



Ronan LEBULLENGER et al.

« Fabrications Additives et Verres »



*Institut des Sciences Chimiques de Rennes
UMR 6226
Equipe Verres & Céramiques*

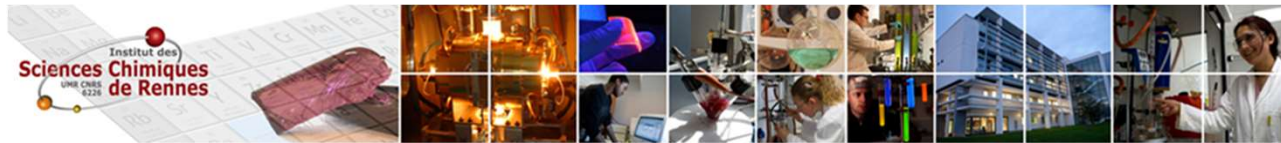


*Institut de Physique de Rennes
UMR 6251
Dpt Mécanique & Verre*



Mechglass2024:
Thematic Day Mechanics of Glasses
12-12 Jan 2024 Paris (France)





« Pourquoi » la fabrication additive (impression 3D) du verre

- Produire des objets « physique » à géométrie particulière

« Comment » la fabrication additive (impression 3D) de verre

- Conception volume « virtuel » par CAO (Fusion360 , FreeCad, Catia, Solidworks...)
- Slicing , tranchage, langage GCode (Cura, ...)

- Diverses techniques « état de l'art »

« Résultats » de fabrication additive (impression 3D) de verres

- fibres microstructurées par FFF – verre de chalogénure TAS (verres IR)
- SLS (laser CO₂) sur verre silicate sodo-calcique , chimie assistée par laser (Biomatériaux)

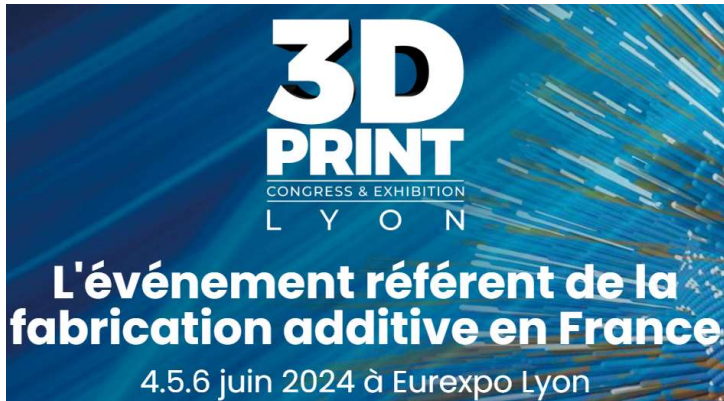
« Futur » de la fabrication additive (impression 3D) de verre



Mechglass2024:
Thematic Day Mechanics of Glasses
12-12 Jan 2024 Paris (France)



Fabrication Additive Impression 3D



Communautés FA – 3D print

<https://rfacnrs.fr/>

<http://rdm.cnrs.fr/>

<https://www.3dnatives.com>

<https://franceadditive.tech/>



Mechglass2024:
Thematic Day Mechanics of Glasses
12-12 Jan 2024 Paris (France)



Histoire

Jean-Claude ANDRÉ

1983 CNRS

inventeur SLA

avec Alain Le Méhauté et Olivier de Witte (ALCATEL)

Chuck HULL USA 3DSystems

1983 stéréolithographie STL

Inventeur « officiel » de l'imprimante 3D



Fabrication Additive

Impression 3D

2020

ÉTAT DES LIEUX DU MARCHÉ

DE L'IMPRESSION 3D EN FRANCE

3DCeram - Site web : <https://3dceram.com/>

Créée en 2001, 3DCERAM SINTO est une société installée à Limoges

3D Modular Systems - Site web : <http://3dmodularsystems.com/>

3D Modular Systems est une société spécialisée dans la conception et la vente d'imprimantes 3D modulables et évolutives « made in France », créée par 3 passionnés.

AddUp - Site web : <https://www.addupsolutions.com/>

AddUp est une joint-venture, née en 2016 suite à la décision des deux groupes industriels Fives et Michelin de créer, en 2015, Fives Michelin Additive Solutions. Cette société a pour ambition de faire bénéficier ses clients de son expérience et de son savoir-faire unique en développant et commercialisant à l'échelle mondiale, des machines et des ateliers de production industriels utilisant la technologie de fabrication additive métallique. En 2019

BeAM Site web : <https://www.beam-machines.fr/>

BeAM est un fabricant mondial de machines de projection de poudre (Directed Energy Deposition) dont le siège social est à Strasbourg, en France. BeAM a été initialement fondé en 2012 en tant que spin-off d'IREPA LASER, un Centre Régional d'Innovation et de

b. Liste des fabricants Français d'imprimantes 3D
(Liste rédigée en Sept 2020, Aniwaa)

www.aniwaa.fr

Machines-3D - Site web : <https://www.machines-3d.com/>

Machines-3D est le E-Shop Européen N°1 en impression 3D. Leur Boutique en ligne est spécialisée en imprimantes 3D et Scanners 3D depuis 2013. Machines-3D propose également

Nanoe - Site web : <http://www.nanoe.com/>

Nanoe est une société spécialisée dans l'alumine et la zircone stabilisée nanométriques, ainsi que dans les composites alumine-zircone (ZTA). Ces oxydes peuvent être fournis sous formes de granulés prêts-à-presser, de barbotines ou encore de filaments, selon les besoins

Poietis - Site web : <https://poietis.com/>

Poietis est un spin-off de l'INSERM et de l'Université de Bordeaux, qui a initialement développé une nouvelle technologie haute résolution de bio impression par laser. La

Pollen AM - Site web : <https://www.pollen.am/>

Pollen AM est créé en 2013 après 2 ans de R&D. Pollen AM propose des imprimantes 3D basées sur une architecture delta, qui utilise pour matériaux d'impression 3D des granulés, aussi bien plastiques qu'à base de métaux.

Nobula3D glass , Sweden



Mechglass2024:
Thematic Day Mechanics of Glasses
12-12 Jan 2024 Paris (France)



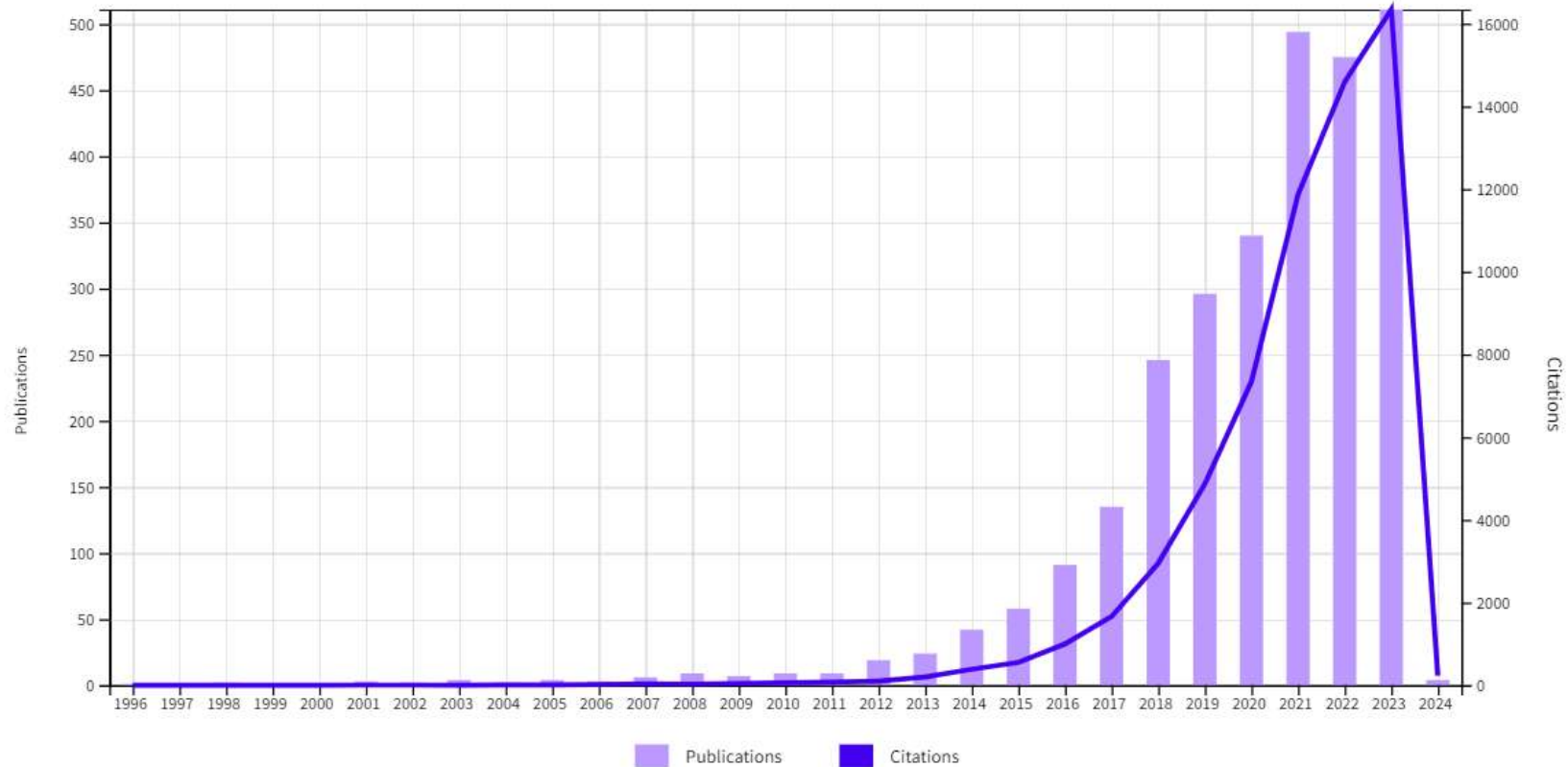
« additive manufact* glass » : **2420 résultats**
sur la période 1985 -2024 (All Fields)

« 3D print glass » : **2798 résultats**
sur la période 1996 -2024

Publications 2,798 Total From 1900 to 2024	Citing Articles 39,493 Analyze Total 37,972 Analyze Without self-citations	Times Cited 62,390 Total 56,922 Without self-citations	22.3 Average per item	107 H-Index
---	---	---	---------------------------------	-----------------------

Times Cited and Publications Over Time

DOWNLOAD



Materials & Design 227 (2023) 111736

A comprehensive review on additive manufacturing of glass: Recent progress and future outlook

Chenxing Xin^{a,1}, Zheng Li^{a,b,1}, Liang Hao^{a,b}, Yan Li^{a,b,*}

^a Gemmological Institute, China of Geosciences, 430074, PR China

^b Advanced Manufacturing Center, China University of Geosciences, Wuhan 430074, PR China

134 références

Materials & Design 233 (2023) 112285

Additive, subtractive and formative manufacturing of glass-based functional micro/nanostructures: A comprehensive review

Hong Luo^{a,b,1}, Yingying Zhang^{b,c,1}, Jianwu Yu^{b,*}, Xinran Dong^a, Tianfeng Zhou^d

^a College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

^b College of Mechanical and Vehicle Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China

^c James C. Wyant College of Optical Sciences, University of Arizona, AZ 85721, USA

