



Léo MONIER

- Thèse: Relations microstructure-propriétés mécaniques des aciers inoxydables austénitiques 316L L-PBF et WAAM.

SIMap: Muriel Veron, Guilhem Martin, Jean-Jacques Blandin, Arthur Despres
EDF : Yang Shen, Flore Villaret, Bernard Yrieix

Début de thèse : 4 novembre 2020

Additive manufacturing for energy applications

- Already existing parts for energy applications made by additive manufacturing

LPBF

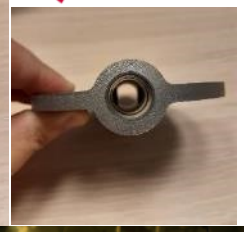
Manual command

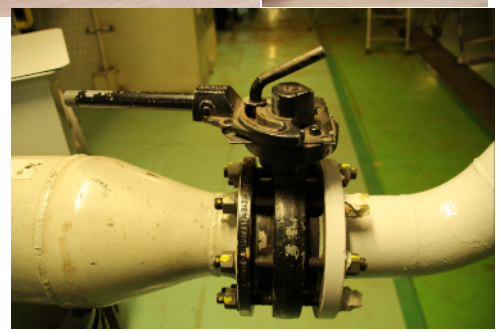


Tools for fuel handling









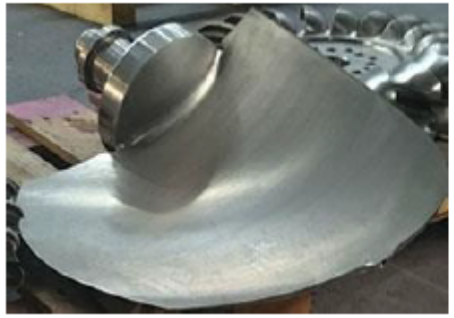
Valve stopper

WAAM

Hydraulic turbine



Hydraulic holding ring





Additive manufacturing for energy applications

- Already existing parts for energy applications made by additive manufacturing

LPBF

Manual command

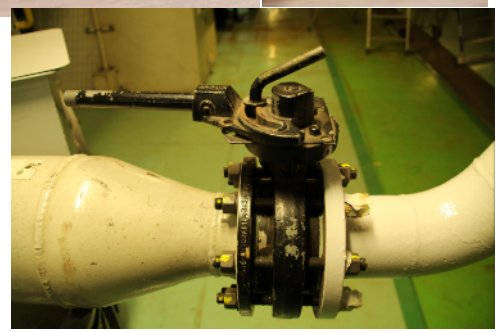


cea



cetim





Tools for fuel handling

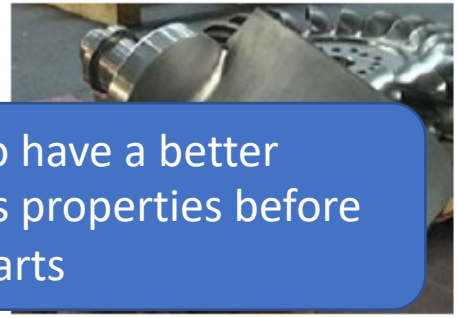


WAAM

Hydraulic turbine



Hydraulic holding ring

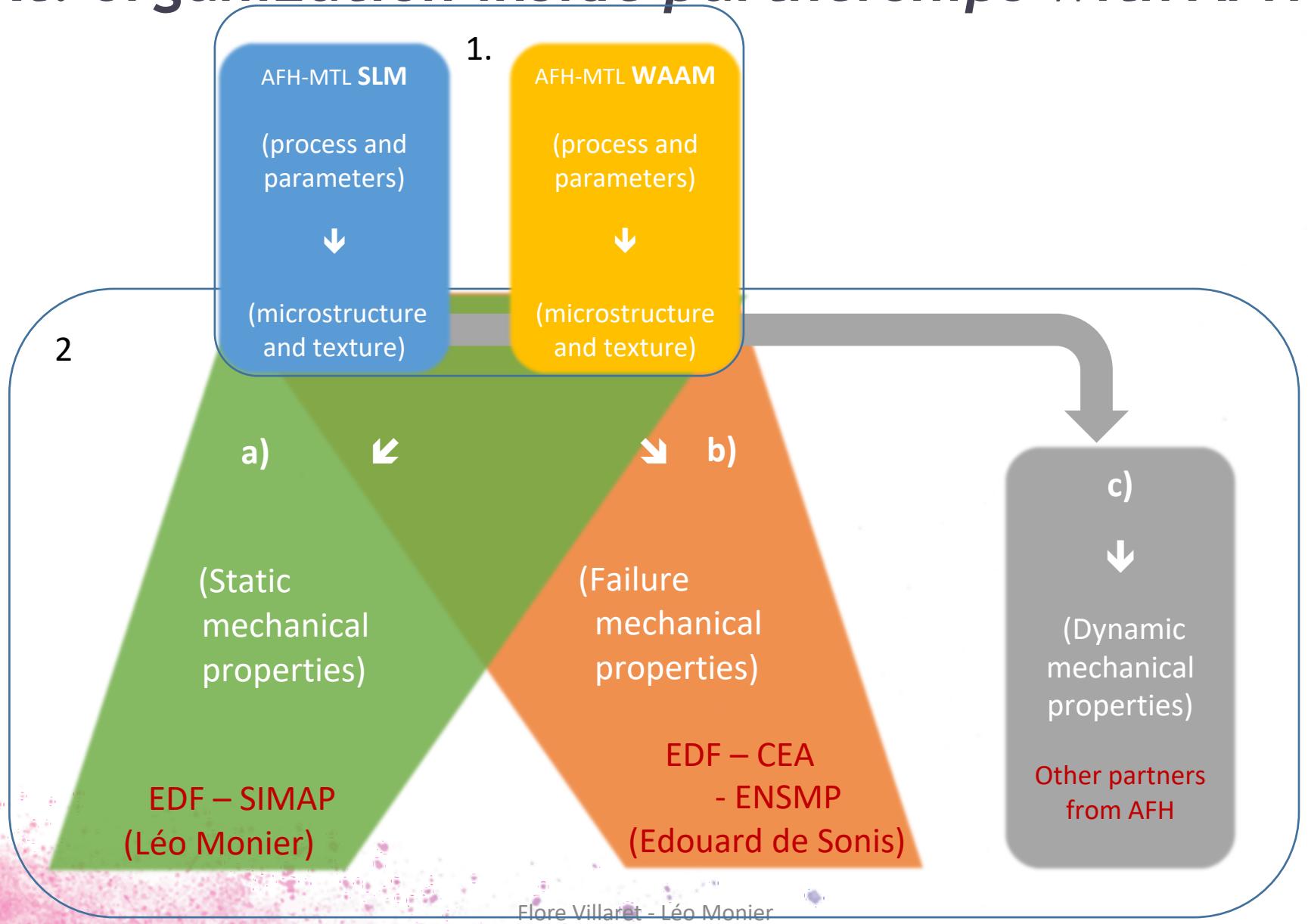




Non critical parts today -> need to have a better understanding of these new material's properties before making more critical parts

Additive Factory Hub

Context: organization inside partnerships with AFH

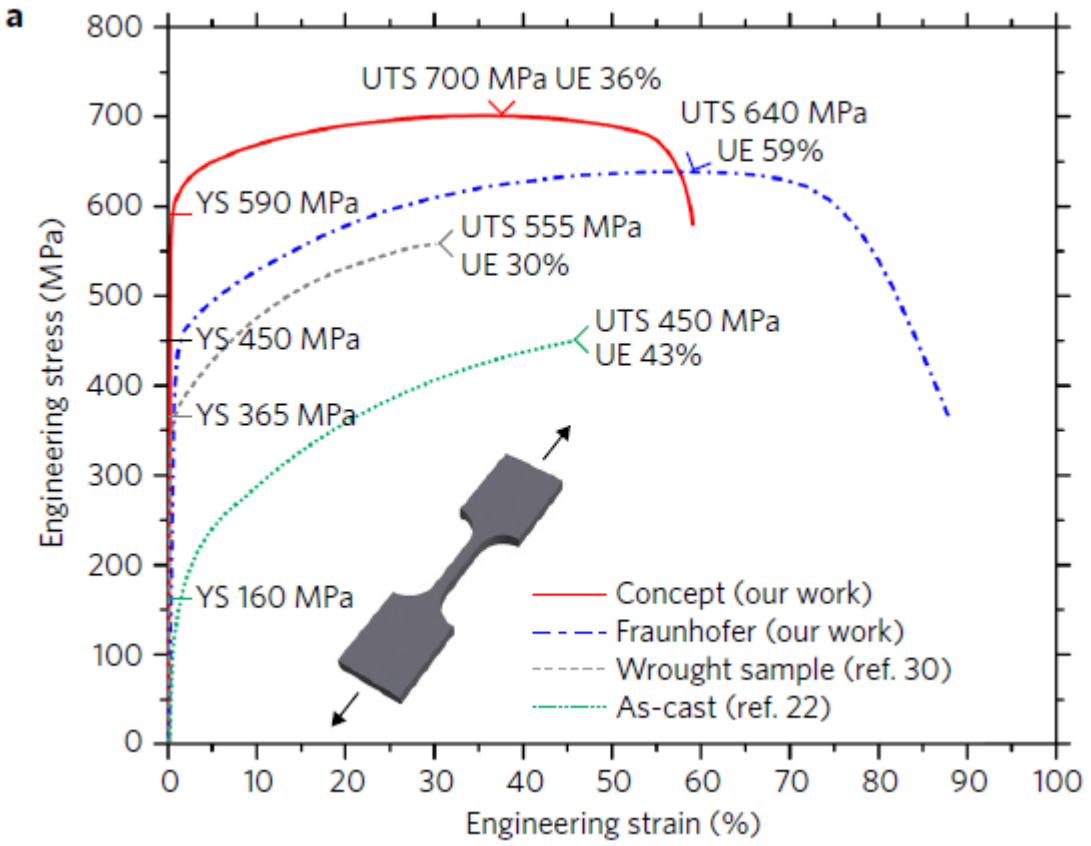


Introduction : 316L L-PBF propriétés mécaniques incroyables?

