

INSPECTION DE COQUE DE SOUS-MARIN PAR METHODE PHASED ARRAY

SUBMARINE HULL INSPECTION USING PHASED ARRAY PROBES

RECOLIN P., RIVALIN S.
DCNS CESMAN

Résumé

Dans le cadre de ses contrats, DCNS assure le Maintien en Conditions Opérationnelles des sous-marins de la Marine Nationale. A ce titre, l'entretien de la coque résistante nécessite différents examens non destructifs. Parmi ceux-ci, la cartographie en épaisseur d'une portion importante de cette coque doit être réalisée : cette opération, réalisée manuellement avec un système d'encodage et un multi-capteur conventionnel, constitue une tâche pénible et très longue. L'utilisation de sondes multi-éléments associées à des systèmes industriels d'encodages et d'acquisition a permis de réduire la pénibilité et la durée de l'opération, tout en améliorant grandement la qualité des acquisitions.

Abstract

DCNS is contractually responsible for the maintenance of the French nuclear submarines. A part of these operations is the ultrasonic inspection of hull, in order to present a partial thickness map. It used to be done manually, with specific encoder and multi-sensor. It was a very long and difficult inspection. The use of phased array probes in association with industrial encoder and acquisition system allows to reduce the physical difficulty of the job and to be less time-consuming. By the way, the general quality of the thickness maps have been improved.

CONTEXTE

Dans le cadre de ses contrats, DCNS assure le Maintien en Conditions Opérationnelles des sous-marins nucléaires de la Marine Nationale. Sur ce type de navire, l'entretien de la coque résistante est évidemment primordial et exige un certain nombre d'examens non destructifs. Parmi ceux-ci, il est demandé une cartographie en épaisseur d'une portion importante de cette coque : la surface à inspecter peut atteindre une centaine de m². Elle est réalisée par une inspection à sec en bassin (voir figure 1).



Figure 1 : Sous marin en bassin

CONSTAT

L'examen était réalisé manuellement au moyen d'un système d'encodage de type polaire. La mesure est effectuée à l'aide d'une tête multi-capteurs (4 capteurs). L'acquisition consistait en une cartographie Cscan en épaisseur, basée sur une mesure d'écho dans une porte. Le travail ayant lieu en position plafond, le couplage est assuré par du gel cellulosique.

Les limitations ou inconvénients de cette méthodologie sont les suivantes :

- temps d'examen long
- pénibilité du travail
- difficulté d'interprétation des cartographies : en l'absence de stockage du Ascan, toute indication exige un retour en bassin pour expertise. De plus, la résolution de la mesure est trop faible ($6 \times 6 \text{ mm}^2$) pour permettre une analyse fine en différé.

Compte-tenu de ces problèmes, DCNS a souhaité rechercher une nouvelle méthode d'examen afin de gagner en rapidité et fiabilité d'inspection, tout en essayant d'améliorer les conditions de travail. Une étude associant le laboratoire CESMAN et l'établissement d'entretien (Brest) a été lancée en 2006.

EXIGENCES TECHNIQUES

Le but recherché est d'obtenir une cartographie complète de la surface contrôlée, avec une résolution et une sensibilité permettant de garantir la détection d'un Trou à Fond Plat de diamètre 5 mm.

CHOIX TECHNOLOGIQUE

Une étude bibliographique a permis de faire le tour des techniques et technologies susceptibles de répondre au besoin des inspections de grandes surfaces. En prenant en compte les spécificités de notre besoin (épaisseur, résolution...) il apparaît rapidement que seuls les ultrasons par réflexion peuvent convenir. Les méthodes par ultrasons laser sont examinées mais finalement non retenues au vu de l'investissement important et de la rupture technologique qui ne se justifiaient pas : la surface à inspecter est accessible, peu fragile...

Deux technologies peuvent alors être envisagées : des multi-capteurs de type peigne ou des multi-éléments.

La technologie de type peigne et la résolution exigée nécessite un balayage mécanique très fin (de l'ordre de 2 mm), difficilement maîtrisable avec un palpage manuel de type raster. Ceci nécessite alors un balayage aléatoire dont l'efficacité est finalement assez proche de celle d'une technologie mono-capteur : les voies n'étant pas parfaitement équilibrées, l'opérateur cherche à obtenir l'amplitude maximum avec le capteur le plus sensible.

La technologie Phased Array permet en utilisant une sonde linéaire de remplacer un axe de balayage mécanique par un axe de balayage électronique (voir fig. 2).

