

# *La mesure du champ magnétique en contrôle non destructif par magnétoscopie*

<b><u>I/ Rappel mathématique sur les définitions des grandeurs mesurées</u></b>	<b>P2</b>
<u>Valeur crête de "X"</u>	p2
<u>Valeur moyenne de "X"</u>	p2
<u>Valeur efficace de "X"</u>	p2
<b><u>II / Les capteurs de mesure</u></b>	<b>P3</b>
<u>Effet Hall</u>	p3
<u>Bobinage</u>	p3
<u>Effet GMR</u>	P4
<b><u>III / Grandeurs magnétiques et unités de mesure</u></b>	<b>P4</b>
<u>Le champ magnétique H</u>	p4
<u>L'Induction magnétique B</u>	p4
<u>Remarque Importante</u>	p5
<b><u>IV / Méthodes de mesures en magnétoscopie</u></b>	<b>P5</b>
<u>Champ Tangentiel</u>	p5
<u>Induction rémanente</u>	p6
<b><u>V / Technique de mesure appliquée aux appareils</u></b>	<b>P6</b>
<u>Appareils mesurant intrinsèquement la valeur moyenne</u>	p6
<u>Appareils mesurant intrinsèquement une valeur crête</u>	p7
<u>Appareils capables de mesurer une vraie valeur efficace (TRMS)</u>	p8
<b><u>VI / Méthode d'étalonnage</u></b>	<b>P9</b>
<b><u>VII/ Les limites de la mesure magnétique</u></b>	<b>P10</b>
<u>Utilisation d'appareil non TRMS</u>	p10
<u>Mesure de champ tangentiel et géométrie du capteur</u>	p11
<u>Mesure de champ tangentiel et inclinaison du capteur</u>	p12
<u>Mesure de l'induction rémanente et géométrie du capteur</u>	p13
<u>Conséquences de ces limitations</u>	p15

## I/ Rappel mathématique sur les définitions des grandeurs mesurées

"X" représente la grandeur périodique à mesurer. Il peut s'agir d'un champ magnétique H, d'une tension V, d'un courant I ou de toutes autres grandeurs :

Valeur crête de "X"

$$X_{crête} = \text{Max}(X)$$

⇒ Cette valeur représente le maximum de la grandeur à mesurer sur la période

Valeur moyenne de "X"

$$X_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T X$$

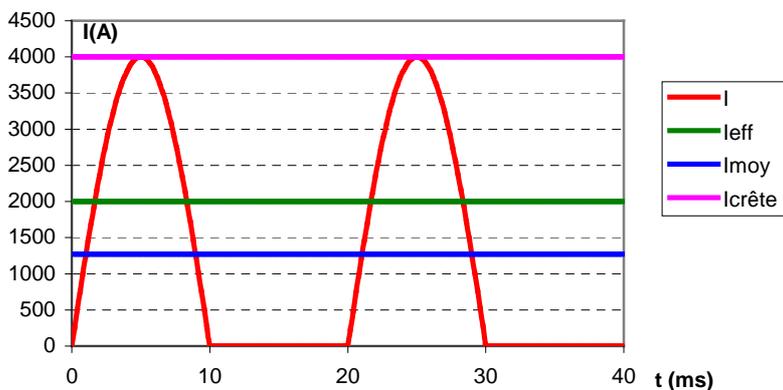
⇒ Cette valeur représente la moyenne de la grandeur à mesurer. On tient compte de la partie positive et négative du signal.

Valeur efficace de "X"

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X^2}$$

⇒ Il s'agit d'une grandeur mathématique définie comme étant la racine carrée de la moyenne du carré de la grandeur à mesurer calculée sur une période. En électricité, un signal efficace de valeur I<sub>eff</sub> aura les mêmes capacités énergétiques qu'un signal continu de même valeur

Exemple signal R1A 50Hz



I<sub>crête</sub> = 4000A  
I<sub>eff</sub> = 2000A  
I<sub>moy</sub> = 1273A

Ces grandeurs sont très différentes et il est donc très important de savoir de quoi l'on parle

## II / Les capteurs de mesure

Il existe un grand nombre de capteurs permettant de faire de la mesure de champ magnétique. Parmi les principaux, on peut citer :

- La bobine
- Le capteur à effet Hall
- La magnétorésistance GMR

### *La bobine*

Un bobinage plongé dans un champ magnétique produit à ses bornes un signal proportionnel à la variation du flux magnétique qui traverse la section du bobinage

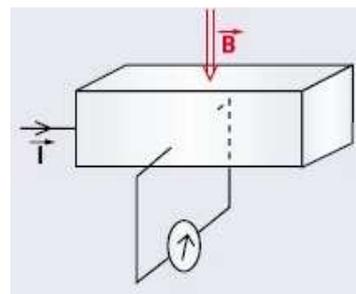


$$e = N \frac{d\phi}{dt} = N \cdot \frac{d(B.S)}{dt}$$

Etendue de mesure	Sensibilité	Stabilité Thermique	Fonctionnement en champ DC	Encombrement
$10^{-10}$ à $10^6$ mT	dépend de la fréquence	bonne	non	important

### *Capteur à effet hall*

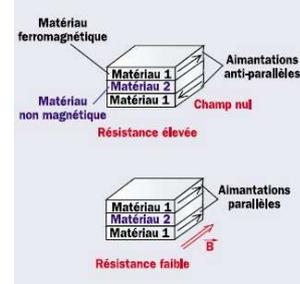
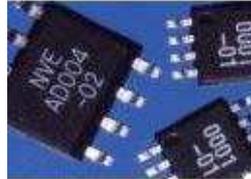
Un capteur à effet Hall produit une tension de sortie proportionnelle à l'induction magnétique qui le traverse. Cette tension apparaît sur les faces d'une plaquette conductrice traversée par un courant I et un champ magnétique perpendiculaire à I



Etendue de mesure	Sensibilité	Stabilité Thermique	Fonctionnement en champ DC	Encombrement
$10^{-3}$ à $10^5$ mT	moyenne 0.5mv/mT	moyenne	oui	faible

### Capteur magnétoresistif (GMR)

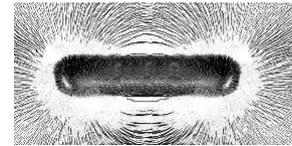
L'effet GMR produit un changement de résistance électrique (variation de 4 à 15%) dans un empilement de fines couches de matériel amagnétique et magnétique soumis à un champ magnétique extérieur.



