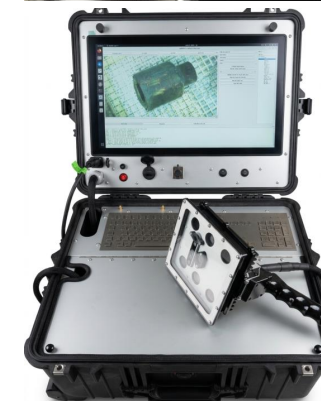
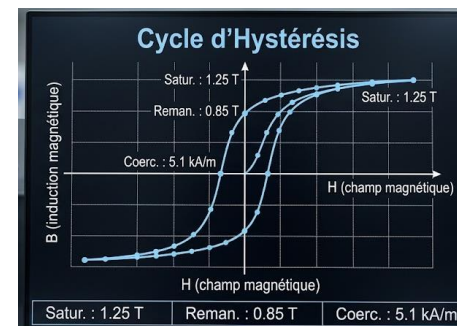


- ❧ Développement de système CND par méthodes Electromagnétiques : capteurs, électroniques et logiciels,
- ❧ Caractérisations des propriétés Electriques, Magnétiques et Structurales de matériaux,
- ❧ Problématiques Industrielles liées aux magnétismes : aimantation, démagnétisation, mesures de champ magnétique
- ❧ Outils d'aide au diagnostic par Intelligence artificielle pour le CND, la mesure et l'analyse, suivi santé matière de matériaux



CMPhy – 32 allée Maria Chambefort
71530 – VIREY LE GRAND
www.cmphy.fr - contact@cmphy.fr – 03 85 47 47 20

Arnaud PELLETIER – Dirigeant CMPHY
03.85.47.47.21 / 06.74.97.26.33
arnaud.pelletier@cmphy.fr





Nos Moyens / Compétences → 3 pôles d'activités

Pôle Bureau d'études & Fabrication d'équipements

- ❧ Magnétoscopie avancée : tête d'aimantation, magnétoscopie basse fréquence
- ❧ Systèmes IA CND : Système et logiciel de vision PARADES (magnétoscopie, ressuage, RT VT)
- ❧ Capteurs/Sondes : Courant de Foucault spécifiques - sondes détection pour défauts sous-jacents (jusqu'à 10 mm)
- ❧ Sonde mesure de champ magnétique
- ❧ Matériels CND standards : magnétoscopie / mesureurs / Ultrason EMAT / Eclairage UV



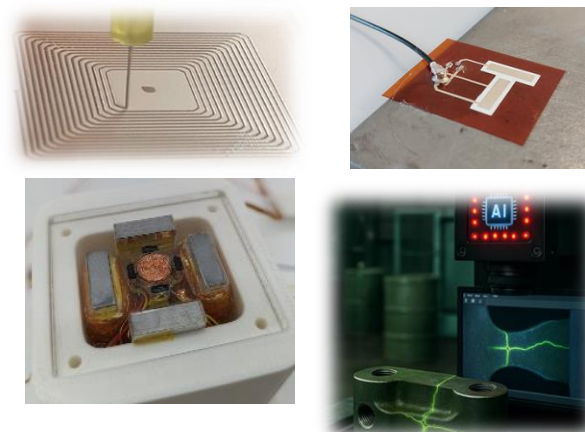
Pôle Laboratoire d'essais et de mesures

- ❧ 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

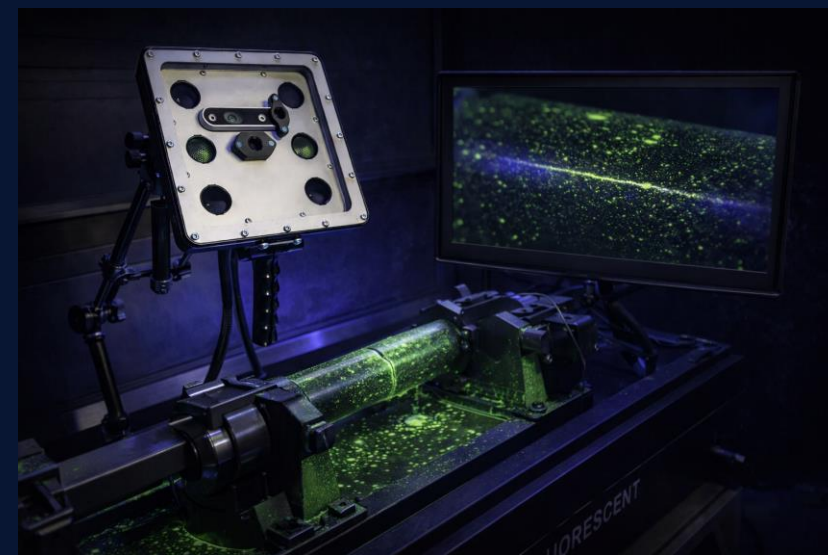
- ❧ Méthode Electromagnétiques – système OCEA : champ de fuite, bruit Barkhausen, perméabilité incrémentale, CF guidées BF
- ❧ Robotisation et automatisation, outils logiciels spécifiques
- ❧ Fabrication de micro capteurs Ultrason, Courants de Foucault, Magnétique par Impression, micro électronique
- ❧ Système et logiciel mesures et contrôle avec Intelligence Artificielle



PARADES

Système de vision intelligent pour Magnétoscopie & Ressuage
Qualification instrumentale, Intelligence Artificielle et Mesure Dimensionnelle 3D

Détecter, mesurer, historiser — automatiquement



Le constat

Magnétoscopie et ressuage : des méthodes éprouvées, des contraintes opérateurs persistantes

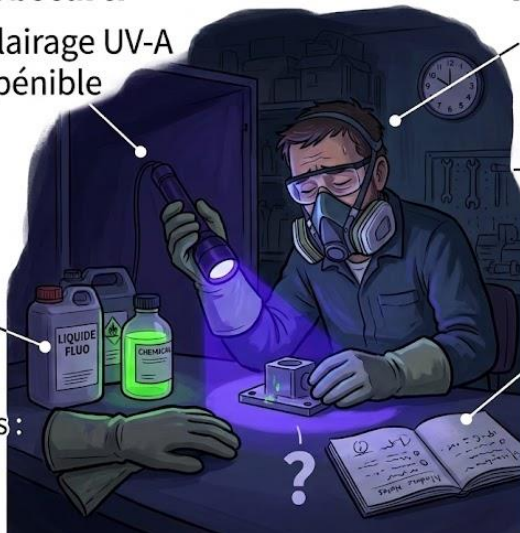
Les contraintes du contrôle visuel manuel

Environnement obscurci

Inspection sous éclairage UV-A en cabine fermée, pénible et fatigante.

Exposition aux produits chimiques

Liquides fluo-fluorescents, produits magnétiques : risque sanitaire.



Fatigue visuelle et charge cognitive

La vigilance baisse au fil de la journée — risque de défauts manqués.

Subjectivité du jugement

Variabilité opérateur, difficulté de reproductibilité d'un contrôle à l'autre.

Les enjeux industriels

Traçabilité numérique

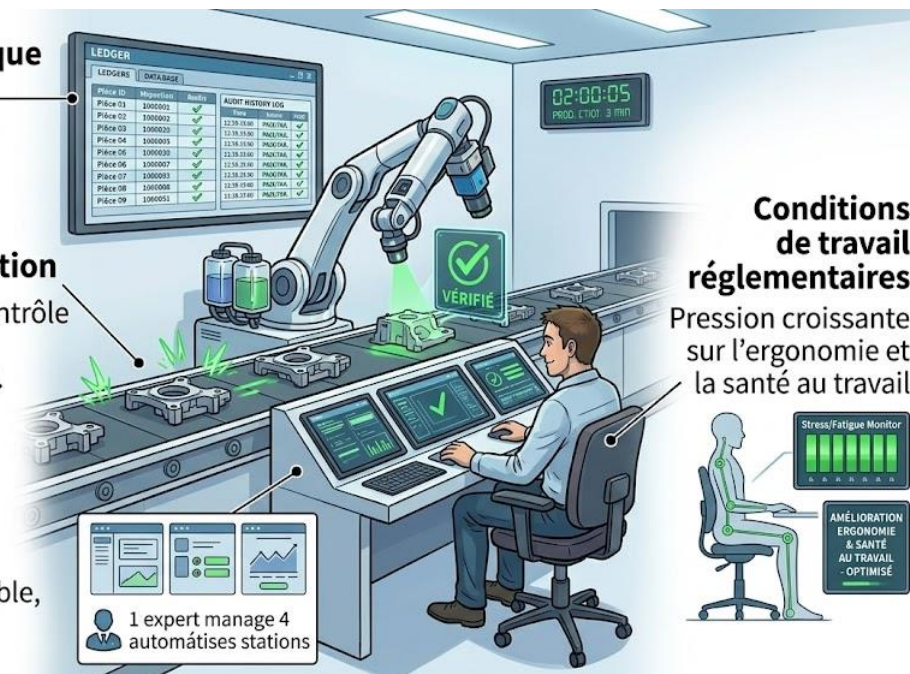
Exigences accrues d'historisation et d'audit qualité.

