

Journées du Réseau de Magnétométrie

Utilisation de capteurs de champ magnétique miniaturisés GMR
pour la mesure sur banc d'essai propulsif et détection par
champ de fuite de défauts sur structure acier pour le nucléaire

Arnaud PELLETIER – CMPHY
19-20 Mai 2025

CMPhy - 26 rue Paul Sabatier – 71530 – CRISSEY
www.cmphy.fr - contact@cmphy.fr – 03 85 47 47 20



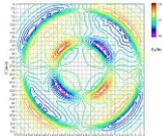
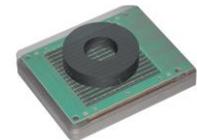
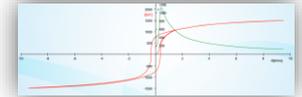
Présentation de la société



Proche Chalon S/Saône (71)

CMPHY est une société Française spécialisée dans la **Mesures Physiques** et la **Caractérisation des matériaux & produits finis pour l'industrie.**

- ❧ Développement de système CND par méthodes Electromagnétiques, Ultrasonores : capteurs, électroniques et logiciels,
- ❧ Caractérisations des propriétés Electriques, Magnétiques et Structurelles de matériaux,
- ❧ Problématiques Industrielles liées aux magnétismes : aimantation, démagnétisation, mesures de champ magnétique

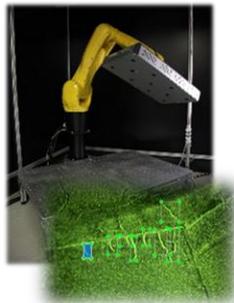




Nos Moyens / Compétences → 3 pôles d'activités

Pôle Bureau d'études & Fabrication d'équipements

- Conception et réalisation d'équipements de mesures et de Contrôles Non Destructif
- Equipements d'aimantation, systèmes de démagnétisation
- Mesureurs et cartographie de champs magnétiques



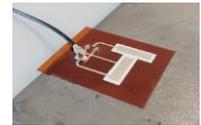
Pôle Laboratoire d'essais et de mesures

- Caractérisation des matériaux par méthodes électromagnétiques & ultrasonores
- Bancs d'étalonnage pour appareils CND, mesureur de champ magnétique
- Bancs d'essais pour Magnétisation / Démagnétisation



Pôle Recherche et Développement

- Plateforme de mesures par méthodes Ultrasonores 10kHz à 15MHz - EMAT
- Source de courants (0-5000A) et de champs magnétiques (1mT à 3T)
- Fabrication de micro capteurs par Impression, micro électronique
- Développement d'électronique et logiciels de traitements des signaux associés à nos capteurs de mesures Electromagnétiques





Contexte des développements et besoins

Deux problématiques distinctes d'utilisation de GMR

☞ Mesure de champ magnétique basse fréquence ($< 500\text{Hz}$) avec capteurs GMR sur bancs de Tests



☞ Mesure de signature magnétique (champ de fuite, déformation lignes de champ magnétique) en surface ou proche surface d'une structure métallique



Mesure sur banc d'essai propulsif

Mesure champ magnétique Plasma



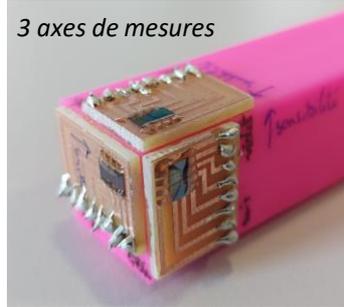
1 axe



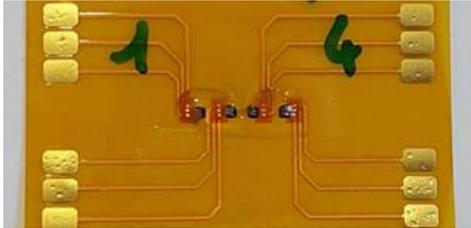
GMR à façon

iramis

3 axes de mesures



Réseau capteurs sur substrat flexible



Mesure de champ magnétique en cours de Tir :

