

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**.



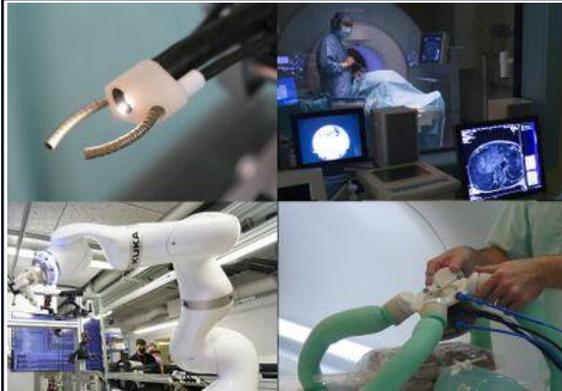
- Avec comme partenaires privilégiés :



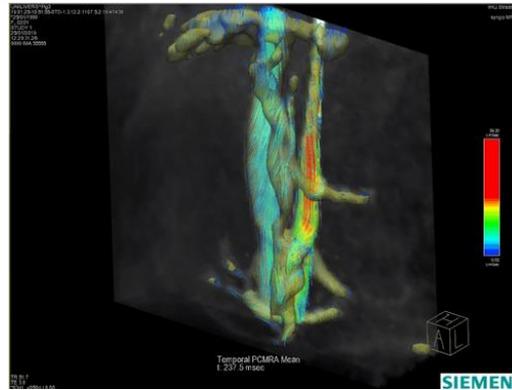
INSTITUT DE CHIRURGIE
GUIDÉE PAR L'IMAGE



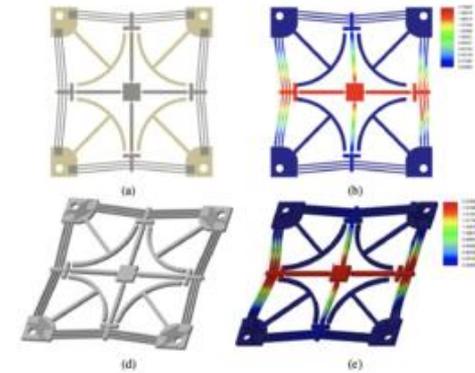
3 thèmes de recherche



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]

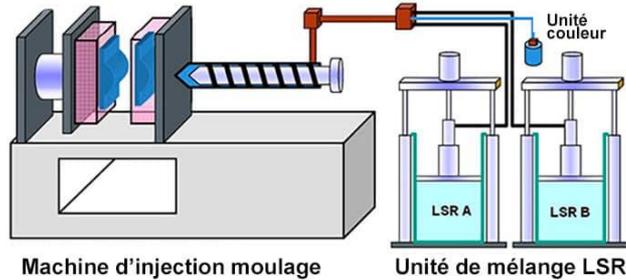


Epithèse

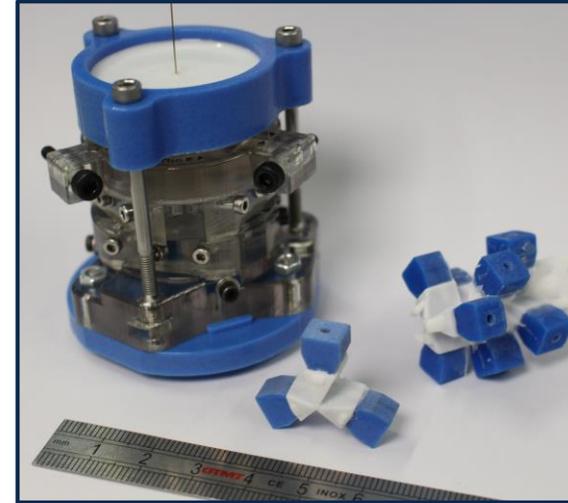


Modèle anatomique

Fabrication conventionnelle de pièce en silicone



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



[2]
Moule et pièces surmoulées en silicone

Problématiques :

