



## 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

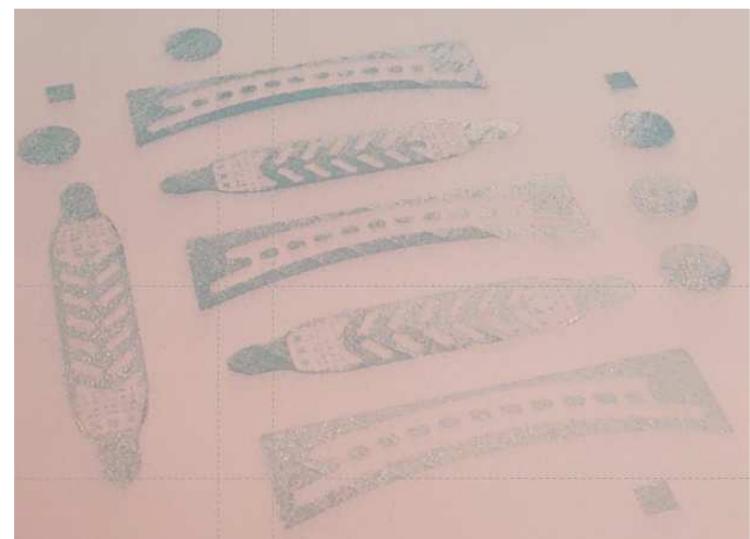
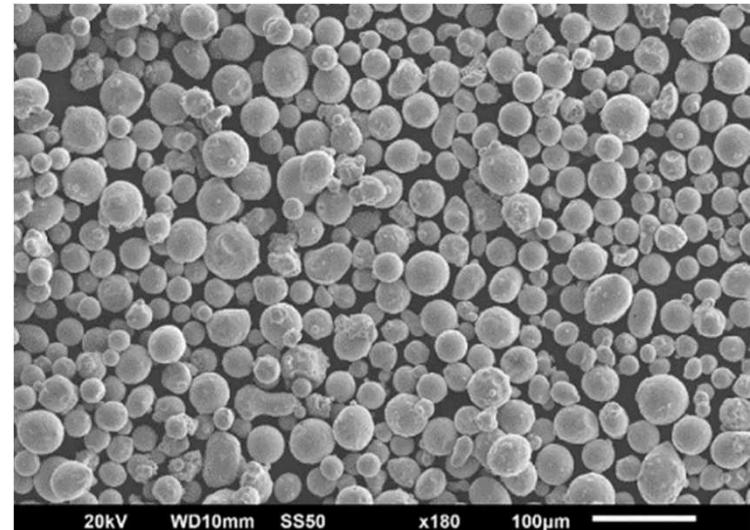
[thierry.baffie@cea.fr](mailto:thierry.baffie@cea.fr)



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

## SOMMAIRE

- 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

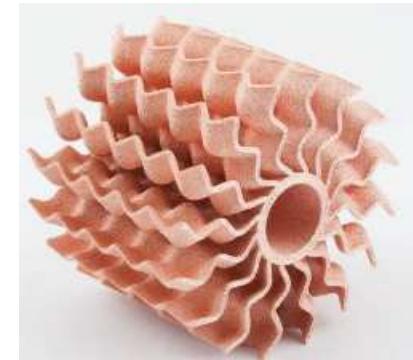
- Directs
- FLLP 1µm
- FLLP 0,5µm
- EBM
- Cold spray



Chambre de combustion  
[Launcher 2020]



[Fraunhofer 2020]



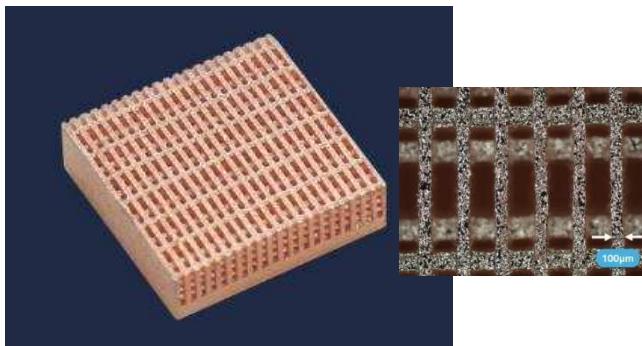
Echangeur tubulaire  
[FAU Erlangen]



