PROGRAMMATION DES FONDS STRUCTURELS EUROPEENS 2021-2027

Comité de pilotage
« WI³NING »
11/02/2026

Introduction

- Wi^{3}ning = portefeuille de projets de recherche de TRL 3 à 6
- Centré sur le **développement de procédés innovants, notamment en fabrication additive et par hybridation technologique**
- Objectif : **accélérer le déploiement vers le monde industriel**
- Constitué de **4 volets techniques**
- Consortium de **9 partenaires**

Cofinancé par l'Union européenne

4 Volets techniques

Multi-matériaux fonctionnels (applications énergie) – design et process associés

Réparation à partir d'aluminium (multisecteur) **- Repair**

Industrialisation / fiabilisation des procédés de manufacturing - **Robustesse**

AM Durable : Outils décisionnels avec étude des impacts que ce soit au niveau des matériaux et des process

Contacts

- CRM Group - Chef de file + coordinateur volet Repair
  cedric.georges@crmgroup.be & Karl.sofinowski@crmgroup.be
- Cenaero - arnaud.francois@cenaero.be
- CRIBC - g.martic@bcrc.be
- Materia Nova – Responsable du volet AM Durable
  Anastasia.Greget@materianova.be & Axel.Hemberg@materianova.be
- Sirris – Responsable du volet Robustesse
  julien.magnien@sirris.be, olivier.rigo@sirris.be & thomas.kairet@sirris.be
- UCLouvain IMAP - maxime.bardiau@uclouvain.be & pascal.jacques@uclouvain.be
- ULB 4MAT – Responsable du volet multi-matériaux fonctionnels
  stephane.godet@ulb.be & alexia.chabot@ulb.be
- Uliege GREEnMat - Frederic.Boschini@uliege.be, pierre.colson@uliege.be & nsomers@uliege.be
- UMons - laurent.spitaels@umons.ac.be, Edouard.RIVIERELORPHEVRE@umons.ac.be & francois.ducobu@umons.ac.be

www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

PRESENTATION

Multimatériaux fonctionnels

LIÈGE université

CRIBC
member of EMRA

innovation forward

MATERIA NOVA Materials R&D Center

ULB

UCL Université catholique de Louvain

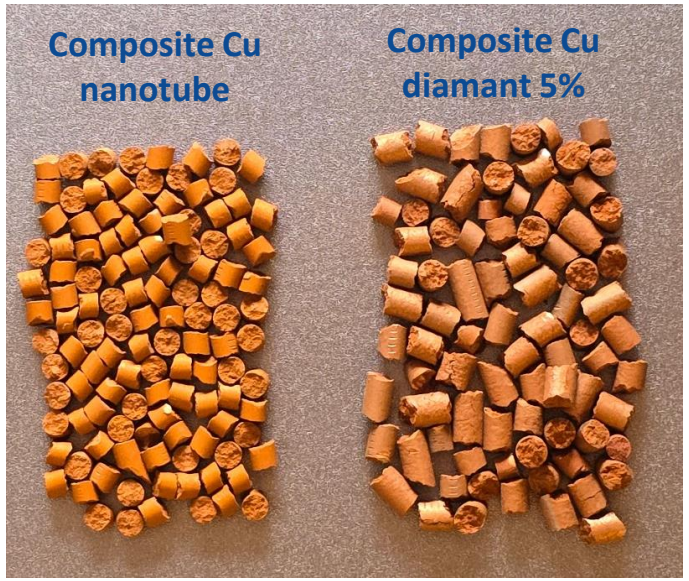
Matériaux fonctionnels : structure

	Volet	Multimatériaux fonctionnels - 1			
		1	2	3	4
	Tâches	Alloy Design	Production de feedstock	Mise en œuvre	Digitalisation des procédés
Bénéficiaires					
CRM-Group	1				
Cenaero	2				
CRIBC	3		3.1.2	3.1.3	
Materia Nova	4		4.1.2		
Sirris	5		5.1.2	5.1.3.	5.1.4
UCLouvain	6	6.1.1	6.1.2		6.1.4
ULB	7				
ULiege	8		8.1.2	8.1.3	
Umons	9				

Développement de feedstock Cu

Développement de feedstock Cu avec additifs pour améliorer la conduction thermique et résistance mécanique

Formulation de composites Cuivre-Carbone



étude rhéologique approfondie pour l'optimisation de la formulation des feedstocks

- ✓ conductivité thermique augmentée et stabilité dimensionnelle
- ✓ amélioration de la résistance à l'abrasion de surface

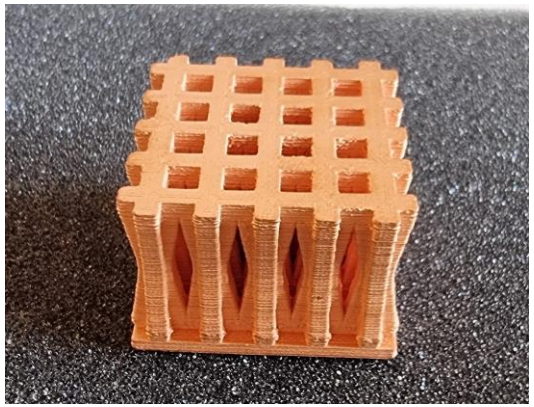
Avancées:

- ❖ Rhéologie (comportement de la pâte) validée ✓
- ❖ Impression et Déliantage à l'eau réussis pour le Cu-CNT ✓
- ❖ En cours : Frittage (en attente maintenance four) et tests thermiques (Laser Flash).

Cofinancé par l'Union européenne

Démonstrateurs base cuivre

- **Capacité PAM :** Réalisation de structures impossibles à usiner dans la masse.
- **Démonstrateurs réalisés :**
  - Structures Lattices (allègement).
    - Gyroïdes (échangeurs thermiques / Heatsinks).
- **Visibilité :** Pièces présentées au salon Formnext (Francfort) sur le stand Pollen AM.



Heatsink fritté

avant frittage

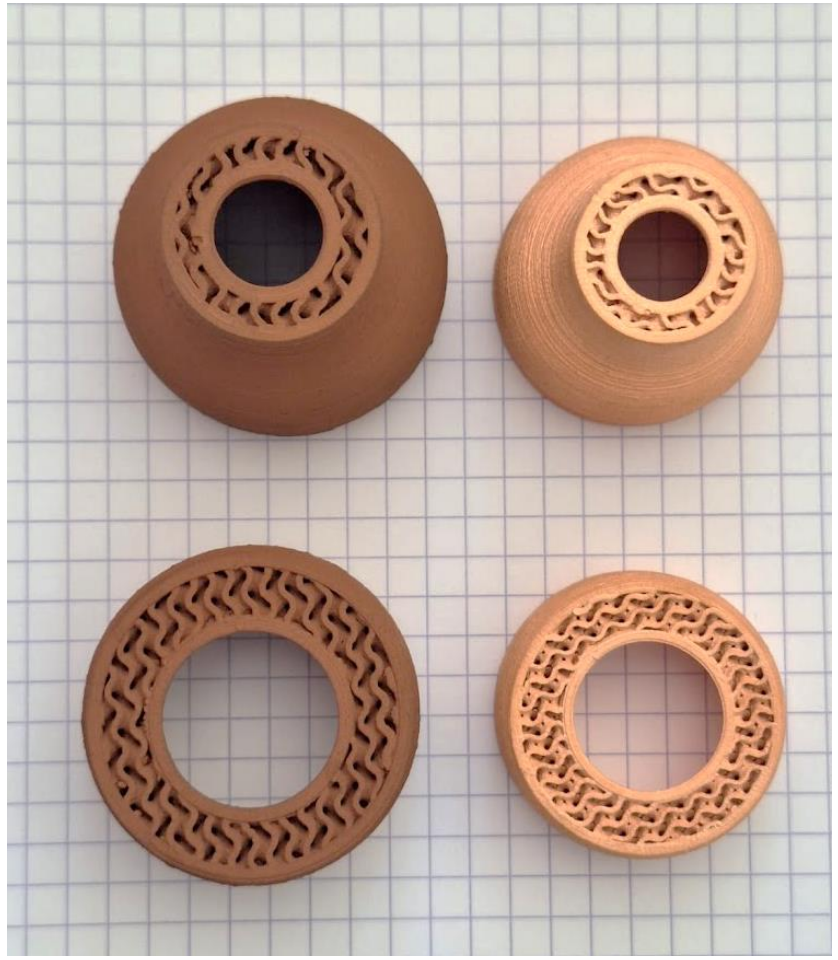
après frittage

Scaffold en cuivre géométrie type gyroïde imprimé par PAM

Démonstrateurs base cuivre

Démonstrateurs base cuivre de géométrie complexe

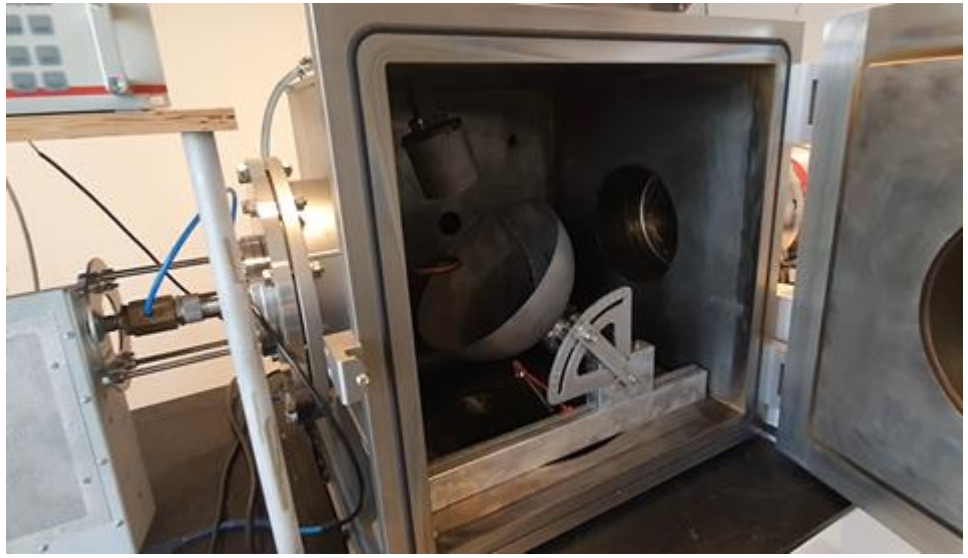
- Au-delà de l'usinage traditionnel



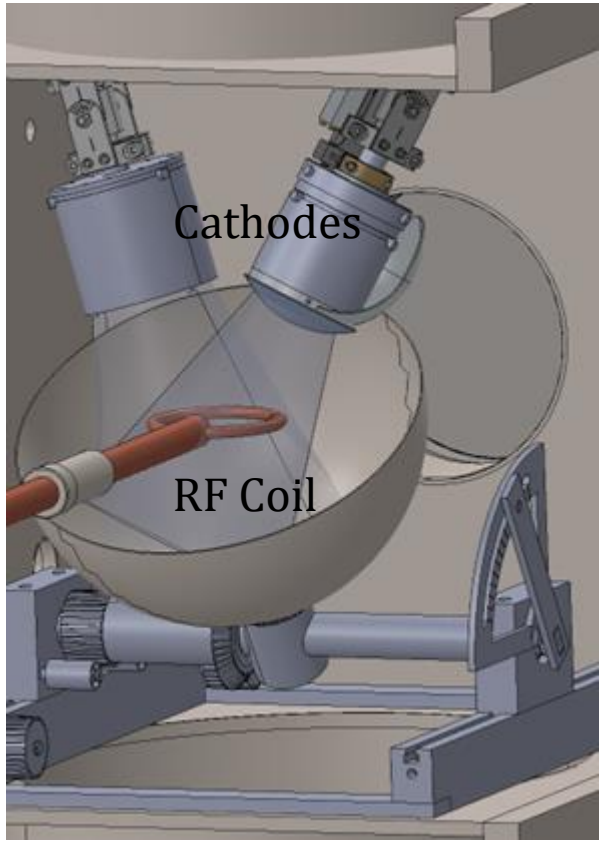
Echangeur thermiques: avant et après frittage

Modification des poudres

1/ Réacteur plasma pour la modification des poudres dans un bol rotatif: **Sputtering Magnétron**



ABBEADS 2



<u>Processus expérimental (Abbeads 1et 2, Plameco):</u>

- **Procédé à sec**
- **Volume de traitement : 0,1 à 6 litres**
- **Poudres : 1 à 500 µm**
- **Petites pièces et billes : de mm à cm**
- **1 ou 2 cathodes ; bobine RF**
- **Tous types de revêtements (oxyde, nitrure, carbure...)**
- **Fonctionnalisation,oxydation/réduction**

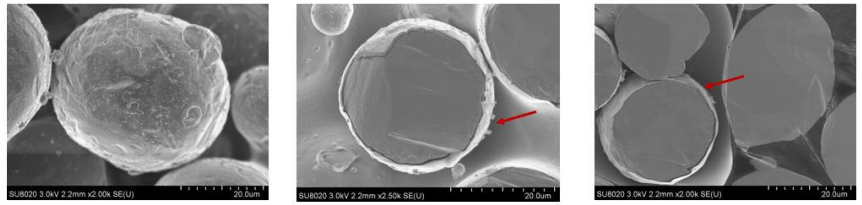


Image en microscopie électronique d'une poudre revétue avec la technologie plasma

MATERIA NOVA Materials R&D Center

www.enmieux.be

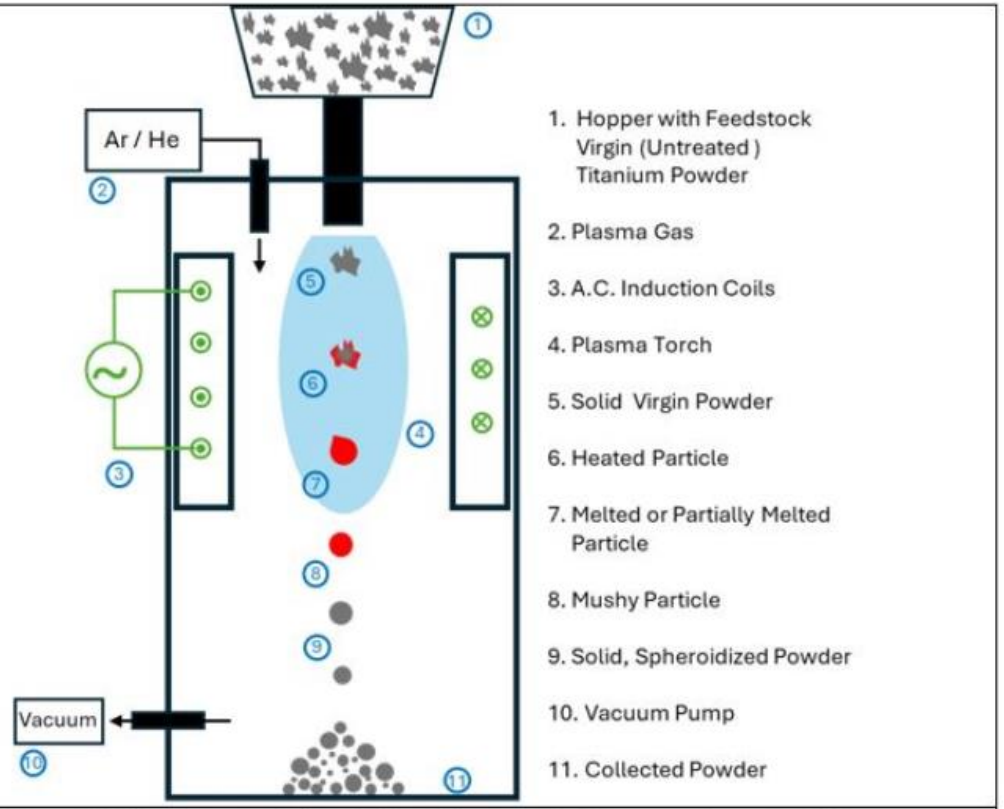
Cofinancé par l'Union européenne

Wallonie

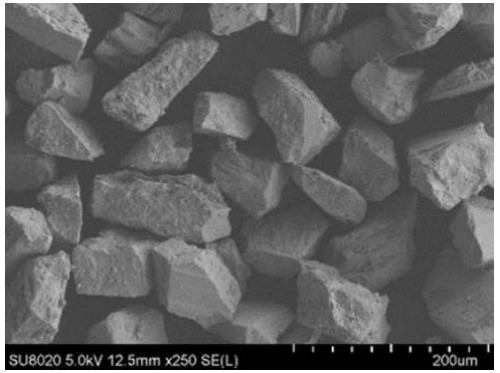
Modification des poudres

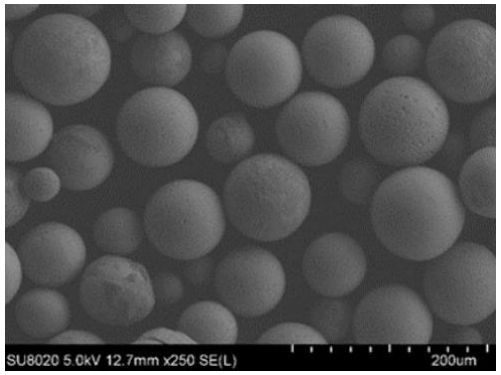
2/ Technologie plasma (ICP) utilisée pour sphéroïdiser les poudres: **TEKSPHERO-15**

Torche de Sphéroïdisation TEKNA



Procédé de « sphéroïdisation » de la poudre de Titane par plasma thermique





Modification des poudres

3/ Optimisation chimique et fonctionnelle des feedstocks (en cours)

- **Alliages NdFeB (Néodyme-Fer-Bore) :** Ajustement de la teneur en **Aluminium (Al)** afin d'optimiser la résistance à la corrosion et d'améliorer la coercivité (résistance à la démagnétisation).

- **Alliages FeSi (Fer-Silicium) :** Adaptation de la concentration en **Silicium (Si)** pour accroître la résistance mécanique, la magnétisation à saturation et la résistivité électrique.

- **Alliages CuZrCr (Cuivre-Zirconium-Chrome) :** Modulation de la fraction de **Chrome (Cr)** pour améliorer les propriétés d'usage, notamment la coulabilité et les performances en service.

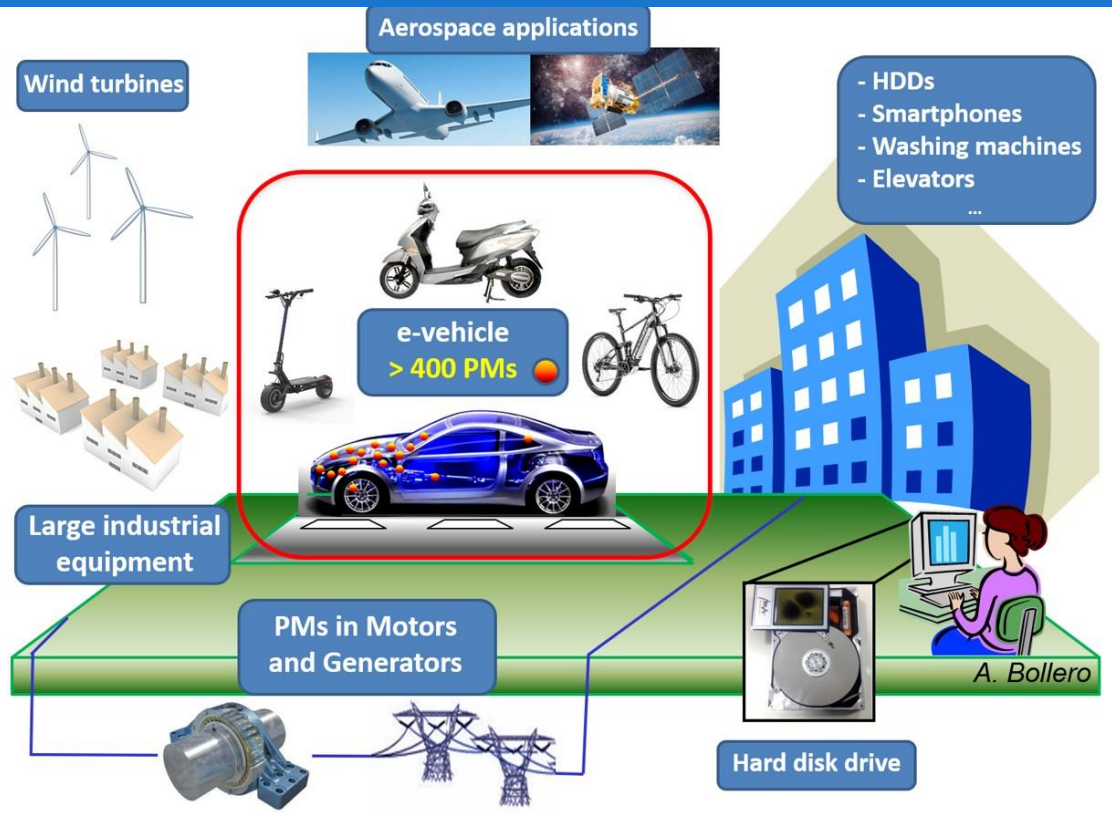
UCLouvain

iMMC

Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (iMMC)

Design & processing of Rare Earth – free hard magnetic materials

Massive Electrification → Significant increase in demand for permanent magnets → High dependence on REE



Wiining
February 2026

P.J. Jacques, M. Bardiau
pascal.jacques@uclouvain.be
maxime.bardiau@uclouvain.be

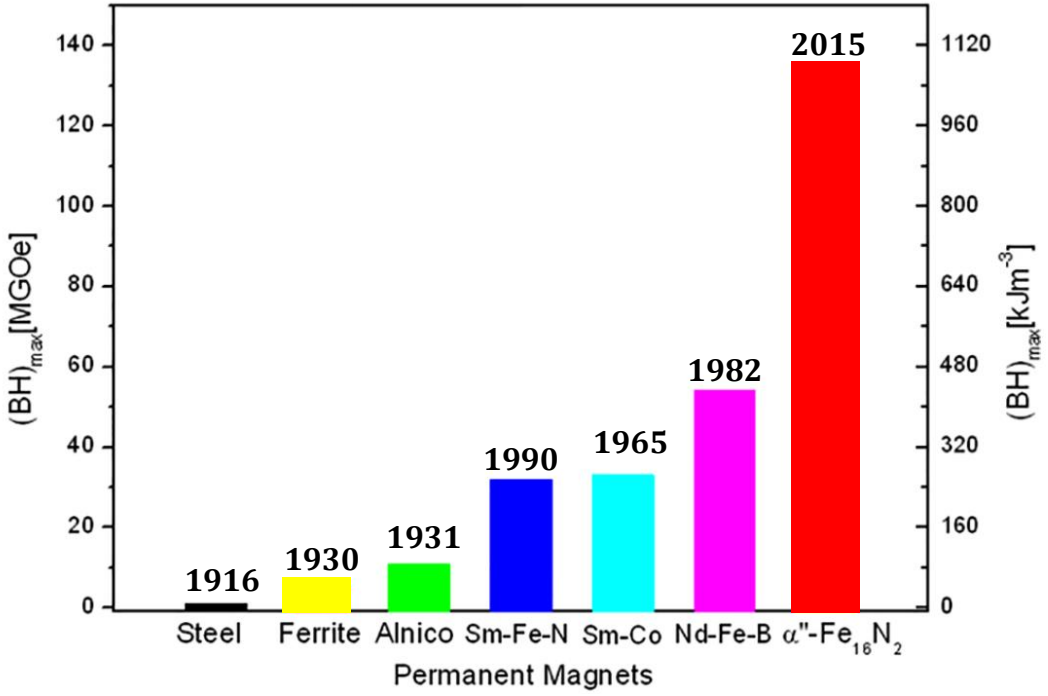
UCLouvain

iMMC

Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (iMMC)

Design & processing of Rare Earth – free hard magnetic materials

Investigated solution: Fe-N based materials



Challenge:

Metastable compound
(both chemically and structurally)

→ Control of the processing route

Wiining
February 2026

UCLouvain

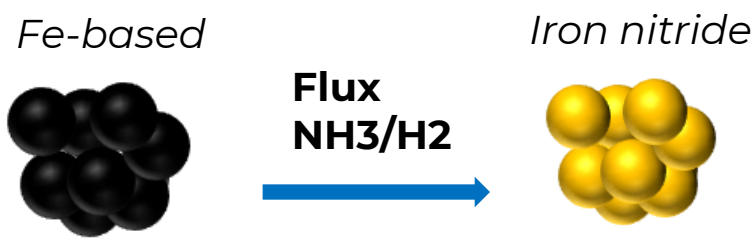
iMMC

Institute of Mechanics, Materials and Civil Engineering (iMMC)

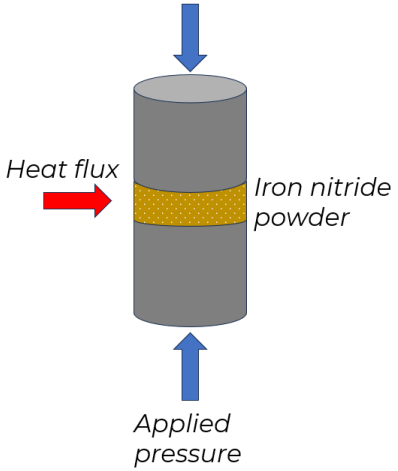
Design & processing of Rare Earth – free hard magnetic materials

Investigated solution: Fe-N based materials

Step 1: adequate nitriding



Step 2: Consolidation



Magnetic measurements in progress

Wiining
February 2026

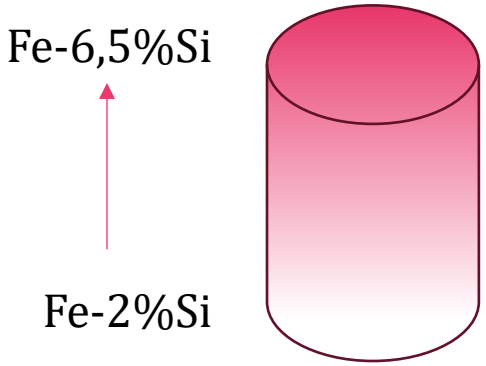
Achat DED pour matériaux gradés

Contact: stephane.godet@ulb.be

Etat de la situation

- ✓ Cahier des charges
- ✓ Sélection MX-Lab de Insstek
- ✓ Commande
- ✓ Livraison chez Sirris-A6K
- ✓ Finalisation de la convention de collaboration
- ✓ Installation et attente validation sécurité (début mars)

A court terme:



L'équipement MX-Lab produit par Insstek est basé sur six alimentations et la technologie DED.