Cadence de production

Besoin d'intégrer le contrôle dans la ligne sans goulot d'étranglement.

Pénurie de contrôleurs certifiés

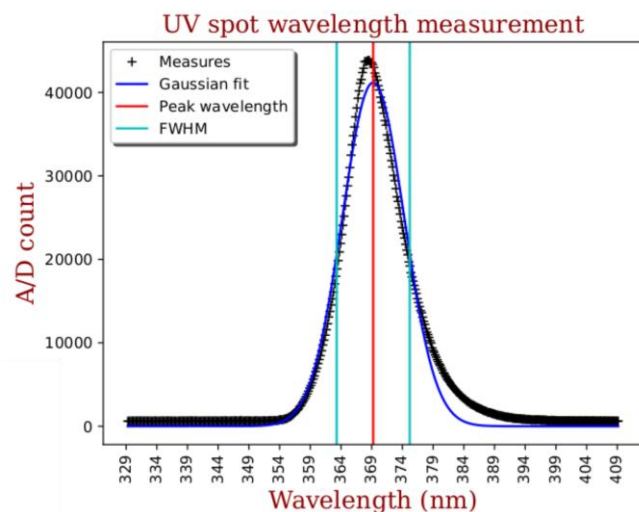
Démographie défavorable, formation longue, recrutement difficile.



L'automatisation assistée par vision et IA répond simultanément à tous ces enjeux

PARADES est une solution industrielle qui combine

- un éclairage UV-A qualifié et répond norme stricte aéronautique ASTM E3022



- une caméra haute definition > 100Mps,
- un capteur 3D intégré
- un calculateur embarqué exécutant en local des modèles d'intelligence artificielle.

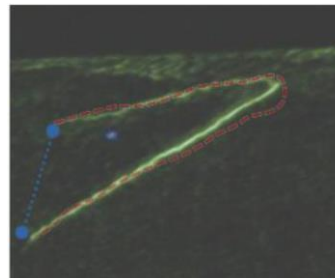
➔ Le tout dans un équipement robuste, industriel, régulé en température pour fonctionner 7j/7j

Détection automatique IA

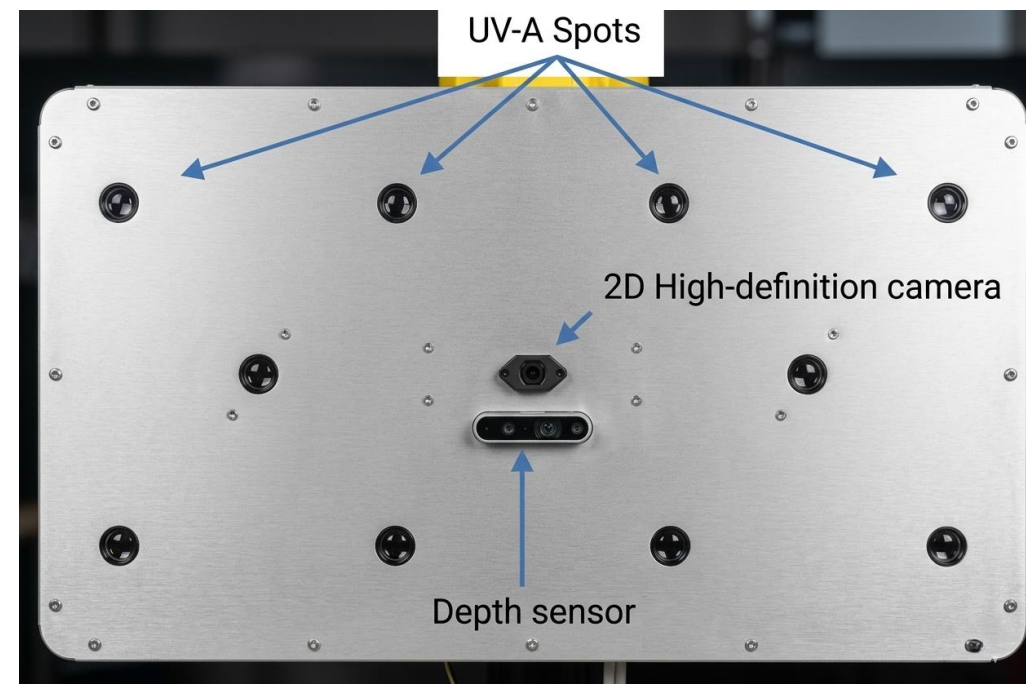
Réseau Faster R-CNN entraîné sur jeu de données industriel, performance qualifiée.

Mesure dimensionnelle 3D

Longueur en mm sur surfaces complexes, indépendante de la distance pièce/caméra.

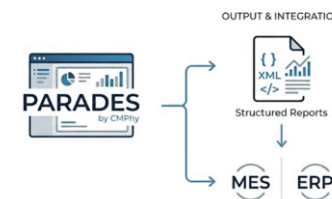


- Defect length measure (bird's eye)
- Defect length measure (path)
- Defect



HISTORISER

Acquisitions et rapports historisés au format structuré (compatible MES/ERP).



Pilotage par API

Intégration en ligne via robot ou superviseur,

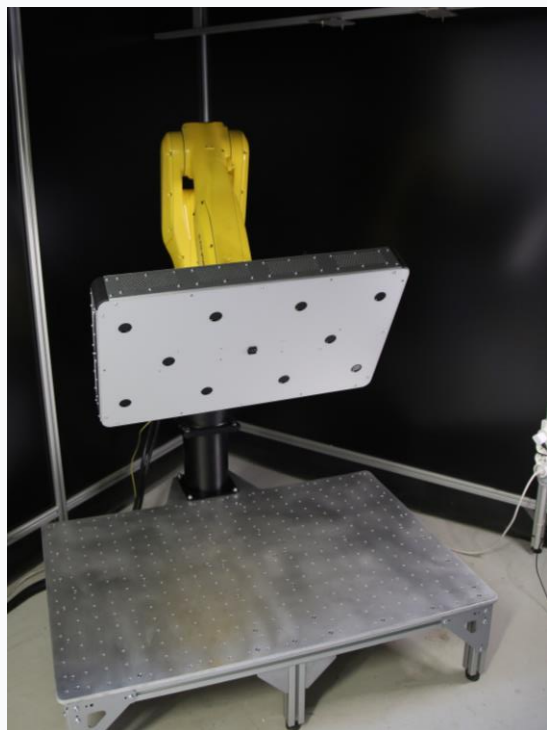


➔ **PARADES autonome**

Deux formats, un même cœur technologique

Maxi pour les lignes de production, Mini pour les contrôles ponctuels et terrain

PARADES Maxi



Tête de vision tout-intégrée

Alimentation, calculateur, éclairage UV 365nm et caméras dans un boîtier unique.

Grande surface d'inspection

600 × 400 mm en une vue, jusqu'à 800 × 1200 mm en 4 prises.

Automatisation par robot via API

Idéal pour intégration en ligne de production
CND : banc, machine champ tournant

→ *Conçu spécifiquement pour contrôler de grande surface rapidement ou un lot de pièces positionnées sur palette*

Pièces en série, grandes surfaces planes

PARADES Mini



Tête de vision déportée

Tête avec éclairage UV 365nm/caméras + boîtier électronique séparés pour grande maniabilité avec calculateur, écran et clavier

Format compact

Surface 300 × 400 mm — pièces de petite et moyenne taille / **IP54** = protection contre la poussière + éclaboussures d'eau

Contrôles ponctuels et terrain

Adapté aux interventions en zone d'accès restreint.



