



**HAL**  
open science

# premiers resultats de cnd sous sodium liquide pour l'inspection des reacteurs nucleaires de 4ieme generation

Jf. Saillant, R. Marlier, F. Baque

## ► To cite this version:

Jf. Saillant, R. Marlier, F. Baque. premiers resultats de cnd sous sodium liquide pour l'inspection des reacteurs nucleaires de 4ieme generation. Les Journees COFREND, May 2017, Strasbourg, France. hal-02418120

**HAL Id: hal-02418120**

**<https://hal.science/hal-02418120v1>**

Submitted on 18 Dec 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **PREMIERS RESULTATS DE CND SOUS SODIUM LIQUIDE POUR L'INSPECTION DES REACTEURS NUCLEAIRES DE 4<sup>ème</sup> GENERATION**

J-F SAILLANT – INTERCONTROLE/NETEC  
R.MARLIER – AREVA  
F. BAQUE - CEA

## **RESUME :**

Cet article présente les premiers résultats d'essais CND obtenus avec des transducteurs ultrasonores TUCSS sous sodium liquide à 200°C. Les résultats obtenus ont été très positifs et indiquent que cette technologie de transducteur peut avoir des performances suffisantes pour effectuer des examens non destructifs simples dans cet environnement sévère.

## **1- INTRODUCTION**

Le projet ASTRID est un projet français de réacteur nucléaire de génération IV refroidi au sodium. Un de ses objectifs est de démontrer que la technologie mise en œuvre peut être économiquement viable tout en respectant les niveaux de sûreté les plus élevés [1]. A ce titre, l'inspection-en-service du réacteur constitue un point très important qui doit être pris en compte dès la phase de conception du réacteur.

Plusieurs technologies de transducteurs sont considérées dans ce projet [2]. L'une d'entre elles, qui fait l'objet de cet article, est la technologie TUCSS (Transducteurs Ultrasonore pour CND Sous Sodium) développée par INTERCONTROLE/NETEC (AREVA). Cette technologie de transducteur ultrasonore est capable de fonctionner en immersion dans du sodium liquide à 200°C, sans refroidissement externe. L'objectif des essais présentés ci-après était de déterminer si ces TUCSS pouvaient avoir des performances acoustiques suffisantes pour pouvoir réaliser du CND sous sodium liquide.

## **2- TRANSDUCTEURS TUCSS**

Du point de vue acoustique, les propriétés acoustiques du sodium à 200°C sont relativement similaires à celles de l'eau :  $V_L \text{ Na} = 2472,5 \text{ m/s}$ ,  $\rho_{\text{Na}} = 903,5 \text{ kg/m}^3$ ,  $Z_{\text{Na}} = 2,23 \text{ MRayl}$ . La structure acoustique des TUCSS est donc relativement similaire à celle des transducteurs conventionnels, à savoir : un matériau piézoélectrique à base de PZT, un backing et une lame d'adaptation afin de maîtriser l'amortissement de la forme d'onde.

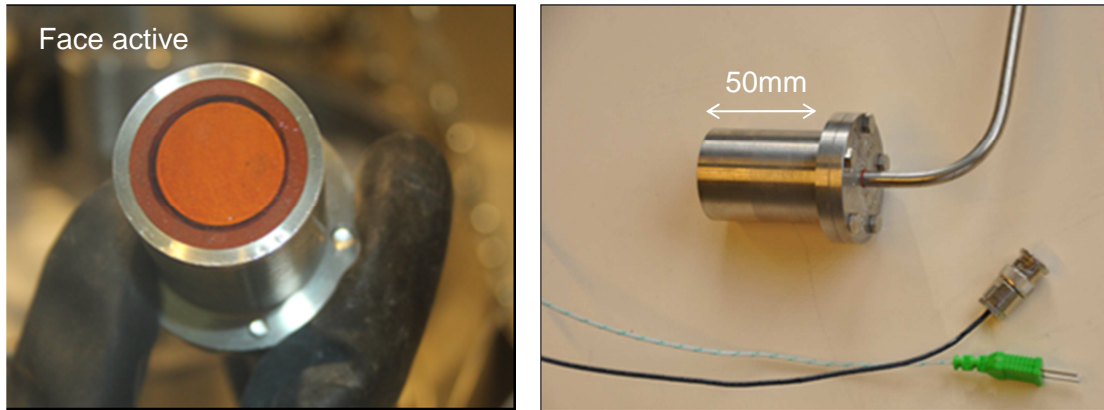


Fig. 1 : Photos d'un transducteur de type TUCSS

Les TUCSS doivent répondre aux exigences suivantes :