?Imprimabilité

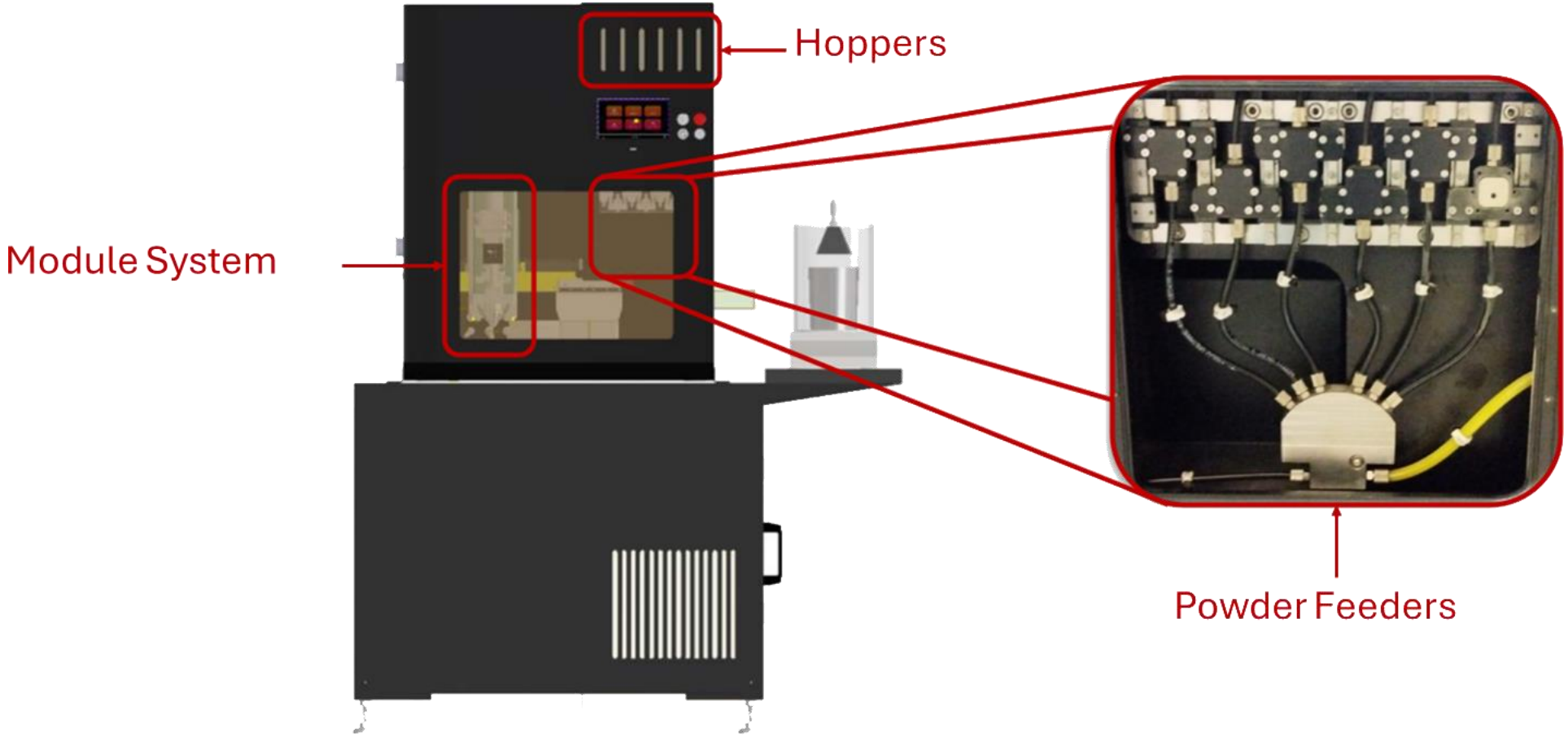
Comparaison avec LBPF et EBM

ULB ECOLE POLYTECHNIQUE DE BRUXELLES

Cofinancé par l'Union européenne

Wallonie

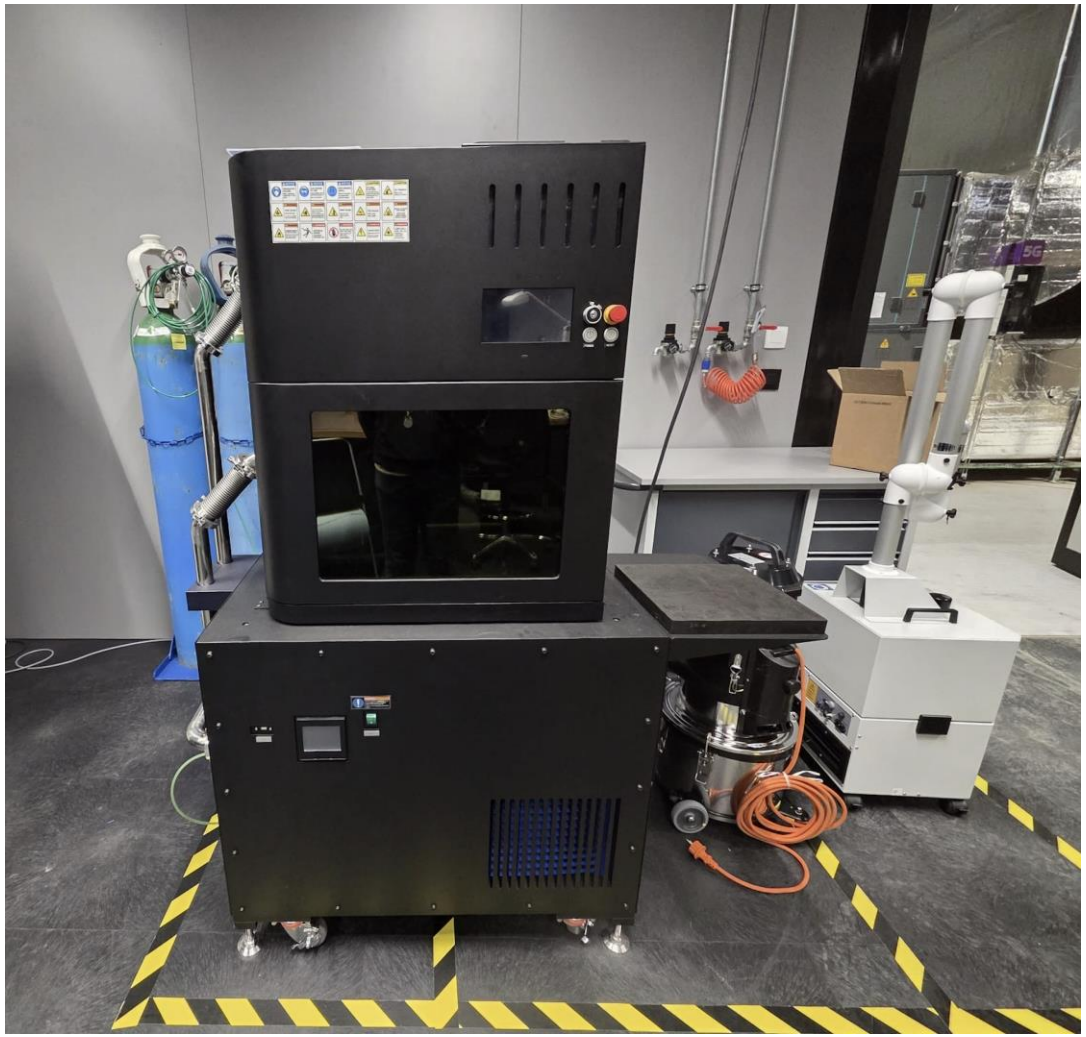
DED pour faire des matériaux gradés: criblage haut-débit



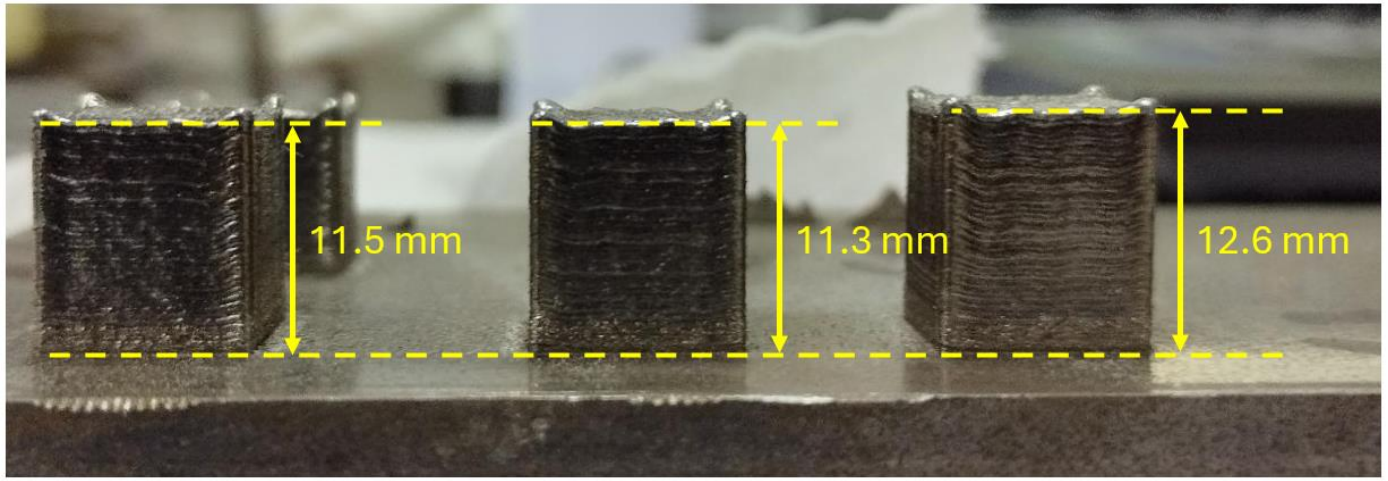
- InssTek MX-Lab livrée chez A6K - Septembre 2024
- Installation – Mai 2025
- Attente d'autorisation SIPP

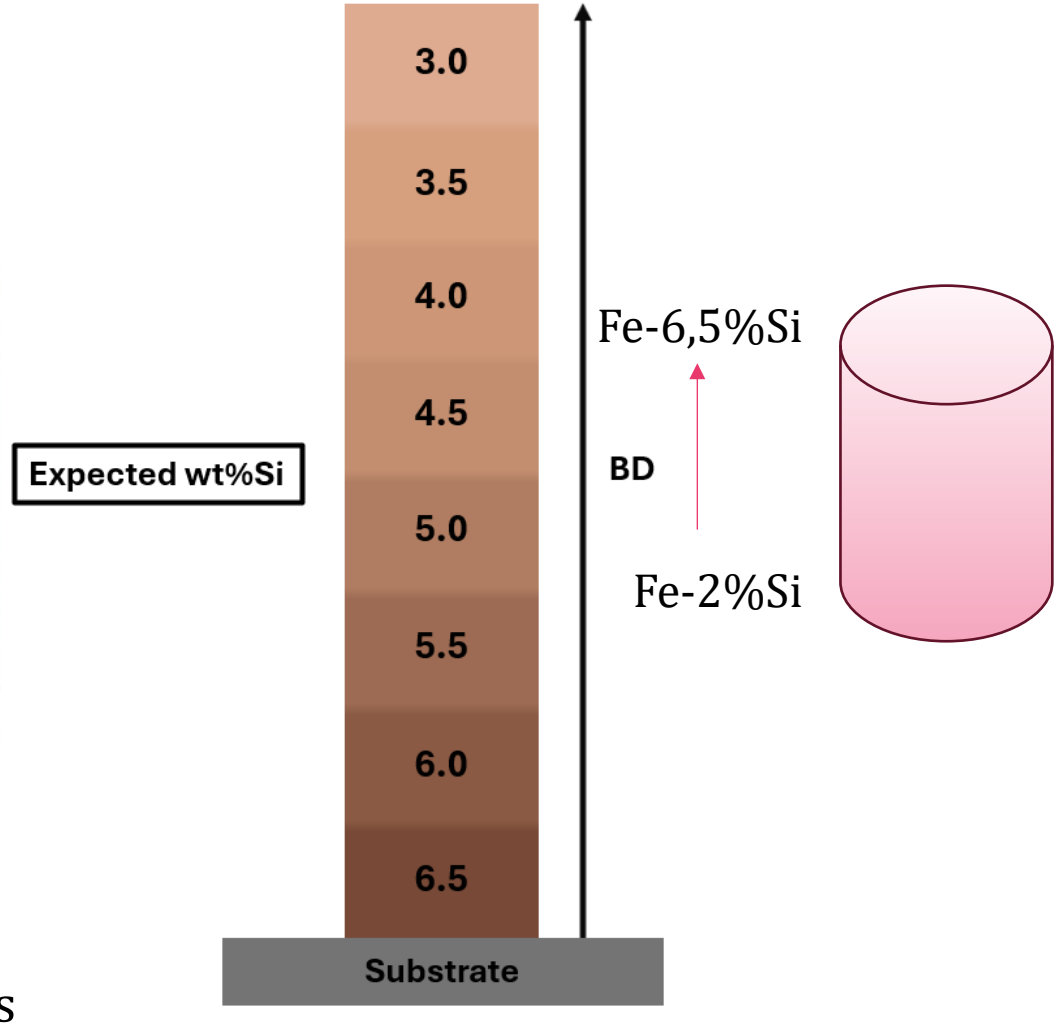
→ Campagne d'impression à Nancy à l'Institut Jean Lamour – Juillet 2025

DED pour faire des matériaux gradés: criblage haut-débit



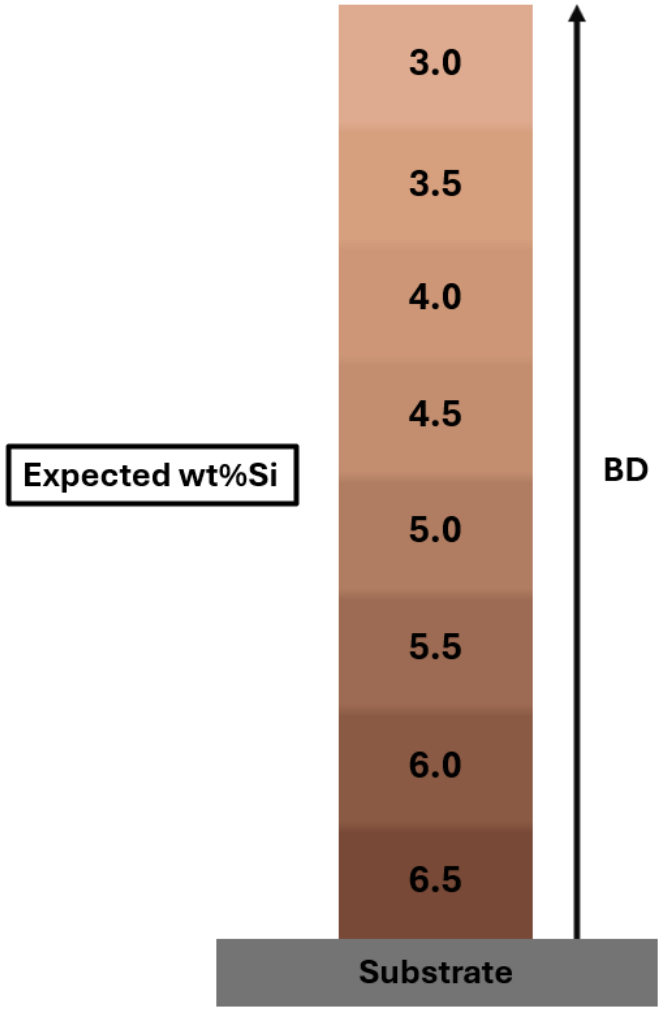
DED pour faire des matériaux gradés: Fe-Si





- Gradients de FeSi imprimés
- Etude de la répétabilité
- FeSi servira de « benchmark » pour les futures recherches

DED pour faire des matériaux gradés: Fe-Si



- Analyses EDX montrent que les prédictions sont proches des compos obtenues

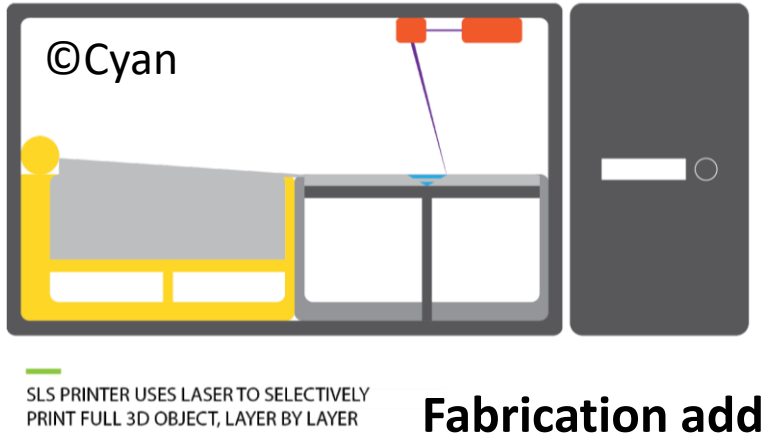
En 2026

- ✓ Validation sécurité
- ✓ Essais sur poudres Ti-coatées (Robustesse)
- ✓ Design d'alliages magnétiques doux meilleurs que Fe-Si,sans matériaux « problématiques »
- ✓ Approche multi-matériaux

Matériaux fonctionnels : GREEnMat (ULiège)

Objectif : production de **matières premières** pour les technologies additives et le développement d'une **nouvelle architecture à gradient de composition**

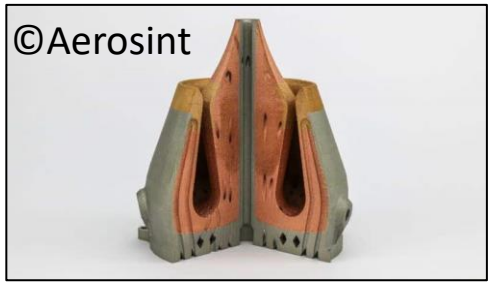
Synthèse de poudres adaptées à la fabrication additive par lit de poudre



Fabrication additive

LPBF (laser) or EPBF (electron beam)

LIÈGE université Greenmat



- **(T 8.1.2)** : **production de poudres de matériaux ferromagnétiques doux et durs** à partir de matériaux issus du recyclage

- **(T 8.1.3)** : étude et développement d'une nouvelle **architecture à gradient de composition mis en œuvre par fusion laser sur lit de poudre (LPBF) multimatériaux**

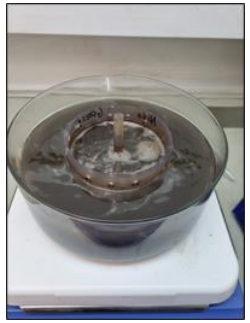
© ULiège - GREEnMat - Confidential & Proprietary

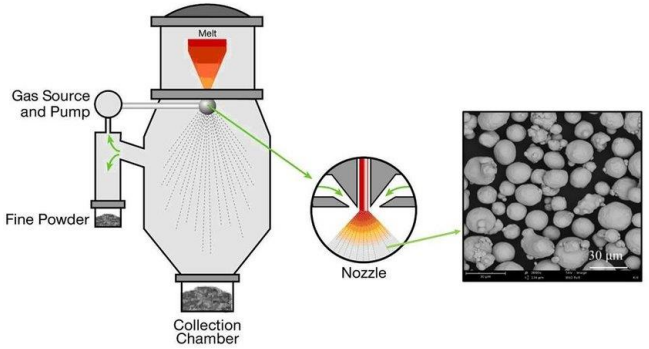
Matériaux fonctionnels : GREEnMat (ULiège)

GREEnMat : votre partenaire académique pour la production pilote de poudres céramiques et métalliques/mise en forme 3D

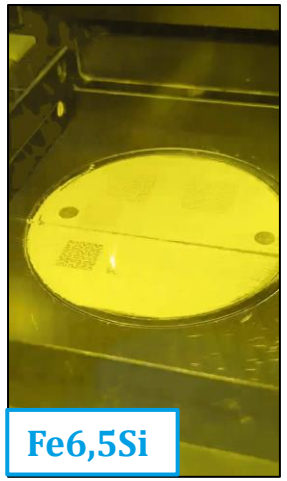
Synthèse par spray drying et réduction d'alliage fer-silicium

