

LES JOURNÉES COFREND

Spécial 50^{ème} anniversaire



Simulation d'un contrôle par GMR de pièces aluminium

Fabrice FOUCHER (EXTENDE)

Marc DESSENDRE, Hervé TRETOUT (DASSAULT Aviation),

Jean-Marc DECITRE, Laura PUCCI (CEA LIST), Jean-Marc SARTEEL (STATICE)



Sommaire

- | Introduction
- | Phase de design
 - Présentation du modèle de simulation
 - Mise au point du capteur GMR
 - Comparaison Simulation / Expérience
- | Etude paramétrique
 - Etude de sensibilité
 - Optimisation
- | Conclusion

Sommaire

- | Introduction
- | Phase de design
 - Présentation du modèle de simulation
 - Mise au point du capteur GMR
 - Comparaison Simulation / Expérience
- | Etude paramétrique
 - Etude de sensibilité
 - Optimisation
- | Conclusion

Introduction

- | Détection de pièces métalliques en profondeur:
 - Epaisseur plaque supérieure pouvant aller jusqu'à 15mm

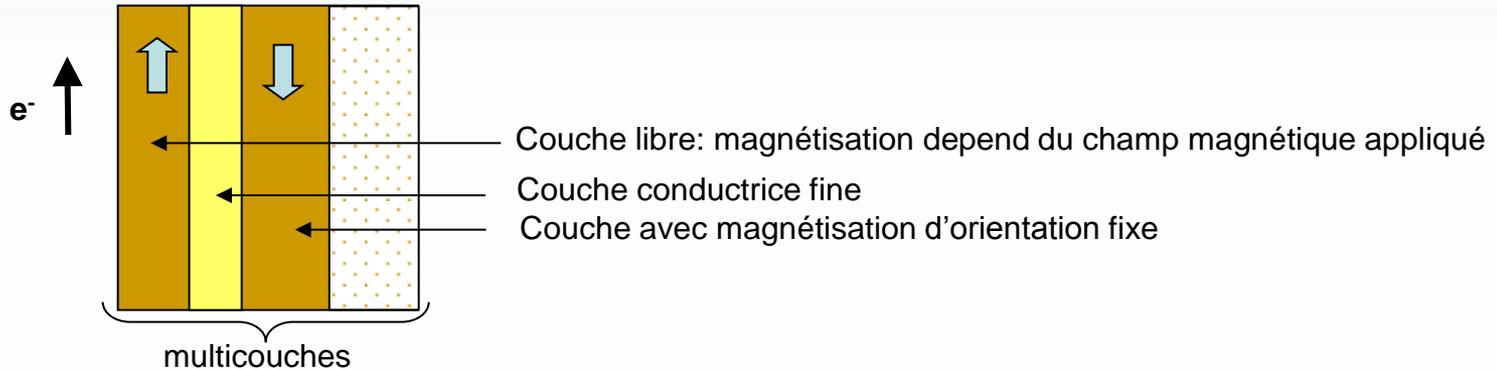


- | Avantages des capteurs magnétiques « GMR » (Giant Magneto Resistance):
 - Plus sensible à basse fréquence que les capteurs inductifs
→ Détection de discontinuités en profondeurs
 - Meilleure sensibilité que les capteurs à effet Hall et moins dépendants des variations de température
 - Capacités haute résolution

Introduction

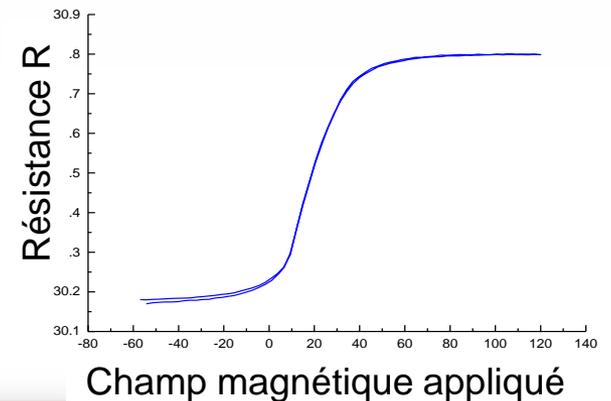
I Principe de fonctionnement d'un capteur GMR