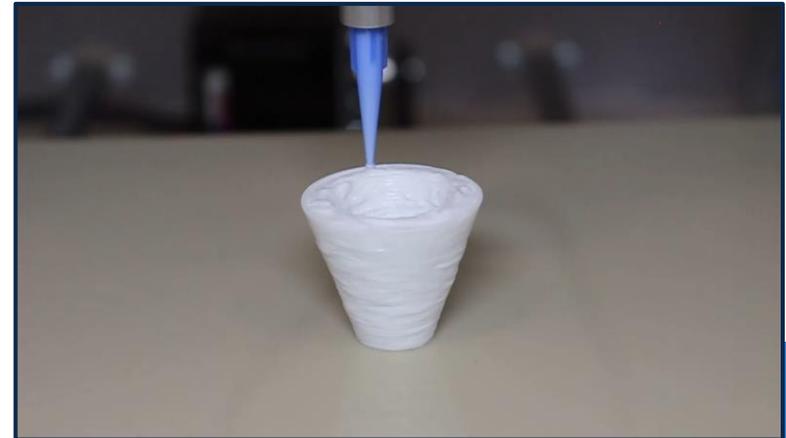
- Fabrication d'un moule : coûts importants pour des pièces unitaires
- Gestion des noyaux pour la fabrication des cavités pneumatiques
- Complexité de conception pour intégration des événements

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]

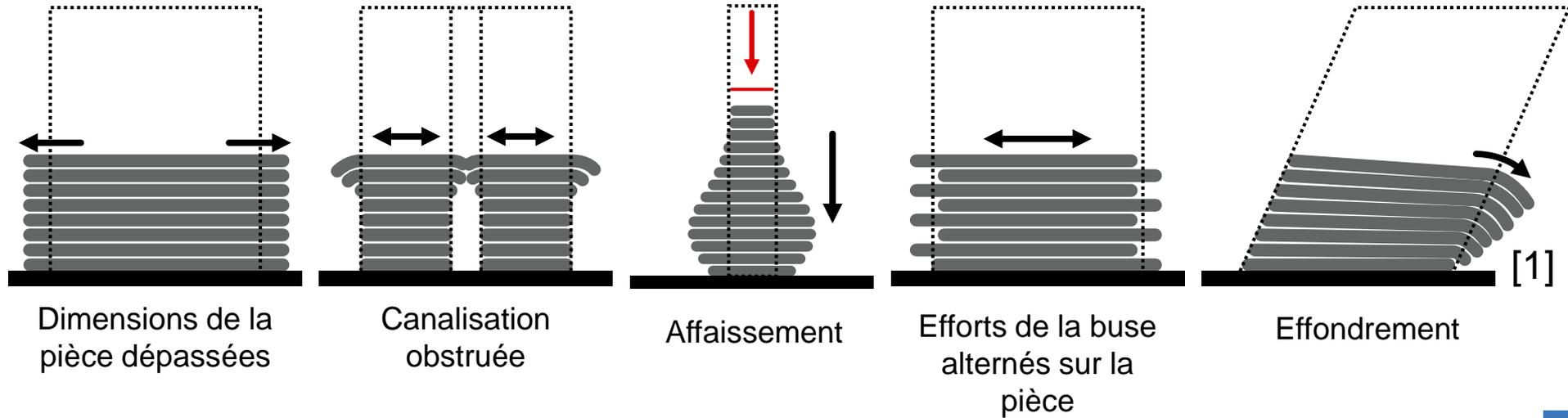
Supervision de la fabrication additive silicone

Objectifs et développements



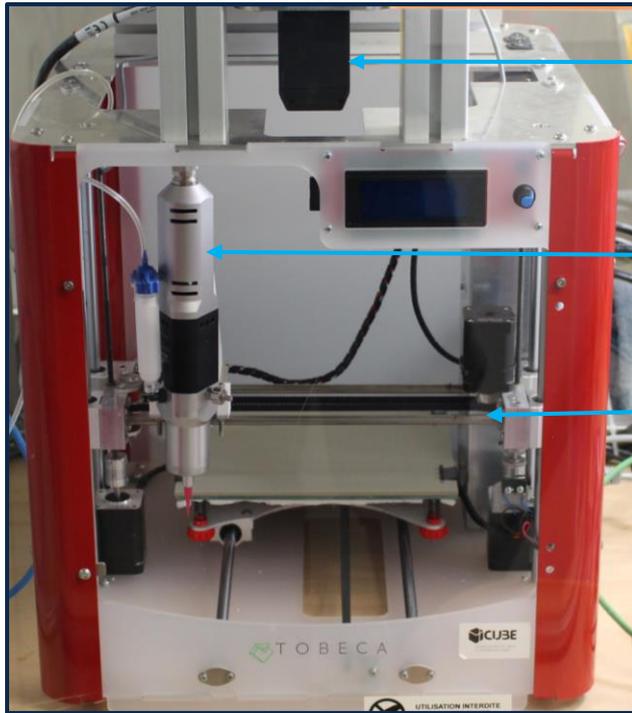
Supervision de la fabrication additive silicone

