

## E. LES COURANTS DE FOUCAULT



### I- INTRODUCTION

Le contrôle des faisceaux tubulaires d'échangeurs a toujours été le domaine d'utilisation privilégié des courants de Foucault. Depuis quelques années, le matériel de contrôle a évolué au point de devenir très compact. Ce qui permet une grande mobilité aux personnes intervenant dans de multiples configurations.

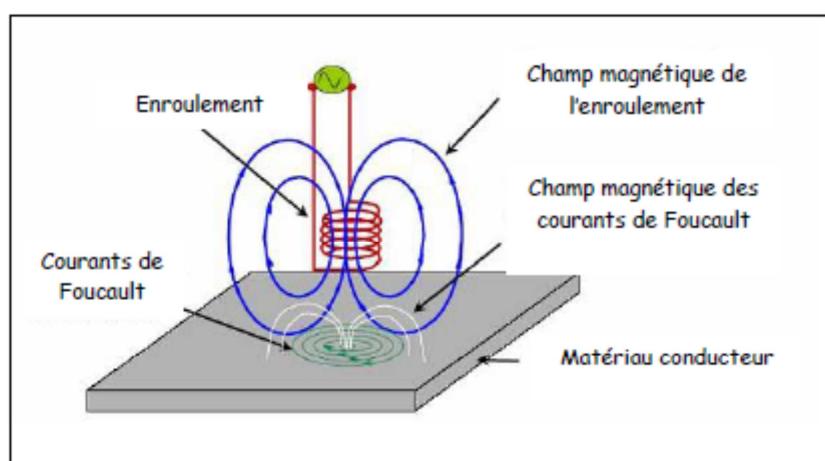
Les courants de Foucault permettent l'examen non destructif des matériaux conducteurs de l'électricité. Leur utilisation ne nécessite pas d'agent de couplage et peut être menée à travers un léger dépôt. Cette méthode procure un excellent rapport sensibilité sur la vitesse de contrôle.

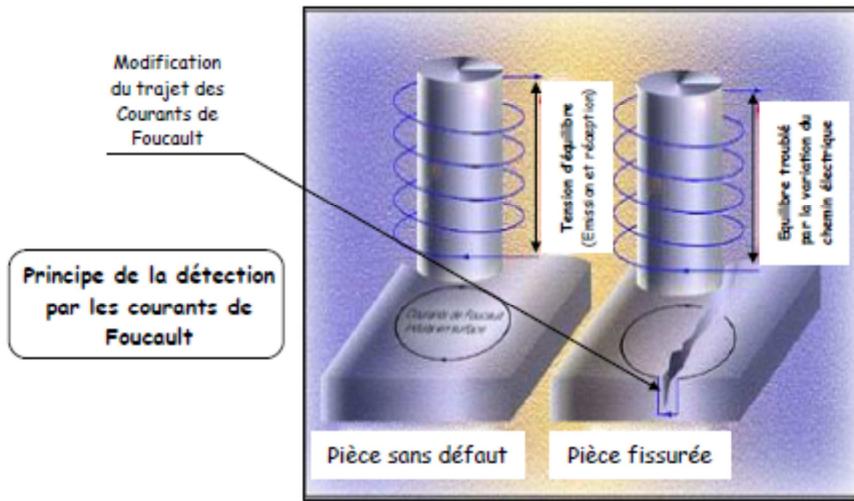
### II- DEFINITION ET PRINCIPE DE CONTROLE PAR COURANT DE FOUCAULT

Lorsque l'on place un corps conducteur dans un champ magnétique variable dans le temps ou dans l'espace, des courants induits se développent en circuit fermé à l'intérieur de celui-ci : ce sont **les courants de Foucault** (physicien français 1819 - 1868).

Ainsi une bobine parcourue par un courant variable, alternatif par exemple, génère de tels courants induits qui, créant eux-mêmes un flux magnétique qui s'oppose au flux générateur modifiant l'impédance de cette bobine.