^d School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

382 références

Journal of Materials Science & Technology 119 (2022) 131–149

Invited Review

Additive manufacturing of bulk metallic glasses: Fundamental principle, current/future developments and applications

H.R. Lashgari*, M. Ferry, S. Li

School of Materials Science and Engineering, UNSW Materials and Manufacturing Futures Institute, University of New South Wales, Sydney NSW 2052, Australia

109 références



Mechglass2024:
Thematic Day Mechanics of Glasses
12-12 Jan 2024 Paris (France)



Techniques de fabrication additive

Photopolymérisation sur cuve

Liquides ou pâtes photosensibles

Stratification de couches

Bois, céramiques, métaux

Projection de liant

polymères, céramiques, métaux

Fusion sur lit de poudre

Métaux, polymères, céramiques

Norme ISO
17296-2
2015

Projection de matière

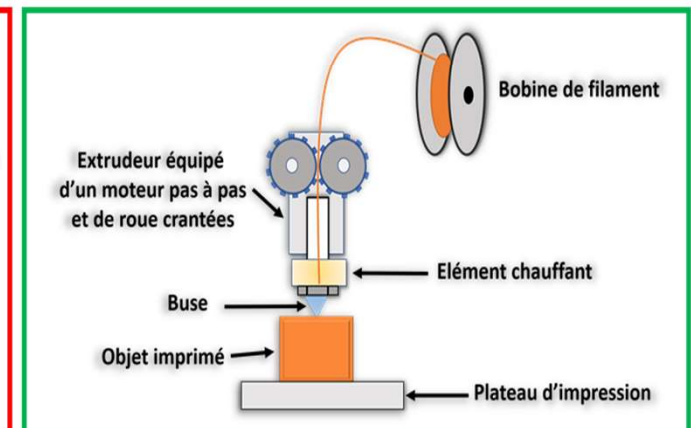
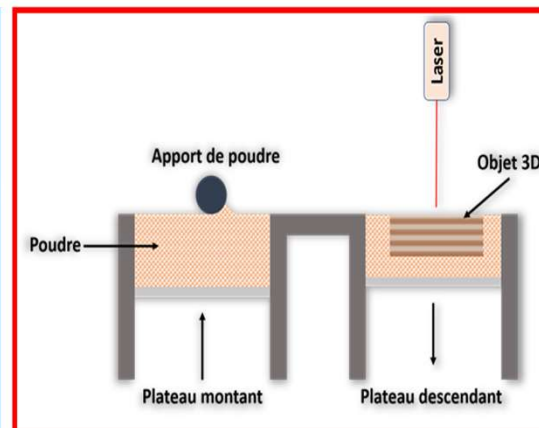
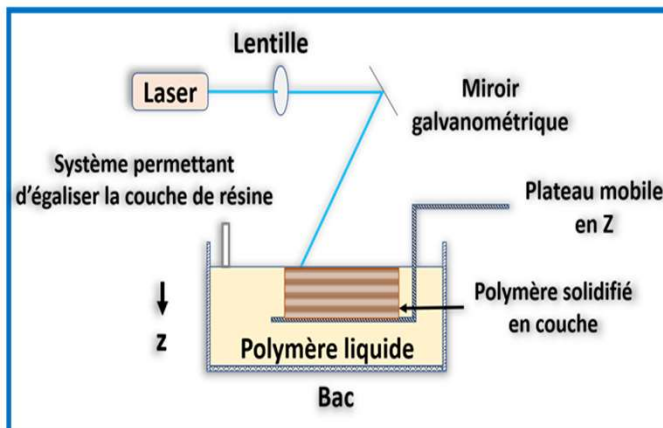
gouttelettes de photopolymère

Extrusion de matière

Filaments de polymère ou céramiques

Dépôt de matières sous flux d'énergie dirigé

Métaux



[Techniques de l'ingénieur : BM 7970 V2 – 2020] – Jean-Claude ANDRE - LRGP – UMR7274 CNRS-UL, 1, rue Grandville, Nancy, France

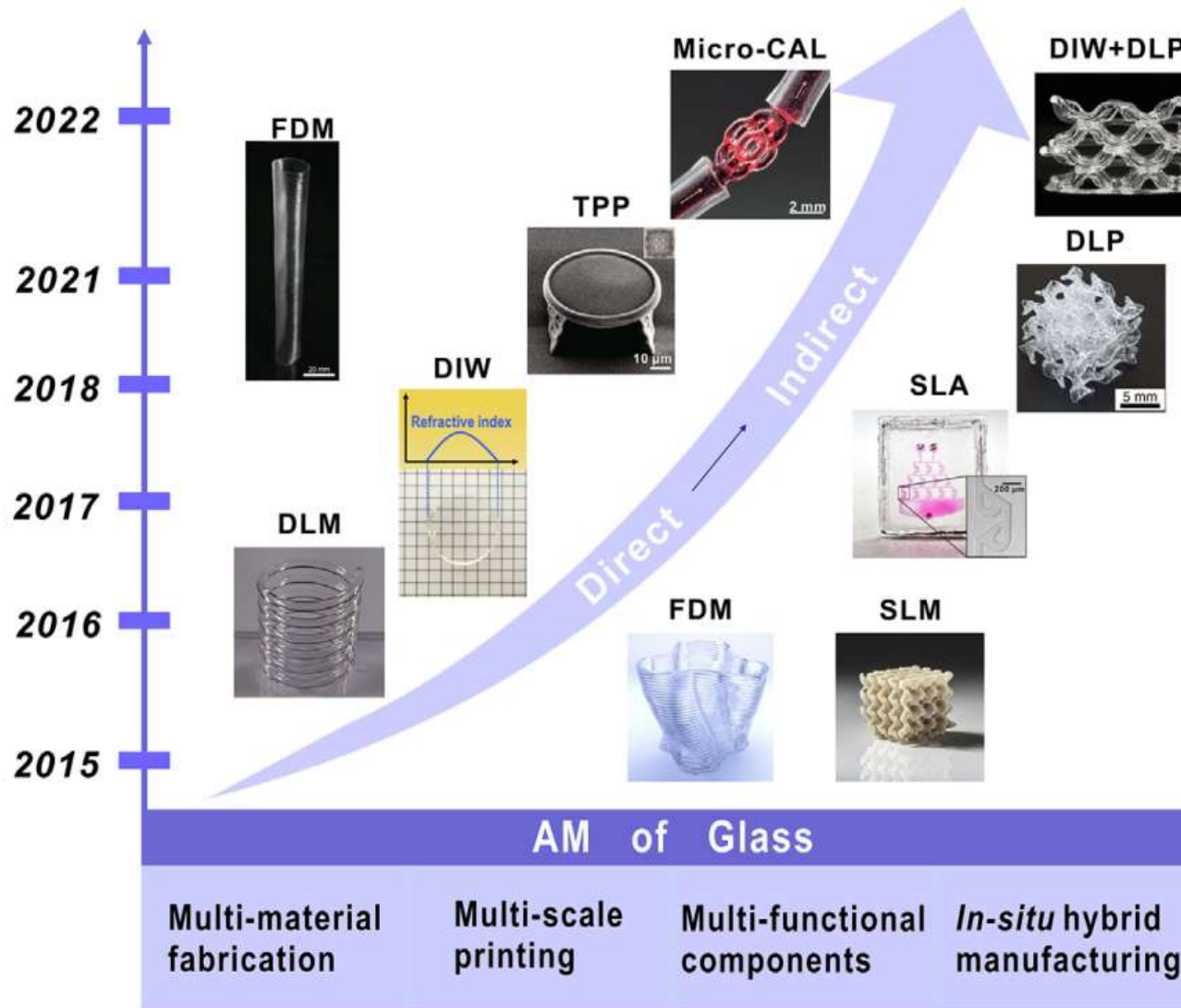
A comprehensive review on additive manufacturing of glass: Recent progress and future outlook

Chenxing Xin ^{a,1}, Zheng Li ^{a,b,1}, Liang Hao ^{a,b}, Yan Li ^{a,b,*}

^a Gemmological Institute, China of Geosciences, 430074, PR China

^b Advanced Manufacturing Center, China University of Geosciences, Wuhan 430074, PR China

Taille objet
Résolution
Direct vs Indirect



Classification of glass AM techniques.

Classification	Glass 3D printing technology type	Abbreviation	Forming scheme	First appeared in
Direct AM techniques	Fused deposition modelling	FDM	Line-layer	2015
	Selective laser melting	SLM	Point-layer	2015
	Directed energy deposition	DED	Point-layer	2016
Indirect AM techniques	Direct ink writing	DIW	Line-layer	2017
	Stereolithography	SLA	Point-layer	2017
	Digital light projection	DLP	Layer-layer	2018
	Two-photon polymerisation	TPP	Point-layer	2021
	Fused deposition modelling	FDM	Line-layer	2021
	Micro-computed axial lithography	Micro-CAL lithography	Volumetric processing	2022

