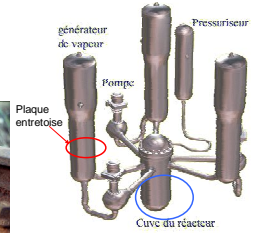


## Contexte et objectif

- Contrôle non destructif par courants de Foucault de matériaux magnétiques stratifiés.
- Développement d'outils de simulation et d'optimisation pour la conception et l'évaluation de performances des capteurs CF.
- Extension d'un modèle semi-analytique dans CIVA :
  - Basé sur la Méthode des Intégrales de Volume.
  - Permettant de simuler une structure stratifiée.
- Asservissement du point de polarisation d'une GMR afin d'éliminer l'effet du champ magnétique rémanent dans le matériau.

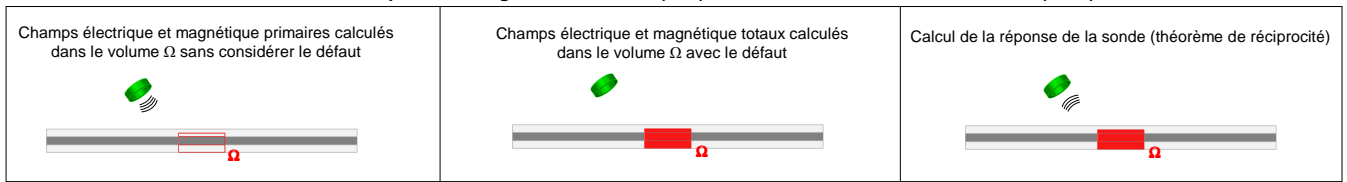


- Contrôle non destructif par courants de Foucault de :
  - Rails.
  - Plaques entretroises des générateurs de vapeur.
  - Tuyauteries de refroidissement des réacteurs nucléaires.
  - Structures rivetées ferromagnétiques.
  - ...



## Modèle semi-analytique

### Méthode des équations Intégrales de Volume (MIV) associée à la Méthode des Moments (MoM)



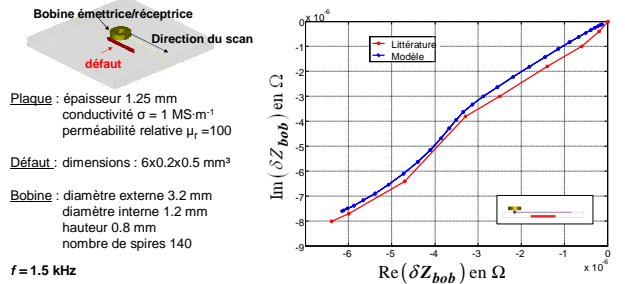
### Système d'équations Intégrales de Volume

$$\begin{cases} \vec{E}(\vec{r}) + j\omega\mu_0 \sum_{\text{layers } \Omega} \{\vec{G}^{ee}(\vec{r}, \vec{r}')\} \delta\sigma(\vec{r}') \cdot \vec{E}(\vec{r}') d\vec{r}' + j\omega \sum_{\text{layers } \Omega} \{\vec{G}^{em}(\vec{r}, \vec{r}')\} \delta\mu(\vec{r}') \cdot \vec{H}(\vec{r}') d\vec{r}' = \vec{E}_0(\vec{r}) \\ \vec{H}(\vec{r}) + \sum_{\text{layers } \Omega} \{\vec{G}^{me}(\vec{r}, \vec{r}')\} \delta\sigma(\vec{r}') \cdot \vec{E}(\vec{r}') d\vec{r}' + \omega^2 \varepsilon \sum_{\text{layers } \Omega} \{\vec{G}^{mm}(\vec{r}, \vec{r}')\} \delta\mu(\vec{r}') \cdot \vec{H}(\vec{r}') d\vec{r}' = \vec{H}_0(\vec{r}) \end{cases}$$

● contribution électrique  
● contribution magnétique

Vecteurs inconnus      Tenseurs ou dyades de Green calculés analytiquement      Champs primaires calculés sans le défaut

### Comparaison avec un résultat éléments finis de la littérature [1]

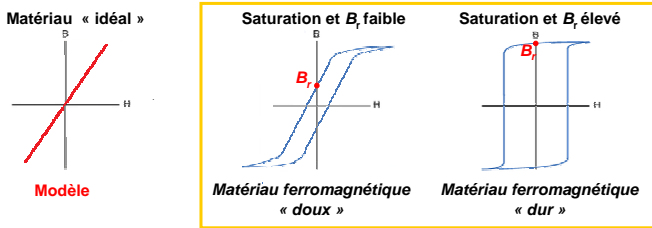


[1] H. Huang, T. Takagi, T. Uchimoto, « Fast numerical calculation for crack modeling in eddy current testing of ferromagnetic materials ». Journal of Applied Physics, Volume 94, Issue 9, pp. 5866-5872 (2003).

### Calcul de la réponse de la bobine (théorème de réciprocité)

$$\delta Z_{bobine} = -\frac{1}{I^2} \int_{\Omega} [(\sigma - \sigma(\vec{r}')) \cdot \vec{E}(\vec{r}') \cdot \vec{E}^0(\vec{r}') - (\mu - \mu(\vec{r}')) \cdot \vec{H}(\vec{r}') \cdot \vec{H}^0(\vec{r}')] d\vec{r}'$$

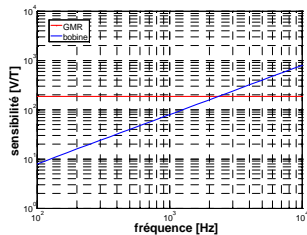
## Elimination du champ magnétique rémanent



### Intérêt des capteurs magnétiques

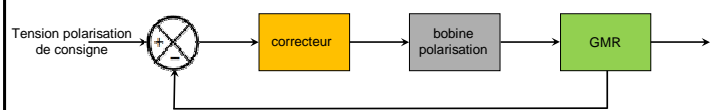
- Matériaux magnétiques caractérisés par des valeurs de  $\mu_r \gg 1$ .
- Profondeur de pénétration des CF inversement proportionnelle à  $\mu_r$  :

$$\delta = \sqrt{\mu \cdot \sigma \cdot \pi \cdot f^{-1}}$$



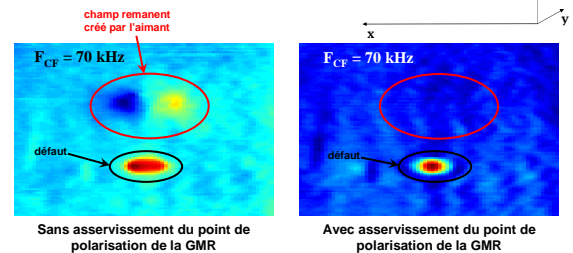
- ➡ Nécessité de travailler à plus basses fréquences.
- ➡ Giant Magneto-Resistance (GMR) très sensible aux basses fréquences.
- ➡ GMR sensible au champ magnétique rémanent.

### Asservissement du point de polarisation de la GMR



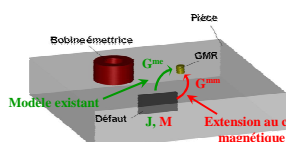
### Premiers résultats expérimentaux

Champ magnétique rémanent éliminé



## Perspectives

- Validation expérimentale du modèle (en cours).
- Intégration du modèle dans CIVA.
- Extension du modèle pour la simulation de récepteurs magnétiques, tels que les GMRs.



- Amélioration des performances du circuit d'asservissement du point de polarisation de la GMR.
- Réalisation d'un prototype de sonde à base de récepteurs GMR dotés d'asservissement du point de polarisation.