



Groupe de travail COFEND sur la simulation des END par courants de Foucault – Bilan d’activités

Michel Mayos, Marc Lambert, Catherine Gilles-Pascaud, Marc Dessendre,
Nicolas Dominguez, Fabrice Foucher, Ali Abakar

► To cite this version:

Michel Mayos, Marc Lambert, Catherine Gilles-Pascaud, Marc Dessendre, Nicolas Dominguez, et al..
Groupe de travail COFEND sur la simulation des END par courants de Foucault – Bilan d’activités.
Cofrend 2008, May 2008, Toulouse, France. hal-01104115

HAL Id: hal-01104115

<https://centralesupelec.hal.science/hal-01104115>

Submitted on 16 Jan 2015

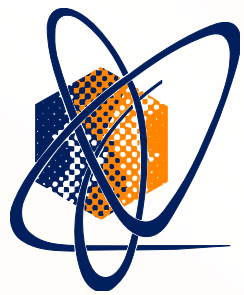
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.

Michel MAYOS - EDF/Ceidre
Marc LAMBERT - CNRS/L2S
Catherine GILLES-PASCAUD - CEA/LIST
Marc DESSENDRE - Dassault Aviation
Nicolas DOMINGUEZ - EADS/CCR
Fabrice FOUCHER - CEDRAT
Ali ABAKAR - EDF R&D

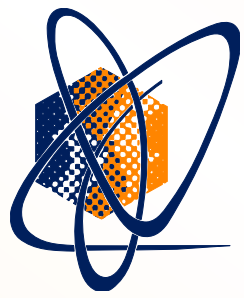


**GT COFREND sur la simulation des
END par courants de Foucault**



GT Modélisation CF

- ❑ Apparition en **2003** → objectifs généraux
- ❑ Organisation de la première journée technique modélisation CF – **Clamart 19/10/2004**
 - ➔ 2 demandes principales :
 - Continuer l'information technique
 - Travail en GT sur définition et traitement de cas-tests
- ❑ Création d'un GT "benchmarking" - **2005**
- ❑ Organisation d'une 2^e journée technique - **29/01/2008**
 - 50 participants - 15 communications
 - ➔ 3 thèmes :
 - Modélisation : outils et applications
 - Inversion
 - Mesures – Capteurs



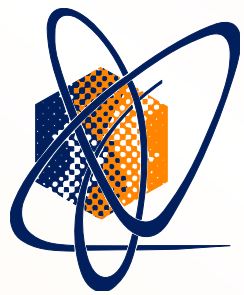
GT "Benchmarking"

□ 5 réunions : 06/05, 11/05, 09/06, 05/07, 05/08

□ 10-13 participants/réunion

□ Participants :

- Industriels : EADS, Dassault, SNECMA, Renault, EDF, AREVA, Vallourec**
- Labos / développeurs : CEA, Supelec/CNRS (L2S, LGEP), Laboratoire Ampère (ECL), CEDRAT**
- Équipementiers : Alphatest, Zetec**



Expression du besoin

- ❑ Un GT "benchmarking" : pour quoi faire ?
- ❑ Apports par rapport aux autres benchmarks ?



Constatation :

- Des problèmes numériques sont rencontrés sur des cas de calcul apparemment simples
 - Exemple (cas EDF) : défaut traversant sur un conducteur mince
 - La validation des codes par des benchmarks connus (ex. problème 8 des TEAM Workshop) ne garantit pas un résultat valide sur ces cas de calcul
 - Les benchmarks "académiques" sont parfois éloignés des cas industriels
- ➔ *Pallier ces lacunes pour avoir des éléments de réponse sur l'aptitude d'un code "inconnu" à traiter un type de problème donné, en rapport avec les préoccupations des utilisateurs industriels*



Objectifs du GT

❑ Définir des cas-tests

- **Réalistes** : inspirés de problématiques industrielles
- **Simple**s : d'un traitement relativement facile par les codes-candidats
- **Nouveaux** : s'écartant des benchmarks connus
- **Vérifiables** : des données de référence existent pour permettre de valider les codes-candidats

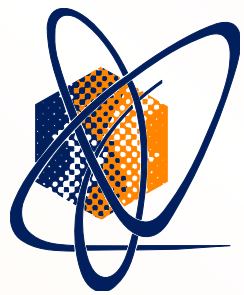
❑ Conditions à remplir par un cas-test

- Les données descriptives du cas sont connues et publiables (éviter les capteurs à caractéristiques "propriétaires", par exemple)
- ➔ Il n'est pas recommandé de traiter exactement le cas industriel
- Des résultats expérimentaux et/ou simulés de référence complets sont disponibles
- Les cas-tests et les résultats de calcul sont publics
- ➔ utilisation du site COFREND <http://gt.cofrend.com/index.php>

N.B. Conditions différentes d'un projet multi-partenaires (type RNTL)

❑ Promouvoir et mettre à disposition les cas-tests

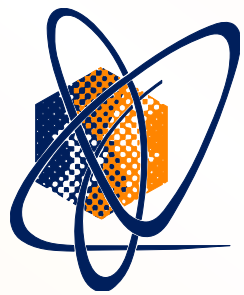
❑ Favoriser la résolution des cas-tests et les échanges de solutions



Les problèmes-tests actuels

- ☒ **Pb-test n°2** : entailles internes, externes, traversantes sur conducteur mince amagnétique (proposition EDF-CEA) 
- ☒ **Pb-test n°3** : défauts de formes variables dans un alésage (proposition Dassault) 
- ☐ **Pb-test n°4** : fissures en bordures de rivets (proposition EADS-Dassault) 
- ☒ **Pb-test n°5** : structure bi-couche avec trou et espacement entre couches (proposition CEA-L2S-LGEP) 
- ☐ *Pb-test n°1 abandonné : mesure d'épaisseur sur conducteur multicouches ferromagnétique (proposition Renault)*
- ☐ À venir : une proposition SNECMA



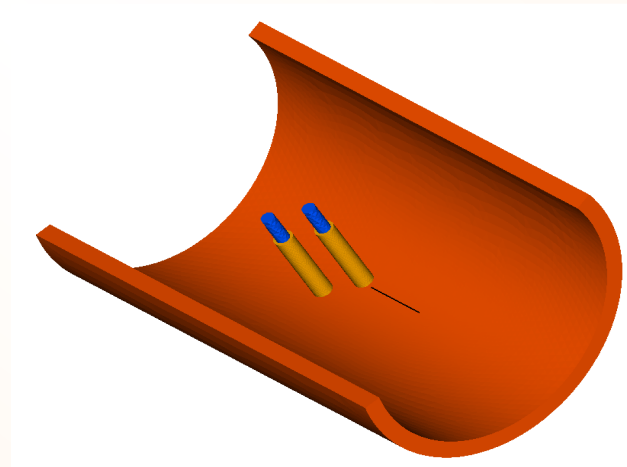


Cas-test n°2

Origine : EDF-CEA

Entailles internes, externes, traversantes sur conducteur mince amagnétique

- **Origine industrielle : END de fissures de corrosion sous contrainte (CSC) sur tubes de GV**



- **Motivation : problèmes numériques rencontrés en raison de l'aspect traversant du défaut (problèmes de connexité)**



Cas-test n°2

entailles internes, externes, traversantes sur conducteur
mince amagnétique

Matériau : Inconel 600

épaisseur plaque : 1.55 mm

F1 à F5 :

entailles $l = 2$ mm ; ouv. = 0.1 mm

$p = 20\%$ à 100%

F6 à F10 :

entailles $l = 10$ mm ; ouv. = 0.3 mm

$p = 20\%$ à 100%

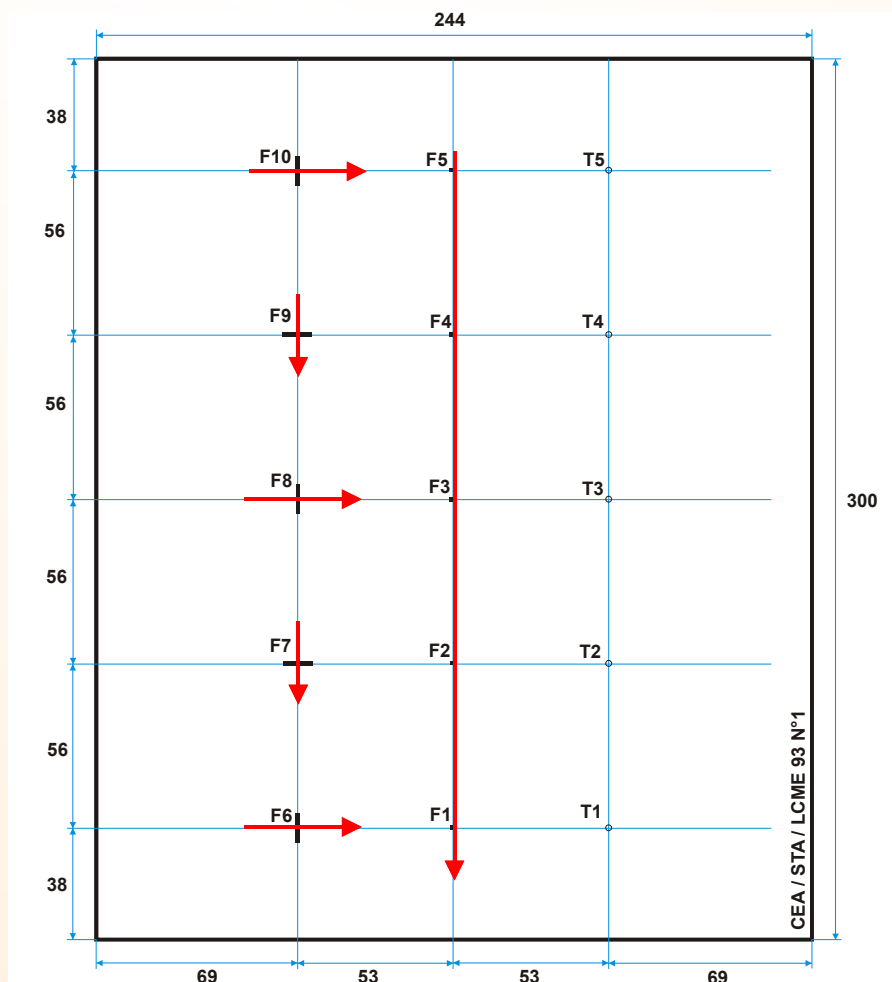
entailles débouchantes – 2 acquisitions en
retournant la plaque

