



RDM
RÉSEAU DES MÉCANICIENS



université
PARIS-SACLAY



Défis et quelques solutions pour la fabrication additive du cuivre.

Â. E. Crespi^{♦♦,*} , C. Ballage[♦] , T. Minea[♦] , J. Robert[♦] , D. Lundin[♦] , M. C. Hugon[♦]

[♦] GREMI Laboratory, CNRS, UMR 6606, 14 rue d'Issoudun, BP 6744, Orleans Cedex 2 45067, France

[♦] LPGP, Université Paris-Saclay, CNRS, F-91405 Orsay Cedex, France

[♦] Plasma & Coatings Physics Division, IFM, Linköping University, SE-581 83 Linköping, Sweden

Limoges – France 15 Juin 2023

université
PARIS-SACLAY

Sommaire

Contexte

Objectifs

Résultats

Réflectance

Fusion Laser

Propriétés électriques poudre

Conclusions

Convention Industrielle de Formation par la Recherche



LPGP- Laboratoire de physique des gaz et des plasmas

Add Up Global solutions

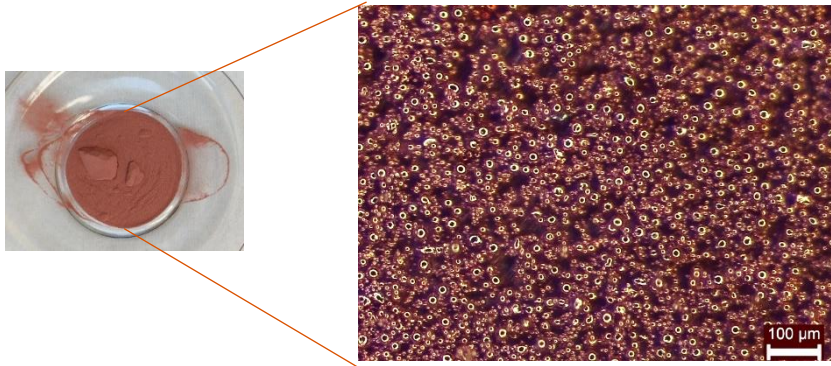


Project AM-bition

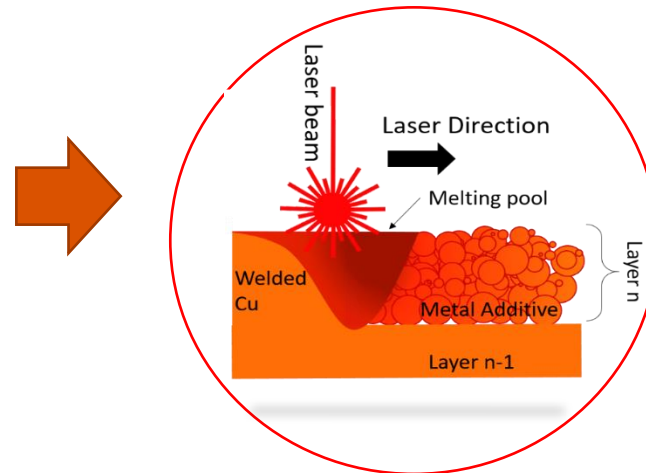


Fusion de lits de poudre

Étalement de la couche de poudre

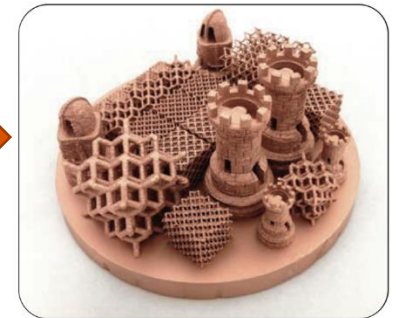
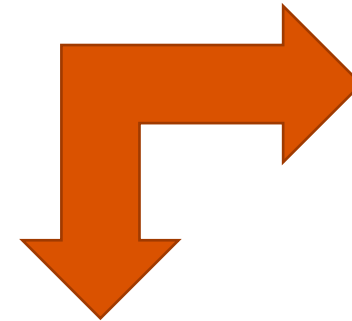


