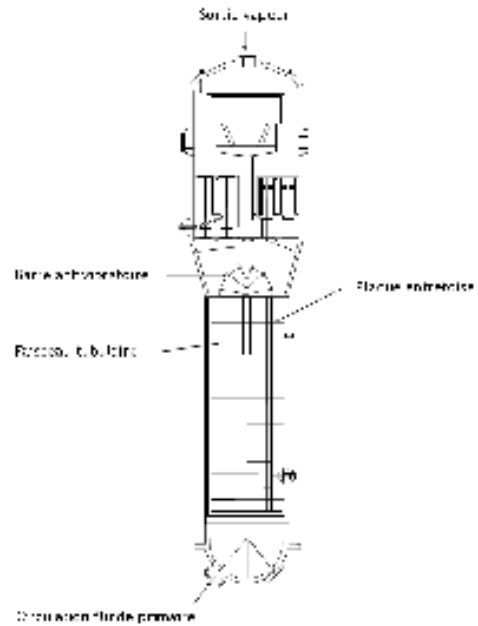


Note d'information

Colmatage des générateurs de vapeur de centrales EDF

Description succincte des générateurs de vapeur

Dans une centrale électronucléaire de type REP (Réacteur à Eau sous Pression), la chaleur produite dans le cœur du réacteur est transmise, via la circulation d'eau dans un circuit fermé, dit circuit primaire, à un circuit secondaire dont l'eau, transformée en vapeur, alimente des turbines pour la production d'électricité. L'échange thermique entre le circuit primaire et le circuit secondaire se fait au travers d'un grand nombre de tubes en U inversé regroupés dans des appareils dénommés Générateurs de Vapeur (GV). Dans les centrales REP françaises, il y a trois ou quatre générateurs de vapeur (selon la puissance nominale de la centrale) ; le circuit primaire et les générateurs de vapeur sont implantés à l'intérieur d'une enceinte de confinement qui est traversée par les tuyauteries d'alimentation en eau et d'évacuation de la vapeur des générateurs de vapeur. Une telle disposition permet d'éviter un transfert d'eau du circuit primaire à l'extérieur de l'enceinte de confinement tant que l'étanchéité des tubes des générateurs de vapeur est assurée. La surface d'échange entre le circuit primaire et le circuit secondaire est de l'ordre de 5 000 m² par générateur de vapeur. Le débit d'alimentation en eau du circuit secondaire est d'environ 1800 tonnes/heure par GV à pleine puissance.



Générateur de vapeur

Il existe plusieurs milliers de tubes par générateur de vapeur (constituant un " faisceau tubulaire "), à l'intérieur desquels circule l'eau du circuit primaire. Ces tubes sont maintenus en place par des plaques - dénommées plaques entretoises - immobilisées par des tirants fixés en partie basse du générateur de vapeur. L'eau du circuit secondaire circule le long des tubes et au travers des orifices ménagés dans les plaques entretoises, en se transformant progressivement en vapeur. Des plaques entretoises de deux conceptions différentes équipent les GV du parc : dans l'une, les orifices sont des trous percés entre les tubes, dans l'autre, ils sont constitués par des passages dits "multifoliés" bordant chaque tube. Des barres antivibratoires sont placées entre les tubes au niveau de leur partie cintrée au sommet du faisceau tubulaire; ces barres antivibratoires empêchent les vibrations de la partie supérieure des tubes (les " cintres ") sous l'effet de l'écoulement de l'eau et de la vapeur ; toutefois, les petits cintres (plus rigides) situés en partie centrale du faisceau tubulaire n'en sont pas pourvus.

Les centrales REP françaises sont munies d'un dispositif de surveillance qui permet de détecter et de mesurer en continu les fuites du circuit primaire vers le circuit secondaire et d'évaluer ainsi, en permanence, le niveau d'étanchéité du faisceau tubulaire de chaque GV. En effet, de telles fuites, dites "fuites primaire-secondaire", ne peuvent être tolérées que dans des limites prédéfinies qui visent, d'une part à éviter la contamination du circuit secondaire, d'autre part à prévenir l'apparition de fuites beaucoup plus importantes qui résulteraient de la rupture complète d'un ou plusieurs tubes (accident de rupture de tube(s) de générateur de vapeur).

