



## FABRICATION ADDITIVE DE PIÈCES EN CUIVRE ET ALLIAGES FAIBLEMENT ALLIÉS: ETAT DE L'ART ET ACTIVITÉS AU CEA-LITEN

T. BAFFIE, C.SALVAN, T.DE TERRIS, L.BRIOTTET, L.GUETAZ, E. DE VITO,  
M.PELLAT, H.GLEYZES, V.BONNEFOY, F.NIZERY\*

CEA-LITEN, Grenoble, France

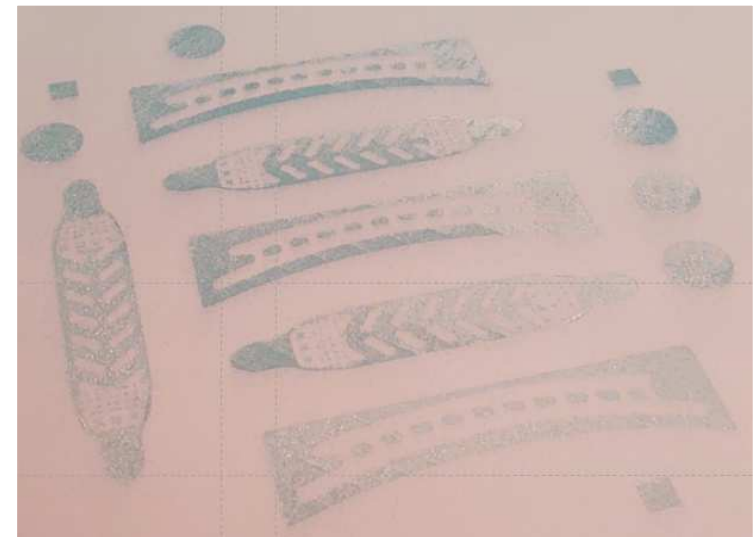
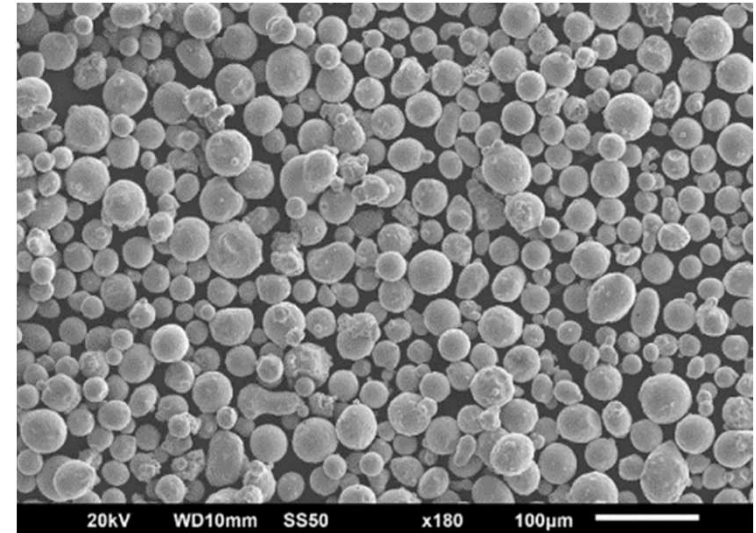
\*CEA-Irfu, Saclay, France

[thierry.baffie@cea.fr](mailto:thierry.baffie@cea.fr)



Colloque FA appliquée à la Physique des 2 infinis, 7 Juin 2021, Orsay & OnLine, France

- **Etat de l'art des procédés FA pour Cu et alliages faiblement alliés**
- **Besoins, problématiques & approches**
- **FA Cu et alliages au CEA**
  - Benchmark FA Cuivre
  - Fusion Laser Lit de Poudre (FLLP) CuCrZr
- **Conclusion & perspectives**



# ETAT DE L'ART PROCÉDÉS FA POUR CU & ALLIAGES

## • Directs

### • FLLP 1 $\mu$ m



Chambre de combustion  
[Launcher 2020]

### • FLLP 0,5 $\mu$ m



[Fraunhofer 2020]

### • EBM



Echangeur tubulaire  
[FAU Erlangen]

