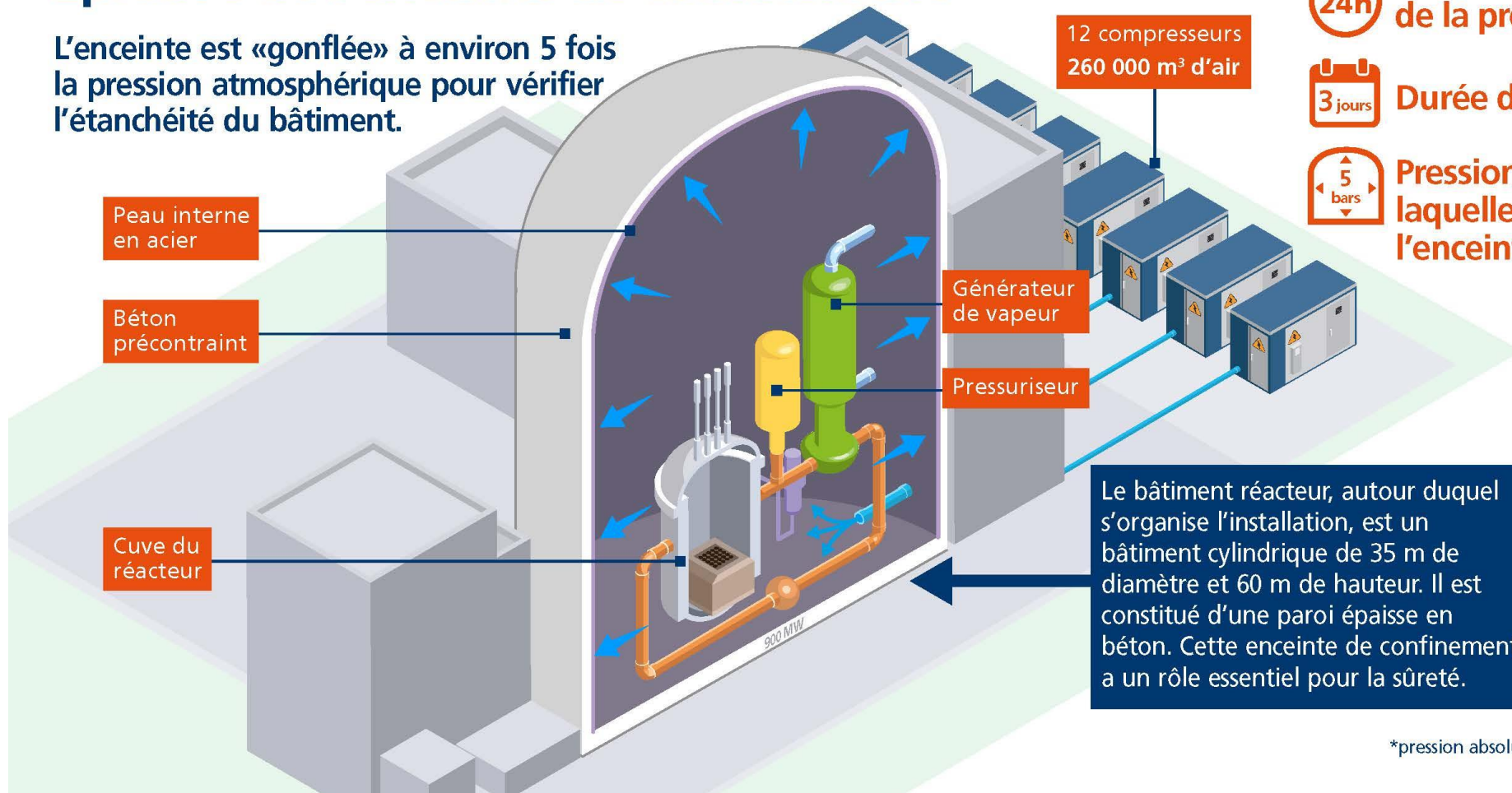




# Maîtrise du vieillissement de l'enceinte de confinement

## Epreuve de l'enceinte de confinement

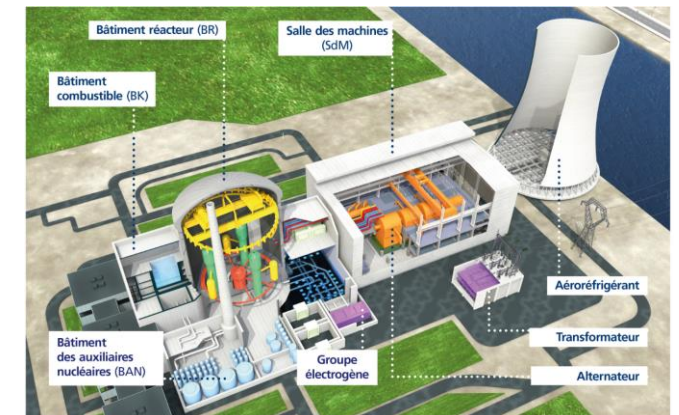
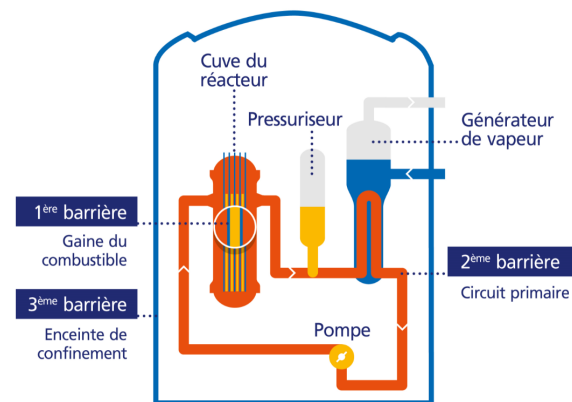
L'enceinte est «gonflée» à environ 5 fois la pression atmosphérique pour vérifier l'étanchéité du bâtiment.





# Composants difficilement remplaçables

*Exemple*



# Remplacement des câbles électriques haute et basse tension

## Rôle du composant :

- Les câbles électriques sont utilisés pour alimenter des machines électriques ou pour véhiculer une information. Certains câbles sont qualifiés pour être aptes à remplir leur fonction dans les conditions d'ambiance accidentelles et post-accidentelles à l'intérieur du bâtiment réacteur.