- Assemblage multicouches



- Application d'un champ magnétique impacte fortement sa résistivité

→ élément sensible de mesure de champ magnétique



Apport de la simulation

- | Modélisation numérique de plus en plus utilisée dans l'industrie, notamment dans les processus de **mise au point** ou de **qualifications d'inspections**.
- | Permet par exemple, et **en complément d'essais expérimentaux**, d'accompagner le développement d'un procédé:
 - En apportant compréhension des phénomènes donc maîtrise
 - En écartant les solutions les moins pertinentes et donc en diminuant le nombre d'essais et de prototypes
 - En travaillant en amont sur des optimisations

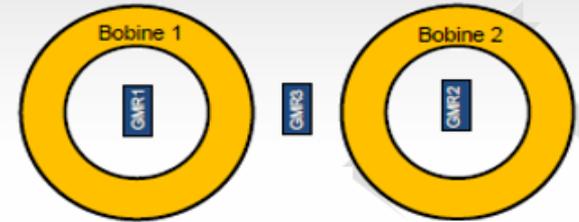


Sommaire

- | Introduction
- | Phase de design
 - Présentation du modèle de simulation
 - Mise au point du capteur GMR
 - Comparaison Simulation / Expérience
- | Etude paramétrique
 - Etude de sensibilité
 - Optimisation
- | Conclusion

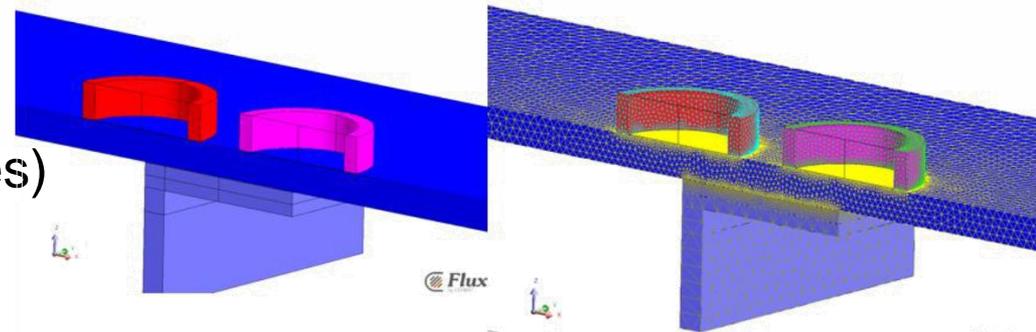
Présentation du modèle

- Capteur constitué de 2 bobines inductrices et d'un ou plusieurs éléments récepteurs GMR



- Modèle de simulation par éléments finis:

- Réalisé sous FLUX (Altair Engineering)
- Maillage dense au niveau des entrefers (minces vs taille de bobines)
- GMR : Mesure locale du champ magnétique en surface de la pièce, vs déplacement



Géométrie du dispositif représenté
(symétrie sur le plan médian)

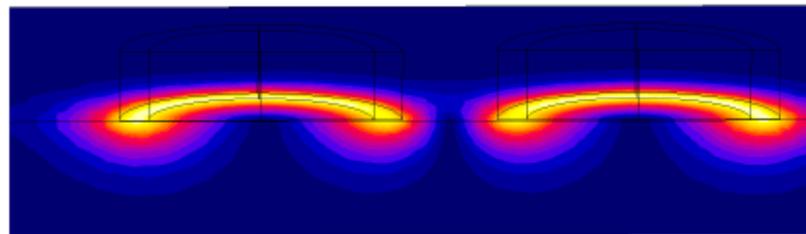
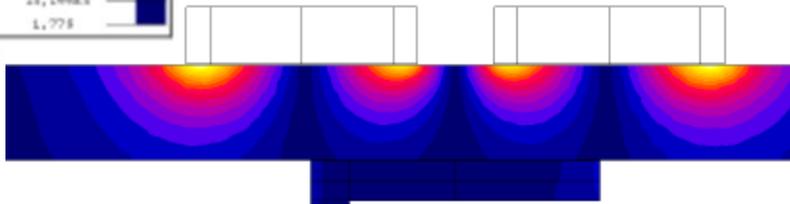
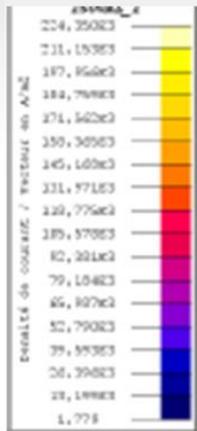
Maillage Eléments Finis