- ❖ Problématique de taille des capteurs : logement, capteur entre couches
- ❖ Orientation de la mesure pour « capter » un phénomène
- ❖ Gamme de mesures spécifiques

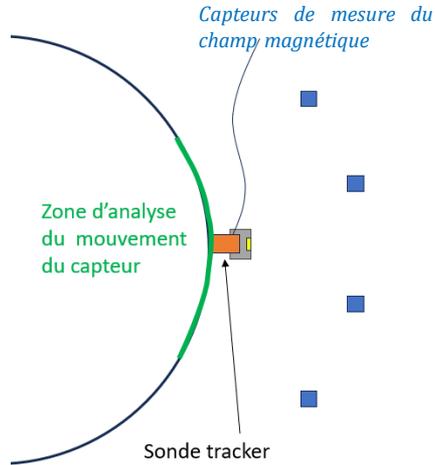
Champ magnétique de la combustion : les ions en mouvement induisent un champ magnétique

- Instabilités de combustion peuvent se traduire par des variations de champ magnétique
- Changement de profil de champ magnétique interne au fil du temps pourrait indiquer :
 - ❖ Une érosion prématurée/anormale de la tuyère
 - ❖ Un changement de la géométrie interne du canal de combustion
 - ❖ Un décollement de la protection thermique

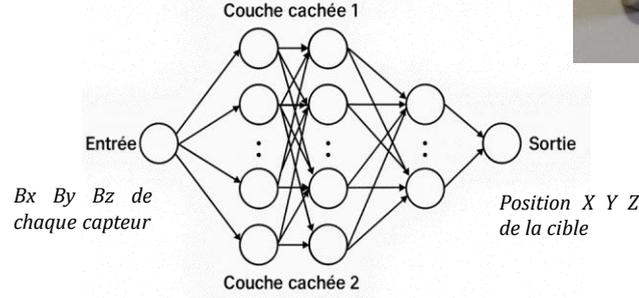


Mesure sur banc d'essai propulsif

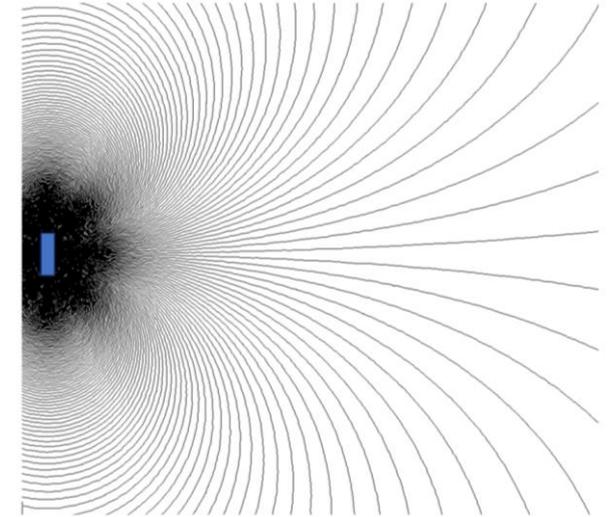
Positionnement de cible magnétique dans l'espace



Réseaux Multi-Layers Perceptron (MLP)



- Utilisation de réseau de neurones prenant en compte :
- Epanouissement lignes de champs magnétiques → Equations B_x B_y B_z associées
 - Impact de l'environnement : déformation lignes de champs magnétiques + composantes basse fréquence s'associant au champ de l'aimant



Environnement complexe:

