3D

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

Fabrication Additive Métal :

Le procédé de micro-fusion laser sur lit de poudre.

généralités et cas d'application

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne - Site UTBM
ICB UMR 6303 CNRS / Univ. Bourgogne Franche Comté (UBFC)

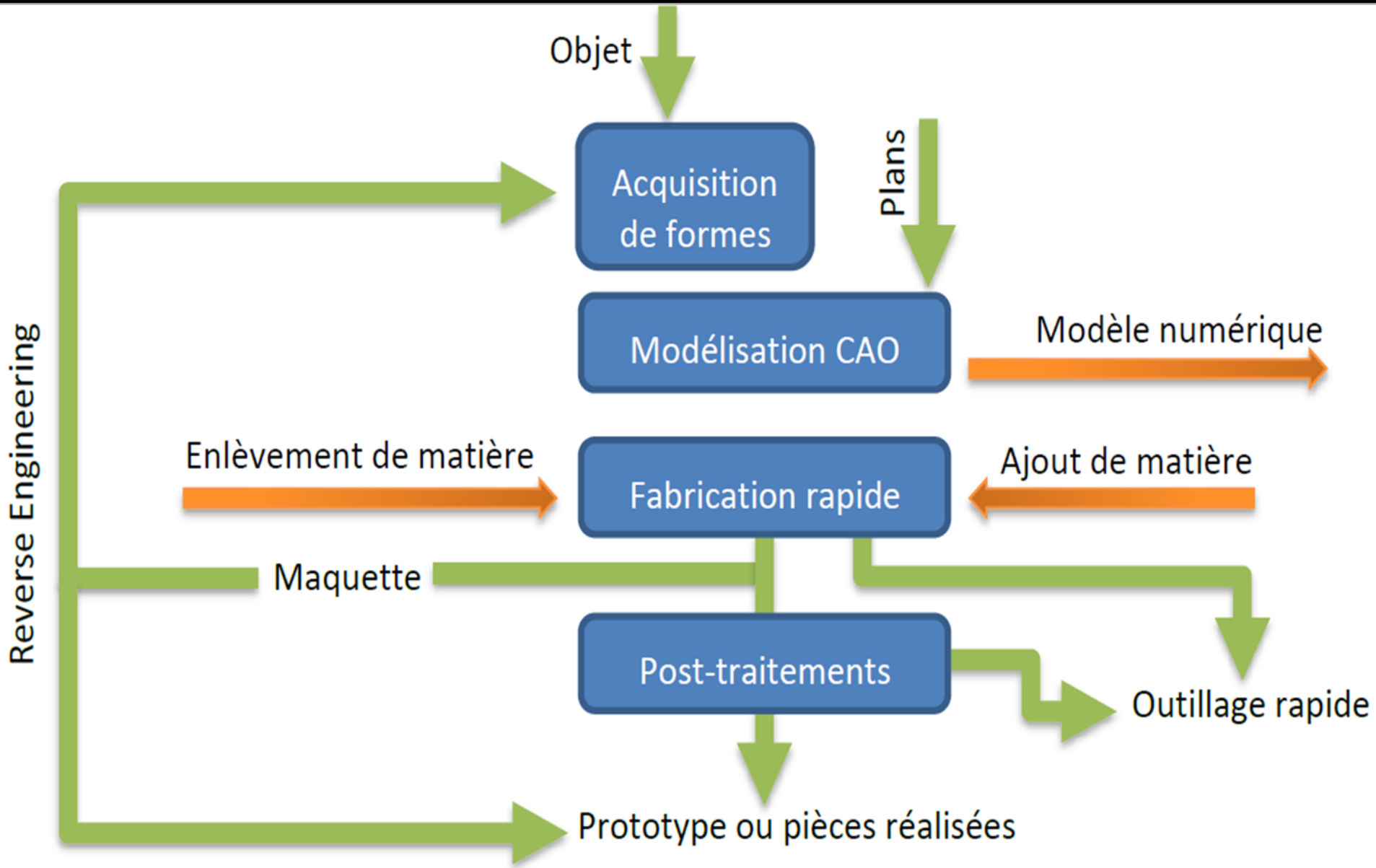
Sommaire

- Réalisation d'études en fabrication additive.
  - » Le procédé utilisé à ICB-LERMPS.
    - les paramètres importants.
    - Des microstructures non conventionnelles.
  - » Influence du sens de construction : AlSi10Mg
  - » Conclusions
- Rapide présentation de la structure de recherche

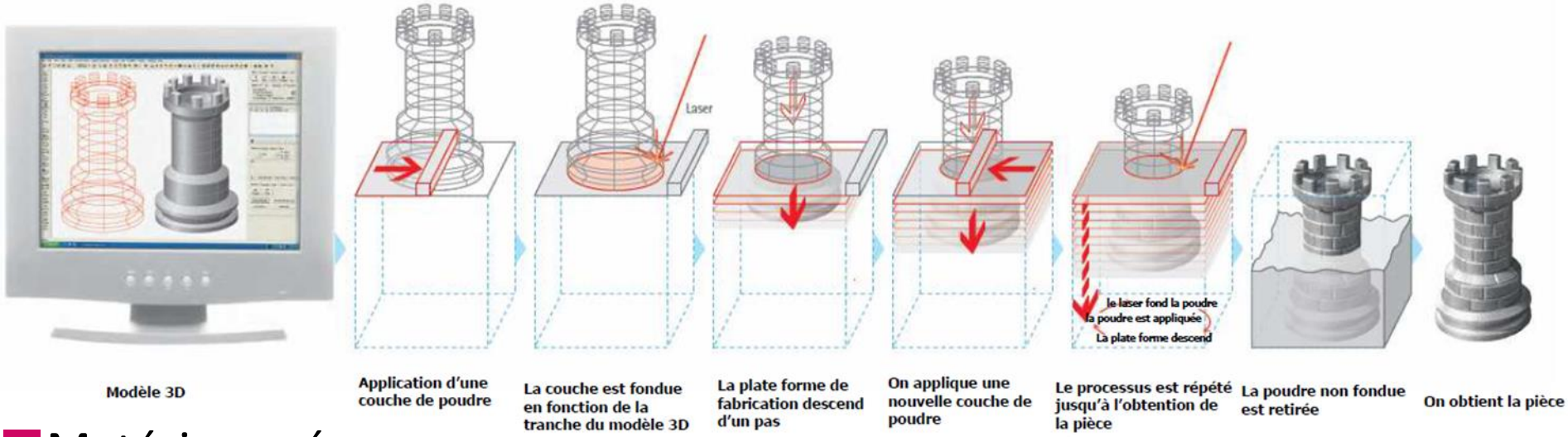
Une définition

- Norme NF E 67-001
- Fabrication ADDITIVE : « Ensemble des procédés permettant de fabriquer, couche par couche, par ajout de matière, un objet physique à partir d'un objet numérique ».

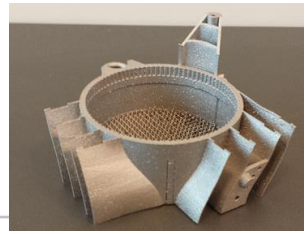
Un certain synoptique à adopter



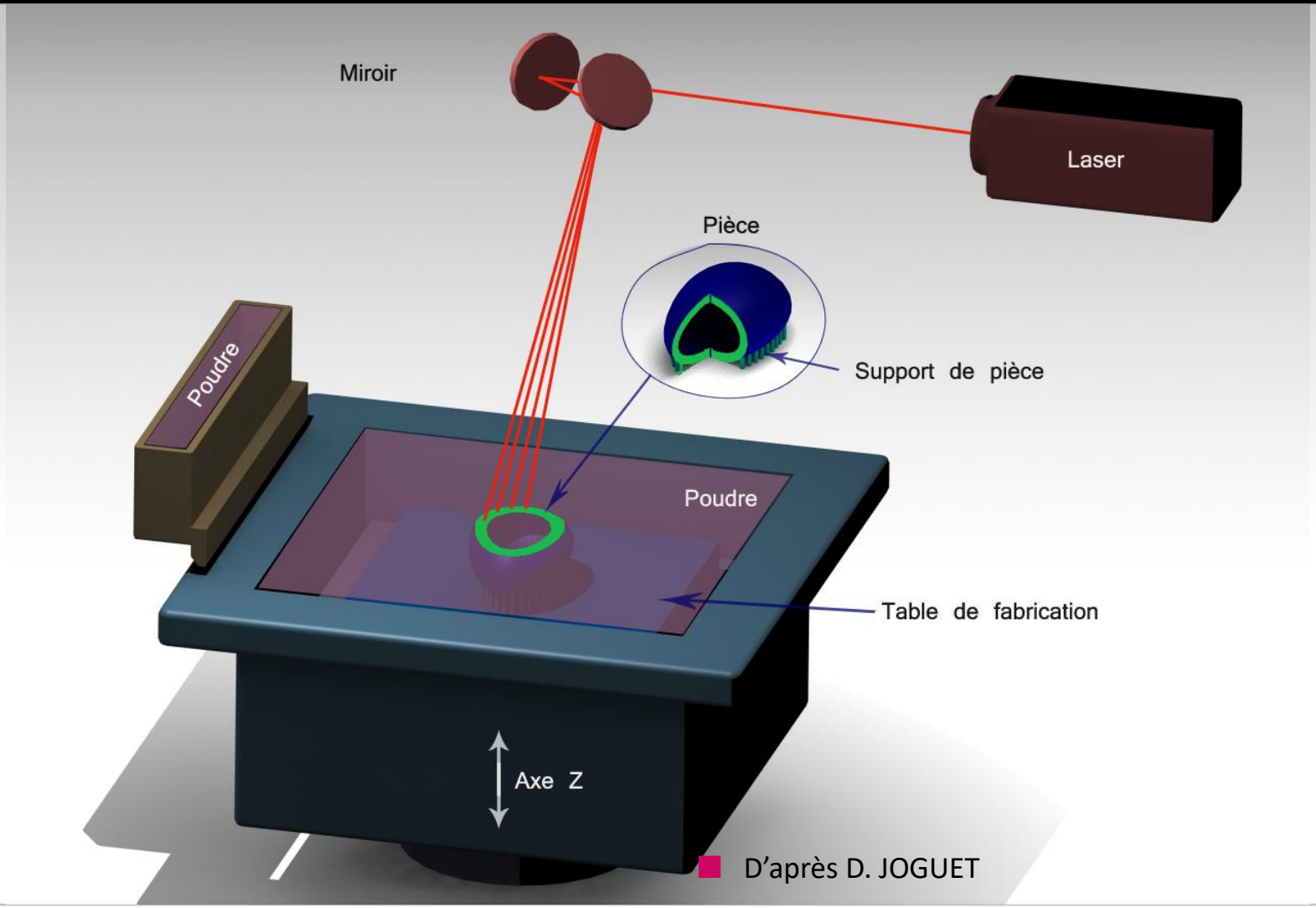
Principe de la FA



- Matériau précurseur sous forme de poudre métallique
- Dvt de nvx matériaux
- Chaine de valeur
- Maîtrise complète



