

WEBINAIRE

AVANCÉES EN FABRICATION ADDITIVE DE FILAMENTS ET DE GRANULÉS DE POLYMÈRES CHARGÉS ET DE POLYMÈRES TECHNIQUES

3 décembre 2020 – 13h30-15h



EN PARTENARIAT AVEC :

Règles du webinar

Merci à tous de couper vos micros et vos caméras !

Utilisons le chat tout au long des présentations pour partager nos réflexions et nos questions.

Le webinar sera enregistré

Nous allons vous envoyer dans le chat le lien pour remplir le questionnaire de satisfaction afin de recevoir la présentation d'aujourd'hui

Des temps dédiés seront prévus à la fin de chaque présentation et à la fin du webinar pour des prises de parole. N'hésitez-pas !

**Si problème de son ou d'image, merci de nous en faire part via le chat
Durée prévue : 1h30**

AGENDA

MOT D'ACCUEIL, INTRODUCTION ET PRÉSENTATION DU PÔLE
MATERIALIA

PRÉSENTATION D'INTERREG ET DU PROJET PEPS

INTERVENTION TECHNIQUE SUR LES FORMULATIONS DES POLYMÈRES,
LEURS MISES EN ŒUVRE POUR L'IMPRESSIION

MISE EN ŒUVRE EN IMPRESSION 3D DE POLYMÈRES TECHNIQUES ET
RÉSULTATS ASSOCIÉS

IMPRESSIION 3D DE POLYMÈRES CHARGÉS EN POUDRES CÉRAMIQUES
ET MÉTALLIQUES ET RETOUR SUR UNE ÉTUDE COMPARATIVE
D'IMPRESSIION 3D « PIM LIKE »

A hand in a blue shirt points towards a central icon of a person in a suit, which is part of a network diagram. The diagram consists of several circular nodes connected by lines. The nodes contain icons: a person in a suit, an envelope, an '@' symbol, a pencil, a group of three people, and a speech bubble. The background is dark blue with a horizontal grey band.

Présentation du Pôle de Compétitivité de MATERIALIA

Par ALAIN CANIAUX, Chargé d'innovation

The logo for Materialia, featuring a stylized blue and grey graphic above the text.

materialia
Pôle de Compétitivité Matériaux



Le pôle MATERIALIA

- » Animateur
- » Facilitateur
- » Expert “Matériaux, Procédés & Solutions”

»» ANIMATEUR DE
L'ÉCOSYSTÈME
INNOVANT

»» COHÉRENCE POLITIQUES
PUBLIQUES &
BESOINS INDUSTRIELS

Le pôle MATERIALIA

EN QUELQUES CHIFFRES



Création en 2006

310 adhérents dont **65%** d'entreprises

Sur la période (2006 - 2020) :

- **722** projets accompagnés
- **565** projets labellisés
- **309** projets financés
- Budget consolidé de 1 245,6 M€

60% PME & **40%** Grands Groupes/ETI
Impliqués

Une équipe de **14** personnes à votre service

Le pôle MATERIALIA

PÔLE FRANÇAIS LEADER "MATÉRIAUX, PROCÉDÉS & SOLUTIONS"



Procédés propres et durables

Recyclage

Eco-Conception

Fabrication Additive

Multi-Matériaux

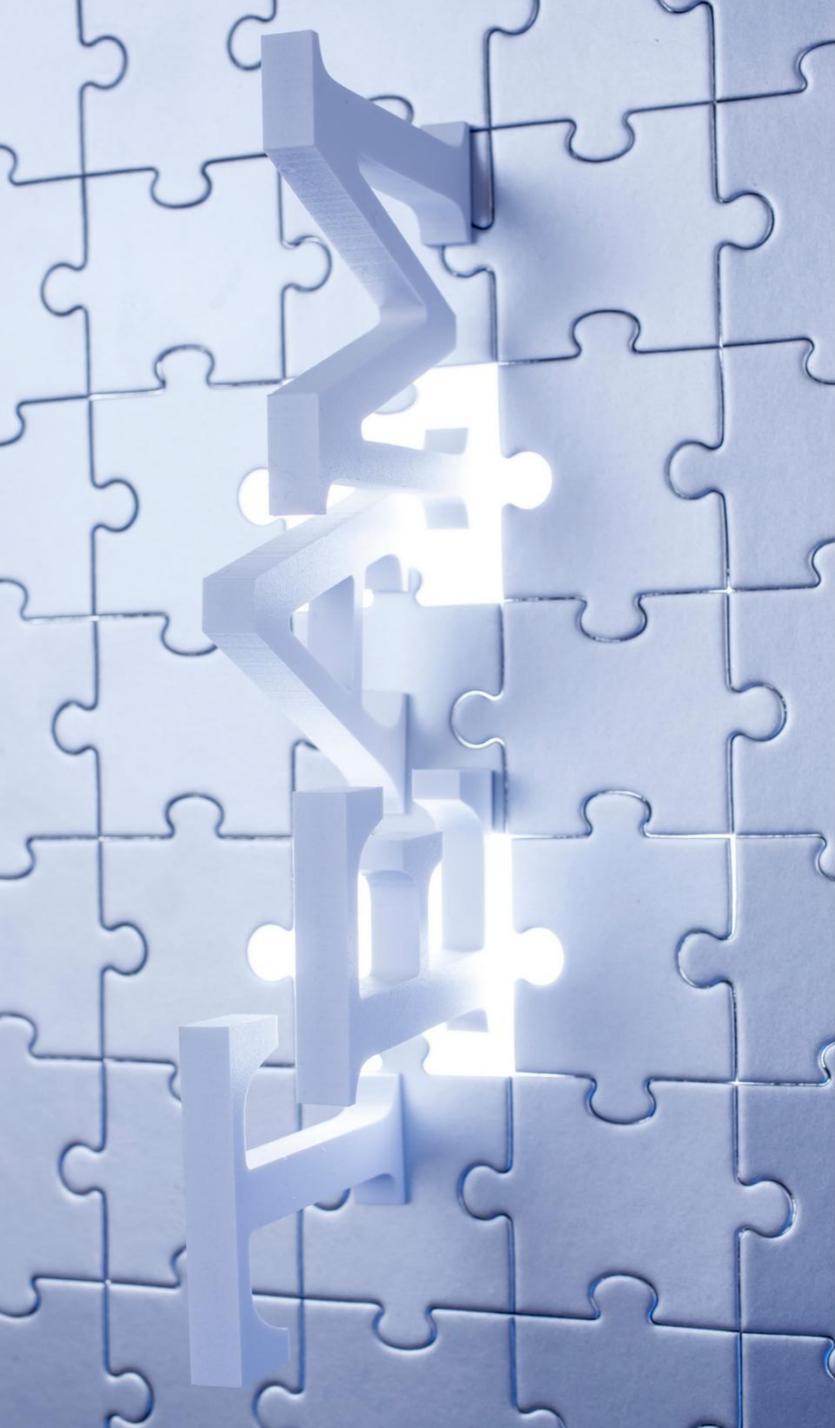
Economie circulaire

Mise en forme

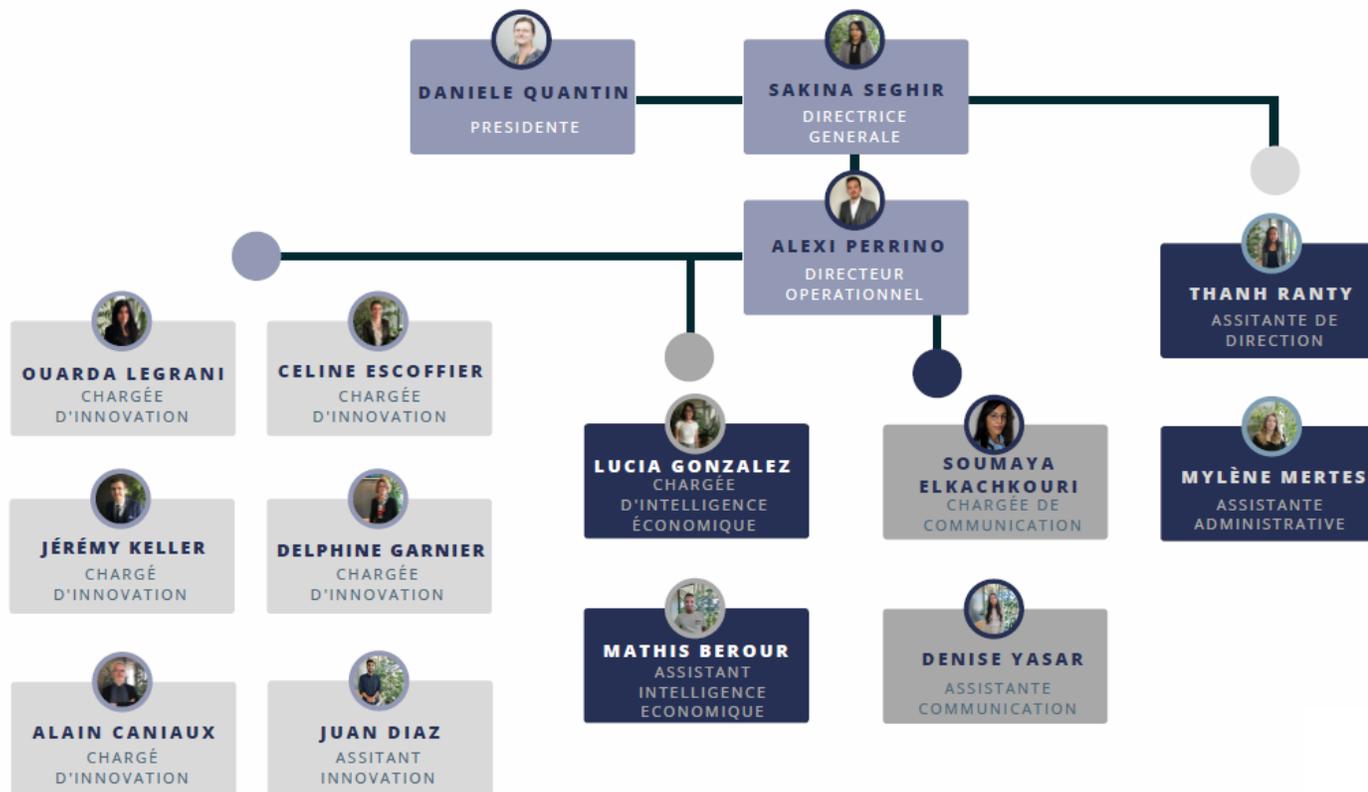
Assemblage

Jumeau numérique





L'organisation du pôle - L' Equipe



Le pôle MATERIALIA

PHASE IV ET LABEL "PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ"

Volonté de l'Etat pour les pôles :

- Catalyseur d'innovation
- Ambition européenne (financements, coopération...)

Objectifs de la phase IV :

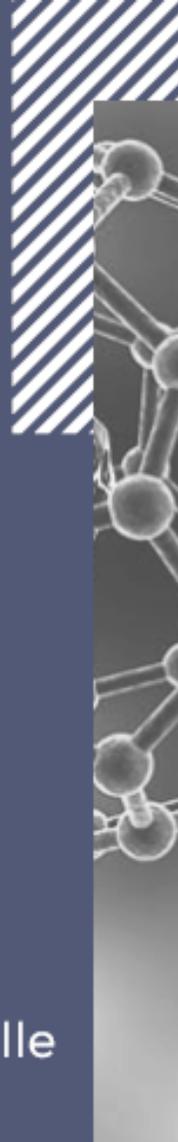
- Solidifier les écosystèmes d'innovation par un rôle d'animateur et de représentation
- Appuyer l'innovation
- Acquérir une dimension européenne (rayonnement international)

La phase IV des pôles

RÉSULTATS NATIONAUX :

- **48** labellisés pour 2019-2022 **dont Materialia**
- 8 pôles labellisés temporairement

➤➤➤ Phase IV du pôle Materialia: Nouvelle feuille de route 2019-2022



Le pôle MATERIALIA

PHASE IV ET LABEL "PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ"

4 DEFIS CLES :

- Ecosystème expert
- Innovation via des Solutions Multi –matériaux et Eco responsables
- Europe
- Autofinancement

Structuration d'un écosystème d'experts :

- Collaboration structurée
- Partenariat stratégique avec des structures clés

Objectifs :

- Renforcer les compétences régionales
- Rayonner aux niveaux national et international
- Servir les marchés clés



ETRE AU SERVICE DE
L' INNOVATION ET DU
RAYONNEMENT
INTERNATIONAL DE LA
FILIÈRE MATÉRIAUX &
PROCÉDÉS

Le pôle MATERIALIA

UNE STRATÉGIE À L'EUROPE

- Renforcement de la coopération transfrontalière au niveau des structures
- académiques et des entreprises (Allemagne, Luxembourg et Belgique)
- Développement des coopérations européennes avec des acteurs pertinents et performants
- Collaboration avec des clusters européens «marchés»
- Renforcement de l'action de montage de nouveaux projets Européens
- structurants
- Consolidation la visibilité du pôle et de ses membres: réseau, lobbying etc.
- Mise en place d'une politique de conventions de partenariats actifs avec des clusters internationaux / Recherche de partenaires européens



4 MISSIONS STRATÉGIQUES

INNOVATION & COMPÉTITIVITÉ

Materialia accompagne le tissu industriel du Grand Est dans sa stratégie de développement afin de faire accroître leur capacité d'innovation, de production et de service et ainsi maintenir et renforcer leur compétitivité au niveau national, européen et international.

EUROPE & INTERNATIONAL

Le pôle s'ancre dans une perspective européenne et internationale en identifiant des partenaires et des financements étrangers au travers de ses réseaux européens/internationaux. Il offre aussi une visibilité grâce à son réseau européen et international ou l'organisation/participation d'évènements dédiés.

RÉSEAUX

Le pôle se positionne comme un acteur pivot de l'écosystème et possède un large réseau de partenaires industriels, scientifiques et de formations. Il collabore aussi étroitement avec les institutions publiques et les acteurs économiques.

FORMATION & COMPÉTENCE

Materialia participe au développement et au déploiement des compétences de son écosystème avec la mise en place de formation spécifique, la valorisation de technologies de pointe de ses partenaires et la mutualisation des ressources.

3 EXPERTISES



Technique



Intelligence
économique



Marketing &
Communication

3 MODES D'ACCOMPAGNEMENT



FREEMIUM



PREMIUM



PRESTATION

EXPERTISE TECHNIQUE

- NOTRE VALEUR AJOUTÉE CONSEILS & ACCOMPAGNEMENT PROJETS
- RECHERCHE DE PARTENAIRES
- INGÉNIERIE FINANCIÈRE
- EXPERTISES TECHNICO-SCIENTIFIQUES



ACTIVITÉS TECHNIQUES



DÉVELOPPER PAR L'INNOVATION
COLLABORATIVE LA COMPÉTITIVITÉ
DES ENTREPRISES COMME MOTEUR
DE CROISSANCE ET D'EMPLOIS



MATERALIA VOUS
ACCOMPAGNE A
CHAQUE ETAPE DU
PROCESSUS
D'INNOVATION



Stratégie

Veille- Besoins industriels - Cartographie
compétences - Emergence de projets structurants



Animation

Promotion - Manifestation - Prospection - Réseau
international



Montage

Fléchage / réponses AAP - Evaluation projets -
Labellisation -Formalisation projets - Conseil TRL



Projets

Management - Moyens / Plateformes - Gestion
compétences



Valorisation

Communication, success stories - Stratégie de
protection - Support mise sur le marché -
Dissémination

Veille
Innovation
Animation
Communication

STRUCTURATION DE L'ÉCOSYSTÈME MATÉRIAUX

- Cartographie des acteurs
- Identification des compétences
- Accompagnement à la construction d'une stratégie thématique

DÉVELOPPEMENT D'UNE STRATÉGIE EUROPE

- Implication de la métropole dans les projets européens
- Mise en relation avec d'autres acteurs économiques
- Identification de territoires partenaires

AMBASSADEUR DES COMPÉTENCES

- Promotion des compétences et spécificités du territoire
- Mise en relation des acteurs technologiques
- Identification de projets européens pour les acteurs économiques





METZ

4 rue Augustin Fresnel
Bâtiment CIRAM
57 070 Metz
Tél. : 03.87.37.42.82
info@materalia.fr

CHARLEVILLE-MÉZIÈRES

9A rue Claude Chrétien
BP 50028
08005 Charleville-Mézières Cedex

BEZANNES (REIMS)

35 rue René Cassin
51430 BEZANNES
Tél.: 07.77.93.87.27



ALAIN CANIAUX

Chargé d'innovation
alain.caniaux@materalia.fr
07.79.13.78.82



AGENDA

- MOT D'ACCUEIL, INTRODUCTION ET PRÉSENTATION DU PÔLE MATERIALIA
- PRÉSENTATION D'INTERREG ET DU PROJET PEPS
- INTERVENTION TECHNIQUE SUR LES FORMULATIONS DES POLYMÈRES, LEURS MISES EN ŒUVRE POUR L'IMPRESSIION
- MISE EN ŒUVRE EN IMPRESSION 3D DE POLYMÈRES TECHNIQUES ET RÉSULTATS ASSOCIÉS
- IMPRESSIION 3D DE POLYMÈRES CHARGÉS EN POUDRES CÉRAMIQUES ET MÉTALLIQUES ET RETOUR SUR UNE ÉTUDE COMPARATIVE D'IMPRESSIION 3D « PIM LIKE »

Présentation d'INTERREG

Le programme France-Wallonie-Vlaanderen

Ce sont des régions françaises et belges qui coopèrent pour effacer la frontière !

