



HAL
open science

L'impression 3D ou fabrication additive en odontologie, actualités et perspectives

Julien Palau

► **To cite this version:**

Julien Palau. L'impression 3D ou fabrication additive en odontologie, actualités et perspectives .
Chirurgie. 2017. dumas-01616146

HAL Id: dumas-01616146

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01616146>

Submitted on 13 Oct 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'impression 3D ou fabrication additive en odontologie, actualités et perspectives.

THESE

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille
(Doyen : Monsieur le Professeur Jacques DEJOU)

Aix Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Yvon BERLAND)

Le 12 Juillet 2017

par

PALAU Julien
né le 30 Octobre 1981
à MARSEILLE

Pour obtenir le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

EXAMINATEURS DE LA THESE :

Président	: <u>Monsieur le Professeur</u>	<u>M. RUQUET</u>
Assesseurs	: Monsieur le Professeur Monsieur le Docteur Monsieur le Docteur	J. DEJOU G. LABORDE A. SETTE

L'impression 3D ou fabrication additive en odontologie, actualités et perspectives

THESE

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille
(Doyen : Monsieur le Professeur Jacques DEJOU)

Aix Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Yvon BERLAND)

Le 12 Juillet 2017

par

PALAU Julien
né le 30 Octobre 1981
à MARSEILLE

Pour obtenir le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

EXAMINATEURS DE LA THESE :

Président	: <u>Monsieur le Professeur</u>	<u>M. RUQUET</u>
Assesseurs	: Monsieur le Professeur Monsieur le Docteur Monsieur le Docteur	J. DEJOU G. LABORDE A. SETTE

FACULTÉ D'ODONTOLOGIE

UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE

DOYENS HONORAIRES	Professeur Professeur Professeur	A. SALVADORI R. SANGIUOLO [†] H. ZATTARA
DOYEN	Professeur	J. DEJOU
VICE – DOYEN CHARGÉ DES ENSEIGNEMENTS DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT DE FORMATION INITIALE	Professeur	J.D. ORTHLIEB
VICE – DOYEN CHARGÉ DE LA RECHERCHE DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT DE LA RECHERCHE	Professeur	C. TARDIEU
DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT DE FORMATION CONTINUE	Professeur	V. MONNET-CORTI
CHARGÉS DE MISSION	Professeur Docteur Docteur	A. RASKIN P. SANTONI F. BUKIET
RESPONSABLE DES SERVICES ADMINISTRATIFS	Madame	C. BONNARD
PROFESSEURS ÉMÉRITES	Professeur Professeur Professeur	J. J. BONFIL F. LOUISE O. HUE

DOCTEURS HONORIS CAUSA DE L'UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE

PRÉSIDENT DE LA SECTION DE LA MÉDECINE DENTAIRE UNIVERSITÉ DE GENÈVE – SUISSE	J.N. NALLY	1972
DOYEN DE LA FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE UNIVERSITÉ DE PITTSBURGH – PENNSYLVANIE - USA	E. FOREST [†]	1973
DOYEN DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE UNIVERSITÉ DE GENÈVE – SUISSE	L.J. BAUME	1977
DOYEN HONORAIRE DE LA FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE UNIVERSITÉ DE BOSTON - MASSACHUSETTS – USA	H.GOLDMAN [†]	1984
UNIVERSITÉ DE GÖTEBORG – SUÈDE	P.I. BRÅNEMARK	1997

56 ^{ème} SECTION : DEVELOPPEMENT CROISSANCE ET PREVENTION

56.1 ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE

Professeur	C. TARDIEU *	Assistant	I. BLANCHET
Maître de Conférences	D. BANDON	Assistant	C. KHOURY
Maître de Conférences	A. CHAFAIE	Assistant	V. MAGNAN
		Assistant	N. RENOU

56.2 ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

Maître de Conférences	J. BOHAR	Assistant	M. BARBERO
Maître de Conférences	E. ERARD	Assistant	L. LEVY-DAHAN
Maître de Conférences	J. GAUBERT	Assistant	S. MARION des ROBERT
Maître de Conférences	M. LE GALL*	Assistant	C. MITLER
Maître de Conférences	C. PHILIP-ALLIEZ	Assistant	A. PATRIS-CHARRUET
		Assistant	J. SCHRAMM