Wang 2017 Natur Mater, ET Liu 2017 materials today

Dans ces deux articles parus dans des journaux à fort impact factor, ils affirment que le 316L L-PBF est plus dur ET plus ductile que le 316L forgé.

Ils expliquent ceci par une interaction spéciale entre les cellules de dislocations et les macles.



Ceci est contraire à nos observations.

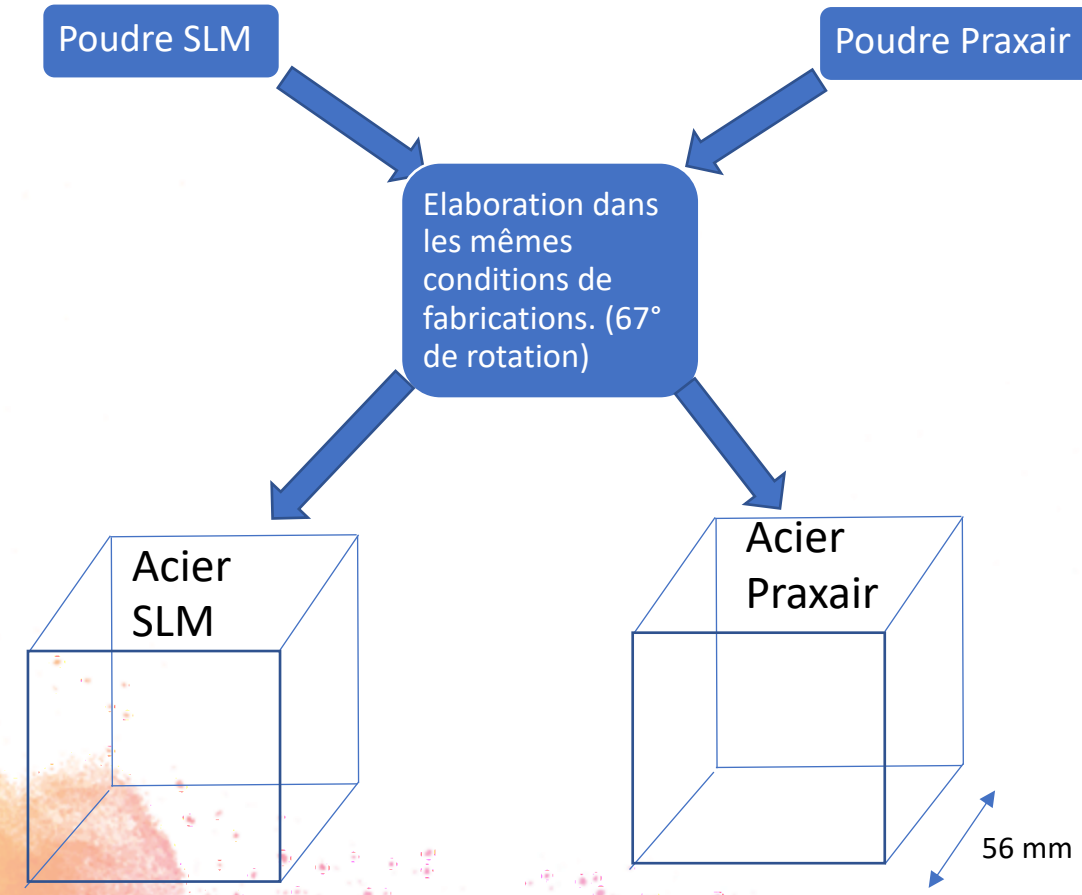
Sommaire

1. Caractérisation de la microstructure en fonction des traitements thermiques.
2. Impact des différents éléments de microstructure sur les propriétés mécaniques.
3. Ouverture : WAAM

Sommaire

1. Caractérisation de la microstructure en fonction des traitements thermiques.
2. Impact des différents éléments de microstructure sur les propriétés mécaniques.
3. Ouverture : WAAM

Deux aciers 316L fabriqués par L-PBF à partir de 2 lots de poudres différentes



Mesure par spectroscopie d'émission optique

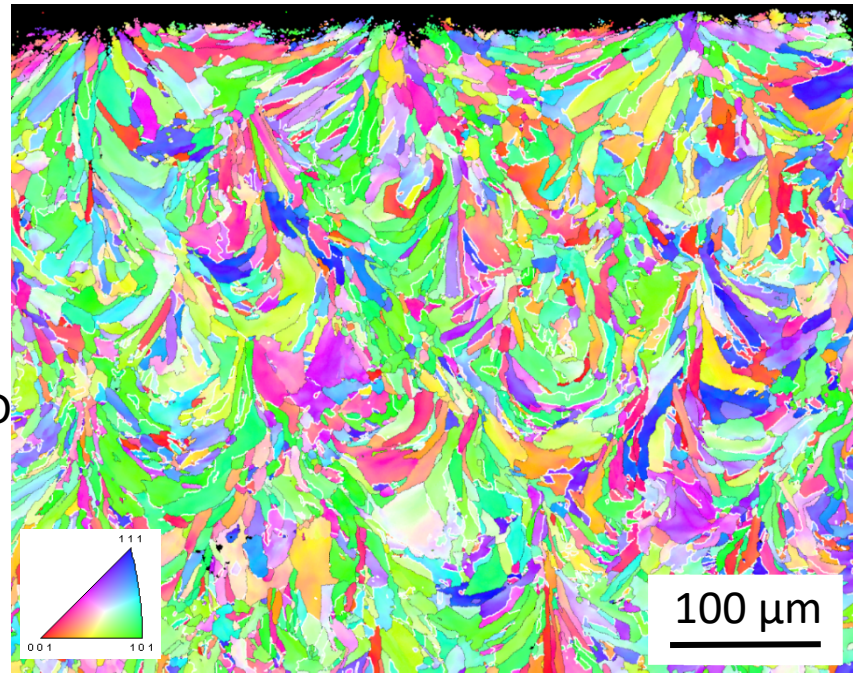
		Pourcentage massique					
Gaz d'atomisation	Acier	Fe	Cr	Ni	Mn	Mo	Si
Azote	SLM	65,5	17,6	12,4	0,9	2,4	0,7
Argon	Praxair	66	16,9	12,2	1,2	2,7	0,5

Mesure avec la norme ASTM E 1019 - 18

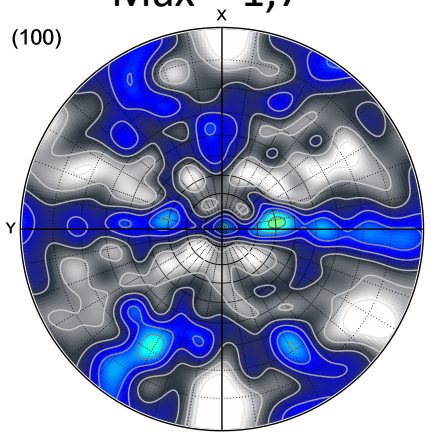
	Ppm massique						
	O	N	C	P	S	Cu	Ti
SLM	340	900	210	160	20	430	50
Praxair	710	130	60	100	20	80	310

