

# Utilisation du Contrôle Non Destructif en phase de production

*Exemple du monitoring in-situ en fusion laser sur lit de poudre (LBM)*

[cassiopee.galy@irt-saintexupery.com](mailto:cassiopee.galy@irt-saintexupery.com)

**COMET CNES – 30 Novembre 2021**

# Fabrication Additive métallique - Fusion sur lit de poudre

Comment garantir la qualité de fabrication de pièces à haute valeur ajoutée (complexes, critiques...) à un coût maîtrisé?



Quels défauts?  
Comment les détecter?

Coût de fabrication



Contrôle non destructifs (CND)

Limiter les rebus

**Contrôle ex-situ**  
(Rayon X, Ultrason, tomographie...)  
Limite de détection

**Contrôle en ligne**  
Détection des défauts au moment de leur génération  
Quelle variabilité procédés vs. Génération de défaut?



Quel outils de contrôle?  
Peut-on identifier des signatures caractéristiques de défauts?  
Quel seuil de détection?

# LBM, monitoring in-situ et contrôle non destructif

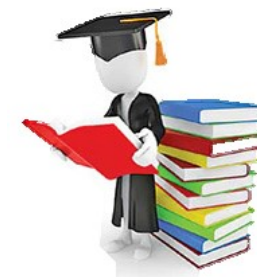
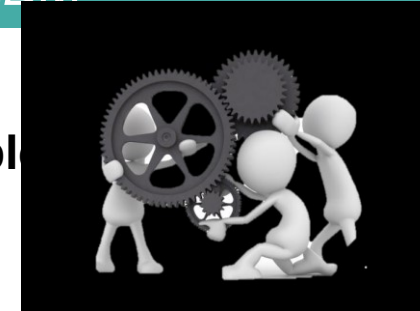
**Projet ANDDURO** → *Développement d'un banc expérimental instrumenté, permettant de reproduire les cinétiques de fusion représentatives du procédé LBM*

