

## Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie

**Robotisation et Supervision de la Fabrication Additive  
silicone :**

**Aperçu de développement pour des applications  
en robotique souple et en santé**

Intervenant :  
Thomas Simoncelli, ingénieur projet BIFASI



# Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie

Activités en robotique

# ICube, un laboratoire pluridisciplinaire

## Une force de recherche majeure à Strasbourg

- Création de ICube le 1er Janvier 2013
- Laboratoire de recherche en **ingénierie**, en **informatique** et en **imagerie** avec comme secteurs d'activités privilégiés la **santé**, **l'environnement** et le **développement durable**.



- Unité Mixte de recherche (UMR7357) sous la cotutelle de l'**Université de Strasbourg**, du **CNRS**, de l'**INSA de Strasbourg**, de l'**ENGEES** et de l'**INRIA Grand Est**.



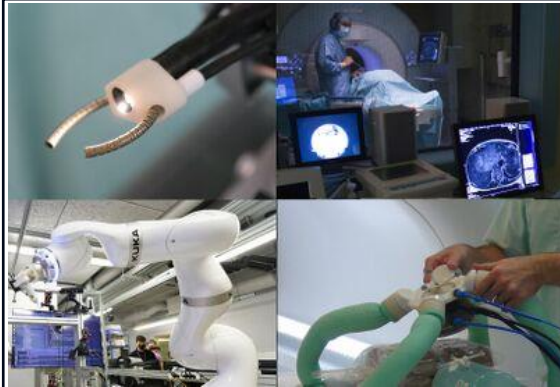
- Avec comme partenaires privilégiés :



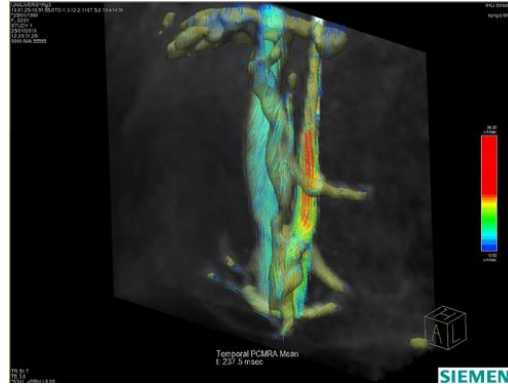
INSTITUT DE CHIRURGIE  
GUIDÉE PAR L'IMAGE



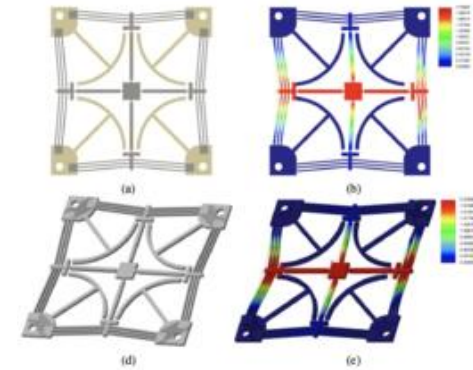
### 3 thèmes de recherche



Robotique médicale et imagerie interventionnelle



Modélisation, apprentissage et science des données



Systèmes complexes et parcimonie

### Compétences techniques :

- Développement de solutions mécatroniques pour des applications médicales
- Intégration logicielle et développements d'applications robotiques
- Fabrication additive multi-matériaux polymères

# Le silicone en robotique et dans le domaine médical

## Le caoutchouc de silicone liquide (LSR – Liquid Silicone Rubber)

### Propriétés (entre autres...)

- Bonne résistance à la compression et à la traction (déchirement)
- Disponible en différentes duretés
- Étanchéité
- Ignifuge
- Isolation électrique
- Biocompatibilité
- Peut être stérilisé



La robotique souple [1]



[Cianchetti2014]

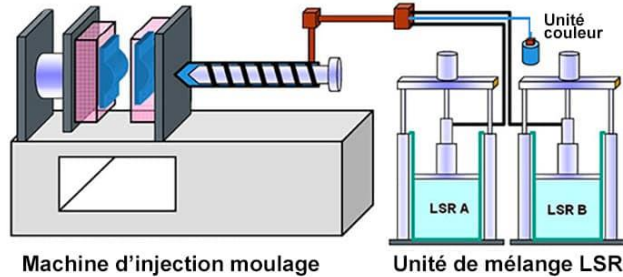


Epithèse

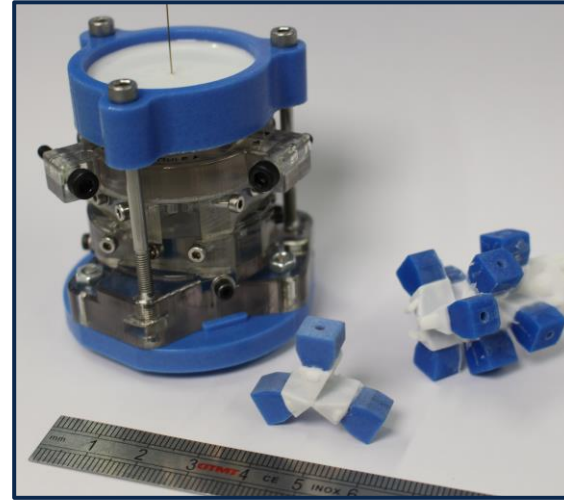


Modèle anatomique

# Fabrication conventionnelle de pièce en silicone



Système d'injection silicone  
(extrait du site ITC élastomères)



