

CARTOGRAPHIE DES DÉPÔTS SUR TUBES : UNE SOLUTION POUR LUTTER EFFICACEMENT CONTRE L'ENCRASSEMENT DES GV

DEPOSIT MAPPING ON TUBES: AN EFFICIENT SOLUTION AGAINST SG CLOGGING

J. MARTENS (INTERCONTROLE *), J. GRIFFITH (AREVA Inc.)

Résumé

Les dépôts qui se forment sur la paroi externe des tubes de générateurs de vapeur sont causes de diminution du rendement d'échange et d'un accroissement des coûts d'inspection et de maintenance.

Moyennant une connaissance préalable de la composition des dépôts, il est possible de mettre en œuvre une technique non destructive de mesure qui conduit à l'établissement d'une cartographie de l'état d'encrassement du faisceau tubulaire. Cette mesure n'entraîne aucune augmentation de la durée du contrôle classique du faisceau tubulaire par courants de Foucault car elle est effectuée avec la sonde axiale d'examen des tubes.

La technique, mise au point à AREVA Inc. (USA) et testée sur plusieurs sites, a été transposée au cas des générateurs de vapeur des sites français.

L'importance de l'étalonnage au moyen d'échantillons de référence représentatifs est soulignée ; à titre d'exemple, la mesure et l'exploitation des résultats en cartographies ainsi que l'évaluation de masse de dépôts obtenue dans le cas des tubes d'un site français illustrent l'intérêt de la technique.

Abstract

Deposits on the outer wall of steam generator tubes reduce the heat exchange rate and increase inspection and maintenance costs.

On condition that prior knowledge of the chemical composition of the deposits be available, it is possible to implement a non-destructive measurement technique that provides maps of the bundle status in terms of deposits.

*This measurement does not increase the standard duration of the eddy current inspection as it is performed with the bobbin coil probe used for tube examination.
The technique developed by AREVA Inc. (USA) and tested on several sites was adapted to the case of steam generators in French NPPs.*

The importance of calibration with representative reference samples is stressed; an example of deposit mapping and evaluation of the deposit weight obtained on site illustrates the capabilities of the technique.

*INTERCONTROLE, filiale d'AREVA NP, une coentreprise AREVA et Siemens

INTRODUCTION

La formation de dépôts dans les générateurs de vapeur (GV) d'un réacteur à eau sous pression (REP) est problématique et peut en affecter le fonctionnement par :

- réduction de la capacité de transfert thermique,
- dégradation des performances thermo-hydrauliques,
- éventuelle accélération de la corrosion des tubes ou des plaques entretoises.

AREVA NP a développé une technique d'examen permettant d'établir et de tracer le taux et la répartition de dépôt sur les surfaces des tubes. Ces informations sont importantes dans la planification et le choix des types d'actions correctives permettant de restaurer ou d'améliorer les performances et l'efficacité thermo-hydrauliques du GV.

MÉTHODE

La méthodologie de cartographie de dépôt est basée sur l'exploitation de la réponse des données courants de Foucault en mode absolu basse fréquence, issues de l'examen par sonde axiale.

Tube de calibration de dépôt

Un tube de calibration composé de zones de dépôts d'épaisseurs croissantes et représentatifs de la composition chimique des dépôts présents sur le Générateur de vapeur est nécessaire pour étalonner le système de mesure.

Le tableau suivant montre un exemple de composition de référence utilisée pour définir la simulation de dépôt avec le pourcentage d'oxyde calculé utilisé dans cette simulation. Les pourcentages d'oxyde de la simulation de dépôt diffèrent des compositions élémentaires de référence en raison des formes d'oxyde associées à chaque élément. Seuls les composants sensibles aux courants de Foucault avec une contribution importante sont inclus dans le mélange de simulation.

Elément	Symbole élément	Moyenne élémentaire échelle %	Forme d'oxyde supposée	Oxyde normalisé %
Fer	Fe	68,5	Fe ₃ O ₄	90,43
Cuivre	Cu	4,4	Cu	4,20
Zinc	Zn	3,6	ZnO	4,28
Manganèse	Mn	0,51	MnO	0,63
Nickel	Ni	0,18	NiO	0,22
Aluminium	Al	0,13	Al ₂ O ₃	0,24
Chrome	Cr	0,04		
Titane	Ti	0,04		

Examen par sonde axiale réalisé

La méthodologie de cartographie de dépôts est basée sur l'exploitation des données courants de Foucault en mode absolu basse fréquence. Suite à l'inspection des générateurs de vapeur, un tube de calibration a été réalisé à partir de la composition de dépôt indiquée dans le tableau précédent. L'acquisition des données du tube de calibration permet de caractériser la réponse de la sonde et de l'appareil à courants de Foucault pour différentes valeurs d'épaisseur de dépôt. Ces informations sont ensuite appliquées lors de la configuration et de l'étalonnage du logiciel utilisé pour déterminer les mesures d'épaisseurs de dépôt.