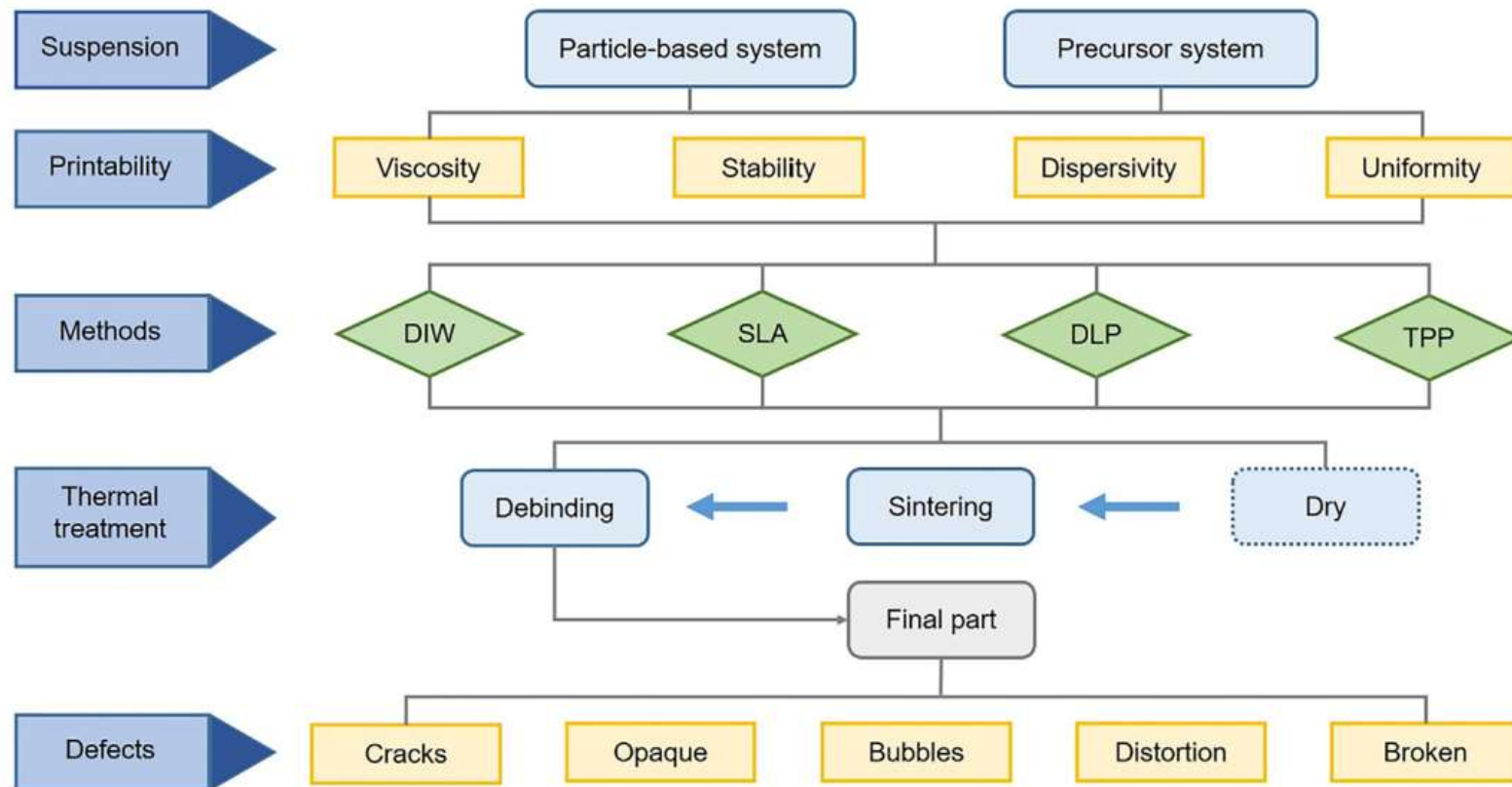
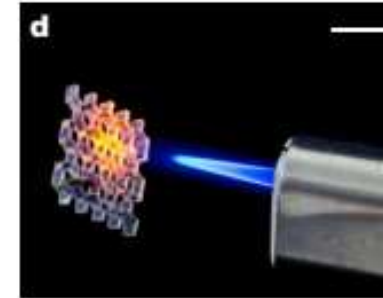
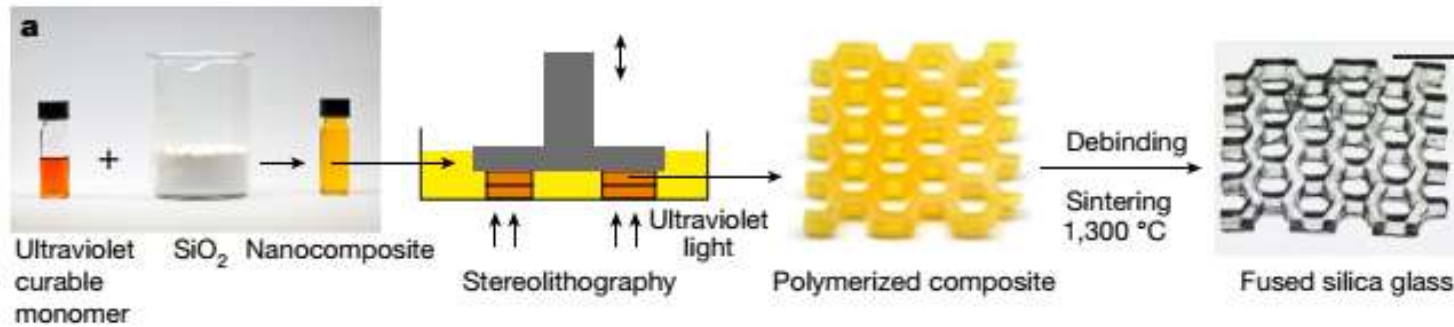


Fig. 5. Flow path of indirect AM technologies.

SLA



PHOTOPOLYMÉRISATION EN CUVE
(*Vat photopolymerization*)
(liquide ou pâte de polymère, ou
de polymère chargé en céramique)



20 APRIL 2017 | VOL 544 | NATURE | 337

doi:10.1038/nature22061

Three-dimensional printing of transparent fused silica glass

Frederik Kotz¹, Karl Arnold¹, Werner Bauer², Dieter Schild³, Nico Keller¹, Kai Sachsenheimer¹, Tobias M. Nargang¹, Christiane Richter¹, Dorothea Helmer¹ & Bastian E. Rapp¹

www.glassomer.com

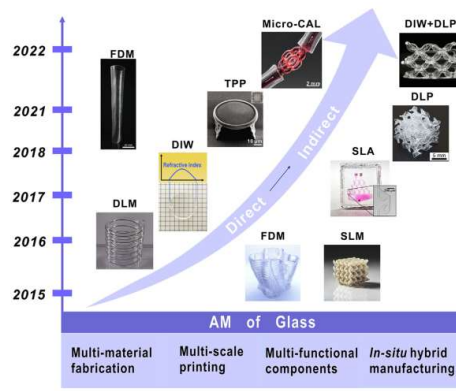


Mechglass2024:
Thematic Day Mechanics of Glasses
12-12 Jan 2024 Paris (France)



Classification of glass AM techniques.

Classification	Glass 3D printing technology type	Abbreviation	Forming scheme	First appeared in
Direct AM techniques	Fused deposition modelling	FDM	Line-layer	2015
	Selective laser melting	SLM	Point-layer	2015
	Directed energy deposition	DED	Point-layer	2016
Indirect AM techniques	Direct ink writing	DIW	Line-layer	2017
	Stereolithography	SLA	Point-layer	2017
	Digital light projection	DLP	Layer-layer	2018
	Two-photon polymerisation	TPP	Point-layer	2021
	Fused deposition modelling	FDM	Line-layer	2021
	Micro-computed axial lithography	Micro-CAL lithography	Volumetric processing	2022



Comparison of different direct 3D printing techniques for glass fabrication.

Techniques	Raw materials	Energy source	3D Printing method
FDM	Glass frits	Heat	Extrusion
SLM	Glass powder	Laser	Powder fusion
DED	Glass filament	Laser	Filament fusion

Standard points of silicate-based glass [1].

Standard point	Viscosity (Pa·s)	Quartz glass (°C)	Borosilicate glass (°C)	Soda-lime glass (°C)	Characteristics
Working point	10^3	~2100	~1270	~1030	At the working point temperature, the viscosity is sufficiently low for glass forming.
Softening point	$10^{6.6}$	~1730	~820	~725	At the working point temperature, the viscosity is sufficiently low for glass to flow. Below this temperature, glass is stiff.
Glass transition temperature	10^{12}	~12000	~525	~530	Range of temperatures at which glass transitions from a highly elastic state to the solid state.
Annealing point	$10^{13.4}$	~1140	~560	~550	Internal stresses are relieved in minutes.
Strain point	$10^{13.6}$	~1054	~518	~506	Internal stresses are relieved in hours.

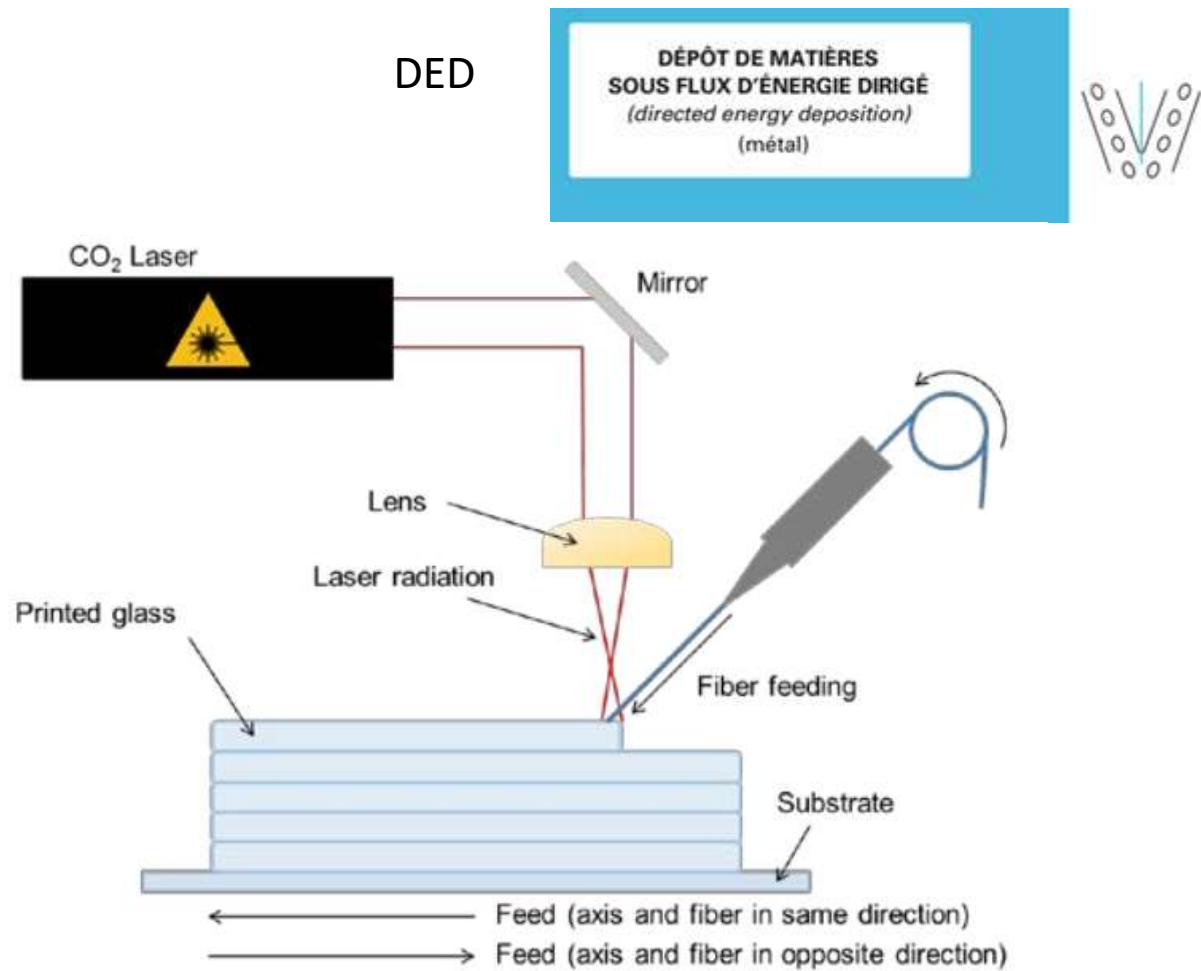


Fig. 1. Sketch of CO₂ laser glass deposition printing setup

Additive manufacturing of glass: CO₂-Laser glass deposition printing

Philipp von Witzendorff^a, Leonhard Pohl^{a,*}, Oliver Suttmann^a, Peter Heinrich^b, Achim Heinrich^b, Jörg Zander^b, Holger Bragard^b, Stefan Kaieler^a



Mechglass2024:
Thematic Day Mechanics of Glasses
12-12 Jan 2024 Paris (France)

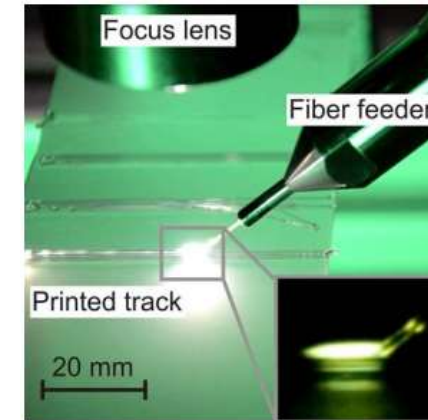


Fig. 2. Process image



Fig. 5. Printed quartz glass cylinder with a diameter of 20 mm and 10 overlying glass layers, $P = 120 \text{ W}$, $f_{\text{rot.}} = f_{\text{adv.}} = 250 \text{ mm/min}$, $\rightarrow \rightarrow$.

