

Fuites et fissures sur les soupapes de générateur de vapeur ; un enchaînement de causes expliquées avec Code_Aster



Figure 1

Sur les centrales nucléaires de 1300 MW, chaque générateur de vapeur est protégé par sept soupapes piquées sur la ligne principale de vapeur longeant l'extérieur du bâtiment réacteur (fig 2). À Paluel, tête de série du palier, ces soupapes (fig 3) présen-

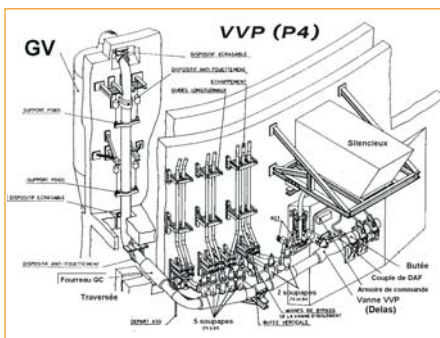


Figure 2

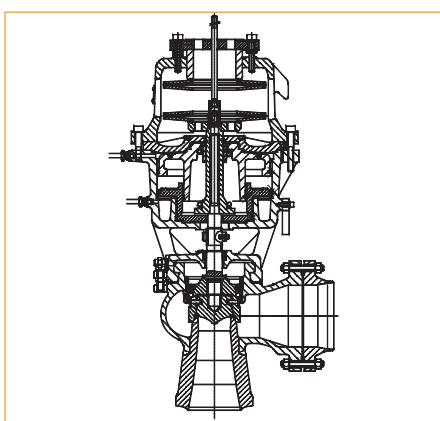


Figure 3

tent depuis la mise en service des fuites intermittentes et des fissures sur la portée d'étanchéité de certaines buses.

Les études, menées par Framatome entre 1987 et 1991, attribuent les fuites à une déformation des soupapes provoquées par le maintien des lignes d'échappement sur le

bâtiment réacteur, alors que les piètements suivent les dilatations de la ligne vapeur. La détente de la fuite refroidit alors le col de buse à 150°C au lieu de 285°C, et le choc thermique fissure le revêtement en alliage dur déposé par soudage.

Ce scénario est corroboré par la meilleure étanchéité constatée lorsque les clapets sont modifiés pour limiter les déformations d'origine thermique et, sur les tranches équipées ultérieurement, lorsque les corps de soupapes sont plus rigides et les supportages des lignes d'échappement mieux guidés.

Les fissures sur les portées, moyennant justification de leur caractère bénin, sont éliminées périodiquement par abrasion. Lorsque le revêtement est complètement éliminé, il est rechargé par un nouveau dépôt. Mais une soupape ne peut être rechargée qu'une fois. Et l'explication avancée, sur la base de sollicitations majorées mais mal connues, laisse quelques points d'interrogation : modifications d'échappements infructueuses, relation inexplicée entre fuite et position sur la ligne, prédiction incorrecte de la localisation et le profondeur des fissures. Pour maîtriser les conséquences et le coût de la politique de maintenance des soupapes, on recherche une explication robuste de ces problèmes, fondée sur des observations plus complètes.

Une élévation de la température sur les lignes d'échappement caractérise la présence de vapeur dans la tuyauterie et donc une fuite. Pendant 18 mois on la mesure toutes les heures avec les paramètres de fonctionnement de la ligne vapeur. De plus, des jauges de déformations placées sur deux échappements mesurent l'évolution des efforts sur les soupapes. Le déplacement de la ligne vapeur est également mesuré en plusieurs points.

Ces observations ne couvrent que partiellement le modèle envisagé reliant dilatation de la ligne, fuite et fissuration bénigne. Une interprétation dépassant une simple corrélation des évolutions par juxtaposition, fondée sur un modèle mécanique est plus convaincante. La complexité du système

impose l'aide d'un outil de calcul. Code_Aster entre alors en jeu.