Contrôle terrain, zones difficiles d'accès, transportable, robuste, maniable

Éclairage UV-A qualifié

Conformité aux exigences aéronautiques les plus strictes — ASTM E3022, ISO 3059

369 nm

Pic spectral

Cible 365–370 nm

11 nm

FWHM

< 20 nm requis

> 1500

$\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Sur 600 × 400 mm

1. Caractérisation spectrale

Spectromètre calibré Hamamatsu (rés. 1 nm)

2. Caractérisation angulaire LEDs

Banc dédié, radiomètre Pfinder UVLuxCHECK

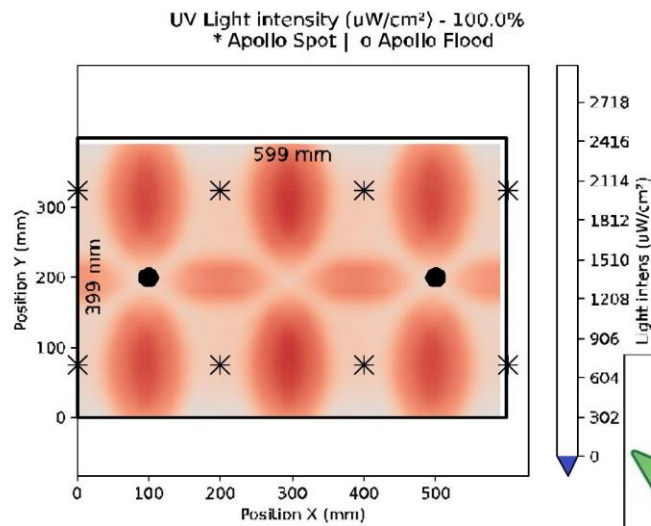
3. Simulation propriétaire

Optimisation automatique du placement LEDs

4. Validation expérimentale

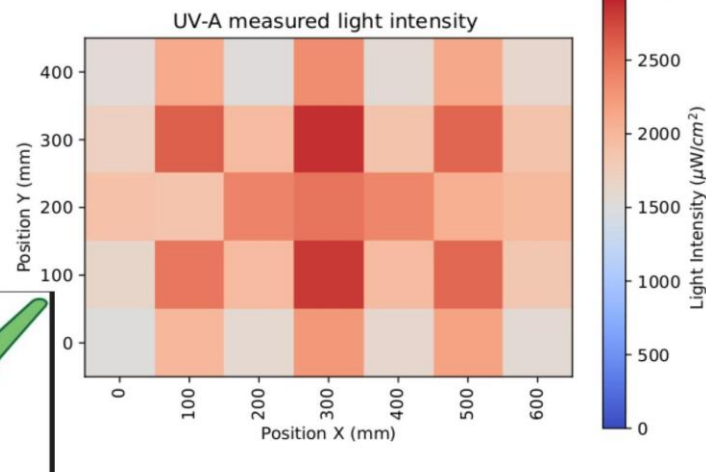
Mesure sur grille 600 × 400 mm

Irradiance simulée



Irradiance mesurée (Pfinder UVLuxCHECK)

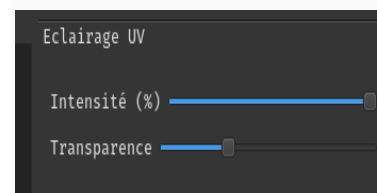
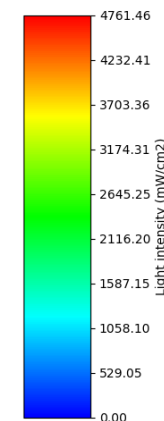
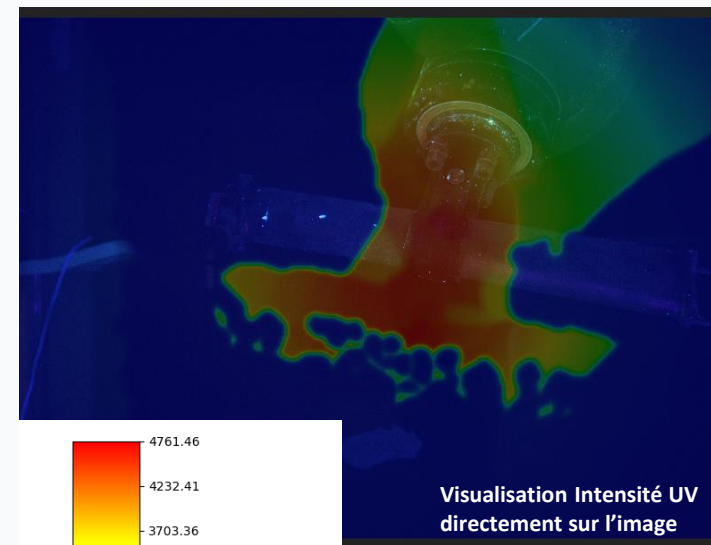
Surface > 1500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$



Qualification spatiale par simulation et mesure

Méthodologie de qualification

➔ Logiciel de simulation d'éclairages UV intégré au logiciel, établi sur la base de données de mesures pratiques et certifiées



Performances qualifiées – Exemple module IA Magnétoscopie

Évaluation sur jeu de test indépendant — données jamais vues à l'apprentissage

91 %

Probabilité de détection

Sur 100 défauts présents, 91 sont détectés

0,42

Faux positifs par image

≈ 1 fausse alerte toutes les 2-3 images

0,92

mAP

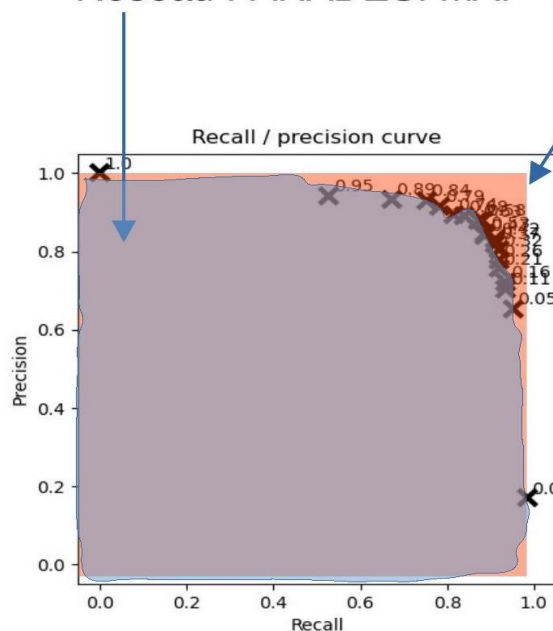
Sur 1,00 — proche de la performance idéale

< 1 mm

Erreur mesure 3D (MAE)

Sur étalons 20 / 30 / 50 / 60 mm

Réseau PARADES: mAP=0,92*



Réseau parfait
(mAP=1)

PoD vs mAP

Le PoD (Probability of Detection) est la performance à un réglage donné. Le mAP (mean Average Precision) mesure la qualité globale du modèle, tous réglages confondus.

Réglage privilégiant la sensibilité

Mieux vaut une fausse alerte ponctuelle (supprimée en un clic) qu'un défaut manqué.

Mode assistif

La décision finale revient toujours au contrôleur certifié COFREND.

Une fausse alerte se supprime en un clic — sans conséquence sur la qualité du contrôle.

Un défaut manqué serait, lui, beaucoup plus pénalisant. Le réglage privilégie volontairement la sensibilité.