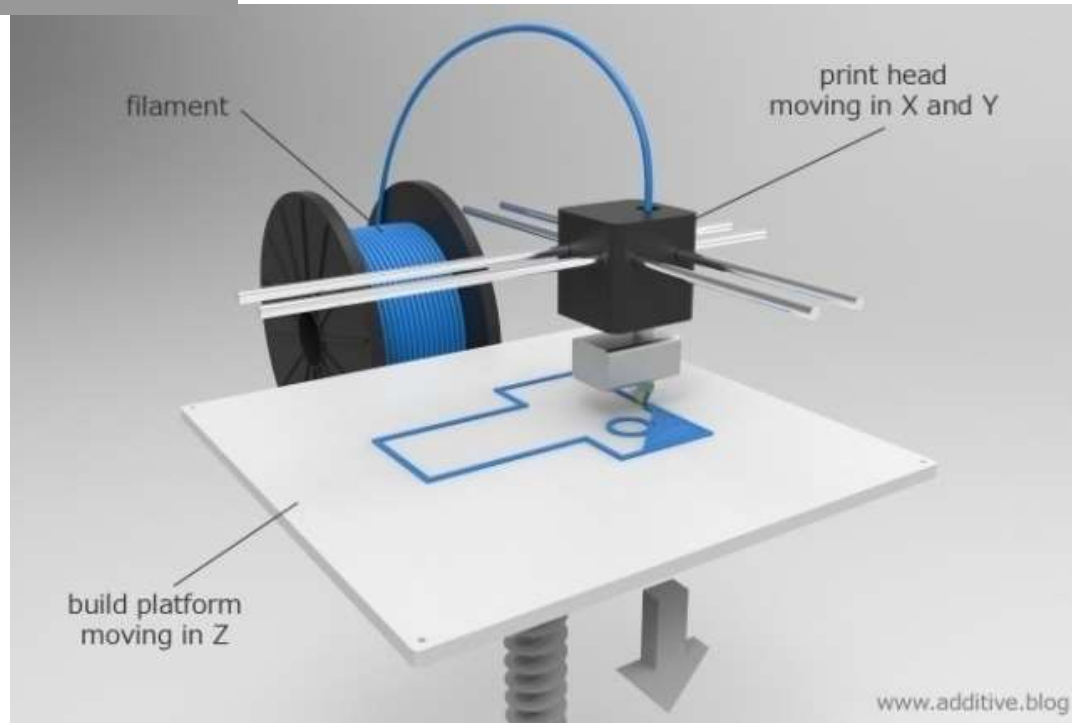
Procedia CIRP 74 (2018) 272–275





EXTRUSION DE MATIÈRE
(material extrusion)
(filament de polymère ou céramique)

❖ FA par FFF (Fused Filament Fabrication) FDM



La conception d'un objet «virtuel 3D» : fichier **format STL**

Logiciel de « tranchage » (Cura) qui gère les conditions d'impressions (flux matière, épaisseur couche (Z), densité remplissage, T°, vitesse déplacement (X,Y), etc ...) en convertissant le premier format STL en un second **format G-Code** (« fichier commande machine »)



STL



GCode



GCode

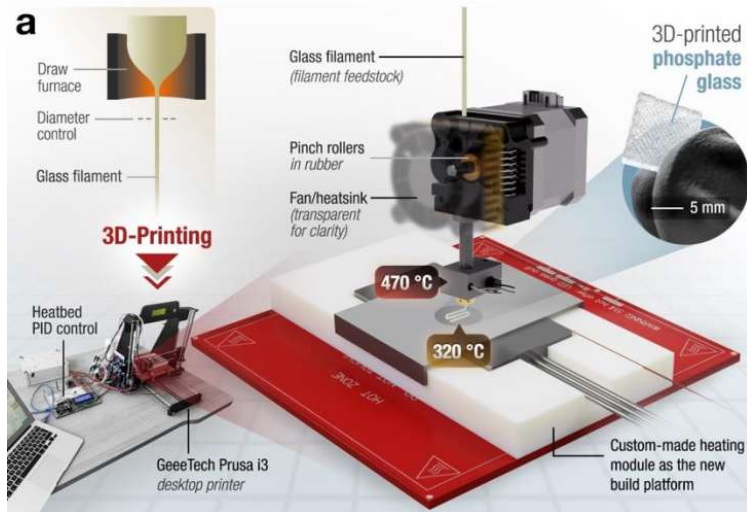


Université
de Rennes

EXTRUSION DE MATIÈRE
(material extrusion)
(filament de polymère ou céramique)

Verres « non-conventionnels » Verre de phosphate dopé Eu

Please cite this article as: R.M. Zaki, C. Strutynski, S. Kaser, et al., Direct 3D-printing of phosphate glass by fused deposition modeling, *Materials & Design* (2020), <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108957>



Bordeaux&COPL Laval Québec

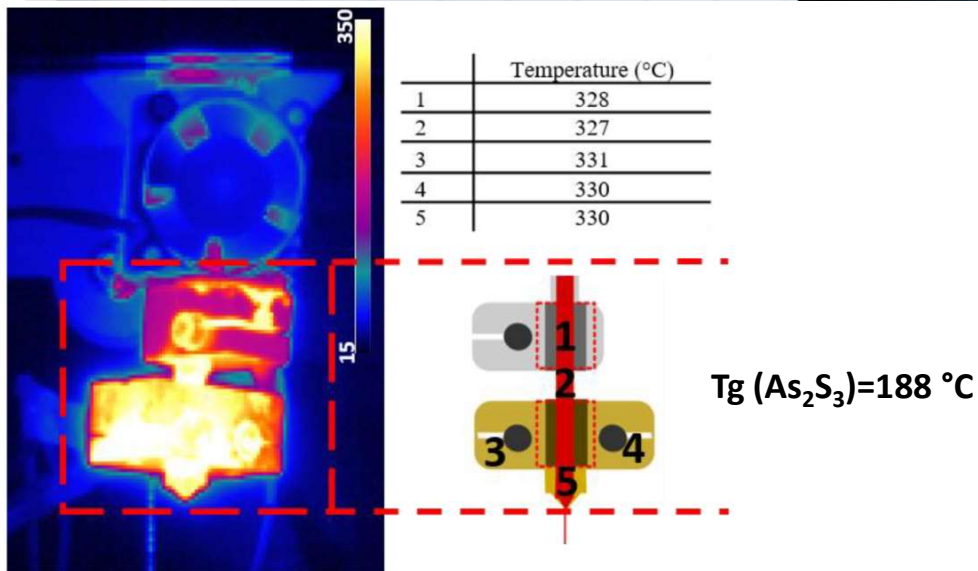
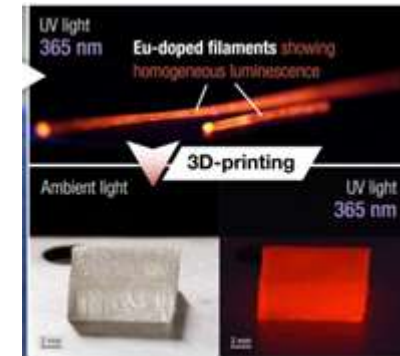


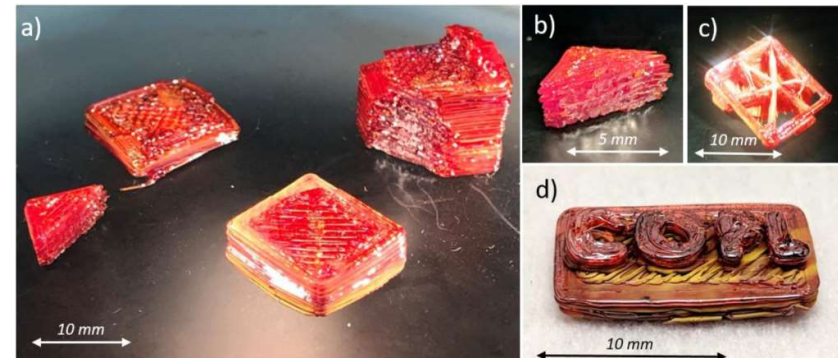
Fig. 2. Temperature distribution observed with thermal camera and measured at specific locations including the nozzle and both extruders 1 and 2 during 3D-printing of $\text{As}_{40}\text{S}_{60}$ chalcogenide glass.

Verres « non-conventionnels » Verre de Chalcogénure As_2S_3

Vol. 9, No. 5/1 May 2019/ *Optical Materials Express* 2307
<https://doi.org/10.1364/OME.9.002307>

E. BAUDET, Y. LEDEMI,* P. LAROCHELLE, S. MORENCY, AND Y. MESSADDEQ

COPL Laval Québec



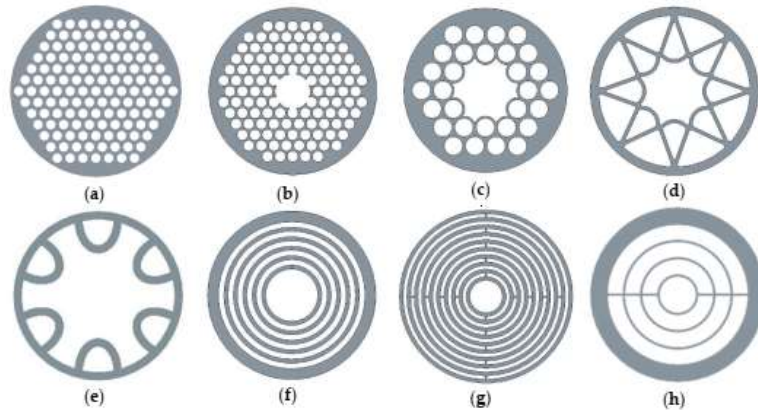
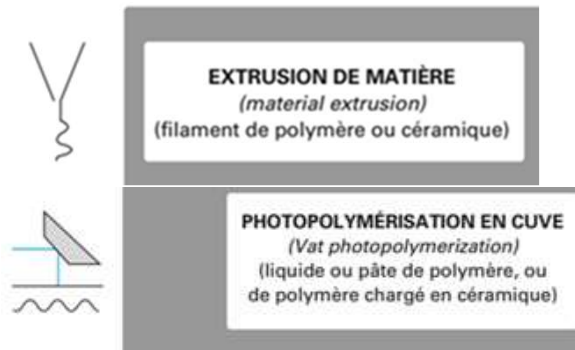


Figure 1. (a) Porous polymer terahertz fiber design [38] (b) First all-dielectric 3D printed terahertz waveguide [64]; (c) 3D printed terahertz waveguide based on Kagome photonic crystal structure [65]; (d) Hollow-core with negative curvature [67]; (e) 3D-printed polymer antiresonant waveguide [68]; (f) 3D printed terahertz Bragg [69]; (g) Bragg waveguide with defect layers [70]; (h) Single-mode Bragg waveguide [71].

Table 1. Summarized fibers characteristics.

