

SONDE MULTIÉLÉMENTS COURANTS DE FOUCAULT POUR LE CONTRÔLE DE TUBES D'ÉCHANGEURS EN TITANE *EDDY CURRENT ARRAY PROBE FOR TUBES TESTING OF TITANIUM EXCHANGERS*

LAVIE B., PEZERON P., TOUDIC E. (DCNS CESMAN)
TREMBLAY C. (Société ZETEC)

Résumé

Dans le cadre de ses contrats, DCNS assure la conception, la réalisation et la maintenance d'échangeurs en titane pour bâtiments de surface et sous-marins de la Marine Nationale. Dans ce cadre, la connaissance de l'état de santé des tubes composant l'échangeur passe par la mise en place d'exams non destructifs, en l'occurrence, les courants de Foucault. Actuellement, le contrôle de la totalité d'un tube nécessite l'application de deux sondes courants de Foucault, l'une axiale (contrôle des parties droites des tubes) et l'autre tournante (contrôle au niveau des sorties de plaque à tubes et des plaques intermédiaires). Ces deux opérations engendrent une longue durée de contrôle. L'utilisation d'une sonde multiéléments permet de faire en un seul passage l'examen complet du tube, ceci rendant la méthode plus efficace et performante.

Abstract

DCNS is contractually obliged to deliver titanium exchangers for vessels and submarines of the French Navy and is responsible for their design, production and maintenance. Therefore, it is necessary to regularly perform non destructive testing with eddy current devices in order to evaluate the condition of the exchangers. Indeed, the control of a whole tube structure requires the use of two different eddy current probes (axial and rotating). These two methods generate a quite slow testing. The use of a single array probe designed for eddy current testing would make the process much quicker and thus, competitive.

CONTEXTE

Dans le cadre de ses missions, DCNS s'appuie sur le Centre d'Expertise des structures et Matériaux Navals (CESMAN) pour la réalisation de prestations de R&D, d'assistance et d'expertises en matériaux et structures entrant dans la conception et l'équipement de navires, ainsi que des contrôles associés.

A ce titre, une étude a été lancée au sein du CESMAN afin d'étudier les performances d'une méthode de contrôle courants de Foucault par sonde multiéléments. De façon plus précise, l'étude porte sur la faisabilité de la détection de défauts en sortie de plaque à tubes en limite de la zone de transition d'expansion de tubes en titane montés sur échangeurs.

Le développement de la sonde CF multiéléments CBX (Circ Bobin Xprobe) a été mené dans le but d'une utilisation future sur les échangeurs actuels et futurs de DCNS utilisant des tubes en titane et en remplacement de la méthode actuelle (sondes axiale et tournante).

EXIGENCES TECHNIQUES

Le but recherché est de vérifier la faisabilité de détection des défauts du type fissure en pied de tube. En effet, les défauts susceptibles d'apparaître sur les tubes en titane montés sur échangeurs sont principalement des fissures de fatigue circumférentielles externes au niveau de l'encastrement en pied de tube en limite de la Zone de Transition d'Expansion (ZTE).

LA MAQUETTE

La maquette utilisée pour cette étude est une plaque à tubes en titane T60 comportant des tubes en titane T40 dudgeonnés sur la maquette (figure 1).



Figure 1 : Maquette

Les dimensions des tubes en titane T40 sont de l'ordre de 15mm de diamètre extérieur avec une épaisseur de 1,7mm sur une longueur de 200mm. Sur chacun des tubes, des défauts artificiels ont été réalisés par électroérosion.

Le tableau 1 donne la liste de l'ensemble des défauts et leurs caractéristiques sur chacun des tubes présents sur la maquette.

