

# La Fabrication Additive métal au Département d'ingénierie du CERN

*Romain GERARD, Foselev pour le groupe Ingénierie Mécanique et des Matériaux (EN-MME)*



# Contenu

- 1. Le groupe d'ingénierie mécanique et des matériaux**
- 2. L'atelier de fabrication additive métallique**
- 3. Quelques exemples de réalisations dans le domaine de la physique des hautes énergies:**
  1. Développement de traitements de surfaces pour l'ultravide, l'exemple des Chambres de transitions pour le SPS
  2. Impression métallique de niobium à haut RRR pour applications Radiofréquence supraconductrices
- 4. Conclusions**

# Le groupe d'ingénierie mécanique et des matériaux (EN-MME)



## Engineering & Design

- Design Office:
  - 40 designers and engineers
  - CATIA / SmarTeam, ANSYS, LS-Dyna...
- Experimental Mechanics Lab.



## Production

- Mechanical workshop (4000 m<sup>2</sup>):
  - 50 technicians and engineers
  - CNC machining
  - Assembly & metal forming
  - Welding (TIG, MIG, electron beam, laser, vacuum brazing)
- Technical Subcontracting Service



## Materials & Metrology

- Material science consultancy:
  - metallurgical analyses, microscopy, mechanical tests
- NDT: US, radiography, tomography
- Metrology: 350 m<sup>2</sup> lab. equipped with CMM.

Courtesy of F. Bertinelli

# L'atelier de fabrication additive

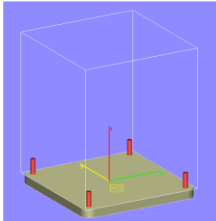


## Système:

- SLM 280HL (SLM Solutions)
- 400 W laser (1070 nm)
- Tri-axis scanning system

## Volume de travail:

- 280 x 280 x 360 mm<sup>3</sup>

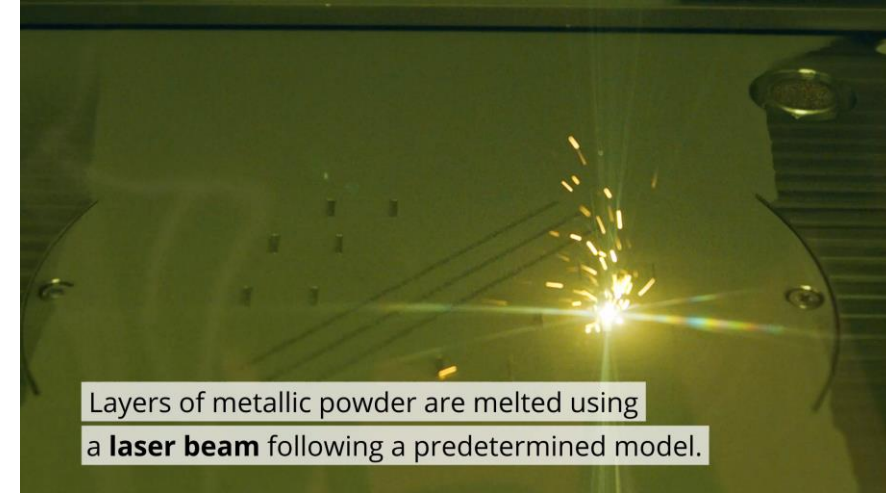
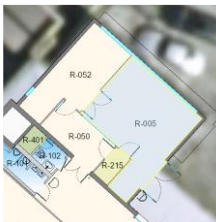


