

# Impression 3D : Réalité ou fiction ?

## Généralités sur les biomatériaux utilisés

Dr Fabien NATIVEL – Pharmacien PHU

Nantes Université, CHU Nantes, RMeS, Euro-Pharmat



# Déclaration liens d'intérêts

L'intervenant n'a aucun conflit d'intérêt à déclarer en lien avec cette présentation

# Introduction

- Impression 3D
  - Forme de fabrication additive (*l'inverse n'est pas vraie*)
  - En plein développement depuis ces 15 dernières années
  - Capacité à produire des dispositifs médicaux sur mesure

# Introduction

- Impression 3D
  - Forme de fabrication additive (*l'inverse n'est pas vraie*)
  - En plein développement depuis ces 15 dernières années
  - Capacité à produire des dispositifs médicaux sur mesure
- Choix du biomatériau & de la technologie => **besoin clinique**
  - Propriétés mécaniques
    - Résistance ?
    - Rigidité ?
    - Flexibilité ?
  - Biocompatibilité / Compatibilité cellulaire
  - Aptitude à être mis en forme
  - Stérilisation
  - Biofonctionnalité

- Recherche Revues Systématiques sur Pubmed («3D printing » AND « medical devices »)

Open Access

Research

## BMJ Open Clinical efficacy and effectiveness of 3D printing: a systematic review

Laura E Diment, Mark S Thompson, Jeroen H M Bergmann

3D PRINTING AND ADDITIVE MANUFACTURING  
Volume 8, Number 6, 2021  
© Mary Ann Liebert, Inc.  
DOI: 10.1089/3dp.2020.0324

REVIEW

### Three-Dimensional Printing of Medical Devices Used Directly to Treat Patients: A Systematic Review

Tjaša Kermavnar,<sup>1</sup> Alice Shannon,<sup>1</sup> Kevin J. O'Sullivan,<sup>1</sup> Conor McCarthy,<sup>2</sup> Colum P. Dunne,<sup>3</sup> and Leonard W. O'Sullivan<sup>1,2,4</sup>



is

## 3D printing in palliative medicine: systematic review

Systematic review

Tjaša Kermavnar,<sup>1</sup> Callum Guttridge,<sup>1</sup> Niall J Mulcahy,<sup>1</sup> Ed Duffy,<sup>2</sup> Feargal Twomey,<sup>3</sup> Leonard O'Sullivan <sup>1</sup>

JPD  
THE JOURNAL OF PROSTHETIC DENTISTRY

SYSTEMATIC REVIEW

### Effectiveness of postprocessing on 3D printed resin biocompatibility in prosthodontics: A systematic review

Alice Cabrol, DDS,<sup>a</sup> Virginie Chuy, DDS, PhD,<sup>b</sup> Hélène Fron-Chabouis, DDS, PhD,<sup>c</sup> and Adrien Naveau, DDS, PhD<sup>d</sup>

# Réalités industrielles

Non exhaustif

- Indications orthopédiques et maxillo-faciales



**ADMATEC**



- Indications en chirurgie plastique



# Les polymères

- Acrylonitrile butadiène styrène (ABS)<sup>1</sup>
  - Facile à imprimer
  - Mauvaise résistance aux procédés de stérilisation
  - Non résorbable
  - Biocompatibilité limitée (usage temporaire uniquement)

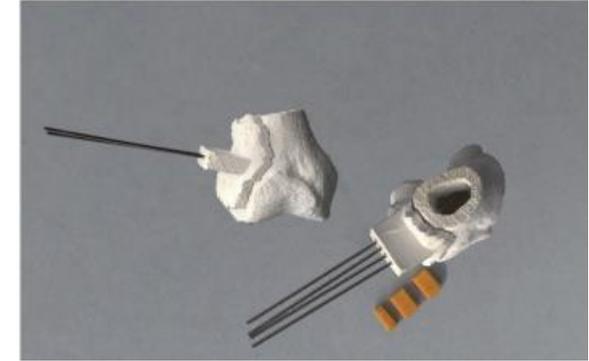


Garg B. et al, The Spine Journal, 2019

<sup>1</sup>Garg B. et al, The Spine Journal, 2019 ;