Mise au point du capteur GMR

Simulation participe à phase de design préalable, e.g. :

■ Choix de la fréquence:

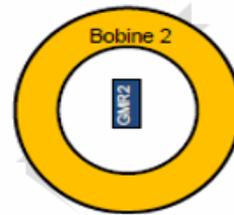
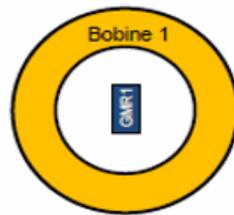
- A 2kHz, l'effet de peau est trop fort pour être sensible à la cible pour toutes les épaisseurs considérées
- Gamme de fréquences retenue: 200Hz à 500Hz selon l'épaisseur de la plaque supérieure



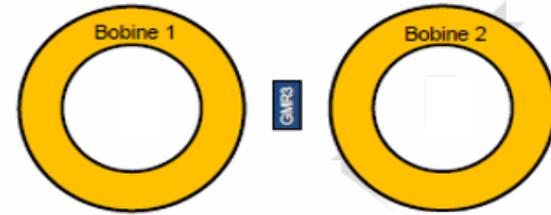
Cartographie des courants induits dans la plaque et la cible

Mise au point du capteur GMR

- Simulation participe à phase de design préalable, e.g. :
 - GMR différentielle au centre des inducteurs ou GMR en mode absolu à l'entraxe des inducteurs ?
 - Alimentation en phase ou en opposition de phase des inducteurs ?



Solution différentielle



Solution absolue

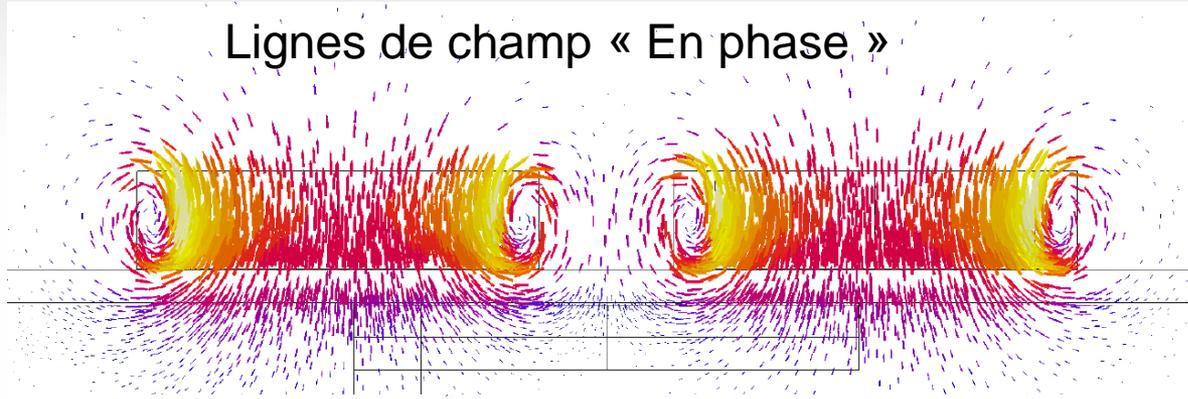
Configuration			Amplitude de Signal normalisé		Ratio signal / champ moyen	
Epaisseur Voilure (mm)	Fréquence (Hz)	Alimentation	GMR absolu	GMR différentiel	GMR absolu	GMR différentiel
5	250	Phase	1	7	2%	10%
		Opposition	1	8	340%	10%

