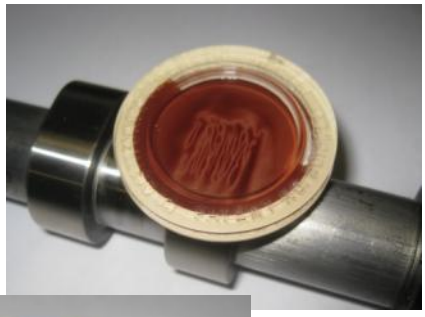
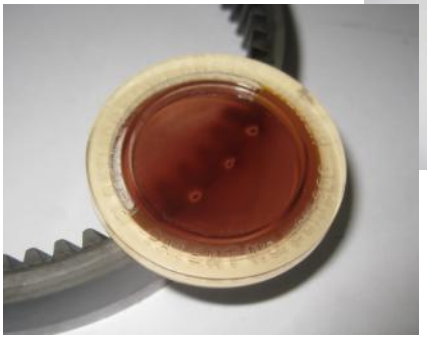
Version actualisée 1.1

Mesurer le magnétisme résiduel de pièces ferromagnétiques





Marek Rohner
Head of Technology
Traduction Boris Ziegenhagen
Maurer Magnetic AG
8627 Grüningen
Switzerland

 © Maurer Magnetic AG 05.2013

Maurer Magnetic AG, votre spécialiste pour:

- des équipements industriels de démagnétisation
- la technique de mesure du magnétisme
- la démagnétisation en service
- la gestion de problème de magnétisme
- Aimants et systèmes magnétiques

Résumé

Les méthodes de production modernes utilisent de plus en plus de procédés de fabrication sensibles et complexes dépendant de la qualité du produit intermédiaire. Les procédés de production comme le revêtement, le soudage, le pressage et l'estampage sont contraint au plus faible magnétisme résiduel possible des outils et des composants. Le montage de moteurs à combustion modernes, de roulements de précision, de composants de transmission, de composants électroniques ou de systèmes d'injection dans le médical exigent le respect de hauts critères de propreté. Pour remplir les critères de propretés les plus élevés, les procédés de lavage sont contraint au plus faible magnétisme résiduel possible. C'est pourquoi les exigences de magnétisme résiduel faible sont devenues un critère de qualité décisif. La mesure détaillée du magnétisme résiduel prend alors une nouvelle signification. Au jour de la publication de ce document, il n'existe aucun procédé reconnu ni aucune norme au sujet de la mesure du magnétisme résiduel. Le magnétisme d'un pièce se mesure généralement avec un appareil de mesure du magnétisme résiduel portable. Les gaussmètres ou teslamètres sont également d'autres appellations pour les appareils de mesure de l'intensité magnétique. Le magnétisme résiduel peut être mesuré uniquement sur la surface d'une pièce. Le résultat dépend de la construction et de la conception de la sonde, de sa position et de la configuration du champ magnétique. Une mesure approfondie de quelques pièces de production typique en acier ferromagnétique montre que le magnétisme est souvent très inhomogène. Une méthodologie de mesure adaptée est alors nécessaire, car le flux sortant d'une pièce prend souvent des chemins très court. Une intensité magnétique très proche de la surface joue un rôle déterminant dans les procédés industrielles suivants:

- Procédé de lavage (adhésion de particules magnétisables)
- Procédé de revêtements (p. ex. chromage ou nickelage)
- Procédé de soudage (p. ex. soudage à l'arc électrique)

Les champs avoisinants, comme le magnétisme terrestre, ont également une influence importante sur les résultats. Ces champs induisent des flux à l'intérieur des pièces ferromagnétiques et créent une composante vectorielle qui s'additionne au magnétisme résiduel. Les magnétisations inhomogènes fréquentes et l'influence des champs voisins conduit à une redéfinition du procédé de mesure du magnétisme résiduel. Sans un appareil de mesure adapté et une méthodologie définie, les mesures seront imprécises et ne seront pas reproductible. Une variation de 100% est fréquente dans une plage de mesure de 0 à 4 A/cm, alors que les valeurs limites définies se trouvent souvent dans ce domaine de mesure, entre 2 et 4 A/cm (2.5 à 5 Gauss).

Ce White Paper présente la façon de procéder et les appareils de mesure adaptés à la mesure du magnétisme résiduel de pièces ferromagnétiques, permettant d'améliorer la précision et la reproductibilité des mesures avec des équipements industrielles.

