

FRAMATOME - EDF - 27

FR 810 1114

LA CONSTRUCTION DES GENERATEURS DE VAPEUR
P.M.R. EN FRANCE
RECHERCHE DE SOLUTIONS POUR REDUIRE LE RISQUE CORROSION

J.M. VASSAL - A. REMOND
FRAMATOME

COLLOQUE ADERP - EDF
SEILLAC 17 - 21 MARS 1980



INTRODUCTION

Il y a actuellement en exploitation 18 G.V. construits par FRAMATOME dans ses ateliers de CHALON S/SAONE ; ils appartiennent tous à des chaudières PWR 900 MW sous-licence WESTINGHOUSE et se répartissent de la façon suivante :

- 6 G.V. sur le site de FESSENHEIM (2 tranches)
- 12 G.V. sur le site de BUGEY (4 tranches PWR)

Deux autres tranches 900 MW viennent de diverger (TRICASTIN 1 et GRAVELINES 1) ; ceci fait donc un total de 24 GV en service mais on n'a pas tenu compte des 6 derniers dans l'analyse faite dans ce papier compte tenu de la proximité de la divergence.

Pour situer ces réalisations par rapport aux centrales américaines notamment, il est bon de rappeler que sur le territoire français FRAMATOME construit pour un seul client : EDF et peut s'appuyer pour les actions de R/D sur les laboratoires de CREUSOT-LOIRE et du C.E.A. Ceci peut expliquer qu'un effort a été fait dès l'origine du programme PWR français pour tenter de maîtriser les phénomènes de corrosion, ceux qui étaient déjà connus et ceux qui n'étaient que potentiels.

Compte tenu du rythme auquel ce programme devait se dérouler, il n'était pas question de remettre systématiquement en cause les choix de WESTINGHOUSE et d'explorer d'autres solutions techniques, au moins dans une première phase. Il en résulte que les G.V. en exploitation sont très proches des appareils fabriqués par H à la même époque, en particulier pour le faisceau tubulaire dont l'usine H de BLAIRSVILLE est un des fournisseurs.

Les objectifs essentiels poursuivis peuvent se regrouper ainsi :



1 - bien construire, en respectant le plus rigoureusement possible les règles des codes et les recommandations de W. C'est pourquoi FRAMA-TOME a été amenée à implanter des ateliers capables de réaliser dans de bonnes conditions toutes les opérations d'assemblage de ces appareils. Leur tenue en exploitation dépend en effet énormément des conditions dans lesquelles sont exécutés le tubage, le soudage des tubes sur les plaques tubulaires, le perçage et le brochage des plaques entretroises, le dudgeonnage dans la plaque tubulaire, les traitements de détensionnement.

2 - acquérir le plus possible de connaissances sur ce qui conditionne la bonne tenue des faisceaux tubulaires en IN.600. En effet, les travaux des ingénieurs du C.E.A. puis les premiers incidents sur G.V. en exploitation (BEZNAU par exemple) avaient montré clairement que ce matériau n'était pas à l'abri d'un endommagement parfois rapide par corrosion. On s'est donc efforcé conjointement avec EDF et ultérieurement avec le C.E.A. et WESTINGHOUSE de parvenir à une meilleure maîtrise des phénomènes et de se donner une marge plus confortable à l'égard de l'initiation et de la propagation de la corrosion en agissant sur le matériau et son traitement d'une part, sur la conception du G.V. d'autre part.

Pour faire face aux risques de "denting " un nouveau matériau a été développé pour les plaques entretroises.

3 - limiter les impacts de l'environnement.

Les précautions prises en cours de construction ne doivent pas être rendues inutiles par des entrées de contaminants en cours de montage et d'essais sur site ; en effet, certaines espèces peuvent avoir une action endommageante rapide.

Il a fallu aussi, en relation avec l'exploitant (EDF),mettre au point une spécification de fluide et les contrôles associés pour minimiser l'entrée d'espèces agressives et provoquer assez tôt les actions correctives indispensables. Le papier de F. NORDMANN traite en détail la spécification fluide.

Jusqu'à présent ces G.V. n'ont pas eu à subir d'arrêts par suite de corrosion mais il est difficile de savoir si ce résultat est dû aux efforts du constructeur pour augmenter les marges ou à ceux de l'exploitant pour réduire les effets des espèces chimiques dangereuses.

1. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES APPAREILS

Les G.V. actuellement fabriqués par FRAMATOME sont de 2 types (Tableau I) :

900 MWE	type 51 B	(3 par tranche)
1300 MWE	type 68/19	(4 par tranche)

Ces appareils ne comportent pas d'économiseur.

Ils résultent d'une évolution du modèle 51 visant essentiellement :

- à améliorer la tenue à la corrosion du faisceau tubulaire,
- à lutter contre le phénomène de denting

La nature des modifications est commenté au Chapitre 3.

Les G.V. en opération à FESSENHEIM et au BUGEY sont intermédiaires entre le modèle original 51 (tel que prévu pour BEAVER VALLEY) et le 51 B. Ils incorporent certaines modifications dont celles consistant à améliorer les conditions thermohydrauliques à la base du faisceau.

..//..



CARACTERISTIQUES DES GENERATEURS DE VAPEUR

	51 B	68 - 19	UNITES
1 - DIMENSIONS			
Hauteur totale	20,65	22,14	m
Ø virole supérieure	4468	5041	mm
Ø virole inférieure	3434	3794	mm
2 - PRESSION DE CALCUL			
Côté primaire	171,3	171,3	bar
Côté secondaire	74,8	88,5	bar
3 - TEMPERATURE DE CALCUL			
Côté primaire	343	343	°C
Côté secondaire	316	316	°C
4 - PARAMETRES FONCTIONNELS 1re			
Température entrée	286,5	292,9	°C
Température sortie	322,4	328,4	°C
Débit	16535	16535	T/h
5 - PARAMETRES FONCTIONNELS 2re			
Pression vapeur sortie GV	57,5	71,2	bar
Débit vapeur (T/h)	1810	1941	T/h
Température eau aliment- taire	219,4	232	°C
Taux de circulation	3,8	4,2	

CARACTERISTIQUES DES GENERATEURS DE VAPEUR (suite)

	51 B	68 - 19	UNITES
6 - PUISSANCE THERMIQUE (ISG) Flux moyen	927,3 197,4. 10 ³	954,2 137,6 10 ³	MW W/m ²
7 - SURFACE D'ECHANGE	4699	6936	m ²
8 - TUBE DE FAISCEAU Diamètre extérieur Epaisseur Nombre	22,22 1,27 3330	19,05 1,09 5342	mm mm
9 - EXPLOITATION Date de mise en service Eau de refroidissement Conditionnement eau	1982 Eau douce ou eau de mer AVT	1983 Eau douce ou eau de mer AVT	

TABLEAU I (suite)

Les matériaux utilisés pour le faisceau tubulaire, les plaques entre-toises et les barres antivibratoires sont essentiellement les mêmes que ceux de WESTINGHOUSE : alliage IN.600, acier au carbone (SA 285 gr. C - AFNOR A 37 CP), IN.600 chromé .. respectivement.

Les G.V. construits pour le programme 900 MW, ultérieurement à BUGEY incorporent progressivement les modifications aboutissant au 51 B.

Les exigences concernant l'eau du circuit secondaire sont exposées dans le papier de F. NORMANN.

2 - CONSTRUCTION

Fin 1979, FRAMATOME (Usine de CHALON S/ SAONE) avait livré 70 GV type 51.

D'ici à 1985, une centaine de G.V. (51 et 68.19) seront construits dans un atelier capable de sortir par an 24 GV, 8 pressuriseurs et 8 cuves (dont les sous-ensembles sont réalisés dans l'usine FRAMATOME du CREUSOT).

Les capacités de ces ateliers ont été présentées par J.F. TERRIEN (1)

Ces moyens concernent essentiellement les opérations finales de constitution de l'appareil et en particulier celles ayant un impact sur la tenue à la corrosion :



revêtement et perçage des plaques tubulaires,
tubage, dudgeomage et soudage du faisceau,
perçage et brochage des plaques entretoises
mise en place des barres antivibratoires
assemblage des composants et épreuve hydraulique

Pour la réalisation des composants élémentaires (viroles de l'en-
ceinte ..) la chaudronnerie lourde de CREUSOT-LOIRE implantée à CHALON
vient compléter les moyens spécifiques de FRAMATOME qui a pu ainsi
se spécialiser sur les opérations de finition.

Ces moyens sont complétés par des centres de développement concernant
les technologies de base : soudage et contrôles non destructifs et un
centre de calcul et analyse mécanique.