Fiber	Guiding Method	Printing Method	Material	Loss (dB/cm)	Year
Figure 1b	Photonic Bandgap	Polyjet	UV-resin	0.3 @105 GHz	2011 [64]
Figure 1c	Photonic Bandgap	Polyjet	UV-resin	0.08 @1 THz	2016 [65]
Figure 1d	Antiresonant effect	FDM	ABS	0.3 @0.47 THz	2015 [67]
Figure 1e	Antiresonant effect	FDM	PC	10 @0.3 THz	2018 [68]
Figure 1f	Antiresonant effect	FDM	ABS	0.1 @0.4 THz	2015 [69]
Figure 1g	Bragg Reflection	SLA	UV-resin	0.65 @0.35 THz	2017 [70]
Figure 1h	Bragg Reflection	SLA	UV-resin	0.03 @0.27 THz	2018 [71]

Polymer Optical Fiber (POF)

Microstructured Optical Fiber (MOF)

microstructured Polymer Optical Fiber (mPOF)

Review (2018)



3D Printed Hollow-Core Terahertz Fibers

Alice L. S. Cruz^{1,2,*}, Cristiano M. B. Cordeiro³ and Marcos A. R. Franco^{1,2}

¹ Instituto Tecnológico de Aeronáutica—ITA, São José dos Campos 12228-900, Brazil; marcos.a.r.franco@gmail.com

² Instituto de Estudos Avançados—IEAv, São José dos Campos 12.228-001, Brazil

³ Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas—UNICAMP, Campinas 13083-970, Brazil; cmbc@ifi.unicamp.br

* Correspondence: alicelscruz@gmail.com; Tel.: +55-11-99631-2736

Toward Hollow core preform and fibers

- Best result : 30mm-height hollow core printed preform

Height = 30 mm

Outer diameter = 17,2 mm

Inner diameter = 13,2 mm

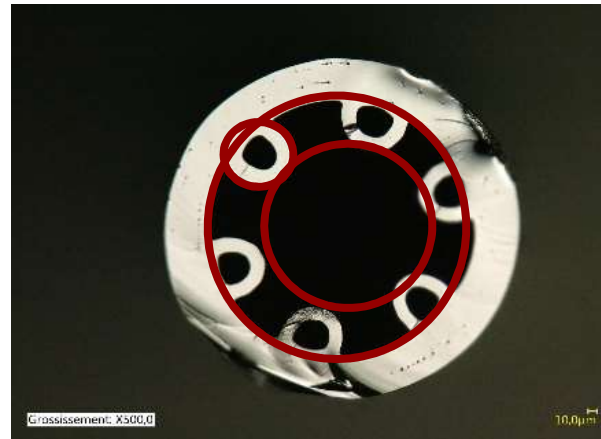
Capillaries diameter = 1,8 mm

Capillaries thickness = 400 μm

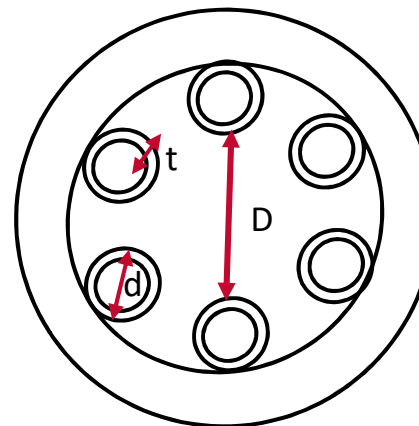


- The « printed fiber »

20 meters of fibers obtained
with diameter between 200 to
500 μm



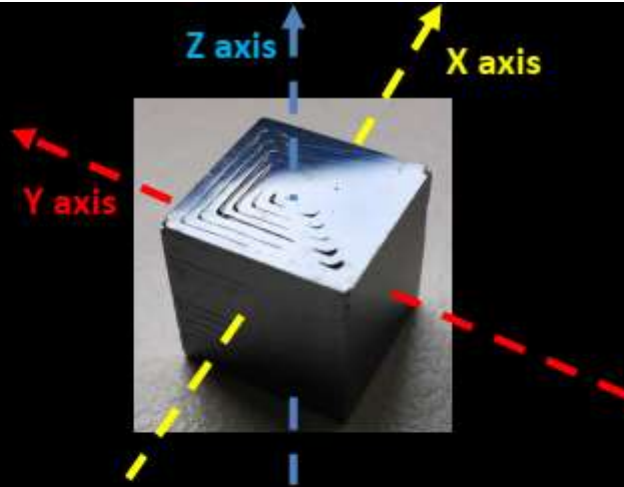
$D \sim 186 \mu\text{m}$
 $d \sim 78 \mu\text{m}$
 $t \sim 17 \mu\text{m}$



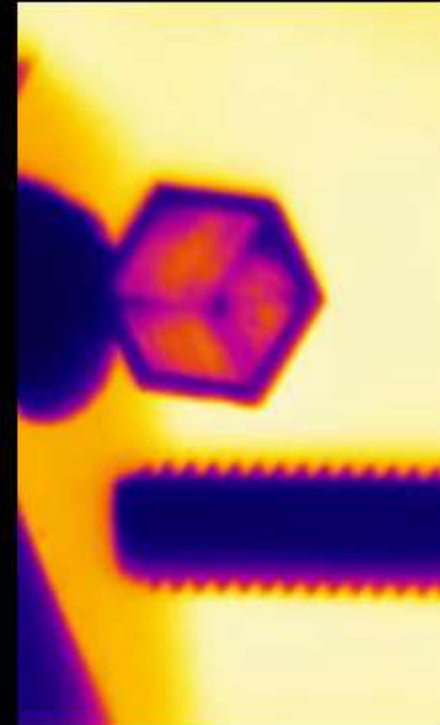
$130 < D < 190 \mu\text{m}$ ✓
 $90 < d < 130 \mu\text{m}$ ✗
 $t \sim 2-3 \mu\text{m}$ ✗



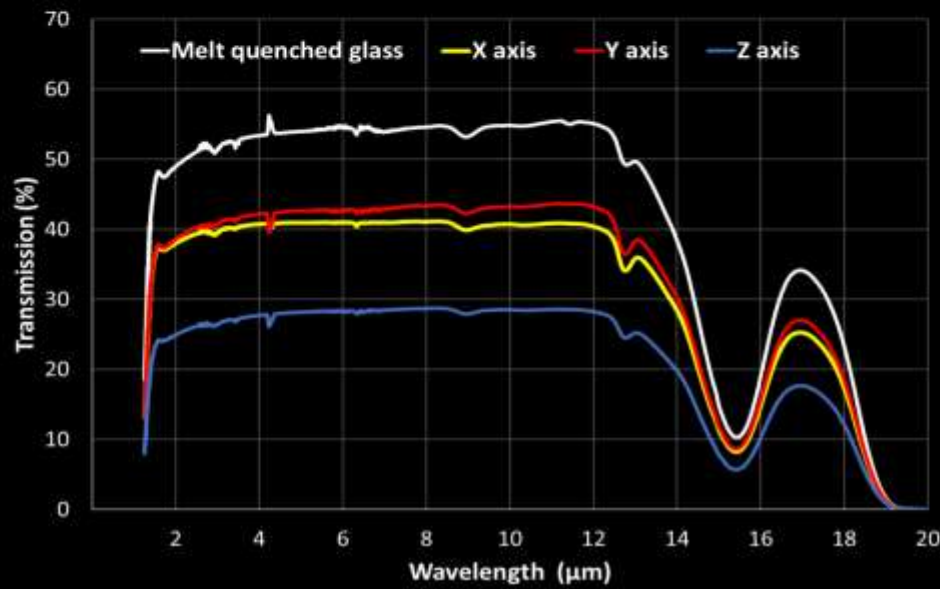
Printed cube (8 x 8 x 8 mm)



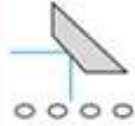
Polished Printed cube (6 x 6 x 6 mm)



Polished Printed cube (6 x 6 x 6 mm)
Mid-IR camera recording

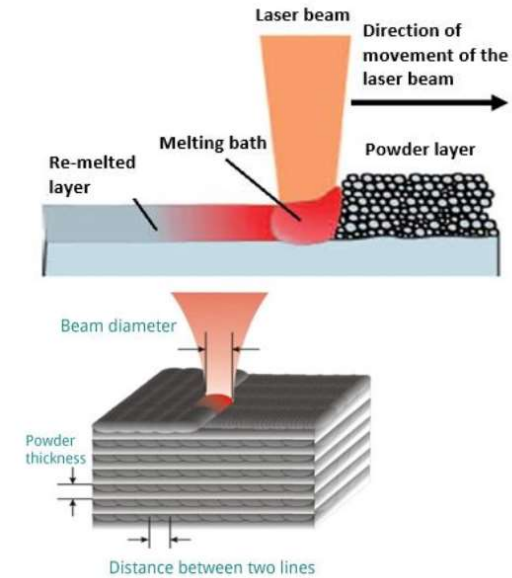
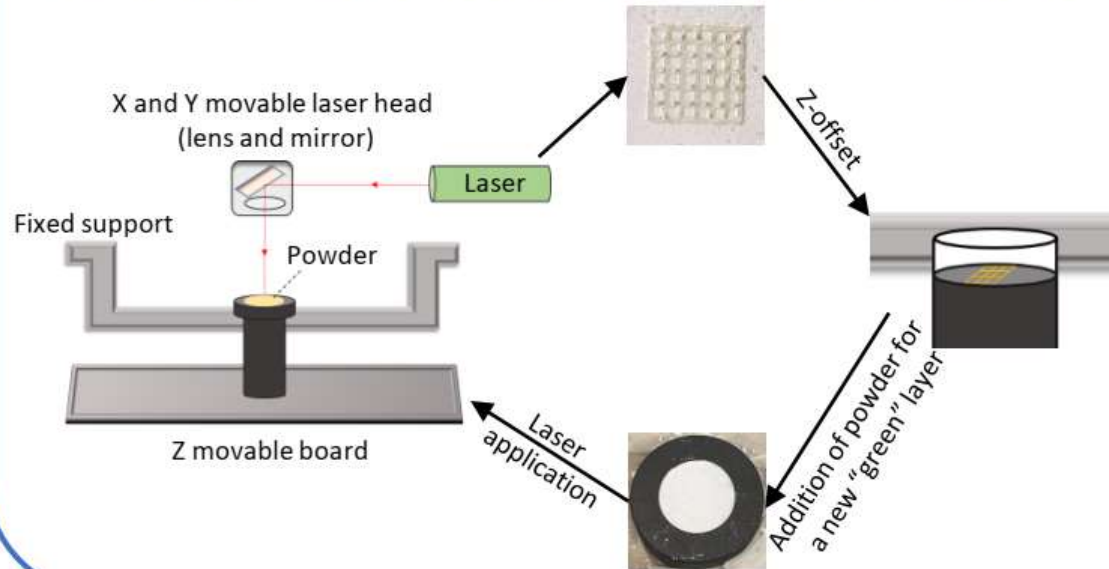


FUSION SUR LIT DE POUDRE
(powder bed fusion)
 (polymère, céramique, métal)



Selective Laser (CO₂) Sintering

Home-made set up from graving-cutting CO₂ laser machine ($\lambda = 10,6 \mu\text{m}$) (laser beam diameter = $15 \mu\text{m}$)



ifw Jena

Laser CO₂ (TROTEC speedy100 X,Y mobility)