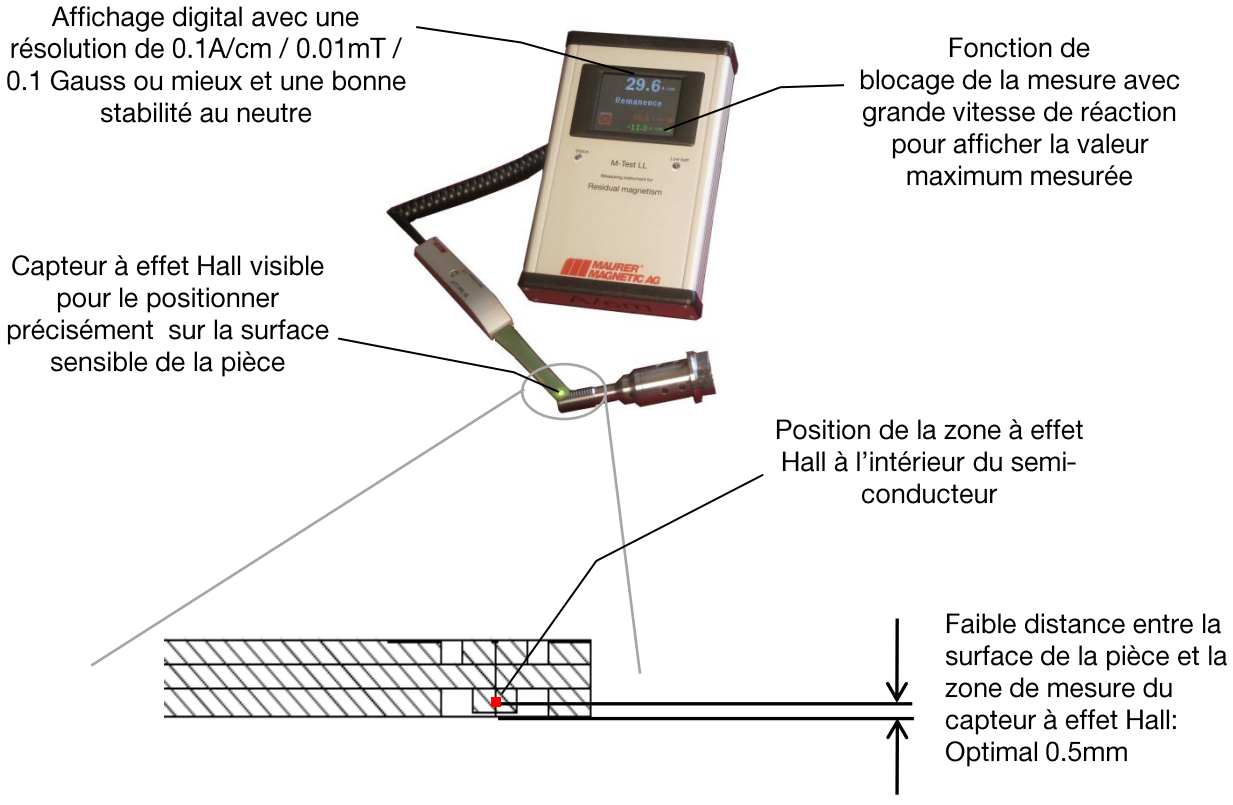
Les facteurs suivants sont particulièrement importants:

- La magnétisation de la pièce (magnétisation dipolaire ou multipolaire fine)
- L'influence du magnétisme terrestre et d'autres champs magnétiques voisins
- La méthodologie de mesure pour trouver le magnétisme résiduel maximum sur la surface d'une pièce

Intensité de champs magnétiques

Avec l'augmentation de la distance du pôle, la densité des lignes de champ décroit disproportionnellement vite. Le taux de décroissance dépend fortement de la configuration des pôles, observable par la séparation des pôles ainsi que son tracé sur la surface de la pièce. Par exemple, l'intensité de champ H d'un dipôle magnétique sur une distance r diminue selon $H \sim 1/r^3$. Mais l'intensité de champ proche de la surface d'une pièce avec une distribution inhomogène du magnétisme peut être caractérisée uniquement par mesure. L'intensité de champ sur une surface baisse très rapidement a des valeurs en dessous d'1 A/cm à quelques millimètres seulement. Tout proche de la surface, l'intensité de champ est multipliée et dépends principalement des propriétés du matériau. Les fréquentes différences de mesure avec divers appareils de mesure s'expliquent entre autre par la construction de la sonde et l'aptitude de l'appareil à mesurer de petits flux proche d'une surface. Les valeurs d'appareils de mesure du magnétisme sont uniquement comparable pour des champs homogènes.