- Fonctionnement à une température de  $200^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$  en continu sans refroidissement externe.
- Compatibilité chimique des éléments en contact avec le sodium.
- Propriétés acoustiques minimum pour faire du CND : 40% de bande passante relative et 50dB de rapport signal/bruit sur un écho d'entrée de bloc.
- Mouillage de la face avant du capteur par le sodium pour permettre la transmission des ondes acoustiques
- Résistance à une dose cumulée de 216kGy de radiation gamma, correspondant à une durée d'inspection de 1 mois en dessous du cœur du réacteur.

Sa fréquence de résonance est de 2MHz et sa surface active a un diamètre de 20mm. La transmission acoustique (mouillage) est obtenue par le biais d'une couche de silicone. On note qu'un thermocouple a été intégré au boîtier, permettant de monitorer la température à l'intérieur du capteur pendant la phase de préchauffage avant immersion ainsi que tout au long de l'essai.

### **3- METHODES CND**

La méthode d'inspection envisagée pour cette démonstration de CND est une méthode en immersion « déportée » et non « au contact ». Le choix de ce type d'inspection s'est fait parce que les inspections en contact glissé posent des problèmes pour la conservation du mouillage acoustique et aussi du fait qu'on peut utiliser un même transducteur monoélément pour obtenir différents angles de pénétration dans la pièce, simplement en changeant son angle d'incidence comme représenté sur la Fig.2.

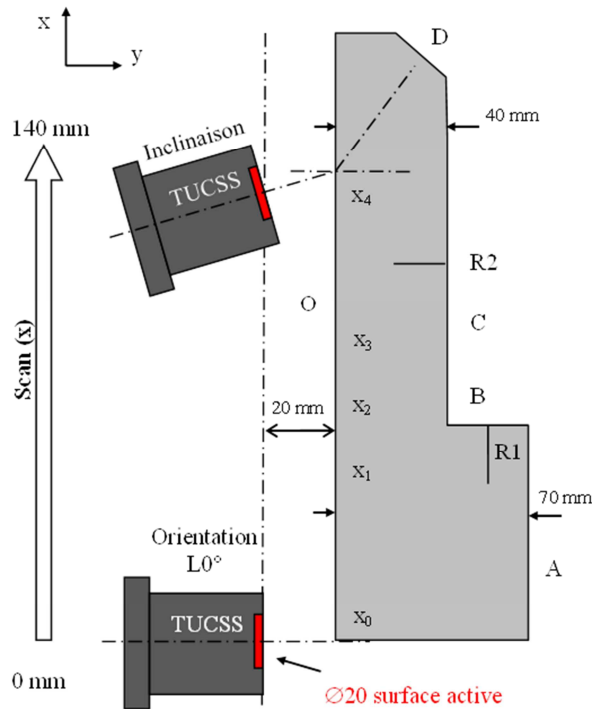


Fig. 2 : Représentation schématique du bloc d'essais et du scan effectué

Le bloc d'essais comporte 2 réflecteurs R1 et R2 orientés respectivement selon des directions x et y. Ces réflecteurs sont des entailles électro-érodées de 20mm de profond et de 0,2mm d'ouverture sur toute la hauteur du bloc (100mm). Le réflecteur R1 devrait être détecté en onde  $L0^\circ$  lorsque le transducteur effectue un scan entre  $x_0$  et  $x_2$ . L'entaille R2 devrait pouvoir être détectée avec des ondes inclinées (L ou T) lorsque le transducteur effectue un scan entre  $x_1$  et  $x_4$ . Le bloc d'essais est fabriqué en acier inoxydable 316L.

#### 4- DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les essais en sodium ont eu lieu dans une boîte à gants (BàG) du CEA-DEN à Cadarache. Cette BàG était inertée avec de l'argon et contenait 10 litres de sodium dans un pot cylindrique ( $\varnothing 320 \times 200$ mm, voir Fig.3-2) thermiquement régulé.