2 capteurs "génériques"

-double fonction absolu

-fonctions séparées absolu

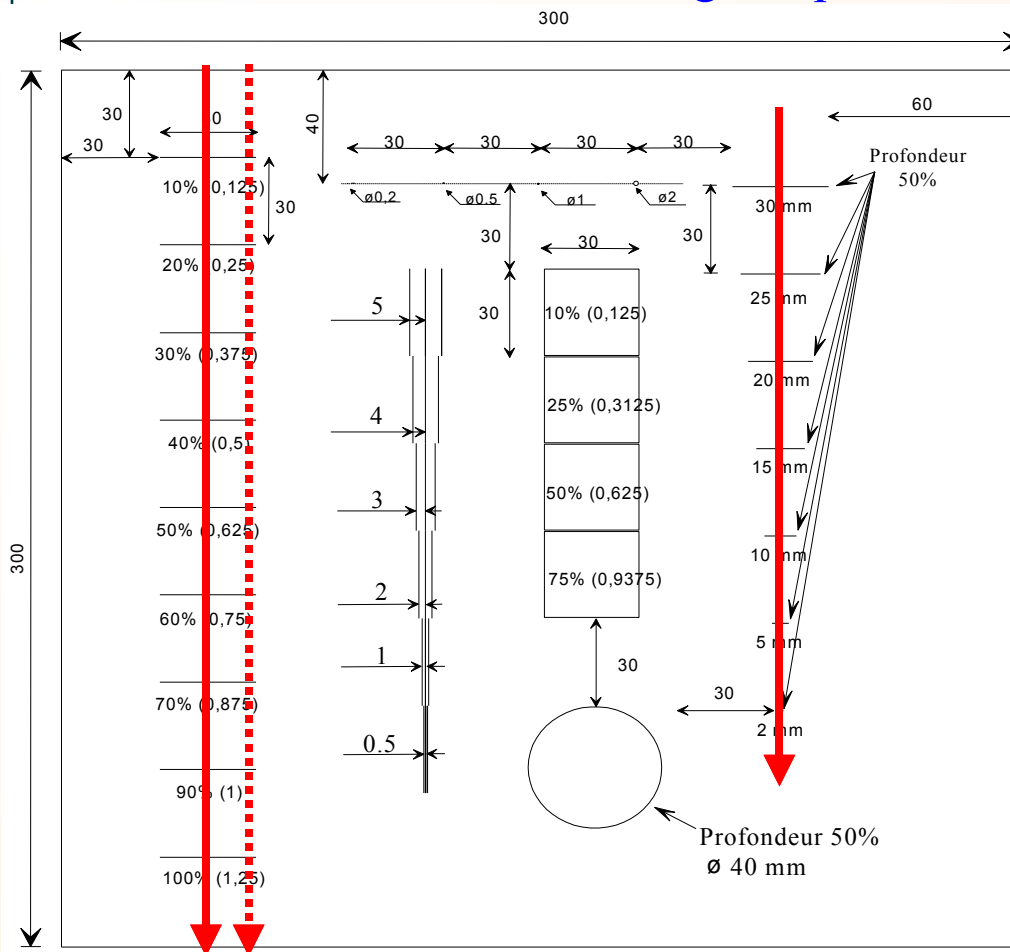
$f = 100, 300, 500$ kHz





Cas-test n°2

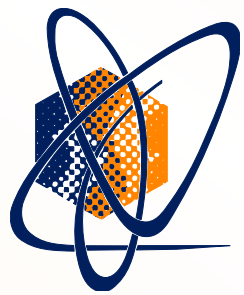
entailles internes, externes, traversantes sur conducteur
mince amagnétique



2 capteurs "génériques"
-double fonction absolu
-fonctions séparées
absolu



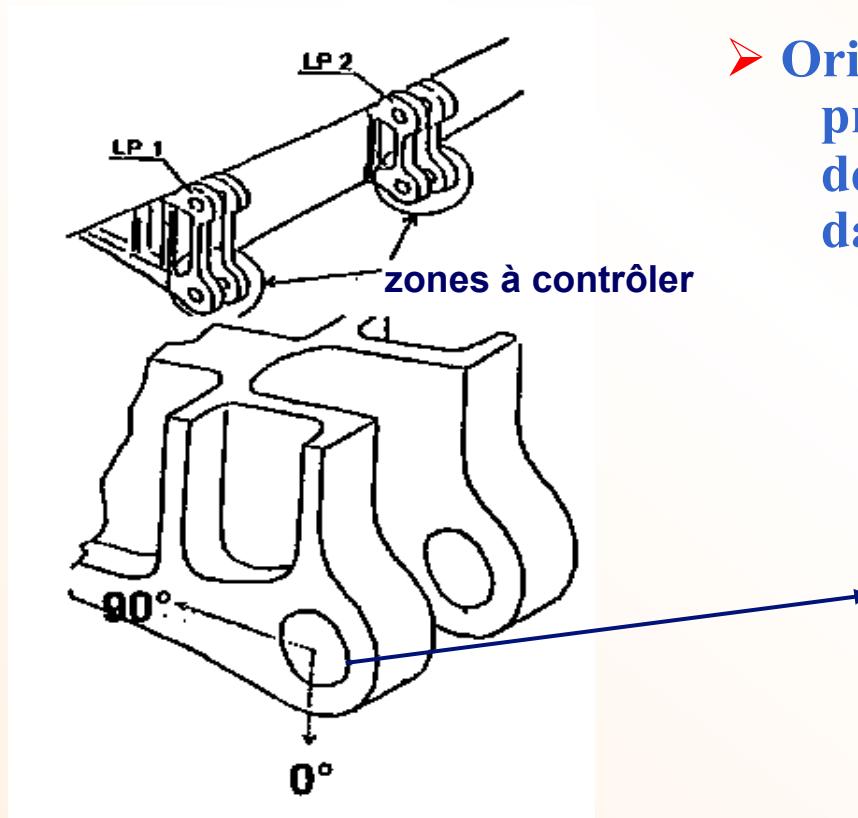
Plaque épaisseur 1.27 mm
Entaille Electro-érodée Largeur < 0.2 mm



Cas-test n°3

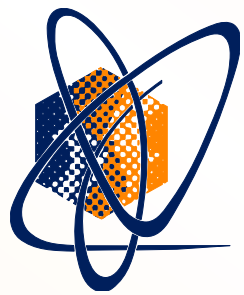
Origine : Dassault

Défauts de forme variable dans un alésage



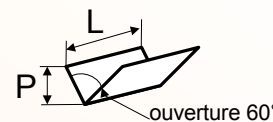
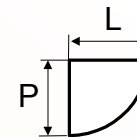
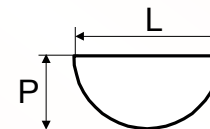
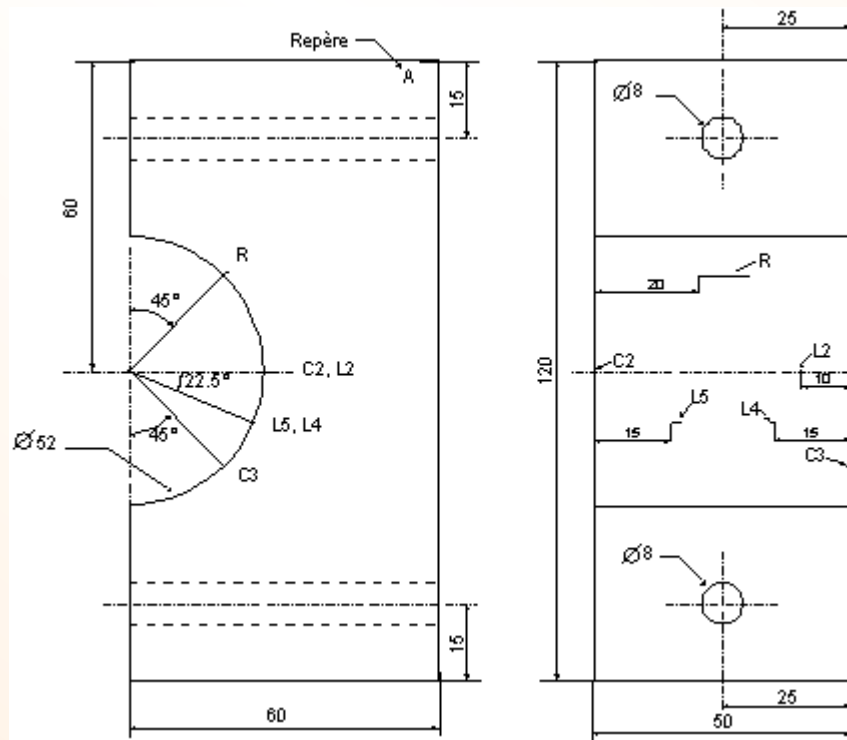
➤ Origine industrielle : Œil d'attache principale de la voilure M2000 –
détection de fissures de fatigue
dans l'alésage





