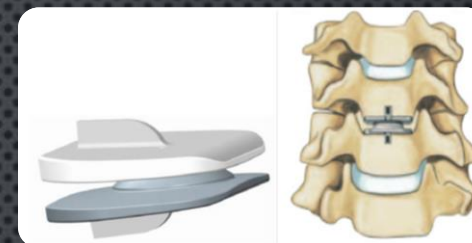


LA FABRICATION ADDITIVE

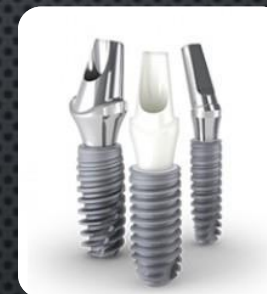
GÉNÉRALITÉS, ET APPLICATION AUX MATÉRIAUX POUR LA SANTÉ

INTRODUCTION

- INGÉNIEURE DE RECHERCHE (2018-)
 - SGM PROMO 51 (2012)
 - PHD 2016: NOUVELLES PROTHÈSES INTERVERTÉBRALES EN COMPOSITE CÉRAMIQUE : ÉTUDE DES MATÉRIAUX, MISE EN PLACE D'UN TEST MULTIPHYSIQUE *IN VITRO* ET ANALYSE DE PERFORMANCES



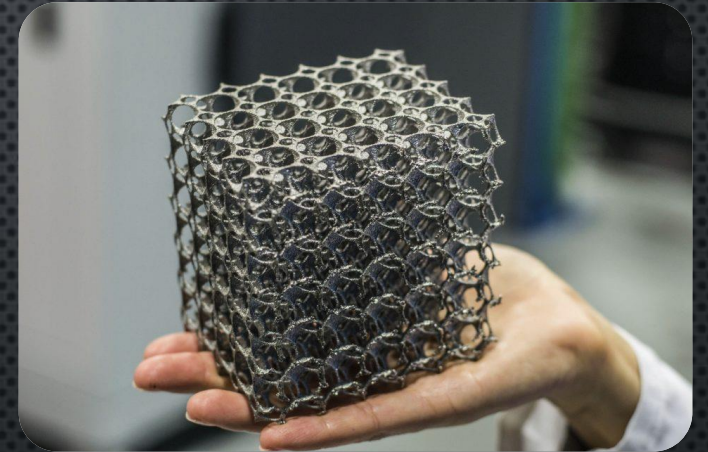
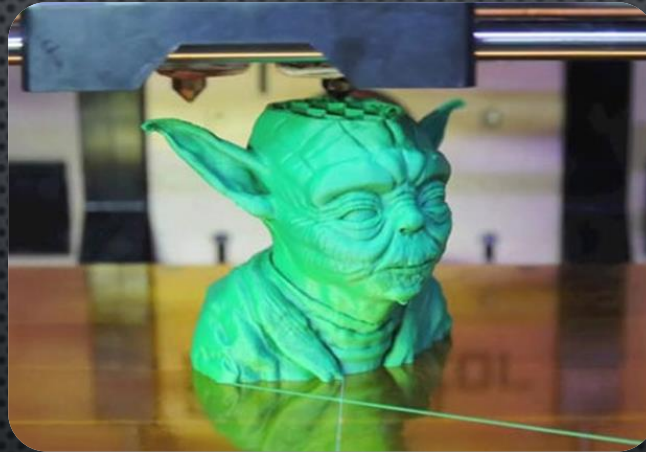
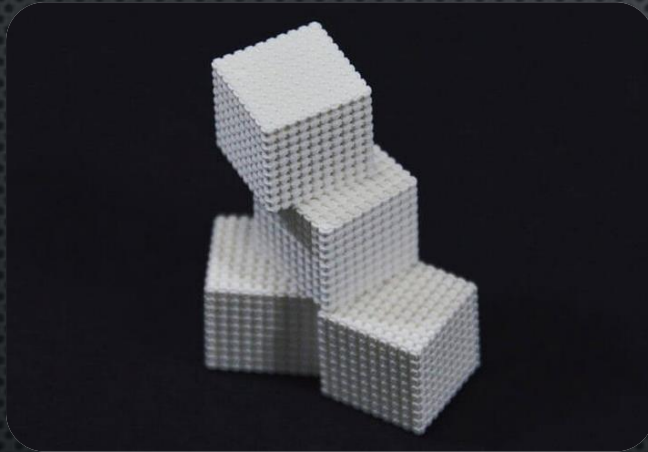
LEAd  Laboratoire
d'excellence en
applications dentaires



- ÉTUDE ET DÉVELOPPEMENT DE MATÉRIAUX INNOVANTS POUR L'IMPLANTOLOGIE DENTAIRE

GÉNÉRALITÉS SUR LA FABRICATION ADDITIVE

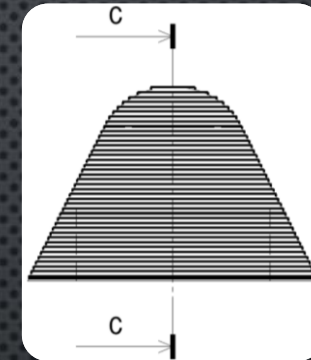
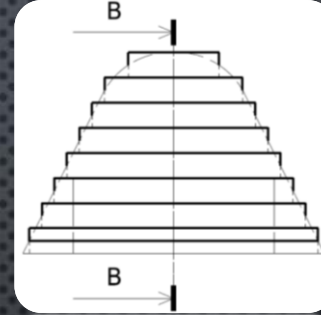
- DÉFINITION WIKIPEDIA: « LA FABRICATION ADDITIVE DÉSIGNE LES PROCÉDÉS DE FABRICATION PAR AJOUT DE MATIÈRE »
- FABRICATION ADDITIVE OU IMPRESSION 3D?



Pourquoi?

GÉNÉRALITÉS SUR LA FABRICATION ADDITIVE

- AVANTAGES
 - MATIÈRE
 - GÉOMÉTRIE
 - TEMPS
- INCONVÉNIENTS /CHALLENGES
 - MATIÈRE/TECHNIQUE
 - GÉOMÉTRIE
 - PRÉCISION/FINITION
 - DÉFAUTS (CÉRAMIQUES)



1 Procédés et matériaux en fabrication additive

PROCESSUS	TECHNOLOGIE	MATÉRIAUX
Jet de liant	Lit de poudres et tête d'impression à jet d'encre	Poudres de céramique, stratifiés en métal, acrylique, sable, composites, polymères, mélanges de polymères
	Impression 3D en plâtre	Plâtre, composites de plâtre
Dépôt d'énergie dirigée	Dépôt métallique par laser	Métaux et alliages métalliques, métaux hybrides
Extrusion de matériau	Modélisation par dépôt de matière fondue	Thermoplastiques, polymères, mélanges de polymères
Jet de matériau	Modélisation à jets multiples	Photopolymères, cire, composites
Fusion de lit de poudres	Fusion par faisceaux d'électrons	Poudre de titane, cobalt-chrome
	Frittage thermique sélectif	Poudre thermoplastique
	Frittage sélectif par laser	Plastique, métal, papier, verre, céramique, composites
	Frittage laser direct du métal	Acier inoxydable, cobalt-chrome, Alliage de nickel
Laminage de feuilles	Fabrication d'objets laminés	Plastique, métal, papiers stratifiés, céramiques, composites
	Consolidation par ultrasons	Métaux et alliages métalliques
Polymérisation en cuve	Stéréolithographie	Liquide photopolymère, composites
	Traitement numérique de la lumière	Photopolymère liquide

1 Procédés et matériaux en fabrication additive

PROCESSUS	TECHNOLOGIE	MATÉRIAUX
Jet de liant	Lit de poudres et tête d'impression à jet d'encre	Poudres de céramique, stratifiés en métal, acrylique, sable, composites, polymères, mélanges de polymères
	Impression 3D en plâtre	Plâtre, composites de plâtre
Dépôt d'énergie dirigée	Dépôt métallique par laser	Métaux et alliages métalliques, métaux hybrides
Extrusion de matériau	Modélisation par dépôt de matière	Thermoplastiques, polymères, mélanges de polymères , etc.
Jet de matériau	Modélisation à jets multiples	Photopolymères, cire, composites
Fusion de lit de poudres	Fusion par faisceaux d'électrons	Poudre de titane, cobalt-chrome
	Frittage thermique sélectif	Poudre thermoplastique
	Frittage sélectif par laser	Plastique, métal, papier, verre, céramique, composites
	Frittage laser direct du métal	Acier inoxydable, cobalt-chrome, Alliage de nickel
Laminage de feuilles	Fabrication d'objets laminés	Plastique, métal, papiers stratifiés, céramiques, composites
	Consolidation par ultrasons	Métaux et alliages métalliques
Polymérisation en cuve	Stéréolithographie	Liquide photopolymère, composites
	Traitement numérique de la lumière	Photopolymère liquide

LA FABRICATION ADDITIVE DES BIOMATÉRIAUX

Patient avec un besoin

Traitement sur mesure du patient

Imagerie médicale

Modélisation en 3D du « défaut »/manque

Fabrication additive

Pièce sur mesure

Chirurgie/implantation

Patient content!