# Les polymères

- Acrylonitrile butadiène styrène (ABS)<sup>1</sup>
- Acide polylactique (PLA)<sup>2,3</sup>
  - Facile à imprimer
  - Matériau rigide, peu flexible et donc fragile
  - Biodégradable (qq mois/années selon les conditions)



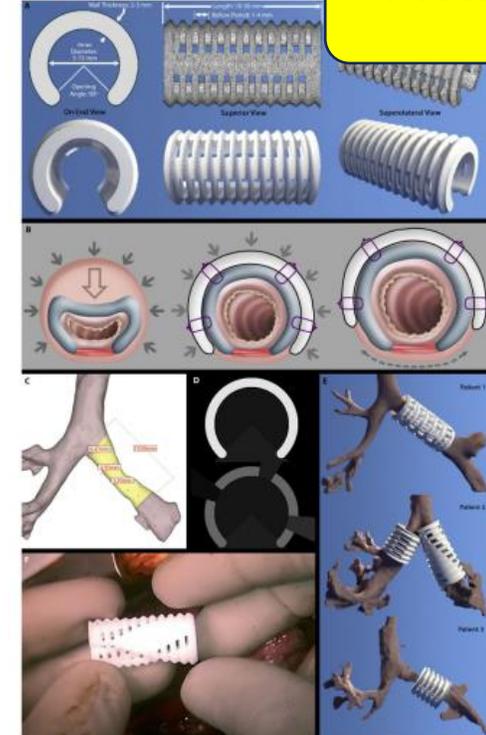
Arnal-Burro J et al., The Knee, 2017

<sup>1</sup>Garg B. et al, The Spine Journal, 2019 ; <sup>2</sup>Zhao-ruì Lv et al., Orthopaedic Surgery, 2019 ; <sup>3</sup>Arnal-Burro J et al., The Knee, 2017 ;

# Les polymères

- Acrylonitrile butadiène styrène (ABS)<sup>1</sup>
- Acide polylactique (PLA)<sup>2,3</sup>
- Polycaprolactone (PCL)<sup>4</sup>
  - Facile à imprimer grâce à sa faible T°C de fusion (60°C)
  - Plus souple que le PLA
  - Biodégradable (qq mois/années selon les conditions)

Prototype

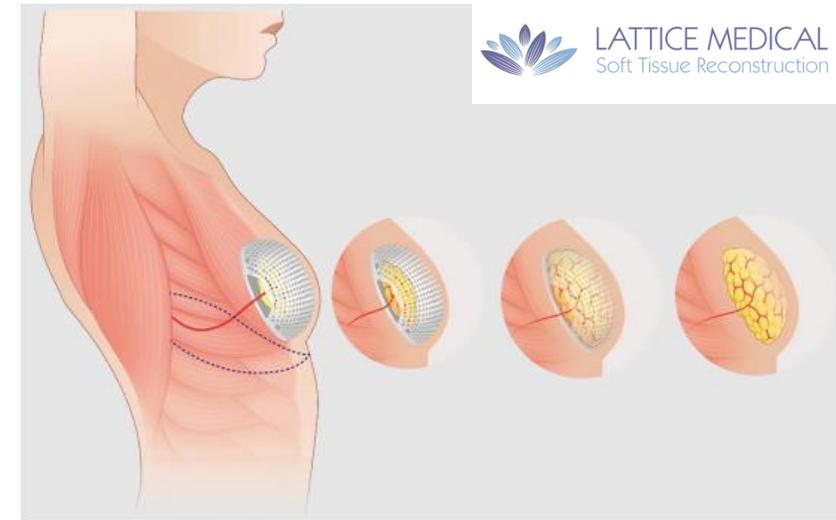


Morrison R-J et al, Sci Transl Med, 2015

<sup>1</sup>Garg B. et al, The Spine Journal, 2019 ; <sup>2</sup>Zhao-ruì Lv et al., Orthopaedic Surgery, 2019 ; <sup>3</sup>Arnal-Burro J et al., The Knee, 2017 ; <sup>4</sup>Morrison R-J et al, Sci Transl Med, 2015 ;