## Matériaux:

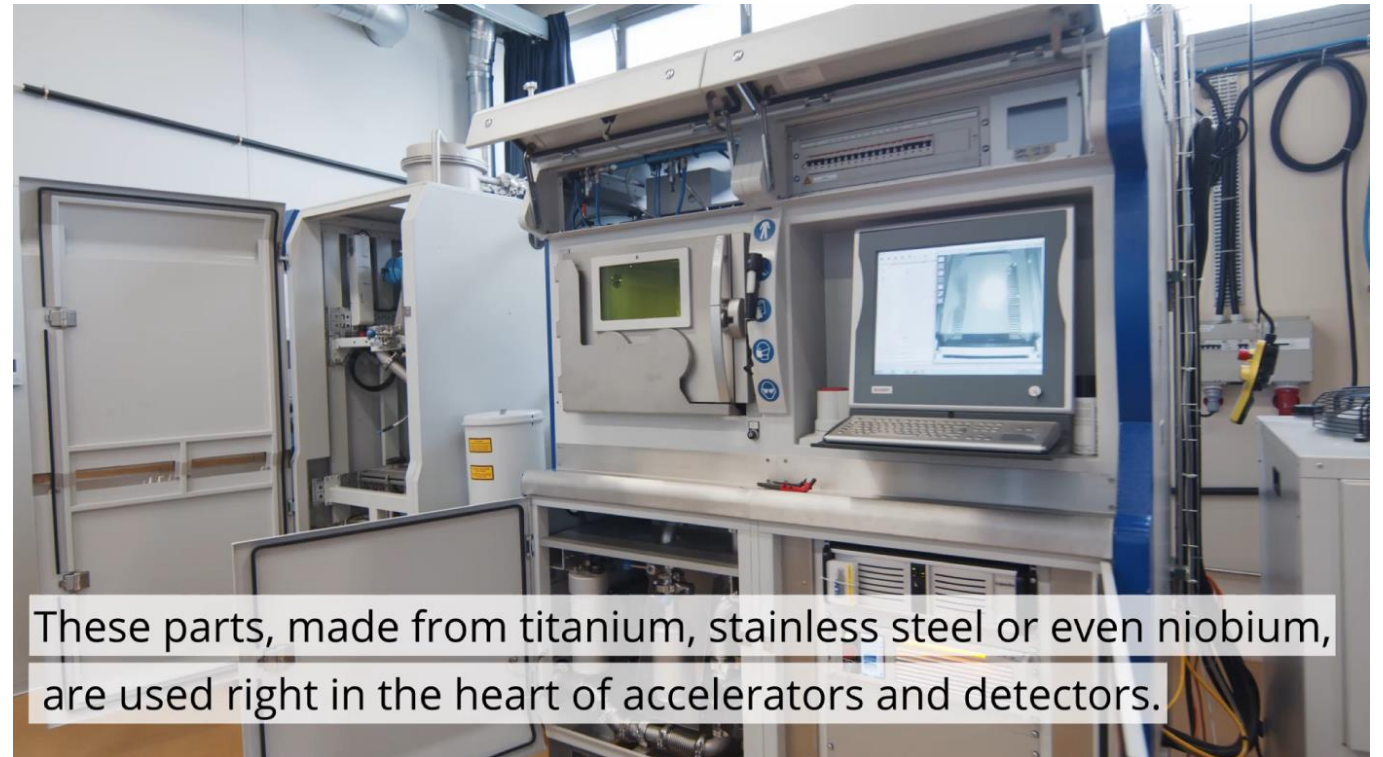
- actuellement: niobium (R&D)
- autres: SS 316 L/ Titanium alloy gr.5

## Localisation:

- CERN Meyrin building 156
- Suisse



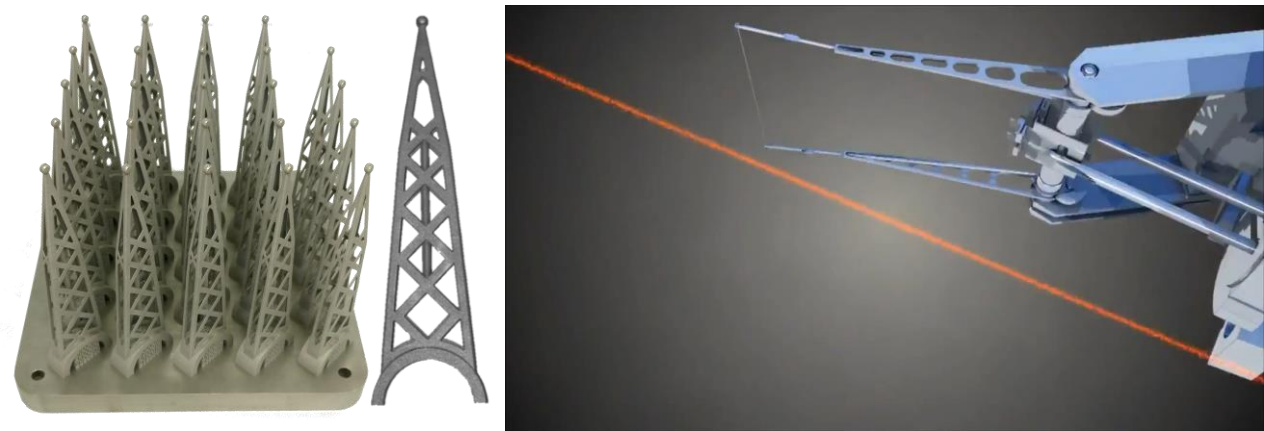
Layers of metallic powder are melted using a **laser beam** following a predetermined model.