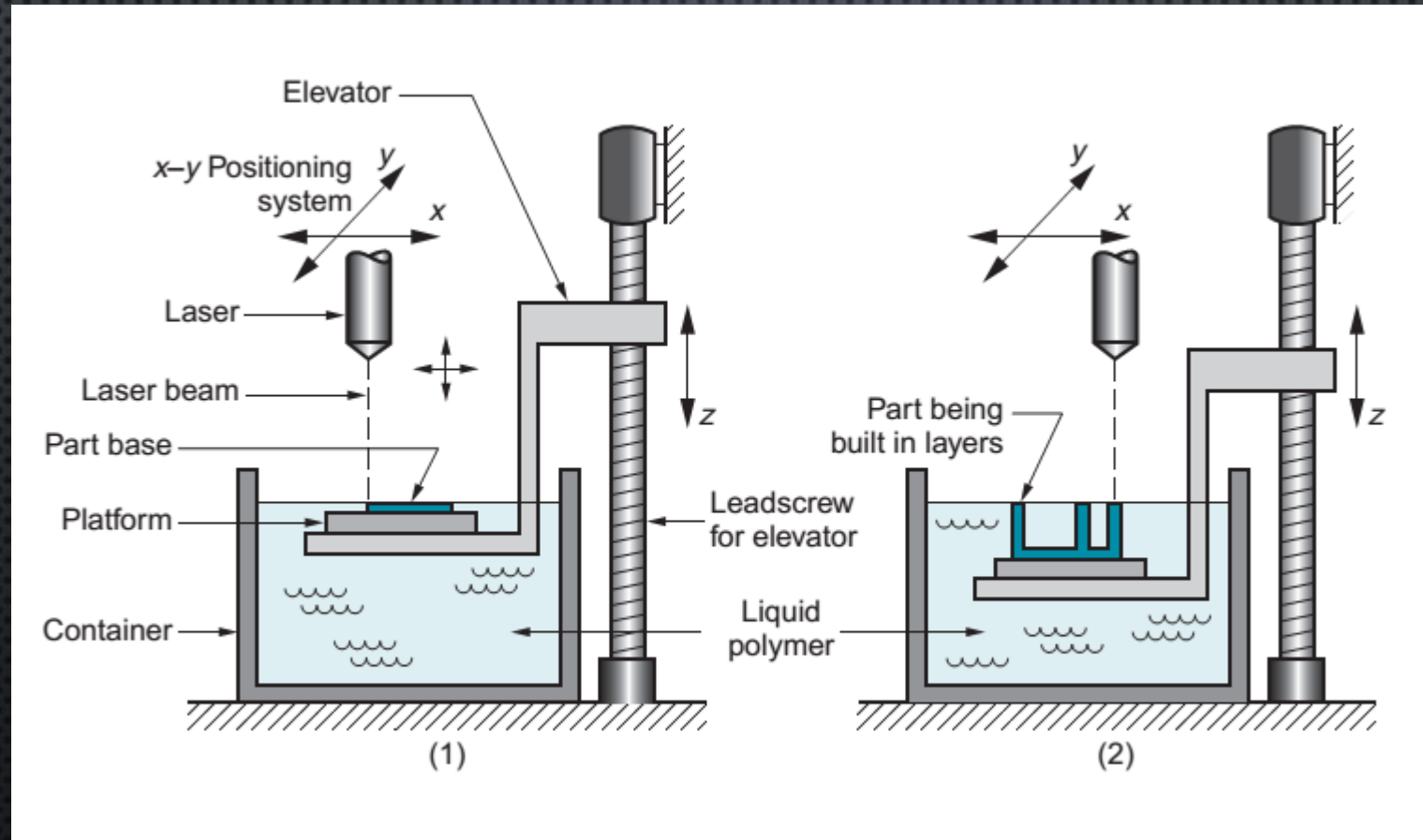
Gain de matière



Gain de temps

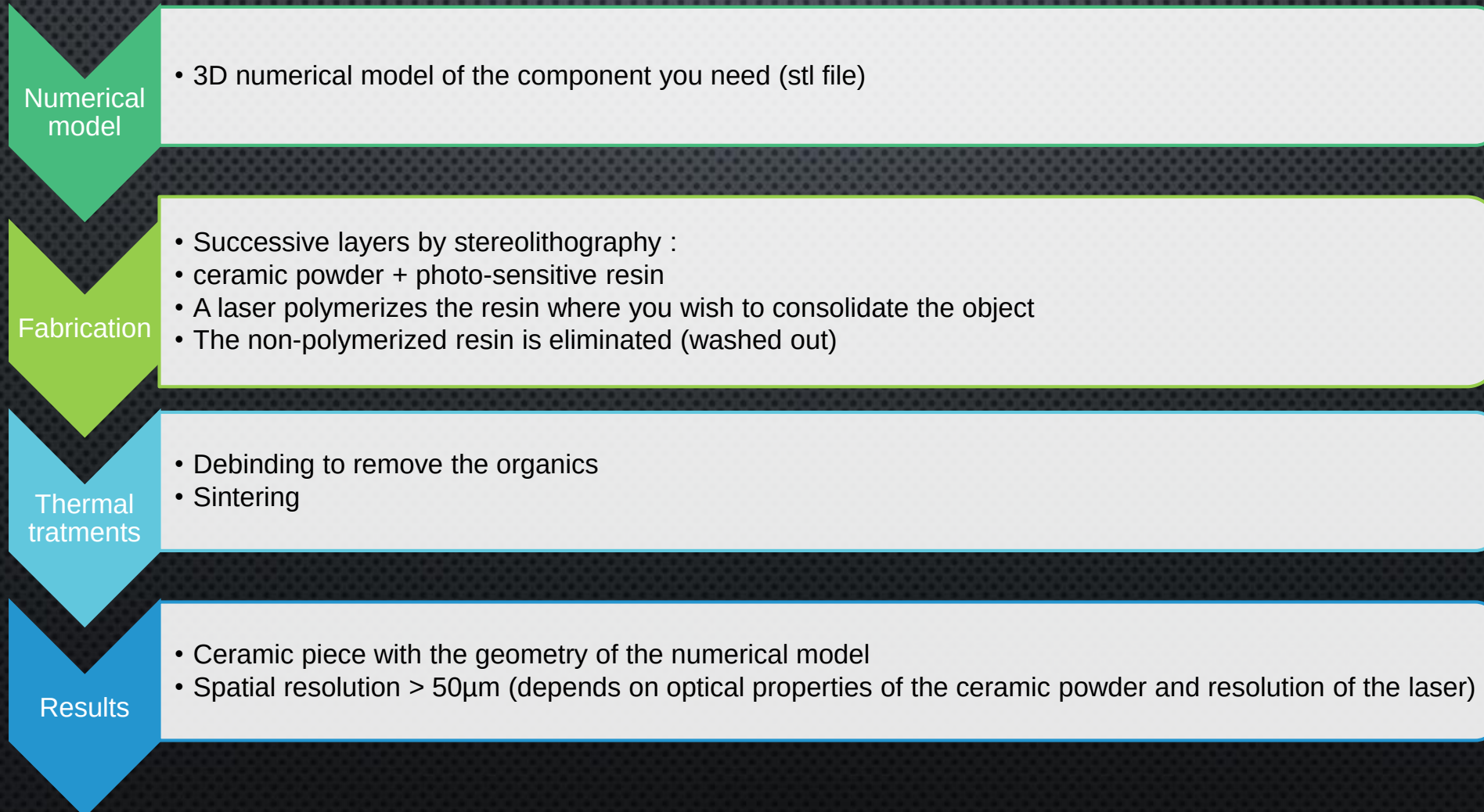
LA FABRICATION ADDITIVE DES BIOCÉRAMIQUES

- STÉRÉOLITHOGRAPHIE : PRINCIPALEMENT ZIRCON, HYDROXYHAPATITE ET ALUMINE



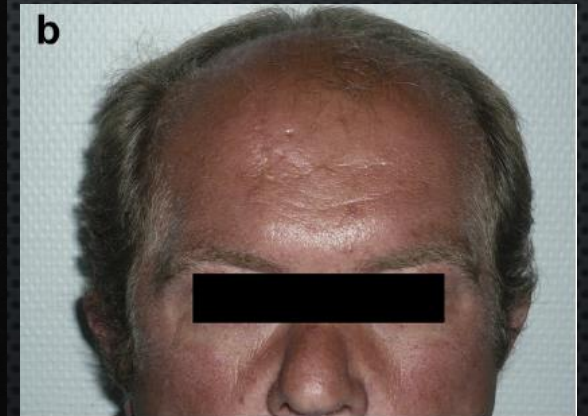
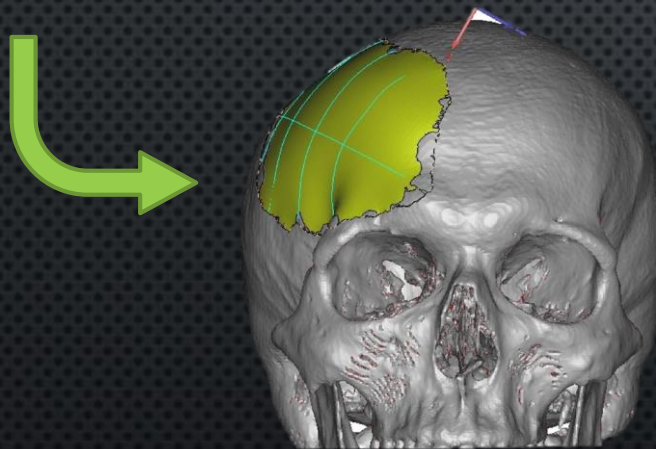
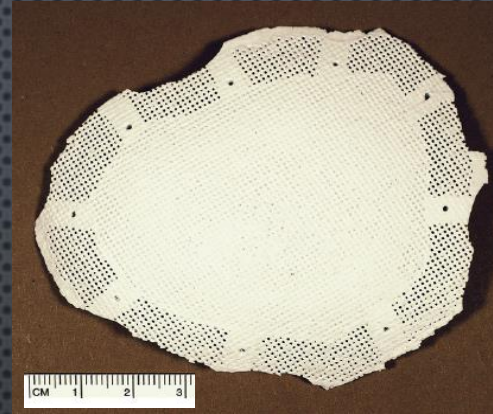
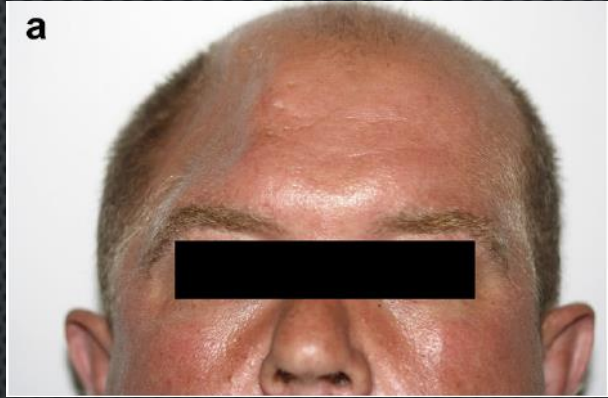
LA FABRICATION ADDITIVE DES BIOCÉRAMIQUES

