

# **GROUPE DE TRAVAIL COFREND SUR LA SIMULATION DES END PAR COURANTS DE FOUCAULT - BILAN D'ACTIVITES COFREND WORKING GROUP ON EDDY CURRENT NDE SIMULATION - REVIEW OF ACTIVITIES**

Michel MAYOS<sup>1</sup>, Marc LAMBERT<sup>2</sup>, Catherine GILLES-PASCAUD<sup>3</sup>, Marc DESSENDRE<sup>4</sup>,  
Nicolas DOMINGUEZ<sup>5</sup>, Fabrice FOUCHER<sup>6</sup>, Ali ABAKAR<sup>7</sup>

<sup>1</sup> EDF Ceidre - 2 rue Ampère - 93206 SAINT DENIS

<sup>2</sup> CNRS/L2S - Supélec - 3 rue Joliot-Curie - 91192 GIF SUR YVETTE

<sup>3</sup> CEA/LIST Saclay - 91191 GIF SUR YVETTE

<sup>4</sup> DASSAULT Aviation - DGIA/CDE - 1, avenue du Parc - 95100 ARGENTEUIL

<sup>5</sup> EADS CCR - 18 rue Marius Terce, 31025 TOULOUSE

<sup>6</sup> CEDRAT - 15, Chemin de Malacher - 38246 MEYLAN

<sup>7</sup> EDF R&D - 1 avenue du Général de Gaulle - 92141 CLAMART

Tél. 01 43 69 88 06 – Fax. 01 43 69 82 93

E-mail : michel.mayos@edf.fr

## **Résumé**

En réponse à l'une des préoccupations exprimées par les participants à la première journée technique de la COFREND sur la simulation des END par courants de Foucault, le 19 Octobre 2004, le groupe de travail COFREND "modélisation courants de Foucault" a orienté ses activités vers la définition et la résolution de cas-tests (ou "benchmarking") à partir de début 2005. L'objectif du groupe de travail est de définir des cas-tests représentatifs de problématiques industrielles non couvertes par les cas-tests connus de la bibliographie. Les problèmes proposés doivent autant que possible être relativement simples (la description exacte du problème industriel n'est pas recommandée) et disposer de données descriptives et expérimentales complètes et accessibles. Ils ont pour but d'être rendus publics et ouverts à la résolution de tout code de calcul candidat. Actuellement, le groupe de travail a défini 4 cas-tests inspirés de problématiques issues des industries aéronautiques et nucléaires, ainsi que d'essais de laboratoire, et il étudie d'autres propositions. Des premiers exemples de résolution sont présentés pour deux d'entre eux, en utilisant des codes faisant appel aux éléments finis et aux méthodes semi-analytiques.

## **Abstract**

*As an answer to one of the main concerns expressed by the attendees of the first COFREND technical meeting on eddy current NDE simulation held on October 19, 2004, the "eddy current modelling" COFREND Working Group has oriented its activities towards the definition and resolution of benchmark problems, starting from the beginning of 2005. The aim of the Working Group is to define benchmark problems representative of actual industrial issues and uncovered by existing benchmarks. The proposed problems must, as much as possible, be simple (an exact description of the actual industrial problem is not advised) and have complete and accessible descriptive and experimental data. They are meant to be granted a public access and to be open to a resolution by any applicant code. At the present time, the Working Group has defined 4 benchmarks inspired by issues from aerospace and nuclear industries, as well as from laboratory trials, and is studying other proposals. The first resolution examples are presented for two of them, implying both finite element and semi-analytic codes.*

## INTRODUCTION

Un Groupe de Travail (GT) "modélisation courants de Foucault" a été créé en 2003 dans le cadre du CACT (Comité pour l'Animation et la Coordination des Travaux) de la COFREND [1]. Ce GT s'est fixé comme première tâche l'organisation d'une journée technique d'information sur le thème de la modélisation des END par courants de Foucault. Celle-ci s'est déroulée le 19 Octobre 2004 à Clamart, et s'est avérée être un véritable succès, aussi bien par le nombre de participants (53), que par le fort indice de satisfaction obtenu.

Un questionnaire envoyé aux participants postérieurement à la conférence les interrogeait sur les suites à donner à cette action. Deux préoccupations principales en sont ressorties :

- assurer la continuité de l'information technique en pérennisant l'organisation de journées spécialisées,
- focaliser le groupe de travail sur des tâches spécifiques ; deux thèmes d'intérêt émergeaient nettement : la définition de cas-tests inspirés de problématiques industrielles et la comparaison inter-codes ("benchmarking"). En outre, 12 personnes se disaient prêtes à participer à des travaux de ce type, avec une périodicité de 2 réunions par an.

Sur la base de ces résultats, le GT initial est devenu un GT "Benchmarking", créé début 2005 avec un double objectif :

- définir des cas-tests en rapport avec les préoccupations des industries utilisatrices,
- favoriser la résolution de ces cas-tests et les échanges de solutions.

Par ailleurs, la demande sur la continuité de l'information technique a débouché sur l'organisation d'une deuxième journée technique "courants de Foucault", le 29 Janvier 2008 à Paris.

## GROUPE DE TRAVAIL "BENCHMARKING"

Le GT s'est réuni 4 fois entre Juin 2005 et Mai 2007. Une réunion est programmée à l'occasion des présentes Journées COFREND de Toulouse, en Mai 2008. La fréquence de réunion, plus élevée lorsque les objectifs du GT étaient encore à définir, est devenue sensiblement annuelle, maintenant que le fonctionnement est relativement stabilisé. Ces réunions sont complétées par de nombreux échanges informatiques qui prennent comme support le site Internet de la COFREND (voir ci-dessous).