La figure suivante montre un exemple de réponse normalisée de six bagues de dépôts présentes sur le tube de calibration.

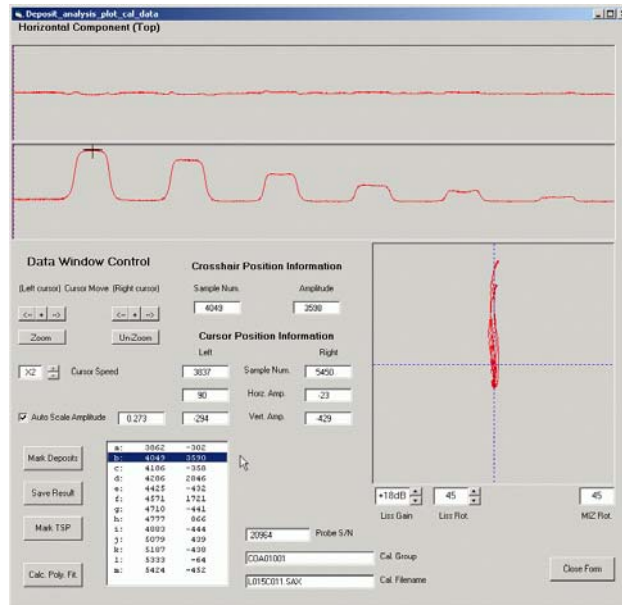


Figure 1 : Réponse CF de 6 bagues de dépôts

Une courbe d'étalonnage de forme polynomiale est alors établie pour convertir les réponses d'amplitude courants de Foucault en mesures d'épaisseurs de dépôt.

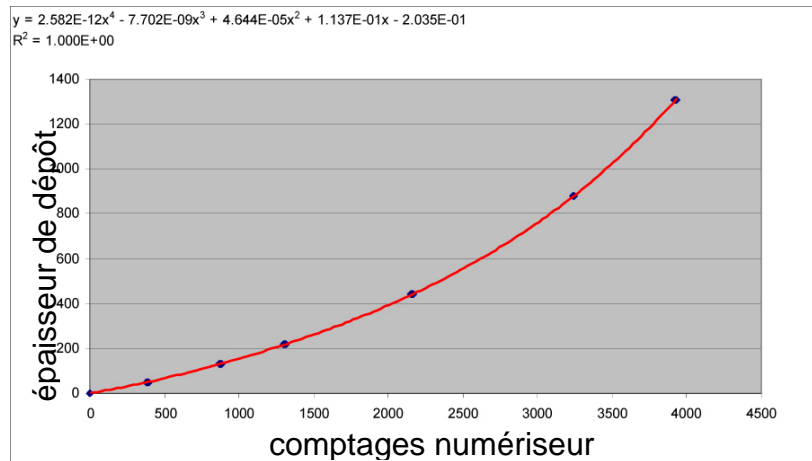


Figure 2 : Courbe de corrélation signal CF/épaisseur de dépôt

Zones du tube concernées

Le processus de cartographie de dépôt est actuellement appliqué aux portions droites des tubes et ne concerne pas les zones sous plaques entretoises.

Le dépôt dans la partie cintrée est estimé par extrapolation des mesures réalisées sur la plaque entretoise supérieure.

Evaluation des données

AREVA NP a développé un logiciel d'analyse automatisée pour faciliter l'évaluation des données de courants de Foucault et déterminer le profil du dépôt. Pour chaque tube, le programme lit les données correspondantes et calcule les valeurs moyennes d'épaisseur pour des intervalles spécifiques dans les zones situées entre des plaques entretoises adjacentes. Après ce calcul, le logiciel écrit les résultats dans un fichier texte. Ce fichier texte contient le numéro du tube, sa position (x,y), le niveau de l'intervalle de mesure et l'épaisseur mesurée. Le fichier est ensuite importé dans une base de données ACCESS pour un traitement ultérieur qui permettra la conversion de l'épaisseur en estimation de masse et le formatage des données pour réaliser une représentation 3D.