Microstructure obtenue

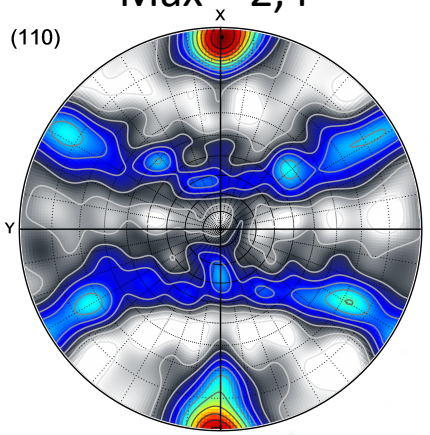
Praxair



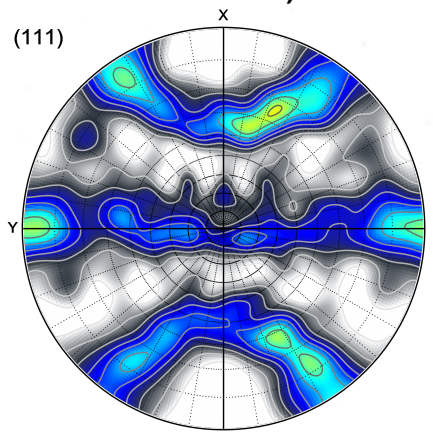
Max = 1,7

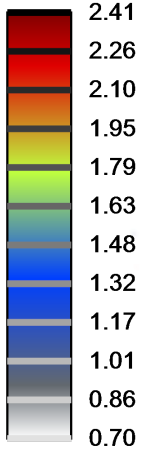


Max = 2,4



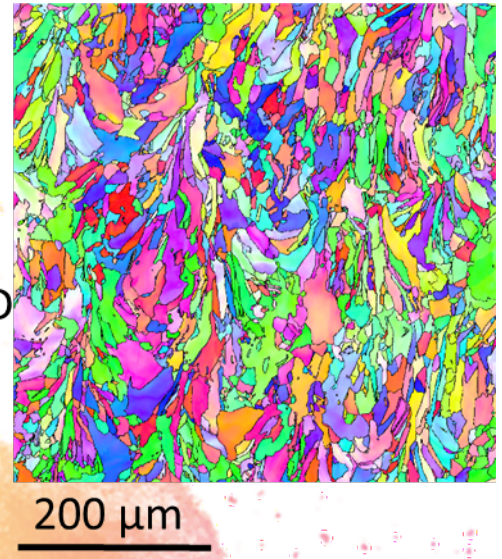
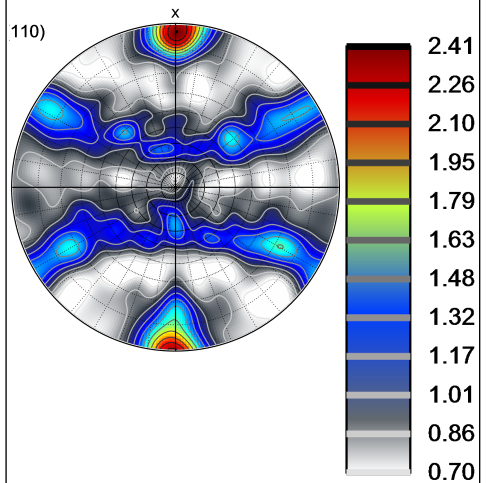
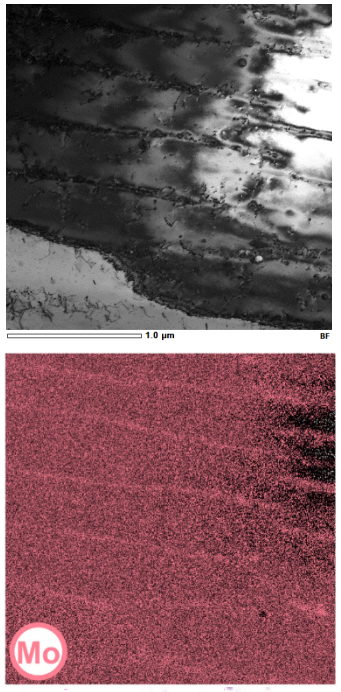
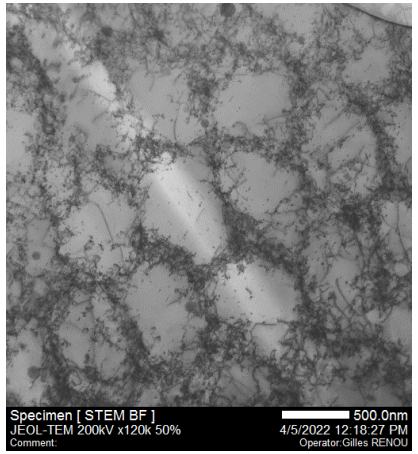
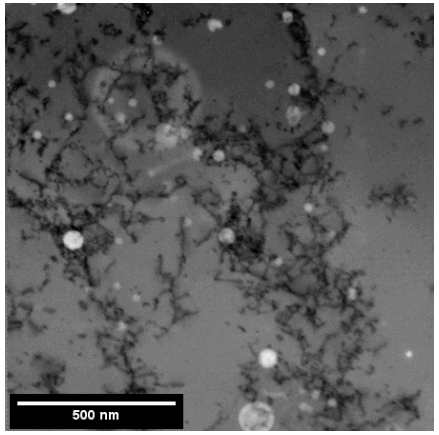
Max = 1,8





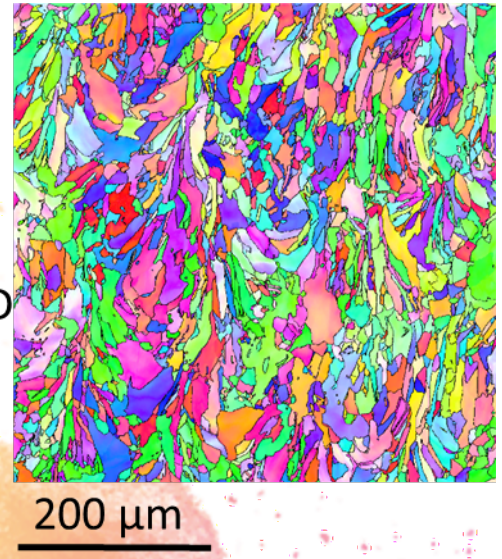
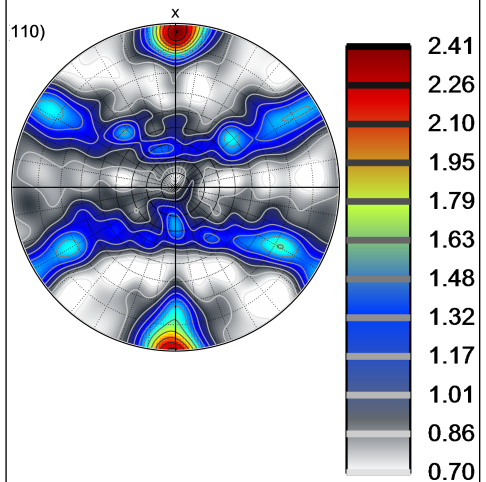
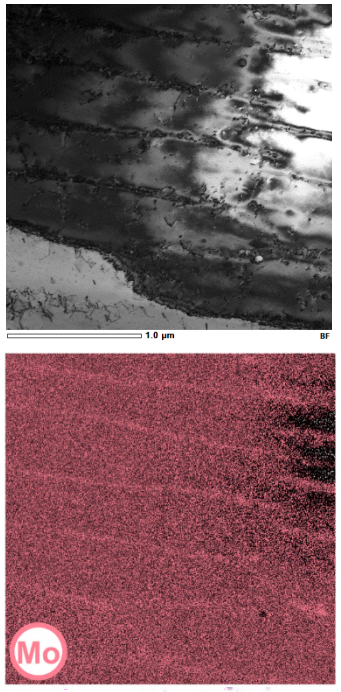
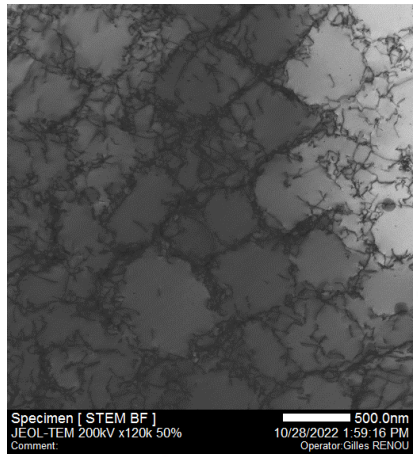
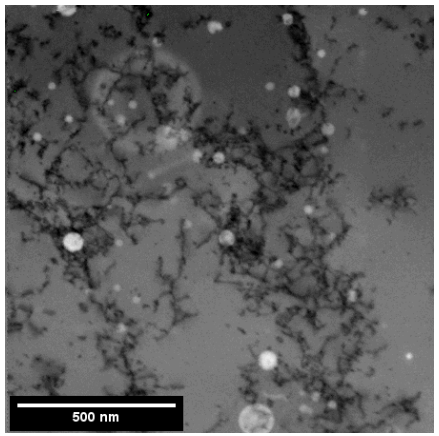
Particularités microstructurales de l’état brut

Acier Praxair

Grains colonnaires	Texture	Ségrégations chimiques	Cellules de dislocations	Nano oxydes
				

600° 1h : détensionnement

Diminution de la quantité de dislocations.