Les réunions ont rassemblé entre 10 et 13 participants. L'intérêt pour les travaux reste donc soutenu et conforme aux intentions exprimées lors de la journée technique du 19 Octobre 2004. Les participants sont par ailleurs représentatifs d'un échantillonnage assez large d'utilisateurs et de développeurs (cf. tableau 1)

Industries utilisatrices	<b>Aéronautique</b> : Dassault Aviation, EADS, SNECMA <b>Nucléaire</b> : EDF, AREVA <b>Automobile</b> : Renault <b>Sidérurgie</b> : Vallourec
Laboratoires - Développeurs	<b>Académiques</b> : Supélec/CNRS (L2S, LGEP), ECL/Cegely <b>Appliqués/Nationaux</b> : CEA/LIST <b>Privés</b> : Cedrat
Equipementiers	Alphatest, Zetec

Tableau 1 : Entités ayant au moins participé à une réunion du GT "Benchmarking"

Le GT a d'abord travaillé à la définition de ses objectifs et de son périmètre d'action en fonction des besoins exprimés par ses contributeurs. En effet, l'existence de "benchmarks" sur des problèmes de CND par courants de Foucault a maintenant plus de deux décennies. Cette démarche est apparue au cours des années 80 avec les TEAM Workshops, organisés dans la mouvance des conférences COMPUMAG, qui concernaient de manière générale les calculs de champs électromagnétiques. Dans ce contexte, est apparu le premier problème spécifiquement orienté CND, le problème 8 des TEAM Workshops, qui reste aujourd'hui encore une référence pour tout code électromagnétique souhaitant se frotter aux problématiques END [2]. D'autres benchmarks plus spécifiques aux END ont émergé dans les années 90, tels que les ACES Workshops aux Etats-Unis ou les benchmarks JSAEM au Japon [3]. Toutefois, ces benchmarks étaient initiés par les développeurs de codes, issus en général d'un milieu universitaire, et conservaient un caractère académique. En rupture avec cet historique, l'expression de besoin à l'origine de la création du GT a été de prendre en compte une composante d'application industrielle dans la définition de nouveaux benchmarks. Ceci est désormais plus aisé, les approches de simulation en END ayant maintenant largement pénétré le milieu industriel.

Dans ce contexte, les benchmarks classiques peuvent apparaître inadaptés. Un exemple récent, rencontré par EDF, en apporte la démonstration. Le code FLUX, développé par la société CEDRAT, a été transposé à partir de 2004 à des applications de CND. Afin de tester l'aptitude de ce code généraliste en électromagnétisme à traiter les problématiques de CND par courants de Foucault, le problème 8 des TEAM Workshops a été résolu avec succès [4]. Dans le cadre de ses actions de R&D, EDF a souhaité transposer ce code à la simulation des END par courants de Foucault des tubes de générateur de vapeur. Or, sur des configurations relativement simples, des problèmes numériques ont été rencontrés en raison de la présence de défauts traversants, le tube étant un conducteur mince (1.27 mm d'épaisseur) [5]. Ces configurations conduisent, pour les codes par éléments finis, à une difficulté d'ordre topologique (géométrie non simplement connexe, c'est à dire présence d'un trou dans un conducteur). Pour le code FLUX, ce problème a été résolu en ajoutant un artefact numérique, sous la forme d'une "coupure" supplémentaire en bord d'entaille. Le même problème a été rencontré avec d'autres codes par éléments finis, tels que Code\_CARMEL (code commun du L2EP de Lille et d'EDF R&D), et résolu d'une autre façon (ajout d'un champ-source) [6].

Cet exemple illustre bien le fait qu'un code peut revendiquer une validation par un benchmark connu et s'avérer inapte à traiter un cas simple inspiré d'un problème industriel, ce qui aurait été le cas avec les deux codes pré-cités si des actions correctives n'avaient pas été entreprises. Les exemples présentés dans le chapitre suivant montrent que ces outils donnent maintenant des résultats corrects sur ce type de cas.

Ce constat de carence a donné la première orientation pour la définition de cas-tests dans le cadre du GT : la recherche de cas représentatifs de problématiques industrielles effectives. Toutefois, cet aspect n'est pas suffisant. Le GT s'est donné pour ambition de définir des cas-tests accessibles au plus grand nombre et de nature à favoriser l'échange et la comparaison des résolutions par les codes-candidats. Une deuxième dimension importante des cas à définir a donc été la recherche de cas simples et accessibles. Dans cette optique, la résolution du cas industriel effectif n'est pas favorisée, car elle mêle en général l'influence de plusieurs paramètres et peut concerner des configurations géométriques et/ou électroniques complexes. Il peut alors être délicat d'isoler la problématique d'intérêt (par exemple, les défauts traversants dans des conducteurs minces). Par ailleurs, certaines données descriptives du cas peuvent être inaccessibles, soit parce qu'elles font appel à un savoir-faire industriel confidentiel (par exemple, données descriptives de capteurs), soit parce qu'elles sont tout simplement inconnues (cela peut être le cas des paramètres électromagnétiques, conductivité et perméabilité). Enfin, il est indispensable pour définir un cas-test, de disposer de solutions de référence, expérimentales ou simulées, pour valider les calculs réalisés par

les codes-candidats. Dans ces conditions, un essai sur maquette simplifiée, mais représentative, sera souvent préférable au cas industriel effectif.

En résumé, les caractéristiques descriptives d'un "bon" cas-test pour le GT sont les suivantes :

- **réaliste** : le cas-test est inspiré d'une problématique industrielle effective ;
- **simple** : il peut aisément être décrit et modélisé ; il est accessible à la résolution par un nombre aussi peu restreint que possible de codes ;
- **nouveau** : il s'écarte des benchmarks connus ;
- **vérifiable** : ses données descriptives (géométrie, configuration de capteurs, propriétés électromagnétiques des matériaux, trajectoires considérées) sont intégralement disponibles et publiables : il ne comporte pas d'éléments inconnus ou confidentiels ; en outre, il dispose de données de référence, expérimentales et/ou simulées, reconnues comme exactes, qui servent de base de comparaison à la résolution par les codes-candidats.

