

Magnétoscopie

Principe :

La magnétoscopie permet de détecter les défauts de surface débouchant ou sous-jacents, sans pour autant permettre de détecter leur dimensionnement (ni leur profondeur), dans un matériau ferromagnétique.

La méthode consiste à faire circuler un courant ou un champ magnétique dans la pièce pour l'aimanter, et à observer en surface les perturbations pour déterminer la présence d'anomalies.

Le contrôle magnétoscopique encore appelé méthode du flux de fuite magnétique repose sur le comportement particulier des matériaux ferromagnétiques lorsqu'ils sont soumis à l'action d'un champ magnétique H . Ce champ magnétique peut être produit :

- par un conducteur rectiligne parcouru par un courant d'intensité I . A une distance r du conducteur la valeur du champ est donnée par l'expression :

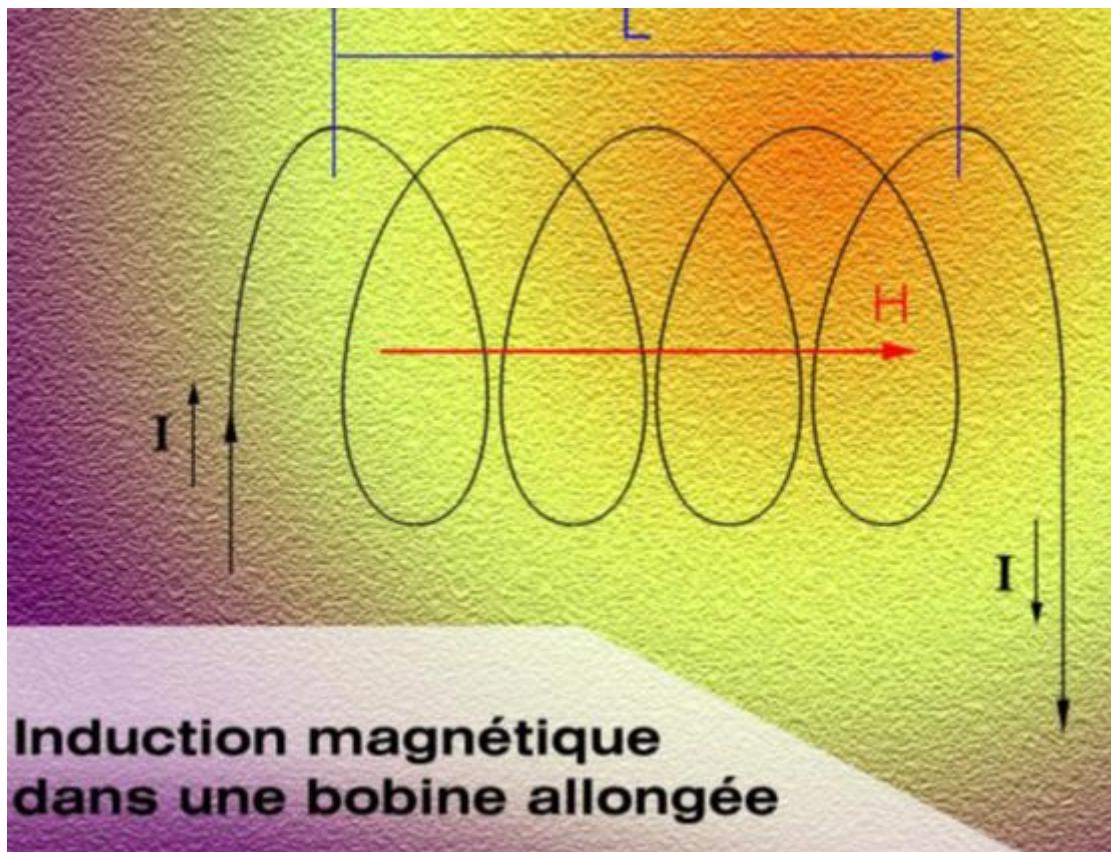
$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad [\text{A.m}^{-1}]$$

- par une bobine plate dont les N spires circulaires de rayon r sont parcourues par un courant d'intensité I . Le champ magnétique créé au centre d'une telle bobine a pour valeur :