[2]  
*Moule et pièces surmoulées en silicone*

## Problématiques :

- Fabrication d'un moule : coûts importants pour des pièces unitaires
- Gestion des noyaux pour la fabrication des cavités pneumatiques
- Complexité de conception pour intégration des événements

### Atouts de la fabrication additive de pièces en silicone

- Prototypage rapide
- Production de petite série
- Personnalisation
- Liberté de forme

### Maitrise de l'impression complexe

- Matière viscoélastique;
- Déformations dues à des efforts extérieurs : Gravité (effondrement), buse (cisaillement sur la matière déposée), ...
- Rhéologie du silicone variable et complexe.



[1]

# Supervision de la fabrication additive silicone

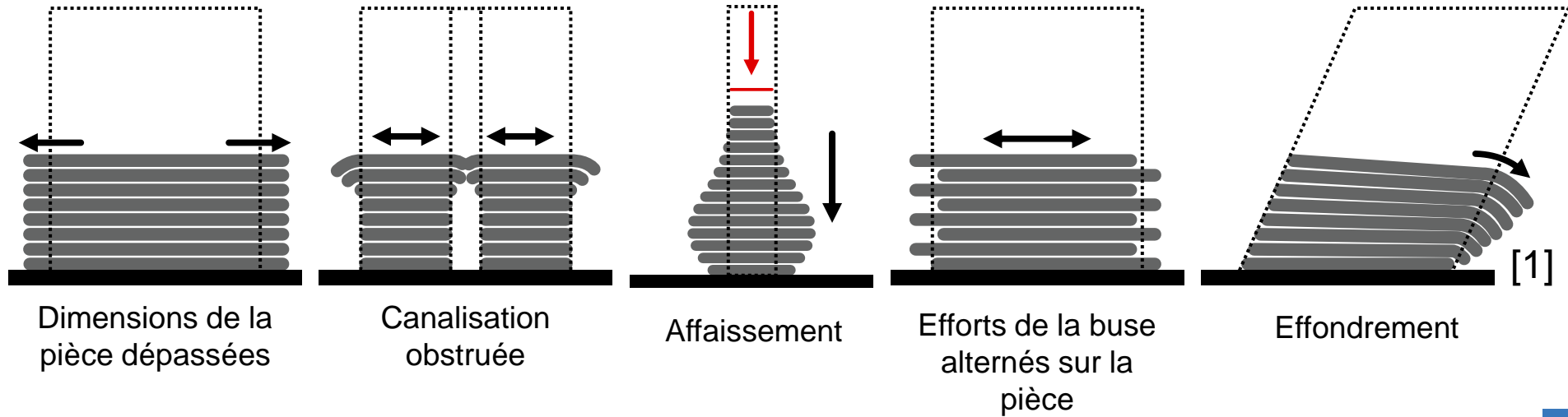
Objectifs et développements





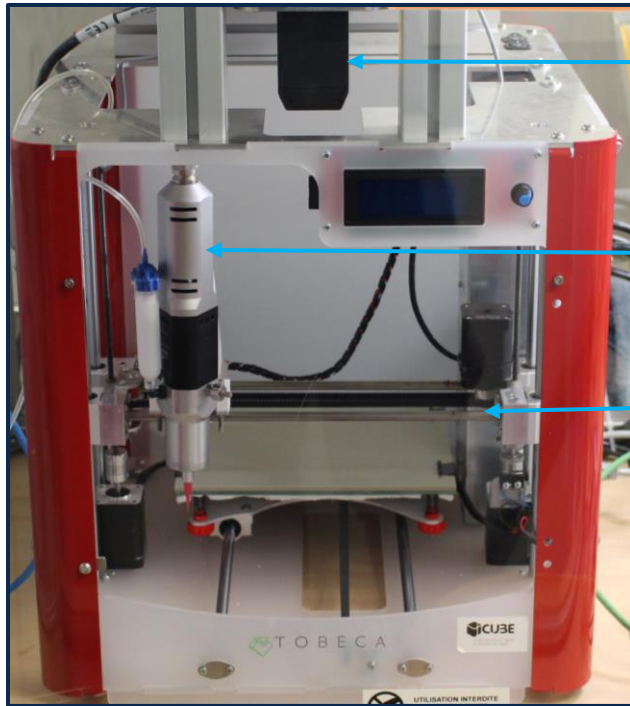
# Supervision de la fabrication additive silicone