Caractéristiques d'un appareil de mesure du magnétisme résiduel adapté

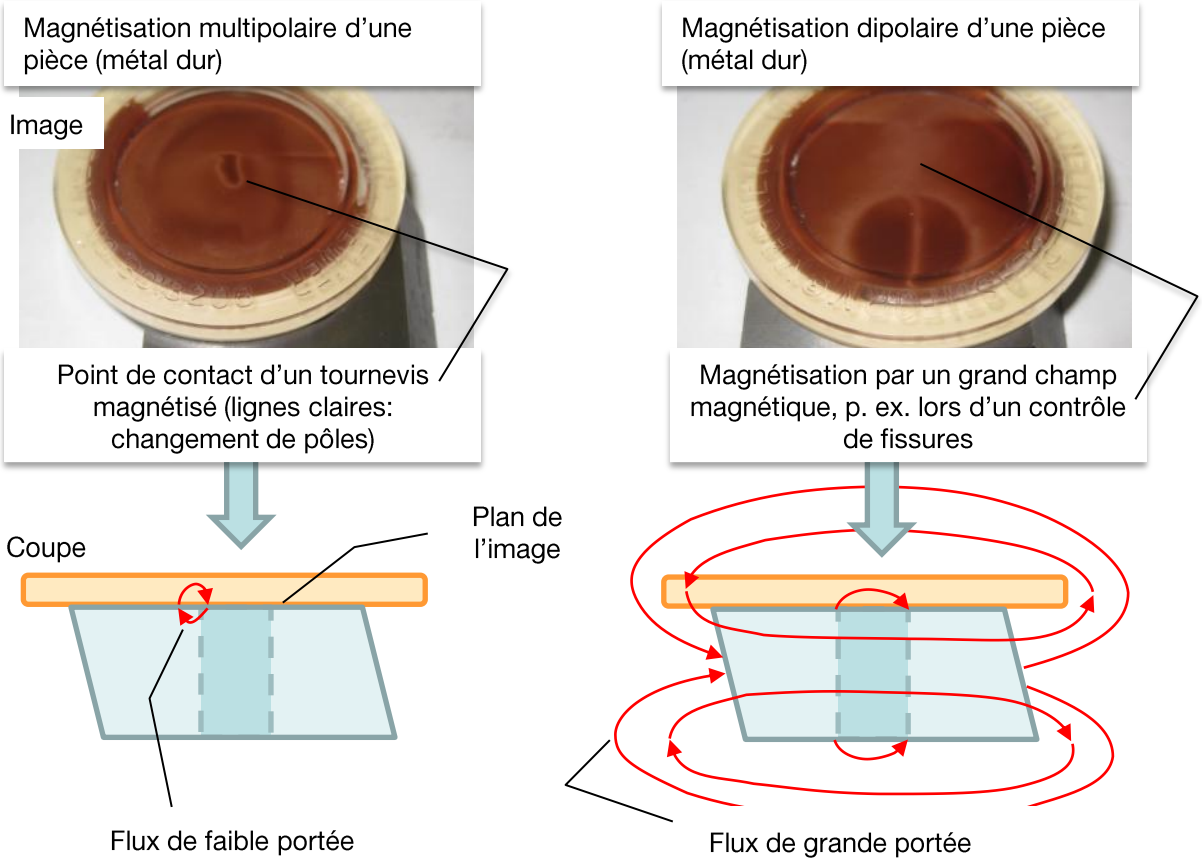


Magnétisme résiduel de pièces ferromagnétique

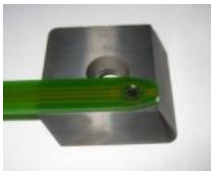
Le magnétisme résiduel dans une pièce est principalement dépendant des étapes de fabrication et de manutention précédentes. Mais la première influence magnétique sur une pièce provient déjà de l'aciérie. Les procédés de recuit, laminage et transport sous l'influence du magnétisme terrestre magnétisent l'acier ferromagnétique en profondeur dans une plage de valeur de 10…40 A/cm. Après ces procédés, le magnétisme résiduel de l'acier brut ou de grosse section correspond généralement à une magnétisation dipolaire. Le contrôle magnétique de fissures, très répandu dans l'industrie, conduit également à une magnétisation dipolaire.