Etendue de mesure	Sensibilité	Stabilité Thermique	Fonctionnement en champ DC	Encombrement
$10^{-7}$ à 10 mT	bonne 50mv/mT	bonne	oui	moyen

### III / Grandeurs magnétiques et unités de mesure

Il est nécessaire de distinguer 2 grandeurs magnétiques différentes qui n'ont pas la même signification :



#### Le champ magnétique H (utilisé pour la mesure du champ tangentiel)

Il s'agit d'une donnée indépendante du milieu qui exprime la présence d'une grandeur influente sur certaines caractéristiques de la matière et produite soit par une circulation de courant soit par la proximité de matériaux aimantés.

L'unité internationale du champ magnétique est **l'ampère par mètre : A/m**

On trouve encore des champs magnétiques exprimés en **Oersted : Oe**

$$1\text{Oe}=80\text{A/m}$$

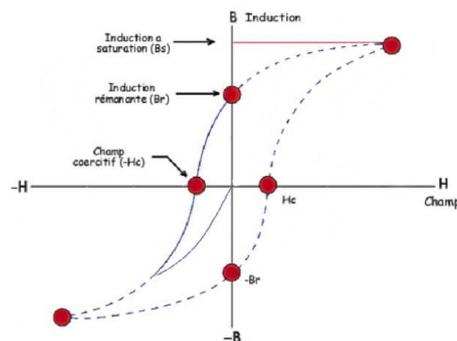
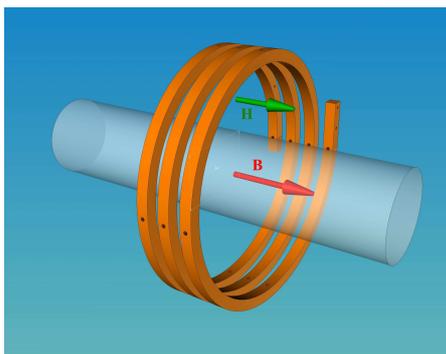
#### L'Induction magnétique B (utilisée pour la mesure de l'induction rémanente)

Il s'agit d'une donnée dépendante du milieu et qui exprime l'influence d'un champ magnétique sur la matière :  $B=\mu.H$  ( $\mu$  : perméabilité magnétique représentant la propriété d'un corps à se laisser traverser par un champ magnétique)

L'unité internationale de l'induction magnétique est **le Tesla : T**

On trouve encore des inductions magnétiques exprimés en **Gauss : G**

$$1\text{T}=10000\text{G}$$



Remarque Importante

Par abus de langage, en magnétoscopie il est courant de voir des inductions magnétiques exprimées en A/m, en particulier pour la mesure de rémanence. Cet abus est rendu possible du fait d'une équivalence entre les deux grandeurs pour une mesure dans l'air ( $B = \mu_0 \cdot H$  et  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$ ). Dans l'air, on a donc la relation suivante :

$$0.1 \text{ mT} = 1 \text{ G} \Leftrightarrow 80 \text{ A/m} = 1 \text{ Oe}$$

C'est également pour cette raison (toutes les mesures sont effectuées dans l'air) que les mêmes capteurs peuvent être utilisés pour mesurer un champ magnétique ou une induction magnétique, tout dépend de la manière dont on les utilise.

**IV / Méthodes de mesures en magnétoscopie**

Champ Tangentiel:

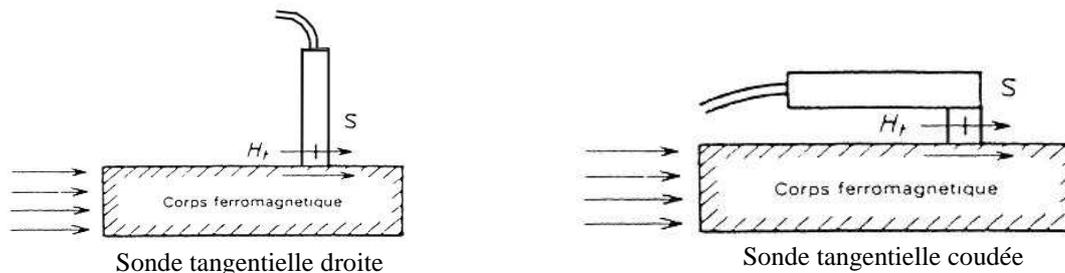
La qualité d'un contrôle par magnétoscopie est qualifiée dans de nombreux cas par la mesure du champ magnétique tangentiel faite à la surface de la pièce. En effet, en appliquant le théorème d'ampère, on constate une conservation de la composante tangentielle du champ à la surface de la pièce ( $H_t \text{ interne} = H_t \text{ externe}$ ) ce qui permet de connaître le champ magnétique interne qui sera à l'origine du champ de fuite produit par un éventuel défaut

Dans ces conditions, les Normes (Françaises, Européennes ou US) ou spécifications des grands donneurs d'ordres imposent fréquemment des minima de champ tangentiel sur les pièces. La variation importante de ces valeurs, dans les différents secteurs de l'industrie, est principalement dûe aux différentes nuances des aciers utilisés par les uns et les autres :

NF EN ISO 9934-1 :	Induction minimale dans pièce de 1T En général obtenu avec $H = 2000 \text{ A/m}$ eff (suivant acier)
Domaine aéronautique:	$6400 \leq H \leq 12800 \text{ A/m}$ crête
Domaine SNCF:	$3200 \leq H \leq 6400 \text{ A/m}$ efficace

La mesure de ces champs se fait à l'aide d'un mesureur de champ tangentiel, équipé d'une sonde adaptée et posée au contact de la pièce. L'axe sensible du capteur, souvent repéré par une flèche sur la sonde, est placé parallèlement aux lignes de champ tangentiel présentes dans la pièce (produites par le système de magnétisation) et au plus près de la surface de la pièce.

