

AIDE AU DIAGNOSTIC DE L'EXAMEN DE LA SOUDURE VOLUTE SUR DIFFUSEUR DES GMPP DES PALIERS 900MW

TOOL FOR DIAGNOSTIC OF VOLUTE ON DIFFUSER WELD OF REACTOR COOLANT PUMP OF FRENCH NUCLEAR POWER PLANT 900MW

H. Cygan¹,

1 : EDF CEIDRE- 2 rue Ampère – 93206 SAINT-DENIS

Tél. 01 43 69 76 73 – Fax. 01 43 69 91 04

E-mail : herve.cygan@edf.fr

Résumé

Que ce soit par la multiplicité du nombre de voies d'acquisition des postes ultrasons ou par l'utilisation de traducteurs multiéléments, on dispose aujourd'hui de la technologie suffisante pour réaliser plusieurs observations d'un même phénomène au cours d'un même contrôle. Cette multiplicité apporte de l'information qui est souvent analysée individuellement. On propose dans cet article d'introduire la notion de fusion de données dans le but de traiter la diversité de l'information de façon globale et d'apporter à l'expert en charge d'émettre un avis un nouvel éclairage susceptible de l'aider à prendre une décision. Pour cela on illustre l'apport de la fusion de données sur l'examen d'un assemblage soudé particulièrement difficile à contrôler de par la nature même des matériaux qui le composent : des aciers austénoferritiques moulés.

Abstract

Acquiring several data records of a phenomenon with a single ultrasonic examination process is currently being achieved by using phased array technology or multiple channel acquisitions. The range of information is then separately analysed. The following article introduces the concept of data fusion which goal is to process the diversity of information at once, giving the expert in charge a new tool for proper decision. A challenging welded assembly to control, made of stainless steel casting, is given as an illustration, demonstrating the benefit of data fusion.

INTRODUCTION

Les pompes primaires des centrales REP 900 MW sont de type hélico-centrifuge à aspiration verticale et à refoulement horizontal via un diffuseur. Ce diffuseur est soudé sur la partie supérieure de la volute de pompe primaire (vue d'ensemble voir Figure 1).

L'assemblage soudé est donc constitué :

- D'un diffuseur en acier inoxydable austénoferritique moulé, de type CF8
- D'une volute de pompe primaire en acier inoxydable austénoferritique moulé de type CF8
- D'une soudure en acier inoxydable austénitique de type 304 L (passe de racine en TIG et remplissage à l'électrode enrobée)

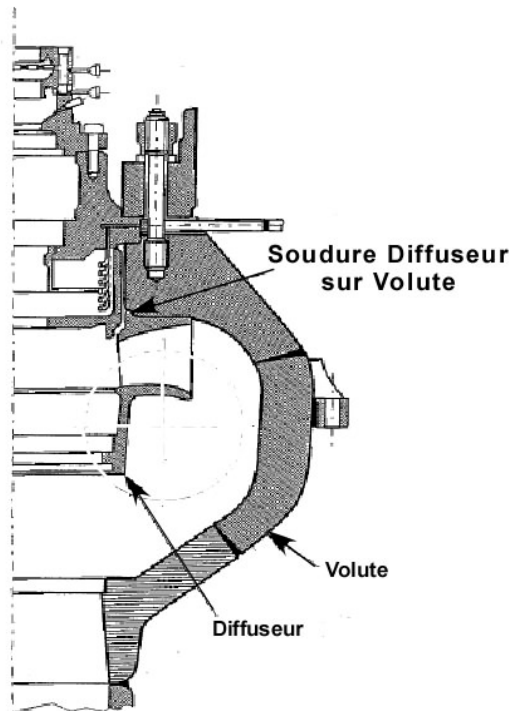


Figure 1 : ensemble soudé diffuseur - volute

L'encastrement du diffuseur dans la volute constitue une zone singulière qui subit en service des sollicitations thermomécaniques susceptibles de provoquer l'amorçage d'une fissure de fatigue aux abords de la racine de la soudure (voir schéma figure 2). Une étude de sûreté a conclu au caractère non nocif de ce défaut vis à vis de l'intégrité de l'enceinte de la pompe primaire.