Cas-test n°3

défauts de forme variable dans un alésage



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

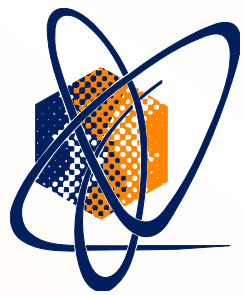
	P (mm)	L (mm)
rayure	0.2	10

Matériau : Al 2024 T3

f = 500 kHz

Capteur différentiel 2 bobines double fonction



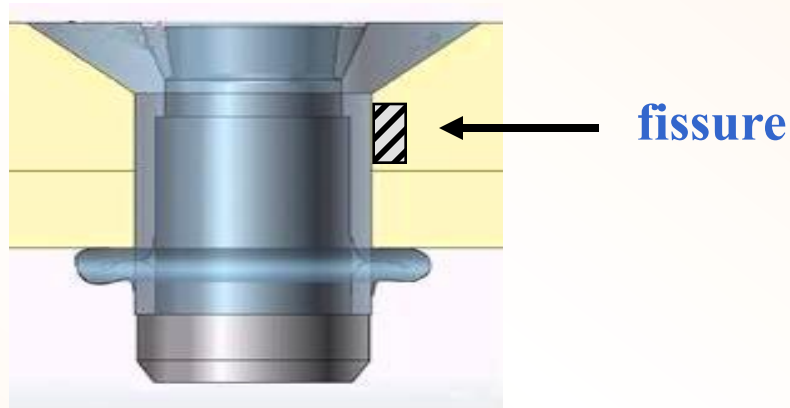


Cas-test n°4

Origine : EADS-Dassault

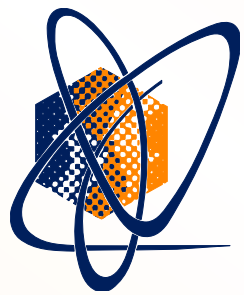
Fissures en bordures de rivets

- Origine industrielle : END d'assemblages rivetés



- Description du problème en cours de finalisation



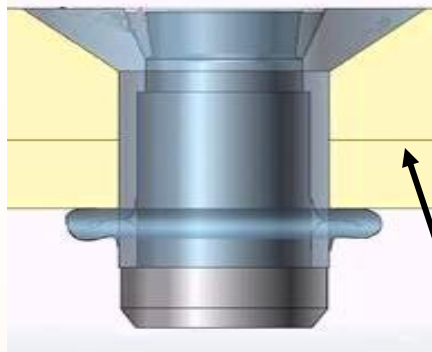


Cas-test n°5

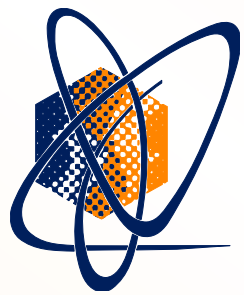
Origine : CEA-L2S

Structure bi-couche avec trou et espacement entre couches

- **Origine industrielle : END de structure bi-couches rivetées (cf. cas-test n°4)**



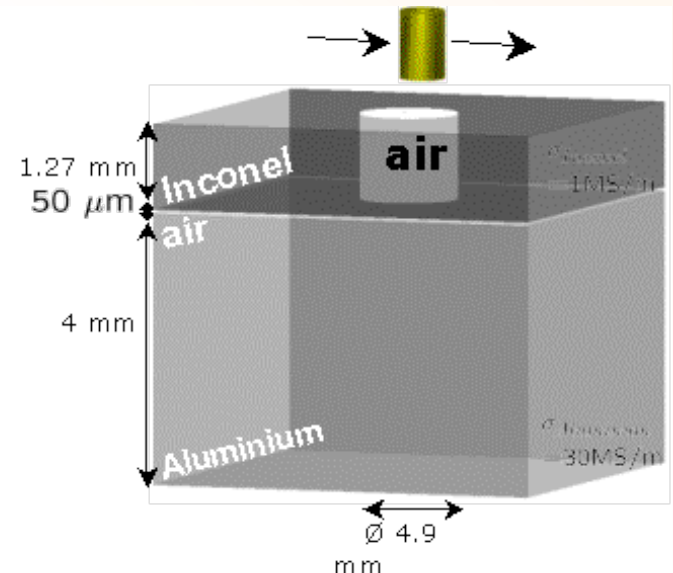
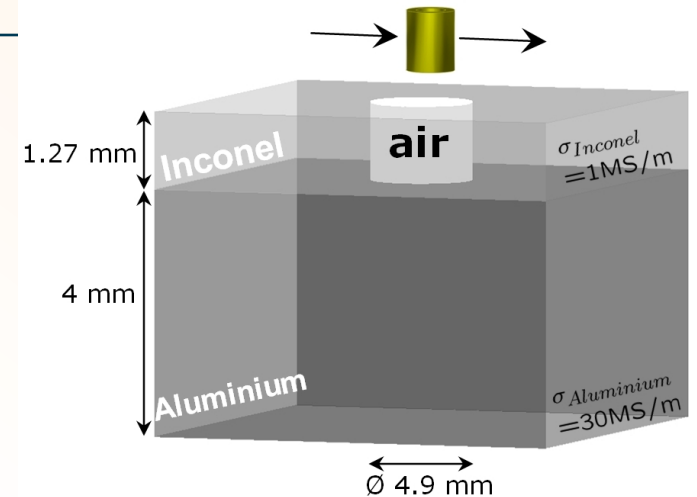
- **Motivation : étudier l'effet d'une décohésion entre les couches en tant que paramètre influant sur les résultats de l'examen**

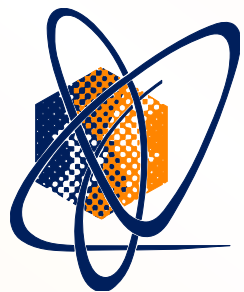


Cas-test n°5

Structure bi-couche avec trou et espacement entre couches

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





Exemple de traitement

Cas-test n°2



Codes :

CIVA-CF (CEA) : *code semi-analytique*

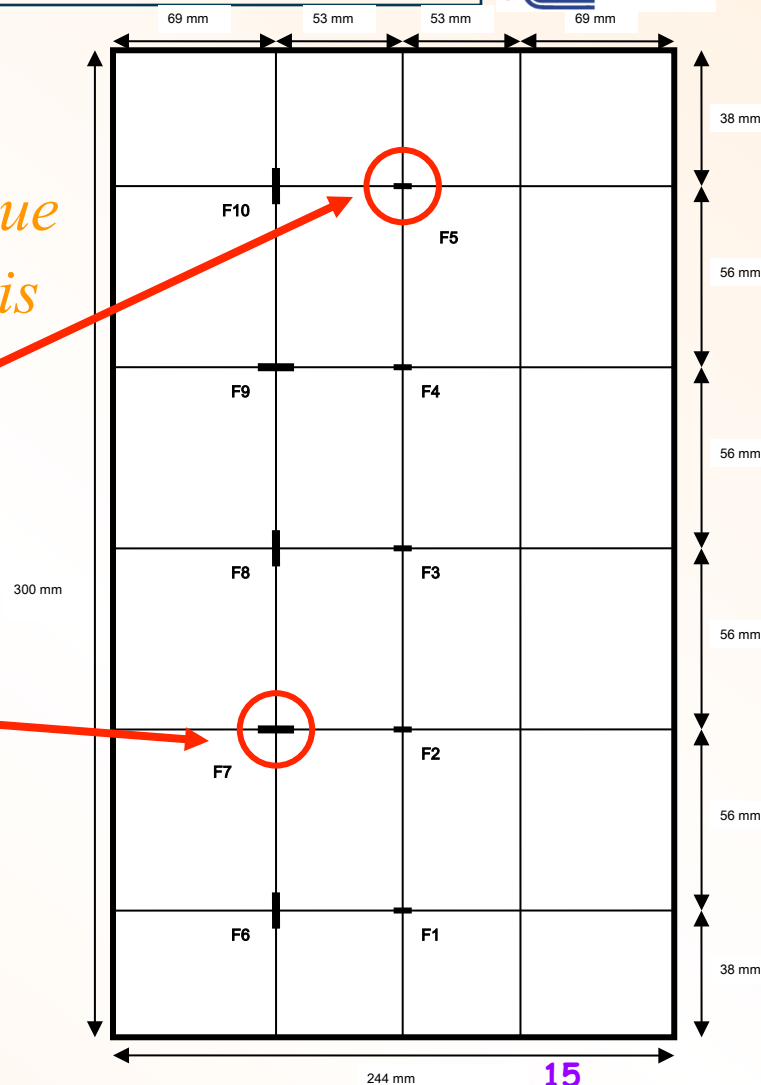
FLUX (CEDRAT) : *code éléments finis*

défaut étudié :