Fusion Sélective



Conduction thermique
 $\sigma_{Cu} \sim 398 \text{ W/m K}$

Objet construit en couches

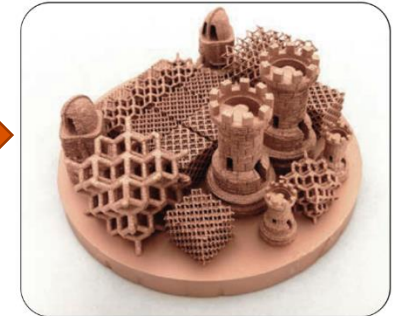
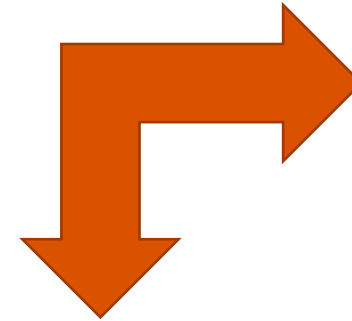
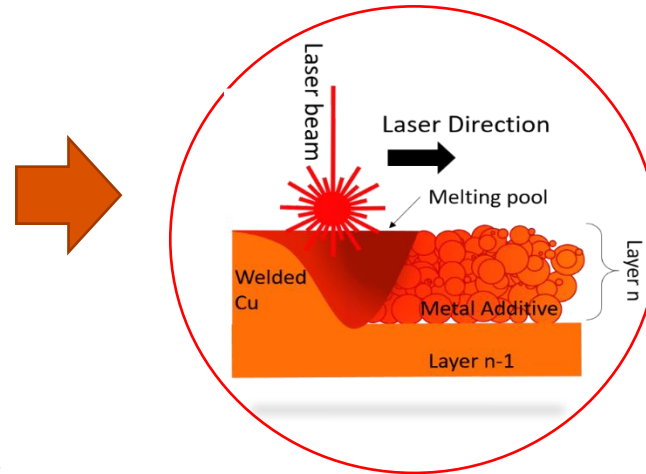
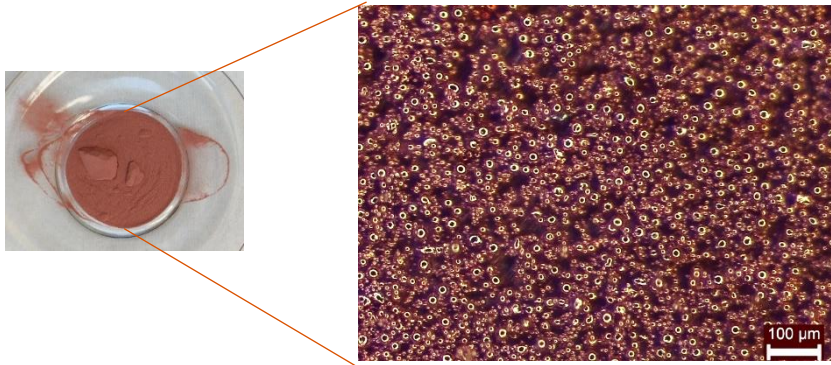


Fusion de lits de poudre

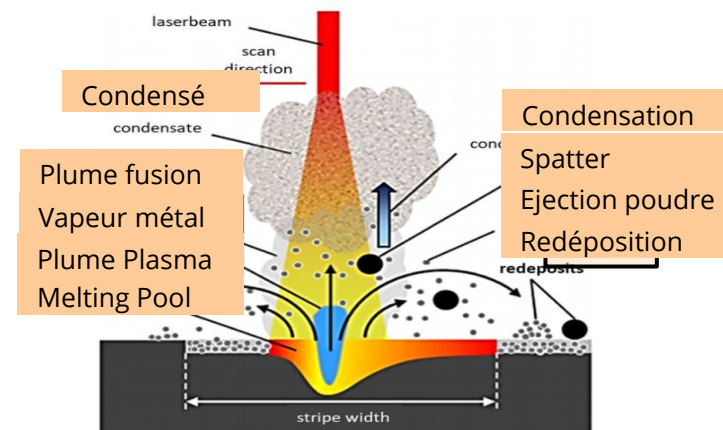
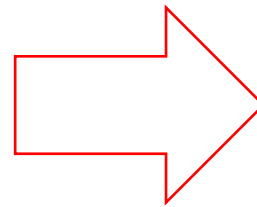
Étalement de la couche de poudre

Fusion Sélective

Objet construit en couches



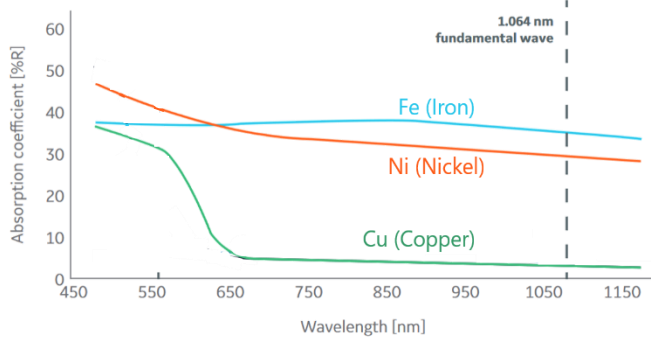
Problèmes!



Carbone Amorphe

Réflectance

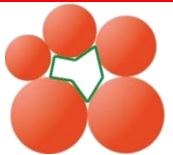
100 % réfléchissante à 1.05µm



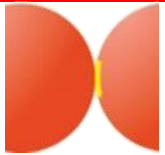
Conduction

Bulk: 1.6723 µΩ cm

Résistivité Cu Poudre : ?