Le programme de coopération territoriale européenne Interreg France-Wallonie-Vlaanderen :

✓ s'inscrit dans une volonté de favoriser les échanges économiques et sociaux entre cinq régions frontalières : les Régions Hauts-de-France et Grand Est en France ; la Wallonie, la Flandre occidentale et orientale en Belgique.

✓ vise à associer des compétences communes tout en valorisant les richesses de chaque région concernée, et ce, au bénéfice des populations de la zone.

Au total, c'est 170 millions d'euros provenant du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) qui sont alloués au programme pour soutenir des projets répondant aux 4 thèmes de coopération :

- Recherche, innovation et transfert de technologies
- Compétitivité des PME
- Patrimoine, ressources naturelles, gestion des risques
- Cohésion sociale, santé, formation et emploi



Présentation du projet PEPS

Booster les potentiels des technologies de Fabrication Additive auprès des industriels de la zone transfrontalière dans tous secteurs d'activité

Zone transfrontalière :

Durée : 4 ans

Commencé : 1/01/2019

Recherche active : la fabrication additive de polymères à partir de granulés ou filaments

Budget: 1 461 750 € financé à 50% par le FEDER et cofinancé par la Wallonie et la région Grand Est



Les
partenaires:



Présentation du projet PEPS

PEPS

Pour booster le potentiel transfrontalier des procédés de fabrication additive

L'objectif est de donner une approche créative pour développer le potentiel de notre tissu industriel au travers des procédés de fabrication additive pour des polymères techniques et/ou des polymères chargés.

Notre ambition principale est d'élargir les possibilités des procédés de fabrication additive cantonnés au prototypage pour l'orienter vers de nouvelles applications industrielles comme la fabrication directe et technique avec des caractéristiques mécaniques optimisées proches des procédés de série de transformation des polymères. En effet, l'idée originale est d'augmenter l'offre des matériaux utilisables dans les procédés de fabrication additive tout en leur conférant des fonctionnalisations innovantes.

Comment ?

- Développer les différents axes de fabrication additive en fonction des attentes industrielles (ex : fonctionnalisation, allègement de structures, incorporation de charges, etc...),
- Quantifier des propriétés mécaniques des thermoplastiques en fonction du type de procédé d'impression 3D,
- Sensibiliser et valoriser les résultats de la recherche PEPS au travers de séminaires et de réalisations de démonstrateurs.



FINANCEMENT FEDER : 730 875 €

COUT TOTAL : 1 461 750 € Durée du projet : 4 ans

Choix du procédé de transformation
Optimisation topologique
Choix des matériaux

Mise en forme des matières premières
Caractérisation des matériaux
utilisés et imprimés

Identification des besoins industriels
Valorisation et transfert techniques
Sensibilisation aux problématiques
de la F.A.



Rendez vous sur le site internet du projet :
<https://www.peps-interreg.eu/>

Des rapports disponibles sur le site internet...en répondant à notre questionnaire en ligne



Rapport de 57 pages



Rapport de 86 pages

Rendez vous sur le site internet du projet :

<https://www.peps-interreg.eu/>

Possibilités de collaboration pour les industriels

- Collaboration **GRATUITE** pour permettre :
 - ✓ Réalisation par exemple d'un démonstrateur, d'une veille
 - ✓ Accompagnement dans les premières étapes de l'implémentation au sein de l'entreprise (choix des machines, étude topologique, choix de la matière, etc...)
- Résultats **confidentiels**

La contre partie est : un formulaire à remplir et la prestation est à comptabiliser dans le quota d'aides « de minimis », c'est-à-dire 200 k€/3ans par pays

interreg
France-Wallonie-Vlaanderen

Programme Interreg France-Wallonie-Vlaanderen

La déclaration de minimis a pour but d'informer le programme et l'opérateur octroyant une aide de minimis à un bénéficiaire final sur les éventuelles aides perçues par ce dernier dans le cadre des règlements de minimis¹.

Déclaration sur les aides de minimis (bénéficiaire final)

Je soussigné(e) **Nom et prénom**
représentant légal de **Nom de l'organisation + N° d'entreprise**

et souhaitant bénéficier d'une action dans le cadre du projet **Nom du projet**

déclare :

- o Que l'organisme que je représente ainsi que toutes les entités appartenant au même groupe que mon organisme **n'ont pas reçu d'aide définie comme de minimis** sur les trois derniers exercices fiscaux (l'année fiscale en cours ainsi que les deux précédentes)
- o Que l'organisme que je représente ainsi que toutes les entités appartenant au même groupe que mon organisme **ont obtenu l'aide de minimis** suivante sur les trois derniers exercices fiscaux (l'année fiscale en cours ainsi que les deux précédentes) :

Bénéficiaire (tel que défini dans le règlement correspondant)	Catégorie Classique/CA Agricole/AGR	N° d'entreprise	Pays qui a attribué l'aide de minimis	Montant de la contribution en euros	Date de l'attribution
				Total :	

En addition, le montant potentiel d'aide publique dont va bénéficier mon organisme dans le cadre du projet s'élève à € (montant en euros). Le montant de l'aide, cumulé le cas échéant avec le montant d'aides antérieures, n'entraîne pas le dépassement des plafonds tels que définis dans le règlement 1407/2013, à savoir 200.000€ par Etat membre sur 3 années fiscales (15.000€ pour le secteur de l'agriculture).

Je reconnais par la présente que toute déclaration fautive ou erronée pourra entraîner un remboursement intégral de l'aide perçue avec intérêts.

Signature _____ Date _____

Nom et fonction _____ Cachet _____

¹ RÈGLEMENT (UE) No 1407/2013 DE LA COMMISSION du 18 décembre 2013 relatif à l'application des articles 107 et 108 du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne aux aides de minimis (règlement de minimis) et RÈGLEMENT (UE) No 1408/2013 DE LA COMMISSION du 18 décembre 2013 relatif à l'application des articles 107 et 108 du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne aux aides de minimis dans le secteur de l'agriculture.

AGENDA

MOT D'ACCUEIL, INTRODUCTION ET PRÉSENTATION DU PÔLE MATERIALIA

PRÉSENTATION D'INTERREG ET DU PROJET PEPS

**INTERVENTION TECHNIQUE SUR LES FORMULATIONS DES POLYMÈRES,
LEURS MISES EN ŒUVRE POUR L'IMPRESSION**

MISE EN ŒUVRE EN IMPRESSION 3D DE POLYMÈRES TECHNIQUES ET
RÉSULTATS ASSOCIÉS

IMPRESSION 3D DE POLYMÈRES CHARGÉS EN POUDRES CÉRAMIQUES ET
MÉTALLIQUES ET RETOUR SUR UNE ÉTUDE COMPARATIVE D'IMPRESSION
3D « PIM LIKE »

Intervention technique sur les formulations des polymères, leurs mises en œuvre pour l'impression 3D

M. Pierre Le Maître



Certech
R&D partner in chemistry

Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Who are we?

Certech is a research & development partner and supplier of analytical and technological services for companies involved in activities related to chemistry: polymers; pharmaceutical, medical and health care; environment and energy; automobile and transport; packaging; construction.

Mission

Certech's mission is to provide innovative solutions to improve or develop products and processes, in accordance with the principles of sustainable chemistry and circular economy to meet industrial and societal needs.

Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D



850 industrial contracts per year

40 employees

1500+ industrial collaborations since 2000

Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

- **Pre-treatment**
 - Air dryers
 - Pellet Compactor
 - Shredder
- **Mixing and compounding (thermoplastics)**
 - Single-screw extrusion
 - Twin screw extrusion
- **Shaping (thermoplastics)**
 - 3D printer filament extrusion line
 - Fiber impregnation

Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

High performance materials for 3D printing



3D printer filament extrusion line



3D printer with heated platform for 3D printing of PMMA, PC ...

Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Extended Characterization Platform

▪ Air quality

Online measurement

VOC analysis

Odour analysis: dynamic olfactometry, trained expert panels, GC-MS-Sniffing, 2 sensory rooms

▪ Mechanical properties

Bending, compression and tensile test, Young modulus, abrasion, scratch test, hardness, creep test, Charpy and Izod impact, HDT/VICAT, DMA

▪ Spectroscopy / Thermal analysis

FTIR, FT- μ IR, NIR, Raman, UV/Vis, NMR (access)
TGA, muffle furnace, DSC, Flash DSC (access), TMA (access), moisture analysis

▪ Chromatography

GCxGC-HRTOFMS

HPLC-PDA-MS, (TDS)-GC-MS/FID, GC-FPD

GPC-MS, GPC RT and HT multidetectors

TREF, GEF

Preparative GPC and HPLC

Pyrolysis GC-MS, Direct Injection Probe

▪ Microscopy

Optical

FEG-SEM-EDX, EELS-TEM

▪ Rheology

Rotational and capillary rheometer

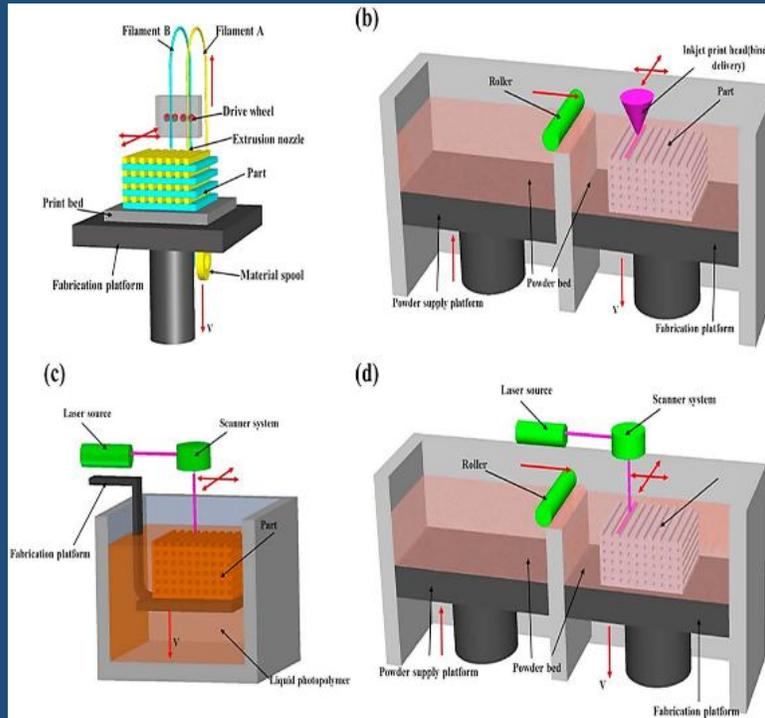
Viscometers, Melt Flow

▪ Structural and textural analysis

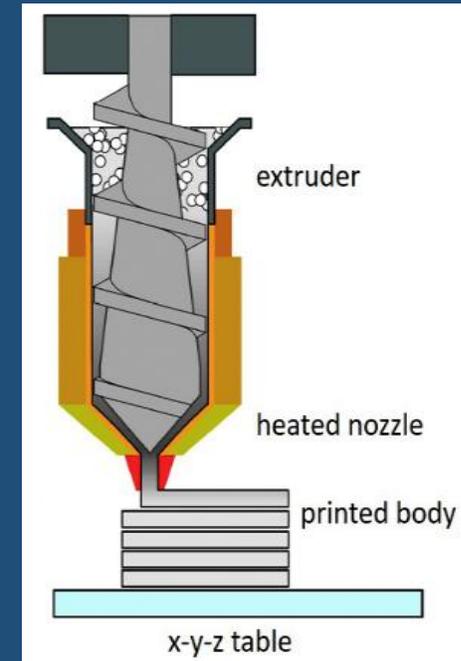
Permeability, DRX, BET, DLS, Profilometer

Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

FFF et FFD



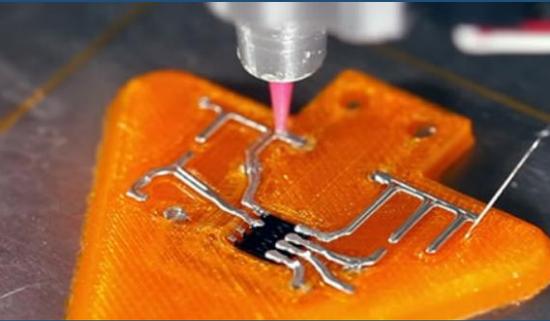
- Technologie la plus répandue
- Nécessité de pouvoir extruder le filament



- Plus de possibilités
- Technologie naissante

Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Marchés - Applications



Electronique



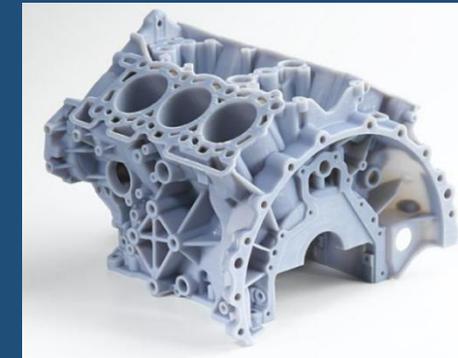
Microfluidique



Aéronautique



Médical



Automobile

Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Quelques propriétés essentielles

▪ Aéronautique

Propriétés mécaniques

▪ Automobile

Propriétés mécaniques
Faible émission

▪ Microfluidique

Résistance chimique
Résistance thermique

▪ Médical

Propriétés mécaniques
Biocompatibilité
Conductivité thermique

▪ Electronique

Conductivité électrique
Conductivité thermique

Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

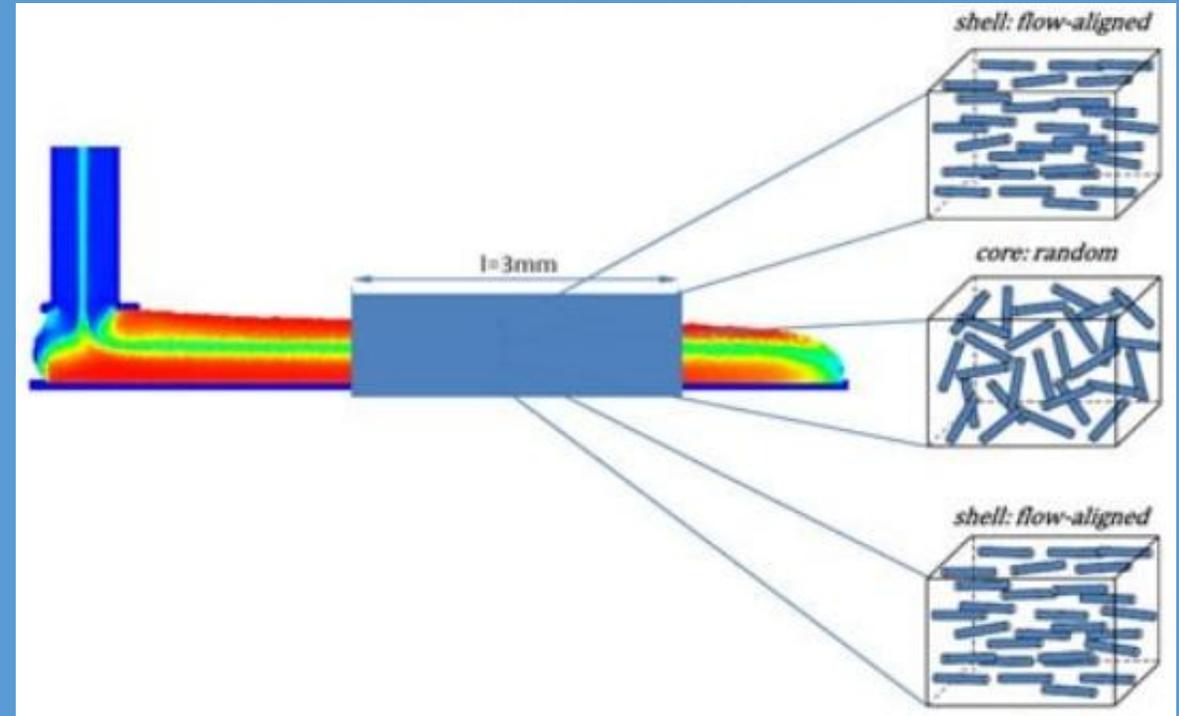
Mécanique – charges et fibres courtes

Charges les plus courantes :

- Fibres de verre
- Fibres de carbone
- Charges minérales (talc, carbonate,...)