3 - MODIFICATIONS DE CONCEPTION

3.1. Pour lutter contre la corrosion intergranulaire sous contrainte

L'analyse des phénomènes de fissuration rencontrés sur G.V. (BEZNAU -
Y. ROUE - PALISADES ..) a fait l'objet de nombreuses études aux U.S.A.
(en particulier par WESTINGHOUSE).

Il en ressortait que la corrosion intergranulaire sous contrainte se
développait en milieu caustique par suite des phénomènes de concentra-
tion dans l'interstice tube/plaque tubulaire et dans les boues accumu-
lées sur la plaque tubulaire et éventuellement certaines plaques entre-
toises.



La nette relation entre ces phénomènes, la nature physico chimique des boues et la thermohydraulique du GV a poussé les constructeurs à aménager, entre autre, la conception pour réduire ce risque en agissant sur les conditions d'écoulement au niveau de la plaque tubulaire. Les modifications introduites par FRAMATOME ont déjà été exposées par M. COUDRAY (2).

Elles avaient pour objectif essentiel de modifier la carte des vitesses et en particulier de rapprocher le point de vitesse nulle, situé côté chaud, de l'axe géométrique de l'échangeur. On a aussi redistribué les points de purge pour en améliorer l'efficacité.

En résumé les principaux changements sont :

- addition d'une plaque de distribution
- modification de la hauteur de l'ouverture entre la plaque entretoise et le bas de la virole enveloppe du faisceau
- modification dans la distribution de l'eau alimentaire
- suppression des collerettes de réglage de débit dans le retour d'eau
- modification de la forme des tubes de purge
- limitation des écoulements de by-pass.

Pour éviter les fissurations de tube dans l'interstice tube/plaque tubulaire, les tubes ont été dudgeonnés sur toute la hauteur de la plaque.

Nota : cette modification a été appliquée dès FESSENHEIM.

Cette technique a été ultérieurement améliorée en effectuant une opération complémentaire de dudgeonnage à l'extrémité côté secondaire pour adoucir la discontinuité de forme et les contraintes résiduelles

Nota : cette modification a été appliquée à partir des GV du premier contrat pluriannuel.

A ces modifications, il faut rattacher le passage du conditionnement du fluide secondaire à l'AVT (ALL VOLATILE TREATMENT) des FESSENHEIM.

3.2. Pour lutter contre le denting

Les modifications de conception et le passage à l'AVT constituent des moyens efficaces de lutte contre la fissuration caustique.

Les incidents survenus en 1975 aux U.S.A. et surtout après passage d'un conditionnement phosphate au conditionnement AVT ont mis en cause la conception des plaques entretoises et d'une manière générale tous les interstices au niveau de la surface d'échange.

Le mécanisme du denting met en cause d'une part un phénomène de corrosion accélérée de l'alésage de la plaque (en acier au carbone), d'autre part les conditions d'écoulement autour du tube : accumulation de produits de corrosion, formation d'un point chaud avec formation de poches de vapeur ..., phénomène de séquestration et concentration des espèces chimiques dans le produit accumulé.

L'objectif de la modification est d'augmenter la vitesse de circulation au voisinage de chaque tube pour obtenir un meilleur entraînement hydraulique soit des poches de vapeur, soit des espèces chimiques et des produits de corrosion, tout en conservant un bon coefficient d'échange thermique.

Les ouvertures quadrifoliées préconisées par WESTINGHOUSE réalisent un bon compromis entre les contraintes de résistance mécanique (efforts en cas d'incident et de séisme) et de perte de charge.

Le matériau des plaques a également été changé pour limiter la cinétique de corrosion généralisée en milieu AVT pollué. Le choix du matériau de remplacement est commenté au Chapitre 5.

4 EXPERIMENTATION ET EVOLUTION DES MATERIAUX

Des 1972, et en s'appuyant sur les publications de M. FOSTER et TAYLOR (BW), HUBNER, CARLEN (SANDVIK) DEBRAY (SIEMENS), CORIOU (CEA), FRAMATOME lançait une enquête sur les risques de corrosion des tubes en INCONEL 600 et préparait un programme expérimental en eau pure et milieu secondaire (phosphates) avec CREUSOT-LOIRE (Centre de Recherches d'UNIEUX).

C'était le début d'une participation aux études sur le comportement des matériaux dans le fluide secondaire. Elles ont par la force des choses été orientées sur la corrosion sous tension de l'IN.600 et des alliages de remplacement et sur le phénomène de denting.