**Besoin d'une machine "ouverte" et modulable**



**Industrie**

- Fiabiliser le procédé LBM
- Réduction des coût de production/ Contrôle



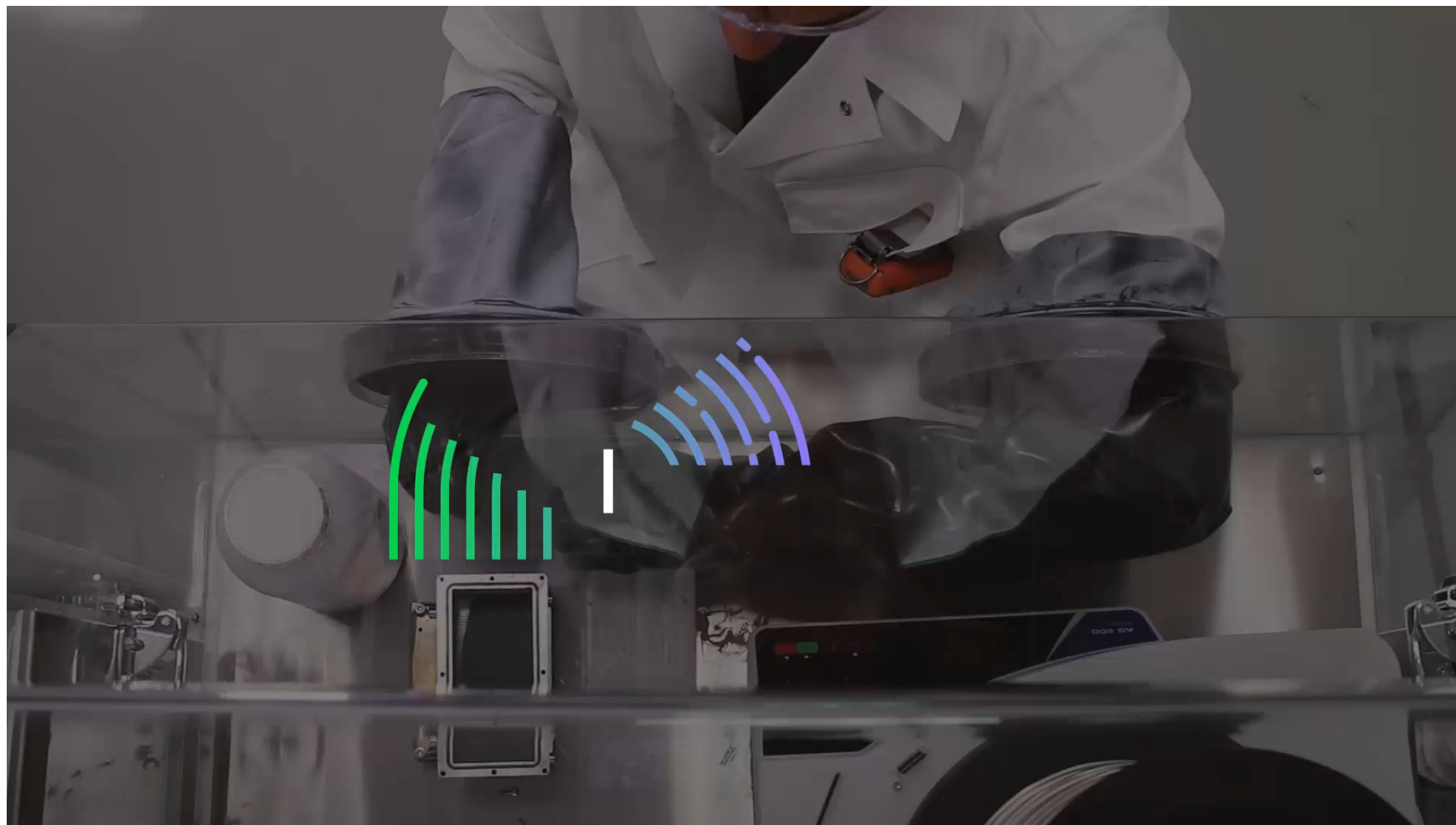
**OLLOPA**



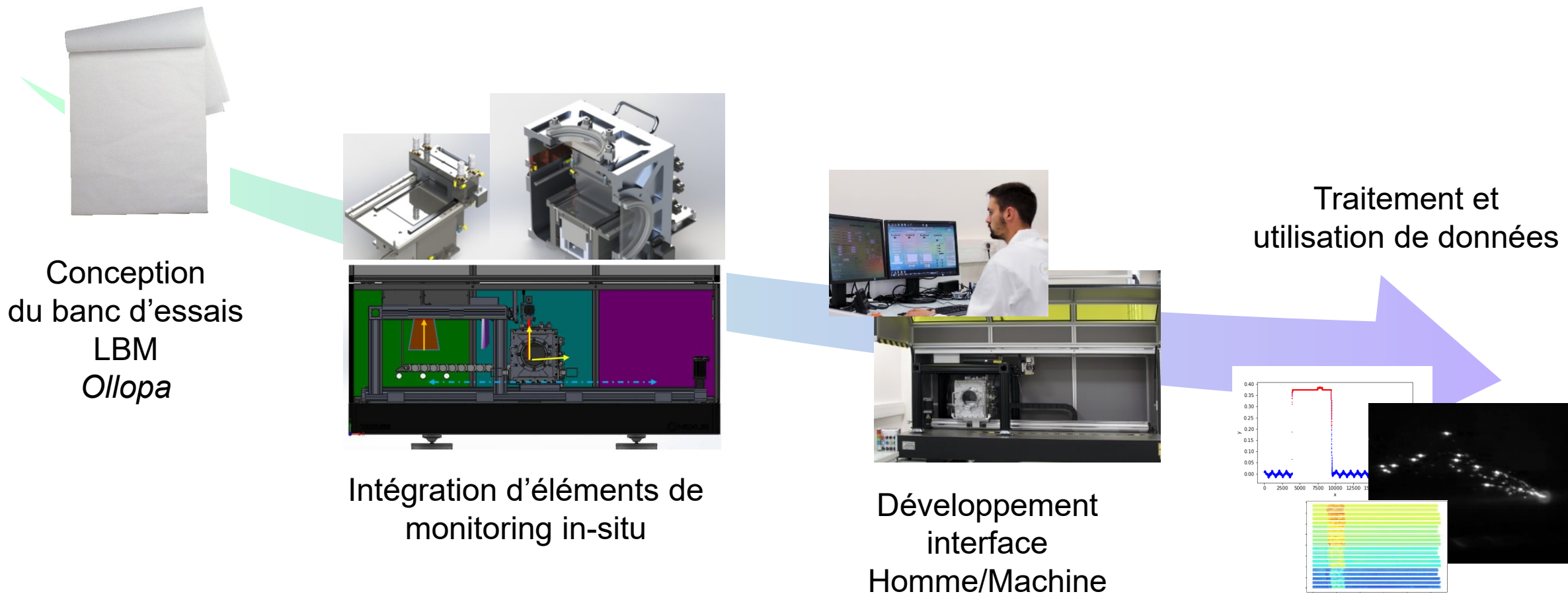
**IRT Saint Exupéry**

- Faire pour maîtriser
- Voir pour comprendre
- Analyser pour apprendre

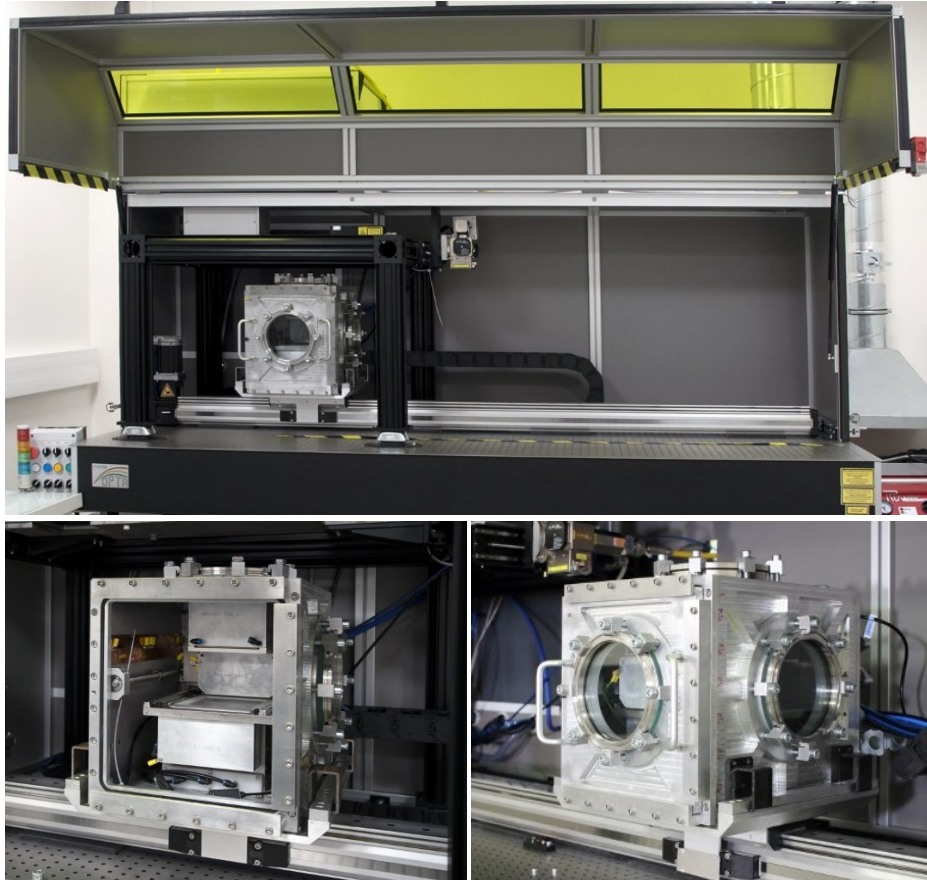
# **OLLOPA par l'IRT Saint Exupéry : un banc expérimental et un environnement destinés au développement du monitoring in-situ en LBM**



# **OLLOPA par l'IRT Saint Exupéry : un banc expérimental et un environnement destinés au développement du monitoring in-situ en LBM**



# **OLLOPA par l'IRT Saint Exupéry : un banc expérimental et un environnement destinés au développement du monitoring in-situ en LBM**



## **Zone de construction**

- 100 x 100 x 30 mm
- Sous atmosphère protectrice (Ar), environnement ou vide primaire
- Pas de descente plateau: 5  $\mu\text{m}$

## **Matériaux**

- Poudres métalliques, 20-63  $\mu\text{m}$
- Tous les alliages métalliques

## **Source laser (Raylase)**

- $\lambda = 1070 \text{ nm}$
- $P_{\text{max}} = 700\text{W}$
- $\Phi_{\text{spot}} = 80 \mu\text{m}$
- 2 modes de travail possibles:

*mode « Fixe »*

*mode « Scanner »*

*Travaux réalisés en collaboration avec R.Kromer & E.Lacoste (I2M)*

# OLLOPA par l'IRT Saint Exupéry : un banc expérimental et un environnement destinés au développement du monitoring in-situ en LBM



