

Calcul de tenue de l'enveloppe de cœur en situation accidentelle

F. Crouzet, F. Daude (EDF / R&D / AMA), F. Debaud (EDF / DIN / SEPTEN)

Contexte et objectifs

La durée d'exploitation des centrales nucléaires est conditionnée par la tenue mécanique de la cuve et des internes de cuve, en particulier dans les scénarii accidentels avec brèche sur le circuit primaire (figure 1).

Dans ces scénarii, la rupture brutale d'une tuyauterie primaire génère une onde de dépressurisation qui se propage jusqu'au cœur et sollicite mécaniquement l'enveloppe de cœur et les plaques de cloisonnement. Un mouvement ou une déformation excessive de l'enveloppe pourraient nuire au bon fonctionnement des systèmes de sécurité. De même, des efforts excessifs sur les plaques de cloisonnement pourraient entraîner une détérioration des vis qui en assurent l'intégrité, particulièrement dans un contexte de cloisonnement dégradé (phénomène de corrosion sous contrainte par l'irradiation affectant les vis

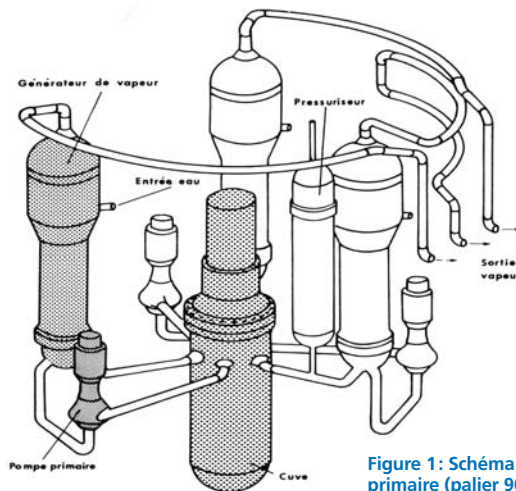


Figure 1: Schéma du circuit primaire (palier 900 MWe).

de cloisonnement, parfois jusqu'à la rupture).

Historiquement, ces études importantes pour la sûreté sont menées par AREVA. Le chargement dynamique des internes de cuve est évalué via un chaînage de différents modèles analytiques ou formulations 1D, calculs d'écoulement et calculs de structure.

Cette approche est potentiellement source d'importants conservatismes. Pour maîtriser et valoriser ces marges et pour répondre à un éventuel questionnement des Autorités de Sûreté, la représentation physique des phénomènes doit être améliorée, notamment en

utilisant une méthode couplée. La problématique s'inscrit également dans la volonté d'EDF de démontrer sa capacité à réaliser en interne ce type d'études.

L'étude couplée a été mise en œuvre dans le cadre d'une coopération entre EDF R&D (projet SITAR) et EDF SEPTEN (projet MAESTRO) avec l'appui du CEA. Pour ce faire, le code de dynamique rapide **Europlexus** a été utilisé. L'étude a consisté à évaluer les conséquences mécaniques d'une rupture de tuyauterie primaire à partir d'une modélisation du circuit primaire complet du palier 900 MWe.

Dans un premier temps, seule la tenue de l'enveloppe de cœur a été analysée à l'aide d'une représentation simplifiée du cœur. Cette étape avait pour objectif de mettre en place tous les éléments nécessaires au calcul de la tenue du cloisonnement.

Modélisation utilisée et démarche mise en œuvre avec Europlexus

La géométrie du circuit primaire est discrétisée à l'aide d'un maillage mixte 1D/3D (figure 2). La cuve est maillée en 3D, le circuit primaire, ainsi que ses principaux composants (pompe primaire, générateurs de vapeur...) en 1D. Le nombre total d'éléments est d'environ 210 000. Un modèle diphasique capable de prendre en compte le mélange eau/vapeur à l'équilibre est utilisé pour représenter l'eau sous pression du circuit primaire ainsi que le comportement du fluide à la brèche. Le comportement de la structure 3D est supposé élastoplastique.

Calcul de tenue de l'enveloppe de cœur en situation accidentelle

F. Crouzet, F. Daude (EDF / R&D / AMA), F. Debaud (EDF / DIN / SEPTEN)

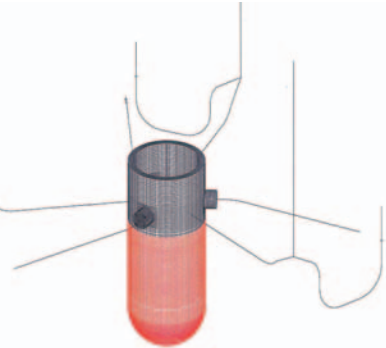


Figure 2: Maillage mixte filaire / 3D du circuit primaire (palier 900 MWe).