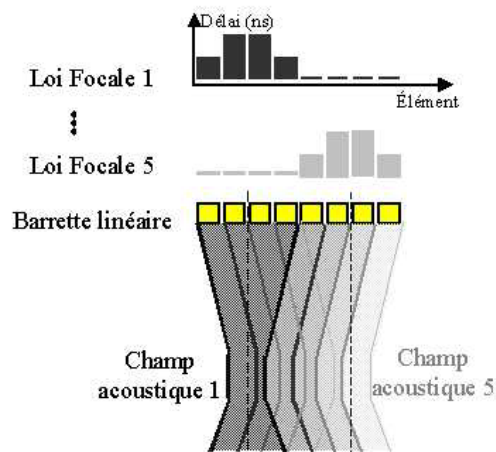


Figure 2 : balayage linéaire

Le balayage mécanique de la sonde est alors de type raster, mais avec un pas de l'ordre de la longueur de la sonde (100 mm). La résolution de la mesure peut donc être obtenue avec une mécanique mono-axe.

C'est cette solution qui est finalement retenue.

DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Technique d'examen

Par analogie avec les examens conventionnels, une sonde linéaire de 128 éléments fonctionnant à 5 MHz, avec un pitch de 0,75 mm est approvisionnée. L'ouverture choisie est de 10 mm.

Pour des raisons mécaniques, le couplage est assuré par un film de couplant. Des essais réalisés à bord ont montré la relative difficulté à maîtriser la hauteur de ce film en fonction des états de surface rencontrés. La mesure d'épaisseur est donc faite entre deux échos de fond successifs. De plus, afin de permettre une analyse en différé et éviter un retour sur indication, l'ensemble du signal Ascan est stocké.

Outillage industriel

Le système d'acquisition utilisé est un OMNISCAN[®]. Cet appareil répond aux exigences de la mesure en terme de vitesse d'acquisition mais présente surtout une autonomie énergétique et une robustesse apte au travail en bassin (voir figure 3).

Le balayage mécanique est assuré par un manipulateur de type RUNNER[®] sur lequel a été adaptée une interface spécifique pour le maintien et le couplage de la sonde multi-élément (voir figure 4).

La surface à contrôler est découpée en surfaces élémentaires d'environ 1 m². Chaque surface élémentaire est scannée par n lignes de balayage mécanique. L'incrément d'une ligne à l'autre est géré par une boîte à boutons fixée sur l'OMNISCAN[®].



Figure 3 : système OMNISCAN[®] PA



Figure 4 : RUNNER[®]

Méthodologie d'examens

Une attention particulière a été portée à l'élaboration des méthodologies d'étalonnage et de mise en œuvre des moyens. En particulier, ces procédures ont été développées au plus proche du terrain, afin d'une part de prendre en compte rapidement le retour d'expérience des opérateurs et d'autre part de leur permettre dès le développement d'appréhender les appareillages et méthodes de travail propres aux multi-éléments.

PERFORMANCES

Sensibilité de détection et dimensionnement

Une série de Trous à Fond Plats de hauteur 1 à 3 mm et de diamètre 1 à 5 mm est usinée dans une cale représentative. L'image présentée figure 5 montre que tous les trous de diamètre supérieur ou égal à 2 mm sont facilement détectés.