En cours de fabrication, une pièce entre en contact avec un nombre incalculable de sources magnétiques de polarités aléatoires plus ou moins magnétiques. Les dispositifs de manutention magnétiques, outils, moyens de serrage, outils de coupe ou champs induits, etc. magnétisent encore plus la pièce ou inversent les pôles localement. Cette influence magnétique conduit généralement à une magnétisation multipolaire des pièces (cf. page de titre). Pour une meilleure compréhension, les aspects du magnétisme résiduel d'une pièce ferromagnétique seront classifiés par les catégories suivantes:

- Magnétisation dipolaire, avec une séparation des pôles principale
- Magnétisation avec des flux de petite portée (magnétisation fine multipolaire)
- Mélange des deux types de magnétisation sur plusieurs endroits de la pièce



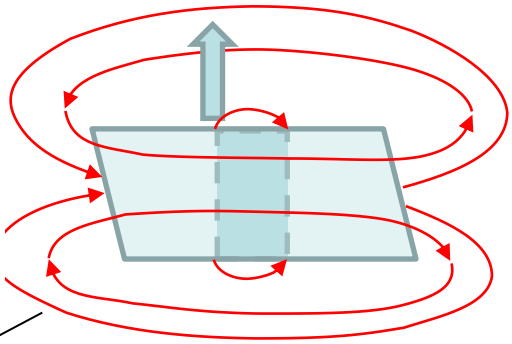
Intensité de champ en fonction de l'augmentation de la distance avec la surface de la pièce



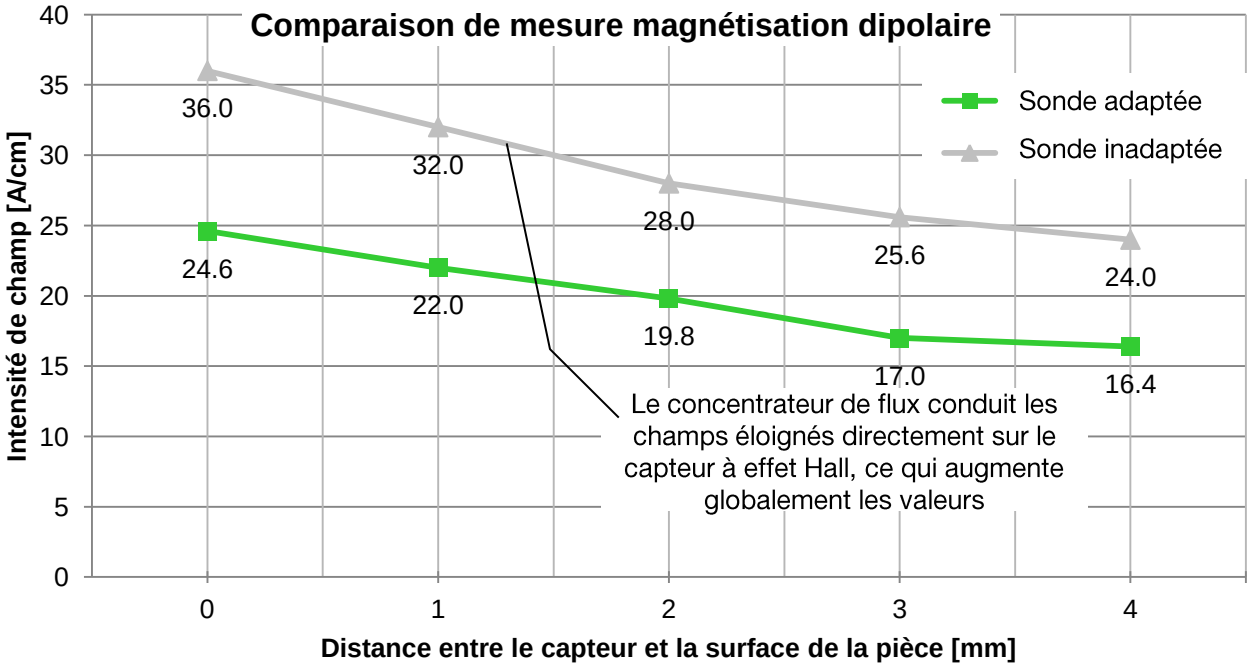
Sonde adaptée:
- Distance entre la zone à effet Hall et la surface de l'objet ~0.5mm
- Capteur sans concentrateur de flux
- Positionnement précis

