Contrôle non destructif dans les milieux ferromagnétiques

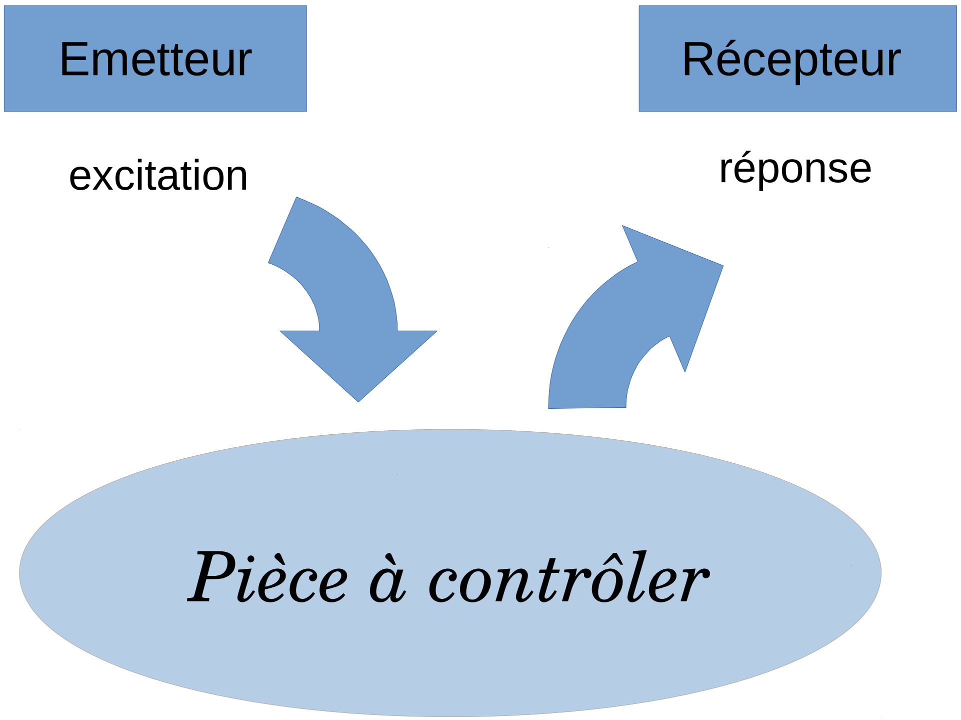
Milieux : interaction, interface, homogéneité, rupture

Le contrôle non destructif (CND) :

C'est un ensemble de méthodes qui permet de carractériser l'état d'une pièce ou d'un matériau sans porter atteinte à son intégrité qui permet permet de détecter et de carractériser des défauts superficiels sur divers matériaux.

- Le CND est utilisé dans différents domaines tels que la chaudronnerie,la fonderie, l'industrie du pétrole-chimique, la construction navale et aéronautique...

Principe du CND

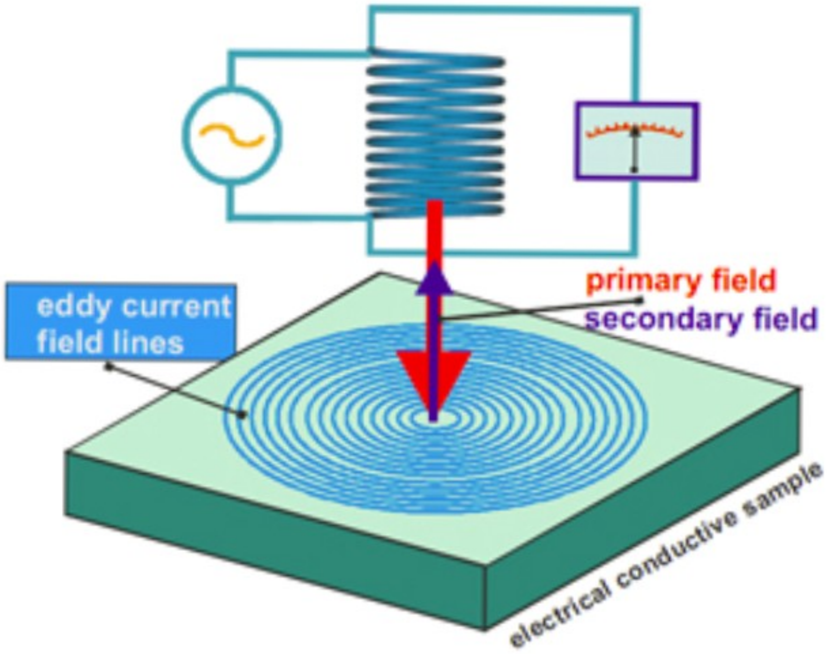


- Génération par un émetteur d'un signal qui sera perturbé par la pièce à contrôler
- Un récepteur permet de recueillir la réponse due à la pièce.