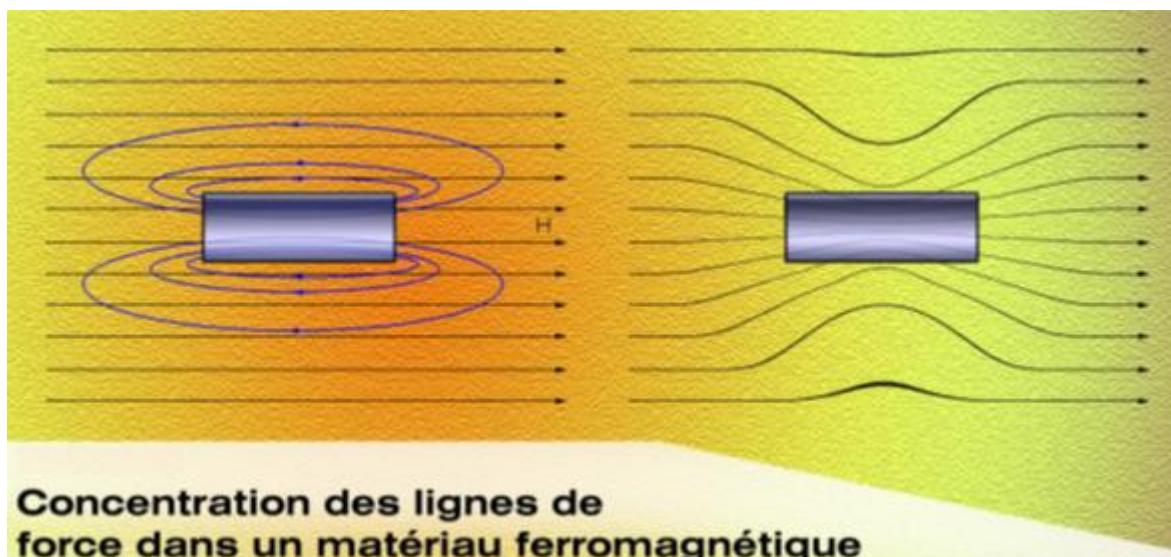
$$H = \frac{NI}{2r} \quad [\text{A.m}^{-1}]$$

- par une bobine allongée (solénoïde) de longueur L comportant N spires circulaires parcourues par un courant d'intensité I . Le champ magnétique créé selon l'axe d'une telle bobine a pour expression :

$$H = \frac{NI}{2r} \quad [\text{A.m}^{-1}]$$



Lorsque l'on dispose un matériau ferromagnétique dans un champ magnétique d'intensité donnée uniforme H représenté dans l'air par des lignes de force parallèles et équidistantes, on constate une déformation de celles-ci au voisinage de ce matériau et une concentration de ces lignes à l'intérieur de celui-ci.



Ce phénomène est basé sur l'effet directionnel exercé par le champ magnétique extérieur sur les courants atomiques circulaires dans le matériau. Sous l'influence de ce champ H , ces courants, naturellement

désordonnés, deviennent parallèles et leur champ magnétique propre s'ajoute au champ exciteur H .

Pour exprimer cette concentration de lignes de force dans le matériau, il convient de définir une grandeur appelée densité de flux magnétique ou induction B exprimée en Tesla.

Il existe une relation entre l'induction et le champ magnétique H . Dans le vide ou dans l'air, l'induction est égale au produit du champ par un coefficient appelé perméabilité magnétique μ_0 exprimé en Henry par mètre [H.m^{-1}].

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \quad [\text{H.m}^{-1}]$$

et par conséquent

$$B = \mu_0 H$$

A l'intérieur d'un matériau ferromagnétique placé dans un champ H , la densité de flux magnétique augmente en raison de la concentration des lignes de force du champ et l'expression de l'induction magnétique B devient :