Sonde inadaptée:
- Distance entre la zone à effet Hall et la surface de la pièce inconnue
- Capteur avec concentrateur de flux
- Positionnement imprécis

Comparaison de mesure entre les deux sondes:
Mesure du magnétisme résiduel avec une augmentation de la distance entre le capteur et la surface de la pièce.
Le flux de la pièce correspond à une magnétisation dipolaire.



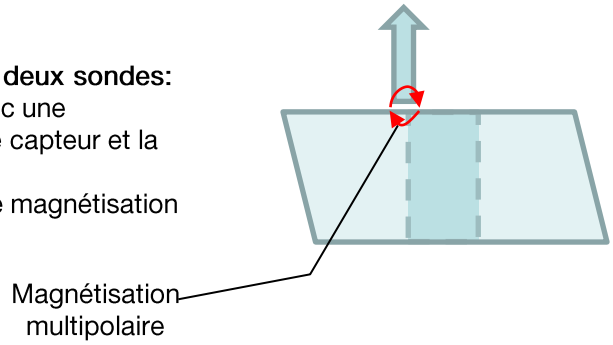
Magnétisation dipolaire

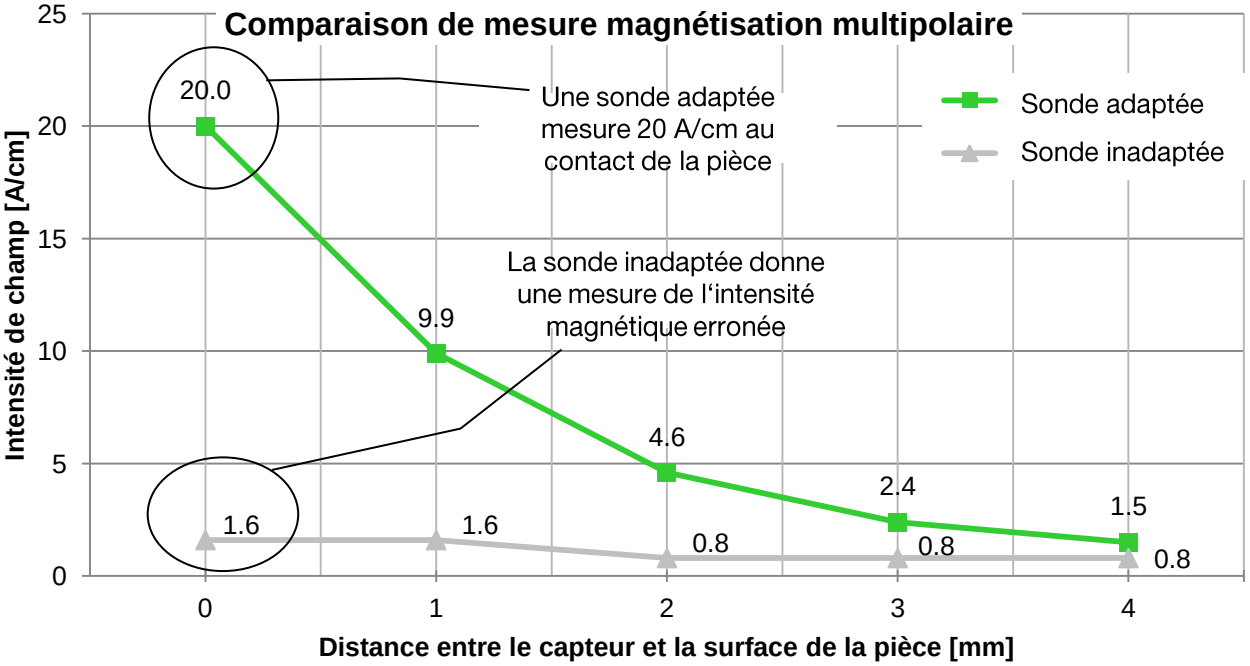


Intensité de champ en fonction de l'augmentation de la distance avec la surface de la pièce