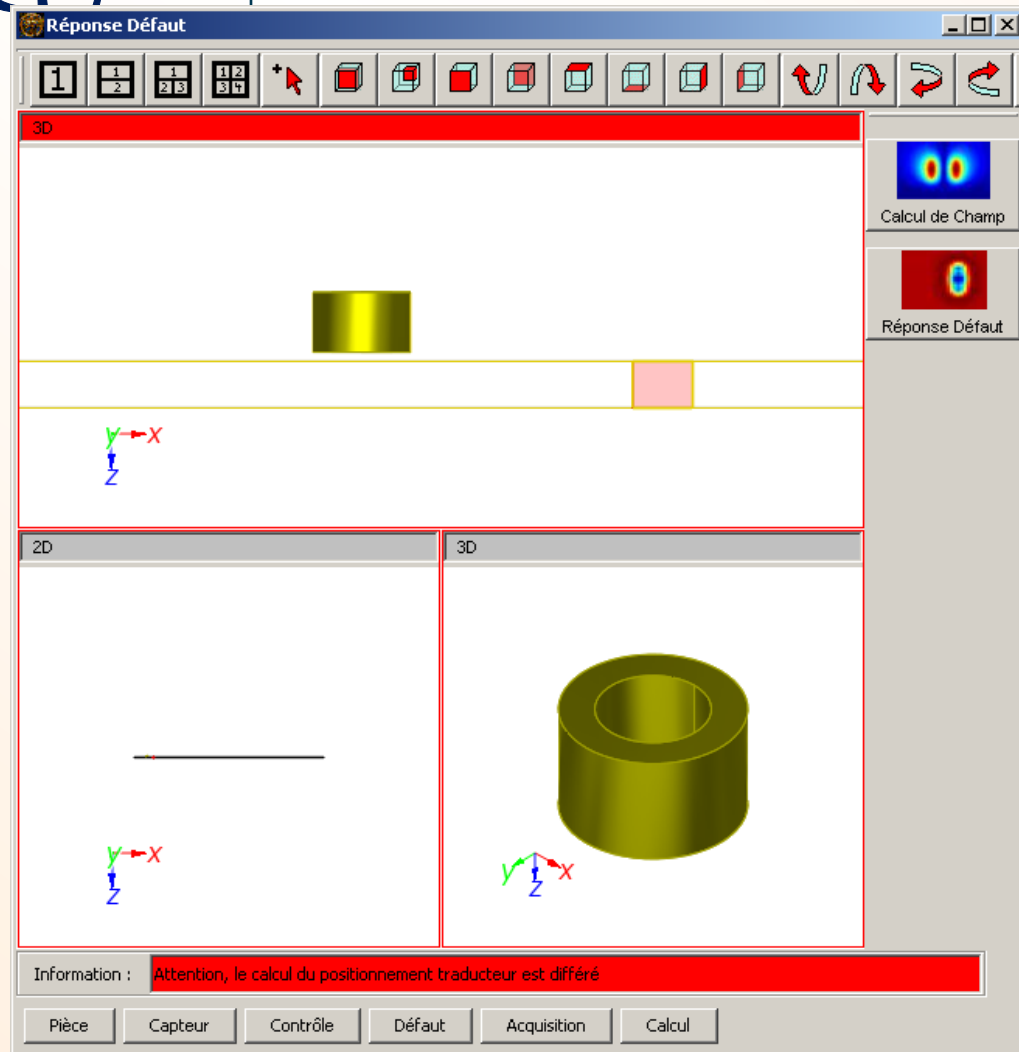
défaut traversant : $2 \times 0.1 \times 1.55$ mm

défaut étalon : $10 \times 0.3 \times 0.62$ mm
(40% I)

pour le capteur fonctions séparées



Cas-test n°2 - CIVA Capteur double fonction



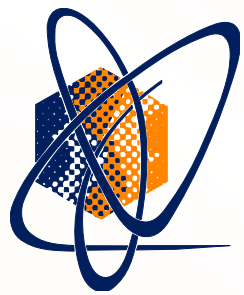
Caractéristiques du capteur:

Diamètre externe	3,25 mm
Diamètre interne	2 mm
Hauteur	2 mm
Nombre de spires	328
Entrefer	0,3 mm

Acquisition:

Impédancemètre

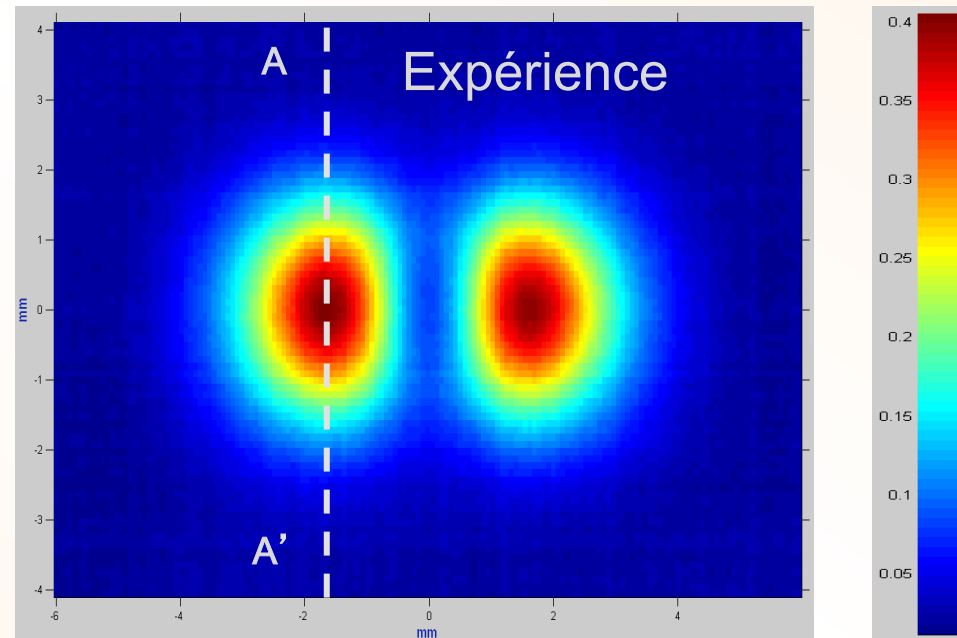
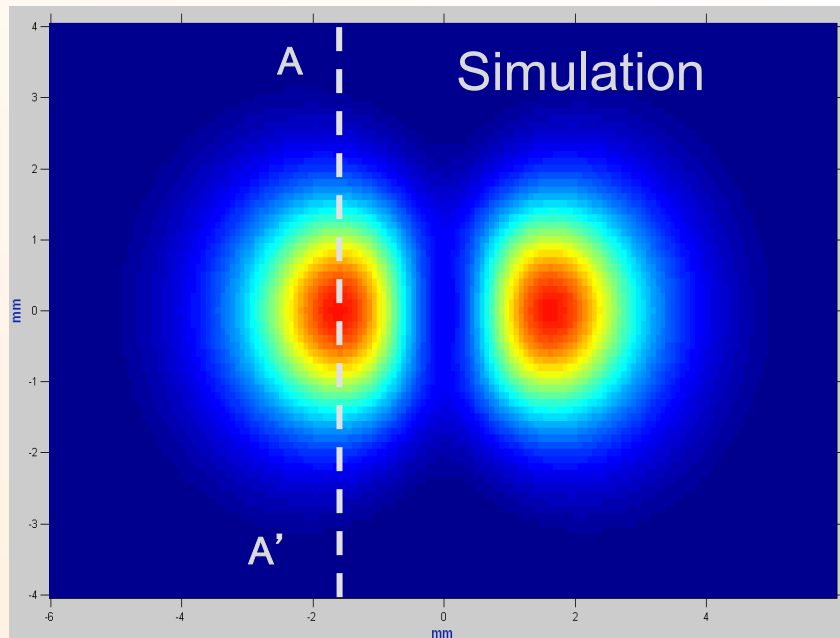
Balayage autour de la zone
de défaut

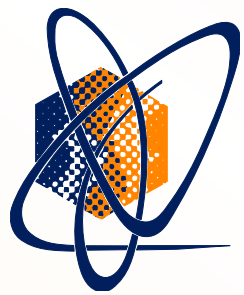


Cas-test n°2 - CIVA Capteur double fonction : défaut traversant

Cartographies 100 kHz:

Module de la variation d'impédance (Ohms)



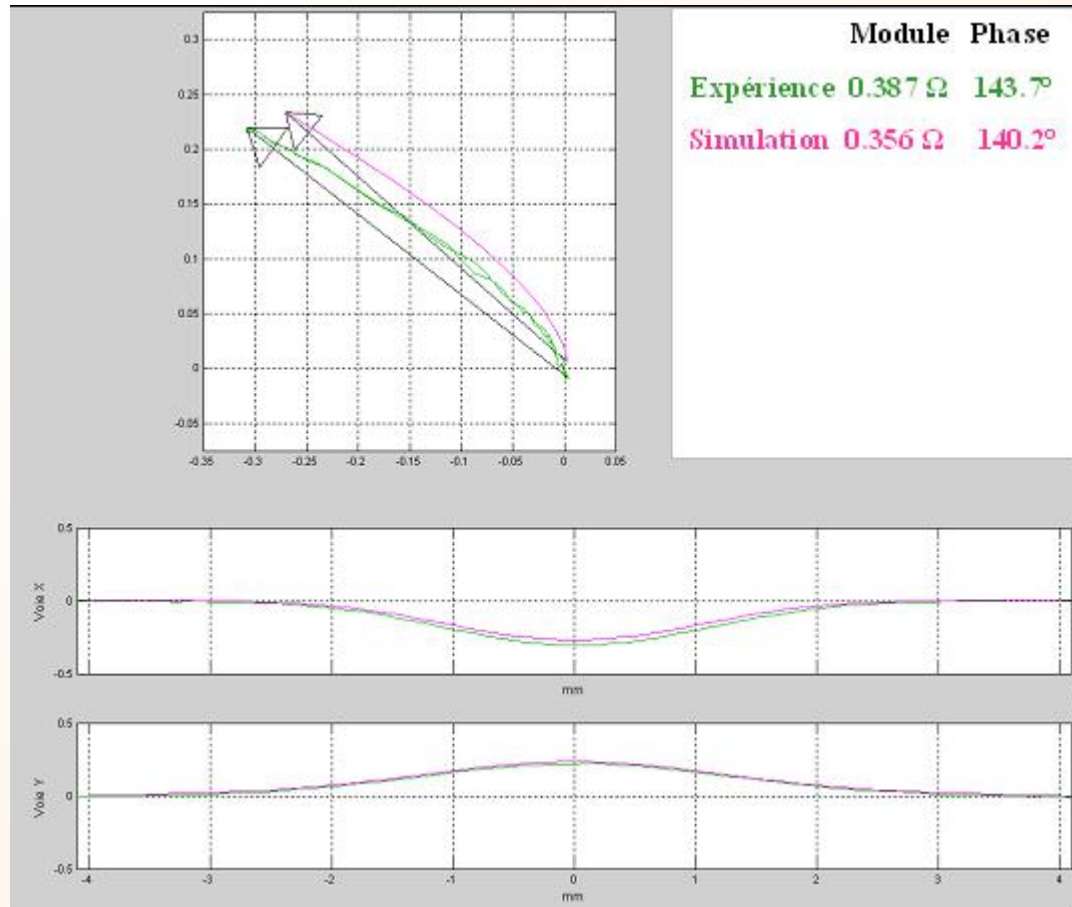


Cas-test n°2 - CIVA

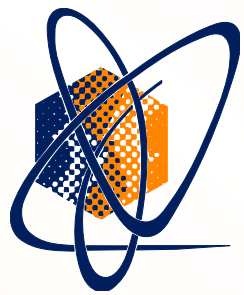
Capteur double fonction : défaut traversant 100 kHz