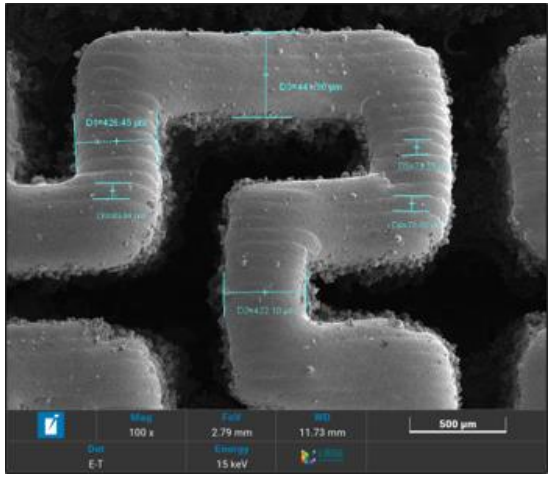
Recyclage d'aimants usagers par atomisation au gaz





Impression 3D métal par fusion laser sur lit de poudre





© ULiège - GREEnMat - Confidential & Proprietary

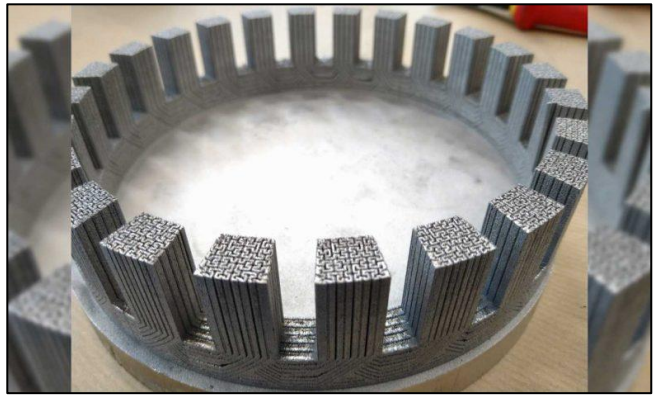
En 2026

- **Impression de pièces métalliques avec des poudres métalliques synthétisées au GREEnMat**
- **Valider l'utilisation du silicium issu du recyclage de panneaux photovoltaïques**
- **Faire varier la proportion en silicium dans les poudres produites**
- **Caractérisations magnétiques des poudres/pièces**
- **Développement de pièces multi-matériaux mêlant alliages de FeSi, NdFeB et cuivre**

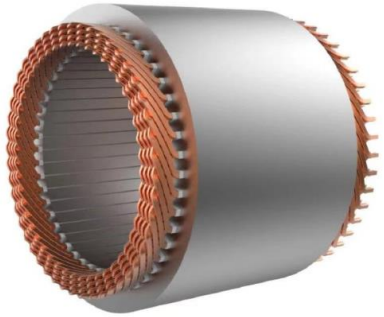
Point de contact :

Dr Frédéric BOSCHINI
R&D « Powders» Manager
frederic.boschini@uliege.be

LIÈGE université
GREEnMat



University of Sheffield



Plus de cuivre par unité de surface

© ULiège - GREEnMat - Confidential & Proprietary

Fil chargé avec la poudre de NdFeB traitée

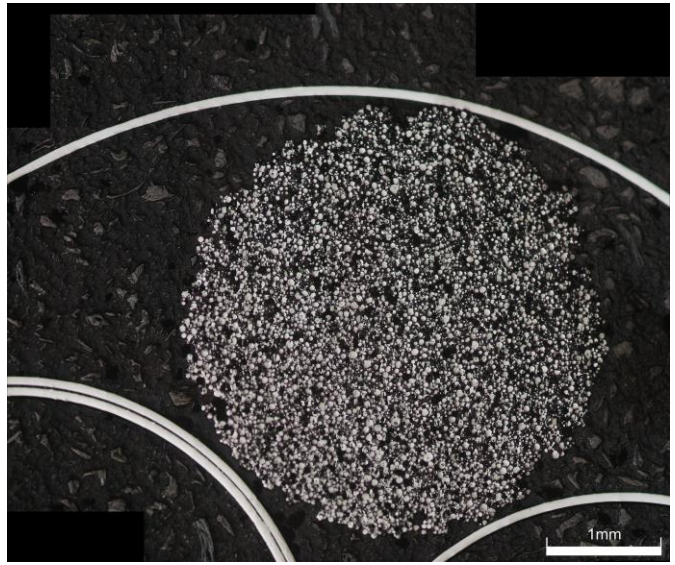
- L'intérêt d'un revêtement de la poudre:
  - Créer une structure core-shell
  - Augmente la resistance à la démagnétisation (coercitivité plus importante)
- Développement du projet:

⇒ Utiliser le coating pour faciliter la mise en oeuvre : meilleure mouillabilité de la surface par le liant

⇒ Affecter la coercitivité

⇒ Essais post frittage pour fritter via le coating

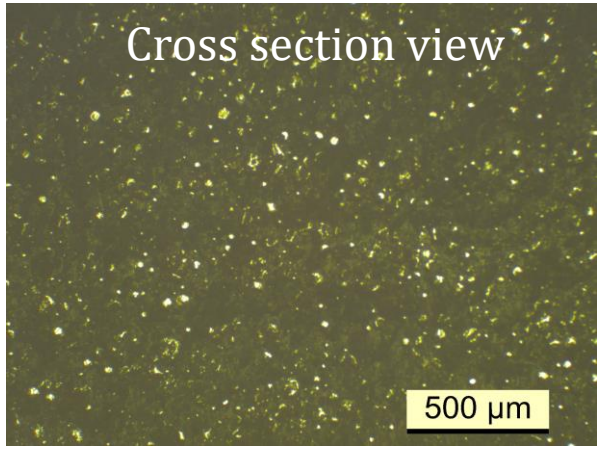
⇒ Premier essai: Poudre reçue de Materia Nova NdFeB sphérique avec coating Al (0,65%)

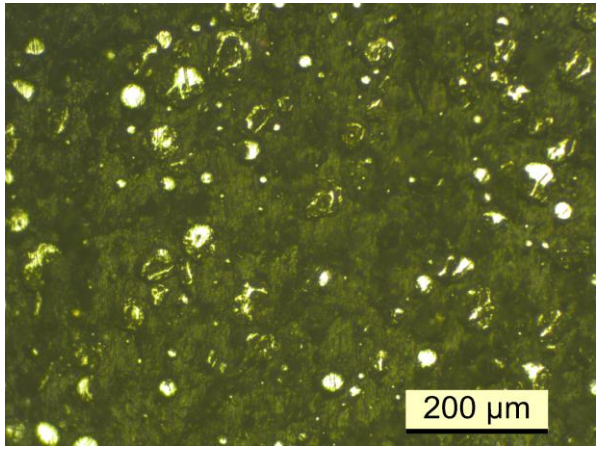


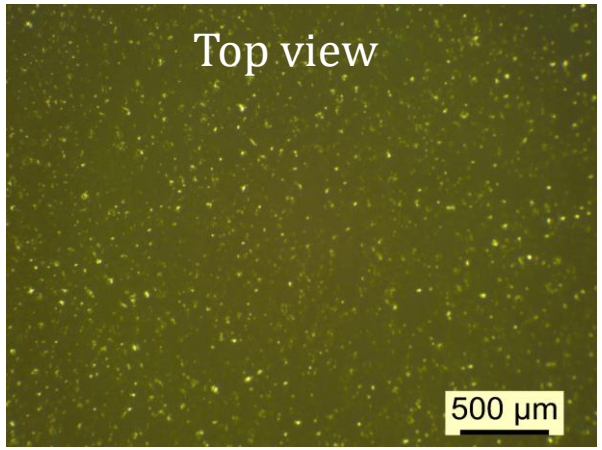
Fil à 92% en poids n' a pas une dimension stable et un diamètre stable pour impression FDM

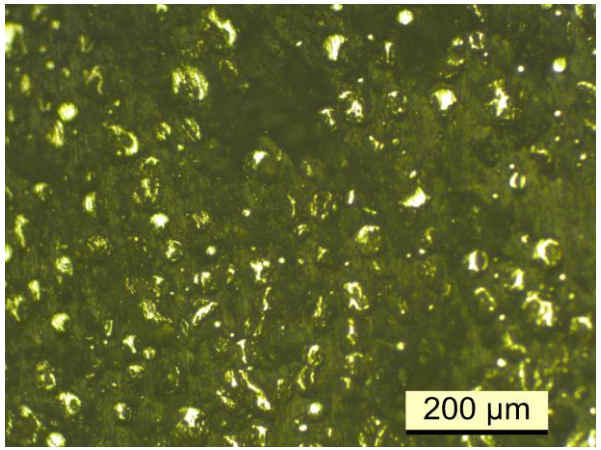
www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Fil chargé avec la poudre de NdFeB traitée









Fil à 90% en poids = répartition homogène de la charge fonctionnelle dans la matière imprimée

L'objectif = monter la charge dans le fil au delà de 90% → une nouvelle extrudeuse

Next step en réflexion:
Tester un autre coating: Dy ou Ti

www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

EBM haute température

Nouvelle machine à haute température:

- Minimum 1000°C de préchauffe
- Capable de mettre en oeuvre de petites quantités de poudre

Matériaux visés:

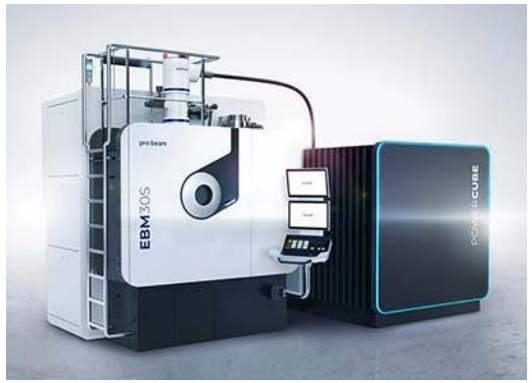
- Matériaux réfractaires: W, Mo, Ta, Nb
- Crack prone material: Fe-6,5%Si
- Ceramiques (conductrice à haute temperature)

Activité

- Marché publique ouvert
- Matériau de base choisi pour valider la machine: Tungstène

Wayland Additive

freemelt



pro-beam.com

Arcam

www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

ETAT D'AVANCEMENT

Repair

Structure du volet

UCLouvain MATERIA NOVA

Matériaux - Développement d'aluminium compatible avec la réparation

CRM GROUP

Préparation – pré-usinage, design (surépaisseurs), trajectoires, simulation de la réparation

UMONS Université de Mons Cenaero CRM GROUP

Cenaero

Simulation des process

CRM GROUP

Validation technologies robotisées de réparation

UCLouvain

Post-traitement (usinage à sec)

UMONS Université de Mons

Validation

CRM GROUP

Réparation par Impression DED d'aluminium

Étude de deux alliages : Al 2024 et Al 7075

- Objectif : rendre possible l'impression de pièces pleinement denses, sans défauts, en particulier sans fissuration à chaud

- Perspectives 2026 : focalisation des travaux sur la maîtrise complète de l'un des deux alliages (choix selon vos retours!)

- Sur la base de vos retours :
  - Existe-t-il des cas d'usage qui vous sembleraient pertinents ?
  - Quelles spécifications seraient nécessaires pour une adoption industrielle (essais mécaniques, comportement en corrosion, etc.) ?

www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

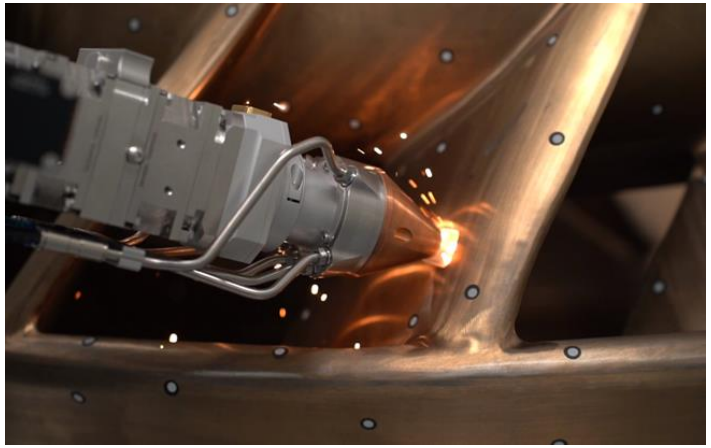
Equipement HYMAX utilisé pour le démonstrateur

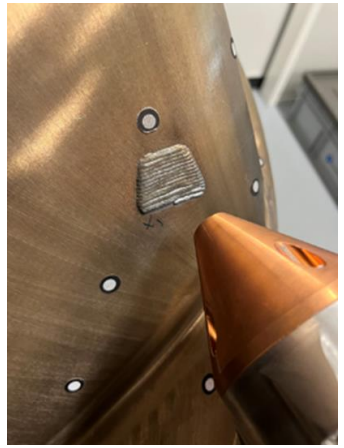
Plusieurs Capteurs pour mesures in-situ de l'impression

1. Pyromètre (mesure laser IR 1D coaxiale)
2. CLAMIR (caméra IR 2D coaxiale)
3. FLIR (caméra IR 2D perpendiculaire) pas sur l'image
4. Profilomètre laser 1D

Tête sur bras 6 axes → Réparation de fissures sur formes complexes, sans besoin de démonter la pièce

- Surface externe ou interne (suivant l'accessibilité)

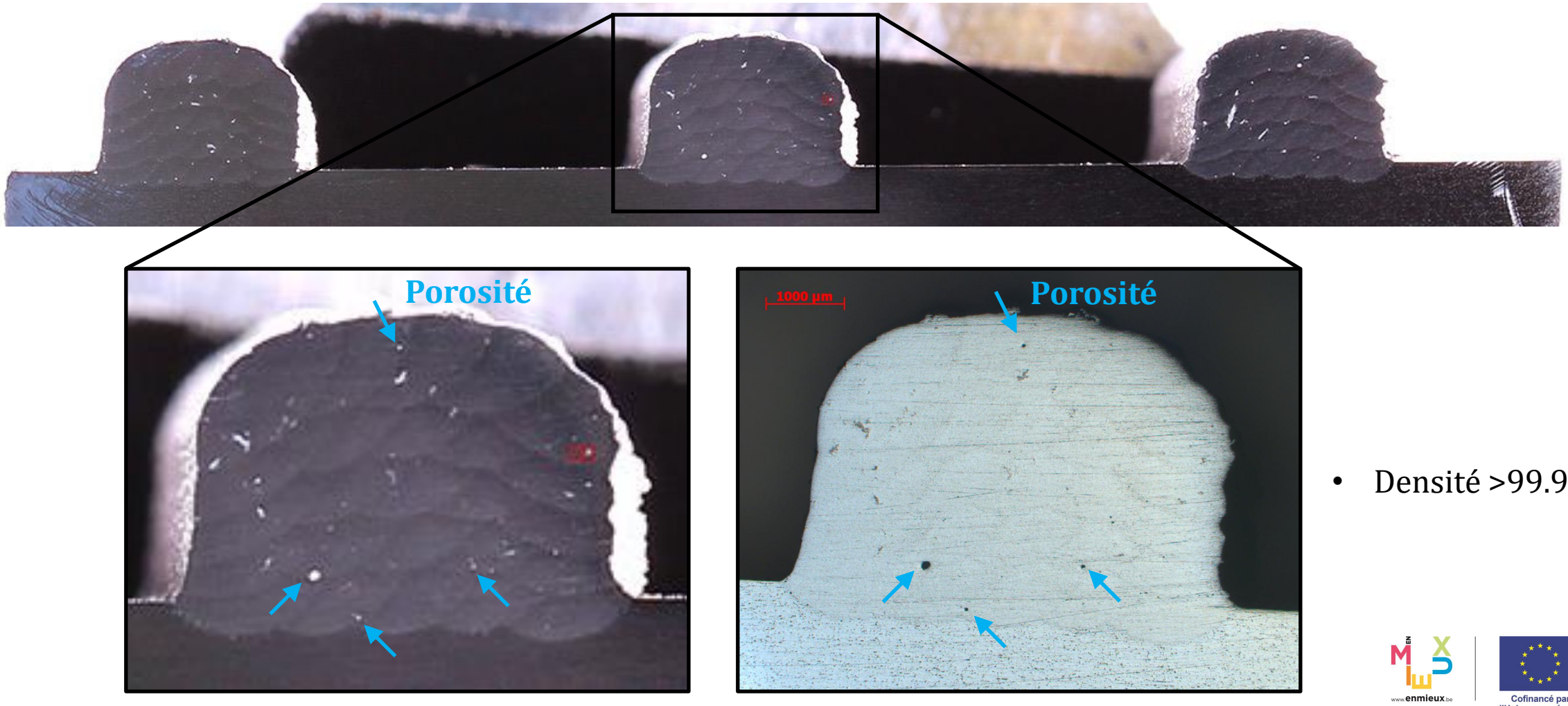




www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Al 2024 imprimé sans fissuration à chaud

Résultats

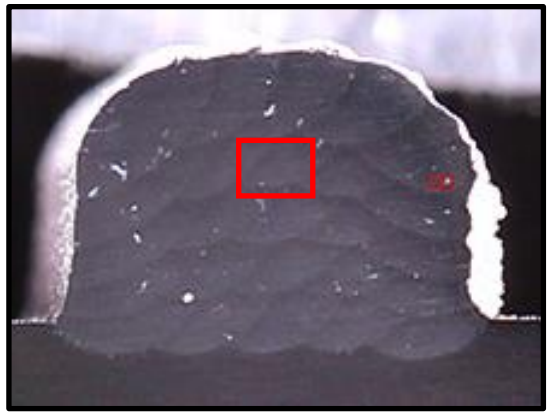


- Densité >99.9%

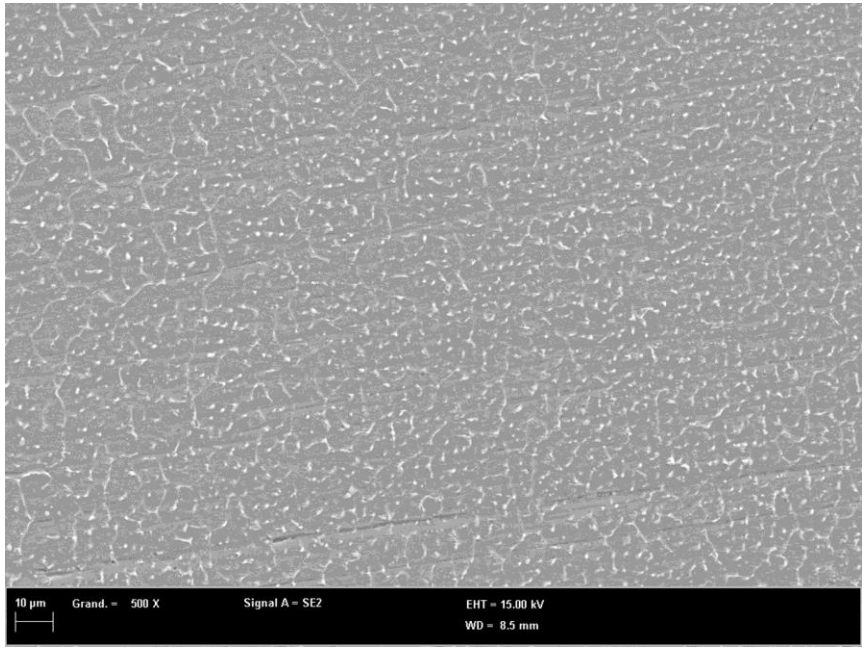
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Microstructure du Al 2024

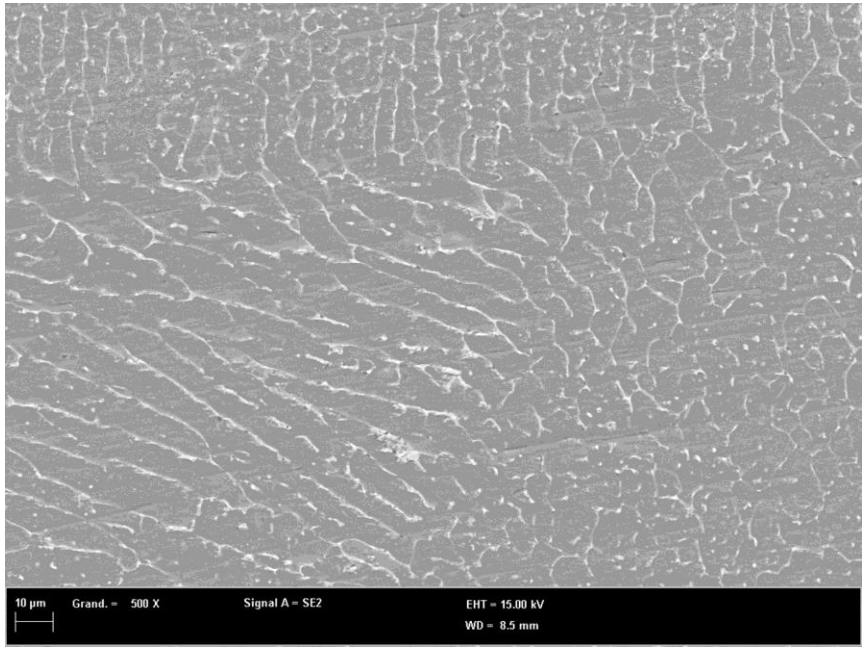
Résultats



Centre de bain de fusion



Bord de bain de fusion

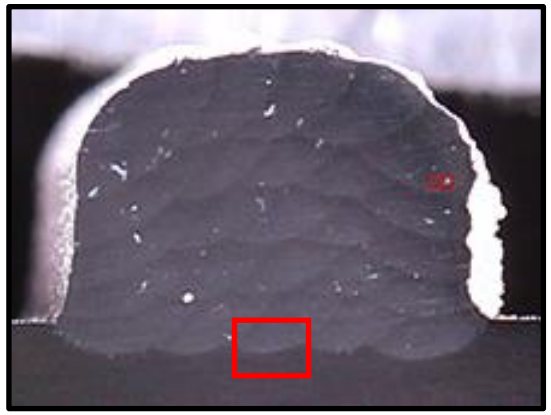


- Aucune indication de fissuration par solidification
- Densité >99.9%
- Microstructure homogène dans la masse de l'impression, croissance épitaxiale des grains au fond des bains de fusion

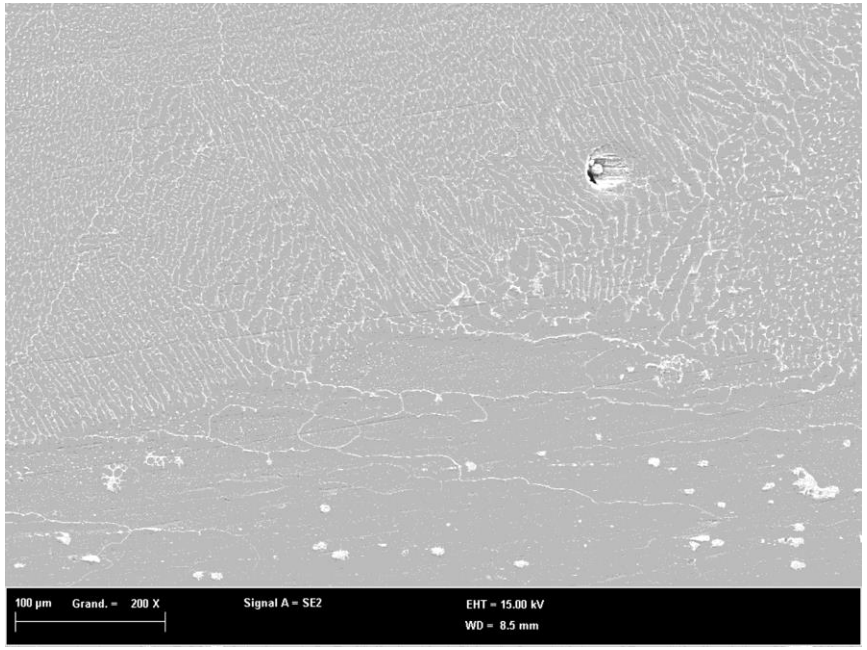
www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

