

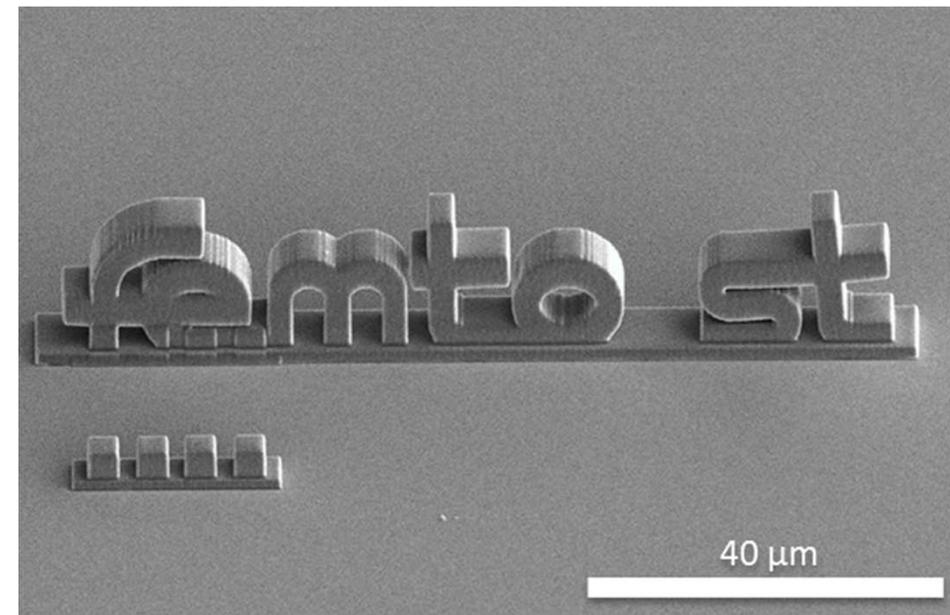
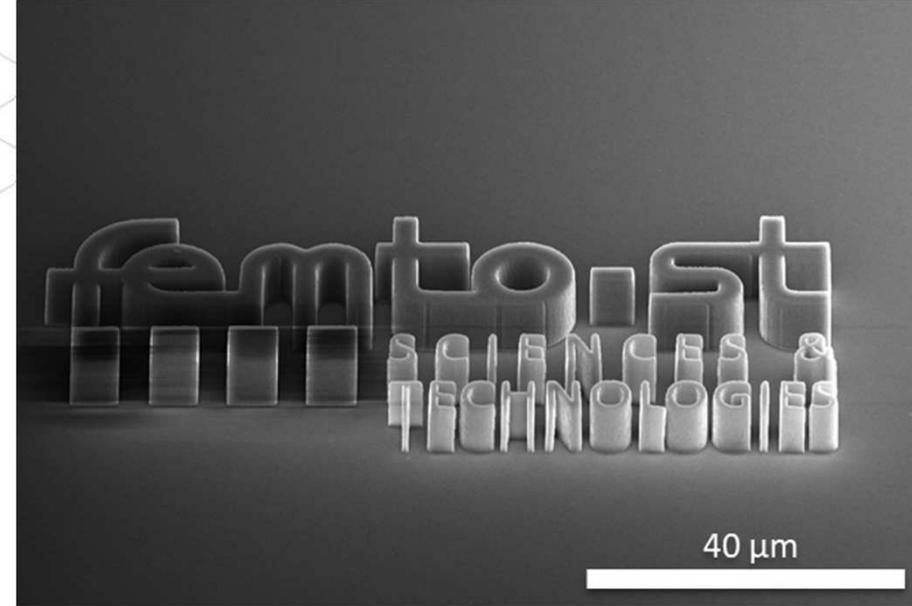


# Micro-impression 3D

Gwenn ULLIAC

Ingénieur de Recherche UFC

INSTITUT FEMTO-ST



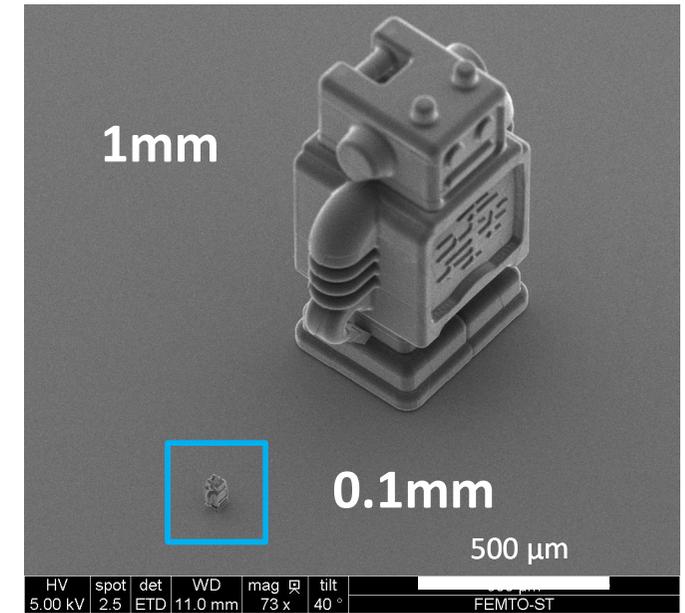
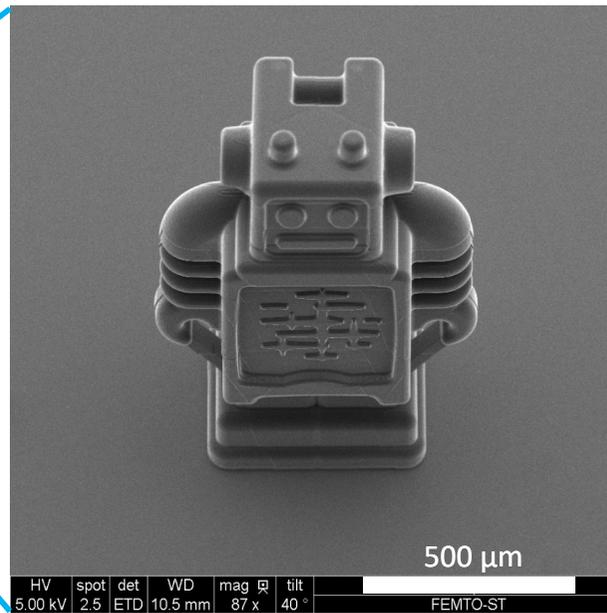
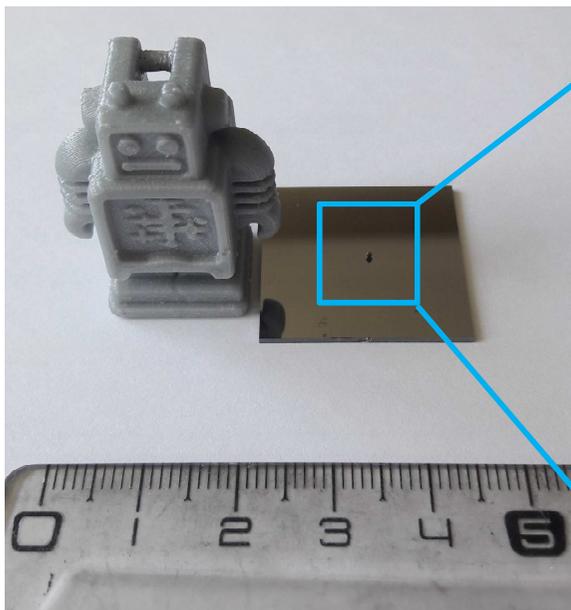
# Impression 3D vs $\mu$ -impression



Paramètres	Impression 3D classique	Micro-impression 3D
Technologie	Dépôt de matière fondue	Ecriture directe par Laser
Outil	Tête d'impression / Buse	Laser Femto-seconde / Objectifs
Matériaux	Polymère (PLA, ABS ...) / Bobine	Polymère (résines photosensible)
Echelle	mm - cm	$\mu$ m - mm
Résolution	1mm	200nm

Impression 3D

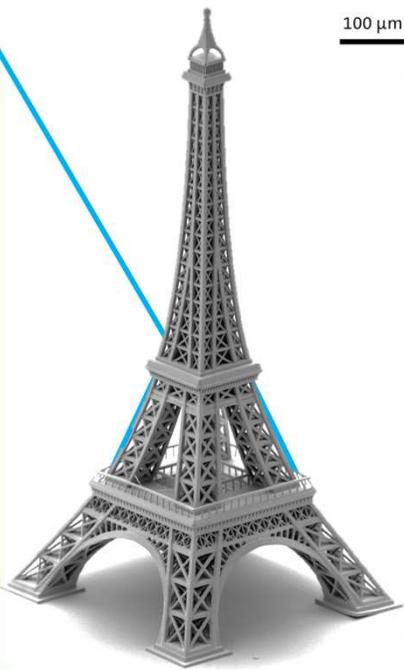
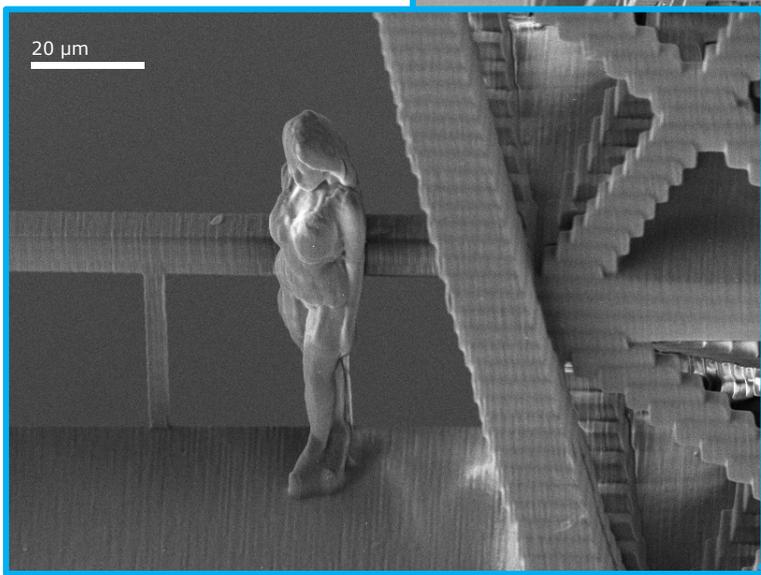
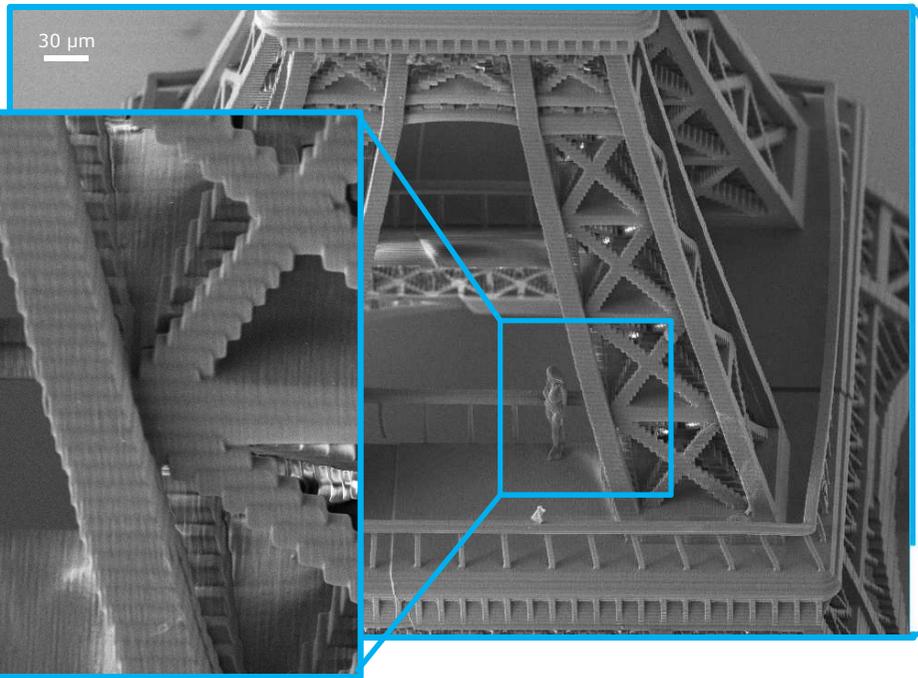
Micro-impression 3D



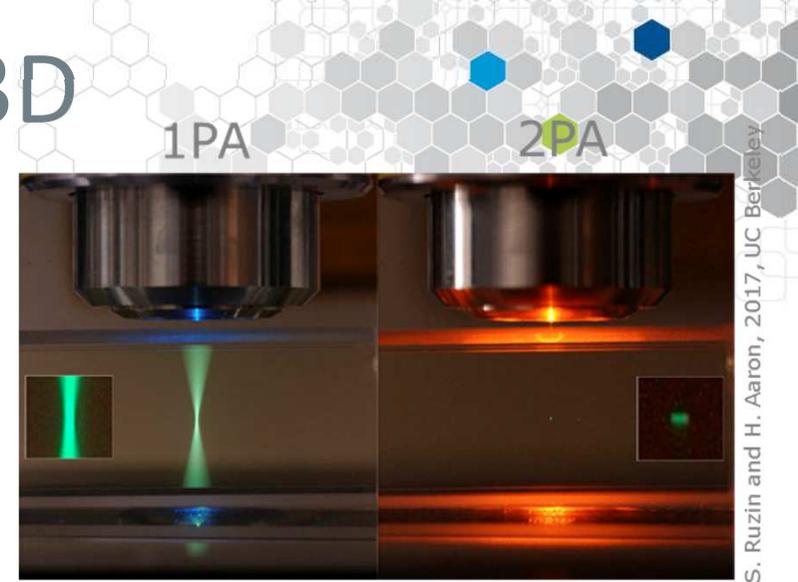
# Impression 3D vs $\mu$ -impression

Paramètres	Impression 3D classique	Micro-impression 3D
Technologie	Dépôt de matière fondue	Ecriture directe par Laser
Outil	Tête d'impression / Buse	Laser Femto-seconde / Objectifs
Matériaux	Polymère (PLA, ABS ...) / Bobine	Polymère (résines photosensible)
Echelle	mm - cm	$\mu\text{m}$ - mm
Résolution	1mm	200nm