Le procédé

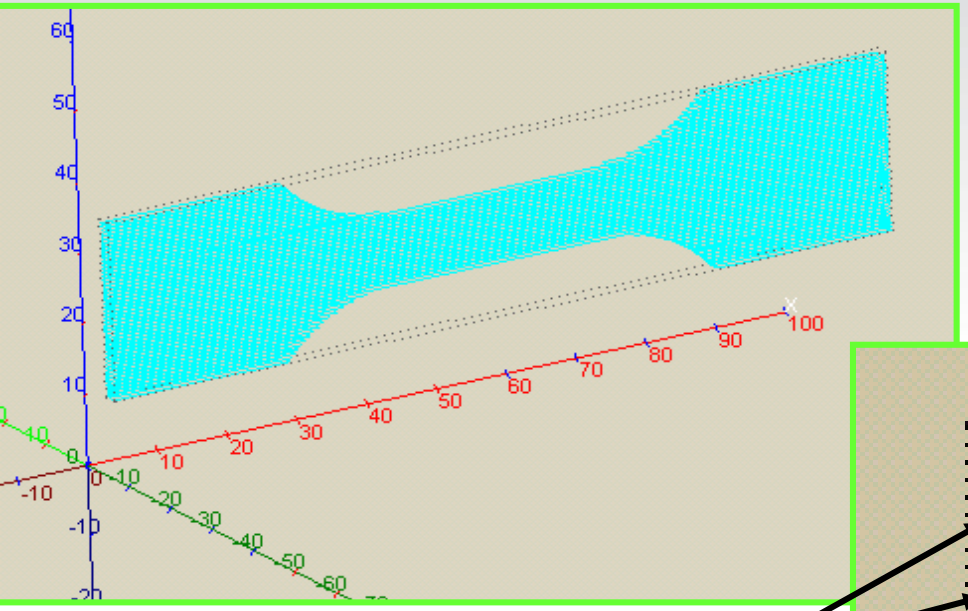


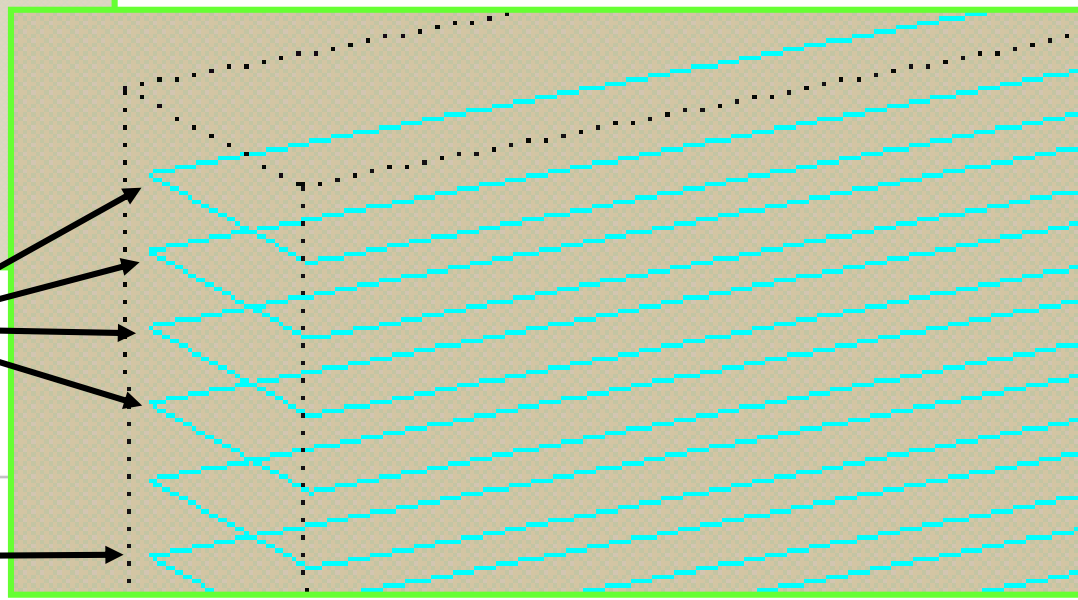
- D'après D. JOGUET

Le procédé

Découpage (slicing) en tranche (layer) avec une épaisseur définie (20-150 µm)

Maquette CAO « stl »



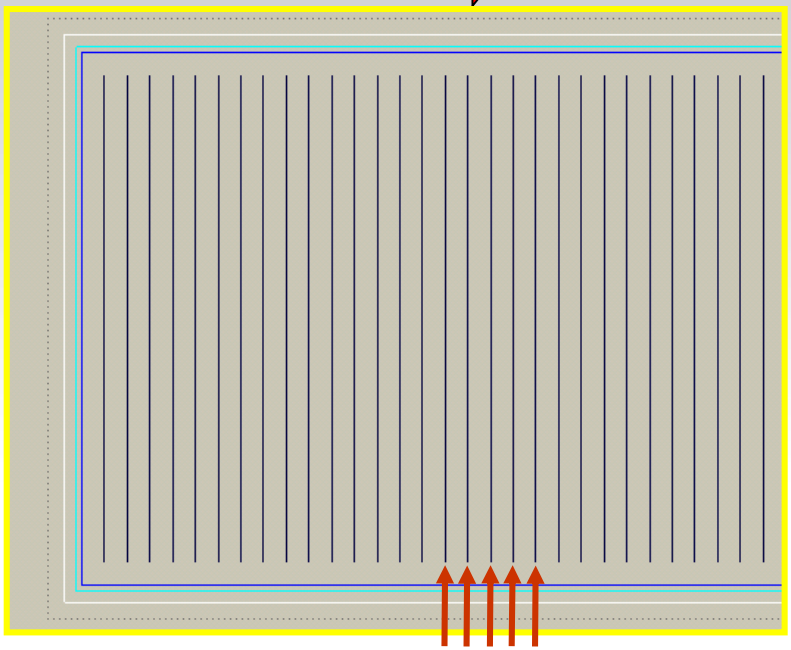


Couches

Contour de la pièce

Le procédé

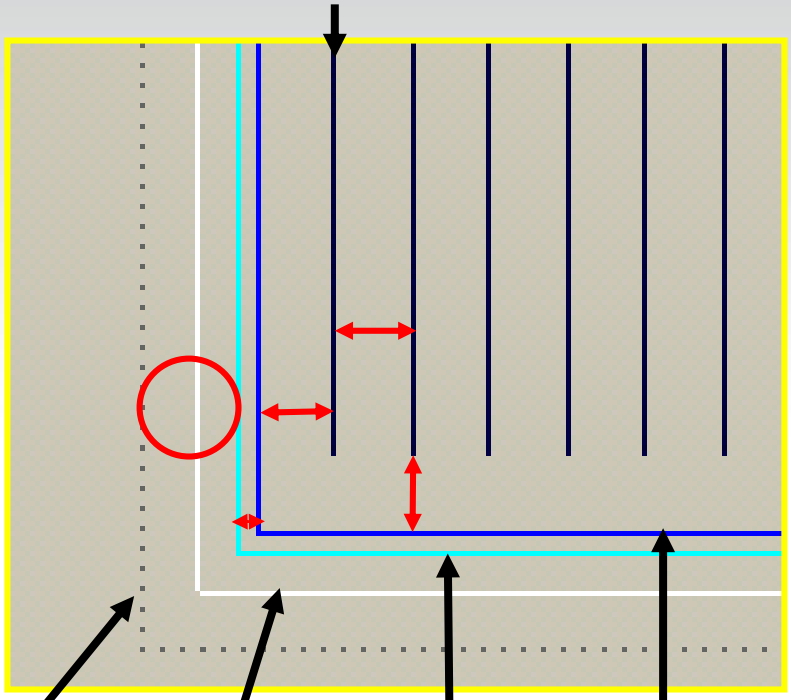
Etape d'hachurage : stratégie d'élaboration



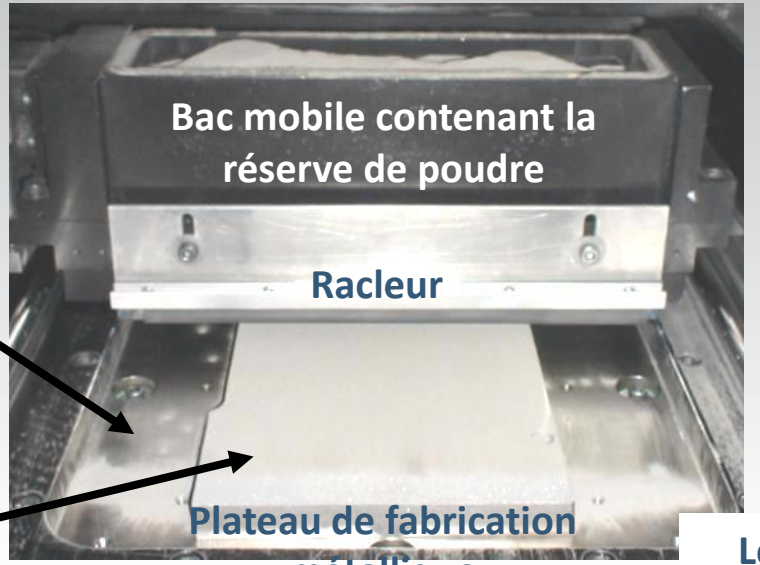
Chaque ligne = Passage du faisceau laser

Beaucoup de paramètres à contrôler :

- Vitesse de balayage
- Puissance laser
- Limite dimensionnelle
- ...



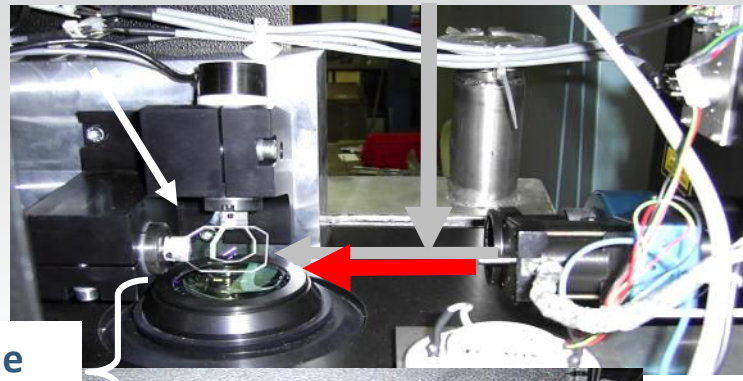
Le procédé



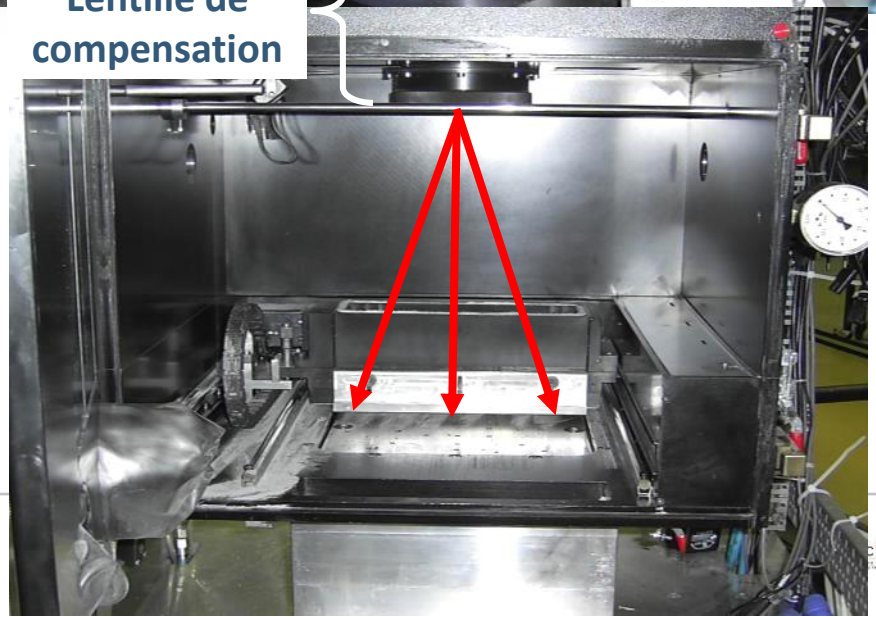
Plateau de la machine sur lequel se fixe le plateau de fabrication

