PARADES

Système de vision intelligent pour Magnétoscopie et Ressuage

ImViA CMPhy Mesures Physiques MECACHROME eDF

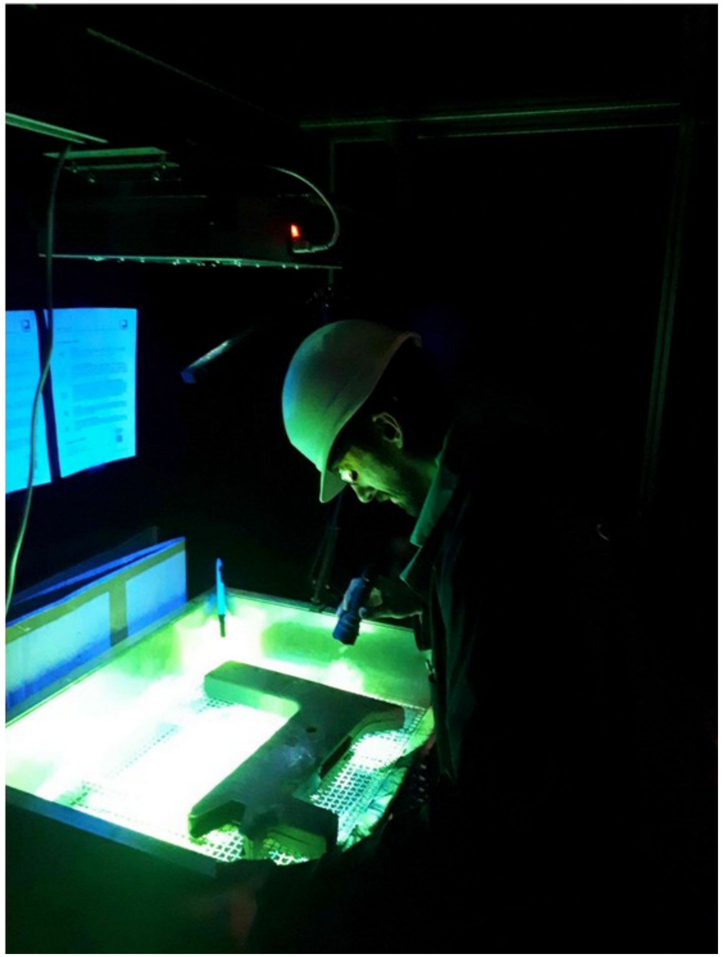
Plan

- Synthèse des caractéristiques
- Hardware
- Détection d’indications par IA
- Mesure de longueur 3D
- Simulation et Images de synthèses
- Applications industrielles
  - Ressuage : Mecachrome
  - Magnétoscopie : EDF Hydro
- Conclusion
- Perspectives

Workflow: Détecter → Mesurer → Historiser

- Détection : **mini 2mm** (<2mm sur demande)
- Machine semie-autonome
  - **Validation par contrôleurs** certifiés COFREND
- Méthodes CND:
  - **Magnétoscopie** / **Ressuage** / **Rx** (détection) / **VT** (en développement)
- Taille des pièces inspectées
  - Maxi: **800*1200*800mm** (Lxlxh) (divisé en 4 images de 600x400mm)
- Performance
  - Mesure de longueur: **MAE < 1mm**
  - Détection: **PoD> 90%**
- Images + rapports enregistrés dans un **fichier projet et/ou base de données** (locale, on-premise, cloud)
- Automatisation possible (robot) par **API** pour ligne automatisée

Nouveau paradigme de contrôle



Contrôle classique (sans PARADES)

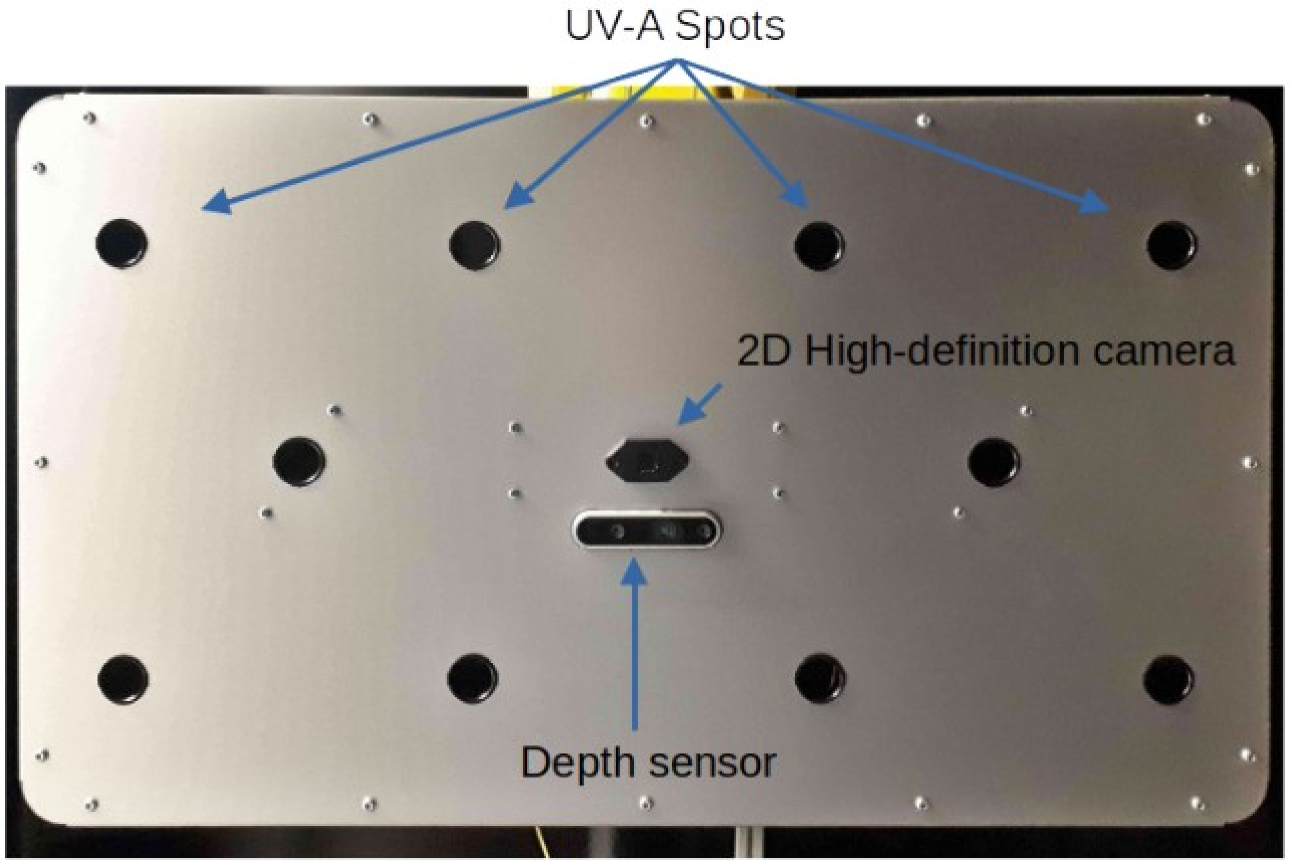
Contrôle avancé (avec PARADES)

Hardware

- Éclairage UV à façon
- Modèle Maxi et Mini

Hardware – Éclairage UV

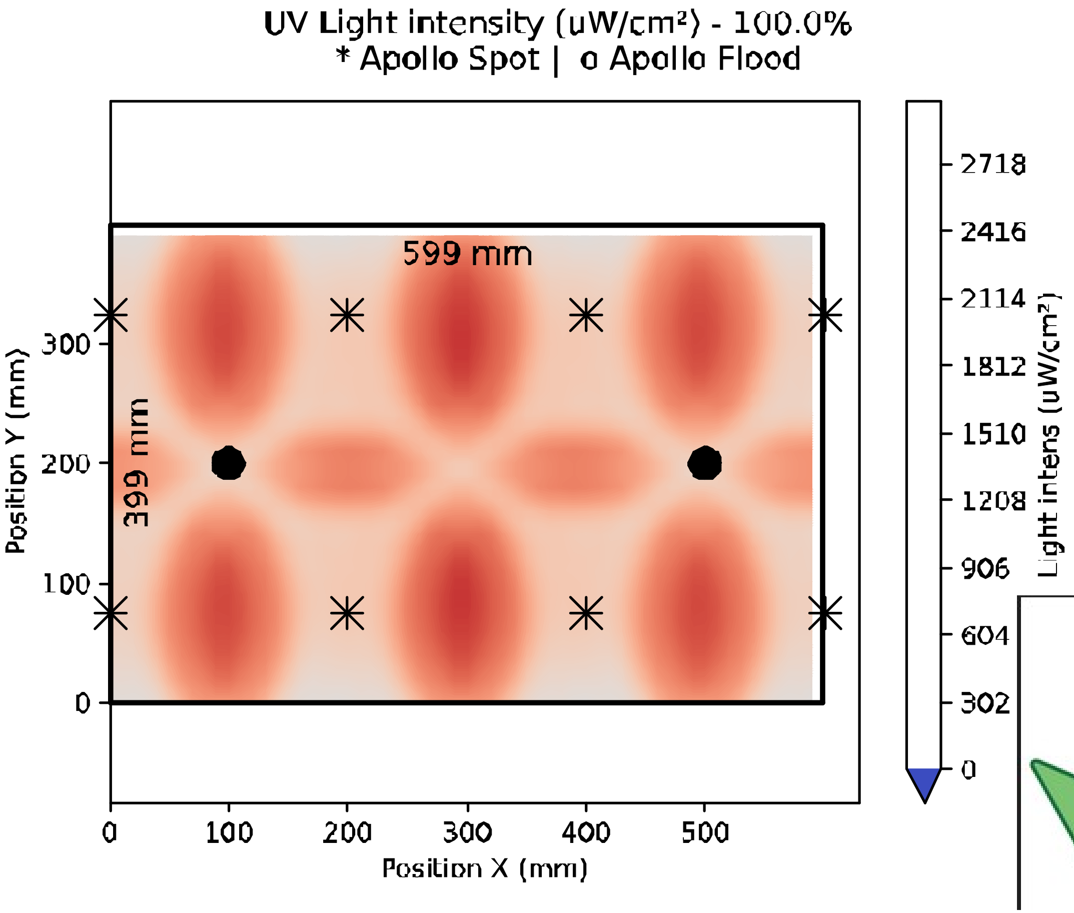
- Irradiance: >1500uW/cm² (surface: 600*400mm)
- Longueur d'onde: 365nm<UV<370nm
- FWHM: <20nm
- Distance moyenne pièce/éclairage: 500mm
- Simulateur d'éclairage *(Développement CMPHy)*
- Optimisation de la disposition des LEDs


UV-A Spots
2D High-definition camera
Depth sensor

CMPHy conçoit des éclairage LEDs à façon

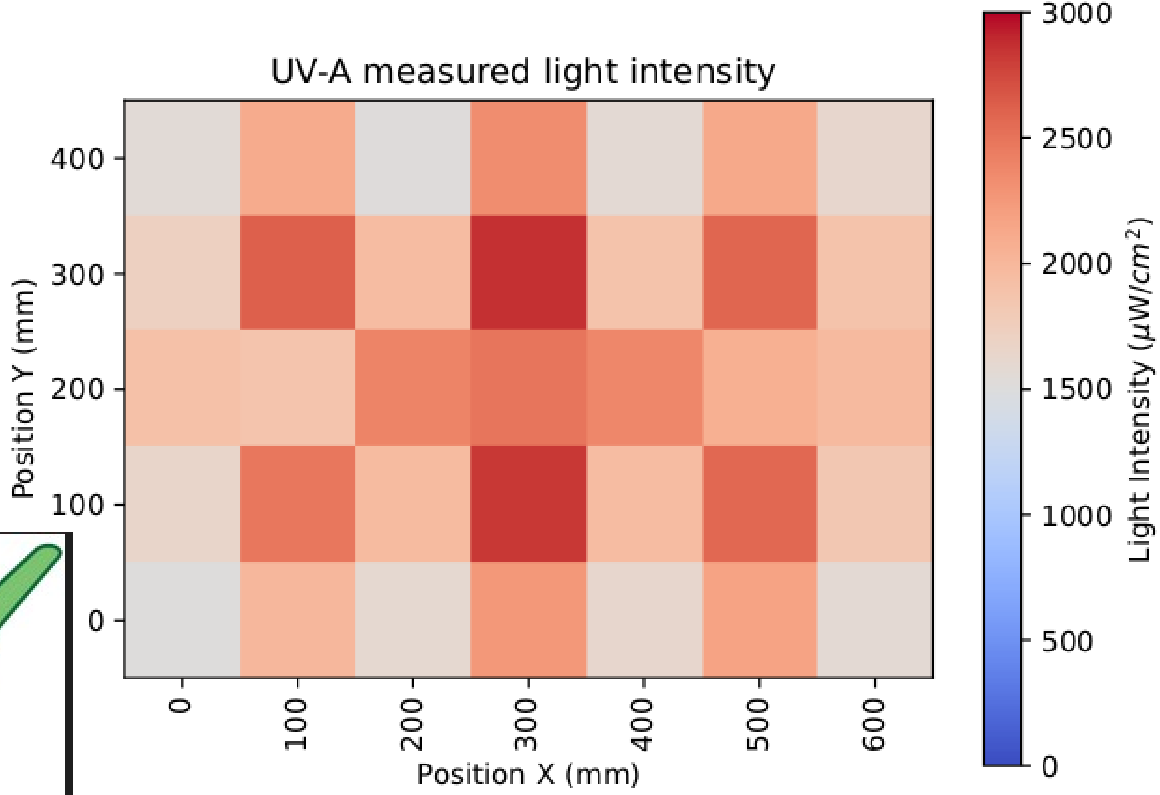
Hardware – Éclairage UV – Qualification spatiale