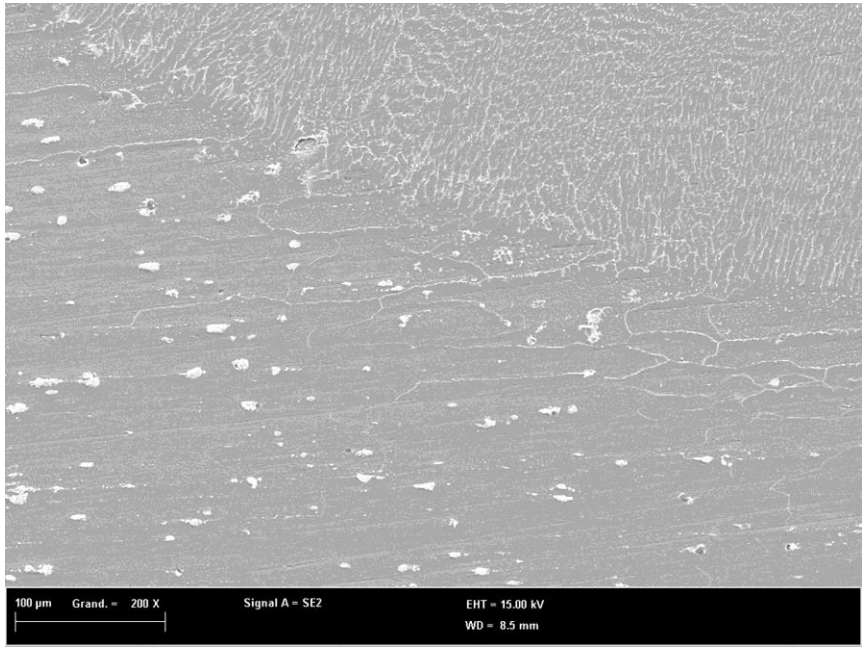
Microstructure du Al 2024

Résultats



Interface déposition / substrat (AA2024)





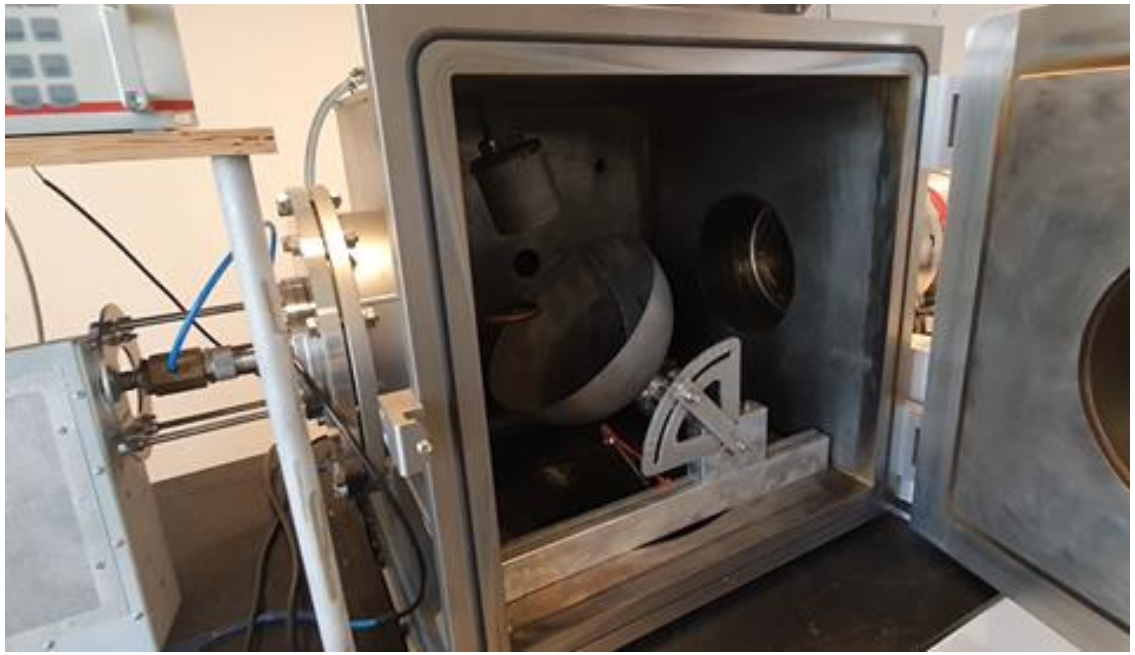
Aucune indication de fissuration ni de défauts de manque de fusion à l'interface

www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

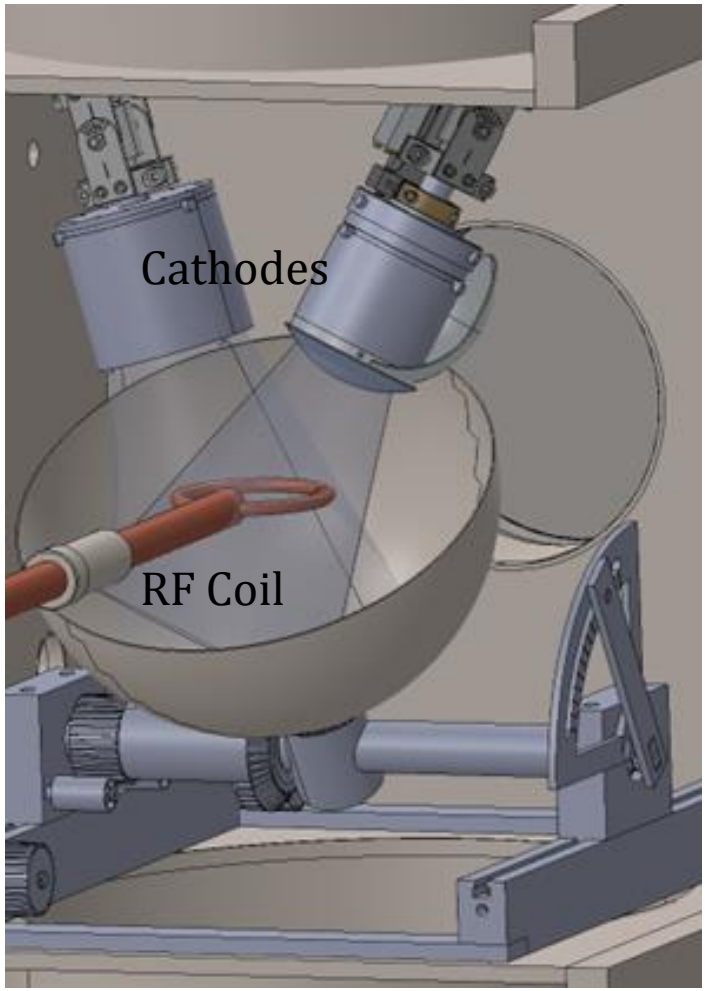
Modification des poudres – Materia Nova + UCLouvain

Traitement plasma de poudres → Al 7075 + X% Ti

Aménagement réacteur plasma pour la modification des poudres dans un bol rotatif: ABBEADS 2



ABBEADS 2

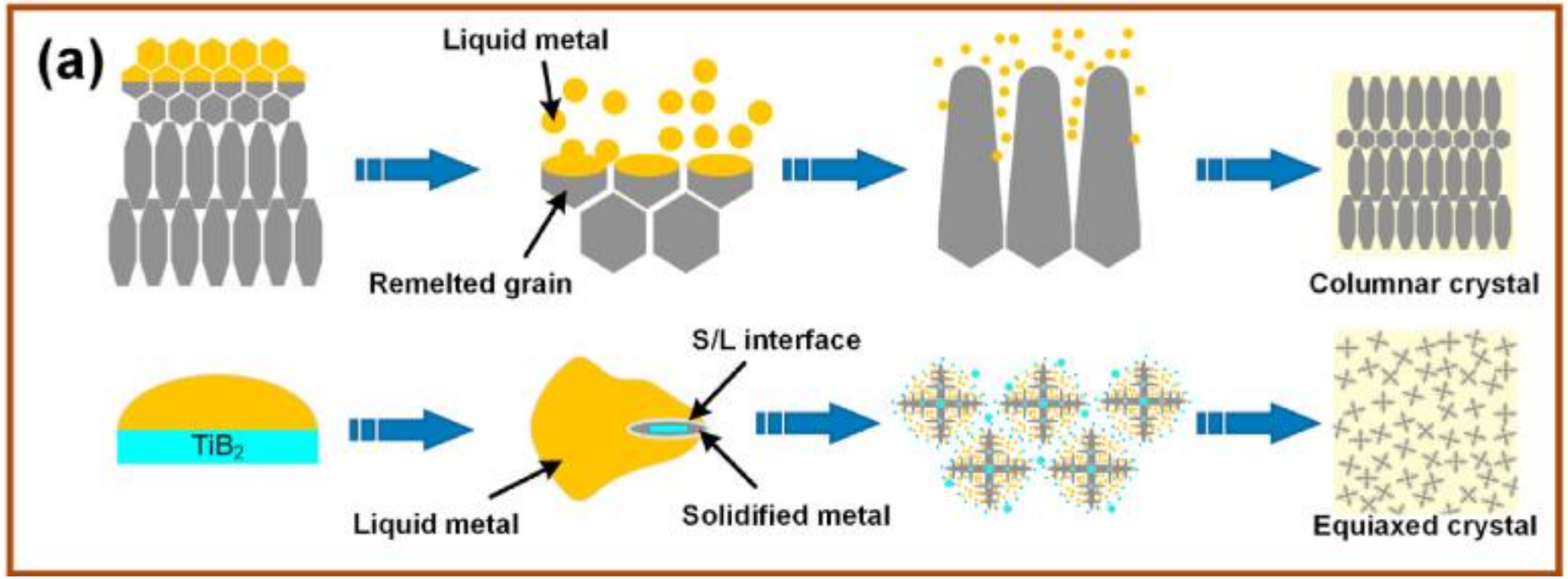


www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Principe de modification chimique

Induire une nucléation hétérogène des grains (inspirée des méthodes de coulée).

- Modification de la composition chimique + Ti pour produire des précipités de $TiAl_3$
- Précipités agissent comme sites de nucléation → raffinement des grains, réduction de taille



Chen et al. (2020) *Principe similaire sauf avec particules de TiB_2 au lieu de précipitation*

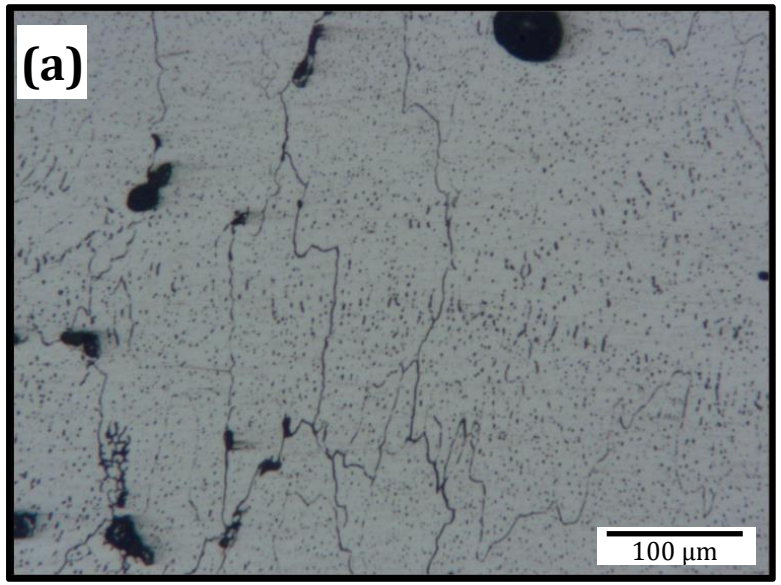
www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Effet de la modification

MateriaNova: Modification de Al 7075 + nano-enrobage de Ti (0-2% massique)

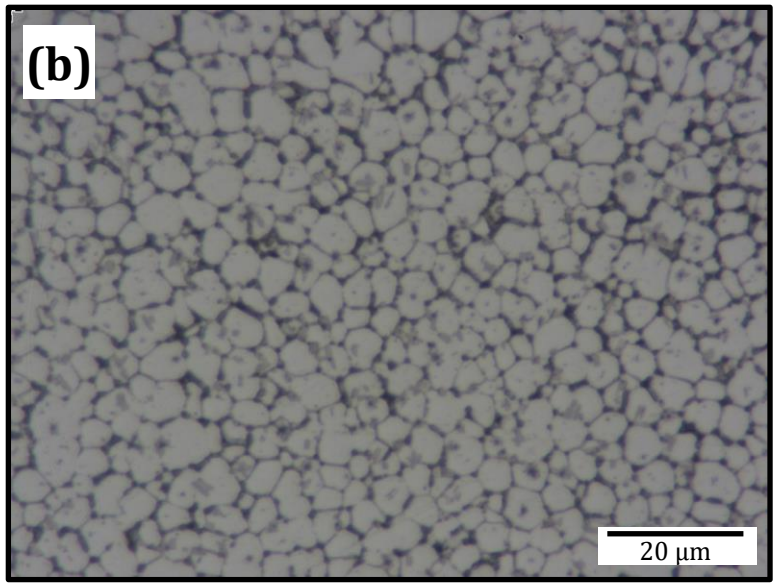
- Validation de raffinage des microstructures → Nucléation aux inclusions fort en Ti
- Validation de microstructures denses (~98 - 99,5%)

Al 7075 **sans** modification



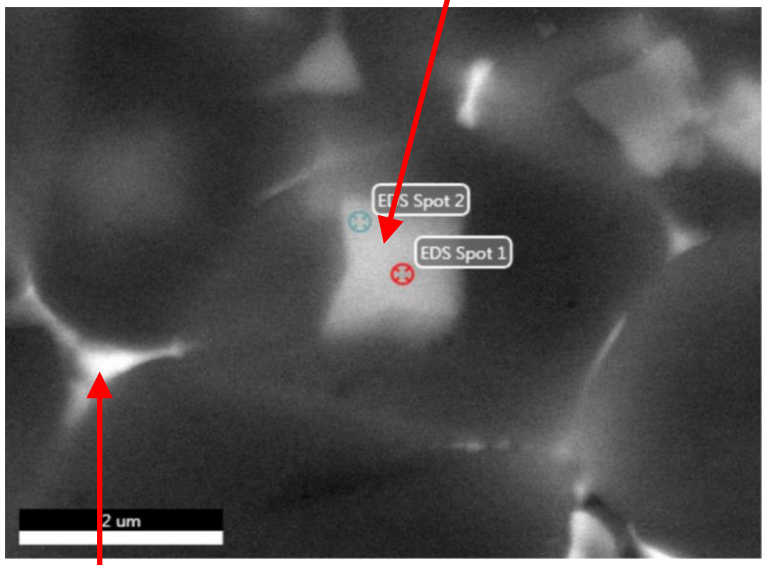
Microscopie optique, 100X

Al 7075 **+ 2% massique Ti**



Microscopie optique, 500X

Ti 10-20× plus haut que matrice



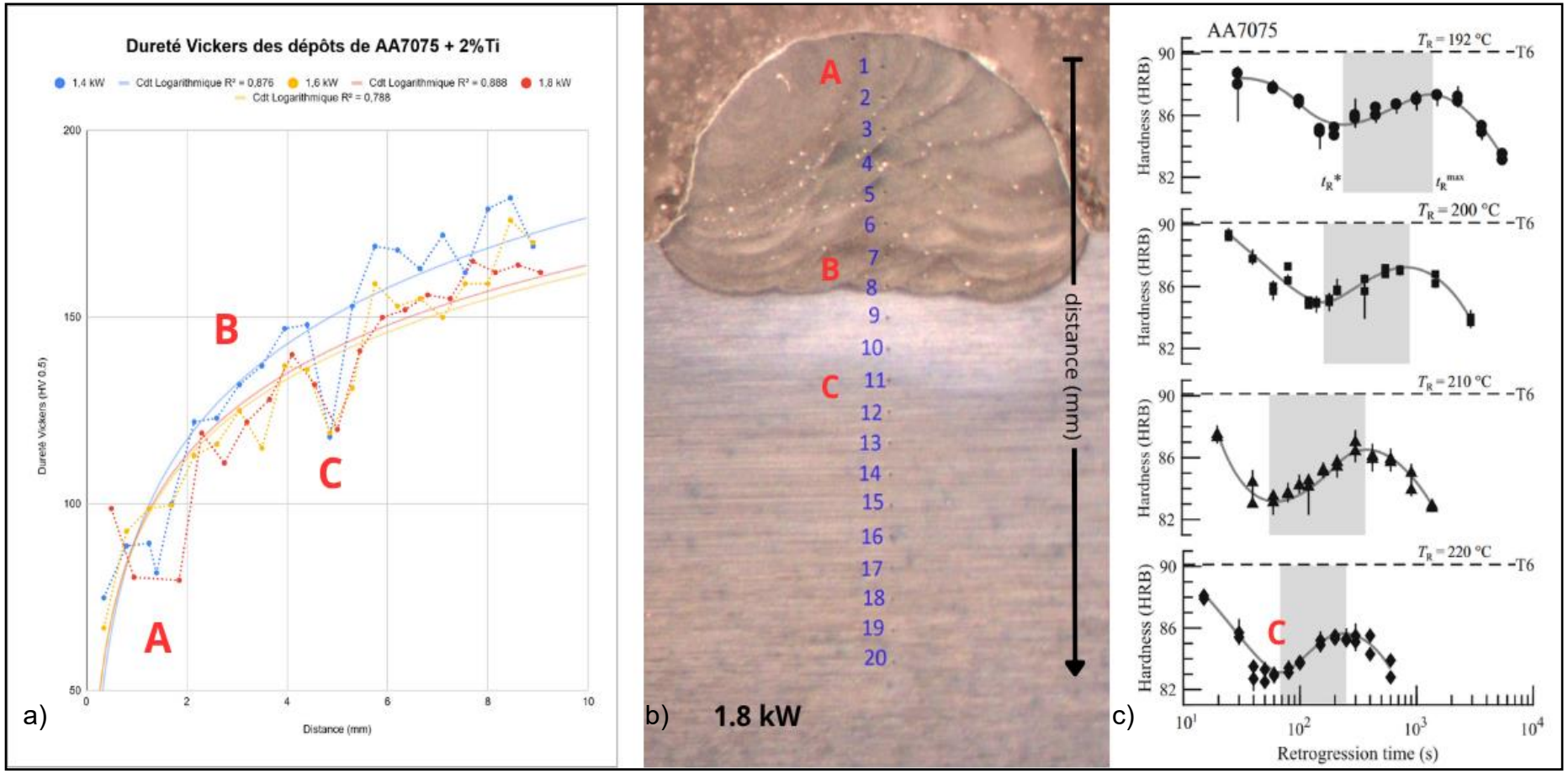
MEB: Electrons rétrodiffusés

Zn, Cu 2× plus haut que matrice

Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Caractérisation mécanique du 7075 modifié

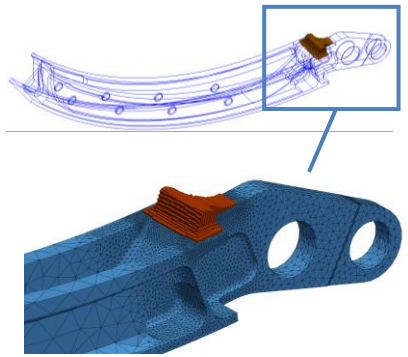
Microdureté HV 0,5

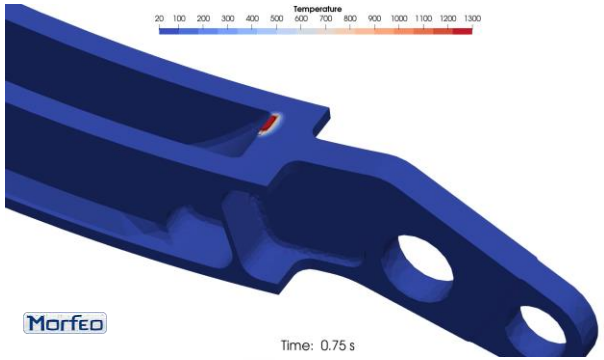


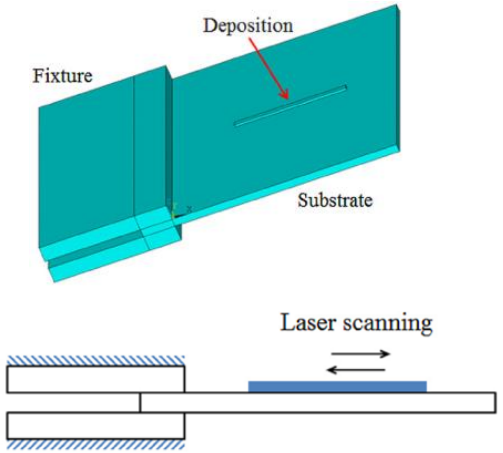
Simulations réparation et procédé DED

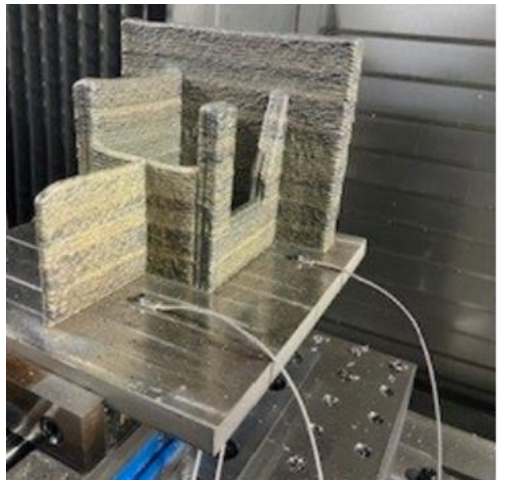
Simulations thermomécaniques de la réparation avec DED

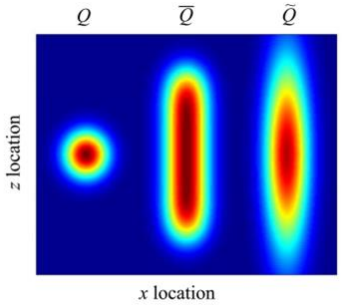
- Modélisation/prédiction du développement de contraintes thermiques et déformations
- Simulations du procédé d'impression → adaptation rapide à plusieurs cas d'utilisation
- A venir: couplage des modèles de microstructure (alliages aluminium) avec simulations