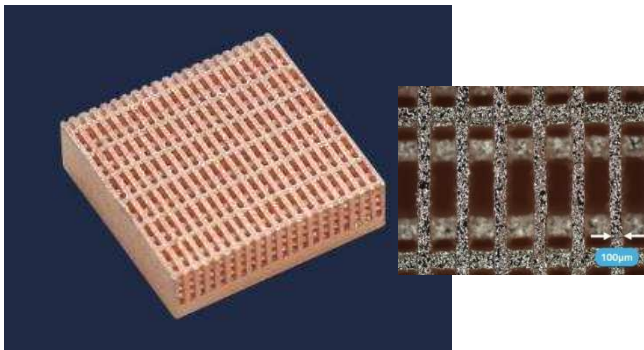
### • Cold spray



Bushbar refroidi  
[Speed3D 2019]

## • Indirects

### • M-SLA



Refroidisseurs liquides de processeurs  
[Holo Inc 2020]

### • M-BJ



Antenne Guide d'onde  
[Digital Metal 2021]

### • M-FDM



Outil refroidi  
[Markforged & PTZ Prototypen 2020]



# BESOINS, PROBLÉMATIQUES & APPROCHES

## Besoins

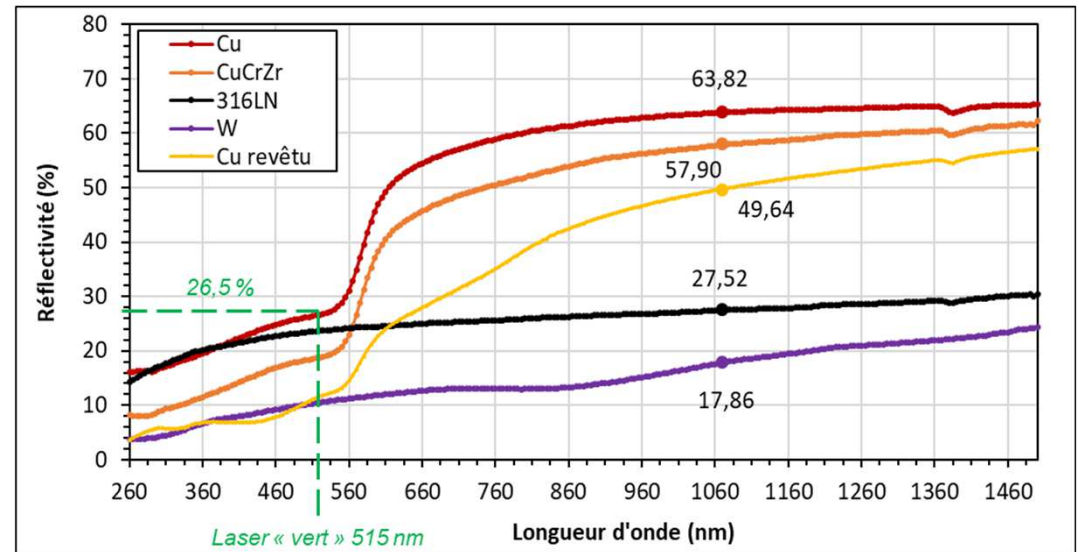
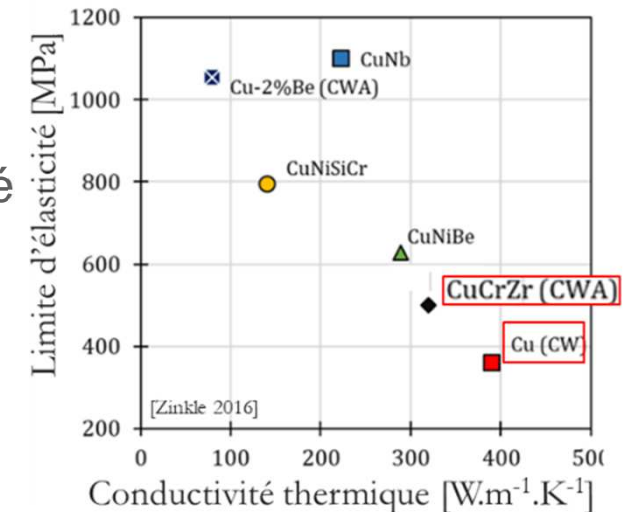
- Cu : Conductivité électrique et/ou thermique
- Cu faiblement alliés : Compromis entre Conductivité et Prop.méca.

