

# Calcul d'efforts sur les vis d'une tôle de générateur de vapeur

J.-F. Rit, D. Hersant, J.-P. Mathieu, M. Berveiller (EDF / R&D / MMC),  
Y. Mézière (EDF / DIN / SEPTEN)

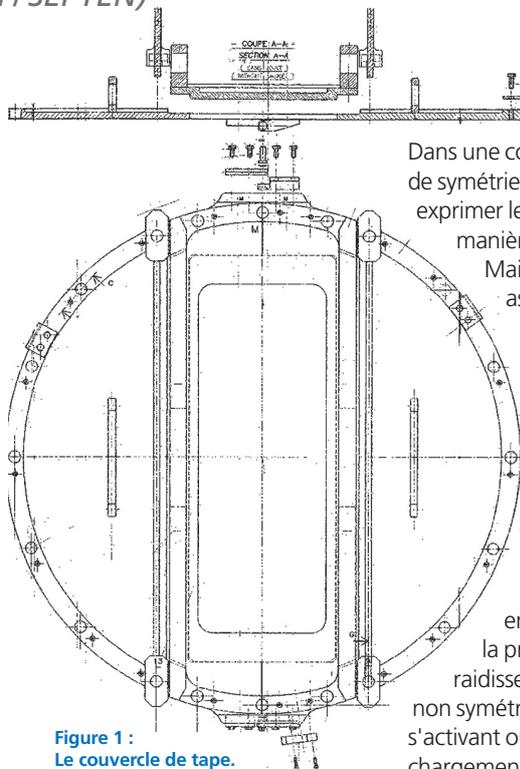


Figure 1 :  
Le couvercle de tôle.

## Les tôles sont des couvercles boulonnés

Les tôles mécano-vissées sont des sortes de couvercles boulonnés sur un anneau (figure 1). Elles servent à obstruer les tubulures du circuit primaire des réacteurs nucléaires pendant leur maintenance. Placées temporairement dans le bol des générateurs de vapeur, elles retiennent une pression en amont. La pression différentielle, de 1,5 bar en exploitation courante, peut aller jusqu'à 5 bars en situation accidentelle.

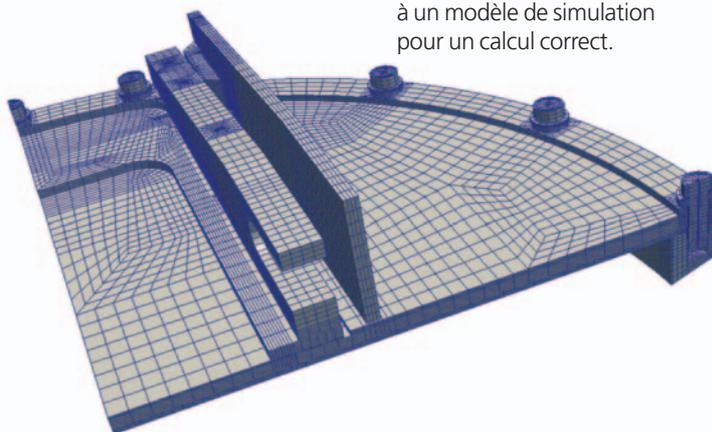
Justifier la tenue de l'assemblage repose en premier lieu sur un essai jusqu'à, au moins, la pression maximale. Un tel essai ne reproduit pas nécessairement des circonstances exceptionnelles, comme une pièce fissurée ou une vis mal montée. Un modèle numérique permet de les évaluer avec plus de flexibilité que de reconduire une campagne expérimentale.

Une analyse de la tenue de l'assemblage repose alors sur l'évaluation des efforts entre les vis et l'anneau support soudé à demeure dans le bol.

Dans une couronne de boulons de symétrie axiale, on peut exprimer les efforts de manière analytique.

Mais la structure d'un assemblage de tôle est plus complexe.

Le couvercle, d'un diamètre d'environ 1 mètre est introduit dans le bol par un trou plus petit, d'où son fractionnement en trois parties et la présence de raidisseurs. Ces derniers, non symétriques, les contacts s'activant ou non selon les chargements et le comportement plastique aux forts chargements modifient même l'intuition que l'on pourrait tirer de la structure analogue simplifiée. Il est nécessaire de recourir à un modèle de simulation pour un calcul correct.



## Des modèles de simulation 3D, aux comportements non linéaires

Une première estimation des efforts s'appuyant sur des simulations a été présentée en 2010 à la journée des Utilisateurs de Code\_Aster. Cette année, nous présentons les résultats d'un modèle repris afin d'en améliorer le réalisme et d'en diminuer les conservatismes.

D'abord, la loi de comportement du joint d'étanchéité élastomère, placé entre le couvercle et l'anneau, est revue. Dans les premiers calculs, un comportement élastique linéaire du matériau était identifié, d'après la mesure de l'effort total en fonction du déplacement pendant un serrage de plusieurs boulons. La convexité de cette fonction indique qu'un comportement de type hyperélastique est plus réaliste, en accord avec la littérature sur le matériau silicone.

Figure 2 : Maillage d'un quart de l'assemblage.