Bushbar refroidi  
[Speed3D 2019]

### • Indirects

- M-SLA
- M-BJ
- M-FDM



Refroidisseurs liquides de processeurs  
[Holo Inc 2020]



Antenne Guide d'onde  
[Digital Metal 2021]



Outil refroidi  
[Markforged & PTZ Prototypen 2020]

# BESOINS, PROBLÉMATIQUES & APPROCHES

## ● Besoins

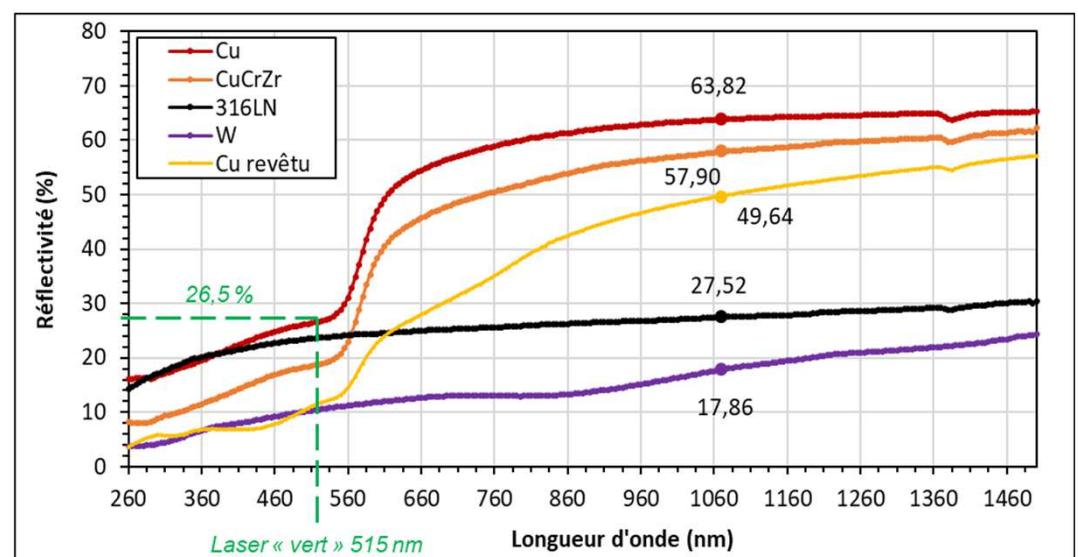
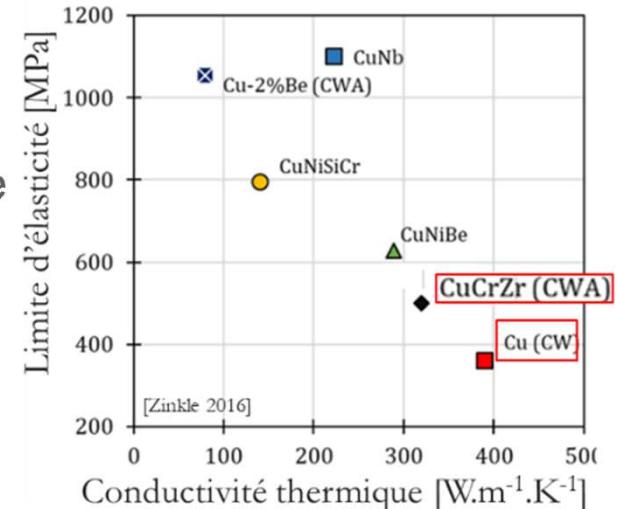
- Cu : Conductivité électrique et/ou thermique
- Cu faiblement alliés : Compromis entre Conductivité et Prop.méca.