Les Interstices



Des Oxides

COÛTEUX



CARBONE

nature communications



Article

<https://doi.org/10.1038/s41467-023-38082-8>

3D printing of unsupported multi-scale and large-span ceramic via near-infrared assisted direct ink writing

Received: 20 August 2022

Accepted: 13 April 2023

Published online: 25 April 2023

Check for updates

- Graphene - Nanoparticules
- Absorbants Amorphe

➤ Absorption de la réflectance
➤ Réduction de l'oxygène dans le Cu
➤ Meilleures propriétés mécaniques

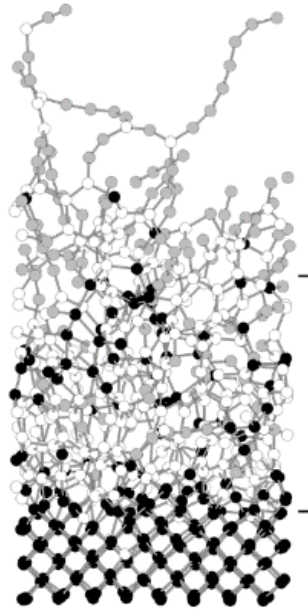
➤ Défauts
➤ Séparation d'une phase carboné

Carbone Amorphe

COÛTEUX

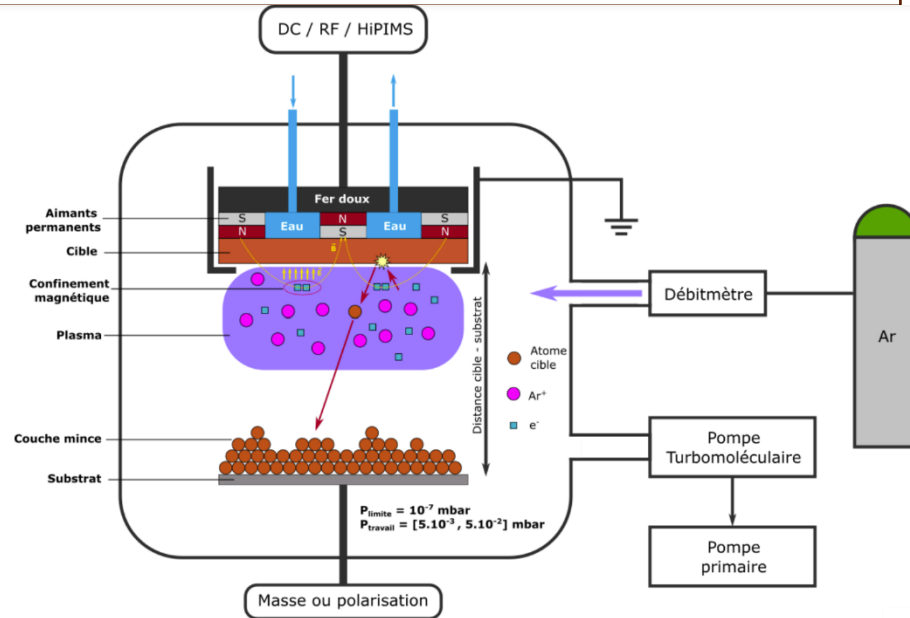


CARBONE



Carbone amorphe
Hybridation Sp^2
Graphite -Noire

Pulverisation cathodique par magnétron
Cible de carbone -plasma



Optimisation des propriétés du fil de carbone = noir et aussi conducteur que possible

Objectifs

Créer un film mince sombre efficace en utilisant du carbone pour améliorer l'absorption sur des substrats de Cu sans endommager la conduction

Objectifs spécifiques:

1. Déposer et caractériser des films de carbone amorphe
2. Optimiser l'ajout de film pour préserver les propriétés électriques du Cu
- 3. Réduire l'énergie utilisée dans le processus d'impression 3D par fusion laser sur lit de poudre**
- 4. Comprendre les propriétés électriques des poudres utilisées comme matière première.**