C'est l'analyse de cette variation d'impédance qui fournira les indications exploitables pour un contrôle. En effet le trajet, la répartition et l'intensité des courants de Foucault dépendent des caractéristiques physiques et géométriques du corps considéré ainsi que des conditions d'excitation (paramètres électriques et géométriques du bobinage).





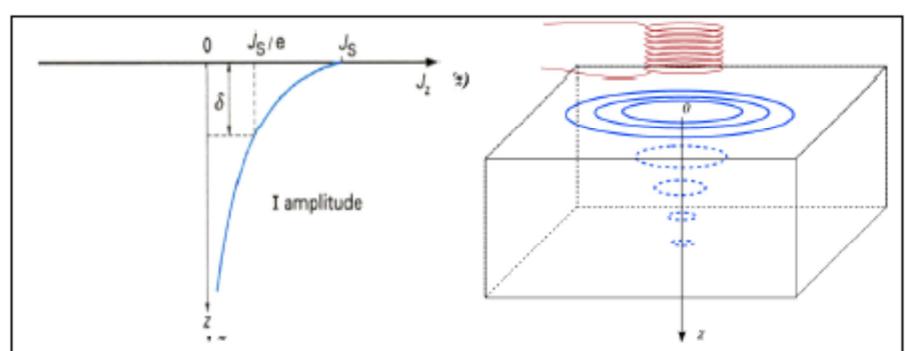
On conçoit en présence d'un défaut constituant une discontinuité électrique venant perturber la circulation des courants de Foucault qui engendre une variation d'impédance décelable au niveau de la bobine d'excitation (ou de tout autre bobinage situé dans le champ). Ce principe simple est surtout utilisé pour détecter des défauts superficiels dans la mesure où les courants de Foucault ont tendance à se rassembler à la surface des corps conducteurs (effet de peau).

L'observation est réalisée par visualisation sur un oscilloscope des variations de l'impédance électrique de la sonde entre une zone saine et une zone défectueuse.

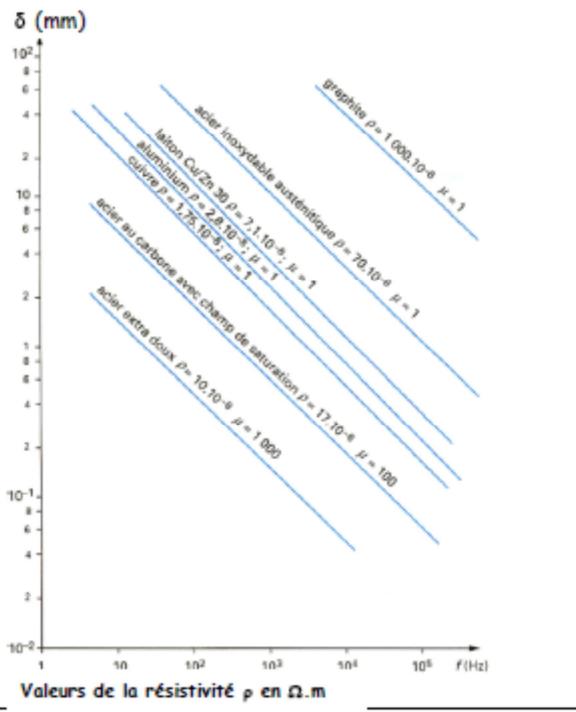
Cette méthode est applicable sur tous matériaux conducteurs de l'électricité et ne permet de mettre en évidence que des défauts superficiels.

### III- EFFET DE PEAU - PROFONDEUR DE PENETRATION DU COURANT DE FOUCault

Sous une surface plane environ 63 % des courants induits passent entre la surface et la profondeur  $\delta$ . On peut constater que la densité du courant décroît de manière exponentielle dans la profondeur.



Pour obtenir des profondeurs de pénétration de l'ordre des mm, il convient d'utiliser, selon le matériau, des fréquences de 10 à 105 Hz.