# Les polymères

- Acrylonitrile butadiène styrène (ABS)<sup>1</sup>
- Acide polylactique (PLA)<sup>2,3</sup>
- Polycaprolactone (PCL)<sup>4</sup>
- Copolymère PLA/PCL<sup>5</sup>
  - Cf présentation Florian PLOUVIEZ

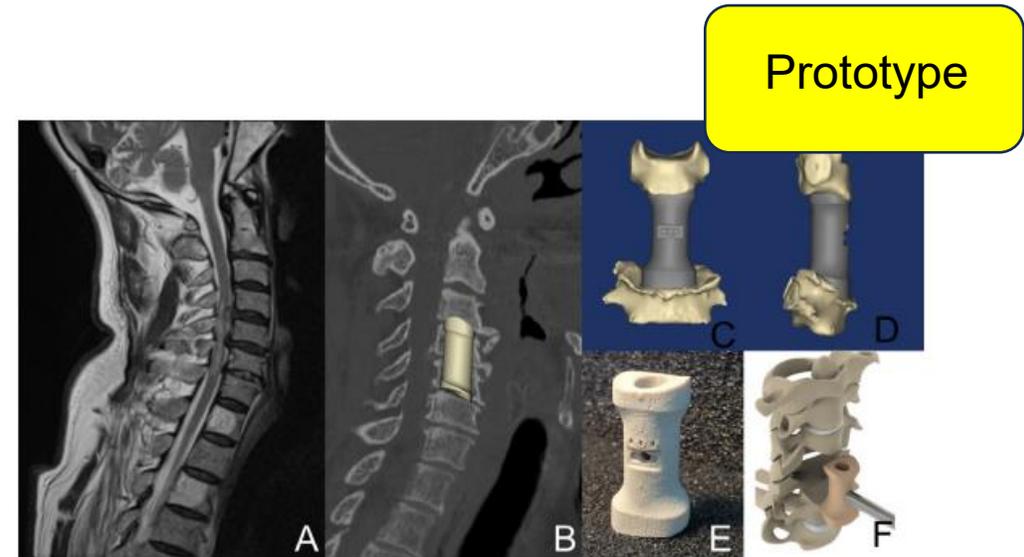


Implant Matisse® (société Lattice Medical)

<sup>1</sup>Garg B. et al, The Spine Journal, 2019 ; <sup>2</sup>Zhao-ruì Lv et al., Orthopaedic Surgery, 2019 ; <sup>3</sup>Arnal-Burro J et al., The Knee, 2017 ; <sup>4</sup>Morrison R-J et al, Sci Transl Med, 2015 ; <sup>5</sup><https://www.lattice-medical.com/etude-clinique/mattisse-etude-clinique/> ;

# Les polymères

- Acrylonitrile butadiène styrène (ABS)<sup>1</sup>
- Acide polylactique (PLA)<sup>2,3</sup>
- Polycaprolactone (PCL)<sup>4</sup>
- Copolymère PLA/PCL<sup>5</sup>
- **Polyétheréthercétone (PEEK)<sup>6,7</sup>**
  - Impression 3D complexe
  - Propriétés mécaniques proches de certains métaux<sup>8</sup>
  - Résistance à la fatigue et à la rupture