Plus le facteur de forme est important, meilleur sera le renfort mécanique

- Mais limitation due à la dimension du filament et à la buse d'impression
- Orientation des fibres lors de l'extrusion filament et l'impression 3D

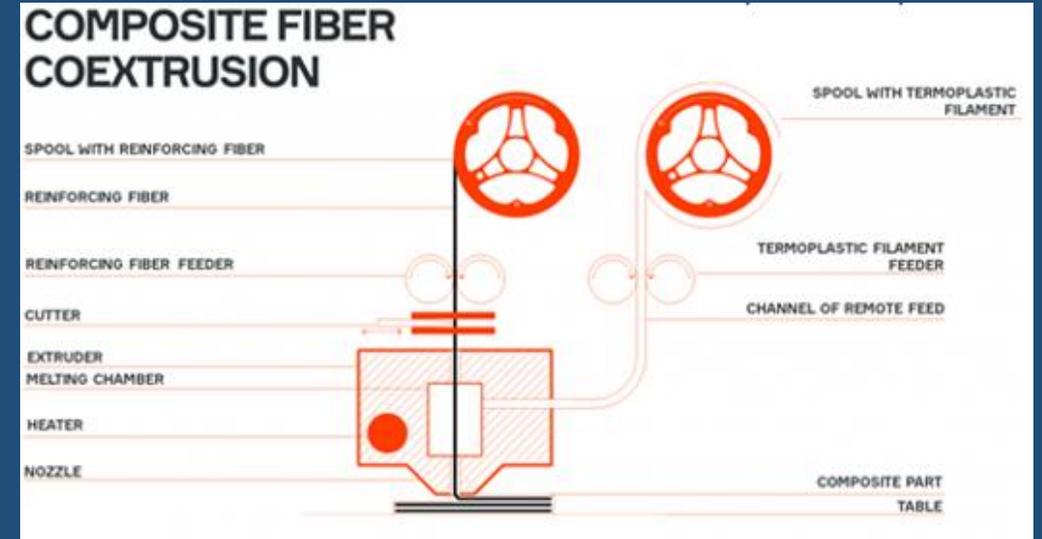


Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Mécanique – fibres continues

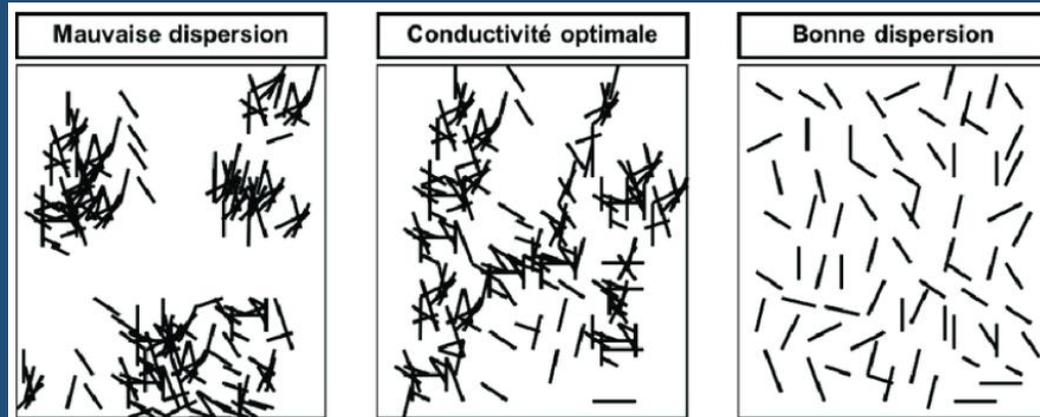
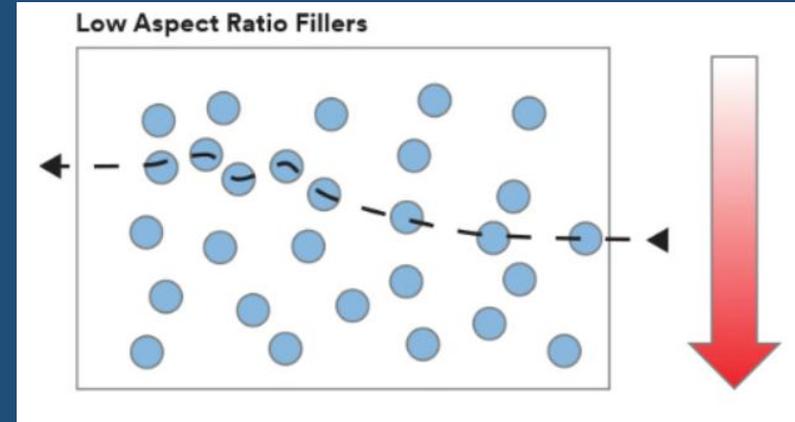
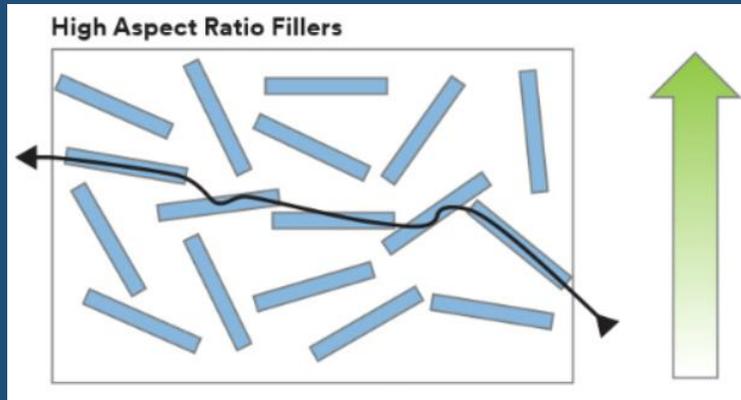
Technologie émergente

- Stratégie d'impression totalement différente d'une impression classique
- Dépose du renfort dans le plan X,Y
- Cohésion dans la direction Z uniquement apportée par l'accroche entre les couches du polymère



Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Conductivité - électrique

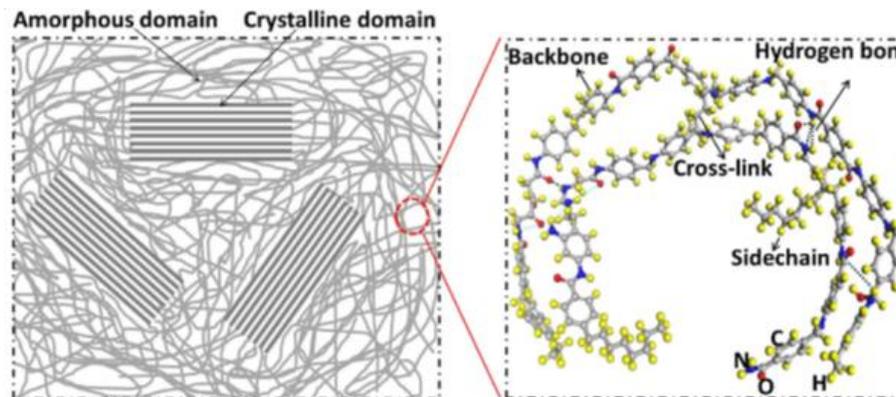


- Fibres de carbone
- Nanotube de carbone
- Noir de carbone
- Fibres métalliques

Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Conductivité - thermique

matériau	λ (W/m/K)	matériau	λ (W/m/K)
<i>métaux et alliages</i>		<i>verres et céramiques</i>	
argent	415	diamant	2000
cuivre	385	graphite \equiv	1950
aluminium	230	graphite \perp	5,7
tungstène	155	SiC	50-270
zinc	110	AlN	\uparrow 270
nickel	90	Si ₃ N ₄	\uparrow 250
plomb	35	Al ₂ O ₃	16-40
cémentite	50	porcelaine	0,8-2
fer α	55	MgO	40
acier au chrome	25	BeO	15-20
acier inox	14	verres	0,9-2



- Mêmes charges que pour la conductivité électrique
- Souvent nécessité d'avoir une bonne conductivité thermique en restant isolant

→ Nitrure de bore
→ Cristallisation

Aluminosilicate Content	BN Flake Content					
	0 vol%	10 vol%	20 vol%	30 vol%	40 vol%	50 vol%
0 vol%	~0.3	0.92	1.87	2.94	3.21	4.78
10 vol%	0.46	1.33	1.78	3.65	5.32	
20 vol%	0.72	1.39	3.01	4.42		
30 vol%	1.00	1.87	3.54			
40 vol%	1.39	2.98				
50 vol%	1.95					



Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Biocompatibilité

Utilisation de matériaux validés

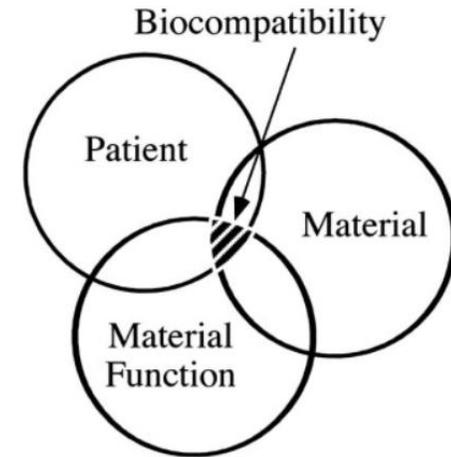
Si formulation à partir de matériaux biocompatibles

→ Tests variés suivants l'application, par exemple :

- USP 87 : biological reactivity of mammalian cell cultures following contact with the elastomeric plastics and other polymeric material
- USP 661 : to help ensure the safety of a variety of health-related products composed of and/or packaged in plastic containers

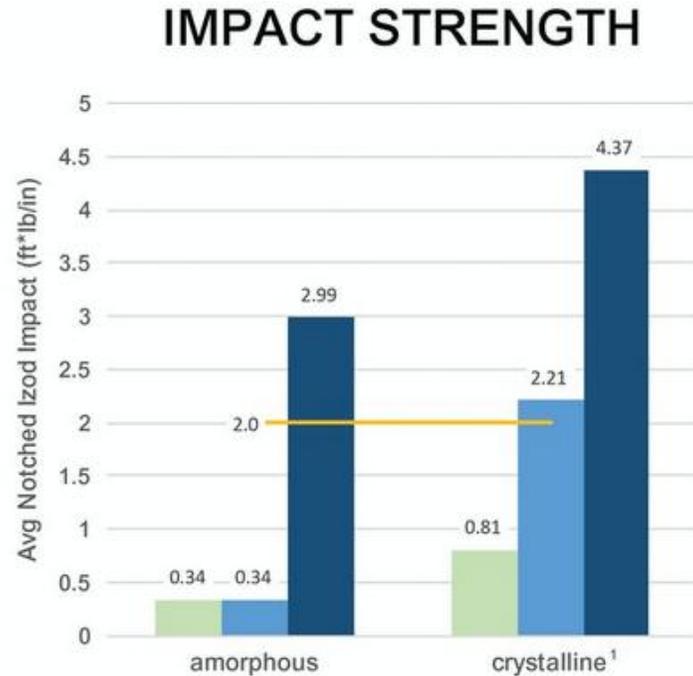
Attention à l'état de surface du produit final

→ La rugosité peut favoriser la prolifération de micro-organismes



Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Résistance à l'impact

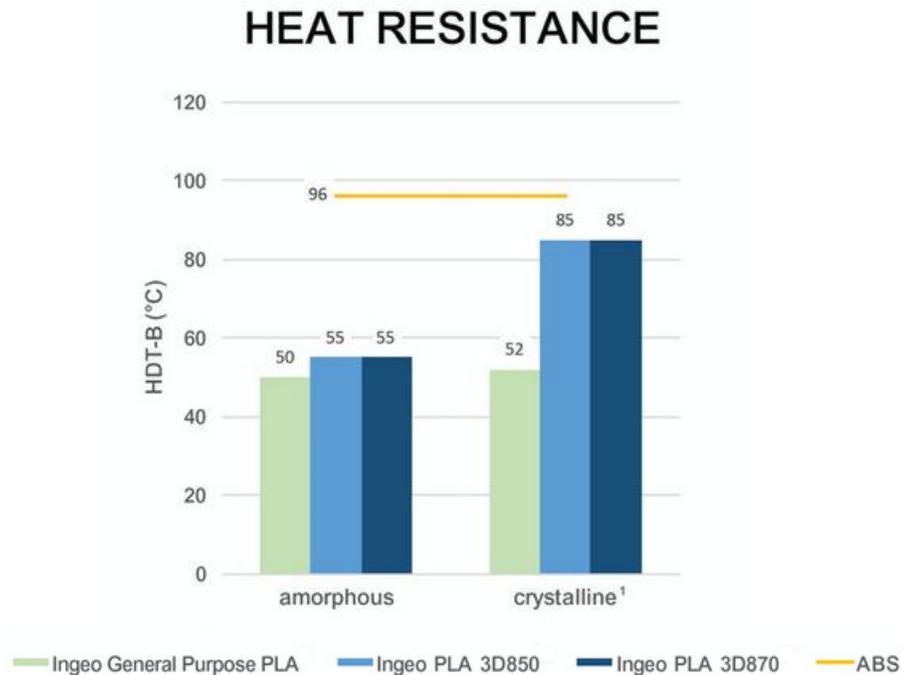


— Ingeo General Purpose PLA — Ingeo PLA 3D850 — Ingeo PLA 3D870 — ABS

- Augmentation de la résistance à l'impact par augmentation de la cristallinité et/ou par ajout de plastifiant/modifiant impact
- Post traitement (annealing) pour augmenter le taux de cristallinité
- Changement dimensionnel
- Additifs : diminution de la rigidité

Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Résistance thermique



Augmentation de la résistance thermique essentiellement en jouant sur la cristallinité du polymère
→ Post traitement (annealing)
→ Changement dimensionnel

Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Essais avec la ligne filament



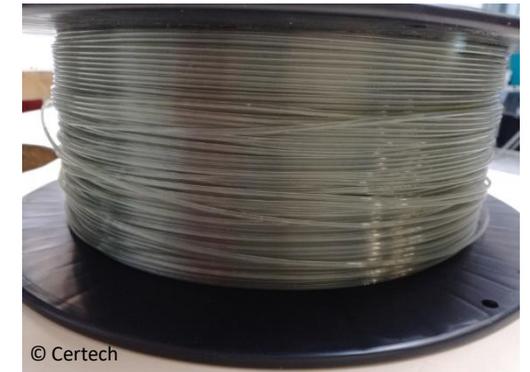
PMMA



PC



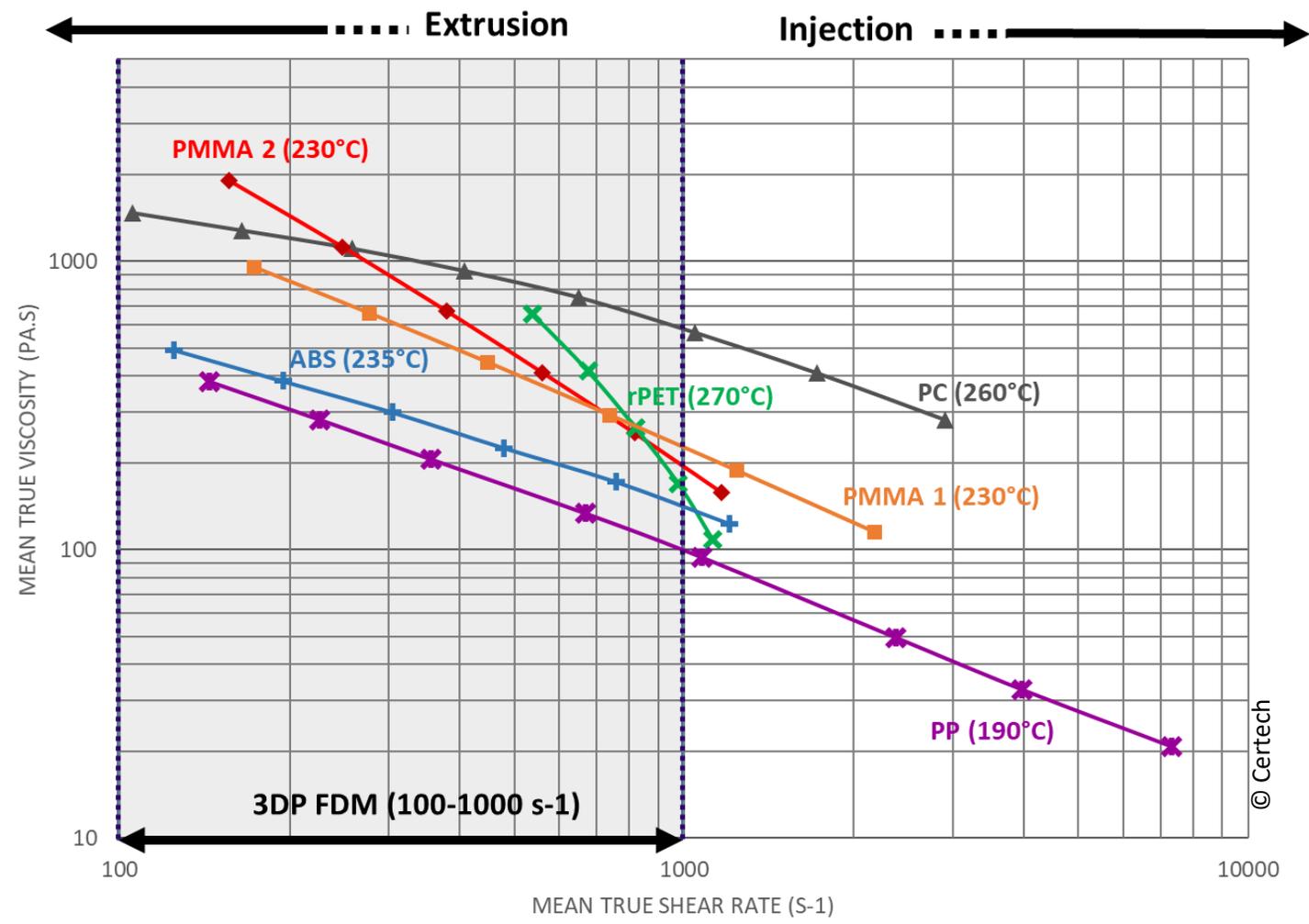
PET



- Jusqu'à 50 m/min
- Cellule de contrôle du diamètre en continu

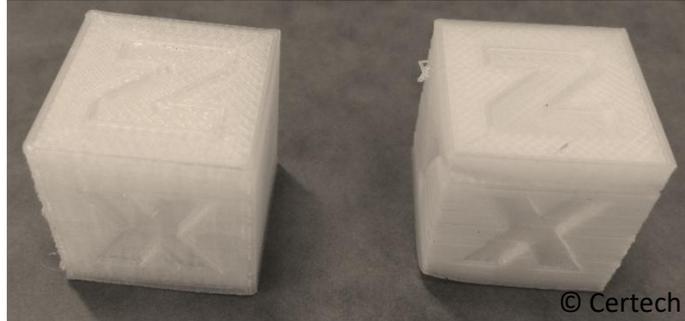
Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Extrusion filament vs. 3DP



Formulation et mise en œuvre de polymères pour impression 3D

Cube standard XYZ : analyse visuelle



↓
PET-G

↓
PMMA



Gauchissement, mauvaise
accroche entre les couches
→ Délaminage

Compromis propriétés / extrudabilité /
facilité d'impression

Merci de votre attention

Des questions ?