Les divers constructions de sondes sont plus facilement comparables en mesurant le magnétisme résiduel d'une pièce ayant un flux étendu, comme une magnétisation dipolaire, que pour mesurer une magnétisation multipolaire fine. Des champs multipolaires peuvent être mesurés uniquement avec une sonde ayant une distance zone à effet Hall – surface clairement en dessous d'1mm. L'utilisation d'appareils avec un capteur inadapté conduit à une fausse définition du comportement des champs magnétiques sur la surface de la pièce. Les capteurs à effet Hall avec un concentrateur de flux ont tendance a lisser le flux d'un magnétisme multipolaire, ce qui conduit souvent à ne plus rien mesurer du tout. Avec un appareil inadapté, d'importants champs multipolaires en surface ne sont ainsi pas découvert alors qu'ils perturbent ensuite les procédés de lavage, soudage ou revêtement.

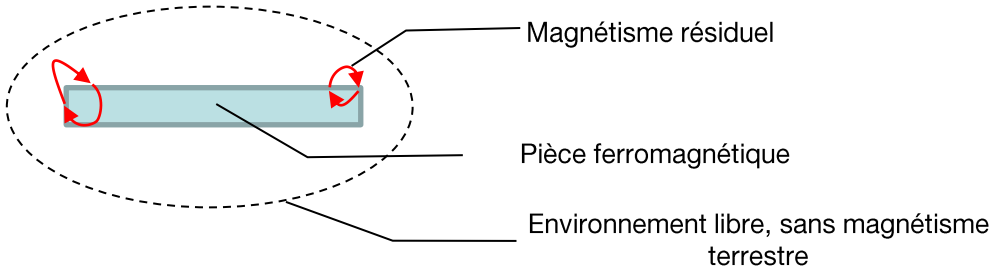
Comparaison de mesure entre les deux sondes:
Mesure du magnétisme résiduel avec une augmentation de la distance entre le capteur et la surface de la pièce.
Le flux de la pièce correspond à une magnétisation multipolaire.

