



Ecole de mécanique IN2P3 - 15 au 19 octobre – Samatan
Impression 3D METAL



Comprendre le monde,
construire l'avenir®

Caractérisation et analyse de l'acier inox 316L en FA

G. Sattonnay, S. Bilgen, S. Djelali

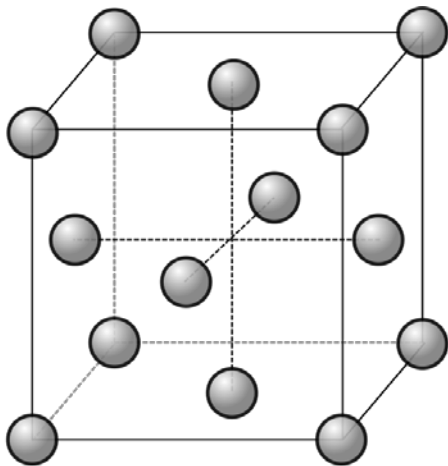
LAL, IN2P3-CNRS, Université Paris Sud, Orsay
Groupe Technologies Vide et Surfaces

Objectifs

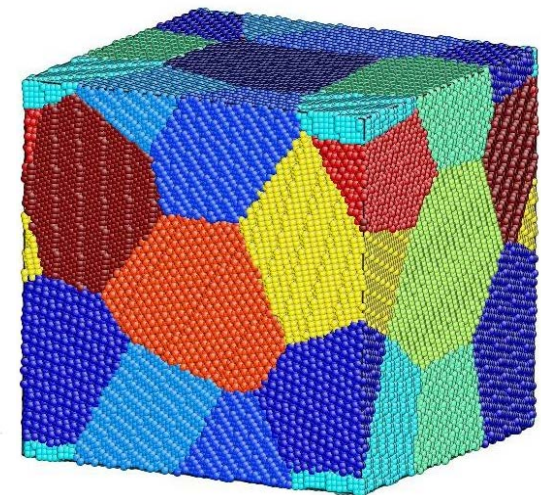
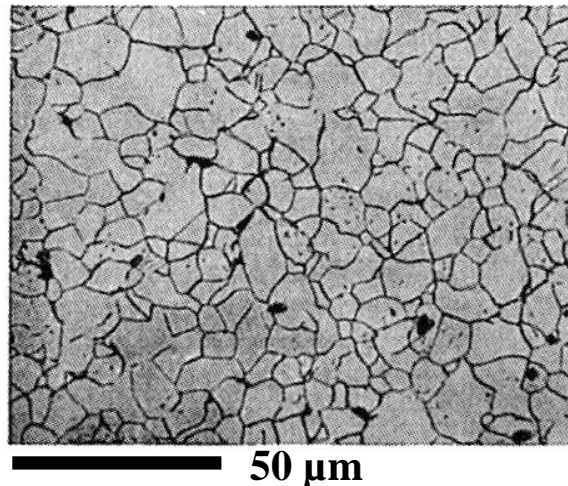
- Comparer la microstructure de pièces délivrées par trois fabricants (fusion laser sélective sur lit de poudre-SLM)
- Identifier les différences microstructurales au moyen de plusieurs techniques d'analyses (MEB/EBSD, DRX, SIMS, microscope confocal)
- Faire le lien entre la microstructure et les propriétés mécaniques (dureté, traction cf A. Gonnin)

- **Composition chimique**
- **Taille des grains**
- **Orientation préférentielle des grains**

Acier inoxydable austénique
structure CFC



Matériaux polycristallins



Influence de la microstructure sur les propriétés

Influence de la taille des grains sur les propriétés mécaniques :
Loi de Hall et Petch

$$R_e = A_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

R_e = limite d'élasticité
 d = taille moyenne des grains

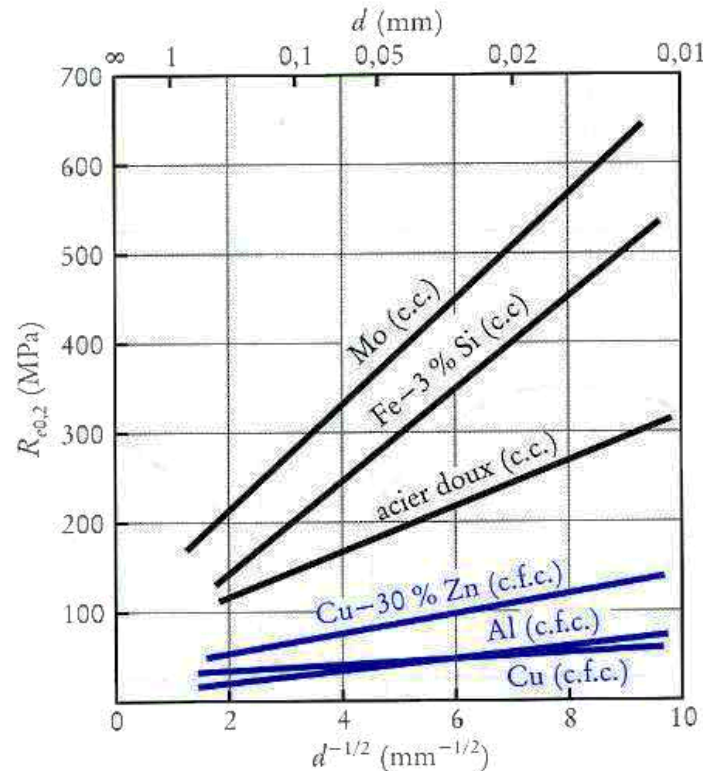
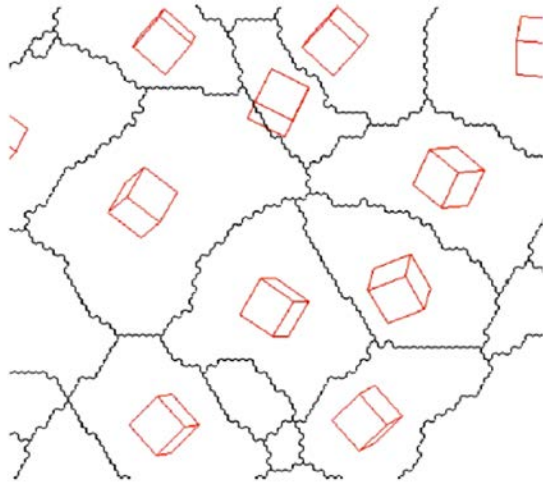


Figure 6.5 Variation de la limite d'élasticité, $R_{e0.2}$, de plusieurs métaux et alliages en fonction de la taille moyenne des grains d , selon la relation de Hall-Petch.

La limite d'élasticité augmente quand la taille moyenne des grains diminue

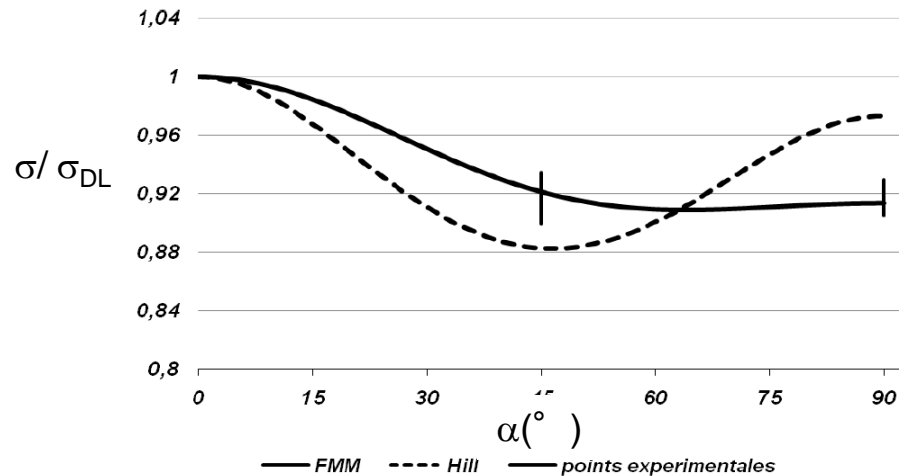
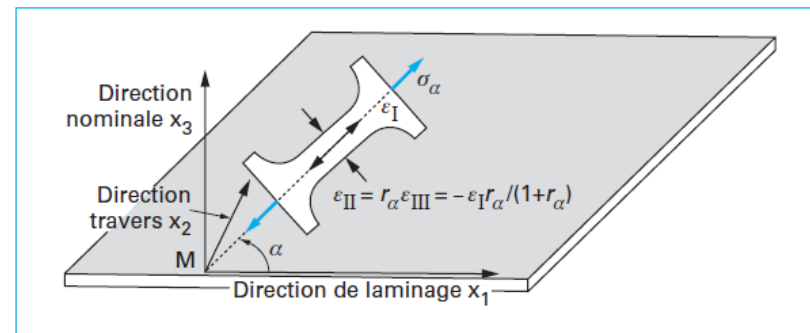
Influence de la microstructure sur les propriétés

Influence de l'orientation préférentielle des grains (texture cristalline)



1. Description schématique de l'orientation des grains à partir de cubes dans un matériau de structure cristalline cubique.