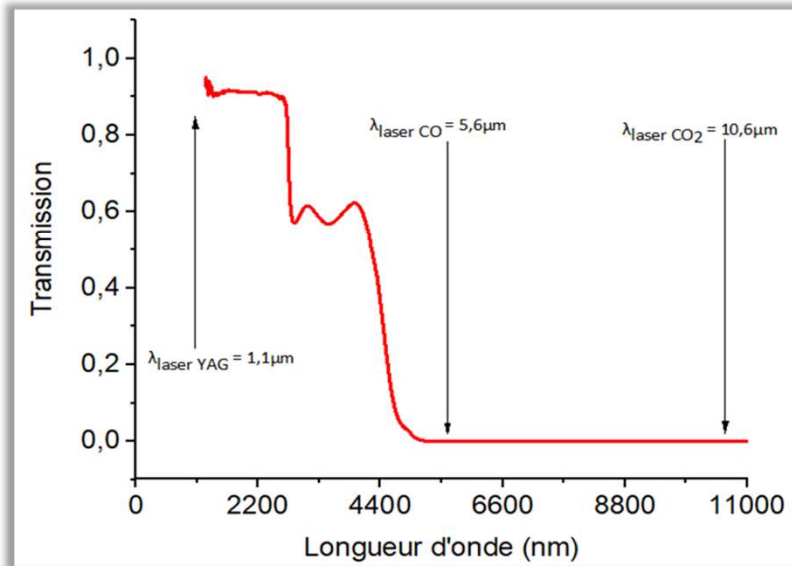
PhD Louis CHAIGNEAU (2019-2022)



Mechglass2024:
 Thematic Day Mechanics of Glasses
 12-12 Jan 2024 Paris (France)



Choix du laser CO₂



Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier sur une plaque de 1mm de verre silicate sodocalcique

Choix du laser CO₂ :

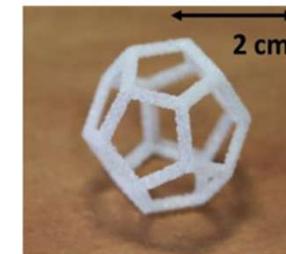
- 100% absorbé par les verres silicates sodo-calciques
- Assurer de travailler uniquement sur des phénomènes thermiques (absorption et diffusion)

Laser YAG



K.C Datsiou et al. Laser powder bed fusion of soda lime silica glass: Optimisation of processing parameters and evaluation of part properties, 2021

Laser CO



Projet GLAM (Glass Laser Additive Manufacturing), 2019

Système laser et optimisation



Machine de découpe et de gravure au laser,
modèle Speedy 100, Trotec®

Longueur d'onde polychromatique : $\sim 10,6 \mu\text{m}$ (CO_2)

Puissance du laser : 0-30 W

Vitesse de la tête laser : 0-700 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$

Fréquence : 0-60 000 Hz



Photo prise à l'intérieur de
la machine sans
modification



Photo prise à l'intérieur de
la machine après
modification

Fenêtre de traitement



Fenêtre de traitement pour :

- P variant de 0 à 3 W
- v variant de 0 à 2,8 mm.s⁻¹

Ecart entre deux applications consécutives h = 0,35 mm

Fenêtre de traitement pour :

- P variant de 3 à 30 W
- v variant de 3 à 290 mm.s⁻¹

Zone 1	Non marquage
Zone 2	Marquage partiel
Zone 3	Bonne consolidation
Zone 4	Balling excessif

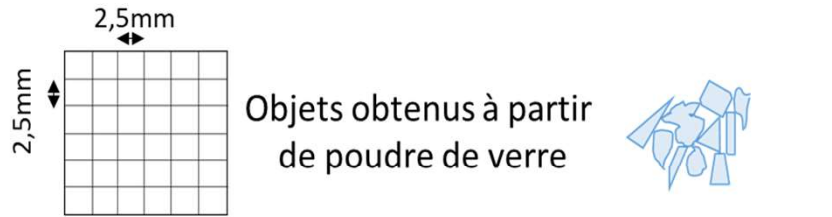
Puissance (W) / Vitesse (mm.s ⁻¹)	0	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3
0													
0,28	0,000	6,122	7,653	9,184	10,714	12,245	13,776	15,306	18,367	21,429	24,490	27,551	30,612
0,56	0,000	3,061	3,827	4,592	5,357	6,122	6,888	7,653	9,184	10,714	12,245	13,776	15,306
0,84	0,000	2,041	2,551	3,061	3,571	4,082	4,592	5,102	6,122	7,143	8,163	9,184	10,204
1,12	0,000	1,531	1,913	2,296	2,679	3,061	3,444	3,827	4,592	5,357	6,122	6,888	7,653
1,4	0,000	1,224	1,531	1,837	2,143	2,449	2,755	3,061	3,673	4,286	4,898	5,510	6,122
1,68	0,000	1,020	1,276	1,531	1,786	2,041	2,296	2,551	3,061	3,571	4,082	4,592	5,102
1,96	0,000	0,875	1,093	1,312	1,531	1,749	1,968	2,187	2,624	3,061	3,499	3,936	4,373
2,24	0,000	0,765	0,957	1,148	1,339	1,531	1,722	1,913	2,296	2,679	3,061	3,444	3,827
2,52	0,000	0,680	0,850	1,020	1,190	1,361	1,531	1,701	2,041	2,381	2,721	3,061	3,401
2,8	0,000	0,612	0,765	0,918	1,071	1,224	1,378	1,531	1,837	2,143	2,449	2,755	3,061

Puissance (W) / Vitesse (mm.s ⁻¹)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
3	2,857	5,714	8,571	11,429	14,286	17,143	20,000	22,857	25,714	28,571
5	1,714	3,429	5,143	6,857	8,571	10,286	12,000	13,714	15,429	17,143
10	0,857	1,714	2,571	3,429	4,286	5,143	6,000	6,857	7,714	8,571
30	0,286	0,571	0,857	1,143	1,429	1,714	2,000	2,286	2,571	2,857
50	0,171	0,343	0,514	0,686	0,857	1,029	1,200	1,371	1,543	1,714
70	0,122	0,245	0,367	0,490	0,612	0,735	0,857	0,980	1,102	1,224
90	0,095	0,190	0,286	0,381	0,476	0,571	0,667	0,762	0,857	0,952
110	0,078	0,156	0,234	0,312	0,390	0,468	0,545	0,623	0,701	0,779
130	0,066	0,132	0,198	0,264	0,330	0,396	0,462	0,527	0,593	0,659
150	0,057	0,114	0,171	0,229	0,286	0,343	0,400	0,457	0,514	0,571
170	0,050	0,101	0,151	0,202	0,252	0,303	0,353	0,403	0,454	0,504
190	0,045	0,090	0,135	0,180	0,226	0,271	0,316	0,361	0,406	0,451
210	0,041	0,082	0,122	0,163	0,204	0,245	0,286	0,327	0,367	0,408
230	0,037	0,075	0,112	0,149	0,186	0,224	0,261	0,298	0,335	0,373
250	0,034	0,069	0,103	0,137	0,171	0,206	0,240	0,274	0,309	0,343
270	0,032	0,063	0,095	0,127	0,159	0,190	0,222	0,254	0,286	0,317
290	0,030	0,059	0,089	0,118	0,148	0,177	0,207	0,236	0,266	0,296

Procédé SLS

iii) Influence des paramètres sur la qualité des objets

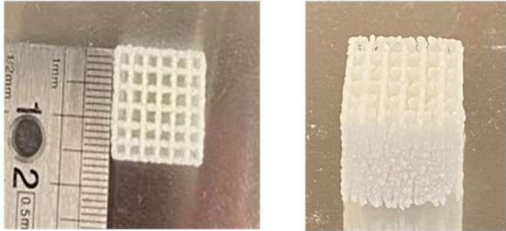
Objets obtenus à partir de poudre de verre



2,5mm

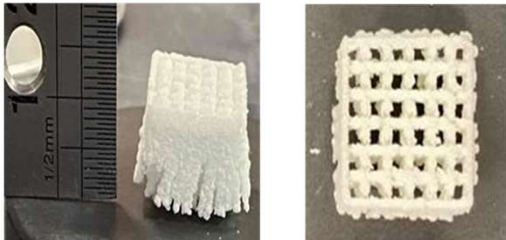
2,5mm

20 couches



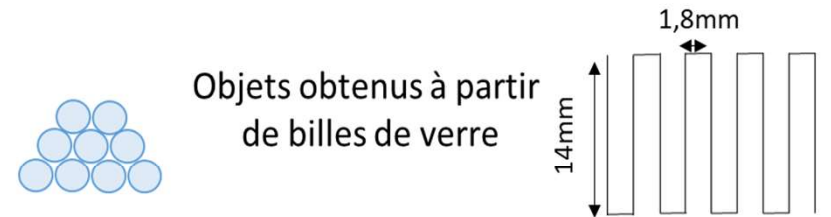
$P = 3W, v = 1,5mm.s^{-1}, \omega = 60\ 000Hz$

20 couches



$P = 4,5W, v = 1,5mm.s^{-1}, \omega = 60\ 000Hz$

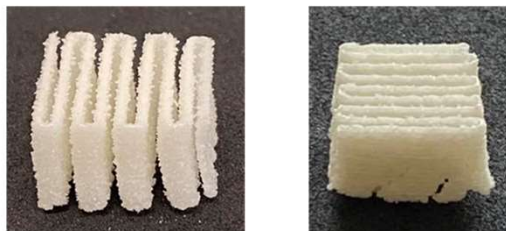
Objets obtenus à partir de billes de verre



1,8mm

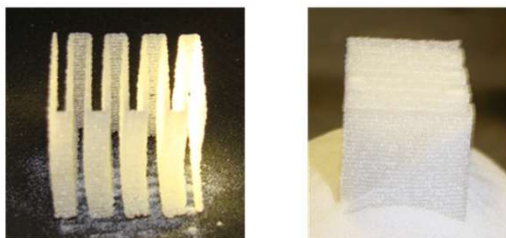
14mm

15 couches



$P = 3,8W, v = 1,5mm.s^{-1}, \omega = 60\ 000Hz$

30 couches

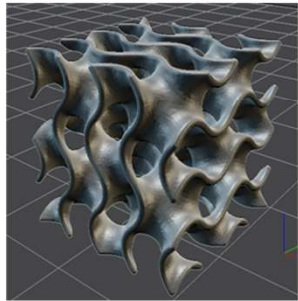


$P = 1,2W, v = 0,15mm.s^{-1}, \omega = 60\ 000Hz$

La forme des grains, la puissance du laser et la vitesse de déplacements ont un impact déterminant sur la qualité de l'objet

Procédé SLS

iv) Obtention d'objets complexes



Gyroïde souhaité obtenu avec logiciel CAO

Dimension : 16x16x16mm

Nombre de couches : 28

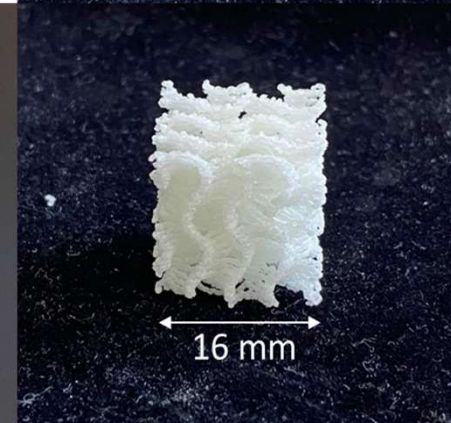
Puissance laser : 1,2 W

Ecart entre les couches : 0,7mm

Vitesse de balayage : 0,15mm.s⁻¹



Cliché effectué avec un appareil dino-lite

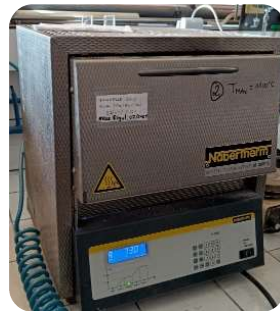


Clichés effectués avec un appareil photo

Echantillons avec des billes de verre « commun » (75%SiO₂ -15%Na₂O -10%CaO wt%), avec des billes : 40-70µm