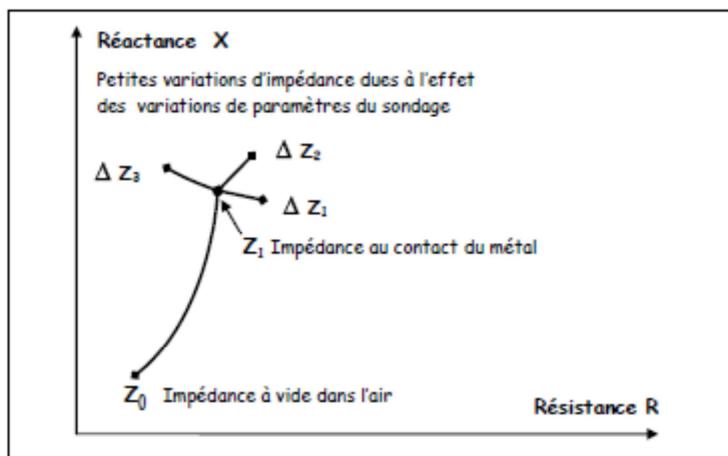


## IV- MISE EN OEUVRE

Les principaux paramètres à prendre en compte pour un contrôle résultent des considérations précédentes et peuvent se répartir pratiquement en trois catégories.

### IV.1- Paramètres liés au matériau à sonder

Outre ceux liés à sa forme géométrique (diamètre), ce sont sa conductivité électrique "s" et sa perméabilité magnétique "m" dont il importera de prendre en compte le niveau de stabilité le long de la pièce ou d'une pièce à l'autre, toute variation locale entraînant un déplacement du point de fonctionnement moyen de la sonde, comme cela apparaît sur la figure suivante.



Représentation des variations d'impédance dans la bobine

### IV.2- Paramètres liés au montage gouvernant le couplage entre la ou les bobines et le matériau

Il s'agit soit du coefficient de remplissage pour les bobines encerclantes (rapport entre la section de la barre et celle de la bobine) soit du « lift-off », terme désignant universellement la distance entre une sonde plate et la surface de la pièce au dessus de laquelle elle évolue. La constance de ces

paramètres est aussi à rechercher pour éviter des effets perturbateurs trop importants sur le point moyen de fonctionnement.

### IV.3- Paramètres électriques

C'est essentiellement la fréquence d'excitation de la bobine, paramètre dont on est maître et qui sera choisi en fonction des considérations précédentes, à savoir l'obtention d'un effet de peau adéquat eu égard en particulier à la profondeur des défauts, et d'un point de fonctionnement sur le diagramme complexe permettant une bonne discrimination des différents paramètres perturbateurs de l'impédance Z (figure ci - dessus).

L'intensité de magnétisation alternative, liée à l'intensité électrique envoyée dans la bobine, n'est pas un facteur déterminant du contrôle dans la mesure où elle est choisie suffisamment faible pour éviter une saturation magnétique qui introduirait des non-linéarités rendant inextricable l'exploitation des signaux, et suffisamment forte pour que le rapport signal sur bruit soit convenable au niveau des amplifications et autres traitements électroniques.

## V- MATERIEL MIS EN OEUVRE

- Générateur de courants de Foucault multifréquence numérique avec fréquences multiplexées ou non, ajustables de 1000 Hz à 4 MHz ;
- Enregistreur graphique thermique multivoies assurant la visualisation des signaux CF ;
- Stockage des signaux CF sur disque magnéto-optique numérique ;
- Dispositif tireur-pousseur de sonde à vitesse réglable ;
- Capteurs divers de type sonde axiale, sonde tournante, bobine encerclant, avec ou sans dispositif de saturation, chacune des spécificités étant adaptée en fonction de la géométrie et de la nature du matériau contrôlé.