Anomalies constatées

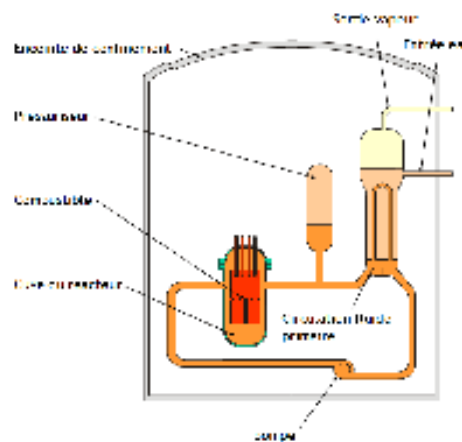
La surveillance en continu des "fuites primaire-secondaire" a conduit à mettre par trois fois à l'arrêt une tranche de la centrale de Cruas : en février 2004 pour la tranche 1 et en novembre 2005 et février 2006 pour la tranche 4.

Les analyses menées par EDF à la suite des deux derniers événements avaient conduit à les attribuer à une particularité de conception des GV des tranches de Cruas - existence d'une zone centrale du faisceau tubulaire dépourvue de tubes - ayant provoqué la fissuration d'un tube en bordure de cette zone par un phénomène de fatigue vibratoire excessive. EDF a alors mis en œuvre des mesures préventives (bouchages de certains tubes jugés sensibles).

Les résultats des examens in situ engagés ultérieurement par l'exploitant de la centrale de Cruas ont conduit EDF à attribuer un rôle prépondérant à un phénomène de " colmatage " des plaques entretoises des GV pouvant affecter a priori tous les GV du parc. Pour le traitement de l'anomalie, l'Autorité de Sûreté Nucléaire a demandé à diverses reprises des avis techniques à l'IRSN sur les différents aspects - compréhension du phénomène, conséquences sur la sûreté et le fonctionnement des tranches, contrôles à réaliser, lessivage chimique des générateurs de vapeur... Le contenu de ces avis est décrit ci-après.

Compréhension du phénomène

Le phénomène de fissuration par fatigue vibratoire excessive des tubes (petits cintres) non supportés par une barre antivibratoire a été mis en évidence dès 1991 (rupture d'un tube d'un générateur de vapeur de la centrale de MIHAMA), mais à cette époque EDF avait considéré, sur la base de nombreux études et essais, que les GV du parc électronucléaire français n'étaient pas sensibles à ce phénomène. Un fait nouveau est à l'origine des anomalies observées sur les tranches de Cruas : il s'agit du bouchage partiel par des dépôts de matières des passages aménagés dans les plaques entretoises pour permettre le passage du mélange eau/vapeur du circuit secondaire. La diminution de la section de passage qui résulte de ces dépôts provoque une



Circuit primaire d'un REP

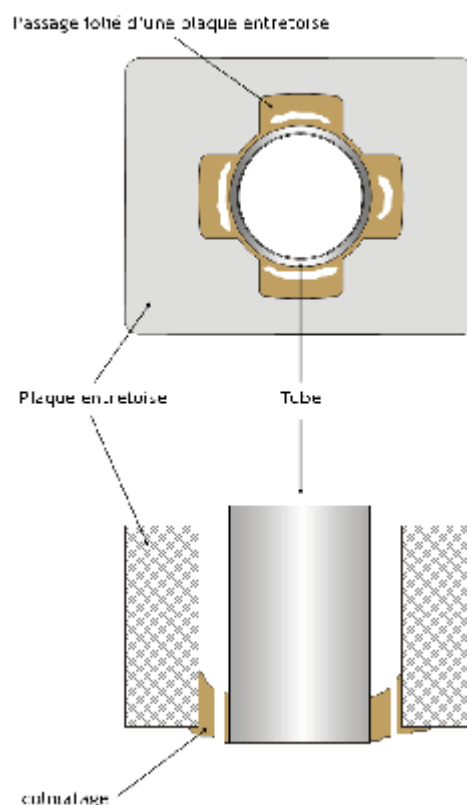
augmentation de la vitesse du mélange eau-vapeur qui circule autour des tubes ; cette augmentation de vitesse peut provoquer des vibrations excessives de certains tubes du faisceau tubulaire et conduire ainsi à leur fissuration par fatigue.

Des dépôts avaient déjà été constatés de nombreuses fois dans les générateurs de vapeur, aussi bien en France qu'à l'étranger, par exemple des dépôts d'oxydes métalliques correspondant à des produits de corrosion (boues) sur la plaque tubulaire. D'autres dépôts avaient été constatés sur la surface externe des tubes - on parle alors d'encrassement - dont l'une des conséquences est une diminution des performances de l'échange thermique dans le générateur de vapeur. Dans le cas décrit ici, les dépôts se situent dans les passages d'eau "multifoliés" des plaques entretoises - on parle alors de colmatage. Ce type de dépôt a également été rencontré dans des réacteurs étrangers ; mais les programmes de maintenance mis en œuvre en France n'étaient pas à même de le détecter.