## Principal mécanisme de vieillissement :

- Vieillissement des gaines et isolants (matériaux polymères) par contrainte thermique, hygrométrique, ou tout simplement l'usure naturelle.

## Critères de remplacement :

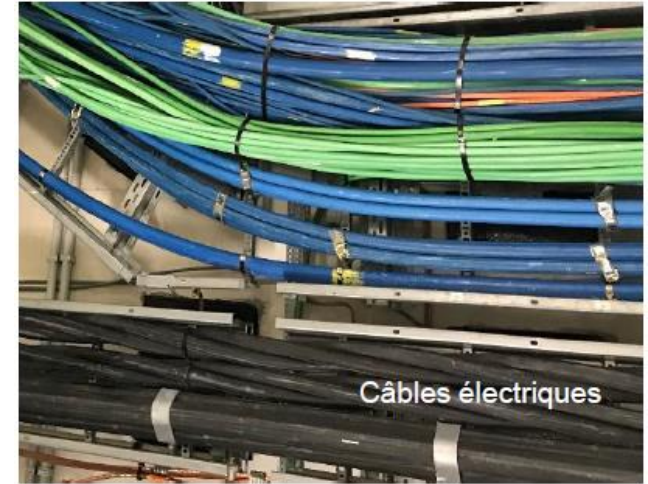
- Enveloppe isolante détériorée.
- Mesure électrique non conforme.

## Programme d'inspection en service :

- Suivi en exploitation par **inspection visuelle et mesures électriques**.

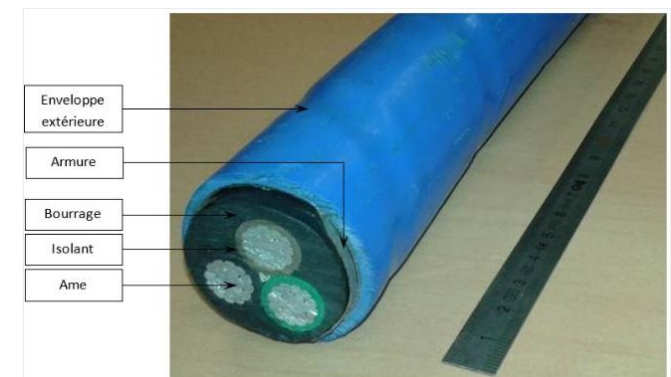
## Etudes R&D :

- Les études de durée de vie menées par EDF montrent un comportement satisfaisant des câbles dans le temps soumis à des conditions normales d'exploitation. Des prélèvements de câbles vieillis sur site ont permis de confirmer la maîtrise du vieillissement.