Objectif : détection de défauts



# Supervision de la fabrication additive silicone

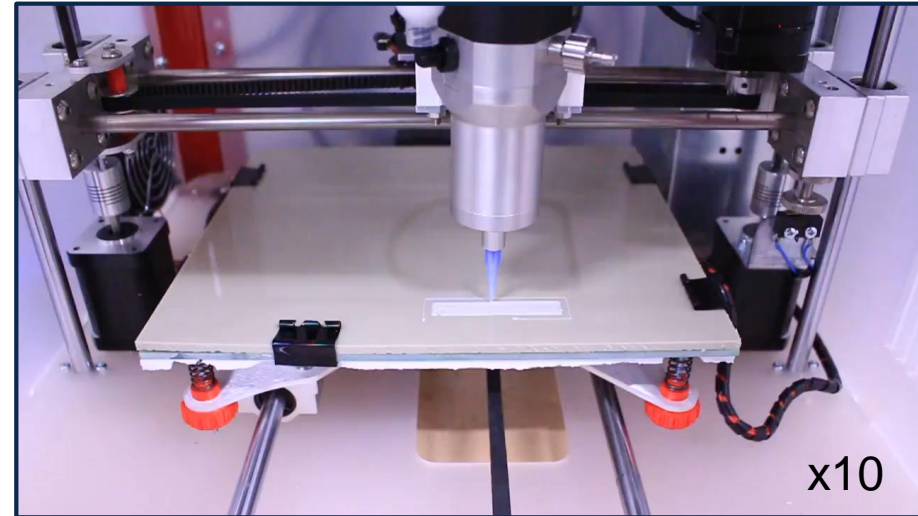
## Impression et scan sur machine cartésienne [1]



Profilomètre  
laser

Tête  
d'impression  
silicone

Imprimante 3D



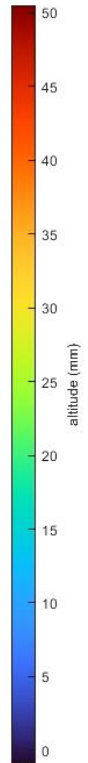
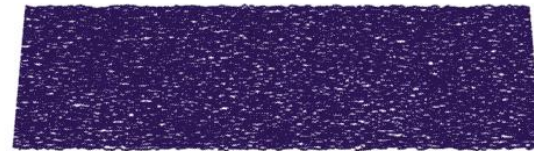
Séquence d'impression et acquisition surface  
courante imprimée

# Supervision de la fabrication additive silicone

## Relevés dimensionnels et perspectives [1]



reference altitude (mm) :  $5.104e-05$   
layer number : 0  
desired altitude (mm) : 0



Projet **RAMSAI** (*Robotized Additive Manufacturing for Silicone assisted by Artificial Intelligence*), [ANR-22-CE10-0001](#).

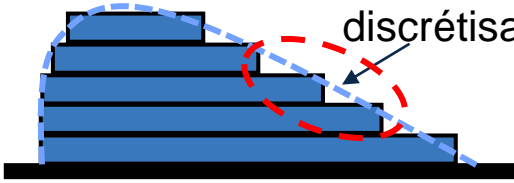
# Robotisation de l'impression 3D Silicone

Intérêts et avantages

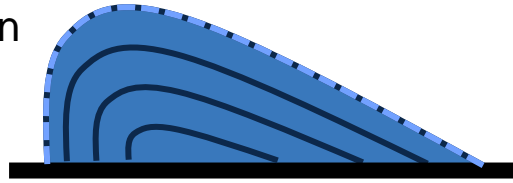
# Robotisation de l'impression 3D Silicone