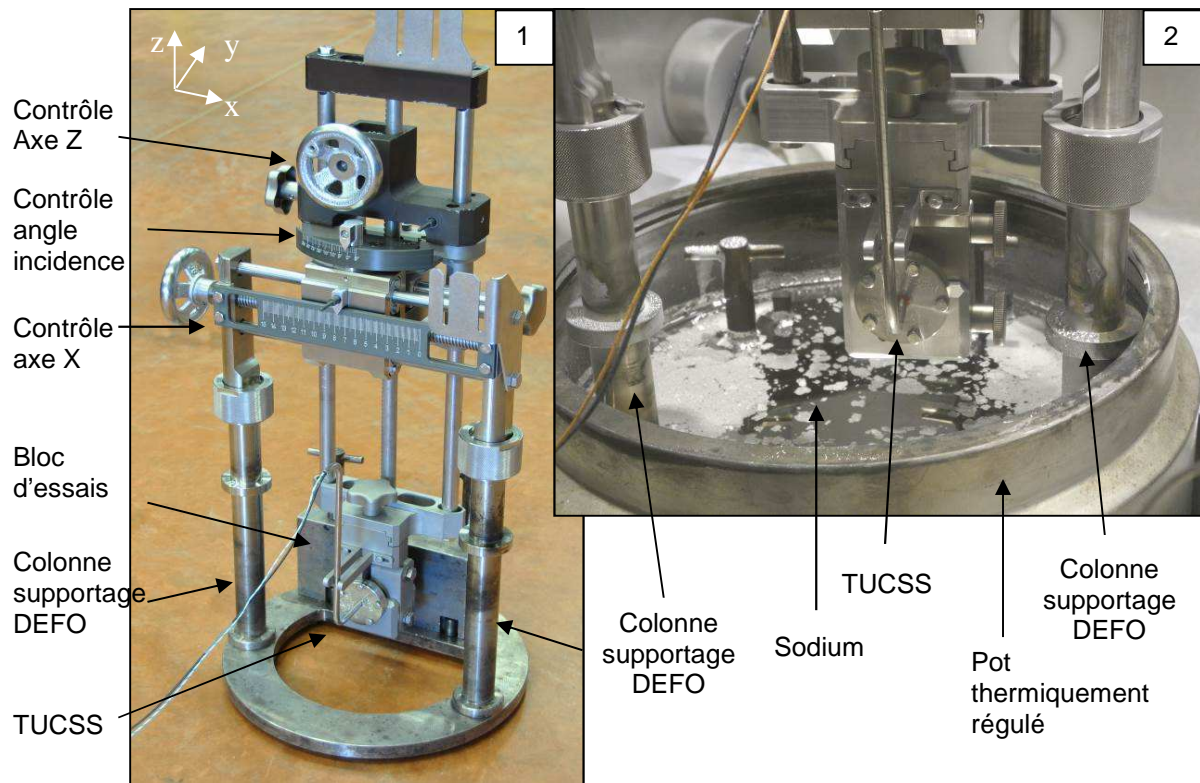


Fig. 3 : 1- Dispositif DEFO hors BàG, et 2- Dispositif DEFO en BàG avec bloc d'essais immergé en sodium, juste avant immersion du TUCSS à 200°C.

Le dispositif d'essais DEFO (Dispositif d'Essais pour cnd à Faisceau Oblique) a spécialement été conçu pour cette expérience. Ce dispositif permet d'assurer avec précision les mouvements suivants :

- Plongée verticale (axe Z) du TUCSS dans le sodium.
- Déplacement horizontal selon l'axe X.
- Rotation autour de l'axe Z afin de contrôler l'angle d'incidence du capteur par rapport à la surface d'entrée du bloc d'essais.

Le dispositif d'essais DEFO est montré en Fig.3.1.

Tous les axes sont contrôlés manuellement. Nous avons fait le choix de ne pas utiliser de moteurs car cela aurait significativement augmenté le niveau de complexité du mécanisme, ceci du fait de l'atmosphère Argon (arcs électriques), de la présence d'aérosols de sodium et des températures élevées (le sodium est porté à 400°C lors de la phase de mouillage du bloc d'essais). Egalement, par souci de simplicité, la position du transducteur par rapport à la face d'entrée du bloc d'essais a été fixée à 20mm selon l'axe Y.

## 5- ESSAIS EN SODIUM

La phase d'essais a commencé par un nettoyage à l'alcool de tous les composants ainsi qu'un étuvage complet pendant 24 heures à 120°C. Le dispositif a ensuite été rentré en BàG puis immergé dans le pot de sodium. Le volume de sodium a alors été ajusté pour affleurer le haut du bloc d'essais.