Source:  nanoscribe



# Systeme de photolithographie 3D



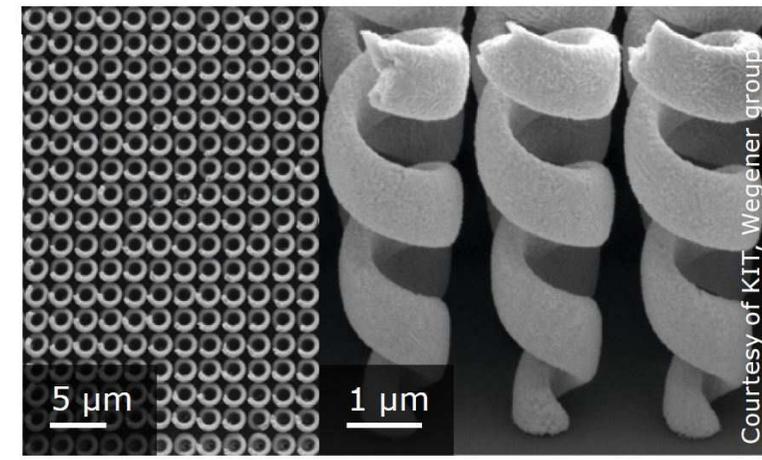
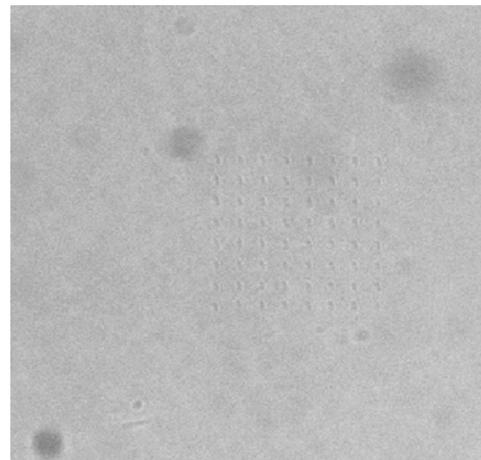
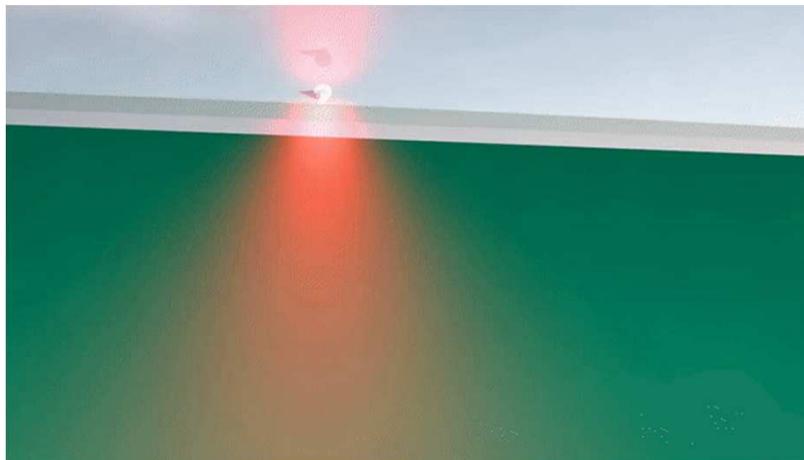
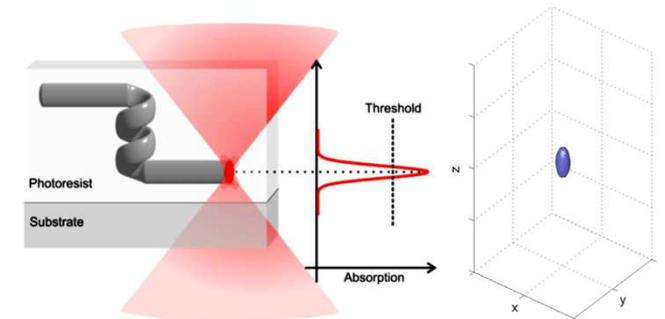
## Ecriture directe par laser:

- ❑ Polymérisation de structures en focalisant et défléchissant un faisceau laser dans un matériau transparent photosensible (résine)
- ❑ Laser Femto-seconde
- ❑ Balayage du faisceau laser
- ❑ Microscope inversé équipé d'une caméra CCD, d'un balayage automatisé X/Y et de platines motorisée et piezo
- ❑ Mécanisme d'absorption à deux photons (2PA)

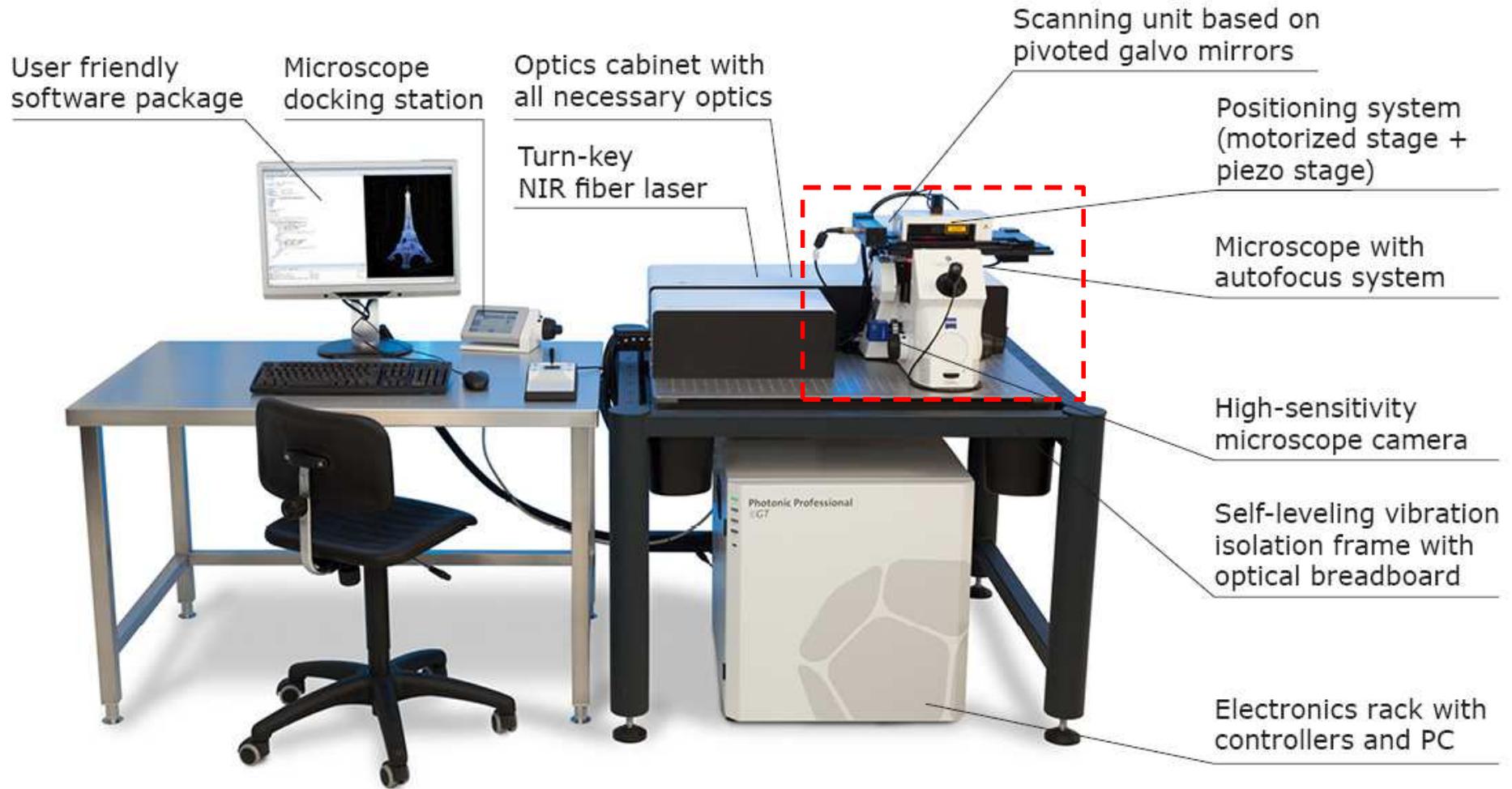
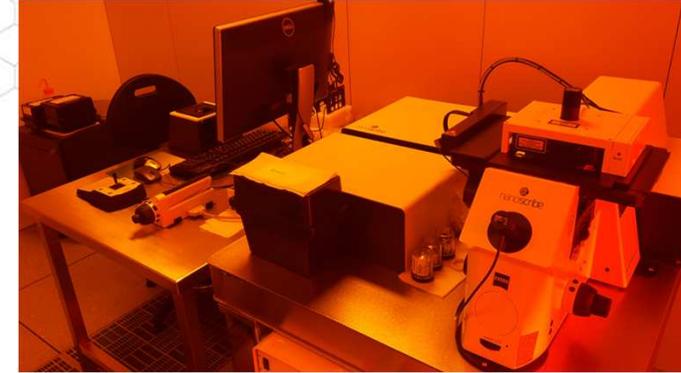
↳ réaction photochimique localisée au point focal uniquement

- ❑ **Voxel** = volume polymérisé par l'excitation laser

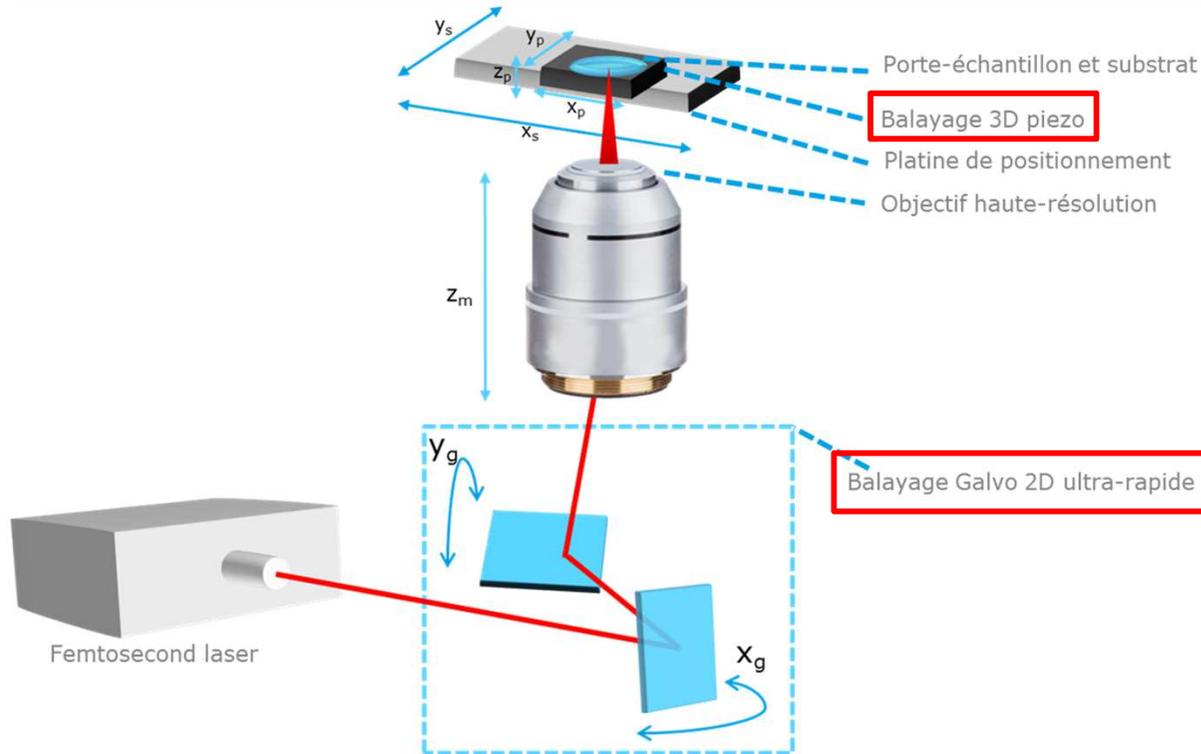
Dimension = f (Objectif, Puissance Laser et de la résine)



# Photonic Professional GT+



# Modes de Balayage

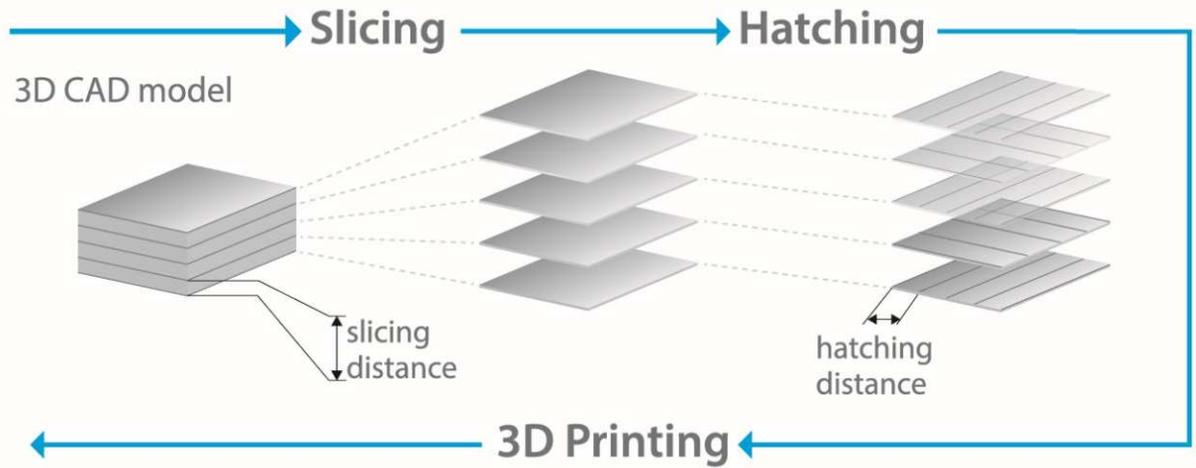
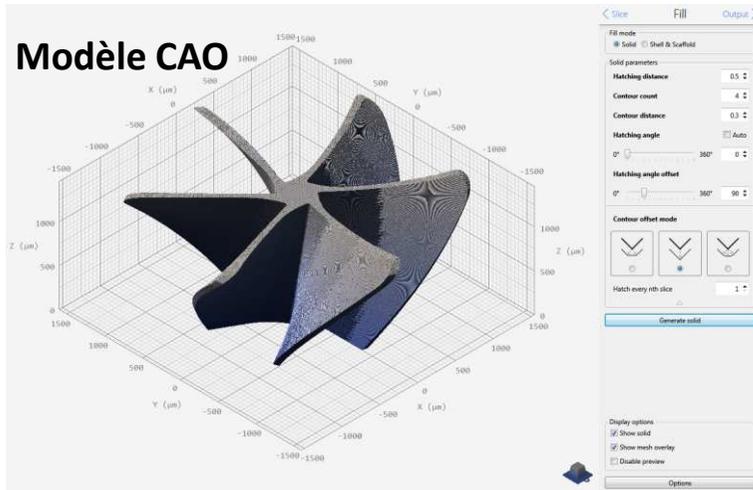