En dehors de la définition des cas-tests, le GT s'est donné deux missions, afin de mieux répondre à l'expression d'intérêt issue de la journée technique du 19 Octobre 2004 :

- **la mise à disposition et la promotion des cas-tests** : pour le moment, le site Internet de la COFREND est utilisé comme support pour la description des cas-tests. Actuellement, l'accès se fait à travers le site du GT et demande une validation par la COFREND. L'amélioration de cette accessibilité est un des chantiers prioritaires du GT pour les années à venir. Quant à la promotion de la démarche, elle est réalisée notamment à travers les diverses journées techniques, spécialisées ou généralistes, organisées par la COFREND.
- **favoriser la résolution des cas-tests et les échanges de solution** : l'intégration de nombreux développeurs de modèles dans le GT et l'organisation de manifestations conjointes avec des entités telles que le GDR Ondes du CNRS permet de sensibiliser à la démarche la communauté scientifique impliquée dans le développement de modèles.

A l'heure actuelle, 4 cas-test sont définis ou en cours de définition.

N.B. : la numérotation de ces cas-tests commence à 2, car le cas-test n°1, mesure d'épaisseur sur conducteur multicouches ferromagnétique, a dû être abandonné pour cause de données descriptives insuffisantes (notamment, indisponibilité des données descriptives du capteur, propriété du fabricant et confidentielles).

- **Cas-test n°2** : entailles externes, internes, traversantes sur conducteur mince amagnétique (proposition EDF-CEA)

L'origine industrielle de ce cas est l'inspection par sondes tournantes à courants de Foucault des tubes de générateurs de vapeur. Sa motivation est les difficultés numériques inhérentes à la présence du défaut traversant (cf. ci-dessus).

Le cas-test consiste en l'inspection de deux plaques en Inconel minces (1.55 et 1.27 mm ; la deuxième correspond exactement à l'épaisseur d'un tube de GV) sur lesquelles ont été implantées un ensemble d'entailles rectangulaires de longueur et de profondeur variables (cf. Fig. 1). Ces entailles sont débouchantes d'un côté de la plaque. La plaque peut être retournée pour simuler l'inspection de défauts en paroi externe de tube.

Les capteurs sont des capteurs génériques de laboratoire : un à double fonction, l'autre à fonctions séparées.

- **Cas-test n°3** : défauts de forme variable dans un alésage (proposition Dassault Aviation)

L'origine industrielle de ce cas est l'inspection de l'œil d'attache principale de la voilure du M2000 pour la détection de fissures de fatigue dans l'alésage.

Le cas-test porte sur l'inspection d'une maquette évidée en aluminium simulant une structure avec alésage et contenant des entailles, soit linéaires dans l'alésage (profil semi-circulaire), soit de coin en bord supérieur et inférieur d'alésage (profil quart de cercle) (cf. Fig.2).

Le capteur est un capteur différentiel double fonction à deux bobines.

- **Cas-test n°4** : fissures en bord de rivets (proposition EADS-Dassault)

L'origine industrielle de ce cas est l'END d'assemblages rivetés. La figure 3 en représente la problématique.

Ce cas-test est actuellement en cours de définition.

- **Cas-test n°5** : structure bi-couche avec trou et espacement entre couches (proposition CEA-L2S)

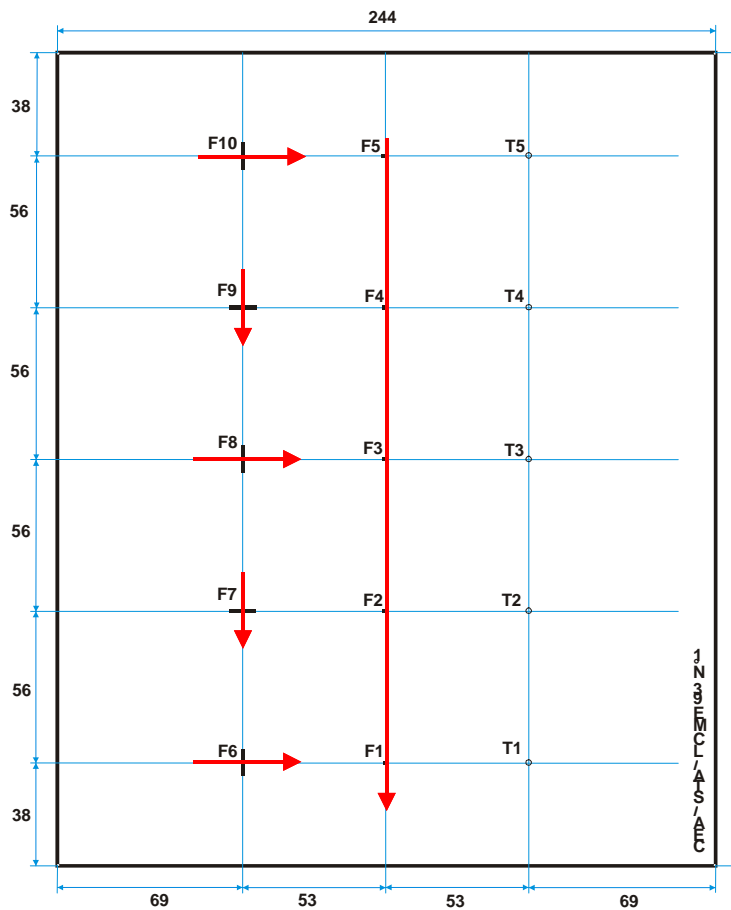
L'origine industrielle de ce cas est la même que pour le cas-test n°4.