## VI- APPLICATIONS

### VI.1- Contrôle des tubes, des barres et des fils

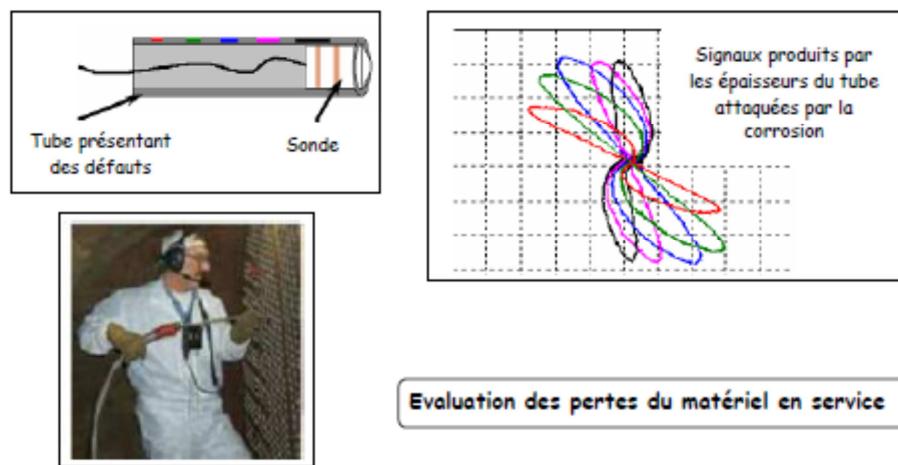
La technique de détection des défauts par courants de Foucault à l'aide de bobines encerclantes se trouve très bien adaptée au contrôle industriel à grande cadence de tous les produits longs

métalliques. Elle est très utilisée dans les industries métallurgiques où l'on détecte ainsi les défauts superficiels de nature variée sur des fils, les barres et les tubes de petits diamètres.

Une telle technique peut mettre en évidence, sur ces produits, non seulement des défauts de santé superficiels tels que les criques, les piqûres et les petites pailles mais aussi des défauts de géométrie tels que des variations brusques de diamètre ou d'épaisseur de paroi, des hétérogénéités de structure telles que des zones à gros grains, etc.

Le procédé à sonde encerclante devient toutefois insuffisamment sensible lorsque l'on veut contrôler des produits longs de gros diamètre ou lorsque l'on recherche de très petits défauts sur des produits bien calibrés et présentant un bon état de surface tels que les étirés et les tréfilés. On préfère dans ce cas utiliser les procédés dits à sondes tournantes, basés sur l'auscultation de la surface selon des pistes hélicoïdales : 2 ou 4 sondes pick-up tournent à grande vitesse autour du produit lui-même en défilement lent à l'intérieur du rotor de la machine. Les sondes sont constituées de petites bobines qui effleurent la surface du produit et présentent ainsi une grande sensibilité aux fins défauts longitudinaux tels que les longues criques appelées lignes dont la profondeur peut être inférieure à 100 mm.

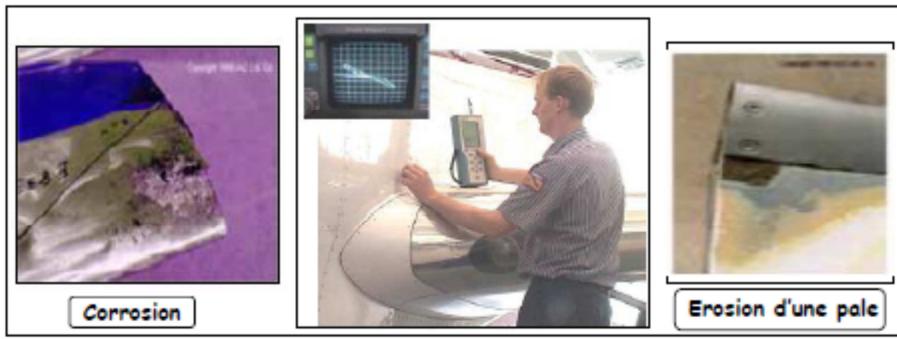
Le contrôle des tubes en service est une application importante du contrôle par courants de Foucault, étant donné l'importance de la maintenance des chaudières, des échangeurs et surtout des générateurs de vapeur des centrales nucléaires. On sonde ici les tubes par l'intérieur en utilisant un « furet » poussé et tiré par un câble et constitué par une ou des bobines longitudinales et concentriques au tube.