AGENDA

MOT D'ACCUEIL, INTRODUCTION ET PRÉSENTATION DU PÔLE MATERIALIA

PRÉSENTATION D'INTERREG ET DU PROJET PEPS

INTERVENTION TECHNIQUE SUR LES FORMULATIONS DES POLYMÈRES, LEURS MISES EN ŒUVRE POUR L'IMPRESSIION

MISE EN ŒUVRE EN IMPRESSION 3D DE POLYMÈRES TECHNIQUES ET RÉSULTATS ASSOCIÉS

IMPRESSIION 3D DE POLYMÈRES CHARGÉS EN POUDRES CÉRAMIQUES ET MÉTALLIQUES ET RETOUR SUR UNE ÉTUDE COMPARATIVE D'IMPRESSIION 3D « PIM LIKE »



Mise en œuvre en impression 3D de polymères techniques et résultats associés


IMT Lille Douai
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille


ARMINES

Commercial solutions



**Selective laser sintering
(SLS)**



PA12
PP Etc.
TPU



**Fused Filament Fabrication
(FFF)**

Office FFF



TP

HT° FFF



PEEK PPS
PEKK PPSU
PEI Etc.



**Arburg Plastic Freeforming
(APF)**

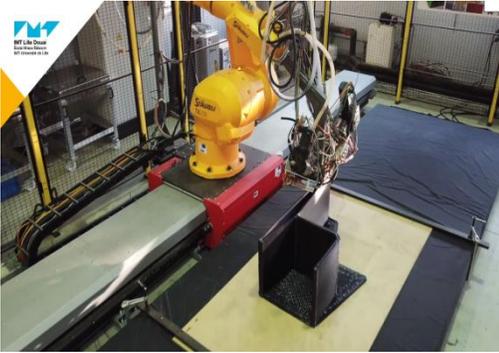


TP
TPE



Robotic AM machines

LASCALA



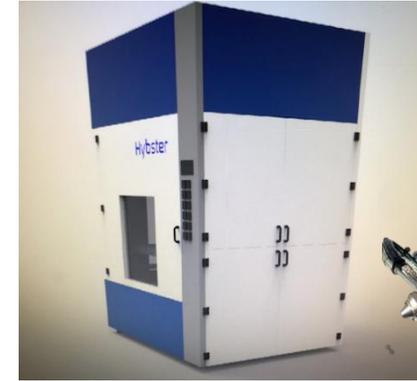
- Large part: 5m x 2m x 1m
- 2 Extruders
- Versatile extrusion solutions
 - Beads geometry
 - Co-extrusion
 - Continuous fiber

MESCAL

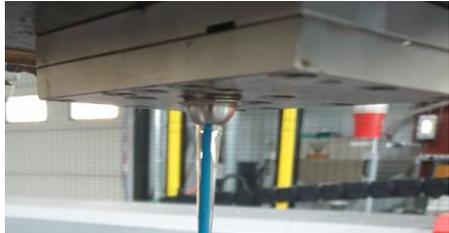


- Curved layers
- Smart process

Instrumented AM machine

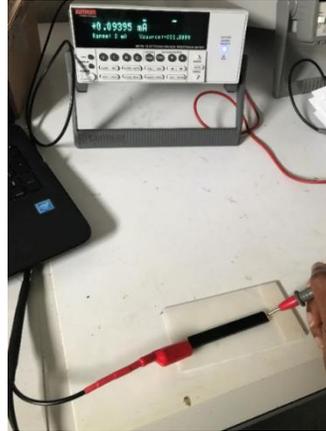


- Heated chambre
- Large space in the chamber for instrumentation
- In situ monitoring :
 - Measure of ΔT , $\Delta V = f$ (process parameters)
 - Evaluation of bead coalescence
 - Evaluation of internal stresses



Technical Polymers :

For antistatic parts

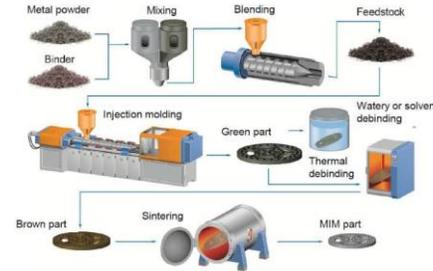


ABS+CNT

*Carbone
nanotubes*



For MIM/CIM like AM

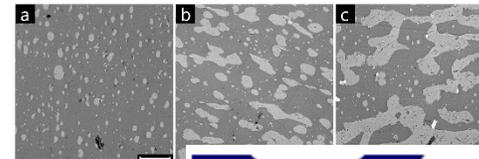


*Fabrication of
metallic and
ceramic parts
with plasturgic
processes*



For sensor development

LASCALA



+



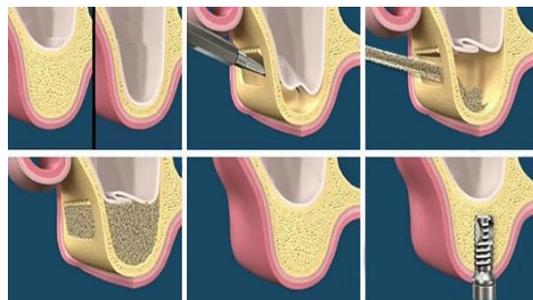
Polymer blend

Technical Polymers :

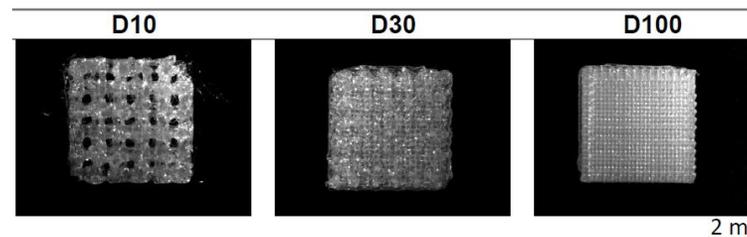
For Shape memory



Prediction and control of the deformation



For drug release

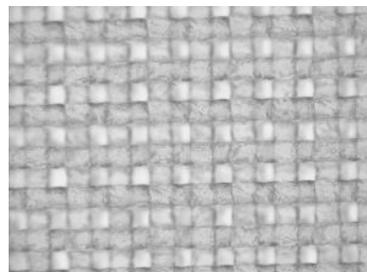
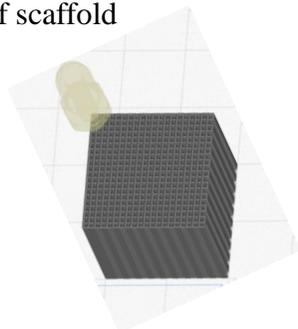


PLGA + ibuprofene

For controlled degradation

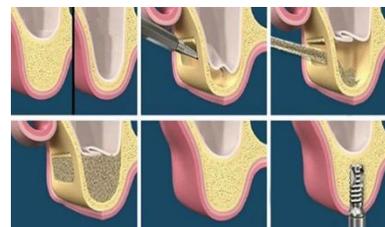


Degradation of PCLA & PLATMC during the production of scaffold

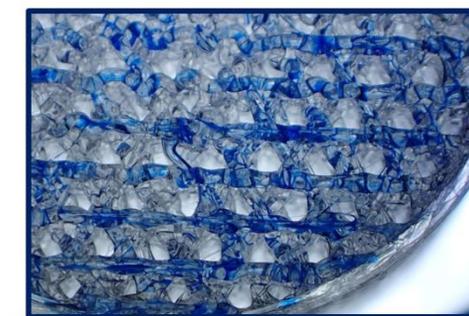
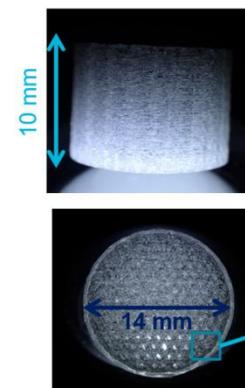


Ahlinder et al., *Polym. Degrad. Stab.*, 2020, 181, 109372

For cell collonization



PLA+HA
TPU+HA



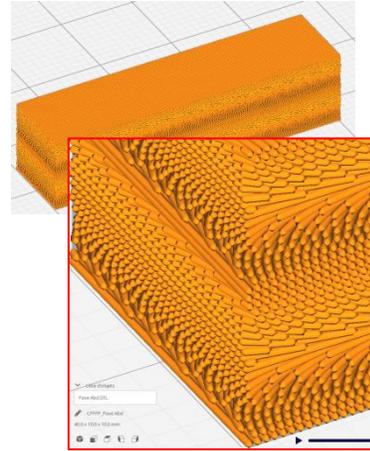
Raster diameter ~ 250 μ m

Technical Polymers : *Technicality induced by the structure more than the material itself.*

Hierarchical structure

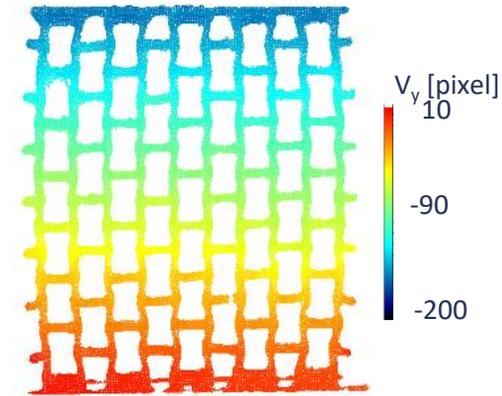
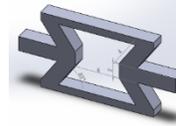
Improvement of toughness

Stage M2 N. Raj
Centrale Nantes, 2020
A. Ayadi, S. Charlon



Cellular structure

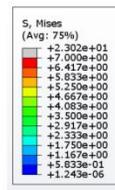
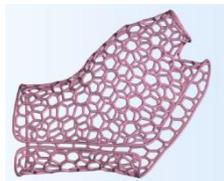
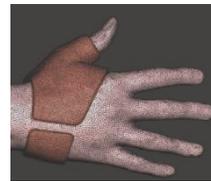
Prediction and control of the deformation



Stage M2 B. Wang
Centrale Nantes, 2019
A. Ayadi, S. Charlon

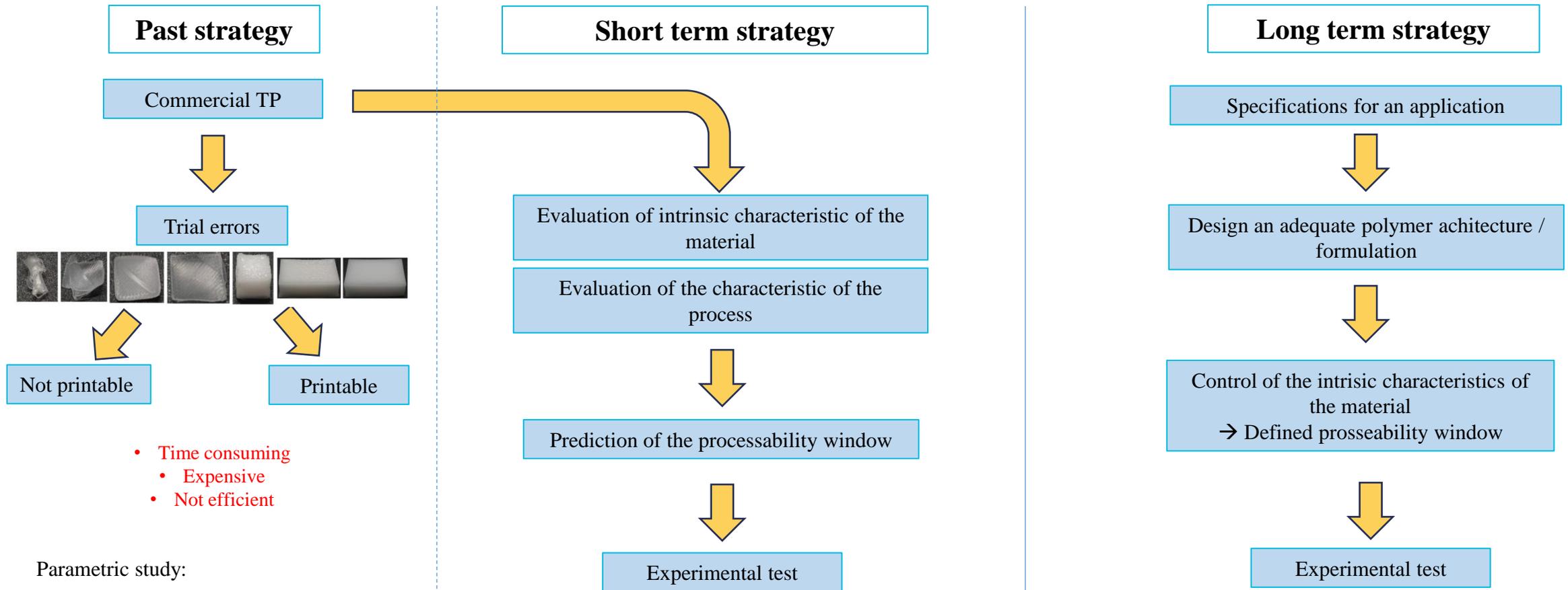
New generation of orthosis and prosthetics

Interreg
2 Seas Mers Zeeën
3DMed
European Regional Development Fund



Technical Polymers :

How to print technical polymers ?

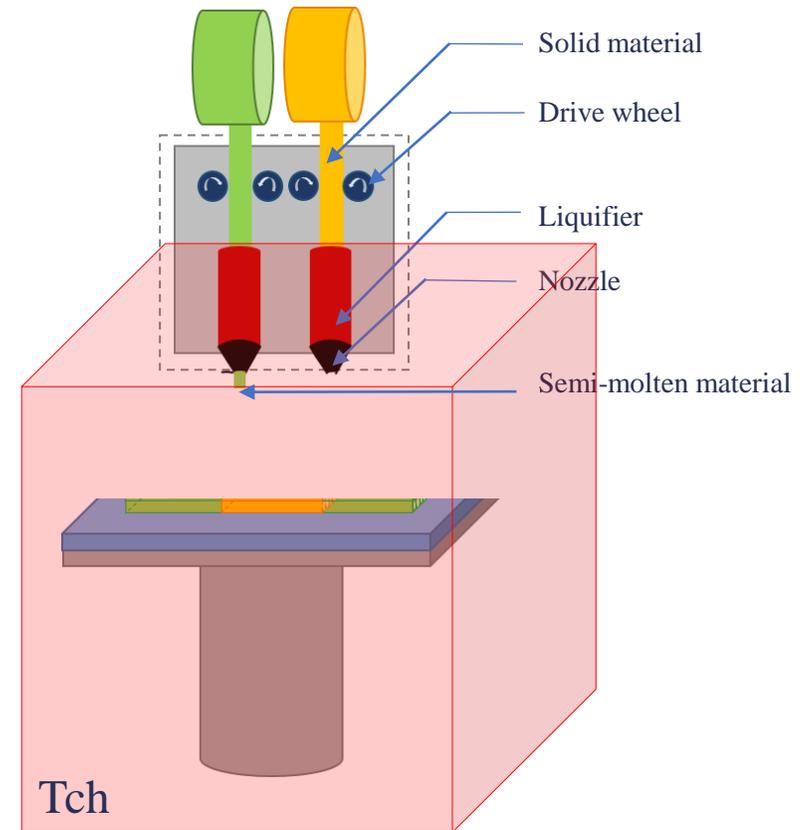
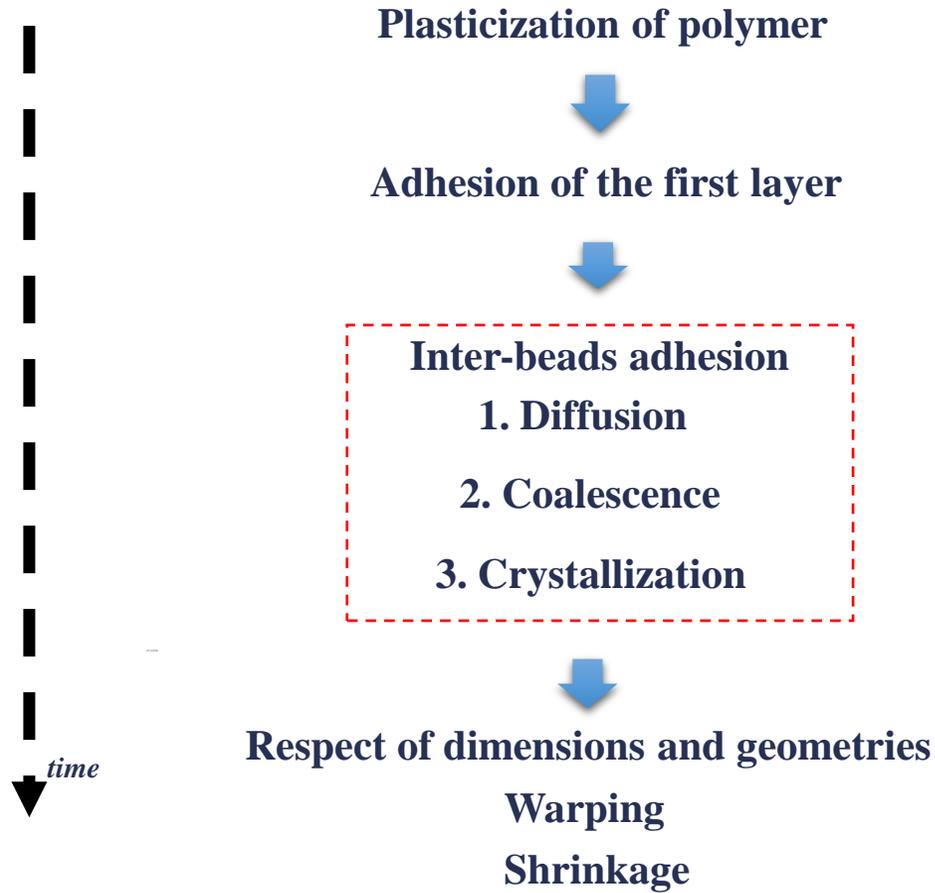