## ● Problématiques FLLP

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

## ● Approches pour Cu en FLLP

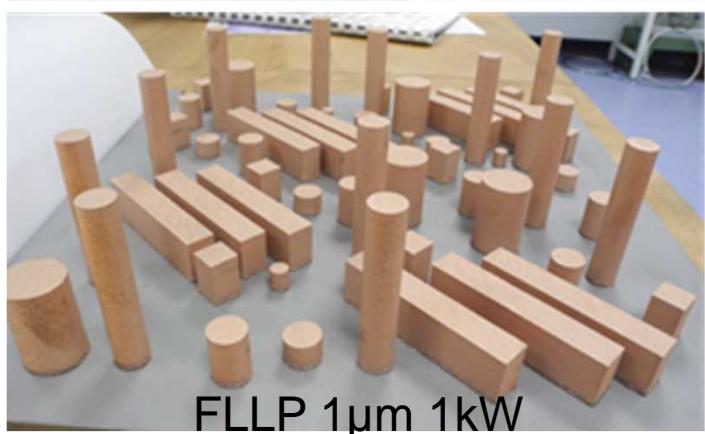
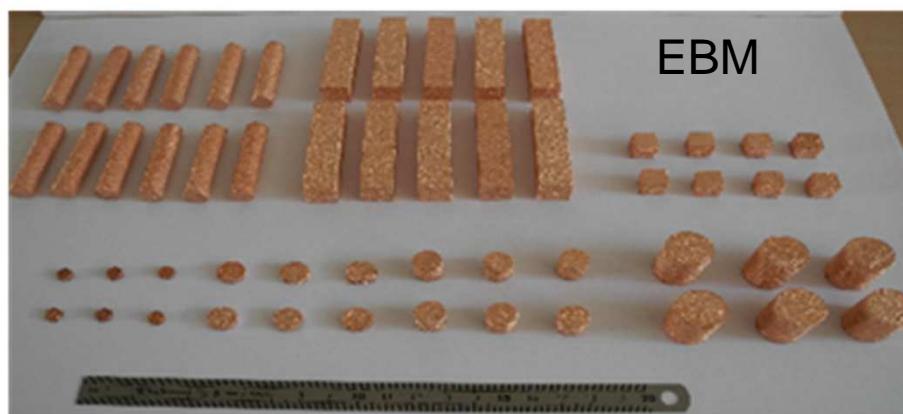
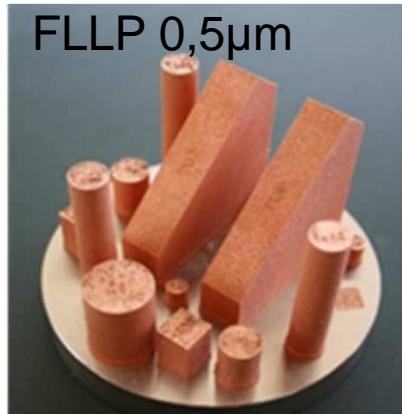
- Revêtements sur poudre
- Laser forte puissance
- Laser “vert” à 515 nm



## FA CU & ALLIAGES AU CEA

- Benchmark FA Cuivre

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

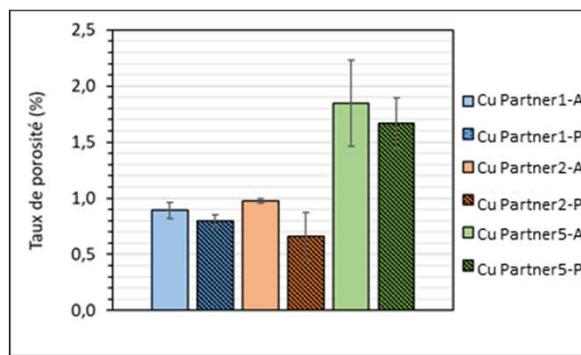
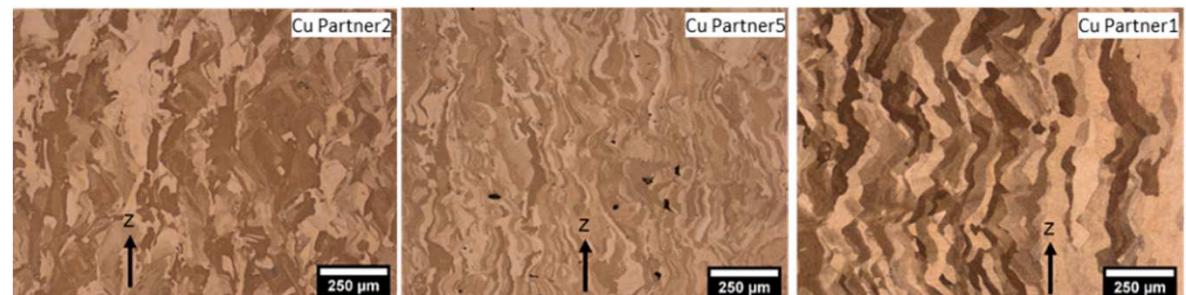
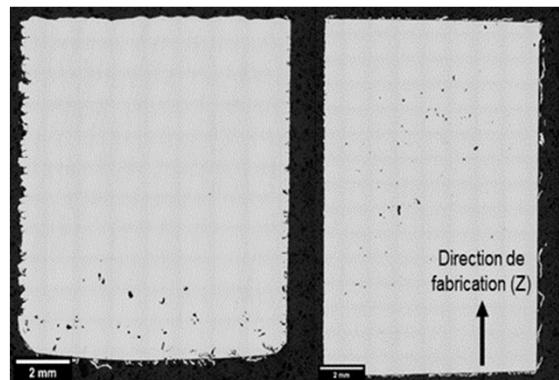