Irradiance simulée



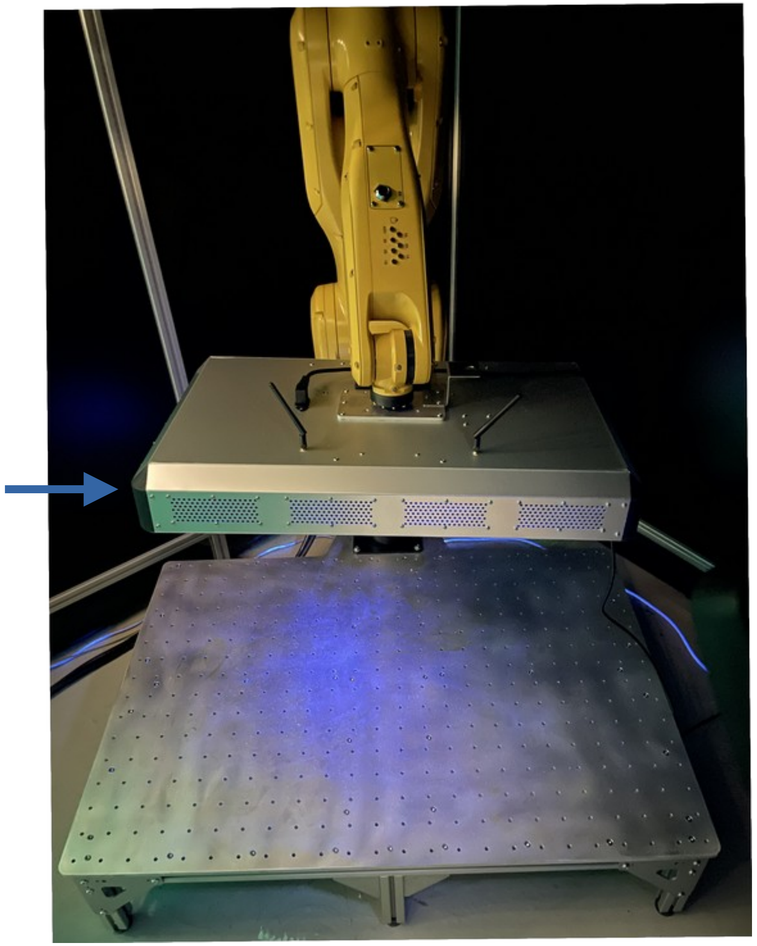
Irradiance mesurée (Pfinder UVLuxCHECK)

Surface > 1500uW/cm2



Hardware - Formats

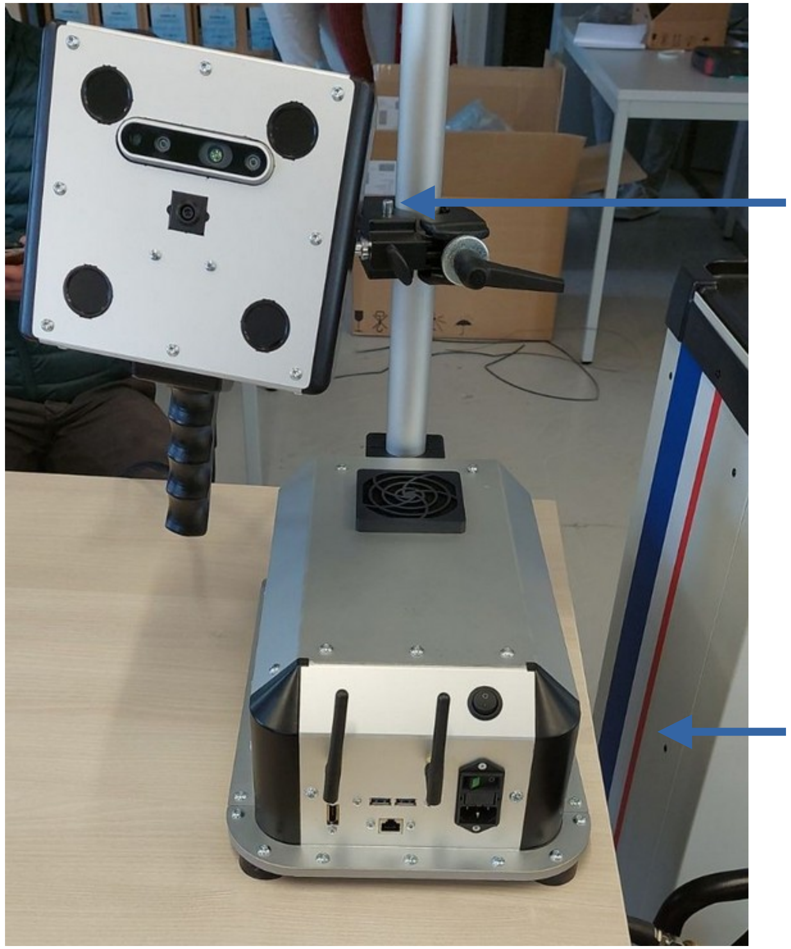
PARADES Maxi



Tête de vision tout intégrée Alimentation + PC + Éclairage + Camera

Avantages :
- Grande surface d'inspection
- Automatisation facile

PARADES Mini



Éclairage + caméras

Avantages :
- Maniable
- Petit

Alimentation + PC embarqué

Software

- Interface
- Détection de défauts
- Mesure de longueur

PARADES Logiciel

Liste des indications

Arbre projet CND

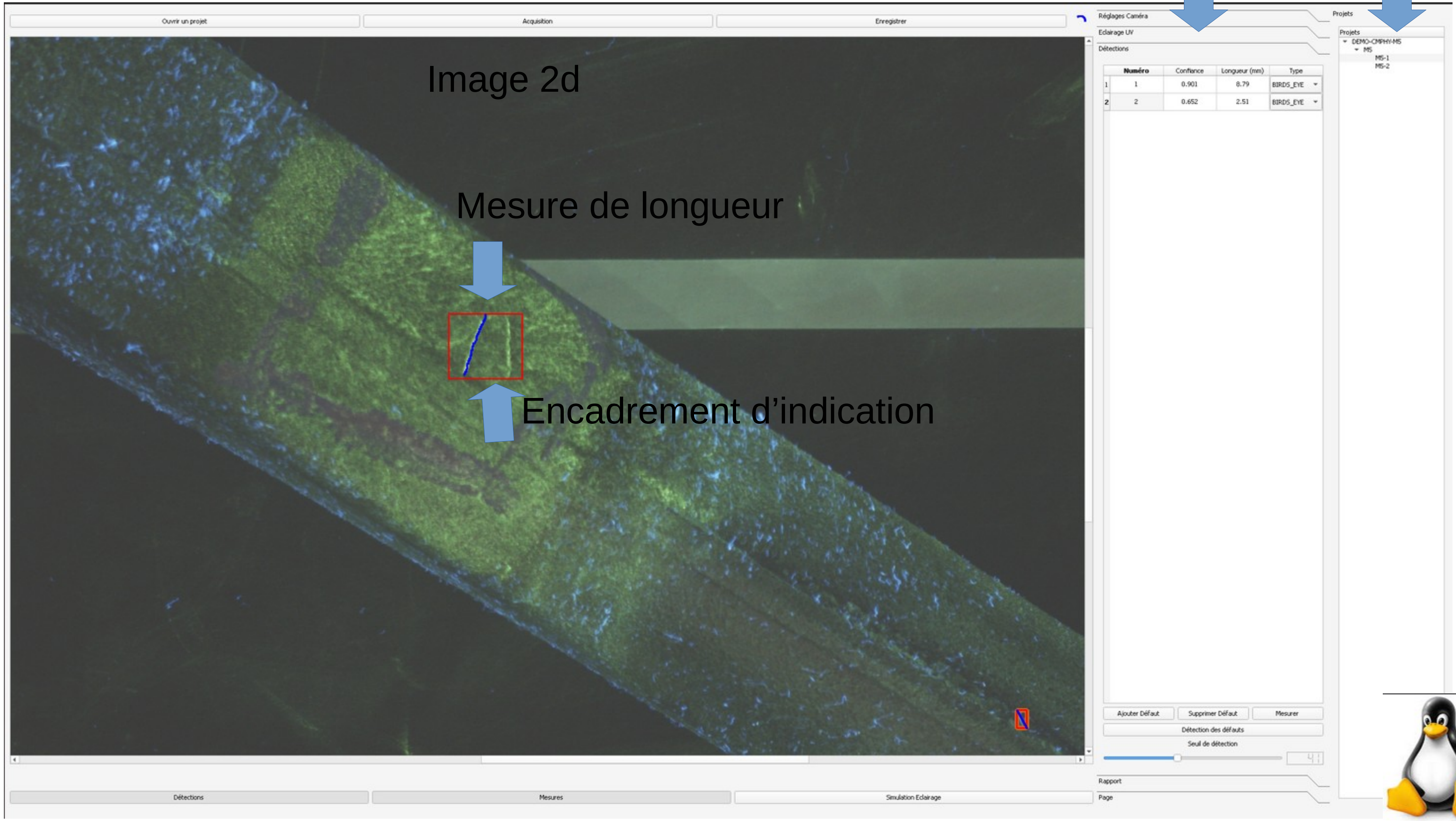


Image 2d

Mesure de longueur

Encadrement d’indication

	Numéro	Confiance	Longueur (mm)	Type
1	1	0.901	8.79	BIRDS_EYE
2	2	0.652	2.51	BIRDS_EYE

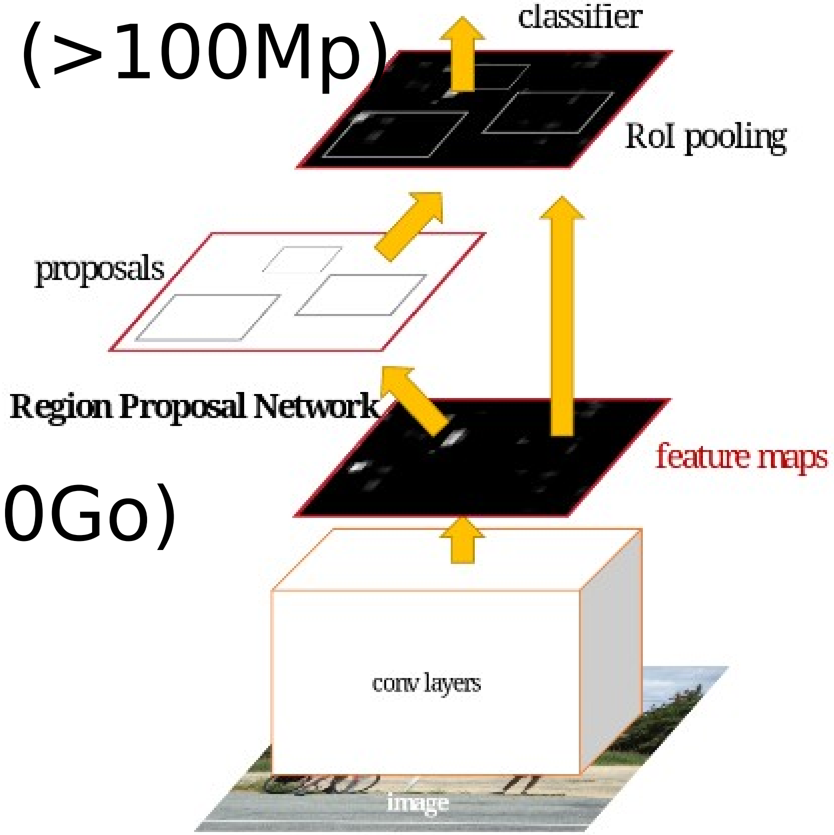
Ouvrir un projet
Acquisition
Enregistrer
Réglages Caméra
Eclairage UV
Détections
Ajouter Défaut
Supprimer Défaut
Mesurer
Détection des défauts
Seuil de détection
41
Rapport
Page
Détections
Mesures
Simulation Eclairage
Projets
Projets
DEMO-CMPHY-M5
M5
M5-1
M5-2

- Acquisition
- Détection de défauts
- Mesure
- Multi acquisitions
- Gestion de projets CND
- Export pour traitement hors-ligne
- Génération de rapports
- Simulation d’éclairage

Utilisable sur la machine PARADES et sur PC standard (hors-ligne)