### Un réacteur nucléaire comporte :

- + 20 000 câbles basse tension, pour une longueur cumulée d'environ 1 500 km
- 150 à 250 câbles haute tension, pour une longueur cumulée de 15 à 25 km.

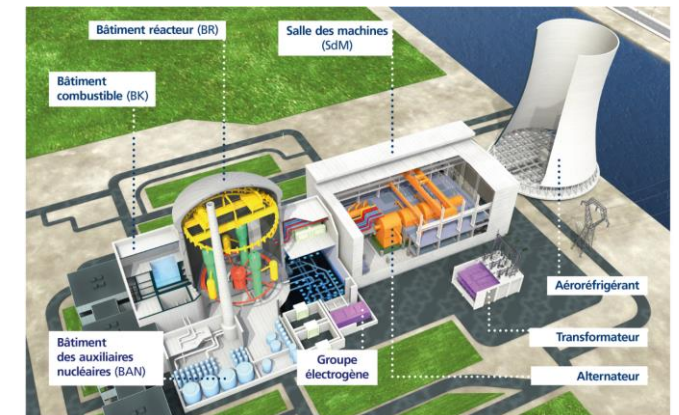
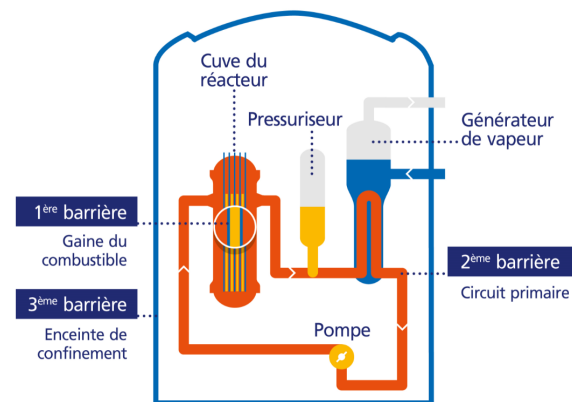






# Composants remplaçables

*Quelques exemples*



# Remplacement des générateurs de vapeur (RGV)

## Rôle du composant :

- Echangeur de chaleur qui permet de récupérer la puissance nucléaire et de la transformer en vapeur pour faire tourner le groupe turbo alternateur et donc produire de l'électricité.

## Principal mécanisme de vieillissement :

- Endommagement des tubes (contraintes mécaniques, fatigue vibratoire, usure) qui peuvent entraîner leur condamnation par un bouchon spécifique → perte de surface d'échange.
- Côté circuit secondaire, des problématiques de colmatage des plaques tubulaires ou d'encrassement des tubes qui limitent l'échange de chaleur.

## Critères de remplacement :

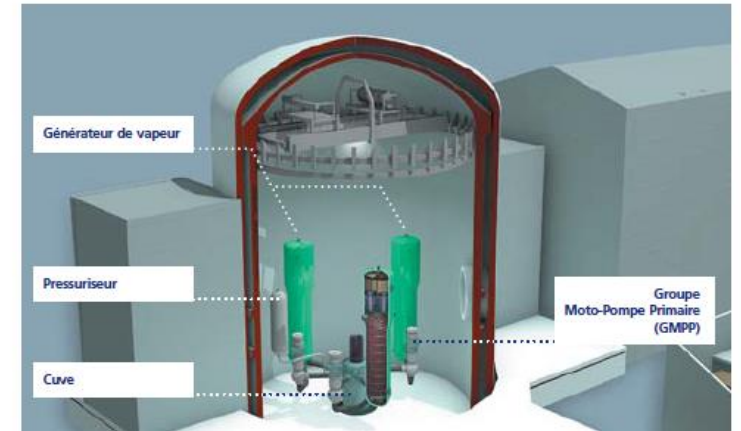
- En cas d'atteinte d'un taux de bouchage maximal autorisé, le remplacement des générateurs de vapeur est engagé.

## Programme d'inspection en service :

- Surveillance par examens non destructifs (passage de sondes dans les tubes).
- Inspection télévisuelle côté circuit secondaire et nettoyage chimique si besoin pour enlever les éventuelles boues accumulées.

## Gains obtenus à la suite du remplacement :

- Matériau plus performant avec des tubes plus résistants vis-à-vis des mécanismes de vieillissement pour une épaisseur réduite (de ce fait, passage de 3360 à 4460 tubes de 1,2 mm d'épaisseur).