# FA CU & ALLIAGES AU CEA

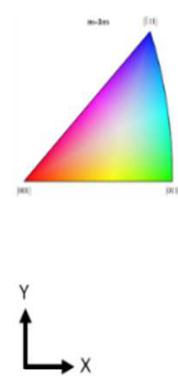
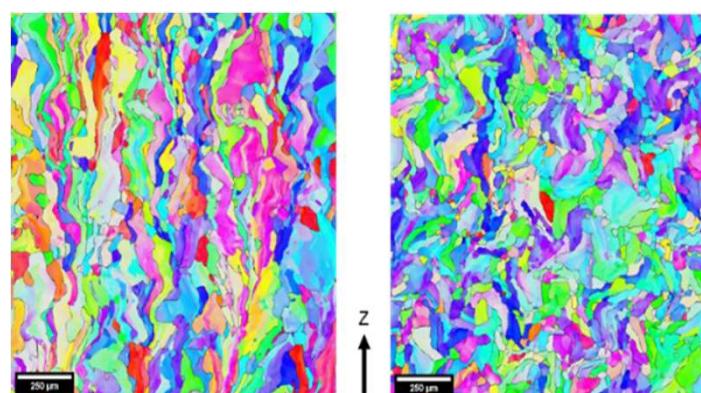
## • Benchmark FA Cuivre

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

Eléments (% wt)	Cu	C	O	S	P	Fe	Sn	Si	Ti	Pb
Partner 1 (58,8 MS/m)	Balance	0,004	0,014	0,001	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,005	< 0,003	
Partner 2 (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 (55,9 MS/m)	Balance	0,004	0,030	0,001	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,005	< 0,003	



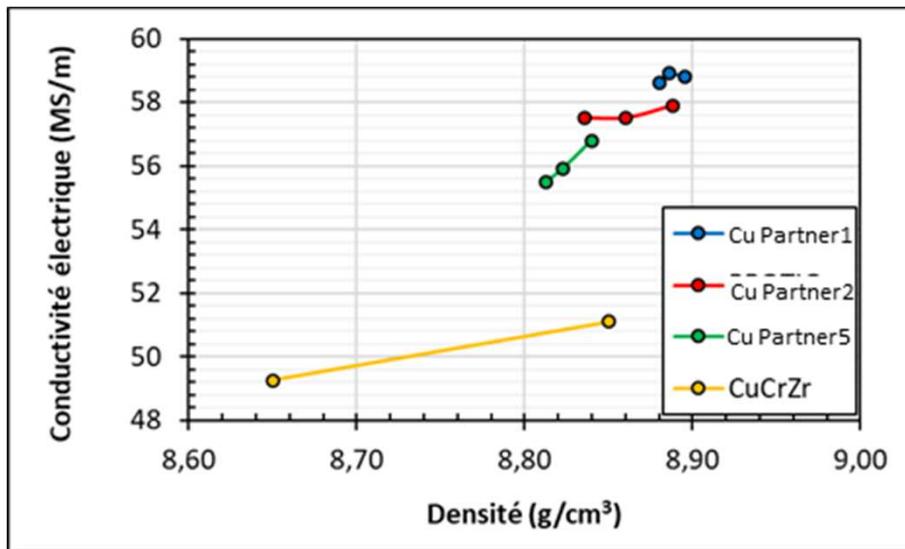
[De Terris 2021]



## FA CU & ALLIAGES AU CEA

- **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
FLLP 1µm	398 ± 13	384 ± 12	372 ± 13	363 ± 15
FLLP 0,5µm	406 ± 6	385 ± 6	365 ± 8	353 ± 7