## Propriétés du laser fs:

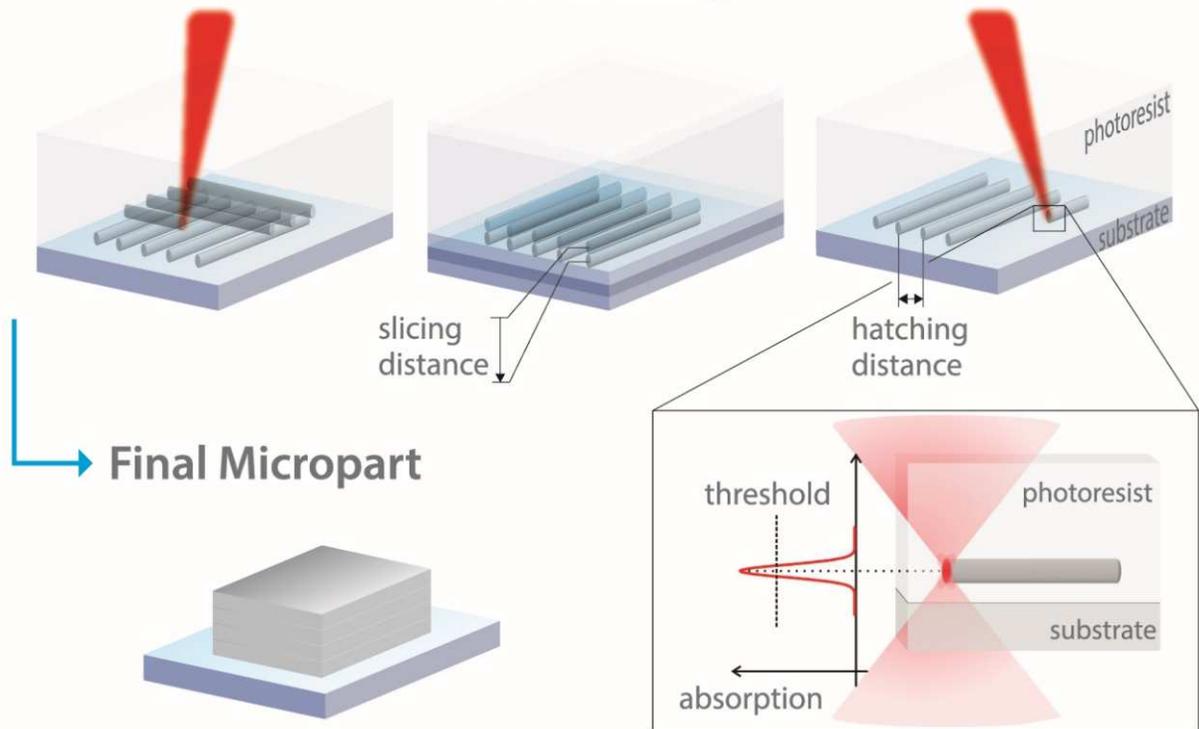
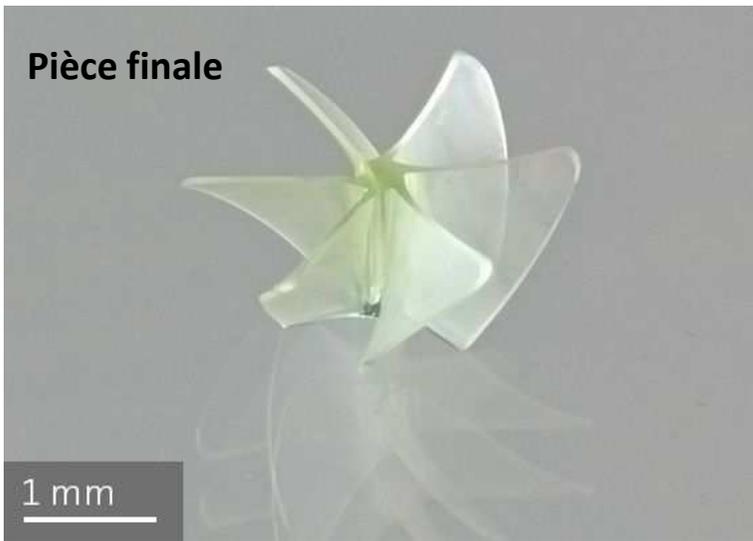
- Longueur d'onde: 780 nm (NIR)
- Pulses ultra-courtes : 100-200 fs
- Gamme de puissance: 50-150 mW

Caractéristiques techniques	Mode Piezo	Mode Galvo
Vitesse	mm/s	m/s
Volume d'impression	300 $\mu\text{m}$ X 300 $\mu\text{m}$ X 300 $\mu\text{m}$	Dépend de l'objectif
Spécificité	Faisceau laser fixe Echantillon en mouvement	Echantillon fixe Faisceau laser en mouvement
Descriptif	Très précis Balayage 3D exact suivant des trajectoires x-y-z 3D	Balayage x-y rapide Ecriture couche par couche

# Du modèle CAO à la pièce finale

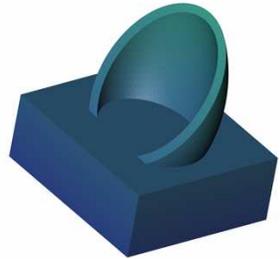


Impression 3D

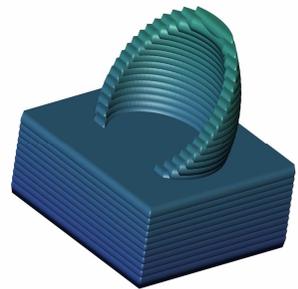


# Procédé de fabrication: résumé

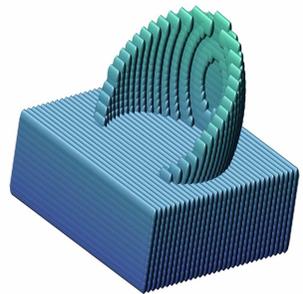
Source STL



Slicing (Z)



Hatching (X-Y)



## 1. Preparation

CAD-Design



Describe  
Slicing  
Hatching  
Mesh fixing

.gwl  
Files

## 2. Production



Nanowrite  
Print job controlling

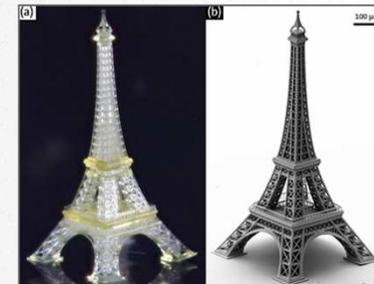
Photonic Professional  $\equiv$ GT



## 3. Post-Processing



Finishing  
Removal of excess resin  
Visual quality control

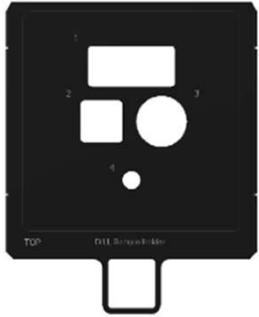


**Describe:** convertit les structures 3D en trajectoires que le laser exposera pour polymériser la résine

- **Slicing (en Z) crée des couches!** Valeur de slicing typique = 300-1000nm
- **Hatching (en X-Y) crée des trajectoires!** Valeur de hatching typique = 200-500nm
- Le fichier **GWL** contient tous les paramètres à utiliser pendant l'impression (Trajectoires, Puissance Laser, Vitesse de Scan...)

**Nanowrite:** interface graphique de contrôle pendant le procédé d'écriture

# Fabrication des structures 3D



Porte-échantillon



Substrat



Résine 2PP



Objectif

## Workflow

Fixer l'échantillon

Appliquer de la résine

Charger l'échantillon

Imprimer

Nettoyer

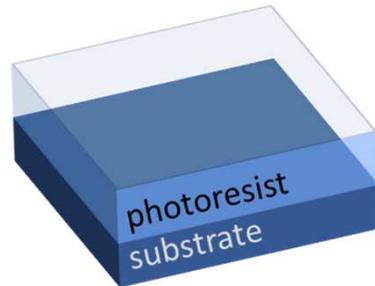
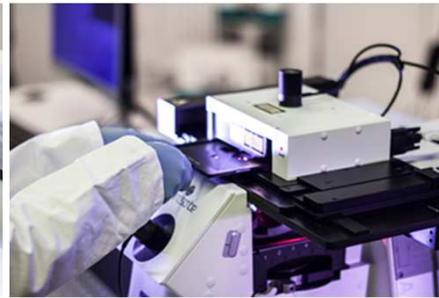
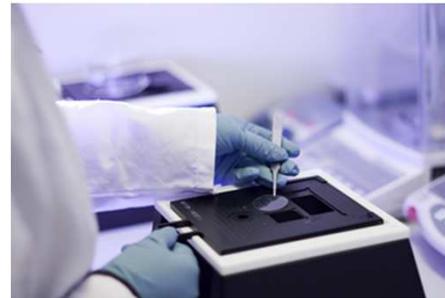
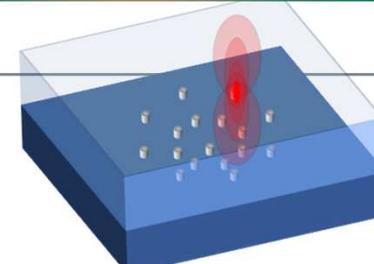
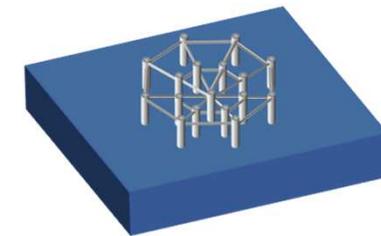
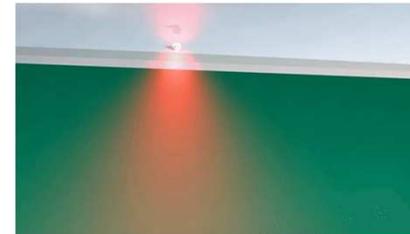


Photo-polymérisation  
à 2 photons



# Impression: aperçu



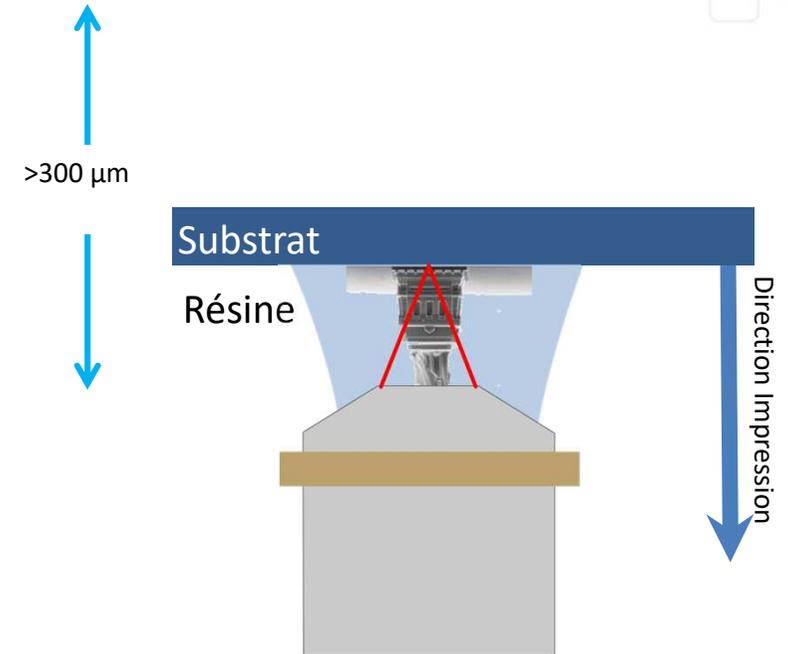
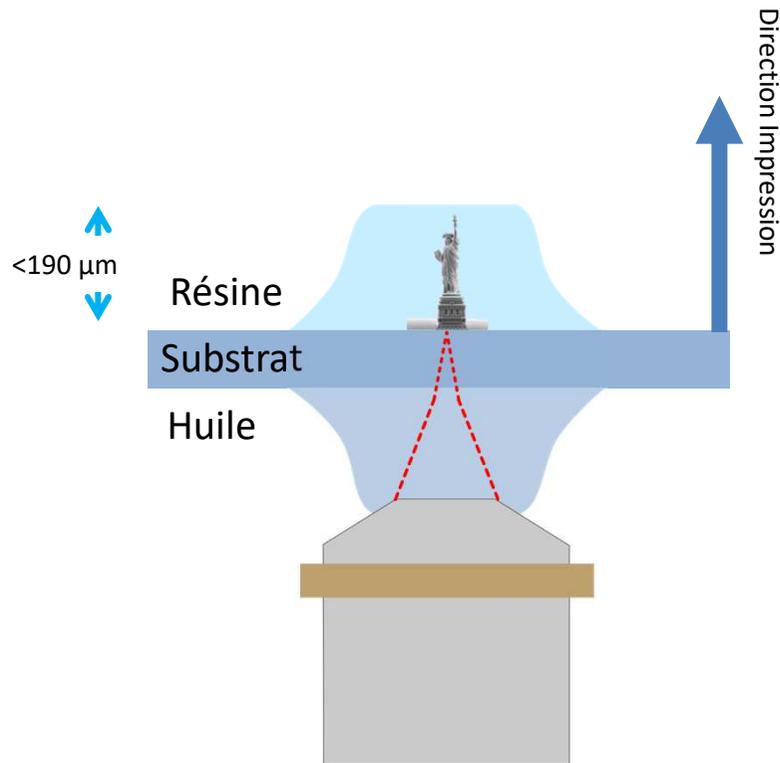
Easy Handling of Photoresists

# Impression 3D: configurations



DiLL (Dip-in)

Immersion



- Configuration vers le haut: écriture à travers le substrat (substrats transparents uniquement)
- Utiliser une huile compatible ( $n=1.48$ )
- Hauteur objet < distance de travail de l'objectif (0.2mm)
- Possibilité d'imprimer avec des résines non-standards

- Configuration inverse: substrats opaques possibles (i.e Si)
- Objectif plonge directement dans la résine
- Hauteur objet jusqu'à 8mm
- Utiliser seulement résine compatible / nettoyage objectif

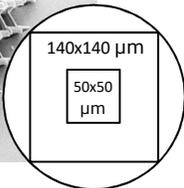
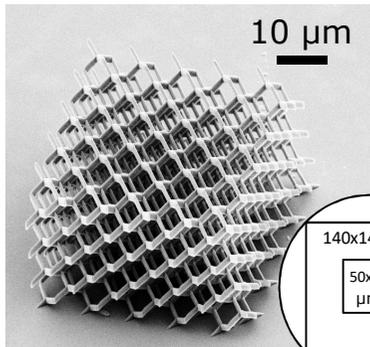
# Objectifs et Applications