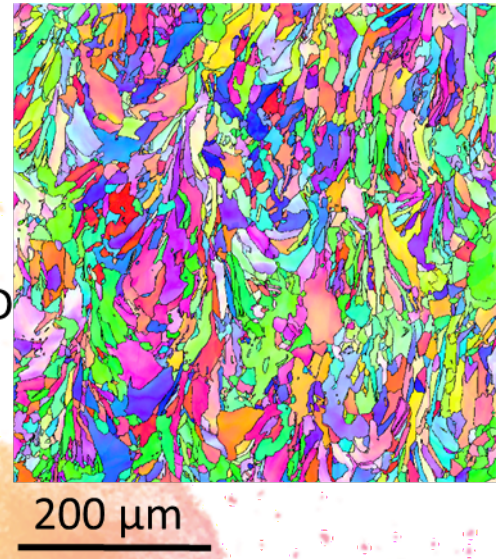
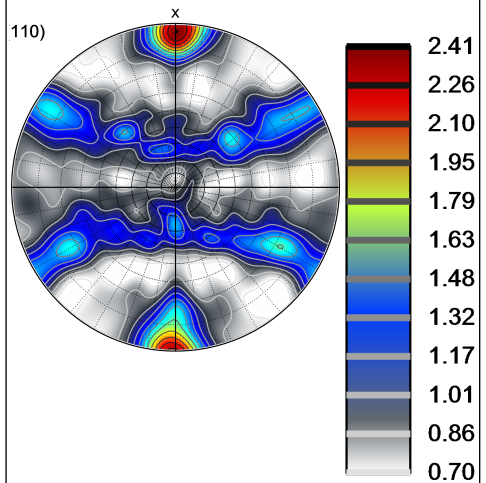
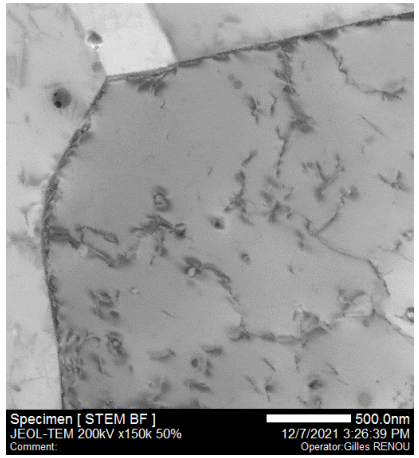
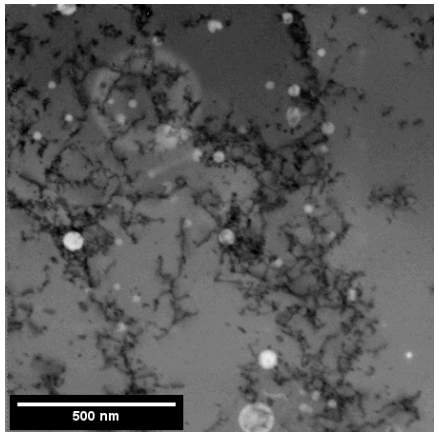
Grains colonnaires	Texture	Ségrégations chimiques	Cellules de dislocations	Nano oxydes
				

900° 1h : Homogénéisation

Cellules de dislocations plus visibles.

Légère coalescence des oxydes.

Homogénéité chimique

Grains colonnaires	Texture	Ségrégations chimiques	Cellules de dislocations	Nano oxydes
		Effacé		

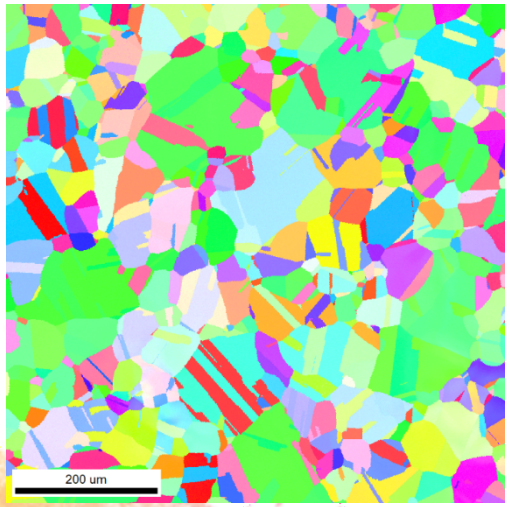
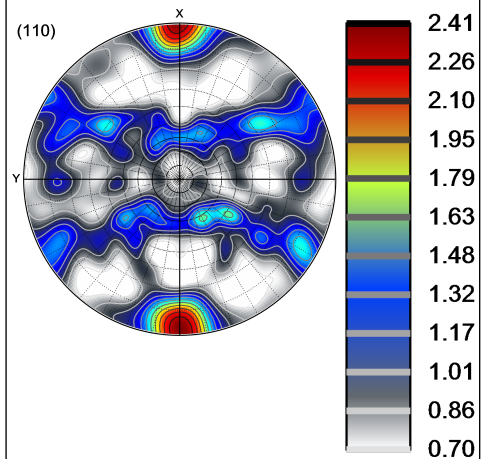
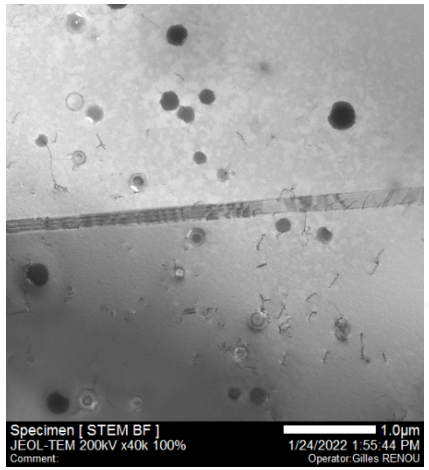
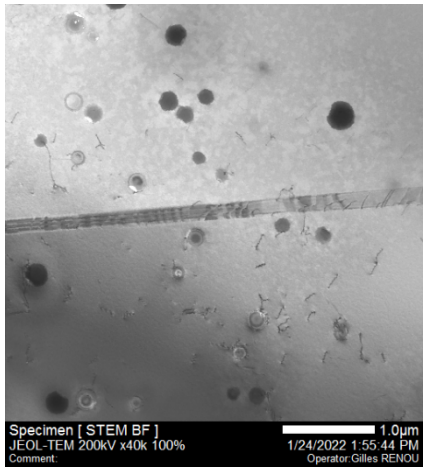
1200° 2h : recristallisation

Densité de dislocation très faible

Coalescence d'oxydes >100nm

Grains équiaxes

Conservation de la texture

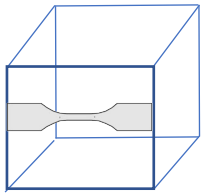
Grains colonnaires	Texture	Ségrégations chimiques	Cellules de dislocations	Nano oxydes
 D ~ 25 µm		Effacé		

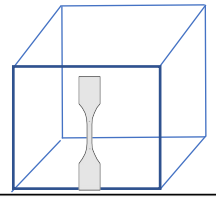
Sommaire

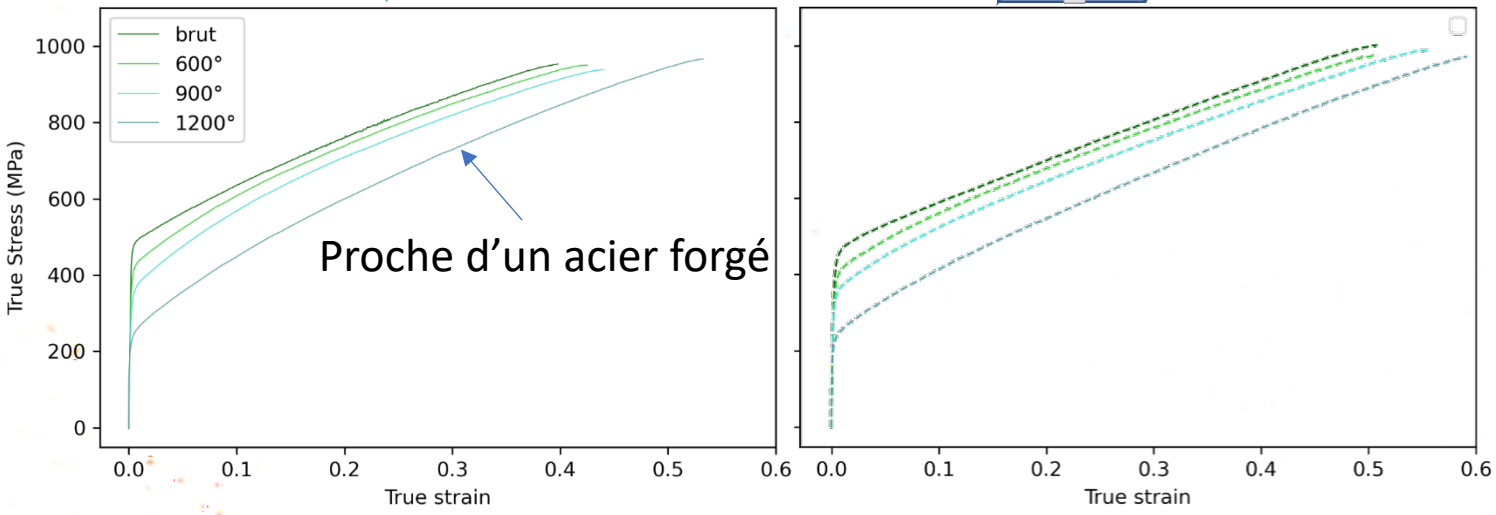
1. Caractérisation de la microstructure en fonction des traitements thermiques.
2. Impact des différents éléments de microstructure sur les propriétés mécaniques.
3. Ouverture : WAAM