## VI.2- Contrôle des surfaces planes

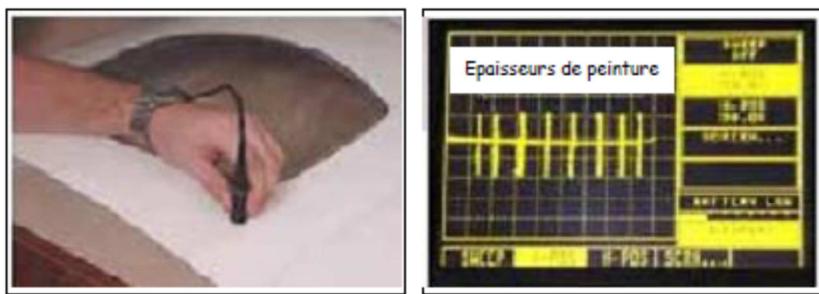
Le contrôle des surfaces planes, en ce qui concerne la recherche de petites criques, fissures ou hétérogénéités locales, peut être réalisé à l'aide d'une sonde pick-up que l'on glisse avec ou sans contact. De très fins défauts peuvent être ainsi détectés sur tout produit conducteur, toutefois, le caractère ponctuel de la zone sensible oriente plus volontiers l'usage du procédé vers le contrôle de petites surfaces correspondant aux zones critiques dans la dégradation d'une pièce mécanique plutôt que vers l'examen de grandes surfaces comme les tôles.

C'est ainsi que les courants de Foucault sont couramment utilisés pour la recherche de fissures de fatigue au cours des opérations de maintenance du matériel aéronautique. Le contrôle peut être manuel ou automatique en utilisant un bras manipulateur pour déplacer la sonde et un système de traitement de l'information conduisant à une cartographie et à un archivage des résultats du contrôle.



## Applications en aéronautique

On trouve aussi quelques applications des courants de Foucault dans le domaine des mesures dimensionnelles, l'intérêt étant de disposer ainsi d'une méthode de mesure sans contact avec la pièce, ce qui n'est pas le cas en métrologie traditionnelle ou avec les procédés ultrasonores. On mesure ainsi des diamètres de tubes et l'on peut mettre en évidence des amincissements de parois.



8 différents épaisseurs de peinture sur un panneau d'aluminium (fuselage d'un avion)

Notons enfin que les procédés de détection par courants de Foucault sont utilisés en dehors de l'industrie dans des domaines très variés, dont le plus connu est celui de la détection d'objets métalliques dans un environnement isolant. Qu'il s'agisse des détecteurs de mines ou des appareils de sécurité dans les aéroports ou autres lieux publics, on base la détection sur l'emploi de bobines de grandes dimensions susceptibles de créer un champ suffisamment volumineux pour être perturbé à bonne distance par la présence d'un objet métallique dans lequel vont se développer les courants de Foucault.

## VII- PERFORMANCE ET LIMITATIONS

Les possibilités offertes par la sensibilité de détection et l'automatisation aisée du contrôle par courants de Foucault sont très appréciées sur le plan industriel. L'absence de contact entre la sonde et la pièce à contrôler, la possibilité de défilement à grande vitesse et la facilité d'intégration du procédé dans les chaînes de production donnent à cette technique de contrôle un avantage certain par rapport aux autres procédés.

Les courants de Foucault constituent par ailleurs un moyen de contrôle exceptionnellement fidèle et ce malgré la complexité des phénomènes électromagnétiques mis en oeuvre et la multitude des paramètres d'action. Ce caractère d'excellente reproductibilité est très important pour les contrôles en maintenance ainsi que pour la qualité des procédures d'étalonnage du matériel.

Il est possible, avec les courants de Foucault, de détecter d'infimes hétérogénéités de surface, toutefois cette grande sensibilité concerne bien entendu tous les paramètres perturbateurs.

## **VII.1- Avantages**

- Grande sensibilité de détection ;
- Contrôle rapide ;
- Sonde adaptable au produit à contrôler ;
- Enregistrement de résultats (suivi dans le temps).

## **VII.2- Inconvénients**

- Méthode limitée aux contrôles de matériaux conducteurs ;
- Faible pénétration dans la matière (quelques mm) ;
- Sensible aux phénomènes perturbateurs (écrouissage, dépôts superficiels) : nécessité d'un étalon propre à chaque contrôle.