## 63X / Résine: IP-Dip

Haute résolution 3D



K. Edagawa et al., PRL 100, 013901 (2008)

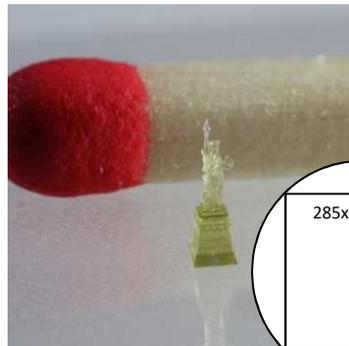


∅ = 200 µm

- Champ d'écriture: 0.2mm
- Résolution: 0.2µm

## 25X / Résine: IP-S

Echelle meso

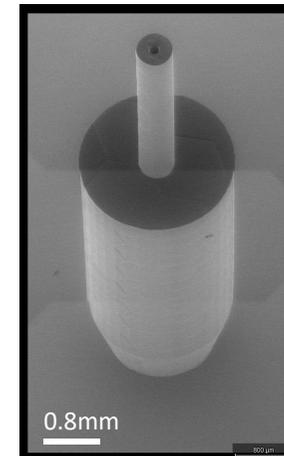


∅ = 400 µm

- Champ d'écriture: 0.4mm
- Résolution: 2µm

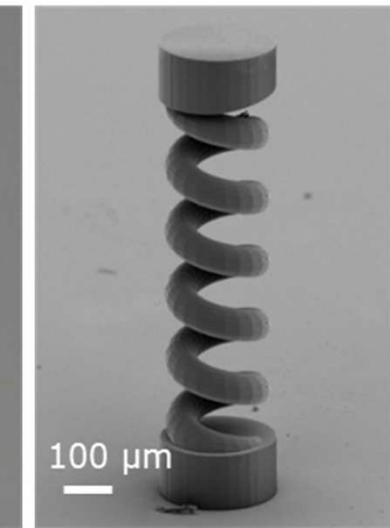
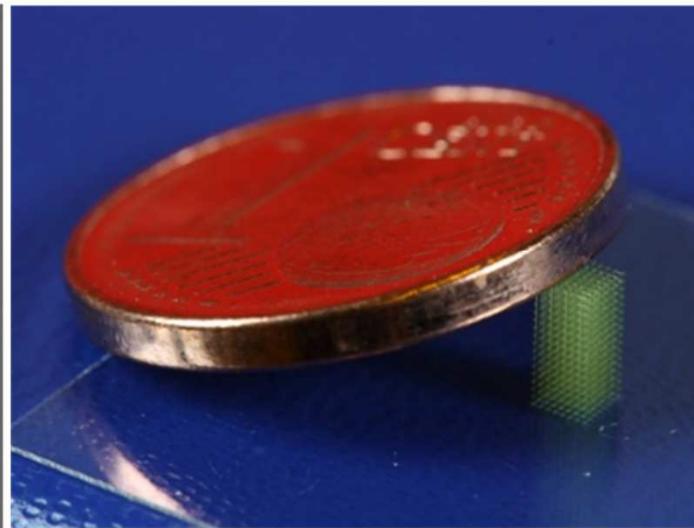
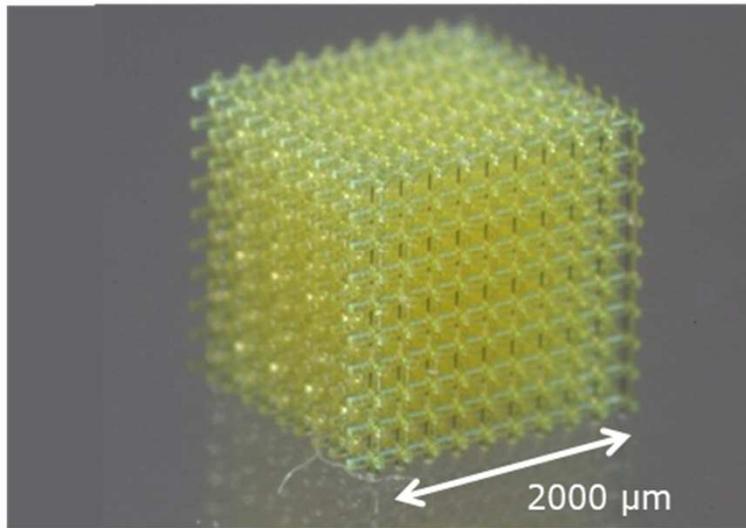
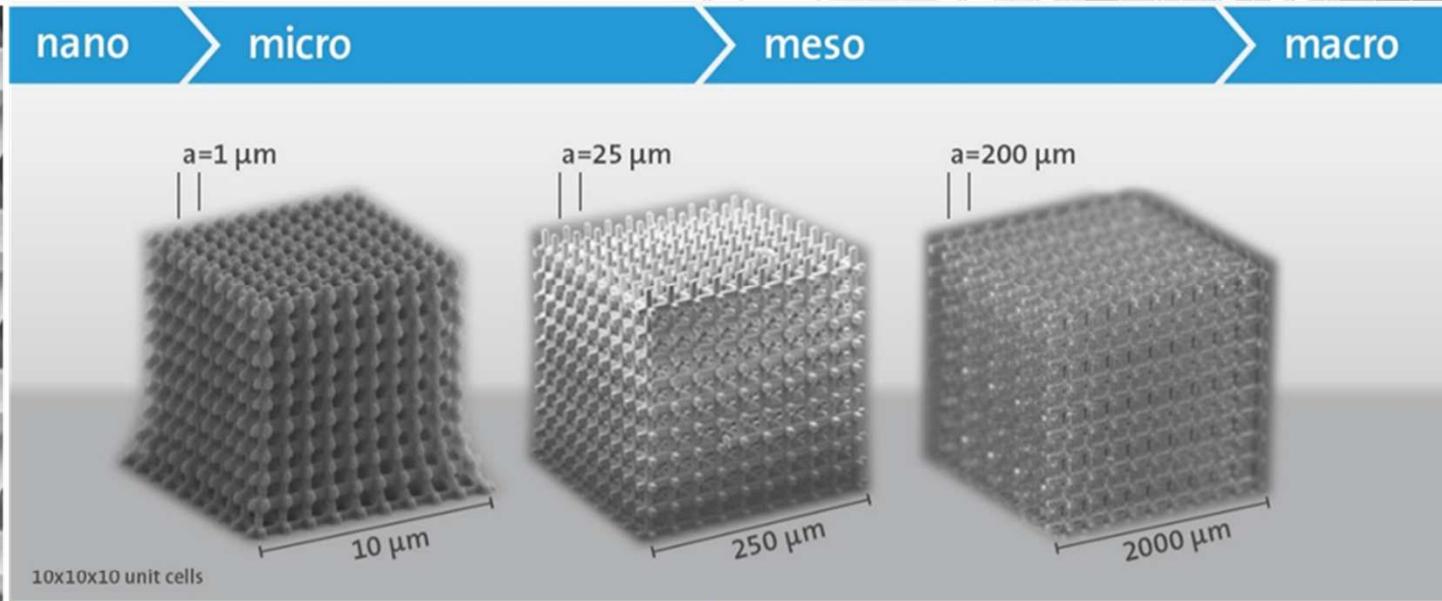
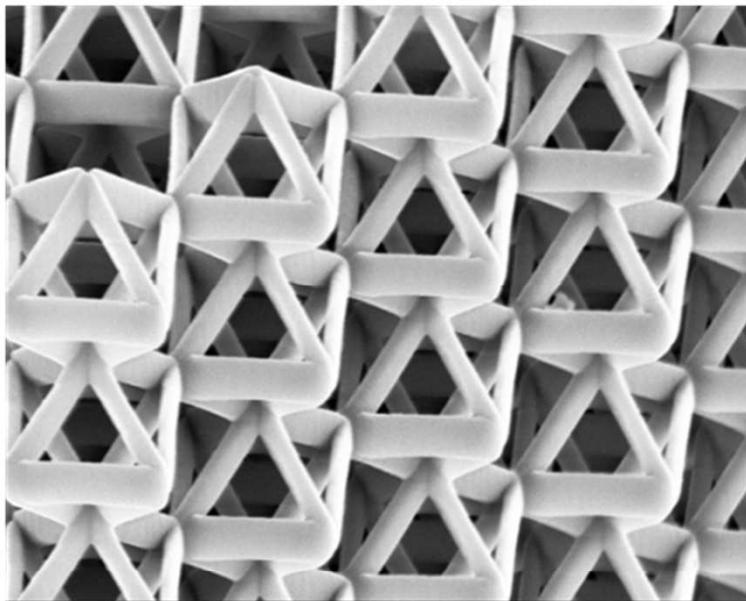
## 10X / Résine: IP-Q

Pièces 3D de taille importante



- Champ d'écriture: 1mm
- Résolution: 20µm

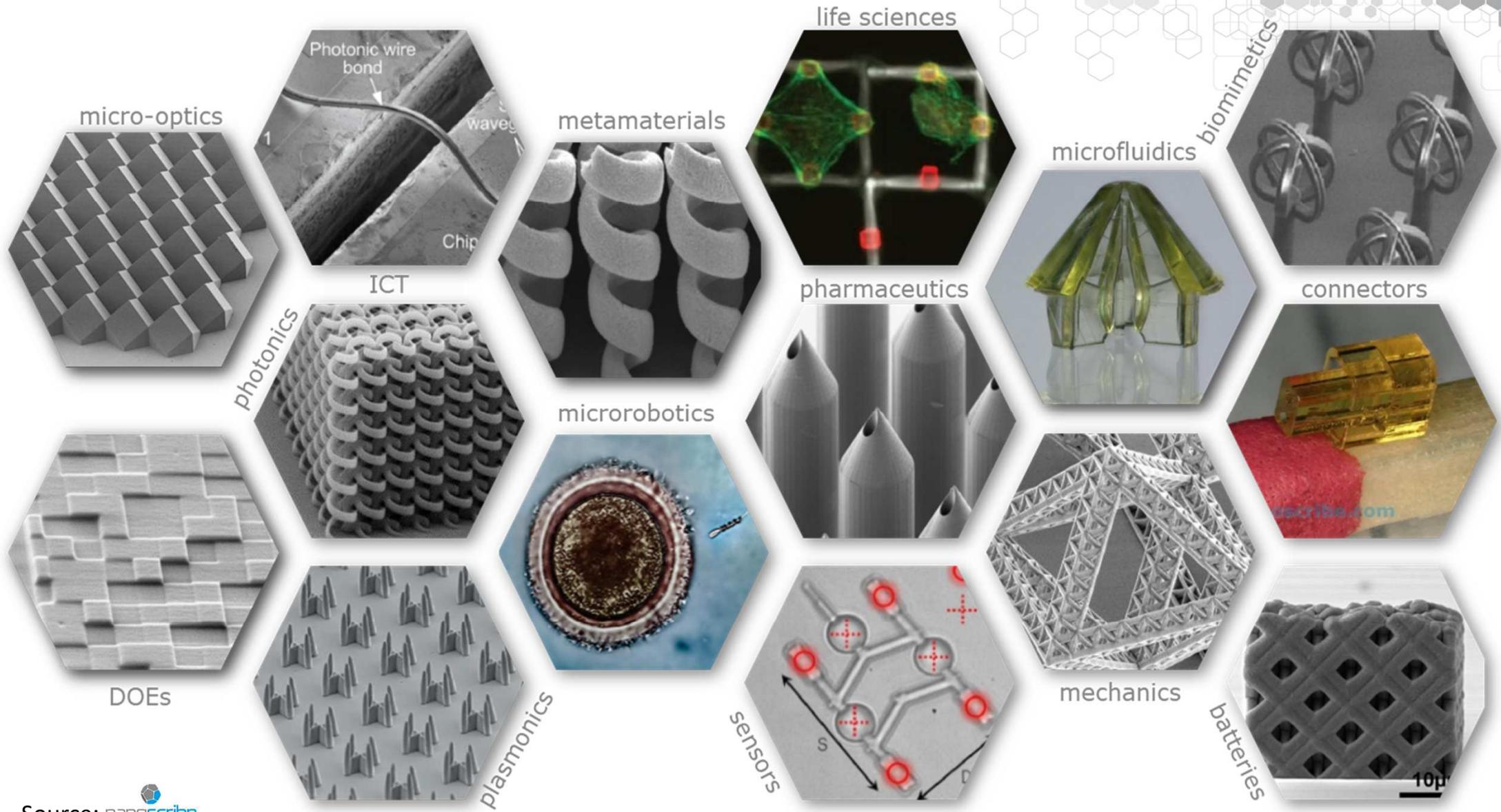
# Flexibilité en échelle...