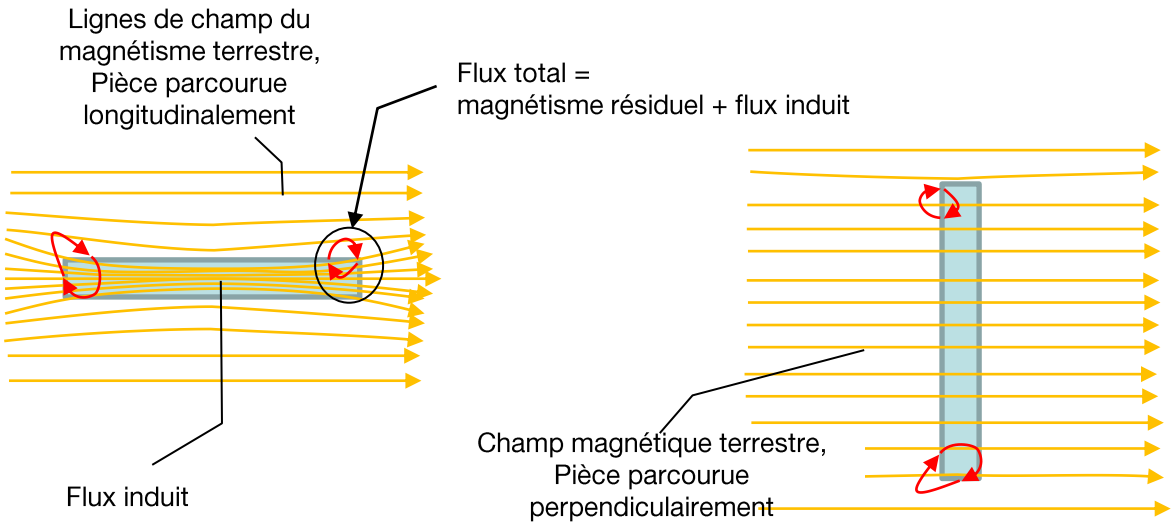




Champ magnétique induit

Le champ magnétique terrestre a en moyenne une intensité de ~0.03...0.06mT. Les lignes de champ dans un espace libre parcourent principalement un axe N-S avec une inclinaison par rapport à la surface de la terre d'environ 45°. Dans un bâtiment, la direction et l'intensité du champ magnétique terrestre sont modifiées par les structures ferromagnétiques avoisinantes. Grâce à une haute perméabilité, les matériaux ferromagnétiques forment une plus faible résistance aux champs magnétiques. Une pièce ferromagnétique attire donc les lignes de champ des sources magnétiques voisines (p. ex. le champ magnétique terrestre) et créent ainsi un dipôle magnétique induit à travers la pièce. L'intensité du champ induit d'une pièce dépend de la perméabilité du matériau, de sa géométrie, sa grandeur et de son orientation par rapport au champ magnétique terrestre. Le champ magnétique terrestre induit une polarité dans des pièces allongées. Des mesures du magnétisme résiduel sous l'influence du magnétisme terrestre montrent des oscillations variant de +-1…4 A/cm selon l'orientation. Les influences du magnétisme terrestre et l'orientation de la pièce doivent être prisent en compte à partir d'un allongement l/d supérieur à 4. Le champ induit sur un corps parcouru perpendiculairement sera bien plus faible. La mesure du magnétisme résiduel sous l'influence du champ magnétique terrestre donne une flux total composé du magnétisme résiduel effectif de la pièce et du flux induit. Les mesures ne sont plus reproductibles dès qu'elles sont effectuées sous l'influence d'environnements différents.



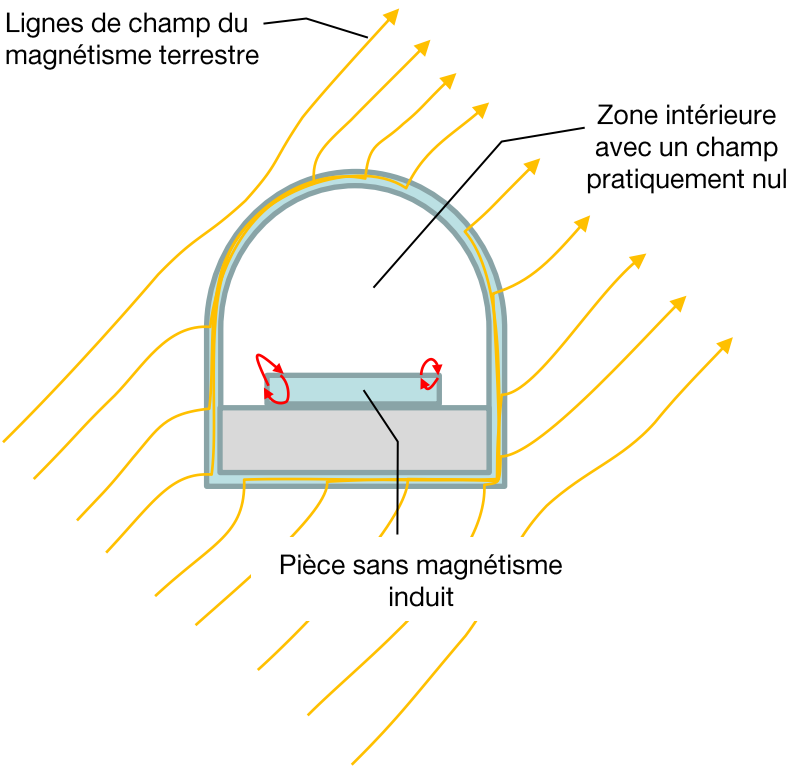


Mesures dans une chambre de protection contre les champs magnétiques

Les mesures du magnétisme résiduel ne sont plus influencée si la pièce se trouve dans un environnement protégé contre le magnétisme terrestre (ou d'autres champs voisins). Le protection contre ce magnétisme terrestre peut être fait de deux manières. Une chambre de protection passive composée de parois en matériaux magnétiquement hautement perméable. Le champ magnétique terrestre est alors dévié dans les parois et son influence à l'intérieur de la chambre de protection est réduite d'un facteur de 3.5 à 4 (blindage total dans les trois dimensions). Cette réduction est suffisante pour avoir une reproductibilité de mesures du magnétisme résiduel. Les chambres de protection passive sont adaptées pour la mesure de pièces jusqu'à une dimension d'environ 300x300x300mm (chambre >> pièce).

La deuxième possibilité est une chambre Helmholz tridimensionnelle. Les faces de la chambre sont constituées de bobines qui contrent le magnétisme terrestre. Les chambres Helmholz sont adaptées pour la mesure de pièces de grandes dimensions.