Contraste de champ plus fort pour GMR absolu à l'entraxe et opposition de phase

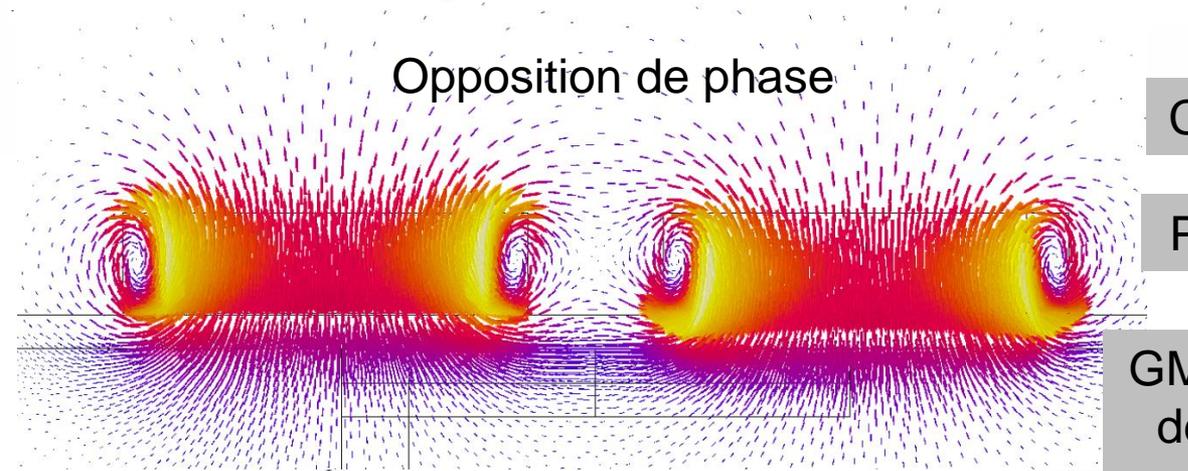
Mise au point du capteur GMR

I Comparaison « En phase » et « Opposition de Phase »:

Lignes de champ « En phase »



Opposition de phase



Champ faible à l'entraxe

Plus sensible à une discontinuité

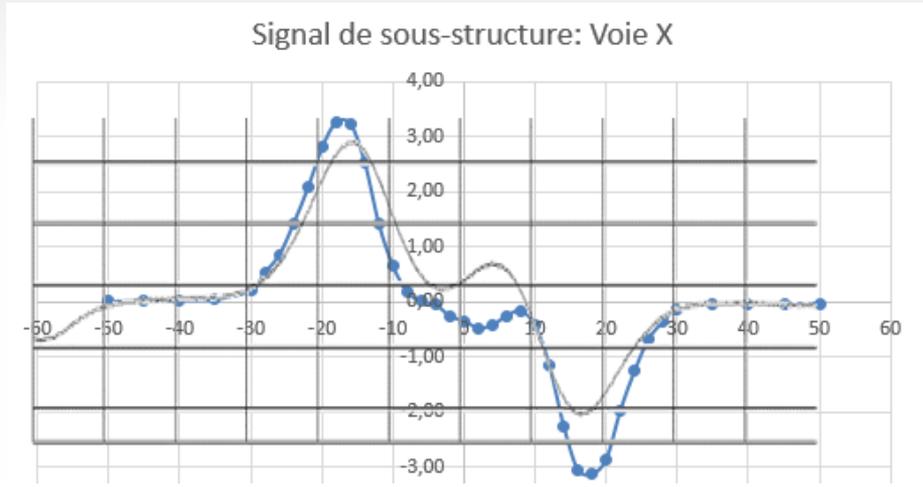
GMR en champ faible: Faible zone de linéarité requise **au bénéfice de sa sensibilité**

Comparaison Simulation/Expérience

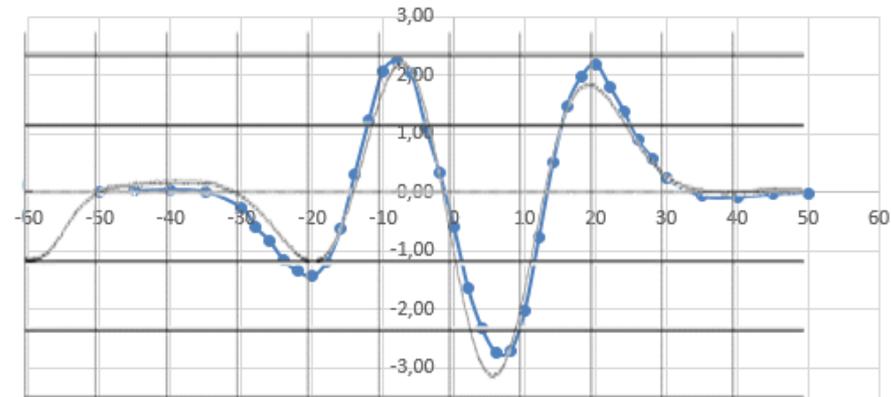


| Epaisseur de plaque 5 mm:

Prototype: Réalisation STATICE



Signal de sous-structure: Voie Y



Etude expérimentale: CEA LIST

Très bonne corrélation observée

Modélisation: EXTENDE



Signal de la cible vs position capteur : Voie X et voie Y

Comparaison Simulation/Expérience



Prototype: Réalisation STATICE



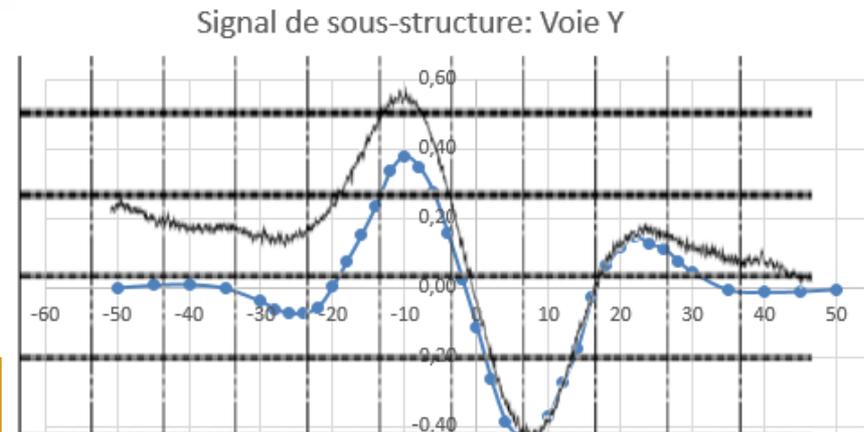
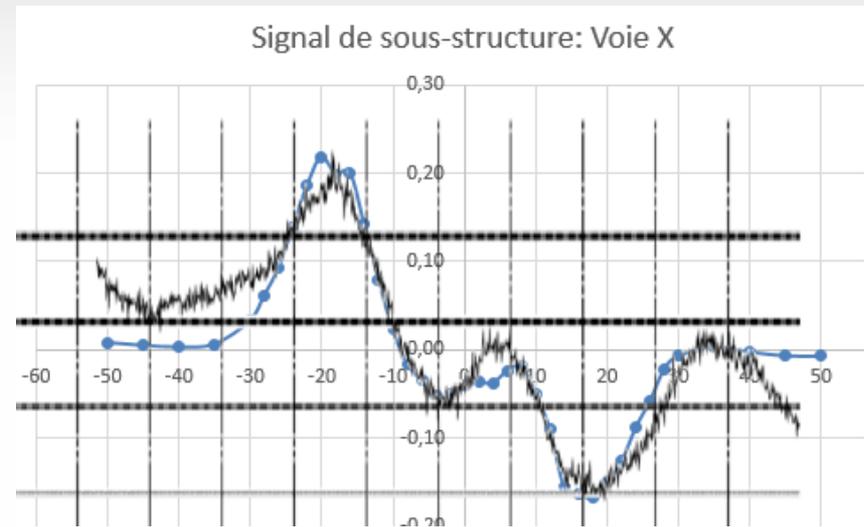
Etude expérimentale: CEA LIST

Bonne corrélation observée

Modélisation: EXTENDE



| Epaisseur de plaque 12 mm:



Signal de la cible vs position capteur : Voie X et voie Y

Performance du dispositif

- | Détection cible pour épaisseur 5mm: RSB +37dB OK

- | Détection cible pour épaisseur 12mm: RSB +23dB OK

- | Extrapolation par simulation pour épaisseur 15mm:
Chute amplitude 7,5dB vs 12mm OK

- | Comparaison bobines/GMR par simulation:
 - Chute amplitude 12mm-15mm: capteur CF classique: 12dB
 - Chute amplitude 12mm-15mm: capteur GMR: 7,5dBOK