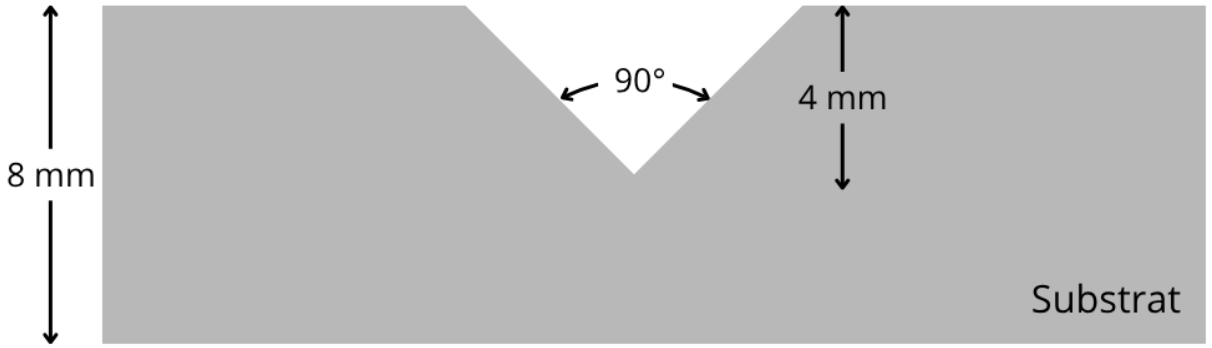


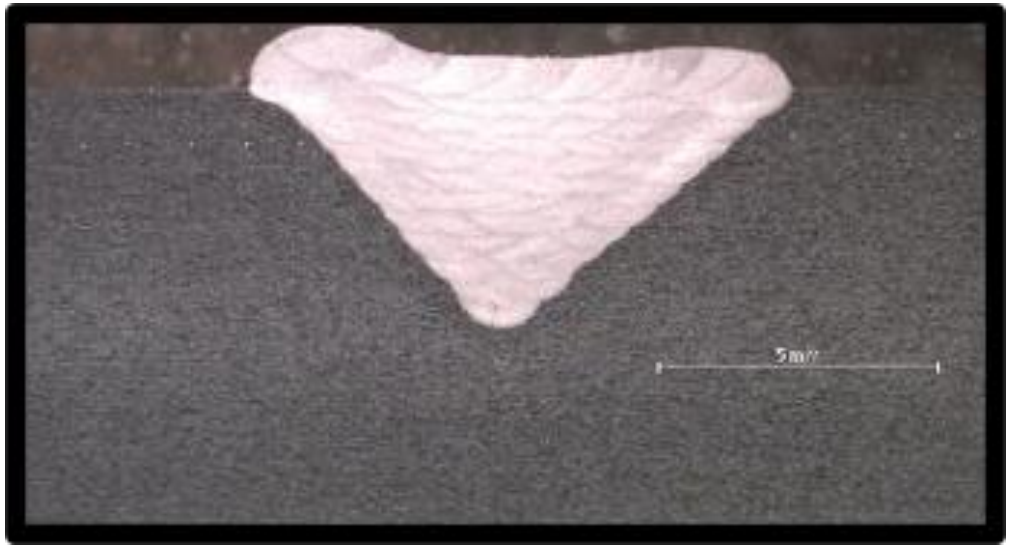
Préparation démonstrateur

Réparation d'une « fissure »

- Réussi à reboucher la fissure
- Contraintes interne résiduelles fortes → Fissuration de l'éprouvette lors de l'usinage

« Fissure » dans un tôle





www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

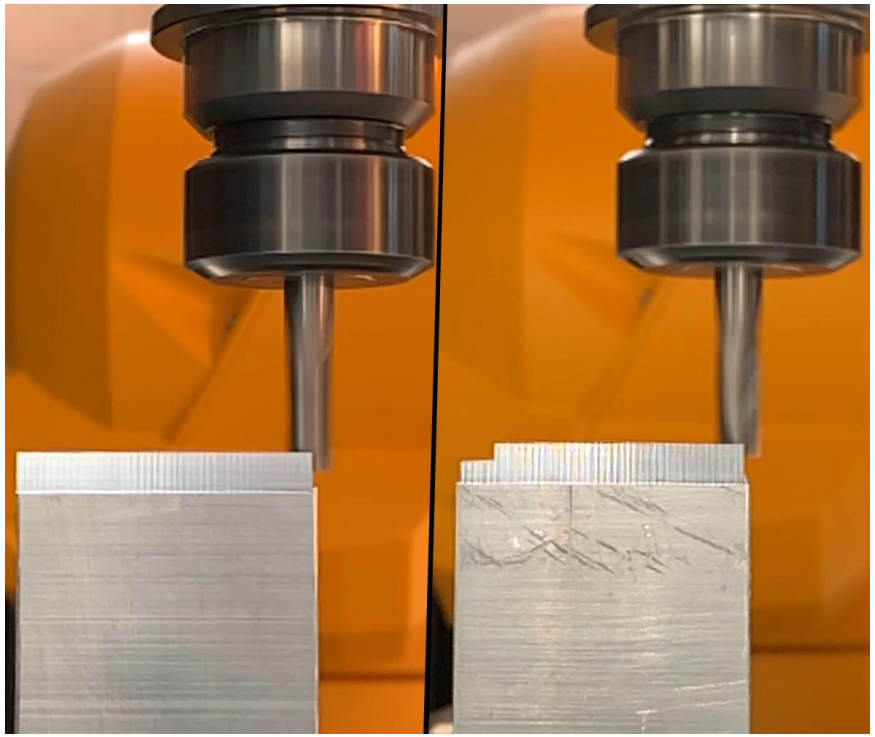
Post-usinage après réparation

UMONS Université de Mons

Usinage à sec des pièces après réparation

- Modèle « digital shadow » pour simuler les opérations d'usinage sur un robot
- Stratégie de compensation des déviations
- A venir: Caractérisation de l'usinage robotisé de pièces DED

Staübli TX200 de GMEC



Uncompensated Compensated

www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

ETAT D'AVANCEMENT

ROBUSTESSE

Cenaero

innovation forward

CRM GROUP

LIÈGE université

CRIBC
member of EMRA

ULB

MATERIA NOVA Materials R&D Center

UMONS
Université de Mons

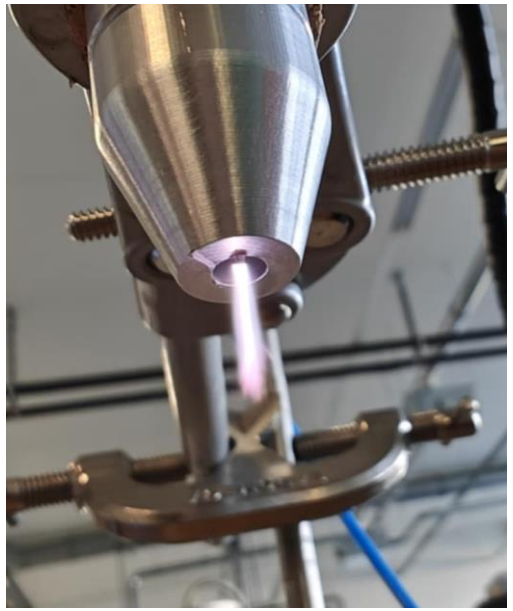
Objectif

Obtenir une conception Robuste :

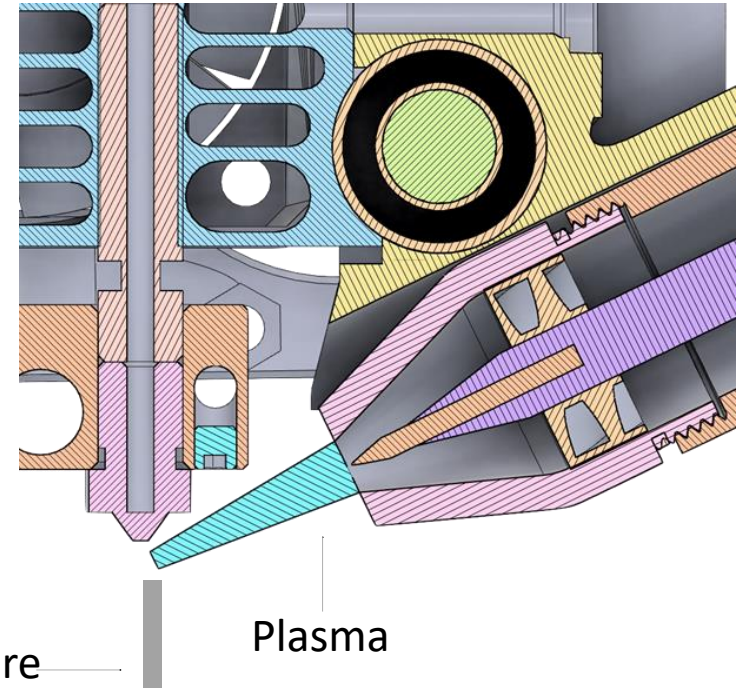
- Design “anti-défaut” (gestion de risque et dimensionnement)
- Matériaux + tolérants aux défauts (voir « Green Manuf. »)
- Paramètres optimisés (maitrise des influences respectives sur qualité pièce)
- Process « First time right » :
  - Accessible au PME
  - Multi technos AM
  - Maintenance prédictive
  - Suivi qualité
  - Pour grande série ou pièce unique
  - Plus économe (matière, énergie, rebuts,…)

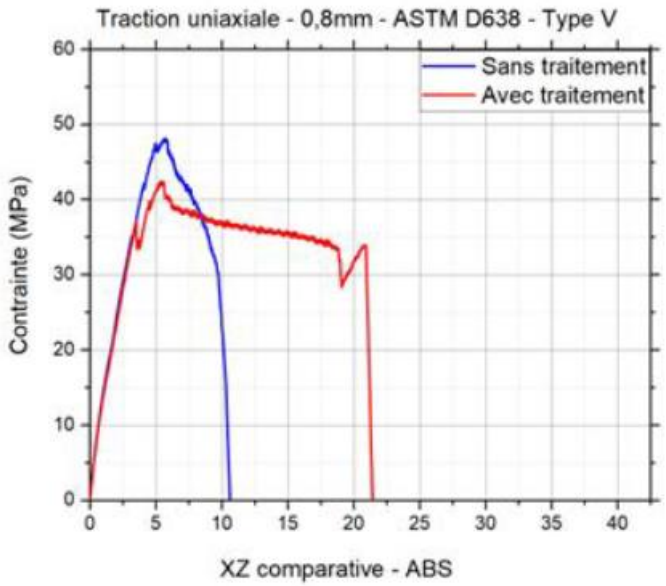
Extrusion assistée par torche plasma

1/ Intégration d'un module torche plasma dans une imprimante low-capex de type FDM



Torche plasma developpée par Materia Nova pour des puissances variant de 5 à 400 W





2/ Optimisation chimique et fonctionnelle des feedstocks (en cours)

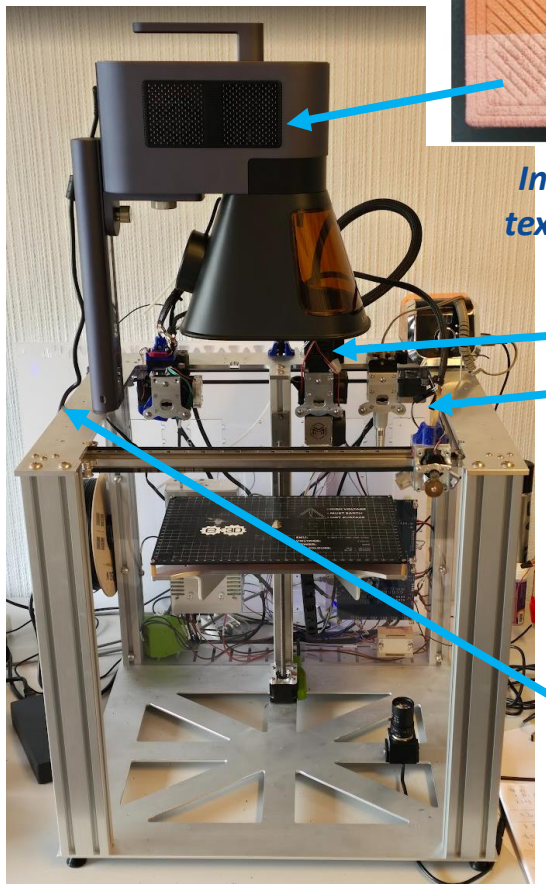
Alliages TA6V(Titane - Aluminium -Vanadium) : Ajustement de la teneur en **Vanadium (V)** pour le développement d'alliages avec des écrouissages plus élevées en conservant de bonnes résistances mécaniques à basse et haute température.

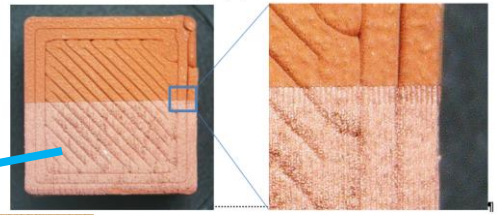
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Plateforme hybride

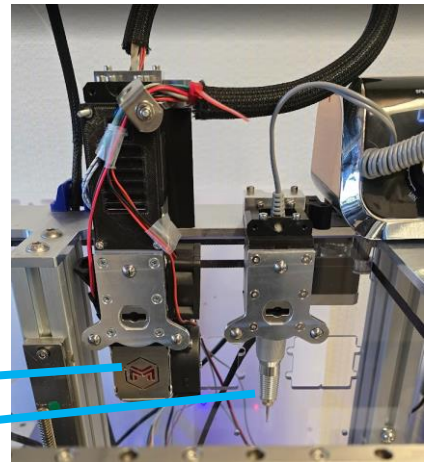
Finalisation de la plateforme hybride et désormais pilotée par une interface logicielle sur mesure qui synchronise tout.

Intégration d'outils pour procédé hybride

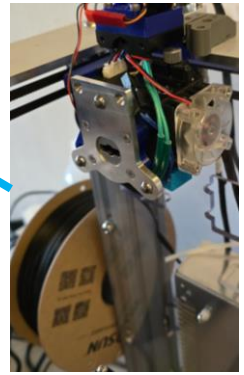




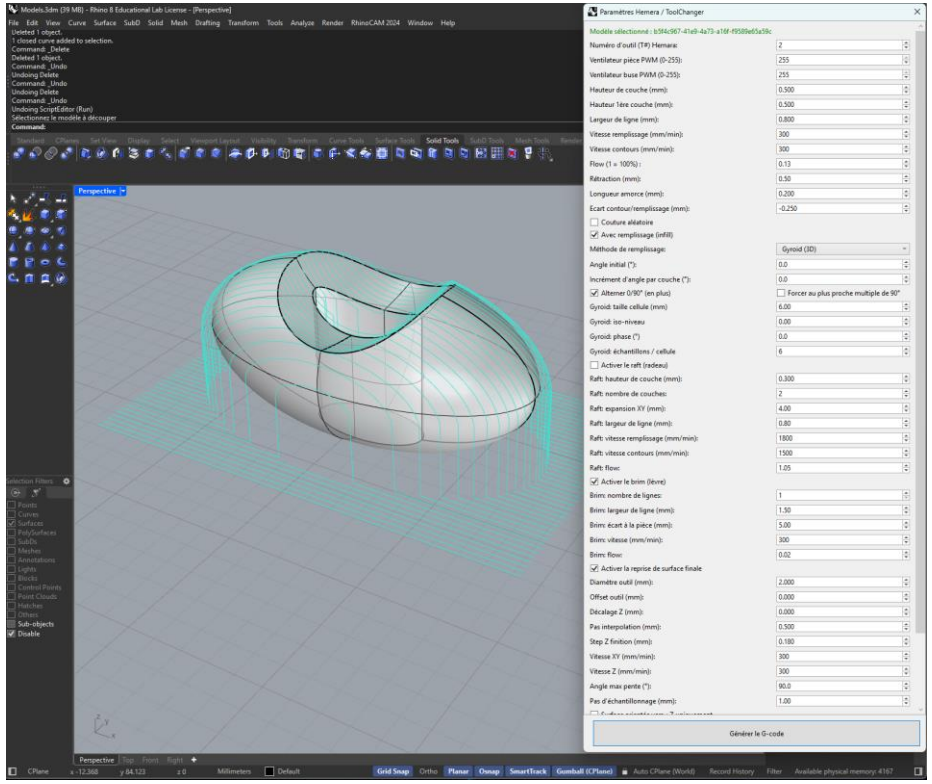
Intégration laser pour texturation des couches



Intégration d'un extrudeur à pellet et d'une broche d'usinage



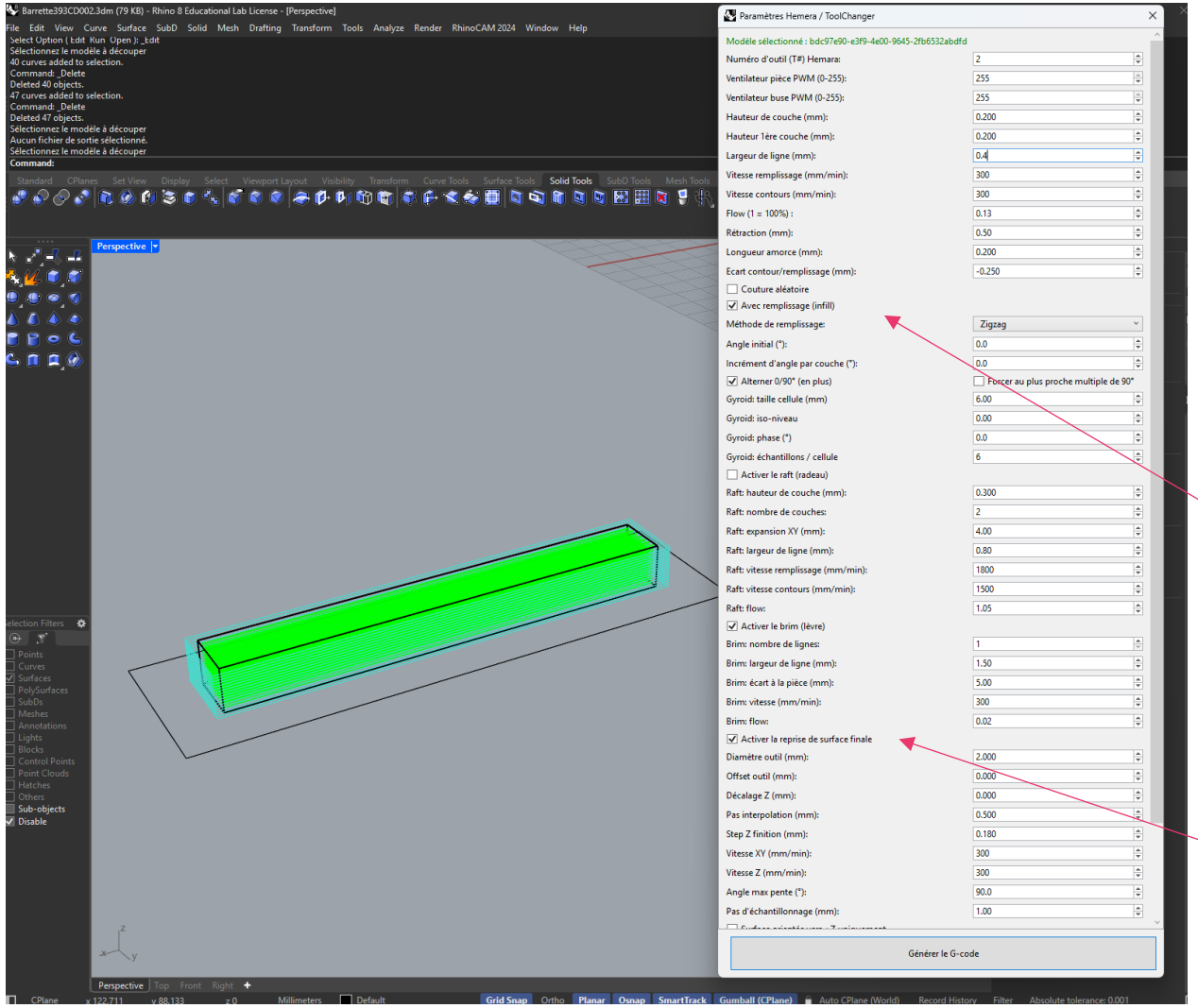
Intégration torche plasma pour l'optimisation de l'adhésion entre couches (en cours avec MANO)

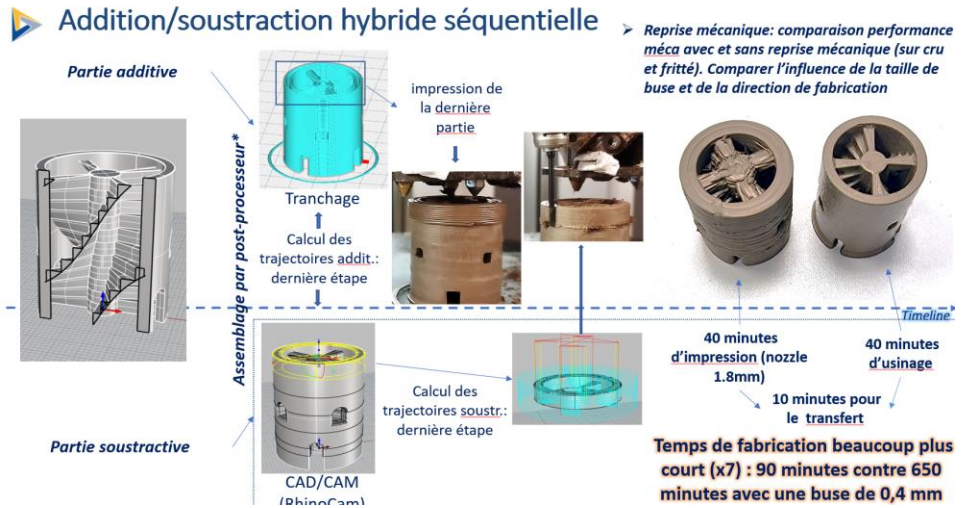


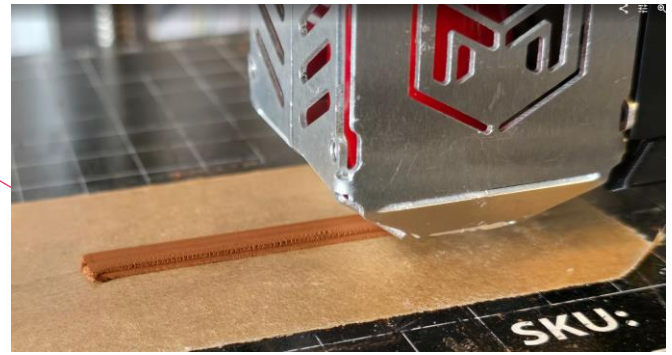
Interface de fabrication hybride développée sous Rhinoceros permettant de synchroniser les phases additives (FDM et PAM) et soustractives (broche d'usinage et laser).