RÉSULTATS

Les informations de dépôt peuvent être affichées sous différents formats. CFD-VIEWTM est l'outil principal de visualisation graphique. Les présentations graphiques montrent la répartition spatiale relative de dépôt dans le générateur de vapeur.

Représentation en 3D

Une présentation des données de point est créée en important les mesures individuelles dans une structure de fichier « Spray » CFD-VIEWTM. L'échelle de couleurs représente l'épaisseur de dépôt mesurée à chaque endroit en fonction de la valeur de référence. Sur l'exemple présenté, l'échelle a été définie sur 48 millièmes de pouce (1,22 mm).

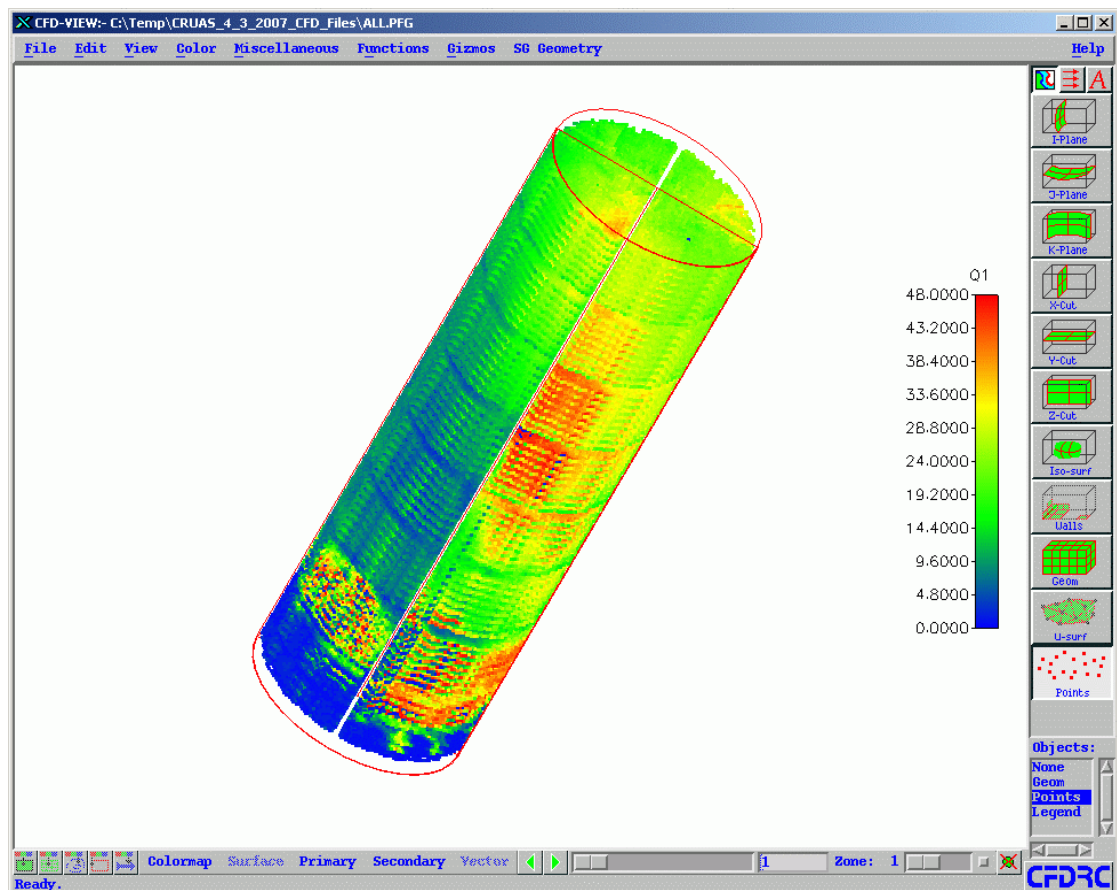


Figure 3 : Cartographie 3D

Représentation tabulaire

Le tableau suivant indique la répartition d'épaisseur de dépôt par étendue de mesure ; PS représente la face supérieure de la plaque tubulaire, PE0n désigne la nième plaque entretoise. Par exemple, la colonne 1-10 contient le nombre de mesures d'épaisseur comprises dans l'intervalle entre 0,001 et 0,010 pouce (0,025 à 0,25 mm).