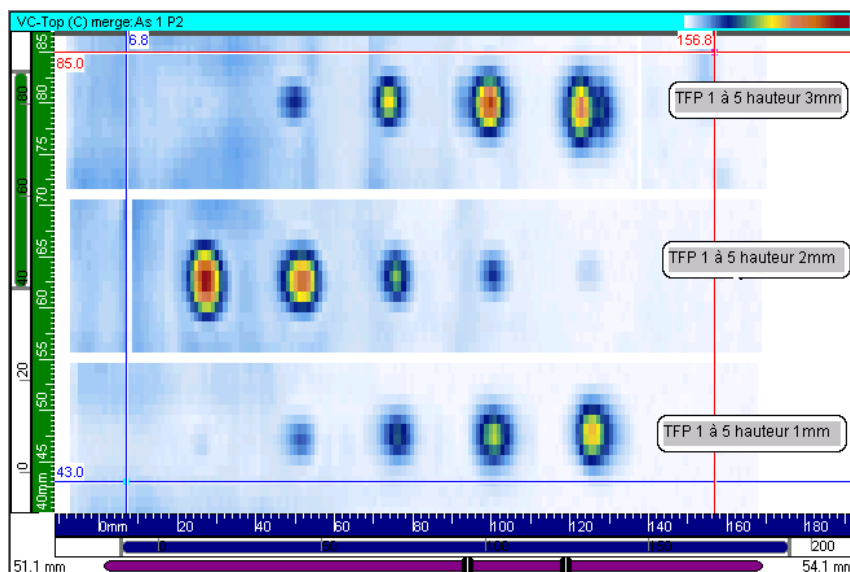


Figure 5 : acquisitions sur Trous à Fonds Plats

Les précisions sur les mesures sont de +/-0,3 mm sur les profondeurs et +/-2 mm sur les dimensions.

Vitesse

La réalisation de balayages linéaires avec le scanner à un pas de 100 mm, et une vitesse linéaire de 100 mm.s^{-1} , permet de garantir l'inspection de la totalité de la surface requise avec une résolution de $1,5 \times 1,5 \text{ mm}^2$.

Sensibilité aux états de surface

Afin d'évaluer la sensibilité de l'application vis-à-vis des différents états de surface rencontrés, une analyse statistique a été faite sur différentes zones présentant des états de surface très dégradés. Pour chaque cartographie a été établie le pourcentage de surface non contrôlée (voir figure 6). Il apparaît au final que 7% de la surface scannée n'est pas contrôlée.

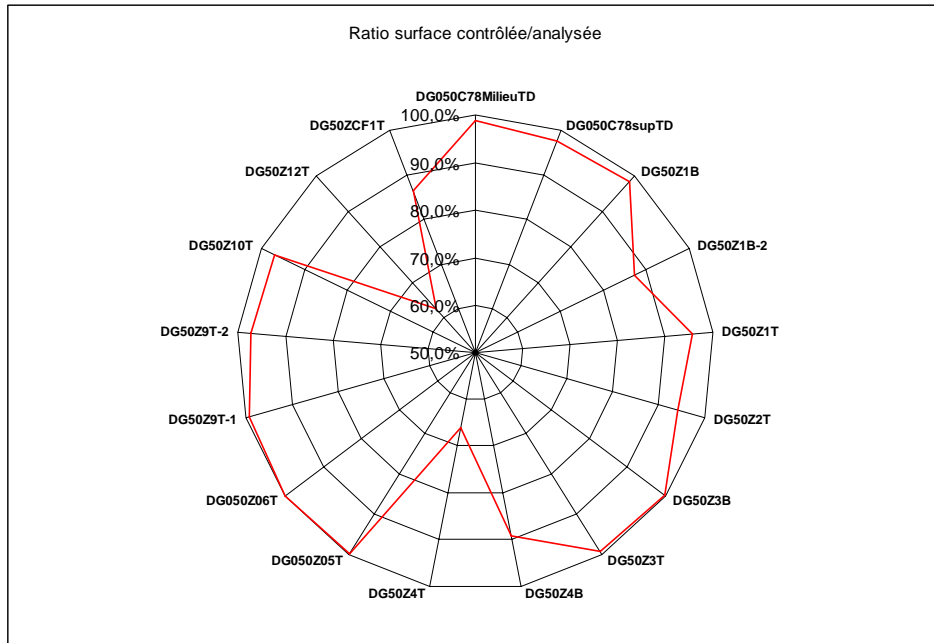


Figure 7 : Pourcentage de zone contrôlée sur différentes acquisitions sur surfaces dégradées

Dans la majorité des cas, l'absence de mesure est due à la chute du deuxième écho de fond sous sa porte de détection. Comme tout le signal est enregistré, il est possible en post-traitement d'ajouter un gain soft et de récupérer une mesure d'épaisseur. Bien que celle-ci soit alors entachée d'une incertitude un peu plus importante, la surface contrôlée s'élève alors à plus de 95% de la surface scannée.

Qualité de l'analyse

Les cartographies obtenues présentent une meilleure qualité qu'avec l'application précédente : le couplage est beaucoup plus uniforme et les variations d'amplitude sont limitées. Ceci est due à l'utilisation d'un film de couplant et au mode de balayage.

De plus, le fait de disposer à la fois des informations amplitude, distance et Ascan autorise une analyse en différé beaucoup plus riche et permet souvent d'éviter un retour en bassin. Un exemple est discuté ci-après.