Sommaire

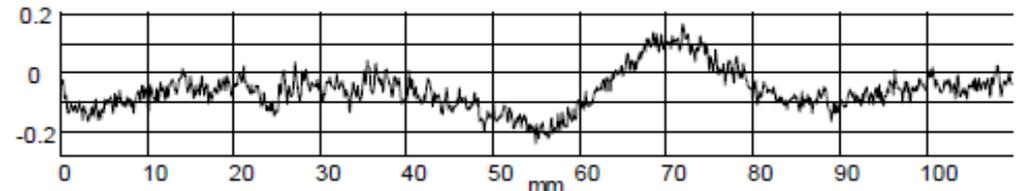
- | Introduction
- | Phase de design
 - Présentation du modèle de simulation
 - Mise au point du capteur GMR
 - Comparaison Simulation / Expérience
- | Etude paramétrique
 - Etude de sensibilité
 - Optimisation
- | Conclusion



Etude paramétrique

- | Sensibilité à l'alimentation des bobines
 - Différents dispositifs étudiés expérimentalement:
 - Alimentation en série des inducteurs:

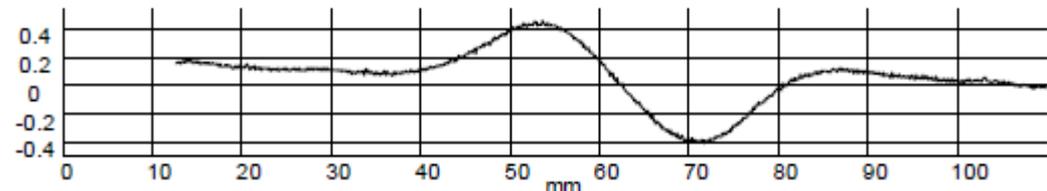
RSB: +11dB
Différences constitutives des enroulements nuit au signal



Signal de la cible pour épaisseur 12mm

- Alimentation indépendante avec réglage de gain et phase ajusté pour équilibrage « hors cible »:

RSB: +23dB

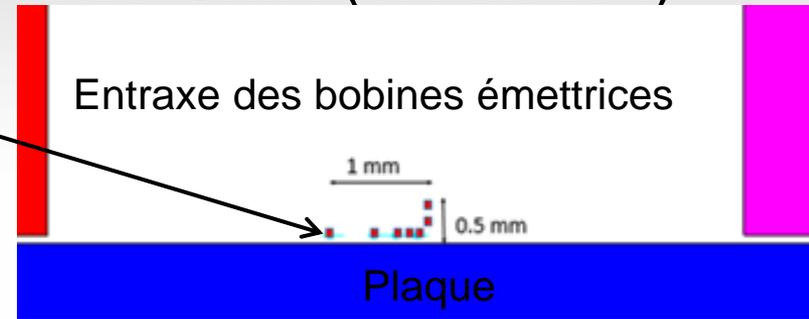


Signal de la cible pour épaisseur 12mm

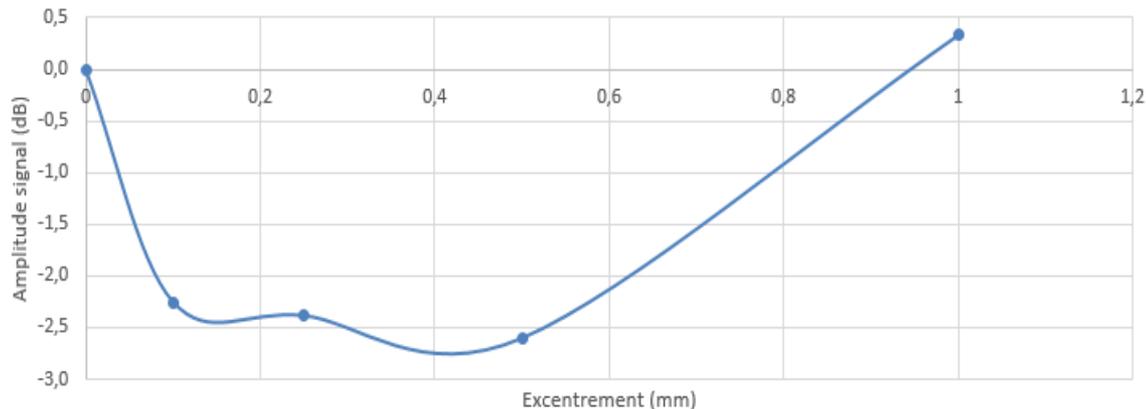
Etude paramétrique

I Sensibilité à la position de la cellule GMR (simulation)