Procédé Hybride Séquentiel "Tout-en-un"

CRIBC
Belgian Ceramic Research Centre







Fabrication à grande vitesse avec cordon large

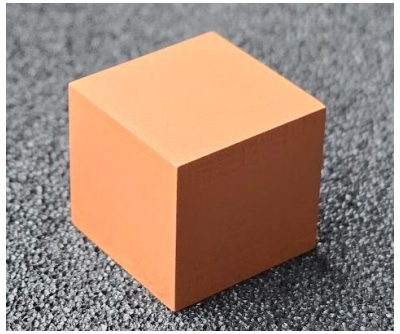
Amélioration des tolérances géométriques et des états de surface par usinage in-situ.
Garantit la répétabilité dimensionnelle

www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Robustesse via les matériaux

Cu pure: ✓

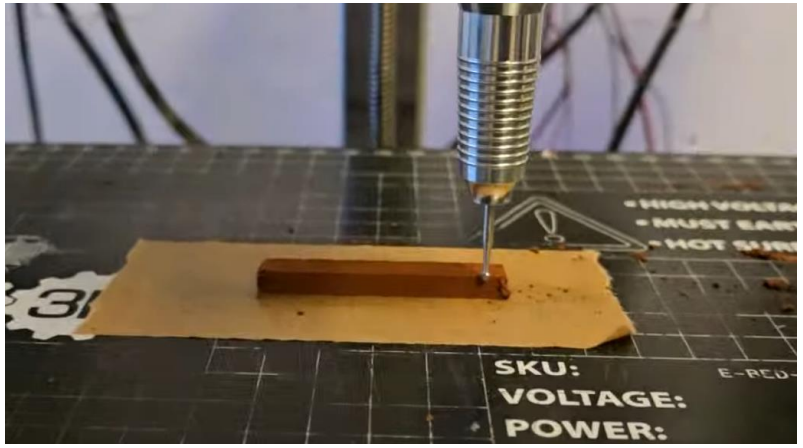
CRU



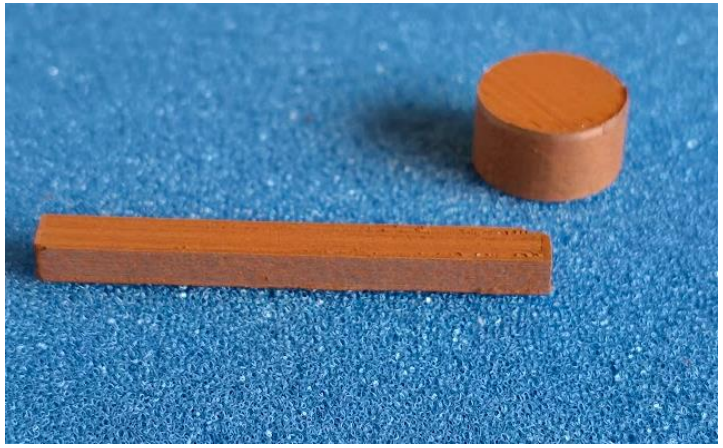
Usiné à cru

- Densité : 97,3 % (Porosité ouverte quasi nulle, fermée < 3%).
- Dureté : 40,1 HV1 (Conforme aux attentes après frittage).
- Conductivité thermique : > 324 W/m·K (Excellent pour la gestion thermique).
- Conclusion : Le procédé est robuste pour le cuivre pur.

Composite Cu + nanotube de carbone



Usinage à cru du Cu-CNT



Pièce en composite Cu-CNT après reprise de surface in-situ

Frittage en cours.

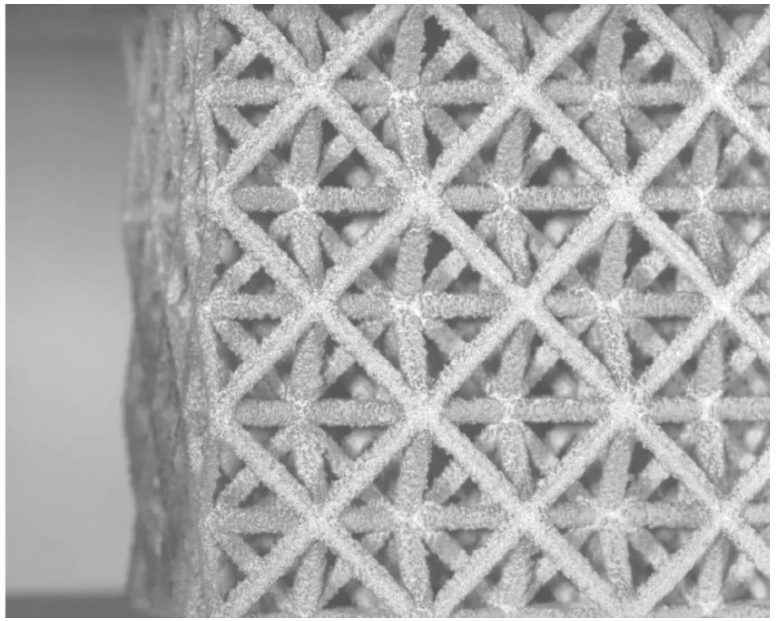
Alliages tolérants aux défauts

Design d'alliages de titane robuste et tolérants aux défaut grâce à des mécanismes de déformations non-conventionnels (RIP, TWIP/TRIP)

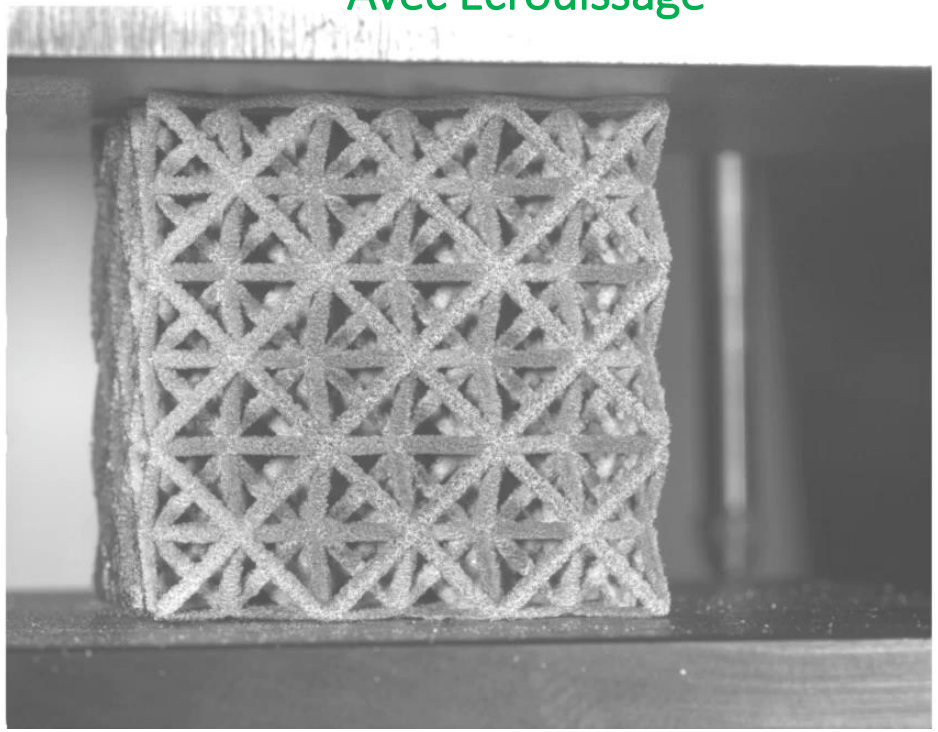
- Développement d'alliages avec écrouissage
- Transfert vers l'AM

Contact: stephane.godet@ulb.be

Sans écrouissage



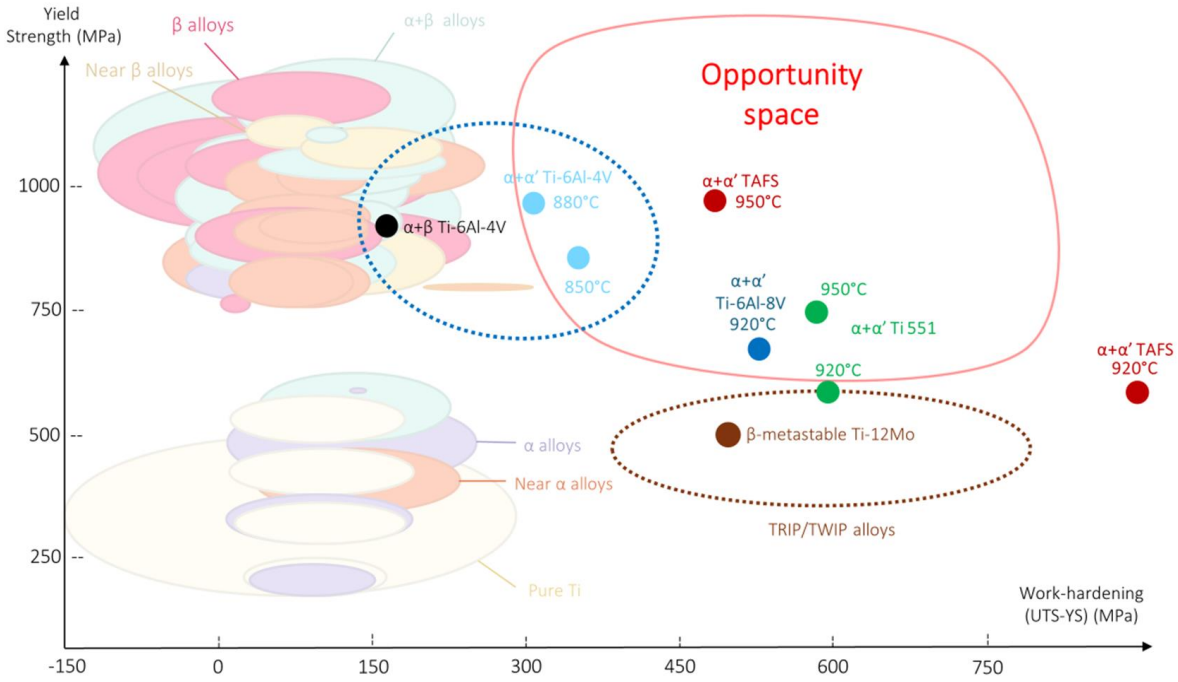
Avec Ecrouissage



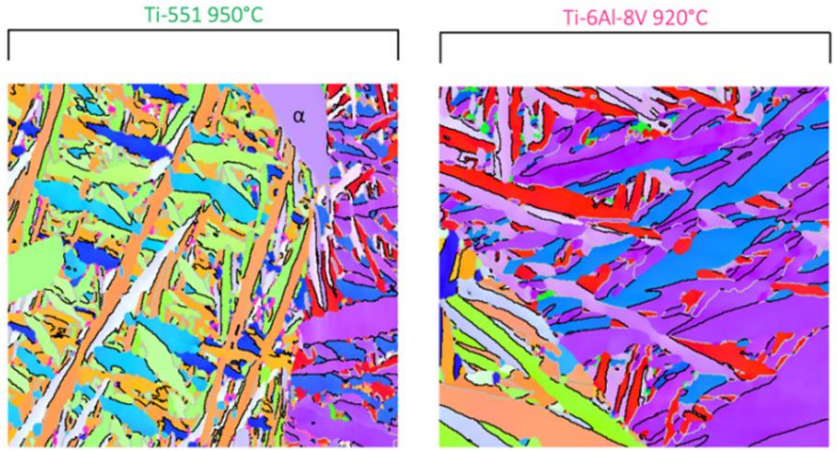
Cofinancé par Union européenne
Wallonie

Une nouvelle stratégie : Reorientation Induced Pasticity (RIP)

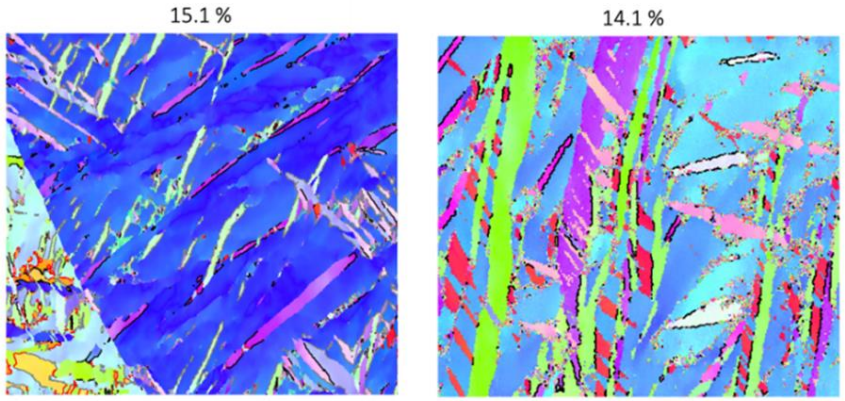
Travaux préliminaires sur des nuances de titane industrielles et en développement
=> atteindre une limite élastique > 800 MPa et un écrouissage > 300 MPa



Phénomène clé
=> la réorientation (RIP)



Etat initial



Etat déformé

Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Des règles de design établies pour observer le RIP

- Générer un α+α' à partir d'un α+β
- Composition du α' $Mo_{eq} \geq 0$

%m	Al	V	Fe	Si	Moeq
TA6V (Thèse de Odeline, 2023)	6,32	4,12	0,19	0	-3,1
Nouvelle compo	4,70 - 6,00	6,50 - 8,00	0,3	0,15-0,6	0,44-0,58

$\beta_{Transus}$ = 996°C

$\beta_{Transus}$ = 965°C

Cofinancé par l'Union européenne

Comment observer le RIP?

- Générer un α+α' à partir d'un α+β

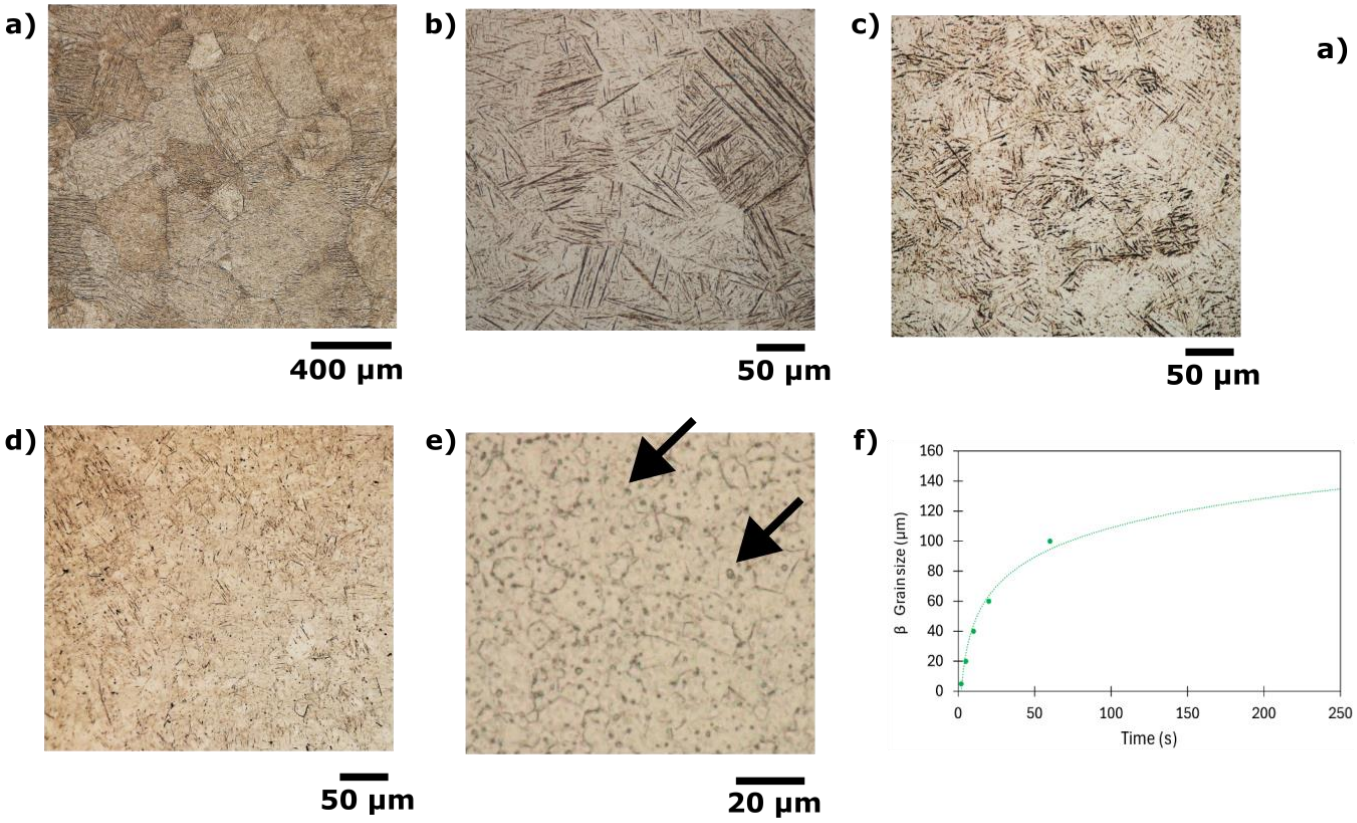
- Composition du α' $Mo_{eq} \geq 0$

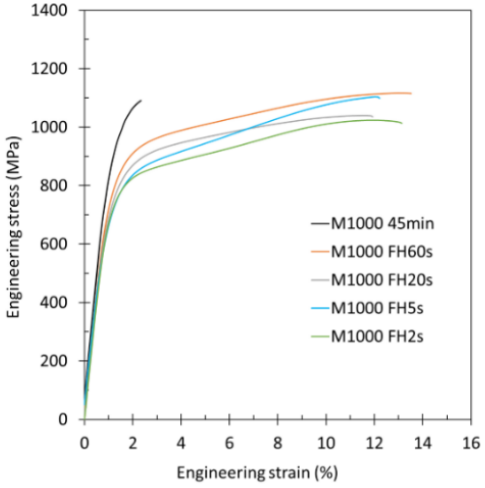
- <u>Limiter la taille des grains β</u>

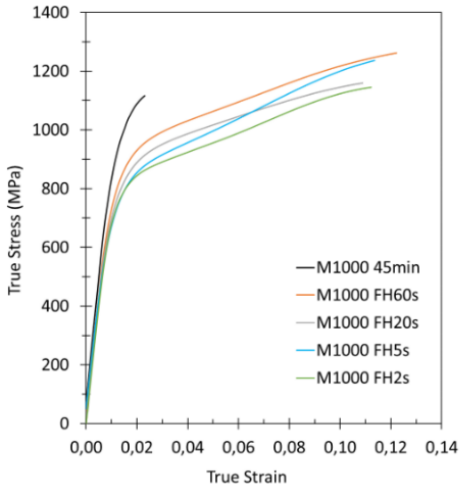
<u>(ex: par la présence de α ou via un recuit rapide ou un refroidissement rapide AM)</u>

Source : Odeline Dumas 's Thesis

Effet des tailles de grain β







c)

Quenching Conditions	σ_y (MPa)	σ_m (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	e_t (-)	e_u (-)
M1000 45min	926	1116	144	2,3	2,3
M1000 FH60s	861	1262	401	13,5	12,2
M1000 FH20s	796	1159	364	11,9	10,9
M1000 FH5s	728	1237	509	12,2	11,4
M1000 FH2s	718	1145	402	13,1	11,2

Cofinancé par l'Union européenne

Et ensuite

- ❑ Imprimer cette nouvelle nuance (en cours et, spoiler, cela marche;)
- ❑ Etudier le comportement d'une poudre de TA6V enrichie en V par traitement de surface (poudres fournies for Materia Nova)
- ❑ Passera dans la machine DED présentée dans le volet Multimatériaux

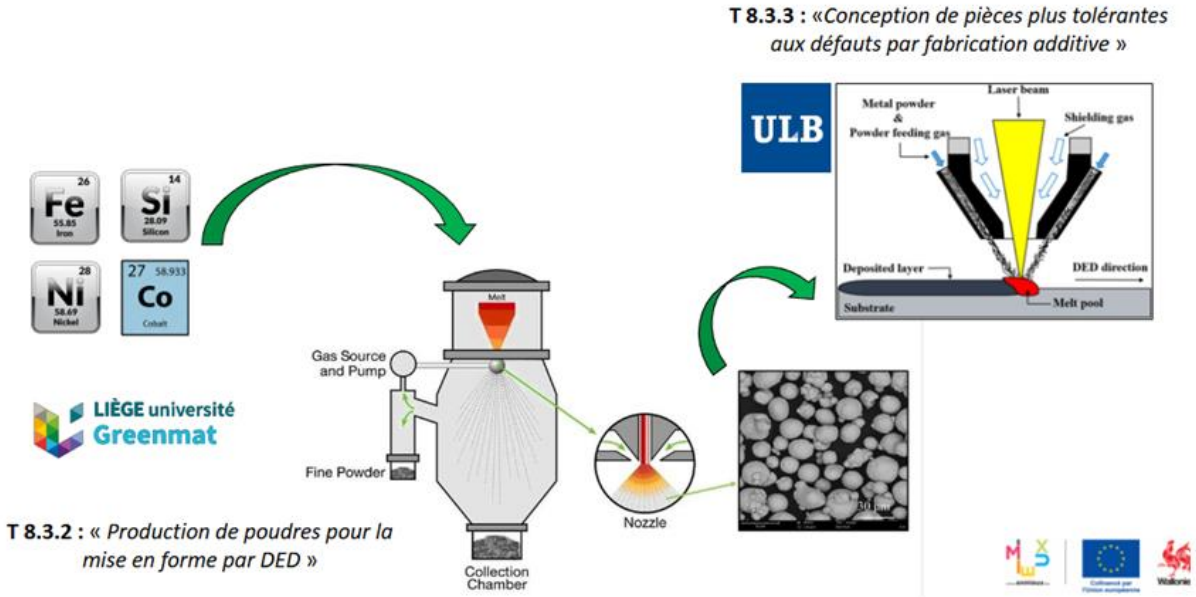
Venez nous revoir au prochain événement!

Cofinancé par l'Union européenne

Production de poudres

GREEnMat : votre partenaire académique pour la **production pilote de poudres céramiques et métalliques/mise en forme 3D**

- **Fusion par induction (creusets graphite ou céramique)**
- **Atmosphère contrôlée :** vide ou azote, O_2 < 0,5 ppm
- **Température max. : 2 000 °C** (alliages à haut point de fusion)
- **Capacité creuset : 1,5 L**
  → jusqu'à **3 kg Al / 7 kg Cu / 8 kg acier** par cycle
- **Poudres sphériques** : **~1 à 250 µm**
- **Contrôle précis de la granulométrie** (pression gaz, T°, débit)

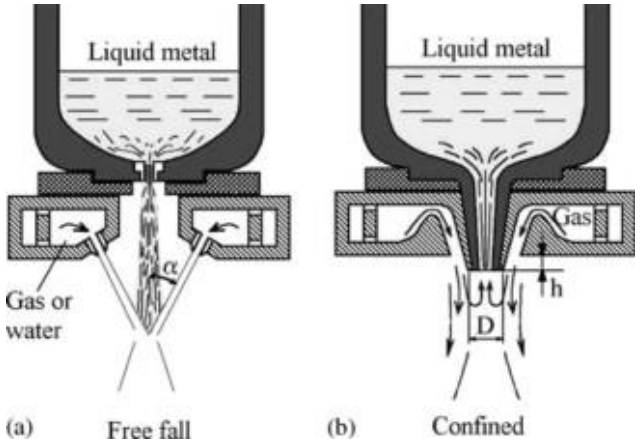


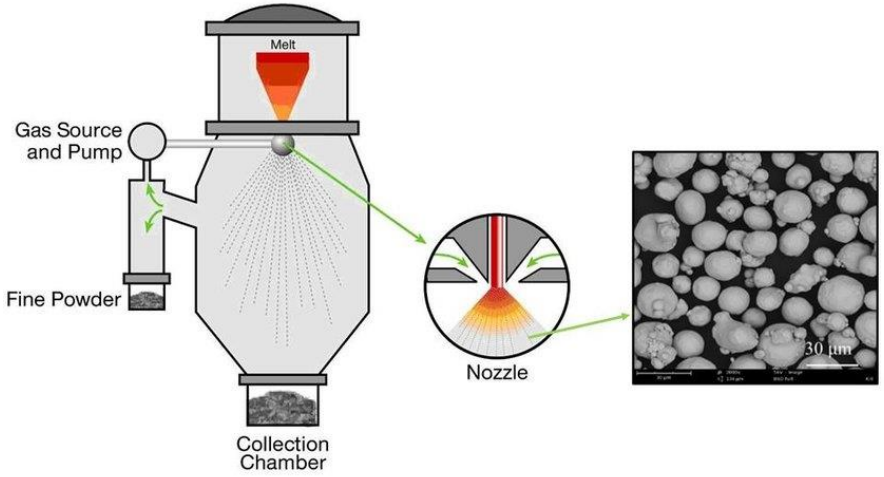
T 8.3.3 : «*Conception de pièces plus tolérantes aux défauts par fabrication additive* »

T 8.3.2 : « *Production de poudres pour la mise en forme par DED* »

Et ensuite ?