nature du défaut artificiel	dimensions	rapport p/e en %	repère
fente longitudinale externe	10.0 x 0.15 x 0.34	20	3522
fente longitudinale externe	10.0 x 0.16 x 0.68	40	3523
fente longitudinale externe	10.0 x 0.16 x 1.01	59	3524
fente longitudinale externe	10.0 x 0.16 x 1.37	81	3525
fente longitudinale externe	10.0 x 0.17 x 1.70	100	3526
fente longitudinale interne	10.0 x 0.16 x 0.33	19	3527
fente longitudinale interne	10.0 x 0.16 x 0.68	40	3528
fente longitudinale interne	10.0 x 0.17 x 1.01	59	3529
fente longitudinale interne	10.0 x 0.16 x 1.36	80	3530
fente circonférentielle externe	90° x 0.15 x 0.68	40	3531
fente circonférentielle externe	90° x 0.17 x 1.01	59	3532
fente circonférentielle externe	120° x 0.14 x 0.33	19	3533
fente circonférentielle externe	120° x 0.15 x 0.67	39	3534
fente circonférentielle externe	120° x 0.16 x 1.01	59	3535
fente circonférentielle externe	120° x 0.15 x 1.36	80	3536
fente circonférentielle externe	12.1 x 0.17 x 1.70	100	3537
fente circonférentielle interne	120° x 0.16 x 0.34	20	3538
fente circonférentielle interne	120° x 0.15 x 0.67	39	3539
fente circonférentielle interne	120° x 0.18 x 1.01	59	3540
fente circonférentielle interne	120° x 0.15 x 1.35	79	3541
fente circonférentielle externe	120° x 0.16 x 1.01	59	3542
fente circonférentielle externe	120° x 0.16 x 1.03	61	3543
fente circonférentielle externe	120° x 0.15 x 1.02	60	3544
fente circonférentielle externe	120° x 0.14 x 1.02	60	3545
fente circonférentielle externe	90° x 0.139 x 0.669	39	4318
fente circonférentielle externe	120° x 0.139 x 0.336	20	4319

Tableau 1 : Caractéristiques des défauts artificiels

Les défauts artificiels réalisés sont essentiellement longitudinaux et circonférentiels, soit situés en face externe ou interne du tube. Les rapports de profondeur/épaisseur varient de 20 % à 100 %. Les figures 2 et 3 présentent les schémas de deux cas de défauts (fente longitudinale interne et fente circonférentielle externe).