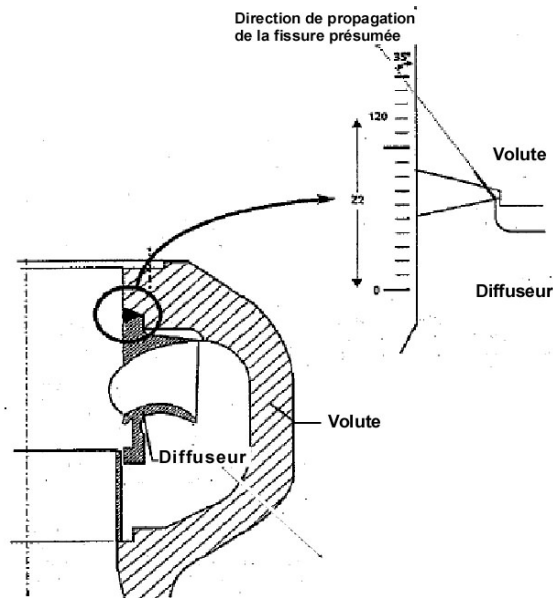


Figure 2 : Vue en coupe de la soudure

Cependant EDF s'est engagé à suivre en exploitation cette soudure sur un panel représentatif de pompes du parc REP 900MW. Cet examen est soumis à l'arrêt du

10/11/1999 et sa circulaire d'application qui impose la qualification du procédé d'END. La qualification de l'examen par ultrasons robotisé a été obtenue en 2001.

L'examen met en œuvre une platine composée de plusieurs traducteurs :

- Un traducteur OL 0°,
- Un traducteur OL 35° dit « montant », utilisé pour la détection,
- Un traducteur OL 35° dit « descendant »,
- Deux traducteurs OL 35° montés en tandem.

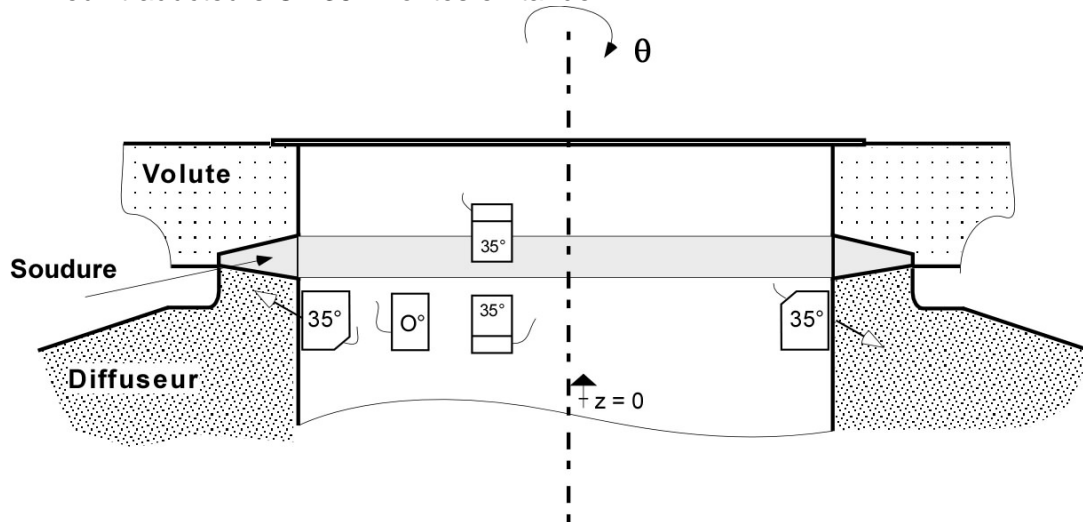


Figure 3 : Schéma du dispositif d'examen – mouvement en Z et θ

La procédure d'examen définit les paramètres essentiels à vérifier pour que la performance de l'examen puisse être revendiquée. Lorsque ce n'est pas le cas, un avis d'expert est émis en tenant compte de l'ensemble des informations disponibles et des incertitudes inhérentes au matériau examiné et à la technique mise en œuvre.