- Cible aimant
- Equipement électrique
- Pièces métalliques

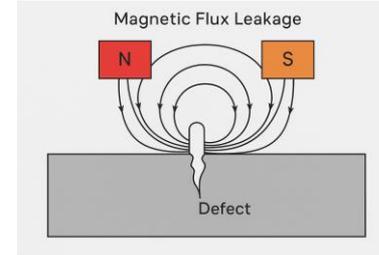
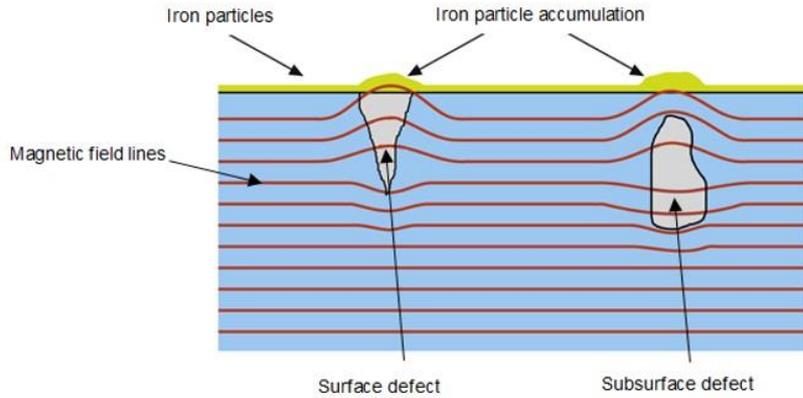


Composé de plusieurs couches de neurones entièrement connectées
Chaque neurone réalise une opération : somme pondérée des entrées + biais, puis passe à travers une fonction d'activation
L'information circule de l'entrée vers la sortie sans rétroaction
Mesure l'écart (fonction de perte) → corrige & réentraîne le modèle



Détection par champ de fuite de défauts sur structure acier

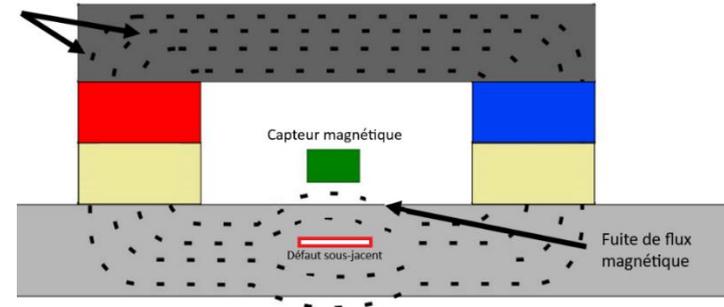
Magnétoscopie : Méthode Actuelle pour détection défauts surface ou proche surface sur acier ferromagnétique



Déplacement de la sonde en surface de la pièce contrôlée



Champ magnétique



- ➔ *Conserve le principe de la magnétoscopie*
- ➔ *Méthode propre Numérisable et Automatisable*
- ➔ *Permet de détecter des défauts sous jacents (1 à 2mm) Plus facilement que la magnétoscopie*



- ➔ *Utilisation de produits chimiques*
- ➔ *Inspection finale visuelle sans traçabilité réelle / défaut disparaît après contrôle et phase de nettoyage*