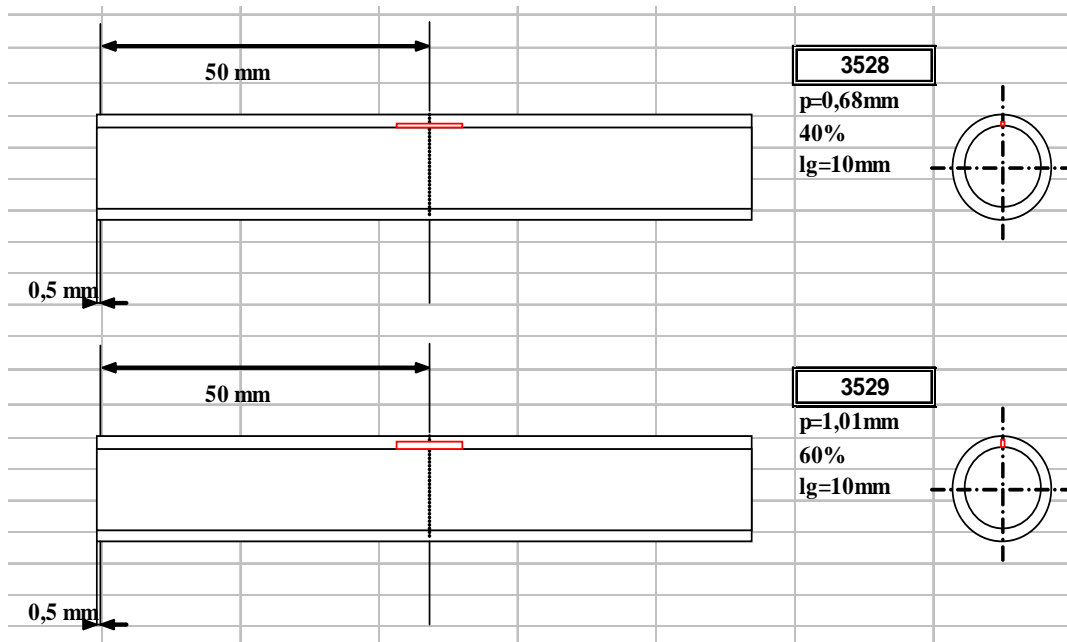


Figure 2 : Fentes longitudinales internes

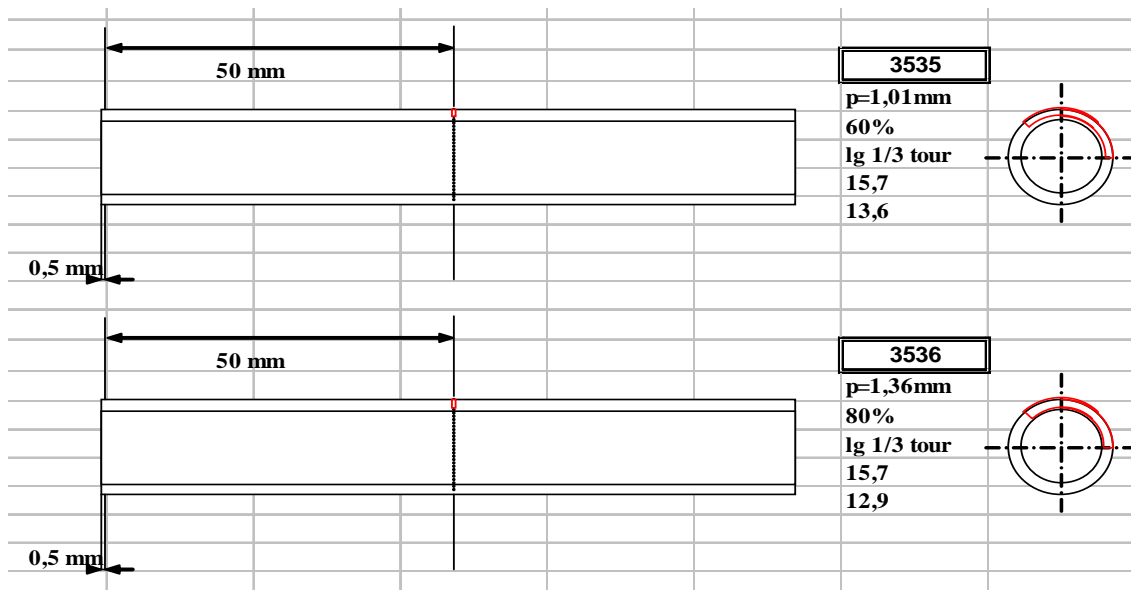


Figure 3 : Fentes circonférentielles externes au ras de la plaque

EQUIPEMENT DE CONTROLE

Le générateur de courants de Foucault TC 7700 de chez ZETEC a été utilisé pour cette étude avec un PC DELL Latitude D810 de pilotage doté du logiciel ECVision V1.1 (figure 4).