### Générateur de vapeur

Masse : 329 t  
Diamètre : 4,5 m  
Hauteur : 21,2 m  
Surface d'échange : 5000 m<sup>2</sup>



# Remplacement des coussinets des plots parasismiques

## Rôle du composant :

- Les coussinets sont des appuis constitués de feuillets de néoprène séparés par des frettes métalliques. Ils sont posés sur les plots en béton armé entre le radier et l'îlot nucléaire et absorbent les efforts sismiques.
- 1812 appuis parasismiques par paire de réacteurs portés par 401 plots en béton armé.

## Principal mécanisme de vieillissement :

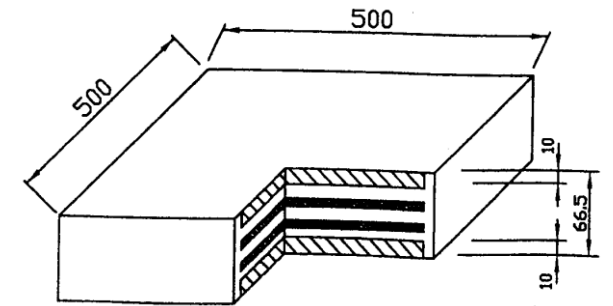
- Vieillesse du néoprène (usure dans le temps) qui génère une perte des propriétés élastiques.

## Critères de remplacement :

- Critère sur les caractéristiques mécaniques des appuis.
- Il n'y a pas eu de remplacement en exploitation depuis l'origine. Le remplacement d'un appui parasismique a été prévu à la conception. Une démonstration de remplacement d'appuis a été menée avec succès en 1993.

## Programme d'inspection en service :

- Contrôle visuel de l'état des appuis par sondage.
- Tous les 10 ans, essais sur échantillons témoins d'appui conservés dans l'espace inter-radier de Cruas.





# Remplacement des couronnes d'étanchéité des tambours filtrants de la prise d'eau du Rhône

## Rôle du composant :

- Filtrer l'eau pour alimenter le condenseur d'une installation nucléaire (source froide). Les couronnes d'étanchéité assurent l'étanchéité périphérique des tambours filtrants.

## Principal mécanisme de vieillissement :

- Usure par frottement des couronnes métalliques scellées dans le génie civil.

## Critères de remplacement :

- Critère d'usure par rapport à l'épaisseur de fabrication des couronnes d'étanchéité.

## Programme d'inspection en service :

- Contrôle périodique de l'usure des couronnes d'étanchéité.

## Gains obtenus à la suite du remplacement :

- Maintien du nombre de nettoyages mécaniques des échangeurs en aval à une valeur acceptable.



# Investissement dans la recherche

## Sherlock, un projet unique, au service de la connaissance

- Le projet Sherlock est issu du Programme Grand Carénage.
- Lancement du projet en 2020 sur un des générateurs de vapeur de Cruas-Meysse déposés .
- Objectif : réaliser des expertises, pour mieux comprendre les mécanismes de vieillissement (corrosion, encrassement, usure vibratoire...) des générateurs de vapeur.
- Des échantillons sont envoyés à un laboratoire d'expertise d'EDF, le LIDEC. Ils sont analysés pour voir comment le GV s'est comporté tout au long de son exploitation afin de prédire le vieillissement des GV sur le parc et apporter des réponses attendues par l'ASNR.
- Projet unique mené avec des partenaires internationaux : le Materials Aging Institute (MAI), EPRI et FRAMATOME.

## Prélèvements à Fessenheim

- Sur les deux réacteurs de Fessenheim en cours de démantèlement >> prélèvements qui permettront de consolider les justifications à l'exploitation au-delà de 60 ans.
- Objectif = vérifier, à 40 ans, l'absence de mécanismes de dégradation ou de vieillissement non prévus pouvant affecter certains équipements, en particulier des équipements difficilement accessibles sur des tranches en exploitation et conforter les modèles de vieillissement
- Une vingtaine de prélèvements prévus (composants du circuit primaire, génie civil, distribution électrique (câbles) et connectique)



Trou dans la Plaque à Tubes suite à carottage



Décontamination



Pose de matelas de plomb



Bouchage / débouchage de tubes

# En synthèse

- **Maîtrise du vieillissement des installations est suivie et pilotée au quotidien.**
- **Modernisation continue des installations.**
- **Niveau de sûreté renforcé depuis la conception.**