Influence des traitements thermiques

Acier Praxair





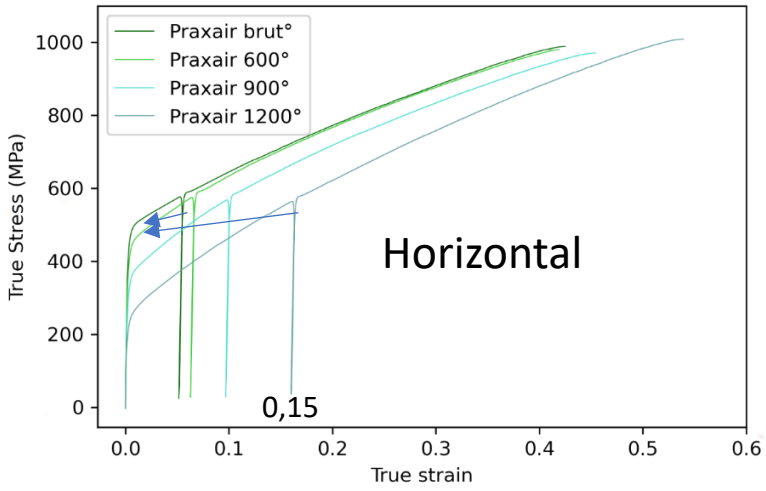


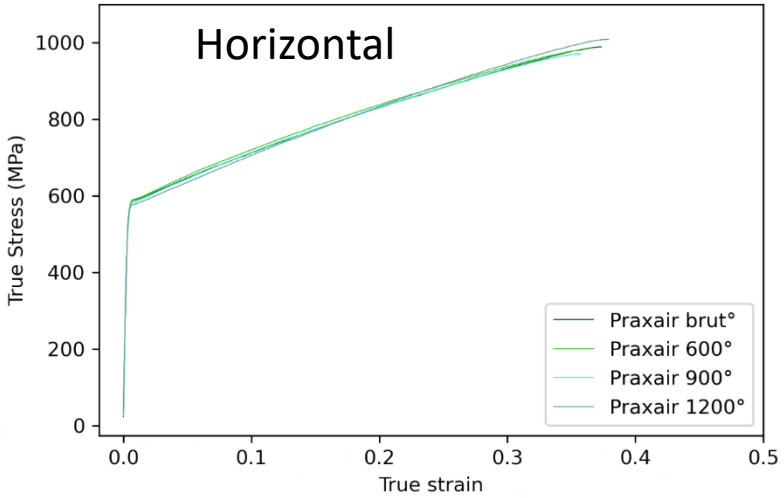
En se rapprochant de la microstructure d'un acier forgé-recristallisé, on diminue la limite d'élasticité et on augmente l'élongation uniforme.

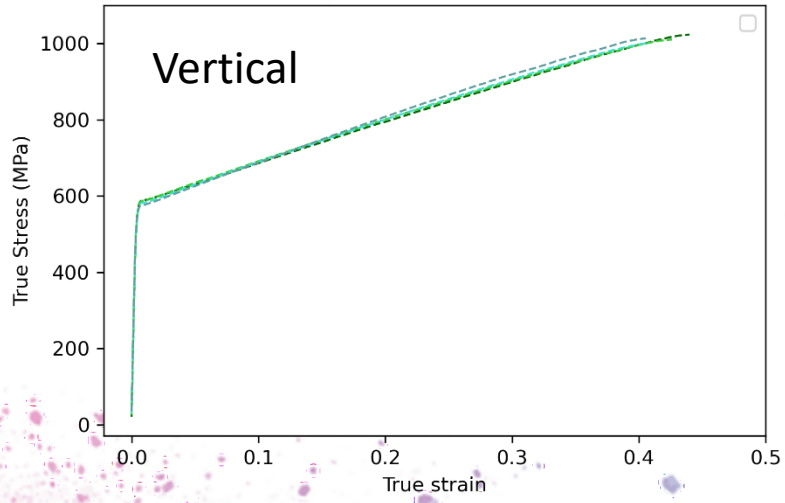
La forme des courbes semble dépendre uniquement de la direction de chargement.

Différence entre un acier forgé écroui et un acier L-PBF? → Ecrouissage de toutes les aciers à 600 MPa.

Propriétés mécaniques





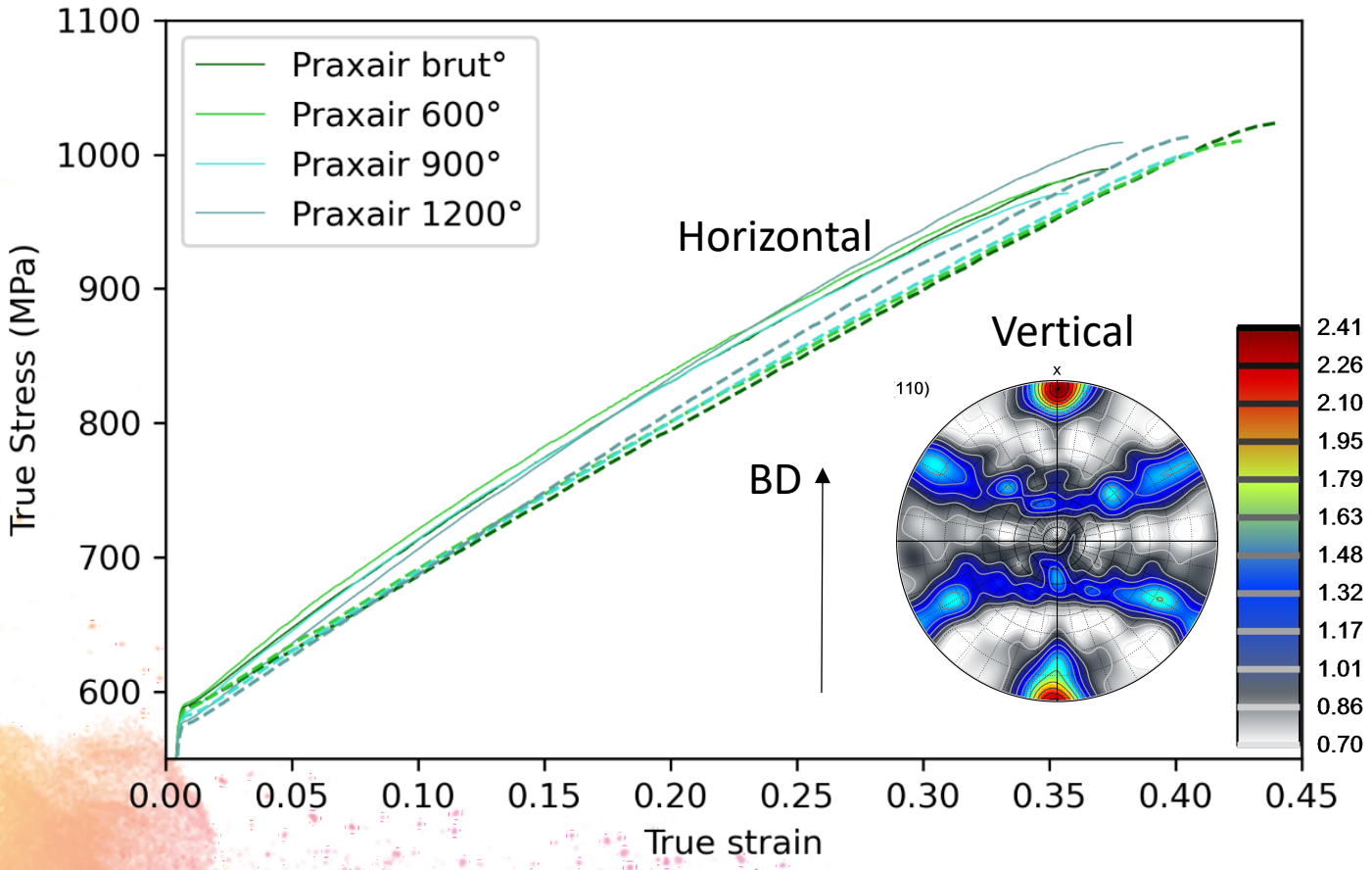


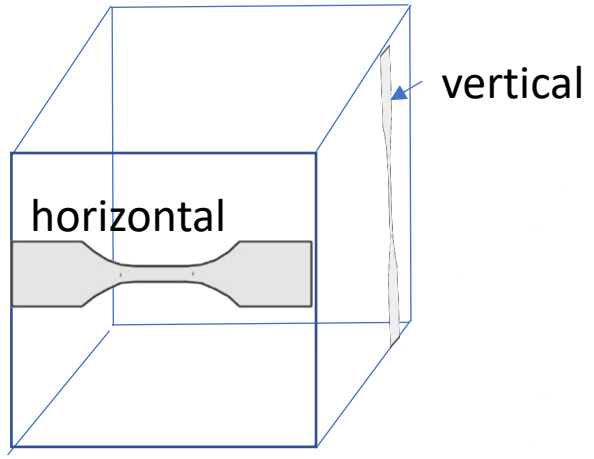
Superposition des courbes.

