

Etude des déformations d'assemblages combustibles en cœur avec le modèle MAC3S2

Les assemblages combustibles, constituant le cœur des réacteurs nucléaires, subissent des chargements divers au cours des cycles d'irradiation : forces hydrodynamiques induites par la circulation du fluide dans le cœur, flux neutronique, variations de température, contact entre assemblages ... Ces chargements induisent des déformations susceptibles d'engendrer des problèmes pour la maintenance des tranches (difficulté d'extraction des assemblages en fin de cycle), voire pour la sûreté (allongement du temps de chute des grappes de commande). EDF souhaite donc, par l'intermédiaire du projet CACHEMIRE, disposer d'un outil de simulation numérique, développé avec Code_Aster, et permettant de prédire le comportement mécanique des assemblages dans le cœur.

Un assemblage combustible est une structure longiligne (plus de 4,5 m de hauteur pour une section de 400 cm² environ), constitué de 24 tubes guides et 1 tube d'instrumentation, reliés entre eux par des grilles (8 ou 10 grilles selon le type d'assemblage), et de 264 crayons insérés dans les grilles selon un quadrillage de 17x17. Les crayons contiennent chacun un

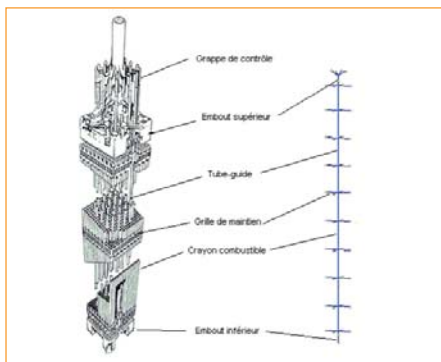


Figure 1 : Schéma simplifié d'un assemblage combustible et maillage du modèle simplifié MAC3S2

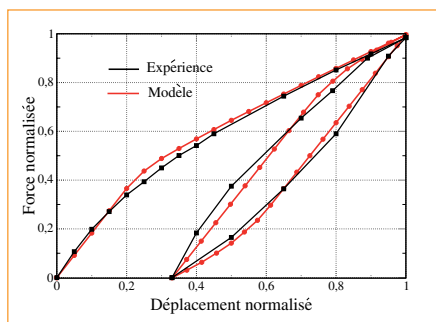


Figure 2 : Comparaison du modèle MAC3S2 avec des résultats expérimentaux sur un essai de flexion

empilement de palets cylindriques d'oxyde d'uranium UO₂ ou de MOX (oxyde mixte) PuO₂-UO₂ qui constituent le combustible. La structure est tenue en haut et en bas par un système d'embouts, et est surmontée par un système de maintien.

Compte-tenu de la complexité de la structure, il est évident qu'une modélisation complète en 3D de celle-ci ne peut être envisagée pour effectuer les simulations du comportement d'un cœur comportant 157 à 205 assemblages. La modélisation simplifiée MAC3S2, présentée dans cet article, permet de représenter le comportement global de l'assemblage, avec un nombre de degrés de liberté raisonnable.

Le caractère longiligne de l'assemblage a permis, grâce à des études d'homogénéisation, de définir les caractéristiques géométriques et matériaux de 2 poutres, l'une équivalente au réseau de tubes, l'autre représentant les crayons. Les embouts et le système de maintien sont aussi modélisés par des poutres. Les grilles sont quant à elles seulement représentées par des nœuds auxquels sont appliquées des conditions limites particulières (blocage en rotation), et sont reliées au tube équivalent et au crayon équivalent par l'intermédiaire d'éléments discrets (segments). Une loi spécifique intitulée DIS_GRICRA a été développée dans Code_Aster pour décrire le comportement non linéaire en translation et en rotation du système de bossettes et de ressorts

maintenant les crayons dans les grilles. Le maillage du modèle MAC3S2 est généré automatiquement à partir d'un certain nombre de données d'entrée (position des grilles, taille des tubes et crayons...) grâce à un fichier de commandes utilisant la librairie en Python sup_gmsh fournie avec Code_Aster. (utilisée également par STANLEY).