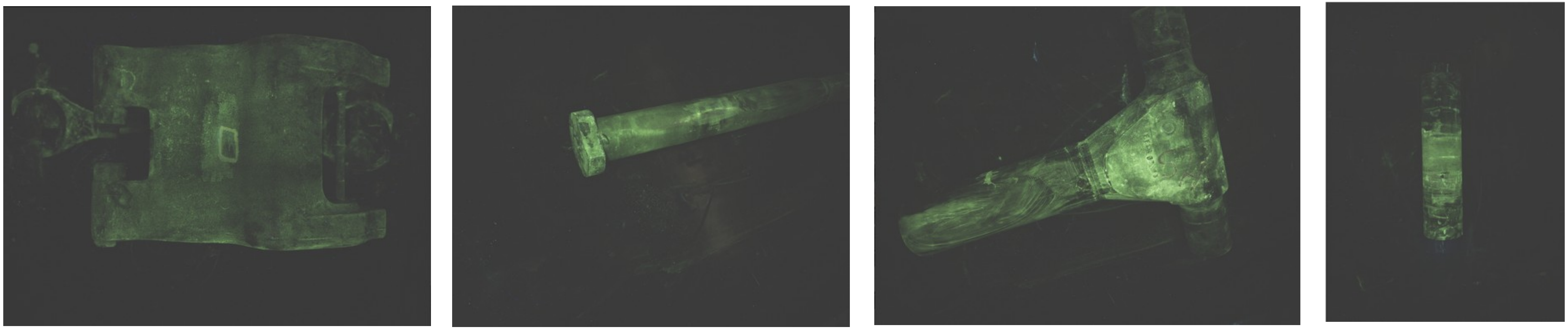
Software – Détection de défauts basée IA

- Deep-learning
- Adapté aux images haute-résolution (>100Mp)
- Supervisé
- Transfert-learning
- Hyper-paramètres optimisés
- Entraînement sur HPC (GPUs V100 80Go)


classifier
RoI pooling
proposals
Region Proposal Network
feature maps
conv layers
image

Software – Détection de défauts - Dataset

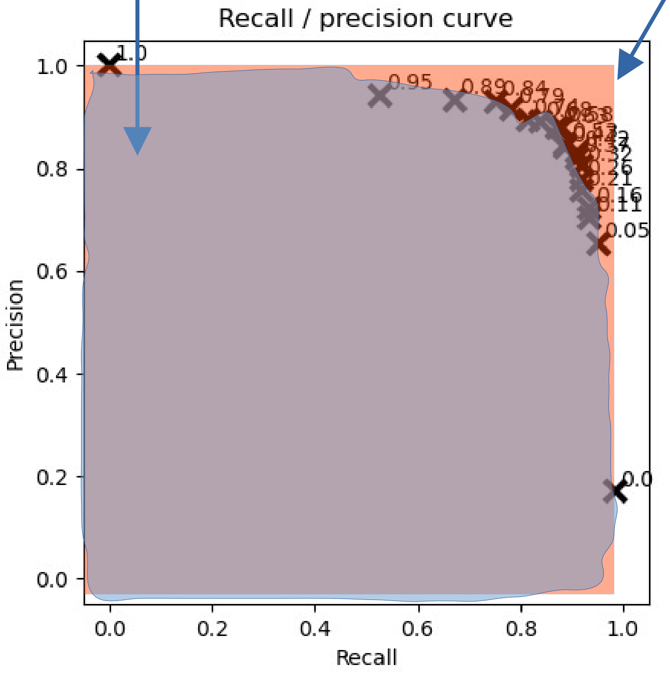
- Dataset de fondation pour magnétoscopie
  - Pièces clients
  - Acquisition avec PARADES
  - Trainset: 247 images
  - Testset: 53 images (125 cracks)
  - Exemple d’images de test:



Software – Détection de défauts – Analyse quantitative

Réseau PARADES: mAP=0,92*

Réseau parfait
(mAP=1)

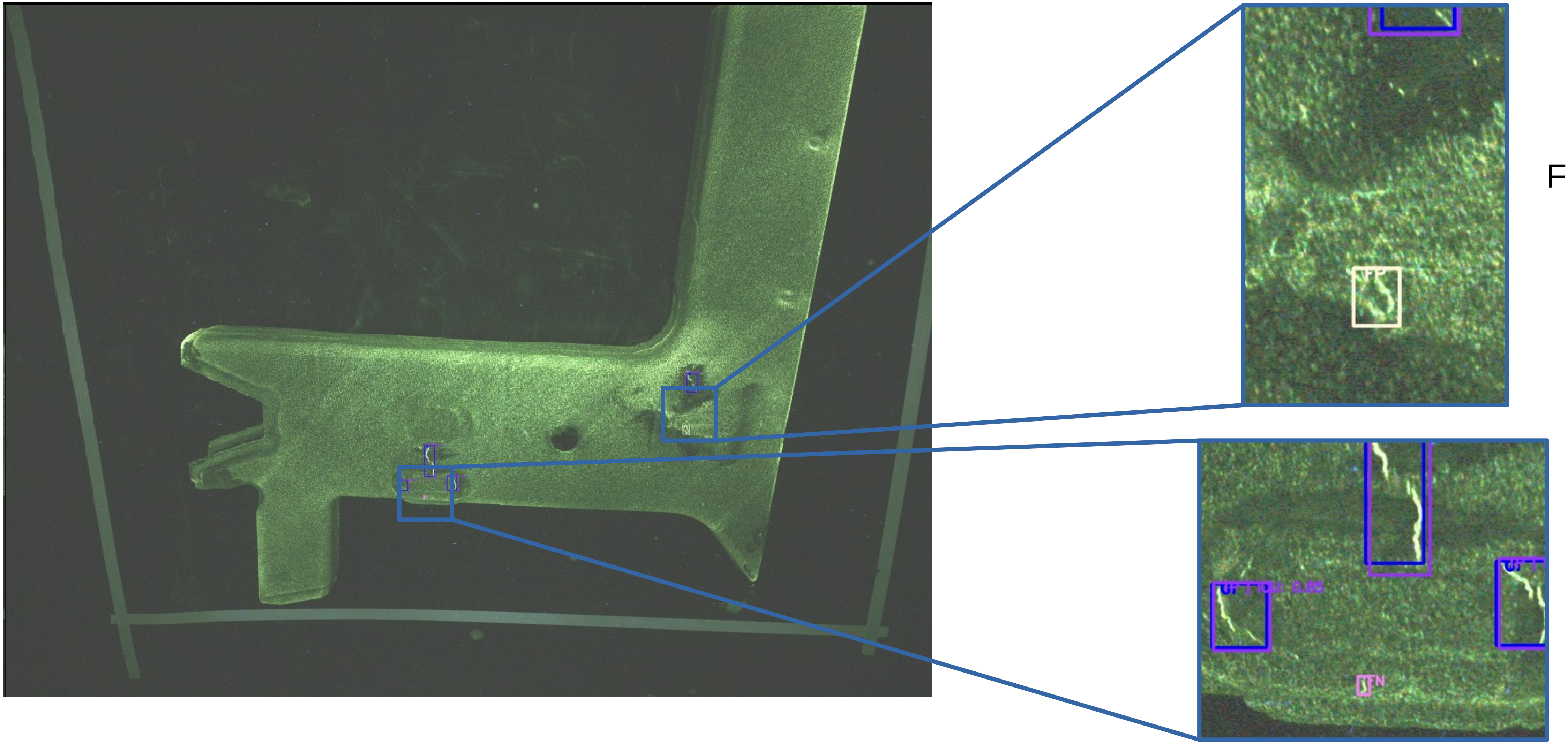


Configuration choisie:
- PoD: 91 %
- Taux de fausse détection moyen: 0.42 per image

Cahier de charges
rempli

*IoU: 0.02

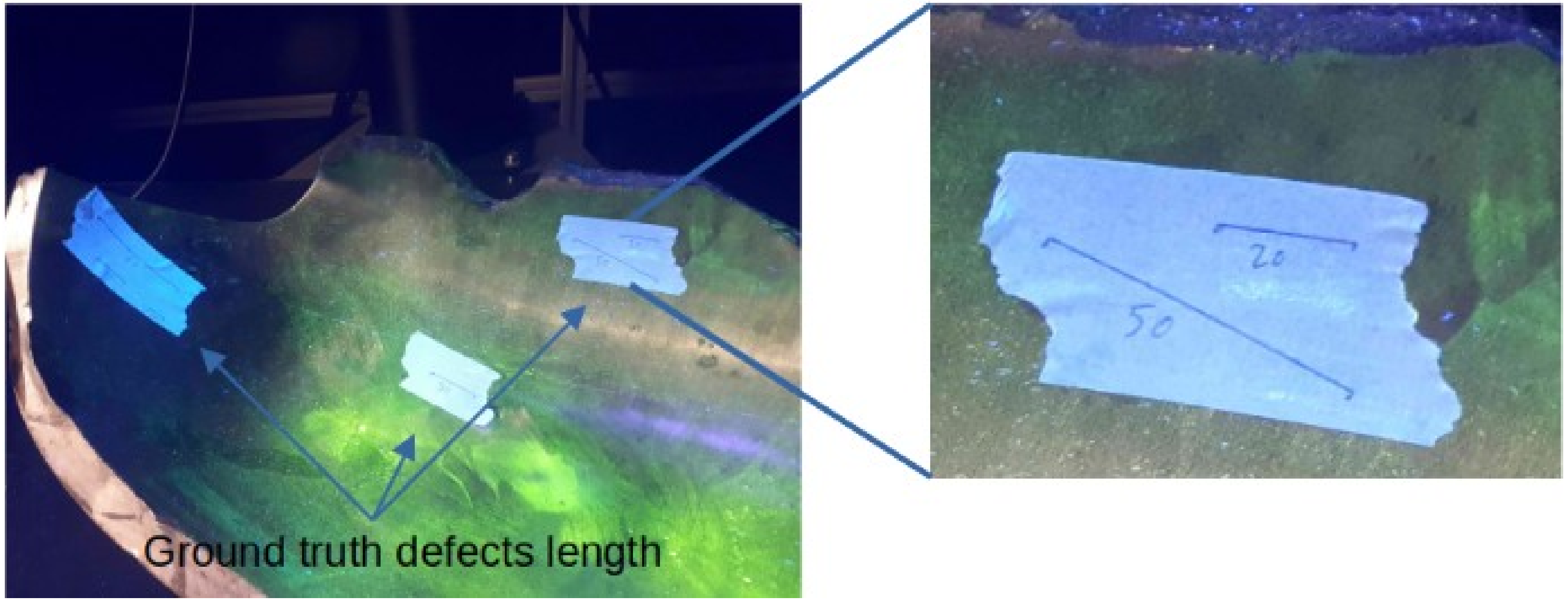
Software – Détection de défauts – Analyse qualitative



Faux positif

Faux négatif (oubli)

Software – Mesure de longueur – Analyse quantitative

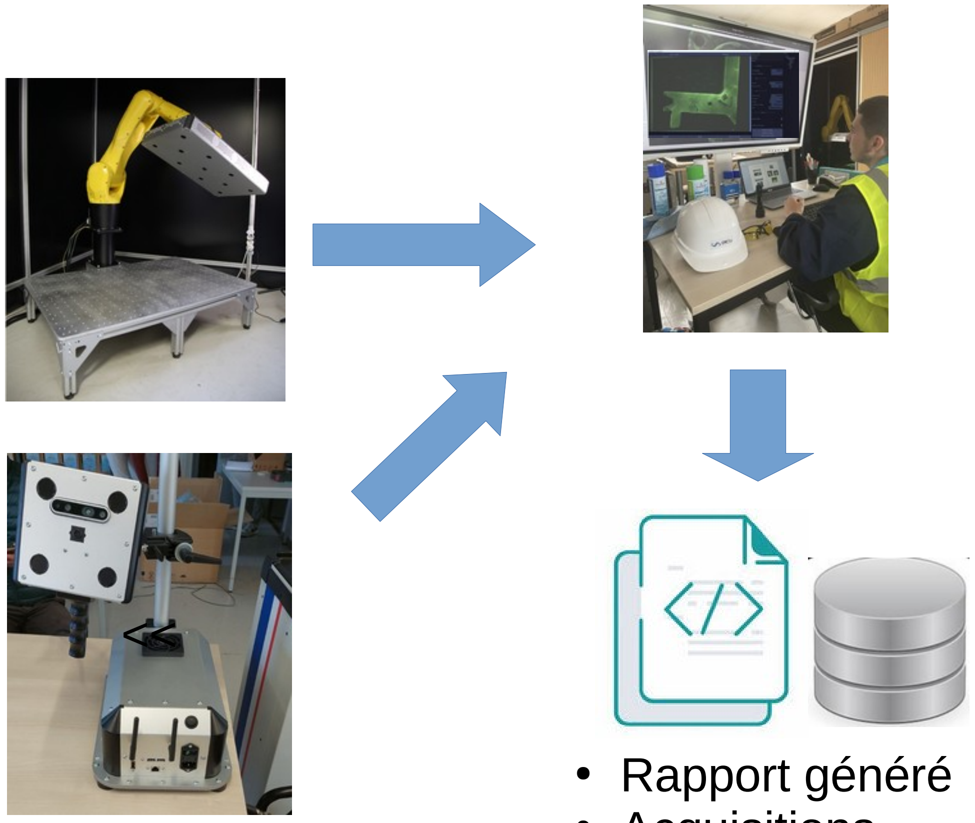

Ground truth defects length
20
50

Ground truth (mm)	Measured value (mm)	Rel Rrror (%)	Abs Error (mm)
50,0	51,8	3,6%	• 1.8
20,0	20,0	0	• 0
60,0	60,1	0,2%	• 0.1
30,0	28,2	6%	• 1.8