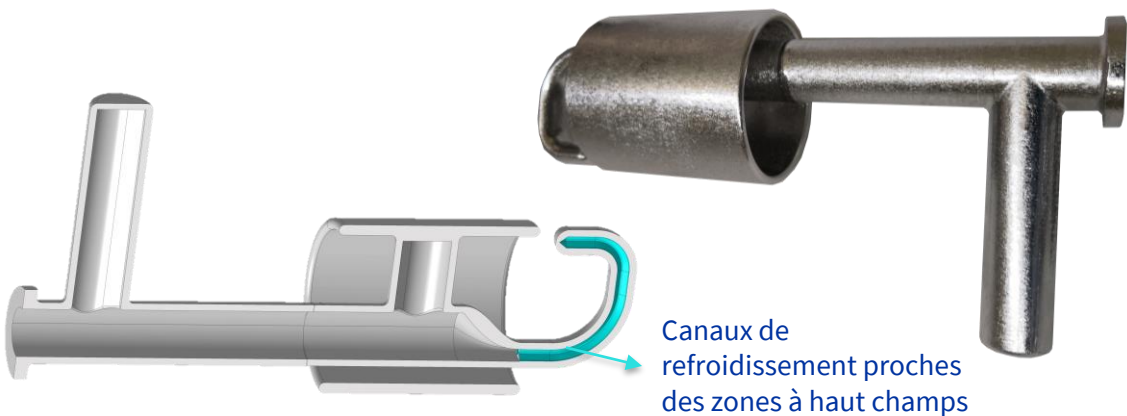
These parts, made from titanium, stainless steel or even niobium, are used right in the heart of accelerators and detectors.

# Exemples d'applications au CERN

Fourche pour scanner de faisceau à fil  
*Légèreté et raideur par optimisation topologique*



Coupleur HOM en niobium (application supraconductrice)  
*Ajout de complexité*



CLIC RF Spiral loads  
*Réseau de canaux (RF et de refroidissement)*



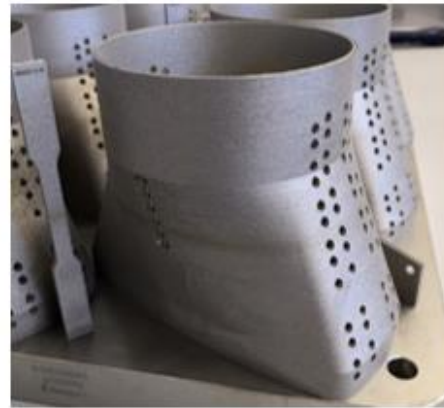
SPS pumping port shields  
*Finition des pièces compatible UHV*



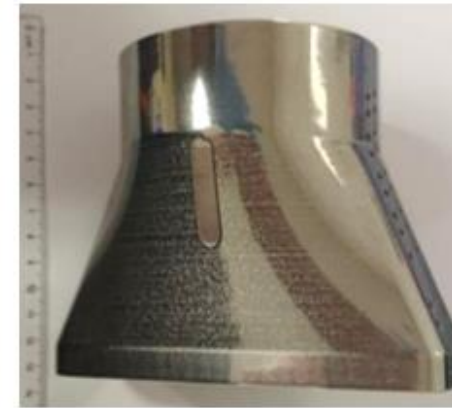
# SPS pumping port shielding transitions

- 25 QD-MBB installées dans le SPS lors du Long Shutdown 2.
- Polissage et nettoyage en deux étapes (Tribofinition et électropolissage)
- Dégazage et RGA en accord avec le cahier des charges du SPS

Matière: 316L



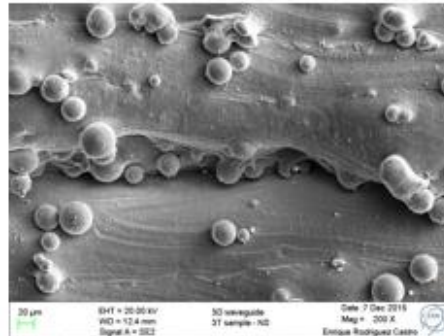
*As-built surface*  
*Surface brute de fabrication*



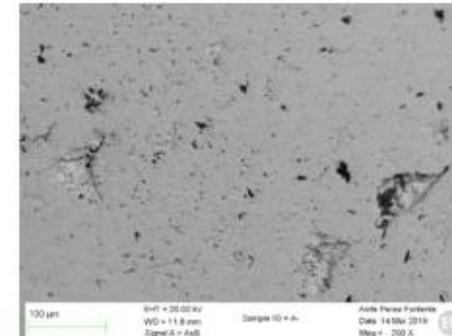
*Vibratory polishing*  
*Tribofinition par vibration*