Dans cet article nous proposons d'apporter à l'expert un outil d'aide à la décision : la fusion de données. C'est un outil mathématique, parmi d'autres, modélisation [1], traitement du signal [2], qui a vocation à se développer pour répondre aux problèmes toujours plus nombreux qui accompagnent le déploiement de nouvelles technologies dans les industries métallurgiques. Dans un premier temps nous expliquerons le principe de la fusion de données, puis nous présenterons un exemple d'application portant sur l'examen de la soudure volute sur diffuseur. Enfin nous conclurons sur les possibilités que peut offrir la fusion de données pour améliorer la prise de décision.

LA FUSION DE DONNEES

Définition

D'une façon très générale, on peut définir la fusion de données comme une méthode qui « consiste à combiner des informations issues de plusieurs sources afin d'améliorer la prise de décision » [3].

Derrière cette définition se cachent plusieurs notions essentielles à la compréhension de la fusion de données. La première d'entre elles est la nécessité de disposer de plusieurs sources (traducteurs) qui « observent » le même phénomène.

Une seconde notion est que l'information issue d'une source est par nature imparfaite. Cette imperfection peut prendre diverses formes [4] :

- incertitude,
- imprécision,
- incomplétude,
- ambiguïté
- conflit.

De même que les différentes informations comportent des imperfections, elle peuvent également contenir des éléments « positifs » qu'il faut pouvoir exploiter (redondance, complémentarité).

Principe

La fusion offre un cadre pour traiter les données et leurs imprécisions, pour cela plusieurs étapes sont nécessaires

- *Première Etape* : la modélisation des informations : elle comporte le choix d'un formalisme pour représenter les informations à fusionner, leur imprécision et leur incertitude. A l'issue de cette étape, on obtient une expression mathématique des informations issues de chaque source,
- *Deuxième Etape* : la combinaison : son but est de traiter les informations précédentes selon des règles dépendant de l'opérateur retenu pour combiner. Cet opérateur doit être compatible avec le formalisme adopté,
- *Troisième Etape* : la prise de décision : une décision parmi l'ensemble des décisions possibles est retenue, à partir des informations combinées.

Trois approches existent pour formaliser les connaissances. Elles sont basées sur la théorie probabiliste [5], sur la théorie des possibilités [6], ou sur la théorie des fonctions de croyance [7].

APPLICATION DE LA FUSION A L'EXAMEN DE LA SOUDURE VOLUTE SUR DIFFUSEUR

La faisabilité du contrôle par ultrasons d'une soudure austénitique ne peut être examinée qu'au cas par cas, en fonction de la constitution de l'assemblage (métal de base, épaisseur, procédé de soudage, traitement thermique). Dans notre application, l'assemblage à inspecter présente des hétérogénéités acoustiques tant dans la soudure austénitique que dans le métal moulé de la volute et du diffuseur.

Le résultat est influencé par la présence de gros grains anisotropiques et/ou d'une structure basaltique (dendrites), caractéristiques du métal fondu austénitique. La grosseur, la distribution et l'anisotropie élastique des différents grains peuvent provoquer une forte diffusion, des conversions de modes (réflexion, réfractions), une distorsion du faisceau et des variations de vitesses de propagation des ondes US en fonction de leurs direction et position dans la soudure. Ces différents effets sont partiellement présents dans les mesures dites de perméabilité acoustique sur le matériau. Or en cas de non respect des paramètres essentiels de la procédure d'examen, l'expert devra tenir compte de cette mesure de perméabilité acoustique locale, information imparfaite, pour émettre son avis.

On se propose ici de fusionner en utilisant la théorie des fonctions de croyance les informations issues du traducteur OL 0° et des traducteurs OL 35° montés en tandem sur la paroi verticale située sous la zone fondue constitutive de la soudure (voir figure 3). Pour cela on s'intéresse aux représentations Cscan (figure 5) obtenues lors de l'examen de la soudure sur toute sa circonférence.