MAE = 0.925mm (<1mm) ✓

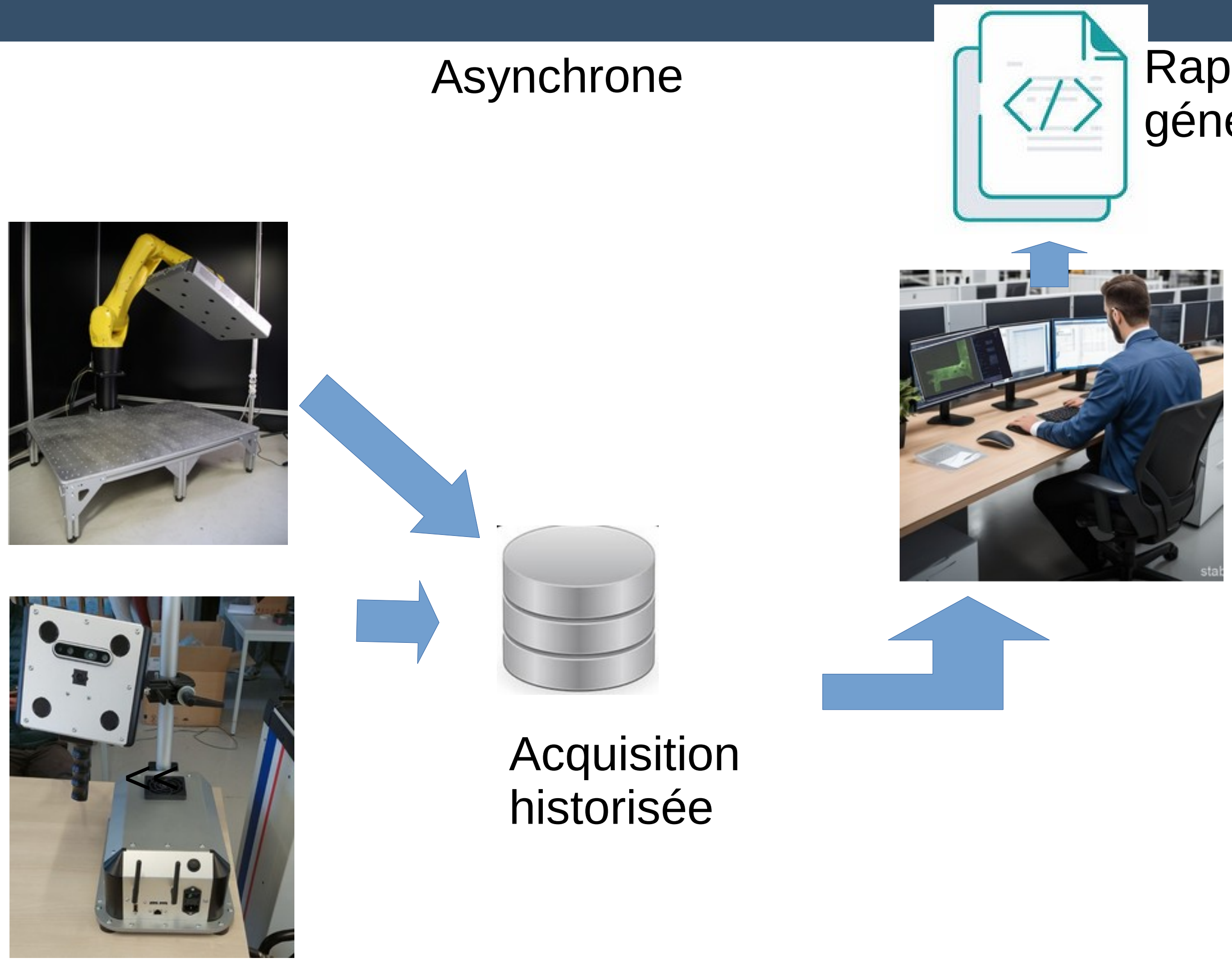
PARADES: Contrôle “asynchrone”

Synchrone



- Rapport généré
- Acquisitions historisées

Asynchrone

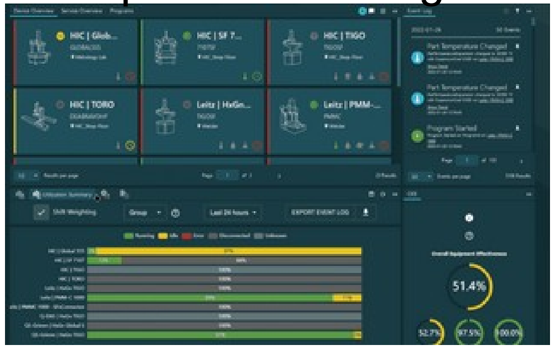


Acquisition historisée

Rapport généré

PARADES : application aux lignes de production automatisées

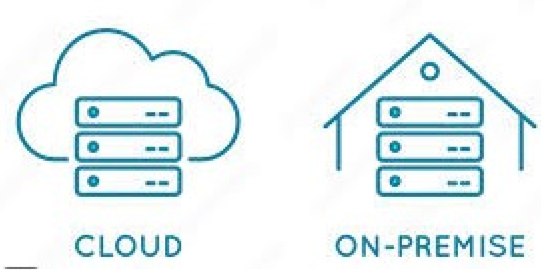
Superviseur de ligne



Rapport généré

Acquisition

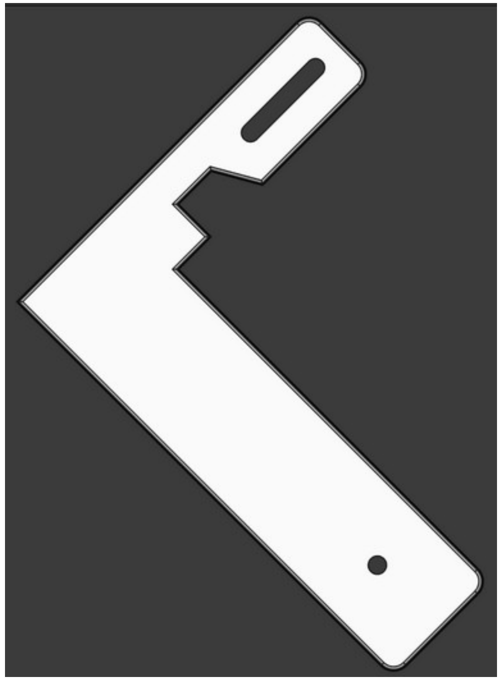
Acquisitions historisée


CLOUD
ON-PREMISE

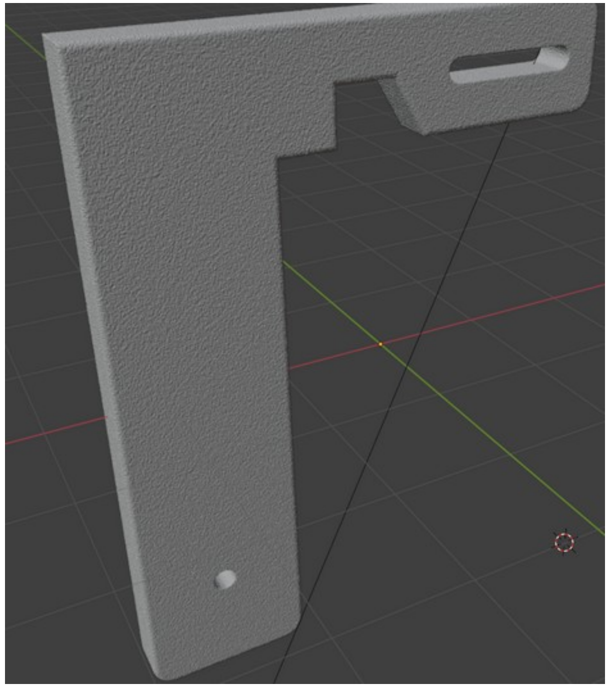
PARADES Simulation

- Simulation de l’éclairage UV PARADES
- Simulation fluorescence
- Ajout de défauts artificiels
- Gestion de la rugosité

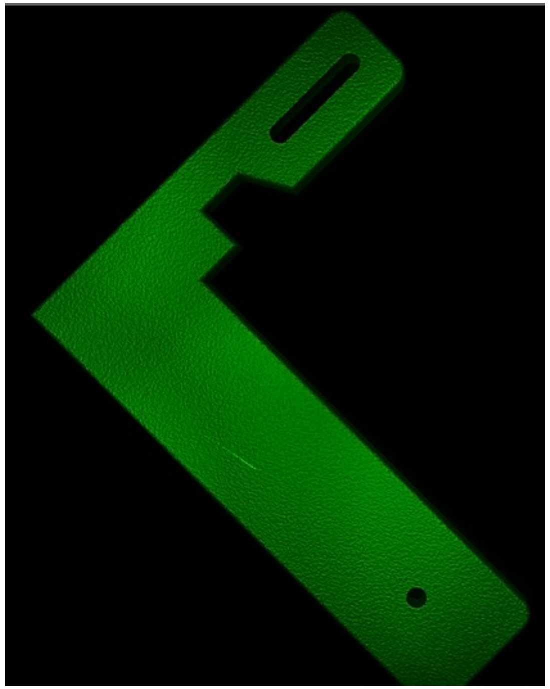
CAO



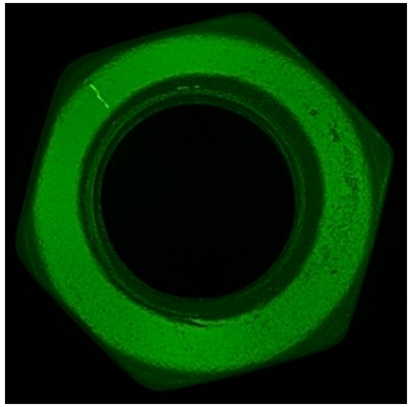
Ajout de rugosité + défaut



Simulation de fluorescence



Autre exemple



PARADES Simulation

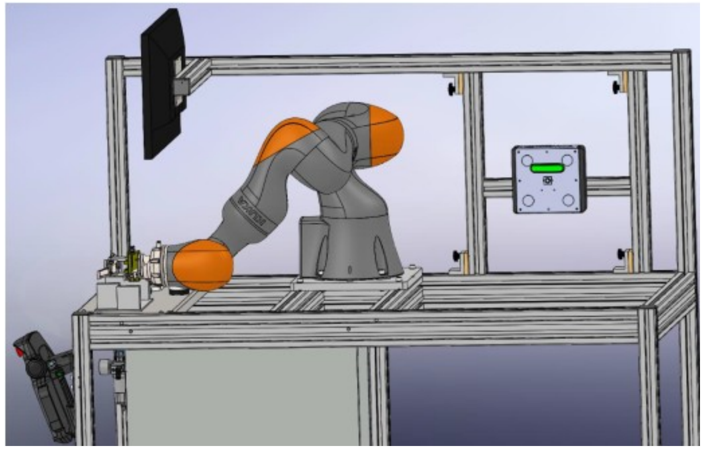
- Environnement de simulation complet
- Scan 3d de pièces clients
- Casque de réalité augmentée
- Bibliothèque de défaut à ajouter
- Choix de la texture
- Choix de la rugosité

Génération de dataset personnalisés (pour entraînement)

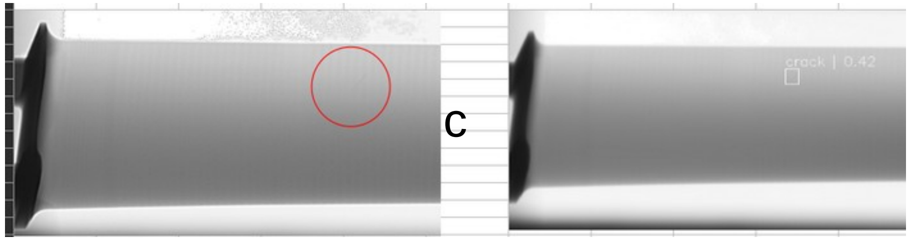
Applications industrielles

- Ressuage : Mecachrome
- Magnétoscopie : EDF Hydro

Ressuage : Mecachrome (aéronautique)



- Aubes de turbine moteur
- Contrôles CND
  - Visuel (manuel)
  - Ressuage (assisté par PARADES)
    - PoD : 79 %*
  - Rx (détection assistée par PARADES)
    - PoD : 90 % (fpr 0,27)
    - Automatisation avec machine Rx en cours
- Ressuage automatisé par robot collaboratif
  - Pilotage PARADES par robot (API)

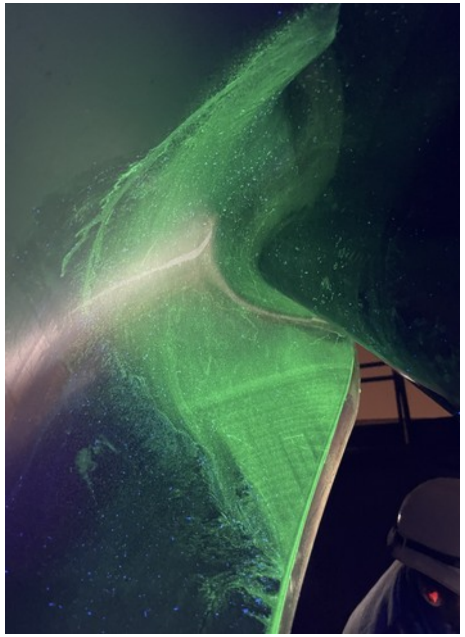


Magnétoscopie : EDF

- Environnement : humide + froid
- Pièces : Auget roue Pelton pour barrage hydraulique
- Contrôles CND : Magnétoscopie
- Objectifs : Évaluation des bénéfices/gains et développement p/r méthode manuelle
- Etanchéité : IP54
- Magnétoscopie assistée avec support mécanique répétable