## Integration du monitoring in-situ

→ 2 modes de récupération de l'information

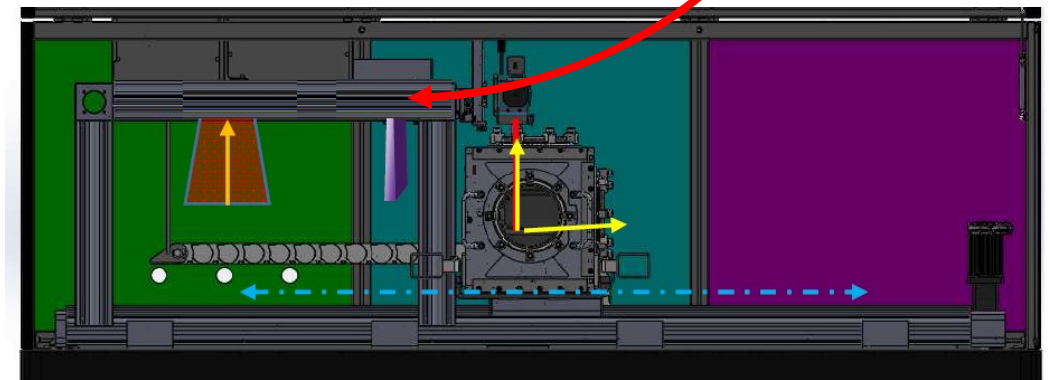
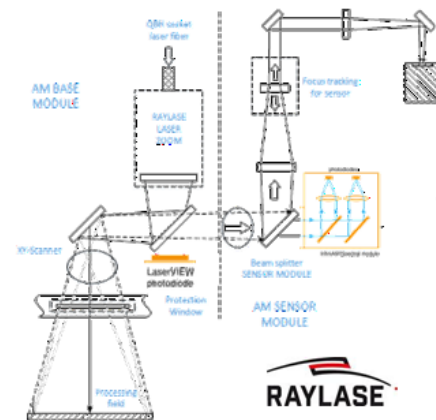
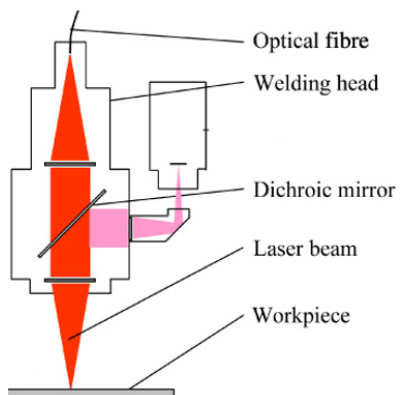
- Information coaxiale via le chemin optique laser

- Capteurs déportés

- *Caméra rapide*
- *Photodiodes*



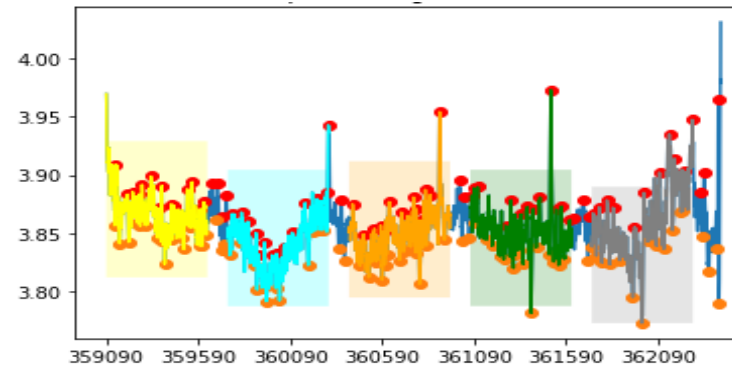
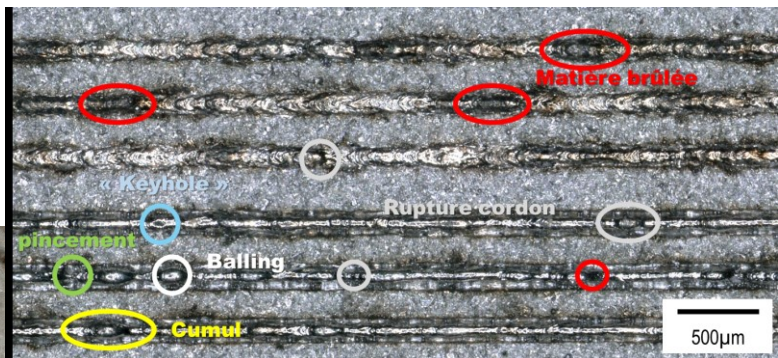
- *Profilomètre*