Ex. : cas du laminage



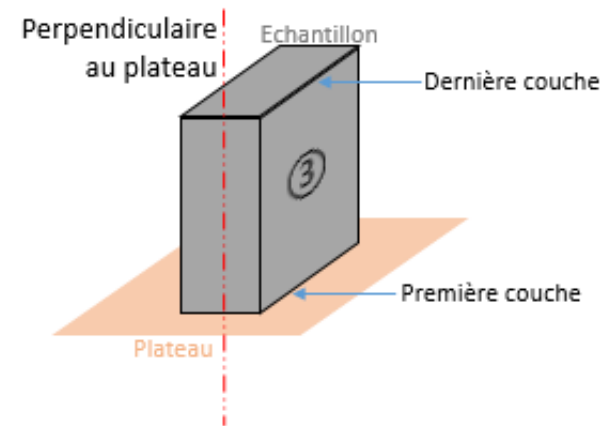
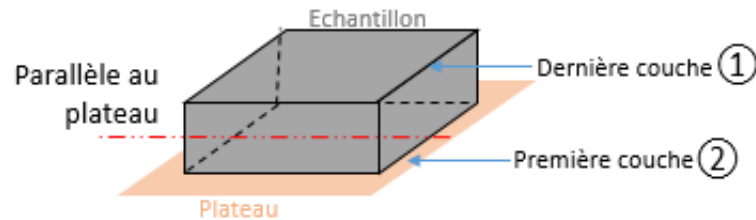
La texture influence les propriétés (anisotropie)

Fournisseurs	Méthode	Granulométrie poudre (μm)	Epaisseur couche (μm)
A	SLM	20 - 125	40
B	SLM	20 - 50	40
C	SLM	?	40

Deux orientations:

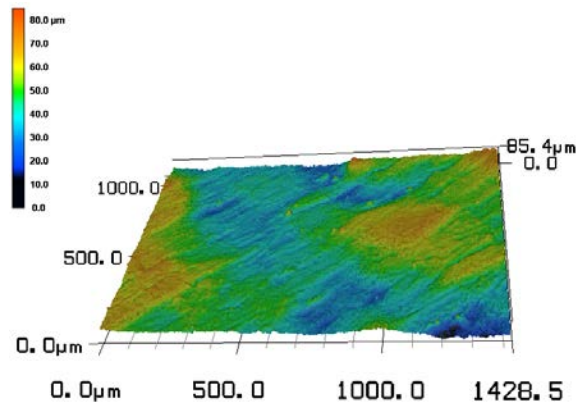
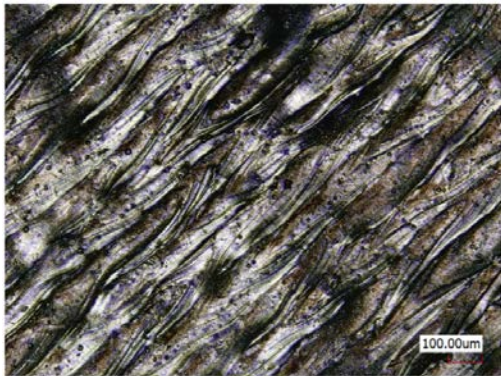
- Parallèle

- Perpendiculaire



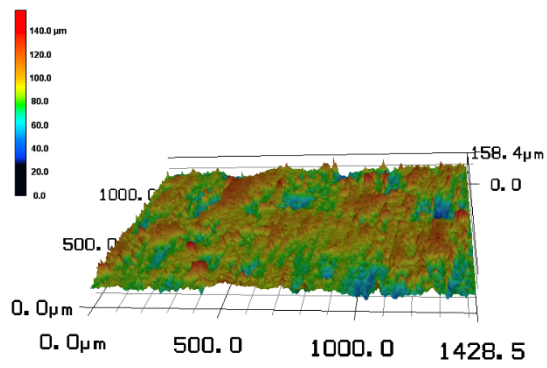
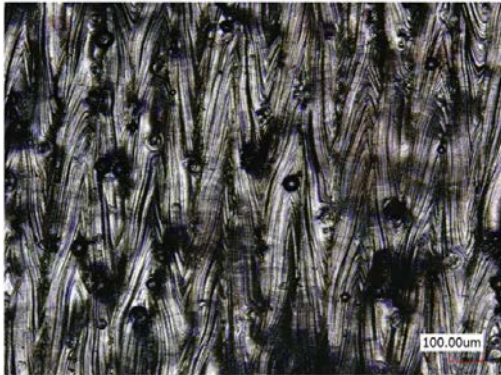
Etat de surface

A



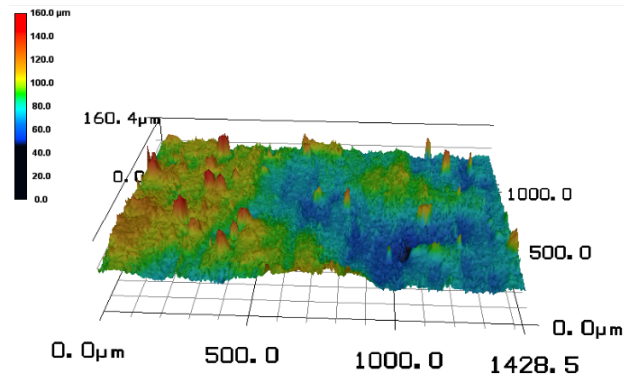
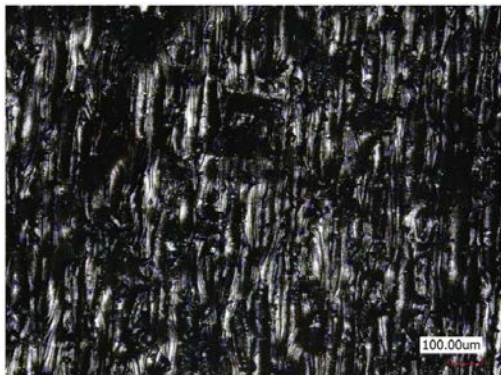
10 µm

B



12 µm

C

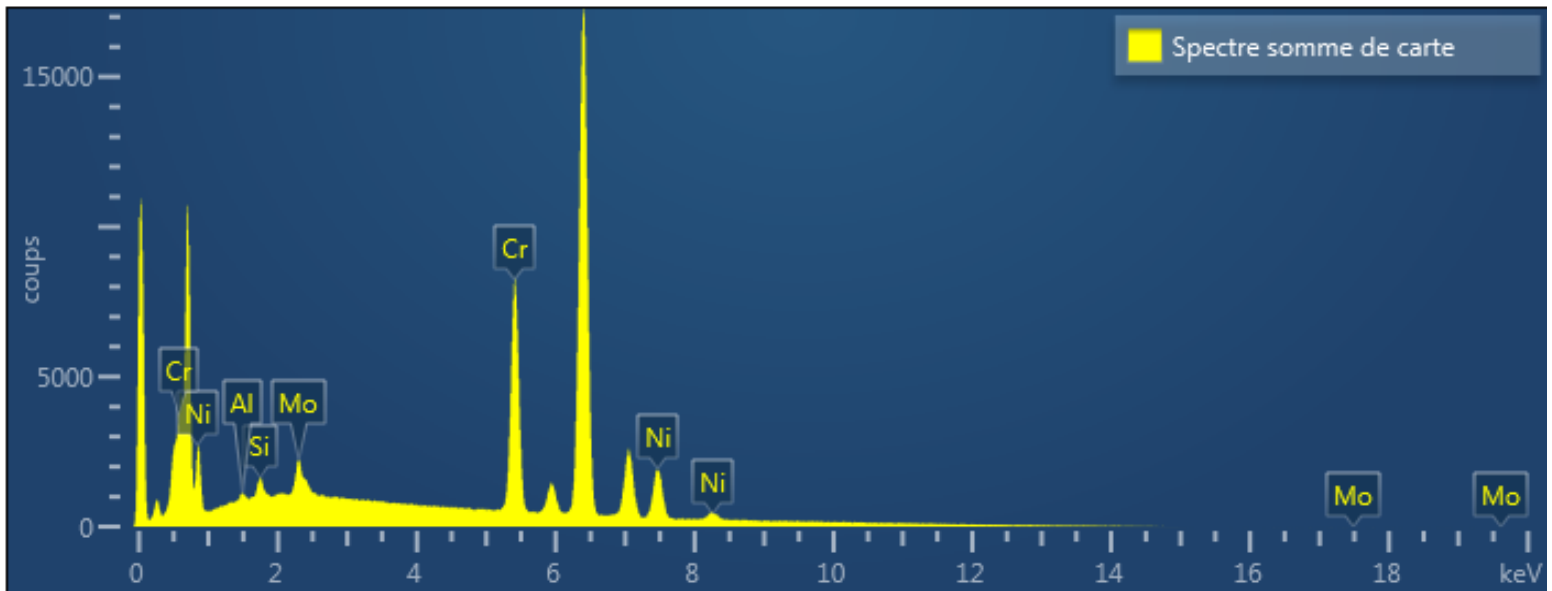


15 µm

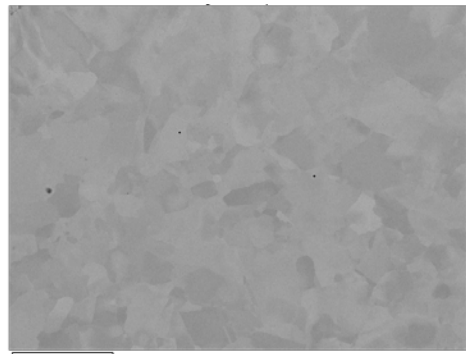
Composition chimique (MEB/EDX)

Composition Chimique en % Massique

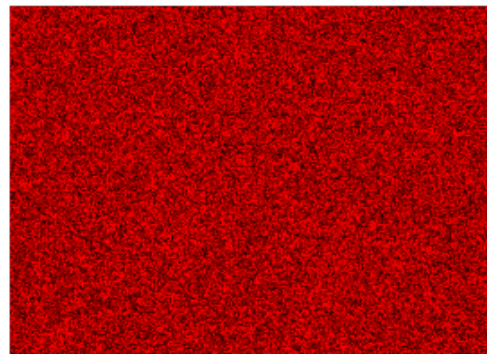
	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	Al
Std	Compl.	16 - 19	9 - 13	1,5 - 3	< 2	< 1	/
A	67,4 ± 0,4	17,3 ± 0,2	12,3 ± 0,3	2,2 ± 0,2	0,3 ± 0,2	0,4 ± 0,1	0,2 ± 0,1
B	63,1 ± 0,4	18,0 ± 0,2	14,7 ± 0,3	2,3 ± 0,2	1,6 ± 0,2	0,4 ± 0,1	/
C	67,2 ± 0,6	16,2 ± 0,3	11,7 ± 0,5	2,5 ± 0,3	1,9 ± 0,3	0,6 ± 0,1	/



Composition chimique (MEB/EDX)