Lit de poudre

Entrée du Faisceau laser

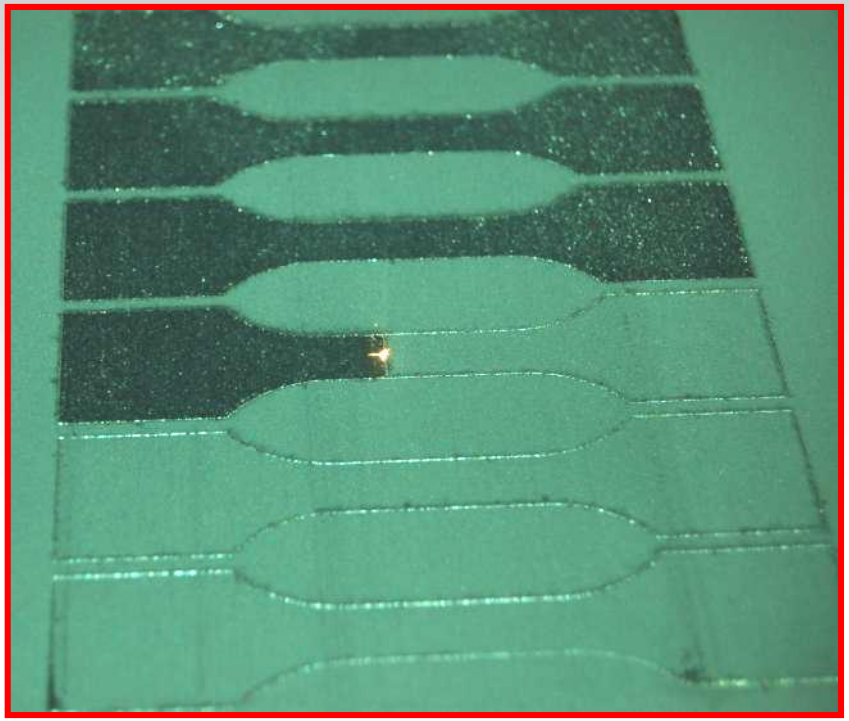


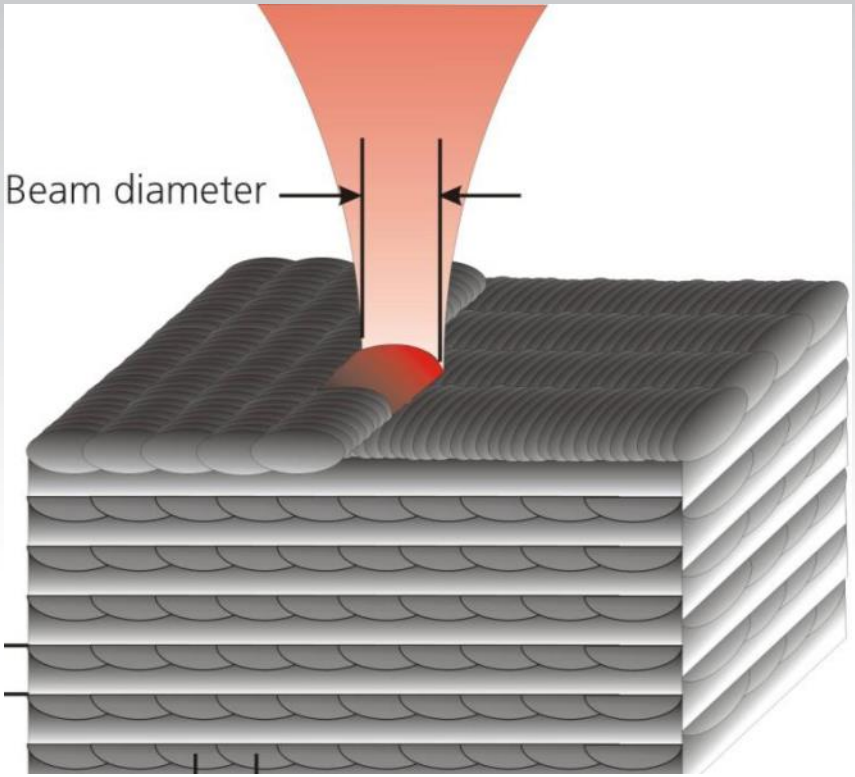
Lentille de compensation



Le procédé

Fabrication





Passage du laser sur le lit de poudre = fusion+solidification

Matière solide re-créée

..\..\UV-Cours\FILMS\FA\Laser sintering_100s_cbr.wmv

Le procédé

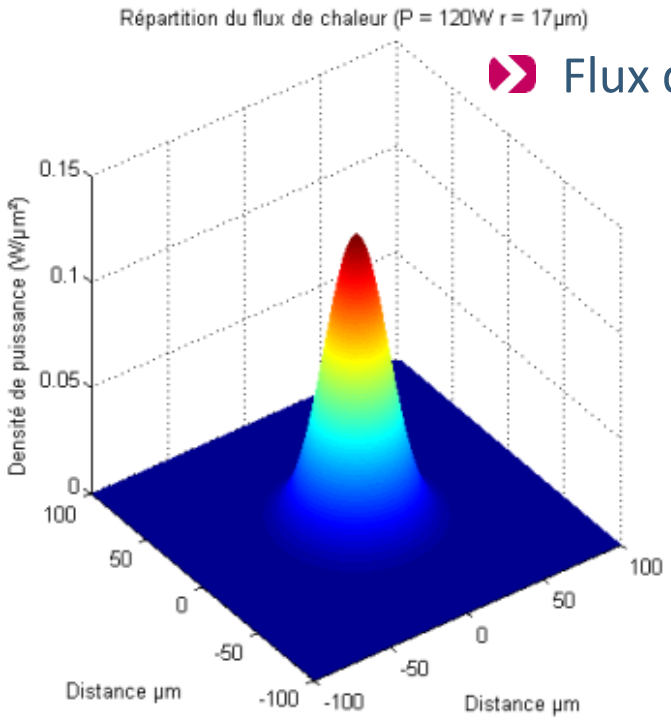
Puissance laser

- Thèse D. Joguet

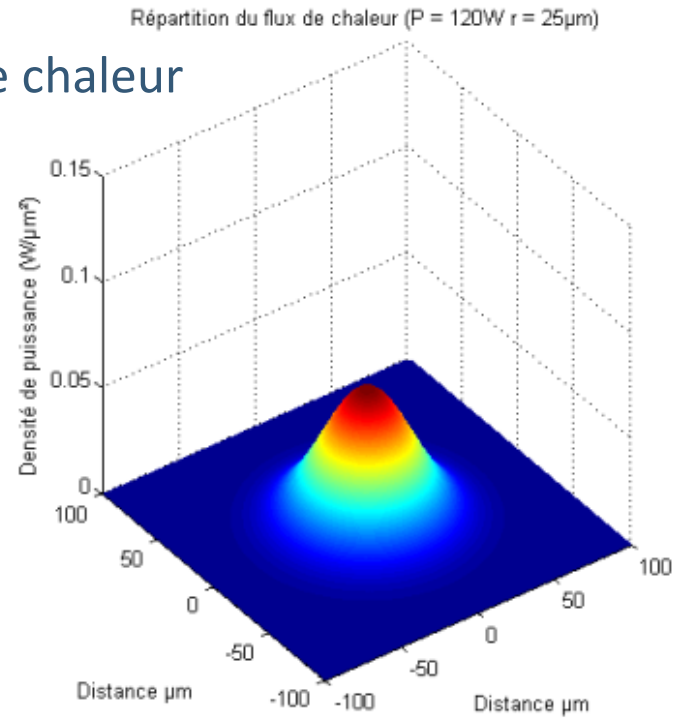
- Densité surfacique de puissance
  - P : puissance laser
  - r : rayon du spot

$$D_{Surfacique} = \frac{P_{Laser}}{\pi \times r^2}$$

Flux de chaleur



P = 120W, r = 17 µm

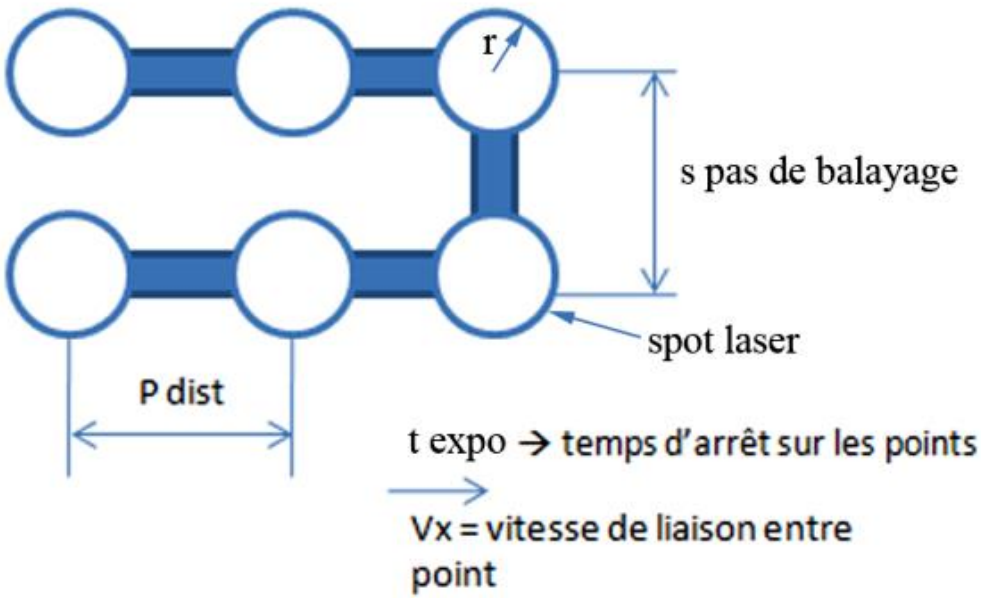


P = 120W, r = 25 µm

Le procédé

Paramètres

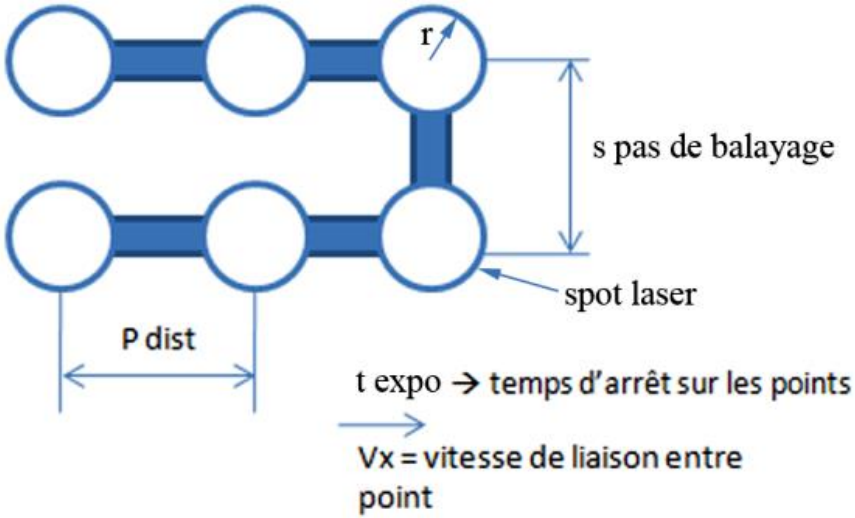
- » **Puissance laser (W) : P**
- » **Diamètre spot (µm) : D**
- » **Pas de balayage (mm) : s**
- » **Distance entre points : P_{dist} (µm)**
- » **Temps d'exposition : T_{expo} (µs)**



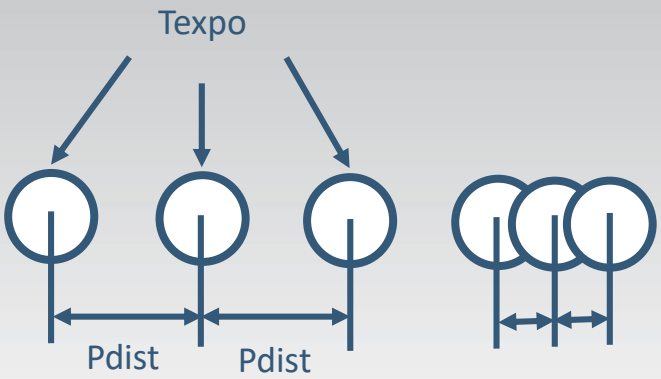
Le procédé

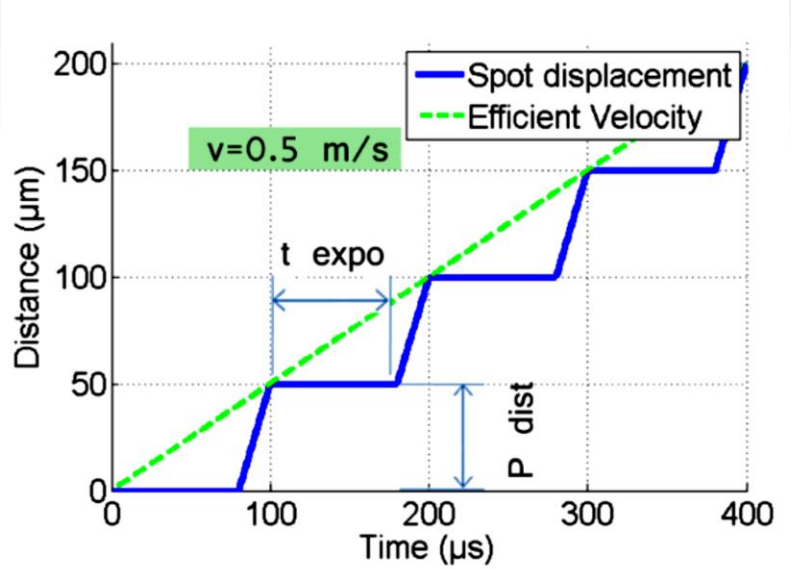
Caractérisation du procédé

- Distance entre points (P_{dist})
- Temps exposition (T_{expo})