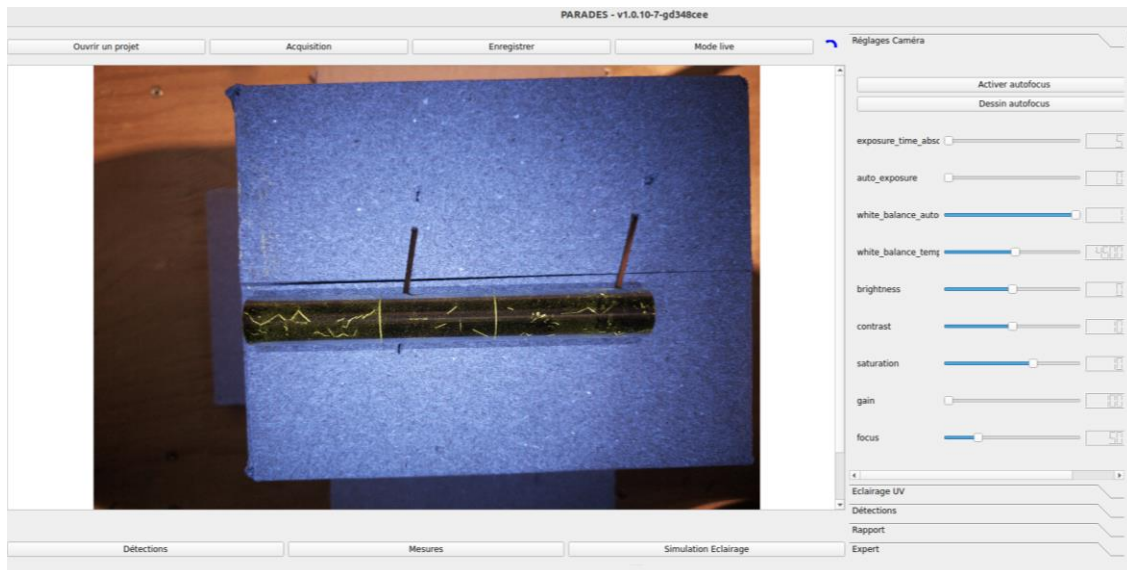
Mesure dimensionnelle 3D

Longueur réelle en millimètres, indépendamment de la géométrie de la pièce

1

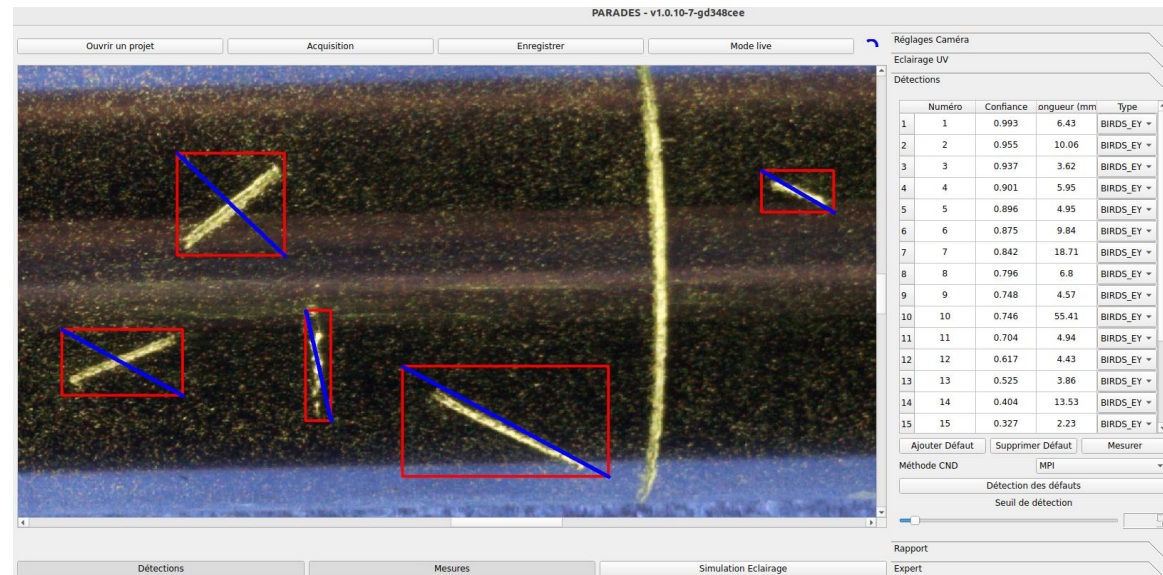
Tracé opérateur 2D

Le contrôleur trace l'indication sur l'image acquise, en quelques clics.

**2**

Reconstruction 3D

Chaque point du tracé est remplacé dans l'espace réel grâce au capteur de profondeur.

**3**

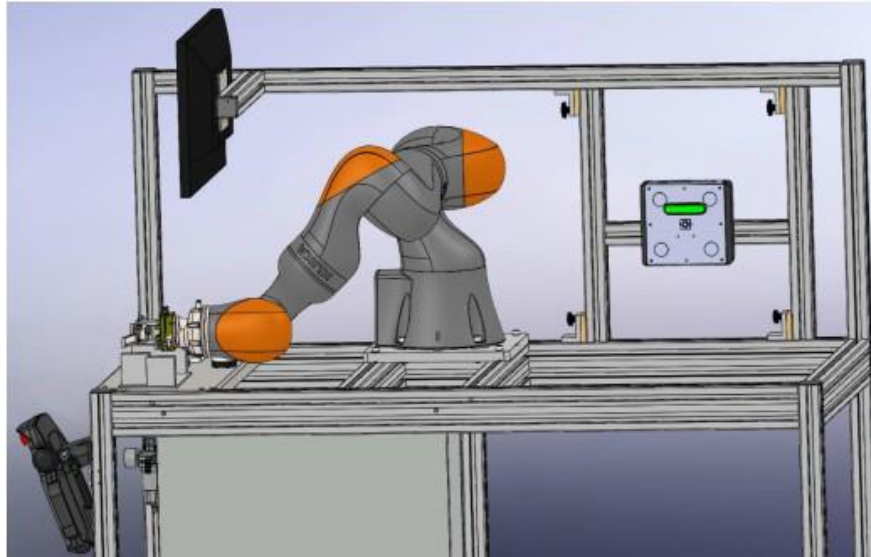
Mesure euclidienne

La longueur est calculée dans le repère réel — pas dans l'image — en millimètres.

Qualification métrologique / PV de contrôle du système avec vérification annuelle

Étalon	20 mm	30 mm	50 mm	60 mm	Erreur globale
MAE (erreur absolue moyenne)	< 1 mm	< 1 mm	< 1 mm	< 1 mm	< 1 mm
Erreur relative	0 – 6 %	0 – 5 %	0 – 3 %	0 – 2 %	≤ 6 %

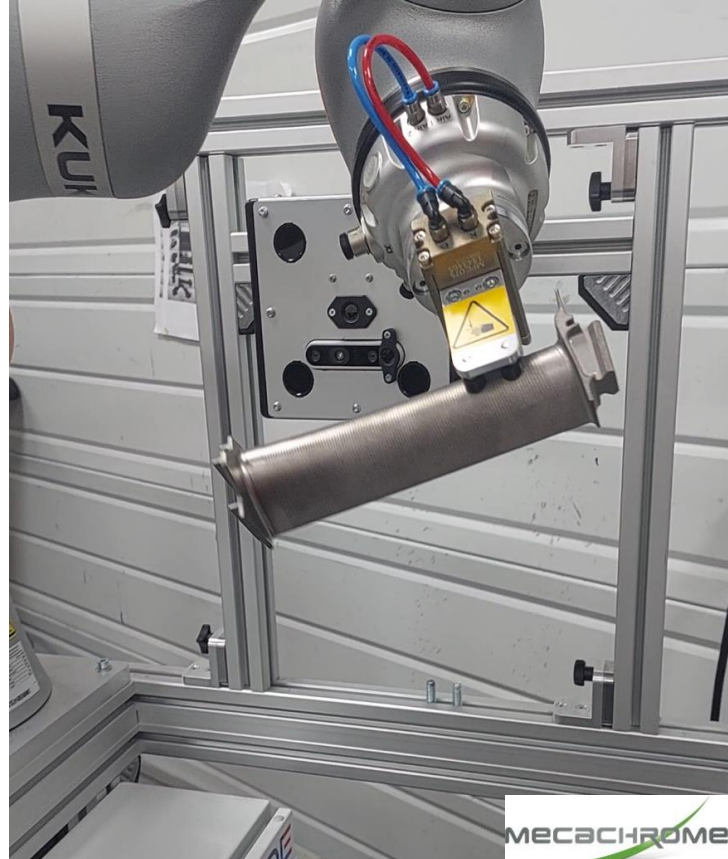
Cahier des charges atteint : MAE visée < 1 mm sur surfaces courbes — conforme aux exigences industrielles