- Caractérisations complètes de poudres commerciales adaptées à l'imprimante DED de l'ULB
- Etude des caractéristiques optimales des poudres pour leur utilisation dans l'imprimante DED
- Essais de synthèse de poudres métalliques élémentaires pour fournir l'ULB en poudres





Point de contact :

Dr Frédéric BOSCHINI
R&D « Powders» Manager
frederic.boschini@uliege.be

LIÈGE université GREEnMat

www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Simulations pour améliorer la robustesse

Cenaero

Objectif :

- **Développer des modèles prédictifs extrêmement rapides et physiques du procédé (lit de poudre, DED) capables de prédire l'évolution du champ de température lors d'une impression**
- **Exploiter ces modèles prédictifs pour optimiser les paramètres du procédé (lit de poudre, DED) et diagnostiquer en amont les possibles problèmes liés au design d'une pièce**

Approche suivie :

- **Développement et entraînement de modèles de Machine Learning / ANN**
- **Développement de méthodologies d'hybridation de données issues de simulations physiques et de données expérimentales (par exemple mesure par caméra thermique)**
- **Développement d'un nouveau solveur thermique (solveur de type graphe)**

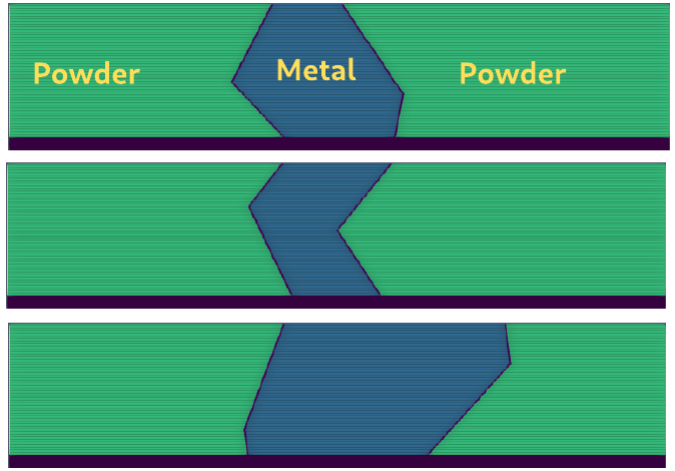
www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Modèle de machine learning

- **Modèle de Machine Learning permettant de prédire l'historique de temperature pour des pièces de géométries variables imprimées par AM**

→ **Simulations du procédé AM pour générer une base d'entraînement du réseau de neurones**

- Simulations thermiques transitoires 2D (avec Morfeo) pour évaluer rapidement les modèles développés, avant de passer aux modèles 3D.



Principales difficultés pour un modèle de ML :

- **Prédire la température pour des géométries non vues à l'entraînement (formes et dimensions)**
- **Assurer la stabilité temporelle de la prédiction (éviter l'accumulation d'erreur)**

→ **Développement de modèle hybrides de type Recurrent Graph Neural Network (RGNN)**

Entrée

- Paramètres du laser (trajectoire, vitesse, puissance, pauses, …)
- Géométrie pièce

→ RGNN

Sortie

- Historique thermique complet de la pièce imprimée

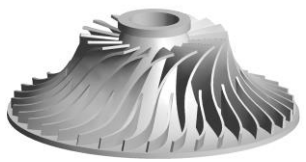
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Résultats obtenus avec le ML

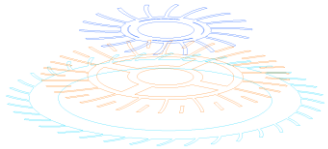
- **Modèle de ML entraîné sur une base de données de 600 simulations**
  → Prédiction stable à long terme
  → Généralisation pour des géométries simples et complexes non vues à l'entraînement
  → Une erreur moyenne absolue (MAE) < à 7°C

- **Nouveau solveur thermique de type graphe très rapide (~secondes)**

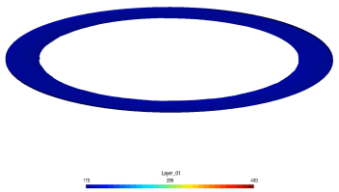
Géométrie STL



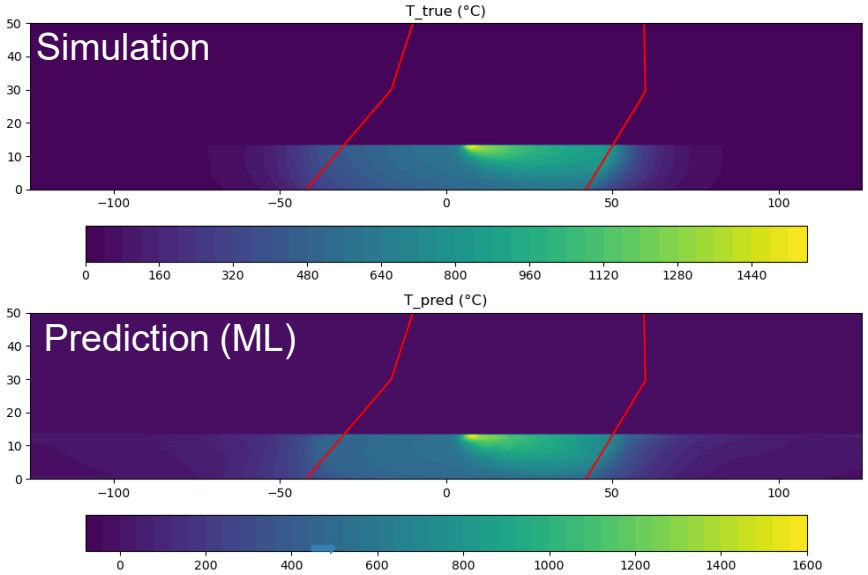
Segmentation



Impeller



- **Résultats ML sur une géométrie non vue**



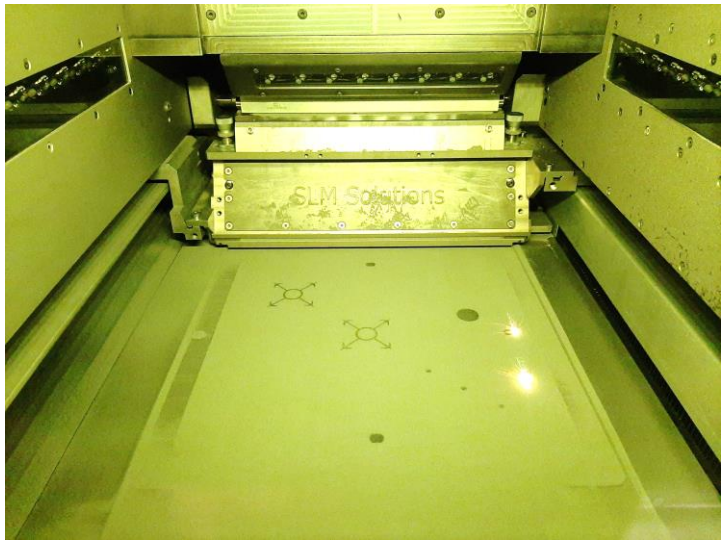
Travaux en cours :

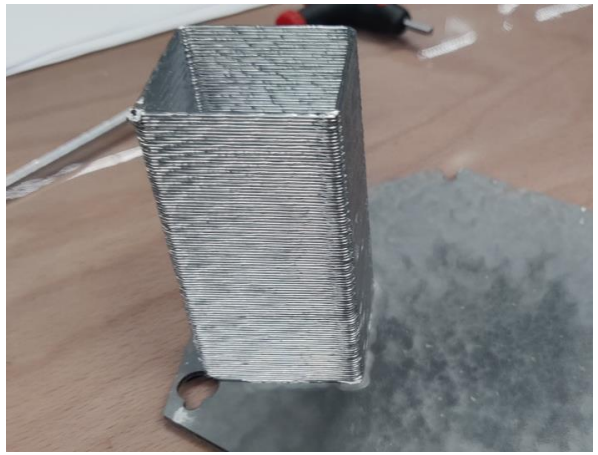
- **Extension du modèle de Machine Learning aux simulations 3D ainsi que pour le DED**
- **Développement d'une méthodologie hybride de ML combinant données expérimentales et simulations**

Cofinancé par l'Union européenne

Mise en œuvre L-PBF et MMD

- **Objectifs :**
  - Monitoring : Acquisition de données process LPBF et MMD via un large spectre de capteurs
  - Data : Exploiter les données selon les besoins (qualité, optimisation, alimentation de modèles numériques…)
  - Amélioration : Développement de méthodes et d'outils décisionnels pour l'optimisation opérationnelle

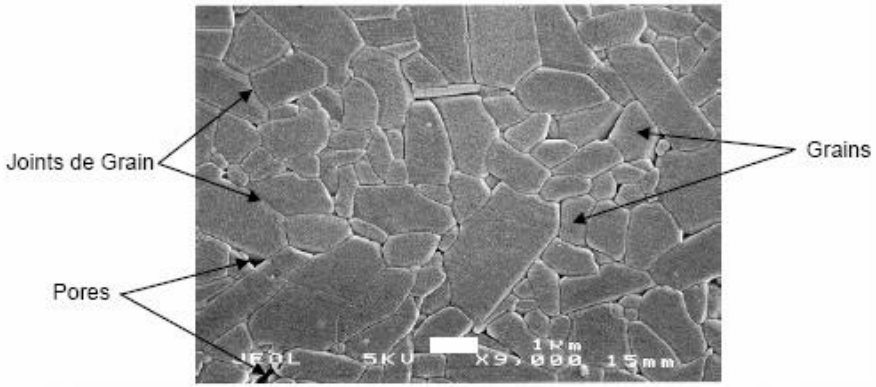


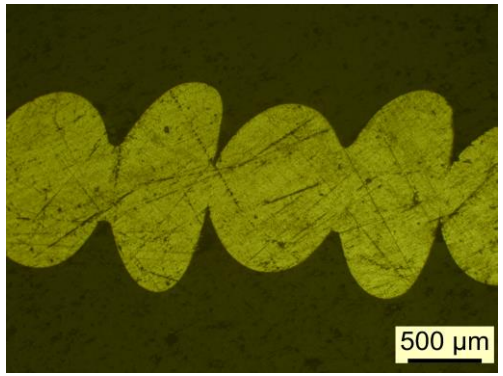


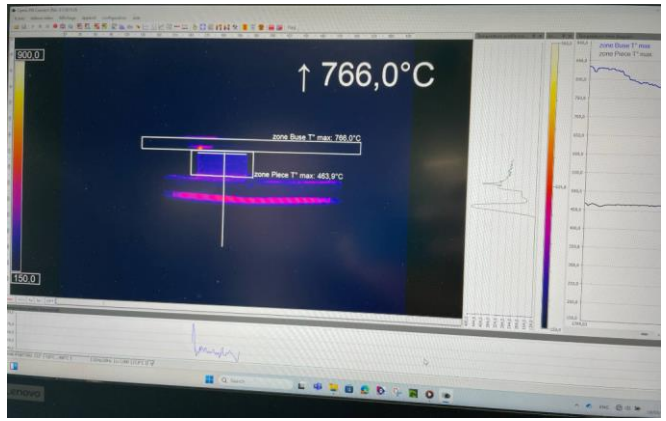
Cofinancé par l'Union européenne

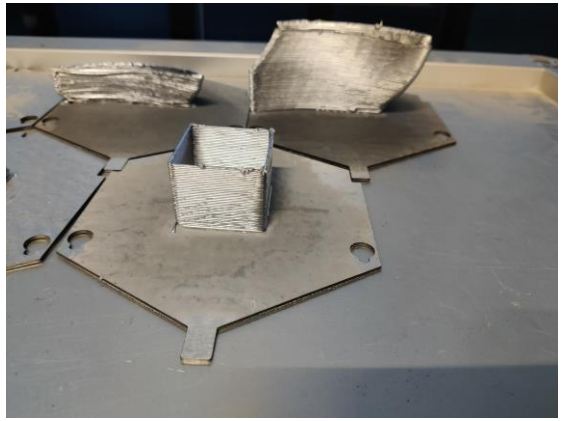
MMD

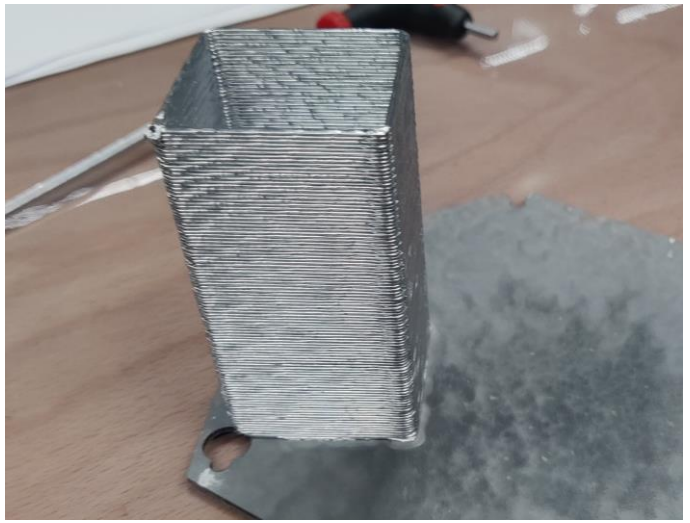
- **Résultats :**
  - Camera IR <-> microstructure <-> simulation
  - 25 mm max vers 90 mm par adaptation du G-Code pour une température plus constante





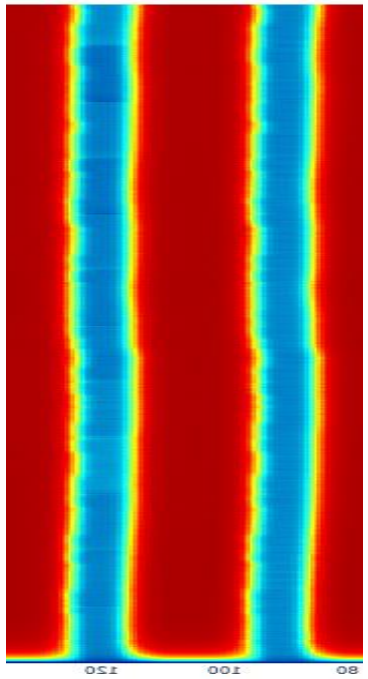


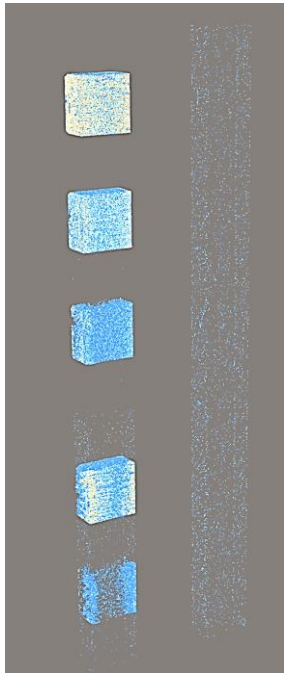


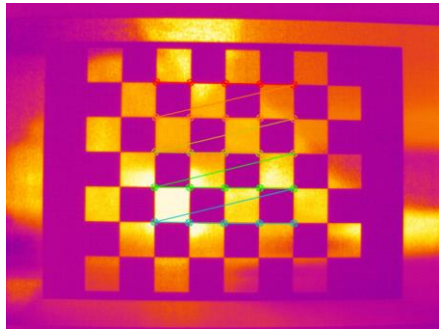


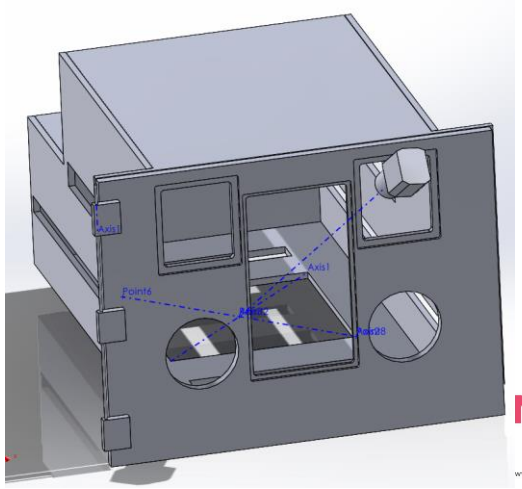
Mise en œuvre L-PBF

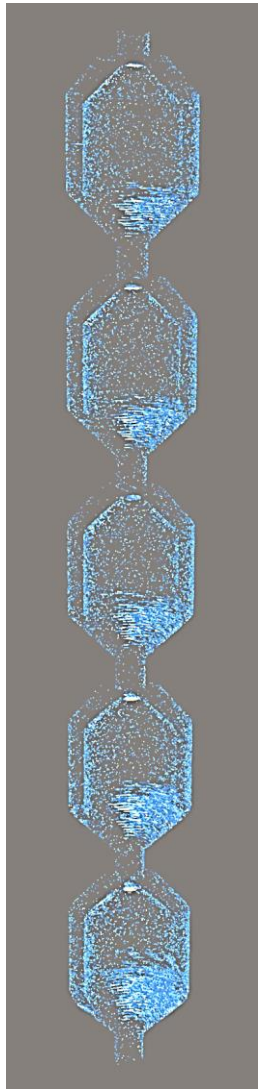
- **Résultats :**
  - Détection d'anomalies dans le suivi meltpool (thermique MICRO)
  - Adaptation (en cours) caméra IR off axis (thermique MACRO)
  - Investigation AMIQUAM (courants Foucault)
  - Application à l'alliage CuCrZr











Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Mise en œuvre L-PBF

Operator

Labo

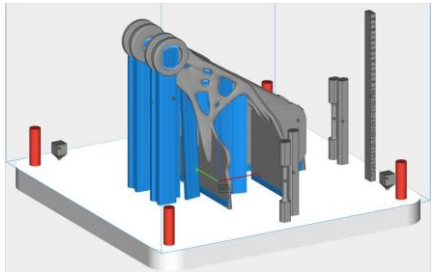
Machine

- **Intégration dans la chaine existante :**

Powder

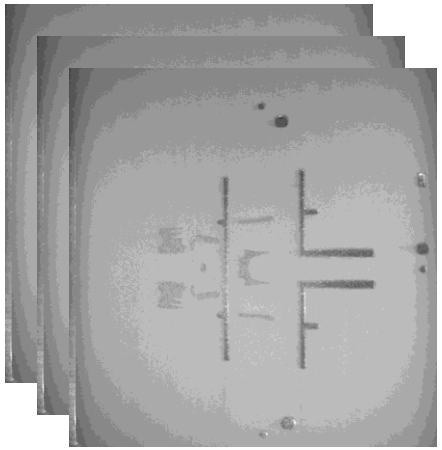
- Density
- Granulo-morphology
- Flowability
- Electrical behaviour
- …

File preparation



Part sizes, volume, surface, position, quantity of supports

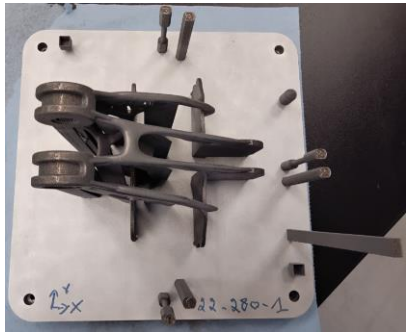
Manufacturing



- Actions on machine
- Powder handling
- Steps reporting

- Meltpool
- Laser Power
- Layer pictures
- Eddy current answer
- Events
- Sensors
- Electrical consumption

Post-treatments & control



- Steps reporting
- Quality control
- Heat Treatment

- Density
- Mechanical properties

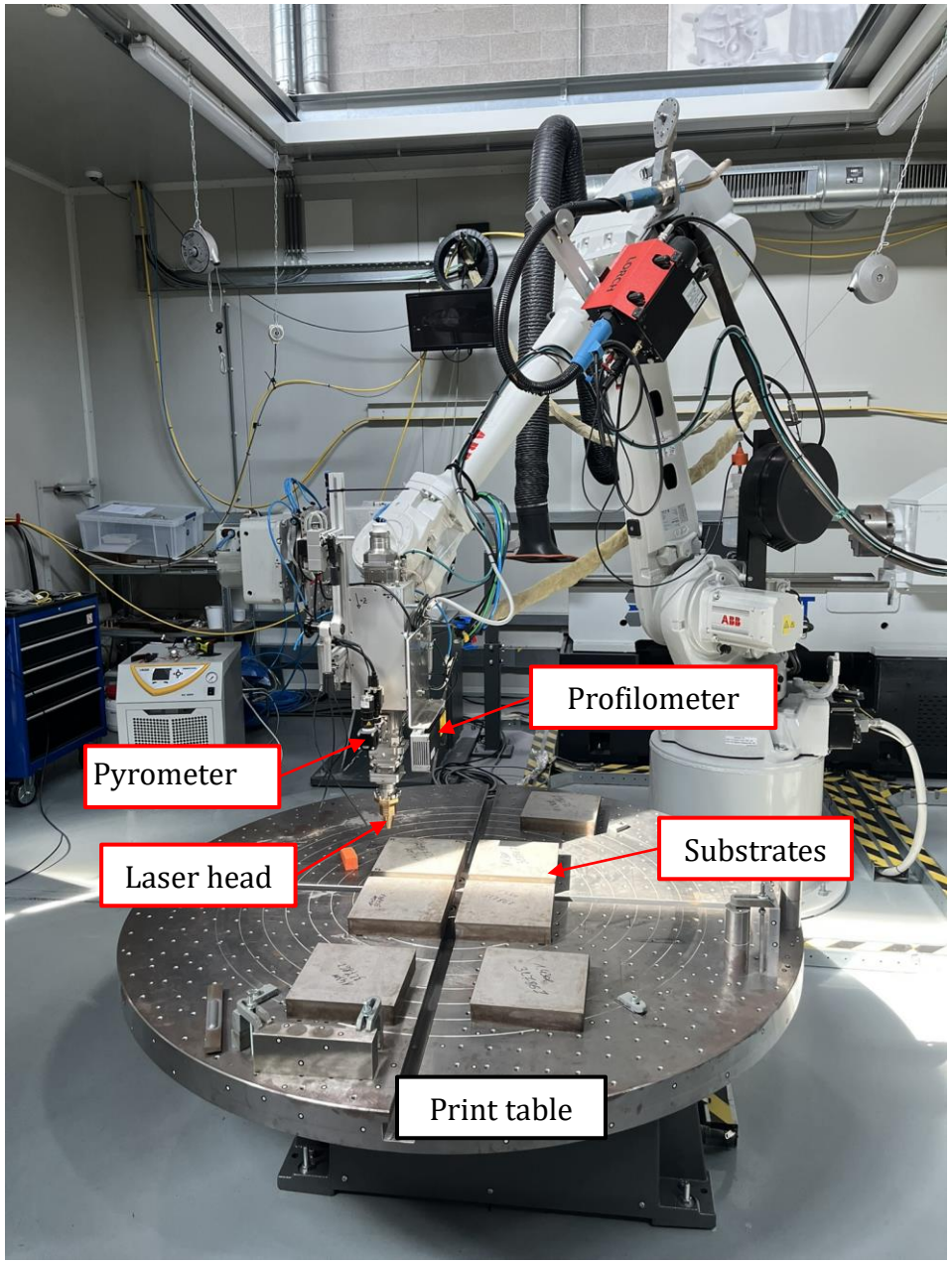
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

Prochaines étapes

- **MMD :**
  - Calibrer la simulation via mesures thermiques et coupes micro.
  - Valider les outils pour une production plus stable dans les grandes dimensions.
- **L-PBF :**
  - Corréler les propriétés pièces avec les mesures de capteurs pour quantifier l'impact des anomalies
  - Approvisionner les partenaires en données
  - Evoluer dans la fusion des données capteurs pour mieux détecter toutes les anomalies (standardisation des formats et visuels)
  - Utiliser la détection d'anomalie pour identifier les paramètres robustes lors des campagnes d'essais.