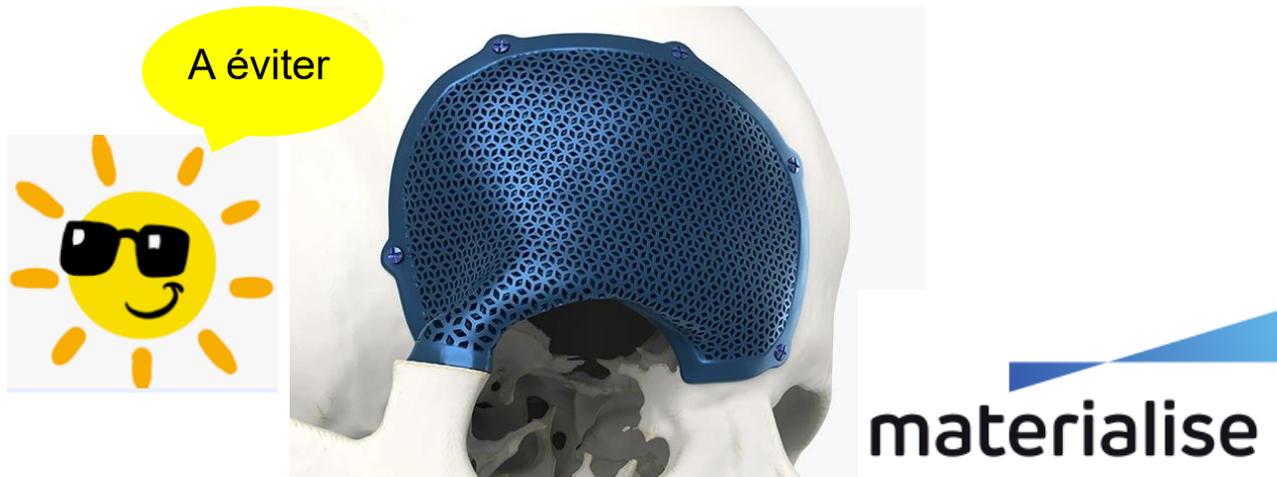


Amelot A. et al, The Spine Journal, 2018

<sup>1</sup>Garg B. et al, The Spine Journal, 2019 ; <sup>2</sup>Zhao-ruì Lv et al., Orthopaedic Surgery, 2019 ; <sup>3</sup>Arnal-Burro J et al., The Knee, 2017 ; <sup>4</sup>Morrison R-J et al, Sci Transl Med, 2015 ; <sup>5</sup><https://www.lattice-medical.com/etude-clinique/mattisse-etude-clinique/> ; <sup>6</sup>Amelot A. et al, The Spine Journal, 2018 ; <sup>7</sup>Muthiah N, European Spine Journal, 2022 ; <sup>8</sup>Zhang J. et al, Int J Bioprint, 2022

# Les métaux

- Principalement des alliages de titane
  - Impression 3D complexe et exigeant (T°C)
  - Résistance mécanique élevée
  - Excellente biocompatibilité
  - Très bonne résistance à la corrosion