## Problématiques FLLP

- Forte réflectivité à 1 $\mu$ m et forte conductivité

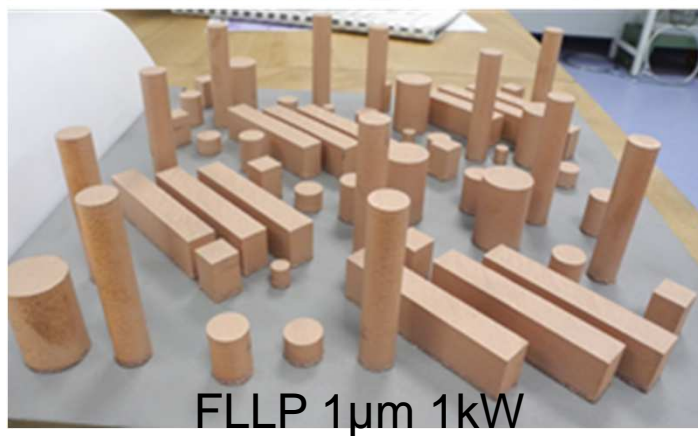
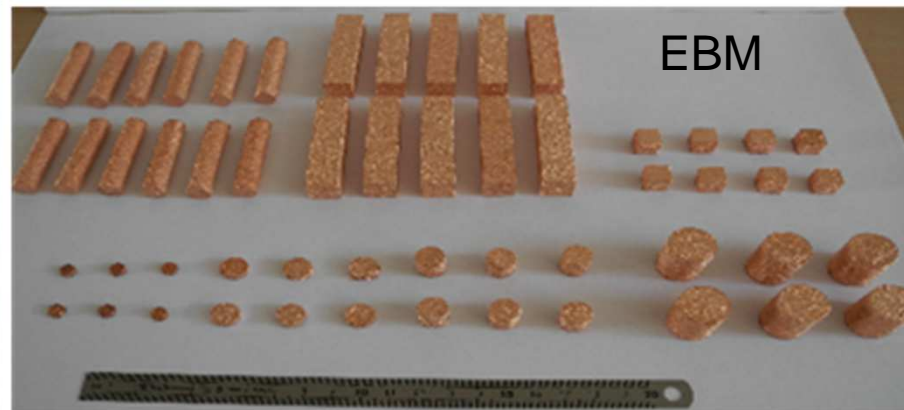
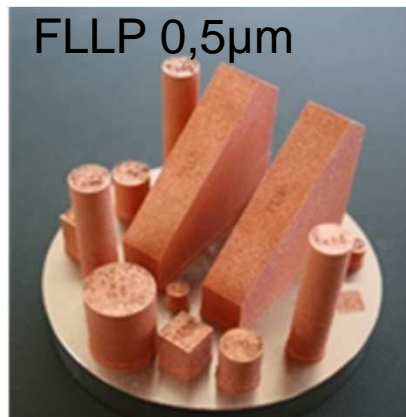
## Approches pour Cu en FLLP