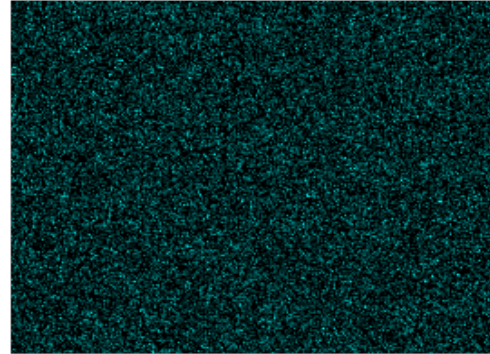


Cr K α 1



Fe K α 1

Mo L α 1

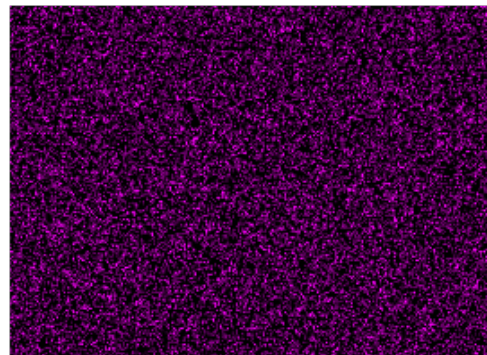


Ni K α 1

Si K α 1



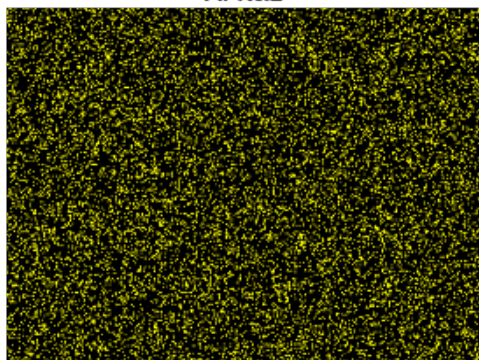
Al K α 1



5 μm



5 μm

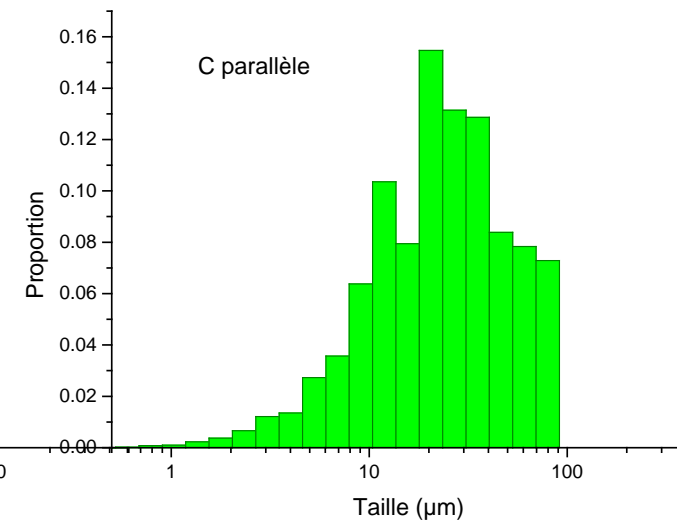
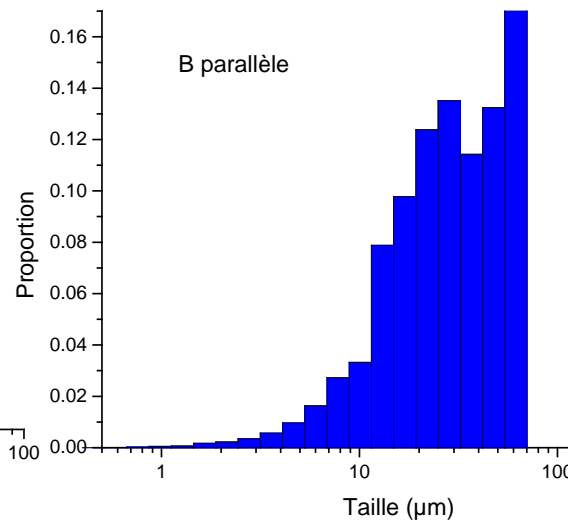
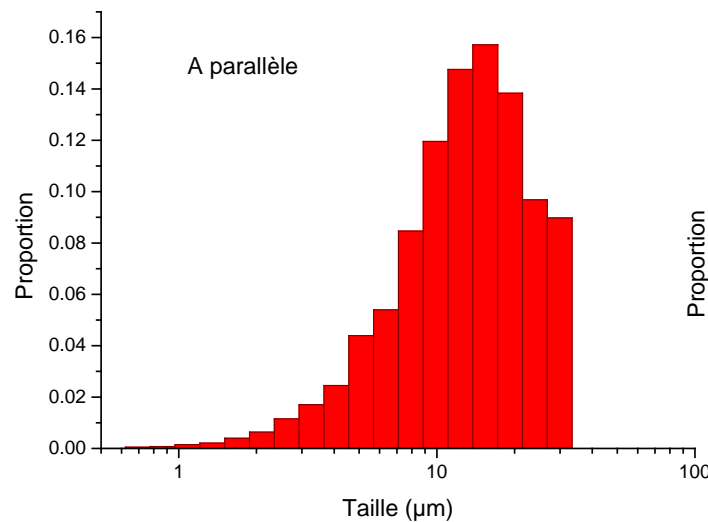
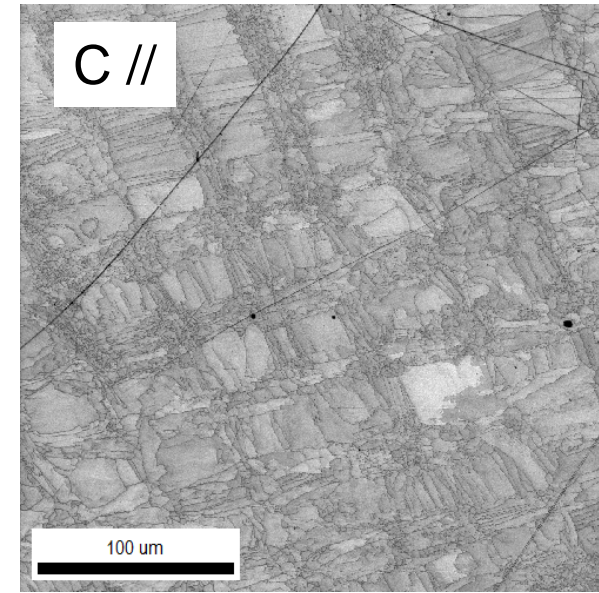
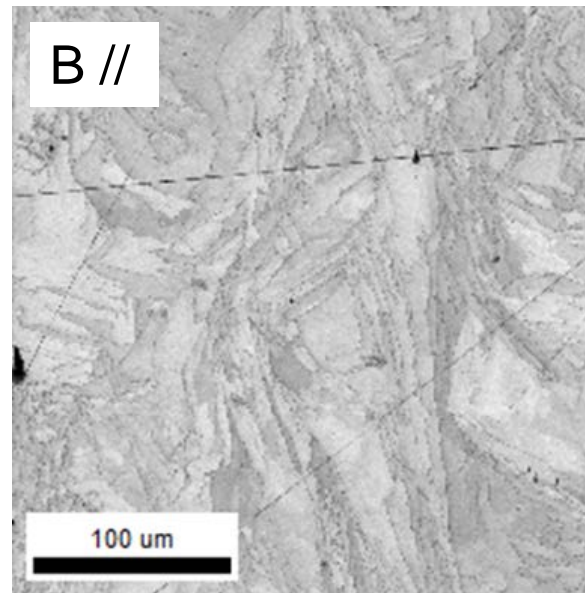
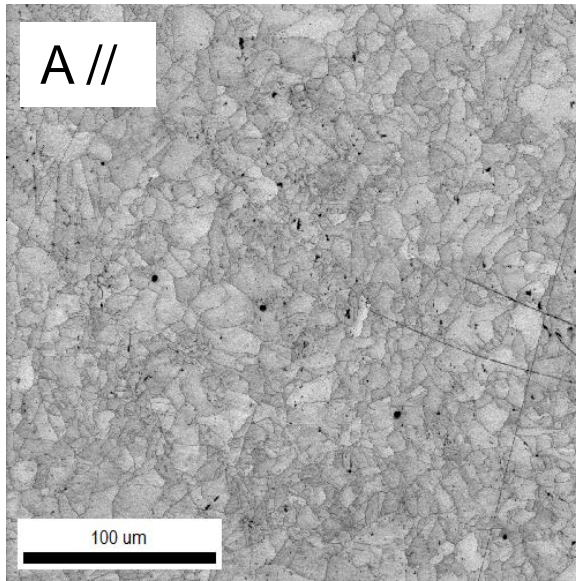