A cette étape, le transducteur n'est pas encore monté sur DEFO. Il faut en effet attendre que le sodium soit monté à 400°C pendant 6 heures afin de mouiller les structures en acier inoxydable immergées sous la surface du sodium. Cette phase est nécessaire pour que les

ondes ultrasonores puissent pénétrer dans le bloc d'essais et être représentatif des conditions d'ASTRID.

Une fois le sodium refroidi à 200°C, le TUCSS peut être monté sur DEFO et l'immersion peut avoir lieu (voir Fig. 3.2).

L'électronique d'émission/réception utilisée pour cet essai était une Panametrics PR5900. La visualisation des échos et les acquisitions ont été réalisées avec un oscilloscope LeCroy Wavsurfer 24MHs-B 200MHz 2,5GS/s.

Dès l'immersion, plusieurs échos ont immédiatement été visualisés alors que le sodium était à 200°C et que le TUCSS tirait en incidence  $L0^\circ$ . On a alors réalisé une série d'acquisition de A-scans par incrément de 1mm sur l'axe x. La juxtaposition de ces A-Scans a permis de réaliser les images B-scans montrées ci-après. Pour information, chaque A-scan a été filtré avec un filtre passe-haut et on a appliqué une fonction enveloppe.

## **6- RESULTATS**

La Fig. 4 montre un B-scan réalisé en incidence normale (axe du TUCSS perpendiculaire à la surface du bloc d'essais). Ce scan comporte beaucoup d'informations dont on fournit ici une interprétation :

- La bande rouge marquée ZM sur la gauche entre 0 et 10 $\mu$ s est la zone morte saturée du transducteur.
- Les bandes rouges marquées O et O' à 18 $\mu$ s et 36 $\mu$ s sont respectivement l'écho d'entrée de bloc et sa répétition.
- L'écho de la surface A est visible à une abscisse de 45 $\mu$ s, entre 0 et 40 mm.
- L'écho du réflecteur R1 est visible à une abscisse de 40 $\mu$ s, entre 45 et 65 mm.
- L'écho de la surface C est visible à une abscisse de 33 $\mu$ s, entre 65 et 140 mm.
- On note une disruption de l'écho provenant de C vers 120 mm. Cette disruption est due au passage au niveau du réflecteur R2.

La Fig. 5 montre un B-scan réalisé en incidence oblique. L'axe du transducteur a été incliné de 30°, produisant des ondes T38° dans la matière. Ce scan est beaucoup plus simple à interpréter que le précédent ; en voici une interprétation :

- La bande rouge marquée ZM sur la gauche entre 0 et 10 $\mu$ s est la zone morte saturée du transducteur.
- L'écho se trouvant à une abscisse de 60 $\mu$ s et à une position de 70 mm est l'écho provenant de R2.
- L'écho se trouvant à une abscisse de 60 $\mu$ s et à une position de 120 mm est l'écho de coin provenant de la surface chanfreinée D.
- L'écho se trouvant à une abscisse de 75 $\mu$ s et à une position de 15 mm est l'écho de coin provenant de B / R1.

Ces 2 scans montrent clairement que les propriétés acoustiques des TUCSS sont suffisantes pour réaliser des examens CND basiques dans une pièce en acier inoxydable 316L, en incidence normale et en incidence oblique, sous sodium à 200°C.