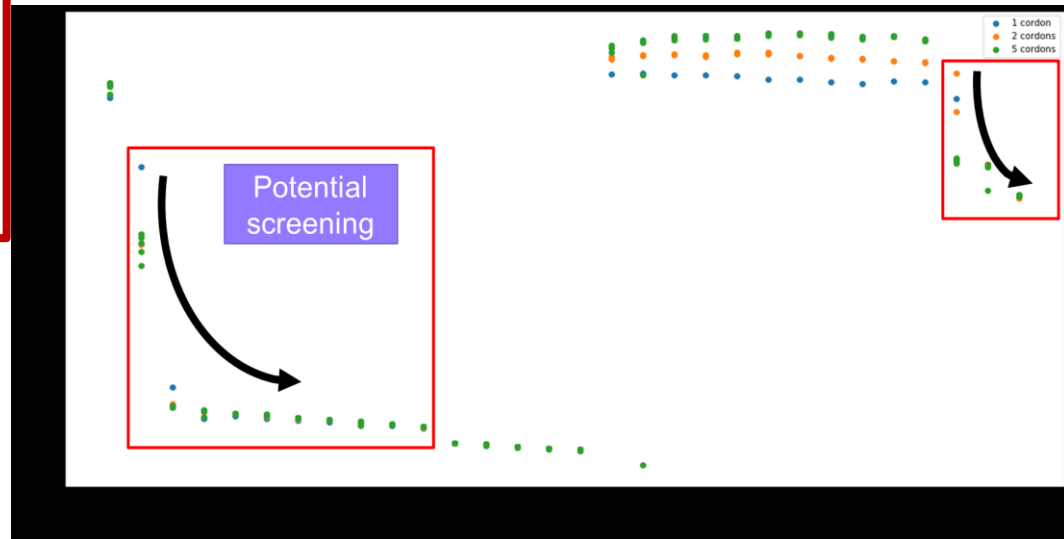
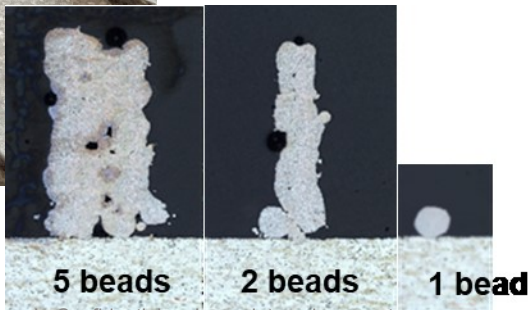
# OLLOPA par l'IRT Saint Exupéry : un banc expérimental et un environnement destinés au développement du monitoring in-situ en LBM

## Analyse par observations optiques

## Analyse des signaux photodiode



- Développement paramétrique
- Signatures de défauts
- Analyses statistiques
- Interaction laser/matière
- Etc...



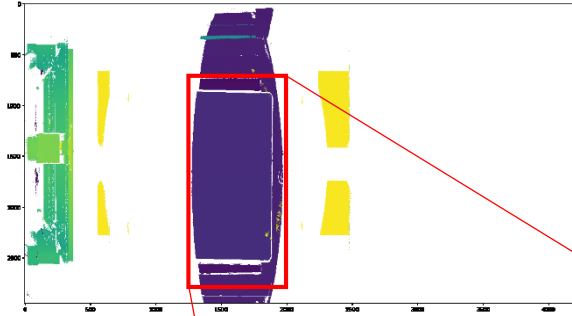
Travaux réalisés en collaboration avec R.Kromer & E.Lacoste (I2M)



# OLLOPA par l'IRT Saint Exupéry : un banc expérimental et un environnement destinés au développement du monitoring in-situ en LBM

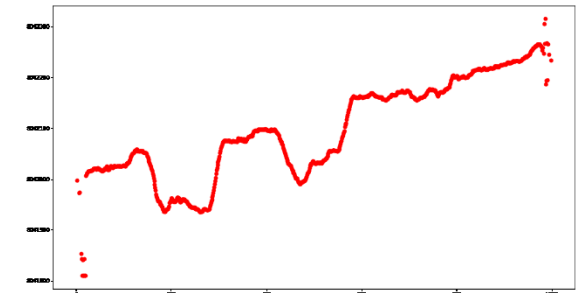
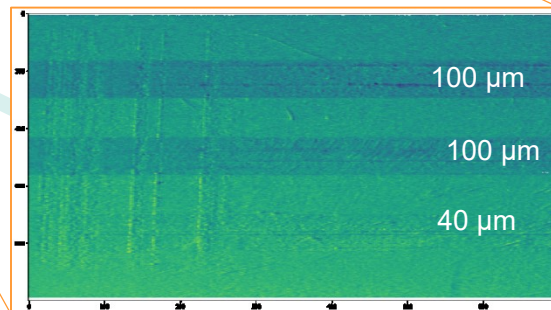
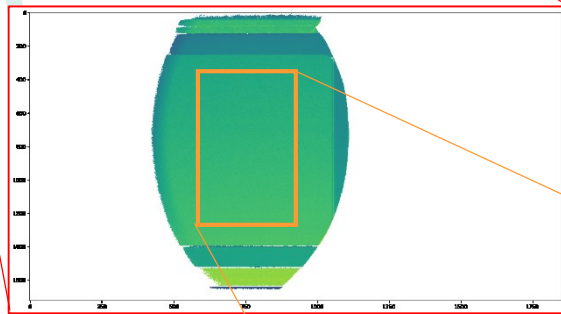
## Evaluation – Exemple du profilomètre