Le déplacement de la ligne vapeur dilatée et les efforts qu'elle impose aux échappements est calculé au moyen du modèle thermomécanique initialement construit par Framatome pour en justifier la tenue. Il s'agit d'un modèle en éléments de poutre élastiques, dont la température doit être préalablement estimée, ce qui impose de se limiter à des situations simples et stationnaires. Initialement résolu avec SYSPIPE, il est remis en données pour Code_Aster pour prendre en compte d'autres conditions aux limites - certaines sont recalées sur des observations - et extraire facilement les déplacements et efforts aux points de mesure.

La relation entre déformations mesurées et efforts sur l'échappement est théoriquement calculée par un modèle de poutre droite. Mais sa validité doit être discutée lorsque les jauges sont posées assez près de la bride d'un côté et du premier coude de l'autre côté. Un modèle de ligne coudée, en éléments linéiques de tuyau liés au corps de

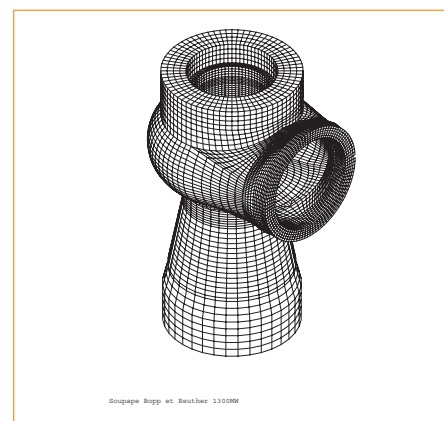


Figure 4

soupape, en éléments volumiques (fig 4), permet de valider la relation linéaire, en élasticité entre efforts au bout de l'échappement et déformation sur la peau de toute la longueur du tuyau, notamment au point où les jauges sont collées.

À partir des efforts sur l'échappement, on calcule les déformations du col de buse au moyen du même modèle de soupape en

éléments volumiques élastiques. La relation entre étanchéité et déformation, ou bien pression de contact, au niveau du col est mal connue en théorie. On s'appuie donc sur l'indication donnée par le défaut de planéité du col de buse (fig 5) pour diagnostiquer l'étanchéité. Pour de faibles déformations, et une conservation du contact, la relation avec

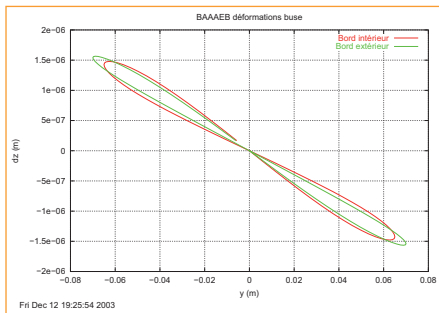


Figure 5

les efforts imposés à l'échappement est linéaire. Ceci permet de se limiter au cas de quelques valeurs "unitaires", combinées pour calculer l'effet de tous les efforts.

On calcule les conséquences d'une fuite au voisinage du col à partir des caractéristiques des échanges thermiques que l'on doit préalablement estimer, le plus important étant l'échange entre la vapeur de la fuite et le col de buse sur un secteur de la portée d'étanchéité. Le champ de température dans le domaine volumique est calculé à partir d'un modèle de thermique linéaire résolu par Code_Aster, il définit la sollicitation appliquée sur la buse qui provoque un supplément de contraintes calculé en élasticité avec le même modèle que précédemment. Ce modèle est très proche du modèle initialement proposé par Framatome, résolu avec SYSTUS; il a été repris fin 2003 pour le SEP-TEN avec le maillage des modèles ci-dessus, d'autres conditions aux limites thermiques et résolu avec ANSYS; puis remis en données dans Code_Aster par simple souci d'uniformité des modèles. L'effort de remise en données de l'étude, bien documentée et bien construite, est négligeable.

Les calculs permettent de tirer les conclusions suivantes.

Les déplacements observés de la ligne vapeur sont cohérents avec sa dilatation, du moins en situation thermique stabilisée, car le calcul n'est pas tenté lors de transitoires. Des efforts importants sont calculés sur les échappements à partir des jauges de déformation. Leur intensité ne se retrouve sur le

calcul de ligne que si on suppose un blocage complet au niveau de certains supportages censé seulement guider les lignes d'échappement. Une description précise de ces blocages n'est pas tentée et réclamerait probablement un calcul avec frottements.