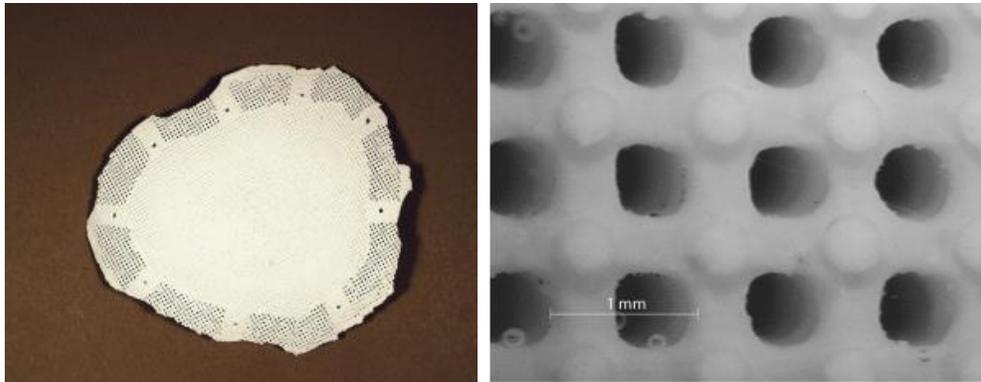


Zou Y. et al, Medicine, 2018

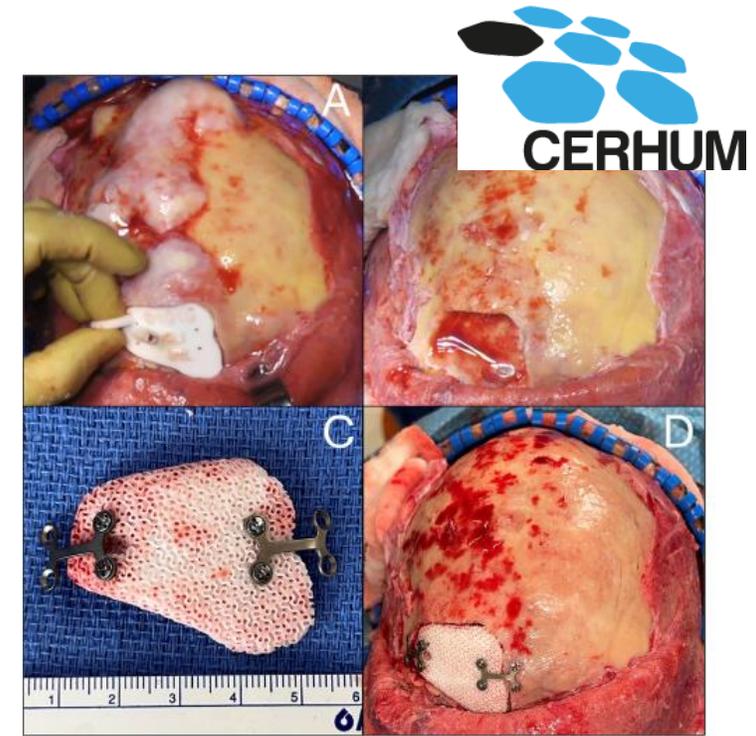
Zoltan J. et al, Expert rev Med Devices, 2023 ; Zou Y. et al, Medicine, 2018 ; Wu N. et al, Medicine, 2020 ; <https://www.materialise.com/en/healthcare/hcps/cmfn/neurosurgery>

# Les céramiques et ciments

- Hydroxyapatite (HA)<sup>1,2,3</sup>
  - Impression 3D complexe et pièces fragiles avant frittage
  - Très biocompatible
    - Forme chimique proche du minéral osseux naturel
  - Ostéoconduction (support)++



Brie J. et al, J Craniomaxillofac Surg, 2013

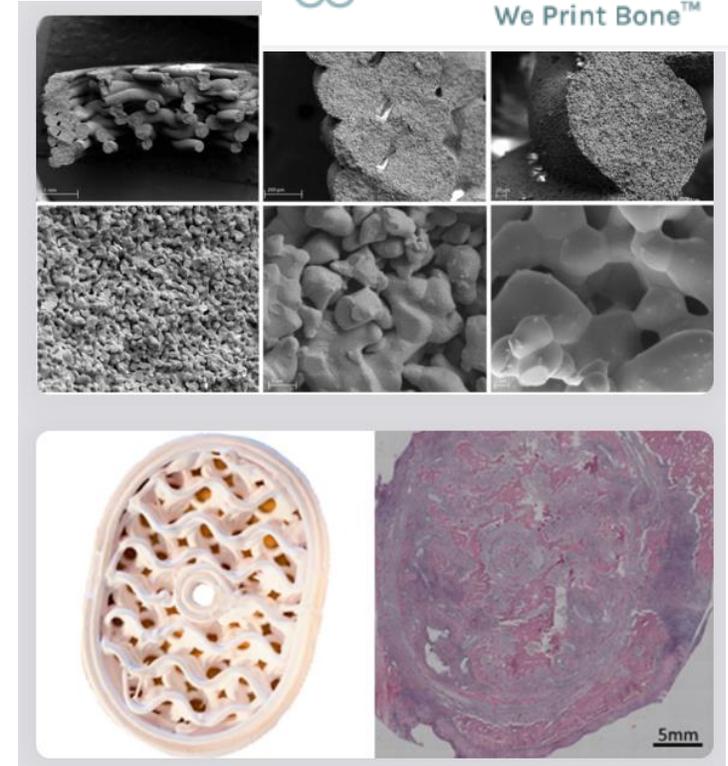


Bengy-Puyvallée L. et al, Annals of 3D Printed Medicine, 2025

<sup>1</sup>Brie J. et al, J Craniomaxillofac Surg, 2013 ; <sup>2</sup>Systemans S. et al, J Craniomaxillofac Surg, 2024 ; <sup>3</sup>Bengy-Puyvallée L. et al, Annals of 3D Printed Medicine, 2025 ;