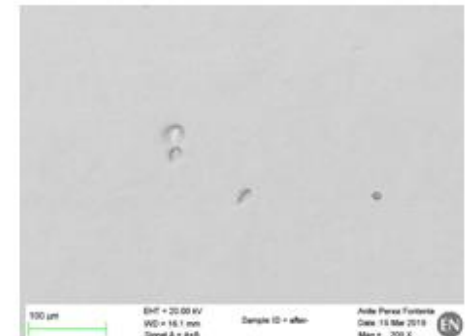
*Electropolishing*  
*Electro-polissage*



*Clean and rough surface, suitable for UHV*  
*Surface rugueuse propre, compatible avec l'ultravide*



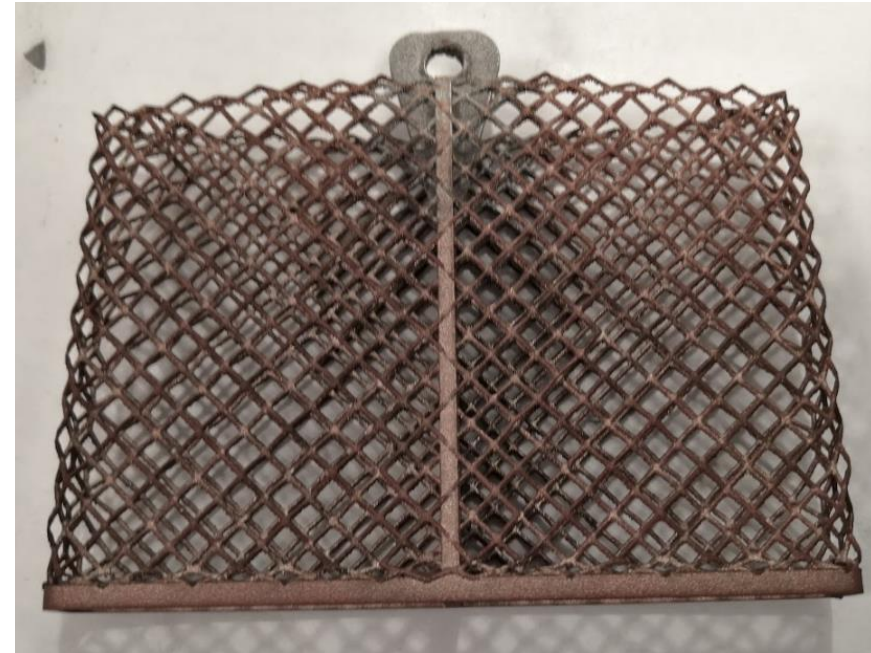
*Smooth but contaminated surface*  
*Surface lisse mais contaminée*



*Smooth and clean surface ideal for UHV and RF*  
*Surface lisse propre idéale pour l'ultravide et RF*

# Electropolissage avec des cathodes en FA

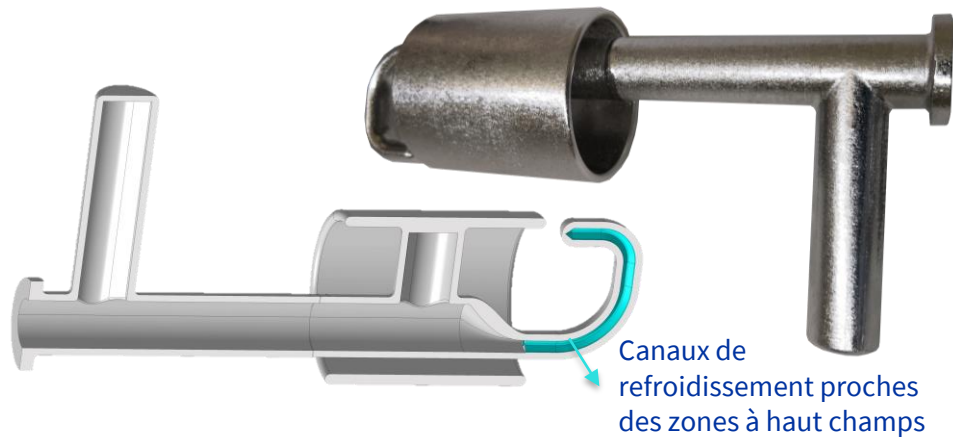
Enlèvement de matière: 280 $\mu$ m en 10 min (surfaces extérieures)