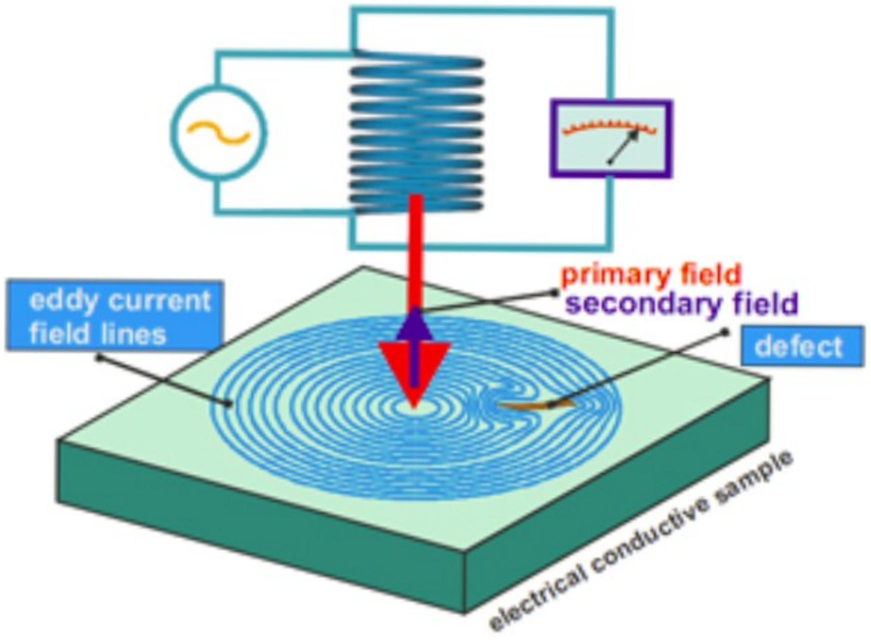
Différentes techniques de CND

METHODE	PRINCIPE	AVANTAGES	INCONVENIANTS
Diffraction par rayons X	L’obtention d’une image de la densité de matière d’un objet traversé par un rayon X grâce à un détecteur	Peut être appliquée aux matériaux non ferritiques	-Pas facile à mettre en œuvre en ligne de production. -Coûteuse
Ultrasons	Basé sur la transmission et la réflexion des ondes de type ultrasons à l’intérieur du matériau	Peu coûteuse	Pas facile à mettre en œuvre Pas de lien entre les paramètres ultrasonores et les paramètres de microstructure

Méthode de contrôle par courants de Foucault



Coil on a defect-free sample



Coil on a sample with a defect

Modélisation

<u>**Les équations de Maxwell :**</u>

$$\vec{rot}\left(\vec{E}\right)=\frac{-\partial\vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{rot}\left(\vec{H}\right)=\vec{j}$$

$$\text{dïv}\left(\vec{j}\right)=0$$

$$\vec{j}=\vec{j}_0+\vec{j}_s$$

$$\vec{j}_0=\gamma\vec{E}$$

$$\vec{B}=\mu\vec{H}$$

$$\text{d\"iv}(\vec{B})=0$$

$$\exists \vec{A} / \vec{B}=\overrightarrow{rot}(\vec{A}) \text{ avec } \vec{A} \leq \text{potentiel vecteur magnétique}$$

$$\overrightarrow{rot}(\vec{E})=\frac{-\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \overrightarrow{rot}(\vec{E})=\frac{-\partial}{\partial t}\overrightarrow{rot}(\vec{A})$$

$$\Rightarrow \overrightarrow{rot}\left(\vec{E}+\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}\right)=\vec{0}$$

$$\Rightarrow \exists V / \vec{E}+\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}=-\overrightarrow{grad}(v)$$