# Calcul d'efforts sur les vis d'une tape de générateur de vapeur

J.-F. Rit, D. Hersant, J.-P. Mathieu, M. Berveiller (EDF / R&D / MMC), Y. Mézière (EDF / DIN / SEPTEN)

L'essai d'écrasement d'un secteur de joint, sur un anneau, communiqué par le fabricant, fournit une nouvelle référence expérimentale. Mais il ne suffit pas pour l'identification rigoureuse d'une loi hyperélastique. Néanmoins, il permet d'en conjecturer une approximation. Une série de simulations numériques de l'essai, pilotées par *Code\_Aster*, permet de recalculer la loi sur l'effort observé en fonction du déplacement. Le montage de l'essai est assez proche de l'assemblage de tape pour utiliser la même loi de matériau de joint.

De plus, la modélisation des vis est reprise. Dans les premiers calculs, elles sont représentées par des poutres, sur une partie seulement de leur longueur en tension, encastées aux deux extrémités. Ceci a pour conséquence de majorer la raideur des liaisons, notamment dans la transmission des efforts de flexion.

La modélisation en poutre est donc remplacée par des éléments 3D dans l'intégralité des boulons, rondelles et de plaquettes de rétention. Le maillage est reconstruit, car les trous de passage des vis, non représentés dans le modèle initial, traversent presque toutes les pièces. Les modules de CAO et de maillage de Salome-Meca, améliorés depuis la première campagne, permettent de conserver le "script" de construction de la géométrie et de mailler toutes les pièces en hexaédres (figure 2). Enfin, quelques simplifications de dimensions et de jeux dans les calculs précédents sont revues.

Les autres éléments du modèle initial sont, pour l'essentiel, reconduits. Les pièces métalliques, acier ou aluminium, sont dotées d'une loi de comportement élastoplastique à écrouissage isotrope. La tension de serrage des boulons est obtenue en imposant une température produisant une déformation de contraction uniaxiale. La température est recalculée sur la tension nominale par itérations des simulations numériques pilotées par *Code\_Aster*. Les constituants du couvercle et de ses renforts sont en contact unilatéral sans frottement. La symétrie du montage et du chargement permet de ne calculer qu'un quart de l'assemblage.

Les calculs sont menés, par incréments de pression, de zéro à cinq bars, en petits déplacements pour les vis, en grande rotation et grands déplacements pour les autres pièces. Le temps d'exécution, d'environ 20 heures, est pris essentiellement par la résolution du contact.

## Une meilleure compréhension de l'assemblage permet de réduire les conservatismes

Le nouveau modèle produit des torseurs d'efforts sur les vis dont les moments sont globalement diminués de manière significative par rapport aux modèles précédents (figure 3). De plus, sur ce modèle, les efforts sont répartis de manière plus homogène entre les vis.

Pour les critères pour lesquels l'importance des efforts axiaux est grande – comme la tenue des taraudages – la différence avec les résultats du calcul précédent est minime. Pour les critères dépendant fortement des moments de flexion, comme le tenue des soudures de l'anneau, la différence est notable.

La tape mécano-vissée étudiée est destinée à être remplacée par un assemblage "à joint passif" permettant une meilleure répartition des efforts sur les vis et l'anneau. Le modèle de simulation présenté n'aura alors plus d'utilité directe, mais il peut permettre d'accéder à des investigations plus poussées sur les assemblages boulonnés.

Il a déjà permis, par exemple, l'évaluation de l'effet d'une dispersion hypothétique dans le serrage initial de chaque boulon. Grâce à une technique de projection sur la base réduite d'un chaos polynomial, une centaine de tirages, calculables simultanément, couvrent le domaine des fluctuations. Leur résultat montre, par exemple, que la dispersion des moments de flexion diminue avec le chargement et que le serrage des boulons proches des éléments raidisseurs gouverne les fluctuations d'efforts de tous les boulons à fort chargement.

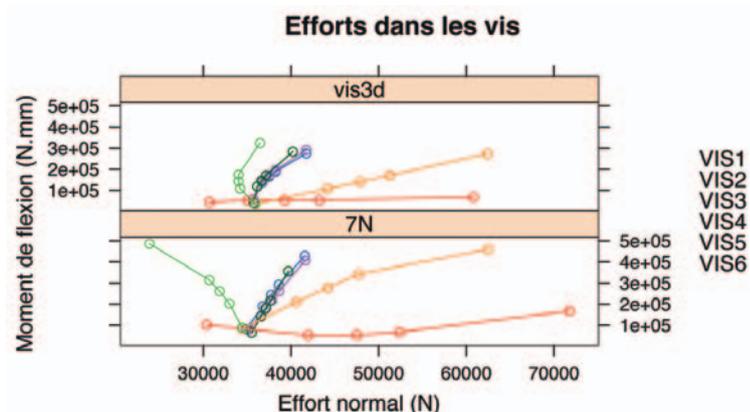


Figure 3 : Efforts obtenus dans les vis, à une pression de 0 à 5 bars, ancien modèle (7N) et nouveau modèle (vis3d).