Frittage laser CO₂



Recuit



Échantillons

Paramètres fixés :

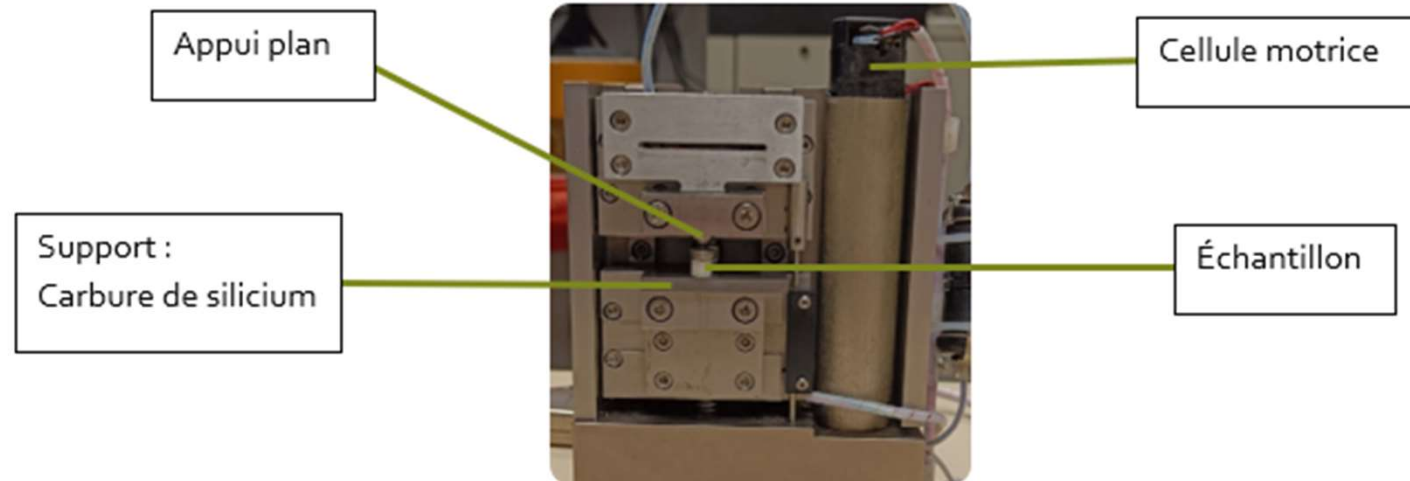
P = 1,8 W

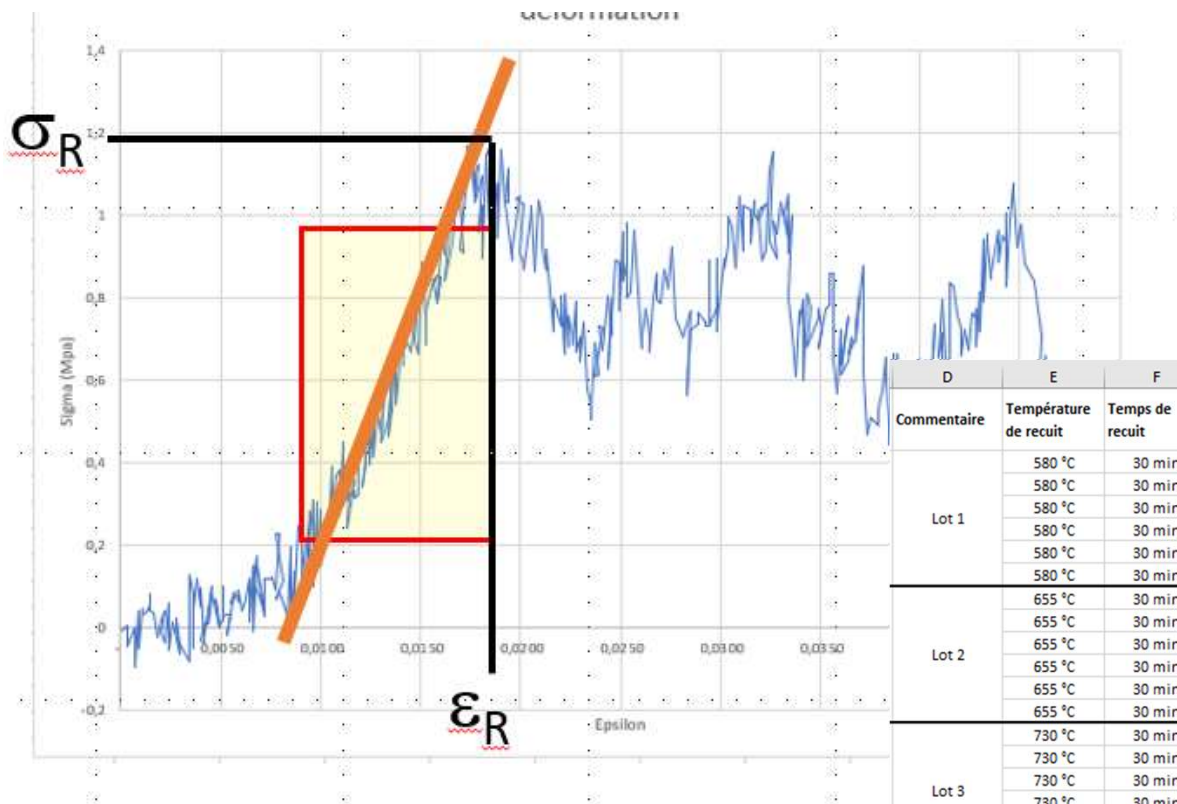
V = 1,4 mm/s

- 8 couches
- D=5mm



Essais mécaniques





D	E	F	J	K	L	M	N	O
Commentaire	Température de recuit	Temps de recuit	Module E (Mpa)	Sigma Rupture (Mpa)	Sigma Max (Mpa)	Module E Moyen (Mpa)	Sigma Rupture Moyen (Mpa)	Sigma Max Moyen (Mpa)
Lot 1	580 °C	30 min	41,04	0,49	1,07	74,63	0,88	1,23
	580 °C	30 min	82,04	0,54	1,10			
	580 °C	30 min	106,53	1,13	1,17			
	580 °C	30 min	DRX					
	580 °C	30 min	92,74	1,02	1,14			
	580 °C	30 min	50,82	1,20	1,69			
Lot 2	655 °C	30 min	DRX			82,51	1,20	1,87
	655 °C	30 min	68,60	0,71	1,84			
	655 °C	30 min	64,19	0,92	1,22			
	655 °C	30 min	Echantillon inutilisable					
	655 °C	30 min	83,47	0,91	1,64			
	655 °C	30 min	113,78	2,26	2,77			
Lot 3	730 °C	30 min	223,55	4,04	4,04	241,40	3,50	4,10
	730 °C	30 min	227,85	4,01	4,58			
	730 °C	30 min	277,00	3,36	4,86			
	730 °C	30 min	271,89	4,32	4,58			
	730 °C	30 min	DRX					
	730 °C	30 min	206,73	1,76	2,45			
Lot 4	690 °C	10 h	258,33	5,35	6,68	260,66	4,56	4,83
	690 °C	10 h	284,76	5,12	5,12			
	690 °C	10 h	DRX					
	690 °C	10 h	199,83	4,14	4,18			
	690 °C	10 h	300,40	3,16	3,16			
	690 °C	10 h	259,97	5,01	5,01			
Lot 5 : Non utilisé car problème de dimensionnement								
Lot 6	Aucun recuit effectué		Echantillon inutilisable			96,96	0,95	0,95
			109,06	0,94	0,95			
			71,23	0,83	0,84			
			Echantillon inutilisable					
			110,59	1,07	1,07			



Mechglass2024:
 Thematic Day Mechanics of Glasses
 12-12 Jan 2024 Paris (France)

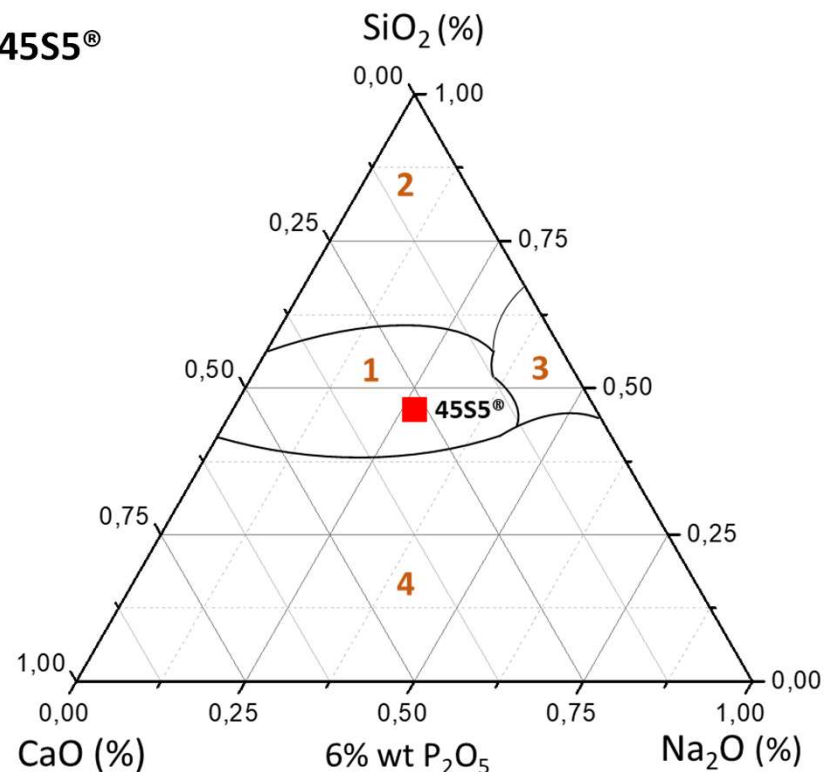


Les verres bioactifs

Premier verre bioactif découvert en 1969 par Larry Hench, 45S5®

Oxydes	Wt %
SiO ₂	45
CaO	24,5
Na ₂ O	24,5
P ₂ O ₅	6

Capacité de liaison osseuse en formant une couche d'hydroxyapatite Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂ (principale composante minérale de l'os et de l'émail dentaire), après incubation dans des fluides physiologiques



- 1 : Adhésion osseuse
- 2 : Pas d'adhésion osseuse (réactivité trop faible)
- 3 : Pas d'adhésion osseuse (réactivité trop élevée)
- 4 : Pas d'adhésion osseuse (ne forme pas de verre)