Comparaison Expérience / Simulation

Selon AA' :



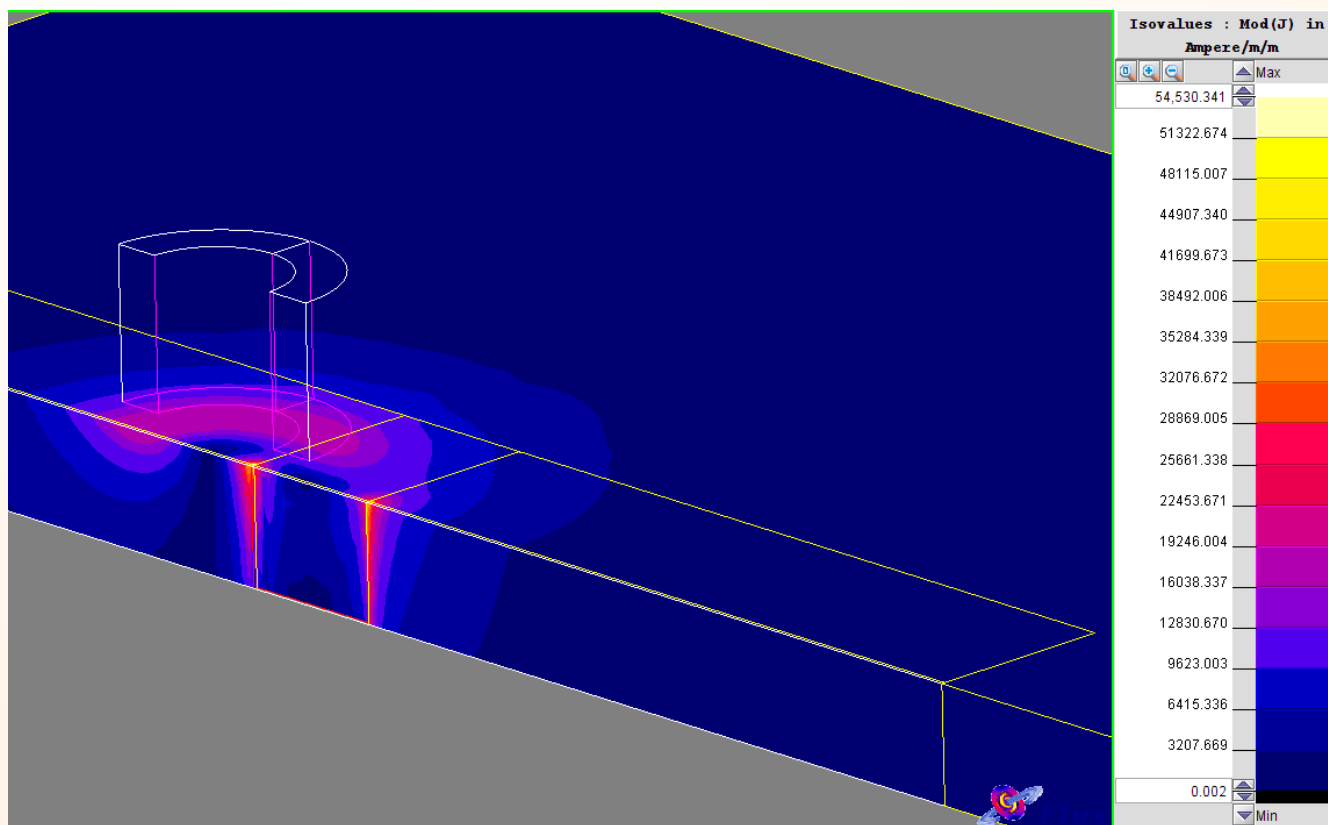
Écart expérience / simulation ~ 8% ; 3.5°

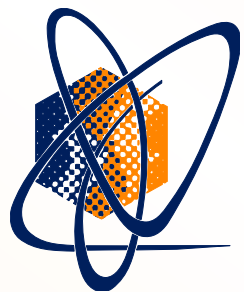


Cas-test n°2 - FLUX

Capteur double fonction : défaut traversant

Répartition de la densité de courant induit

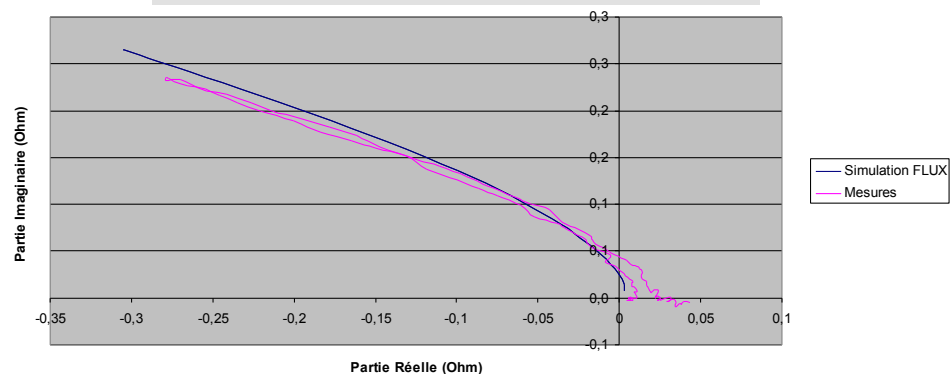




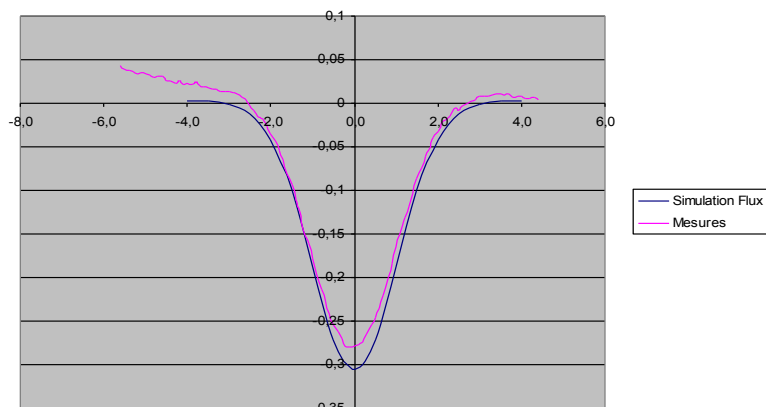
Cas-test n°2 - FLUX

Capteur double fonction : défaut traversant 100 kHz

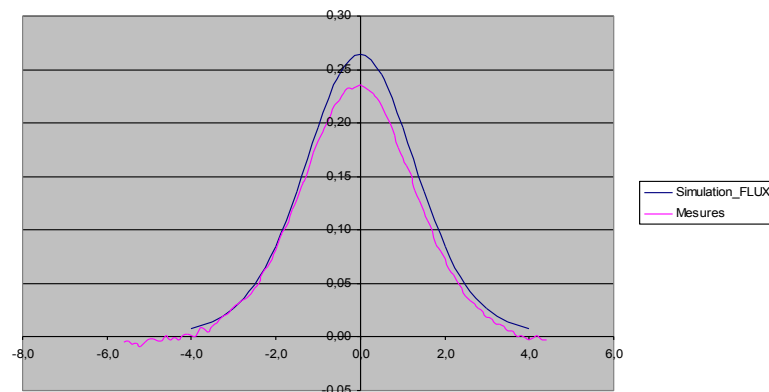
Plan d'impédances (signature)