L'évolution des déformations du col induite par les efforts est en phase avec les épisodes de fuite, tant que ces derniers sont suffisamment espacés (fig 6). Les situations de fuite intermittente quasi quotidienne, ne sont plus corrélées avec les déformations calculées.

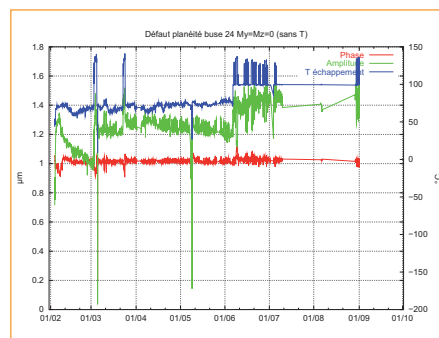


Figure 6

Le supplément de contraintes d'origine thermique résultant d'une fuite (fig 7) est d'un niveau assez élevé pour propager une fissure dont l'apparition ne peut qu'être sup-

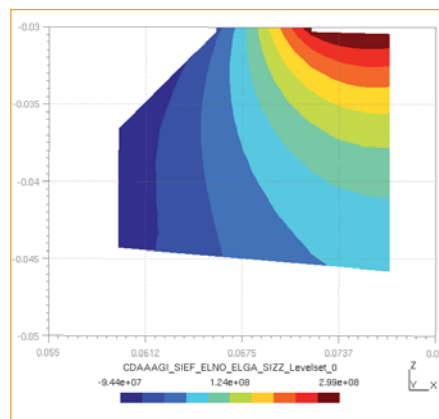


Figure 7

posée. La propagation nécessite un niveau comparable de contraintes résiduelles de dépose du revêtement; elle est limitée à une dizaine de millimètres du bord supérieur, plutôt sur l'extérieur, du col. Ceci est

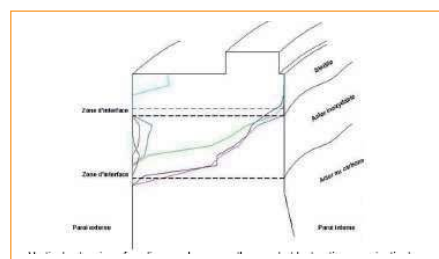


Figure 8

confirmé par la localisation et la profondeur des fissures observées (fig 8).

À la suite de ces études, des échappements articulés (fig 9) ont été installés pour réduire le niveau des efforts, et un nouveau rechargement (fig 10) conçu pour diminuer la susceptibilité des cols à la fissuration d'origine



Figure 9

thermique. L'efficacité de ces mesures ne sera vraiment connue que fin 2006. En outre, on peut expliquer, par des calculs similaires, que l'apparition de quelques fissures sur les buses d'autres sites, accompagnée

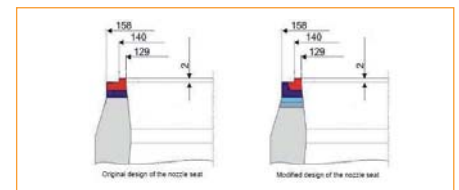


Figure 10

d'une campagne de mesures de température vérifiant la rareté des épisodes de fuite, ne se traduira que par une propagation limitée. C'est un élément de justification du programme de réparation fondé sur une politique de contrôles lors des arrêts de tranche.

Les dispositions actuelles devraient suffire pour maîtriser la fréquence et l'effet des fuites. Si ce n'était pas le cas, plusieurs pistes sont envisageables avec les possibilités actuelles de Code_Aster, depuis le calcul de la ligne vapeur avec les échappements articulés et des supports frottants jusqu'à la propagation d'une fissure explicite.

J-F Rit, C. Messelier-Gouze
(EDF R&D / Dépt MMC)
M. Bonamy (AUSY)

En s@voir +

Calcul des déformations du col d'une soupape Bopp et Reuther. J-F Rit. Note HT-21/03/023/B. Sept. 2004.

Calcul des contraintes dans le col d'une soupape CRISS. J-F Rit. Note HT-21/05/018/A. Déc. 2005 Improving Performance of Main Steamline Safety Valves at Paluel NPP. A. Raybaud et al. Oral Paper A025_T07. Fontevraud 6. Sept. 2006.