Magnétoscopie : EDF

- Essais sur site avant vente pour personnaliser PARADES (mesures distances, orientations, irradiance UV-A)
- Performance : Détection / mesures de défauts longueur 6 mm profondeur 1.5 mm avec approche paramètres influents)
  - A venir → évaluation suivant TR14748 (Méthodologie pour la qualification des méthodes END)



Collaboration industrielle

- “Micro” PARADES
  - Cas d’utilisation : inspection de tuyauterie
  - Zones difficiles d’accès
  - Nucléaire
  - PMUC
  - Codéveloppement → recherche de partenaires
    - Adaptation du produit aux besoins spécifiques client
    - Tests avant la commercialisation officielle
- Maxi/mini Parades
  - Cas d’utilisation : magnétoscopie sur lignes automatisées
- Magnétoscopie et ressuage (toutes applications)
  - Pièces avec défauts → dataset de fondation
  - Test de PARADES sur vos pièces

Conclusion

- Hardware+software industriel “Maxi” et “Mini”
  - (micro PARADES à venir)
  - Architecture modulaire (soft + hard)
    - Personnalisable sur demande
- Détection de défauts : 91%
  - (transformer + dataset qui va augmenter)
  - FPR : 0.42 (par image)
- Mesure de longueur
  - Automatique (diagonale) + manuelle
  - MAE : 0.91mm
- Historisation des acquisitions (fichier et/ou DB)
  - Contrôles synchrones et/ou asynchrones

- Commercialisation en cours
- Logiciel PARADES → version de démonstration disponible sur demande
- 2 machines clients vendues
- Collaboration industrielle possible

Publications récentes

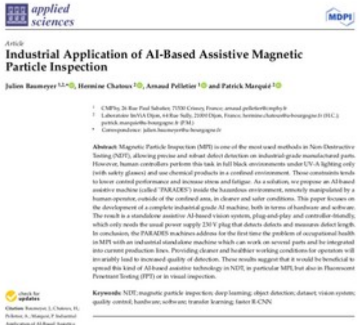
Salon industriel: Cofrend 2023 (France)

Conférence: NDTiC 2024 (Ottawa, ON, CANADA)

NDT in Canada
NDTiC 2024
Making every connection count!

June 11-13
Brookstreet Hotel
Ottawa, Ontario

Article de journal (recherche): Applied sciences (open-access) 2023


applied sciences MDPI

Article

Industrial Application of AI-Based Assistive Magnetic Particle Inspection

Julien Baumeyer [1,2,*], Hermine Chatoux [2], Arnaud Pelletier [1] and Patrick Marquié [2]

Abstract: Magnetic Particle Inspection (MPI) is one of the most used methods in Non-Destructive Testing (NDT), allowing precise and robust defect detection on industrial-grade manufactured parts. However, human controllers perform this task in full black environments under UV-A lighting only (with safety glasses) and use chemical products in a confined environment. Those constraints tends to lower control performance and increase stress and fatigue. As a solution, we propose an AI-based assistive machine (called "PARADES") inside the hazardous environment, remotely manipulated by a human operator, outside of the confined area, in cleaner and safer conditions. This paper focuses on the development of a complete industrial grade AI machine, both in terms of hardware and software. The result is a standalone assistive AI-based vision system, plug-and-play and controller-friendly, which only needs the usual power supply 230 V plug that detects defects and measures defect length. In conclusion, the PARADES machines address for the first time the problem of occupational health in MPI with an industrial standalone machine which can work on several parts and be integrated into current production lines. Providing cleaner and healthier working conditions for operators will invariably lead to increased quality of detection. These results suggest that it would be beneficial to spread this kind of AI-based assistive technology in NDT, in particular MPI, but also in Fluorescent Penetrant Testing (FPT) or in visual inspection.

Keywords: NDT; magnetic particle inspection; deep learning; object detection; dataset; vision system; quality control; hardware; software; transfer learning; faster R-CNN

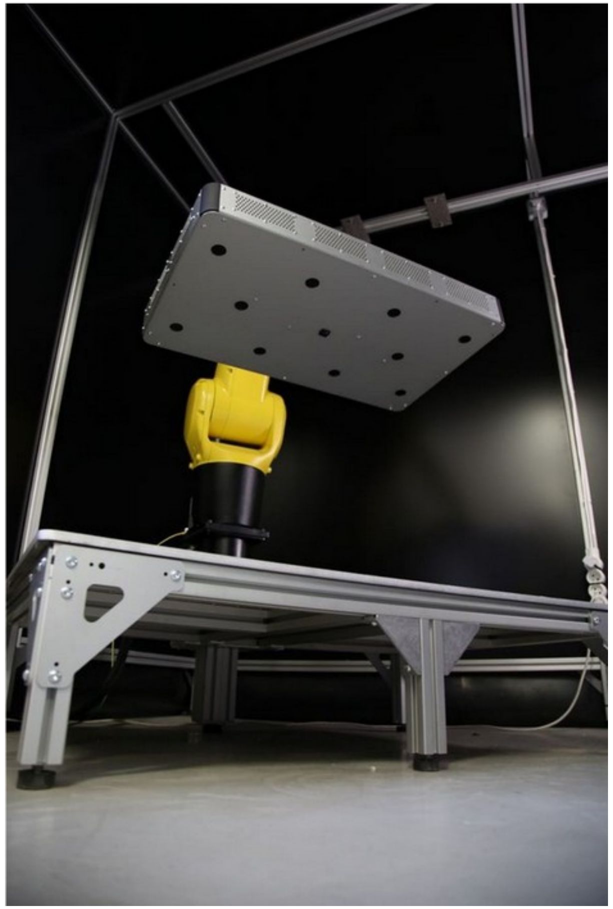
JTR Cofrend Lille 2024

29 Janvier 2025
IA et automatisation, exploration du futur
Journée Technique Régionale Nord
RDV A LILLE
COFREND

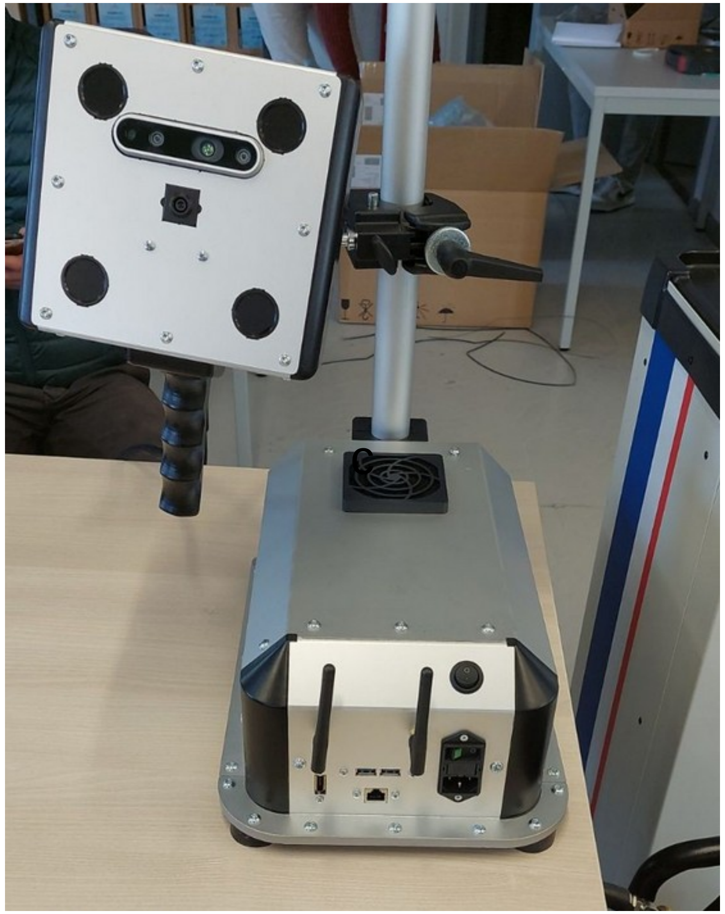
Merci

Questions ?