56.3 PRÉVENTION - ÉPIDÉMIOLOGIE - ÉCONOMIE DE LA SANTÉ - ODONTOLOGIE LÉGALE

Professeur	B. FOTI *	Assistant	J. SCIBILIA
Maître de Conférences	D. TARDIVO		

*Responsable de la sous-section

57^{ème} SECTION :
SCIENCES BIOLOGIQUES, MÉDECINE ET CHIRURGIE BUCCALE

57.1 PARODONTOLOGIE

Professeur	V. MONNET-CORTI *	Assistant	A. BOYER
		Assistant	V. MOLL
		Assistant	A. MOREAU
		Assistant	M. PIGNOLY

57.2 CHIRURGIE BUCCALE – PATHOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE - ANESTHÉSIOLOGIE – RÉANIMATION

Maître de Conférences	D. BELLONI	Assistant	J. GARCONNET
Maître de Conférences	J. H. CATHERINE *	Assistant	E. MASSEREAU
Maître de Conférences	P. ROCHE-POGGI	Assistant	E. QUINQUE

57.3 SCIENCES BIOLOGIQUES BIOCHIMIE, IMMUNOLOGIE, HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE, GÉNÉTIQUE, ANATOMO-PATHOLOGIE, BACTÉRIOLOGIE, PHARMACOLOGIE

Maître de Conférences	P. LAURENT	Assistant	C. LE FOURNIS
-----------------------	------------	-----------	---------------

65^{ÈME} SECTION : BIOLOGIE CELLULAIRE

Professeur	I. ABOUT* (Responsable de la sous-section 57.3)
------------	---

*Responsable de la sous-section

58^{ème} SECTION :
 SCIENCES PHYSIQUES ET PHYSIOLOGIQUES, ENDODONTIQUES ET PROTHETIQUES

58.1 ODONTOLOGIE CONSERVATRICE, ENDODONTIE

Professeur	H. TASSERY	Assistant	B. BALLESTER
Maître de Conférences	G. ABOUDHARAM	Assistant	H. DE BELENET
Maître de Conférences	F. BUKIET	Assistant	A. FONTES
Maître de Conférences	C. PIGNOLY	Assistant	M. GLIKPO
Maître de Conférences	L. POMMEL *	Assistant	S. MANSOUR
Maître de Conférences	E. TERRER	Assistant	L. ROLLET
Maître de Conférences associé	M. GUIVARC'H		

58.2 PROTHÈSE PROTHÈSE CONJOINTE, PROTHÈSE ADJOINTE PARTIELLE, PROTHÈSE TOTALE, PROTHÈSE MAXILLO-FACIALE

Professeur	M. RUQUET		
Maître de Conférences	G. LABORDE	Assistant	M. DODDS
Maître de Conférences	M. LAURENT	Assistant	A. FERDANI
Maître de Conférences	B.E. PRECKEL	Assistant	C. MENSE
Maître de Conférences	P. SANTONI *	Assistant	C. NIBOYET
Maître de Conférences	G. STEPHAN	Assistant	A. REPETTO
Maître de Conférences	P. TAVITIAN	Assistant	A. SETTE
Maître de Conférences	A. TOSELLO		

58.3 SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES OCCLUSODONTOLOGIE, BIOMATÉRIAUX, BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE

Professeur	J. DEJOU	Assistant	T. GIRAUD
Professeur	J. D. ORTHLIEB *	Assistant	M. JEANY
Professeur	A. RASKIN		
Maître de Conférences	A. GIRAUDEAU		
Maître de Conférences	B. JACQUOT		
Maître de Conférences	J. P. RÉ		