Exemple de mesure :



Remarque importante :

La mesure de champ tangentiel peut être effectuée en valeur crête, valeur moyenne ou valeur efficace suivant les cas traités et les normes appliquées

Induction rémanente:

Après un contrôle par magnétoscopie, il est souvent nécessaire d'effectuer une désaimantation de la pièce et de contrôler son induction rémanente. Cette opération est aussi parfois nécessaire après usinage ou convoyage magnétique.

L'induction rémanente qualifie l'aimantation résiduelle de la matière (aptitude à se comporter comme une source de champ magnétique – aimant) et se mesure à la surface de la pièce mais différemment du champ tangentiel. En appliquant le théorème de la conservation du flux magnétique on peut démontrer que la composante normale de l'induction magnétique se conserve ( $B_n$  intérieur =  $B_n$  extérieur) ce qui permet de connaître l'induction magnétique interne par une mesure en surface.

La norme NF EN ISO 9934-1 définit des valeurs maximales tolérées suivant les applications.

Sur pièces nécessitant un usinage très fin:

$$B_n < 0.8\text{mT} \quad (B_n < 600\text{A/m})$$

Sur pièces nécessitant un usinage classique:

$$B_n < 1.2\text{mT} \quad (B_n < 1000\text{A/m})$$

Sur pièces avant soudage:

$$B_n < 3\text{mT} \quad (B_n < 2500\text{A/m})$$

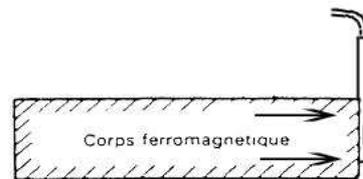
Dans le cas d'applications particulières nécessitant un magnétisme rémanent très faible tel qu'un usinage de précision suivi d'un lavage, certains traitements de surface, certaines techniques de soudage ... l'expérience fait que la valeur de 0.3mT (240A/m) est souvent prise comme limite.

La mesure de ces champs se fait à l'aide d'un mesureur d'induction rémanente, équipé d'une sonde adaptée et posée au contact de la pièce. La mesure se fait dans les zones de flux sortant de la pièce en l'absence de système de magnétisation. L'axe sensible du capteur est placé parallèlement aux lignes de flux sortant et au plus près de la surface de la pièce

Exemple de mesure :



Sonde axiale



Sonde plate

Remarque importante :

La mesure de l'induction rémanente doit toujours être effectuée en valeur moyenne car il s'agit d'une grandeur continue. La plupart du temps, on recherche un maximum.

### V / Technique de mesure appliquée aux appareils

Il existe un grand nombre de techniques permettant d'avoir accès aux différentes grandeurs de mesures (Moyenne – Crête – Efficace). Certaines de ces techniques sont plus adaptées à la mesure d'un type de grandeur en particulier et possèdent d'importantes limitations concernant la mesure des autres grandeurs. En règle générale, il est donc très important de ne pas avoir une confiance aveugle en la valeur lue sur l'appareil et de bien connaître avant tout le mode de fonctionnement de son appareil pour ne pas faire de grossières

erreurs. Trois techniques parmi les plus fréquemment rencontrées sont décrites ci-dessous mais cette liste n'est absolument pas exhaustive et votre appareil peut très bien faire appel à une technique tout à fait différente.

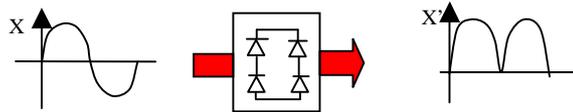
Appareils mesurant intrinsèquement la valeur moyenne :

Il s'agit principalement de vieux appareils à cadre mobile mais également de certains appareils à affichage numérique. En réalité, ces appareils sont capables de mesurer uniquement la valeur moyenne d'un signal et appliquent les coefficients qui vont bien pour retrouver les valeurs efficaces et crêtes. Ces appareils ne peuvent mesurer directement que des grandeurs sinusoïdales ou continues.



Méthode de mesure appliquée par ces appareils pour la mesure des grandeurs sinusoïdales :

- "X" moyen  
La lecture est directe
- "X" efficace
  - 1- Le signal entrant est redressé par un pont de diode



- 2- L'appareil mesure la valeur moyenne du signal redressé (X'moy)
- 3- L'appareil applique un coefficient correcteur pour calculer la valeur eff

$$X_{eff} = \frac{\pi \cdot X_{moy}}{2 \cdot \sqrt{2}}$$

Avec une petite gymnastique mathématique, il est pourtant possible d'utiliser ces appareils pour la mesure de la valeur crête et/ou efficace d'un signal dont la forme est directement dérivée d'une sinusoïde : Pulsé – R2A - TriHexa (Attention : ce n'est pas le cas des courants découpés par thyristors). Il est alors nécessaire d'effectuer la mesure sur la bonne position (AC ou DC) et d'appliquer manuellement les bons coefficients multiplicateurs comme expliqué dans le tableau suivant :