Partie réelle



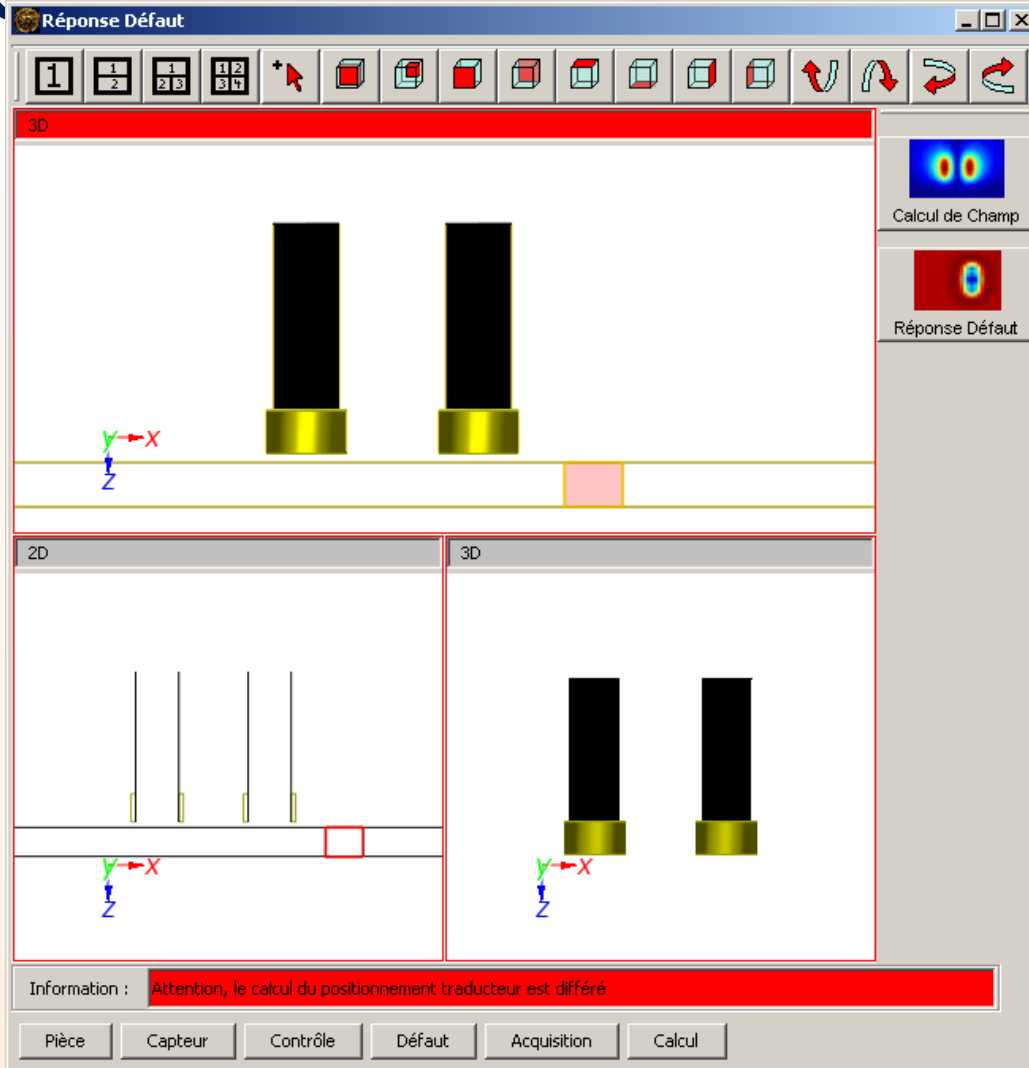
Partie imaginaire



Écart expérience / simulation ~ 4% ; 3.8°

Cas-test n°2 - CIVA

Capteur à fonctions séparées



Caractéristiques du capteur:

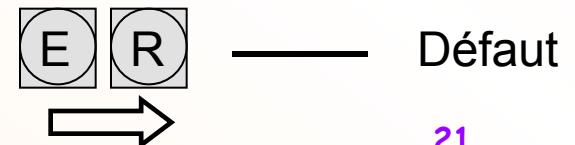
	bobinages
Nature du noyau	Ferrite B30
Diamètre du noyau	2.3 mm
Hauteur du noyau	8 mm
Diamètre interne bob	2.3 mm
Diamètre externe bob	2.8 mm
Hauteur du bob	1.5 mm
Nombre de spires	90
Entrefer	0.3 mm
Distance E/R	6 mm

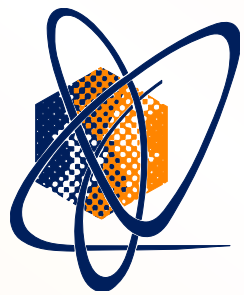
Acquisition:

Appareil CF

Balayage autour de la zone de défaut

Axe E/R aligné avec le défaut



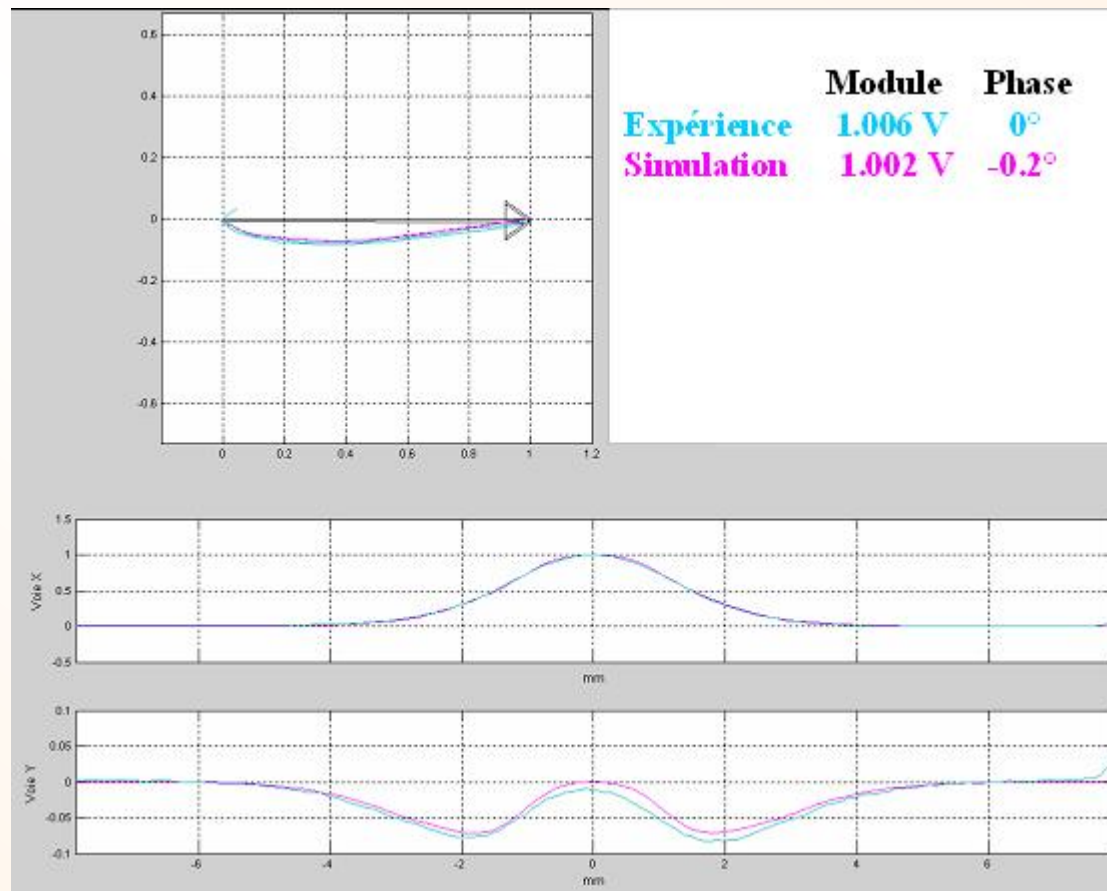


Cas-test n°2 - CIVA

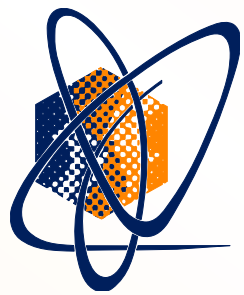
Capteur fonctions séparées : défaut-étalon 100 kHz

Comparaison Expérience / Simulation

Selon AA' :



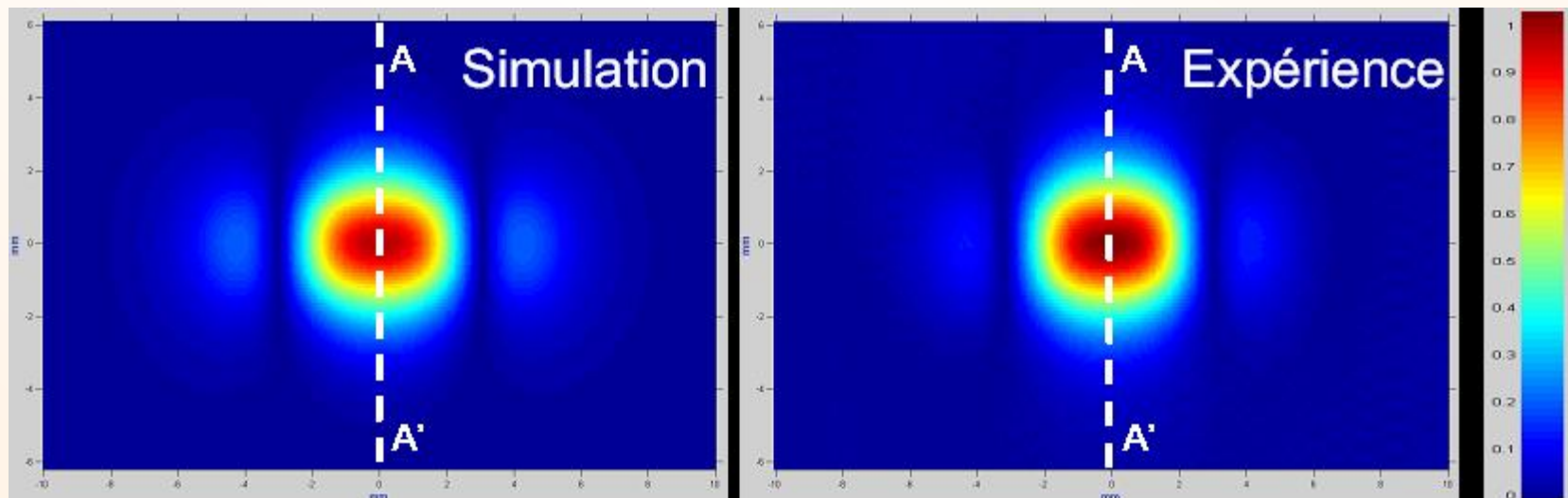
Très bon accord au niveau de la forme du signal

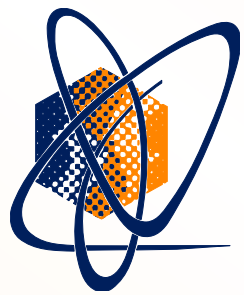


Cas-test n°2 - CIVA Capteur fonctions séparées

Cartographies défaut traversant 100 kHz après étalonnage :

Module de la variation de tension (V)