Domaine médical



Utilisé pour l'hypersensibilité dentaire

<https://www.sensodyne.com/en-gb/>

<https://www.biomin.co.uk/>

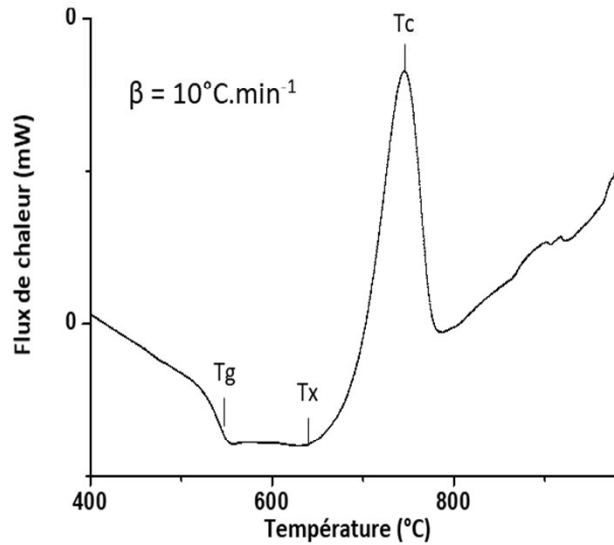


Mechglass2024:
Thematic Day Mechanics of Glasses
12-12 Jan 2024 Paris (France)



Cristallisation des verres bioactifs

Analyse thermique différentielle du 45S5® (Noraker®)



Tg(l) (°C)	Tx (°C)	Tc (°C)
541	628	745

Instabilité thermique

Tout traitement thermique peut induire une cristallisation

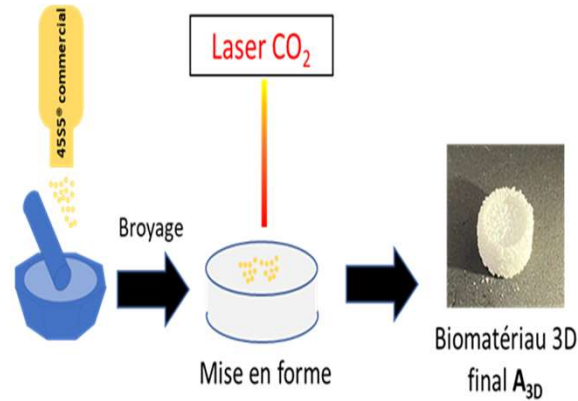
- la cristallisation ralentit la formation de la couche d'hydroxyapatite
- La cristallisation entraîne des changements dans la composition de la phase amorphe résultante

Frittage réactif de poudres
par laser CO₂

Fusion sur lit de poudre
bioactive Noraker®

Mise en forme des biomatériaux

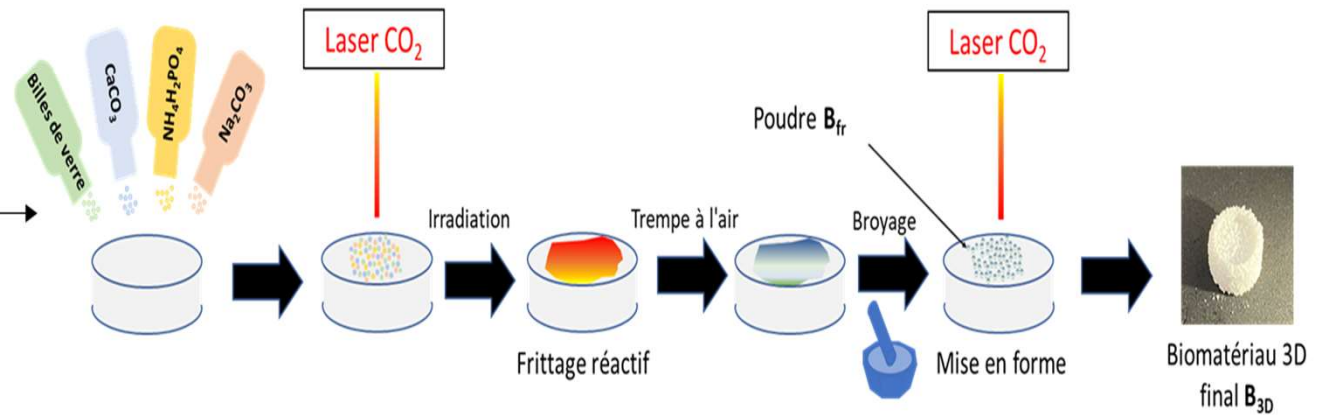
Composé A
Mise en forme de poudre 45S5®
commerciale (Société Noraker®)



Conditions expérimentales

$P = 1,2 \text{ W}$
 $v = 0,28 \text{ mm.s}^{-1}$
 $h = 0,35 \text{ mm}$
 $\Delta z = 0,85 \text{ mm}$

Composé B
Frittage réactif + mise en forme



Réactivité chimique du matériaux B_{3D} issu du frittage réactif

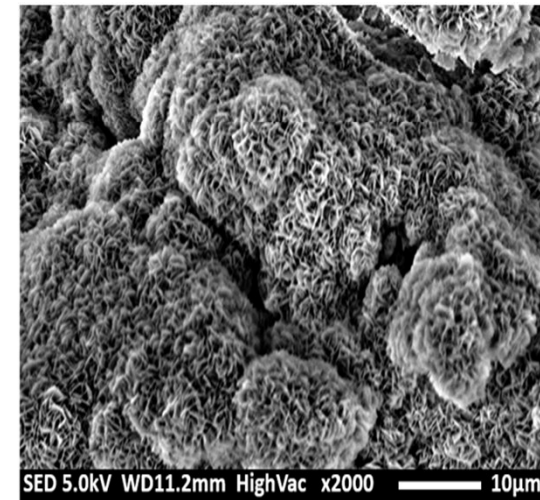
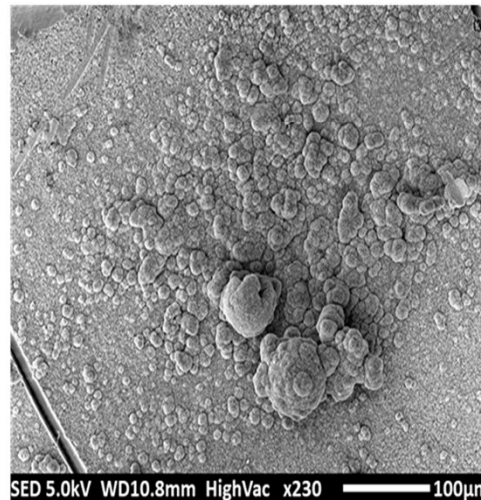
Évaluation de la réactivité chimique d'un matériau



Formation d'hydroxyapatite après immersion des échantillons dans un milieu biologique



Mise en culture du composé B_{3D} dans du milieu DMEM pendant 10 jours



- Des amas de petites sphères conglomérées sont observés
- Ils possèdent à leur surface une structure en forme de petites aiguilles ou de rose des sables
- Cette structure est typique de l'hydroxyapatite

Julie Carcreff Louis Chaigneau

Théodore Berthelot

Elodie Galdo Léo Szymczyk

Antoine Gautier

Johann Troles

Laurent Brilland

Gilles Renversez

François Chevirié

Yann Gueguen

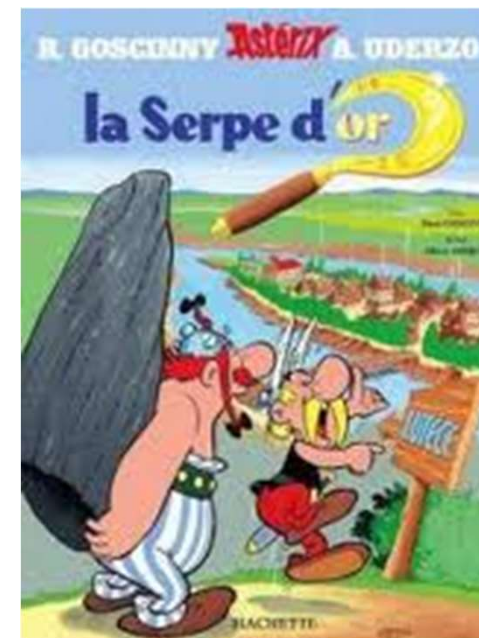
Fabrice Célerié

Patrick Houizot

Lucile Viaud

... et al.

Damien Brézulier
Sylvie Tricot
Agnès Novella
Anita Lucas



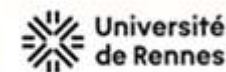
UNION EUROPÉENNE
UNANIEZH EUROPA



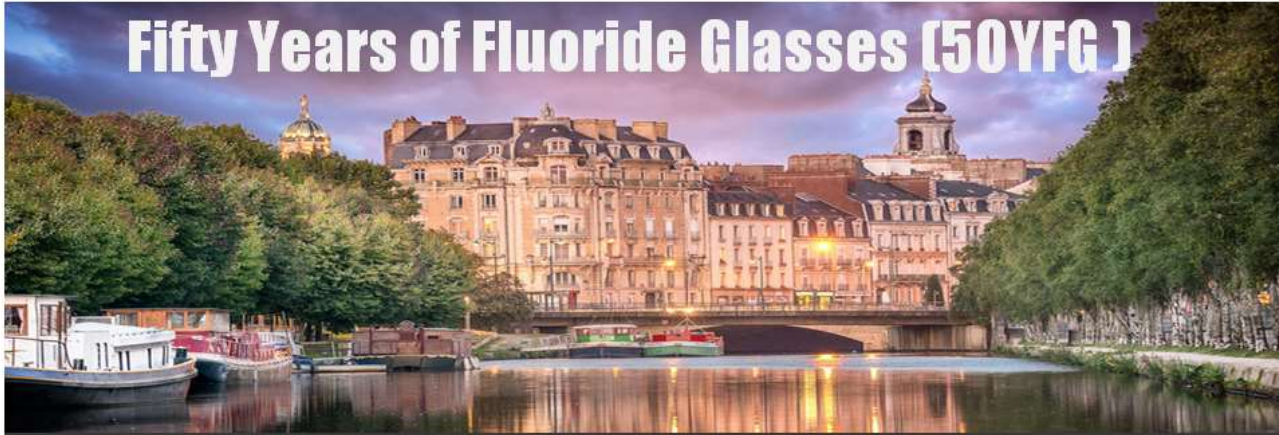
L'Europe s'engage
en Bretagne / Avec le Fonds européen
de développement régional



Mechglass2024:
Thematic Day Mechanics of Glasses
12-12 Jan 2024 Paris (France)



Fifty Years of Fluoride Glasses (50YFG)



March 11-13, 2024

University of Rennes

Rennes, FRANCE

Fifty Years of Fluoride glasses (50YFG)

This symposium intends to review the state of art of both knowledge and applications of fluoride glasses. By the way, it will celebrate the **50th anniversary of the discovery of fluoride glasses in March 1974 at Rennes University.**

50 years measures the time needed to move from laboratory to industrial production. For this reason this symposium will attract companies involved in this technology. A major place will be granted to the research teams leading this world competition.

The topics of Heavy Metal Fluoride Glasses (HMFG) led to **more than 20000 papers, scientific documents, thesis and patents.** It has been the subject of various books. Several companies have been created to develop fiber components in North America, Europe and Japan.

Main fields of application relate to Astronomy, Medical and industrial fiber lasers, Multiwatt visible lasers, remote sensing, Mid-IR supercontinuum sources, Optical amplification for telecoms, Coupling to QCL and ICL for pollution measurements.

The diversity of applications and the speed at which they are developing make them materials of the 21st century, destined to induce several technological revolutions.

SPONSORS & PARTNERS

Sponsors



Partners



Mechglass2024:

Thematic Day Mechanics of Glasses

12-12 Jan 2024 Paris (France)

Merci
Des questions ?



Mechglass2024:
Thematic Day Mechanics of Glasses
12-12 Jan 2024 Paris (France)