Stéréolithographie



LA FABRICATION ADDITIVE DES BIOCÉRAMIQUES

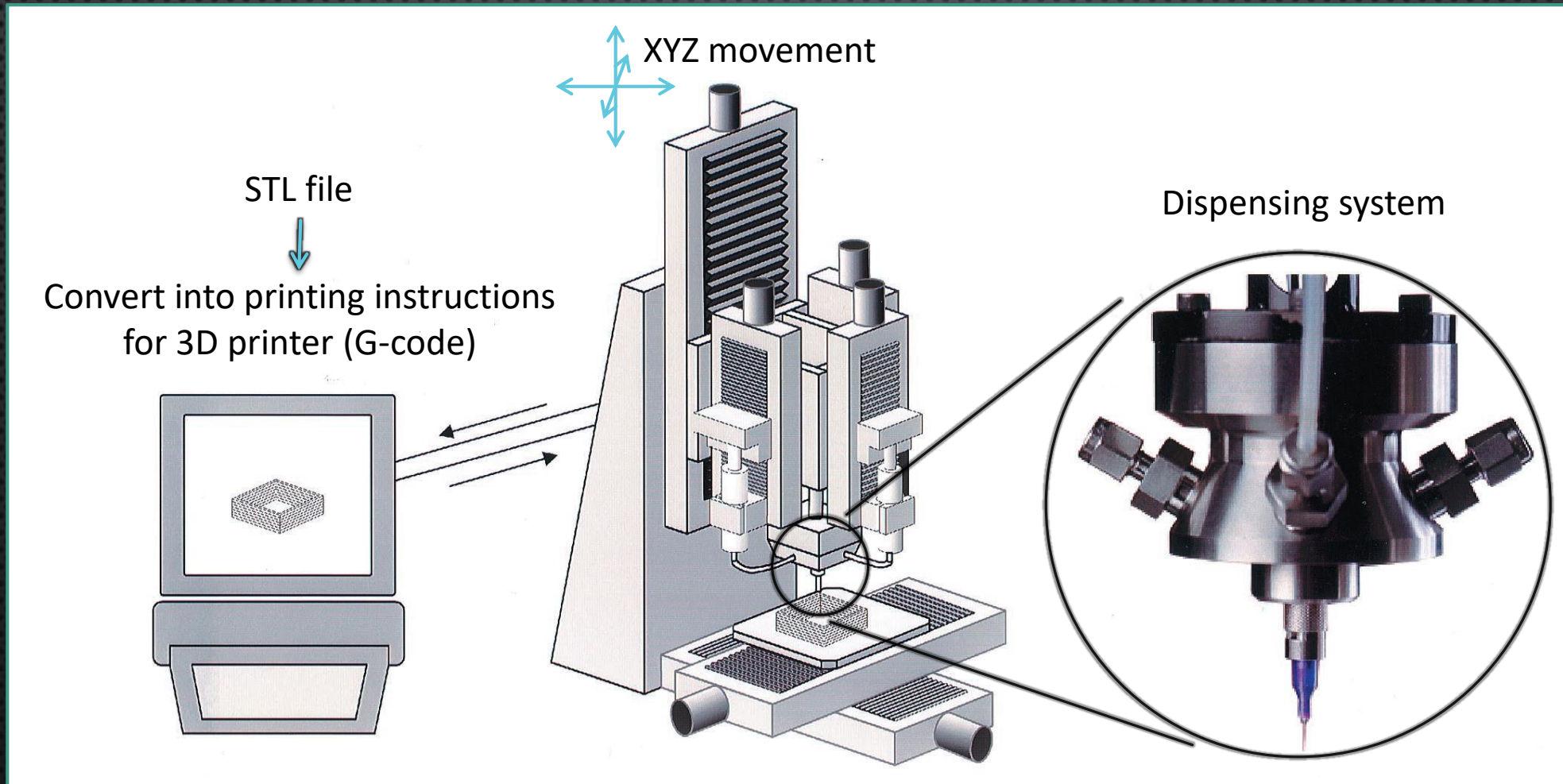
Stéréolithographie



https://www.youtube.com/watch?v=2JCs9_2HOJo&ab_channel=MEF

LA FABRICATION ADDITIVE DES BIOCÉRAMIQUES

- ROBOCASTING / MICROEXTRUSION / DIRECT INK WRITING: ALUMINES, PHOSPHATES DE CALCIUM, ZIRCON, NACRE, ETC.



LA FABRICATION ADDITIVE DES BIOCÉRAMIQUES

Robocasting

Numerical model

- 3D numerical model of the component you need (stl file)

Impression

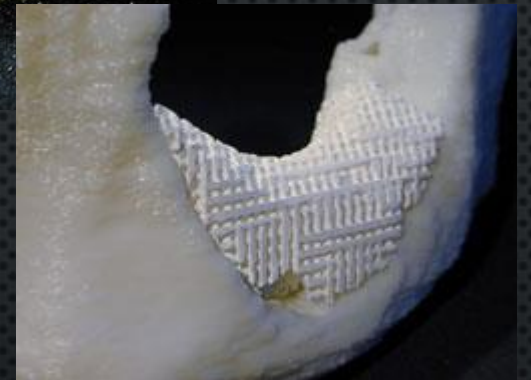
- Extrusion of a paste (ceramic suspension) through a needle: filaments whose position is controlled in 3D
- Adequate rheologie : the paste must flow through the needle then solidify when printed (shear thinning paste)

Thermal treatments

- Drying
- Debinding
- Sintering

Results

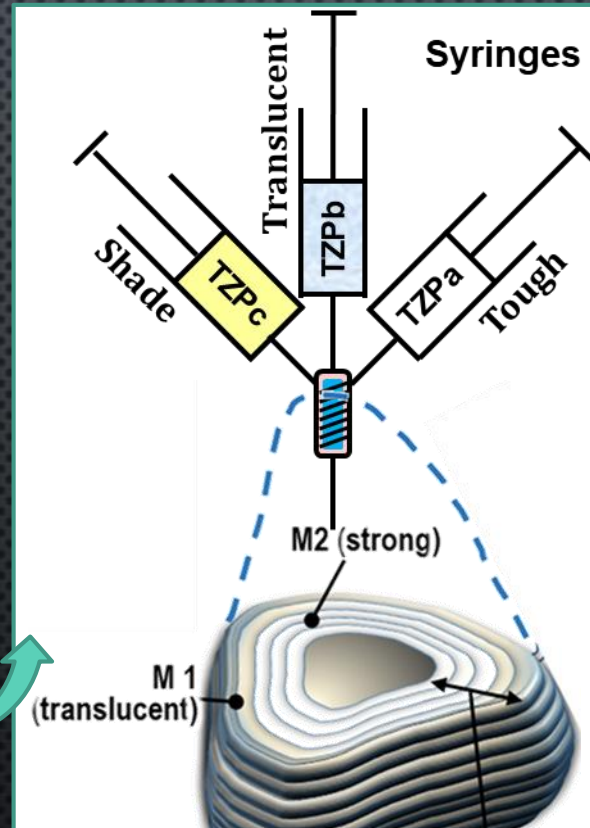
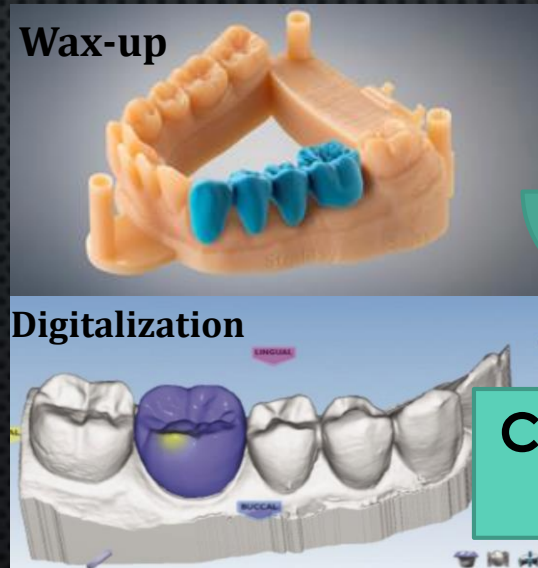
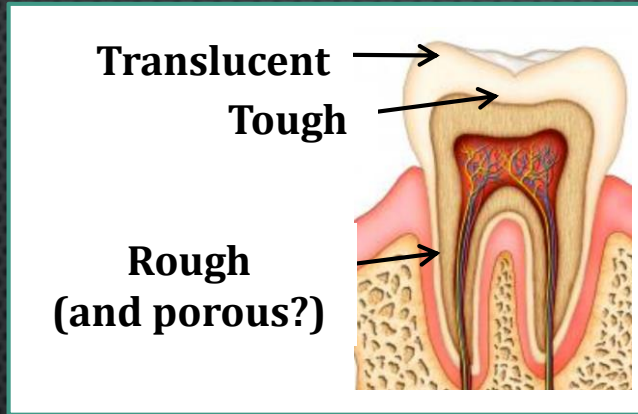
- Part identical to the 3D model
- resolution: $>50\text{ }\mu\text{m}$
- Porosity $< 70\%$, Dimensions $\rightarrow 10\text{ cm}$