Etendue de mesure		Intervalles	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60
PS	01	14	16 073	2 965	1 541	1 511	705	28
PE01	02	16	10 477	10 253	3 378	1 683	657	157
PE02	03	16	14 061	5 252	4 219	2 792	345	0
PE03	04	16	12 520	1 293	2 108	7 886	2 822	42
PE04	05	16	9 190	4 258	677	9 468	2 959	120
PE05	06	16	4 960	7 880	4 184	8 331	1 311	6
PE06	07	16	1 185	9 209	12 805	3 452	16	5
PE07	08	16	19	7 777	17 558	1 302	8	5

Ce tableau montre que la quantité la plus importante de dépôt se forme dans les intervalles PE03-04 et PE04-05 et qu'en général, le dépôt le plus épais pour les mesures restantes ne dépasse pas 0,060 pouce (1,52 mm) puisqu'il n'y a aucun résultat de mesure entre 0,061 pouce et 0,070.

Le tableau suivant présente les résultats de l'accumulation des volumes (en cm³) par étendue de mesure et boîte à eau.

Etendue de mesure		Intervalles	Branche Chaude	Branche Froide
PT	01	14	3 8935,7	11 446,4
01	02	16	5 2058,4	42 226,2
02	03	16	7 0590,6	18 835,3
03	04	16	11 0971,6	20 598,5
04	05	16	11 6852,9	26 656,8
05	06	16	10 4225,0	37 706,6
06	07	16	8 9037,5	51 443,9
07	08	16	7 8638,2	62 887,0

Le volume de dépôt pour un intervalle a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{volume_intervalle} = \text{hauteur_intervalle} * \text{PI} * \text{épaisseur_intervalle} * (\text{DE_tube} + \text{épaisseur_intervalle})$$

où :

- hauteur_intervalle correspond à cinq pouces
- PI correspond à 3,14159
- DE est le diamètre externe du tube
- épaisseur_intervalle correspond à l'épaisseur mesurée en pouces
- DE_tube correspond à 0,875 pouce (22,22 mm)

Le tableau suivant montre la charge de dépôt estimée en fonction de l'étendue de mesure et de la branche. Les valeurs sont ajustées pour prendre en compte le nombre de tubes contrôlés par rapport au nombre total de tubes. Alors que les amplitudes absolues dépendent de la réponse de la valeur de référence à la condition de dépôt dans le générateur de vapeur, les valeurs relatives montrent nettement la répartition spatiale des dépôts dans le faisceau tubulaire.

	Branche chaude	Branche froide	Branche chaude	Branche froide
Etendue de mesure	(lb)	(lb)	(kg)	(kg)
1(PS à PE 1)	304	89	138	40
2 (PE 1 à PE 2)	360	292	163	132
3 (PE 2 à PE 3)	488	130	221	59
4 (PE 3 à PE 4)	767	142	348	64
5 (PE 4 à P 5)	808	184	367	83
6 (PE 5 à PE 6)	720	261	327	118
7 (PE 6 à PE 7)	615	356	279	161
8 (PE 7 à PE 8)	545	436	247	198
Total	4 607	1 890	2 090	855
Total général	6 497		2 945	

CONCLUSIONS

Cette technique ne mesure pas les composants du dépôt qui se trouvent hors de portée de la sonde à courants de Foucault (par exemple, dépôts dans la zone de séchage, sur l'enveloppe et les surfaces de la calandre), ni les dépôts au niveau des plaques entretoises et dans le cintre. Cependant, ces zones mesurées (à savoir, section droite de tube entre deux plaques entretoises) sont celles susceptibles d'affecter de façon significative les performances et l'efficacité thermo-hydrauliques.

Mesure de l'encrassement

De nombreux facteurs sont impliqués dans la caractérisation des dépôts de GV. Les examens télévisuels (ETV), par exemple, fournissent une mesure de ces dépôts mais aucun résultat ne fournit une image complète de la répartition du dépôt dans le générateur de vapeur comme le permet la mesure par courants de Foucault.

Répartition spatiale de l'encrassement

La visualisation du dépôt permet une représentation en trois dimensions de la répartition des dépôts dans le générateur de vapeur. Ces informations sont importantes d'abord pour le choix de techniques appropriées d'élimination de dépôts et ensuite pour la détermination de leur efficacité. La répartition peut également indiquer les zones pour lesquelles les performances de détection de défauts risquent d'être sérieusement dégradées.