Objectif : détection de défauts



Supervision de la fabrication additive silicone

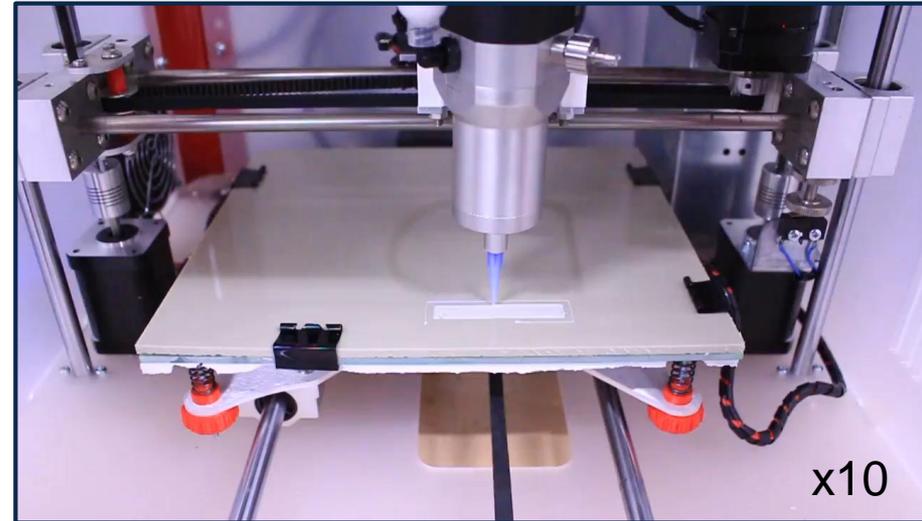
Impression et scan sur machine cartésienne [1]



Profilomètre
laser

Tête
d'impression
silicone

Imprimante 3D



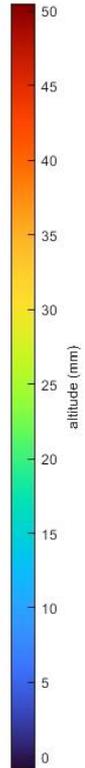
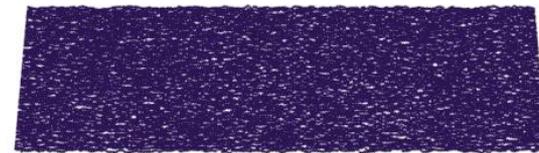
Séquence d'impression et acquisition surface
courante imprimée

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](#).

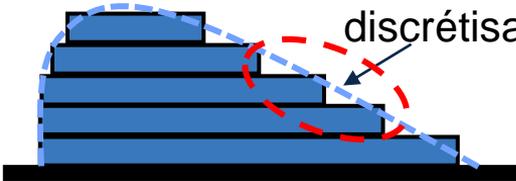
Robotisation de l'impression 3D Silicone

Intérêts et avantages

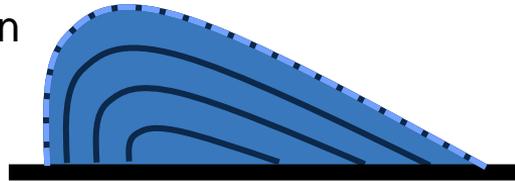
Robotisation de l'impression 3D Silicone