Sommaire

Contexte

Objectifs

Résultats

Réflectance

Fusion Laser

Propriétés électriques poudre

Conclusions

Sommaire

Contexte

Objectifs

Résultats

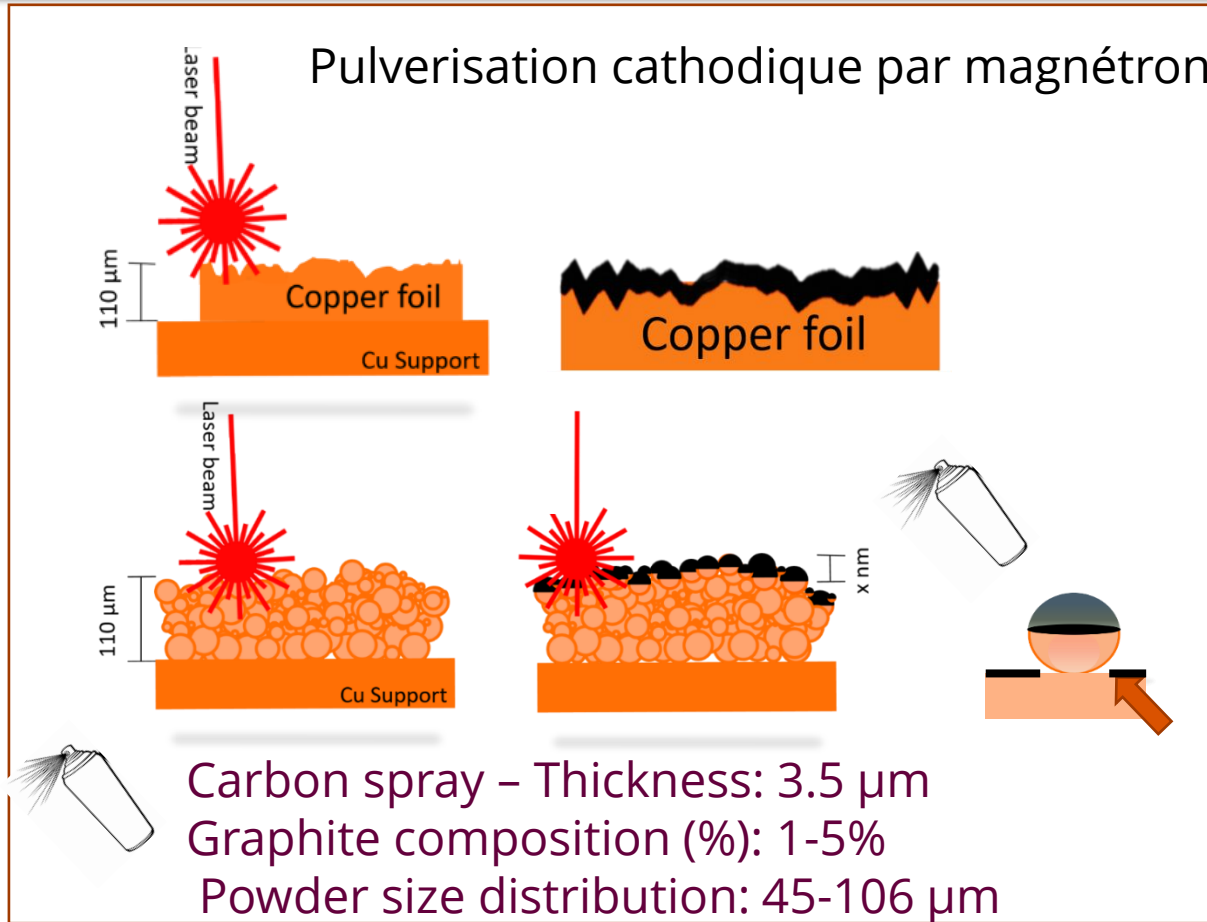
Réflectance

Fusion Laser

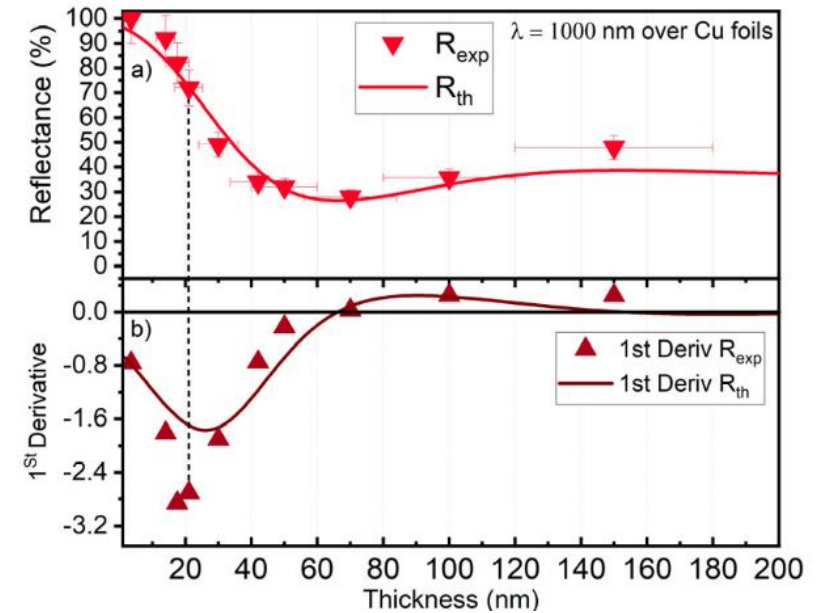
Propriétés électriques poudre

Conclusions

Réflectance Cuivre-Carbone



Réflectance
 X
 Epaisseur de Carbone



Laser: Nd-YAG Triumph Laser top-hat TruDisk 10002. ϕ = Densité de puissance
 Camera-8-10 k images par secondes
 $\lambda = 1.05 \mu\text{m}$ - vitesse = 0.5 m/s - Spot $\varnothing = 200 \mu\text{m}$