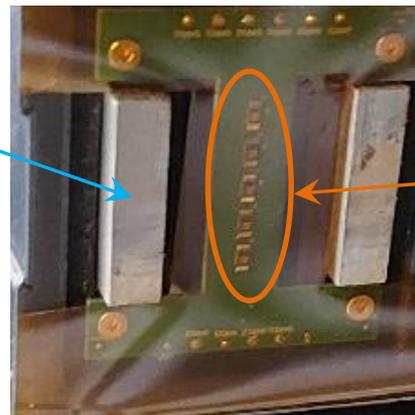


Détection par champ de fuite de défauts sur structure acier

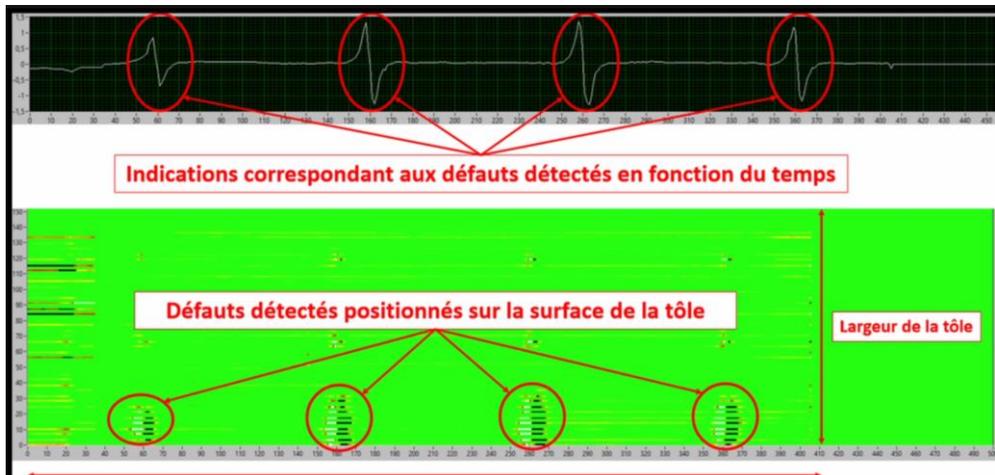
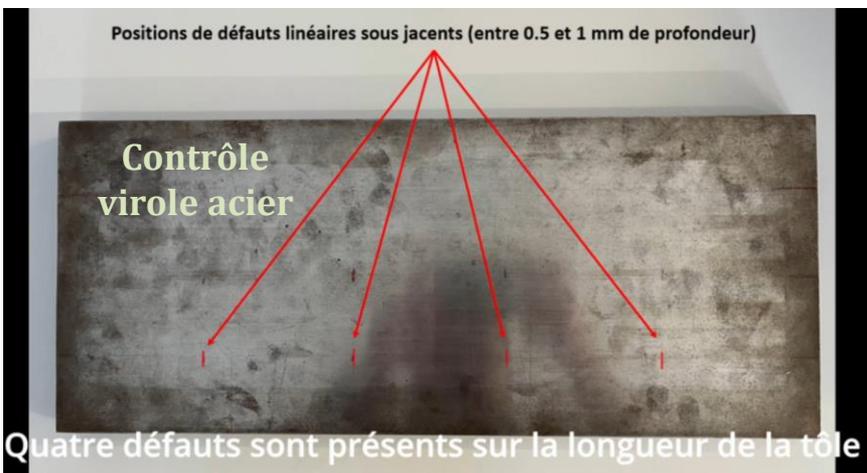


Sonde mécanisée

Pôle inducteur



Réseau de capteurs GMR
4 GMR par puce



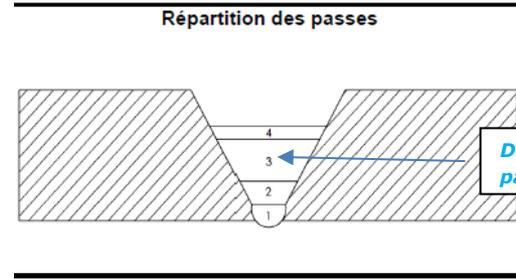
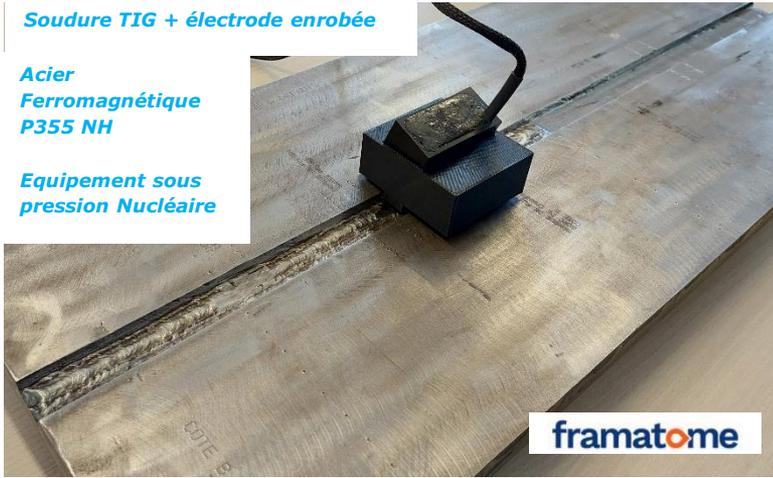


Contrôle de défaut sous jacents sur cordon de soudure (fin de soudure)