Lors de l'examen avec l'application initiale, une perte d'épaisseur notable est relevée. Elle se présente sous la forme d'une tache colorée dans l'imagerie. Cette zone est reprise avec l'application Phased Array. Sur la cartographie en profondeur (figure 8), on retrouve la perte d'épaisseur : le gain en résolution (pas de 1,5 mm contre 6 mm) permet déjà d'affiner la mesure mais il est encore plus intéressant de comparer cette image à la cartographie en amplitude (figure 9). Elle nous permet de découvrir l'ensemble des éléments soudés en peau interne de la coque. On constate alors que le manque d'épaisseur est situé au passage d'un anguille (passage entre deux renforts) : il n'est donc pas dans une zone de rétention d'humidité et est vraisemblablement du à un meulage en fabrication.

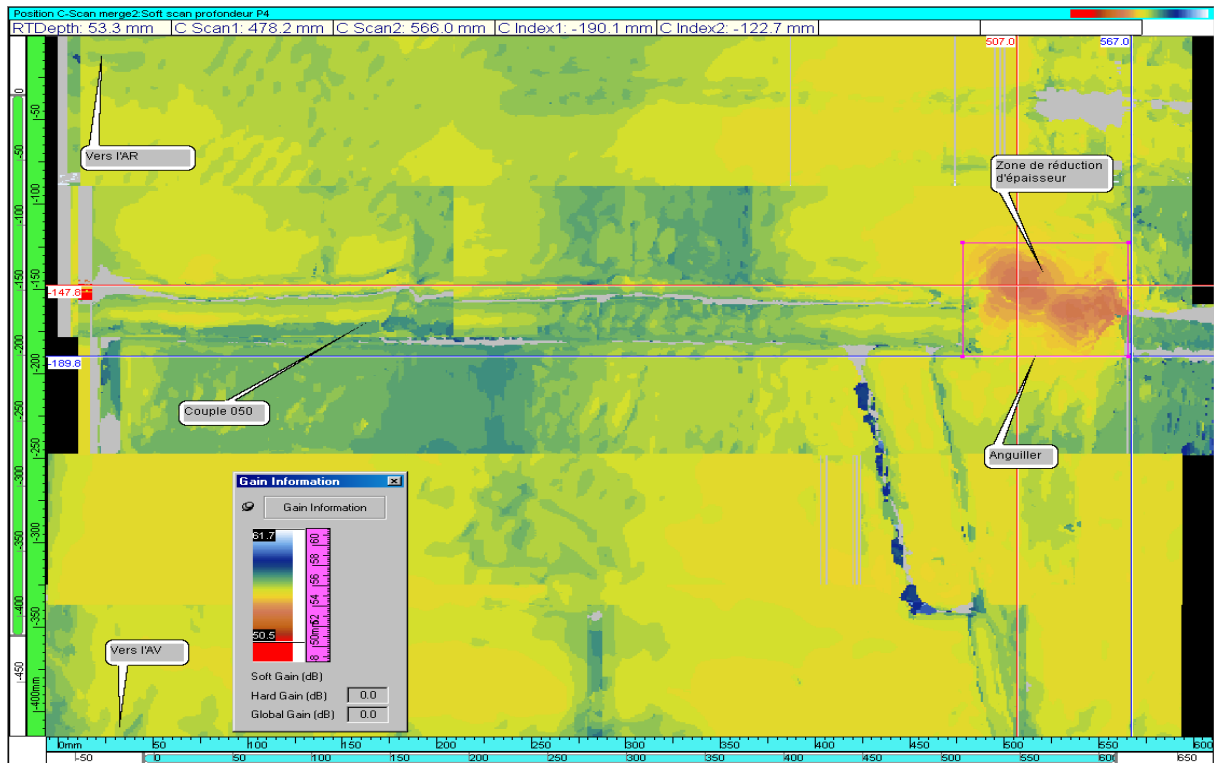


Figure 8 : Cscan en profondeur

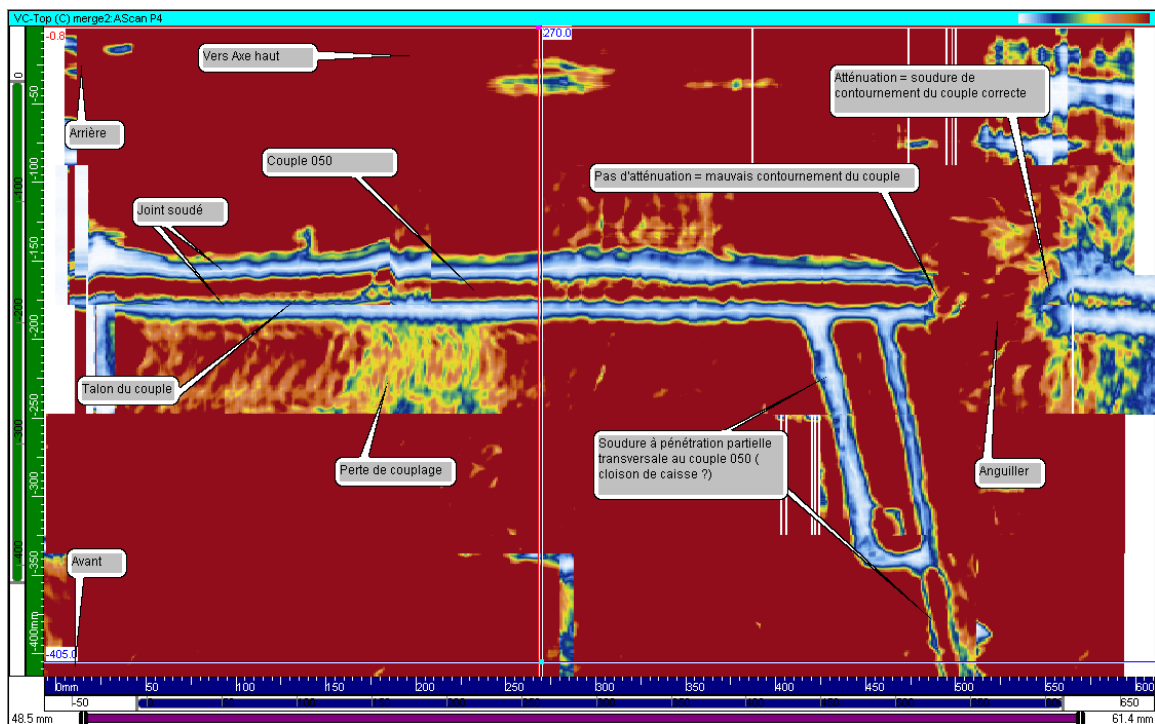


Figure 9 : Cscan en amplitude

Cet exemple permet d'illustrer la richesse des acquisitions réalisées qui permettent non seulement de garantir la détection des indications recherchées mais également de les analyser sans expertise complémentaire dans la plupart des cas.

RETOUR D'EXPERIENCE

L'application a été déployée à l'automne 2007 par l'établissement de Brest lors d'une opération d'entretien sur sous-marin.

Plusieurs dizaines de m² ont été inspectées. La vitesse d'inspection est améliorée par rapport à l'application précédente.

La fiabilité est bonne : malgré des conditions difficiles, aucune panne n'a été notée. L'autonomie des appareils a également été jugée très satisfaisante. De plus, la suppression du raccordement au 220 V en fond de bassin a éliminé de nombreux problèmes de coactivité (risque électrique, parasites secteur...).