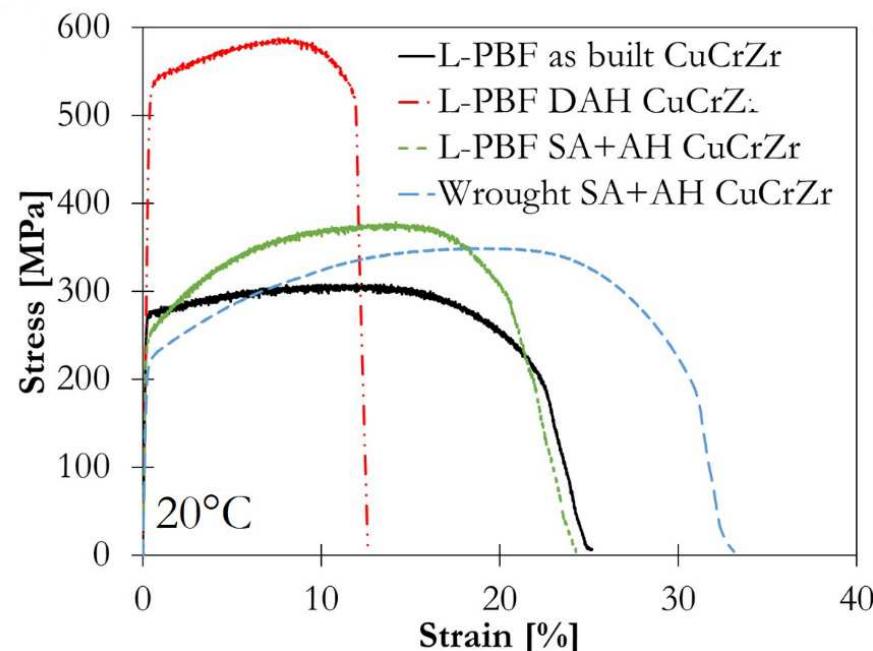
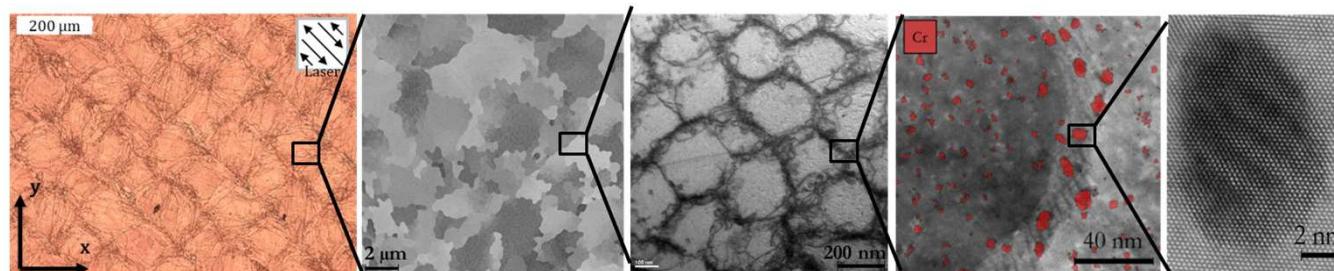
	Cu LPBF Partner2	Cu LPBF Partner5	Cu EBM Partner1
R <sub>p0,2</sub> (MPa)	146 ± 3	142 ± 1	99 ± 1
R <sub>m</sub> (MPa)	203 ± 4	203 ± 2	210 ± 5
A (%)	39 ± 13	38 ± 2	37 ± 2

## FA CU & ALLIAGES AU CEA

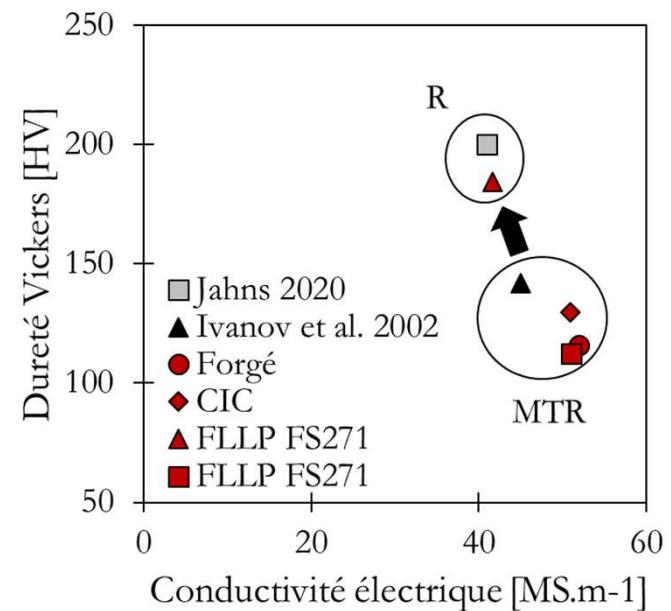


- **FLLP CuCrZr**

- 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]