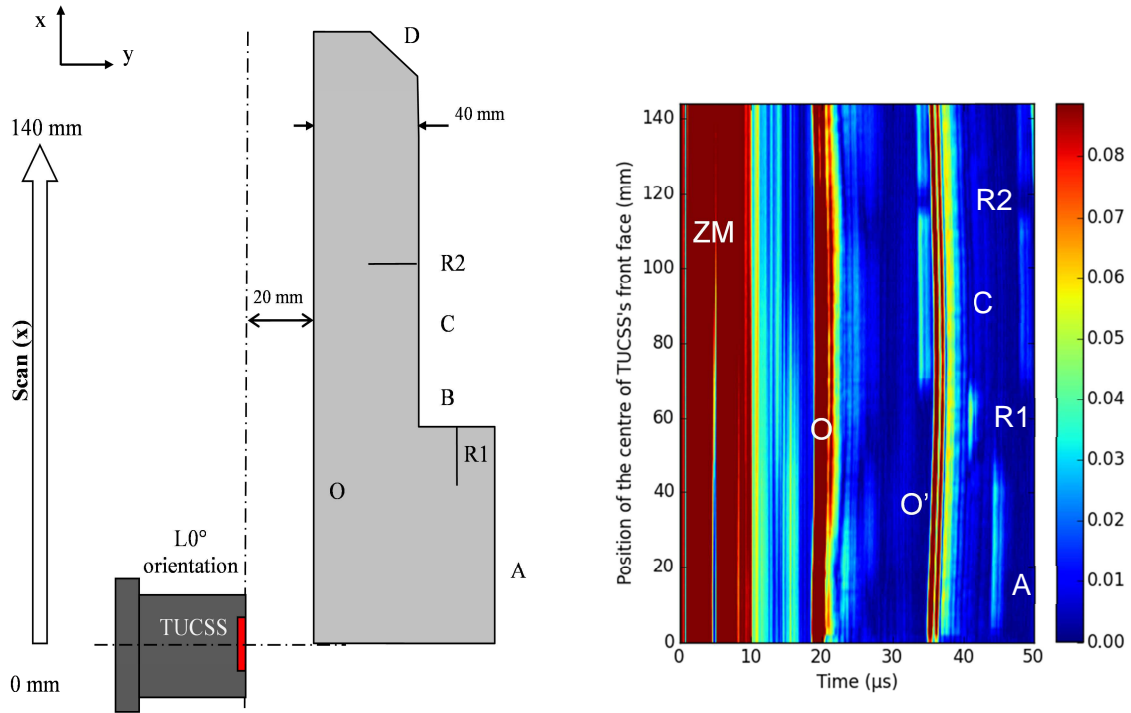


Fig. 4 : Détection du réflecteur R1 en onde  $L0^\circ$ , sodium à  $200^\circ\text{C}$ .

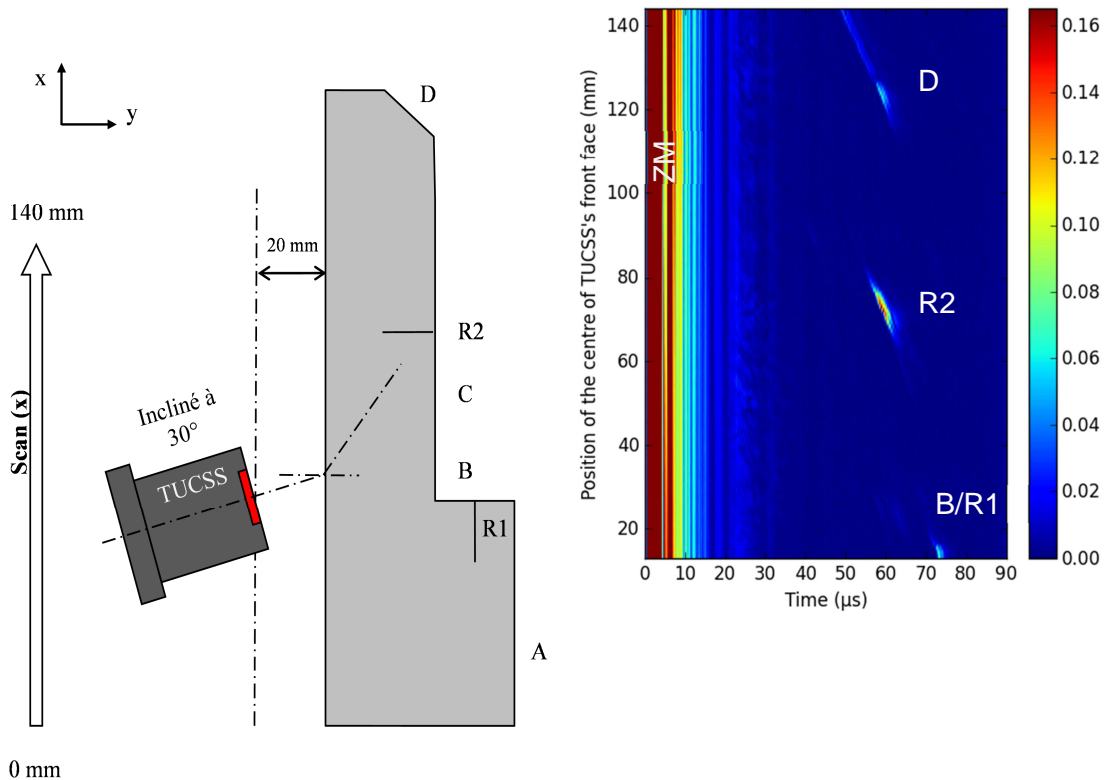


Fig. 5 : Détection du réflecteur R2 en onde  $T38^\circ$ , sodium à  $200^\circ\text{C}$ .