Pour le domaine 3D, l'interaction entre le fluide et la structure est prise en compte par l'intermédiaire de l'algorithme FSA. La description du fluide avec maillage mobile est effectuée dans un formalisme ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian). La partie filaire est supposée rigide avec un modèle spécifique destiné à prendre en compte le gonflement de la tuyauterie soumise aux forces de pression interne et la modification de célérité effective des ondes de pression qui en résulte (correction d'Allievi). La résolution numérique est effectuée à l'aide de la méthode des éléments finis pour le fluide et la structure.

Le calcul se déroule en deux étapes successives. La première consiste à calculer l'écoulement permanent dans le circuit et correspond à 1 seconde de temps physique. La deuxième décrit le transitoire de dépressurisation consécutif à l'ouverture d'une brèche en sortie de pompe sur l'une des trois boucles du circuit. Elle correspond à 40 ms de temps physique.

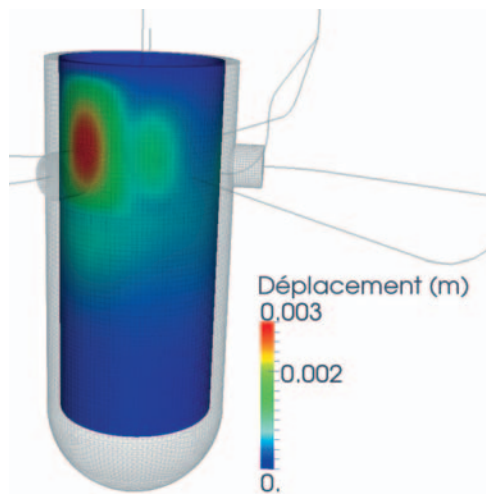


Figure 3: Déplacement de l'enveloppe de cœur après l'arrivée de l'onde de dépressurisation.

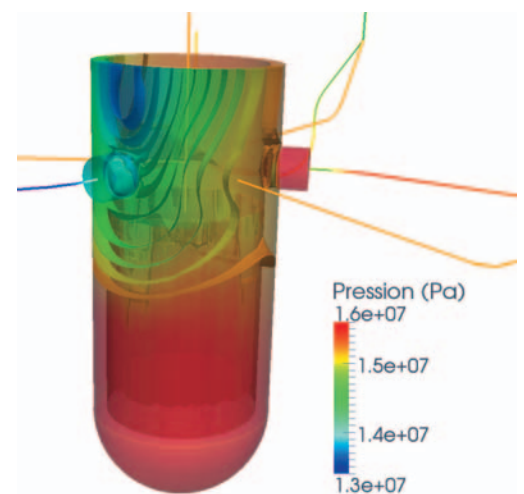


Figure 4: Pression à l'intérieur de la cuve après l'arrivée de l'onde de dépressurisation.

Résultats et perspectives

Le calcul a mis en évidence certaines différences avec les résultats obtenus par AREVA, qui concluent notamment à des déplacements de l'enveloppe de cœur supérieurs (figure 3). La méthode mise en œuvre par AREVA prévoit également une déformation centripète de l'enveloppe avec l'arrivée de l'onde de dépressurisation. À l'opposé, les résultats obtenus avec **Europlexus** indiquent une déformation centrifuge de l'enveloppe sous l'effet de dépressurisation de l'espace annulaire (figure 5).

La mise en œuvre d'une approche mixte 1D/3D du circuit primaire complet couplant la dynamique du fluide et celle des structures constitue ainsi une avancée majeure dans l'étude des transitoires en situation accidentelle. Elle est le fruit d'une coopération exemplaire entre EDF R&D, EDF SEPTEN et CEA.

L'estimation par voie numérique des conséquences mécaniques d'un accident de type rupture de tuyauterie primaire est donc désormais plus réaliste. La prochaine étape consiste à évaluer le chargement dynamique des plaques de cloisonnement. Les développements dans **Europlexus** se poursuivent également en vue d'améliorer les modèles pour le fluide ainsi que les performances informatiques, l'objectif final étant l'étude de la tenue des vis de cloisonnement dans différentes configurations de brèches.

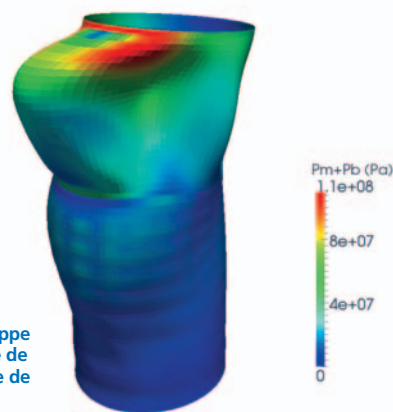


Figure 5: Déformation de l'enveloppe de cœur et contrainte équivalente de Von Mises après l'arrivée de l'onde de dépressurisation.