$$V_x = \frac{P_{Dist}}{T_{Expo} + \frac{P_{Dist}}{V_{moteur}}}$$

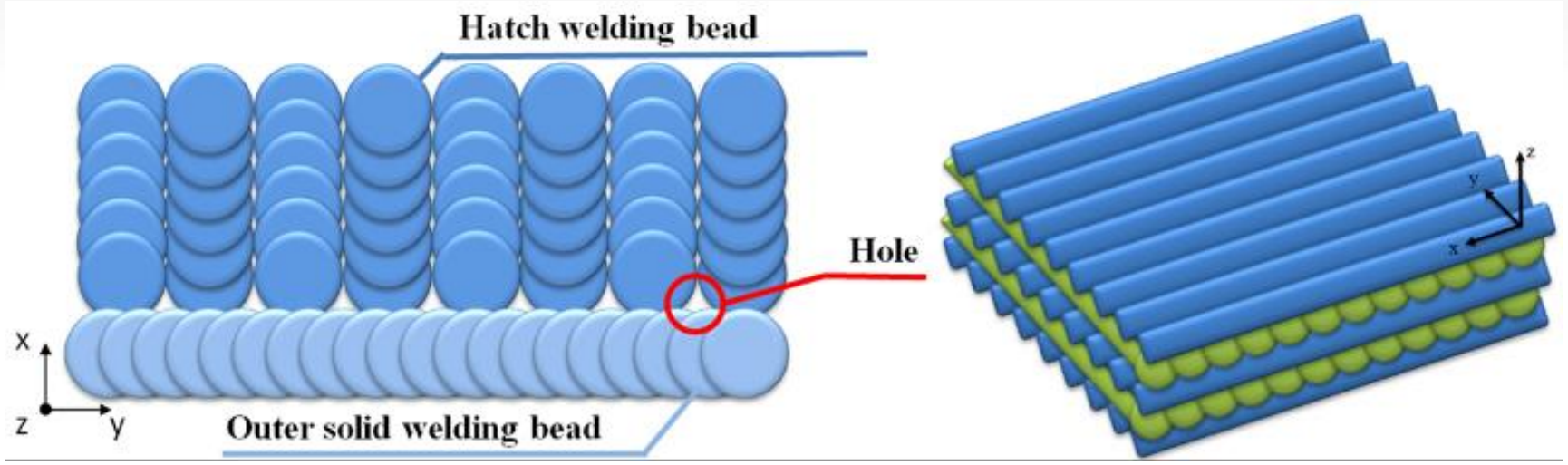




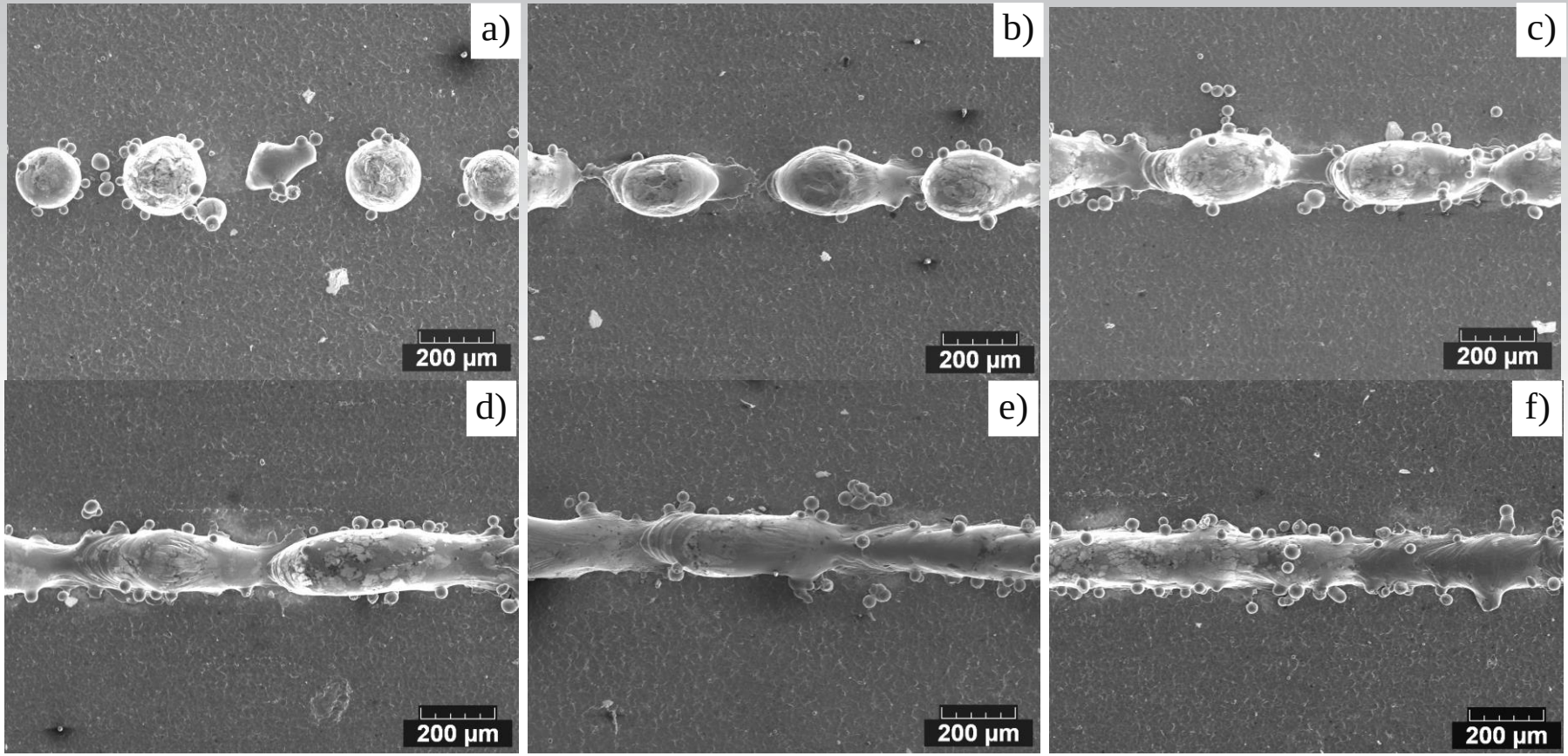
Le procédé

Pdist et Texpo

- » Distance entre points (Pdist) : distance entre deux points du laser
- » Temps exposition (Texpo) : temps où le laser reste à un endroit
- » Vitesse de déplacement du spot : Vx



Importance des paramètres : inconel 718

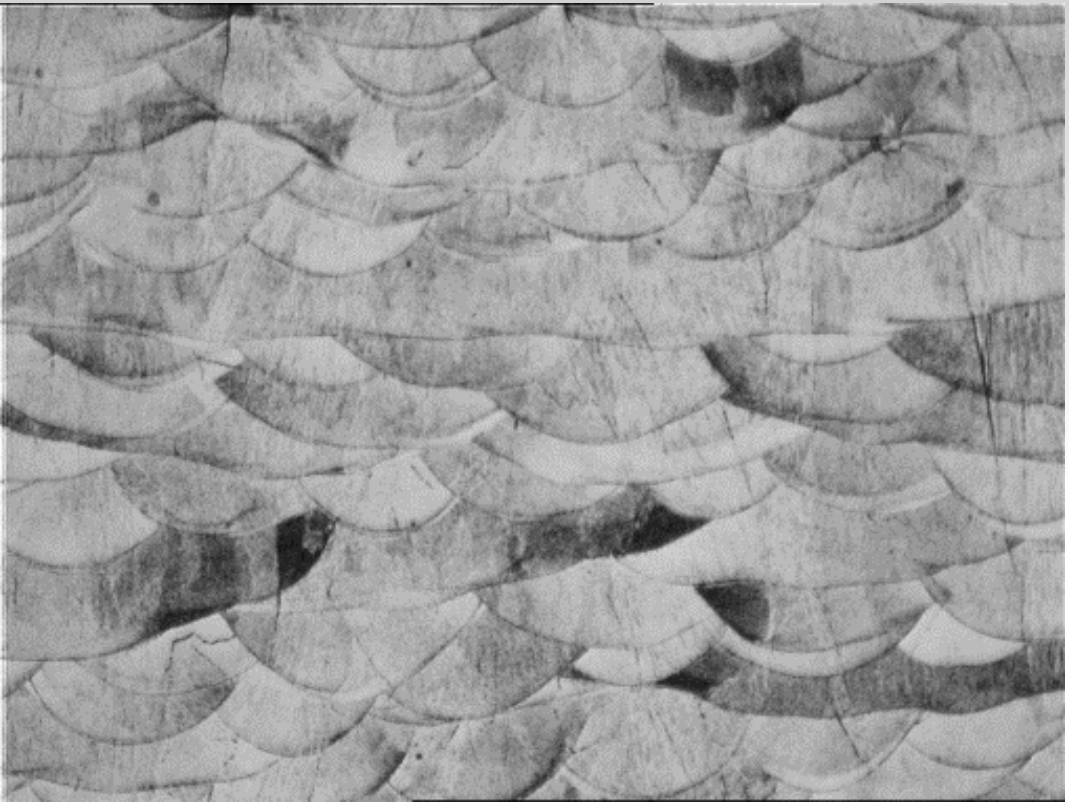


- **Diminution progressive de la vitesse**

a) 0,7 m.s^{-1}, b) 0,47 m.s^{-1}, c) 0,35 m.s^{-1}, d) 0,28 m.s^{-1}, e) 0,23 m.s^{-1}, f) 0,2 m.s^{-1}

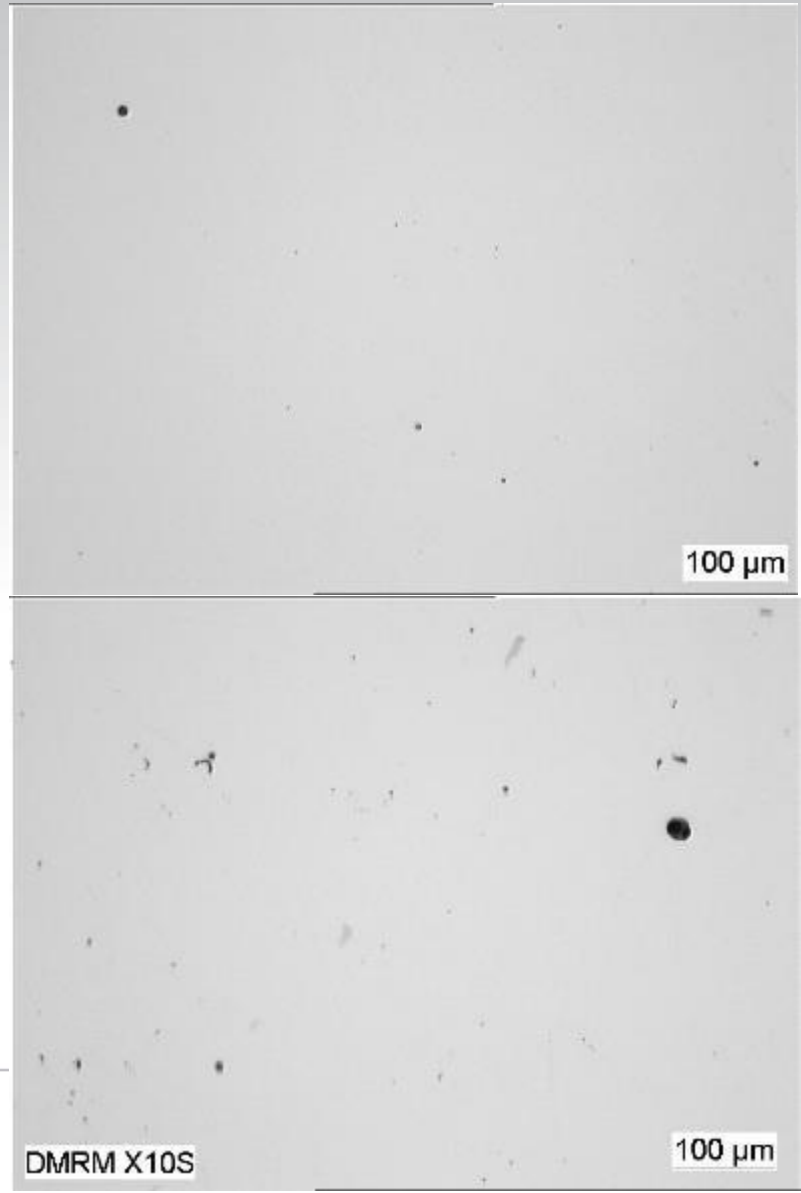
Une microstructure atypique : Acier inox 316L