Les traitements thermiques nous font se déplacer sur une courbe.

L'écrouissage macro ne semble pas dépendre de la microstructure initiale.

Influence de la texture





La texture, même faible, semble avoir un impact au premier ordre sur l'écrouissage macro, par rapport à toutes les autres caractéristiques.

Conclusion sur la loi d’écrouissage

L’impact numéro 1 de l’écrouissage macro de notre acier 316L L-PBF, est la texture.

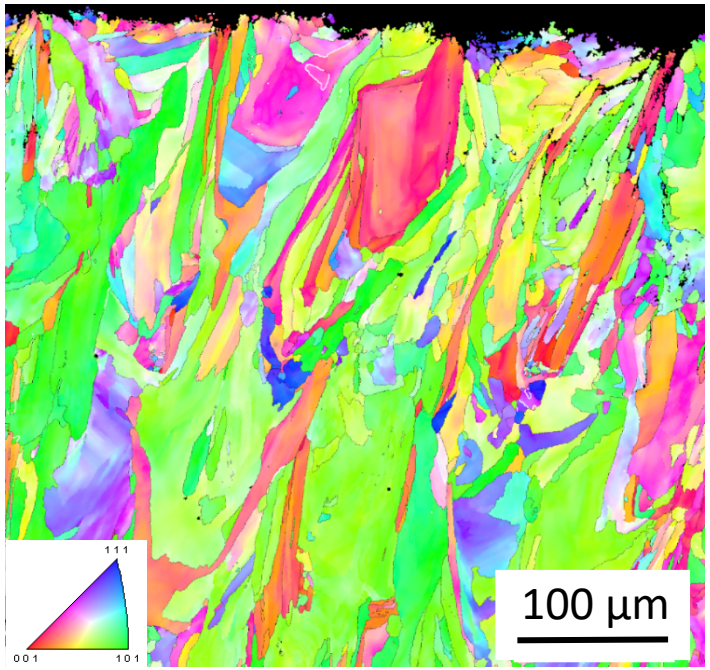
Les autres paramètres comme la forme et taille des grains, les dislocations organisées en cellules, ou les oxydes, semblent avoir un impact mineur.

➔ caractérisation microstructurale.

➔ Modèle d’écrouissage.

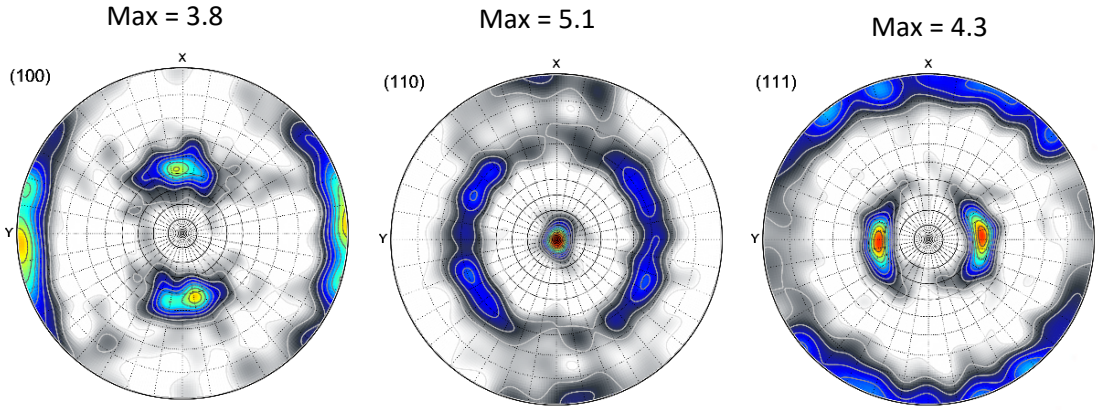
Deux microstructures différentes

SLM



BD

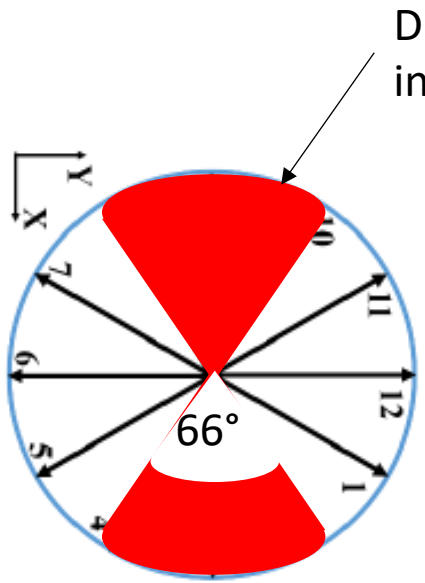
BD

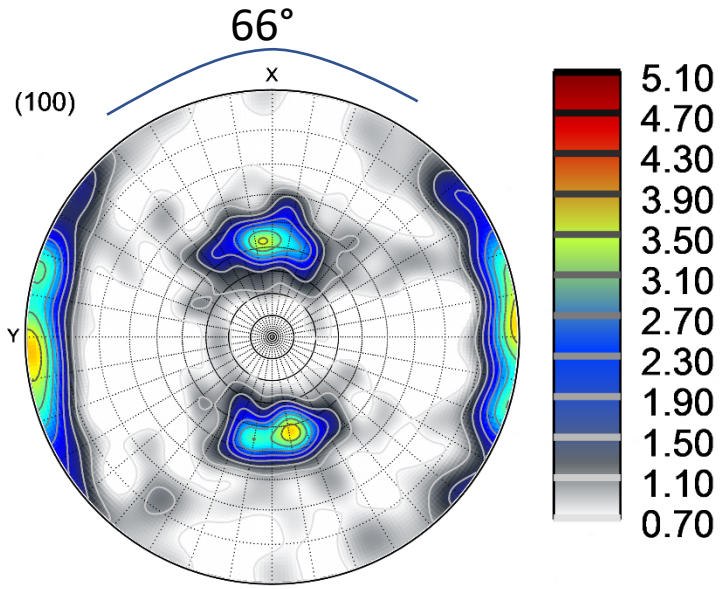


Texture plus prononcé.
Non équivalence entre la direction x et y du plan.

Le paramètre de limitation window

Plage interdite, il n'y a pas de cordon de lasage à +- 33° du flux d'argon. Si le calcul tombe dans la plage interdite , il refait une rotation à 67°.