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

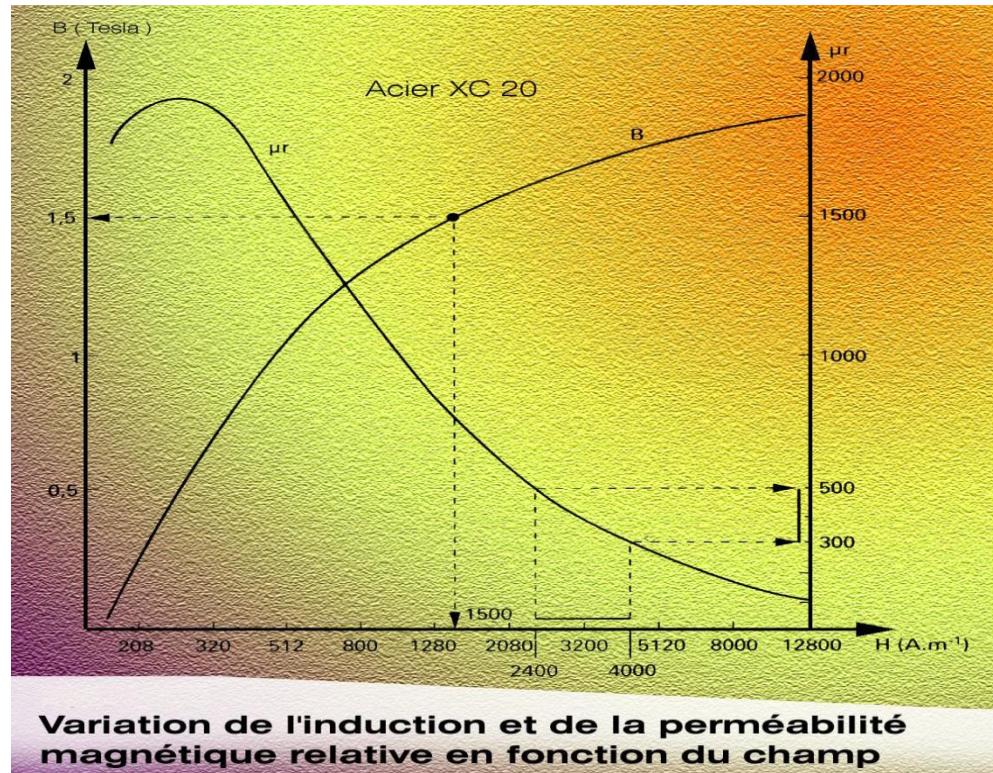
dans laquelle μ_r , nombre sans dimension, est appelé perméabilité relative du matériau. Celle-ci dépend de la susceptibilité magnétique χ_m du matériau et :

$$\mu_r = 1 + \chi_m$$

Dans le cas des matériaux ferromagnétiques nous avons vu que χ_m était élevée. Donc μ_r le sera également. Toutefois, dans le cas de tels matériaux la relation $B = f(H)$ n'est pas linéaire.

En effet, si l'on considère la fonction $B = f(H)$, exprimant la variation de l'induction en fonction du champ, elle se traduit par une courbe dite de

première aimantation lorsque le matériau n'a jamais été soumis à l'action d'un tel champ.



La courbe représentée correspondant à un acier de construction de nuance XC20 et présente pour des valeurs de champ inférieures à 500 A.m^{-1} une partie pseudo linéaire, puis un coude correspondant à un changement de pente et enfin, au-delà d'une intensité de champ magnétique d'environ 800 A.m^{-1} une portion à faible pente dite zone de saturation.

Corrélativement, la courbe représentant la variation de la perméabilité relative μ_r du matériau en fonction de ce champ accuse un maximum pour de faibles valeurs de ce champ, puis une décroissance rapide lorsque ce dernier augmente.

Nous verrons que la valeur de la perméabilité relative μ_r du matériau contrôlé joue un rôle important vis-à-vis de la sensibilité du contrôle magnétoscopique.

On sait que tous les matériaux ferromagnétiques placés dans un champ magnétique homogène sont le siège d'une induction ou d'une densité de flux magnétique importante.

Supposons un barreau d'acier ferritique (milieu 2) disposé dans l'air (milieu 1) où règne un champ H comme indiqué sur la figure ci contre.

Si l'on considère les phénomènes observés aux limites c'est-à-dire le long des faces du barreau respectivement parallèles et perpendiculaires aux lignes de force du champ les deux lois suivantes peuvent être énoncées :

- Il existe une continuité du vecteur champ magnétique \overrightarrow{H} par rapport à une surface parallèle au flux magnétique Φ créé par le champ H ($\Phi = B \cdot S$, S étant la section de la pièce et B l'induction dans la pièce) qui s'écrit :

$$\overrightarrow{H_1} = \overrightarrow{H_2}$$

- Il existe également une continuité du vecteur induction \overrightarrow{B} par rapport à une paroi perpendiculaire au flux magnétique Φ qui se traduit par :

$$\overrightarrow{B_1} = \overrightarrow{B_2}$$

Si μ_0 est la perméabilité magnétique de l'air et μ_{r2} la perméabilité magnétique relative du barreau d'acier, l'expression

$$\overrightarrow{B_1} = \overrightarrow{B_2}$$

peut encore s'écrire :