Alliage brut



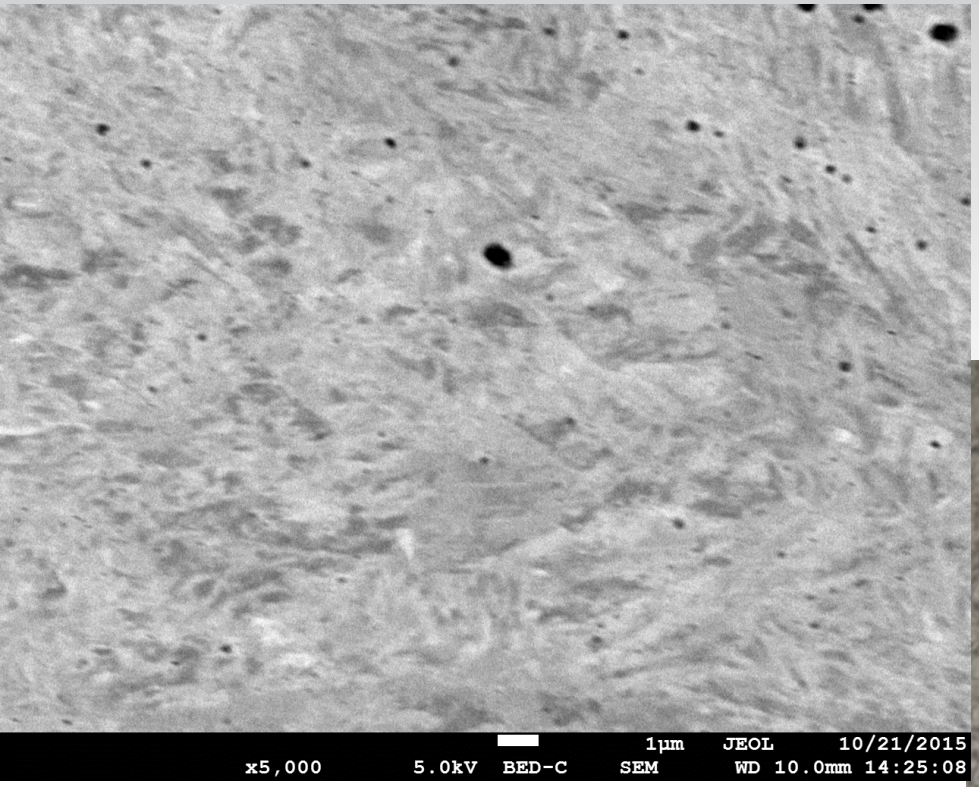
Acier Inox X2CrNiMo17-13

Source BV PROTO



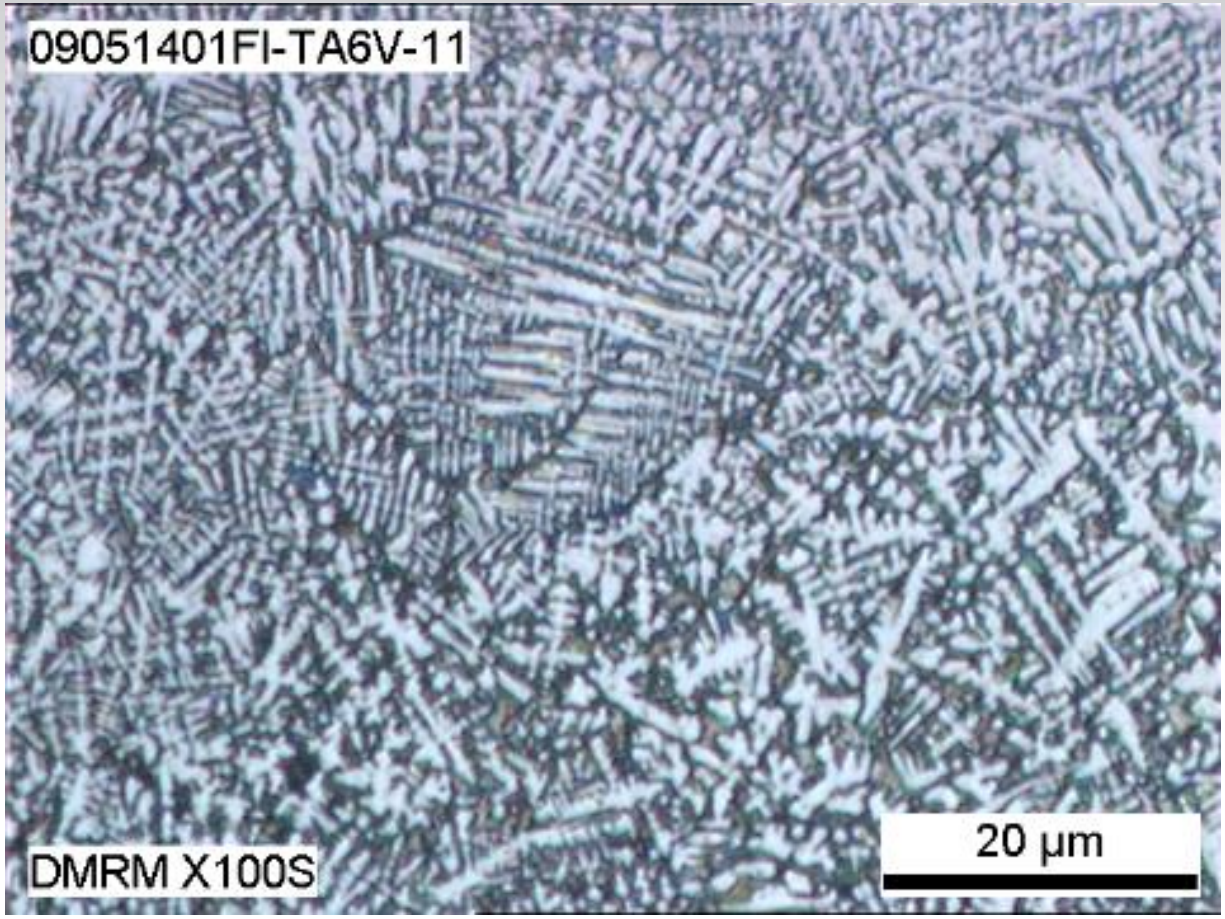
Une microstructure atypique : H13 : X40CrMoV5-1