Limites des architectures d'impression cartésiennes

Artéfacts de discrétisation



Impression planaire

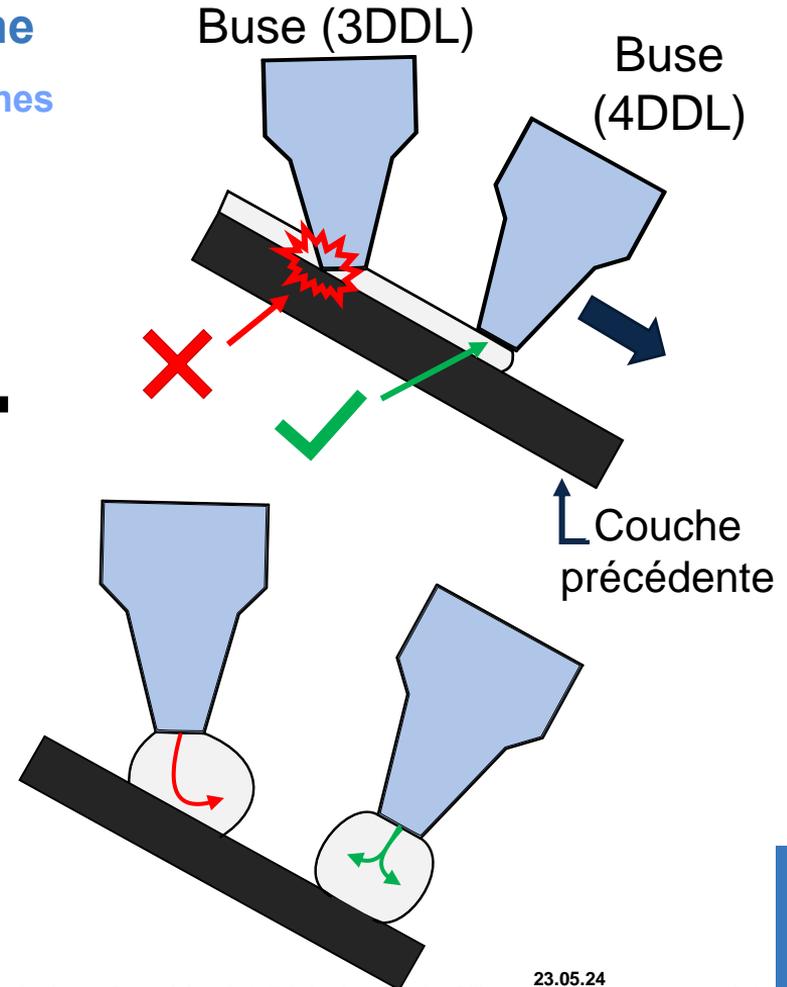


Cas idéal : trajectoires non-planaires

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



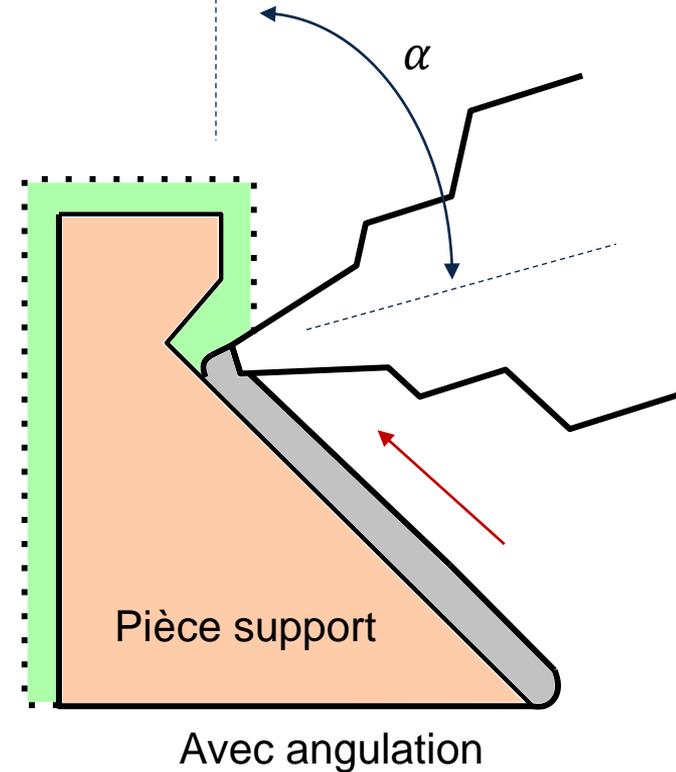
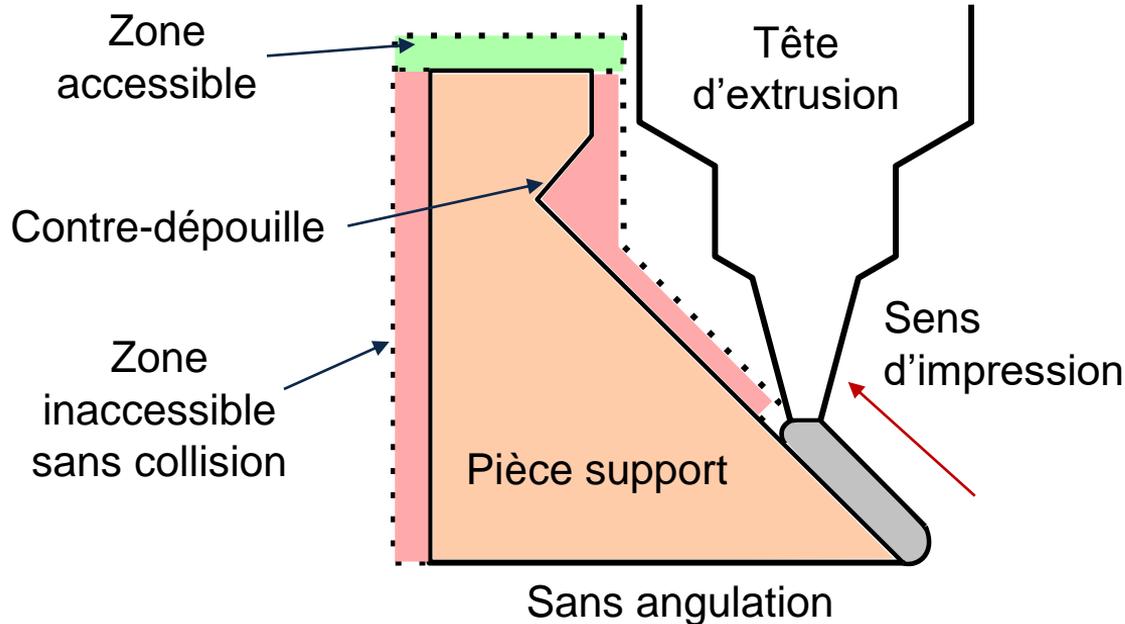
Orientation outil nécessaire pour stratégie de dépose non planaire.