*Pièces en mouvement devant le système
Système de vision PARADES est fixe*



➔ Pièces à haute exigence qualité,
série, certification aéronautique



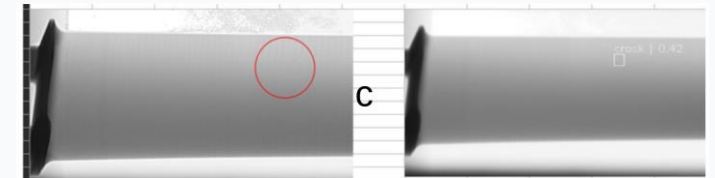
Performances en conditions réelles

Ressuage

PoD : 79 % — en progression continue

Radiographie numérique

PoD : 90 % • Faux positifs : 0,27 / image



Intégration

Pilotage par robot collaboratif via API

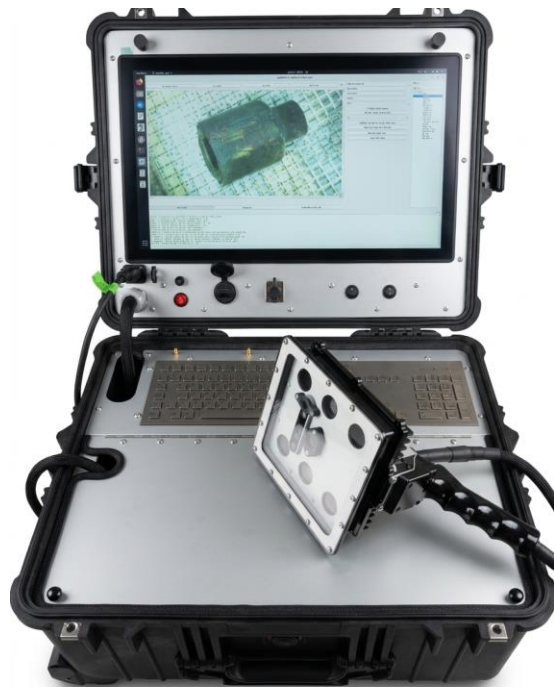
Bénéfice industriel

Cycle automatisé, traçabilité native,
opérateur valorisé sur les cas litigieux

*Aubes de turbine moteur — intégration sur
poste robotisé*

Cas d'application — Hydraulique

Magnétoscopie sur pièces de grandes dimensions, en environnement atypique



Intervention sous turbine, environnement humide et exigu

Adaptations dédiées

Indice IP54 — protection contre la poussière et les projections d'eau

Support mécanique répétable — positionnement reproductible sur zones d'accès difficile

Version « tout terrain » — système monté sur véhicule 4x4 pour interventions sur site

Qualification fonctionnelle

Cible de détection

Indications longueur 6 mm • profondeur 1,5 mm

Cadre normatif

Démarche conforme au fascicule européen [CEN/TR 14748](#)

Méthodologie reconnue pour qualifier formellement une méthode CND

Bénéfice industriel

Contrôle en zone confortable, mesures objectives et historisées



AXE 1

DETECTION EXPERIMENTEE

Modules dédiés par méthode

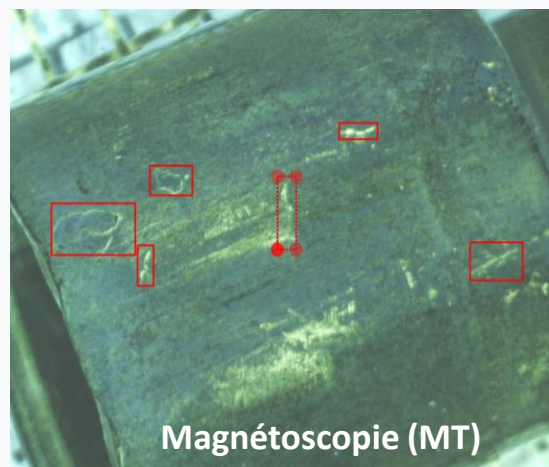
Ressuage (PT) — Magnétoscopie (MT) — Radiographie numérique (RT) — Contrôle Visuel (VT)

Modèle IA pré-entraîné

Socle « prêt à l'emploi » dès la mise en service, panel de pièces représentatif.

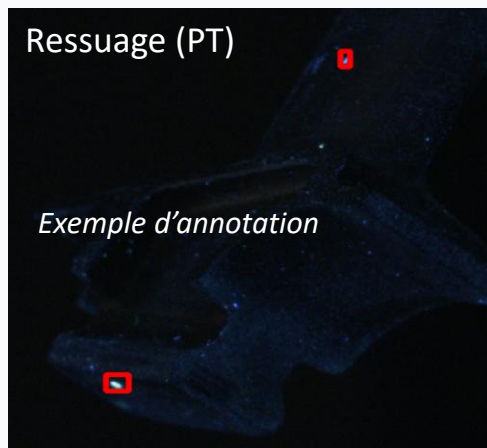
Spécialisation par l'industriel

L'utilisateur annote ses propres clichés et déclenche un ré-entraînement sur ses pièces. Le détecteur devient de plus en plus performant au fil de l'usage, tout en restant la propriété du client.

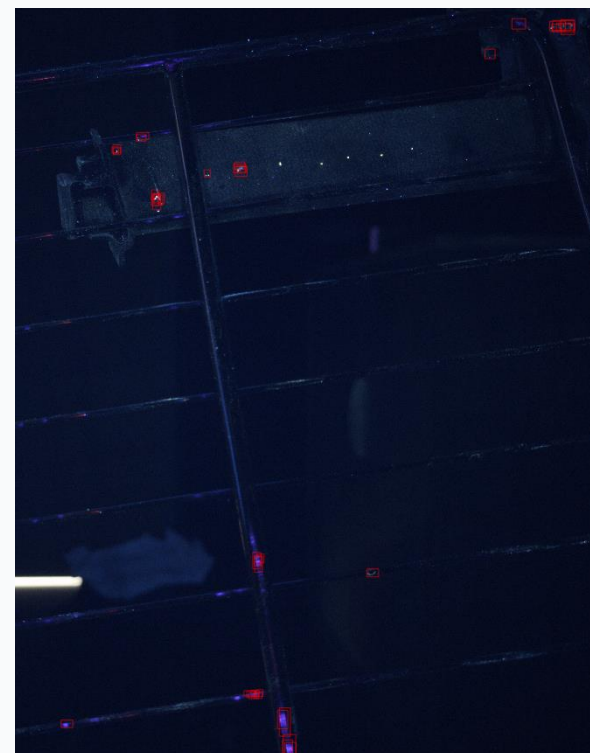


Ressuage (PT)