- Acier auto-trempant



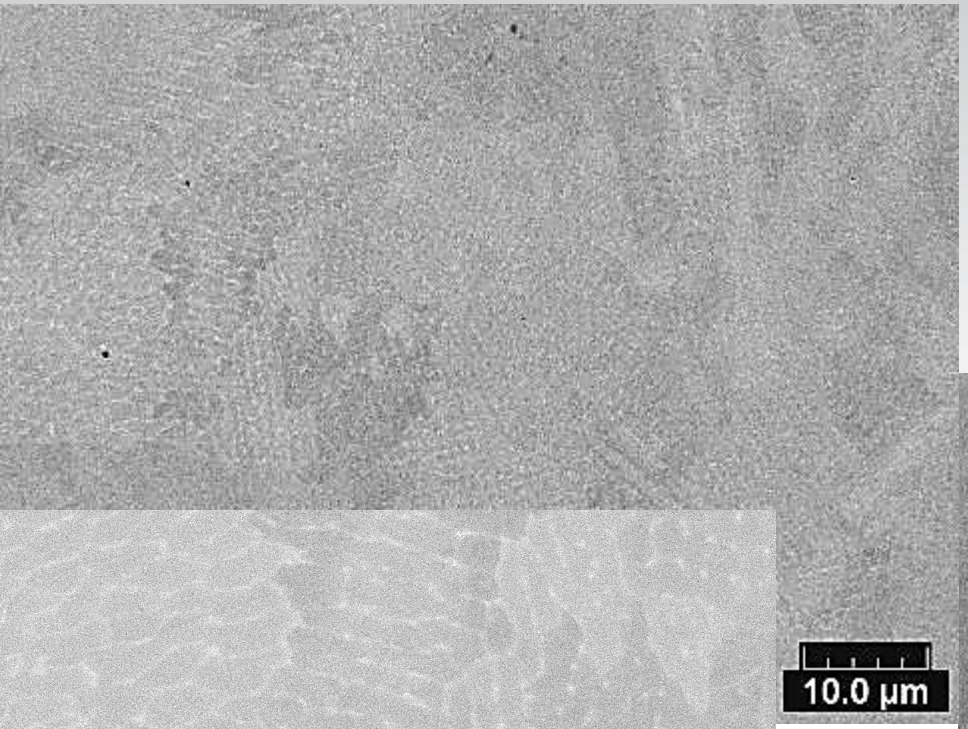
Une microstructure atypique : TA6V

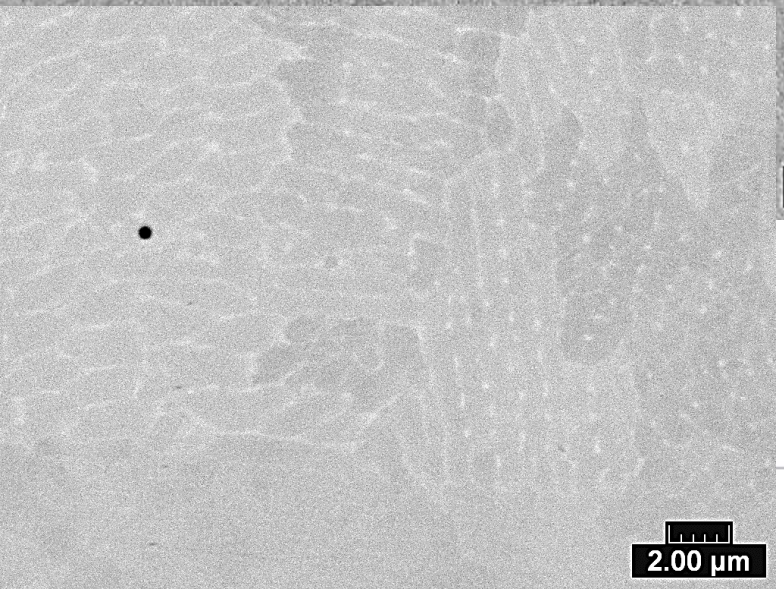
- Alliage brute de fabrication

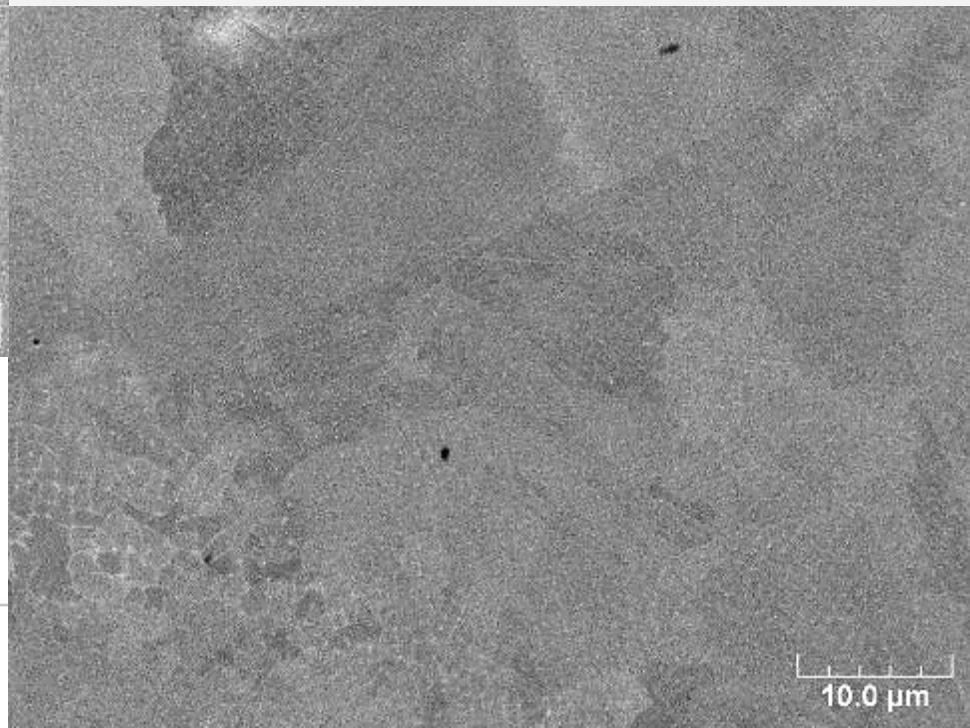


Une microstructure atypique : Inconel 718

- Microstructure brute sans traitement thermique





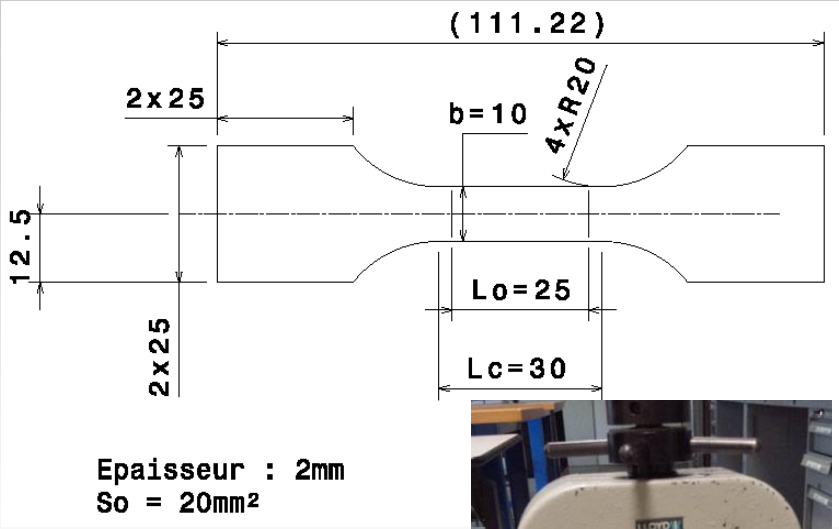


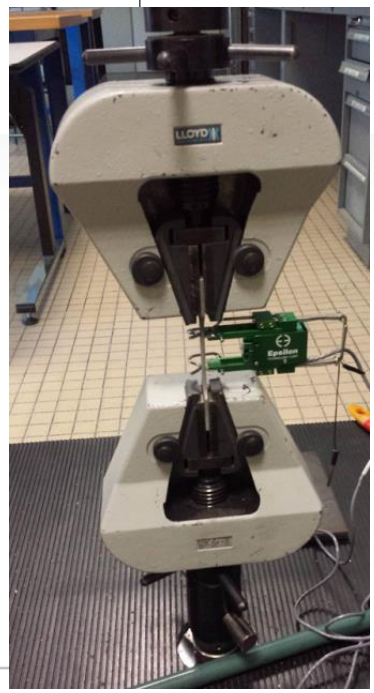
Sommaire

- Réalisation d'études en fabrication additive.
  - » Le procédé utilisé à ICB-LERMPS.
    - les paramètres importants.
    - Des microstructures non conventionnelles.
  - » Influence du sens de construction : Inconel 718
  - » Conclusions
- Rapide présentation de la structure de recherche

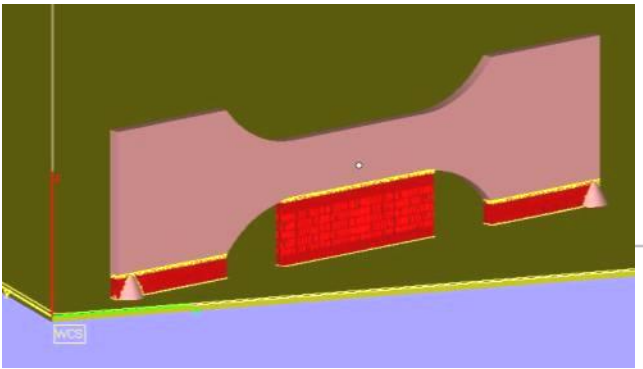
Influence du sens de construction

- Inconel 718 sur SLM250 REALIZER
- Traction selon ISO 6892-1
- Trois angles de construction
  - » 0°, 45° et 90°
- Paramètres opératoires identiques
  - » 100 W
  - » Vitesse de balayage = 0,23 m.s-1
  - » e_{poudre} = 50 µm

