

SIMPLIFIER LA CONCEPTION DU GÉNIE CIVIL DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES

QUELQUES ATOUTS DE CODE_ASTER ET SALOME-MECA

E. Viallet (EDF / DIN / SEPTEN); C. Galindo Gimeno, E. Bou Said (EGIS Industries)

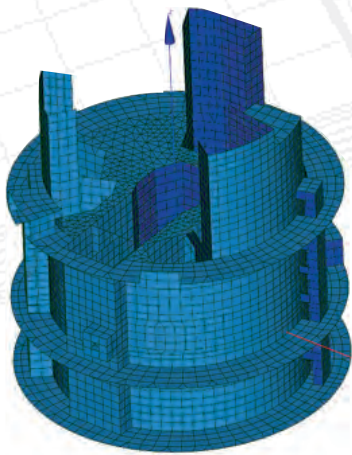


Figure 1 : Maillage des structures internes du bâtiment réacteur.

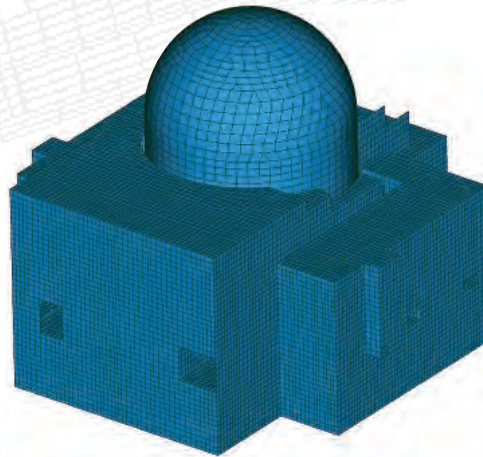


Figure 2 : Maillage du modèle 3D de l'îlot nucléaire.

INTRODUCTION

En préparation du développement de nouveaux modèles de réacteurs nucléaires, EDF a lancé des actions de conception du génie civil intégrant un certain nombre d'innovations techniques, dont le principal objectif est de simplifier les structures, tout en garantissant le respect des exigences de sûreté.

Ces actions se sont appuyées à la fois sur l'analyse du retour d'expérience de l'EPR et des paliers précédents et sur des calculs de structures avancés en génie civil.

Le programme d'études de génie civil ainsi développé s'est appuyé sur la plateforme Salome-Meca et sur des calculs réalisés au moyen de Code_Aster. Les études de génie civil ont été réalisées par EGIS-Industries.

MODÉLISATION GÉOMÉTRIQUE ET MAILLAGE: SALOME-MECA

La modélisation des structures de génie civil a été menée entièrement avec la plateforme Salome-Meca.

La réalisation de la géométrie s'appuie sur des scripts en Python permettant le paramétrage de plusieurs variables du modèle (caractéristiques géométriques, densité du maillage). Les bâtiments de l'îlot nucléaire, fondés sur un radier commun, comportent des interfaces plus ou moins complexes qu'il faut gérer dès la première phase de construction du modèle (bâtiments périphériques, enceinte/ radier commun, structures internes du bâtiment réacteur/ radier commun).

Le maillage a été généré à partir de la modélisation géométrique à l'aide des mailleurs intégrés dans la plateforme Salome-Meca.

La bonne maîtrise du maillage est assurée par la création de règles permettant la construction d'un maillage cohérent en utilisant des algorithmes différents dans certaines zones de la structure pour obtenir une densité de mailles plus importante.

Le choix de la densité du maillage s'appuie en grande partie sur le REX du modèle EPR de Flamanville. Quelques objectifs recherchés lors de la construction du modèle :

- représenter fidèlement les zones sensibles de la structure caractérisées souvent par des densités de ferrailage trop importantes,
- avoir un seul modèle adapté aux divers types de calculs dynamiques et statiques de la structure sous les différents cas de chargement,
- avoir des distributions d'efforts réalistes permettant l'optimisation du dimensionnement,
- reproduire les phénomènes d'amplifications dynamiques locaux et globaux.

Des exigences particulières en termes de critères de contrôle des éléments de plaque définies par EDF (rapport de forme, angle minimum ou longueur 2D minimale/maximale des éléments) garantissent la qualité et la représentativité du modèle et permettent la compatibilité du modèle avec des calculs dynamiques rapides explicites (avec Europlexus) avec un pas de temps raisonnable.

CALCULS DE STRUCTURE: CODE_ASTER

Les études des structures de génie civil, réalisées avec Code_Aster, concernent l'analyse des cas de charges statiques tels que le poids propre, le retrait, la précontrainte, la pression d'épreuve dans le bâtiment réacteur, la pression LOCA, les actions thermiques de fonctionnement et accidentelles, ainsi que l'analyse dynamique sous séisme de l'îlot nucléaire. Les combinaisons des efforts générés par les différents cas de charge sont définies selon le code RCC-CW préalablement au calcul des demandes de ferrailage des principaux éléments de structure.

L'analyse sismique est effectuée par plusieurs approches disponibles dans Code_Aster: analyse modale spectrale (MACRO_MODE_MECA, CALC_AMOR_MODAL et COMB_SISM_MODAL) et analyse modale transitoire sur base modale (DYNA_TRAN_MODAL).

Dans l'objectif d'optimiser les résultats du calcul de ferrailage, la méthode des ellipses permettant la prise en compte de la concomitance des efforts sismiques a été déployée en comparaison de la méthode de combinaison quadratique complète.