Parametric study:

Charlon et al., J. App. Polym. Sci. 2020, e49038

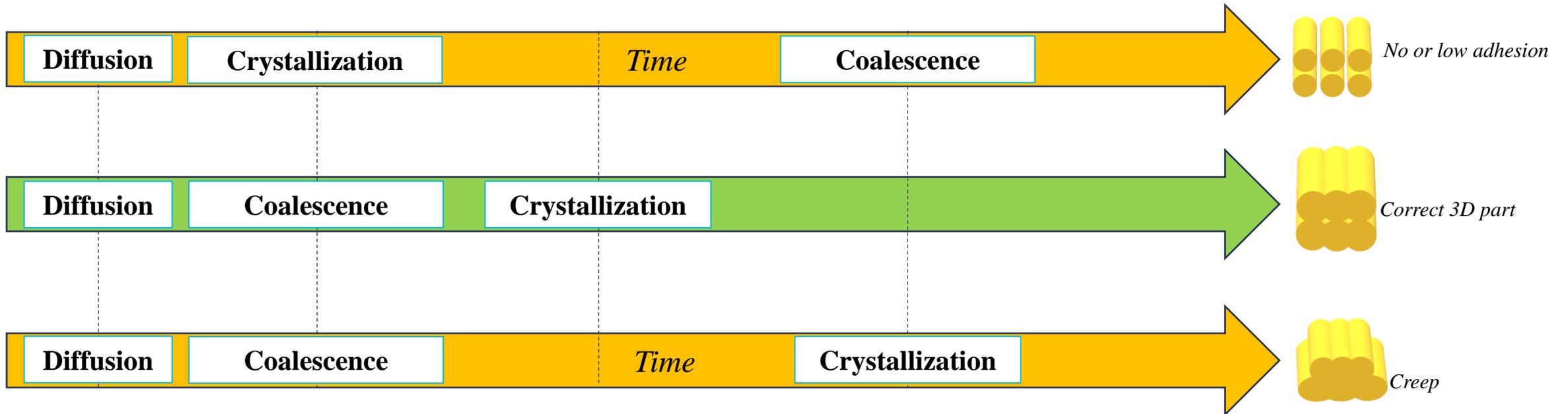
Technical Polymers :

Development of a predictive method for technical polymers



Technical Polymers :

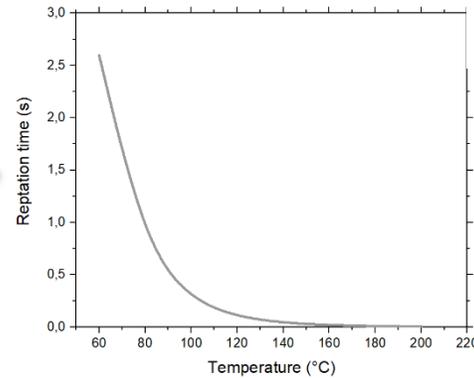
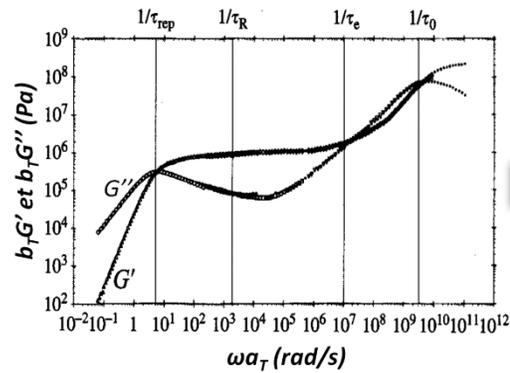
Development of a predictive method for technical polymers



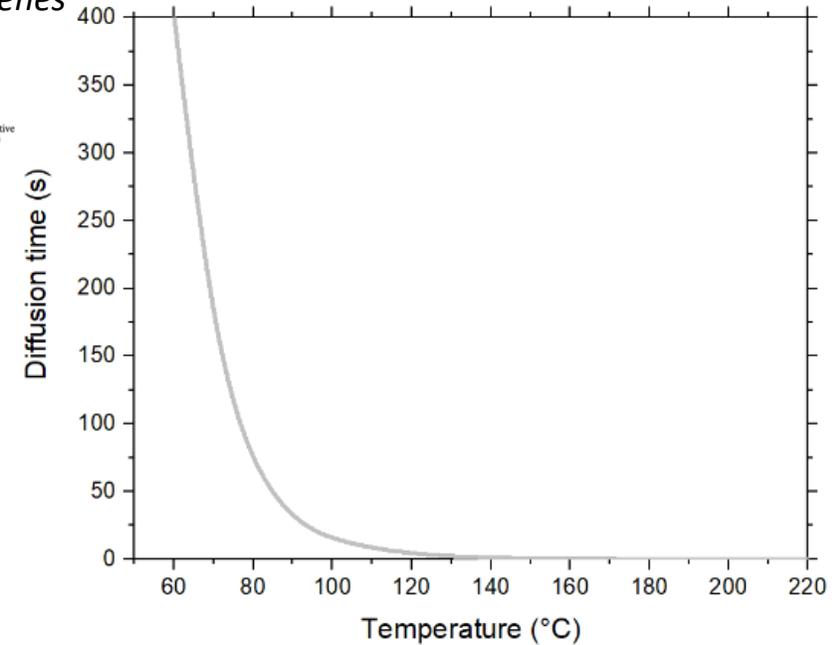
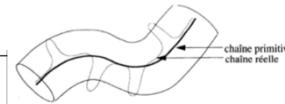
Technical Polymers :

Development of a predictive method : Diffusion time

Determination of a reptation time = $f(T^\circ)$
(rheological measurements)



Pierre-Gilles de Gènes theory

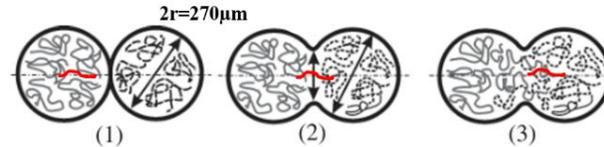


Inter-beads adhesion

✓ Diffusion

2. Coalescence

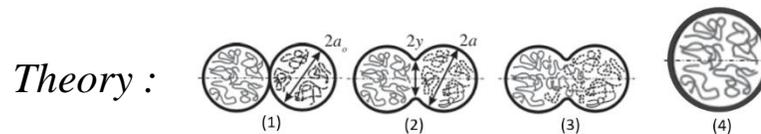
3. Crystallization



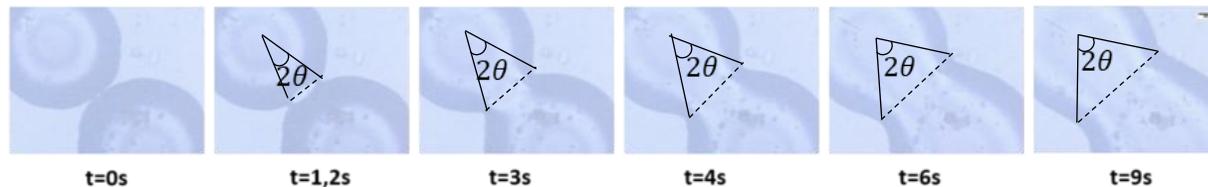
Bellehumeur 1998, 2004, Jagota 1988; Hopper 1993; Hopper 1984; Pokluda 1997; Frenkel 1945; D. Eshelby 1949;

Technical Polymers :

Development of a predictive method : Coalescence time



Experimental observations :



Inter-beads adhesion

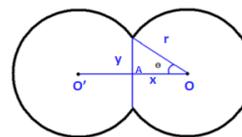
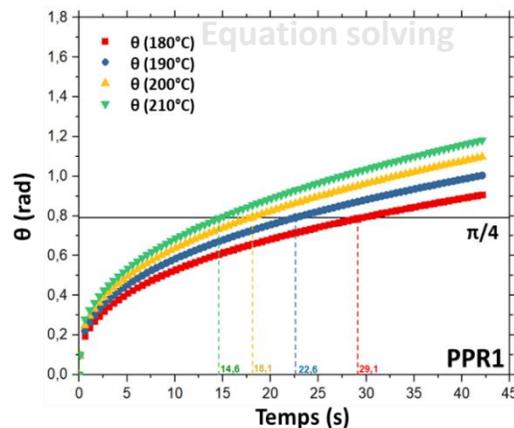
✓ Diffusion

✓ Coalescence

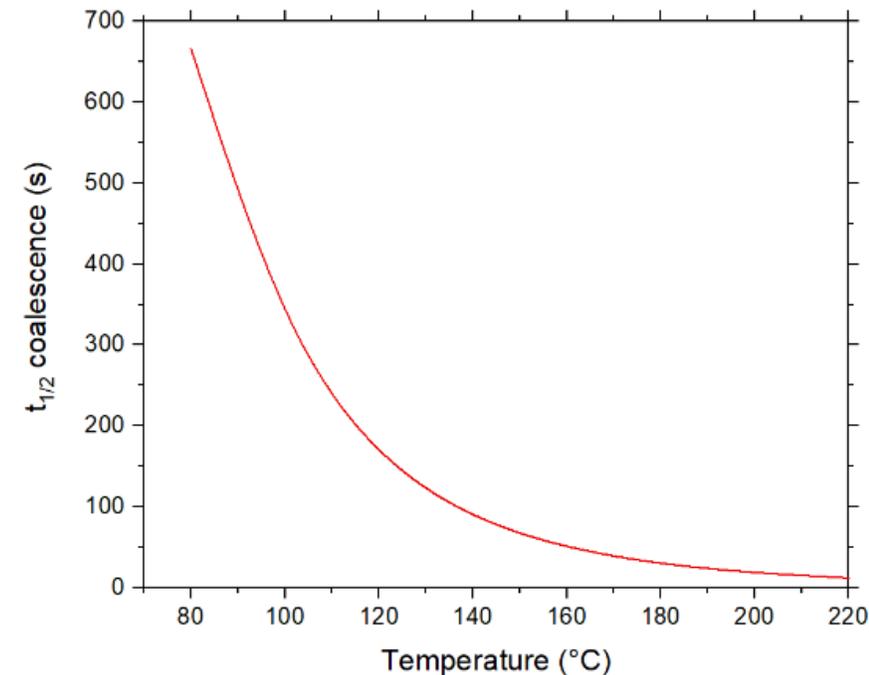
3. Crystallization

Analytical approach :

Work of viscous forces
=
work surface tension

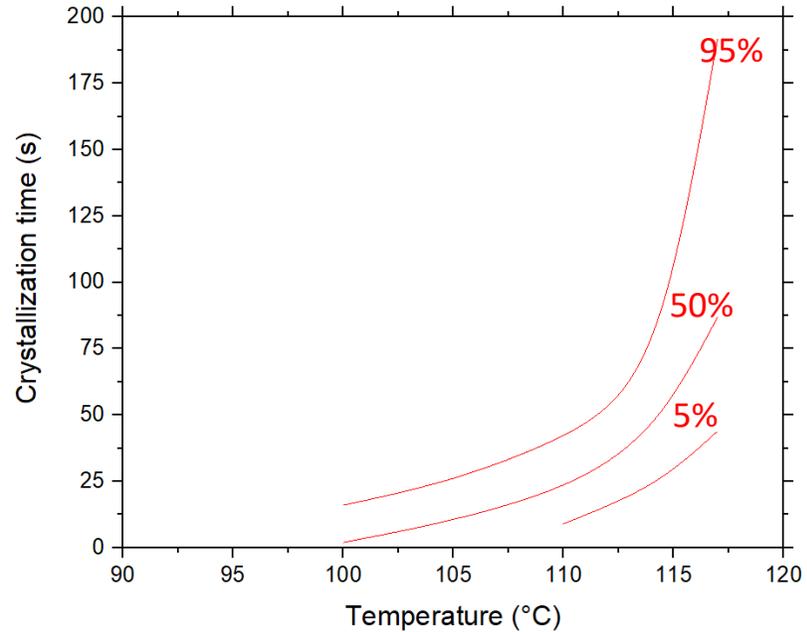
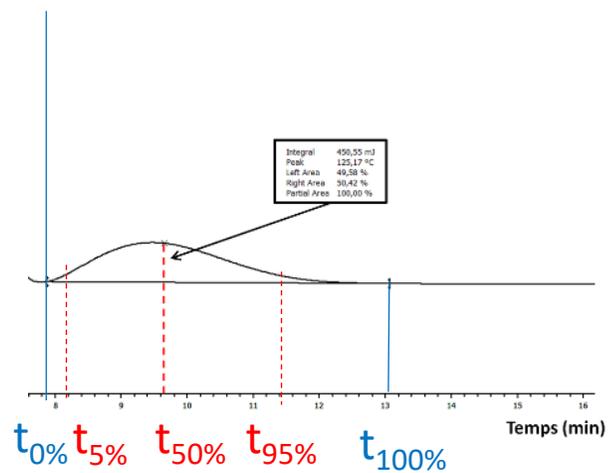


Arrhénius law



Technical Polymers :

Development of a predictive method : *Crystallization time*



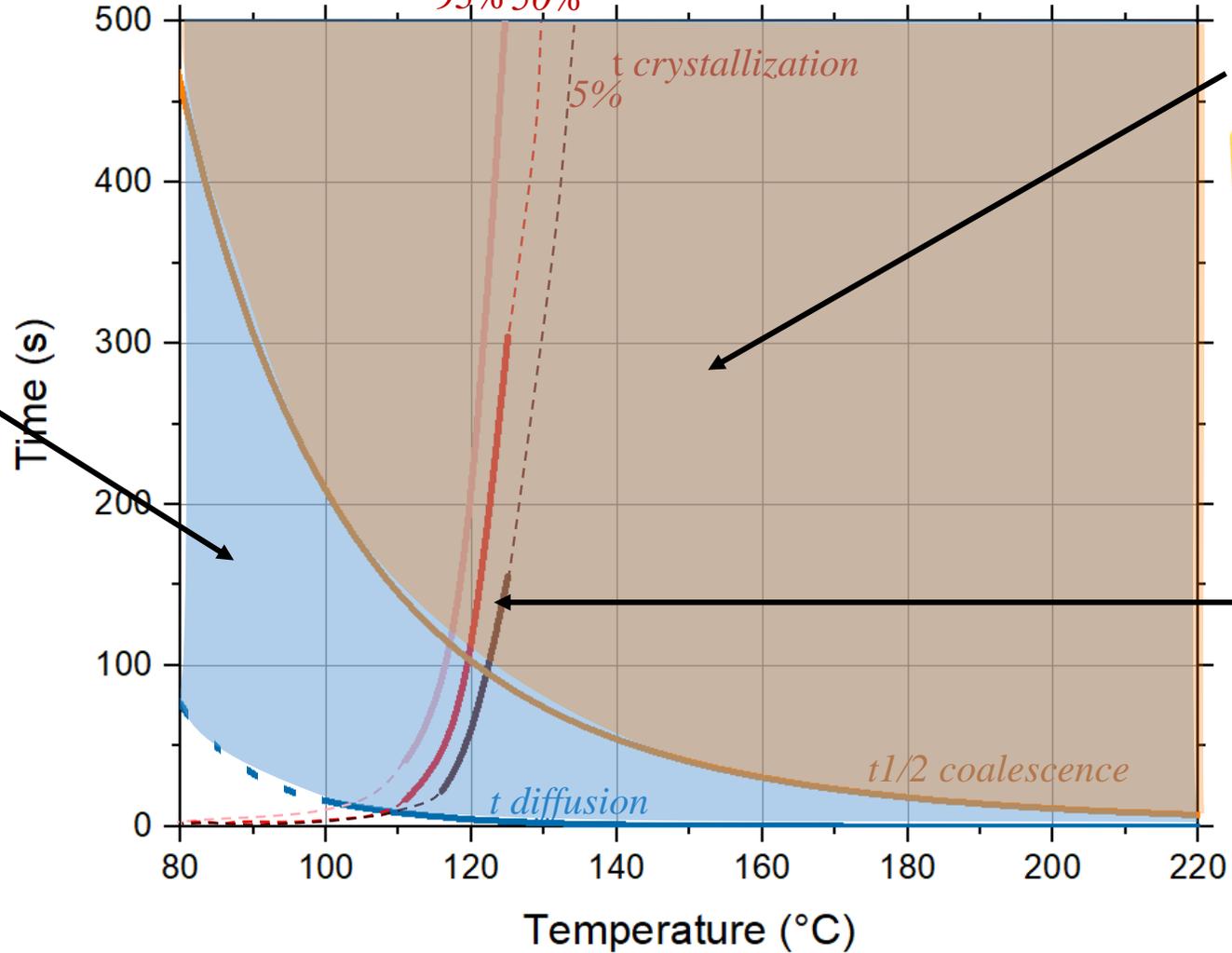
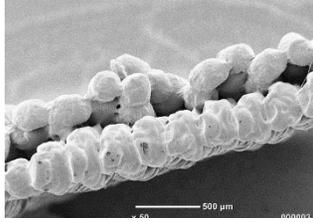
Inter-beads adhesion

- ✓ Diffusion
- ✓ Coalescence
- ✓ Crystallization

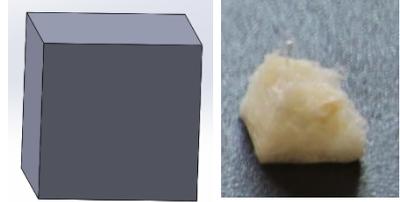
Bellehumeur 1998, 2004, Jagota 1988; Hopper 1993; Hopper 1984; Pokluda 1997; Frenkel 1945; D. Eshelby 1949;