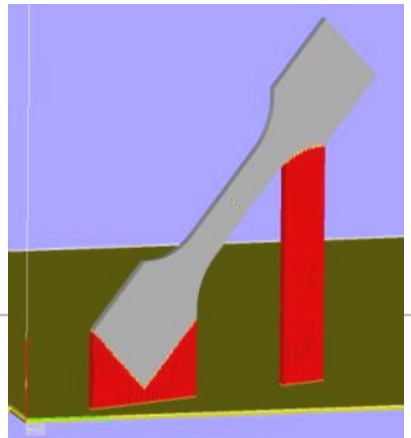




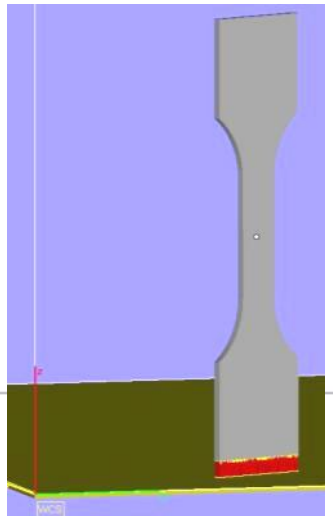
0°



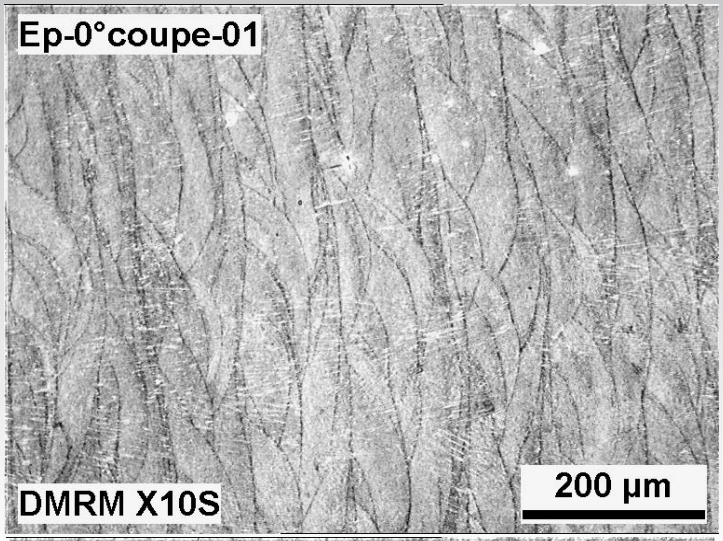
45°

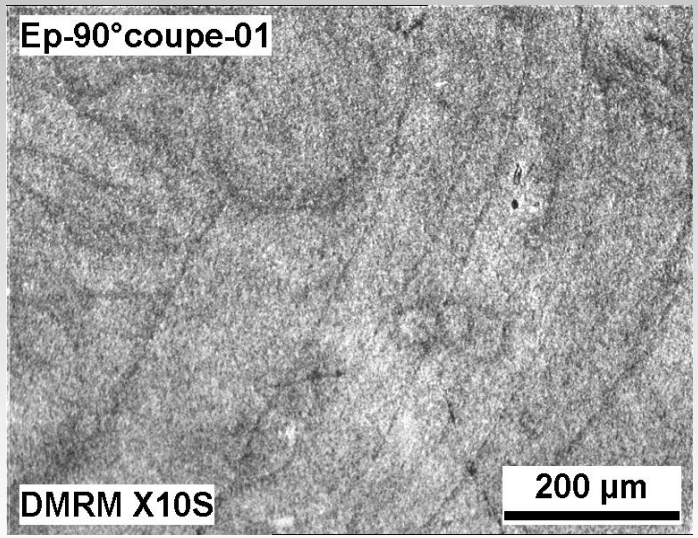


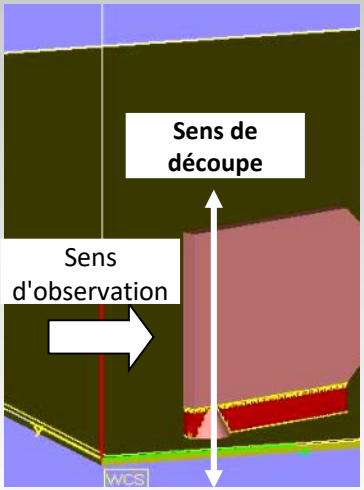
90°

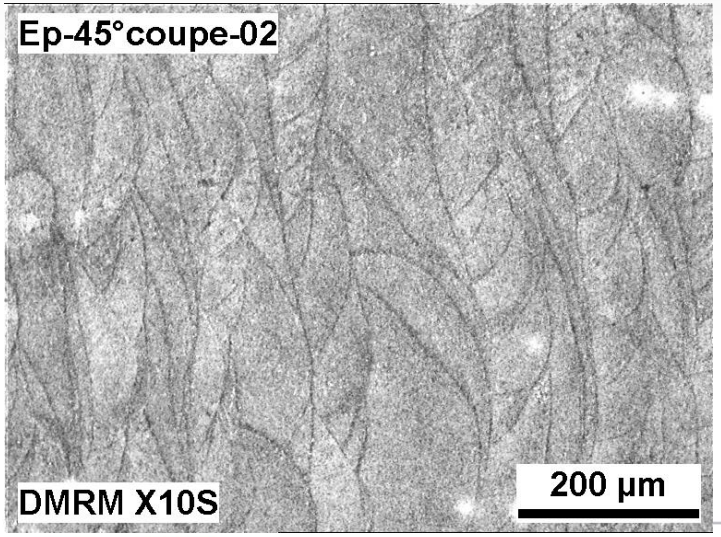


Influence du sens de construction



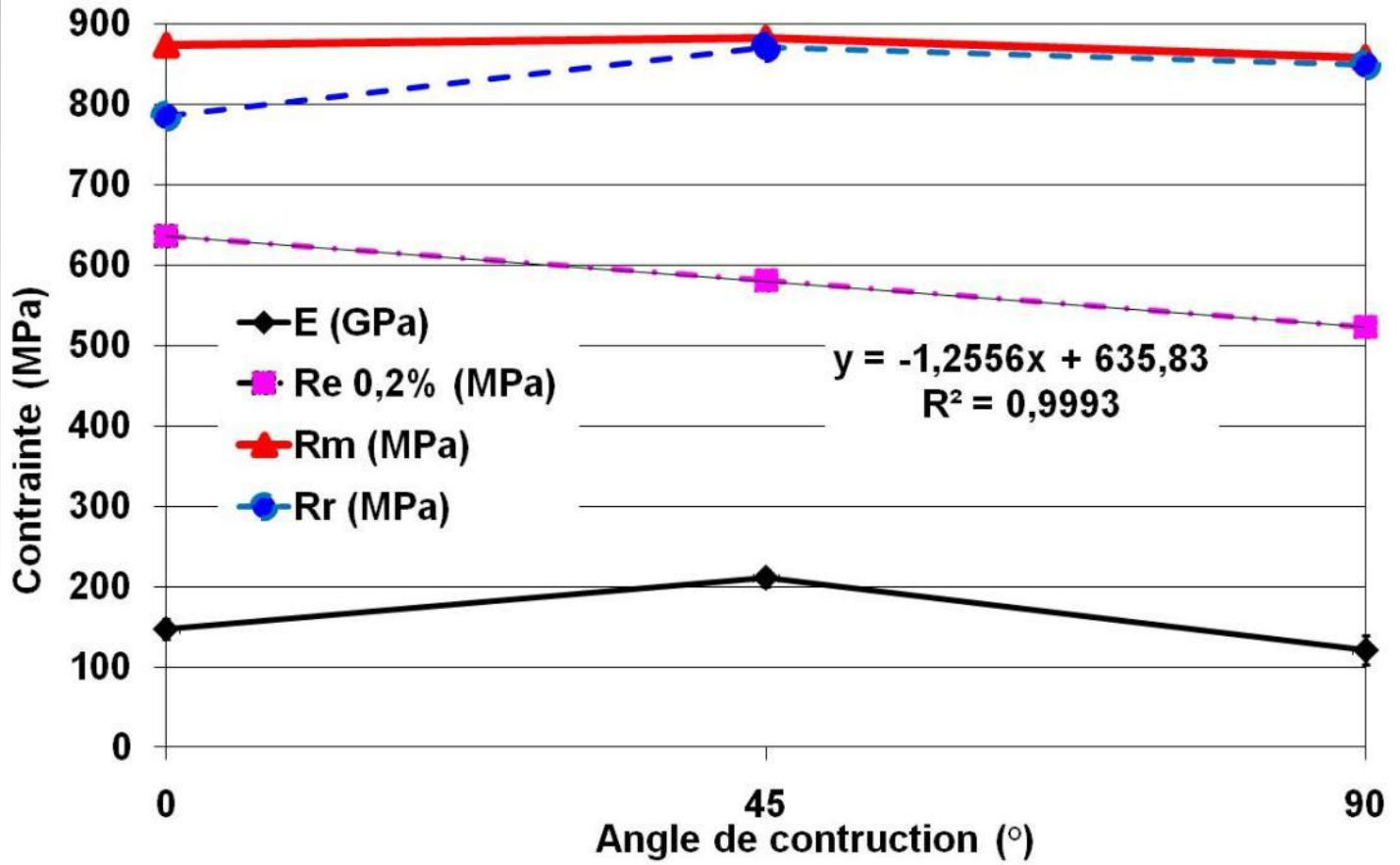






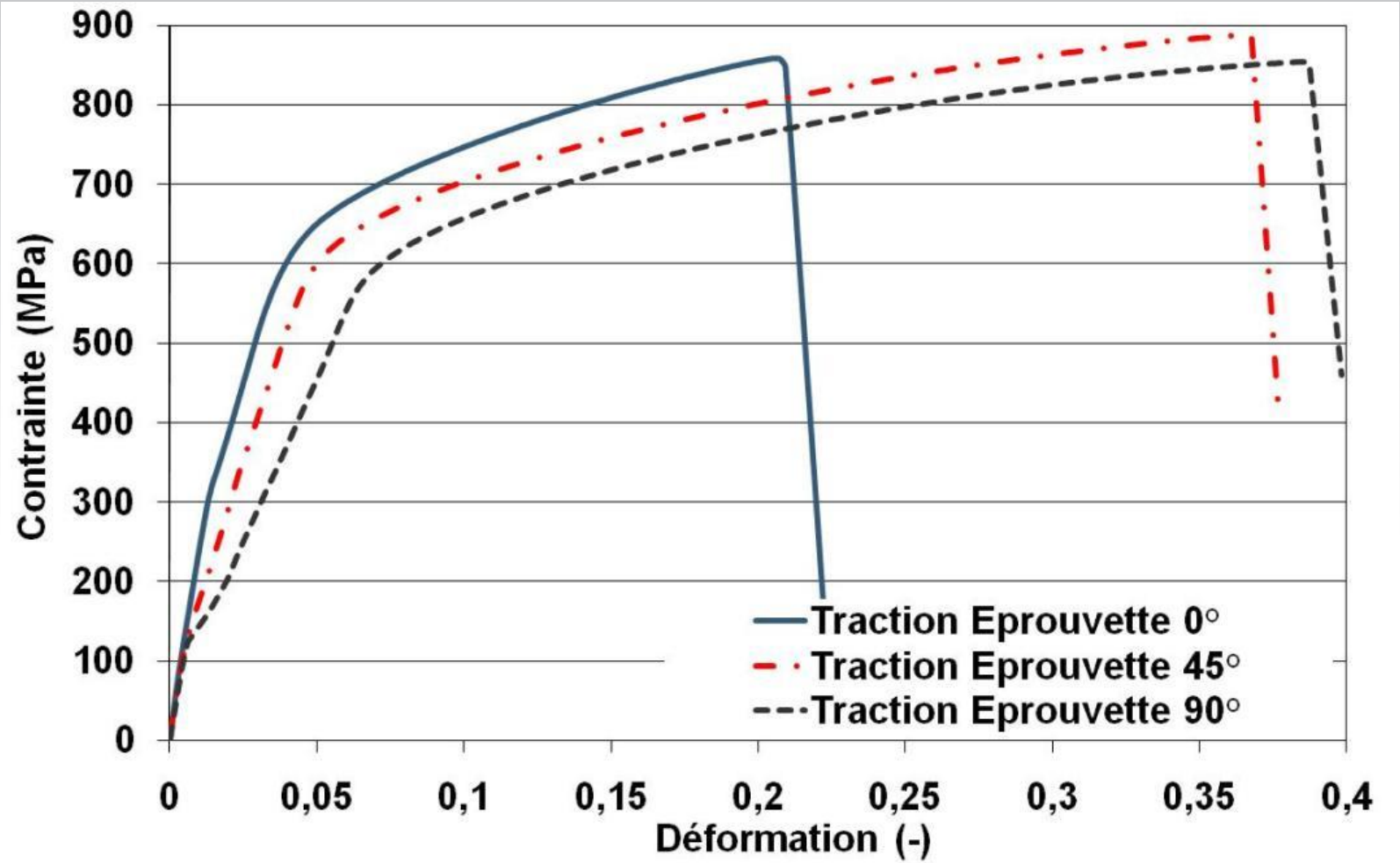
- Pas de changement de microstructure en fonction de l'angle de construction
- Taux de porosité faible : ≈ 0,40%

Propriétés mécaniques



- Angle de construction n'affecte pas la Rm
- Evolution linéaire de la limite conventionnelle d'élasticité

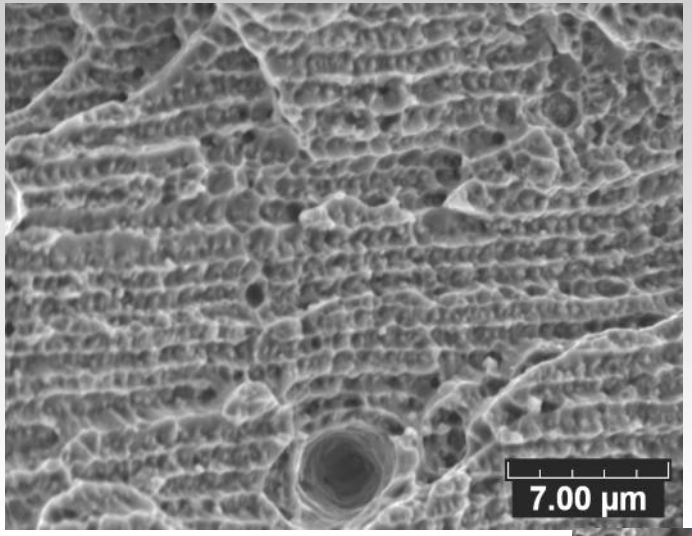
Propriétés mécaniques



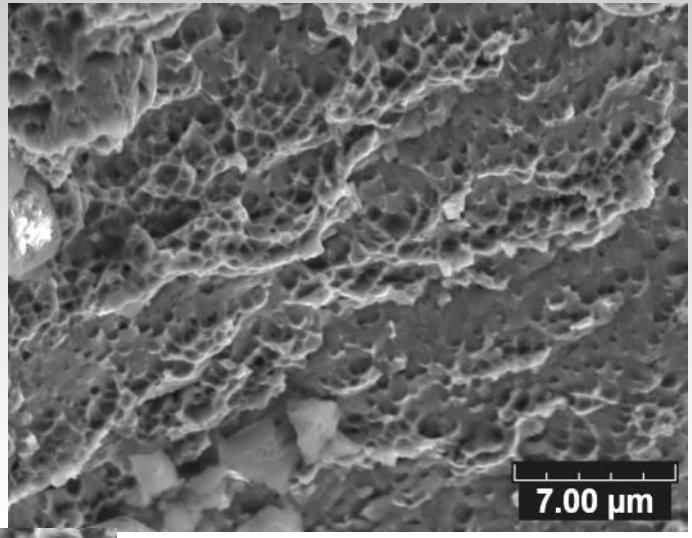
- Différence de ductilité en fonction de l'angle

Influence du sens de construction

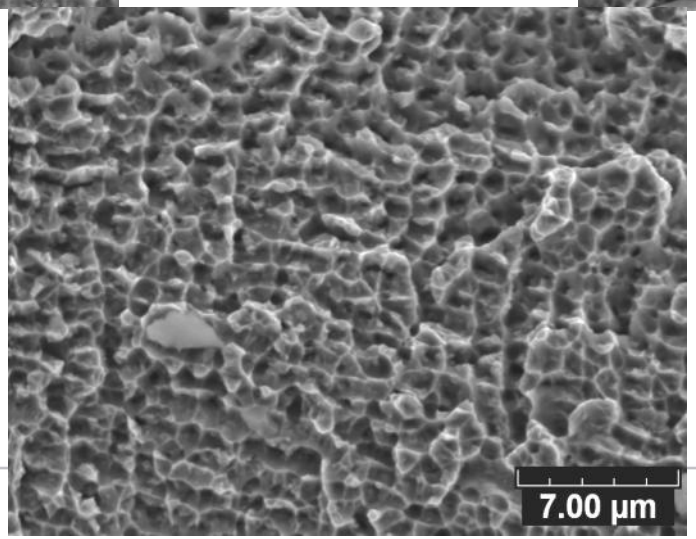
0°



90°



45°



- 0°: rupture fragile
- 45 & 90°: formation de cupule, rupture ductile résultant d'une charge de cisaillement
- Histoire thermique de la pièce ≠

Conclusion

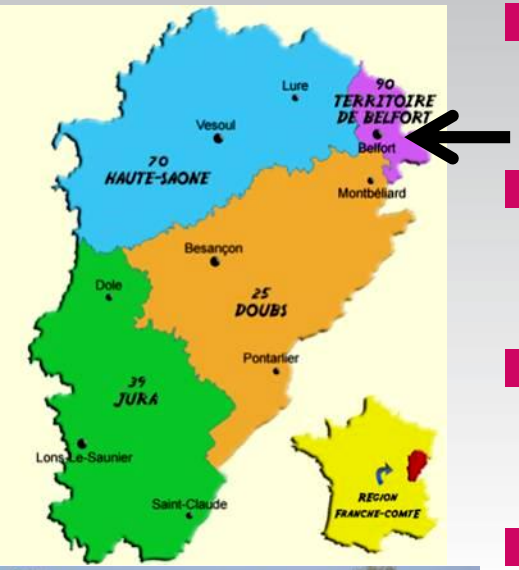
- Inconel 718
  - » L'angle de construction d'une pièce modifie sa limite conventionnelle d'élasticité
  - » la ductilité de l'alliage
  - » La perte de ductilité pour une éprouvette construite avec un angle de 0°est associée à une rupture fragile.

Sommaire / Outline

- Réalisation d'études en fabrication additive.
  - » Le procédé utilisé à ICB-LERMPS.
    - les paramètres importants.
    - Des microstructures non conventionnelles.
  - » Influence du sens de construction : Inconel 718
  - » Conclusions
- Rapide présentation de la structure de recherche

L'Université de tutelle

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD



- L'UTBM forme des ingénieurs rapidement opérationnels, particulièrement adaptables aux évolutions de la technologie et aux mutations de la société.
- Ses formations s'appuient sur les activités de recherche et sur la valorisation.
- Créée en 1999, l'UTBM est un établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel.
- Membre du réseau des universités de technologie, elle est née du regroupement de deux établissements d'enseignement supérieur : l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Belfort (1962) et l'Institut Polytechnique de Sevenans (antenne de l'UTC implantée à Sevenans en 1985).