SIMPLIFIER LA CONCEPTION DU GÉNIE CIVIL DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES QUELQUES ATOUTS DE CODE_ASTER ET SALOME-MECA

E. Viallet (EDF / DIN / SEPTEN); C. Galindo Gimeno, E. Bou Said (EGIS Industries)

Plusieurs méthodes de modélisation de l'interaction sol-structure (ISS) ont été mises en place afin d'analyser leur impact vis-à-vis des demandes de ferrailage du radier commun sur lequel reposent les différents bâtiments de l'ouvrage. La méthode finalement retenue permet la prise en compte de la souplesse de la fondation dans le calcul des impédances de sol tout en restant compatible avec une approche modale spectrale via le mot-clé `RIGI_MISS_3D` de l'opérateur `AFFE_CARA_ELEM`. Cette méthode consiste à affecter les termes exacts de la matrice d'impédances complète calculée par le logiciel `MISS3D` pour une fréquence prédéfinie.

Les principaux résultats obtenus montrent l'impact des nouvelles méthodes utilisées sur la faisabilité et le dimensionnement des structures de génie civil des nouveaux modèles. Les zones sensibles ont été repérées, notamment la jonction entre l'enceinte et le radier commun avec des demandes de ferrailage importantes, ce qui a permis d'adapter la géométrie de certains éléments de structure et d'établir des recommandations sur la conception et les méthodes de calcul à utiliser dans une phase plus avancée du projet.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ces études ont permis de confirmer les performances industrielles de `Code_Aster` et plus généralement de la plateforme `Salome-Meca` pour accompagner la conception du génie civil de futurs réacteurs nucléaires.

`Code_Aster` offre un large éventail de possibilités vis-à-vis des méthodes de calcul disponibles en constante adaptation aux besoins industriels et à l'évolution des performances numériques des outils de calcul. La plateforme `Salome-Meca` et le couplage de `Code_Aster` avec des logiciels tels que `MISS3D` ou `Europlexus` offrent en plus la possibilité de gérer chacune des étapes de la conception des ouvrages de génie civil nucléaires, de la géométrie jusqu'à l'exploitation des résultats.

Certaines limitations ont été rencontrées et ont pu être contournées avec des adaptations du modèle ou font l'objet d'évolutions du code. Par exemple, la limitation de la taille de l'interface FEM-BEM du couplage `Aster-MISS3D` a été levée dans la nouvelle version `MISS3D`. Les autres difficultés sont liées au cadre méthodologique spectral modal et n'existent pas avec la méthode couplée `Aster-MISS3D`.

Des perspectives de développement ont été identifiées, comme la réalisation des études du liner de l'enceinte tenant compte du flambage élasto-plastique, des études de décollement sous chargement dynamique ou l'utilisation d'éléments de plaque multicouches pour la prise en compte des chargements thermiques dans les structures de Génie Civil épaisses. Ces éléments compléteront ainsi la panoplie des méthodes industrielles disponibles dans `Code_Aster` pour la conception des ouvrages de génie civil nucléaires.

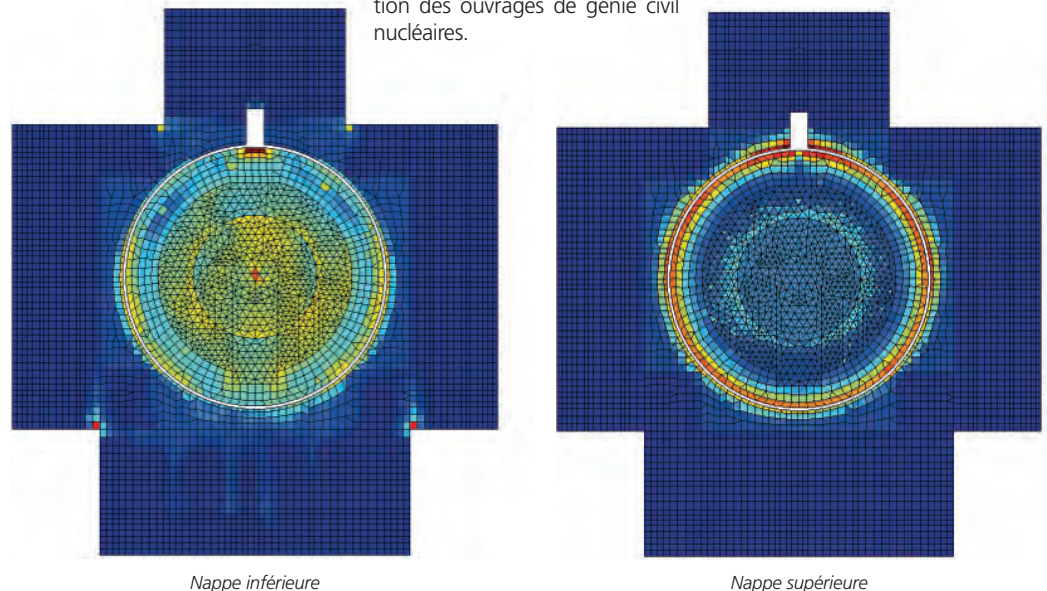


Figure 3: Iso-valeurs des demandes de ferrailage sens X/radial (cm²/m) - Radier commun.