5 μm

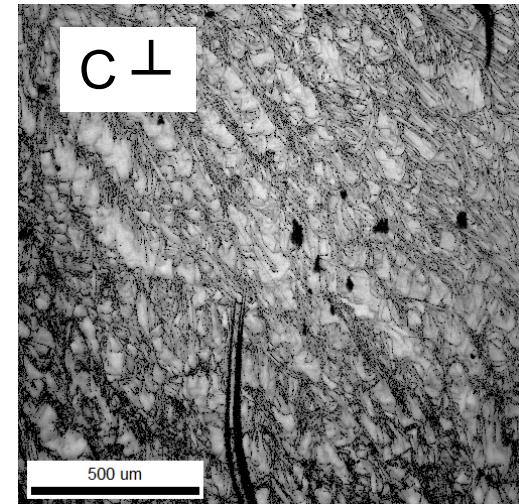
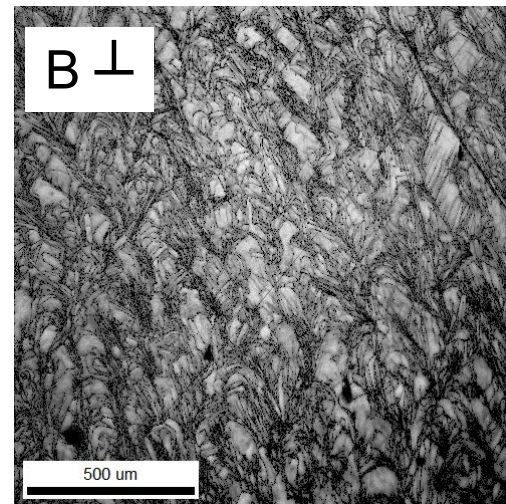
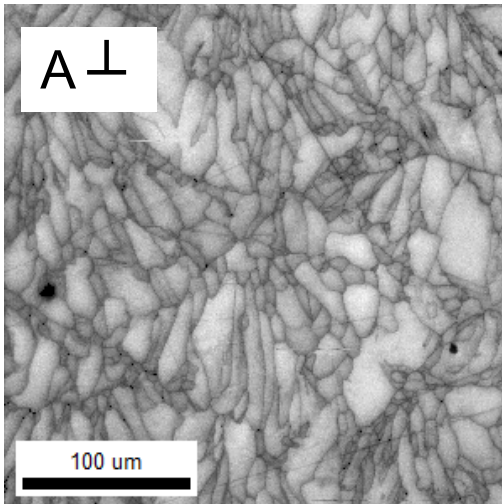
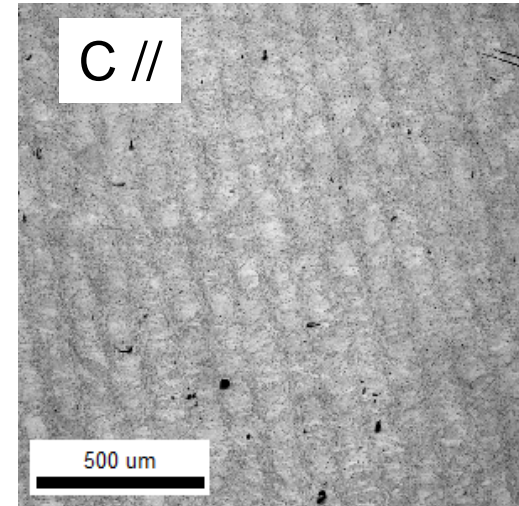
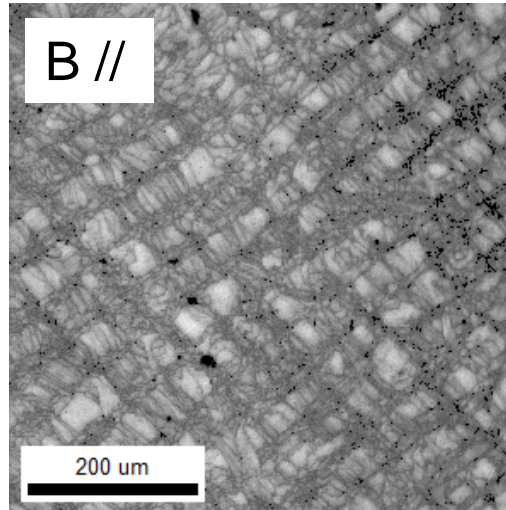
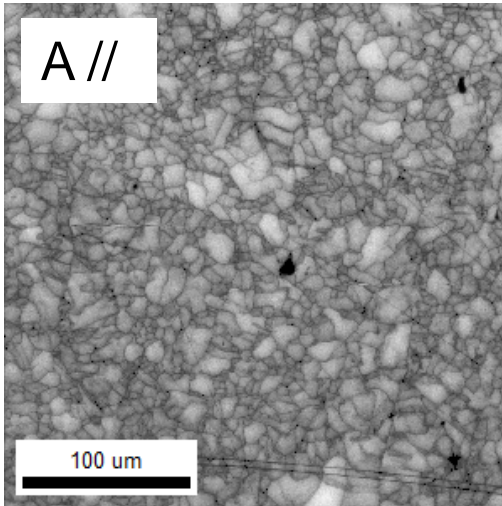
Répartition homogène, pas une contamination de surface (SIMS)

→ Contamination de la poudre? Contamination du plateau?

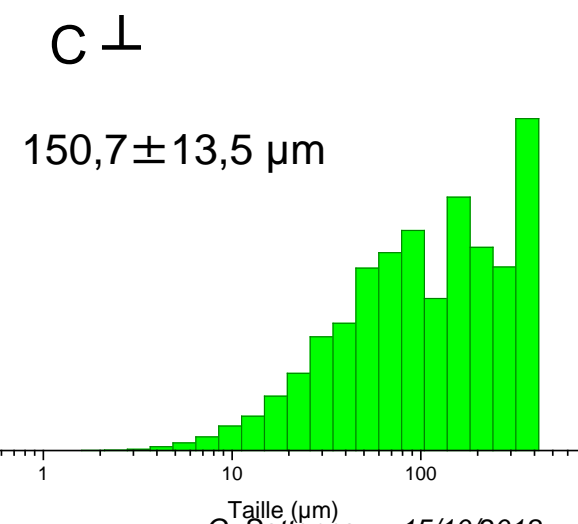
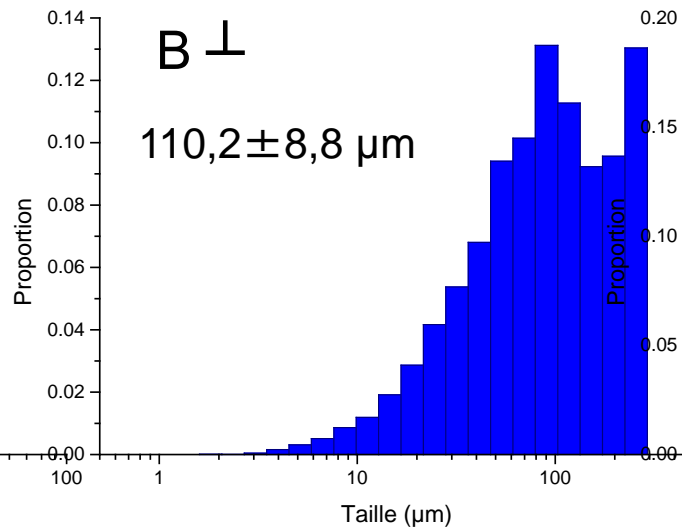
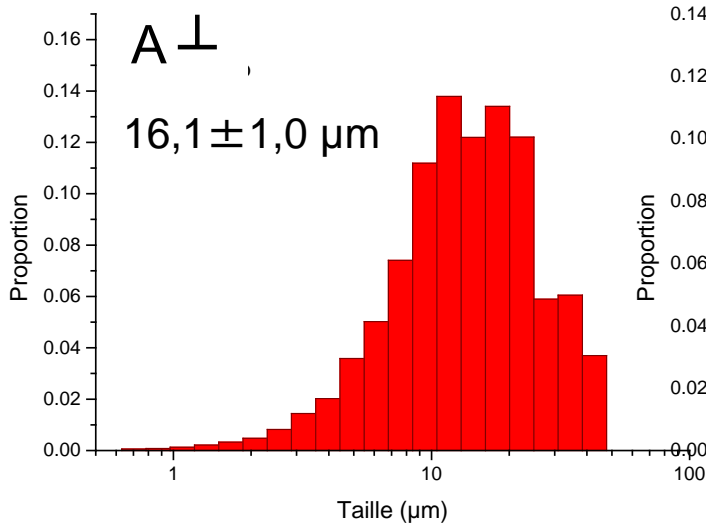
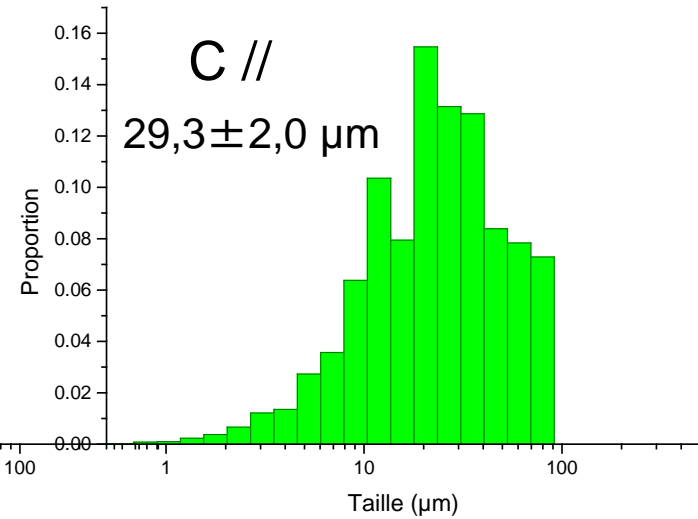
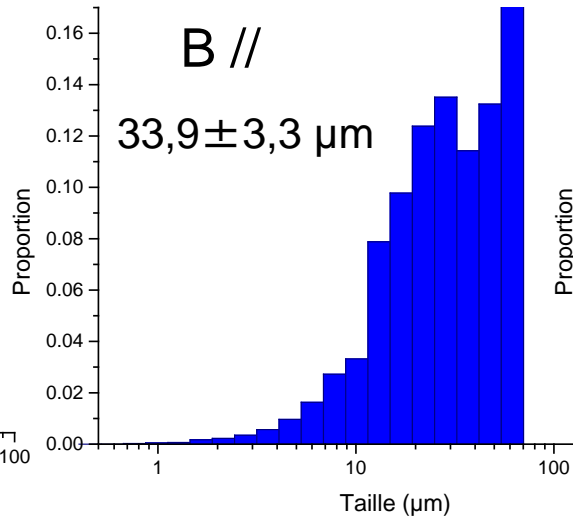
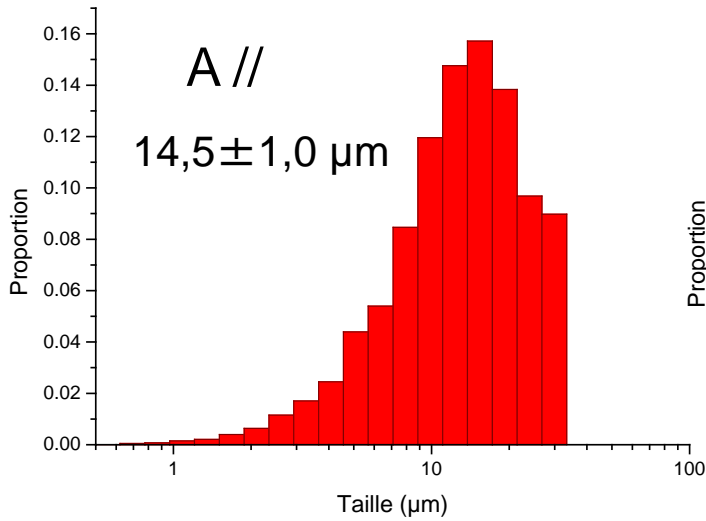
Taille des grains (MEB)