Diffusion time < Coalescence time < Crystallisation time

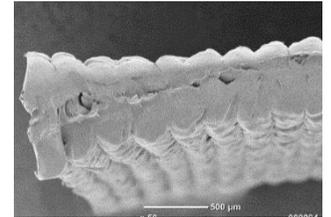
No or low adhesion



Creep

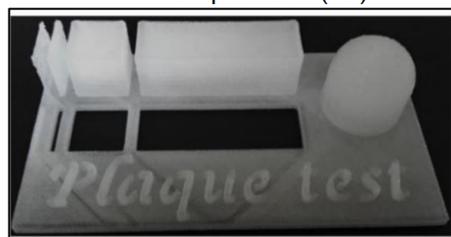
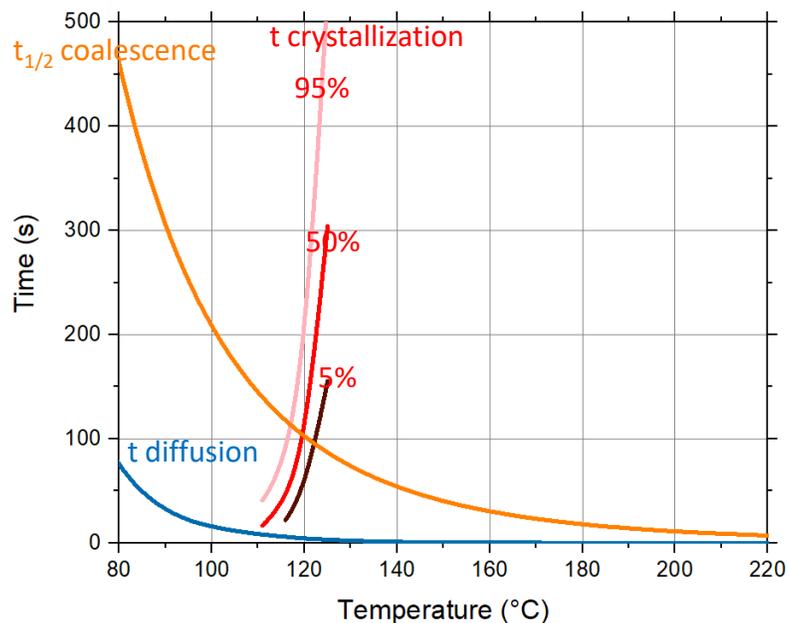


Correct 3D part



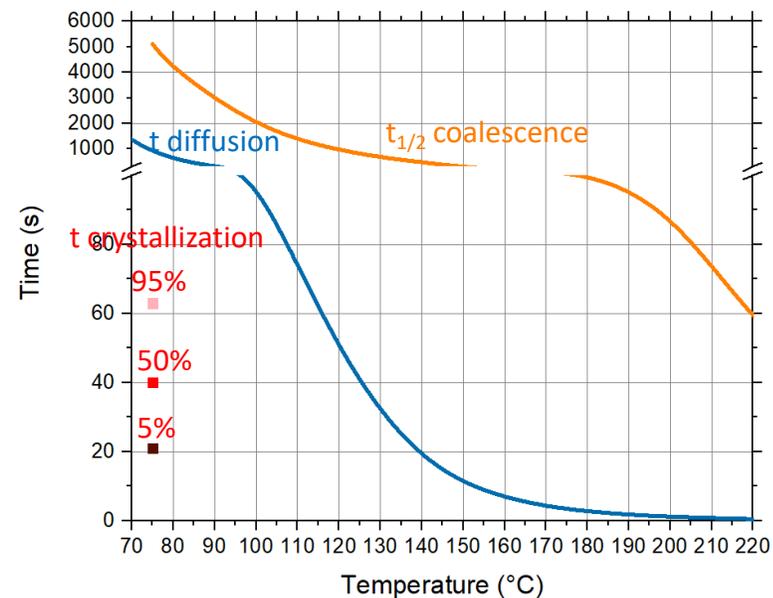
Technical Polymers:

Development of a predictive method for technical polymers



Tch=110°C

No processability window



Tch=110°C

Mise en œuvre en impression
3D de polymères techniques
et résultats associés

Merci de votre attention

Des questions ?



AGENDA

MOT D'ACCUEIL, INTRODUCTION ET PRÉSENTATION DU PÔLE MATERIALIA

PRÉSENTATION D'INTERREG ET DU PROJET PEPS

INTERVENTION TECHNIQUE SUR LES FORMULATIONS DES POLYMÈRES, LEURS MISES EN ŒUVRE POUR L'IMPRESSIION

MISE EN ŒUVRE EN IMPRESSION 3D DE POLYMÈRES TECHNIQUES ET RÉSULTATS ASSOCIÉS

IMPRESSIION 3D DE POLYMÈRES CHARGÉS EN POUDRES CÉRAMIQUES ET MÉTALLIQUES ET RETOUR SUR UNE ÉTUDE COMPARATIVE D'IMPRESSIION 3D « PIM LIKE »



**IMPRESSION 3D DE POLYMÈRES CHARGÉS EN POUDRES CÉRAMIQUES ET
MÉTALLIQUES
ET RETOUR SUR UNE ÉTUDE COMPARATIVE D'IMPRESSION 3D « PIM LIKE »**

Mme Delphine Auzène



Centre Régional d'Innovation et de Transfert de Technologie

Le CRITT-MDTS : Qui sommes nous?

Nous mettons à disposition des entreprises:

- Expertise des matériaux métalliques, dépôts et traitements de surface
- Moyens complets d'analyse et d'essais (Métallographie, Caractérisation des surfaces et revêtements, Essais mécaniques, Analyse chimique)
- Des plates formes semi-industrielles pour des projets de R&D

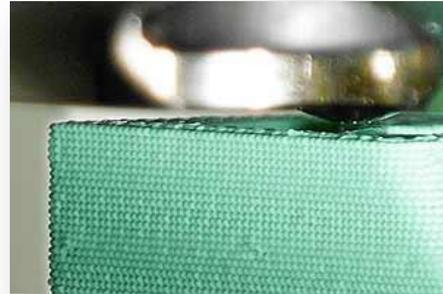


Les domaines d'excellence:

- Etude et caractérisation des dispositifs médicaux implantables
- Powder Injection Moulding (PIM)
- La Fabrication additive (PIM like)
- Tribologie, usure
- Traitements et revêtements par plasma froid

Impression 3D au sein du consortium

Freeformer – AKF Arburg technology



Source: Arburg

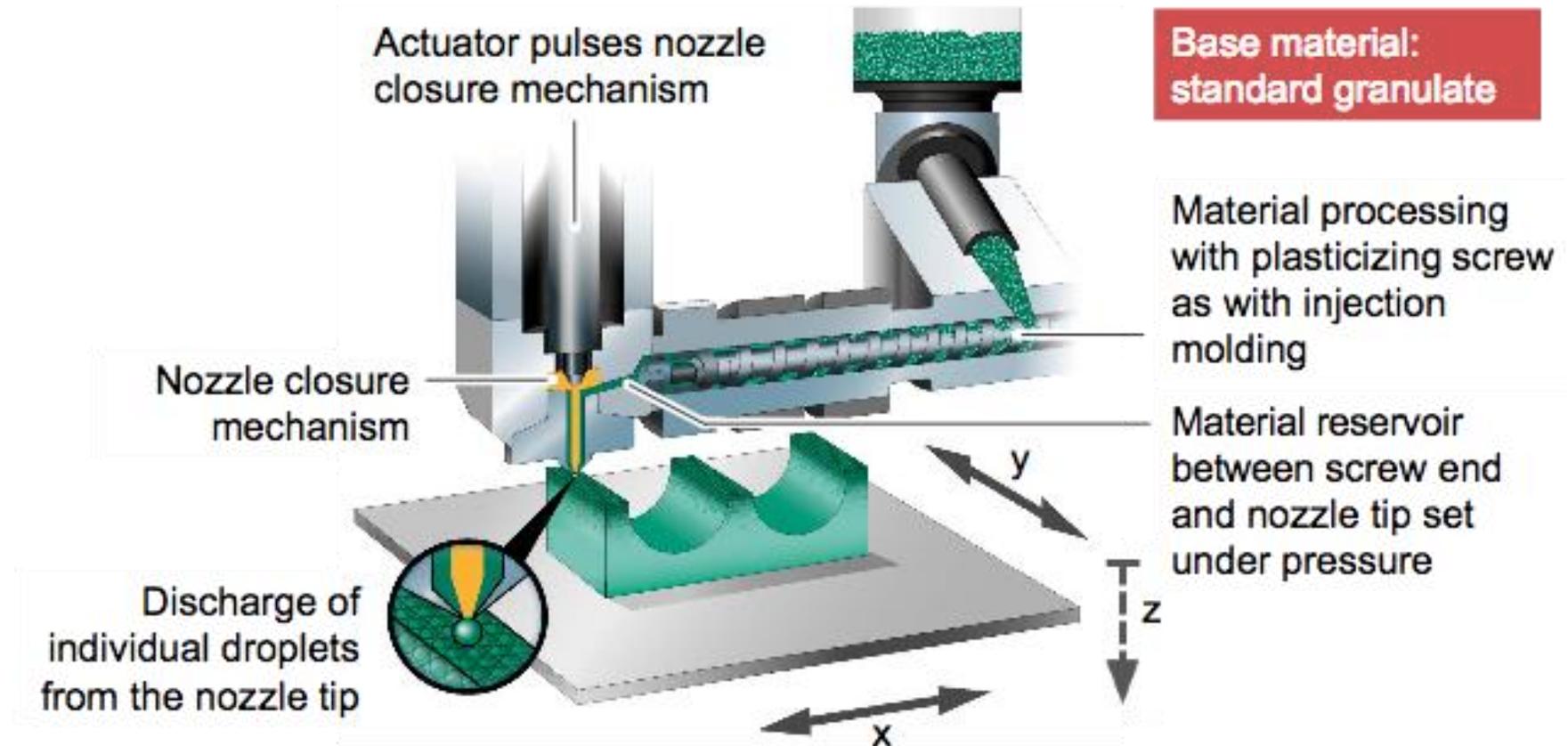
Raise 3D- FDM



Direct 3D - extrudeur



Principe du freeformer



Matériaux et limitations pour le freeformer

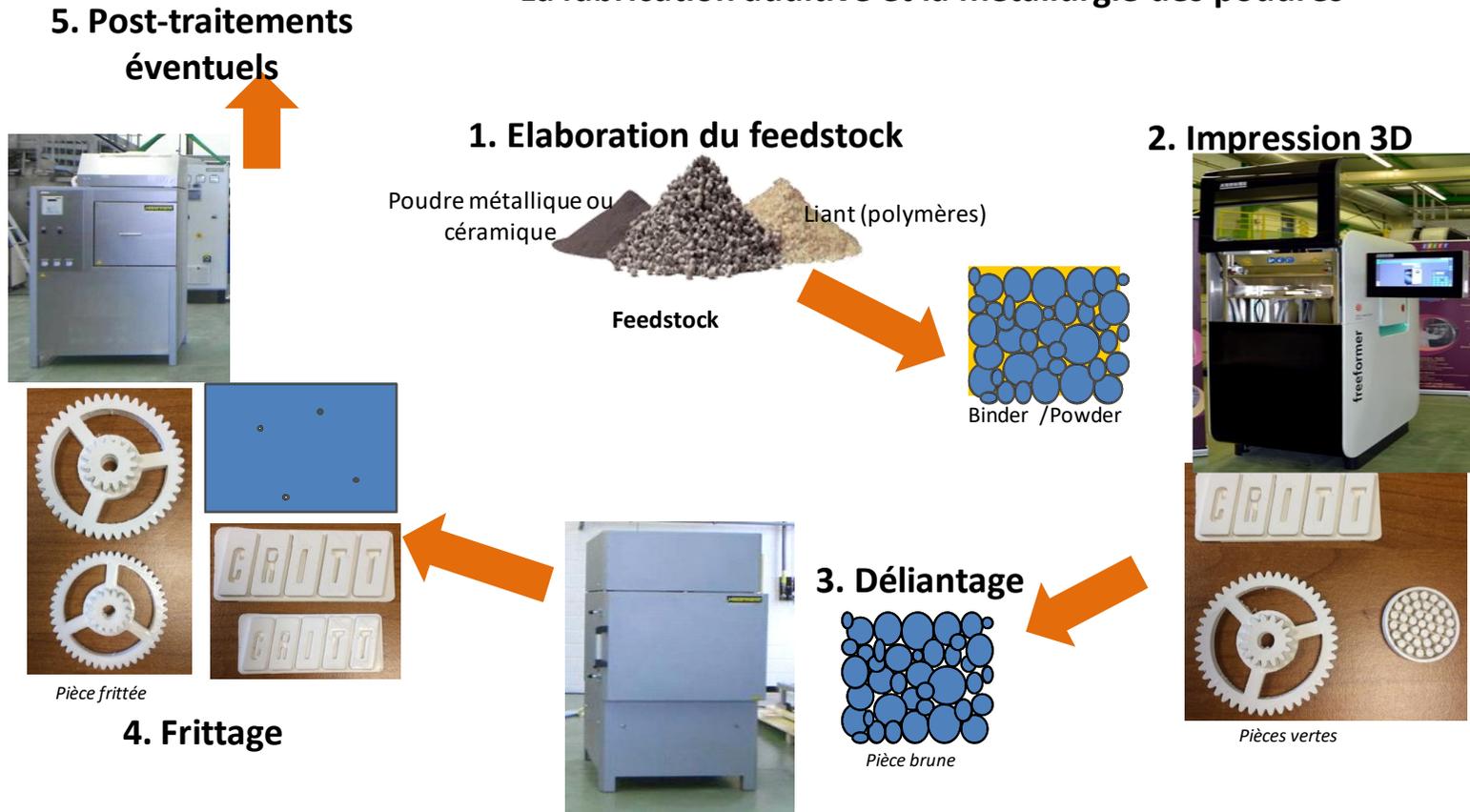
- 2 unités de plastification/dépose: 2 matériaux, 2 couleurs, souple/rigide, matériau support
- Matériaux qualifiés: ABS, PA12, TPE, PC, etc...
- Testés au CRITT : SAN, PLLA, Zircone, etc...
- Limitations:
 - T_{max} 350°C
 - T chambre 120-130°C

Systeme ouvert: en théorie: tous les thermoplastiques



Procédé PIM Like = similaire au procédé PIM

La synergie de 2 techniques :
La fabrication additive et la métallurgie des poudres

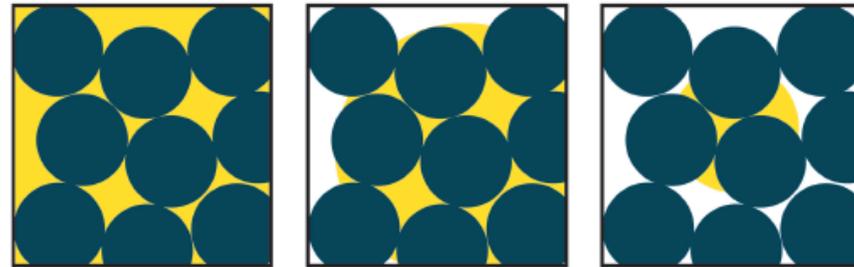


Les procédés « PIM-like » sont les procédés où l'étape de mise en forme par injection est remplacée par une étape de fabrication additive

Traitements de déliantage

Déliantage : opération qui consiste à éliminer le liant principal de la pièce, tout en conservant la forme de la pièce.