$$\Rightarrow \vec{E}=-\overrightarrow{grad}(v)-\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

$$\text{et on a d\"iv}(\vec{j})=0$$

$$\text{et } \overrightarrow{rot}(\vec{H})=\vec{j}$$

$$\Rightarrow \overrightarrow{rot}(\vec{H})=\vec{j}_0+\vec{j}_i$$

$$\text{avec } \vec{j}_i=\gamma \vec{E}$$

$$\Rightarrow \overrightarrow{rot}(\vec{H})=\vec{j}_0+\gamma \vec{E}$$

$$\Rightarrow \overrightarrow{rot}\left(\frac{\vec{B}}{\mu}\right)=\vec{j}_0-\gamma \overrightarrow{grad}(v)-\gamma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \overrightarrow{rot}\left(\frac{1}{\mu}\overrightarrow{rot}(\vec{A})\right)=\vec{j}_0-\gamma \overrightarrow{grad}(v)-\gamma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \frac{-1}{\mu}\vec{\Delta}(\vec{A})+\gamma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}=\vec{j}_0-\overrightarrow{grad}\left(\frac{1}{\mu}\text{d\"iv}(\vec{A})+\gamma . v\right)$$

$$\frac{-1}{\mu}\vec{\Delta}(\vec{A})+\gamma\frac{\partial\vec{A}}{\partial t}=\vec{j}_0-\vec{grad}\left(\frac{1}{\mu}div(\vec{A})+\gamma.v\right)$$

On a $div(\vec{A})=0$ *d'après la jauge de Coulomb*

On projette suivant x :

$$On\ aura\ \frac{-1}{\mu}\Delta(A_x)+\gamma\frac{\partial A_x}{\partial t}=\vec{j}_0-\gamma.\frac{\partial v}{\partial x}$$

$$on\ suppose\ que\ \frac{\partial v}{\partial x}=0$$

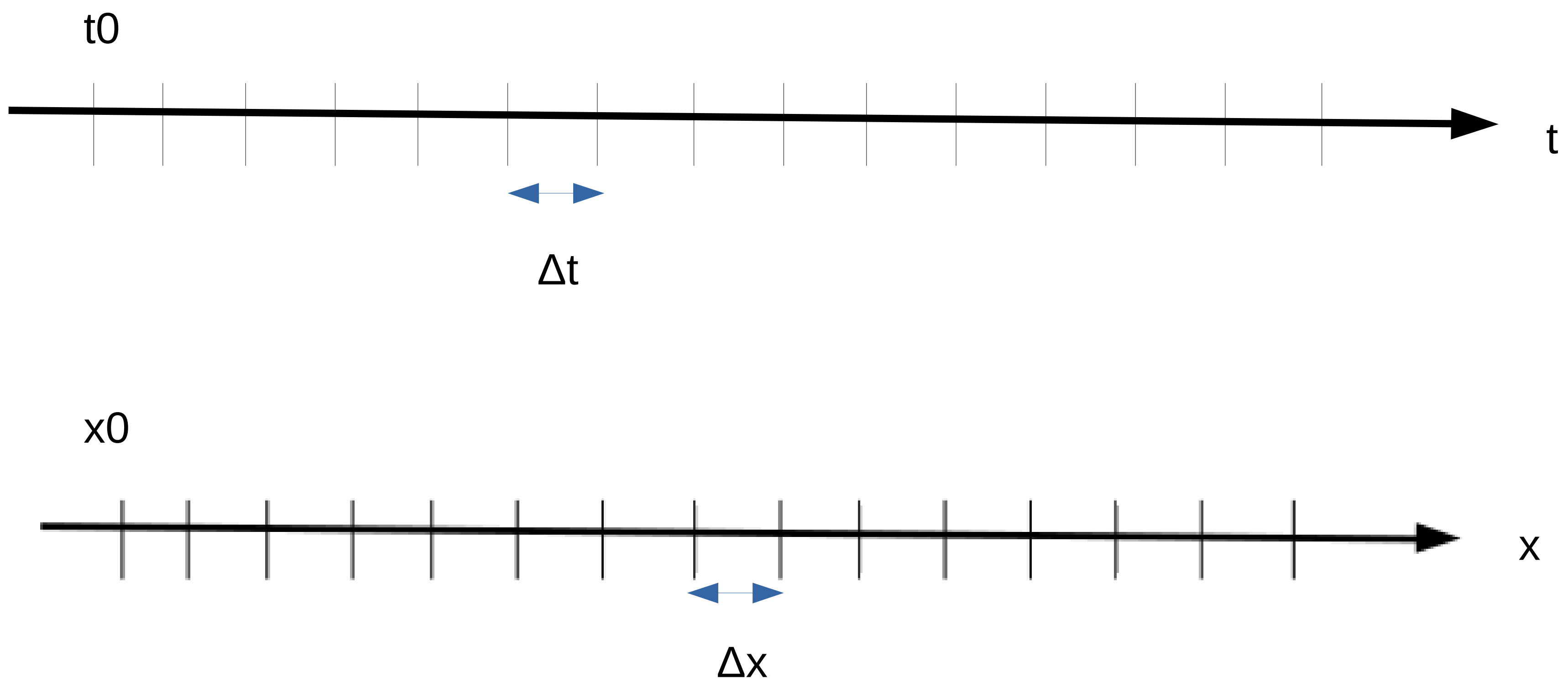
$$\Rightarrow\frac{-1}{\mu}\Delta(A_x)+\gamma\frac{\partial A_x}{\partial t}=\vec{j}_0$$