Robotisation de l'impression 3D Silicone

Limites des architectures d'impression cartésiennes

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



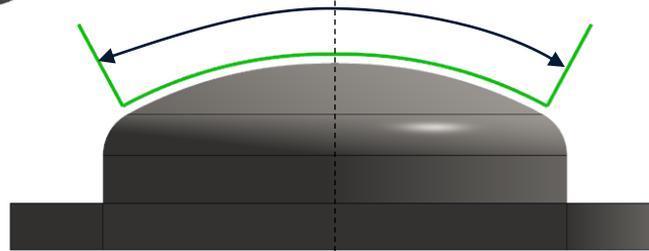
Une structure à 5DDL améliorerait les performances d'impression 3D silicone :
impression sur pièce support et nouvelles stratégies de dépose.

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.

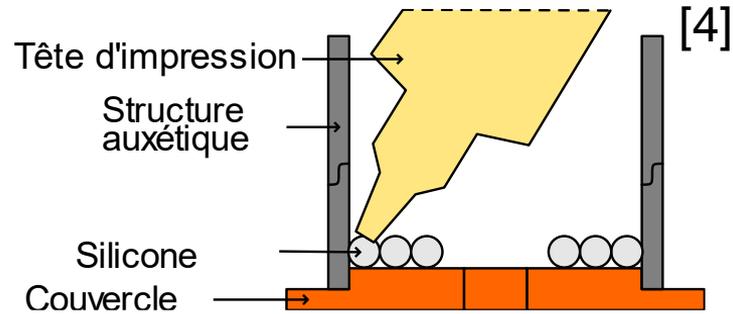


[3]