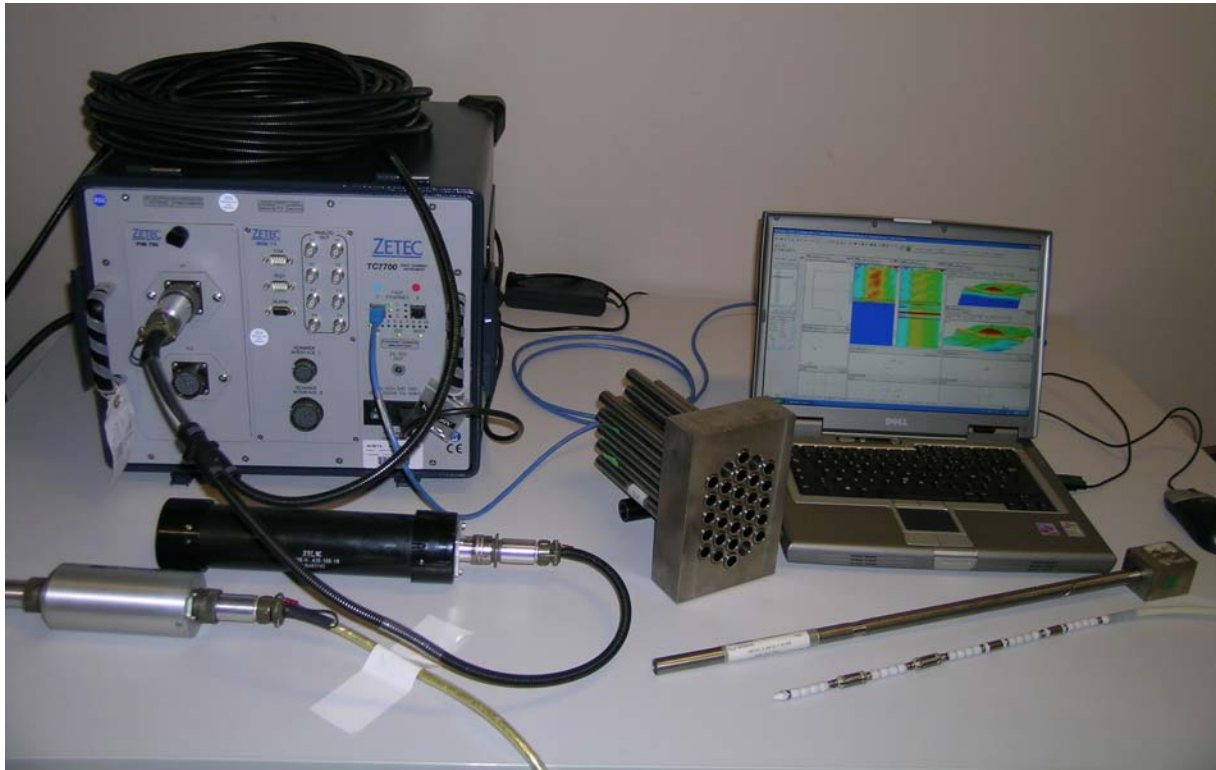


Figure 4 : Système d'acquisition et d'analyse

La sonde CF multiéléments CBX (Circ Bobin Xprobe) provient de chez ZETEC. Elle est constituée de 4 parties (figure 5) :

- Partie 1 : partie sonde SAX (sonde **axiale**)
- Partie 2 : partie array formée d'une couronne de 12 bobines fournissant 12 canaux CF. Un canal CF est construit à partir des informations provenant de 2 bobines fonctionnant en émission réception séparées. Pour refermer la boucle 2 bobines sont réutilisées en réception d'où le fait que l'on obtient 12 canaux à partir de 12 bobines.
- Partie 3 : multiplexeur intégré
- Partie 4 : c'est le lieu où les fils coaxiaux provenant de la gaine de sonde et ceux provenant du multiplexeur sont reliés entre eux.



Figure 5 : Sonde multiéléments CF (CBX)

METHODOLOGIE D'EXAMENS

La phase d'étalonnage a été réalisée à partir d'un tube de calibration comportant les défauts nécessaires à l'étalonnage des Cscans, c'est-à-dire une expansion et une gorge circonférentielle externe de longueur 12,7 mm.

L'étalonnage consiste à :

- Ramener le signal d'expansion (similaire à un lift off) sur l'axe réel de variation d'impédance en réglant la phase à 0°,
- Régler l'amplitude du signal de gorge circonférentielle externe à 2 Volts.

Les acquisitions sur la maquette ont été réalisées en injectant simultanément dans la sonde CBX deux fréquences d'excitation (50kHz et 100kHz). La détection des défauts est réalisée à partir des représentations Cscans.

RESULTATS

Le tableau 2 fait le bilan de la détection des défauts pour chaque tube contrôlé avec la sonde CF multiélément CBX aux fréquences de contrôle.