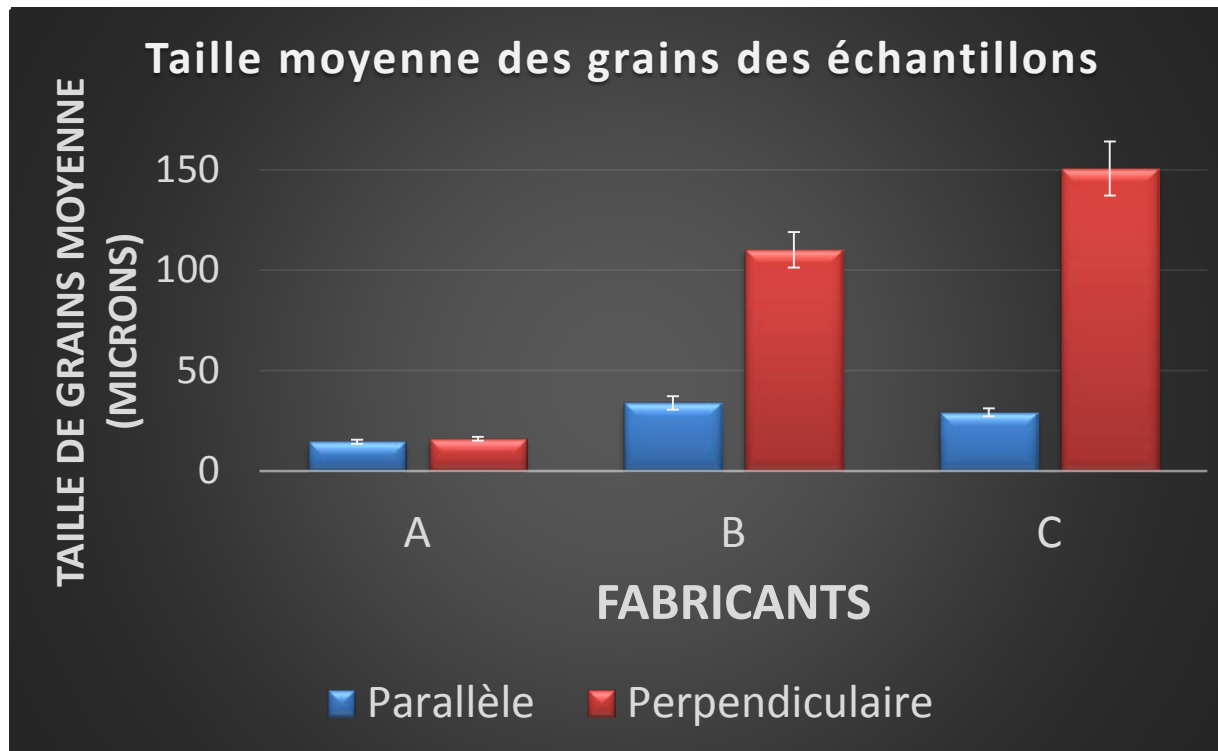
Taille des grains (MEB)



Taille des grains (MEB)



Taille des grains (MEB)



$d(C) > d(B) > d(A)$
taille perp > taille para

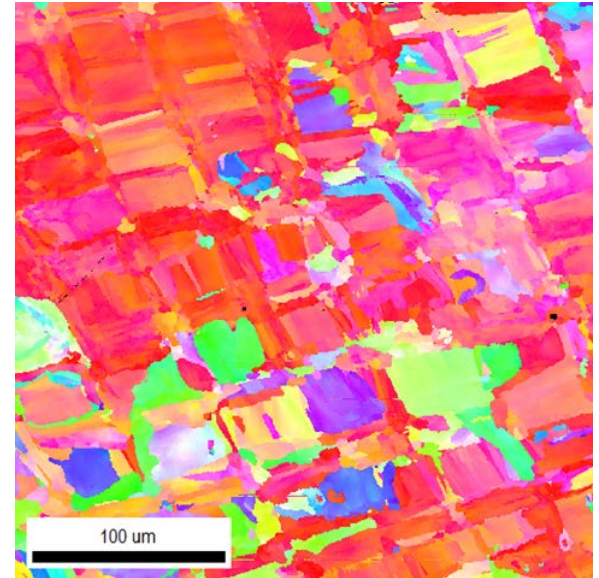
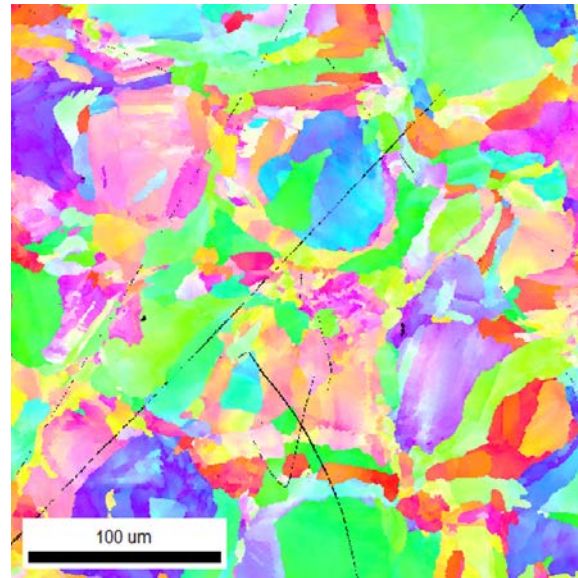
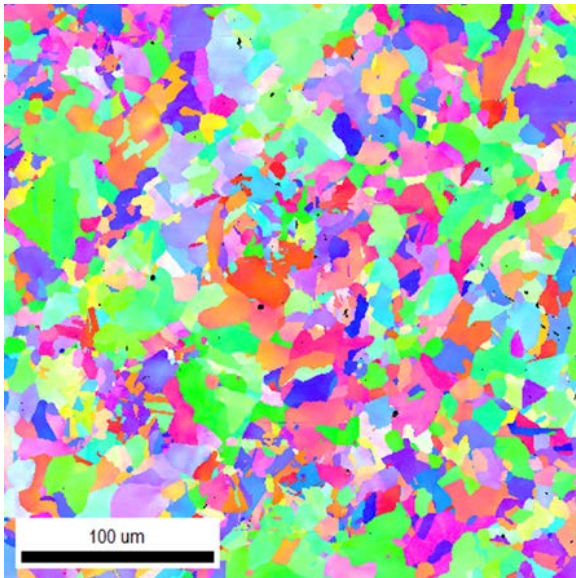
→ longs grains colonnaires orientés perpendiculairement au plateau
(gradients thermiques lors du dépôt couche par couche)

Texture : analyse MEB-EBSD

A //

B //

C //



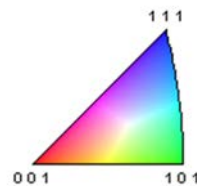
Pas de texture

texture (101) et (111)

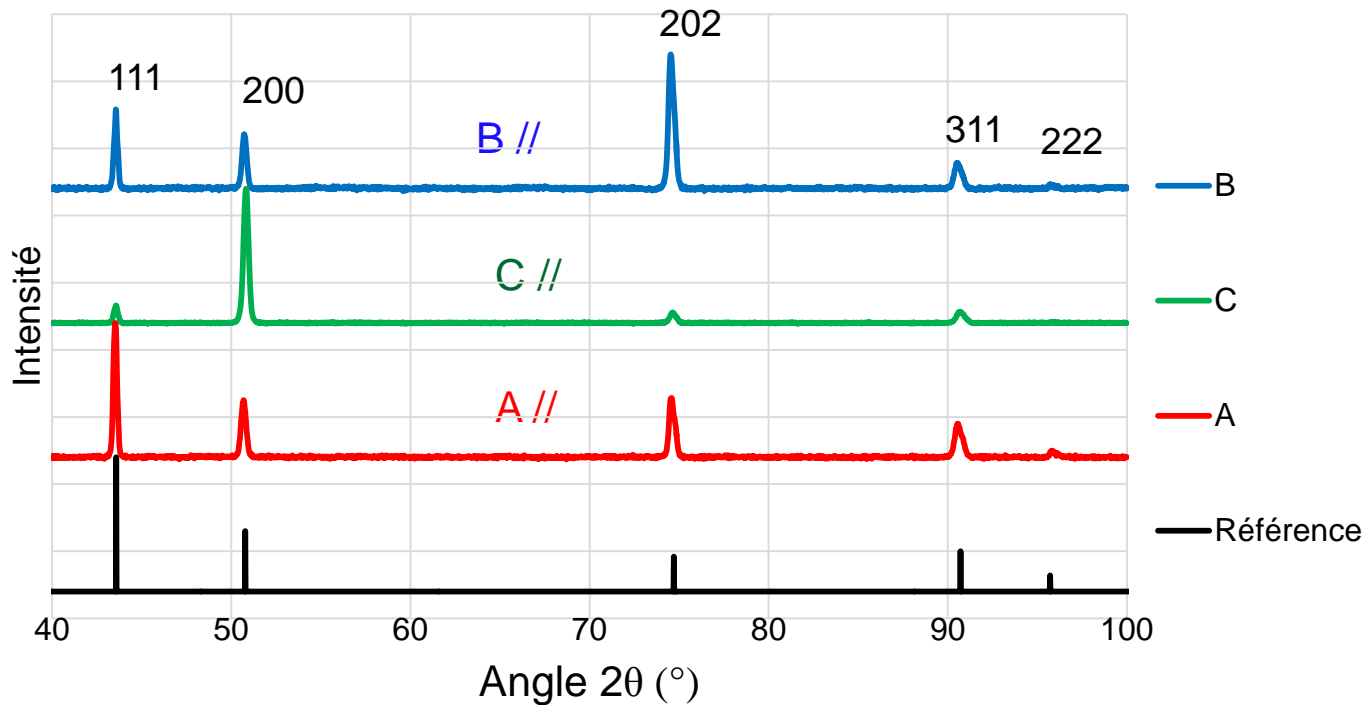
texture (001)

Color Coded Map Type: Inverse Pole Figure [001]

Iron (Gamma)