LA FABRICATION ADDITIVE DES BIOCÉRAMIQUES

Robocasting

- EXEMPLE D'IMPRESSION D'UN PIÈCE COMPLEXE: LA COURONNE DENTAIRE



Ceramic preform with 3D gradients of architecture and composition

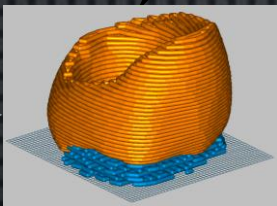
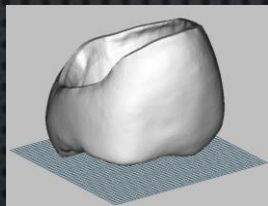
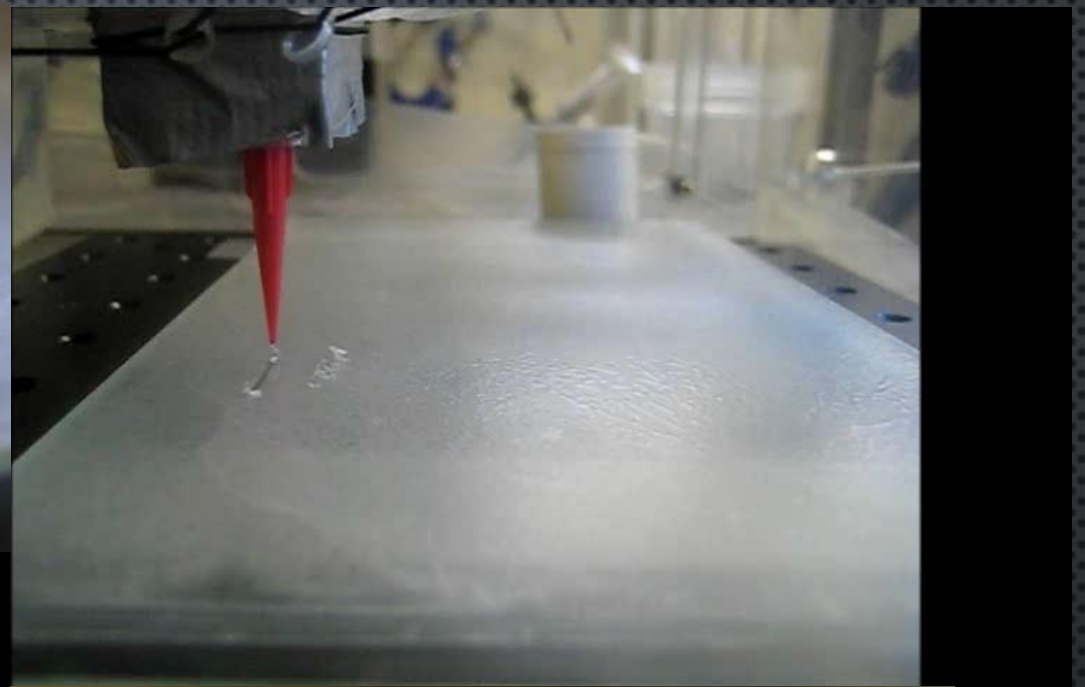
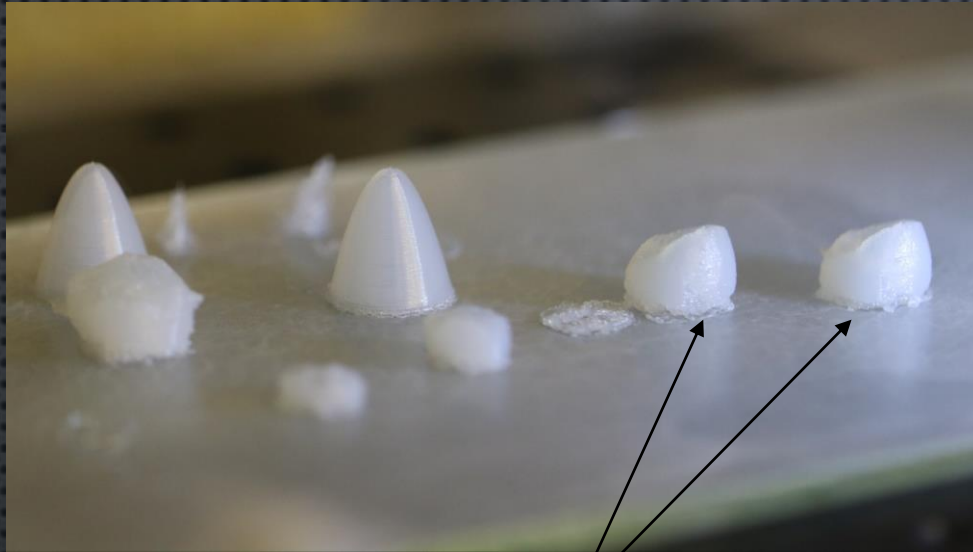
3Y TZP

- Custom design
- High strength
- Translucent
- Color match
- High added value

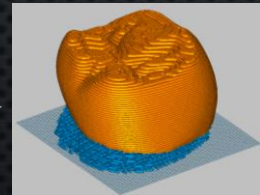
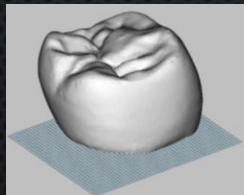


Sintering
step

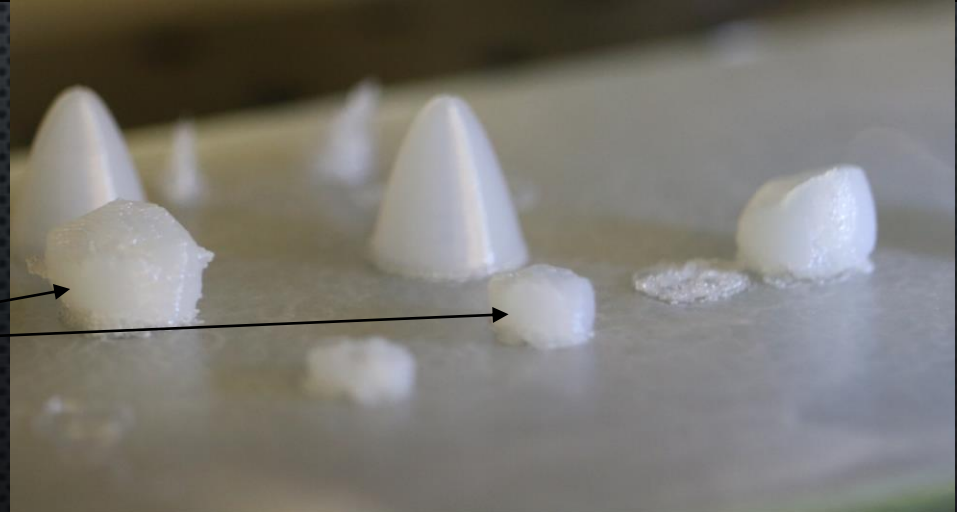
- One firing step
- No veneering process
- No interface
- Minimal material waste