nature du défaut artificiel	dimensions	rapport p/e en %	repère	Détection
fente longitudinale externe	10.0 x 0.15 x 0.34	20	3522	
fente longitudinale externe	10.0 x 0.16 x 0.68	40	3523	
fente longitudinale externe	10.0 x 0.16 x 1.01	59	3524	
fente longitudinale externe	10.0 x 0.16 x 1.37	81	3525	√
fente longitudinale externe	10.0 x 0.17 x 1.70	100	3526	√
fente longitudinale interne	10.0 x 0.16 x 0.33	19	3527	
fente longitudinale interne	10.0 x 0.16 x 0.68	40	3528	
fente longitudinale interne	10.0 x 0.17 x 1.01	59	3529	√
fente longitudinale interne	10.0 x 0.16 x 1.36	80	3530	√
fente circonférentielle externe	90° x 0.15 x 0.68	40	3531	√
fente circonférentielle externe	90° x 0.139 x 0.669	39	4318	√
fente circonférentielle externe	90° x 0.17 x 1.01	59	3532	√
fente circonférentielle externe	120° x 0.14 x 0.33	19	3533	√
fente circonférentielle externe	120° x 0.139 x 0.336	20	4319	√
fente circonférentielle externe	120° x 0.15 x 0.67	39	3534	√
fente circonférentielle externe	120° x 0.16 x 1.01	59	3535	√
fente circonférentielle externe	120° x 0.15 x 1.36	80	3536	√
fente circonférentielle externe	12.1 x 0.17 x 1.70	100	3537	√
fente circonférentielle externe	120° x 0.16 x 1.01	59	3542	√
fente circonférentielle externe	120° x 0.16 x 1.03	61	3543	√
fente circonférentielle externe	120° x 0.15 x 1.02	60	3544	√
fente circonférentielle externe	120° x 0.14 x 1.02	60	3545	√
fente circonférentielle interne	120° x 0.16 x 0.34	20	3538	√
fente circonférentielle interne	120° x 0.15 x 0.67	39	3539	√
fente circonférentielle interne	120° x 0.18 x 1.01	59	3540	√

Tableau 2 : Résultats de la détection des défauts de référence par la sonde CBX

Pour les défauts longitudinaux, les plus profonds sont détectés (60 % et plus pour les fentes internes, 80 % et plus pour les fentes externes).

Pour les défauts circonférentiels, ils sont tous détectés. La détection des défauts de profondeur (40% et plus) ne pose aucun problème. Pour les défauts de profondeur 20%, la détection est facilitée par un traitement particulier des Cscans au moyen de filtres.

Les figures 6 et 7 présentent deux cas illustrant la qualité de détection de défauts longitudinal et circonférentiel au niveau de la sortie de plaque à tubes, c'est-à-dire dans la Zone de Transition d'Expansion (ZTE).