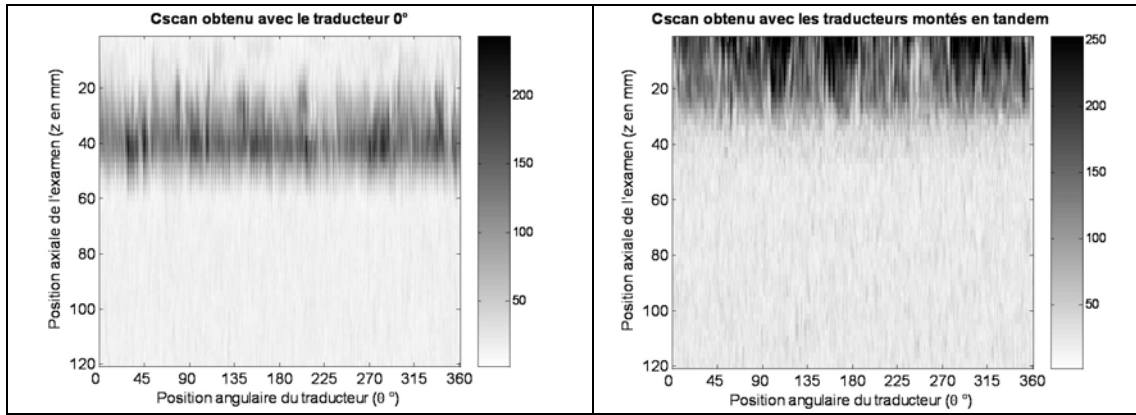


Figure 5 : Représentations Cscan

Les échos visibles sur ces deux Cscans sont issus de la réponse de la paroi verticale. Les variations d'intensité de la réponse de cette paroi peuvent également être vues comme une variation locale de la perméabilité acoustique. Si chacun des Cscans témoigne d'une perméabilité suivant des orientations de contrôle différentes, aucun n'est réellement représentatif de la perméabilité que rencontre le traducteur dédié à la détection (OL 35° montant - voir. Figure 6).

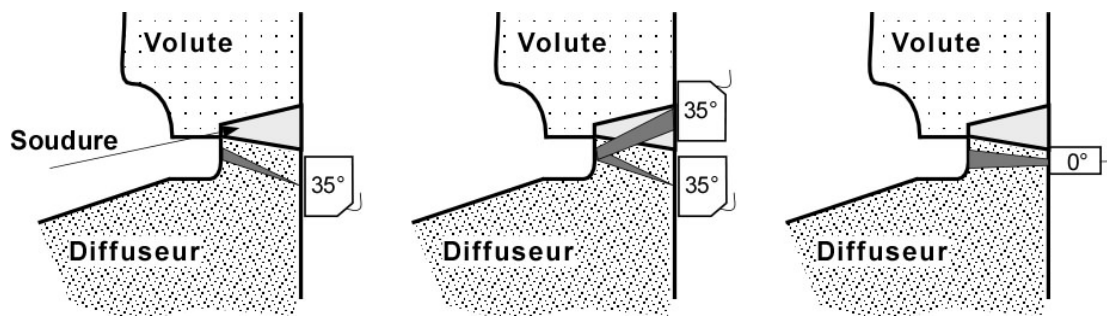


Figure 6 : Représentations des faisceaux pendant l'examen – OL 35° montant dédié à la détection – OL 35° tandem, mesure de perméabilité – OL 0° autre mesure de perméabilité

La fusion des informations issues des traducteurs OL 0° et OL 35°tandem a pour but d'évaluer un critère analytique (μ) associé à la perméabilité acoustique estimée en fonction de la position angulaire de l'examen. Pour cela, on procède comme suit :

- On cherche la valeur de μ , μ pouvant prendre une valeur dans $\Omega = \{0, \dots, 255\}$, l'acquisition se faisant en 8 bits (ensemble Ω appelé cadre de discernement), on définit n sous-ensembles du cadre de discernement appelé $A_i, i \in [1, n]$ et $\forall i, A_i \subset \Omega$.
- Pour chaque traducteur T on définit un jeu de masse ($m_{0^\circ}^\Omega$ et $m_{35^\circ t}^\Omega$) qui permet de modéliser l'information qu'apporte un traducteur T et ce jeu de masse vérifie :

$$\sum_{A_i \subset \Omega} m_T^\Omega(A_i) = 1$$

Concrètement pour évaluer $m_T^\Omega(A_i)$ on compte dans l'information fournie par le traducteur T le nombre de fois où l'intervalle A_i est représenté, une fois chaque masse définie, on normalise pour ramener la somme des masses à 1.