Élimination progressive du liant



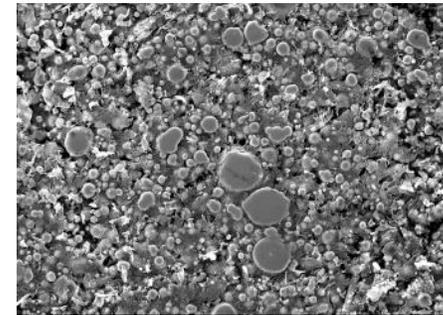
■ Métal

■ Liant



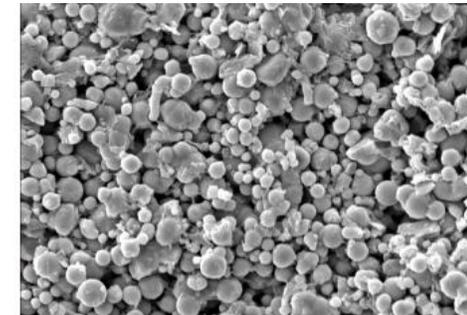
Pièce manipulable dense, composite

Pièce manipulable poreuse très fragile avec peu de polymère



Signal A = SE1 EHT = 20.00 kV WD = 8 mm Zone Mag = 1.00 K X 10µm

Pièce verte imprimée



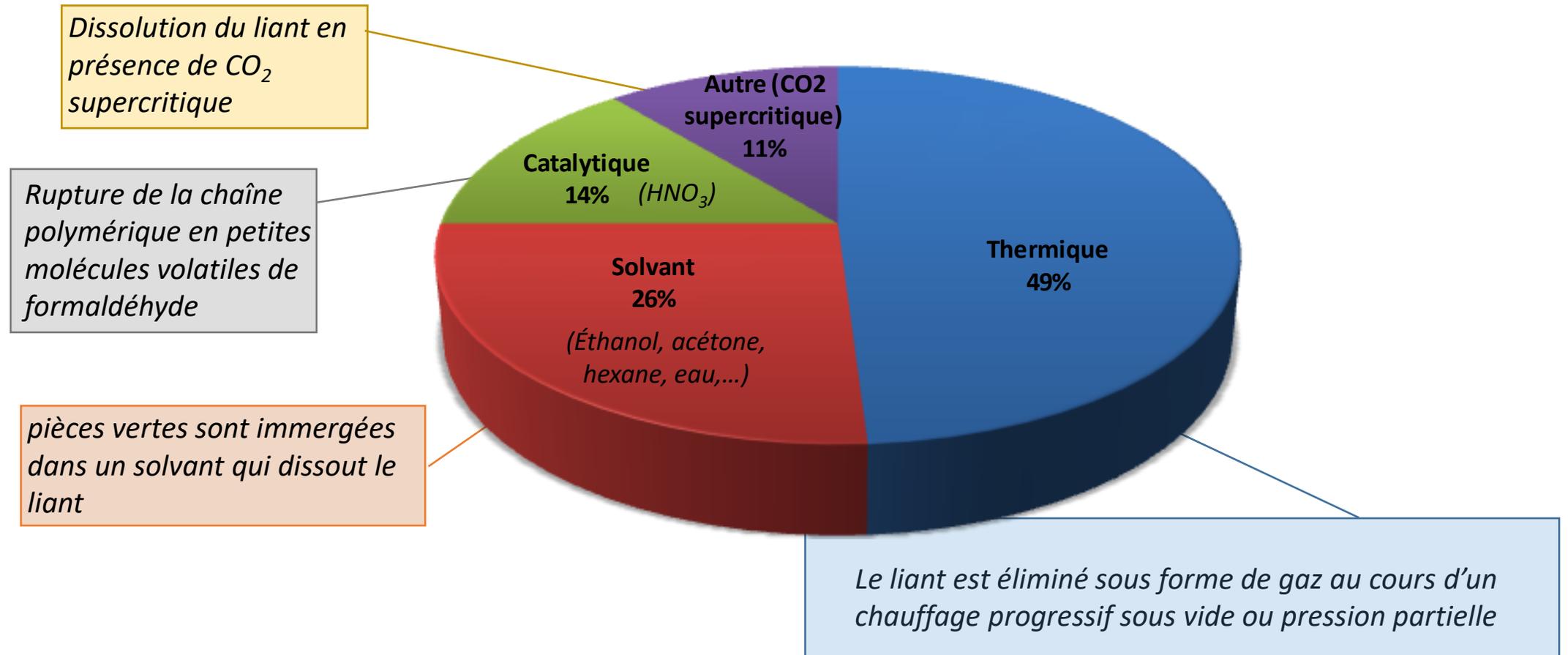
Signal A = SE1 EHT = 20.00 kV WD = 12 mm Zone Mag = 3.00 K X 10µm

Pièce brune déliantée

Traitements de déliantage

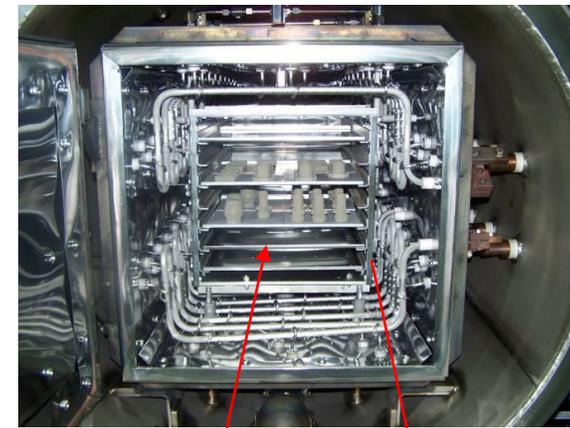
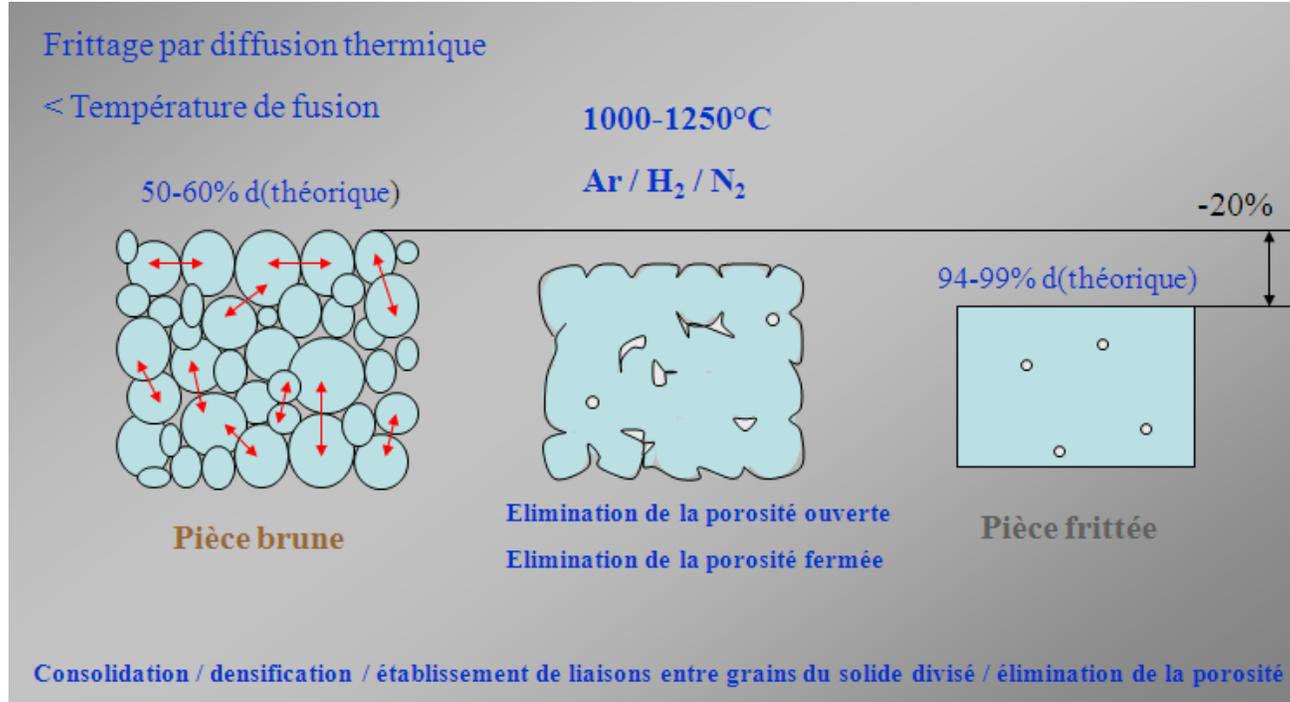
Différents procédés de déliantage :

Le procédé de déliantage appliqué est imposé par la nature du liant présent dans le feedstock



Traitements de frittage

Frittage en phase solide



Pièce frittée :

- Dense, porosité supprimée
- Microstructure (porosité résiduelle, taille de grains, composition chimique)

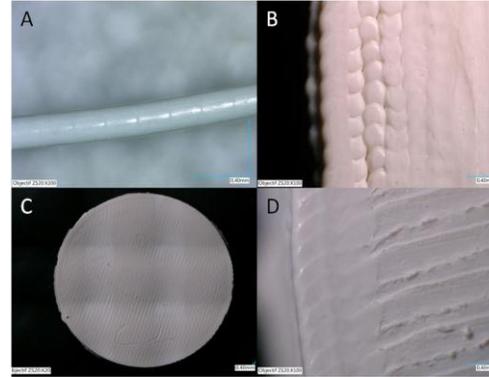
Technologie « Fused Feedstock Deposition »



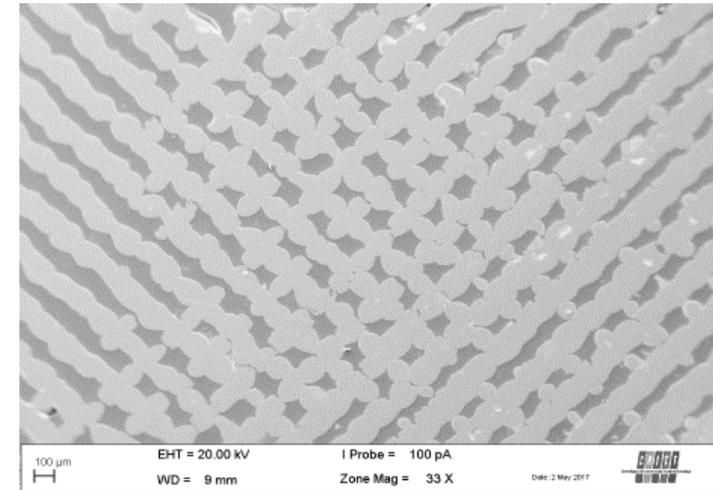
Feedstocks
commercial



Filament and first layer



Scaffold structure

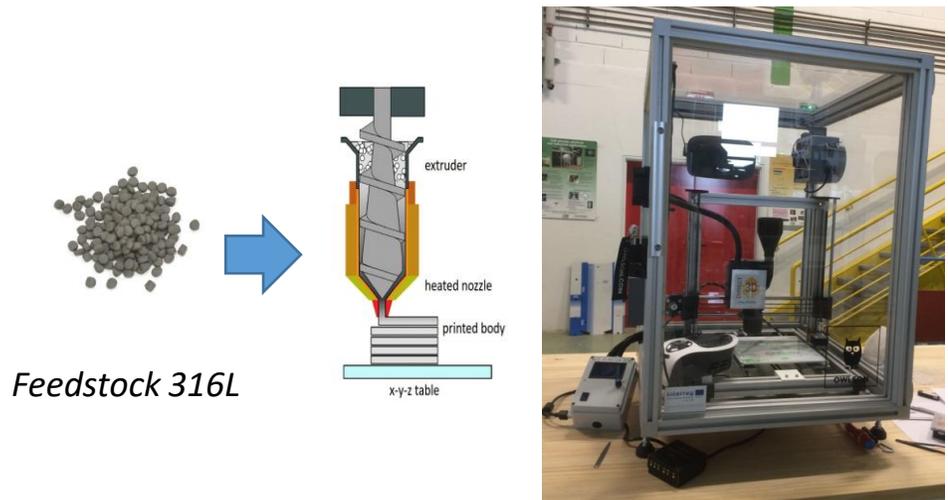


100μm

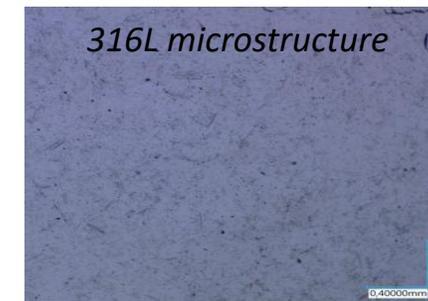
White and black green and sintered zirconia



Technologie Fused Feedstock Deposition

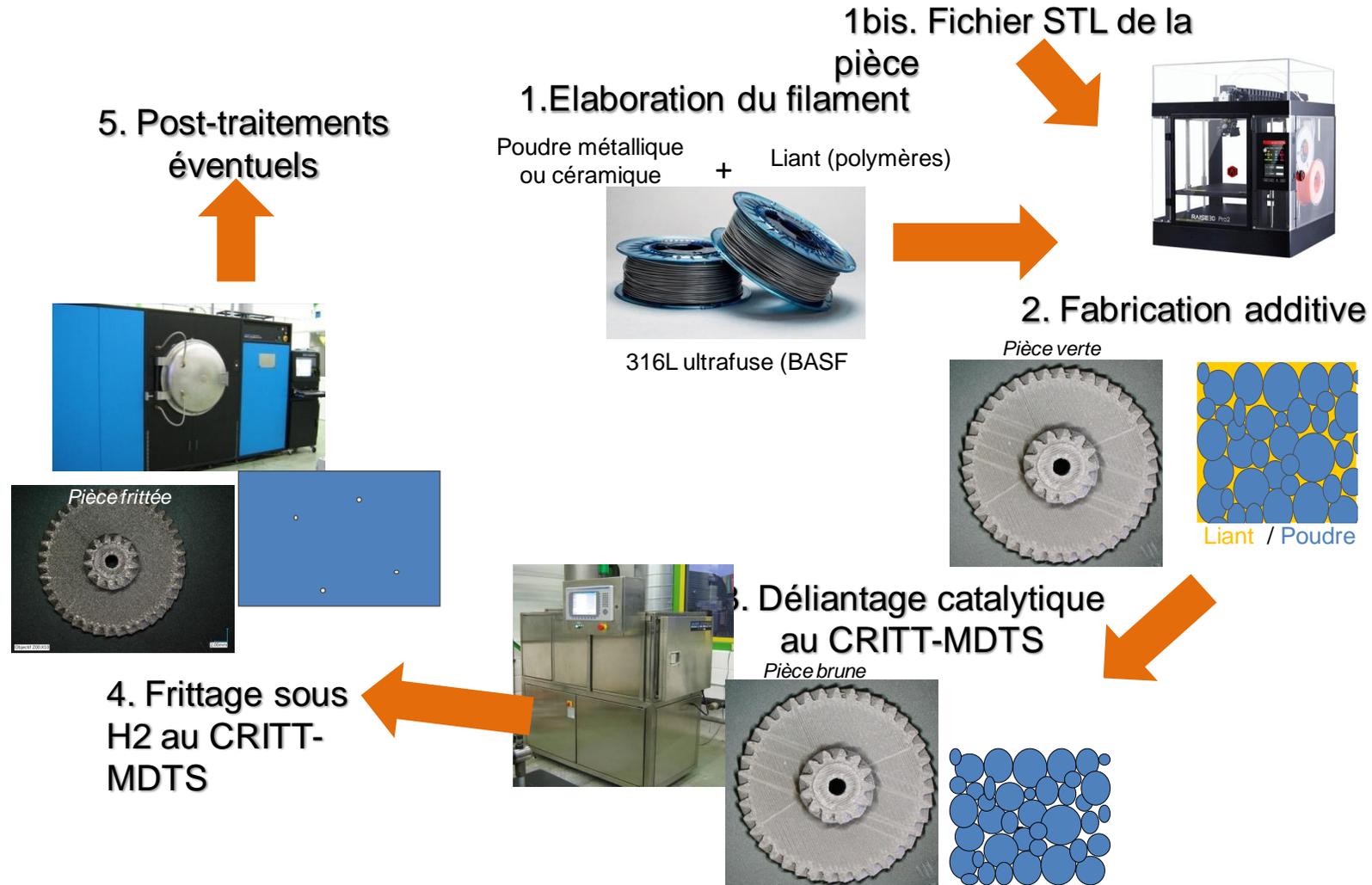


	density (g/cm ³)	Ra after printing (μm)	Ra after roughness (μm)	Rp _{0,2} (Mpa)	Rm (Mpa)	A (%)	Shrinkage X & Y (%)	Z shrinkage (%)
316L Direct 3D	7.67	33,7	1,4	170	470	55	-15.5	-17,72
316LPIM	7.80	-	-	>180	>510	-	-16.9	

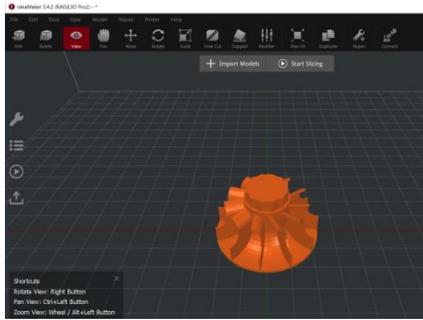


Nous avons pu également imprimer par extrusion du TA6V et de la zircone

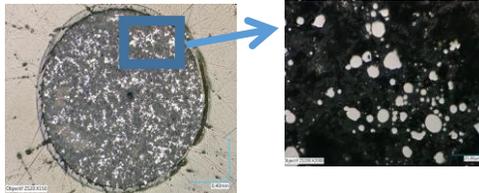
Technologie Fused Filament Fabrication : principe



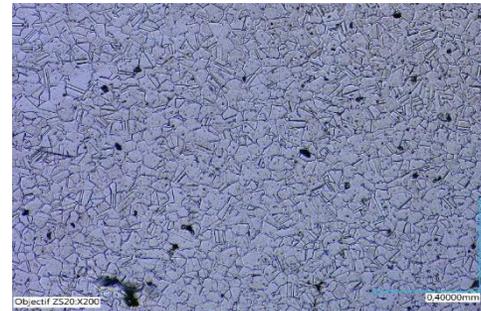
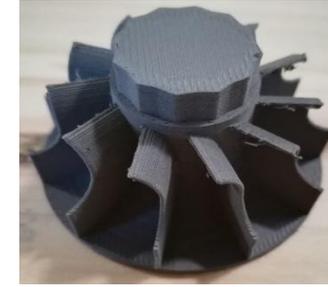
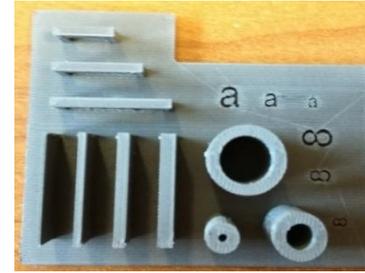
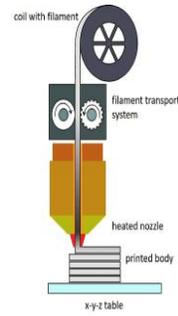
Technologie Fused Filament Fabrication :



Observation du filament
Ultrafuse 316L (polymère/316L):



Gaine de polymère entourant un composite polymère/métal contenant des particules de 316L <15µm