		Mesure Crête	Mesure Efficace
FORME DE COURANT	POSITION LECTURE	COEFFICIENT MULTIPLICATEUR	COEFFICIENT MULTIPLICATEUR
Pulsé	DC (valeur moyenne)	$\pi=3.14$	$\frac{\pi}{2}=1.57$
Redressé deux alternances (R2A)	DC (valeur moyenne)	$\frac{\pi}{2}=1.57$	$\frac{\sqrt{2}}{4} \cdot \pi=1.11$
Tri-hexaphasé	DC (valeur moyenne)	$\frac{\pi}{3}=1.046$	$\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}} \cdot \pi=1.001$
Sinusoidale	AC (valeur efficace)	$\sqrt{2}=1.414$	directe

Appareils mesurant intrinsèquement une valeur crête:

Certains appareils simples, à affichage numérique, vont rechercher la valeur crête d'un signal. Généralement, il procède à un échantillonnage basse fréquence du signal et recherche le maximum dans la table des valeurs enregistrées. La mesure de la valeur crête est normalement correcte quel que soit le type de signal, cependant l'aptitude de l'appareil à saisir des pics de très faible durée n'est pas toujours très bonne et peut poser problème en particulier dans le cas d'un signal haché par thyristors avec un très faible angle d'ouverture. Il est également important de comprendre que la valeur crête affichée n'est pas nécessairement la valeur crête sur une période de signal mais sur une durée qui peut être beaucoup plus longue. Il est donc important que le signal soit stabilisé pour prendre la mesure.



Comme pour les appareils mesurant intrinsèquement une valeur moyenne, la valeur efficace est juste le fruit d'un calcul réalisé par l'appareil. Ce calcul est uniquement vrai pour des signaux sinusoïdaux.

$$X_{eff} = \frac{X_{crête}}{\sqrt{2}}$$

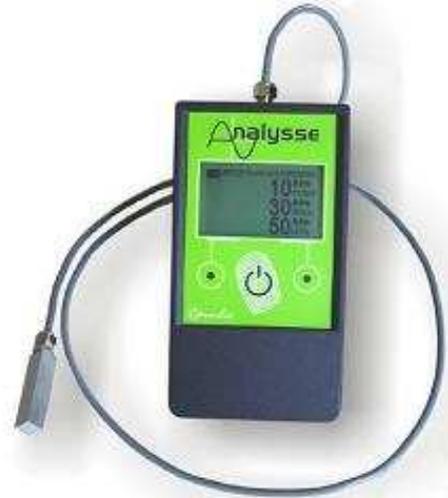
Sur ce type d'appareil, la mesure de la valeur moyenne d'un signal n'est absolument pas adaptée à la mesure de la valeur moyenne d'un signal pulsé et R2A car l'échantillonnage du signal est beaucoup trop faible. Elle ne peut être utilisée que pour des signaux purement continus et avec une erreur relativement faible dans le cas de signaux TriHexa.

Avec une petite gymnastique mathématique, il est pourtant possible d'utiliser ces appareils pour la mesure de la valeur Moyenne et/ou efficace d'un signal dont la forme est directement dérivée d'une sinusoïde : Pulsé – R2A - TriHexa (Attention : ce n'est pas le cas des courants découpés par thyristors). Il est alors nécessaire d'effectuer la mesure sur la bonne position (AC ou DC) et d'appliquer manuellement les bons coefficients multiplicateurs comme expliqué dans le tableau suivant :

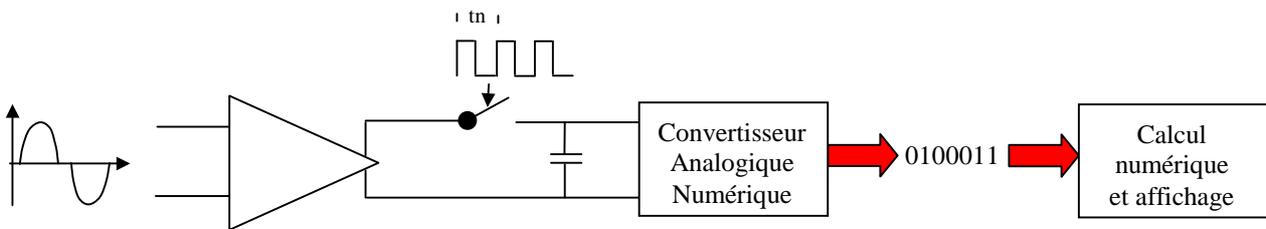
FORME DE COURANT	POSITION LECTURE	Mesure Moyenne COEFFICIENT MULTIPLICATEUR	Mesure Efficace COEFFICIENT MULTIPLICATEUR
Pulsé	^ (valeur crête)	$\frac{1}{\pi}=0.318$	$\frac{1}{2}=0.5$
Redressé deux alternances (R2A)	^ (valeur crête)	$\frac{2}{\pi}=0.637$	$\frac{\sqrt{2}}{2}=0.707$
Tri-hexaphasé	^ (valeur crête)	$\frac{3}{\pi}=0.955$	$\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}}=0.956$
Sinusoidale	AC (valeur efficace)	0	directe

Appareils capables de mesurer une vraie valeur efficace (TRMS):

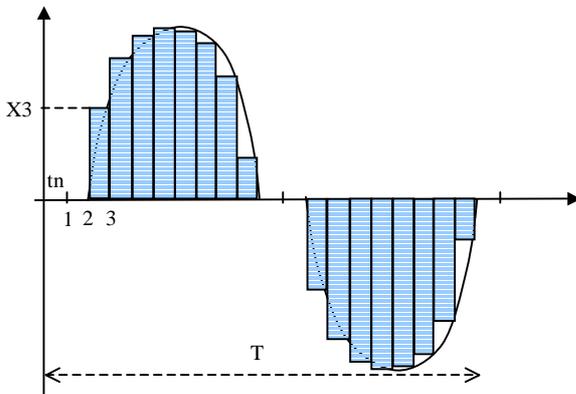
Ces appareils sont capables de mesurer avec précision les valeurs moyenne, efficace et crête de tous types de signaux et en particulier ceux issus de courant découpé par thyristors. On dit souvent qu'ils sont capables de mesurer une valeur "efficace vraie" (TRMS).