FRAMATOME s'est appuyée dans ce domaine sur les moyens expérimentaux de C.L. et du C.E.A.

Ensuite le processus s'est développé dans le cadre d'un programme coopératif EDF/W/FRA lancé fin 1974 puis avec intervention du CEA en 1976.

Nous tentons seulement ici de résumer les grandes lignes de l'effort collectif visant à maîtriser les phénomènes en cause et d'indiquer les principales conclusions qui en émergent.

4.1. Corrosion des tubes

Etude de l'IN.600 (composition - traitement -)

La première tentative a été de chercher si la composition chimique et les conditions de traitement thermique de cet alliage avaient une influence notable. Compte tenu du grand nombre de paramètres on a essayé de mettre au point des essais accélérés pour caractériser la réactivité du joint de grain afin de disposer d'un outil pour ensuite évaluer l'effet de modifications éventuelles dans la gamme de fabrication.

On n'a pas pu mettre au point un essai suffisamment significatif et il a fallu dans cette première série se contenter de résultats sur éprouvettes de flexion.

L'étude a cependant permis de bien cerner les variations considérables de la structure et en particulier de la répartition et de la morphologie des carbures. Elle a montré qu'il n'y avait pas intérêt à baisser la teneur en carbone mais n'a pas apporté de réponses nettes sur les rôles respectifs de S et Si.

Etudes sur les contraintes résiduelles

Dans la mesure où il apparaissait clairement que l'on ne pouvait pas modifier le comportement de l'alliage en agissant sur sa composition et son traitement, il restait à tenter de réduire le niveau de contraintes résiduelles car EDF avait, dans le cadre d'un programme de caractérisation méthodique des tubes de diverses provenances, montré que ce niveau était élevé.

Plusieurs voies ont été explorées: microbillage, étirage, mise sous pression, traitement thermique local ou global.

Le microbillage laisse une zone sensible au raccordement avec la plaque tubulaire, l'étirage et la mise sous pression sont efficaces mais d'un emploi difficile, un traitement thermique global ne permet pas de détensionner suffisamment.

Le traitement thermique à 700°C permet de bien relaxer les contraintes sans dégrader le comportement en corrosion; des études montrent même qu'il donne une marge supplémentaire sur la contrainte critique de non-fissuration.

2000

Ces études ont permis au constructeur d'apprendre à maîtriser ce paramètre contraintes résiduelles qui jouait un rôle prépondérant dans le phénomène de fissuration sur GV. Elles ont poussé les expérimentateurs à analyser le comportement du produit " tubes " sous des chargements mécaniques et chimiques simulant correctement la réalité.

Elles ont permis de s'approcher d'une meilleure compréhension du mécanisme de la corrosion sous contrainte, c'est à dire de son aspect mécanique : initiation de corrosion là où s'amorce une déformation. Il se peut que ce soit une piste pour rechercher de nouvelles améliorations.

Etudes sur des alliages de remplacement

Des évaluations poussées ont été faites sur 2 autres matériaux : l'INCOLOY 800 et l'URANUS 45.

L'UR 45 est un acier à structure duplex développé par CREUSOT-LOIRE ; ce type d'acier était réputé pour sa bonne résistance à la corrosion sous contrainte.

L'INCOLOY 800 est utilisé par KWU sur des PHX et par les canadiens sur les CANDU.

Ils ont été écartés à la suite de résultats montrant que dans des conditions bien contrôlées, leur comportement n'était pas significativement meilleur que celui de l'IN 600.

L'inconel 690 reste en cours d'évaluation.

Etudes sur le dudgeonage

Les études sur l'effet des contraintes résiduelles ayant montré qu'elles sont un des paramètres essentiels de la fissuration, il a été nécessaire d'analyser la situation créée par l'opération de dudgeonage sur le tube à son extrémité côté secondaire de la plaque tubulaire.

Cette analyse a montré que les contraintes résiduelles étaient importantes dans cette zone et il a donc fallu mettre au point une méthode pour les réduire.

La méthode de contre-dégauchonnage mécanique développée à cette occasion et mise en œuvre sur tous les GV en cours de fabrication permet de réduire très notablement les contraintes. Ceci a été illustré en utilisant la méthode classique du $Mg Cl_2$ sur acier inoxydable type 304.