$$\phi = \frac{4 \text{ Puissance}}{\pi(\text{Spot } \varnothing)^2}$$

Energie de
 référence:
 2000 W



Sommaire

Contexte

Objectifs

Résultats

Réflectance

Fusion Laser

Propriétés électriques poudre

Conclusions

Sommaire

Contexte

Objectifs

Résultats

Réflectance

Fusion Laser

Propriétés électriques poudre

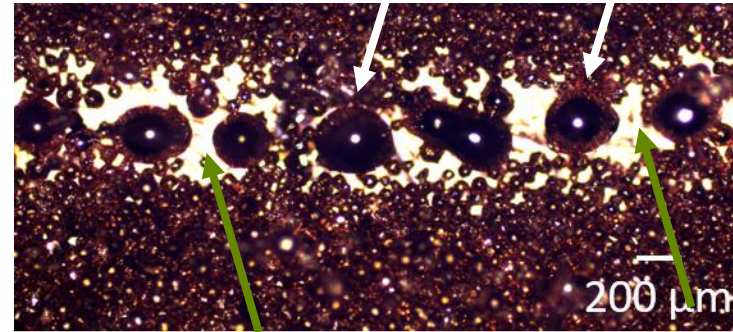
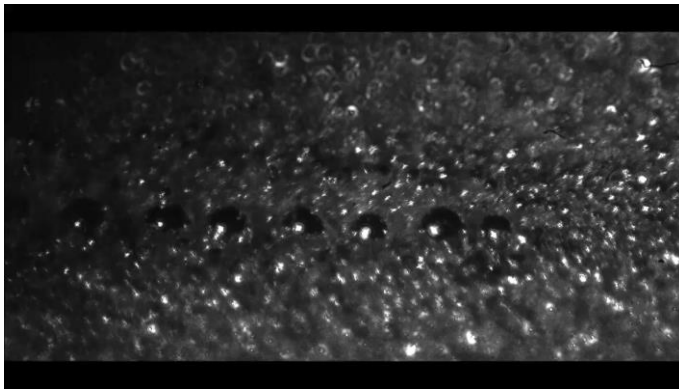
Conclusions

Welding at 20 kW/ mm² – Comparison powder-

600 W

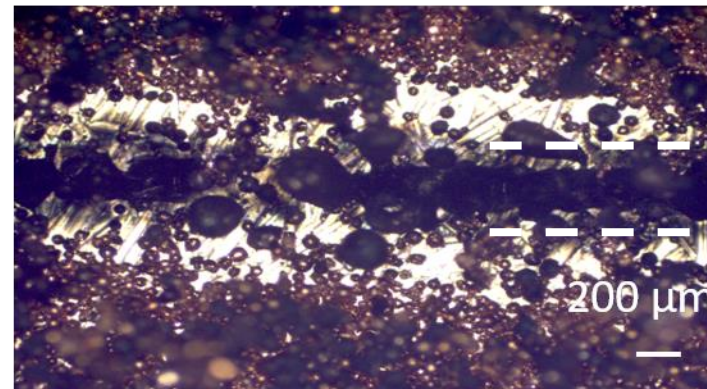
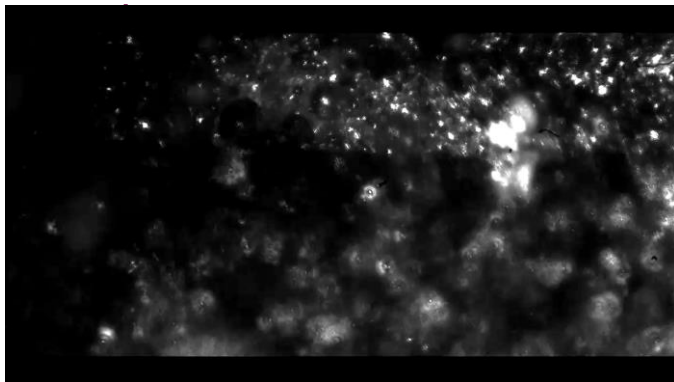


Poudre de Cu



- Effet Balling
- Denudation

Poudre de Cu + Spray carbone



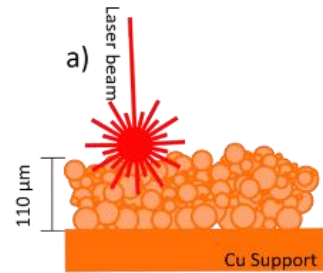
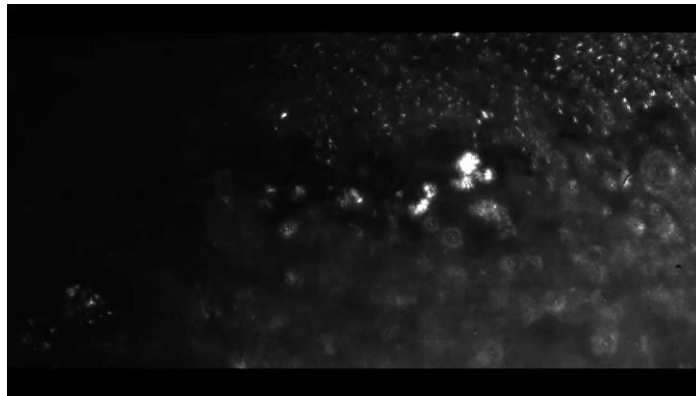
✓ Des points reliés

- Denudation

Fusion à 64 kW/ mm² – Comparaison -

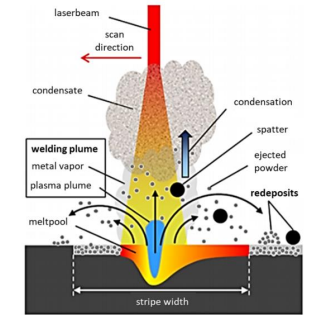
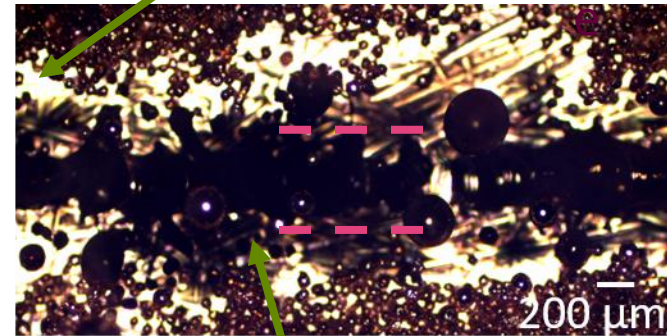