- Différents « excentrements » simulés (cf. points rouges)
- Evolution de la sensibilité:



Sensibilité à l'excentrement axial de la mesure GMR



Chute rapide de
2 à 3 dB pour
[0,1 ; 0,5] mm

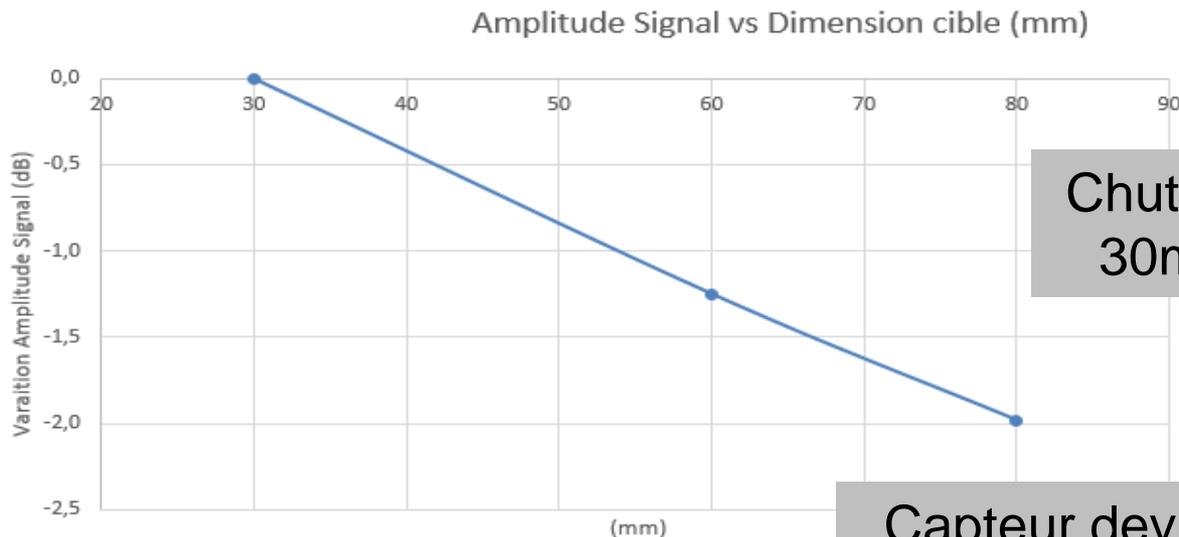
Sensibilité remonte ensuite ? « Oui et Non »

- Contraste de champ « sans/avec cible » plus fort proche des bobines
- Mais champ plus fort donc zone de saturation

Etude paramétrique

Sensibilité à la taille de la cible

- Elargissement de la largeur de la cible (épaisseur de plaque 5mm)

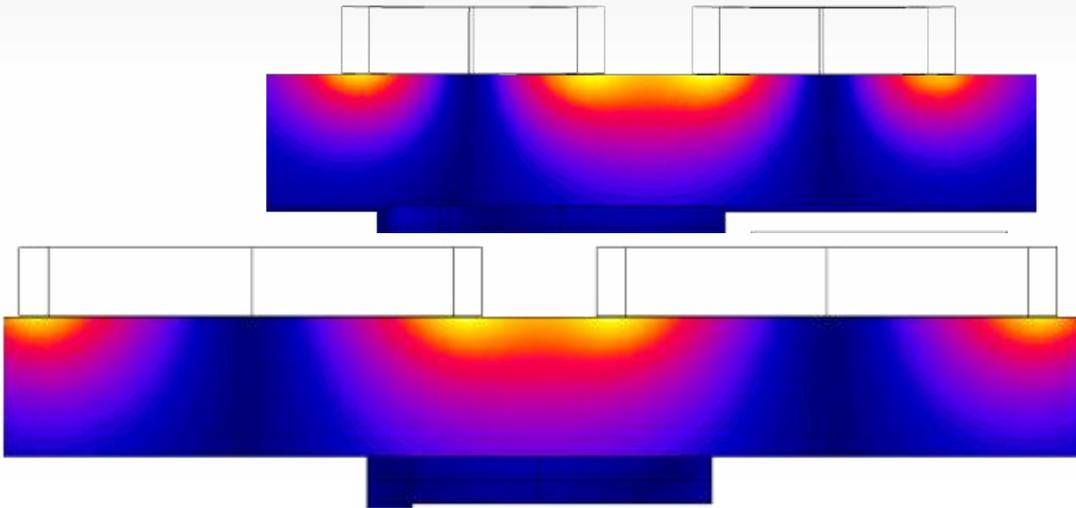


Chute de 2 dB en passant de 30mm à 80 mm de largeur

Capteur devient sensible en bord de cible seulement ~ phénomène capteur CF différentiel sur un défaut long