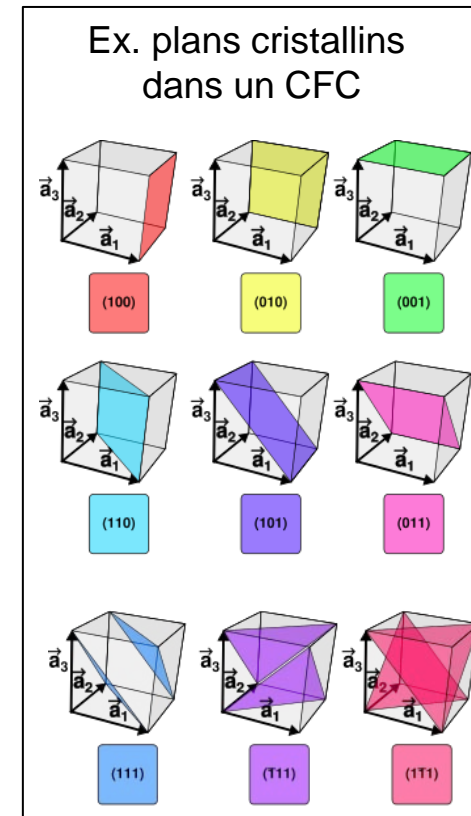
Diffractogrammes - Echantillons Parallèles



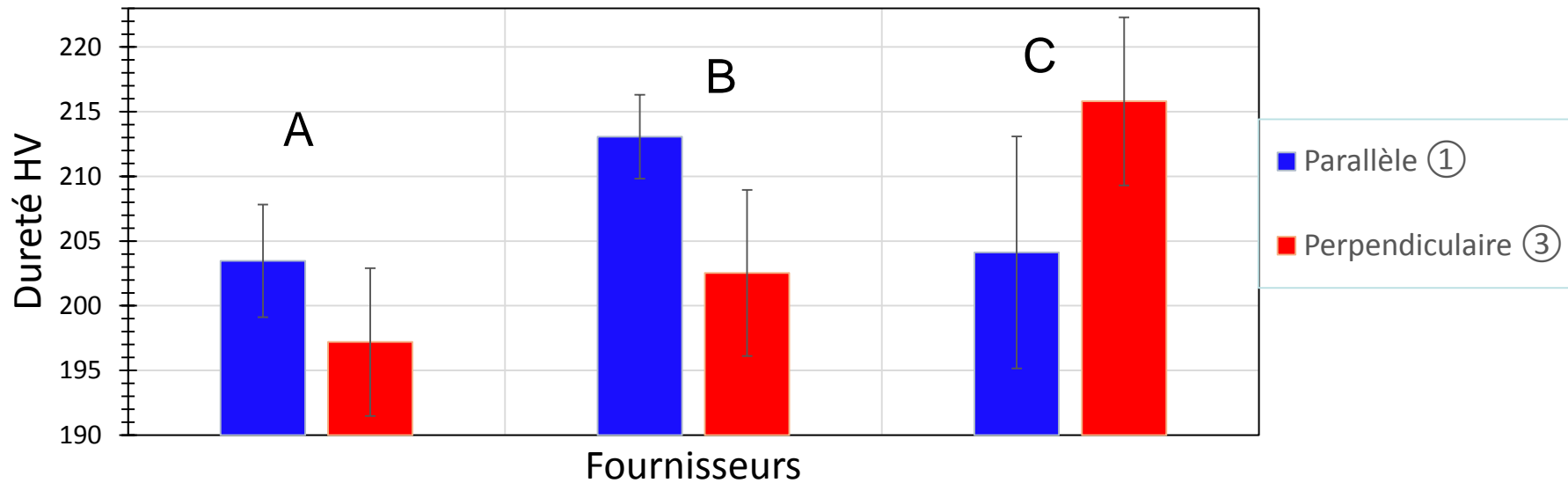
A: pas de texture

B: orientation préférentielle (202) (ou (101))

C: orientation préférentielle (200) (ou (100))

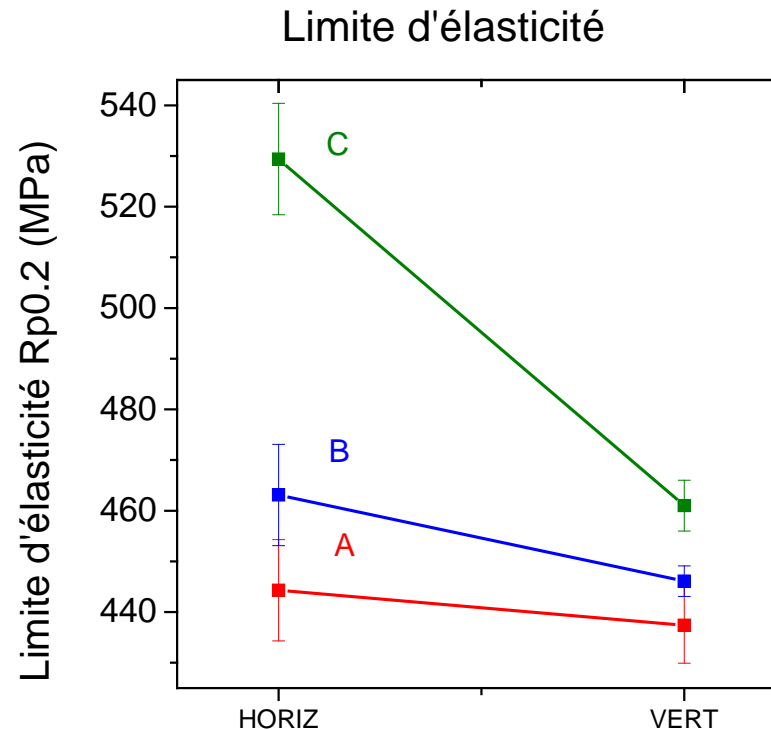


Dureté Vickers des échantillons



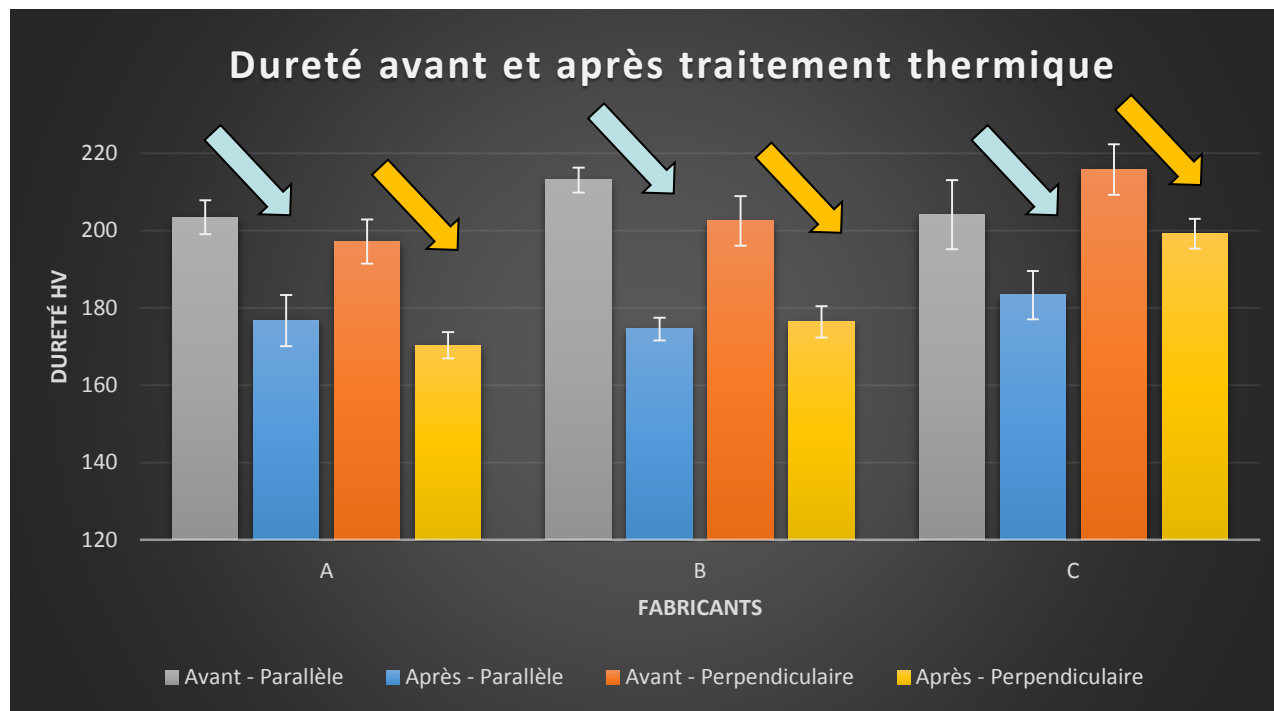
(cf Alexandre Gonnin)

Éprouvettes de traction imprimées horizontalement ou verticalement
(M. Guerrier, J. Bonnis)



anisotropie de la microstructure (taille de grains, texture)
→ anisotropie des propriétés mécaniques

Traitement Thermique : 1050° C / 2h – 1,6x10⁻⁶ mbar



La dureté diminue après traitement thermique
 → relaxation des contraintes internes

Aspect chimique :

- Présence d'Al dans les échantillons de A (attention à la contamination)

Aspect microstructurale :

- Formation de grains colonnaires
- Taille de grains plus importante pour les échantillons B et C que celle des échantillons A
- Échantillons de B et C sont texturés