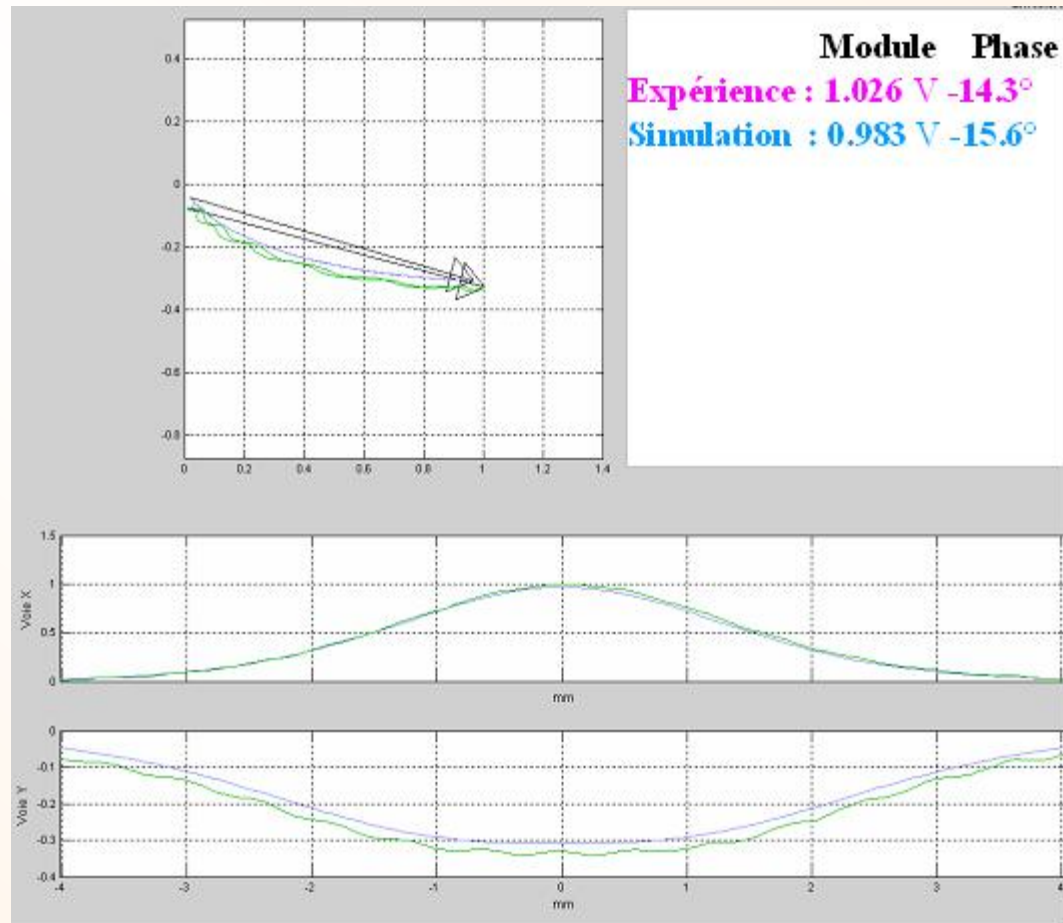


Cas-test n°2 - CIVA

Capteur fonctions séparées : défaut traversant 100 kHz

Comparaison Expérience / Simulation

Selon AA' :



Écart expérience / simulation ~ 4% ; 1.5°

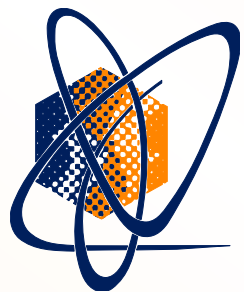


Cas-test n°2

Comparaison simulation-expérience

Résumé

		Expérience	CIVA		FLUX	
				écart		écart
Capteur double fonction						
100 kHz	Module	0.387 Ω	0.356 Ω	8.0 %	0.403 Ω	4.1 %
	phase	143.7°	140.2°	3.5°	139.9°	3.8°
300 kHz	Module	1.822 Ω	1.638 Ω	10.1%	1.87 Ω	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°		



Exemple de traitement

Cas-test n°3



Code : TRIFOU (mise en œuvre Dassault)

Code EF

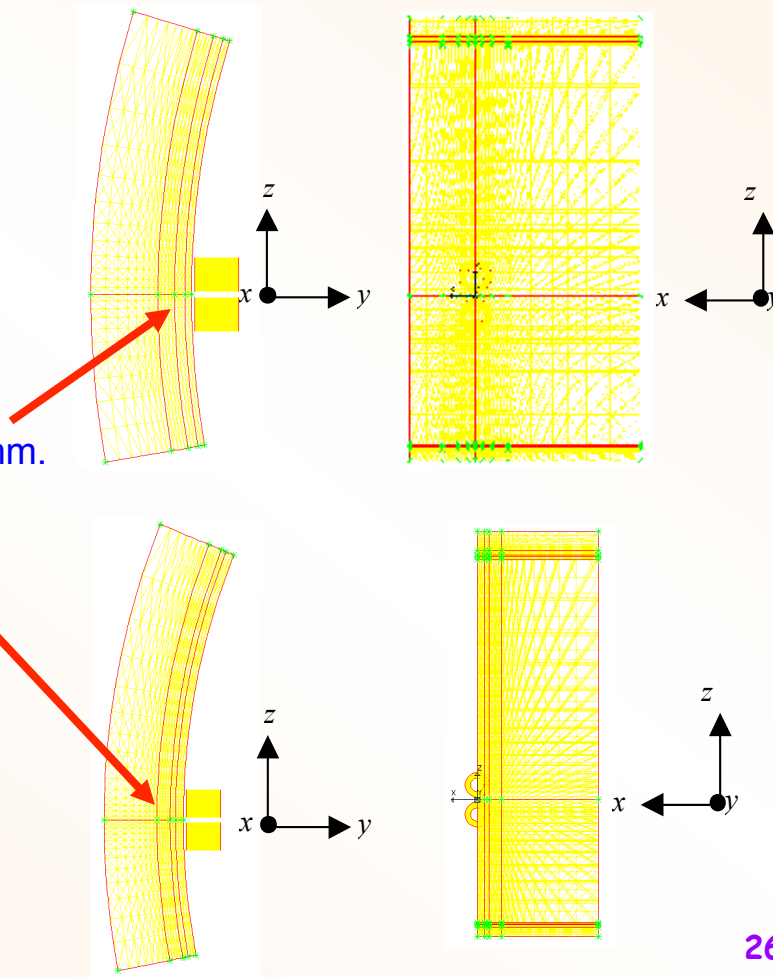
Matériau : Al 2024 T3

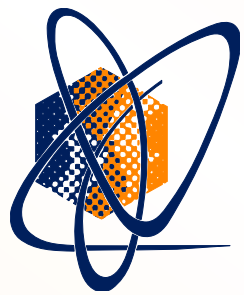
$f = 500 \text{ kHz}$

Capteur différentiel 2 bobines double fonction

fissures (entailles) :

- fissures alésage : profondeur 0.2, 0.5 et 1mm.
- fissures coin : profondeur 0.2 et 0.3mm

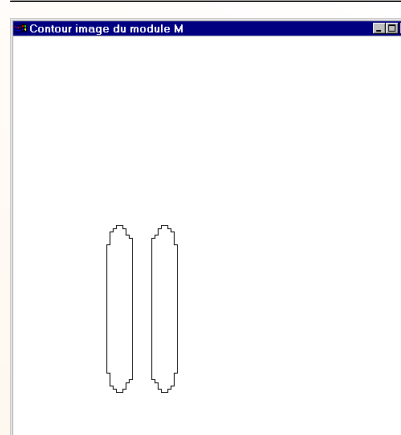
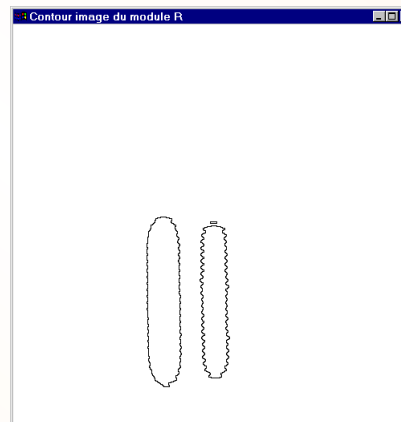
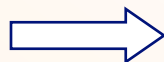
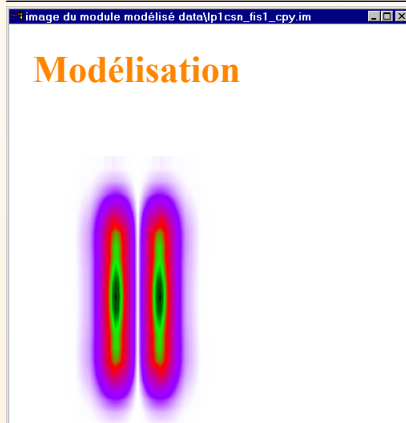
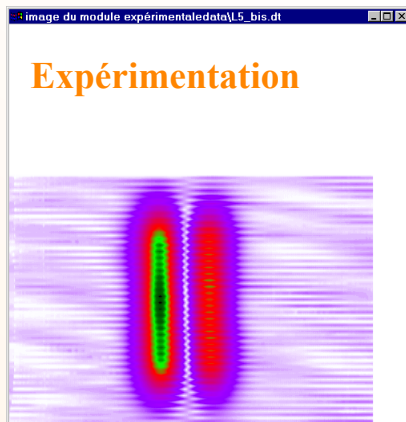




