

Contexte

Introduction :

- ❖ La technique du Contrôle Non Destructif (CND) par Flux de Fuite (FF) est largement utilisée pour le contrôle des pièces ferromagnétiques,
- ❖ Le CEA LIST et le CEV (Vallourec, Premier fabricant mondial des tubes en acier) s'associent en vue d'améliorer les performances des systèmes de contrôle des tubes ferromagnétiques actuels,
- ❖ La société Foerster développe et commercialise des systèmes de CND FF,
- ❖ On considère deux configurations dédiées à la détection de défauts longitudinaux et/ou transversaux.

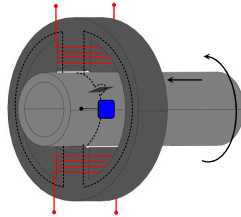
Objectifs :

- Développer un outil de simulation rapide et précis dédié au contrôle virtuel des systèmes de CND par FF se prêtant à des études paramétriques,
- Comparer deux approches de la modélisation :
- Approche de la résolution par une méthode aux éléments finis (EF)
- Approche par la résolution des équations intégrales basées sur le formalisme des dyades de Green dans l'espace libre.

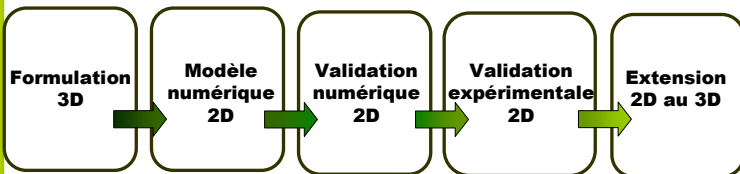
Principe :

- ❖ On considère la configuration dédiée au défauts longitudinaux (fig. 1).
- ❖ Les lignes de champ magnétique circulent dans le tube à contrôler via un circuit magnétique qui focalise les lignes de champ vers les pôles,
- ❖ La présence d'un défaut s'oppose aux passages des lignes de champ, ce qui entraîne des fuites de champ, détectées par un capteur de champ magnétique ou une bobine inductrice lors d'un mouvement de rotation relatif tube/circuit magnétique.

Fig.1: version « schématique » du système ROTOMAT (Foerster)



Plan de l'étude



Formulation EI et EF

Régime Magnétostatique $\nabla \times H = J_s$ $\nabla \cdot B = 0$

Formulation EF : par le potentiel scalaire : $\nabla \cdot \mu(H)\nabla\phi_m - \nabla \cdot \mu(H)H_s = 0$

Formulation par EI : deux grandeurs fictives scalaires $\sigma(r) = M(r) \cdot n(r)$
 $\rho(r) = -\nabla \cdot M(r)$

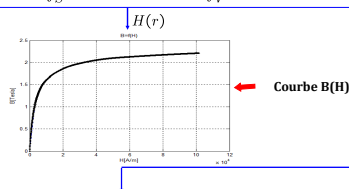
Modèle EI non linéaire :

$$\frac{1}{2\lambda(r)}\sigma(r) + \int_S \partial_n G(r, r') \sigma(r') ds + \int_V \partial_n G(r, r') \rho(r') dv = -n(r) \cdot H_s(r)$$

$$\rho(r) + H(r) \cdot \nabla \ln(\mu_r(r)) = 0$$

$$H(r) = H_s(r) + \int_S \sigma(r') \nabla G(r, r') ds + \int_V \rho(r') \nabla G(r, r') dv$$

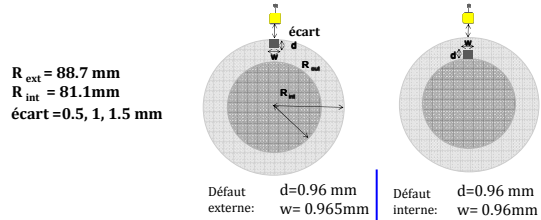
Processus itératif



Résultats de simulation 2D

Conditions de simulation :

- ❖ Les dimensions et les caractéristiques du système sont extraits d'un Benchmark du « World Federation of NDE centers »



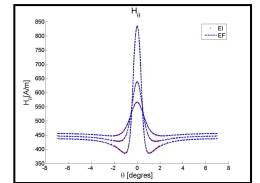
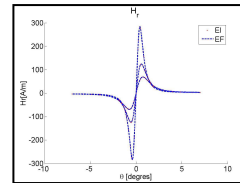
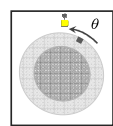
- ❖ Le courant de magnétisation est suffisamment faible pour pouvoir considérer le matériau comme homogène et linéaire.

Formulation EI en mode linéaire :

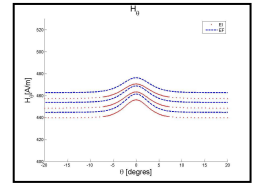
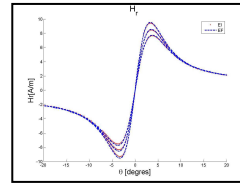
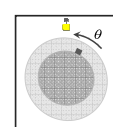
$$\frac{1}{2\lambda} \sigma(r) + \int_S \partial_n G(r, r') \sigma(r') ds = -n(r) \cdot H_s(r)$$

- ❖ Discrétisation avec des éléments iso-paramétriques et traitement particulier des points anguleux (Méthode Galerkin).

Défaut débouchant



Défaut enfoui



Composante radiale de l'intensité du champ magnétique

Composante tangentielle de l'intensité du champ magnétique

Signal du capteur :

- ❖ Le capteur du champ magnétique est sensible à la variation du flux magnétique.
- ❖ Signal reçu par le capteur= force électromotrice induite (FEM)
- ❖ Pour une bobine inductive ponctuelle:

$$\epsilon = -SN\omega \frac{dB\theta}{dt}$$

S : section de la bobine N : nombre de tours de spire ω : vitesse de rotation

Conclusions et Perspectives

Conclusions :

- Approche EI : Formulation scalaire 3D validée,
- Le modèle numérique EI possède un léger avantage en temps de calcul en raison de la densité du maillage nécessaire pour la méthode EF,
- L'augmentation du pouvoir de détection de défauts enfouis ou débouchant à l'intérieur du tube nécessite une forte magnétisation du tube, il faut considérer le problème non linéaire.

Perspectives

- Développements en cours pour introduire la non linéarité de la courbe B(H) dans le modèle semi-analytique,
- La validation expérimentale du modèle 2D a débuté sur un système réel Foerster.
- Extension du 2D au 3D.