Le modèle MAC3S2 est certes simple, puisqu'il n'est constitué que de 128 nœuds pour 162 éléments, mais il permet d'obtenir des prédictions satisfaisantes par rapport aux résultats expérimentaux fournis par les constructeurs (Areva, Westinghouse) : compression axiale, flexion, calcul des modes propres. L'identification des paramètres est facilitée par l'utilisation de l'opérateur de recalage MACR_RECAL de Code_Aster.

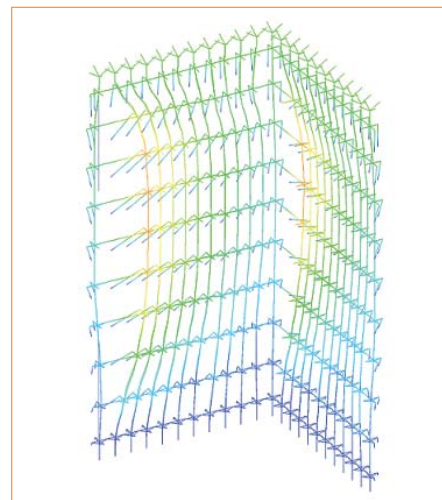


Figure 3 : Exemple de déformée d'assemblages au cours d'un cycle pour un cœur 8x8

Une fois le modèle MAC3S2 validé sur des essais expérimentaux, notre travail a consisté à démontrer la faisabilité de calculs de cours avec la modélisation MAC3S2. Outre le grand nombre d'assemblages à considérer, une difficulté supplémentaire est introduite par la possibilité de contact entre les assemblages. Celui-ci est géré par la loi de comportement DIS_CHOC, appliquée à des éléments discrets disposés entre les assemblages.

Configuration	Temps CPU total	Temps CPU par incrément	Temps CPU par itération
5x5 : 3300 nœuds 4650 mailles	1600 s	27 s	5,6 s
8x8 : 8256 nœuds 11800 mailles	4200 s	71 s	14,7 s
12x12 : 18336 nœuds 26448 mailles	8200 s	138 s	29 s

Figure 4 : Exemple de temps de calculs sur un cycle d'irradiation pour différentes configurations de cœur

De plus, les phénomènes de fluage et de grandissement induits par l'irradiation sont pris en compte par la loi GRAN_IRRA_ILOG.

Par souci de simplicité, un modèle de cœur rectangulaire, constitué de MxN assemblages représentés chacun par le modèle simplifié MAC3S2, a été mis au point, avec un script de maillage automatique et des fichiers de commande génériques pouvant être utilisés quelle que soit la taille du modèle. Les calculs, menés en statique non linéaire, pour différentes tailles de cœur (de 5x5 à 12x12 assemblages), pour

plusieurs cycles d'irradiation, et avec des chargements hydrauliques transverses aléatoires, ont convergé en des temps raisonnables, ce qui nous permet d'être optimistes quant à la faisabilité de calculs sur des cœurs complets. Les résultats obtenus restent qualitatifs, puisque les chargements utilisés, quoique réalistes, ne correspondent pas exactement à des données de chargement observées en cœur (notamment le flux hydraulique). Ils permettent cependant d'observer certains phénomènes comme l'interaction entre les assemblages induite par les contacts.

L'augmentation quasi-linéaire des temps de calculs vis-à-vis du nombre d'éléments montre bien la prédominance des phénomènes non linéaires. De nouvelles améliorations peuvent être envisagées, comme le développement de nouveaux éléments finis spécifiques, permettant d'éliminer les degrés de liberté inutiles dans le modèle.

La prochaine étape va donc consister à tester la modélisation sur un cœur complet. L'objectif est à terme la réalisation d'un outil métier MAC3_COEUR de calculs de déformations d'assemblages sur des cœurs complets avec Code_Aster.

V. Godard, E. Galenne, J.-M. Proix (EDF R&D / Dépt AMA), dans le cadre du projet CACHEMIRE

En s@voir +

Rapport technique : E. Galenne, V. Godard, J.-M. Proix, Calcul sur une rangée d'assemblages combustibles avec le modèle MAC3S2, H-T64-2006-02311-FR