$$\mu_0 H_1 = \mu_0 \mu_{r2} H_2$$

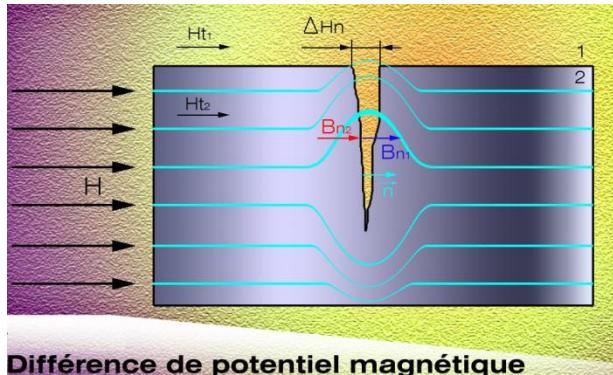
$$H_1 = \mu_{r2} H_2$$

La différence de champ magnétique qui existe de part et d'autre de la surface perpendiculaire aux lignes de force du champ sera égale à :

$$\Delta H = H_1 - H_2 = \mu_{r2} H_2 - H_2 = (\mu_{r2} - 1) H_2$$

Elle sera donc proportionnelle à la valeur de la perméabilité magnétique relative μ_{r2} dans le matériau ainsi qu'à l'intensité du champ magnétiseur appliqué H donc à H_2 .

C'est cette différence de potentiel magnétique qui crée un champ de fuite magnétique à la surface de la pièce au endroit du défaut. Celui-ci est en mesure d'attirer de fines particules ferromagnétiques (poudres d'oxyde magnétique de fer) à la façon d'un petit aimant traçant ainsi le dessin du défaut.



Mise en œuvre

Afin de pouvoir observer en surface les perturbations liées aux anomalies, il est nécessaire de générer un champ magnétique suffisamment important pour que la présence d'une discontinuité le perturbe ; nous parlons alors de « fuite de flux magnétique ».

A noter que l'orientation des anomalies par rapport aux lignes de champ conditionne leur détectabilité, qui sera maximale lorsque l'anomalie est perpendiculaire au champ.

Il existe plusieurs modes opératoires d'aimantation :

- à l'aide d'un champ magnétique ou par passage d'un courant
- le courant utilisé peut être continu ou alternatif
- l'aimantation peut-être longitudinale ou transversale. A noter qu'il est habituel de réaliser 2 aimantations qui seront perpendiculaires l'une par rapport à l'autre afin de détecter l'ensemble des anomalies
- comme elle peut être multidirectionnelle,
- réalisée à l'aide d'électroaimants portatifs, d'aimants permanents, de générateurs de courants...

Un produit dit indicateur est appliqué sur la surface de la pièce à contrôler pendant l'aimantation ou après l'aimantation. Ce produit va permettre de révéler les anomalies présentes en surface ou sous-jacentes.

L'indicateur peut-être :

- **fluorescent, noir ou coloré**
- **une poudre sèche ou un liquide**

Ainsi son observation doit se faire dans des conditions d'éclairage appropriées : lumière naturelle, artificielle ou rayonnement ultraviolet. Certaines configurations de contrôle pourront donc nécessiter un environnement du poste de travail adapté.

La dernière phase de contrôle consiste à désaimanter la pièce lorsque c'est nécessaire, par exemple pour un usinage, une mise en peinture, un usage nécessitant une pièce amagnétique...

Avantages :

- **Préparation de la pièce moins stricte que d'autres méthodes (il est possible de conserver par exemple une fine couche de peinture)**
- **Possibilité de portabilité et de contrôle rapide (il n'y a pas de temps de pénétration comme dans le ressuage par exemple)**
- **méthode robuste et relativement économique**
- **Complémentarité avec d'autres méthodes comme les ultrasons**
- **Parfois considérée autant comme une méthode globale tout autant que surfacique**

Limites :

- **Le matériau doit être ferromagnétique**
- **Les défauts doivent être orientés convenablement par rapport au champ magnétique, donc certains défauts désorientés peuvent ne pas être vus**
- **Les défauts profonds ne peuvent pas être détectés**
- **Maîtrise des phénomènes d'aimantation, notamment pour de très grandes pièces qui peuvent nécessiter plusieurs aimantation et ne permettent donc pas un contrôle de l'ensemble de la pièce en une seule opération**
- **La pièce peut nécessiter d'être démagnétisée**
- **Attention à l'environnement du poste de travail de l'opérateur, qui peut se retrouver dans un champ magnétique important**

Exemples d'applications :

- **Méthode très utilisée dans de nombreux domaines : automobile, ferroviaire, énergie, chaudronnerie, mécano-soudage ...**

- **Contrôle de petites pièces comme des vis ou de grosses pièces comme des axes de presse en papeterie**