Poudre de Cu



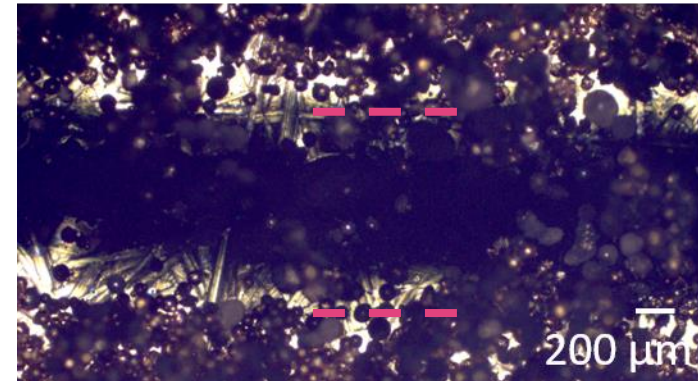
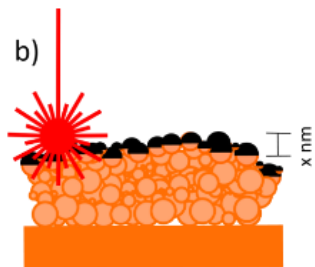
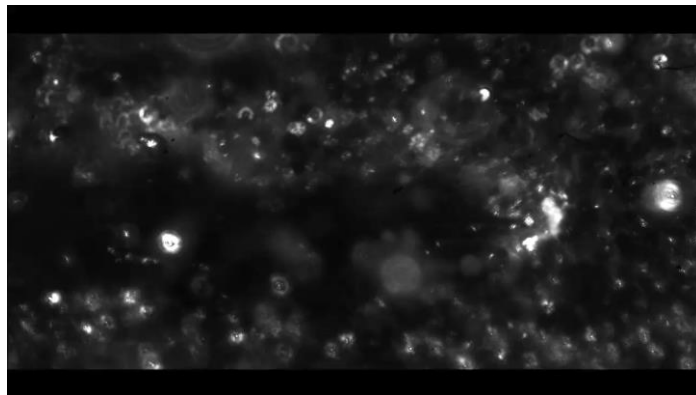
2000 W

Referenc



• Dénudation

Poudre de Cu + Spray carbone

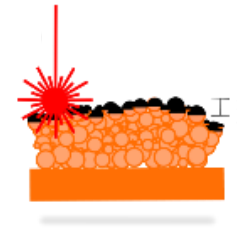
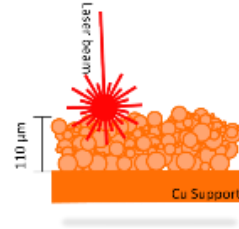


✓ Cordon
continu
✓ Dénudation

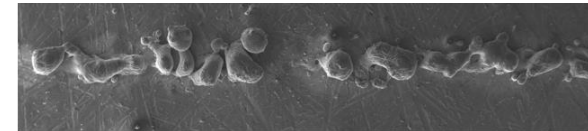
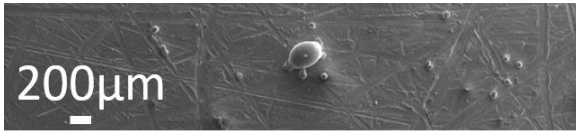
✓ Réduction des problèmes grâce au film de graphite

Topographie de la fusion

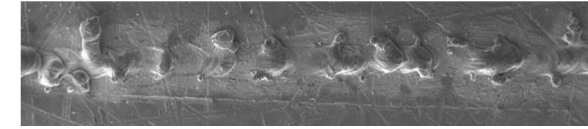
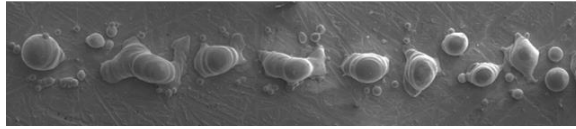
Topographie



600 W 20 kW/ mm²



1200 W 38 kW/ mm²

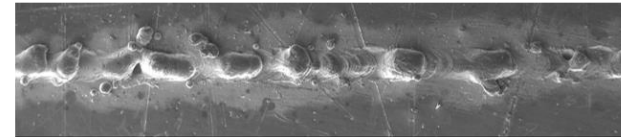
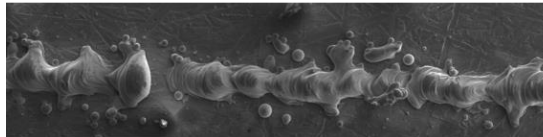