Le cas-test s'intéresse à l'influence d'une décohésion entre les deux couches de l'assemblage riveté sur la réponse CF [7]. Il consiste en l'inspection d'un empilement d'une plaque d'aluminium d'épaisseur 4 mm et d'une plaque mince d'Inconel d'épaisseur 1.27 mm dans laquelle un trou, simulant l'emplacement du rivet, a été usiné. Les deux plaques sont soit en contact, soit espacées de 50 µm (cf. Fig. 4).

Le contrôle se fait au moyen d'un capteur absolu mono-bobine.

Les cas-tests 2 et 3 sont complètement définis et figurent avec données descriptives et données de référence sur le site Internet de la COFREND. Le cas-test n°4 est en cours de définition. La description du cas-test n°5 est achevée. Sa mise à disposition est en cours de finalisation. Par ailleurs, une déclaration d'intention de la SNECMA pour proposer un nouveau problème a été transmise au GT.

Il est à noter que le cas-test n°2 a été retenu par le projet RNTL multi-partenaires PLAYA comme cas de démonstration. Ceci est particulièrement en accord avec la mission de cas de référence des benchmarks COFREND.



Matériau : Inconel 600

épaisseur plaque : 1.55 mm

F1 à F5 :  
entailles l = 2 mm ; ouv. = 0.1 mm  
 $\rho = 20\%$  à  $100\%$

F6 à F10 :  
entailles l = 10 mm ; ouv. = 0.3 mm  
 $\rho = 20\%$  à  $100\%$

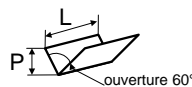
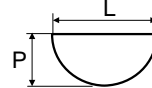
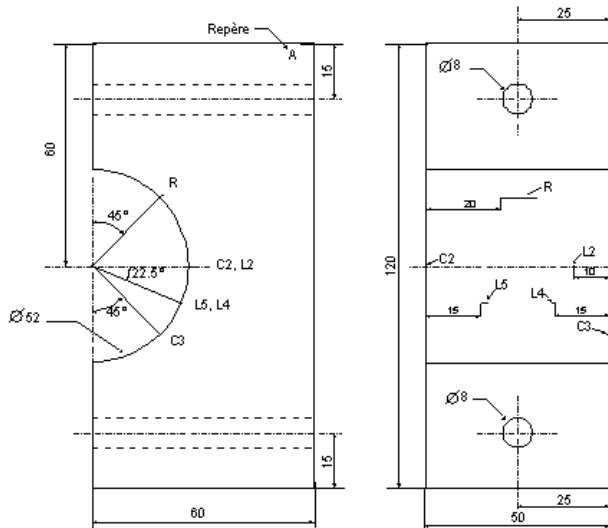
2 acquisitions en retournant la plaque

2 capteurs "génériques"  
-double fonction absolu  
-fonctions séparées absolu  
f = 100, 300, 500 kHz

➔ : trajectoires capteur/plaque

Figure 1 : Données descriptives du cas-test n°2 (plaque n°1)

N.B. : d'autres données sont disponibles sur une deuxième plaque en Inconel, plus mince (1.27 mm), avec des défauts légèrement différents (entailles plus longues)



**alésage**

	P (mm)	L (mm)
fissure L5	1	2
fissure L4	0.5	1
fissure L2	0.2	0.4

**coin**

	P (mm)	L (mm)
fissure C1	0.5	0.5
fissure C2	0.3	0.3

	P (mm)	L (mm)
rayure	0.2	10

Matériau : Al 2024 T3

f = 500 kHz

Capteur différentiel 2 bobines double fonction

Figure 2 : Données descriptives du cas-test n°3 : défauts de forme variable dans un alésage

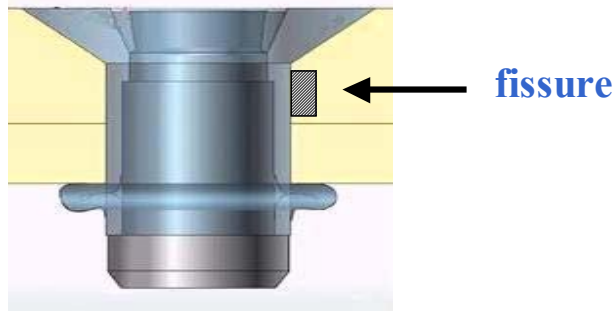


Figure 3 : Problématique industrielle du cas-test n°4 : fissures en bordure de rivets

- Empilement de 2 ou 3 couches
  - Inconel,  $h = 1,27$  mm,  $\sigma = 1$  MS/m
  - (Air,  $h = 0,05$  mm)
  - Aluminium,  $h = 4$  mm,  $\sigma = 30$  MS/m.
- Défaut : air,  $h = 1,27$  mm,  $\varnothing = 4,9$  mm.
- Le capteur (bobine) :
  - $f = 75$  kHz
  - $\varnothing_{\text{int}} = 2,0$  mm,  $\varnothing_{\text{ext}} = 3,2$  mm
  - Hauteur = 2,0 mm
  - Entrefer = 0,32 mm
  - Nb Spires = 328