Pour s'affranchir de la forme de la grandeur mesurée, on utilise souvent un système de numérisation du signal et on applique les expressions discrétisées des calculs théoriques.



Exemple de signal Thyristor



T : période du signal  
tn : période d'échantillonnage

$$X_{moy} = \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^N X_i \cdot tn$$

$$X_{moy} = \frac{tn}{T} (X_1 + X_2 + X_3 + \dots)$$

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^N X_i^2 \cdot tn}$$

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{tn}{T} \cdot (X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + \dots)}$$

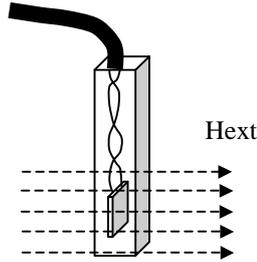
Remarque

Il existe également des appareils fonctionnant avec des circuits analogiques capables de mesurer une grandeur TRMS sans numériser le signal. Ils appliquent directement la formule:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X^2}$$

**VI / Méthode d'étalonnage**

L'étalonnage des appareils de mesure (champ tangentiel et rémanent) est réalisé en soumettant l'élément sensible de la sonde à un champ magnétique constant et perpendiculaire à la surface de cet élément.



Dans des conditions de mesures réelles, le champ magnétique n'est pas nécessairement homogène et perpendiculaire à la surface de la sonde. Il est donc possible que deux appareils pourtant correctement étalonnés donnent des résultats différents (fonction des caractéristiques de la sonde)

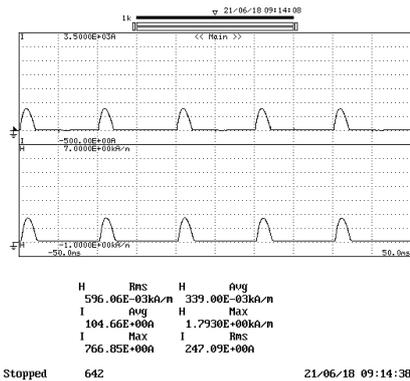
**VII/ Les limites de la mesure magnétique**

Utilisation d'appareil non TRMS:

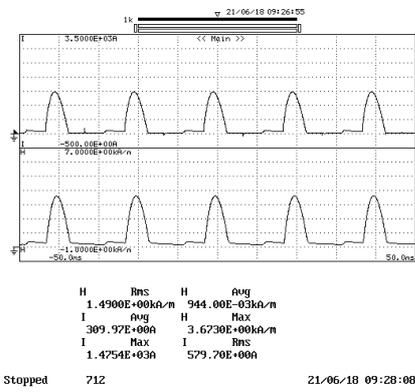
L'utilisation d'appareils de mesure non TRMS pour la mesure de champs peut conduire à d'importantes erreurs d'interprétation si l'opérateur ne connaît pas les limites d'utilisation de ces appareils :

- Ils peuvent être utilisés avec des champs continus et alternatifs sinusoïdaux ou bien, moyennant l'emploi de coefficients de conversion, pour des formes d'ondes dérivées du sinusoïdal telles que Pulsé, R2A, TriHexa (Voir § V / Technique de mesure appliqué aux appareils).
- ils ne sont pas capables de faire des mesures pour des formes d'ondes issues de courant découpé par thyristor, ou sur tout autre système générant des champs magnétiques non dérivés de sinusoïde.

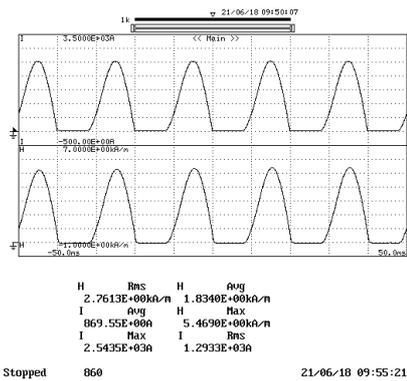
Exemple : magnétisation transversale par passage de courant en R1A sur banc à thyristors



**Hcrête /Hmoy = 5.3**



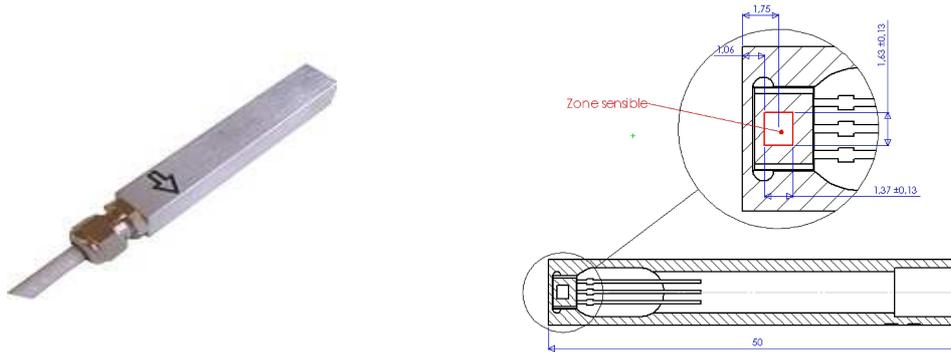
**Hcrête /Hmoy = 3.9**



**Hcrête /Hmoy = 3.0**

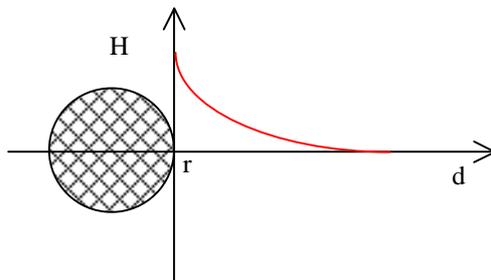
Mesure de champ tangentiel et géométrie du capteur:

Il y a continuité de la composante tangentielle du champ à la surface de la pièce ( $H_t$  interne =  $H_t$  externe), ce qui nous permet de dire que la valeur du champ légèrement interne est égale à la valeur du champ mesurée à la surface (légèrement externe). Cependant, physiquement, la distance de l'élément sensible par rapport à la surface de la pièce et ces dimensions ne peuvent être nuls. Cela aura donc une influence sur la mesure. Dans la plupart des cas, cette influence est négligeable, mais il vaut mieux être conscient de cette limitation pour interpréter correctement certains cas particulier de mesure.