- Revêtements sur poudre
- Laser forte puissance
- Laser "vert" à 515 nm



- **Benchmark FA Cuivre**

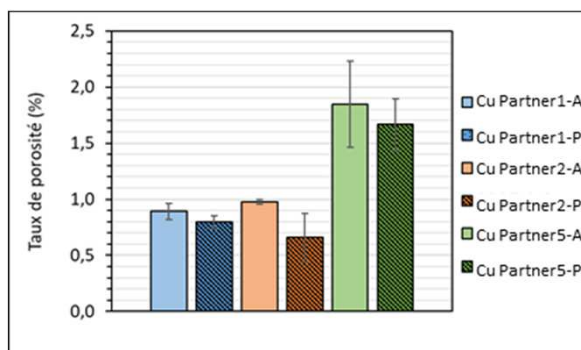
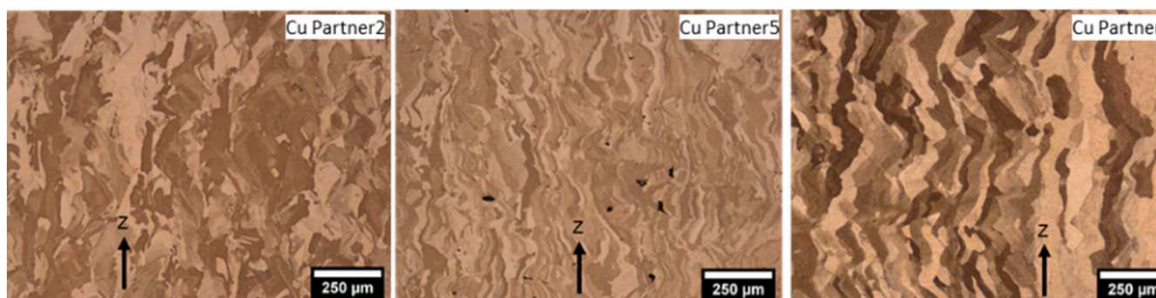
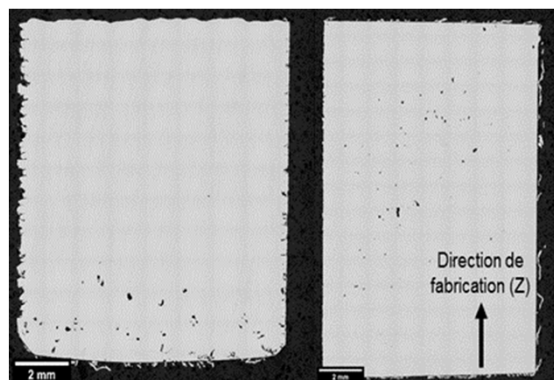
- Comparaison des pièces Cu de différents procédés → **identifier la meilleure option**



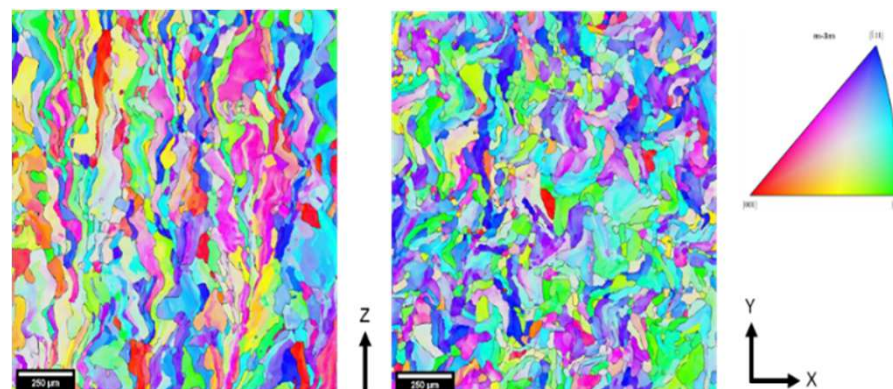
## Benchmark FA Cuivre

- Caractérisation des poudres, des compositions, des microstructures → **pièces les + pures et denses**

| Eléments<br>(% wt)       | Cu      | C     | O     | S       | P       | Fe      | Sn      | Si      | Ti      | Pb      |
|--------------------------|---------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Partner 1<br>(58,8 MS/m) | Balance | 0,004 | 0,014 | 0,001   | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,005 | < 0,003 |         |
| Partner 2<br>(57,8 MS/m) | Balance | 0,005 | 0,031 | < 0,003 | < 0,003 | 0,006   | 0,002   | < 0,005 | < 0,003 | < 0,001 |
| Partner 5<br>(55,9 MS/m) | Balance | 0,004 | 0,030 | 0,001   | < 0,003 | < 0,003 | < 0,003 | < 0,005 | < 0,003 |         |