Exemple d'annotation

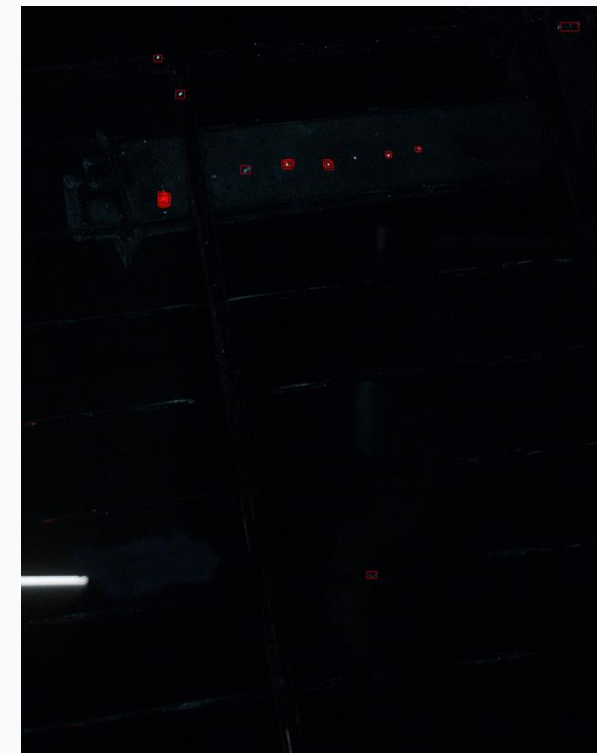


VISION AUGMENTEE



Sans filtre UV

Reflats + défauts non détectés car capteur saturé en lumière UV



Avec Filtre UV

Pas de reflet, pas de saturation capteur, meilleur détection

AXE 2 ROBOTISATION AUTONOME & NEXT BEST VIEW

Robot 6 axes

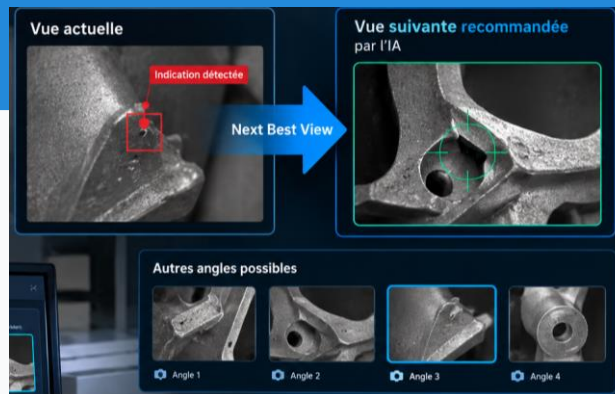
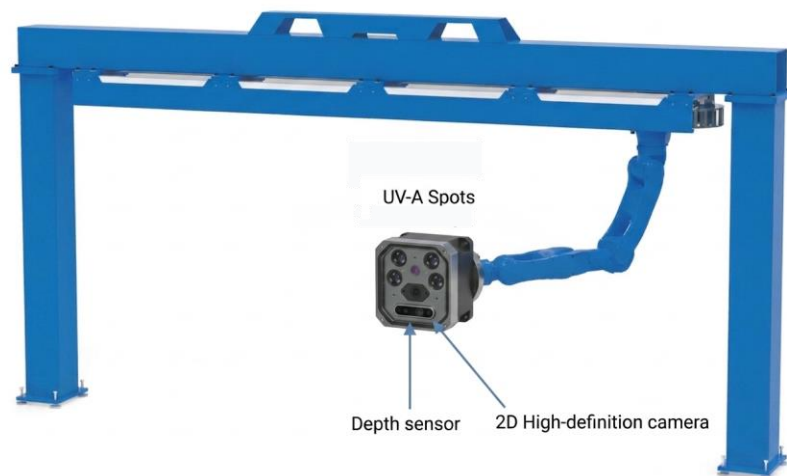
Mobilité étendue — accessibilité aux géométries complexes.

Stratégie next best view

À partir d'une pièce inconnue, le système décide lui-même des meilleures prises de vue : éclairage, distance, angle, accessibilité.

Pièces de grandes dimensions

Jusqu'à 4–5 m sur rail ou base mobile. Stratégie en 2 passes : balayage rapide, puis investigation locale fine sur les zones suspectes.



1 ACQUÉRIR

Vue courante

Le robot 6 axes prend une image avec sa configuration actuelle (position, angle, distance).



2 ANALYSER

Compréhension de la scène

PARADES reconstruit la géométrie locale (capteur 3D), évalue la qualité de la vue, repère les indications éventuelles.

3 ÉVALUER

Score de chaque vue candidate

Le système simule plusieurs prises de vue alternatives et calcule un score selon les critères CND.

4 DÉCIDER

Meilleure vue suivante

Le robot se repositionne automatiquement vers la vue qui maximise le score — et la boucle reprend.

PARADES
+ Robot 6 axes
+ pièce inconnue

Les critères évalués pour chaque vue candidate

Exactement ceux qu'un contrôleur certifié appliquerait — encodés dans l'algorithme

INTENSITÉ UV-A ≥ 1500 μW/cm²

Validée sur la zone visée (simulation 3D)

DISTANCE Plage utile

Caméra à la bonne distance — ni trop près, ni trop loin

ANGLE DE VUE Quasi-normal

Limite reflets et indications perdues en biais

ACCESSIBILITÉ Trajectoire libre

Vérifie congés, zones d'ombre, collisions robot

RECOUVREMENT Zones non vues

Priorise surfaces non couvertes par la caméra

OCEA



Outils de Caractérisation Electromagnétique pour Aciers

Sonde multi-modale et IA pour l'évaluation non destructive de l'acier

Pourquoi OCEA ?

Anticiper la dégradation, plutôt que constater le défaut

L'ENJEU

La microstructure de surface contient les signes précurseurs des futures défaillances

C'est là que se lisent les variations annonçant la dégradation — bien avant qu'une fissure n'apparaisse.

LE MANQUE

Les CND classiques détectent les défauts — pas leurs causes

Ultrasons, courants de Foucault, ressuage : excellents pour la fissure déclarée. Insensibles aux évolutions microstructurales qui la précèdent.

De la microstructure saine au défaut macroscopique



ÉTAPE 1

Matériau sain

État initial

Microstructure homogène — grains organisés, dislocations basses, contraintes maîtrisées.



ÉTAPE 2

Fragilisation invisible

← OCEA agit ici



Réorientation des grains, accumulation de dislocations, transformations de phase locales sous contraintes ou variations chimiques.



ÉTAPE 3

Défaut macroscopique

Trop tard

Fissure, écaillage, brûlure — détectables par US, CF ou ressuage. La pièce doit être réparée ou rebutée.

Évolution dans le temps / sous sollicitation mécanique ou chimique

OCEA — une nouvelle approche CND pour détecter la signature magnétique de la microstructure, avant que le défaut ne devienne visible

« Vous aimez déjà les pièces »

OCEA part de la même physique que la magnétoscopie — ce qui change, c'est ce qu'on lit

CE QUE VOUS FAITES AUJOURD'HUI

Magnétoscopie

- 1 On aimante la pièce.
- 2 La poudre, liqueur se fixe là où le champ fuit.
- 3 On voit la fissure débouchante ou proche surface.

Il faut que le défaut existe déjà — et qu'il débouche ou soit proche de la surface.

CE QU'OCEA AJOUTE

Mesure magnétique

- 1 On aimante la pièce, de la même façon.
- 2 Un capteur mesure comment l'acier réagit à l'aimantation.
- 3 On lit l'état de la matière : contraintes, dureté, brûlure, couche traitée.

Le défaut n'a pas besoin d'exister : on mesure ce qui le prépare.

Même geste, même physique — on mesure la réponse de l'acier au lieu de regarder l'indication

Ce qui se passe dans l'acier quand on l'aimante

Plus le champ monte, plus le mécanisme qui répond change — et plus l'information qu'on en tire change aussi

CHAMP FAIBLE



Les parois se bombent

Les frontières entre domaines se déforment autour de leurs points d'ancrage, puis reviennent en place. Rien ne bouge définitivement.

→ Révèle la densité d'obstacles : dislocations, précipités, taille de grain

CHAMP MOYEN



Les parois décrochent

Elles franchissent les obstacles par sauts brusques et irréversibles. Ce sont ces sauts que l'on écoute en bruit Barkhausen.

→ Révèle dureté et écrouissage — et déjà les contraintes

AUTOUR DE 1 000 A/m



Des domaines naissent et disparaissent

Le champ devient assez fort pour créer de nouveaux domaines et en annuler d'autres : la structure se réorganise en profondeur.

→ Révèle les phases dures et les transformations locales

CHAMP FORT

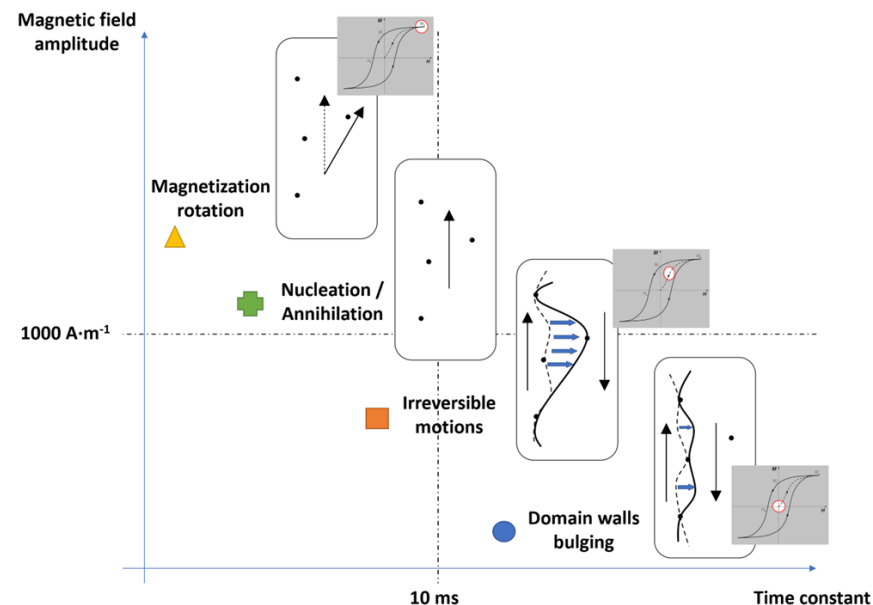


L'aimantation pivote dans le grain

Les moments magnétiques tournent sur eux-mêmes contre l'anisotropie du cristal. C'est le mécanisme que les contraintes modifient le plus directement.