Maxi
PARADES



Mini
PARADES



Stand : XX

Julien Baumeyer
Research Engineer
CoReS (ImVia) / CMPhy

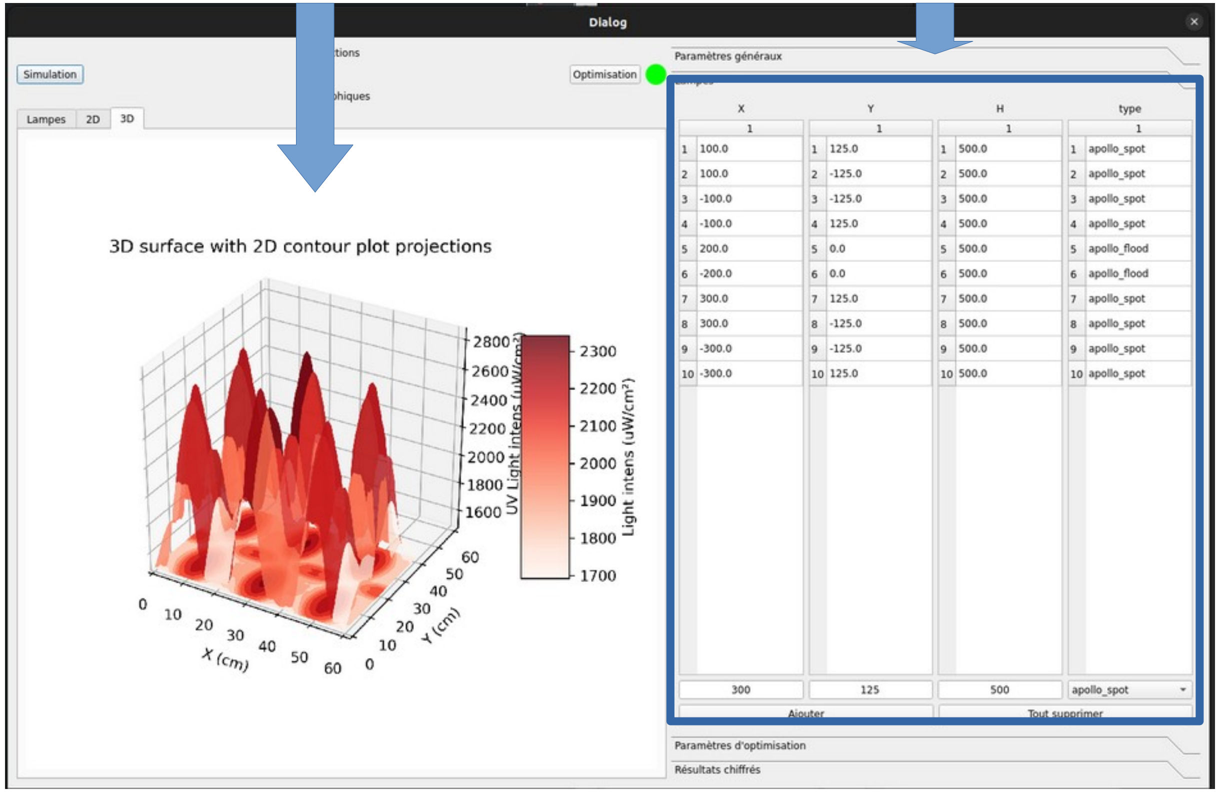
Julien.baumeyer@cmphy.fr

Hardware – Éclairage UV – Simulateur

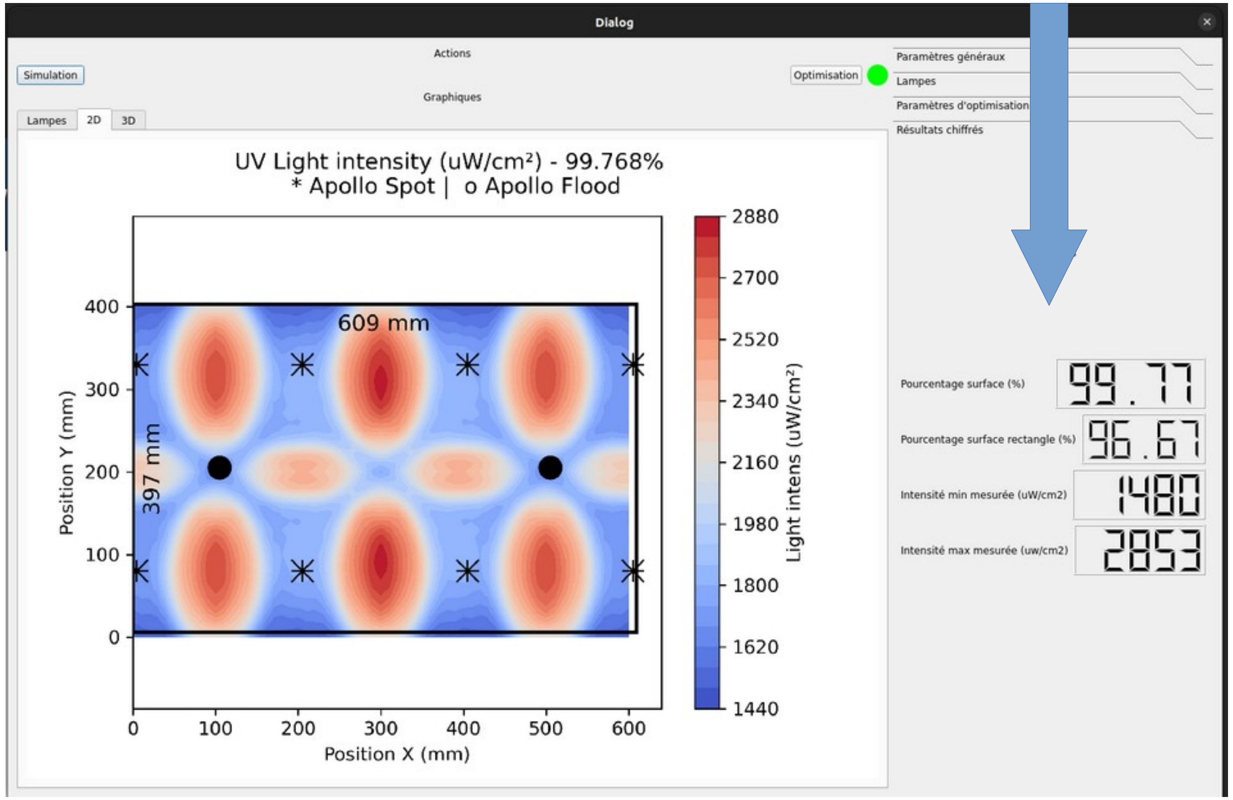
Simulation

Position 3D + type des LEDs

Résultats


Dialog
Simulation
Optimisation
Lampes
2D
3D
3D surface with 2D contour plot projections
2800
2600
2400
2200
2000
1800
1600
UV Light intens (uW/cm²)
2300
2200
2100
2000
1900
1800
1700
Light intens (uW/cm²)
X (cm)
Y (cm)
0
10
20
30
40
50
60
Paramètres généraux
Lampes
Ajouter
Tout supprimer
Paramètres d'optimisation
Résultats chiffrés

X	Y	H	type
1	1	1	1
1 100.0	1 125.0	1 500.0	1 apollo_spot
2 100.0	2 -125.0	2 500.0	2 apollo_spot
3 -100.0	3 -125.0	3 500.0	3 apollo_spot
4 -100.0	4 125.0	4 500.0	4 apollo_spot
5 200.0	5 0.0	5 500.0	5 apollo_flood
6 -200.0	6 0.0	6 500.0	6 apollo_flood
7 300.0	7 125.0	7 500.0	7 apollo_spot
8 300.0	8 -125.0	8 500.0	8 apollo_spot
9 -300.0	9 -125.0	9 500.0	9 apollo_spot
10 -300.0	10 125.0	10 500.0	10 apollo_spot
300	125	500	apollo_spot


Dialog
Simulation
Actions
Graphiques
Optimisation
Lampes
2D
3D
UV Light intensity (uW/cm²) - 99.768%
* Apollo Spot | o Apollo Flood
609 mm
397 mm
Position Y (mm)
Position X (mm)
0
100
200
300
400
500
600
2880
2700
2520
2340
2160
1980
1800
1620
1440
Light intens (uW/cm²)
Paramètres généraux
Lampes
Paramètres d'optimisation
Résultats chiffrés

Pourcentage surface (%) 99.77

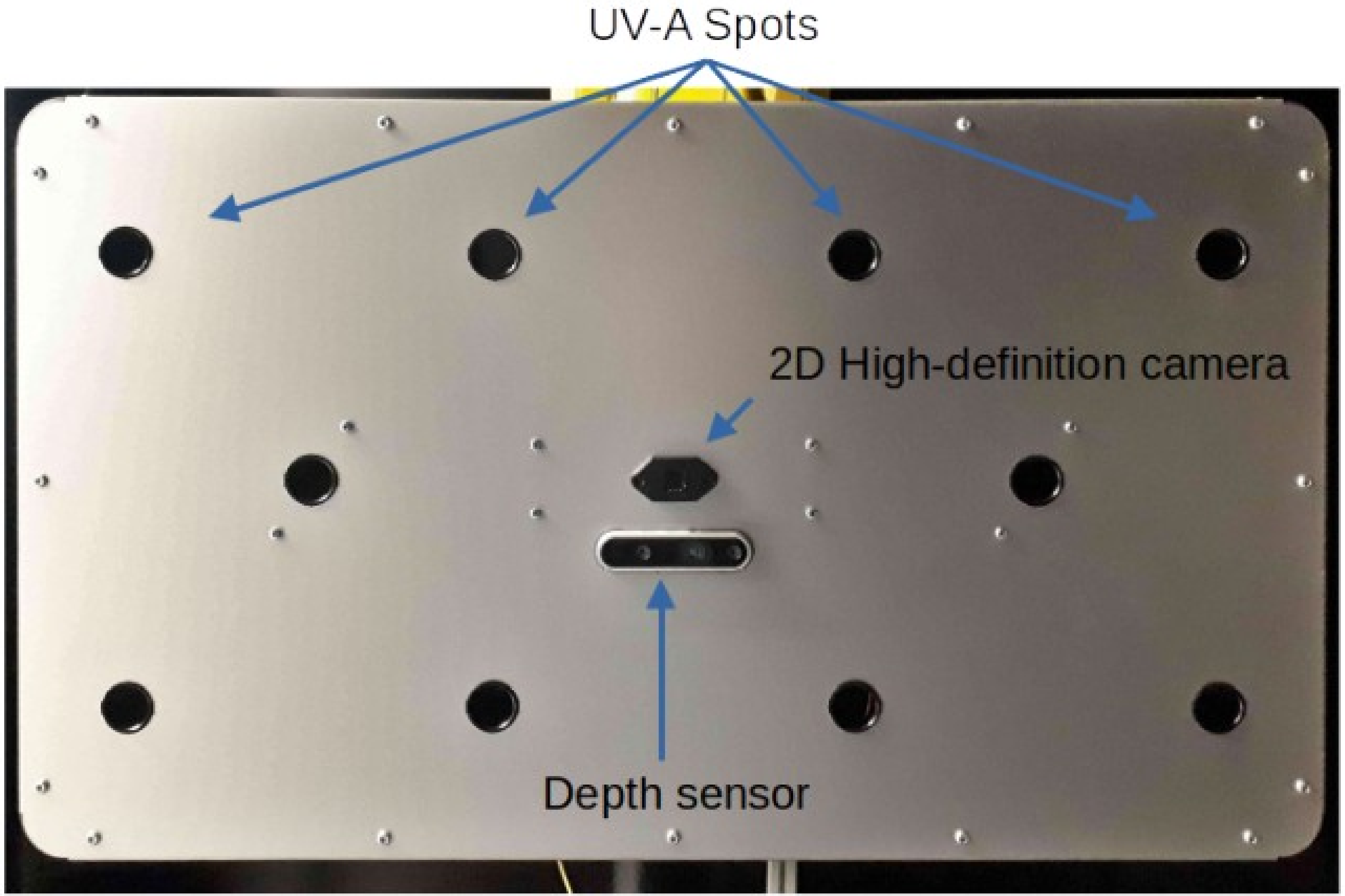
Pourcentage surface rectangle (%) 96.67

Intensité min mesurée (uW/cm2) 1480

Intensité max mesurée (uw/cm2) 2853

Module d’optimisation pour ajuster la position des LEDs automatiquement

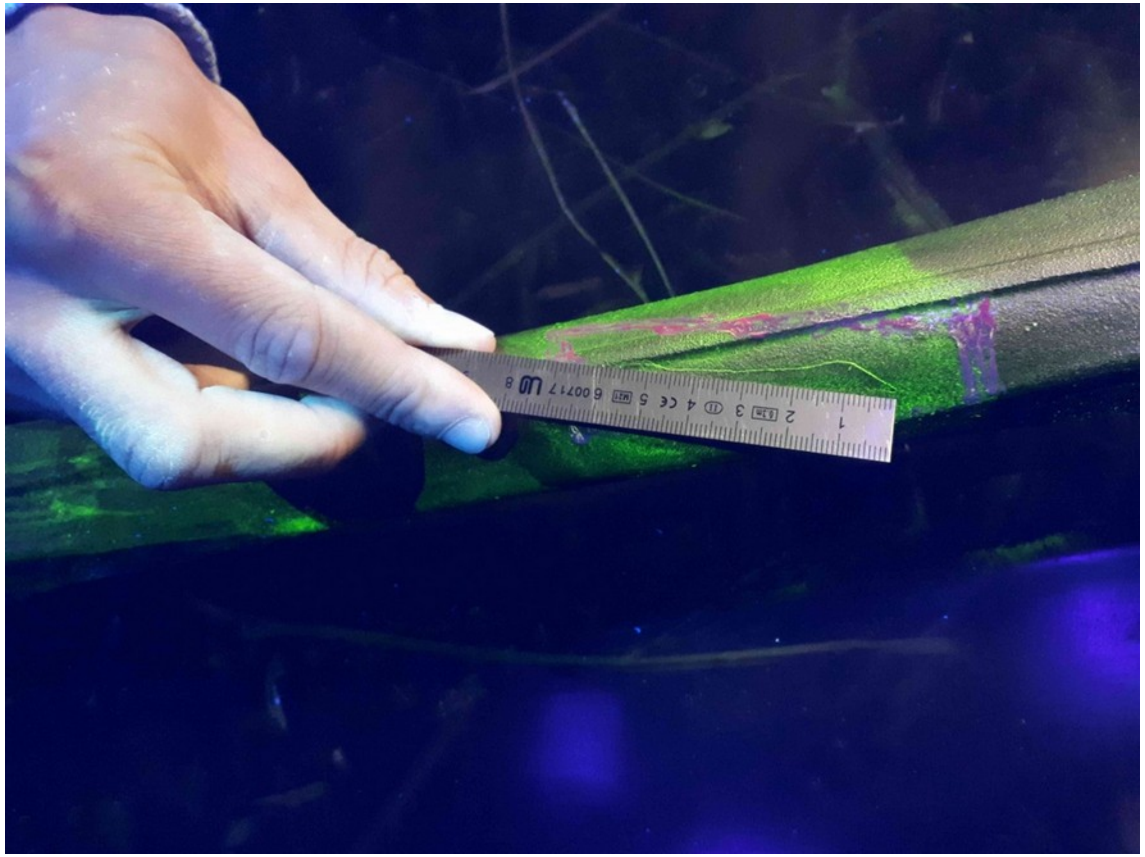
Hardware – PARADES Maxi – tête de vision

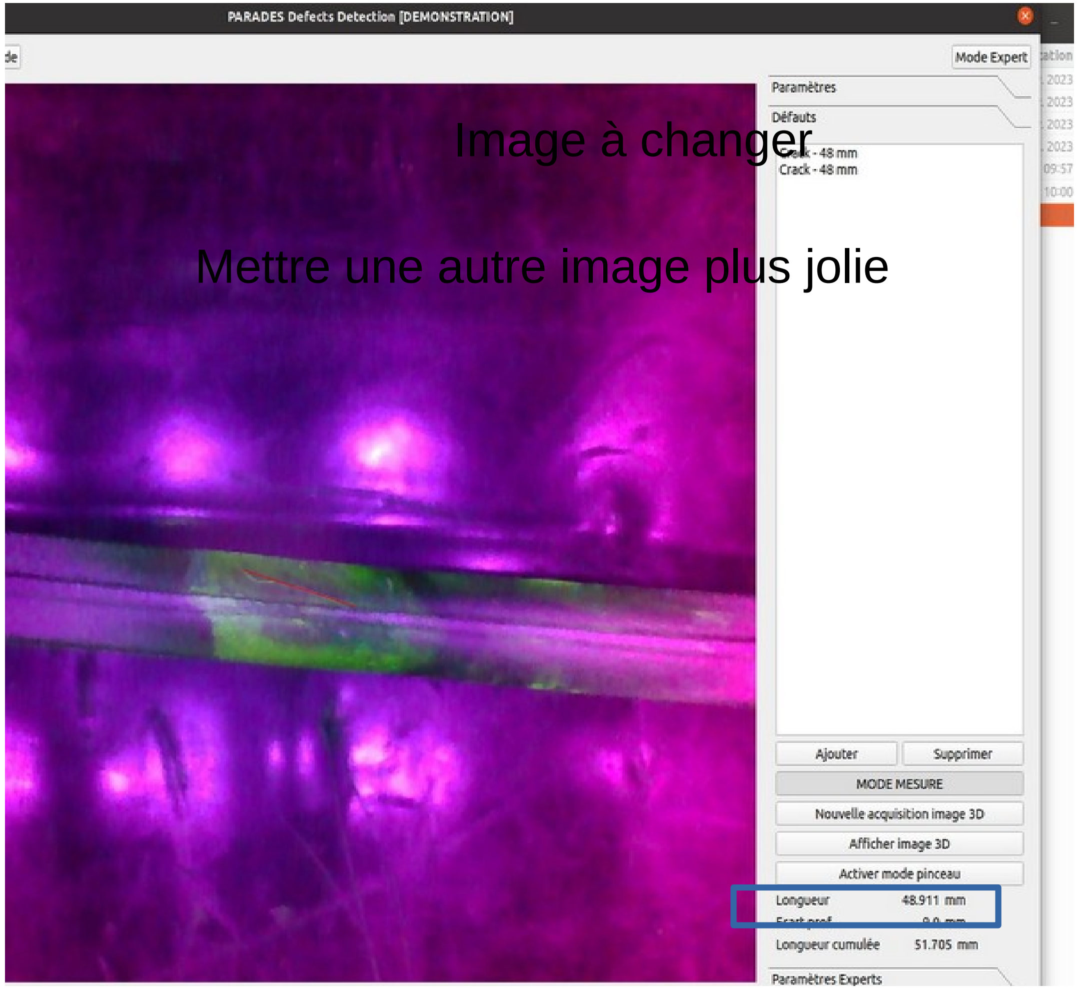

UV-A Spots
2D High-definition camera
Depth sensor

Conception à façon possible

- irradiance
- surface d’inspection
- taille maximale
- etc.