Source:  nanoscribe

Fabrication d'objets 3D allant de qqs  $\mu\text{m}^3$  à qqs  $\text{mm}^3$

# Beaucoup d'applications...



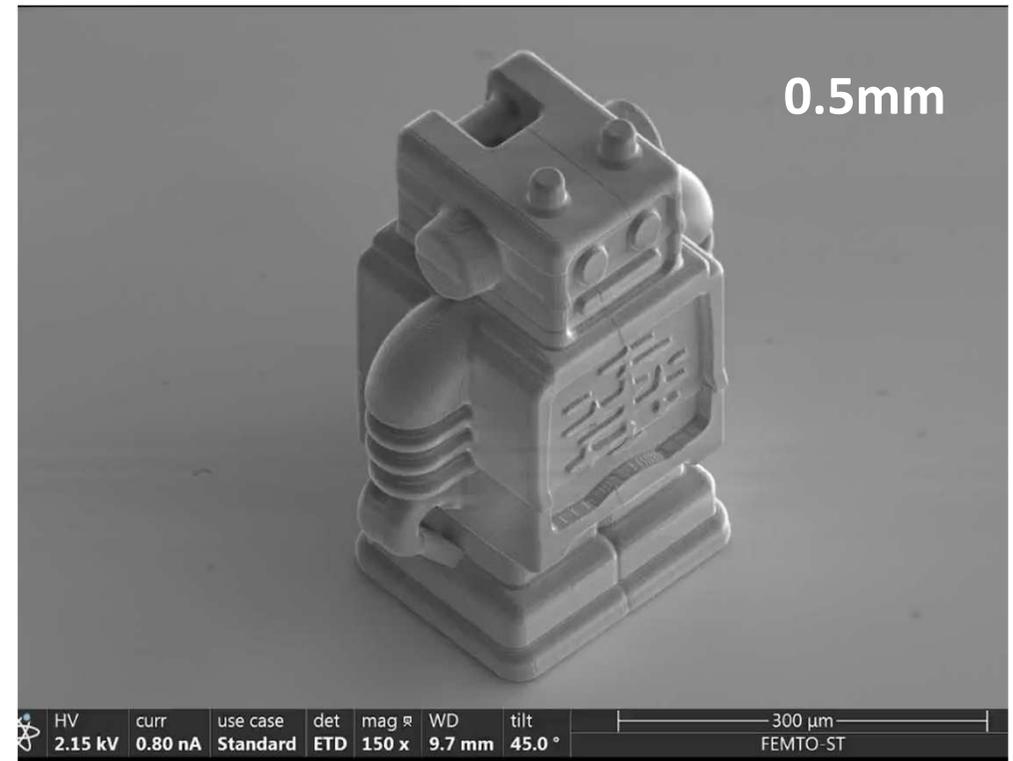
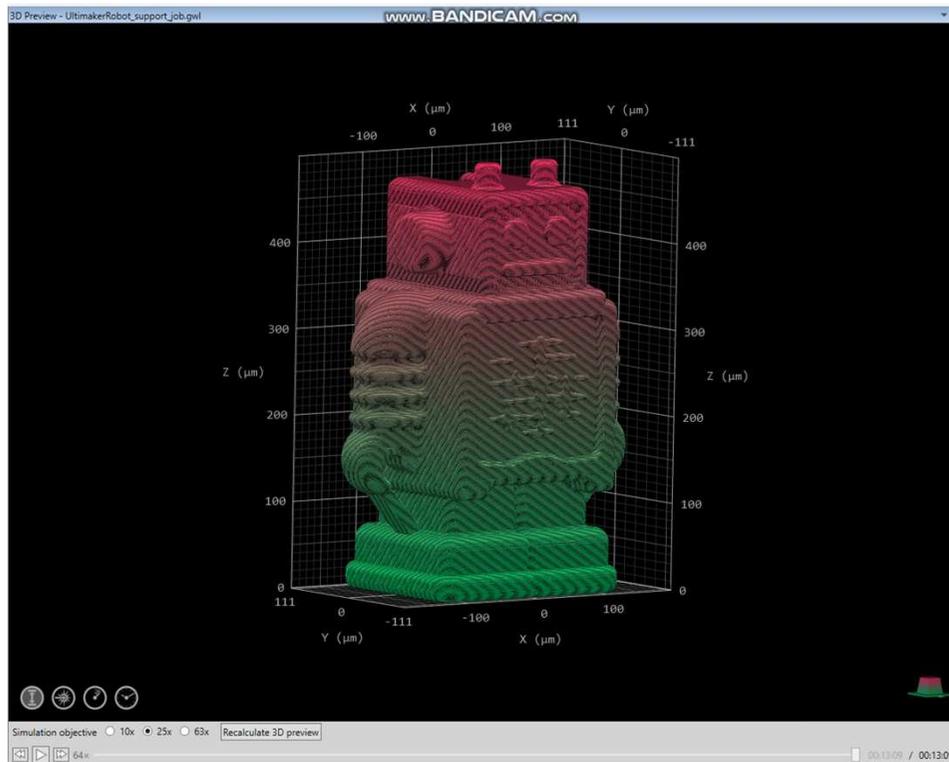
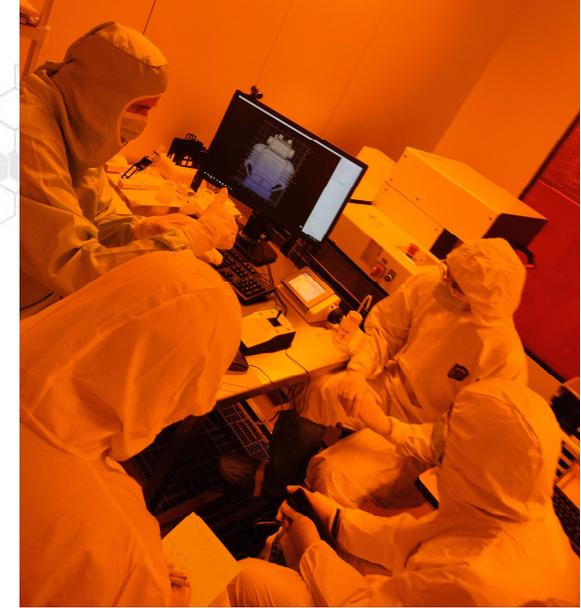
Source: [nanoscribe](http://nanoscribe.com)

# Ecole $\mu$ -nano-technologie (11/22)

TP:  $\mu$ -fabrication par lithographie à deux photons

Impression d'un micro-robot :

- Préparation du fichier d'impression
- Dimensions:  $382\mu\text{m} \times 222\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$
- Durée d'impression: 16 minutes



# Travaux de recherche à FEMTO-ST

## Réseau neuronal photonique\* Mématériaux mécaniques

D. Brunner

63X / IP-Dip

M. Kadic

25X / IP-S

## Piston souple

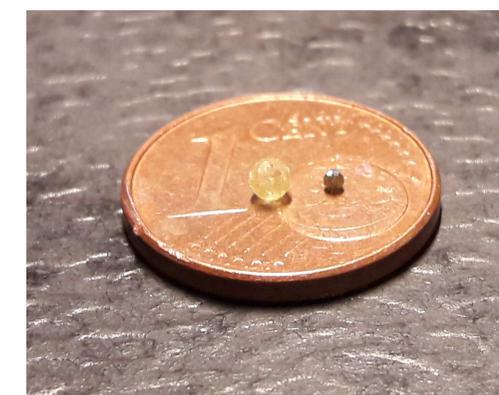
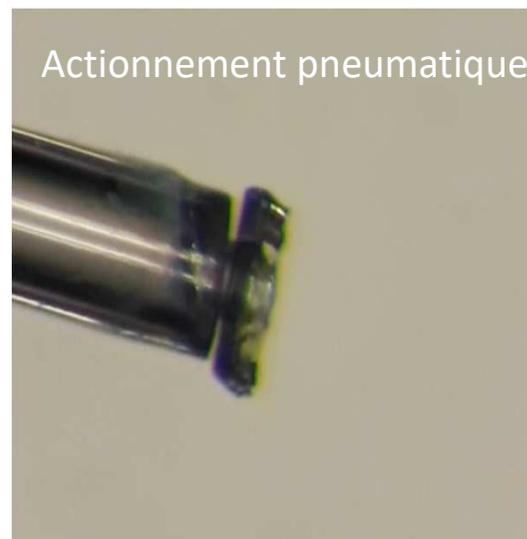
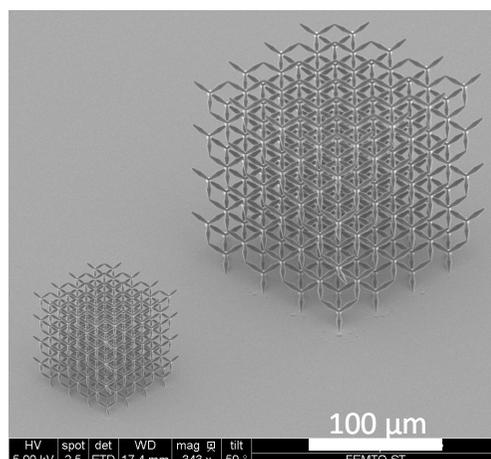
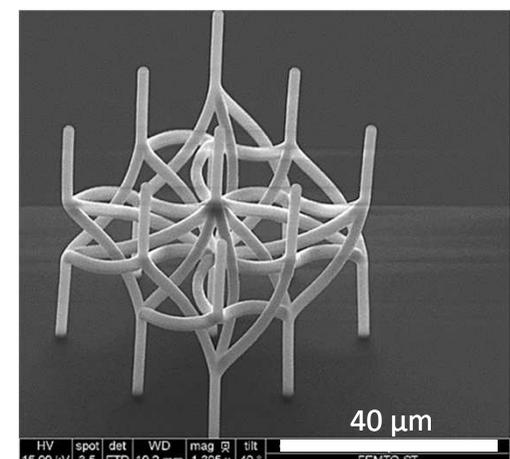
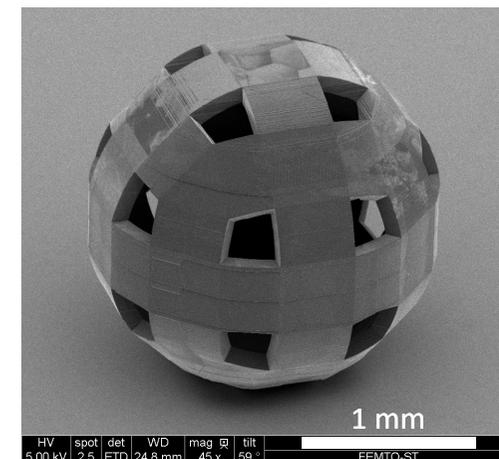
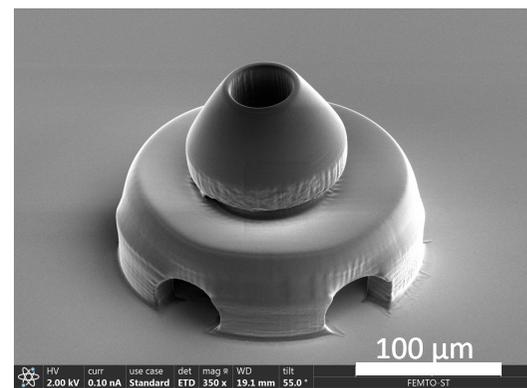
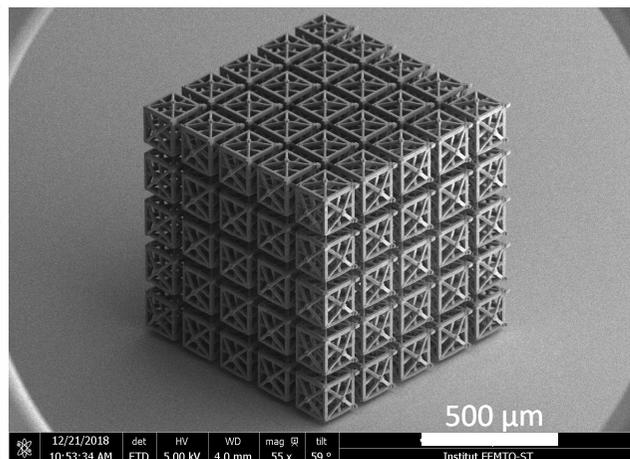
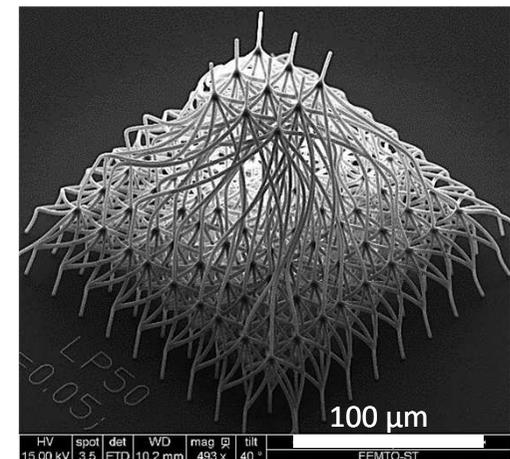
A. Barbot

25X / IP-PDMS

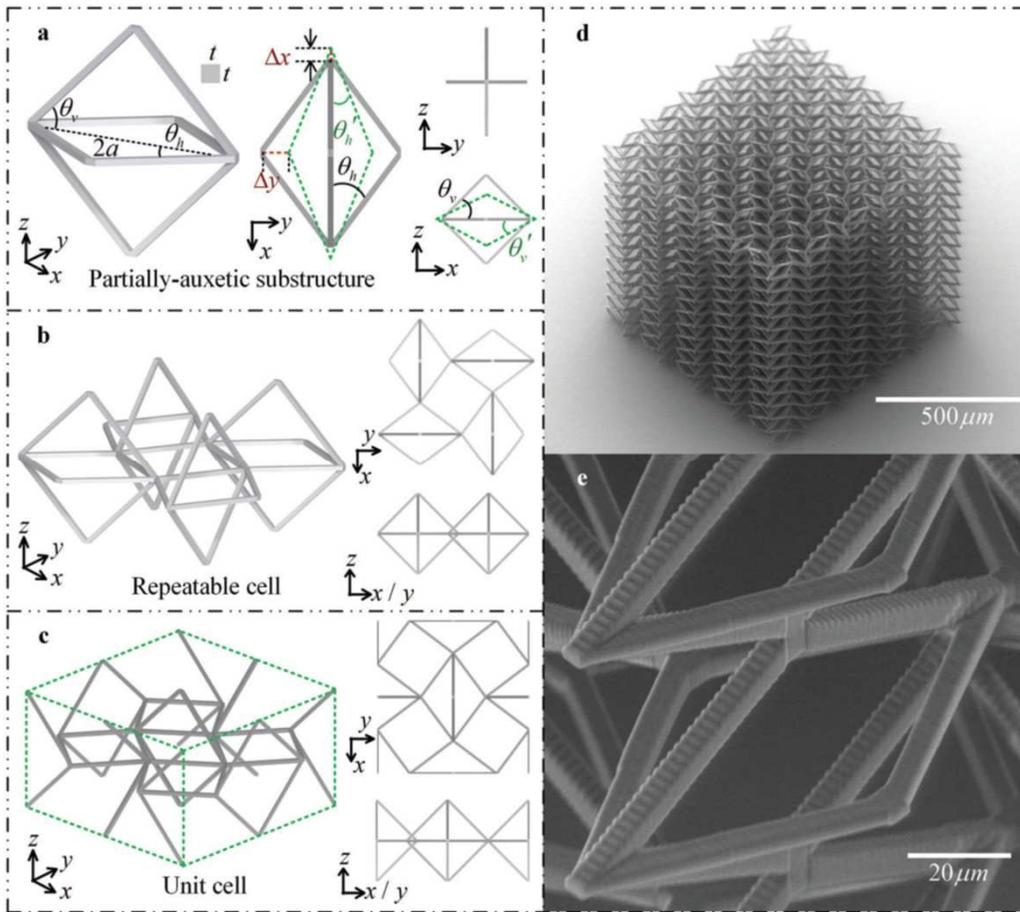
## Objets sphériques

Bourgeois

10X / IP-Q



Catom (1-2mm)



- a) Sous-structure: comportement d'expansion dans la direction x et un comportement de contraction dans la direction y lorsqu'elle est comprimée dans la direction z
- b) Cellule répétable obtenue en disposant alternativement la sous-structure le long des directions x et y
- c) Cellule unitaire
- d) Images MEB du métamatériau mécanique 3D en résine **IP-S / 25X**
- e) Une vue rapprochée de la sous-structure

Etude de la déformation de ce type de structures sous compression pour deux configurations:

- Echantillon A:  $\theta_h=46.4^\circ$  et  $\theta_v=45^\circ$
- Echantillon B:  $\theta_h=\theta_v=26.5^\circ$
- Tous les autres paramètres restent identiques

## Three-dimensional Auxetic Metamaterials with Elastically-stable Continuous Phase Transition

Lianchao Wang<sup>1,2</sup>, Gwenn Ulliac<sup>2</sup>, Bing Wang<sup>1,\*</sup>, Julio A. Iglesias Martínez<sup>2</sup>,  
Krzysztof K. Dudek<sup>2,3</sup>, Vincent Laude<sup>2</sup>, Muamer Kadic<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>National Key Laboratory of Science and Technology on Advanced Composites in Special Environments, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001, PR China

