

# Modélisation des enceintes et appui à l'Ingénierie du Parc en Exploitation

E. Lambert, B. Masson (EDF / DIN / SEPTEN)

## Contexte et objectifs

L'étude du comportement des enceintes de confinement constitue pour EDF un enjeu majeur au moment où il est envisagé de prolonger la durée d'exploitation des enceintes au-delà de 40 ans. La simulation des enceintes au cours de leur durée de vie est étudiée pour les sollicitations d'épreuves et les sollicitations d'accident.

L'enceinte de confinement est un ouvrage de génie civil en béton armé précontraint qui doit assurer, en plus de sa tenue mécanique, une fonction d'étanchéité vis-à-vis des rejets radioactifs potentiels en cas d'accident (3<sup>ème</sup> barrière de confinement).

Au même titre que la cuve du réacteur, cet ouvrage n'est pas remplaçable. Par conséquent, le prolongement de la durée d'exploitation des réacteurs passe par la démonstration de la capacité de l'ouvrage à assurer sa fonction tout au long de son fonctionnement.

La conception des enceintes de confinement a évolué en fonction des paliers. On est passé d'un confinement statique d'une paroi précontrainte avec liner métallique ancré à la paroi en intrados (palier CPY 1975-1985) à un confinement dynamique à double paroi obtenu par la création d'un espace ventilé filtré entre une paroi interne en béton précontraint et une paroi externe en béton armé (paliers P4, P'4, N4 1980-1998).

Ces dernières enceintes constituent pour EDF une problématique sensible car certaines d'entre elles ne respectent les critères d'étanchéité définis par le DAC (Décret d'autorisation de création d'un réacteur nucléaire) qu'au prix d'importants travaux de revêtements d'étanchéité.

Afin de maîtriser la chaîne de calcul sur ces ouvrages, EDF SEPTEN a décidé de se doter des maillages (réalisés sous SALOME) des enceintes de chaque palier. Commencée avec R&D et le maillage du palier P'4 dans le cadre du



Figure 1 : Représentation des câbles de précontraintes.



Figure 2 : Maillage de l'enceinte.

projet Maillage, cette étude s'est prolongée par le maillage du palier P4 et se poursuit cette année par le maillage du palier N4.

En plus de la contribution principale de cette étude à participer à la démonstration de la tenue de cet ouvrage dans le cadre du prolongement de la durée d'exploitation des réacteurs, EDF SEPTEN souhaite disposer de torseurs de contraintes et de déformations précis et pour des études du comportement local de l'enceinte dans le cadre de sa mission d'appui à l'IPe (ingénierie du Parc en exploitation).

## Méthodologie

La géométrie de l'enceinte a été réalisée à partir des plans de coffrage et des plans d'implantation des câbles de précontrainte. La complexité de l'ouvrage et notamment le tracé des câbles de précontrainte nécessite le recours à la génération d'éléments géométriques et CAO par scripts Python dans le module GEOM de Salome-Méca.

La maillage de la structure est réalisée en hexaèdres (figure 2), les câbles sont en 1D.

# Modélisation des enceintes et appui à l'Ingénierie du Parc en Exploitation

E. Lambert, B. Masson (EDF / DIN / SEPTEN)



Figure 3 : Déformations en intrados dans la zone de béton atypique au cours du scénario APRP.

L'interaction avec le sol a été prise en compte dans le modèle pour une meilleure représentativité des résultats compte tenu de l'influence majeure du sol sur le comportement global de l'ouvrage. La première étude de modélisation de l'enceinte P'4 a permis de déterminer une méthode de calage des ressorts de sols à partir de la modélisation en bac de sol : la fonctionnalité utilisée dans *Code\_Aster* est MISS3D pour le calcul des ressorts de sol.

La précontrainte est modélisée avec la commande *DEFI\_CABLE\_BP*. Le séchage est modélisé avec la loi d'évolution *SECH\_GRANGER*. Le fluage du béton est pris en compte avec le modèle de matériau *BETON\_UMLV\_FP*. L'endommagement est pris en compte via la loi de comportement de *MAZARS*. Ce choix est essentiellement dicté par la robustesse de la loi et sa simplicité.

## Résultats et perspectives

Les résultats obtenus démontrent notre capacité à disposer de modèles numériques représentatifs permettant d'estimer les effets du vieillissement. Cette étude ouvre également de nouvelles perspectives d'appui à l'IPE : disposer de torseurs de contraintes et de déformation pour la justification de portions d'enceintes existantes. À ce titre, l'étude suivante sur l'enceinte de Gravelines est représentative.

## Cas illustratif des perspectives de telles études

Lors de travaux de maintenance de traitement des armatures apparentes sur le parement de l'enceinte de Gravelines 2, une zone de béton atypique a été relevée de part et d'autre d'une nervure à une hauteur de 28 m. Il a été demandé de vérifier que la présence de ce défaut d'origine, vraisemblablement dû à une erreur de bétonnage, n'avait pas d'impact sur la tenue de la structure et sa fonction étanchéité.

Le SEPTEN a réalisé un calcul avec *Code\_Aster* sur un modèle simplifié de l'enceinte. La zone de béton atypique a été modélisée avec un modèle d'endommagement de *MAZARS*. Le calcul chaîné thermique et mécanique selon le scénario d'accident d'APRP a démontré que l'étanchéité et la tenue mécanique de l'enceinte n'était pas remise en cause par la présence du béton atypique (figure 3).

Les déformations différées de l'enceinte et la précontrainte ont été intégrées par des conditions aux limites du modèle à partir d'études comparables réalisées par le bureau d'études COB. À l'avenir, les modèles globaux d'enceintes que le SEPTEN souhaite développer permettront de maîtriser nos propres données d'entrée pour les calculs locaux sur les zones d'intérêt.