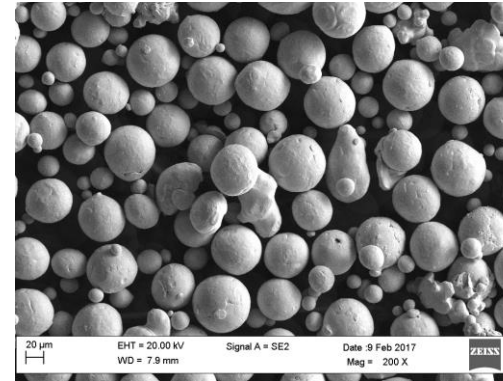
Courtesy of M. Thiebert TE-VSC

# Développement du Niobium pour applications SRF

Exemple d'application: coupleur HOM en niobium



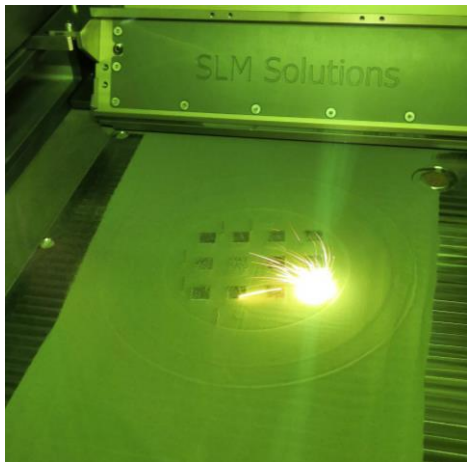
Développement de la poudre



EIGA poudre sphérique

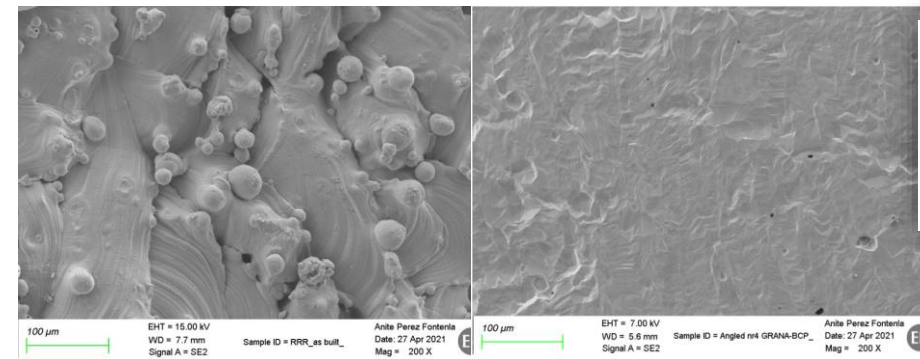
- Bonnes propriétés d'écoulement  
⇒ Couches fiables
- Compositions chimique: très haute pureté requise (idéalement >99.99% (sauf O, N, H and C))