## Limites des architectures d'impression cartésiennes

Artéfacts de discrétisation



Impression planaire

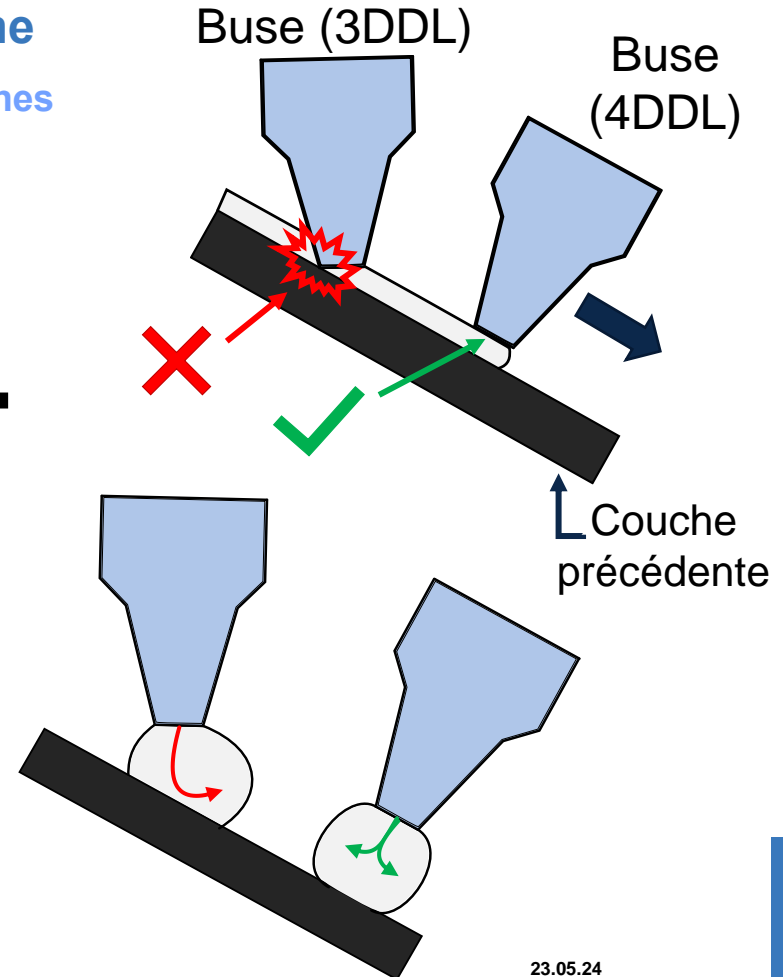


Cas idéal : trajectoires non-planaires

En 3DDL : Risque de collisions et comportements non homogènes en dépose.



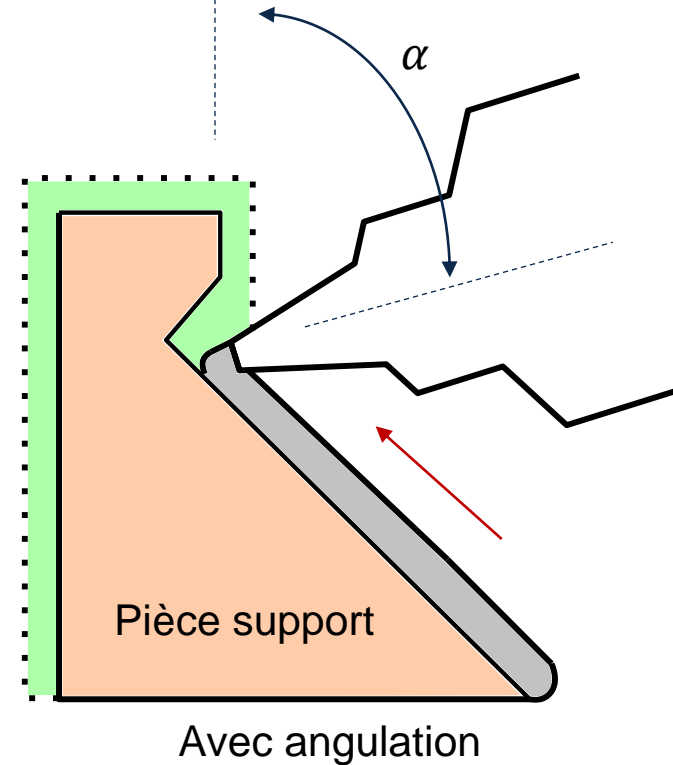
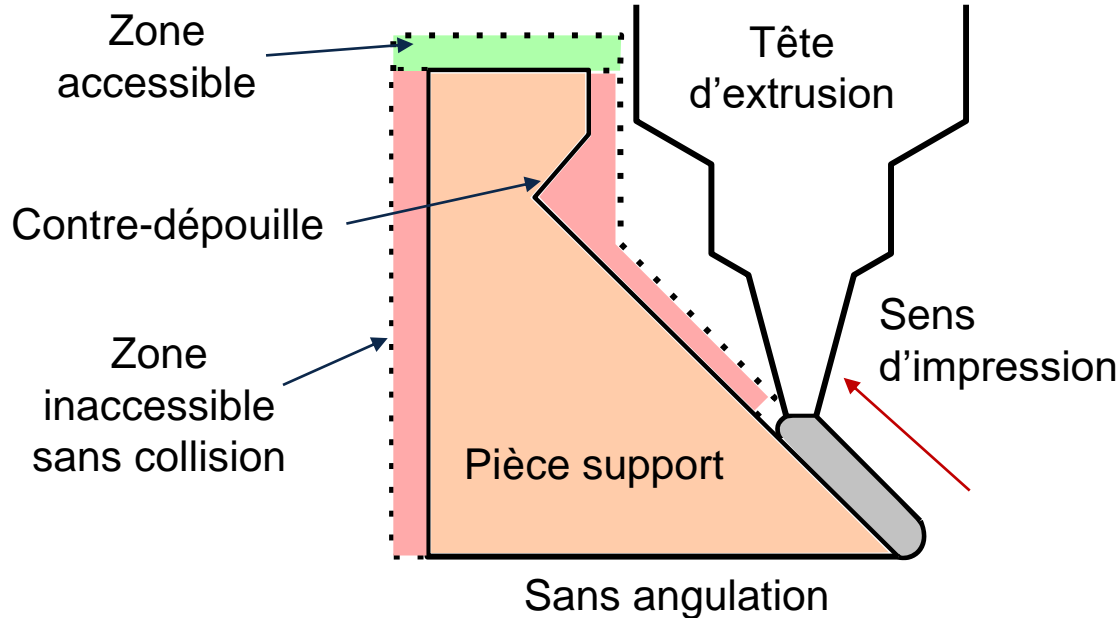
Orientation outil nécessaire pour stratégie de dépose non planaire.