La compacité du mécanisme d'inspection permet également d'atteindre des zones non couvertes auparavant.

Les temps d'analyse des cartographies des deux applications sont globalement équivalents : par contre, comme prévu, l'application Phased Array ne nécessite quasiment plus de retour en bassin d'un contrôleur pour expertise. La lisibilité des cartographies facilite également grandement les échanges entre les différents corps de métiers sur le chantier.

Enfin, les opérateurs ont pu apprécier la diminution de la pénibilité du travail : ce gain a certainement contribué à l'intérêt qu'ont pris les contrôleurs à mettre en œuvre cette nouvelle technologie, gage de son efficacité.

CONCLUSION

Dans le cadre du maintien en conditions opérationnelles de sous-marins, DCNS a mis en place une technologie Phased Array pour améliorer les performances d'une application destinée à la cartographie en épaisseur des coques résistantes. L'utilisation de sondes multi-éléments a permis de disposer d'un appareillage léger et autonome, garantissant une meilleure vitesse et qualité de mesure. L'amélioration des conditions de travail a certainement contribué au succès de l'application et à l'appropriation de la technologie par les contrôleurs.

DCNS continue à travailler sur le déploiement de cette technologie sur les coques, tant en fabrication qu'en suivi en service. Toutes les applications envisagées visent à ce jour à la simplification des mécaniques d'acquisition par l'utilisation de balayage électronique.