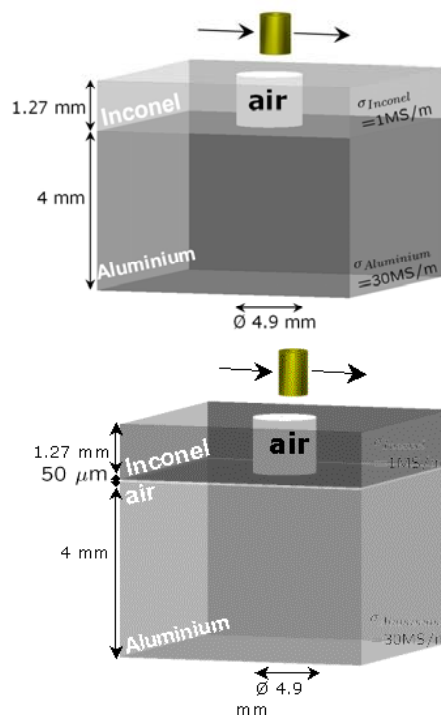


Figure 4 : Données descriptives du cas-test n°5 : structure bi-couche avec trou et espacement entre couches

## EXEMPLES DE RESOLUTIONS DE CAS-TESTS

### Cas-test n°2

Le cas-test n°2 a été traité par 2 codes différents :

- un code semi-analytique : CIVA-CF, développé par le CEA [8],
- un code par éléments finis : FLUX, développé par CEDRAT,

Par ailleurs, le code CARMEL, développé par le LAMEL, laboratoire conjoint L2EP-EDF R&D, est en cours d'évaluation dans le cadre du projet PLAYA, mais les résultats de simulation ne sont pas encore disponibles.

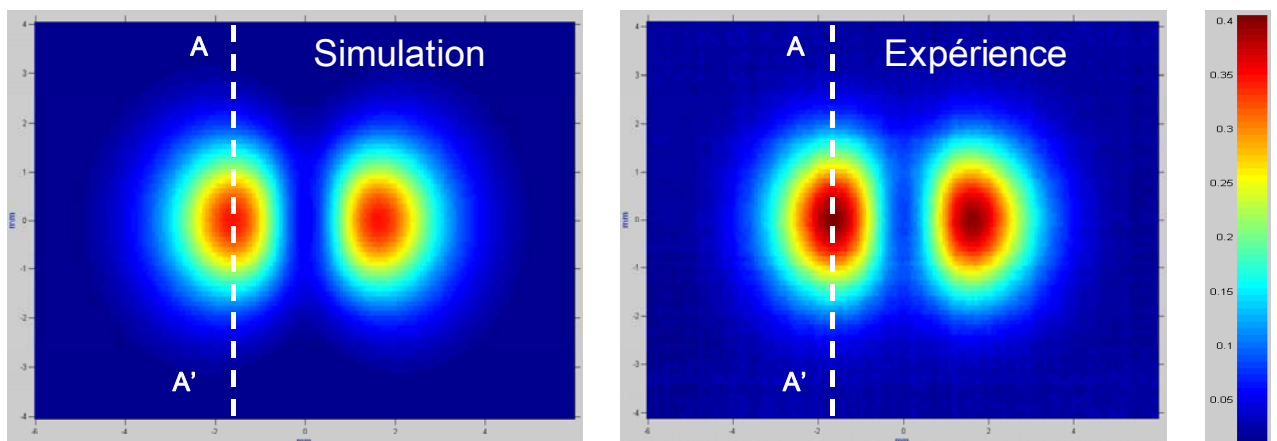
La comparaison porte sur le défaut F5 (cf. Fig.1), petit défaut traversant (longueur 2 mm, ouverture 0.1 mm).

Les acquisitions expérimentales, qui font office de référence, ont été réalisées par le CEA. Pour le capteur à double fonction, les acquisitions ont été réalisées à l'impédancemètre vectoriel. On a donc directement accès à l'impédance de la bobine et le signal est exploitable en tant que tel. Pour le capteur à fonctions séparées, les acquisitions ont été réalisées au moyen d'un appareil à courants de Foucault : un étalonnage préalable est donc nécessaire. Cet étalonnage a été réalisé sur le défaut F7 (longueur 10 mm, ouverture 0.3 mm, profondeur 40% de l'épaisseur, débouchant côté capteur), dont le signal a été porté à (1V, 0°) en module et en phase.

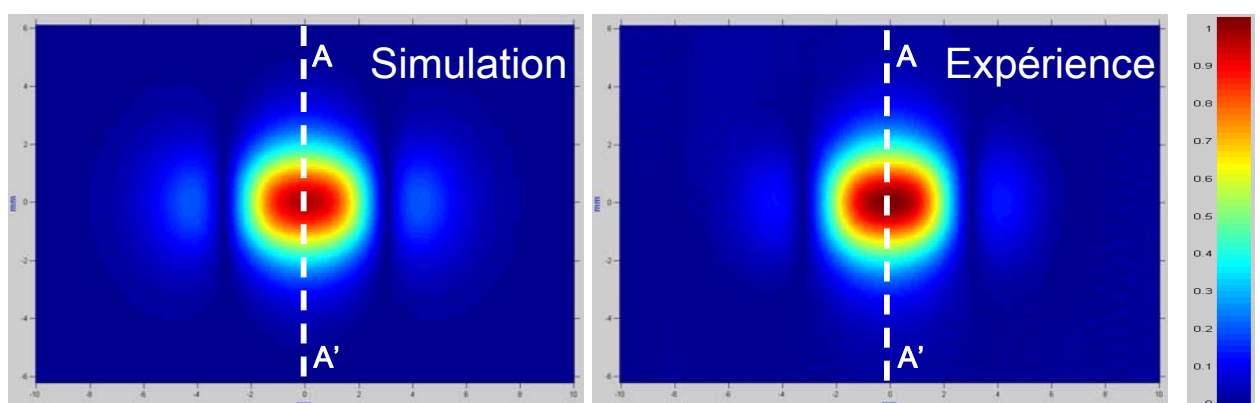
Les capteurs ont tous deux été soumis à un balayage bi-dimensionnel autour du défaut, permettant l'obtention de cartographies (C-scans).