# Robotisation de l'impression 3D Silicone

## Limites des architectures d'impression cartésiennes

Dans le cas d'impression de silicone sur une pièce :



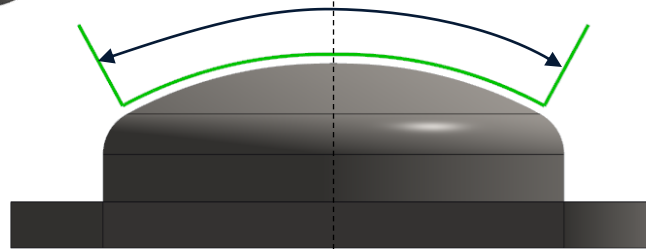
Une structure à 5DDL améliorerait les performances d'impression 3D silicone :  
**impression sur pièce support et nouvelles stratégies de dépose.**

# Robotisation de l'impression 3D Silicone

## Impression sur des surfaces non-planaires



Angulation de dépose  $\pm 40^\circ$



*Cas d'un dôme pour démonstration*  
*Vue CAO*

- Impression sur surface non-planaire et orientation de buse variable.

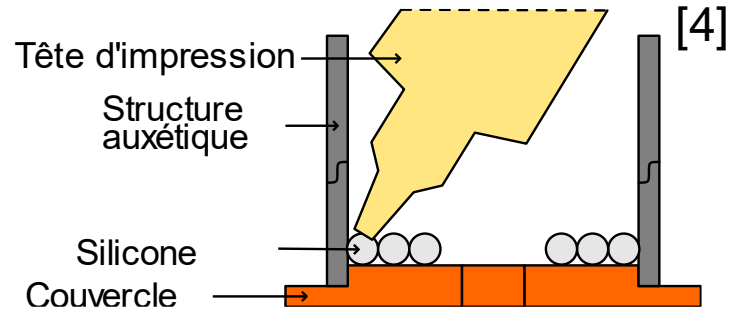


[3]

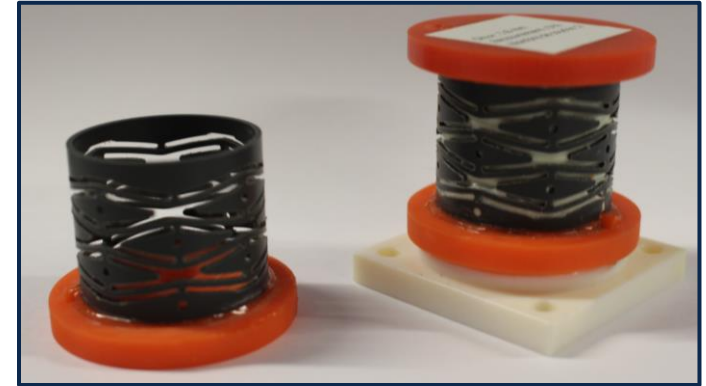
*Impression avec robot KUKA IIWA 14*

# Robotisation de l'impression 3D Silicone

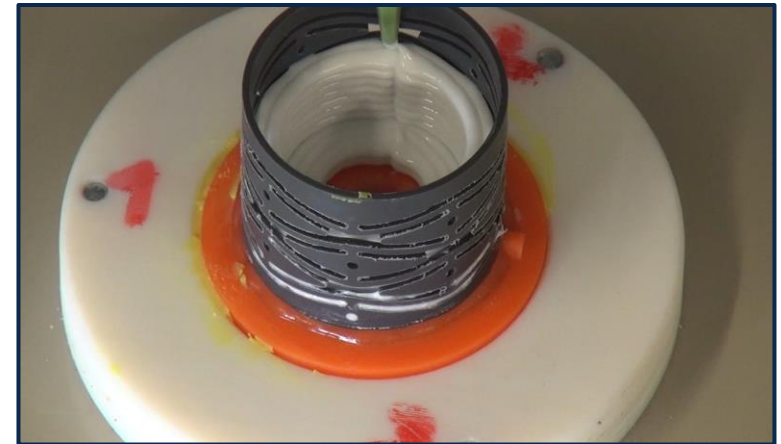
## Fabrication d'un actionneur linéaire



*Chambre auxétique avant impression à gauche, après impression à droite*



- Impression de silicone directement sur une structure auxétique.
- Contrainte de collision.
- Fabrication d'une structure normalement surmoulée.