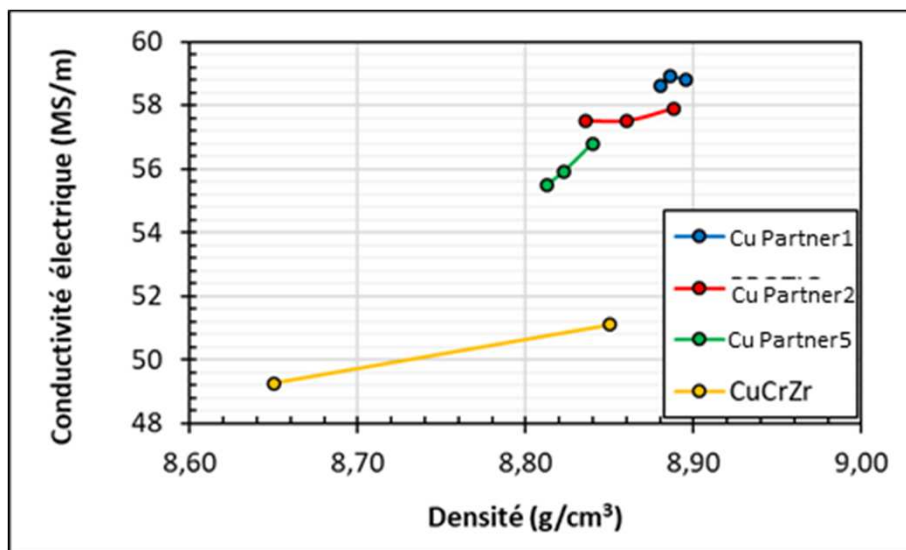


[De Terris 2021]



## Benchmark FA Cuivre

- Comparaison des propriétés mécaniques, électriques et thermiques → **sélection du procédé selon les spécifications de l'application visée**



|                   | Conductivité thermique (W/(m.K)) |          |          |          |
|-------------------|----------------------------------|----------|----------|----------|
|                   | 100 °C                           | 200 °C   | 300 °C   | 400 °C   |
| <b>FLLP 1µm</b>   | 398 ± 13                         | 384 ± 12 | 372 ± 13 | 363 ± 15 |
| <b>FLLP 0,5µm</b> | 406 ± 6                          | 385 ± 6  | 365 ± 8  | 353 ± 7  |

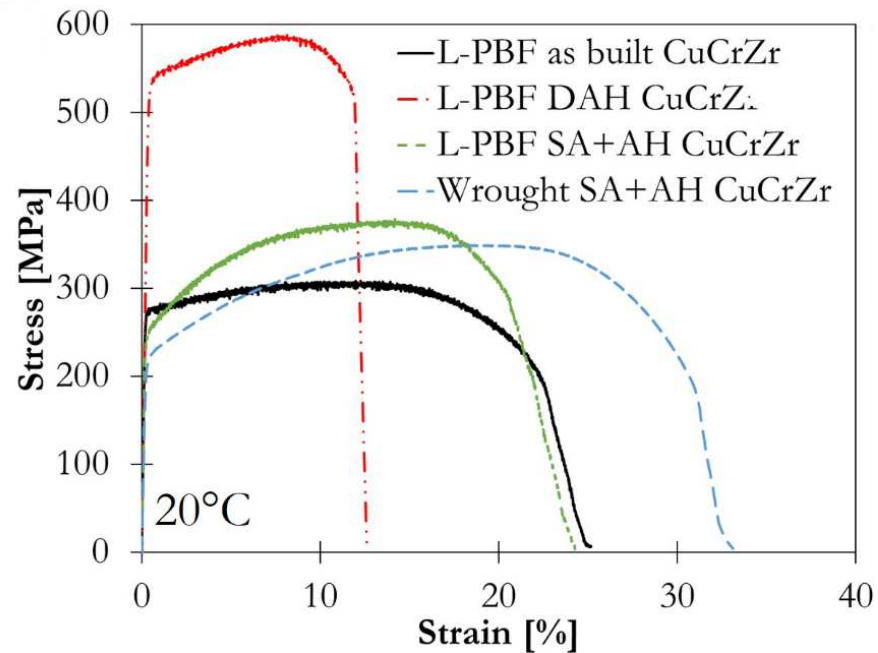
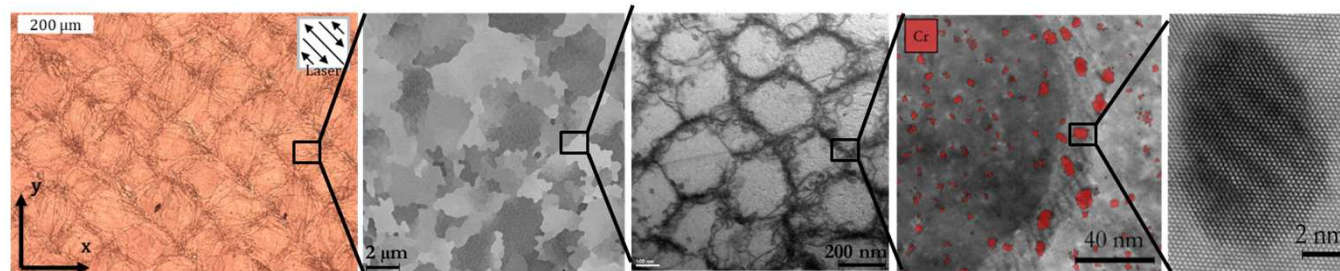
|             | Cu LPBF<br>Partner2 | Cu LPBF<br>Partner5 | Cu EBM<br>Partner1 |
|-------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Rp0,2 (MPa) | 146 ± 3             | 142 ± 1             | 99 ± 1             |
| Rm (MPa)    | 203 ± 4             | 203 ± 2             | 210 ± 5            |
| A (%)       | 39 ± 13             | 38 ± 2              | 37 ± 2             |