→ Only partial captation

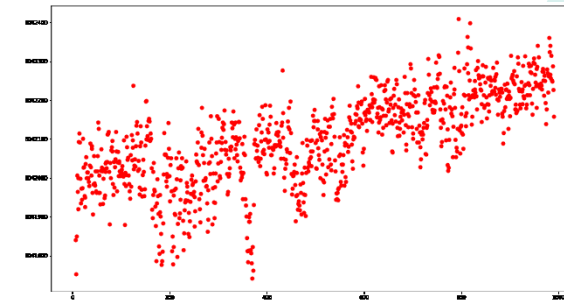


Intérêt avéré de l'utilisation du profilomètre pour la détection d'anomalies / irrégularités dans le lit de poudre

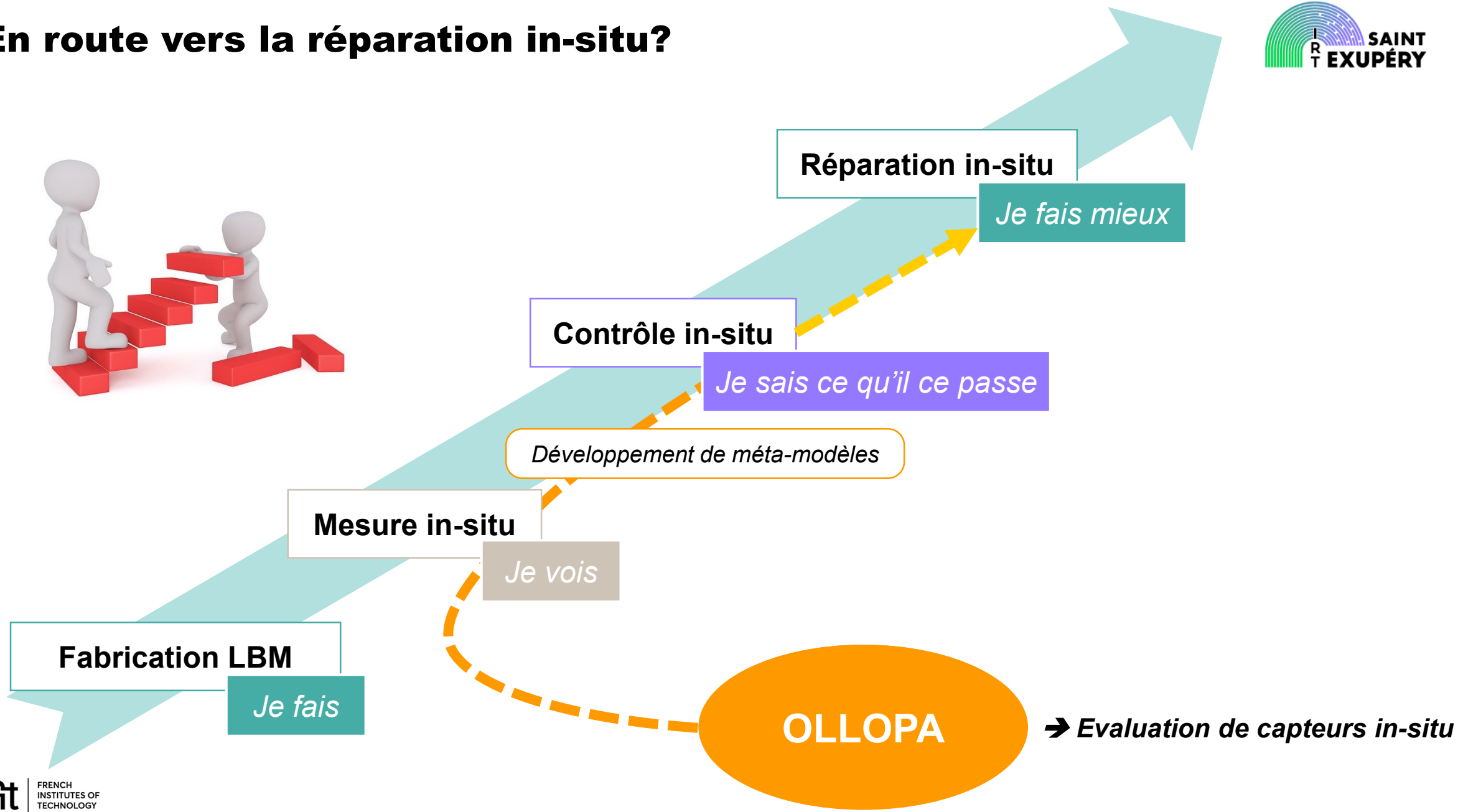
Après traitement des données  
→ Seuil de détection à 40 µm



Smoothing (median filter 30 neighbors)