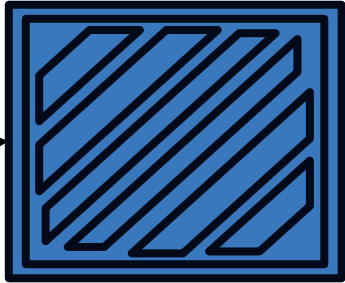




# Robotisation de l'impression 3D Silicone

Perspective d'amélioration : buse à diamètre variable

Buse de petit diamètre

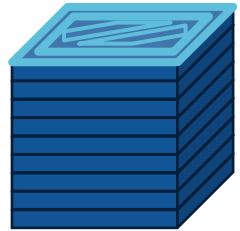


Précision **élevée**  
Durée d'impression  
**augmentée**

Buse de gros diamètre



Précision **faible**  
Durée d'impression  
**réduite**

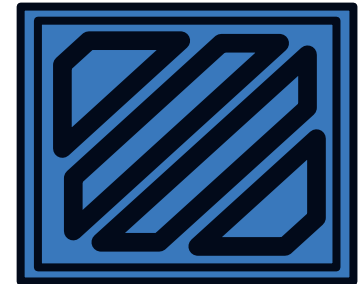


Trajectoire  
d'impression =  
filament silicone

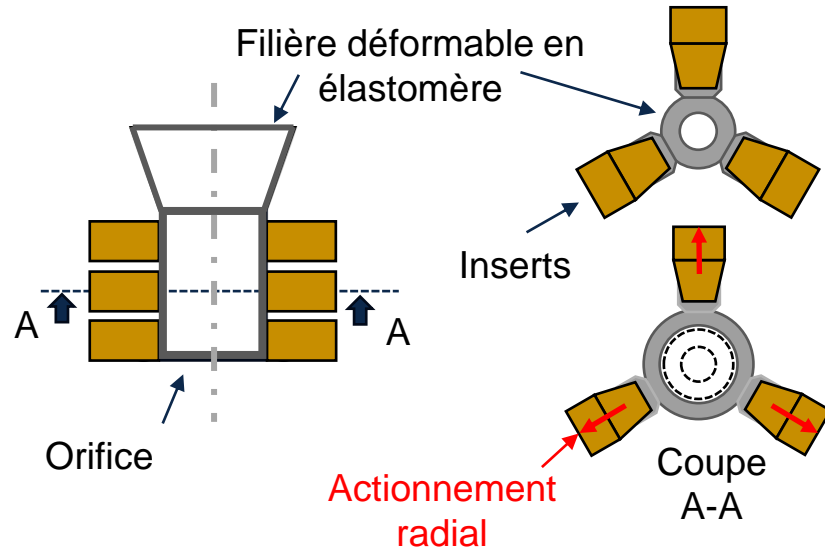


**Objectif** : Avoir une  
précision élevée en  
réduisant la durée  
d'impression

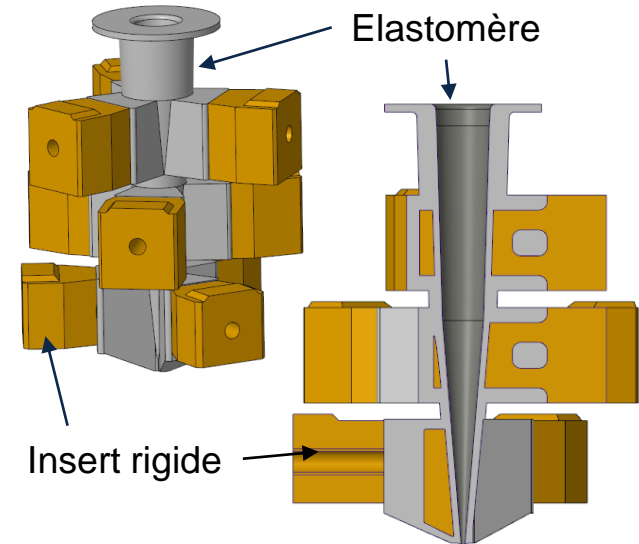
**Stratégie** : Adaptation  
dynamique du diamètre  
d'orifice