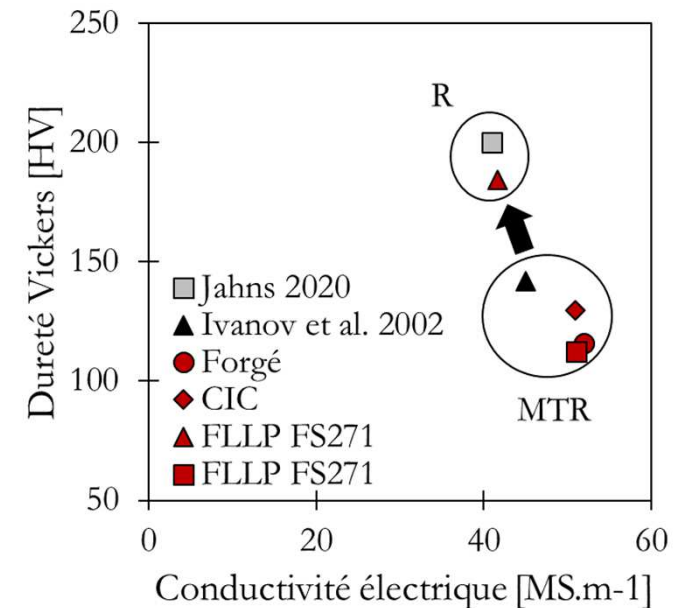


## FLLP CuCrZr

- Lien entre microstructure et propriétés mécaniques & électriques/thermiques → Impact de la **FLLP+TT°** sur la **microstructure** et sur les **propriétés mécaniques et électriques/thermiques**



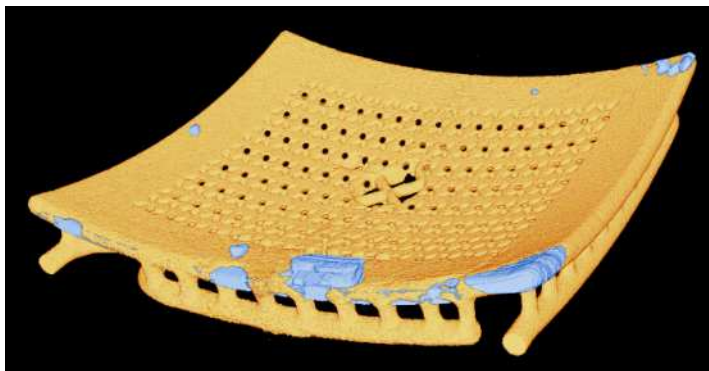
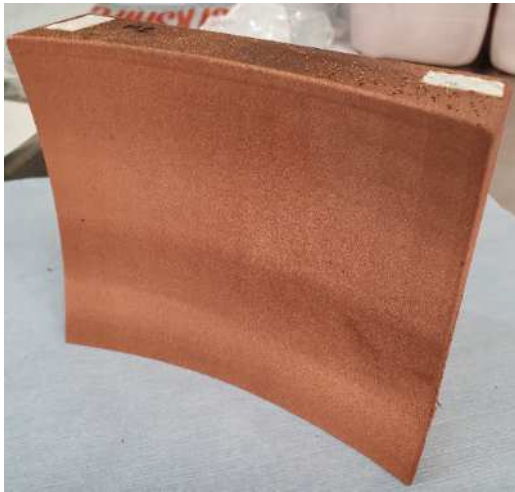
[Salvan 2021]



