

# DIALOGUE TECHNIQUE SUR LE 4<sup>E</sup> RÉEXAMEN PÉRIODIQUE DES RÉACTEURS DE 1300 MWE JOURNÉE DU 30 MAI 2023

Enceinte de confinement - Vieillessement

# Enceinte de confinement - Vieillissement

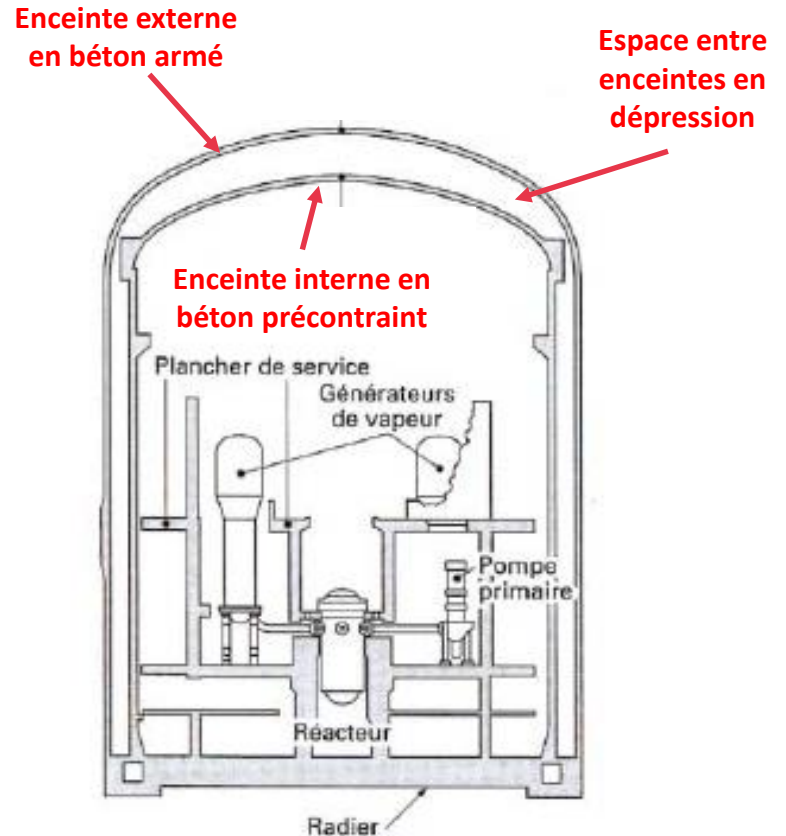
## [ PLAN DE LA PRÉSENTATION

- Introduction
- Surveillance des enceintes
- Vieillissement et pathologies
- Conclusions

# Enceinte de confinement - Vieillessement

## [ INTRODUCTION – DESCRIPTION DE L'ENCEINTE

- Enceinte à double paroi sans peau métallique
- Enceinte interne en béton précontraint (complétée par un revêtement composite si nécessaire)
- Enceinte externe en béton armé
- Espace entre enceintes en dépression



# Enceinte de confinement - Vieillessement

## [ INTRODUCTION – DÉCLINAISON DE LA FONCTION CONFINEMENT

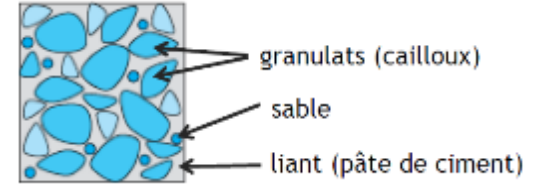
Fonction de sûreté	Exigences	Déclinaison	Éléments participant aux respects des exigences
Confinement	Étanchéité	Étanchéité	Enceinte interne en béton précontraint
		Collecte des fuites gazeuses	Espace entre enceintes en dépression
	Résistance	Résistance à la pression et à la température d'accident	Enceinte interne en béton précontraint
		Résistance aux agressions externes	Enceinte externe en béton armé

# Enceinte de confinement - Vieillesse

## [ INTRODUCTION – MATÉRIAUX

- Béton :
  - Composé de cailloux, de graviers et de sable liés par une pâte de ciment
  - Bonne résistance à la compression, faible résistance à la traction => nécessité de composants supplémentaires
- Béton armé : ajout d'armatures en acier afin de reprendre les efforts de traction
- Béton précontraint : ajout de câbles comprimant le béton afin d'éviter la traction
- Peau composite constituée d'une résine époxy armée de tissus de verre => améliorer l'étanchéité lorsque nécessaire