La structure d'acceuil : compétences

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

INGENIERIE et TRAITEMENT des SURFACES par VOIE SECHE

RECHERCHE DISCIPLINAIRE

développement de matériaux en couches (minces ou épaisses)

GENIE DES PROCEDES

SCIENCE DES MATERIAUX

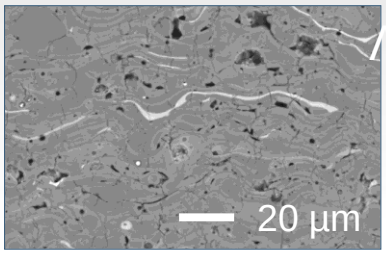
PROCEDES

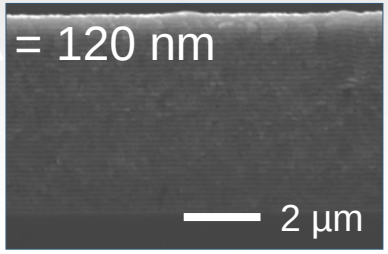
PROJECTION THERMIQUE

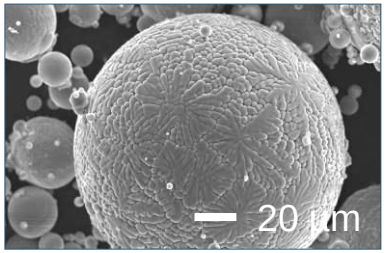
DEPÔT PHYSIQUE EN PHASE VAPEUR

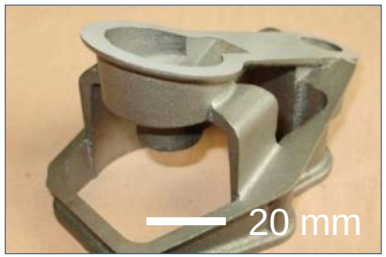
ELABORATION DE POUDRES

FABRICATION ADDITIVE









PRINCIPAUX CHAMPS D'APPLICATION

ENERGIE

TRANSPORT

SANTE

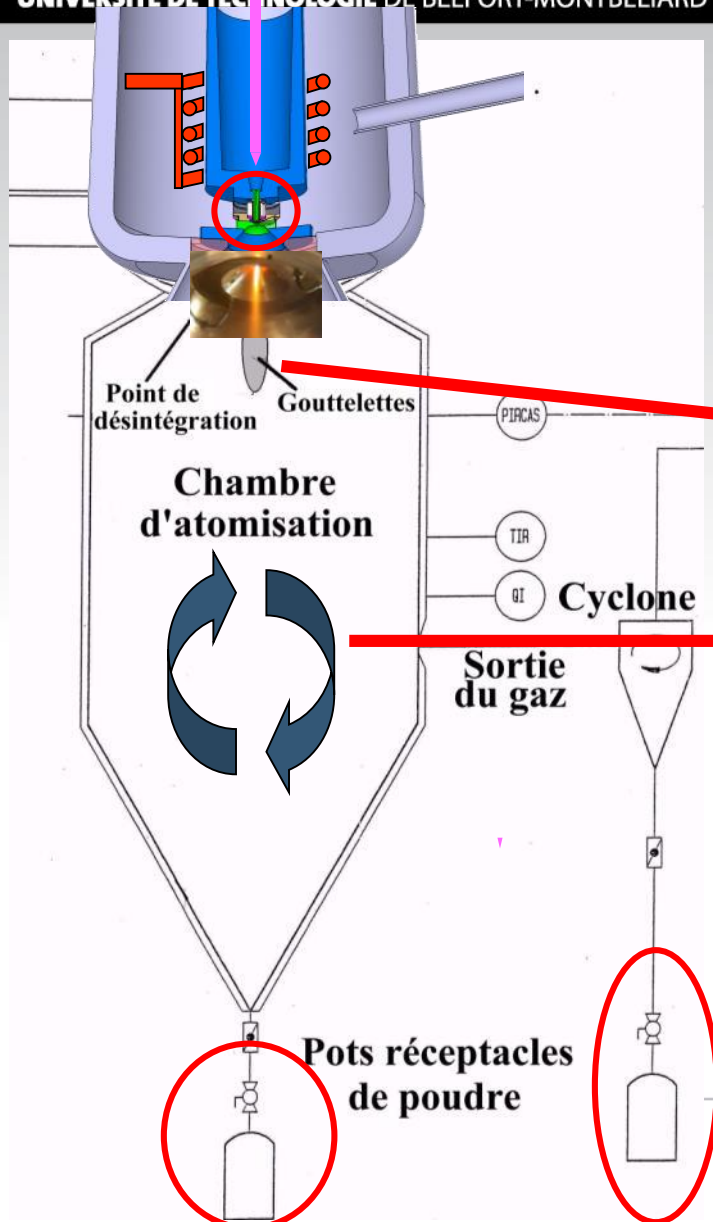
UMR 6303 ICB LERMPS utbm UBFC

Un peu d'historique

- 2012 : 2ième SLM250
- 2014 : 3ième SLM : AM250
- 2016 : UAF, CONSTELLIUM
- 2017 : rattachement à l'ICB
- 2009 : Installation de BV PROTO
- 2019 : nvx projet poudre ?...
- 2007 : Projet NPFI : 1ière SLM250
- 2003 : Installation atomiseur
- 2000 : Projet de l'atomiseur

Elaboration de poudres métalliques

Elaboration de poudres métalliques



- Détente : Onde de choc (λ), instabilité du jet
- Desintégration

↓

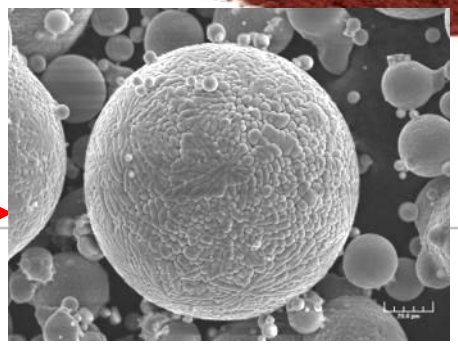
- Formation de goutelettes

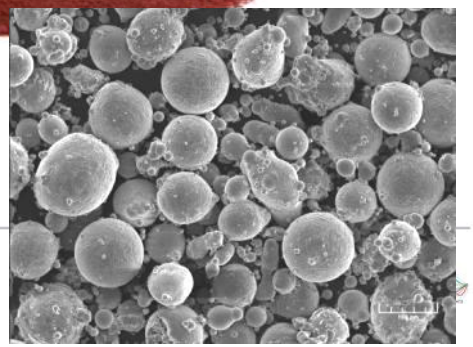
↓

- Solidification convective

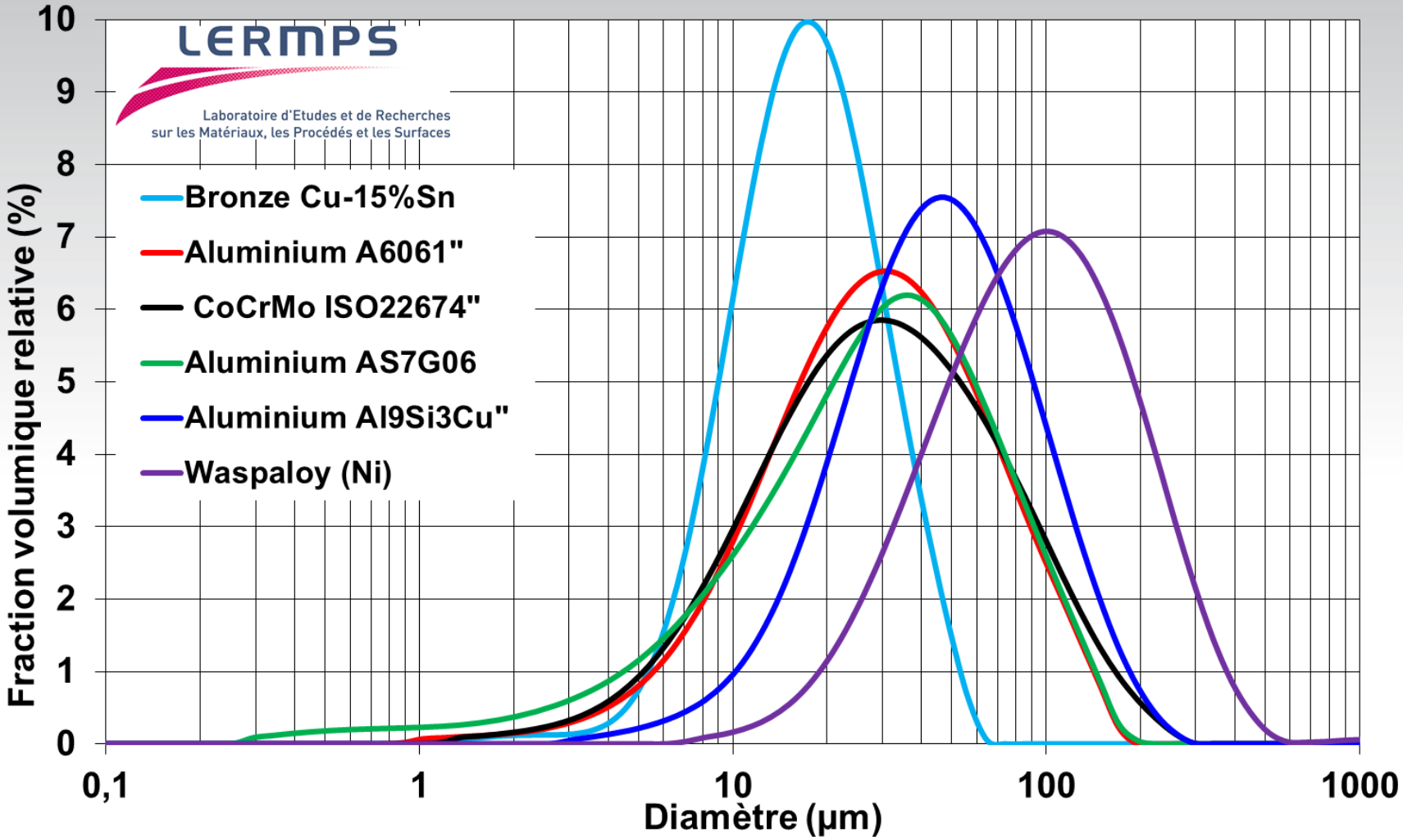
↓

Poudre





Elaboration de poudres métalliques



ST50 – Projet de Fin d'Études (6 mois)

Techniques et méthodes (TM)

Automne (A)

- FQ51 – Fiabilité et qualité en conception
- CP59 – Conception et optimisation produit-procédé
- MA59 – Processus de mise en forme des pièces et conception
- MQ52 – Non-Linear Mechanics
- MN51 – Modélisation des structures par éléments finis
- TF52 – Transfert de Chaleur
- CP58 – Lean Product Development
- TN51 – Bureau d'études avancé
- MQ51 – Comportement
- MA58 – Sélection des
- MN50 – Introduction à l'optimisation des
- MN56 – Advanced
- MC60 – Conception
- MC59 – Systèmes mécatroniques
- TE53 * – Centrales de production d'énergie électrique

CONCEPTION

THERMOMECANIQUE

Printemps (P)

- CP51 – PLM and Design for X
- CP56 – Conception pour l'environnement
- MC53 – Actionneurs
- TE51 – Sollicitations thermoméca. et matériaux spécif.
- FQ52 – Analyse de la valeur et méthodes de créativité
- CP53 – Ergonomie, design et conception
- SY53 – Traitement du signal pour le mécanicien
- TE54 – Conception pour les énergies renouvelables

UVs à projets à caractère recherche /industriel

A / P

- T051 – Projets technologiques métier
- TW51 – Travaux à caractère industriel et d'innovation
- TX51 – Travaux de laboratoire

Étoilage en fonction des sujets traités

Connaissances scientifiques (CS)

Printemps (P)

- CP41 – Design methods in mechanical engineering
- TN41 – Bureau d'études II
- CP42 – Initiation à la CAO
- Méca… mi… con… – résistance des matériaux
- MN44 – Introduction to multi-physics simulation
- MN41 – Modélisation numérique des pb. de l'ingénieur
- SQ40 – Statistiques pour l'ingénieur
- MT41 – Techniques mathématiques pour l'ingénieur

Automne (A)

- CP43 – Conception Mécanique Assistée par Ordinateur
- TN40 – Bureau d'études I
- MQ46 – Mécanique analytique et énergétique des Structures
- MQ40 – Mécanique des solides et des structures - Les bases
- TF40 – Mécanique des fluides et hydrodynamique
- MA41 – Sciences des matériaux
- AG43 – Algorithmique, programmation pour l'ingénieur mécanicien
- EL40 – Fonctions électroniques pour l'ingénieur
- MT45 – Fondements algèbre et analyse
- MT40 – Analyse numérique élémentaire

CONCEPTION | MECANIQUE ENERGETIQUE | MATERIAUX | ELECTRONIQUE INFORMATIQUE MODELISATION | MATHEMATIQUES

GMC06 GMC05 GMC04 GMC03 GMC02 GMC01

MA51

Additive manufacturing

Contrat UTBM (depuis TC):

300 crédits mini

- 48c en CS et 24c en TM en Tronc Commun (TC)
- 84c CS et TM (mini 30c dans chaque) en GESC
- 32c Cultures générales (CG)
- 20c Expression et communication (EC)
- 66c Stages (ST10 + ST40 + ST50)
- NPML en anglais ou NPML en allemand (ou espagnol) + B2 en anglais

Contrat UTBM (après bac+2):

180 crédits mini

- 84c CS et TM (mini 30c dans chaque)
- 16c Cultures générales (CG)
- 12c Expression et communication (EC)
- 60c Stages (ST40 + ST50)
- NPML en anglais ou NPML en allemand (ou espagnol) + B2 en anglais

Filière CDP
Filière MOM
Filière CSM
Filière THE
Filière CIM
Filière ISTI

Code UV

Intitulé UV

LEGENDE

*** : UV dont les cours sont mutualisés avec le département EE**

Formation continue !!!

- Formation continue en fabrication additive métallique
  - » Différents Modules
    - CAO
    - Fabrication
    - Sécurité
    - …
  - » A la carte
  - » Sur site
  - » Travaux pratiques

ICB

LERMPS

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

Merci pour votre attention !