# Les céramiques et ciments

- Hydroxyapatite<sup>1,2,3</sup>
- Le  $\beta$ -TCP<sup>4</sup>
  - Bonne propriété mécanique
  - Plus soluble que HA
  - Bioactivité (interaction active avec le tissu osseux)++
  - Biodégradation (> HA)
  - Injectabilité



Thygesen T., Bone, 2022 (preclinical data)

<sup>1</sup>Brie J. et al, J Craniomaxillofac Surg, 2013 ; <sup>2</sup>Systemans S. et al, J Craniomaxillofac Surg, 2024 ; <sup>3</sup>Bengy-Puyvallée L. et al, Annals of 3D Printed Medicine, 2025 ;

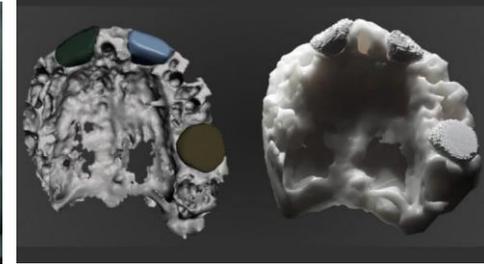
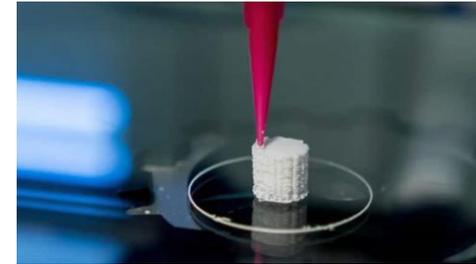
<sup>4</sup>Thygesen T., Bone, 2022 ;

# Les céramiques et ciments

- Hydroxyapatite<sup>1,2,3</sup>

- Le  $\beta$ -TCP<sup>4</sup>

- Bonne propriété mécanique
- Plus soluble que HA
- Bioactivité++
- Biodégradation (> HA)
- Injectabilité
- Possibilité de mélanger avec de l'HA<sup>5</sup> (*BCP – Biphasic Calcium Phosphate*)
  - Trouver un équilibre entre ostéoconduction (HA++) et résorption cellulaire (TCP++)



MimetikOss® 3D (< 40%  $\beta$ -TCP + > 60%HA)

<sup>1</sup>Brie J. et al, J Craniomaxillofac Surg, 2013 ; <sup>2</sup>Systemans S. et al, J Craniomaxillofac Surg, 2024 ; <sup>3</sup>Bengy-Puyvallée L. et al, Annals of 3D Printed Medicine, 2025 ;  
<sup>4</sup>Thygesen T., Bone, 2022 ; <sup>5</sup><https://mimetis.com/>

# Les céramiques et ciments

- Hydroxyapatite<sup>1,2,3</sup>
- Le  $\beta$ -TCP<sup>4</sup>
- L' $\alpha$ -TCP<sup>6</sup>
  - Tenue mécanique plus faible que HA et  $\beta$ -TCP
  - Résorption cellulaire ( $>$   $\beta$ -TCP)
  - Libération d'ions  $\text{Ca}^2$  et stimulation de la minéralisation osseuse ( $>$   $\beta$ -TCP)
  - Possibilité d'ajouter des macromolécules pour améliorer l'injectabilité (Pluronic F127)