La figure 5 donne un exemple de comparaison sur les C-scans entre valeurs expérimentales et valeurs simulées avec CIVA pour les deux capteurs. L'accord est très bon, sur les plans qualitatif et quantitatif (l'échelle de couleur est la même pour le C-scan simulé et le C-scan expérimental).

Le temps de calcul correspondant à l'obtention d'un C-scan complet est de 30 minutes environ.



5a - Capteur à double fonction (données absolues)

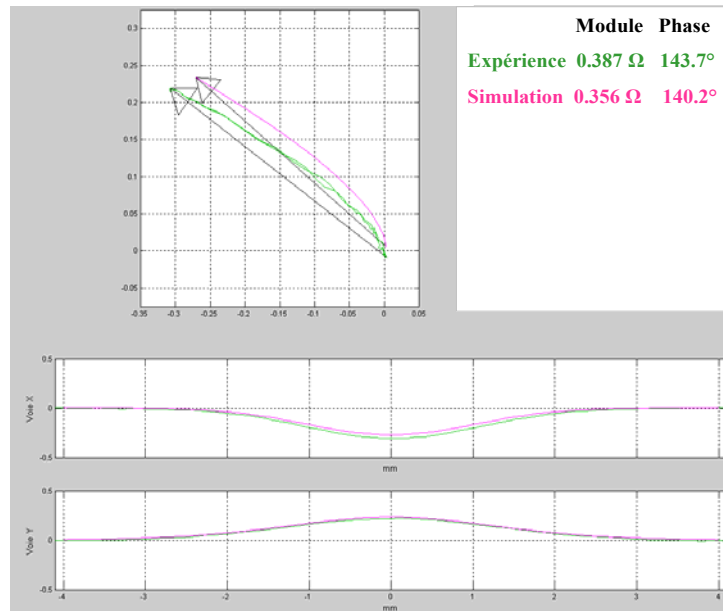


5b - Capteur à fonctions séparées (données étalonnées sur le défaut F7)

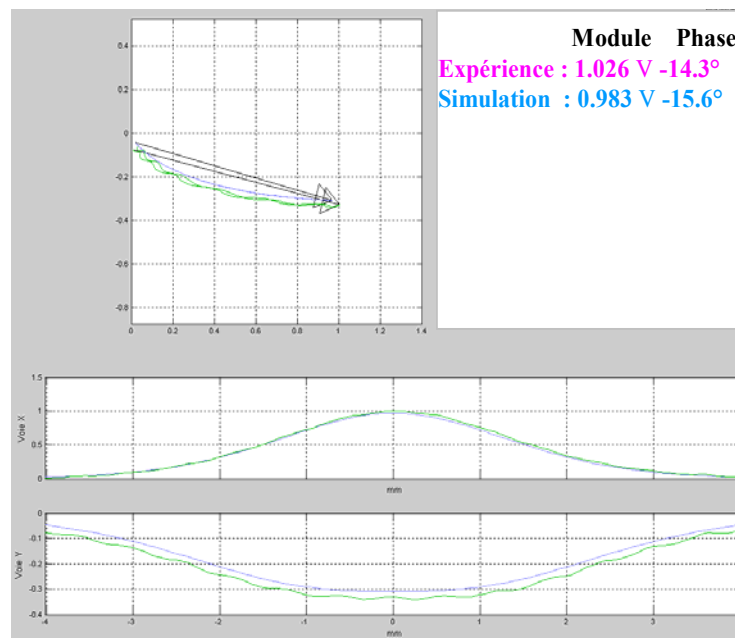
Figure 5 : Problème-test n°2 : Comparaison entre données simulées par CIVA-CF et données expérimentales - C-scans sur le défaut F5 (100% - L = 5 mm) - f = 100 kHz



Toutefois, pour les applications de benchmarking, on préférera la comparaison entre les signatures CF dans le plan d'impédances ou l'analyse des projections lorsque le capteur suit une trajectoire linéaire. La figure 6 permet de visualiser, pour la simulation avec CIVA-CF, ces deux types de représentation lorsque le capteur suit la trajectoire matérialisée en rouge sur la figure 1 (ou AA' sur les C-scans de la figure 5). Elles permettent d'établir le bon accord entre données simulées et expérimentales, non seulement sur les valeurs du signal maximum, mais également sur toute la forme du signal.



6a - Capteur à double fonction



6b - Capteur à fonctions séparées

Figure 6 : Problème-test n°2 : Comparaison entre données simulées par CIVA-CF et données expérimentales - signature dans le plan d'impédances et projections X et Y -  $f = 100$  kHz

Le tableau 2 permet de comparer les amplitudes et phases obtenues sur le défaut F5 avec les deux codes testés pour le capteur double fonction. Par ailleurs, les résultats obtenus avec CIVA sur le capteur à fonctions séparées sont fournis. On note le très bon accord entre simulation et expérience, qui justifie notamment les mesures correctives prises avec les codes aux éléments finis sur la représentation du défaut traversant.

		Expérience	CIVA		FLUX	
				écart		écart
Capteur double fonction						
100 kHz	Module	0.387 $\Omega$	0.356 $\Omega$	8.0 %	0.403 $\Omega$	4.1 %
	phase	143.7°	140.2°	3.5°	139.9°	3.8°
300 kHz	Module	1.822 $\Omega$	1.638 $\Omega$	10.1%	1.87 $\Omega$	2.6 %
	phase	113.2°	118.8°	5.6°	113.3°	0.1°
Capteur fonctions séparées						
100 kHz	Module	1.026 V	0.983 V	4.2 %		
	phase	-14.3°	-15.6°	1.3°		
300 kHz	Module	0.749 V	0.719 V	4.0 %		
	phase	-32.4°	-35.9°	3.5°		

Tableau 2 : Cas-test n°2 : Comparaison expérience-simulation pour plusieurs codes  
Défaut F5 (traversant, l = 2 mm) - amplitude et phase du signal maximum

### Cas-test n°3

Le cas-test n°3 a été traité par Dassault Aviation en utilisant le code aux éléments finis TRIFOU, développé par EDF.