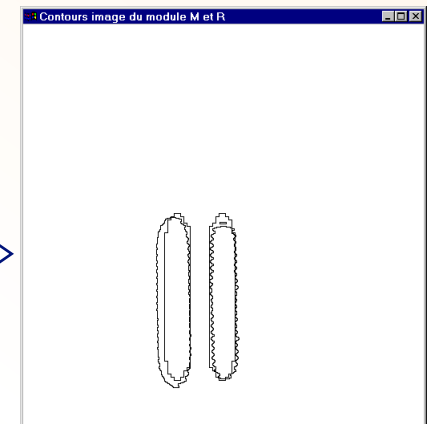
Cas-test n°3 – TRIFOU

Mise en correspondance des données expérimentales et simulées

Cartographies de la fissure L5



Contours obtenus par seuillage à 80%



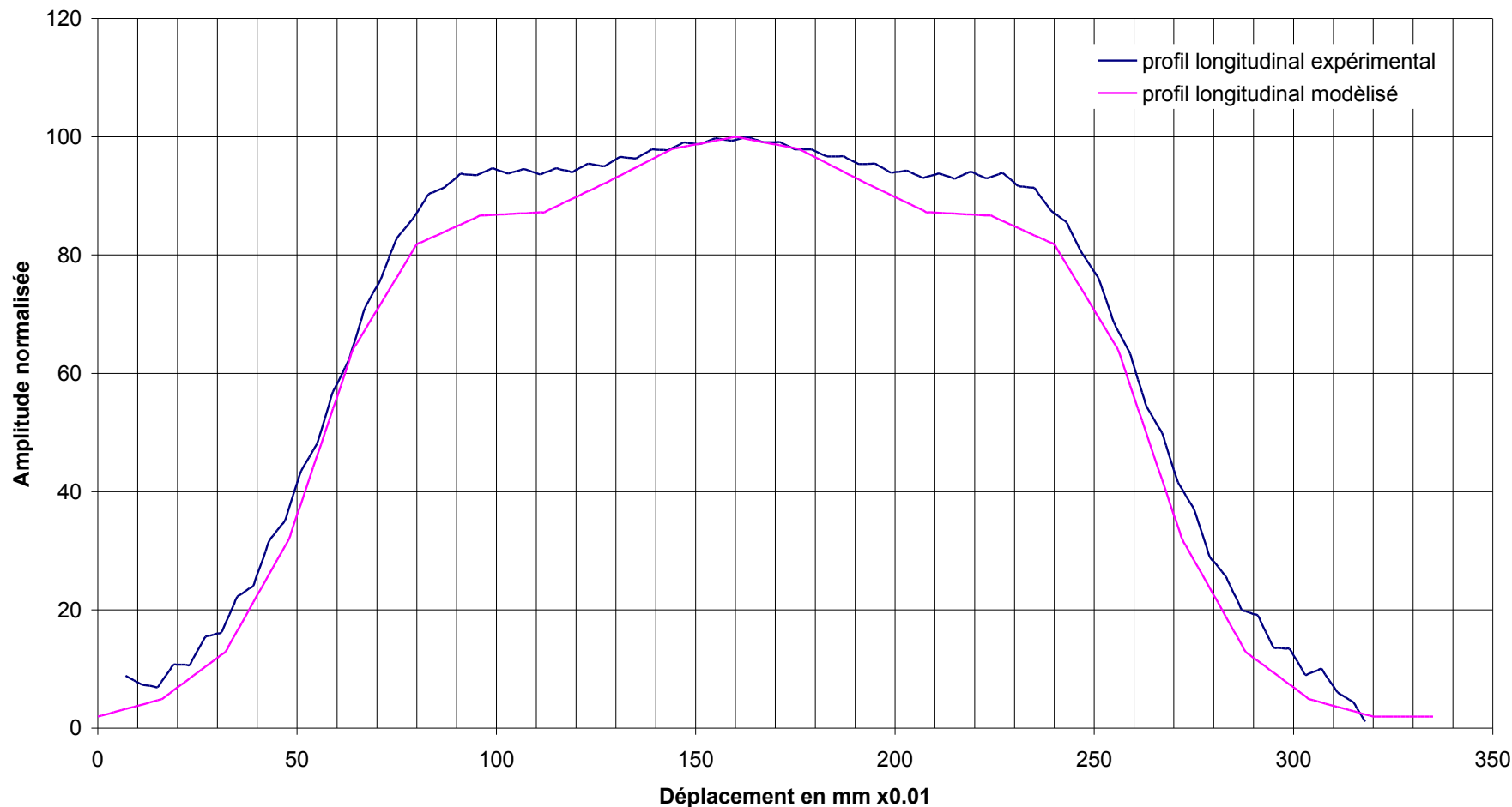
Suite à cette étude, les données TRIFOU sont retenues comme données de référence du problème



Cas-test n°3 – TRIFOU

Comparaison simulation-expérience

Caractéristiques des profils de la fissure L5 à partir des cartographies expérimentales et modélisées du module

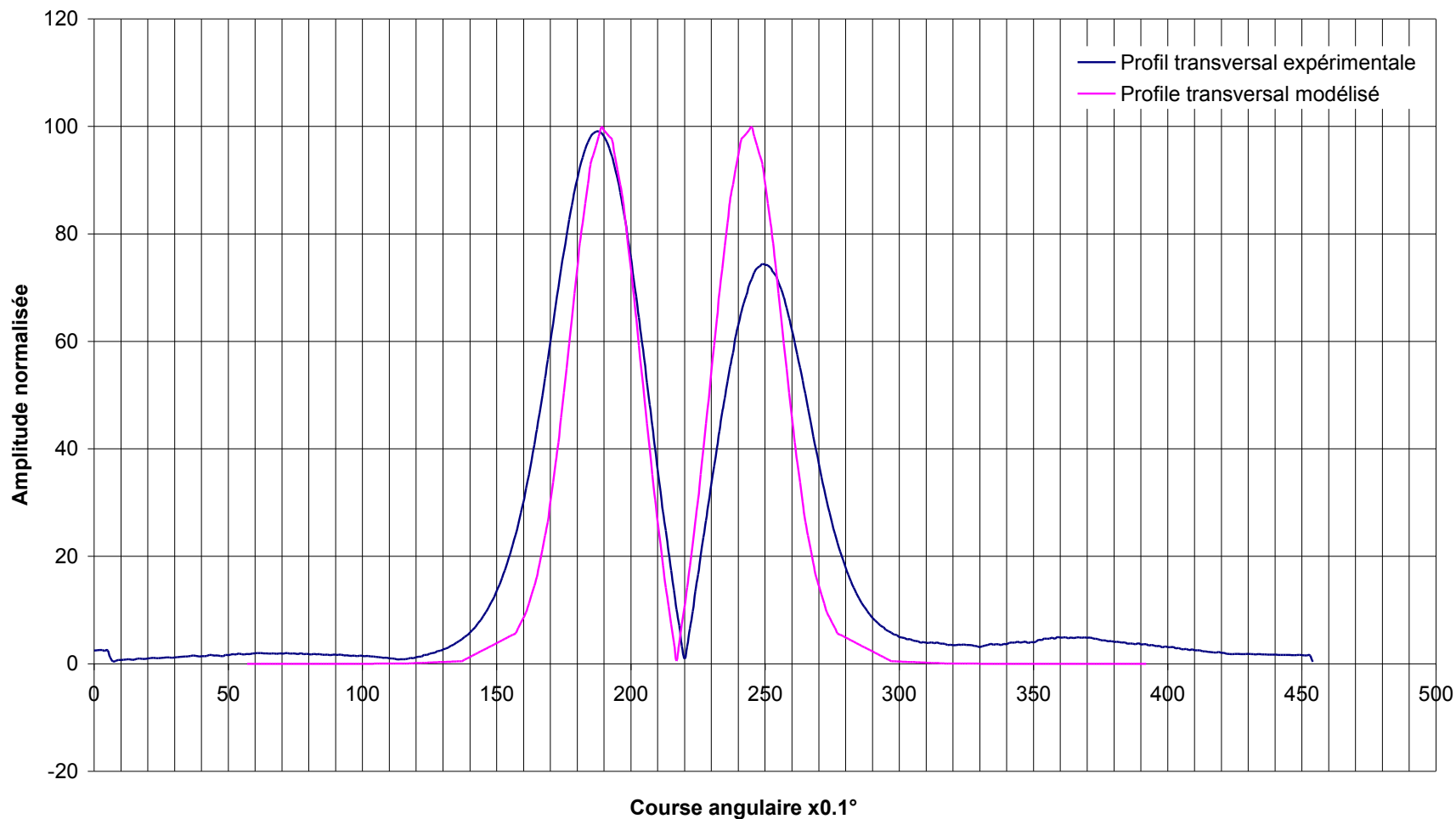


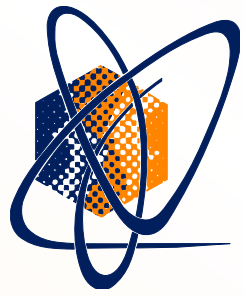


Cas-test n°3 – TRIFOU

Comparaison simulation-expérience

Caractéristiques des profils de la fissure L5 à partir des cartographies expérimentales et modélisées du module





Conclusions

□ Bilan

- Le cadre d'action du GT est défini
- 3 problèmes-tests complètement définis ; 1 en cours de finalisation ; 1 proposition à venir ; 1 échec, mais source de progrès dans la définition des caractéristiques à remplir
- Des premiers résultats de calcul sur 2 problèmes-tests
- Un cas-test (n°2) retenu comme benchmark dans le projet RNTL PLAYA

□ Pistes d'amélioration

- Communiquer sur la démarche : journée COFREND-GDR Ondes du 29/01/2008 ; journées techniques COFREND de Toulouse - Mai 2008
- Améliorer l'accessibilité aux cas-tests
- Améliorer l'ergonomie du site web COFREND



Perspectives

- Avoir plus de résolutions des problèmes-tests existants → **base comparative**
- Définition de nouveaux cas-tests :
 - Élargir le **périmètre des secteurs industriels** concernés (automobile, sidérurgie...)
 - Inclure des problématiques non prises en compte dans les benchmarks classiques : par ex. **matériaux ferromagnétiques**
- Problématique connexe : détermination des **propriétés électromagnétiques** des matériaux