- On combine ces masses en appliquant la règle de combinaison conjonctive

$$(m_{0^\circ}^\Omega \cap m_{35^\circ t}^\Omega)(B) = m^\Omega(B) = \sum_{A_i \cap A_k = B} m_{0^\circ}^\Omega(A_i) m_{35^\circ t}^\Omega(A_k), \forall B \subset \Omega \quad i \in [1, n], k \in [1, n]$$

- On prend une décision sur la valeur de μ en appliquant le critère du maximum de probabilité pignistique [8].

$$\text{BetP}(n) = \sum_{A_i \subset \Omega} \frac{m^\Omega(A_i)}{\text{Card}(A_i)}, \forall n \in \Omega$$

$$\text{et } \mu = \left\{ k / \text{BetP}(k) > \text{BetP}(m), \forall (m, k) \in \Omega^2 \text{ et } k \neq m \right\}$$

On obtient le résultat suivant :

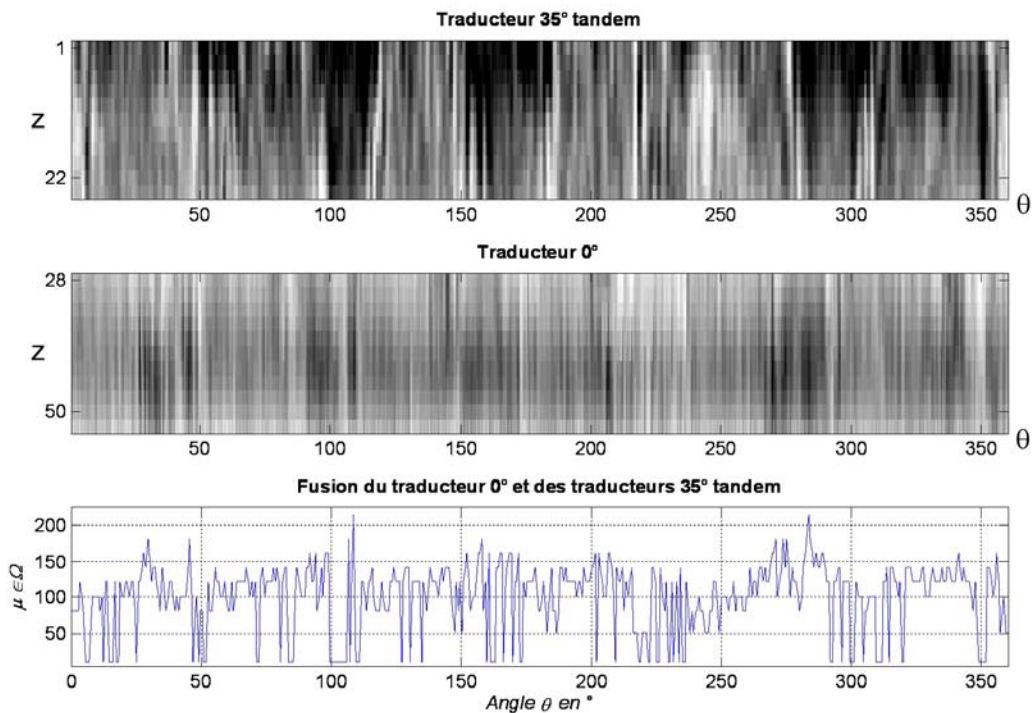


Figure 7 : Résultats de la fusion

Les deux premières images représentent la réponse de la paroi verticale lors de l'examen (Cscans). On remarque une forte disparité en fonction de la position angulaire (θ) de l'examen mais également en fonction de sa position radiale (z). On note aussi que l'information fournie par chaque traducteur est parfois corrélée (autour de 280°) mais aussi parfois décorrélée (autour de 350°).