L'exemple concret suivant permet de se rendre compte de ce phénomène :

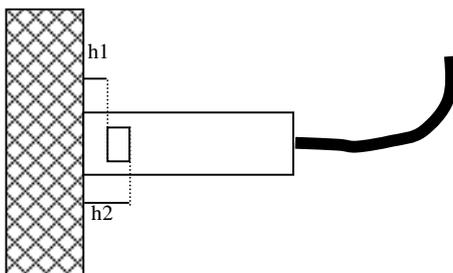
Le champ magnétique à une distance  $d$  du centre d'un barreau traversé par un courant  $I$  vaut :  $H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot d}$



A la surface d'un barreau de rayon  $r$ , le champ vaut donc :

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Ce champ magnétique est mesuré à l'aide d'une sonde dont la distance avec la surface et les dimensions sont non nuls. Cela signifie que le champ magnétique mesuré n'est pas le champ magnétique à la surface, mais la moyenne du champ entre la distance  $h1$  et la distance  $h2$  de cette surface.



$$H_{mes} = \frac{1}{(r+h2)-(r+h1)} \int_{r+h1}^{r+h2} H(x) \cdot dx$$

$$H_{mes} = \frac{1}{h2-h1} \int_{r+h1}^{r+h2} \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot x} \cdot dx$$

$$H_{mes} = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot (h2-h1)} \cdot \ln \left[ \frac{(r+h2)}{(r+h1)} \right]$$

L'erreur de mesure sera donc plus faible sur des grands diamètres

Application numérique pour une sonde de type Analyse (h1=2.43mm / h2=1.06mm)

Barreau		I(A)	H réel (kA/m)	Hmes (kA/m)	erreur
∅(mm)	r(mm)				
10	5	400	12.73	9.47	25%
100	50	4000	12.73	12.30	3.4%

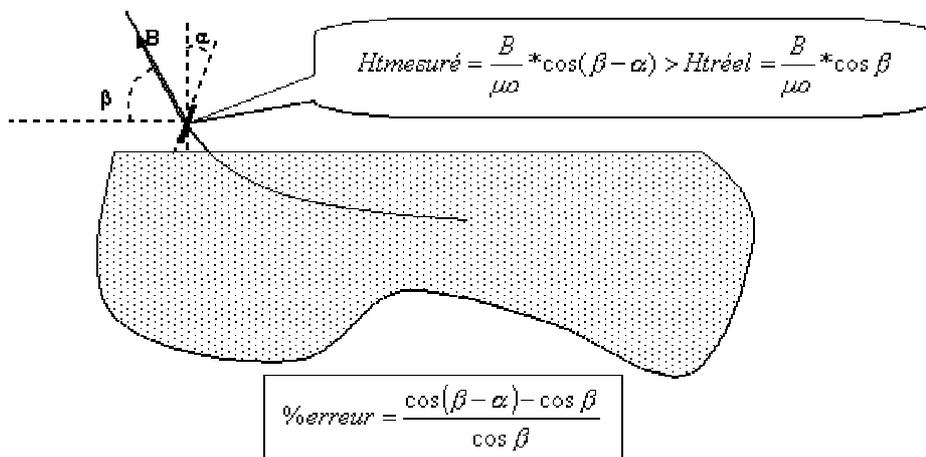
D'autres cas de mesure peuvent conduire à des erreurs, en particulier si les champs mesurés sont perturbés (Non uniforme à la surface de la pièce). Pour un champ magnétisant produit à l'intérieur de la pièce (Passage de courant, tête magnétique), la valeur de la mesure sera plutôt pessimiste alors que pour un champ magnétisant produit à l'extérieur de la pièce (solénoïde, chambre sans contact), la valeur de la mesure sera plutôt optimiste. Une attention particulière sera à apporter dans les cas suivants :

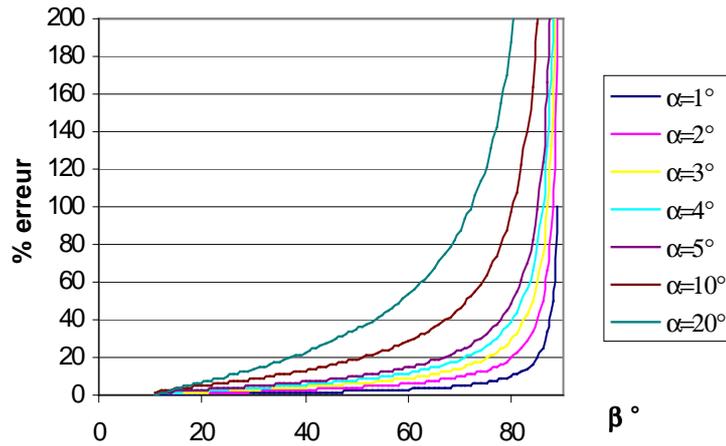
- Mesure de champ sur une pièce de petite dimension en passage de courant.
- Mesure de champ sur une géométrie complexe
- Mesure de champ sur les pôles d'une pièce en chambre sans contact.