Développement du procédé



180 paramètres différents

Parachèvement des pièces



Surface brute SLM

Surface Tribofinition +  
30µm BCP



Traitement de  
purification par  
gettering titane

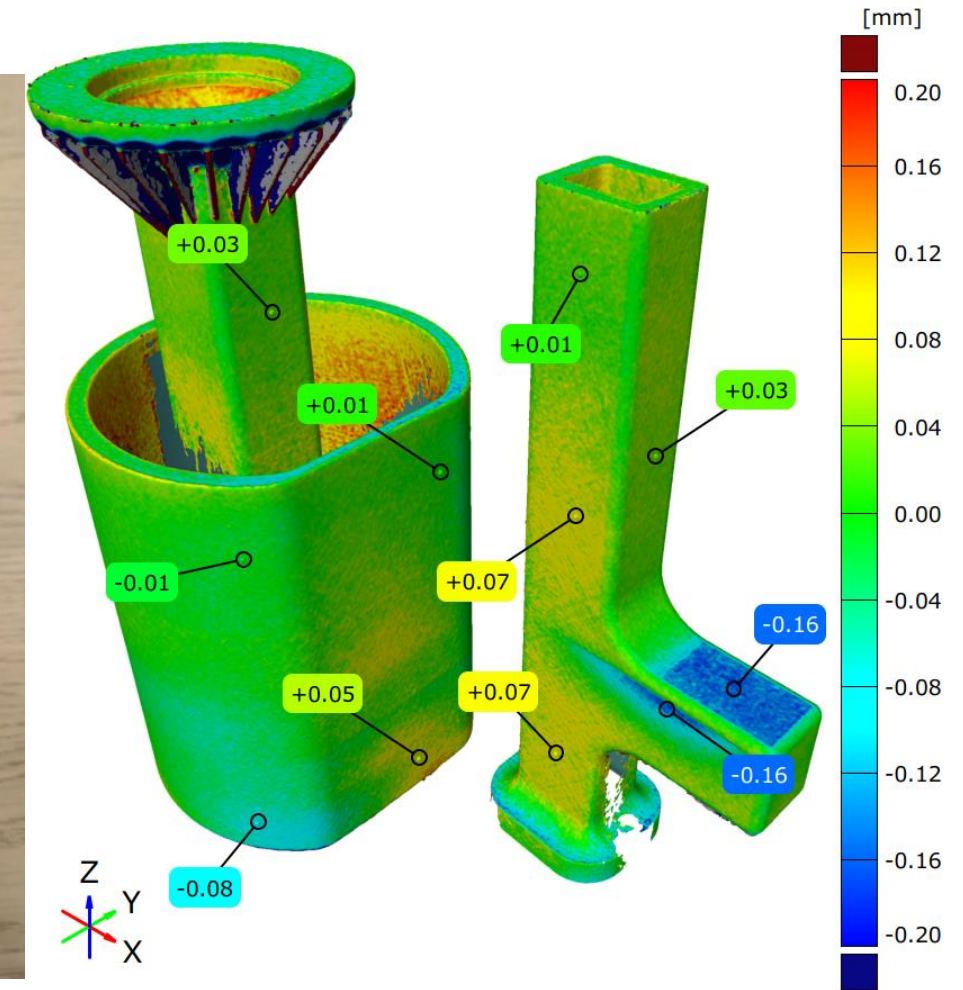
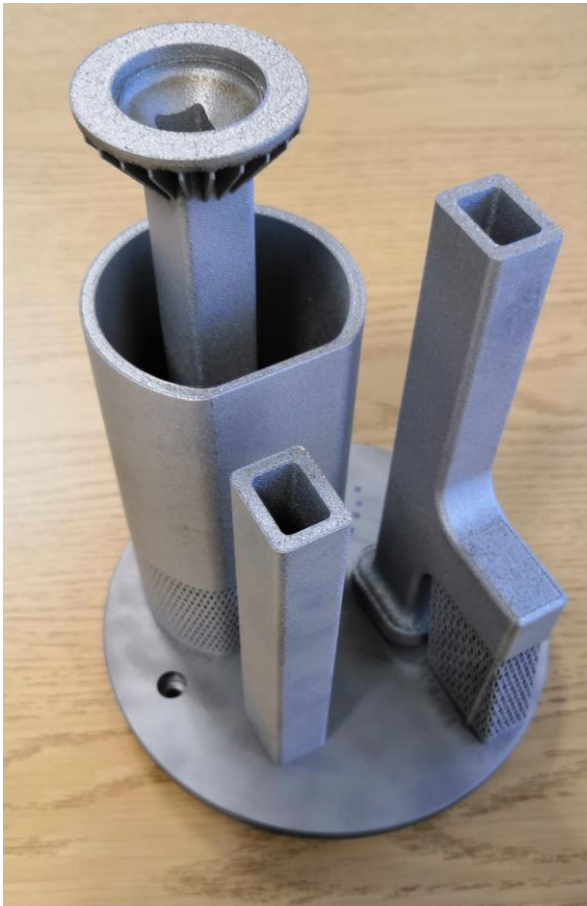
# Précision dimensionnelle mesurée avec scanner 3D

**SLM niobium:**

**Précision dimensionnelle:  $\pm 0.2$  mm**

**Après itérations:  $\pm 0.10 - 0.15$  mm**

**Répétabilité entre pièces :  $\pm 0.05$  mm**

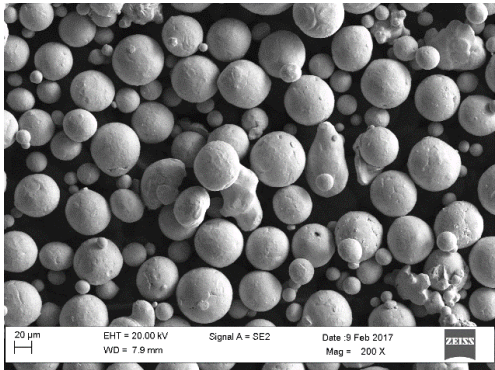


Results courtesy of J.-P. Rigaud (EN-MME-MM)