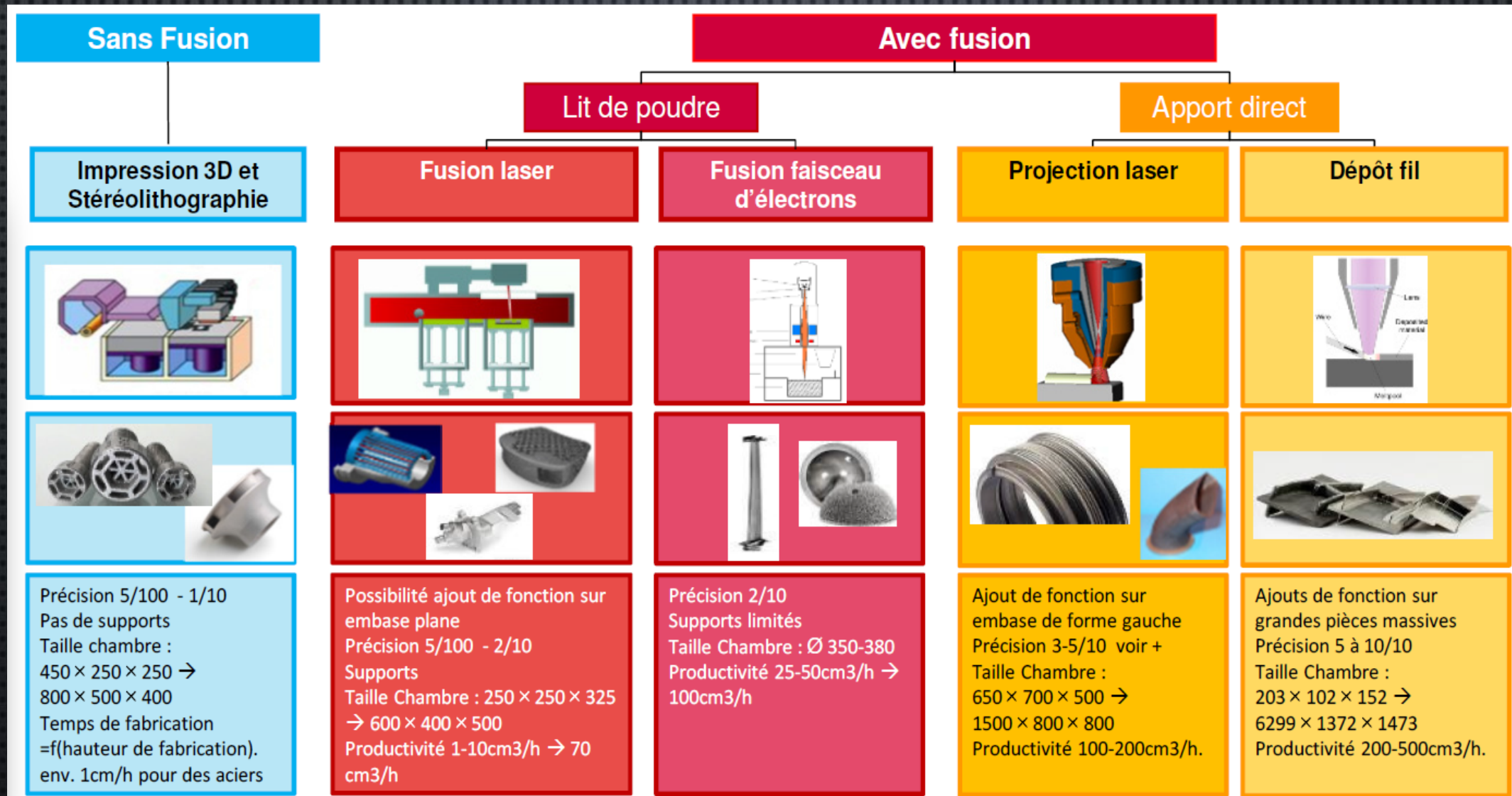
Occlusal face down



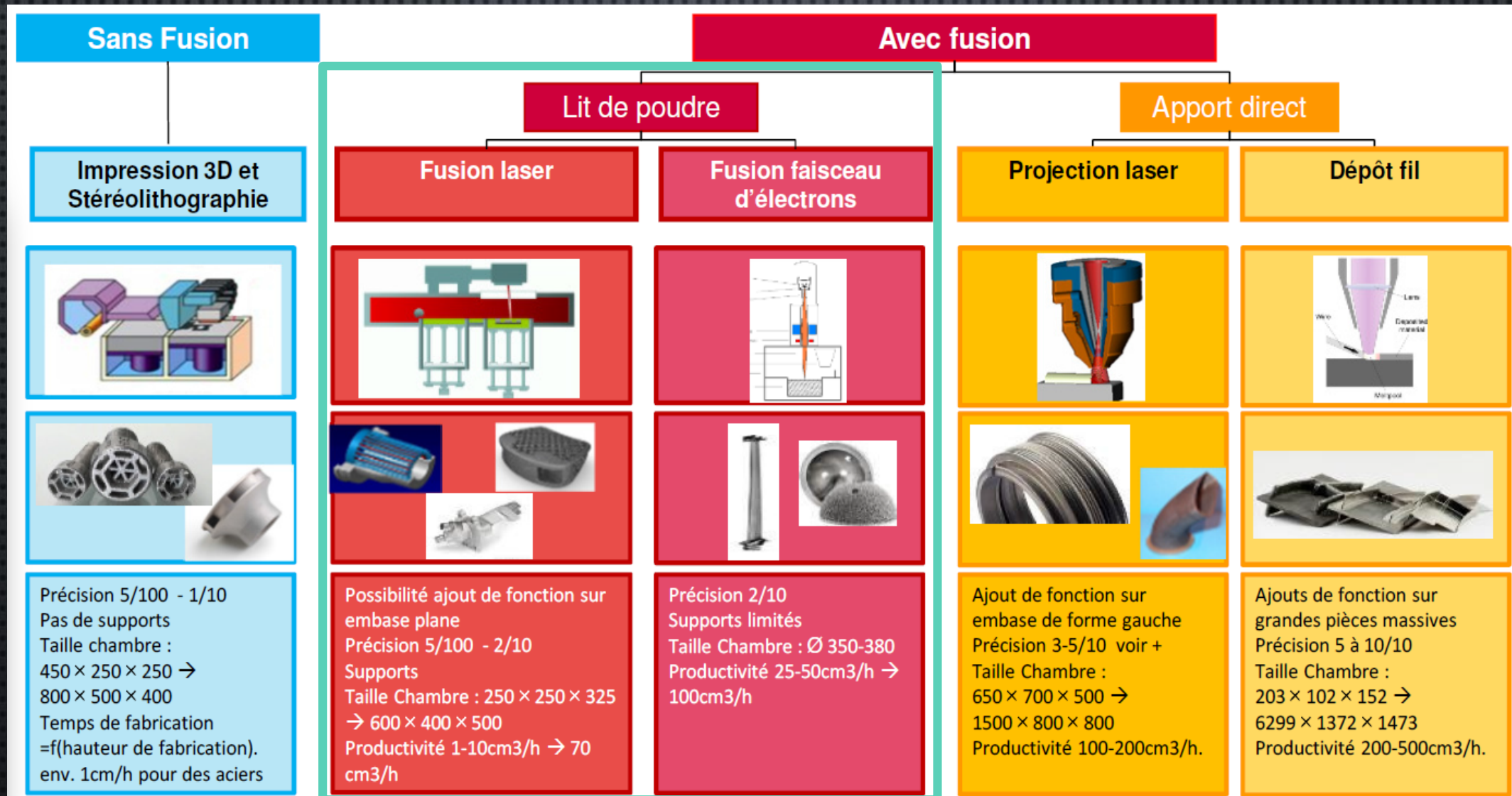
Occlusal face up



LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX



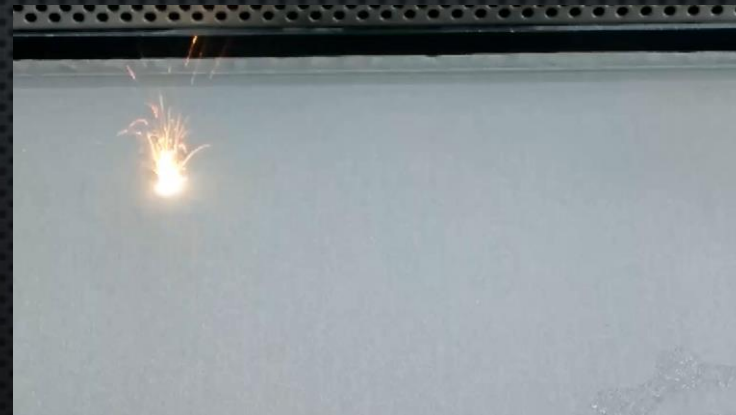
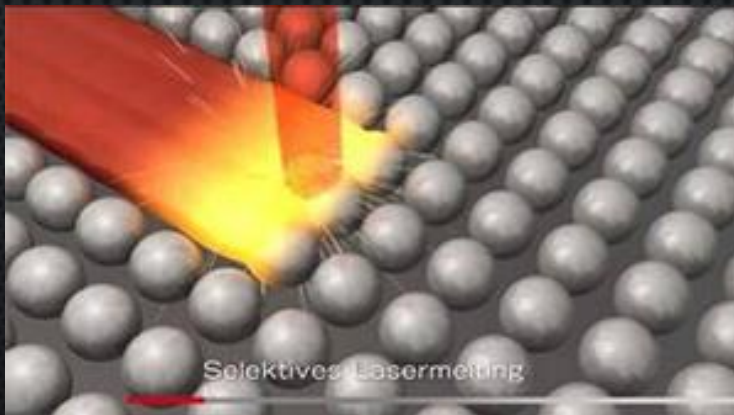
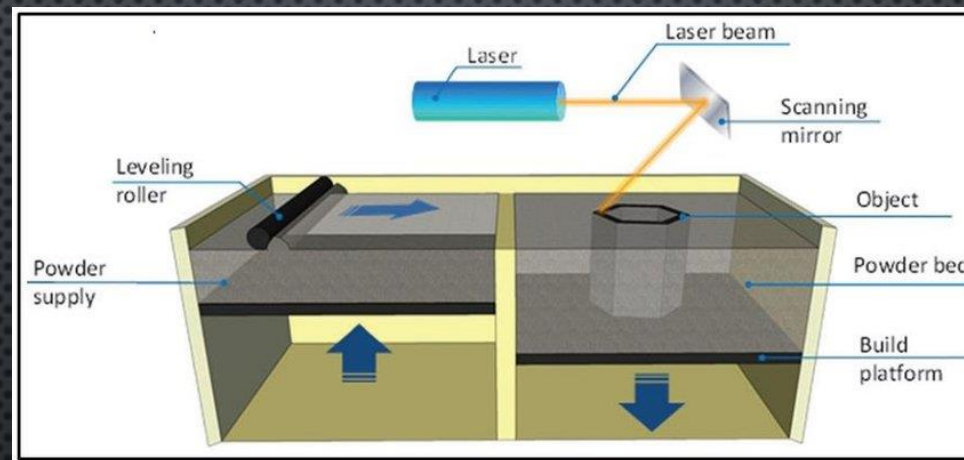
LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX



LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX

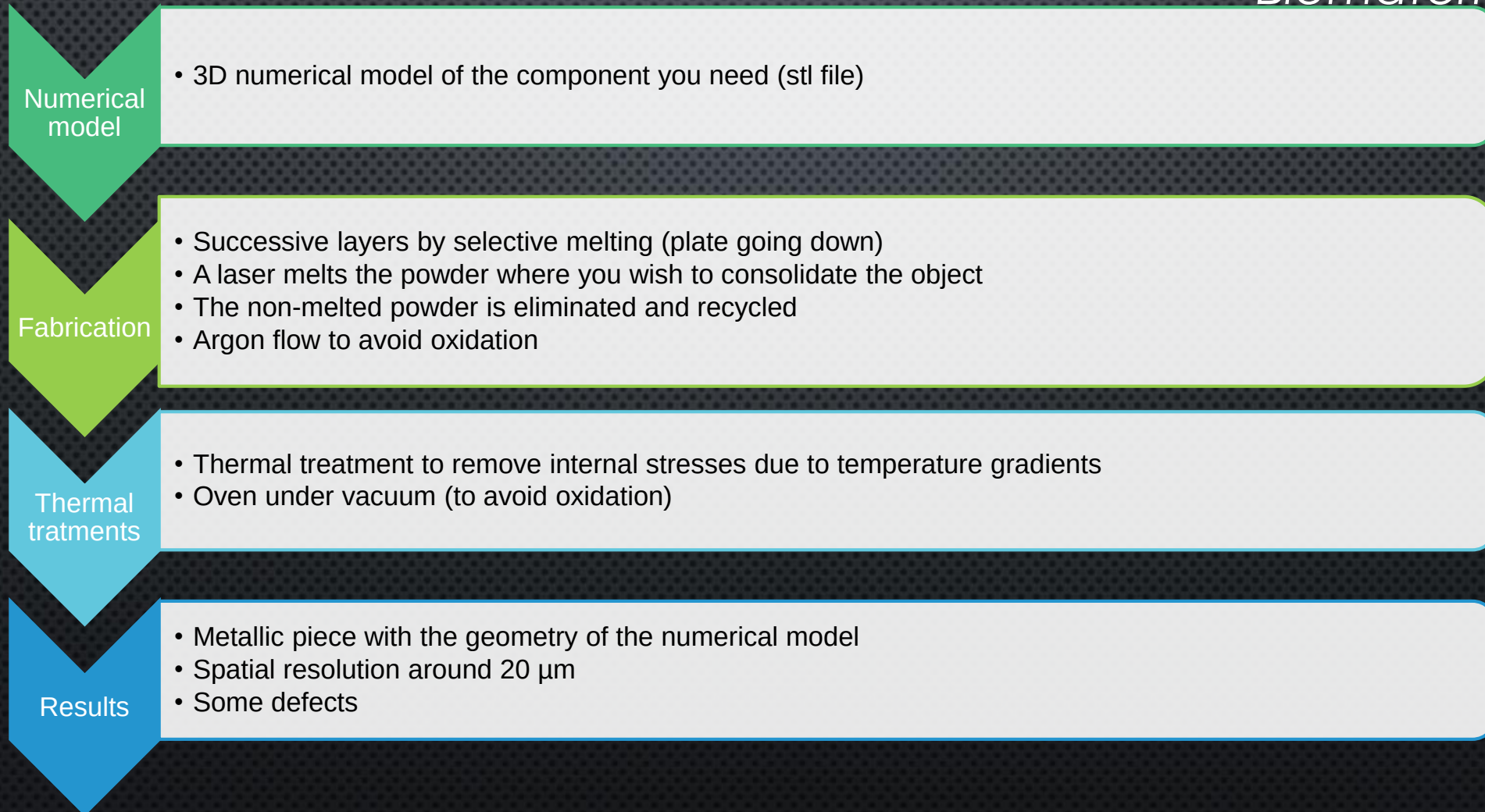
Biomatériaux

- TITANE (OU ALLIAGES) ET CrCo
- FUSION SUR LIT DE POUDRE (LASER: SLM OU FAISCEAU D'ÉLECTRONS: EBM) SOUS FLUX AR



LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX

Biomatériaux

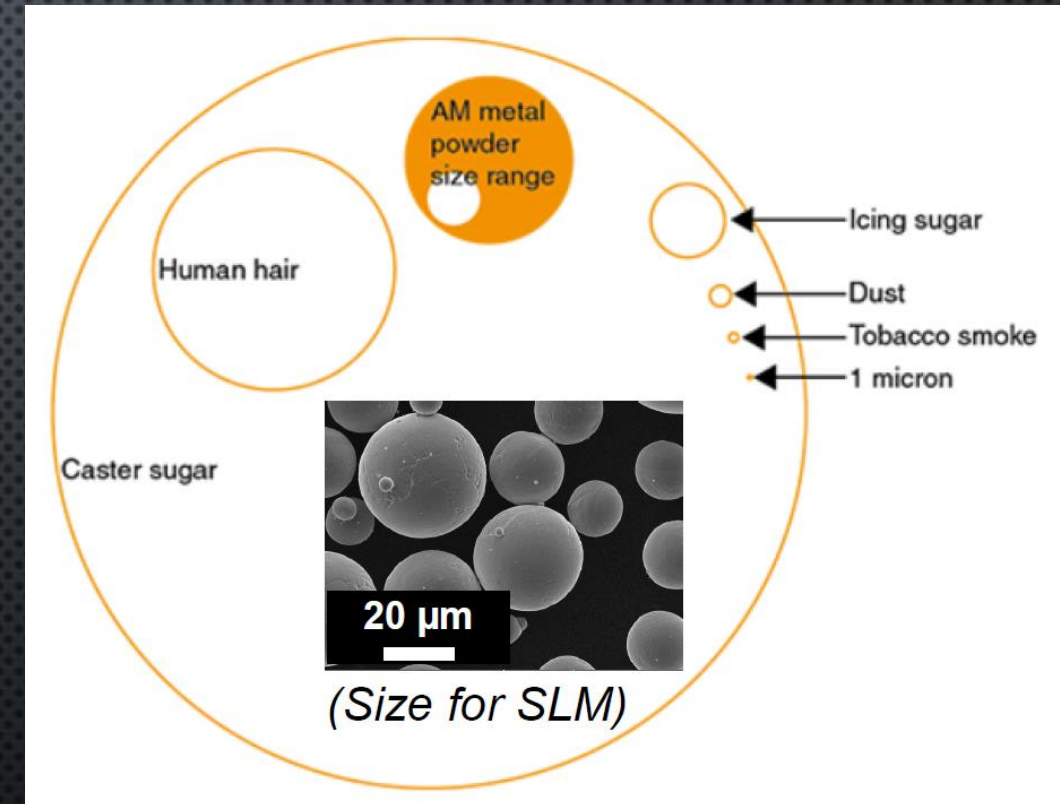
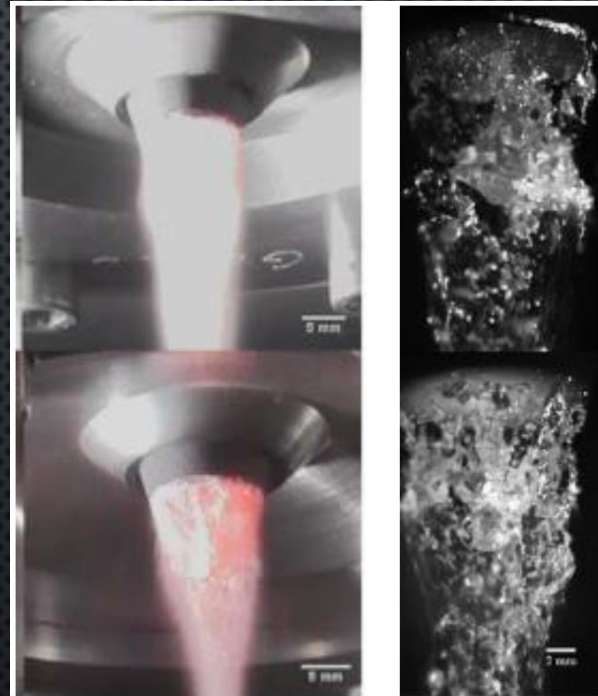
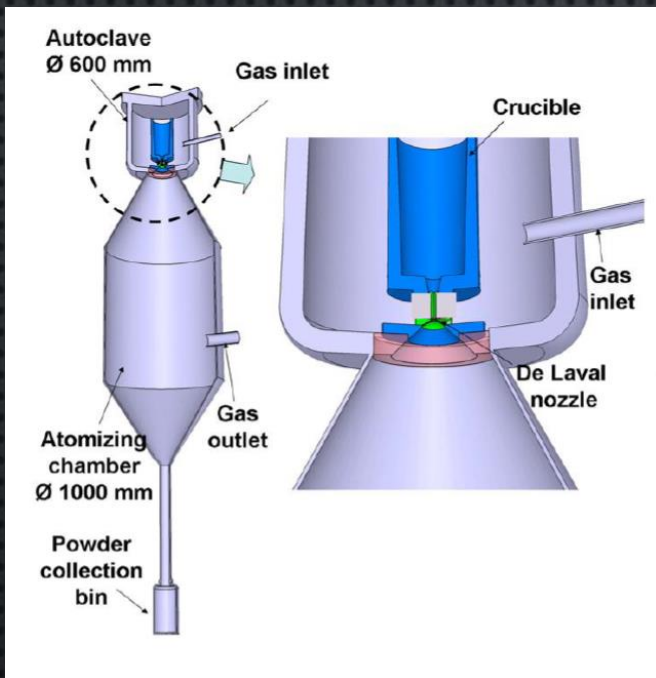