4.2. Usure des tubes

La dégradation des tubes par déplacement (vibration) dans les ouvertures (percées ou brochées) des plaques entretoises fait l'objet d'une expérimentation qui a dans la phase actuelle 2 volets :

- a) étude paramétrique sur les couples de frottement existants ou envisagés : acier au carbone / IN 600 - acier inoxydable 17.4 / IN 600.

On fait des essais dans l'azote et dans la vapeur d'eau, à des charges variables.

Les résultats obtenus ont été satisfaisants.

- b) étude technologique visant à comparer l'effet de la géométrie des ouvertures, des désalignements, de l'orientation du mouvement et de son amplitude.

Ces essais concernent l'acier Z 6 C 13 et SA 405.

4.3. Denting

4.3.1. Étude du phénomène

Dès que ce type d'incident a été identifié, FRAMATOME a entrepris avec l'aide du CEA et en coopération avec M des études pour en cerner le mécanisme et mettre au point des remèdes.

Ces études ont été faites en s'efforçant de reproduire aussi fidèlement que possible des conditions d'environnement (pollution par fuites au condenseur) et de flux thermique représentatives.

Elles ont porté sur le déclenchement du phénomène (remplissage des interstices), sur sa cinétique une fois déclenché, sur l'effet du niveau de pollution et sur les méthodes visant à le réduire ou à l'éliminer.

Les résultats obtenus à ce jour confirment l'efficacité d'une modification de la géométrie des ouvertures et l'intérêt de réduire la quantité de produits de corrosion (magnétite) provenant du poste d'eau. En revanche, il paraît beaucoup plus difficile de fixer un seuil tolérable de pollution ionique (chlorures par exemple) faute de résultats précis sur les paramètres contrôlant l'amplitude de la sur-concentration.

Les tentatives de contre-mesures : déséquestrations, lessivage, additions de phosphate, .. sont prometteuses mais ne sont que des palliatifs temporaires si des apports continus d'espèces chimiques dangereuses subsistent.

4.3.2. Matériau des plaques

Pour lutter contre le denting, on a cherché aussi à limiter la cinétique de formation d'oxyde en modifiant la nature du matériau des plaques.

Le choix s'est porté sur un acier martensitique à 13% Cr, bas carbone car représentant un bon compromis du point de vue aptitude à l'emploi et mise en oeuvre industrielle. Les caractéristiques sont indiquées au Tableau II.

La démarche suivie pour ce choix est la suivante :

• une teneur en Cr suffisante pour réduire la cinétique de corrosion généralisée à 300°C de façon significative.

• une limite d'élasticité supérieure à 400 MPa pour améliorer la tenue aux chargements accidentels (séismes, LOCA, RTV).

- . un coefficient de dilatation voisin de celui des parois du tuyau.
- . une dureté voisine de celle des tubes pour éviter un endommagement de ceux-ci par le bord des isthmes.
- . une bonne usinabilité (brochage)
- . une bonne soudabilité, pour permettre des réparations.
- . stabilité métallurgique pour de longs maintiens vers 290°C.

L'acier austénitique 18/8 a été écarté pour les raisons suivantes :

- . limite d'élasticité trop faible
- . coefficient de dilatation trop élevé
- . caractéristiques de frottement avec IN 600 mauvaises dans l'eau (microgrippage)

L'acier martensitique 17/4 (2.6 CND 16-04) a été écarté pour les raisons suivantes :

- . dureté trop élevée (250 - 300 HB)
- . stabilité dimensionnelle pas établie

On a choisi un acier bas carbone pour optimiser la tenue à la corrosion, la soudabilité et la dureté - en tolérant la présence d'une faible teneur en ferrite (10 à 15%) suffisante pour réduire la dureté sans agir trop sur la résilience.

Lors des qualifications, il est apparu que ce matériau était difficile à brocher si la teneur en soufre était trop faible (0,008%) - des essais systématiques ont été faits pour évaluer l'effet de ce paramètre ; ils ont montré qu'une teneur en S de 0,025% améliorerait nettement l'opération de brochage.

Cette augmentation du soufre diminue la résilience, mais les valeurs obtenues restent acceptables. Il y a vraisemblablement une relation entre résilience et usinabilité.

Des essais sont en cours pour évaluer la tenue en corrosion des plaques en Z 6 C 13; d'autres pour caractériser l'usure des tubes IN 600 sur plaques brochées en Z 6 C 13. Les résultats partiels de ces essais et ceux obtenus lors des essais de recette sont satisfaisants. Ils ont quand même montré que pour atteindre l'objectif visé, il était nécessaire de réaliser un ajustement très précis de la composition et du traitement thermique.