Software – Mesure de longueur




PARADES Defects Detection [DEMONSTRATION]
Mode Expert
Paramètres
Défauts
Ajouter
Supprimer
MODE MESURE
Nouvelle acquisition image 3D
Afficher image 3D
Activer mode pinceau
Paramètres Experts

Crack - 48 mm
Crack - 48 mm

Longueur 48.911 mm
Ecart prof 0.0 mm
Longueur cumulée 51.705 mm

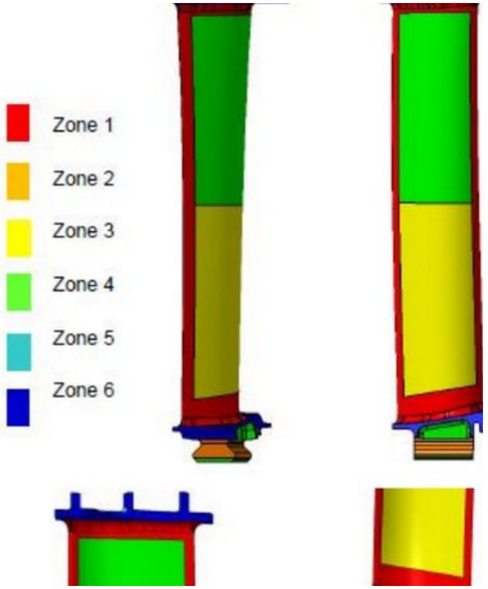
Image à changer

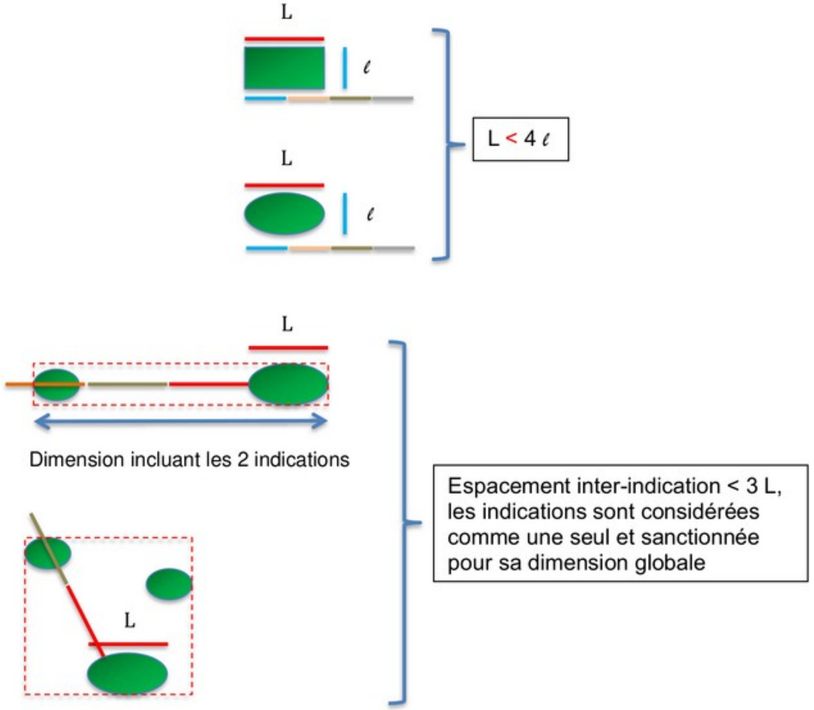
Mettre une autre image plus jolie

Software – Détection de défauts - Option

- Algorithme à façon sur détection
  - Longueur vs largeur
  - Distance entre défauts
  - Zones

Exemple client 1

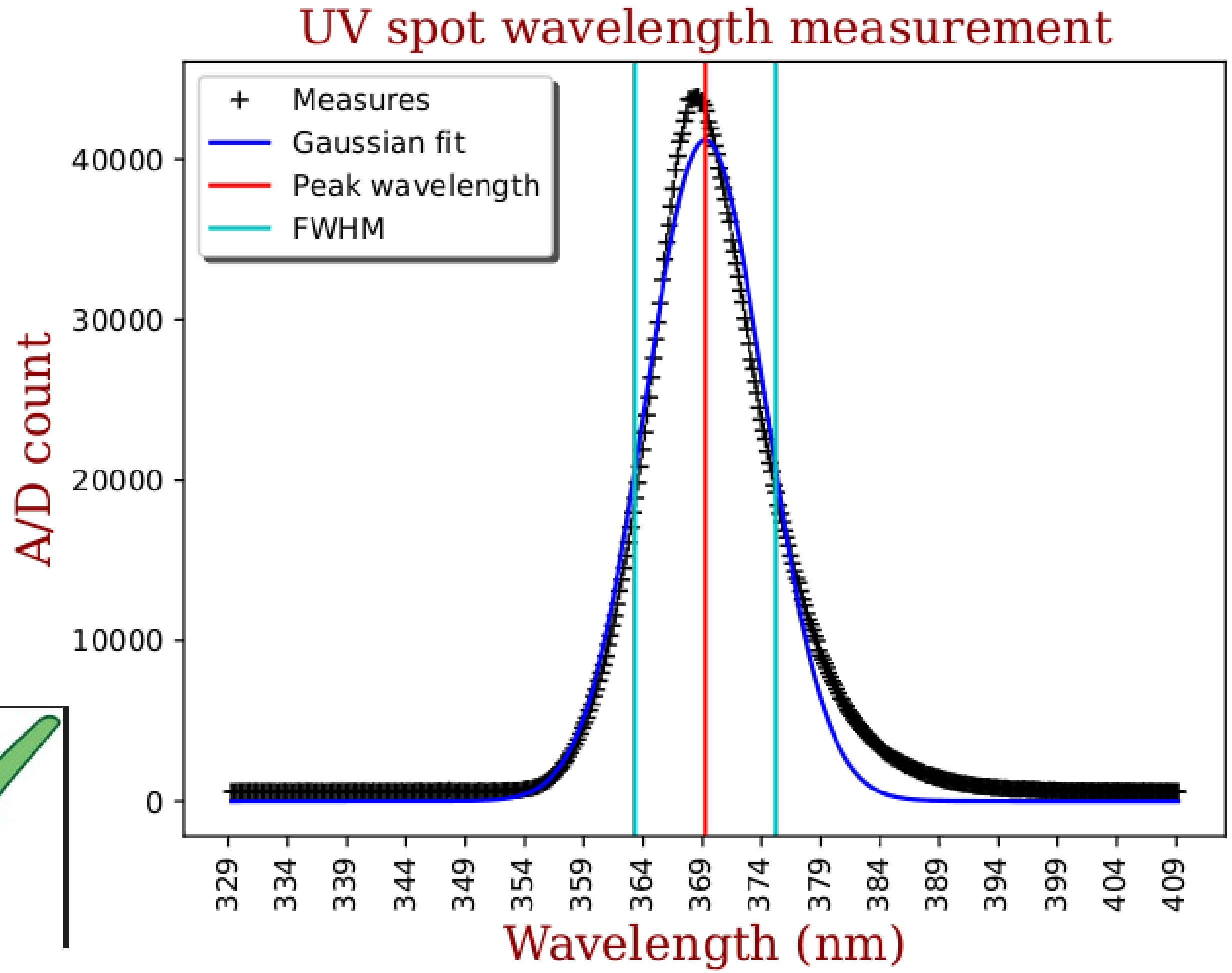

🟥 Zone 1
🟧 Zone 2
🟨 Zone 3
🟩 Zone 4
Zone 5
🟦 Zone 6


L
ℓ
L < 4 ℓ
L
ℓ
L
Dimension incluant les 2 indications
L

Espacement inter-indication < 3 L, les indications sont considérées comme une seul et sanctionnée pour sa dimension globale

Hardware – Eclairage UV – Qualification spectrale

- Matériel
  - Hamamatsu TG-C9404CAH
    - 200 → 400nm
    - Résolution : 1nm
- Résultats
  - Pic : 369nm (365<UV<370nm)
  - FWHM : 11nm (<20nm)



Context

- ANR-funded (research laboratory & NDT company)
  - ImViA: Research laboratory (University of Burgundy, France)
    - Computer Vision & AI
  - CMPhy: NDT Company (Chalon-sur-Saone, France)
    - NDT (FPT, MPI, Eddy current, US)

- France-Relance: 2022 -> 2024
- “LabCom”: 2024->2028

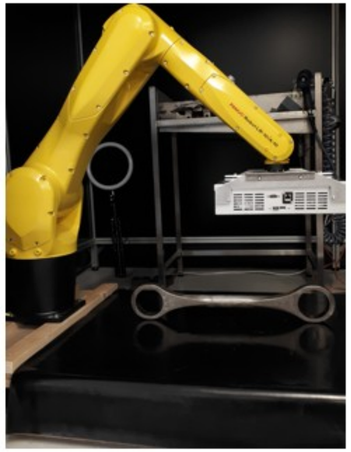
Develop an industrial machine to detect and measure cracks on industrial parts (MPI and FPT)

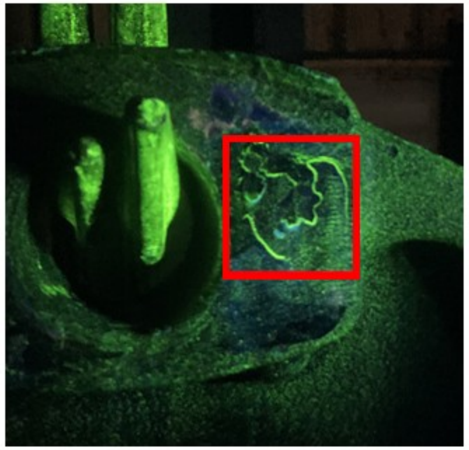
PARADES Software

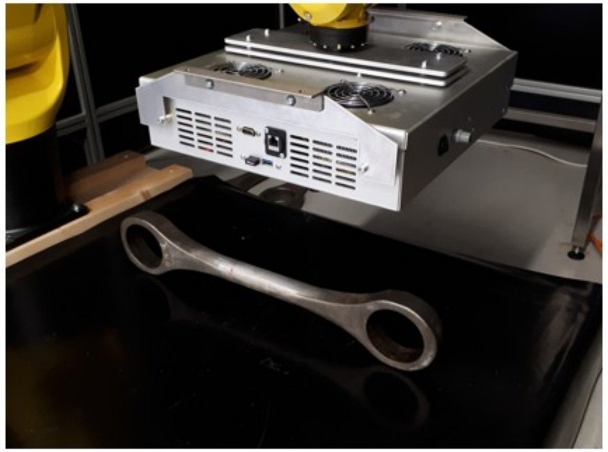
Cofrend’s controller can process control projects previously acquired

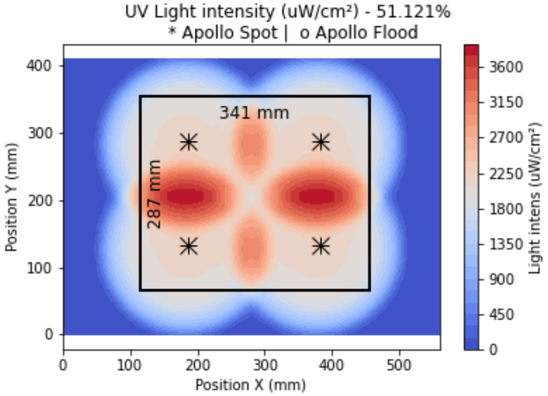
Prototype actuel

- Robot industriel Fanuc
- Tête raspberry avec caméra 64Mp + 4 spot UV 365nm
- Champ de vision/éclairage 280*340mm (trop petit)
- Computer vision classique (hors ligne, labview)
- Beaucoup de seuils à régler