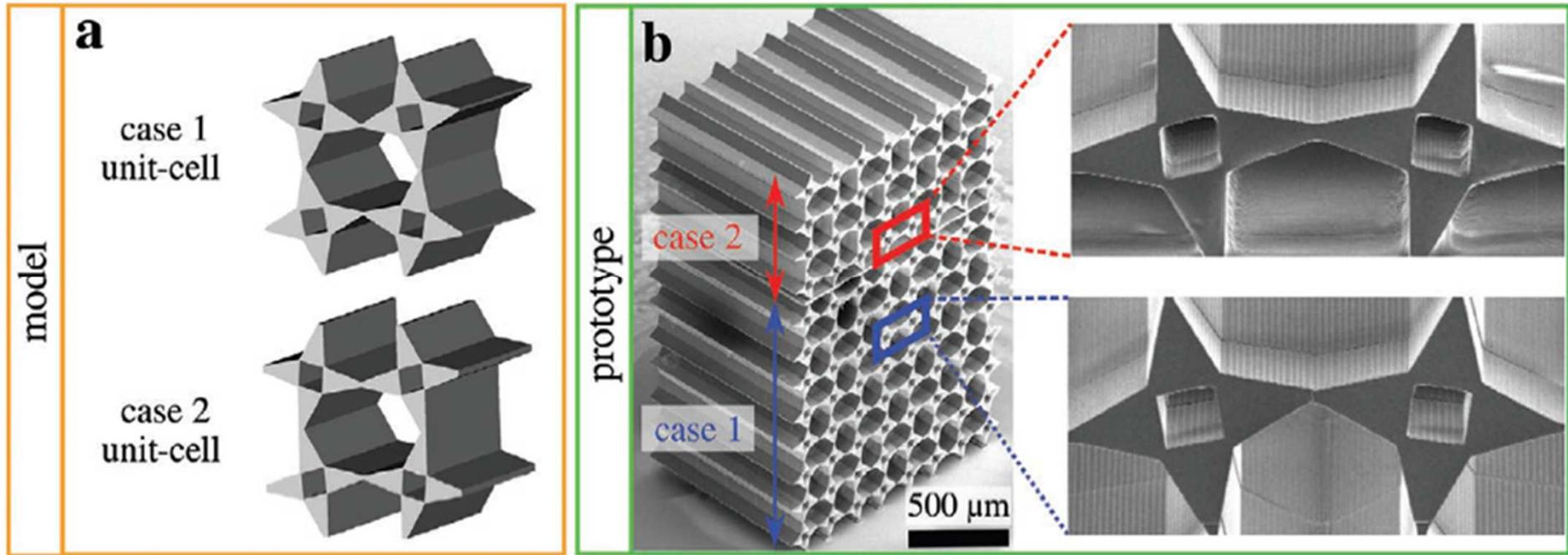
<sup>2</sup>Institut FEMTO-ST, CNRS UMR 6174, University Bourgogne Franche-Comte, Besancon, 25000, France

<sup>3</sup>Institute of Physics, University of Zielona Gora, ul. Szafrana 4a, 65-069 Zielona Gora, Poland

# Morphing: concept / fabrication

But: utiliser des métamatériaux mécaniques pour répliquer la forme d'un objet de référence

Résine: IP-S / Objectif: 25X



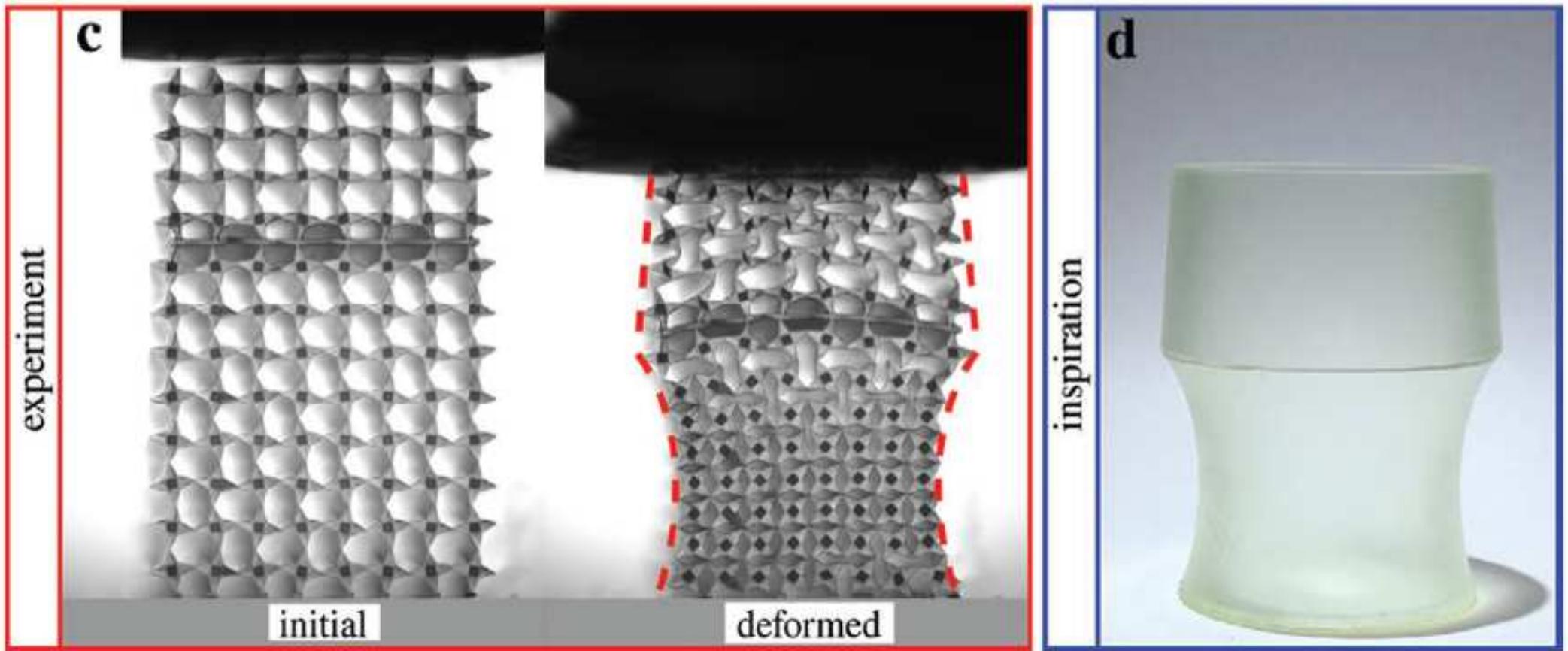
a) Conception de la structure: utilisation de deux cellules unitaires différentes (cas 1 et cas 2)

b) Prototype fabriqué avec zooms sur les 2 types de cellules unitaires utilisées dans la conception de ce matériau composite

# Morphing: caractérisation



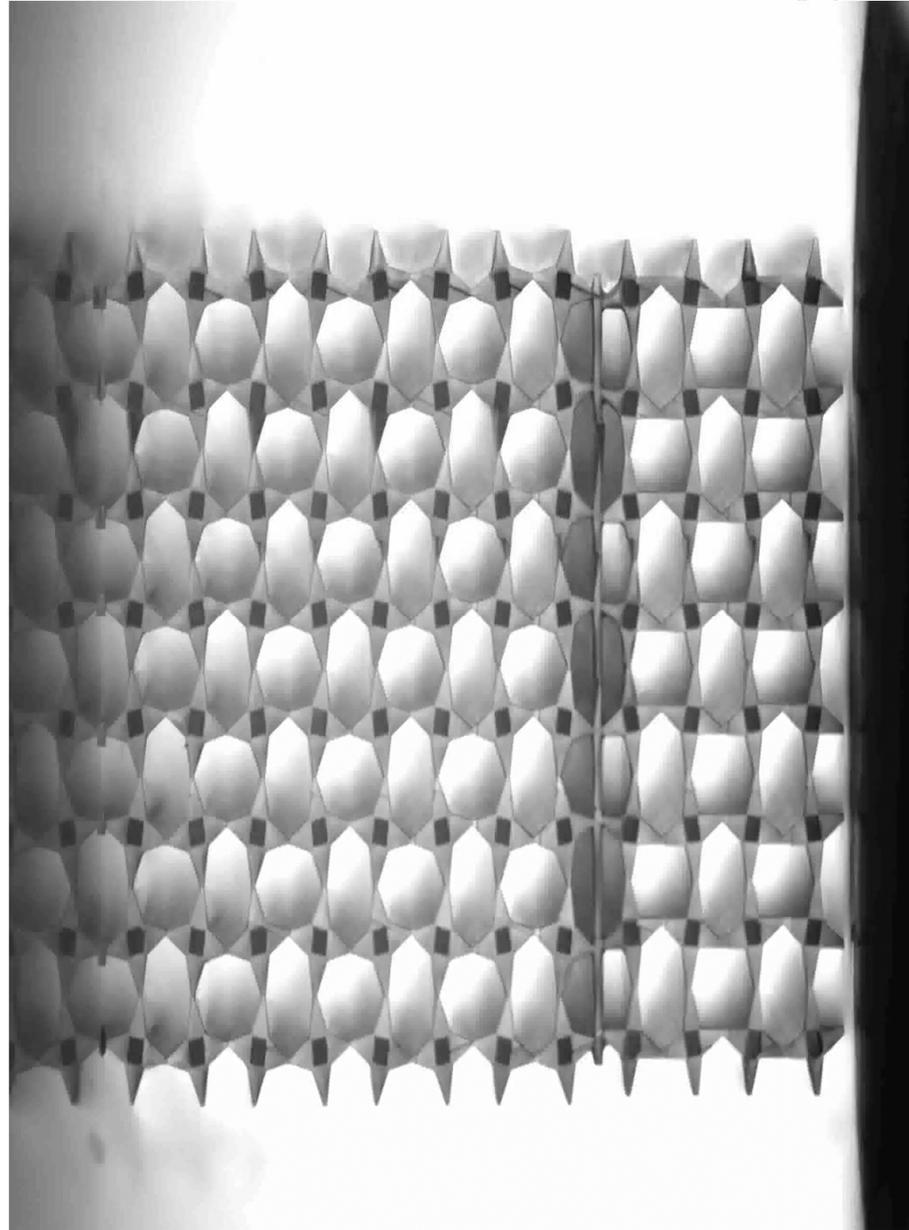
Compression de la structure composite: morphing



c) Changement de la forme de la structure composite avant / après compression

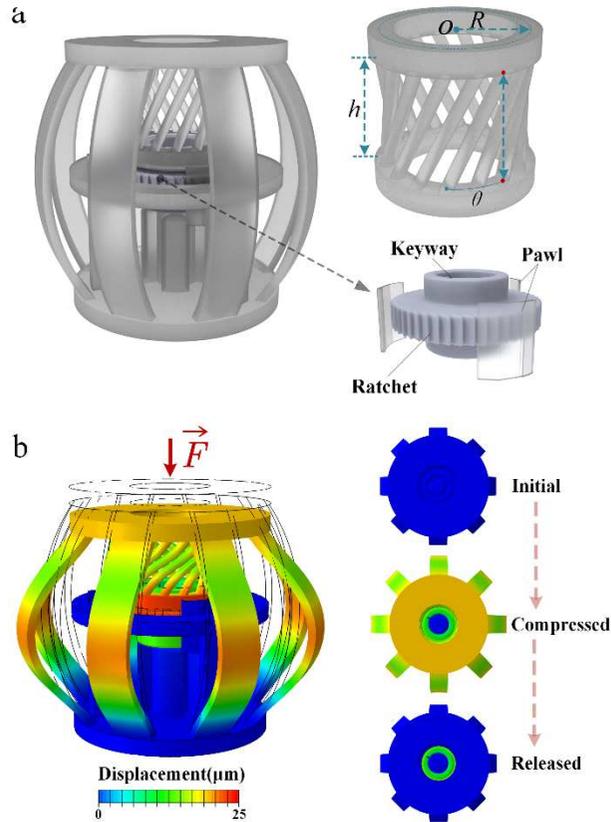
d) Forme répliquée de l'objet de référence: mug