Effet balling

Cordon continue

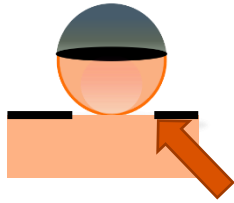
Reference

2000 W 64 kW/ mm²

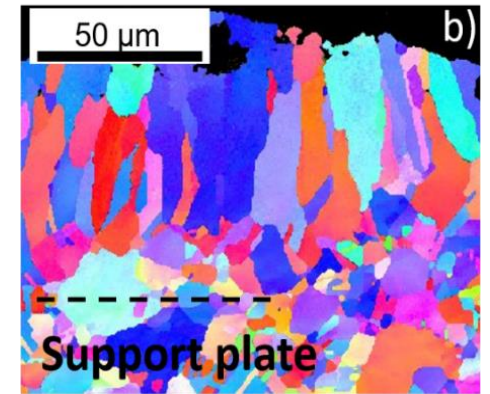


↑ Énergie : Cordon continue

Cross section

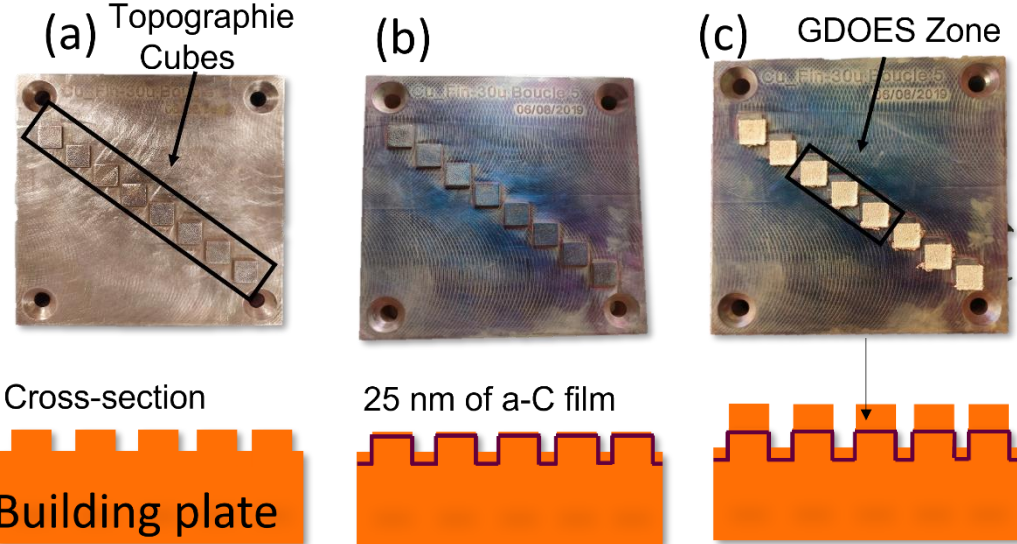


1200 W

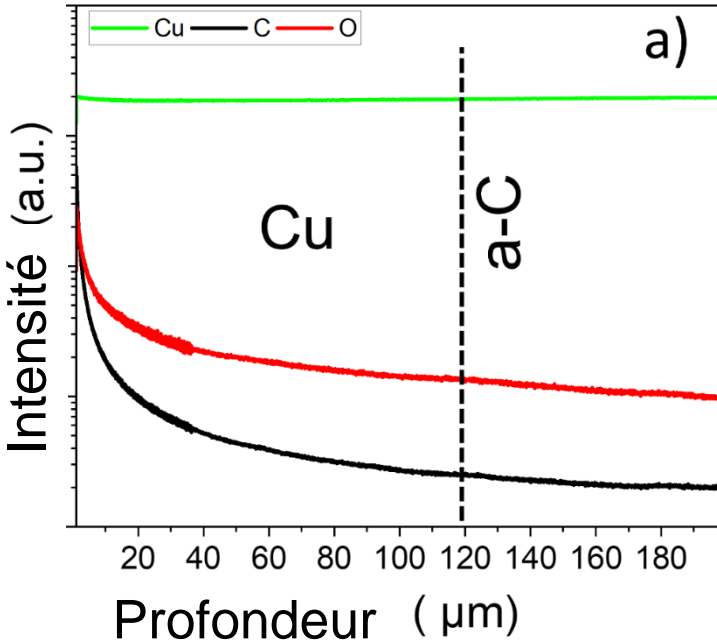


Reduction 40 %
dans l'énergie
de fusion

Pièce imprimée en 3D -SLM

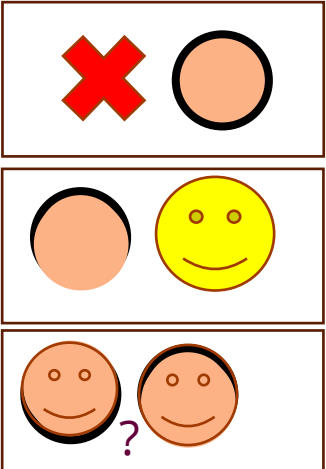


Analyse Chimique en profondeur – glow discharge optical emission spectroscopy (GDOES)

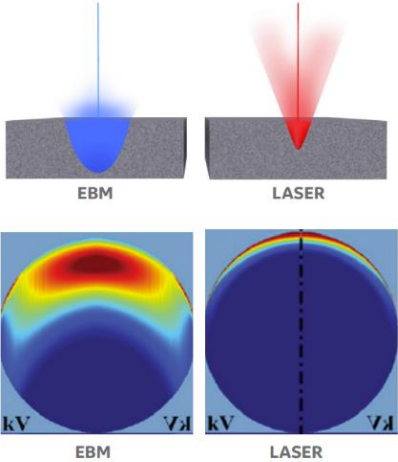


Pas de carbone trouvé en profondeur

Orientation carbone sur cuivre



À vérifier



Energy transfer in Ti64 powder using EBM (left) and laser (right) technology.