#### Mesure de champ tangentiel et inclinaison du capteur

L'inclinaison angulaire de l'élément sensible du capteur par rapport à la surface de la pièce produit, elle aussi, des erreurs de mesure qui peuvent être importantes dans certains cas. En effet, on cherche à mesurer le champ tangentiel à la surface de la pièce en appliquant la relation de continuité du champ tangentiel ( $H_t$  interne =  $H_t$  externe), mais il existe également une relation de passage qui montre que l'induction normale se conserve ( $B_n$  interne =  $B_n$  externe). Or si la direction du champ n'est pas parfaitement tangentielle à la surface de la pièce (flux sortant) et si la surface de l'élément sensible n'est pas placée parfaitement perpendiculairement à la surface de la pièce, celui-ci va prendre en compte une partie du champ normal produit par l'induction sortante de la pièce. De part la nature ferromagnétique de la pièce, une très faible composante normale du champ à l'intérieur de la pièce peut créer une très forte composante à l'extérieur ( $H_n$  externe =  $\mu_r \cdot H_n$  interne avec  $\mu_r \approx 1000$ ).

Dans la pratique, le positionnement de la sonde (à la fabrication et lors des mesures) ne peut être parfaitement perpendiculaire à la surface de mesure ( $\alpha$  est l'angle d'erreur). Dans ce cas, on se rend compte que plus les lignes de champ sortent avec un angle  $\beta$  proche de  $90^\circ$  (près des pôles magnétiques), plus l'erreur commise est importante. Ce type de problème est illustré par la figure et le graphique suivant :

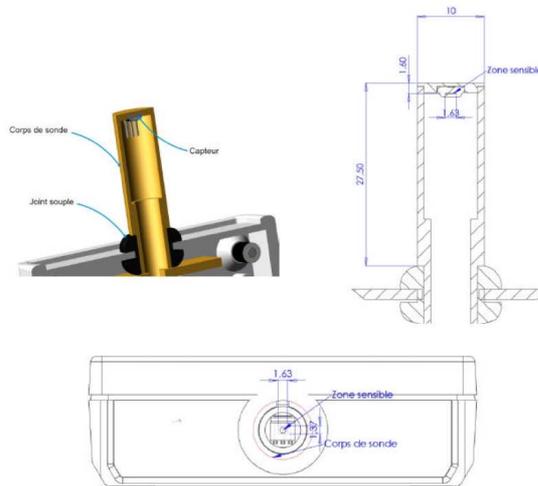




Dans tous les cas, la valeur du champ mesuré est surestimée par rapport à la réalité. Une attention particulière sera à apporter à la mesure en champ tournant où la position des pôles magnétiques varie avec la position du champ tournant, mais le problème peut également se manifester aux extrémités des pièces contrôlées sur des bancs à têtes magnétiques alternatives.

Mesure de l'induction rémanente et géométrie du capteur:

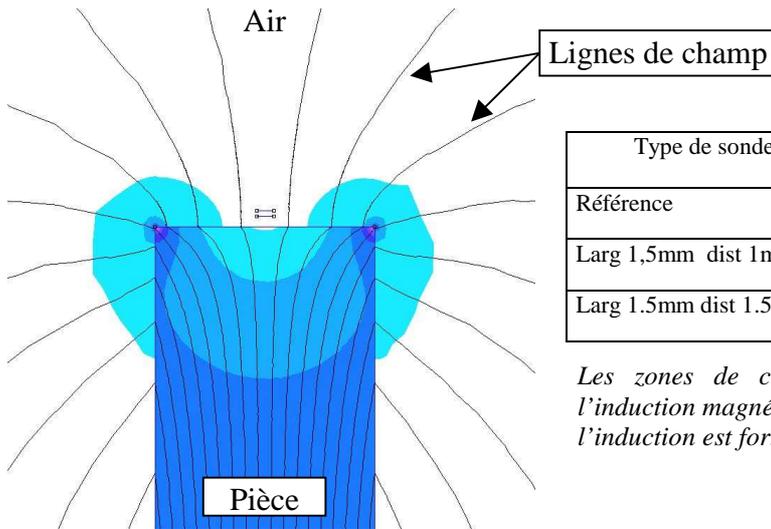
Il y a continuité de la composante normale de l'induction à la surface de la pièce ( $B_n$  interne =  $B_n$  externe), ce qui nous permet de dire que la valeur de l'induction légèrement interne est égale à la valeur de l'induction mesurée à la surface (légèrement externe). Cependant, physiquement, la distance de l'élément sensible par rapport à la surface de la pièce et ses dimensions ne peuvent être nuls. Cela aura donc une influence sur la mesure. Dans la plupart des cas, cette influence est négligeable, mais il vaut mieux être conscient de cette limitation pour interpréter correctement certains cas particulier de mesure.



La simulation suivante permet de se rendre compte de ce phénomène :

Il s'agit de la réponse donnée par un capteur ayant une largeur de surface active de 1.5mm et situé à une distance de 1mm et 1,5mm du point de mesure souhaité. Cette simulation est réalisée pour la mesure sur une pièce plate et une autre pièce pointue. Les résultats sont comparés avec la réponse d'un capteur infiniment petit placé à la surface de la pièce (référence) :

- Pour la surface plate (cas idéal) :

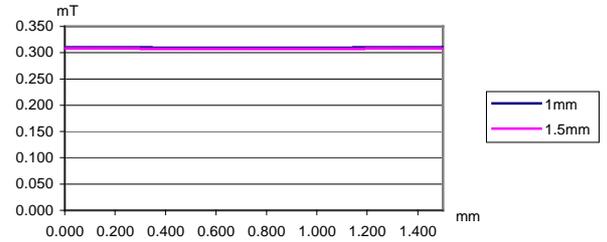


Type de sonde	Mesure (mT)	Mesure (A/m)	Ecart
Référence	0.311	247	
Larg 1,5mm dist 1mm	0.309	246	0.4%
Larg 1.5mm dist 1.5mm	0.308	245	0.8%