Premières mesures

Une particularité des GV des tranches de Cruas est qu'ils présentent en partie centrale une zone dépourvue de tube. Cette zone constitue donc une voie de passage privilégiée de l'eau du circuit secondaire. De plus, par ses effets thermohydrauliques, le colmatage des plaques entretoises augmente encore le débit dans cette zone et donc la sollicitation vibratoire des tubes (petits cintres) non soutenus par une barre antivibratoire. C'est dans cette zone que les fissurations de tubes mentionnées ci-avant ont été observées. EDF a alors décidé de boucher, de façon préventive, 58 tubes encadrant cette zone afin que leur dégradation éventuelle n'entraîne pas de fuites primaire-secondaire néfastes pour la sûreté. Ce bouchage a été réalisé pour tous les GV ayant la même conception que ceux de Cruas.

En parallèle, EDF a renforcé la surveillance de l'étanchéité des faisceaux tubulaires en mettant en œuvre des dispositions particulières plus restrictives de suivi en continu des fuites primaire-secondaire.



Colmatage des plaques entretoises

Investigations

Les premiers examens télévisuels réalisés à l'intérieur des GV des tranches de Cruas ont permis d'observer un colmatage important des plaques entretoises supérieures : en moyenne la section de passage était réduite de l'ordre de 70 % et certains passages multifoliés étaient entièrement bouchés.

A partir de ces éléments, EDF a, en collaboration avec le constructeur AREVA, réalisé des études numériques simulant l'écoulement thermohydraulique de l'eau du circuit secondaire au travers de plaques colmatées de façon à caractériser le comportement vibratoire des

tubes concernés. Ces études ont montré que, globalement, les tubes les plus sollicités correspondent bien aux tubes qui ont présenté des dégradations, ce qui conforte la compréhension du phénomène et la pertinence des premières dispositions prises.

EDF a étudié l'effet sur le colmatage de variations du conditionnement de l'eau du circuit secondaire, notamment de son pH. L'utilisation d'échangeurs comportant des alliages cuivreux dans le circuit secondaire de certaines tranches, conduit à imposer un bas pH de l'eau de ces circuits, ce qui accélère l'apparition du colmatage.

Enfin, comme le préconisait l'IRSN, EDF a évalué les conséquences possibles du colmatage sur le déroulement des situations incidentelles et accidentelles étudiées dans le rapport de sûreté des installations.

Effets sur la sûreté des installations

Outre le risque de rupture de tubes de générateurs de vapeur par fatigue vibratoire excessive, qui a fait l'objet des mesures préventives indiquées ci-avant (bouchage de certains tubes, renforcement de la surveillance des fuites primaire-secondaire), le colmatage modifie, d'une part les sollicitations mécaniques des plaques entretoises et de leurs tirants de fixation dans les GV, d'autre part le comportement thermohydraulique du circuit secondaire dans les diverses situations incidentelles ou accidentelles auxquelles les centrales pourraient être soumises.

- Comportement des plaques entretoises et des tirants

Le colmatage conduit à une résistance à l'écoulement plus importante que celle prévue à la conception. Les efforts auxquels sont soumis les plaques entretoises et les tirants sont donc majorés.

Il convient donc de vérifier la bonne tenue de ces composants dans une configuration colmatée aussi bien en fonctionnement normal du réacteur qu'en cas d'incident ou d'accident. La situation pour laquelle les sollicitations sont les plus sévères (i.e. le débit traversant les plaques est maximal), est celle d'une rupture franche de très faible probabilité de la tuyauterie d'évacuation de la vapeur du générateur de vapeur, qui conduit à une vidange complète de ce dernier dans un laps de temps très court. Des études ont été menées par EDF à ce sujet.

L'IRSN a estimé indispensable qu'EDF étudie également des cas de probabilité plus élevée, par exemple la fermeture intempestive d'une vanne d'isolement du circuit secondaire : lors d'une telle fermeture intempestive, l'évacuation de la vapeur d'un des générateurs de vapeur est interrompue brutalement; l'évacuation de la puissance du réacteur se fait alors, pendant le laps de temps très court qui précède l'arrêt automatique du réacteur, par les autres générateurs de vapeur. Dans ces générateurs de vapeur, le débit de vapeur est donc augmenté, d'où des efforts plus importants sur les plaques entretoises et sur les tirants. EDF a montré que les efforts subis par ces éléments restaient acceptables dans une configuration avec fort colmatage. Après l'analyse détaillée de ces études, l'IRSN a considéré qu'elles ne permettaient pas

d'exclure complètement la survenue de dégradations progressives du supportage des faisceaux tubulaires (plaques entretoises et tirants).