ZTE

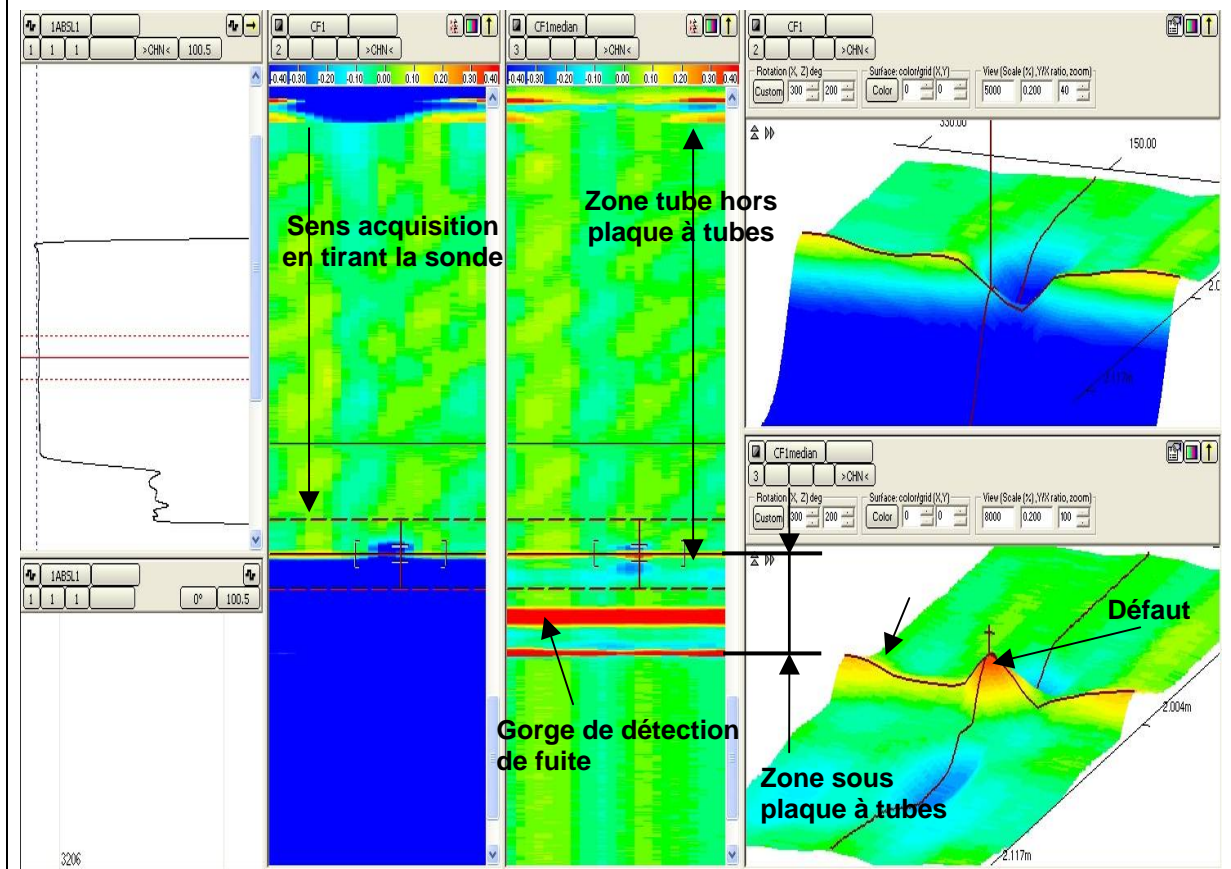


Figure 6 : Fente longitudinale interne 80 % (Tube 3530)