La comparaison présentée porte sur un des défauts présents dans l'alésage, appelé L5 (longueur 2 mm, profondeur 1 mm). La comparaison des C-scans (cf. Fig. 7) montre une dissymétrie sur les résultats expérimentaux. Cette dissymétrie n'a pas lieu d'être, le capteur étant complètement symétrique, ce que confirme le résultat de la simulation. La raison en est probablement un déséquilibre, soit géométrique, soit électrique, entre les deux enroulements constituant le capteur. On constate un bon accord sur le lobe de gauche du C-scan, ce qui indique que c'est celui-là qui est le plus fiable pour constituer les données de référence. Cette constatation est confirmée par la comparaison entre les signaux obtenus lors d'un balayage transversal du défaut (cf. Fig. 8).

Cette observation pointe la limite de certaines validations expérimentales, les capteurs réels étant par nature imparfaits et pouvant montrer certains écarts avec les capteurs simulés. Dans le cas précis du problème-test n°3, il a été décidé de retenir les données simulées avec TRIFOU comme données de référence.

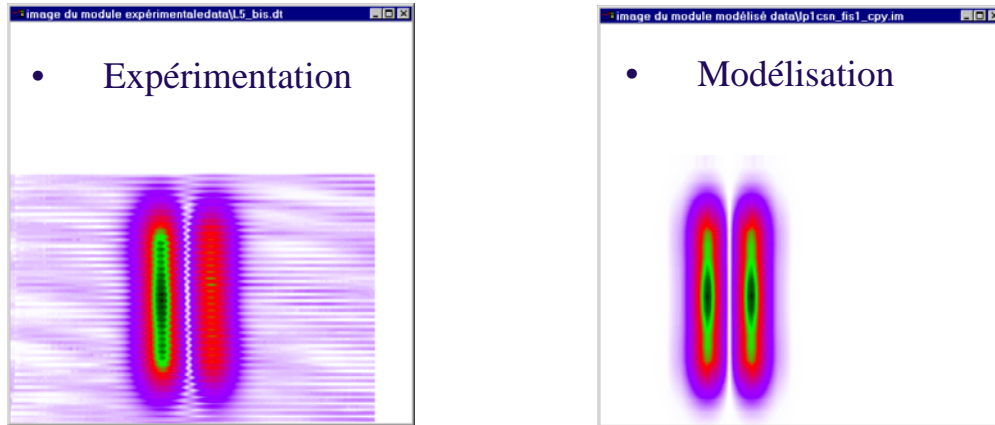


Figure 7 : Problème-test n°3 : Comparaison des C-scans simulés par TRIFOU avec les données expérimentales sur l'entaille L5

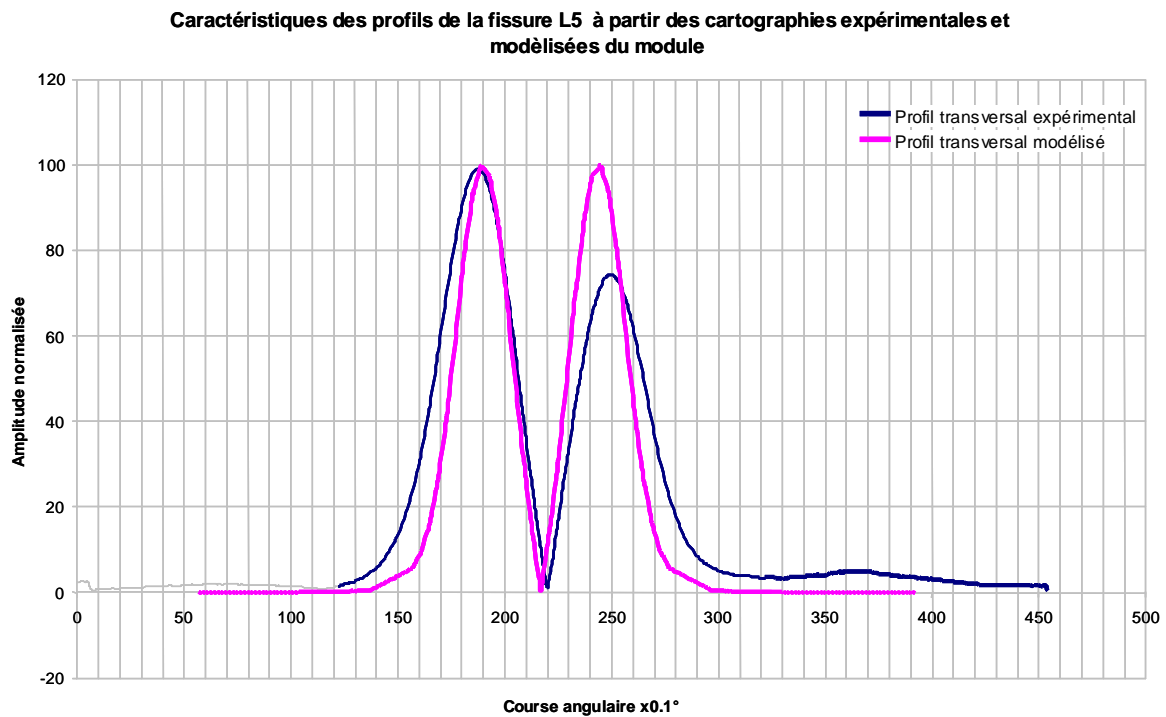


Figure 8 : Problème-test n°3 : Comparaison entre données simulées par TRIFOU avec les données expérimentales (module du signal sur un balayage perpendiculaire au défaut L5)

## JOURNÉE TECHNIQUE "COURANTS DE FOUCAULT" DU 29 JANVIER 2008

L'organisation de cette journée répondait à la demande de continuité de l'information technique affichée par les participants à la première journée "simulation courants de Foucault" du 19 Octobre 2004. Cette manifestation, qui s'est déroulée à l'Institut Henri Poincaré à Paris, était co-organisée avec le GDR Ondes du CNRS, dont certains membres appartiennent également au GT COFREND. Le pari effectué était de faire interagir deux communautés qui ont peu l'occasion de se retrouver : celle des industriels membres de la

COFREND et celle des universitaires et scientifiques impliqués dans les travaux de recherche amont en rapport avec les END par méthodes électromagnétiques.