Cofinancé par l'Union européenne

Développement DED + robuste



Capteurs pour mesures in-situ de l'impression

1. Pyromètre (mesure laser IR 1D coaxiale)
2. CLAMIR (caméra IR 2D coaxiale)
3. FLIR (caméra IR 2D perpendiculaire) pas sur l'image
4. Profilomètre laser 1D

→ Déjà utilisé pour le suivi des essais

En 2026

Acquisition de contrôle par courant de Foucault (en cours)

Revamping de l'interface homme-machine (en cours)

Cofinancé par l'Union européenne

Conclusions

- Adaptation de poudres existantes (Materia Nova) — Axel.Hemberg@MATERIANOVA.BE
- Procédé MEX additif-soustractif pour meilleure adhésion et précision dimensionnelle (CRIBC) — g.martic@bcrc.be
- Maitrise systématique du procédé MEX *workshop friendly* (UMons) — laurent.spitaels@umons.ac.be
- Fabrication de poudre métallique à façon (Uliege GREEnMat) — Frederic.Boschini@uliege.be
- Simulation thermique L-PBF très rapide via Graph RNN (Cenaero) — arnaud.francois@cenaero.be
- Monitoring complet L-PBF pour développement matériaux accéléré (Sirris) — julien.magnien@sirris.be
- Monitoring complet DED robotisé pour qualifier les réparations ou fabrications (CRM) — Cedric.GEORGES@crmgroup.be, Karl.sofinowski@crmgroup.be

www.enmieux.be
Cofinancé par l'Union européenne
Wallonie

ETAT D'AVANCEMENT

AM DURABLE

UCL Université catholique de Louvain

CRM GROUP

MATERIA NOVA Materials R&D Center

innovation forward

UMONS Université de Mons

AM Durable - Materia Nova (Plasma4AM)

Anastasia.greget@materianova.be

OBJECTIF

AM Durable = Volet transverse

Évaluer le bénéfice environnemental (ACV) sur l'ensemble du cycle de vie, des différents :

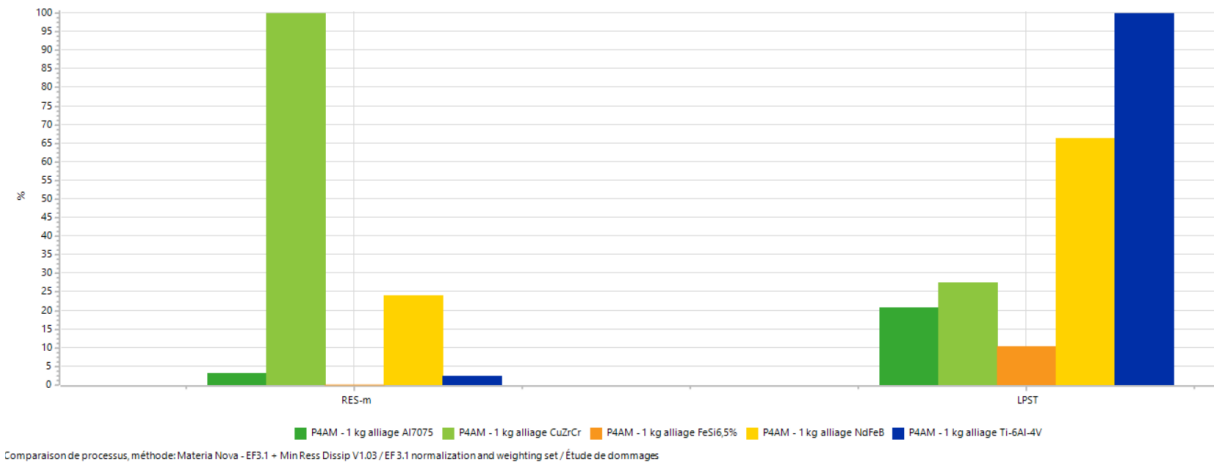
Procédés :
- AM (DED, DLMD, LPB-F) & hybride
- Fabrication des poudres métalliques (SD, GA)
- Traitement des poudres (PVD, sphéroïdisation)

Alliages (vierges et recyclés) :
- NdFeB
- TA6V
- Al7075
- FeSi
- CuZrCr

Scénarios :
- Remplacement et recyclage
- Réparation
- Fabrication SM vs AM

RÉSULTATS ET DÉVELOPPEMENTS

✓ Eco-profils des alliages (cradle-to-gate)



Légende : exemple de résultats comparatifs sur l'indicateur "Ressources minérales et métalliques" (impact sur l'extraction des matières) à gauche, et l'indicateur "Lost Potential Service Time" (quantifie la perte de disponibilité future d'un métal causée par son extraction aujourd'hui)

AM Durable - Materia Nova (Plasma4AM)

Anastasia.greget@materianova.be

OBJECTIF

AM Durable = Volet transverse

Évaluer le bénéfice environnemental (ACV) sur l'ensemble du cycle de vie, des différents :

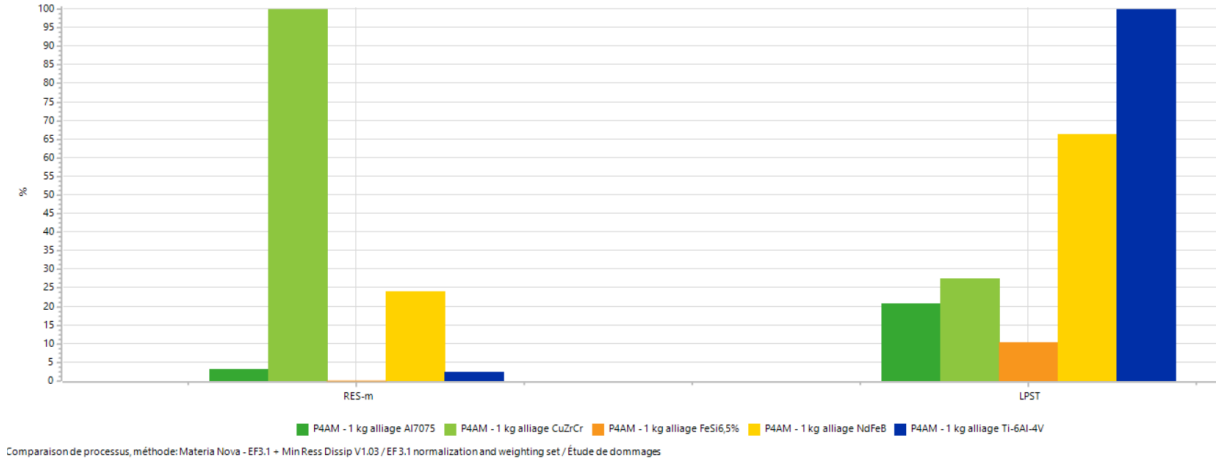
Procédés :
- AM (DED, DLMD, LPB-F, PAM) & hybride
- Fabrication des poudres métalliques (SD, GA)
- Traitement des poudres (PVD, sphéroïdisation)

Alliages (vierges et recyclés) :
- NdFeB
- TA6V
- Al7075
- FeSi
- CuZrCr

Scénarios :
- Remplacement et recyclage
- Réparation
- Fabrication SM vs AM

RÉSULTATS ET DÉVELOPPEMENTS

✓ **Eco-profils des alliages (cradle-to-gate)**



Légende : exemple de résultats comparatifs sur l'indicateur "Ressources minérales et métalliques" (impact sur l'extraction des matières) à gauche, et l'indicateur "Lost Potential Service Time" (quantifie la perte de disponibilité future d'un métal causée par son extraction aujourd'hui)

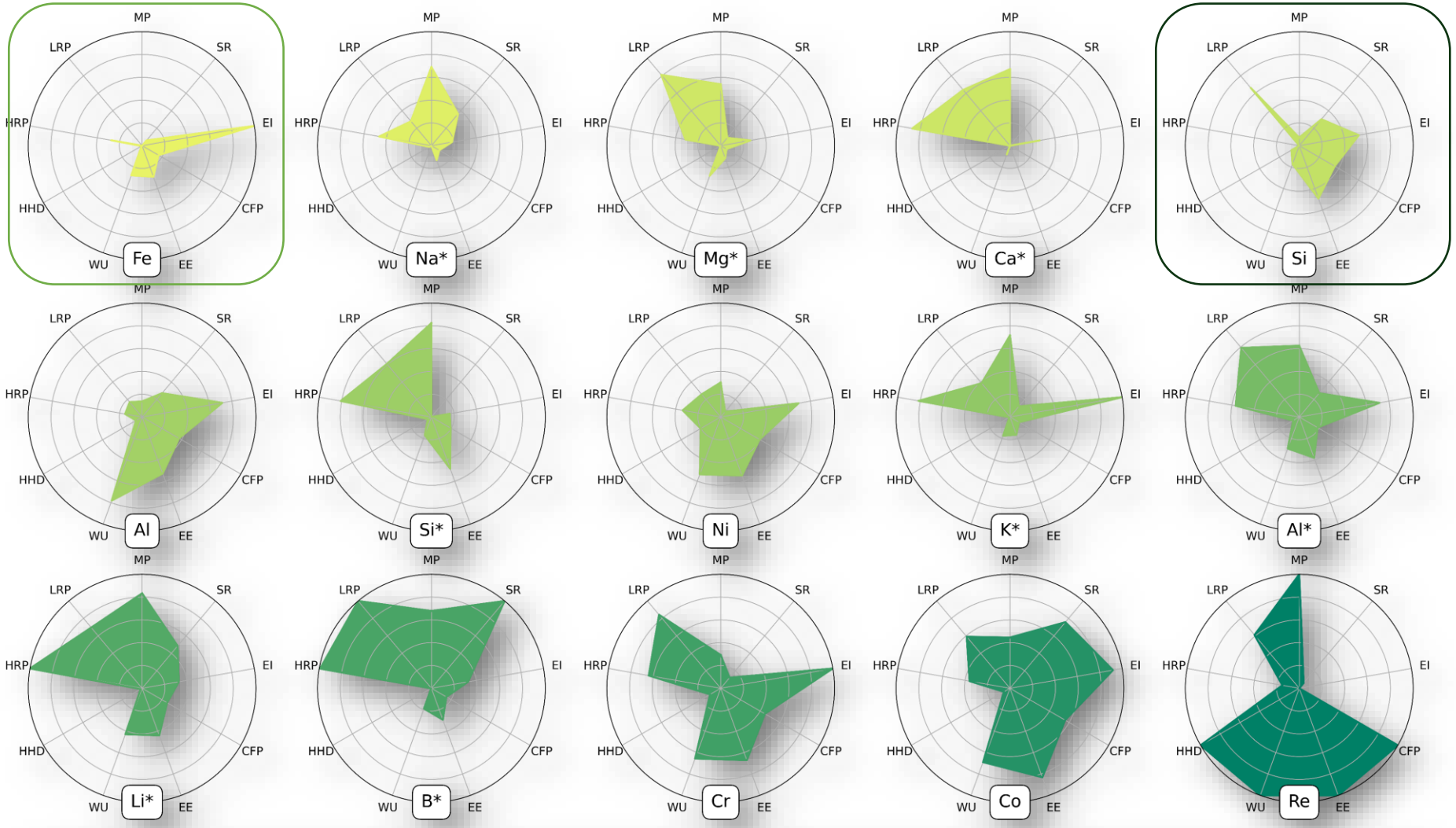
→ **Modélisation des alliages recyclés, des procédés et scénarios (en cours)**

→ **Choix et définition de cas d'application (pièces)**

→ **Synthèse des résultats ACV et perspectives de développement**

AM Durable – Empreintes matériaux

[Novembre 2025] Theo.langlois@ulb.be

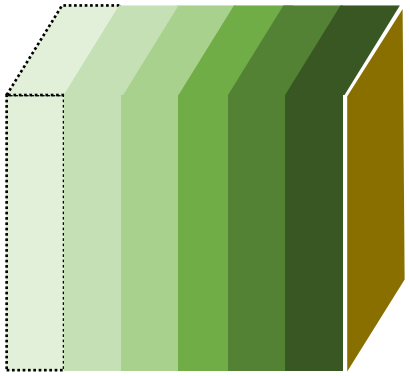


Empreintes

- Environnementales
- Économiques
- Sociétales

Pour plus de 20 métaux

En lien avec le volet matériaux multi-fonctionnels



Fe Fe-Si

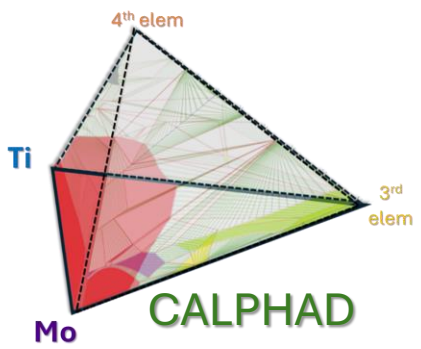
AM Durable – Combinatory high-throughput

[Décembre 2025] Theo.langlois@ulb.be

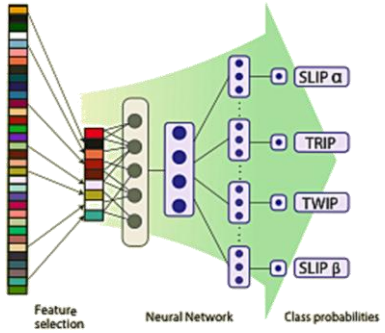
To avoid trial-errors

And optimize the high-throughput exploration

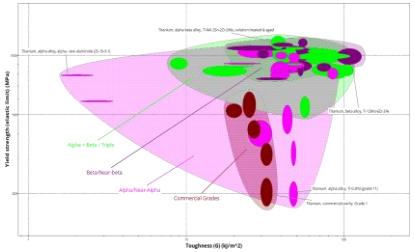
Simulations



Machine Learning



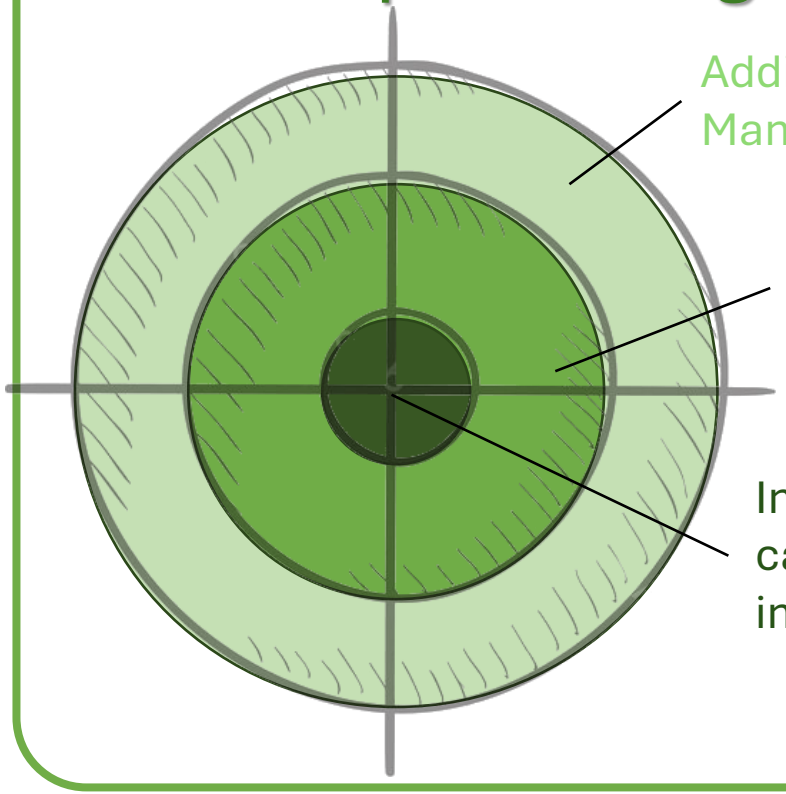
Ashby Diagrams
+ Matminer



Design β-metastable Ti alloys + magnetic HEAs

Back loop reinforcement

3-scale processing



Additive Manufacturing

Arc-Melting buttons

Induction casting ingot

laurent.spitaels@umons.ac.be

UMONS Université de Mons

HybridAM – Usinage de pièces obtenues par AM Indirect

Objectif

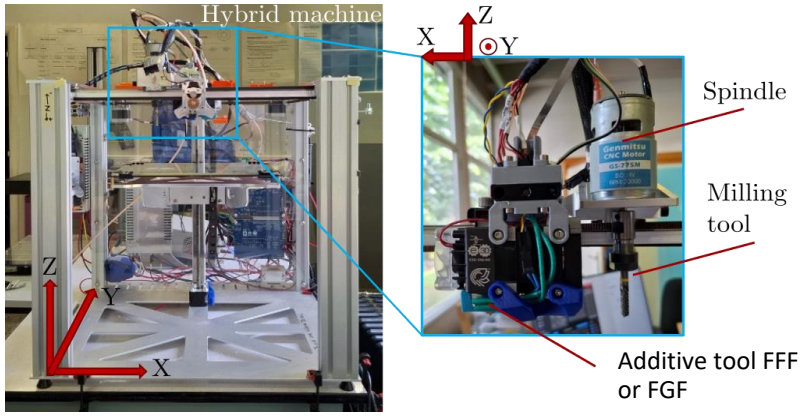
- Permettre la fabrication hybride (AM + usinage à sec) des pièces obtenues par AM indirect (FGF[1], zircone à l'état vert)

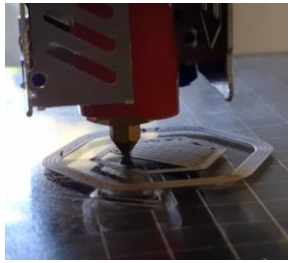
Résultats

- Démonstrateur hybride combinant FGF, FFF, usinage et software pour la génération des gcodes additifs et soustractif
- Fabrication hybride de pièces en zircone à l'état vert
- Méthode systématique pour obtenir les paramètres d'usinage pour la zircone à l'état vert basée sur NF E 66-520-5
- Quantification des tolérances dimensionnelles et géométriques du procédé hybride
  → Ra < 1,6 µm, classe fine (ISO 2768, dim. et geo.) et arêtes vives

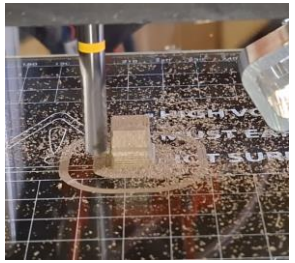
Futurs développements

- Validation sur des pièces d'end users



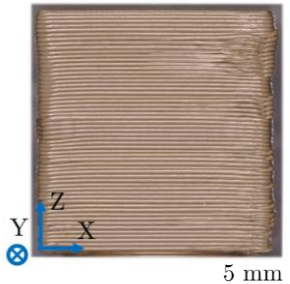


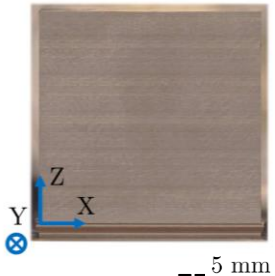
Additive Manufacturing by FGF

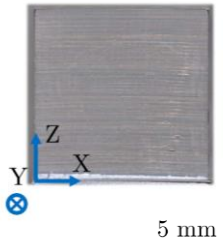


Milling

Debinding and sintering







[1] Fused Granular Fabrication

laurent.spitaels@umons.ac.be

UMONS Université de Mons

HybridAM – Usinage de pièces obtenues par AM Direct

Objectif

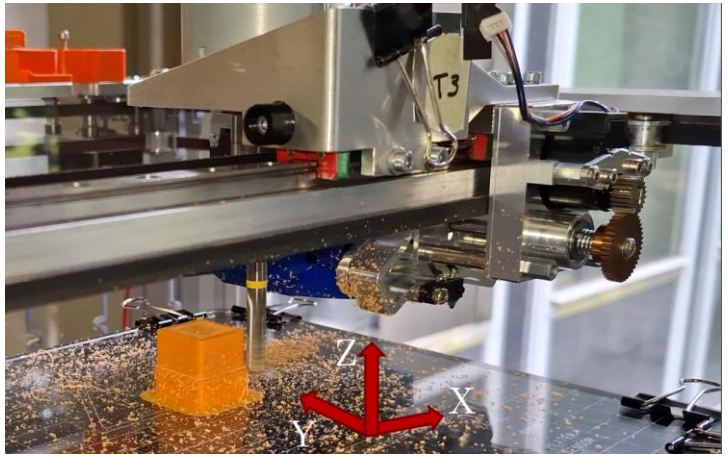
- Permettre la fabrication hybride (AM + usinage à sec) des pièces obtenues par AM direct (FFF[1] polymère et DED[2] métal)

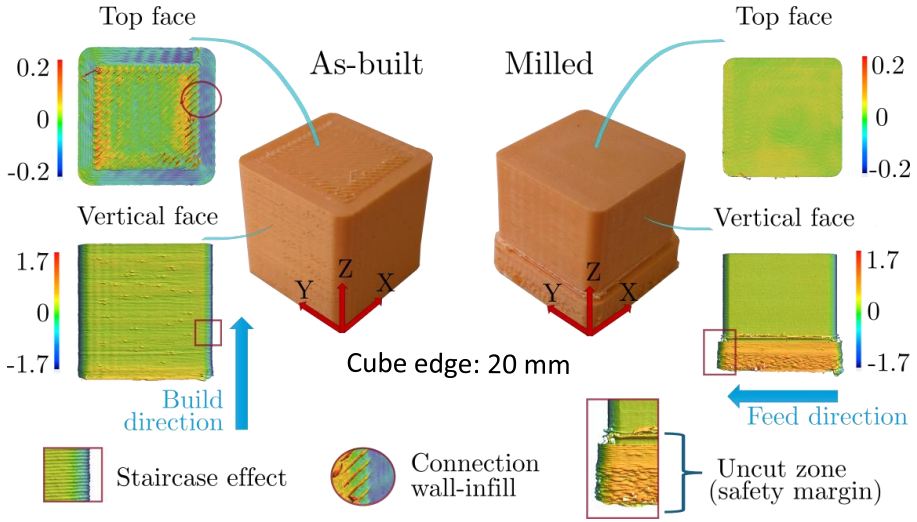
Résultats

- Démonstrateur hybride combinant FGF, FFF, usinage et software pour la génération des gcodes additifs et soustractif
- Fabrication hybride de pièces en PLA
- Quantification des tolérances dimensionnelles et géométriques du procédé hybride
  → Ra < 3,2 µm, classe fine (ISO 2768, dim. et geo.) et arêtes vives
- Sélection d'un outil et obtention des paramètres de coupe dans l'aluminium DED pour son usinage robotisé (Staübli TX200)

Futurs développements

- Usinage robotisé de pièces DED + collecte des puissances, copeaux, … pour quantifier l'impact environnemental du procédé





[1] Fused Filament Fabrication
[2] Directed Energy Deposition

Merci de votre attention

Maintenant, vous avez la parole → sondage