ZTE

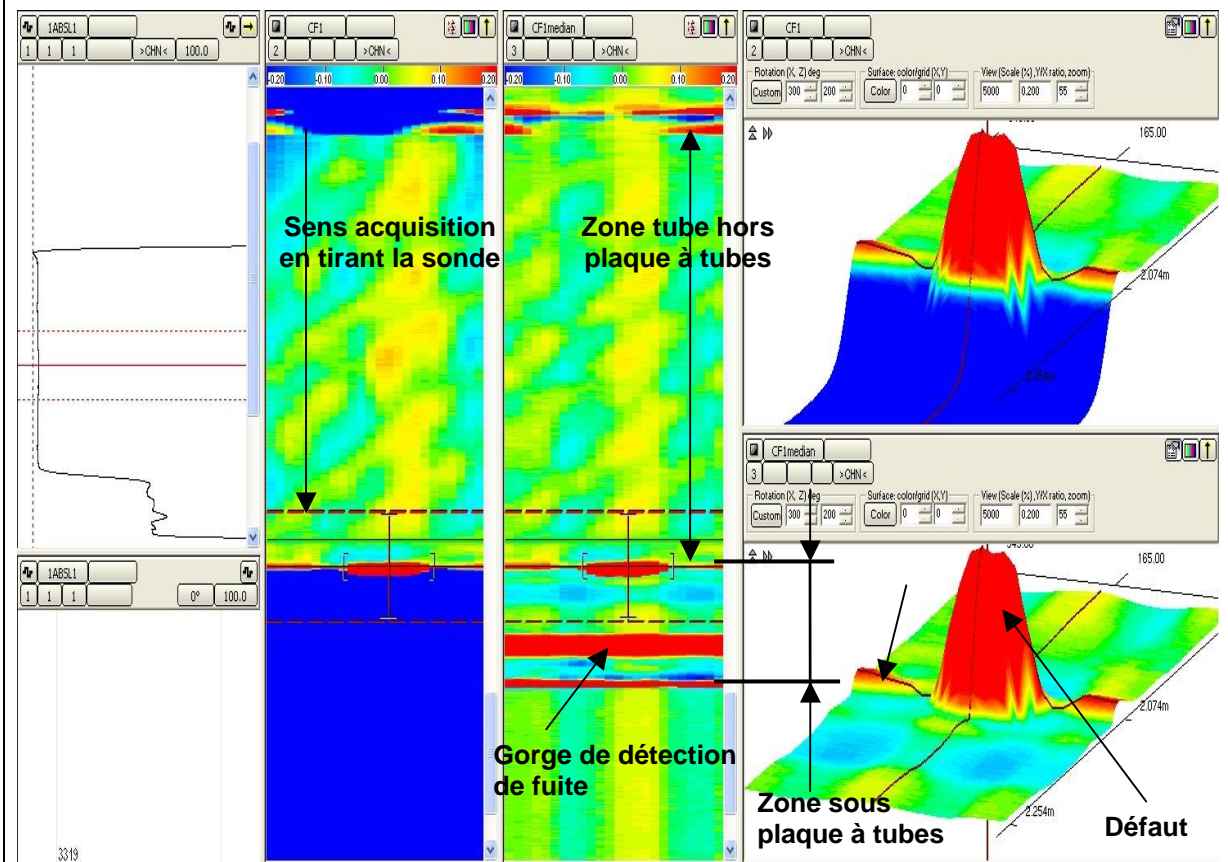


Figure 7 : Fente circumférentielle externe 60 % / 120° (Tube 3542)

De plus, il a pu être mis en évidence sur une même acquisition l'inaptitude de détection de défaut en sortie de plaque à tubes par la partie SAX (partie 1 de la sonde CBX) alors que la partie array (partie 2 de la sonde CBX) a mis en évidence la présence de celui-ci. Cette constatation est illustrée sur la figure 8.