Impression avec robot KUKA IIWA 14

Robotisation de l'impression 3D Silicone

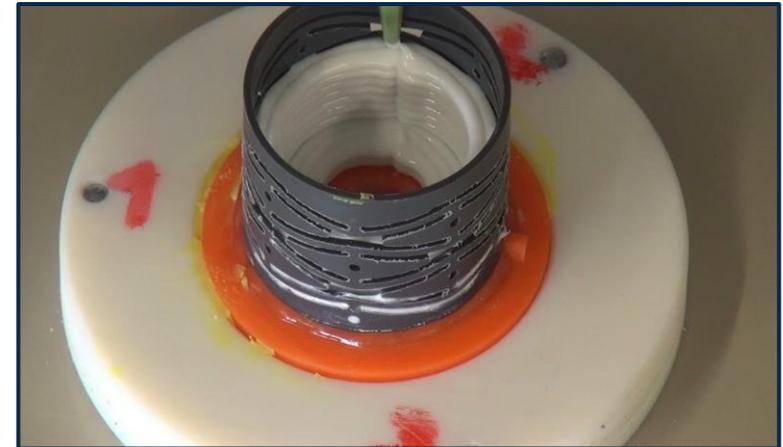
Fabrication d'un actionneur linéaire



Chambre auxétique avant impression à gauche, après impression à droite



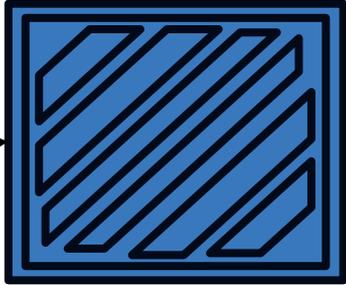
- Impression de silicone directement sur une structure auxétique.
- Contrainte de collision.
- Fabrication d'une structure normalement surmoulée.



Robotisation de l'impression 3D Silicone

Perspective d'amélioration : buse à diamètre variable

Buse de petit diamètre

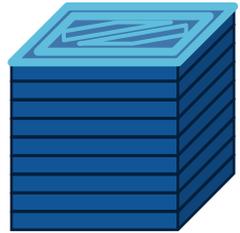


Précision **élevée**
Durée d'impression
augmentée

Buse de gros diamètre



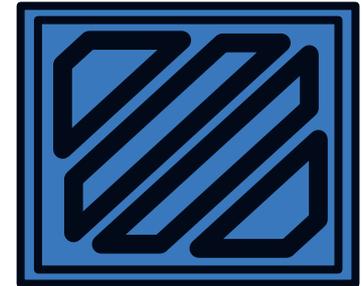
Précision **faible**
Durée d'impression
réduite



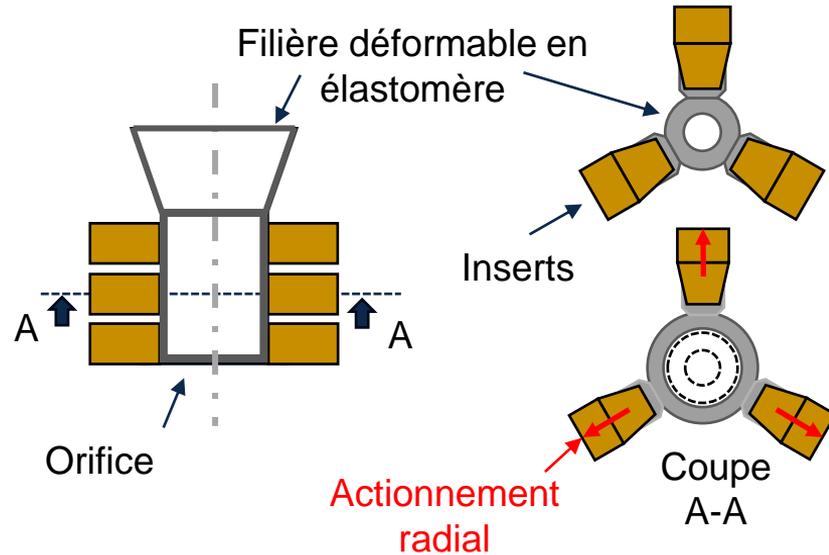
Trajectoire
d'impression =
filament silicone