<sup>1</sup>Brie J. et al, J Craniomaxillofac Surg, 2013 ; <sup>2</sup>Systemans S. et al, J Craniomaxillofac Surg, 2024 ; <sup>3</sup>Bengy-Puyvallée L. et al, Annals of 3D Printed Medicine, 2025 ;  
<sup>4</sup>Thygesen T., Bone, 2022 ; <sup>5</sup><https://mimetis.com/> ; <sup>6</sup>Saijo H. et al, Regenerative Therapy, 2016

# Les résines dentaires



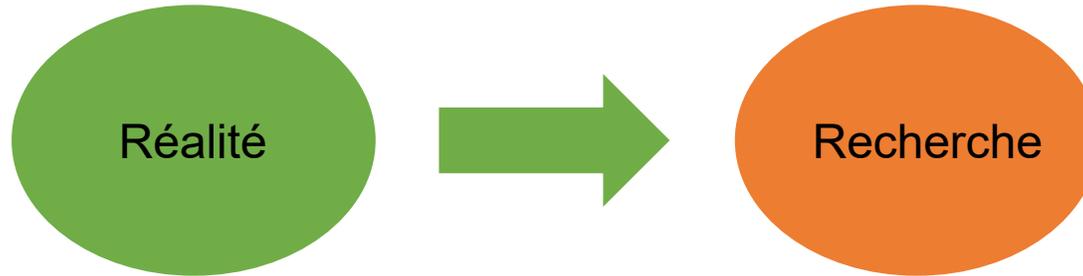
Dental LT Clear Resin (Formlabs)

# Conclusion

Réalité

- \* **Guides chirurgicaux**
  - \* ABS, PLA
- \* **Modèles anatomiques**
  - \* Résines dentaires
- \* **Implants**
  - \* PCL, PEEK, Alliages Ti, HA, TCP

# Conclusion



## \* Conception de nouveaux biomatériaux

À Nantes, Baptiste Charbonnier met au point des biomatériaux capables de traiter les pertes osseuses de la mâchoire et, ainsi, permettre la pose d'implants dentaires. Pour ce projet, le chercheur Inserm a obtenu un financement Atip-Avenir.



## \* Bioprinting tissulaire simple (bioencres)

**Poietis, la deeptech qui développe l'impression 3D de tissus humains**

Depuis 2014, la deeptech bordelaise Poietis développe un procédé de bio-impression de tissus humains, et ambitionne désormais d'étendre son spectre au cartilage et même au cerveau. Aujourd'hui rentable grâce à une organisation hybride, mêlant ingénieurs et scientifiques, l'entreprise est en passe de commercialiser son innovation afin de la rendre accessible dans tous les hôpitaux et centres de soins.

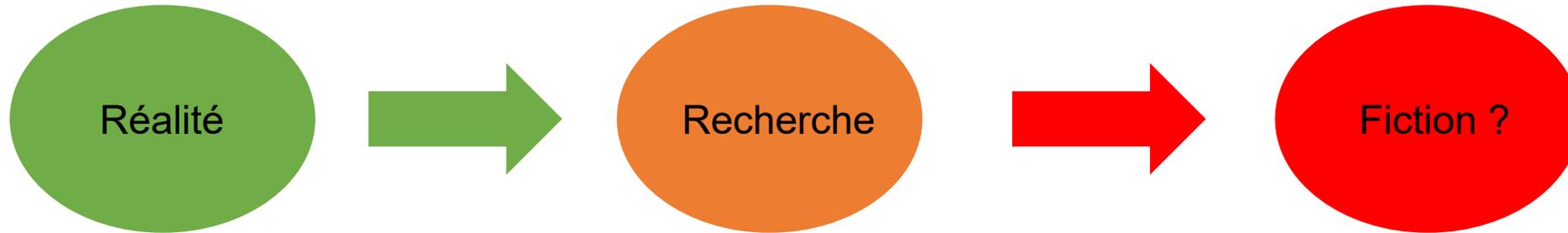


## \* Dispositifs vasculaires

Manufacture of an endoprosthesis by 3D printing



# Conclusion



**\* Organes complexes vascularisés ?**



Merci pour votre attention