Etude paramétrique

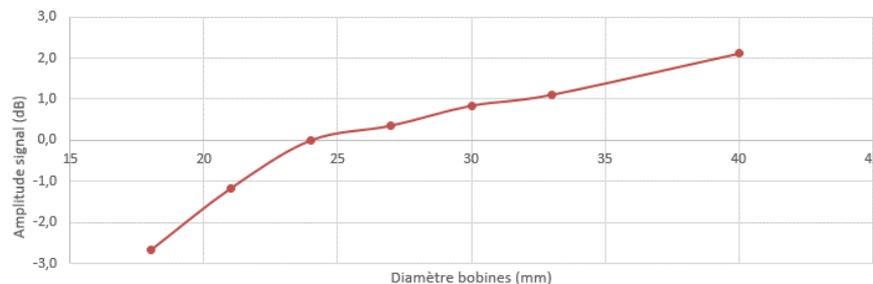
- Optimisation de la taille des inducteurs:
 - Augmentation taille des inducteurs :



Maximise la quantité de courants induits au niveau de la cible (en largeur et profondeur)

Maximise l'amplitude du signal : +4dB sur la variation étudiée

Amplitude Signal vs Diamètre extérieur bobines émettrices

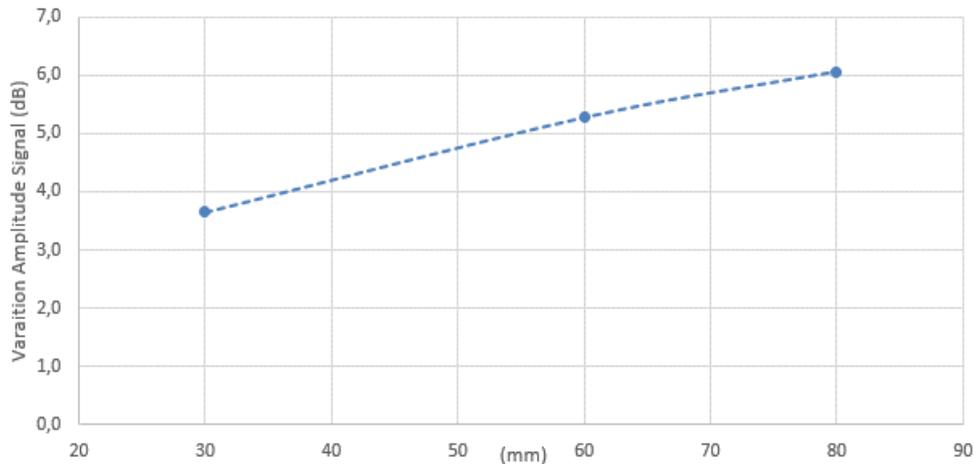


Etude paramétrique

I Optimisation de la taille des inducteurs:

- Avec des bobines élargies, on ne perd plus en sensibilité lorsque la largeur de la cible augmente
(épaisseur de plaque 5mm)

Amplitude Signal vs Dimension cible (mm)



Gain de 2 dB en passant de 30mm à 80 mm de largeur de cible

Taille de bobines plus adaptée à des cibles larges.... mais à l'inverse on peut s'attendre à une chute de sensibilité si la cible est plus petite → compromis à trouver

Conclusion

- | Application d'un capteur GMR pour la détection de cible métallique en profondeur sous une plaque d'aluminium
- | Performances établies:
Détection atteinte pour épaisseur de plaque de 15mm
- | Complémentarité des essais expérimentaux (nécessaire notamment pour établir un niveau de RSB) et de la modélisation:
Simulation permet d'assister le design du prototype et dégager des voies d'optimisation.