$$On\ a\ \Delta A=\frac{\partial^2 A}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 A}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 A}{\partial z^2}$$

$$On\ suppose\ que\ \Delta A=\frac{\partial^2 A}{\partial^2 x}$$

$$\frac{-1}{\mu}\frac{\partial^2 A}{\partial^2 x}+\gamma\frac{\partial A_x}{\partial t}=\vec{j}_0-\gamma.\frac{\partial v}{\partial x}$$

Résolvons cette équation avec une méthode de différences finies



ti=t0+i* Δt
xj=x0+j* Δx

A est de classe C1 par rapport au temps.

Effectuons un développement de Taylor à l'ordre 1

A est de classe C2 par rapport à x.
Effectuons un développement de Taylor à l'ordre 2.

$$\Delta t \ll 0$$
$$\Delta t \rightarrow 0$$

$$A(x, t_i + \Delta t) = A(x, t_i) + \Delta t \frac{\partial A}{\partial t} + O(\Delta t^2)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial A}{\partial t} = \frac{A(x, ti + \Delta t) - A(x, ti)}{\Delta t}$$

$$On\ note\ également : \frac{\partial A}{\partial t} = \frac{A_{i+1}^{j} - A_{i}^{j}}{\Delta t}$$

$$\Delta x \ll 0$$
$$\Delta x \rightarrow 0$$

$$A(x_j + \Delta x, t) = A(x_j, t) + \Delta x \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\Delta x^2}{2!} . \frac{\partial^2 A}{\partial^2 x} + O(\Delta x^3)$$

$$A(x_j - \Delta x, t) = A(x_j, t) - \Delta x \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\Delta x^2}{2!} . \frac{\partial^2 A}{\partial^2 x} + O(\Delta x^3)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 A}{\partial^2 x} = \frac{A(x_j + \Delta x, t) + A(x_j) - 2A(x_j, t)}{\Delta x^2}$$

$$On\ note\ également : \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} = \frac{A_i^{j+1} + A_i^{j-1} - 2.A_i^j}{\Delta x^2}$$

$$\frac{-1}{\mu} \frac{\partial^2 A}{\partial^2 x} + \gamma \frac{\partial A_x}{\partial t} = \vec{j}_0$$

$$\frac{-1}{\mu} . \frac{A_i^{j+1} + A_i^{j-1} - 2.A_i^j}{\Delta x^2} + \gamma . \frac{A_{i+1}^{j} - A_{i}^{j}}{\Delta t} = j_0$$

$$\boxed{\Rightarrow A_{i+1}^{j} = \left(j_0 + \frac{1}{\mu} . \frac{A_i^{j+1} + A_i^{j-1} - 2.A_i^j}{\Delta x^2}\right) . \frac{\Delta t}{\gamma} + A_i^j}$$

Conclusion

Ce système d’équation permet de retrouver les valeurs de A à différents instants puis de déterminer celles du champs B.

La variation de A signifie une variation de la perméabilité ou de la permittivité Ce qui prouve la présence d’un défaut dans les matériau.