Le B-scan réalisé en incidence oblique est beaucoup plus propre que celui réalisé en incidence normale, ceci en raison de l'angle d'incidence qui permet d'éviter d'avoir un fort écho d'entrée de pièce ainsi que ses répétitions. C'est aussi dû au fait que les ondes T sont plus lentes que les ondes L ( $V_L=5608\text{m/s}$  et  $V_T=3038\text{m/s}$  dans l'acier inoxydable 316L à

200°C), ce qui retarde l'arrivée des échos et par conséquent les éloigne de la zone morte. Un recule plus important serait nécessaire afin de réaliser une inspection en L0° de meilleure qualité.

En termes de résolution, on peut dire d'après les B-scans que l'amortissement du TUCSS est suffisant pour réaliser des CND basiques pour des pièces ayant ce type de géométrie. De manière plus factuelle, la Fig. 6 montre la forme d'onde obtenue sur le réflecteur R2 en tirant en incidence T38° (signal non traité).

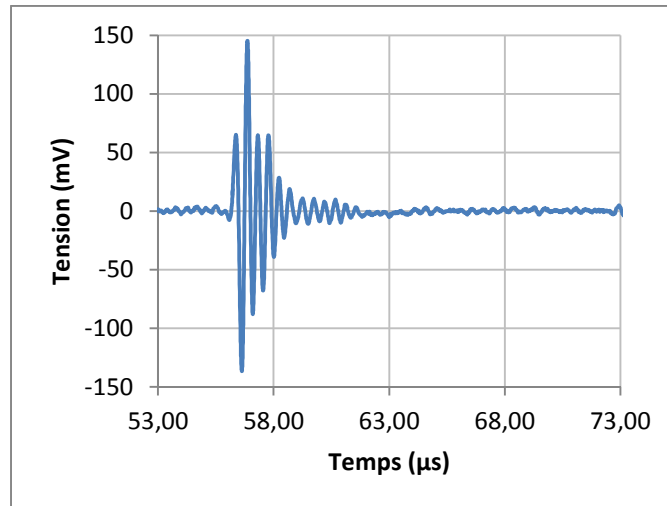


Fig. 6 : Forme d'onde obtenue à partir du réflecteur R2 en T38° à 200°C

Pour finir, ce transducteur a passé 27 jours en sodium au total, sans subir de dégradation structurelle. Cependant, on a pu constater une baisse graduelle de l'amplitude des échos dans le temps. L'origine de ce phénomène est toujours en cours d'investigation mais néanmoins, l'écho provenant de R2 pouvait toujours être détecté avec un rapport signal sur bruit supérieur à 20 dB.

## **7- CONCLUSIONS**

Les résultats obtenus permettent de démontrer que des méthodes conventionnelles de CND peuvent être envisagées pour réaliser des inspections dans un environnement aussi agressif (sodium). Ces travaux marquent une étape importante vers l'amélioration de l'inspection en service des réacteurs nucléaires refroidis au sodium.

Les résultats obtenus montrent que cette technologie de transducteur (TUCSS) peut avoir des performances suffisantes pour effectuer des examens non destructifs simples d'une structure immergée dans du sodium liquide à 200°C.

Ces travaux devront être approfondis, notamment en utilisant des maquettes incluant des soudures représentatives de celles qui pourront se trouver dans le réacteur ASTRID.



## **8- REFERENCES**

- [1] F. Jadot, F. Baqué, J.Ph. Jeannot, J. M. Augem and J. Sibilo, "ASTRID Sodium cooled Prototype: program for improving In Service Inspection and Repair", Paper 3-37, ANIMMA 2011Conf., Ghent, Belgium (June 6-9, 2011)
- [2] F. Baqué, F. Jadot, R. Marlier, J.F. Saillant, V. Delalande, "In Service Inspection and Repair of Sodium cooled ASTRID Prototype", Paper 15041, Proceedings of ICAPP 2015, Nice, France, (May 3-6, 2015).