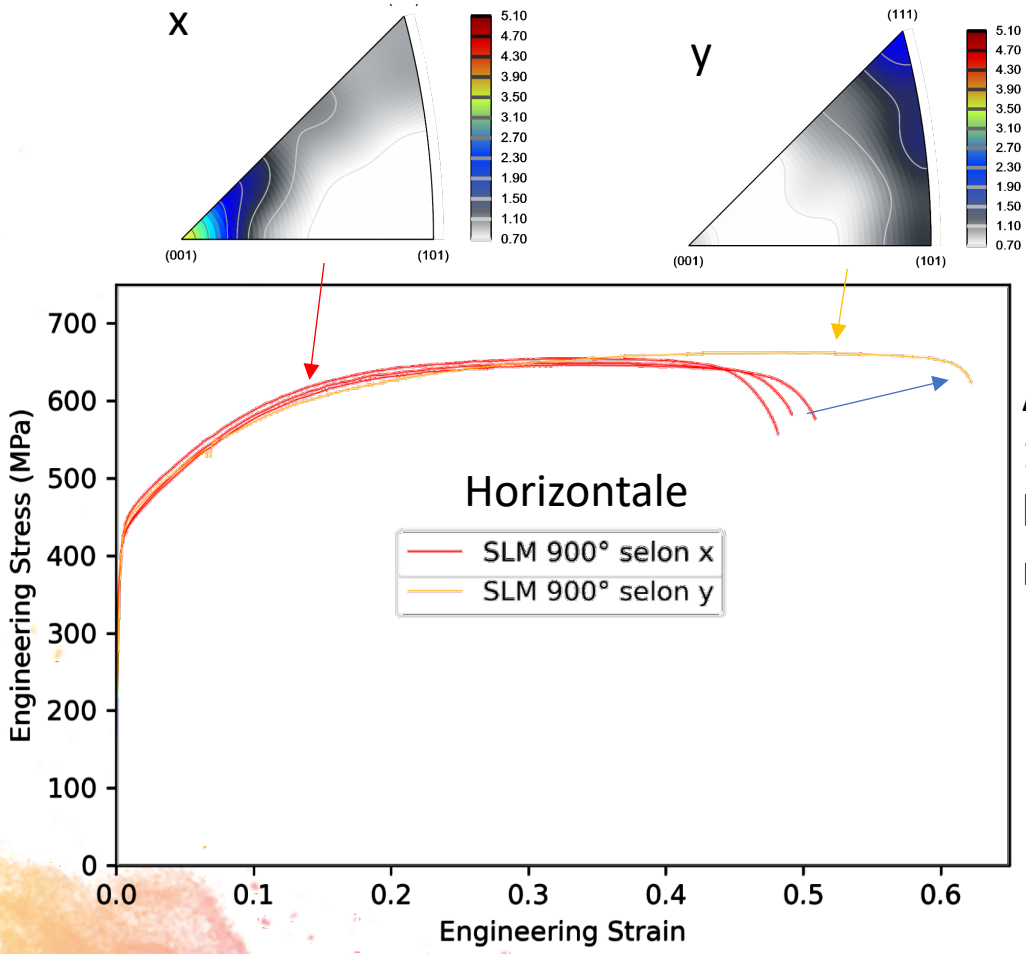


Direction <100> préférentielle dans la direction de scan.

Le paramètre 'limitation window' induit une texture. Déjà montré dans la thèse d'Olivier Andreau.

Impact important?

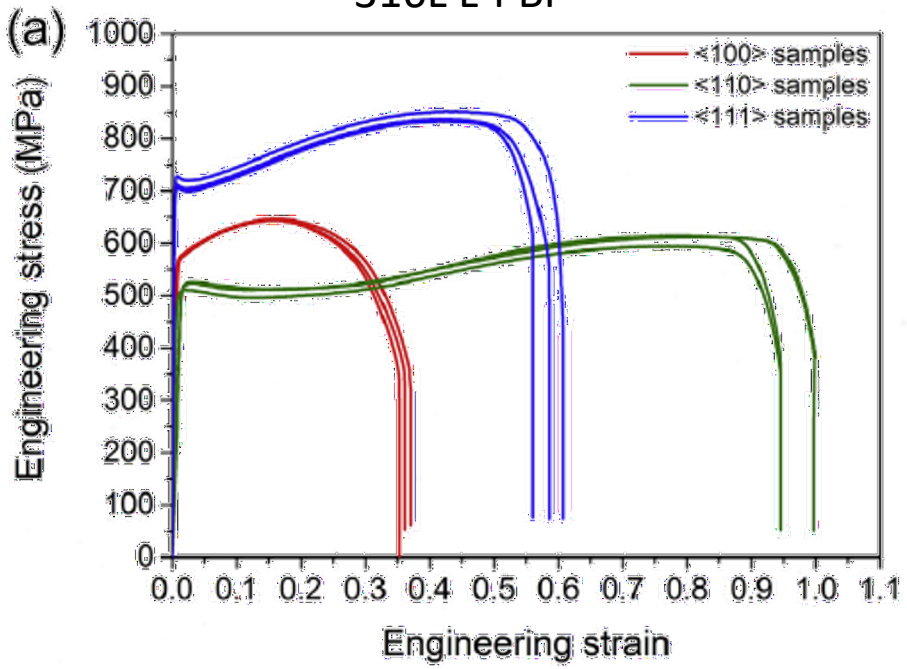
Impact sur les propriétés mécaniques du paramètre procédé ‘limitation window’.



Augmentation de 10% de l’allongement à rupture.

Cohérent avec le PhD de X.Wang.
La texture <110> donne les meilleurs résultats de traction et <100> les pires.

316L L-PBF

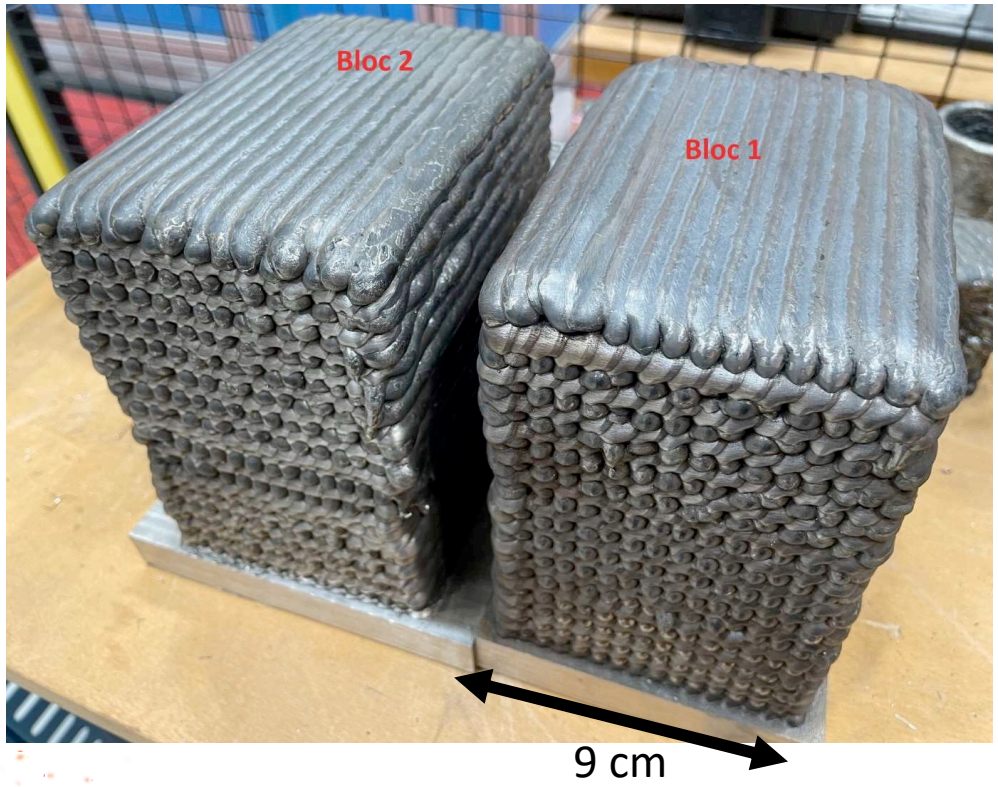


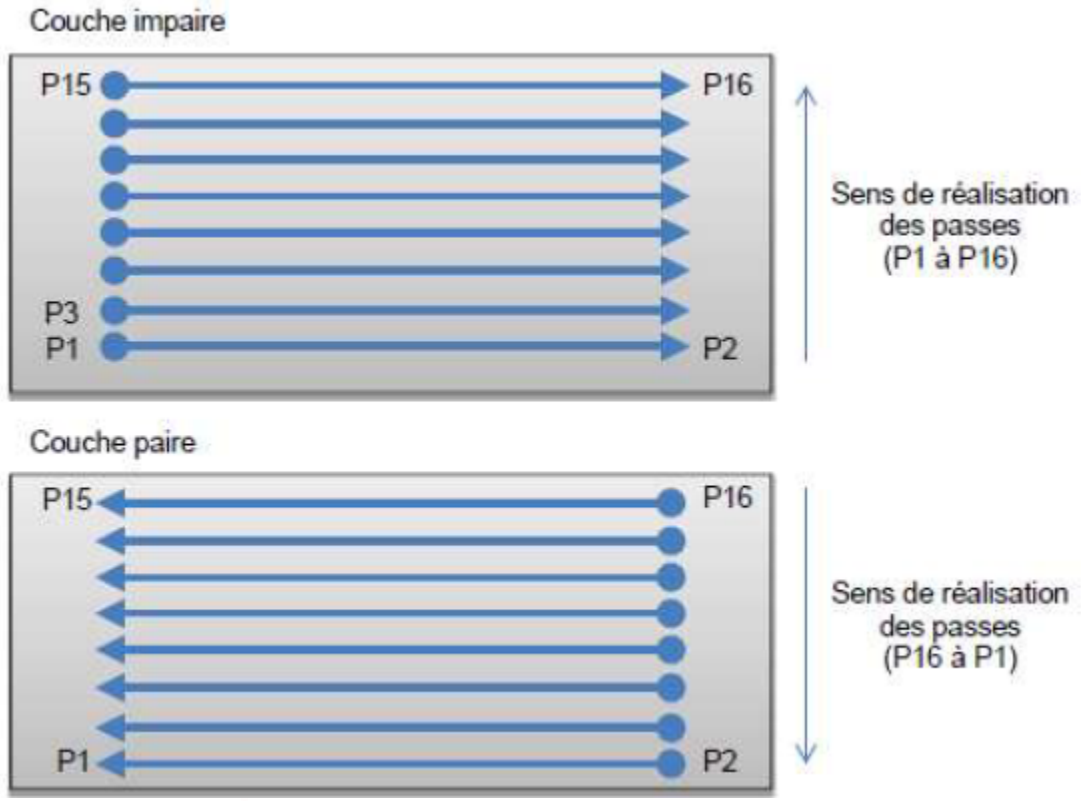
Limitation window semble avoir un impact non négligeable sur l’allongement à rupture.