Principe de filière à géométrie variable :



Projet de maturation SATT en collaboration avec :



[2]

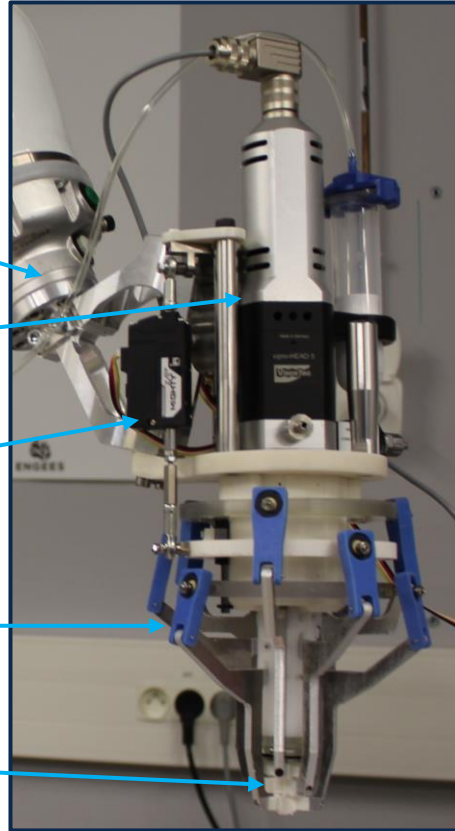
Fixation sur architecture  
d'impression

Tête d'impression

Actionneurs linéaires

Transmission étagée

Filière déformable

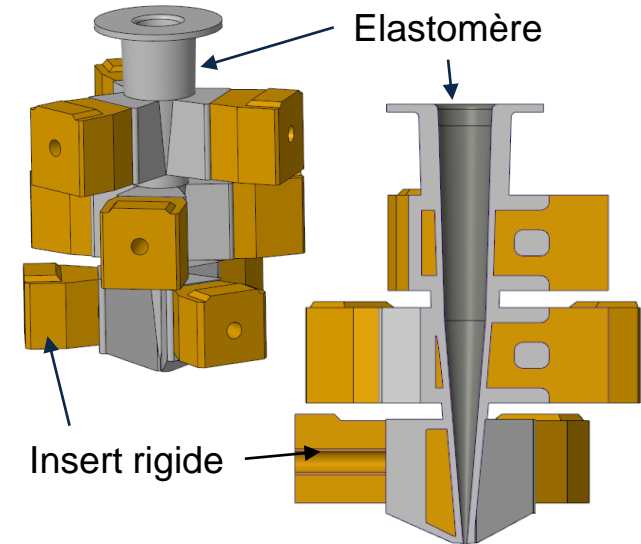


Projet de maturation SATT en  
collaboration avec :

**CONNECTUS**  
FOURNISSEUR OFFICIEL D'INNOVATIONS

**ICBMS**  
LYON

**3Deus**  
Dynamics

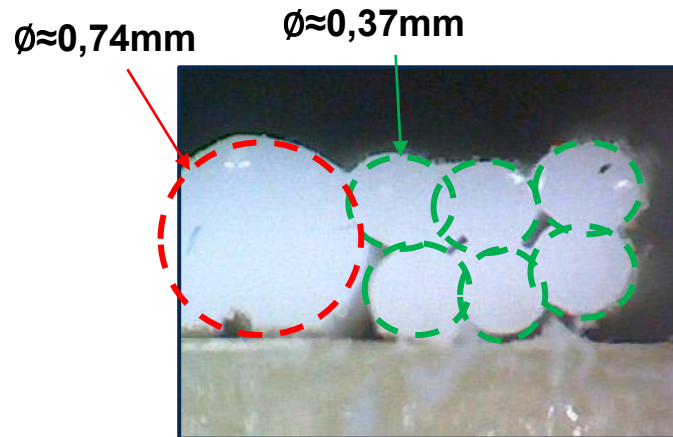


[2]