4.4. Conclusions

Les études menées pour mieux cerner les risques de dégradation des matériaux du GY en exploitation ont nettement montré que le remède n'était pas dans la mise au point de nuances miracles par modification de certains éléments de la composition chimique de l'alliage.

D'une part, le comportement d'un tube d'échange dépend d'autres paramètres : gamme de déformation et de traitement thermique, contraintes résiduelles, méthodes de dudgeomage.

D'autre part, l'amplitude des phénomènes physicochimiques susceptibles de se développer au voisinage immédiat des surfaces est telle que ce facteur peut devenir prépondérant quel que soit le matériau en cause.

Elles ont de plus montré qu'il fallait reproduire correctement les modes de chargement mécanique, les environnements et les gradients thermiques si l'on voulait obtenir des informations exploitables ; les essais sur capsules pressurisées et sur boucles sont les plus intéressants.

Pour les plaques entretoises, l'emploi d'un acier inoxydable à 13% Cr donne une marge complémentaire pour réduire le risque de denting ; on a réglé sa composition pour obtenir une tenue à la corrosion satisfaisante.

5. ANALYSE DES PRINCIPAUX EVENEMENTS RENCONTRES

5.1. Chaudières en exploitation

Fin JANVIER 1980, la situation était la suivante :

	année de démarrage	production totale brute
FESSENHEIM 1	1977	12 549 031 MMh
	1977	11 577 851 "
DUGEY	1978	6 032 240 "
	1978	4 767 100 "
	1979	4 494 240 "
	1979	2 057 450 "

Les deux dernières chaudières à avoir divergé sont sur les sites de GRAVELINES et TRICASTIN ; ensuite, les mises en service devraient se faire au rythme d'une tous les 2 mois.

On arrive donc au moment où les durées d'exploitation de GV fabriqués par FRAMATOME vont augmenter rapidement.

5.2. Difficultés rencontrées en fabrication et au démarrage

Pour illustrer le type d'anomalies auxquels on peut avoir à faire, on énumère ci-dessous des incidents ayant concerné le faisceau tubulaire avant mise en service en les regroupant autour des étapes de fabrication concernées.

Elaboration

- Teneur en Al trop élevée 0,62 pour $\leq 0,50$
- Teneur en Fe trop élevée $> 10 \%$

Laminage

- Incrustations ferritique dues à des particules entraînées dans l'huile des laminoirs lors d'opérations antérieures.
- Fissures généralisées dues à un grenailage trop énergique

• Traitement thermique

- Température de traitement trop basse par rapport aux valeurs spécifiées.
- Recarburisation et précipitation de carbures dans des zones très localisées à l'intérieur. Défaut détecté par le contrôle courant de Foucault. Il était dû à un cracking de résidus de lubrifiants.
- Oxydation superficielle (atmosphère de traitement incorrecte).

• Transport

- Fretting - certains faisceaux ont été endommagés par suite d'un phénomène de fretting apparaissant sur les génératrices en contact.

• Epreuve hydraulique du GY et épreuve d'étanchéité

- Dépôts de carbonates de Ca -
La nature de l'eau utilisée et de l'inhibiteur ont favorisé la formation de ce dépôt. Il n'était pas considéré comme nocif du point de vue corrosion mais il a fallu tenir compte de sa présence car il marquerait la chimie au démarrage. La mise en solution est rapide à 180°C.

• Modification des internes

- Gouttes de soudure
En fait, elles étaient suffisamment froides pour ne pas modifier la composition ou structure superficielle.

• Essais et démarrage

- corps migrants
Des endommagements ont été provoqués côté primaire et côté secondaire par, soit des outils tombés du côté secondaire au cours d'intervention sur les internes ou sur des piquages, soit de l'instrumentation côté primaire insuffisamment armée et qui vient percuter les têtes de tubes.
Les corps migrants du côté secondaire ont provoqué le bouchage de plusieurs tubes.

Conditionnement chimique

La chimie réalisée au démarrage à FESSENHEIM et au BUBLY peut être considérée comme satisfaisante. Les dépassements les plus importants sont dus à la présence de phosphates et de sodium, conséquence soit d'enduits de protection de certains équipements, soit d'erreurs momentanées de branchement.