# Morphing: caractérisation



**Echantillon 2**

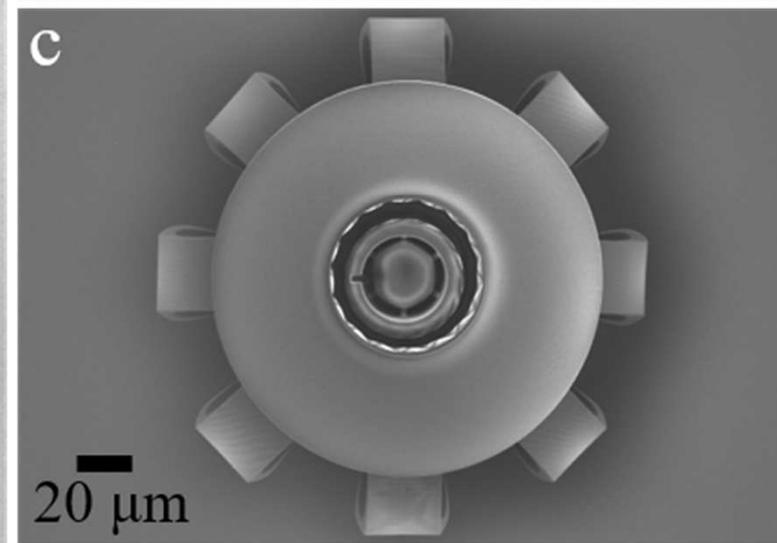
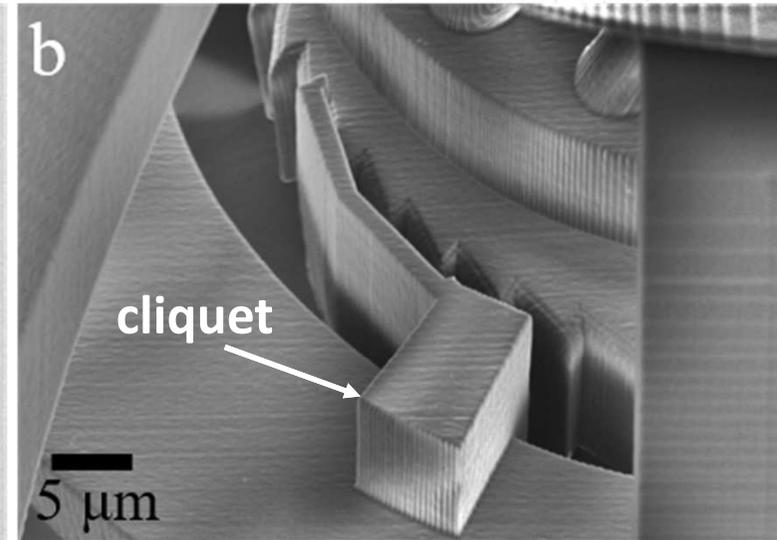
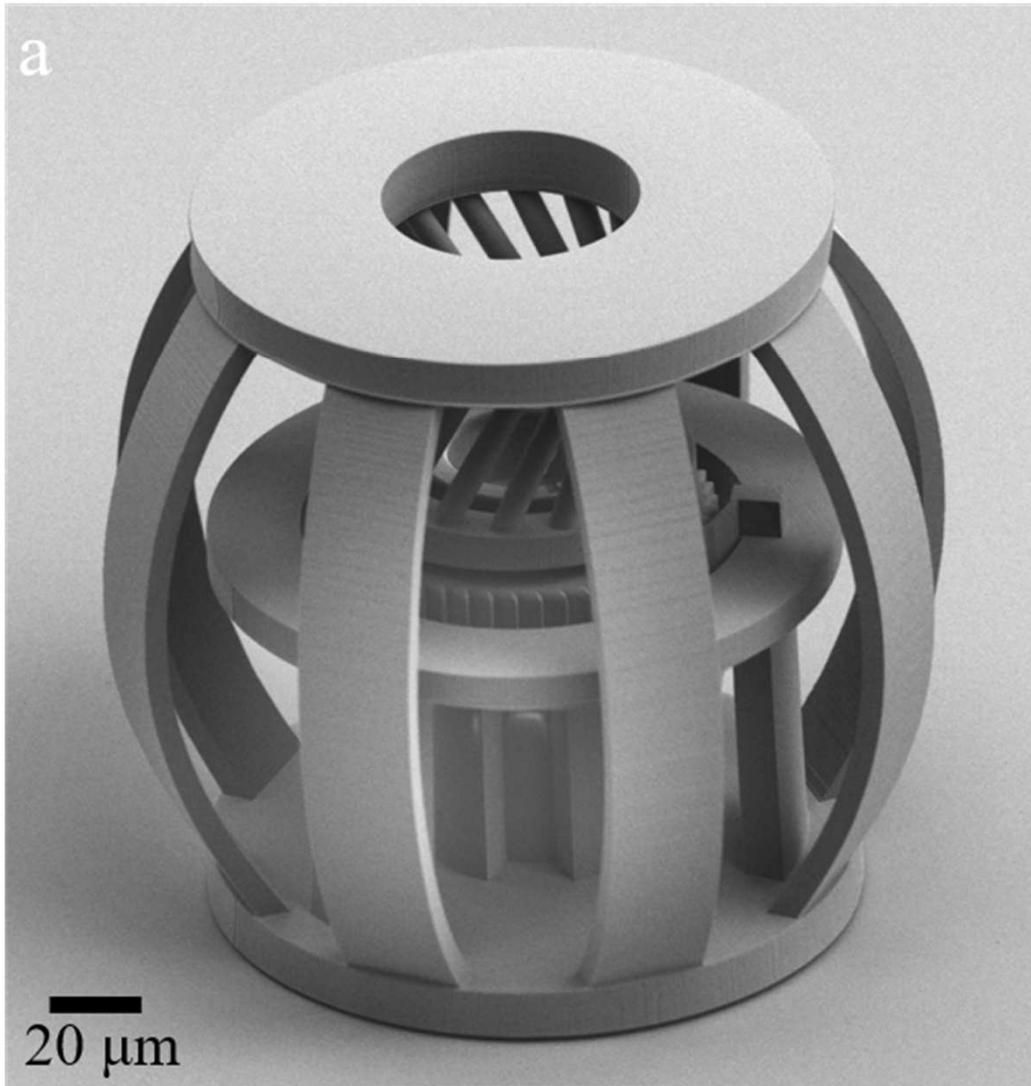
# Micro-moteur pas à pas: design



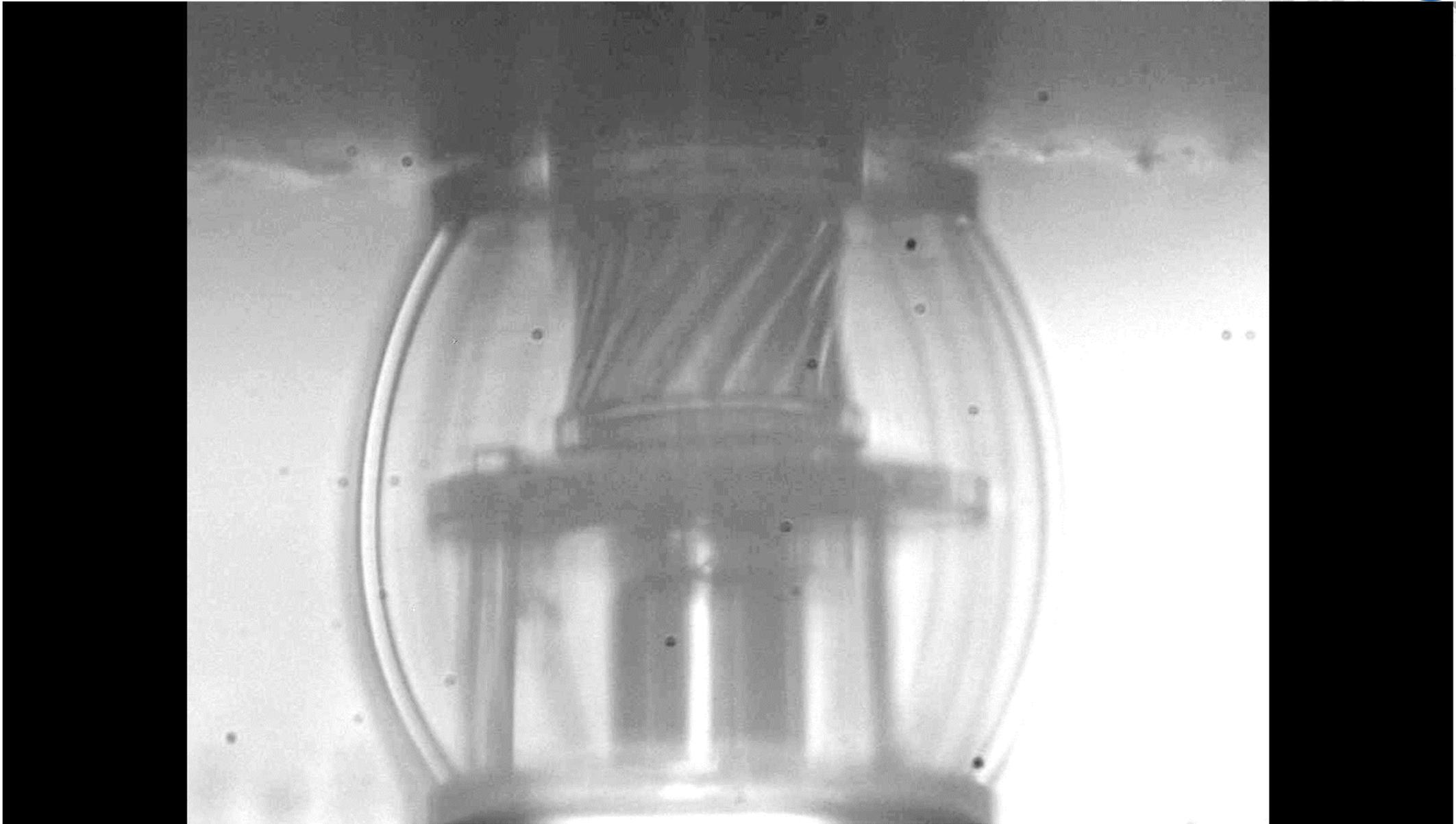
La compression des ressorts élastiques externes provoque la torsion de la colonne élastique. Par frottement, la roue dentée tourne jusqu'à ce que l'angle de pas à pas soit atteint, moment où la compression est relâchée. Un cliquet est utilisé comme mécanisme de blocage afin d'éviter un mouvement de va-et-vient (rotation vers l'arrière)

# Micro-moteur: fabrication

Résine: IP-Dip / Objectif: 63X



# Micro-moteur: rotation pas à pas



# Stratégie bi-matériaux (1/2)



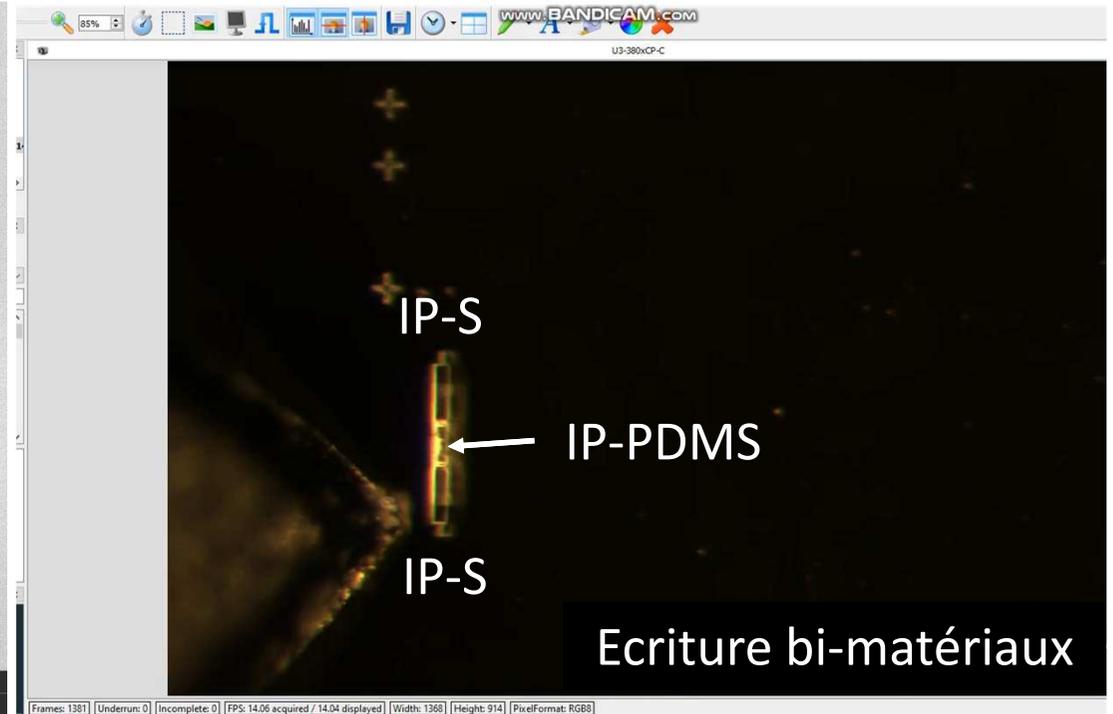
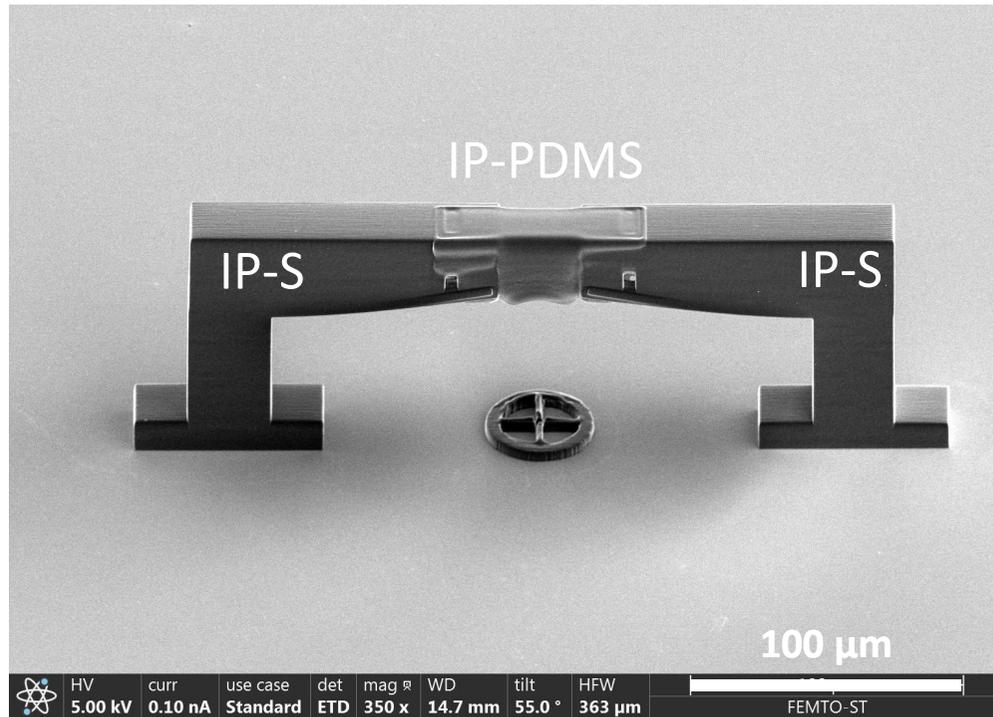
Résine 2PP	Application	Objectif	Substrat
IP-Q	Macroscale	10X	Silicium
IP-S	Mesoscale	25X	ITO-coated sodalime
IP-PDMS	Flexible	25X	ITO-coated sodalime
IP-Dip	Haute résolution	63X	Fused Silica

## Ecriture bi-matériaux:

- En imprimant **avec deux résines** compatibles (objectif/substrat): **IP-S** et **IP-PDMS**
  - Ré-alignement niveau à niveau entre les 2 étapes d'impression nécessaire

# Procédé bi-matériaux

- Etape 1: procédé standard avec 1<sup>ère</sup> résine (IP-S) / 25X
  - Impression IP-S et développement
- Etape 2: procédé avec 2<sup>ème</sup> résine (IP-PDMS) / 25X
  - Alignement par rapport au 1<sup>er</sup> niveau imprimé en IP-S (caméra in-situ)
  - Impression IP-PDMS et développement