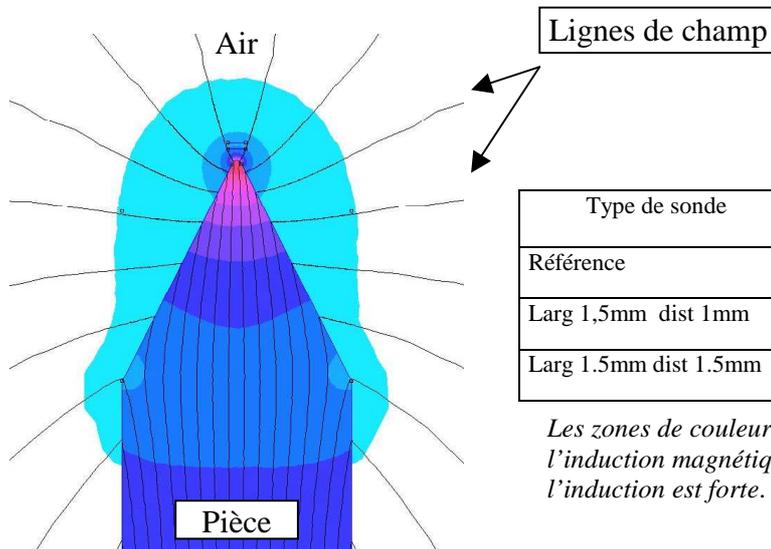
Les zones de couleur représentent l'intensité de l'induction magnétique, plus la couleur est foncée plus l'induction est forte.

Dans ce cas, l'induction magnétique est très homogène sur la largeur du capteur. Les écarts de mesure sont très faibles et fidèles à la référence

Répartition de Br sur largeur capteur - Surface plate



- Pour la surface pointue (cas le pire) :

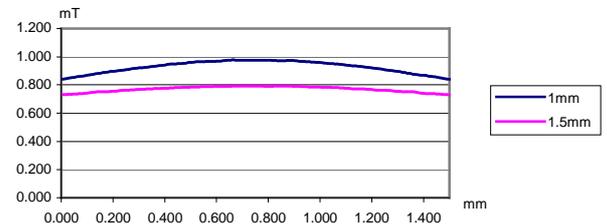


Type de sonde	Mesure (mT)	Mesure (A/m)	Ecart
Référence	2.77	2200	
Larg 1,5mm dist 1mm	0.927	738	300%
Larg 1.5mm dist 1.5mm	0.769	612	360%

Les zones de couleur représentent l'intensité de l'induction magnétique, plus la couleur est foncée plus l'induction est forte.

Dans ce cas, l'induction magnétique n'est pas homogène sur la largeur du capteur. Les écarts de mesure sont important et absolument pas fidèles à la référence. On montre que dans ce cas de figure, notre mesure est très pessimiste

Répartition de Br sur largeur capteur - Surface pointu



L'utilisation d'un mesureur de champ rémanent pour obtenir une valeur de mesure absolue est uniquement valable pour des surfaces planes (champ uniforme). La mesure sur des points anguleux ou sur des pièces de très petite dimension, ne peut apporter qu'une indication comparative entre la rémanence de 2 pièces mesurées avec le même appareil. Pour avoir une mesure absolue de la rémanence, il faudrait un capteur de section infiniment petite placé au contact du point anguleux ! Ce type de capteur n'existe pas et de toute manière, le positionnement de la sonde deviendrait extrêmement délicat pour trouver la rémanence maxi.

Conséquences de ces limitations:

⇒ L'utilisation d'appareils ne permettant pas une mesure de champ dite "efficace vrai" (non TRMS) est sujette à de nombreuses restrictions d'emploi. Il vaut mieux privilégier l'utilisation d'appareil TRMS (MDC3, Analyse...).

⇒ Pour bien maîtriser et comprendre les erreurs en mesure de champ, il est très important de bien maîtriser la position de l'élément sensible dans la sonde. C'est le rôle du fabricant du matériel.

⇒ Bien que la mesure de champ doit théoriquement être réalisée au plus près de la pièce pour s'assurer de sa validité (continuité de  $H_t$  et  $B_n$ ), il semble tout de même plus judicieux de mettre un entrefer de 1mm entre le capteur et la pièce (ce qui est actuellement le cas). Tout d'abord pour des raisons pratiques de protection du capteur, mais également car il apparaît qu'une proximité trop importante de l'élément sensible entraîne des dispersions rapidement non maîtrisables dans le cas d'une mesure réelle ( Induction non constante sur l'ensemble de la surface active). Il faudrait alors assurer des tolérances de positionnement beaucoup plus faibles que celle qu'est capable d'avoir l'opérateur qui réalise la mesure et cela risquerait de conduire à une grande confusion (différence de mesure suivant le sens et entre deux appareils sensés être identiques).

Exemple de mesures réalisées en chambre sans contact avec MDC3 à sonde sans entrefer et MDC3 à sonde standard (entrefer de 1mm):

	Mesure sens 1 (kA/m)	Mesure à 180°/sens1 (kA/m)	écart
Sonde standard	4	3.8	5%
Sonde sans entrefer	5.3	3	75%

⇒ L'usure de la sonde ( entrefer de protection et perpendicularité du boîtier sonde) peut entraîner des erreurs de mesure importantes. Il est nécessaire de vérifier régulièrement l'état de la sonde et de procéder à son remplacement si besoin est.

⇒ La mesure de champ magnétique en chambre de champ tournant sans contact est très délicate et sujette à de nombreuses erreurs dès que le positionnement de la sonde n'est pas assuré très précisément. Pour minimiser ces erreurs l'utilisation d'un gabarit bakélite fixé sur la pièce permettant un positionnement plus précis peut s'avérer intéressante.