# Parachèvement: pourquoi purifier les pièces FA en niobium ?

| Chemical composition |             |            |            |         |
|----------------------|-------------|------------|------------|---------|
|                      | Powder 2018 | Parts 2018 | CERN Spec. | Unit    |
| Nb                   | 99.965      | 99.978     | RRR300     | %       |
| O                    | 510         | 590        | 10         | ppm wt. |
| N                    | 99          | 150        | 10         | ppm wt. |
| C                    | 39          | 39         | 10         | ppm wt. |
| H                    | 60          | 9.6        | 2          | ppm wt. |
| Al                   | 120         | 90         | 30         | ppm wt. |
| Ti                   | 66          | 31         | 50         | ppm wt. |
| Ta                   | 35          | 30         | 500        | ppm wt. |
| Mo                   | 31          | 17         | 50         | ppm wt. |
| Si                   | 24          | 15         | 30         | ppm wt. |
| Fe                   | 16          | 14         | 30         | ppm wt. |
| Others (sum)         | <35         | <35        | 30 each    | ppm wt. |

Les éléments interstitiels sont hors spécification (O,N,C,H) de la grande surface spécifique de la poudre



|               | Nb SLM<br>As built     |
|---------------|------------------------|
| RRR           | 7.2                    |
| $T_c^{onset}$ | $\approx 9.1\text{ K}$ |
| $< T_c >$     | $\approx 8.8\text{ K}$ |

## Propriétés électriques:

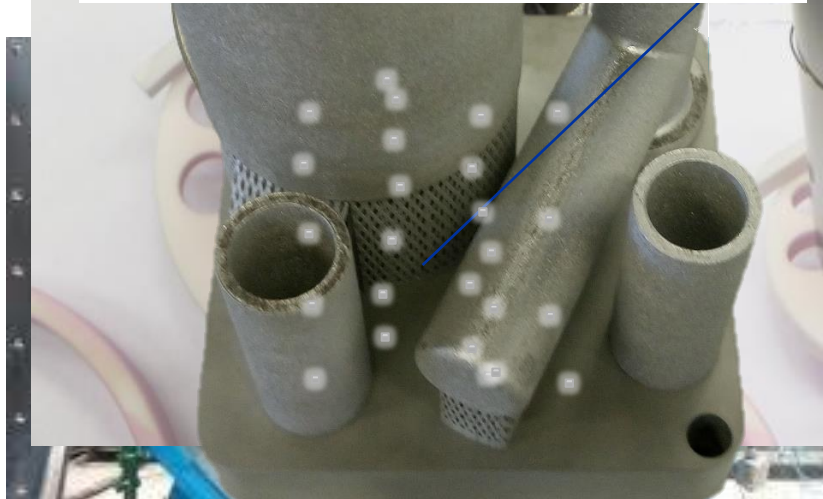
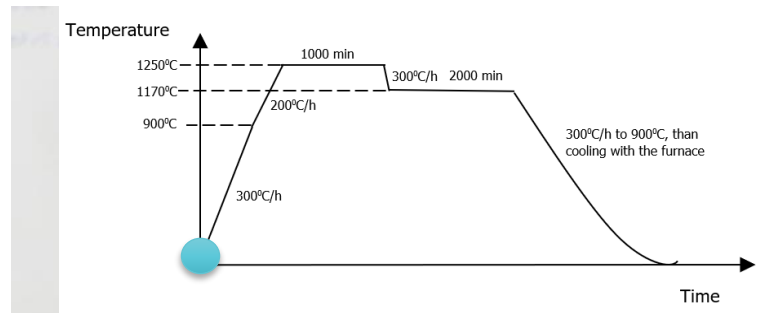
Le Residual Resistivity Ratio (RRR) est une image de la conductivité thermique de la matière

RRR beaucoup plus bas que les produits forgés (RRR 7 contre 300)

# Traitement de purification

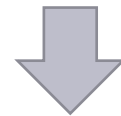
Traitement Populaire en 1990 (H. Safa, CEA Saclay)

Principe:



# Effet du gettering titane sur la composition chimique

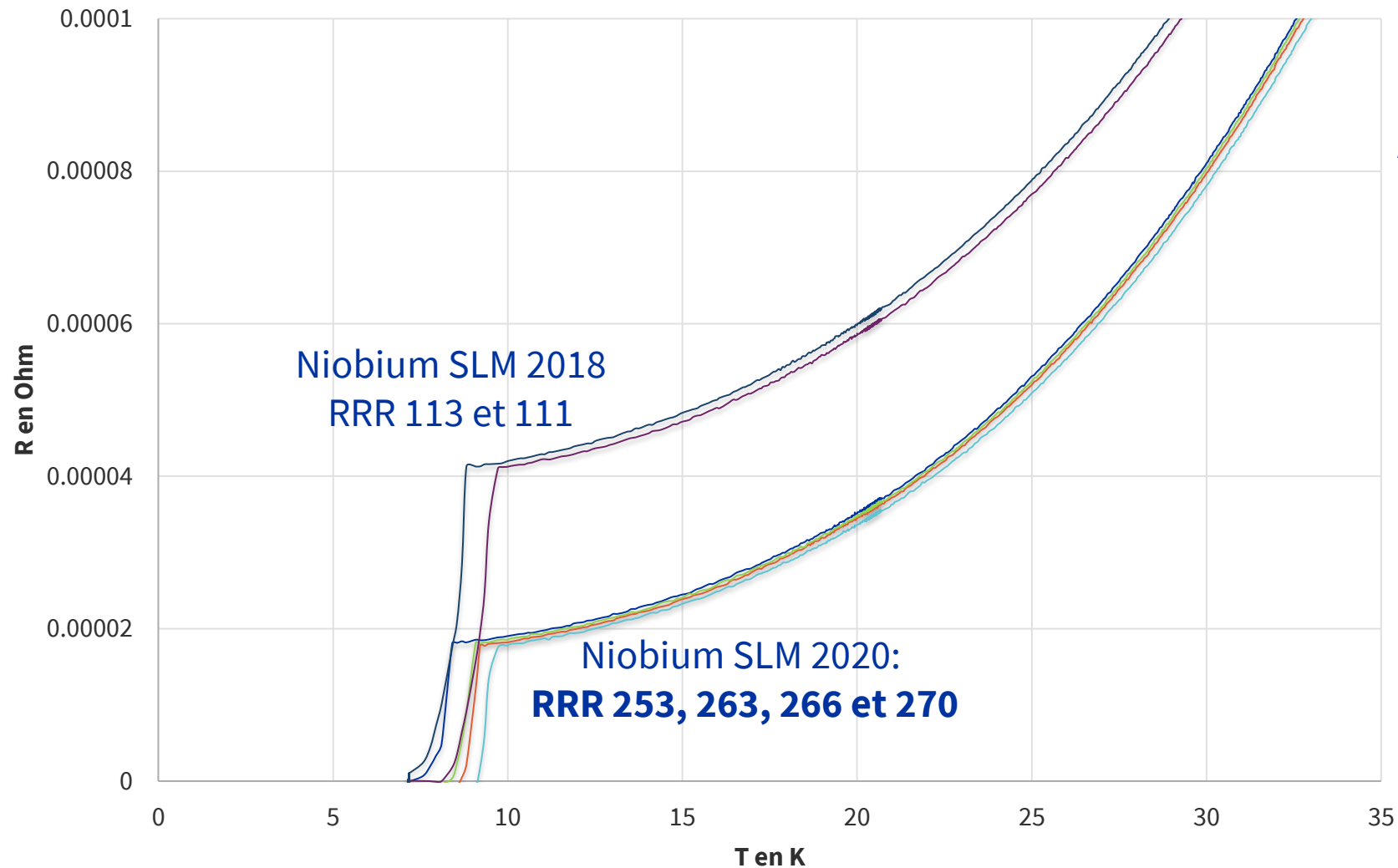
|                            | Nb     | O   | N  | C  | H  | Ti  |           |
|----------------------------|--------|-----|----|----|----|-----|-----------|
| Echantillon<br>poudre 2020 | Matrix | 720 | 28 | 28 | 60 | 7.8 | [ppm wt.] |



après Ti-gettering + BCP 100 µm

|                                                      | Nb     | O   | N  | C  | H   | Ti  |           |
|------------------------------------------------------|--------|-----|----|----|-----|-----|-----------|
| Echantillon<br>poudre 2020<br>Après Ti-<br>gettering | Matrix | <10 | <5 | <5 | 0.7 | 8.3 | [ppm wt.] |

# RRR du niobium SLM après purification



Graphe typique d'un test RRR

Après purification le RRR monte à 250

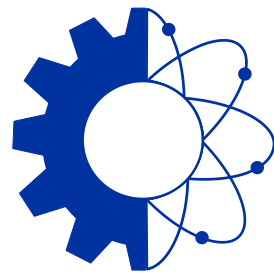
L'impact de la composition chimique de la poudre (100 ppm d'Al) est significative (RRR 110  $\Rightarrow$  250 avec le même traitement)

Results courtesy of Sebastien Prunet, CERN Cryolab

# Conclusion

**Le groupe EN-MME du CERN exploite la FA pour**

- **Réaliser des composants dans les matériaux traditionnels FA (Ti6Al4V, SS 316L)**
- **Développer des matières intéressantes pour la physique des particules**
  - ex. Niobium avec des résultats très encourageants (RRR>250)
- **Avancer la qualification des composants pour l'intégration dans le complexe d'accélérateurs du CERN**



**ENGINEERING  
DEPARTMENT**