La journée ciblait un domaine d'intérêt élargi, puisqu'elle s'articulait autour de trois thèmes :

- modélisation : développements des outils et applications
- problèmes inverses
- mesures - nouveaux capteurs

Chaque thème comportait une conférence invitée et plusieurs conférences proposées suite à un appel à communication (pour un total de 15 conférences).

La journée a connu un franc succès, rassemblant une cinquantaine de participants équitablement répartis entre industriels et universitaires. Cela est à la fois une démonstration de l'opportunité de ce type de manifestation, complémentaire d'évènements plus ciblés vers les industriels tels que les journées COFREND de Toulouse, et d'une volonté de décloisonnement entre les différents acteurs intervenant sur des sujets techniques en rapport avec les END par méthodes électromagnétiques. L'organisation d'autres journées de ce type sera probablement à l'ordre du jour dans les années à venir.

Le programme complet de la journée et les présentations effectuées peuvent être consultés sur le site suivant :

[http://www.cofrend.com/download/2008-01-29\\_modcf/](http://www.cofrend.com/download/2008-01-29_modcf/)

## CONCLUSIONS

Le Groupe de Travail COFREND sur la simulation des END par courants de Foucault, fondé en 2003, a maintenant atteint sa vitesse de croisière. Il touche sur un large périmètre la communauté des END, de la recherche de base jusqu'aux applications industrielles les plus concrètes.

Le GT a à son actif l'organisation de deux journées techniques qui, par leur fréquentation et l'indice de satisfaction exprimé, montrent que le plus grand nombre se reconnaît dans les problématiques liées à la simulation des END par courants de Foucault (et, plus généralement, par d'autres méthodes) et qu'il existe un besoin fort d'échange entre ces différents acteurs.

Par ailleurs, le GT a mis en place un chantier dédié au "benchmarking", en jouant à la fois sur les tableaux de la définition de cas-tests et de leur résolution, tout en mettant en avant la spécificité de la COFREND pour proposer des cas représentatifs des problématiques industrielles. Les premiers résultats commencent à être engrangés, avec la définition de 4 cas-tests et les premiers exemples de résolution par différents codes. L'utilisation d'un des cas-test comme benchmark de référence par un projet national RNTL est à cet égard symptomatique du début de reconnaissance de l'action du GT.

De nombreuses pistes d'évolution et d'amélioration existent, notamment améliorer l'ergonomie et la convivialité du site accueillant les définitions de cas-tests et leur résolution, étendre les problèmes industriels traités vers des secteurs qui ont jusqu'à présent peu contribué (automobile, sidérurgie, pétrochimie, par exemple), continuer à élargir le panel des problèmes peu couverts par les benchmarks existants (par exemple, prise en compte de matériaux ferromagnétiques, utilisation de techniques CF champ lointain ou CF pulsés, de capteurs à mesure de champ type GMR), envisager une diffusion des benchmarks à l'international.

## Références

- [1]. M. MAYOS, R. LEVY, T. SOLLIER, H. TRETOUT, N. BETSCH, F. FOUCHER, S. LEPAUL, G. NEAU, A. NICOLAS, D. PREMEL : Groupes de Travail COFREND en END par courants de Foucault : bilan et perspectives, journées COFREND, Beaune, Mai 2005.
- [2]. J. C. VÉRITÉ : Application of a 3D Eddy Current Code (TRIFOU) to Nondestructive Testing, COMPEL Vol. 3 (1984), pp.167-178
- [3]. T. TAKAGI, M. UESAKA, K. MIYA : Electromagnetic NDE research activities in JSAEM, ENDE 1996, Tokyo, IOS Press, pp. 9-16
- [4]. Y. LE FLOCH, J-C. VÉRITÉ, C. GUERIN, R. RUIZ, F. FOUCHER, X. BRUNOTTE, A. PERREGAUX : Non-Destructive Testing Modelling with Finite Element Method (Problem 8), ENDE 2004, East Lansing
- [5]. A. SCHUMM, G. PICHENOT, M. MAYOS : Simulation code validation targeting steam generator inspection with eddy current, 5<sup>th</sup> International Conference on NDE in relation to structural integrity for nuclear and pressurized components, San Diego, Mai 2006
- [6]. O. MOREAU, C. GILLES-PASCAUD, C. REBOUD : Démarche de validation de code de simulation en CND par Courants de Foucault, Journées COFREND, Toulouse, Mai 2008
- [7]. S. PAILLARD, G. PICHENOT, M. LAMBERT, H. VOILLAUME : Eddy current modelling for inspection of riveted structures in aeronautics, ENDE 2006, Iwate, in S. Takahashi & H. Kikuchi Eds., IOS Press, Amsterdam (2007), pp. 25--32
- [8]. L. LE BER, P. CALMON, T. SOLLIER, S. MAHAUT., P. BENOIST : Advances of simulation and expertise capabilities in CIVA platform, QNDE Vol. 25, 2006, pp. 684-691