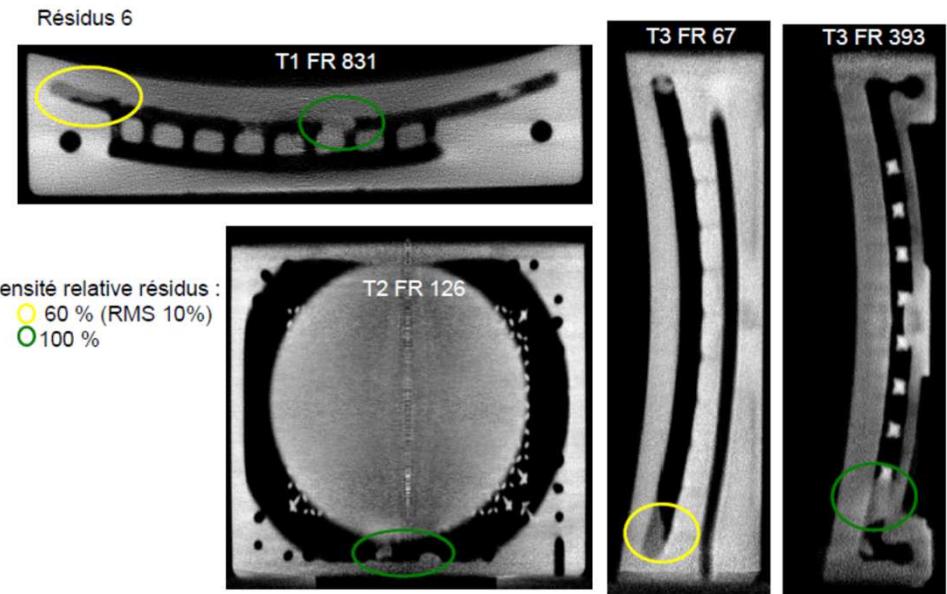


FA Cuivre | 7 Juin 21 | T.BAFFIE et al. | 8

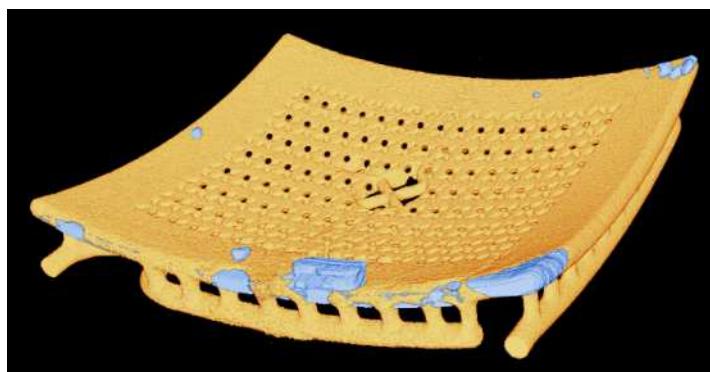
## FA CU & ALLIAGES AU CEA

- **FLLP CuCrZr: PoC**

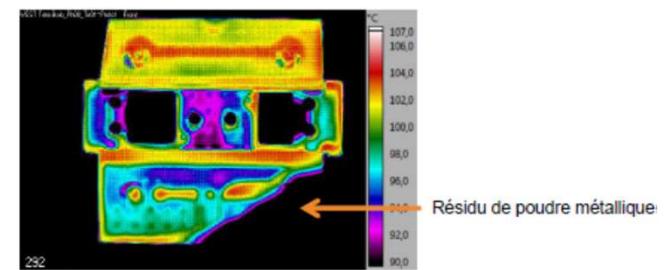
- Caractérisation par tomographie RX 3D (IRFM)



- Caractérisation sur banc de test thermique (IRFM)



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



## 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

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