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

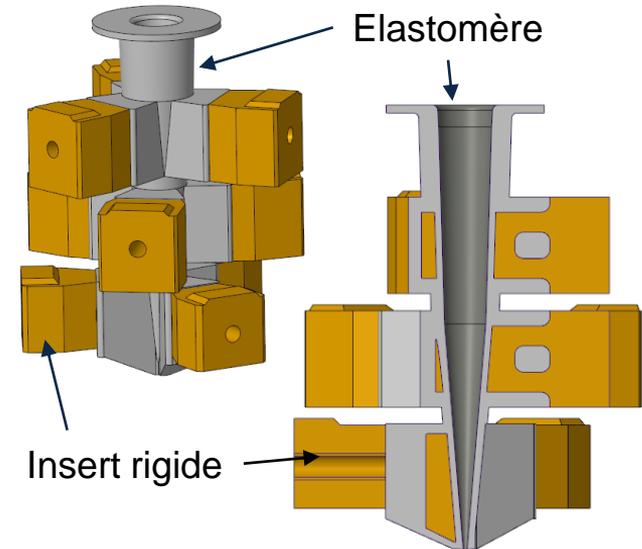
Stratégie : Adaptation
dynamique du diamètre
d'orifice



Principe de filière à géométrie variable :



Projet de maturation SATT en collaboration avec :



[2]

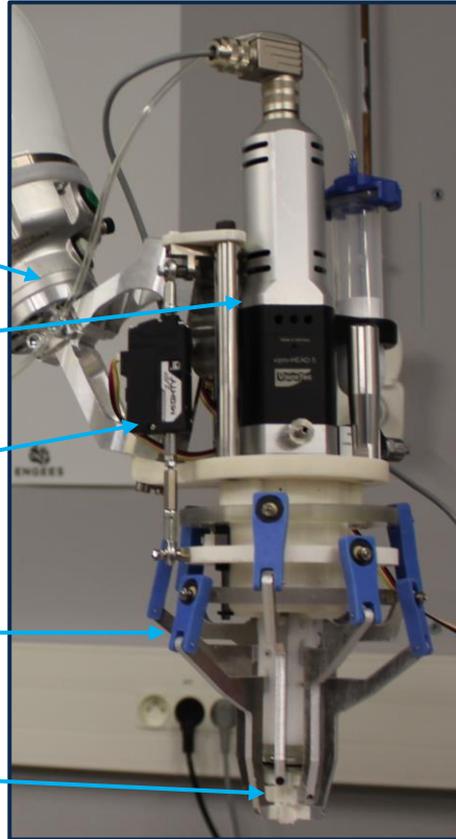
Fixation sur architecture
d'impression

Tête d'impression

Actionneurs linéaires

Transmission étagée

Filière déformable

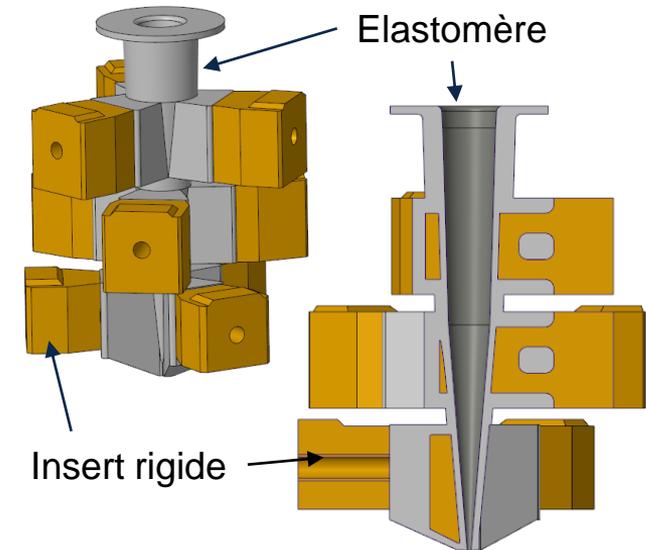


Projet de maturation SATT en
collaboration avec :