Sommaire

1. Caractérisation de la microstructure en fonction des traitements thermiques.
2. Impact des différents éléments de microstructure sur les propriétés mécaniques.
3. Ouverture : WAAM

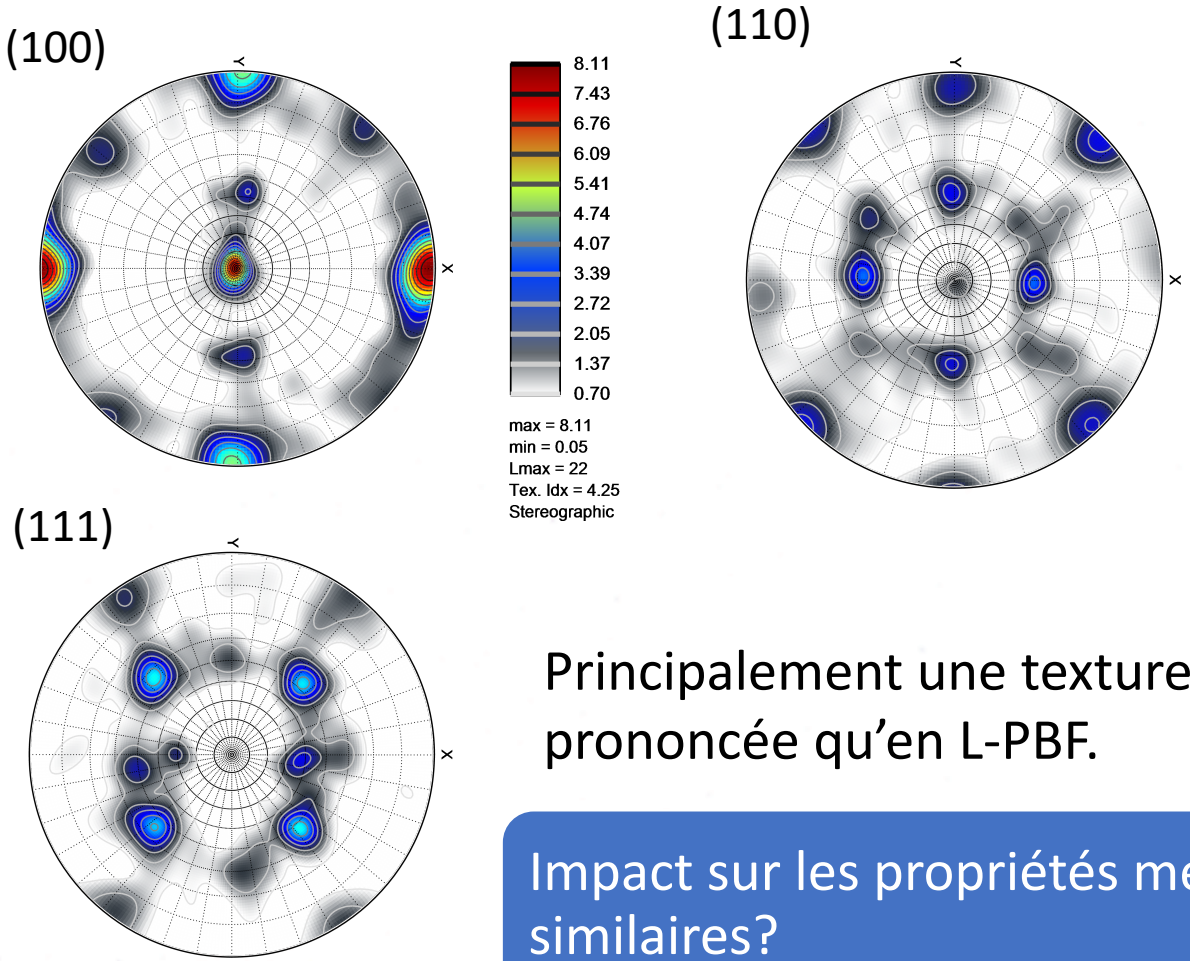
Ouverture WAAM





Ouverture : WAAM





Principalement une texture cube, plus prononcée qu'en L-PBF.

Impact sur les propriétés mécaniques similaires?

Merci pour votre attention

Est-ce que vous avez des questions?

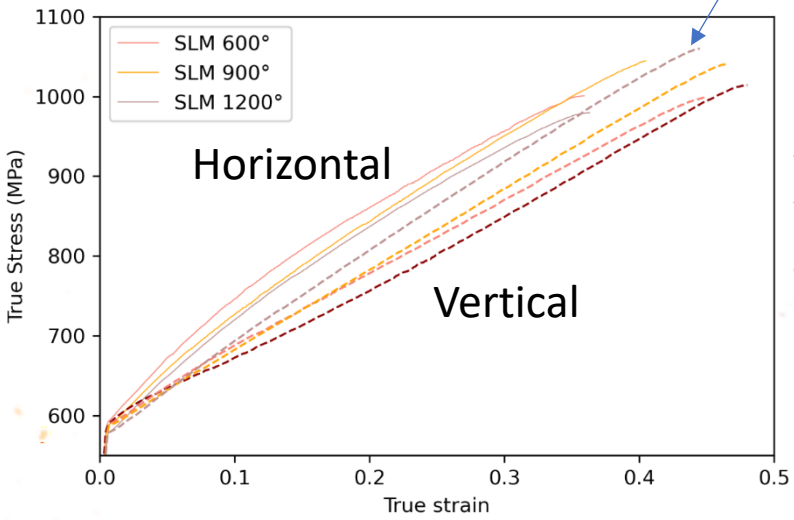
Thanks to
Edouard de Sonis, Sylvain Depinoy, Anne-Françoise Gourgues,

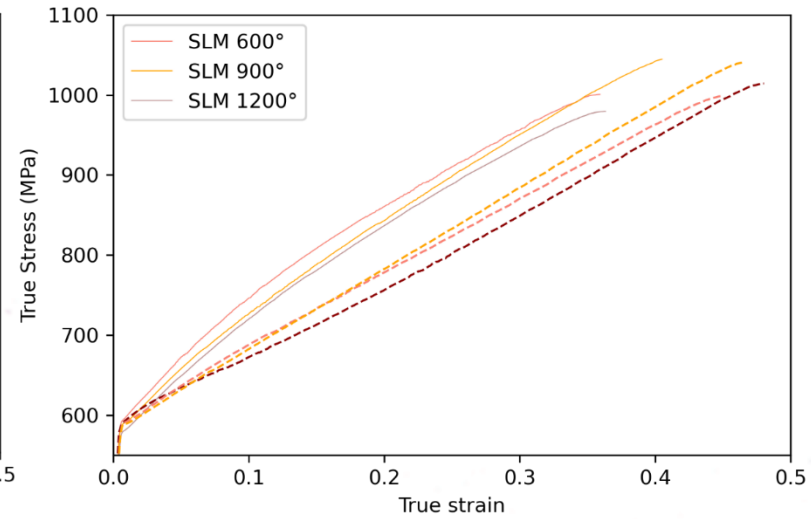
And Pierre-François Giroux, Laurent Chaffron, Hicham Maskrot

For the scientific discussions and the supply of the L-PBF samples

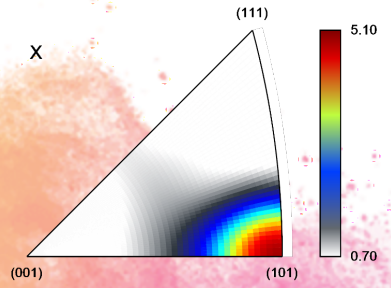
Application à l'acier SLM

Modification de la texture après recristallisation.

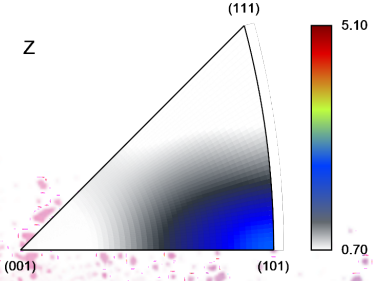




Brut vertical



Brut recristallisé



La superposition des courbes est moins parfaite pour l'acier SLM que pour l'acier Praxair.

Cependant on voit que le facteur numéro 1 sur l'écrouissage macro reste la texture.