→ Révèle les contraintes, leur direction, et la texture

Où se situe chaque mécanisme



En vertical l'intensité du champ, en horizontal le temps que met le mécanisme à répondre : les processus de champ fort sont aussi les plus rapides.

C'est pourquoi OCEA balaie l'intensité et la fréquence du champ : chaque réglage interroge un mécanisme différent.

À ne pas confondre avec le champ tournant, qui est un mode d'excitation.

Une seule intensité de champ ne donne accès qu'à un seul mécanisme — donc à une seule propriété de la matière

Les 4 méthodes, en clair

Ce que chacune mesure — et ce qu'elle apporte sur une pièce

CF

VOUS LA CONNAISSEZ DÉJÀ

Courants de Foucault

Une bobine induit des courants dans la pièce. En CND classique, on y cherche la fissure. Ici, on lit la réponse elle-même : conductivité et perméabilité de l'acier. La fréquence choisit la profondeur explorée.

→ État métallurgique de la peau, sondage multi-profondeur

MBN

ON ÉCOUTE L'ACIER

Bruit Barkhausen

Quand on aimante un acier, les domaines magnétiques basculent par à-coups : la pièce « crépite ». Ce crépitement change avec les contraintes, la dureté et la texture.

→ Contraintes résiduelles, brûlures de rectification

MIP

LA FACILITÉ À S'AIMANTER

Perméabilité incrémentale

On mesure, point par point du cycle d'aimantation, avec quelle facilité l'acier s'aimante. En basse fréquence l'information vient de plus profond : on remonte un profil sous la surface, sans couper la pièce.

→ Profondeur de cémentation / nitruration, dureté

EMAT

DES ULTRASONS SANS COUPLANT

Ultrasons électromagnétiques

L'onde est créée directement dans la pièce par le champ magnétique : ni sabot, ni gel, ni contact. Le temps de vol varie avec l'état de contrainte (effet acousto-élastique).

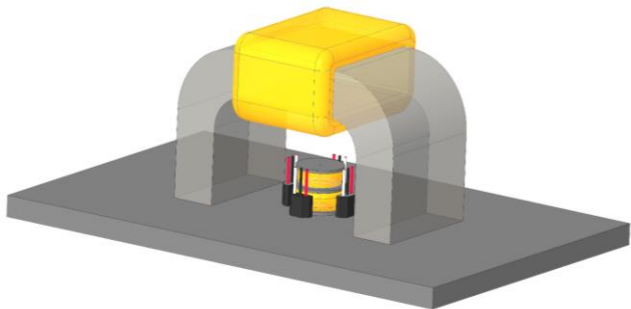
→ Contraintes, contrôle sur pièce brute ou en mouvement

Quatre grandeurs physiques différentes — une seule sonde, un seul passage de mesure

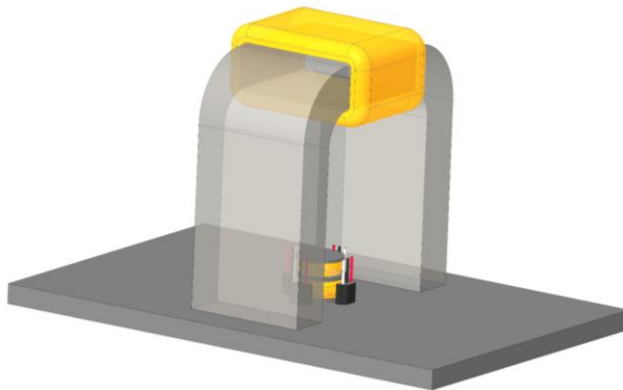
Les 3 modes d'excitation

En magnétoscopie, il faut aimanter dans deux directions pour ne rien manquer — OCEA fait tourner le champ

A. Uniaxiale: axe parallèle

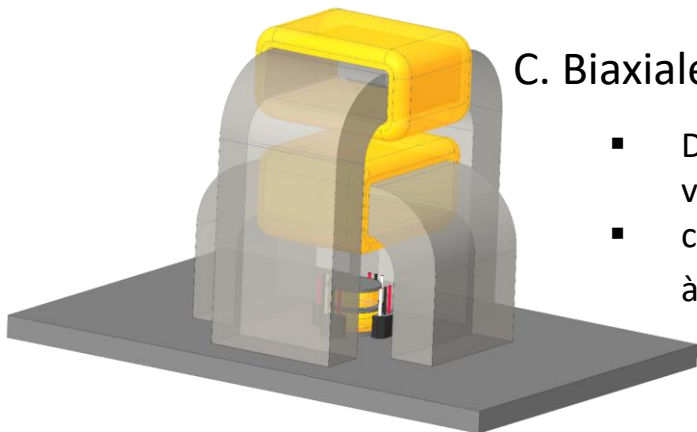


B. Uniaxiale: axe perpendiculaire

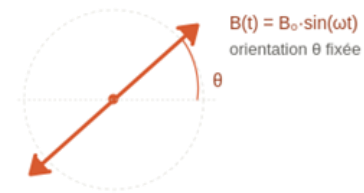


C. Biaxiale:

- Déphasage ou amplitude variable
- champ tournant (déphasage à 90 degré)

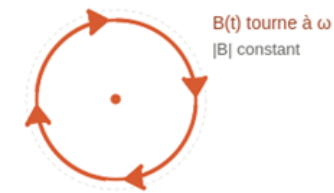


(a) Excitation uni-axiale orientable



Champ pulsé selon une direction

(b) Excitation rotationnelle



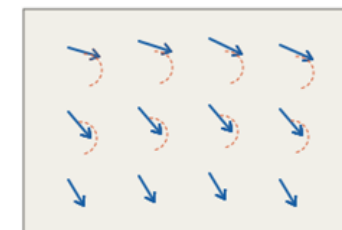
Champ tournant à pulsation ω

Mécanismes activés dans la matière



Mouvements de parois 180° dominants
les parois se déplacent, les domaines basculent ↔

Mécanismes activés dans la matière



Rotation cohérente des moments
+ parois 90° activées (sensibles à la contrainte)

UNIAXIAL

Axe paramétrable

Mouvements de parois 180° dominants

BIAXIAL

Trajectoire elliptique du champ magnétique

Exploration multidirectionnelle

ROTATIONNEL

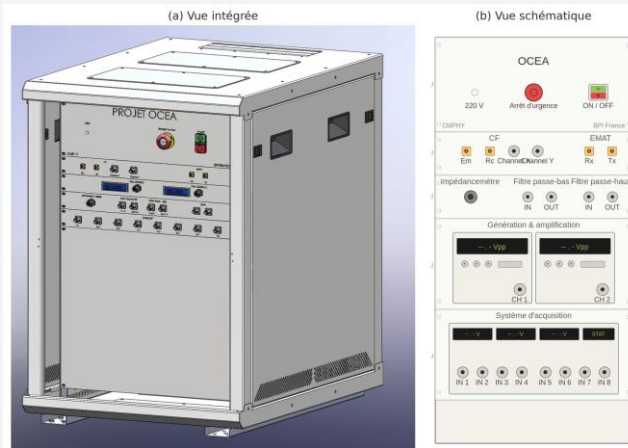
Champ tournant à 90°

Activation des parois 90° et rotation cohérente

1

LE GÉNÉRATEUR

La baie de mesure



Génère le champ magnétique et numérise les signaux. Elle roule à côté du poste, comme un générateur de magnétoscopie.