# Stratégie bi-matériaux (2/2)

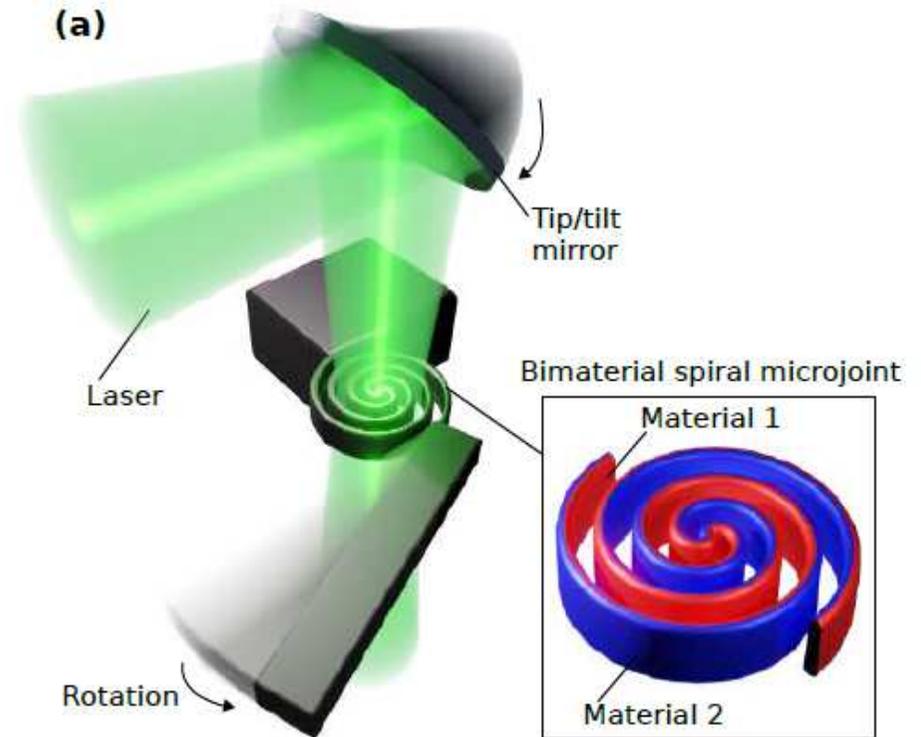
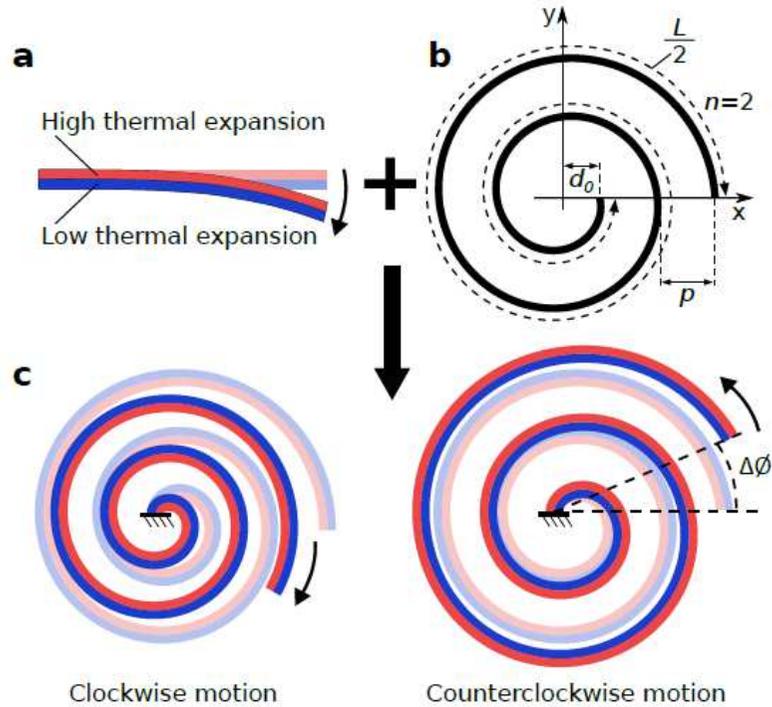


Résine 2PP	Application	Objectif	Substrat
IP-Q	Macroscale	10X	Silicium
IP-S	Mesoscale	25X	ITO-coated sodalime
IP-PDMS	Flexible	25X	ITO-coated sodalime
IP-Dip	High resolution	63X	Fused Silica

## Ecriture bi-matériaux:

- En imprimant **avec deux résines** compatibles (objectif/substrat): **IP-S** et **IP-PDMS**
- En imprimant **avec la même résine** mais avec deux puissances laser différentes: **LP1** / **LP2**:
  - Modification des propriétés thermiques / mécaniques = f(paramètres Laser)

# Micro-pince: principe /design



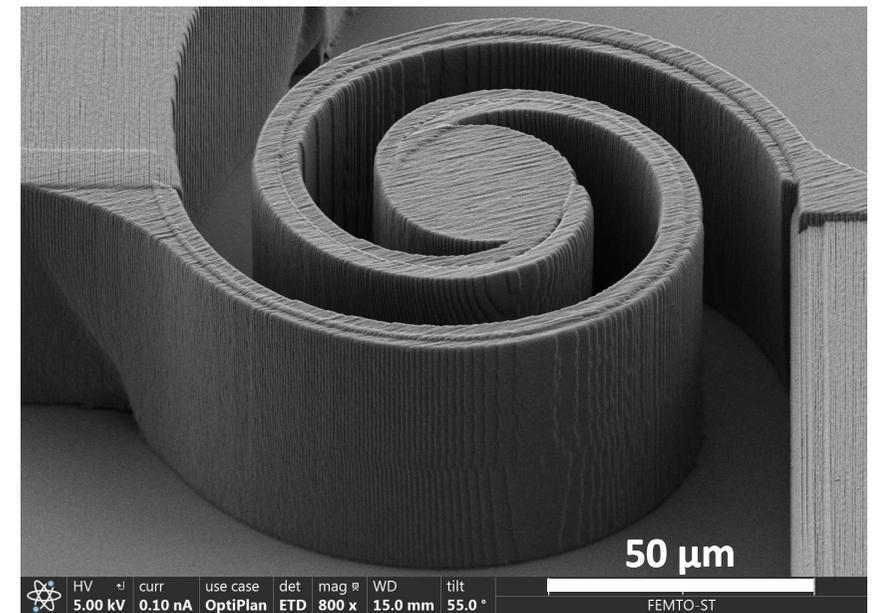
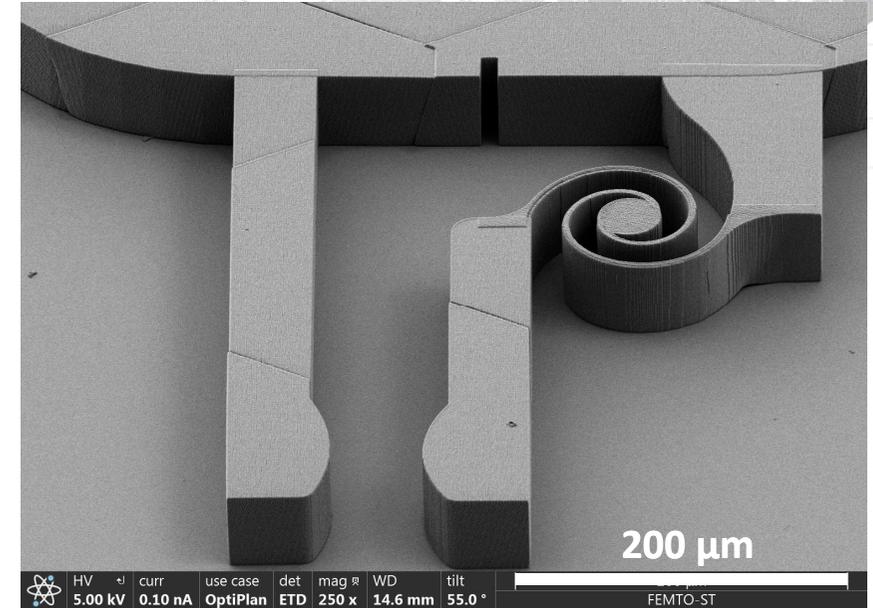
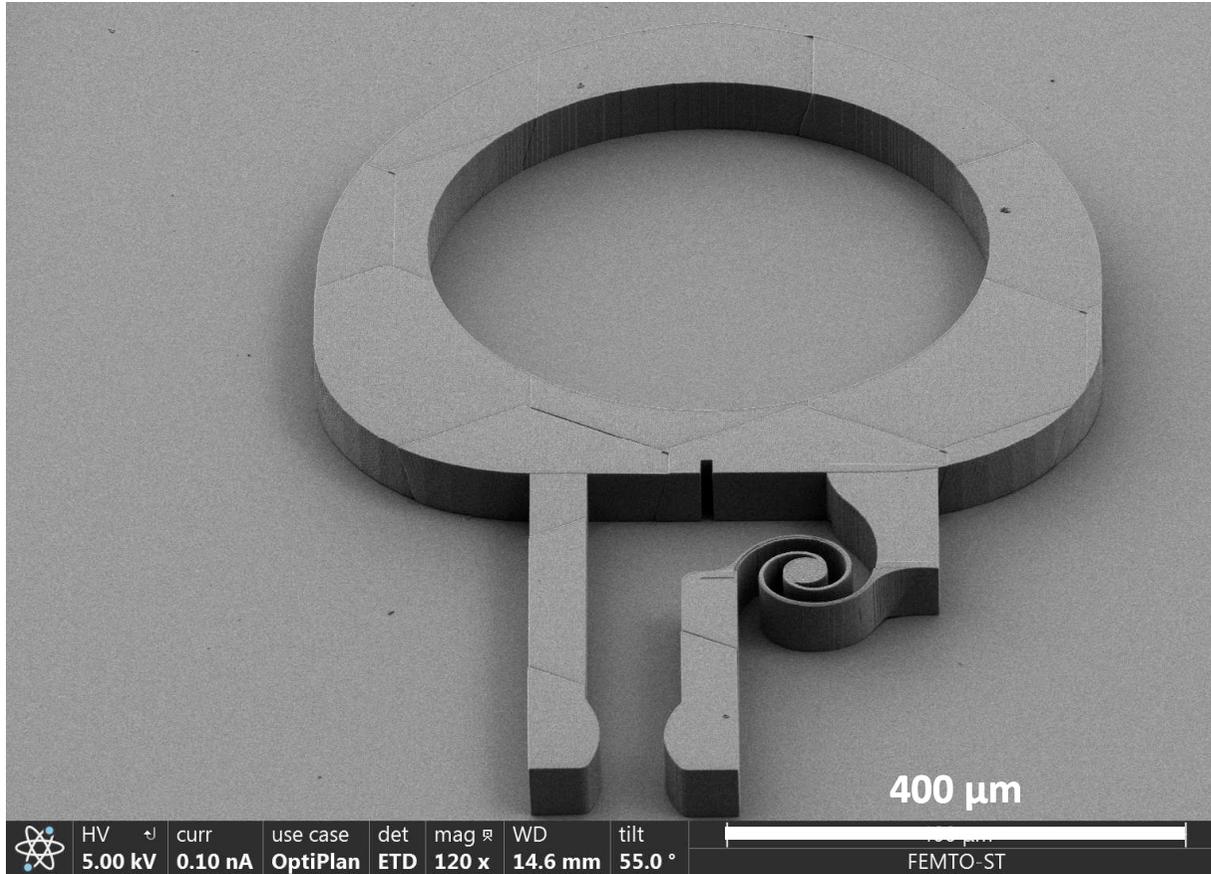
Modélisation d'une articulation type spirale:

- (a) Déflexion d'une poutre bi-matériaux quand chauffée du fait d'une différence entre les coefficients d'expansion thermique des 2 matériaux (IP-S (LP1) / IP-S (LP2))
- (b) Modèle de spirale
- (c) Déplacement rotationnel et effet de la position des bi-matériaux sur la direction (sens horaire ou anti-horaire)

Concept: articulation constituée d'une spirale bi-matériaux entraînant un déplacement rotationnel quand chauffée localement par un faisceau laser

# Micro-pince: fabrication

Résine: IP-S / Objectif: 25X



# Micro-pince: caractérisation



Manipulation de  $\mu$ -bille (40 $\mu$ m)

# Un besoin en $\mu$ -impression 3D?

Contact

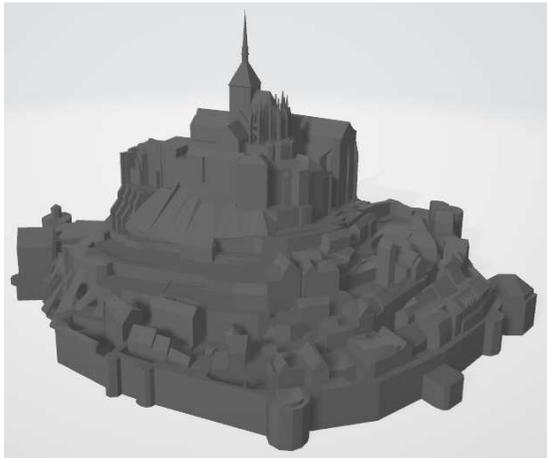
[gwenn.ulliac@femto-st.fr](mailto:gwenn.ulliac@femto-st.fr)

Faisabilité?

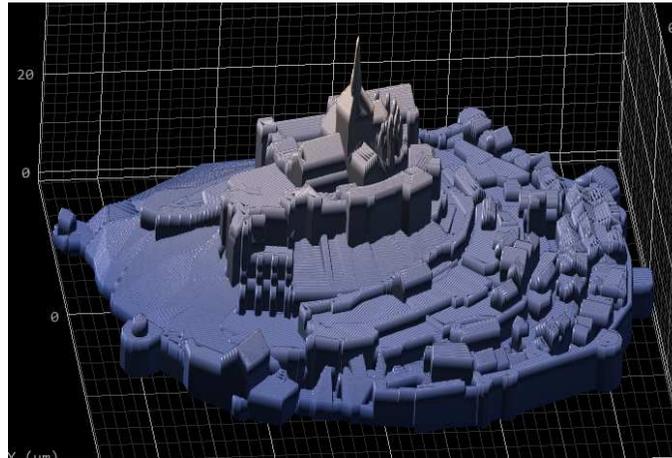
Modèle 3D

Describe

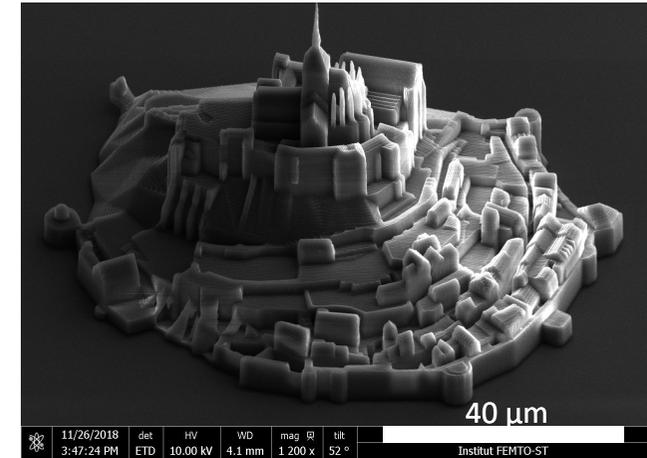
Fabrication



Fichier STL (logiciel CAO)  
Mont Saint-Michel



Fichier GWL: paramètres d'impression  
(Trajectoires, Puissance Laser, Vitesse de Scan...)



Salle blanche MIMENTO  
Tarif: 54 €/heure