Fonctionnement d'une chambre de protection passive (Chambre-Zéro-Gauss)



Chambre-zéro-Gauss
Volume d'utilisation env.
250x250x250mm

Chambre Helmholz 3D
Volume d'utilisation env.
1500x1500x1500mm

Valeurs de champs induits typiques

- Capteur à effet Hall fixé sur la surface au bout de la pièce
- Magnétisme terrestre ~0.05mT

Pièce	**Magnétisme terrestre blindé;** L'orientation ne joue aucun rôle **[A/cm]**	**Pièce orientée longitudinalement, parallèle au magn. terrestre** **[A/cm]**	**Pièce tournée de 180°** **[A/cm]**	**Champ induit maximum** **[A/cm]**
Cylindre d'un roulement à rouleaux, acier pour roulements lxd = 40x50mm l/d = 0.8	0.2	-0.3	0.6	0.5
Barre ronde, acier chromé lxd = 100x4mm l/d = 25	1.9	1.7	2.9	1.0
Barre ronde, acier de décolletage lxd = 1500x15mm l/d = 100	7.2	5.8	8.9	1.7

L'influence de la méthode de mesure

La mesure du magnétisme résiduel maximum demande une méthodologie définie. Cas spécifiques où la méthodique est particulièrement exigeante:

- Pièces mesurées sous l'influence du magnétisme terrestre
- Pièces avec des flux de petite portée (magnétisme résiduel multipolaire)

Mesures reproductibles sous le magnétisme terrestre

La mesure effectuée sous l'influence du magnétisme terrestre dépend fortement de son orientation et de son intensité. Le béton armé, les structures en acier, les machines, les lignes électriques à fort courant, etc. déforment le champ magnétique terrestre. Une variation de l'intensité de 0 à 600% de la valeur du magnétisme terrestre (0.03..0.06 mT) est fréquente dans un bâtiment industriel. Le champ magnétique induit dans une pièce ferromagnétique est directement lié à l'intensité du champ magnétique du lieu de mesure. Une forte influence du milieu peut conduire à une impossibilité de mesurer le magnétisme résiduel de la pièce. Des mesures reproductibles sont uniquement réalisables dans un environnement libre de champs magnétiques. Si un blindage n'est pas possible, une valeur moyenne peut être calculée en effectuant 6 mesures (positive et négative) sur une pièce tournée 3 fois successivement de 90°.

Recherche du magnétisme résiduel maximum sur des pièces avec une magnétisation multipolaire

Comme la portée d'un magnétisme résiduel multipolaire est faible, il convient de scruter au maximum la surface de la pièce. Dans ce cas, une fonction Peak-Hold qui sauvegarde automatiquement la valeur la plus élevée est d'une grande nécessité. L'utilisateur peut alors se concentrer sur le scannage de la surface de la pièce, assurant de trouver la valeur maximum, même pour un magnétisme résiduel fin multipolaire. Le reproductibilité des mesures dépend essentiellement de la définition et de la mise en œuvre d'une méthode de mesure adaptée.

Définition de valeurs limites de magnétisme résiduel

Une valeur limite du magnétisme résiduel définit la valeur maximum que peut avoir une pièce sur sa surface ou une partie fonctionnelle de sa surface. Dans les applications les plus utilisées (adhésion de particules, soudage, revêtement), la polarité N-S ne joue aucun rôle.

Pour contrôler correctement la valeur limite du magnétisme résiduel d'une pièce, il est nécessaire de définir certaines spécifications :

- Distance capteur à effet Hall – surface de la pièce (appareil de mesure adapté)
- Mesures effectuées par un personnel qualifié (méthodologie adaptée)
- Spécification d'une méthodologie adaptée

Table de conversion des unités dans le magnétisme

Unité Sens de lecture->	A/cm	A/m	mT	Gauss ou Oerstedt
1 A/cm =	-	100	0.1256	1.256
1 A/m =	0.01	-	0.001256	0.01256
1 mT =	7.96	796	-	10
1 Gauss ou 1 Oerstedt =	0.796	79.6	0.1	-

Relation entre l'intensité de champ H [A/m] et la densité de flux B [mT]:
$B = \mu_r \times \mu_0 \times H$, dans l'air, $\mu_r \sim 1$; perméabilité du vide $\mu_0 = 1.256 \times 10^{-6}$ [Vs / Am]