Soudure TIG + électrode enrobée

Acier
Ferromagnétique
P355 NH

Équipement sous
pression Nucléaire



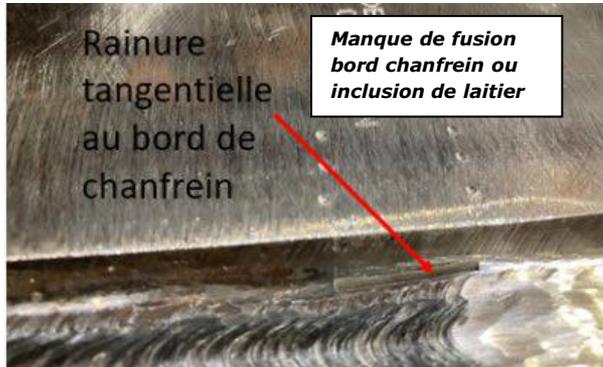
Séquence 1 : passe de racine. (≈2.5mm)

Séquence 2 : 2 couches TIG. (≈4mm)

Séquence 3 : 2 couches électrode enrobées avant usinage de défauts volontaires. (≈ 6.5mm)

Séquence 4 : dépôt après usinage des défauts volontaires (1 couche ≈2.5mm)

Défaut sous jacent profondeur par rapport à la surface 2,5mm

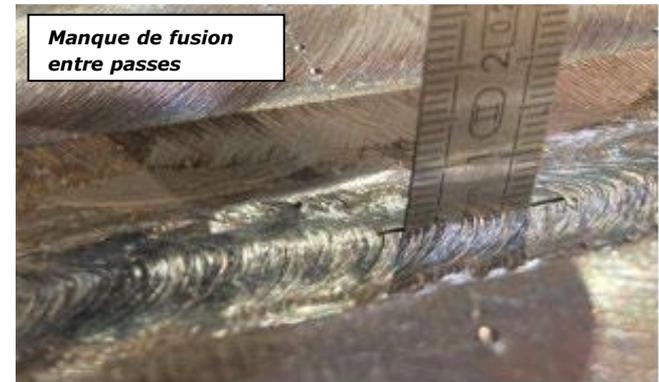


Rainure tangentielle au bord de chanfrein

Manque de fusion bord chanfrein ou inclusion de laitier



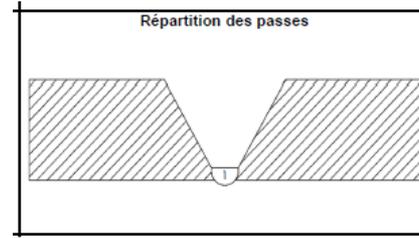
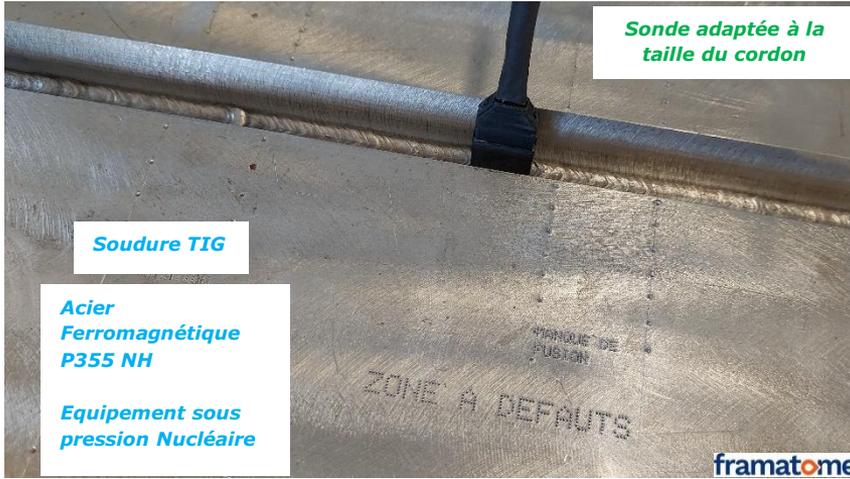
Inclusion de laitier dans micro-meulage