https://www.youtube.com/watch?v=X89yz2htEvw&ab_channel=3Shape

LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX

Biomatériaux

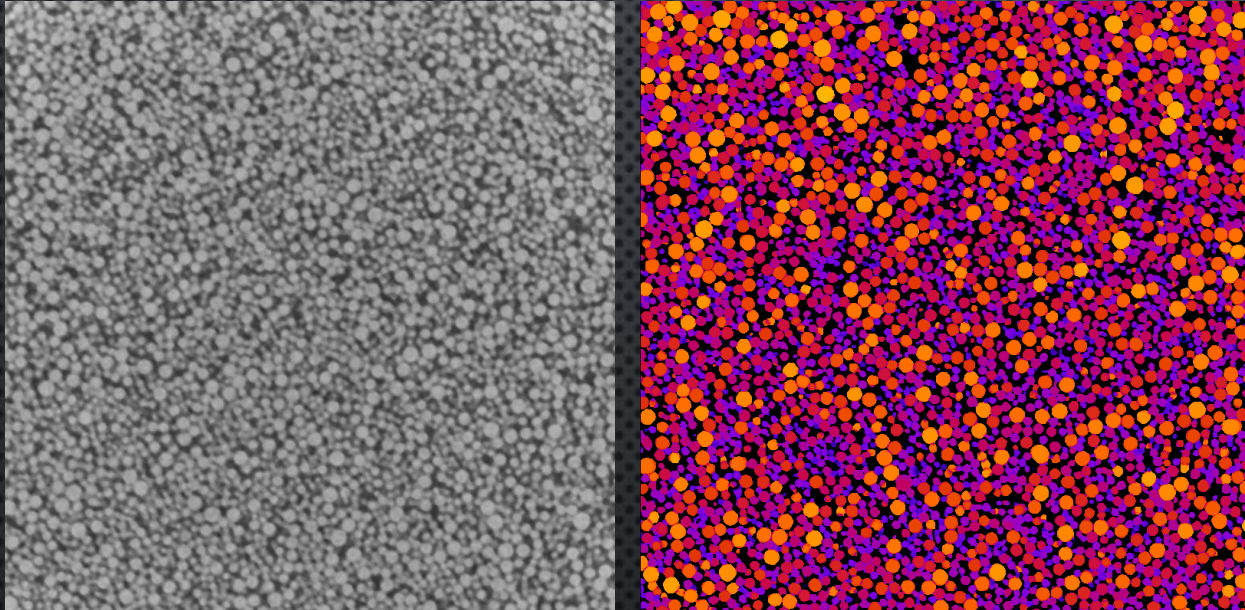
- IT ALL STARTS WITH POWDERS...



Atomisation

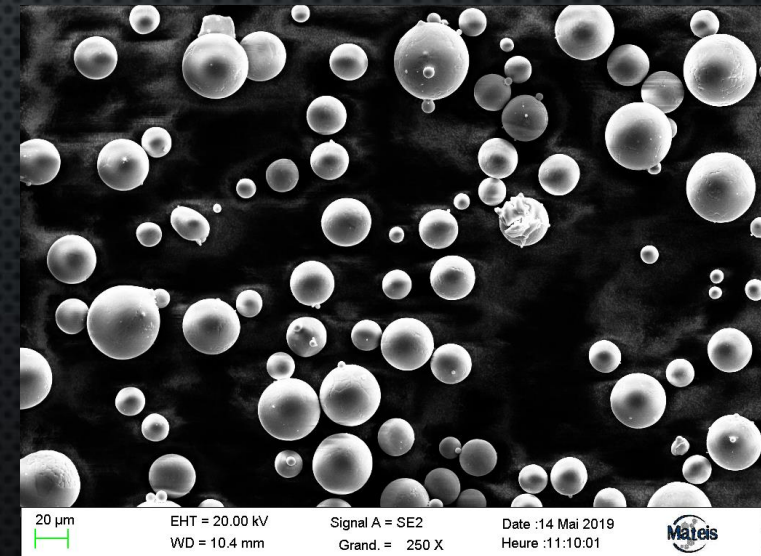
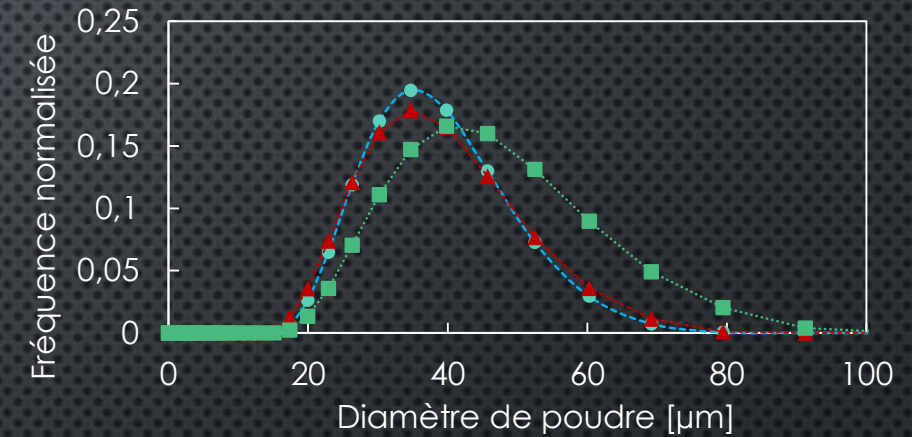
LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX

- CARACTÉRISATION COMPLÈTE



Tomographie RX

Biomatériaux



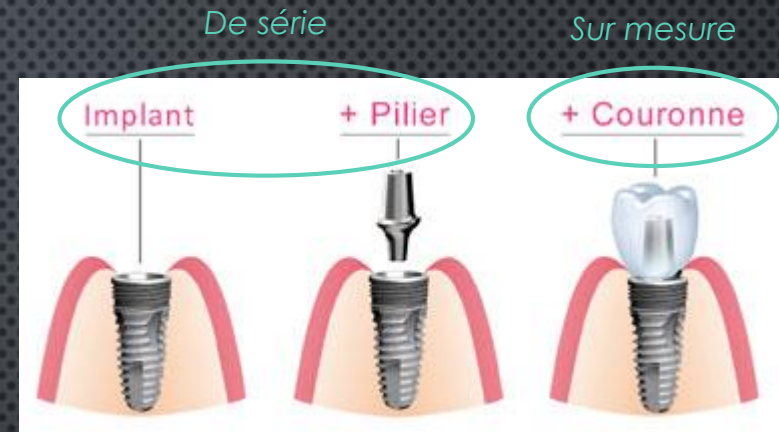
LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX POUR LE DENTAIRE : CONTEXTE

- UNE DENT MANQUANTE:



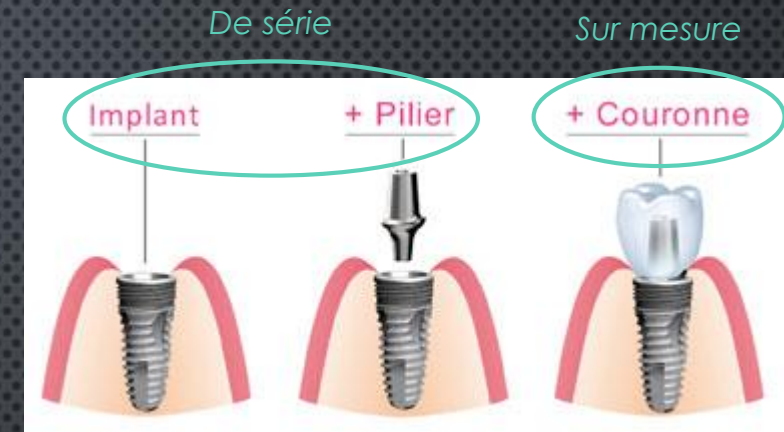
LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX POUR LE DENTAIRE : CONTEXTE

- UNE DENT MANQUANTE:



LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX POUR LE DENTAIRE : CONTEXTE

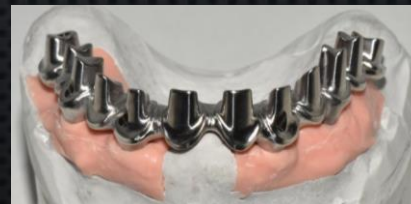
- UNE DENT MANQUANTE:



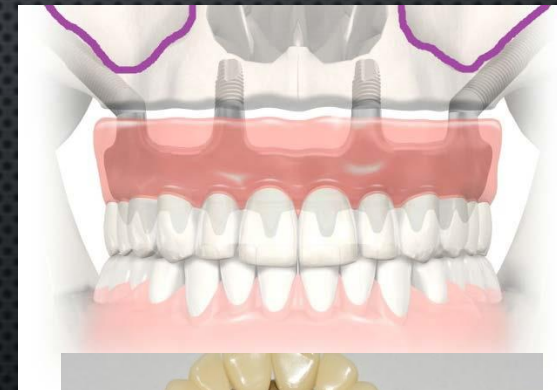
- PLUSIEURS DENTS MANQUANTES (OU ÉDENTATION COMPLÈTE):