C'est l'espèce soude qui a donné le plus de soucis ; les mesures appropriées ont été prises pour revenir le plus rapidement possible dans des limites acceptables.

Les fuites au condenseur ont provoqué des pollutions inférieures en intensité à celles provenant des circuits.

Boues

Les nettoyages hydrauliques réalisés, juste avant démarrage sur FESSENHEIM 1, ont donné 50 à 100 kg de boues. Lors de l'arrêt pour rechargement on en a recueilli 26 kg sur GV1, 11,5 kg sur GV 2 et 4 kg sur GV4 - l'épaisseur de dépôt serait < 100 mm. Il est probablement trop tôt pour émettre un avis sur cette situation qui a priori paraît satisfaisante. C'est de toutes façons un paramètre à suivre pour tenir à jour la fiche de santé de chaque faisceau tubulaire.

5.3. Etat des tubes bouchés

Sur les chaudières en exploitation, des tubes ont été bouchés mais jusqu'à présent ces interventions sont dues à d'autres causes que la corrosion et l'usure.

Le bilan actuel s'établit ainsi :



TRANCHE	ATELIER	SITE
FESSENHEIM	1	0
	2	2
BUGEY	2	1
	3	2
	4	2
	5	2
		3

Tubes bouchés

Les causes répertoriées sont des anomalies de perçage ou soudage, des structures anormales de tubes détectées avant démarrage, des endommagements par des corps migrants.

5.4. Mesures correctives

FRAMATOME participe à la mise au point de méthodes de contrôle et d'intervention en relation avec la corrosion du faisceau tubulaire :

- contrôle des tubes par courants de FOUCAULT
- contrôle de l'épaisseur des dépôts sur plaque tubulaire
- méthode de bouchage et d'extraction de tubes avec outillage télécommandé.
- décontamination de la boîte à eau
- nettoyage hydraulique de la plaque tubulaire (lancing)
- lessivage chimique
- examen télévisuel (recherche de corps étrangers)
- filtration magnétique

5.5. Conclusion

La tenue d'un faisceau tubulaire de GY pendant 40 ans dépend de toute l'histoire des tubes, de leur implantation, des conditions de conservation des appareils, de la période de démarrage avec des pollutions internes et externes, des réactions des opérateurs en cours d'exploitation.

Une revue partielle des événements ayant affecté les 6 premières tranches en cours de construction et démarrage révèle déjà une variété de situations qui pourraient dans certains cas être cause de fuite.

On peut penser que la réalisation de bons dudgeomage éliminant l'interstice tube/plaque écarte déjà une cause importante de fissuration. Pour que ces chaudières de FESSENHEIM et BUREY équipées de plaques entretoises en acier au carbone percées évitent le denting il faudra surtout une très grande vigilance pour réduire le plus possible la pollution en éléments solubles et insolubles et opérer périodiquement des séquences de déséquestration. Le bon comportement des chaudières japonaises montre que ces mesures sont efficaces.

Enfin, compte tenu des conséquences économiques de fuites répétées sur des GV, il paraît hautement souhaitable d'établir et de tenir à jour une fiche de santé appareil par appareil sur laquelle sont relatés tous les événements notables vus par le faisceau tubulaire depuis sa fabrication. On ne peut en effet pas compter exclusivement sur le résultat d'expertises in situ pour établir de bons diagnostics et ajuster des mesures correctives.

ACIER Z 6 C 13

COMPOSITION CHIMIQUE

	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr
mini							12,5
maxi	0,10	1,00	0,50	0,030	0,030	1,00	14,0
visée	0,06	0,65	0,35		0,025	0,50	13,3

TRAITEMENT THERMIQUE

- Austénitisation 960 - 1050°C
- Trempe eau
- Revenu 705 - 785°C (air)

CHARACTERISTIQUES MECANQUES

	$R_{e0,002}$	Rm	AZ	HB	KCV 0°C T
	MPa	MPa	%		daJ/cm ²
mini	400	550	16		3,5 moyen
maxi		700		220	2,6 mini
réalisé		640		203	9,6

STRUCTURE

Martensite + 10 % ferrite.

REFERENCES

- (1) J.F. TERRIEN : Standardisation des centrales nucléaires
NUCLEX 1978
- (2) M. COUDRAY : Evolutions technologiques récentes dans le domaine
des réacteurs à eau pressurisée.
RGN - 1977 - N°4 - Juillet-Août-Septembre.