CONNECTUS
FOURNISSEUR OFFICIEL D'INNOVATIONS

ICBMS
LYON

3Deus
Dynamics

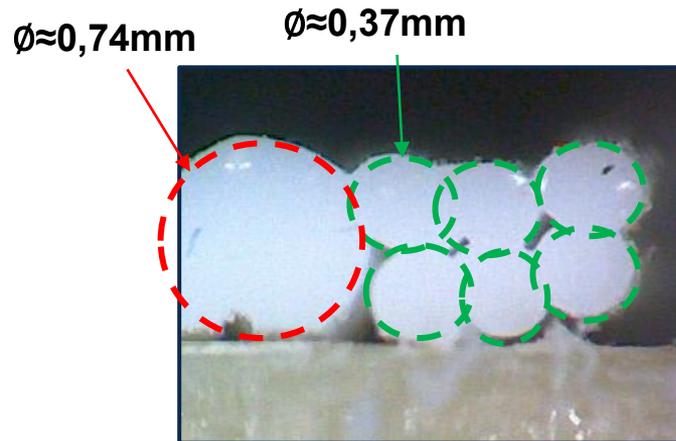


[2]

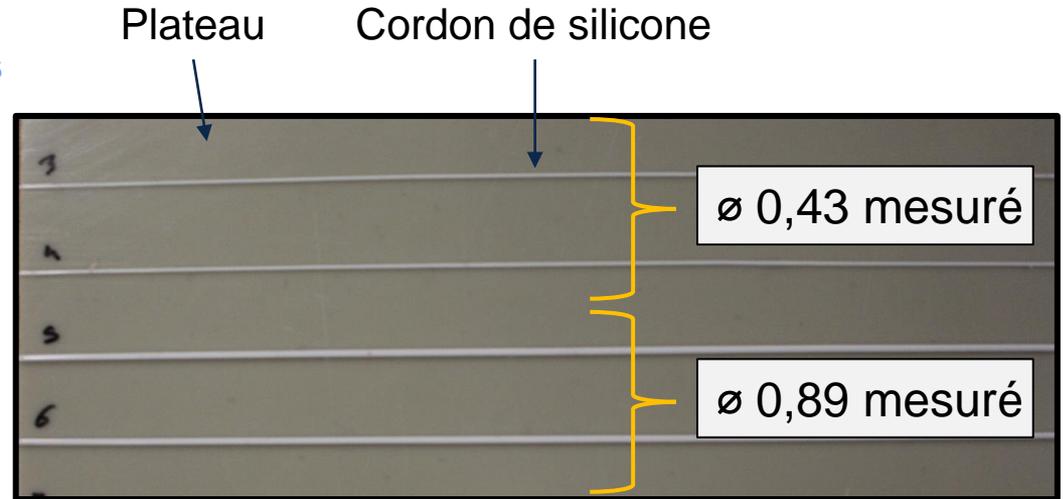
BIFASI

Résultats expérimentaux actuels

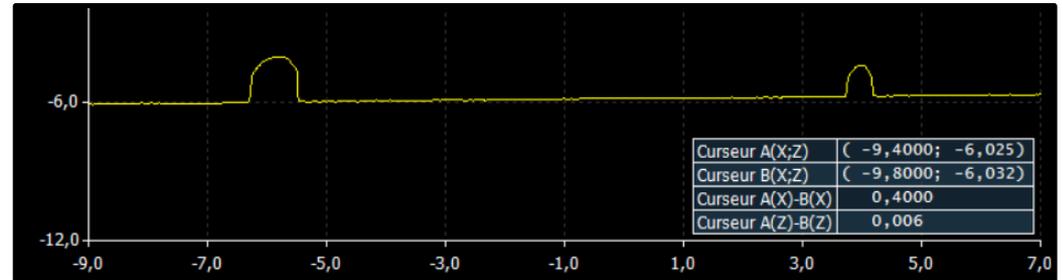
- Production de cordons de différents diamètres ($\varnothing 0,3$ à $0,9\text{mm}$) avec une seule buse.



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 :