Implants



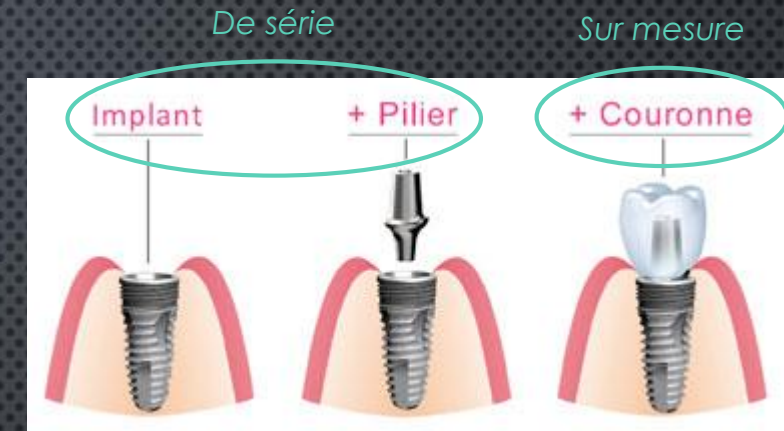
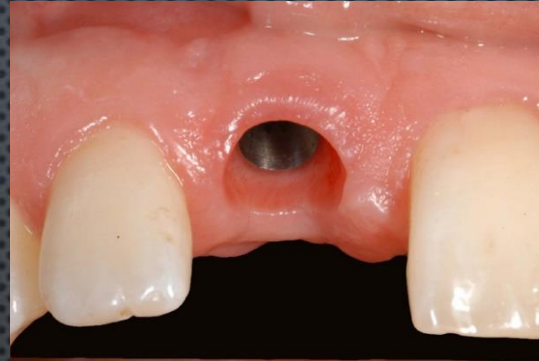
+ Prothèse dentaire multiportée



+ Couronne

LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX POUR LE DENTAIRE : CONTEXTE

- UNE DENT MANQUANTE:

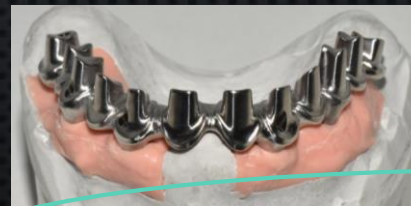


- PLUSIEURS DENTS MANQUANTES (OU ÉDENTATION COMPLÈTE):

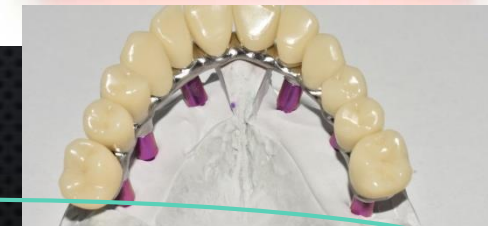
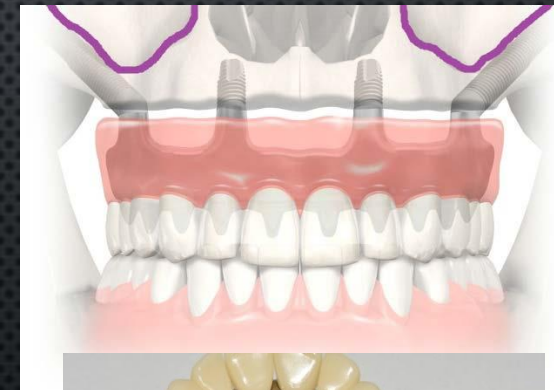


Implants

De série



+ Prothèse dentaire multiportée



+ Couronne

Sur mesure

LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX POUR LE DENTAIRE : CONTEXTE

- PROTHÈSE DENTAIRE MULTI-PORTÉE:
 - PRÉCISION (AXES DES IMPLANTS)
 - PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU MATÉRIAU
 - SURFACE D'ACCROCHE PROTHÈSE ESTHÉTIQUE

Usinage (5 axes)



- Environ 8 heures/arche
- Matière perdue: 80%
- Texturation de surface limitée
- Précision parfaite

Fabrication additive



- Environ 8 heures/plateau (5-10 arches)
- Matière perdue: 1-5%
- Texturation de surface limitée par l'imagination de l'ingénieur
- Précision parfaite (après reprise)

LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX POUR LE DENTAIRE : CONTEXTE

- PROTHÈSE DENTAIRE MULTI-PORTÉE:
 - PRÉCISION (AXES DES IMPLANTS)
 - PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU MATÉRIAU
 - SURFACE D'ACCROCHE PROTHÈSE ESTHÉTIQUE

Usinage (5 axes)



- Environ 8 heures/arche
- Matière perdue: 80%
- Texturation de surface limitée
- Précision parfaite

Fabrication additive

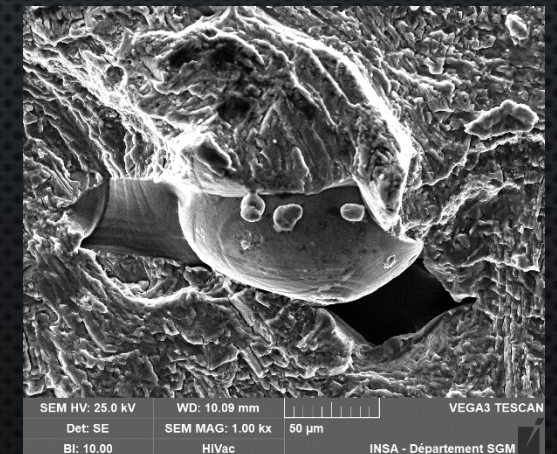
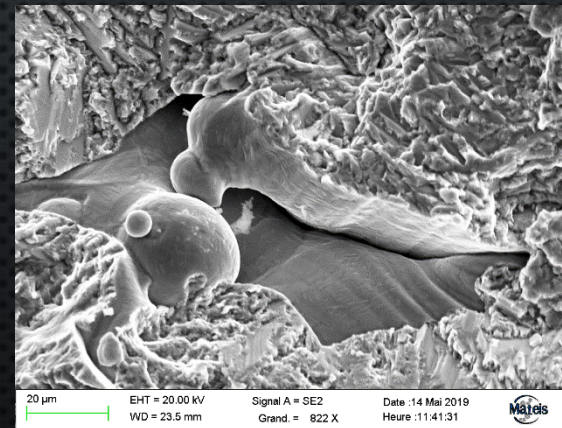
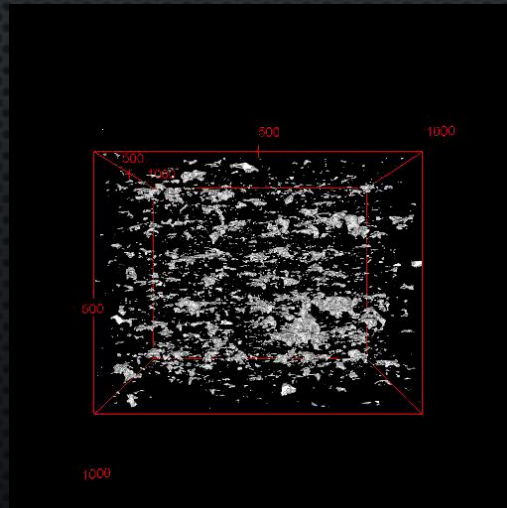
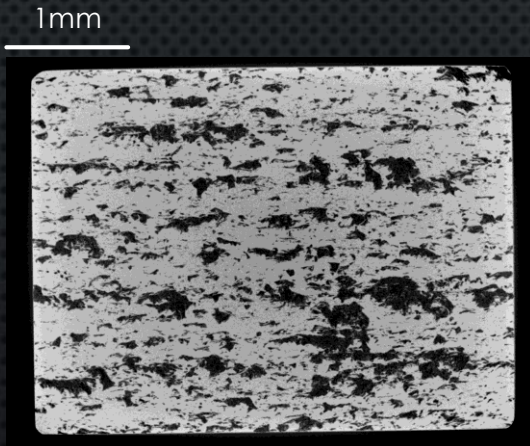
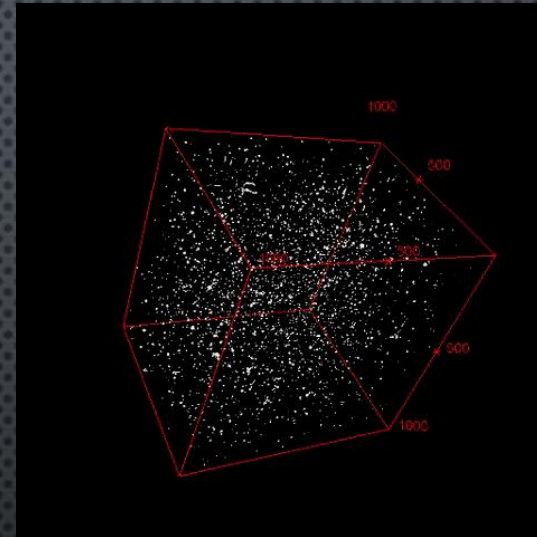


Défauts!!

- Environ 8 heures/plateau (5-10 arches)
- Matière perdue: 1-5%
- Texturation de surface limitée par l'imagination de l'ingénieur
- Précision parfaite (après reprise)

LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX (TA6V)

- DÉFAUTS DÛS À LA QUALITÉ DE LA POUDRE, AUX FUMÉES, À LA VITESSE DU LASER, ETC.



LA FABRICATION ADDITIVE DES MÉTAUX (TA6V)

- DÉFAUTS DÛS À LA QUALITÉ DE LA POUDRE, AUX FUMÉES, À LA VITESSE DU LASER, ETC.