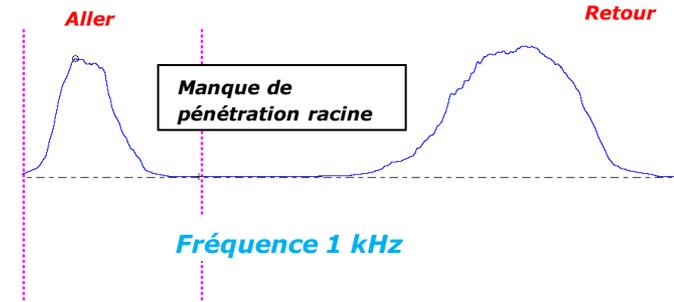
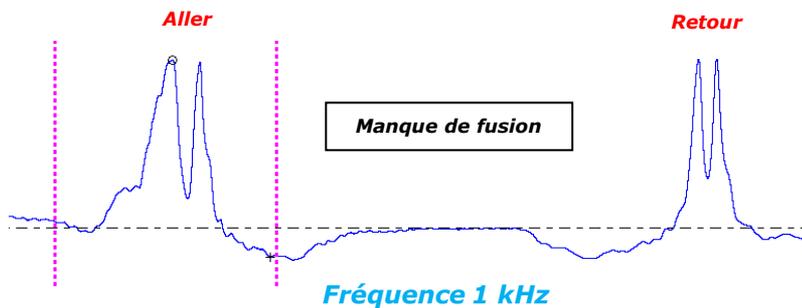
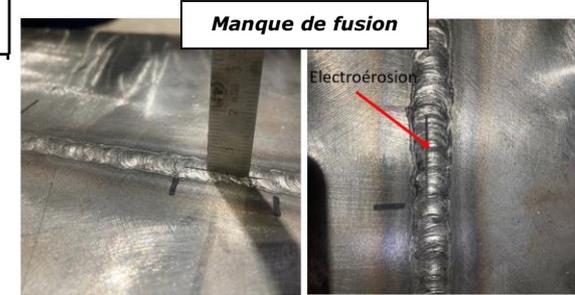
Manque de fusion entre passes



Contrôle de défaut sous jacents sur cordon de soudure (racine)



Défauts réalisés face inférieure de la pièce

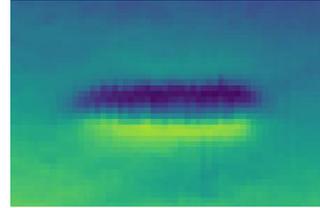




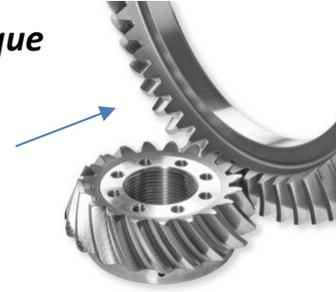
Détection locale de variation micro structurelle



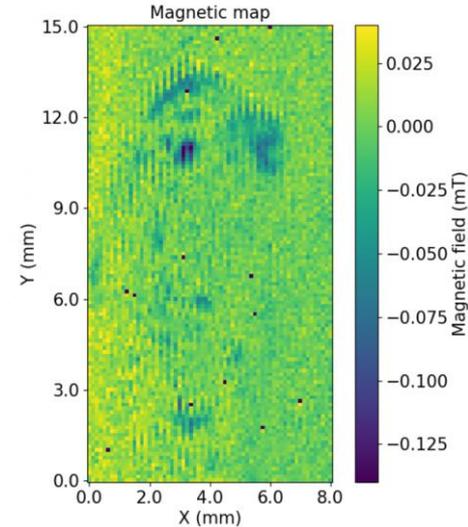
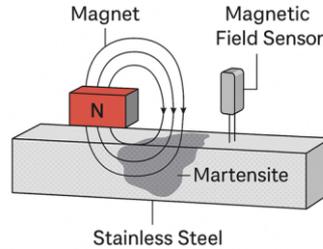
Brûlures de rectification mécanique



Bruit Barkhausen



Traces martensitiques dans des aciers austénitiques



→ Signature magnétique locale détectable

Mesure perméabilité relative ou variations locales de champ

- SCAN pour cartographie de surface via une sonde
- Avec ou sans magnétisation préalable locale ou globale



Merci de votre Attention



contact@cmphy.fr / 03 85 47 47 20