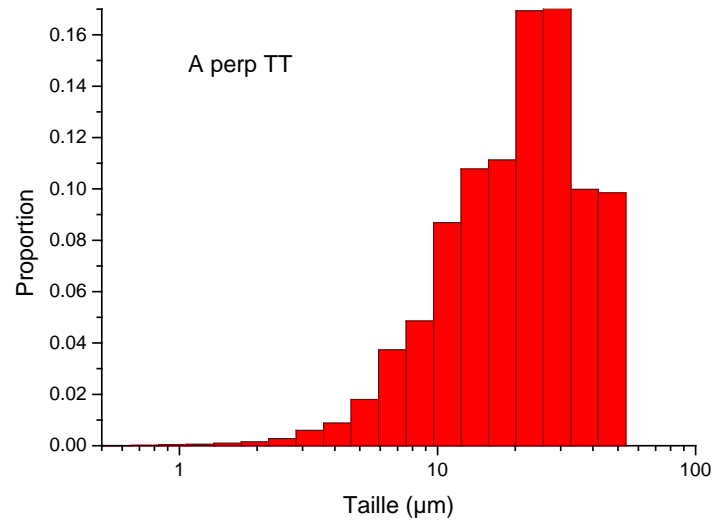
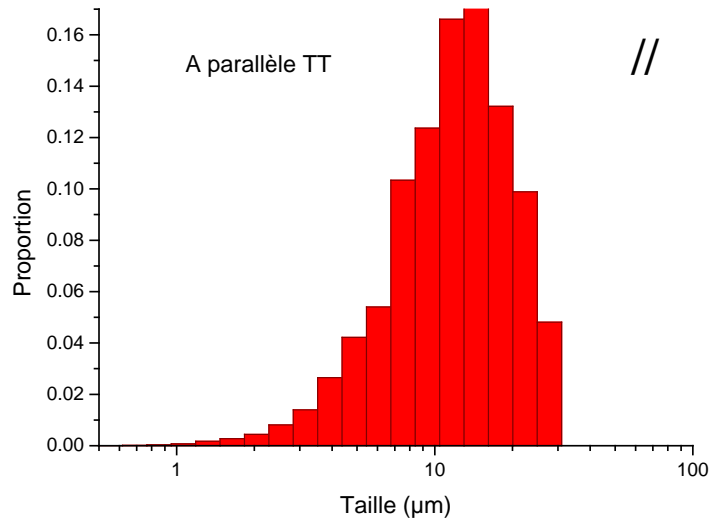
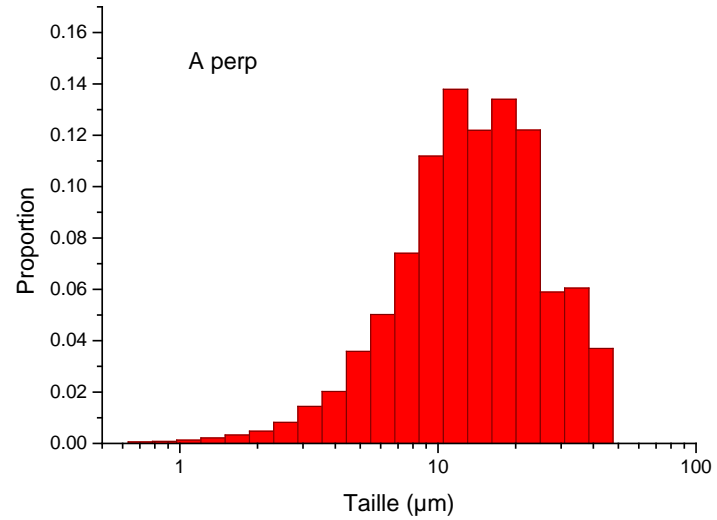
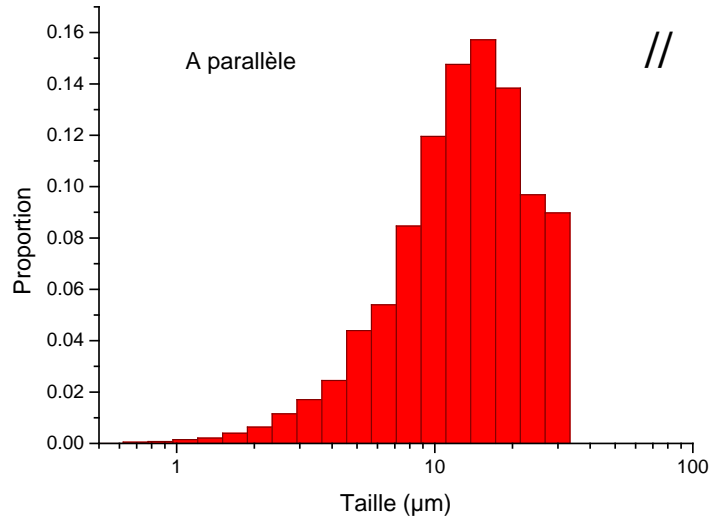
Aspect mécanique :

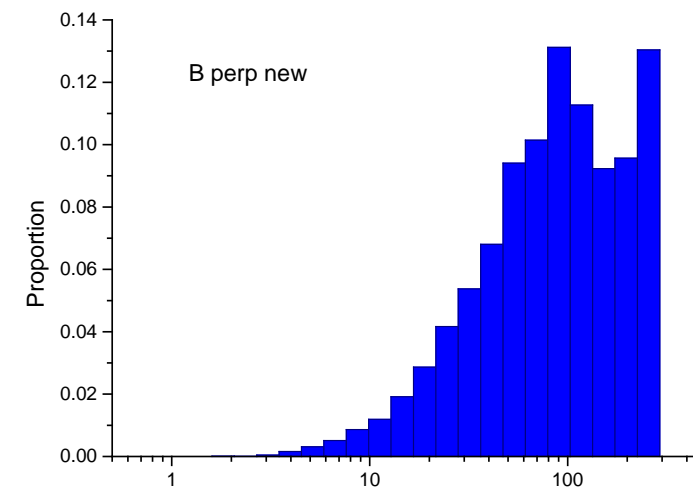
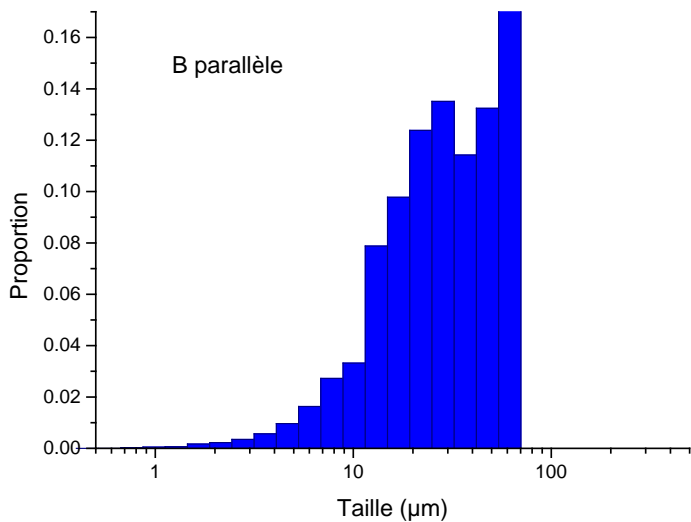
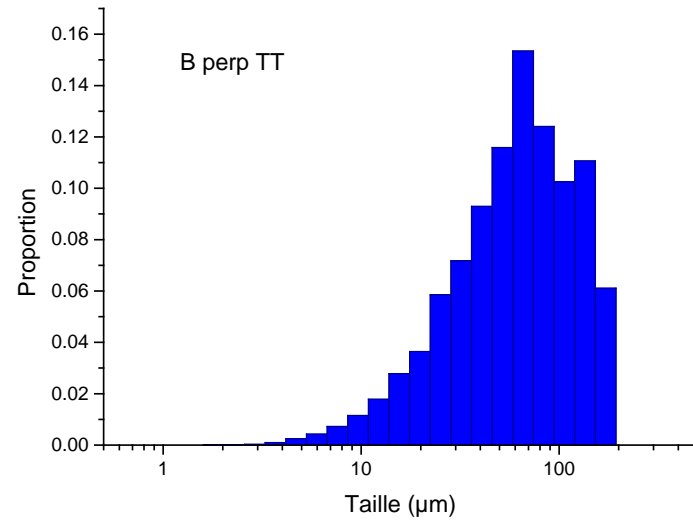
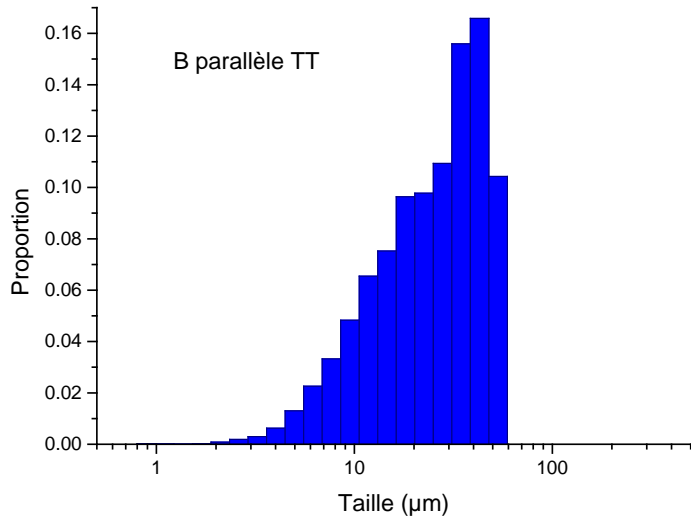
- Échantillons de C sont les plus durs
- Anisotropie induite par l'anisotropie microstructurale (notamment pour B et C)