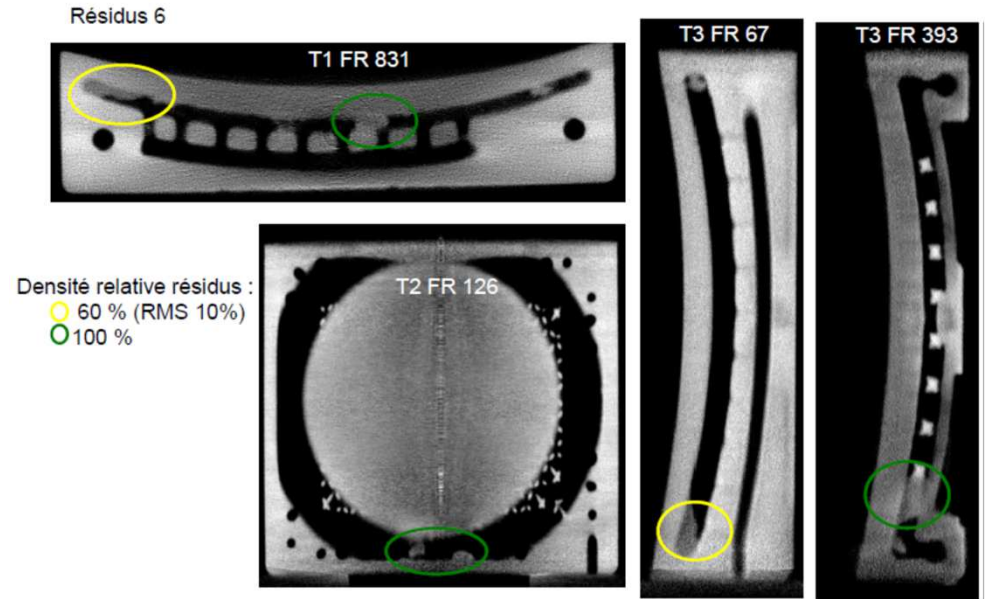


## FLLP CuCrZr: PoC

- Caractérisation par tomographie RX 3D (IRFM)



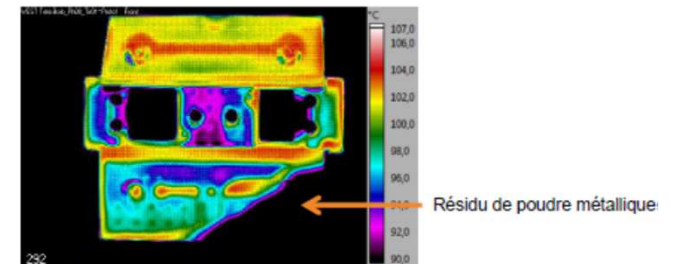
Estimation du volume de poudre restant dans le miroir à partir par analyse d'images TomoRX



- Caractérisation sur banc de test thermique (IRFM)



- Conditions expérimentales
- Peinture noire mat sur face avant
  - Caméra : IT 300μs,  $\xi = 1$
  - Pression : 10 bars
  - Débit : 3,6 m³/h
  - Cycle : 25 s chaud 110°C / 25 s froid 8°C



Exemple: pièce imprimée 3D

## CONCLUSION & PERSPECTIVES

- **Progrès rapides en 2,5 ans**
  - sur les machines (Laser vert, Laser 1kW, Laser 515nm, Multi-matériaux)
  - sur les procédés disponibles et démonstrateurs réalisés
  - sur la disponibilité de datasheets
  - Publications en augmentation
- **Industriellement**
  - Alliages faiblement alliés tirés par la demande du spatial
  - Cu pur requis pour les machines électriques, l'électronique
- **Perspectives**
  - Effet CIC sur densité et propriétés
  - Productivité FLLP CuCrZr & Cu
  - FLLP: Effet de la composition et du post-traitement sur la microstructure et les propriétés du CuCrZr
  - M-BJ : Elargissement de l'offre pour Cu



[thierry.baffie@cea.fr](mailto:thierry.baffie@cea.fr)



**Merci à tous les collègues du  
CEA ayant contribué à ces  
travaux !**

**Merci pour votre  
attention !**

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
17 rue des Martyrs | 38054 Grenoble Cedex  
[www-liten.cea.fr](http://www-liten.cea.fr)

Établissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019