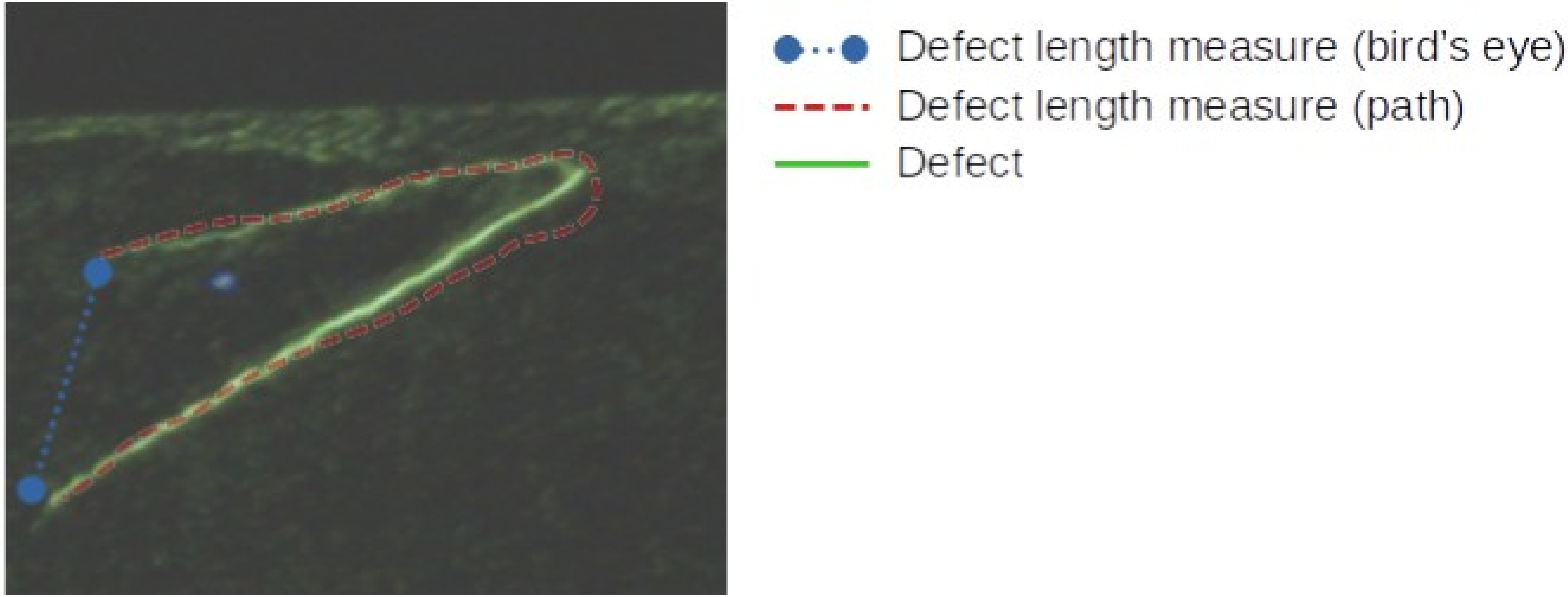




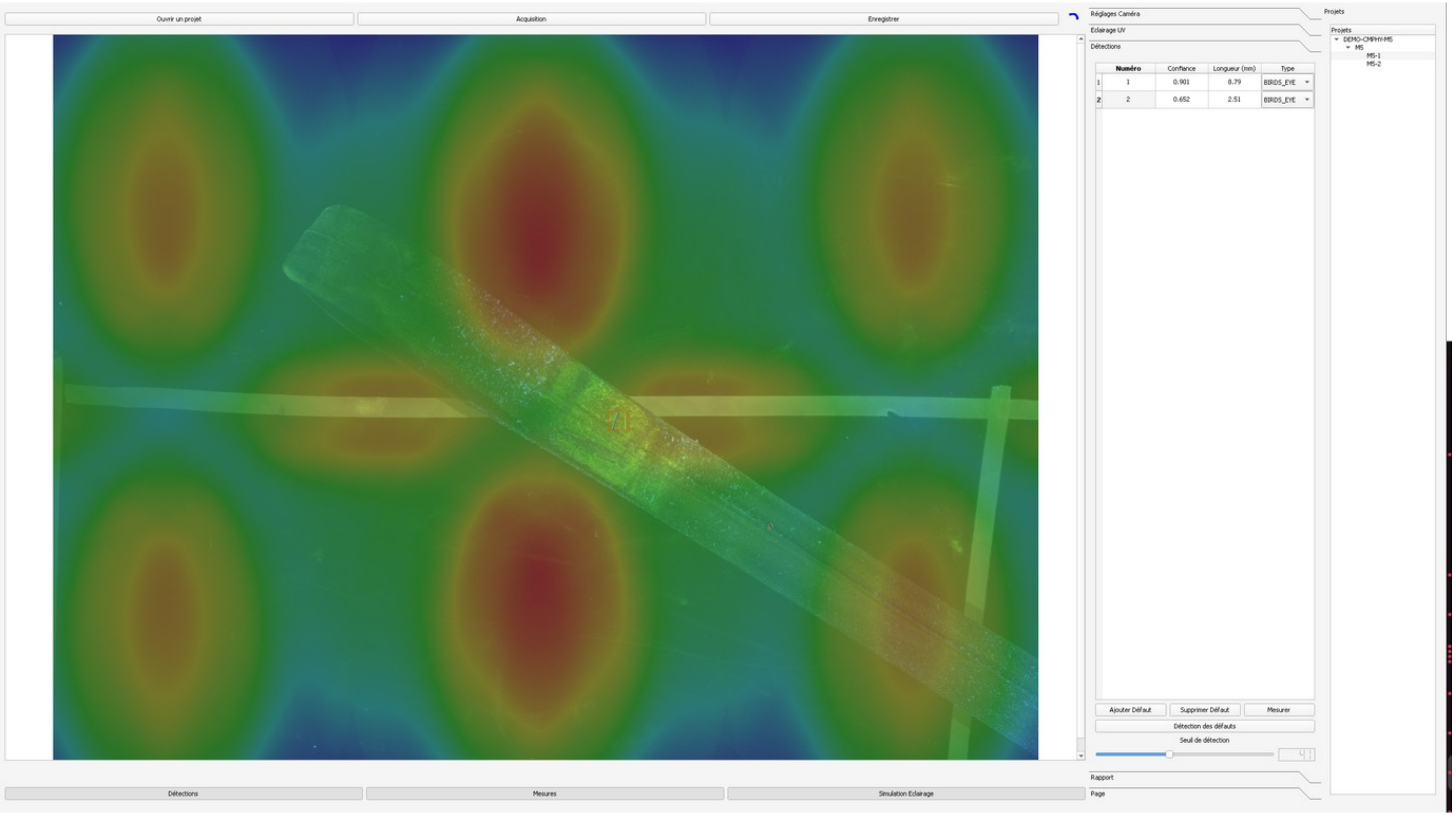




Software – Mesure de longueur – méthodes de calcul


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

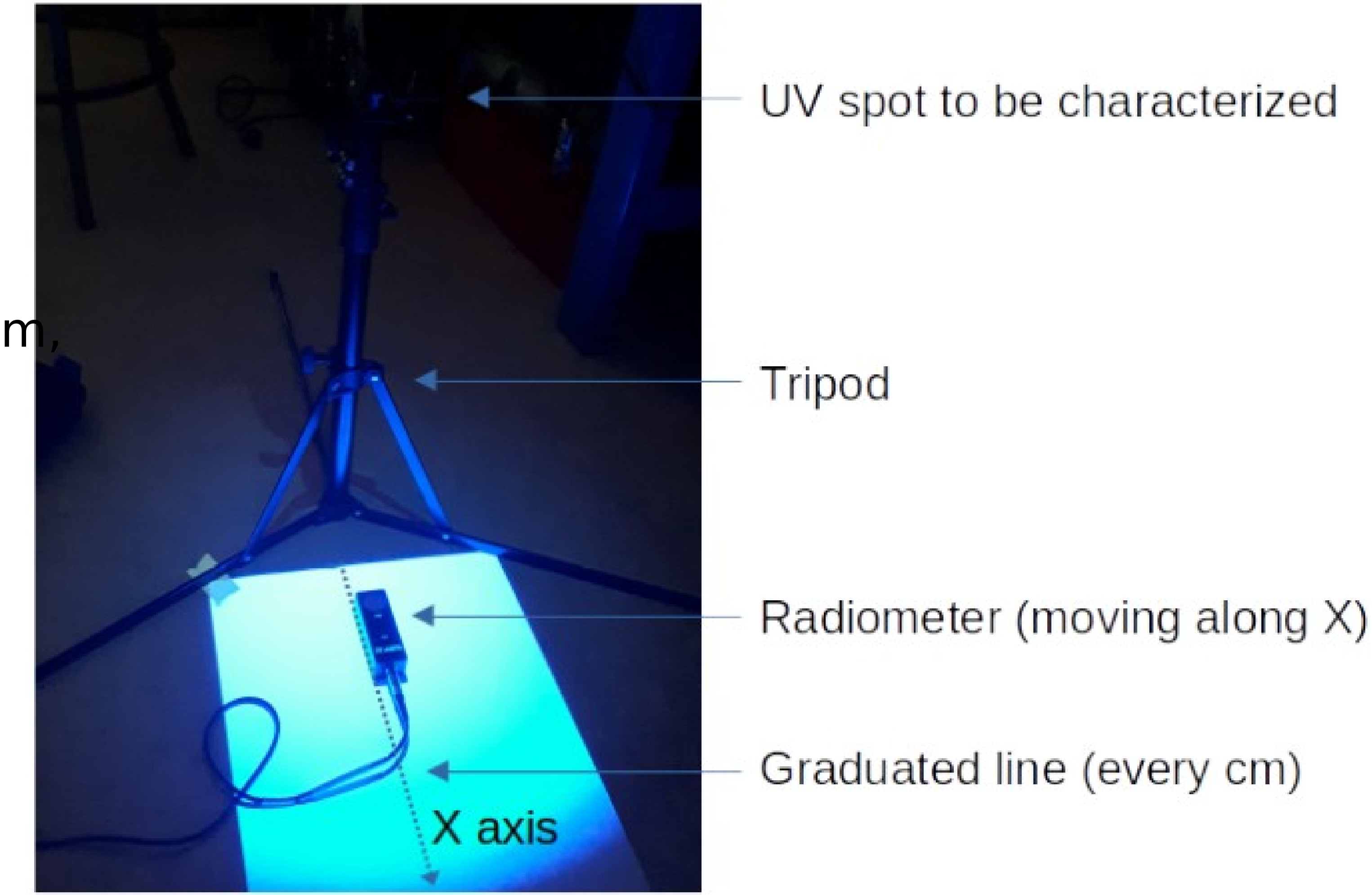
Software – Mesure de longueur – méthodes de calcul


Ouvrir un projet
Acquisition
Enregistrer
Réglages Caméra
Eclairage UV
Détections
Projets
Projets
DEMO-CMPHY-M5
M5
M5-1
M5-2
Ajouter Défaut
Supprimer Défaut
Mesurer
Détection des défauts
Seuil de détection
41
Rapport
Page
Détections
Mesures
Simulation Eclairage

	Numéro	Confiance	Longueur (mm)	Type
1	1	0.901	8.79	BIRDS_EYE
2	2	0.652	2.51	BIRDS_EYE

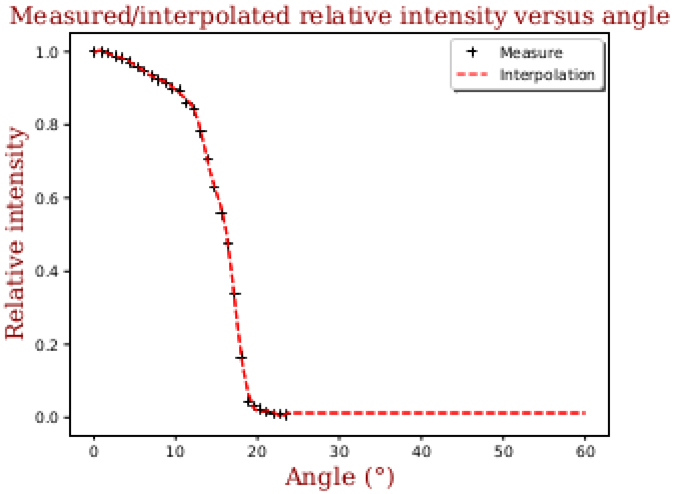
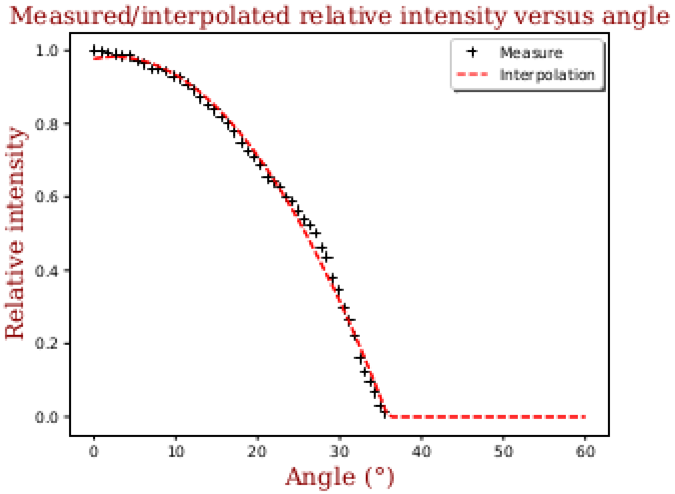
Hardware - Éclairage UV - Setup

- Matériel
  - Radiometre Pfinder UVLuxCHECK
  - Trépied (50cm)
  - Feuille graduée (0→ 40cm, pas de 1cm)


UV spot to be characterized
Tripod
Radiometer (moving along X)
Graduated line (every cm)
X axis

Hardware - Éclairage UV - Caractérisation LEDS

- Besoin
  - Relation angle / intensité
- Méthode
  - Caractérisation d’une LED sur un banc de test avec mesure d’intensité par radiomètre
- Résultat
  - RMSE : 6,20 uW/cm²

Spot