2

LE PALPEUR

Les sondes

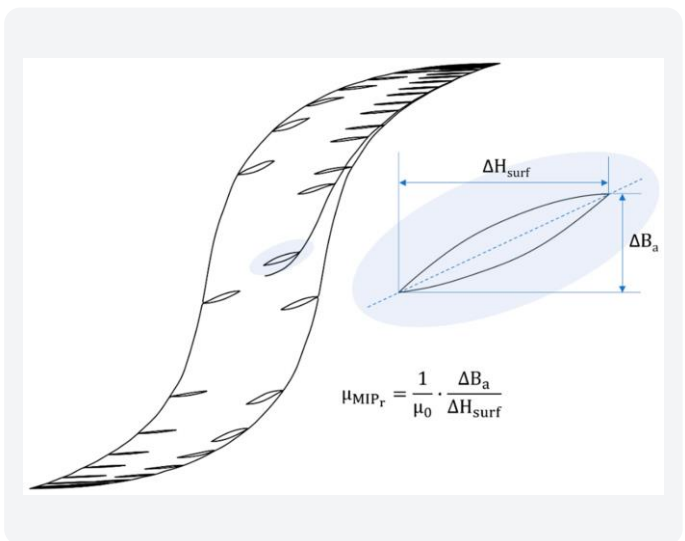


Se pose à plat sur la zone à contrôler. Elle aime la pièce et mesure sa réponse, sans couplant ni contact permanent.

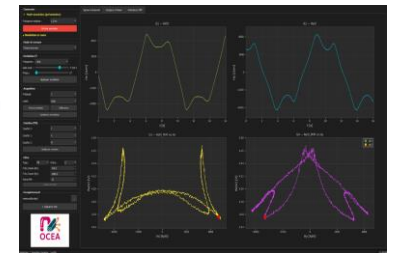
3

LA LECTURE

Le logiciel



Affiche les signaux en direct et le résultat : une valeur comparée à un seuil. Utilisable par un opérateur, pas seulement un expert.



On pose la sonde, la baie génère et mesure, le logiciel affiche un résultat lisible

Ce qu'OCEA voit, et que les autres méthodes CND ne voient pas

Quatre questions d'atelier auxquelles les méthodes de surface ne répondent pas

LA QUESTION	AUJOURD'HUI	AVEC OCEA
La pièce a-t-elle brûlé à la rectification ?	Attaque chimique au nital, lecture visuelle, produits et déchets à gérer.	Une mesure sans contact ni produit, en quelques secondes.
Quelles contraintes a laissées le grenaillage ou l'usinage ?	Diffraction X en laboratoire, ou méthode du trou — destructive.	Une valeur relevée sur la pièce, à l'atelier.
La couche cimentée a-t-elle la bonne profondeur ?	On coupe une pièce témoin et on fait une filiation de dureté.	On mesure sur la pièce elle-même, sans la détruire.
Le traitement a-t-il dérivé ?	On s'en aperçoit au rebut, ou à l'essai final.	On suit la dérive pièce après pièce.

OCEA ne remplace ni la magnétoscopie ni le ressuage : il regarde ce qui se passe avant la fissure.

Comment ça se passe sur la pièce

Cinq étapes — aucune préparation chimique, aucun couplant

1

ÉTALONNER

Sur quelques pièces de référence mesurées en laboratoire. Le principe du bloc témoin.

2

POSER

La sonde à plat sur la zone à contrôler. Pas de gel, pas de couplant.

3

MESURER

La sonde aimante la zone et enregistre la réponse. Quelques secondes.

4

LIRE

Une valeur comparée à un seuil : conforme, à surveiller, hors tolérance.

5

TRACER

Résultat horodaté et exporté dans le dossier de contrôle.

Ce dont vous n'avez pas besoin



Aucun produit chimique, aucun révélateur



Aucun couplant, aucun gel



Aucun démontage, aucune découpe



Aucune indication à interpréter

La sonde se pose comme un palpeur : le contrôleur n'a pas à connaître la physique qu'il y a derrière.

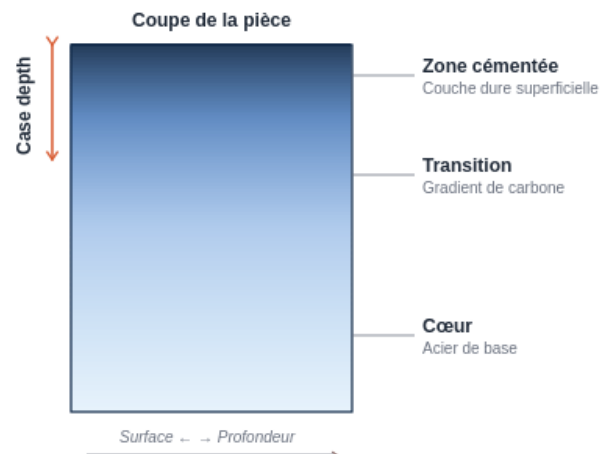
Le résultat est un chiffre comparé à un seuil — pas une image à interpréter.

Cas d'applications actuelles

Trois familles de problématiques industrielles ciblées

DURETÉ & TRAITEMENTS

Cémentation, nitruration, induction



Profondeur effective de la couche traitée et profil de dureté à partir des indicateurs MIP multi-fréquence.

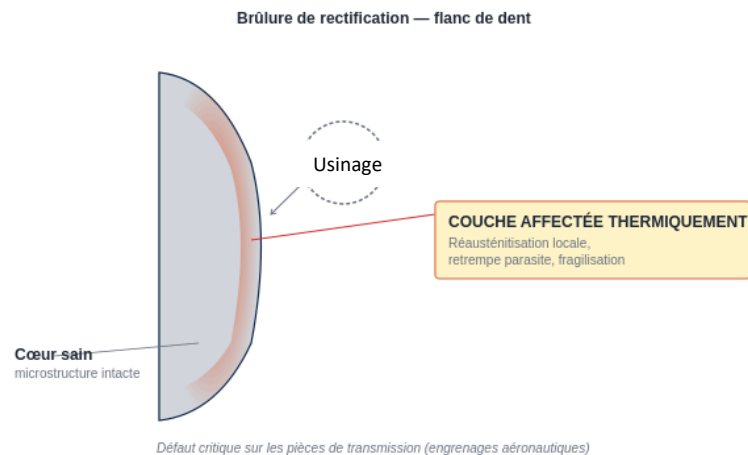
Profondeur visée 0,5 – 4 mm

Référence destructive

DRX, microdureté Vickers

BRÛLURES DE RECTIFICATION

Pièces de transmission



Détection des couches superficielles affectées thermiquement — défaut critique pour les engrenages aéronautiques.

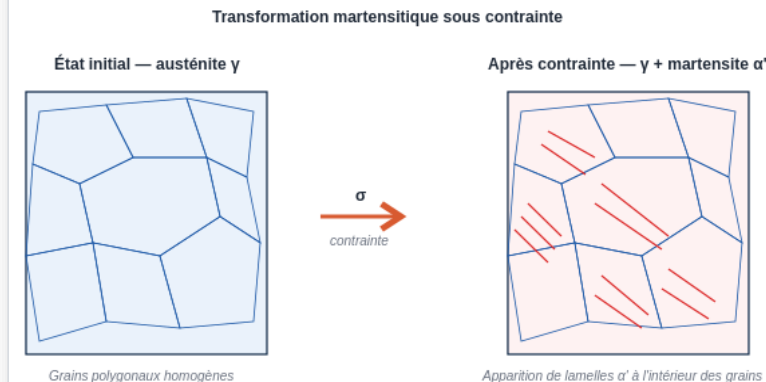
Sensibilité visée $\approx 50\mu\text{m}$

Référence destructive

Attaque chimique Nital

MARTENSITE & PHASES

Aciers austénitiques



Aciers austénitiques (AISI 304/316) — transformation invisible en surface

Estimation du taux de transformation martensitique sous sollicitation mécanique (AISI 304L, structures cryogéniques).

Plage visée 0 – 30% vol

Référence destructive

MEB, EBSD

Une approche unifiée pour caractériser, sans destruction, les évolutions microstructurales liées au procédé ou au service