# En route vers la réparation in-situ?



**Fabrication LBM**

*Je fais*

**Mesure in-situ**

*Je vois*

*Développement de méta-modèles*

**Contrôle in-situ**

*Je sais ce qu'il se passe*

**Réparation in-situ**

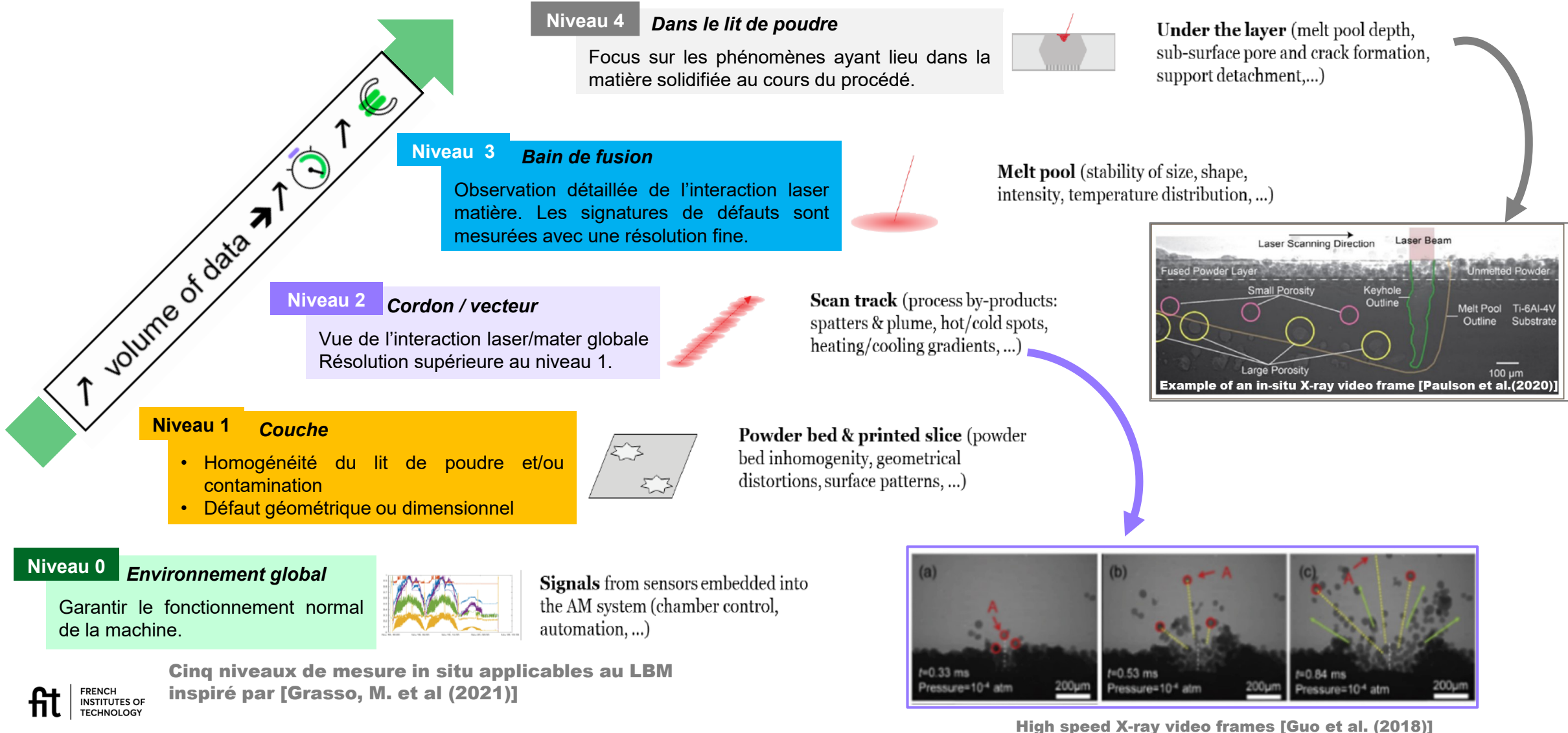
*Je fais mieux*

**OLLOPA**

➔ *Evaluation de capteurs in-situ*

# En route vers la réparation in-situ?

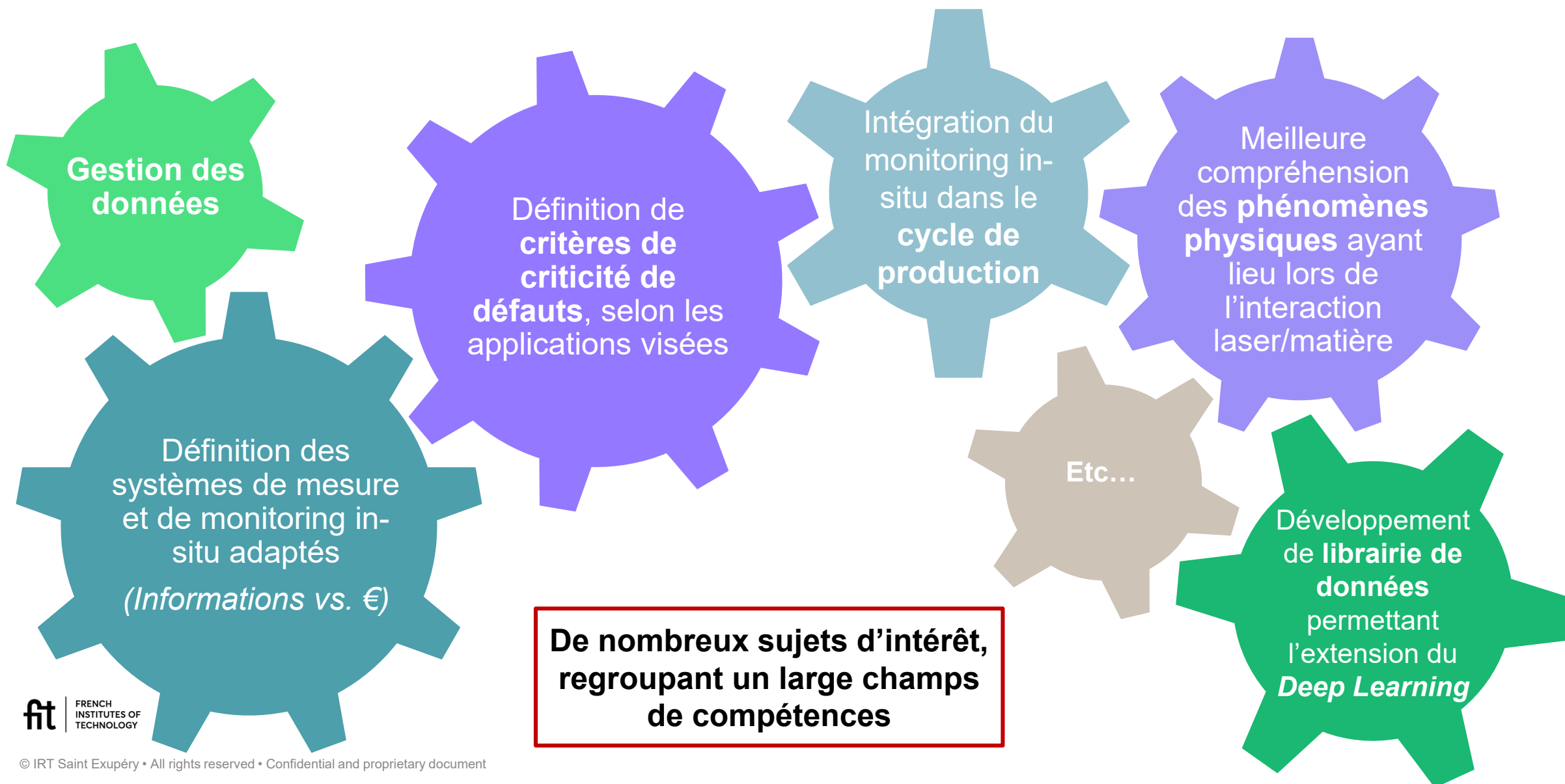
## Echelle de mesure et niveau d'informations



Cinq niveaux de mesure in situ applicables au LBM inspiré par [Grasso, M. et al (2021)]

# En route vers la réparation in-situ?

## Exemple de verrous technologiques



# L'IRT Saint Exupéry un écosystème propice au développement du monitoring in-situ



Apprentissage avancé

**Intelligence artificielle**

Optimisation multi-disciplinaires

Ingénierie des systèmes

Connectivité et détection autonomes

Matériaux Métalliques et Procédés



IRT Saint Exupéry

=

De nombreuses compétences co-localisées

+

Un moyen ouvert et modulable

→ Pour aller plus loin vers la maîtrise en ligne du procédé



---

# Merci de votre attention

[cassiopee.galy@irt-saintexupery.com](mailto:cassiopee.galy@irt-saintexupery.com)

30/11/2021

# References

- **Grasso, M. et al (2021)** In-situ measurement and monitoring methods for metal powder bed fusion- an updated review, *Measurement Science and Technology*
- **Guo, Q., et al (2018)** Transient dynamics of powder spattering in laser powder bed fusion additive manufacturing process revealed by in-situ high-speed high energy X-ray imaging. *Acta Materialia*, 151, pp.169-180.
- **Paulson et al.(2020)** Correlations between thermal history and keyhole porosity in laser powder bed fusion. *Additive Manufacturing*, 101213.