Sommaire

Contexte

Objectifs

Résultats

Réflectance

Fusion Laser

Propriétés électriques poudre

Conclusions

Sommaire

Contexte

Objectifs

Résultats

Réflectance

Fusion Laser

Propriétés électriques poudre

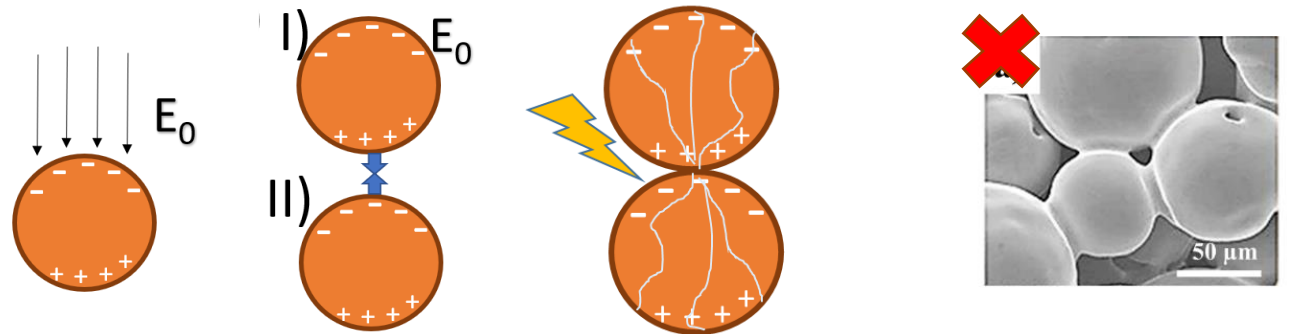
Conclusions

Mécanismes d'agglomération des poudres



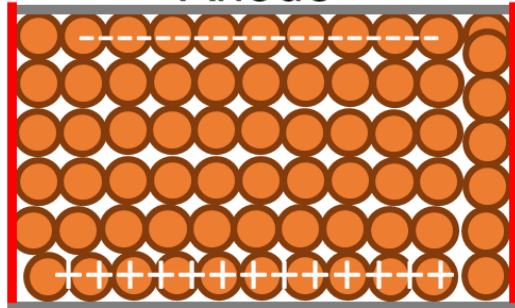
Forces inter-particulaires

- ✓ Contribution Thermique
- ✓ Microcontacts
- ✓ Des forces de cohésion
- ✓ Dipôles



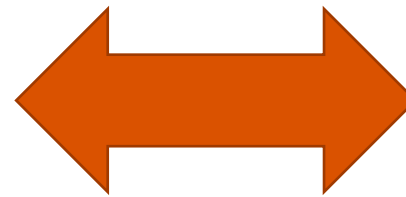
Régime Isolant

Anode +



Cathode -

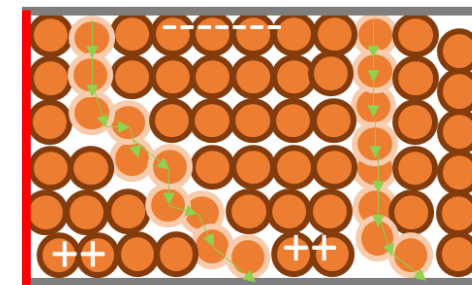
- ✓ Oxydes
- ✓ Interstice



Transformation
Réversible

Régime conducteur

Anode +



Cathode -

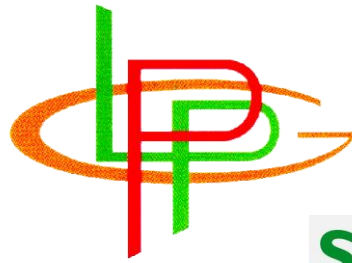
- ✓ Agglomération

T.Q. Tran, A. Et al., Metals (Basel). 9 (2019) 756. <https://doi.org/10.3390/met9070756>.

Kurata, H. In *Jeol News*; Gennady Logvenov, Joachim Maier, P.A. van A., Ed.; Jeol, 2018; p. 25.

Conclusion

- La réflectance du cuivre est réduite jusqu'à 80 % par les interférences.
- Les films ultraminces sont efficaces pour réduire la réflectance du cuivre. Une fusion satisfaisante est observée à 1200 W -38kW/mm².
- Le carbone a tendance à quitter la piste de fusion.
- Le système de poudre de cuivre présente une transition d'isolant à conducteur, en général réversible.



Project AM-bition



THANK YOU VERY MUCH

angelaelabs@gmail.com



Perspectives

- ✓ Dépôt de multicouches carbone/cuivre
- ✓ Poursuivre l'étude des propriétés électriques de la poudre (décharge/ chemins de conduction/ zones conductrice et isolant)