Squelette granulaire du béton



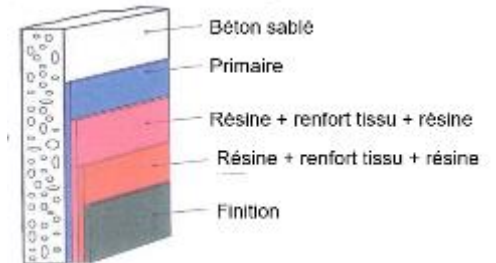
Câbles de précontrainte



Armatures en acier



Peau composite



# Enceinte de confinement - Vieillissement

## [ SURVEILLANCE DES ENCEINTES - DESCRIPTION

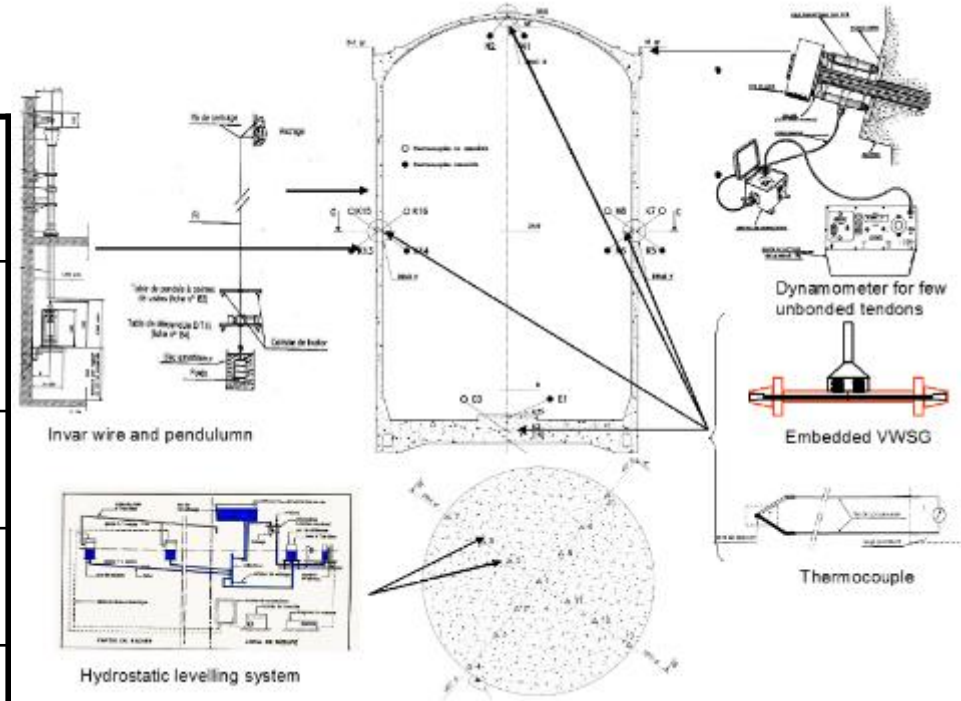
- Dispositif d'auscultation
  - instrumentation mise en place lors de la construction
  - peut être complété à posteriori
  - permet de suivre l'évolution mécanique de l'ouvrage
- Les épreuves de l'enceinte
  - servent à vérifier le bon comportement mécanique et l'étanchéité
  - réalisées lors de la réception, au 1<sup>er</sup> rechargement, puis à chaque arrêt décennal
- Les plans de maintenance préventive
  - définis pour des thématiques ou par objet (ex: toitures)
  - imposent les contrôles à réaliser et leur périodicité



# Enceinte de confinement - Vieillesse

## [ SURVEILLANCE DES ENCEINTES – DISPOSITIF D'AUSCULTATION

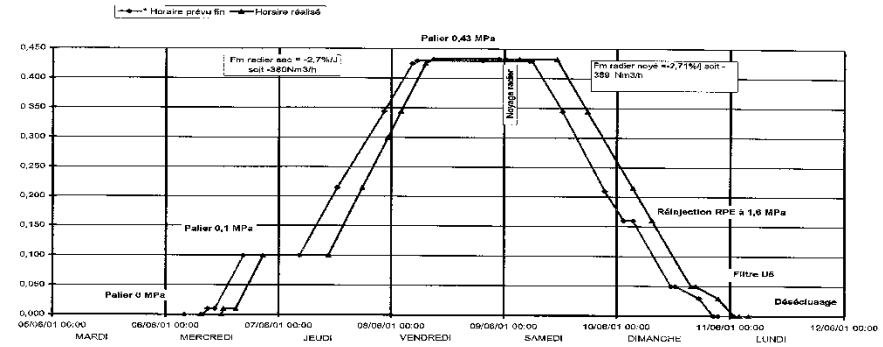
<b>Extensomètres noyés (témoins sonores)</b>	fournissent les déformations locales du béton et permettent d'estimer le module d'élasticité du béton
<b>Thermocouples</b>	associés à chaque groupe d'extensomètres, ils donnent les températures dans l'épaisseur des parois
<b>Pendules</b>	disposés sur quatre génératrices du fût, ils permettent de mesurer la variation de rayon à trois niveaux.
<b>Fils invar verticaux</b>	ils permettent de mesurer la variation de longueur de la partie de l'ouvrage sur lequel ils sont installés
<b>Dynamomètres</b>	ils permettent de mesurer la variation de tension des câbles dans le temps
<b>Mesures topographiques</b>	nivellement optique, nivellement hydraulique (tassements du bâtiment)