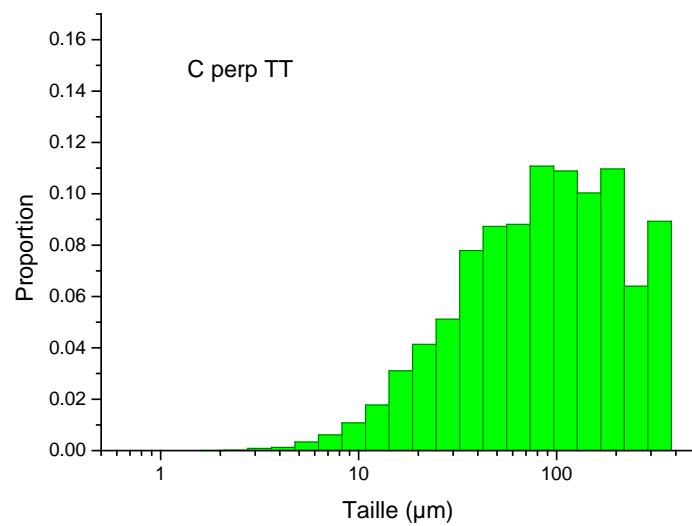
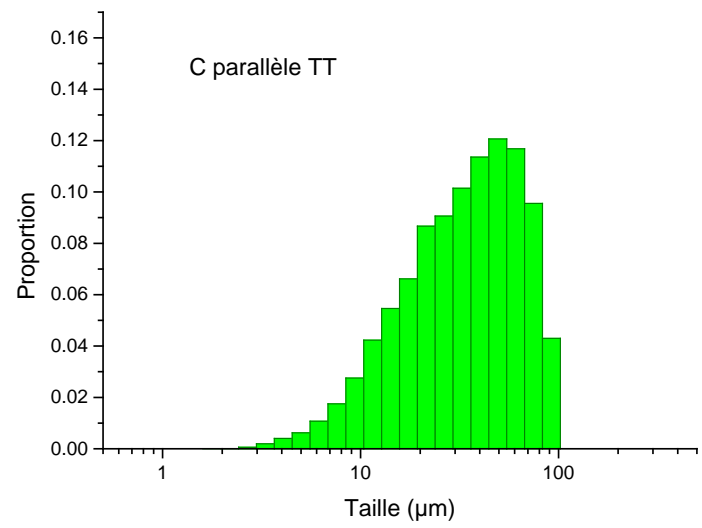
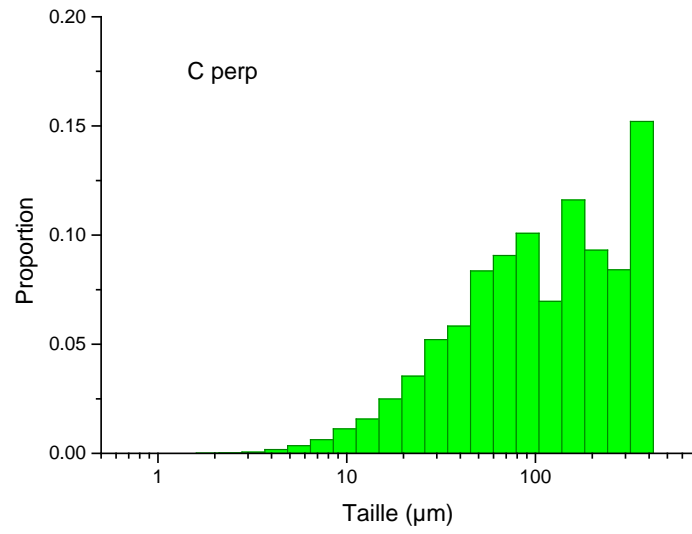
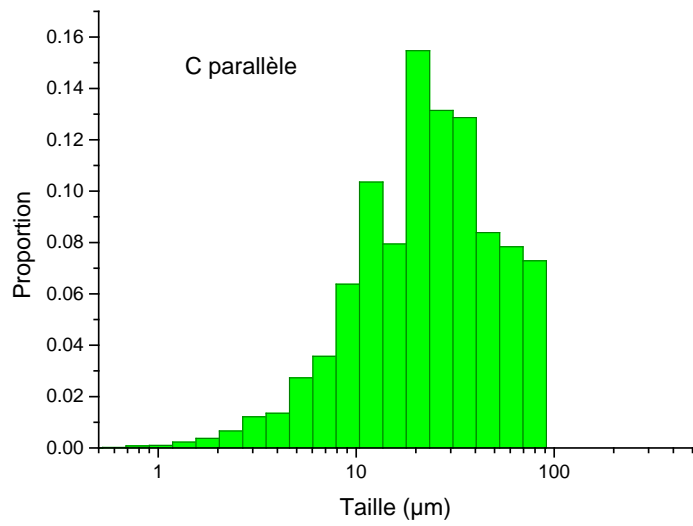
Perspectives :

- Mesures de densité (porosité résiduelle?)
- Réaliser les analyses sur un plus grand nombre d'échantillons
- Corréler les propriétés mécaniques à la microstructure

- Utiliser la même méthode de fabrication de synthèse additive ne garantit pas d'avoir des pièces avec les mêmes propriétés physico-chimiques (et mécaniques)
- Méthode de fabrication par SLM → Anisotropie des propriétés
- Influence de nombreux paramètres : la puissance du laser, la vitesse de passage du laser sur la poudre, l'environnement de fabrication, la température, la vitesse de refroidissement etc.







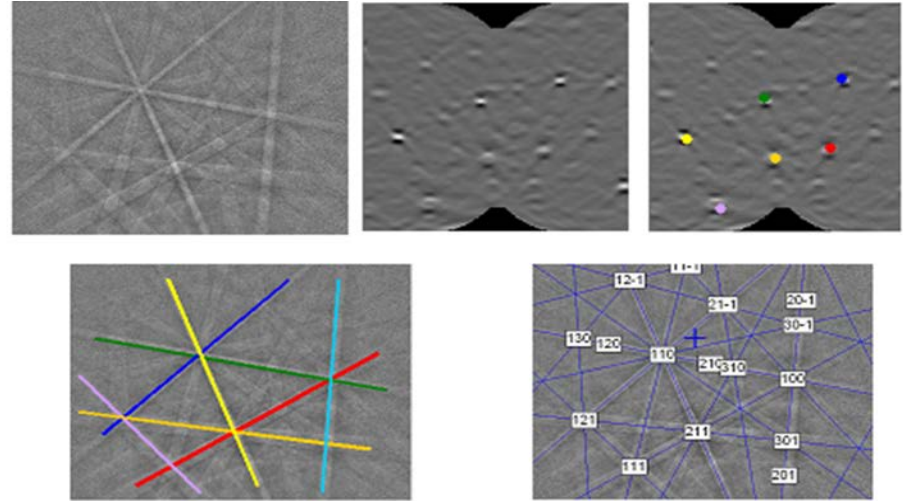
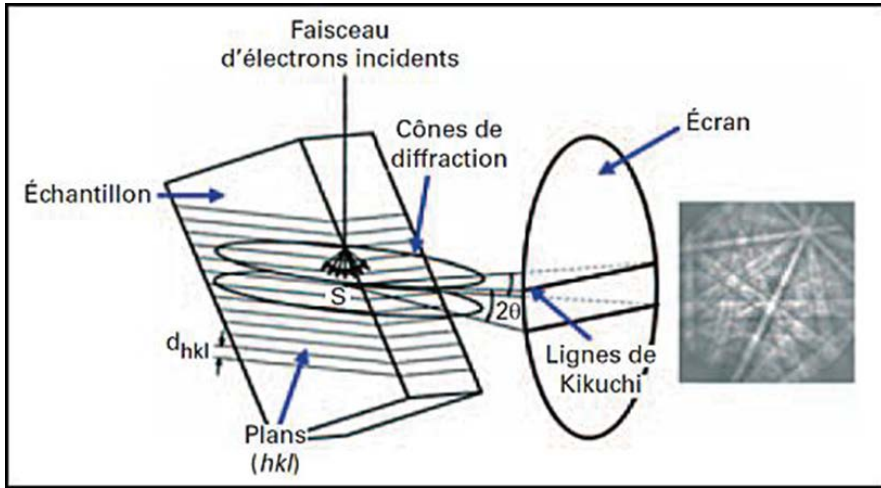
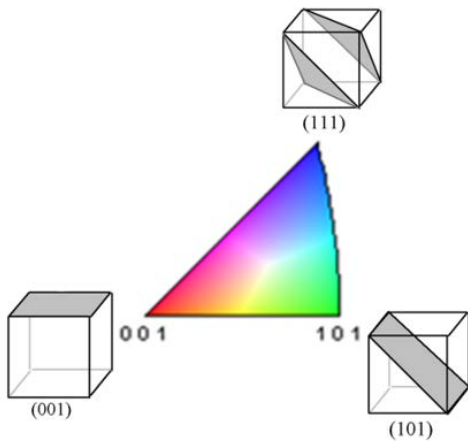


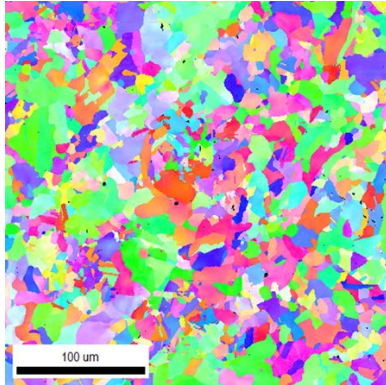
Schéma du principe de fonctionnement pour l'obtention des lignes de Kikuchi



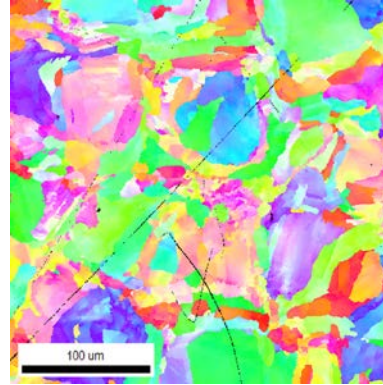
Code couleur de la cartographie selon le plan d'orientation des grains

Analyse MEB-EBSD

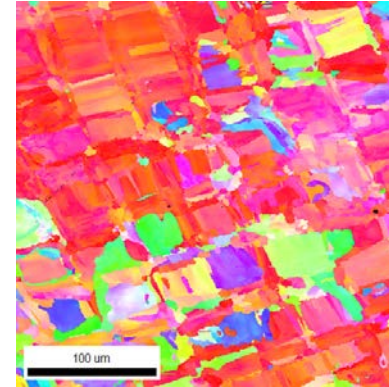
A //



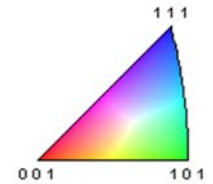
B //



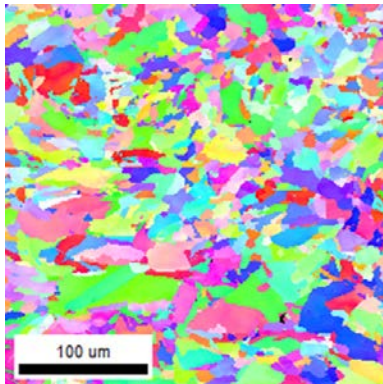
C //



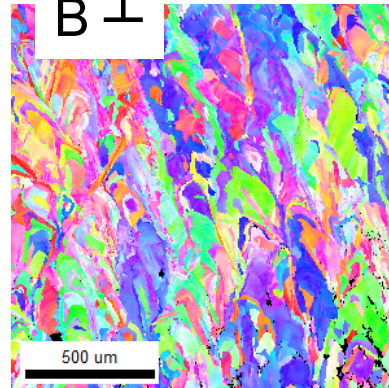
Color Coded Map Type: Inverse Pole Figure [001]
Iron (Gamma)



A ⊥



B ⊥



C ⊥