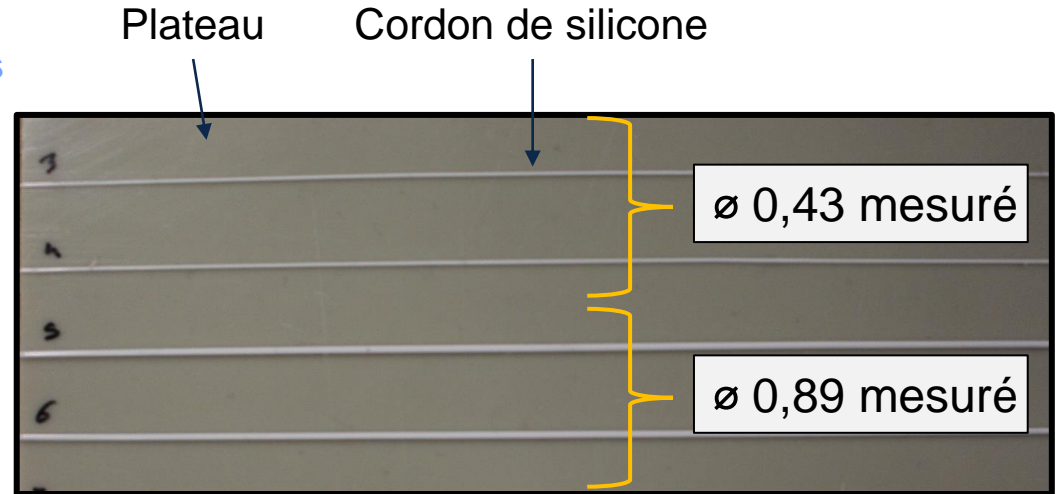
# BIFASI

## Résultats expérimentaux actuels

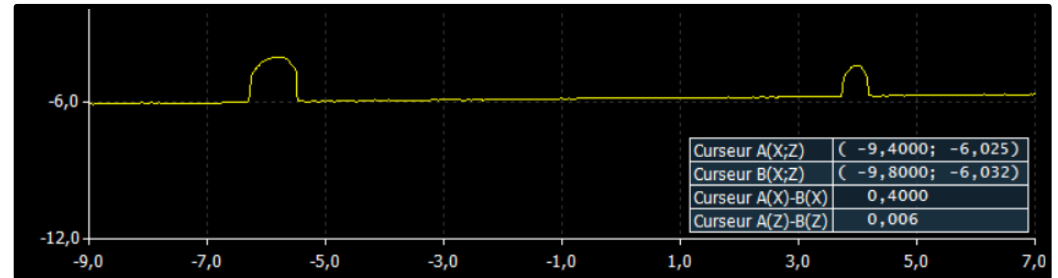
- Production de cordons de différents diamètres ( $\varnothing 0,3$  à  $0,9\text{mm}$ ) avec une seule buse.



Exemple de groupe de cordons extrudés - Vue en coupe



Production de cordons unidirectionnels – Vue de dessus



Visualisation des cordons sous profilomètre

[2]

# Conclusions et perspectives

Équipe RDH

Robot  
Data Scie  
Healthcare

# Conclusions

1. Développement d'outils permettant la supervision pendant l'impression afin d'évaluer la qualité de la pièce.
2. Stratégie de dépose non-planaire :
  - Intégration d'une buse d'impression 3D silicone sur un bras robotique ;
  - Impression 3D sur une surface non-planaire ;
  - Étanchéification d'un actionneur linéaire pneumatique.
3. Variation de diamètre d'orifice d'une buse :
  - Développement d'une buse à géométrie variable ;
  - Premiers tests de validation avec des cordons à diamètre variable.

Thèse &  
projet  
RAMSAI

Projet  
BIFASI

1. Développer une méthode d'impression 3D qui permettra de corriger les erreurs en cours d'impression en agissant sur :
  - La trajectoire robotique de dépose ;
  - L'orientation de la tête de dépose ;
  - La hauteur de couche.
2. Développement d'une stratégie de dépose non-planaire :
  - Intégration du comportement rhéologique du silicone dans la stratégie de dépose ;
  - Fabrication de forme à forte contre-dépouille et avec un meilleur état de surface.
3. Variation de diamètre et maîtrise rhéologique :
  - Permettre la fabrication de pièce avec variation dynamique du diamètre d'extrusion et de la hauteur de couche.

## Merci pour votre attention !

**[Cianchetti2014]** : Cianchetti, M., Ranzani, T., Gerboni, G., Nanayakkara, T., Althoefer, K., Dasgupta, P., & Menciassi, A. (2014). Soft Robotics Technologies to Address Shortcomings in Today's Minimally Invasive Surgery: The STIFF-FLOP Approach. *Soft Robotics*, 1(2), 122–131. <https://doi.org/10.1089/soro.2014.0001>

### Equipes projet - ICube :

#### [1] Contribution à la conception et la fabrication de robots souples pneumatiques

Loïc Mosser, Pierre Renaud, Laurent Barbé, Lennart Rubbert

#### [2] BIFASI (Buse à géométrie variable) :

Laurent Barbé, Pierre Renaud, François Geiskopf, Benoît Wach, Lennart Rubbert, Thomas Simoncelli

#### [3] RAMSAI (Impression non-planaire et supervision) :

Chloé Lindingre, Pierre Renaud, Laurent Barbé, François Geiskopf

#### [4] RAMSAI (Impression sur structure auxétique) :

Jérémy Sand, Benoît Wach, Maciej Bednarczyk, Laurent Barbé, François Geiskopf

*Adresse mail & présentation :*