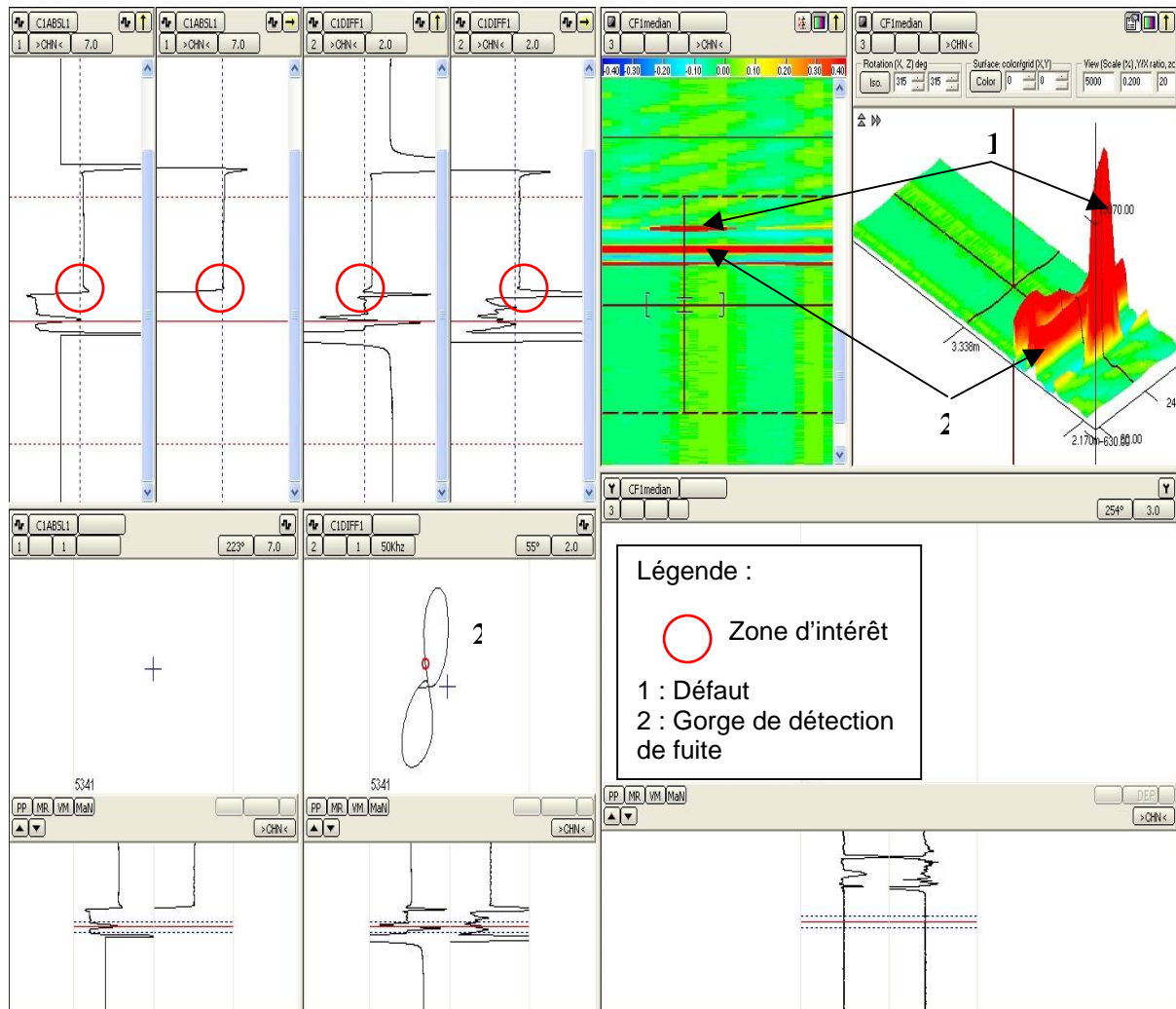


Figure 8 : Fente circonférentielle externe 80 % / 120° (Tube 3536)

La zone d'intérêt entourée en rouge ci-dessus correspond à la Zone de Transition d'Expansion (ZTE) située en sortie de plaque à tubes, ces signaux sont obtenus par la partie SAX de la sonde CBX. L'absence de signal de défaut au niveau de la ZTE montre l'incapacité de la partie SAX à détecter la présence ou non de défaut.

En l'occurrence, la présence de défaut est réelle. On peut observer sur les Cscans de la figure ci-dessus la présence d'un défaut au niveau de la ZTE. Ces Cscans sont obtenus par la partie array de la sonde CBX.

PERFORMANCES

Sensibilité de détection

Même si les défauts recherchés en pied de tube en limite de la Zone de Transition d'Expansion étaient des défauts circonférentiels externes, les essais réalisés avec la sonde CF multiéléments CBX ont permis la détection des défauts longitudinaux les plus profonds (60 % et plus pour les fentes internes, 80 % et plus pour les fentes externes).

Tous les défauts circonférentiels ont été quant à eux détectés. La mise en évidence des défauts, en particulier ceux les moins profonds, est facilitée par un traitement particulier des Cscans au moyen de filtres.

Vitesse

L'intérêt principal d'utiliser une telle sonde CF multiéléments (CBX) par rapport à une sonde tournante réside dans le fait qu'elle peut être mise en œuvre comme une sonde axiale SAX. De plus, sa vitesse de défilement est de l'ordre de 50 cm/s au lieu de 1 cm/s pour une sonde tournante.

CONCLUSION

L'étude lancée au sein du CESMAN par DCNS a permis le développement d'une sonde CF multiéléments CBX (Circ Bobin Xprobe) afin d'étudier la faisabilité de détection de défauts en sortie de plaque à tubes en limite de la zone de transition d'expansion de tubes en titane montés sur échangeurs.

Le but final était d'évaluer les performances de détection de cette sonde en vue d'un remplacement de la méthode actuelle. Aujourd'hui, le contrôle de la totalité d'un tube nécessite l'application de deux sondes courants de Foucault, l'une axiale (contrôle des parties droites des tubes) et l'autre tournante (contrôle au niveau des sorties de plaque à tubes et des plaques intermédiaires).

Les performances obtenues en terme de détection, notamment sur les défauts circonférentiels externes (seul type de défaut à priori attendu), montrent la qualité de détection de la sonde CF multiéléments CBX, en particulier la partie array de la sonde.

La vitesse de défilement de la sonde CBX est 50 fois plus rapide que celle d'une sonde tournante.

De plus, la sonde CBX est dotée d'une partie SAX qui permet le contrôle des parties droites des tubes en dehors des plaques à tubes et plaques intermédiaires. Une telle sonde permet donc de faire en un seul passage l'examen complet du tube.

PERSPECTIVES

Une étude complémentaire devra démontrer les performances de cette sonde CF multiéléments CBX au niveau des plaques intermédiaires (recherche de fretting).