- Comportement thermohydraulique du circuit secondaire

Le colmatage conduit à une diminution de la masse d'eau présente dans la partie secondaire des générateurs de vapeur, ce qui affecte le comportement des réacteurs dans certaines situations accidentelles.

L'IRSN a par ailleurs mis en évidence une incertitude sur la stabilité du niveau d'eau dans la partie secondaire des générateurs de vapeur lors de certains transitoires. En conséquence, EDF a réduit la puissance maximale de fonctionnement des réacteurs des tranches 1 et 4 de la centrale de Cruas.

Au vu de l'ensemble des éléments qui précède, l'IRSN a, à la fin de l'année 2006, recommandé à l'ASN de demander à EDF de procéder sous trois mois, au nettoyage des plaques entretoises des générateurs de vapeur de la tranche de Cruas 4.

Nettoyage des plaques entretoises

Différents procédés permettent de réaliser un tel nettoyage ; ils reposent essentiellement sur un nettoyage chimique par réduction et complexation des oxydes métalliques à l'aide d'une solution adaptée. EDF a décidé de nettoyer en 2007 les GV des tranches les plus colmatées, à savoir les tranches 1 et 4 de la centrale de Cruas et la tranche 2 de la centrale de Chinon B sur le palier 900 MWe, et la tranche de Saint-Alban 1 sur le palier 1300 MWe. Le choix d'EDF s'est porté sur un procédé industriel de nettoyage chimique à haute température. Ce procédé a été mis en œuvre de nombreuses fois sur des GV de par le monde ainsi que sur la tranche 1 de Chinon B en 2003 pour éliminer des dépôts sur les tubes. Cependant, c'est la première fois qu'il est mis en œuvre pour éliminer des dépôts de colmatage au niveau des plaques entretoises.

De ce fait, l'IRSN a analysé en détail le dossier d'intervention présenté par EDF pour ce qui concerne, d'une part la qualification du procédé chimique qui doit permettre l'élimination des dépôts sans provoquer d'endommagement de l'appareil, d'autre part les opérations et les contrôles prévus avant la remise en service de l'appareil après l'intervention. S'agissant d'une intervention notable réalisée avec le cœur du réacteur en place, l'IRSN a aussi évalué les risques associés. L'analyse menée par l'IRSN lui a permis de conclure qu'il n'existait pas d'élément majeur réhibitoire à la mise en œuvre de l'opération de nettoyage. Cette analyse a été présentée au cours de la réunion du 6 mars 2007 de la Section Permanente Nucléaire (SPN) de la Commission Centrale des Appareils à Pression.

Au vu des analyses décrites ci-avant menées par l'IRSN, de l'avis favorable de la SPN et de l'évaluation présentée par l'exploitant quant à sa maîtrise des rejets chimiques pouvant résulter des opérations de nettoyage, l'ASN a délivré à EDF l'autorisation de procéder au nettoyage chimique des générateurs de vapeur de la tranche 4 de la centrale de Cruas. Cette opération a été réalisée en mai 2007. EDF considère, sur la base d'examens par courants de Foucault, que le nettoyage a été efficace. Cependant, l'IRSN estime que ce point doit être confirmé par des examens directs et qu'il convient de tirer tous les

enseignements à la fois sur la mise en œuvre du procédé et sur son impact sur l'installation.

Actions à venir

L'IRSN a recommandé l'établissement d'un état précis du colmatage des différents GV du parc, à la fois pour les réacteurs de 900 MWe et pour ceux de 1300 MWe, et l'élaboration d'une stratégie adaptée pour leur traitement. Cette stratégie doit tenir compte du fait qu'un nettoyage chimique produit environ 1 000 m³ d'effluents liquides par tranche, ce qui pourrait saturer la filière de traitement utilisée actuellement, si le nombre d'opérations à réaliser s'avérait important.

A la demande de l'ASN, l'IRSN poursuit son analyse en orientant sa réflexion plus particulièrement sur la compréhension de l'apparition du colmatage et du phénomène de fatigue vibratoire qui en résulte, les conséquences du colmatage sur le fonctionnement incidentel ou accidentel des tranches, ainsi que sur l'évaluation de la méthode utilisée par l'exploitant pour estimer le taux de colmatage des générateurs de vapeur du parc équipés de plaques entretoises "multifoliées".

- Lire la note d'information de l'ASN :

[Anomalie générique concernant le taux de colmatage élevé des générateurs de vapeur de certains réacteurs des centrales EDF.](#)