# Enceinte de confinement - Vieillesse

## [ SURVEILLANCE DES ENCEINTES – ÉPREUVES ENCEINTES

- Gonflement de l'enceinte interne suivant le programme d'essai
- Mesure du taux de fuite avec une exigence de taux de fuite  $< 1,5 \text{ %/j}$  (critère du DAC) de la masse de gaz contenue dans l'enceinte, dans les conditions de l'accident de brèche sur le circuit primaire
- Comportement globalement élastique (réversible) de l'enceinte interne et absence d'évolution notable des fissures à l'extrados





# Enceinte de confinement - Vieillissement

Illustration d'un  
faiencage dû à la RAG



## [ VIEILLISSEMENT ET PATHOLOGIES – 1/4

### Vieillissement :

- phénomènes de retrait et de fluage du béton
- évolution de la tension dans les câbles de précontrainte
- fissure, cloquage et décollement de la peau composite

### Pathologie de l'acier

- corrosion des câbles de précontrainte
- corrosion des armatures suite à la présence de fissures ou carbonatation du béton

### Pathologies du béton : phénomènes de gonflement

- réaction alcali-granat (RAG) ayant pour origine un déséquilibre chimique entre les constituants du ciment (alcalins) et des granulats (silice)
- réaction sulfatique interne (RSI), favorisée par une mauvaise maîtrise de la température atteinte lors de la prise du béton

# Enceinte de confinement - Vieillesse

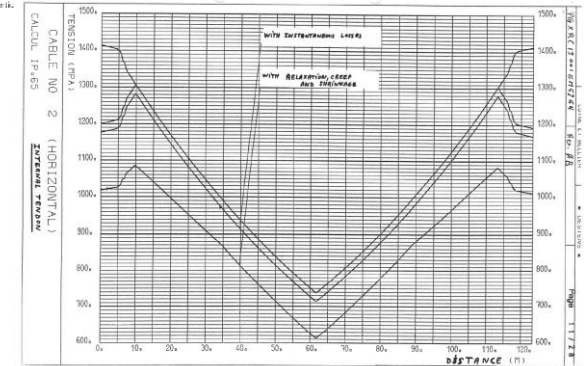
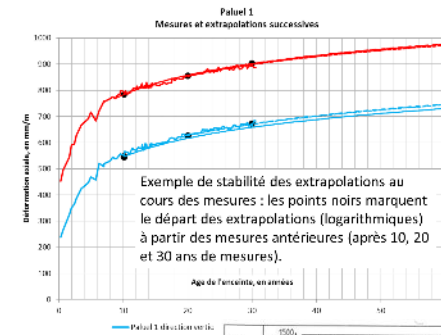
## [ VIEILLESSE ET PATHOLOGIES – 2/4

### Retrait et fluage du béton

- tend à se stabiliser avec le temps
- pris en compte dans le dimensionnement des câbles de précontrainte

### Corrosion des câbles

- gaines remplies au coulis de ciment lors de la réalisation
- têtes d'ancrage protégées par des capots et surveillées par les plans de maintenance
- faible risque compte tenu de l'ambiance contrôlée dans l'espace entre enceintes



# Enceinte de confinement - Vieillesse

Illustration de la  
corrosion d'armatures



## [ VIEILLISSEMENT ET PATHOLOGIES – 3/4

### ■ Corrosion des armatures

- relevé, suivi et traitement des fissures au titre de la maintenance courante
- traitement classique (passivation des armatures puis rebouchage)

### ■ Fissure, cloquage et décollement de la peau composite

- matériau qualifié notamment par des essais de vieillissement accéléré
- vérifiée par des inspections visuelles périodiques et lors des épreuves enceintes
- procédé aisément réparable (localement)

# Enceinte de confinement - Vieillessement

## [ VIEILLISSEMENT ET PATHOLOGIES - 4/4

### ■ Pathologies du béton

- identification des enceintes potentiellement impactés via un classement de risque théorique (données issues de la construction)
- surveillance et suivi de l'évolution au travers des inspections visuelles et du dispositif d'auscultation
- analyse des effets des défauts identifiés et projection sur leur évolution
- à ce jour : pas de désordre structurel constaté et pas d'impact structurel à terme

# Enceinte de confinement - Vieillissement

## [ CONCLUSIONS

### ■ Dégradations issues du vieillissement et des pathologies identifiées

- gonflement du béton
- corrosion des armatures
- cloquage de la peau composite

Exhaustivité des phénomènes identifiés ?

### ■ Identification et suivi des différents mécanismes de vieillissement au travers des processus de maintenance

Suffisance des contrôles ?

### ■ Validation de la fonction confinement au travers de contrôles et des épreuves enceintes => évolution attendue ?

Compatibilité des évolutions attendues avec une prolongation de l'exploitation ?

### ■ Amélioration des connaissances sur la base, entre autres, de programmes de R&D, REX...

## Enceinte de confinement - Vieillissement

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**