La courbe représente la valeur μ , critère associé à la perméabilité acoustique, en fonction de la position angulaire d'examen. Plus la valeur de μ est élevée et plus la perméabilité globale (sur l'ensemble de la position radiale pour un angle d'examen donné) est estimée bonne. On retrouve effectivement sur cette courbe, des valeurs pics aux alentours des positions 45° , 110° , 157° ou 280° . On trouve localement des valeurs du critère μ faibles ou très faibles qui peuvent s'expliquer de différentes manières :

- La réponse de la paroi obtenue sur le traducteur 0° et les traducteurs 35° tandem est faible (par exemple à 240°), ce qui traduit potentiellement une hétérogénéité dans la matière. La valeur obtenue de μ est faible et du même ordre que les réponses.
- La réponse de la paroi obtenue sur une des voies (0° ou traducteurs 35° tandem) est élevée mais faible sur l'autre (par exemple à 350°). On pourra soupçonner alors un problème d'anisotropie locale favorisant un angle d'examen et pas l'autre. La valeur de μ obtenue après fusion est alors très faible.
- La réponse le long de la paroi n'est pas homogène sur les deux voies (exemple à 100°). Le résultat μ issu de la fusion est alors faible, traduisant un problème de perméabilité dont devra tenir compte l'expert.

Il faut bien voir la valeur de μ comme un critère, un outil, dont dispose l'expert pour appréhender localement les problèmes métallurgiques influant sur l'examen. On ne peut pas à partir de la valeur de μ et des données issues de l'étalonnage des traducteurs remonter à une valeur « moyenne de la perméabilité » pour une position θ du contrôle.

Dans ce cas-ci, la fusion apporte une vision globale à l'expert qui s'appuiera également sur d'autres éléments pour rendre ses conclusions.

CONCLUSION

L'examen par ultrasons des assemblages soudés en acier austénitique (moulé ou non) est un exercice qui demande une bonne connaissance des phénomènes physiques pouvant intervenir et une bonne maîtrise des paramètres de mise en œuvre de l'examen. La multiplicité des angles de contrôle est un plus qui apporte une somme d'informations qu'il faut analyser. Le spécialiste doit intégrer toute cette information, généralement au travers de son expérience et de son savoir faire. La fusion de données apporte un cadre mathématique à cette intégration. Elle n'a pas vocation à remplacer l'expert ou le spécialiste mais à lui apporter une aide à la prise de décision.

La fusion de données étant un outil intéressant dès lors que le nombre de sources augmente, son utilisation industrielle devrait se développer dans le sillage des traducteurs multiéléments.

Dans notre exemple, la fusion de deux voies de contrôle avec des angles différents (0° et 35° tandem) permet de déterminer un critère nous renseignant sur le niveau de perméabilité du composant en fonction de la position angulaire de l'examen. Les deux traducteurs sont supposés apporter autant d'information l'un que l'autre. Cette hypothèse n'est pas forcément réaliste car l'un des traducteurs peut être plus fiable que l'autre. Dans ce cas, on pourrait affiner la fusion en introduisant un coefficient d'affaiblissement sur les masses de la source jugée moins « fiable » ce qui a pour conséquence de réduire les conflits lors de l'étape de combinaison.

REFERENCES

- [1] B. Chassignole D. Villard A. Schumm et T. Fouquet « Use of modelling for the ultrasonic non destructive testing of austenitic stainless steel welds », Proceeding of 3rd ICNDE, Seville, 2001
- [2] S. Kwun and J. Byeon, «Experimental wavelet analysis and applications to ultrasonic non destructive evaluation», World Conference on Non Destructive Testing, Roma, October 2000
- [3] I. Bloch H. Maître, *Les méthodes de raisonnement dans les images*, ENST, département TSI, CNRS UMR 5141 LTCl, Avril 2004.
- [4] D. Dubois et H. Prade, « Possibility theory », Plenum Press, New York edition, 1988
- [5] R.O. Duda et O.E. Hart, *Pattern classification and scene analysis*, John Wiley and Sons edition, 2001.
- [6] L.A. Zadeh, *Fuzzy Sets – Information and Control*, 3 : 338 – 353, 1965
- [7] A.P. Dempster, « A generalization of bayesian inference, Journal of the Royal Statistical Society, 30 : 205 – 247, 1968
- [8] P. Smets et R. Kennes. « The transferable belief model », Artificial Intelligence, 66 : 191-234, 1994.