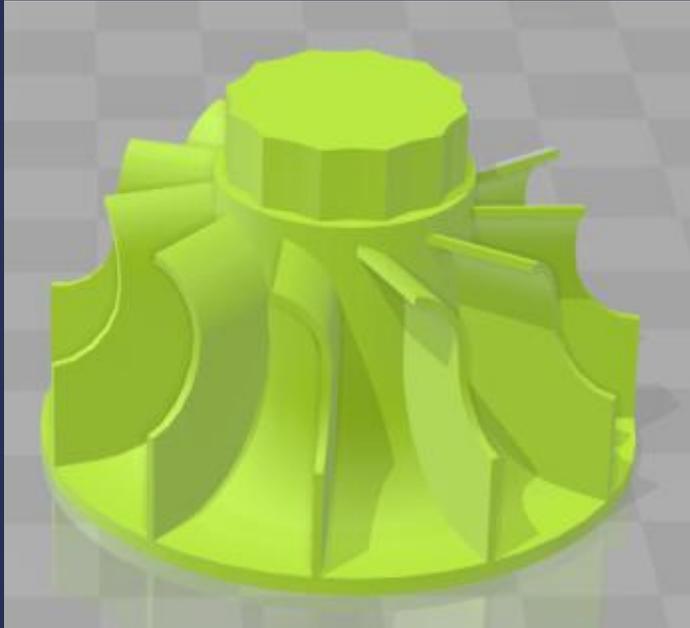


	Density	Rp _{0,2}	Rm	A	Shrinkage X & Y	Z shrinkage
	(g/cm ³)	(Mpa)	(Mpa)	(%)	(%)	(%)
316L Ultrafuse	7,7	140	400-430	-	-16-16,5	-19,5
316L PIM	7,8	>180	>510	-	-16.9	

Retour sur l'étude comparative entre différentes technologies d'impression 3D « PIM like » pour une même pièce

Procédé 3D	Entreprise	Coût de l'impression / pièce	Coût de l'imprimante HT	Matière
Technologie SLM : (directe) Lit de poudres avec faisceau laser ; Pas de structure scaffold à l'intérieur	Plateforme Platinum utilisant l'imprimante SLM 280 HL de chez SLM Solutions	100€	>250 k€	Aluminium
Binder Jetting : Lit de poudres avec cartouche d'impression, procédé nécessitant les post-traitements de déliantage et de frittage, pas de structure scaffold à l'intérieur	EXONE (Innovent +)	190€	120 k€	316L
	DIGITAL METAL (DMP2500)	150€	>250 k€	316L
FFF : Fused Filament Fabrication Bobine de filaments chargés de métal, structure scaffold à l'intérieur	EPF avec la 3D metal X de chez Marforged vendue par ERM	190€	93k€ (imprimante) 10k€(laveur) 15k€(frittage)	17-4PH
FFD : Fused Feedstock Deposition Extrudeur à granulés chargés métal monté sur une imprimante type FDM, structure scaffold à l'intérieur	AIM 3D (ExAM255)	300€	90k€ (imprimante) 25k€ (déliantage et frittage)	316L
	3D FIGO (FFD150H)	100€	20k€ (imprimante)	TA6V

Retour sur l'étude comparative entre différentes technologies d'impression 3D « PIM like » pour une même pièce



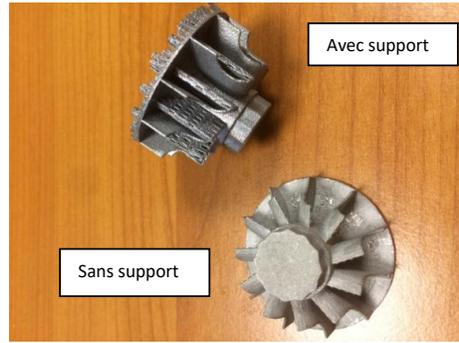
Fichier STL



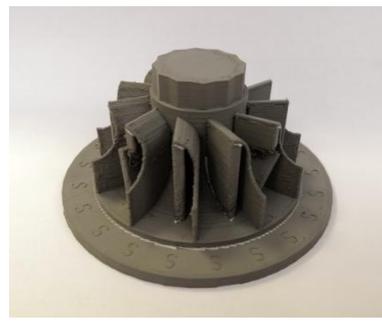
*Turbine imprimée par imprimante
filamentaire au CRITT*

Observation des pièces imprimées :

SLM-AI



MAR 17-4PH



EX-316L



AIM-316L



DIG-316L

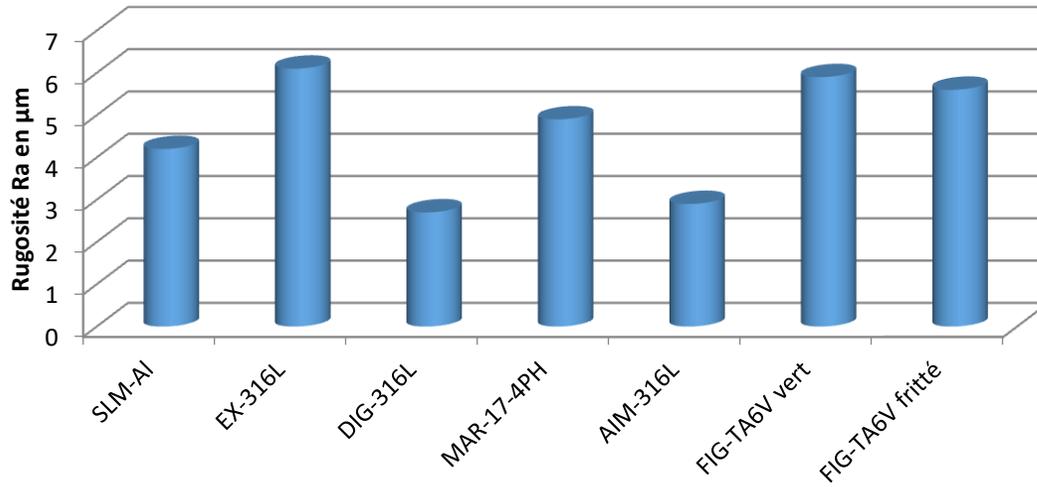


FIG-TA6V

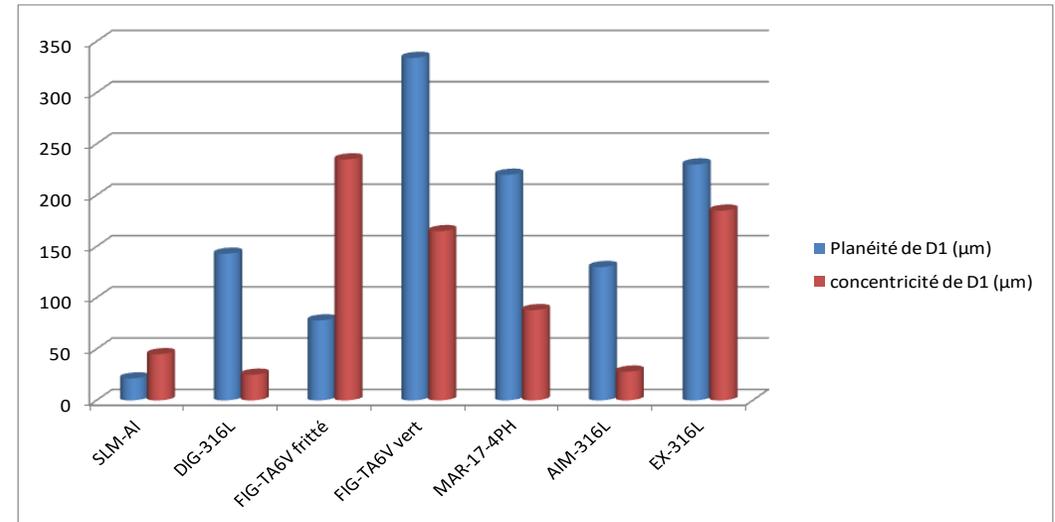
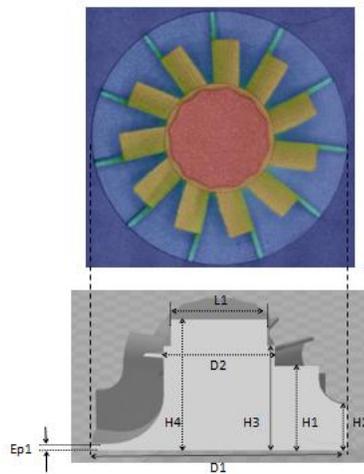


Rugosité :

Figure comparative de la rugosité Ra pour 6 démonstrateurs imprimés par 6 procédés 3D différents

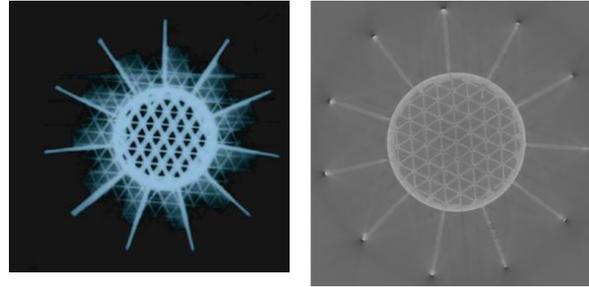


Mesurage:



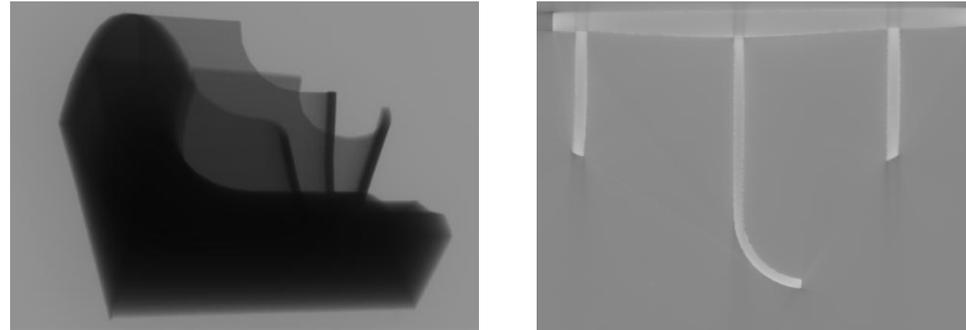
Contrôle en radiographie et tomographie:

MAR 17-4PH



= > Conservation de la structure scaffold après déliantage et frittage

DIG-316L



= > Grande difficulté de contrôler la pièce : du fait de son cœur dense et plein et de ses hélices fines

Analyse chimique:

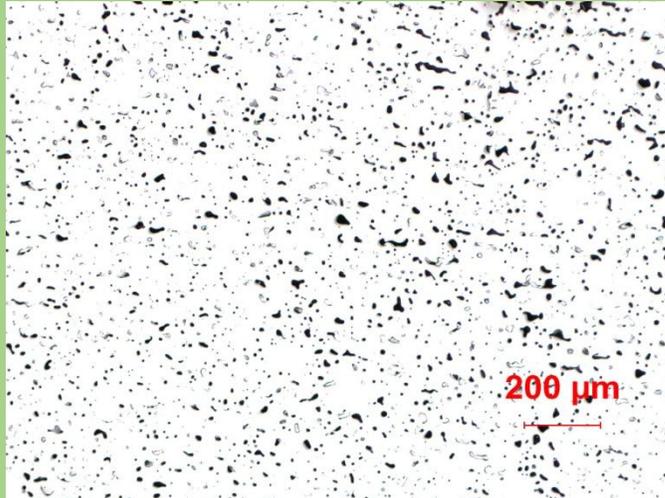
=> Toutes les nuances des turbines ont été contrôlées et hormis la turbine en aluminium imprimée par SLM, les autres turbines sont non conformes

Résultat des turbines en 316L :

Élément	Unité	DIG 316L	AIM 316L	EX 316L	Norme(s) de référence	
					ISO 5832-1 (2016)	ASTM F 138-19
C	%	0,02	0,03	0,14	0,030 max	0,030 max
Si	%	0,66	0,29	0,57	1,0 max	0,75 max
Mn	%	1,18	0,22	1,14	2,0 max	2,00 max
Ni	%	11,24	10,09	10,19	13,0 à 15,0	13,00 à 15,00
Cr	%	17,13	16,19	15,86	17,0 à 19,0	17,00 à 19,00
Mo	%	2,12	2,15	2,19	2,25 à 3,0	2,25 à 3,00
S	%	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,010 max	0,010 max
P	%	< 0,015	< 0,015	0,018	0,025 max	0,025 max
Cu	%	< 0,05	< 0,05	0,13	0,50 max	0,50 max
Co	%	< 0,05	< 0,05	0,06	-	0,10 max
N	%	0,007	0,011	0,004	0,10 max	0,10 max
Céq = 3,3Mo + Cr	%	24,13	23,29	23,09	≥ 26	≥ 26,0

Analyse métallographique:

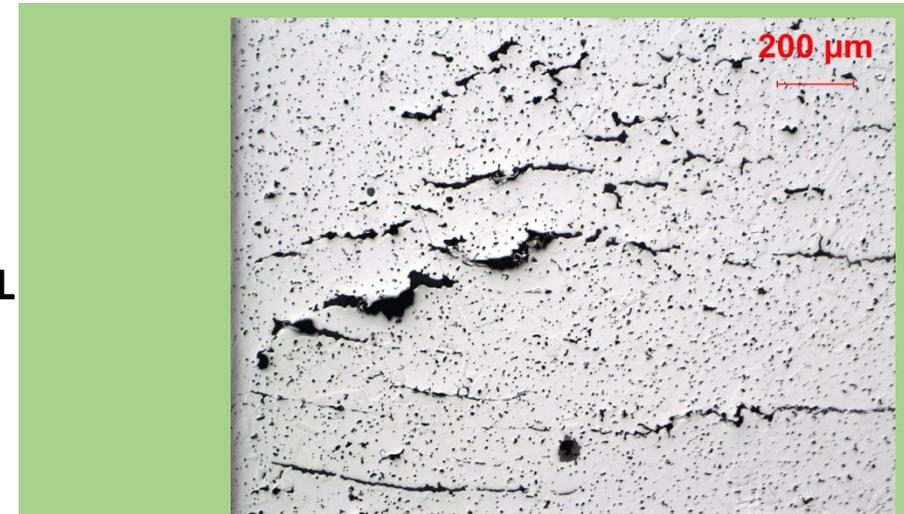
EX-316L



DIG-316L



AIM-316L



Bilan des analyses :

Repérage	Taux de porosité	Densité	Dureté HV1	Défauts	Microstructure	Taille de grain	Rugosité Ra en μm / Etat de surface
SLM-AI (AlSi10Mg)	0.8%	2,63g/cm ³ (98,8% de la densité maximale (2,66g/cm ³))	128 (98% de la dureté théorique)	Présence de porosités	Dendritique liée au procédé de fusion laser, non équiaxe	/	4.2
EX-316L	6.7%	7,32g/cm ³ (91.5% de la densité maximale (8,00g/cm ³))	108 (84% de la dureté théorique)	Présences de porosités à cœur et en surface avec plus de porosités en surface	Austénitique maclée équiaxe	4-5	6.1
DIG-316L	0.8%	7,81g/cm ³ (97,6% de la densité maximale (8,00g/cm ³))	117(91% de la dureté théorique)	Présence de porosités	Austénitique maclée équiaxe	6-7	2.7
MAR-17-4PH	8.1%	Structure scaffold – pas possible	352 (98% de la dureté théorique)	Présence de porosités	Martensitique équiaxe	/	4.9
AIM-316L	4.3%	7,71g/cm ³ (96% de la densité maximale (8,00g/cm ³))	122(95% de la dureté théorique)	Présence de porosités et de criques	Austénitique maclée équiaxe	5-6	2.9
FIG-TA6V fritté	8.9%	Structure scaffold interne, 4,01g/cm ³ 91,1% de la densité maximale (4,40g/cm ³)	305 HV1, (90%de la dureté théo.)	Porosités sphériques, manque de matière entre les couches imprimées	microstructures lamellaires équiaxes caractéristiques du TA6V	7	5.6

Conclusion et perspectives:

Conclusion : Différentes technologies d'impression 3D ont pu être comparées d'un point de vu *santé matière, respect des cotes dimensionnelles, respect et conservation de la nuance et rugosité.*

La notion de la tenue mécanique n'est abordée que partiellement avec les mesures de dureté. Avec les technologies que nous disposons au sein du consortium PEPS, nous pourrons aller plus loin.

Perspective : Continuer ces développements d'impression « PIM like » en fonction de vos retours et de vos besoins.

Les essais suivants seront menés :

- Et les aspects rhéologiques afin de définir les formulations imprimables en fonction de l'imprimante.
- La robustesse des imprimantes à imprimer des polymères chargés
- Les caractéristiques mécaniques (avec l'impression d'éprouvettes de traction ou de compression),
- Avec différentes matières céramiques, métalliques, etc...en fonction de vos besoins et de vos retours

Rendez vous sur le site internet du projet PEPS pour demander cette d'étude complète:

<https://www.peps-interreg.eu/>

Impression 3D de polymères chargés en poudres
céramiques et métalliques et retour sur une étude
comparative d'impression 3D « PIM like »

Merci de votre attention

Des questions ?





Conclusion

Merci à tous pour la participation à ce webinaire!

Merci de remplir le questionnaire de satisfaction dont le lien s'affiche sur le chat

Voici les coordonnées des orateurs si vous souhaitez reprendre contact avec eux:

Pierre Le Maître : pl@certech.be

Pierre Ovlaque : pierre.ovlaque@imt-lille-douai.fr

Delphine Auzène : d.auzene@critt-mdts.com

Alain Caniaux : alain.caniaux@materia.fr

Prochaine journée technologique le 25 Mars 2021 à Arlon à la Haute Ecole Robert Schuman en partenariat avec le projet Interreg Fabricar3v et le pôle Matéria

Rendez vous sur le site internet du projet :

<https://www.peps-interreg.eu/>