*Responsable de la sous-section

A Monsieur le Professeur Michel RUQUET

A Monsieur le Professeur Jacques DEJOU

A Monsieur le Docteur Gilles LABORDE

A Monsieur le Docteur Adrien SETTE

Sommaire

INTRODUCTION.....	2
I. PRINCIPES DE LA CFAO PAR IMPRESSION 3D ET ETAPES DE PRODUCTION 3	3
I.1. Définition	3
I.2. Acquisition des informations	3
I.2.1. Type de CFAO.....	3
I.2.2. Numérisation par empreinte intraorale au cabinet.....	4
I.2.3. Numérisation des modèles au laboratoire suite à une empreinte classique.....	7
I.3. Conception assistée par ordinateur (CAO)	9
I.4. Production par fabrication additive	11
I.4.1. Impression 3D par dépôt successif de matière	12
I.4.2. La stéréolithographie (SLA)	14
I.4.3. La fusion sélective par Laser	16
II. UTILISATION ET INTERET DE L'IMPRESSION 3D EN ODONTOLOGIE	19
II.1. En Orthodontie.....	19
II.2. En prothèse dentaire	20
II.2.1. Matériaux	20
II.2.2. Prothèse fixe (PF)	23
II.2.3. En prothèse implantaire (PI)	25
II.2.4. Prothèse amovible partielle (PAP).....	26
II.2.5. En prothèse complète (PC).....	30
III. PERSPECTIVE DE L'IMPRESSION 3D.....	31
III.1. Perspectives de l'impression 3D : laboratoire - cabinet.....	31
III.2. Perspectives de l'impression de tissu biologique	31
III.3. Perspectives céramique	32
CONCLUSION.....	34
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	I

Introduction

Depuis la fin du XX^{ème} siècle, nous vivons une nouvelle révolution industrielle : celle du numérique. Les ordinateurs ont envahi le monde de l'entreprise mais aussi notre quotidien. Internet a permis un accès à l'information instantané et infini.

Le numérique est entré aussi dans nos cabinets dentaires. D'abord par les logiciels de gestion des patients, des dossiers médicaux, des agendas électroniques... Ensuite ce sont les radiographies et les scanners qui sont devenus numériques, permettant des images instantanées, offrant de nouvelles possibilités comme jouer avec le contraste pour une meilleure lisibilité donc de meilleurs diagnostics et une communication avec le patient plus efficiente.

L'étape suivante a été un changement profond dans l'approche des procédés de production. La numérisation d'objet s'est faite de plus en plus précise avec les scanners optiques et lasers, si bien que les méthodes de CFAO se sont développées en même temps que la précision des machines outil.

De nos jours, nombreux sont les confrères à être équipé d'un CEREC, qui permet de produire via un système d'usinage une prothèse sans empreinte physique ni wax up. Cependant, si les techniques de CFAO incluant des systèmes de production par soustraction sont bien démocratisées, les systèmes par addition comme les imprimantes 3D sont encore minoritaires et leur utilisation est marginale.

Cette thèse a pour but de faire le point sur cette technologie qui est en plein développement et de démontrer ce qu'elle peut apporter à notre pratique quotidienne de la dentisterie.

Dans un premier temps nous expliquerons toute la chaîne de production par méthode additive, de la numérisation du modèle à la production proprement dite, ainsi que les différents types de production additive adaptés à l'odontologie.

Puis nous nous intéresserons aux possibilités que nous offre cette technique dans les différents domaines de la dentisterie, ainsi que ses avantages et inconvénients par rapport aux méthodes de production dites traditionnelles ou aux méthodes soustractives.

Enfin nous mettrons en évidence ce que le futur de cette méthode nous réserve.

I. PRINCIPES DE LA CFAO PAR IMPRESSION 3D ET ETAPES DE PRODUCTION

I.1. Définition

L'impression 3D est une technique de fabrication dite additive car elle procède par ajout de matière. Le point de départ est un fichier informatique qui représente numériquement l'objet en 3 dimensions, découpées en tranches. Ces informations seront envoyées à l'imprimante 3D qui va fabriquer la pièce par ajout de couches successives. Plus les couches seront fines, meilleures seront la précision et la définition de l'objet.

Cette méthode n'est pas employée dans l'industrie pour réaliser de grandes quantités de production mais elle est utilisée pour le prototypage, c'est-à-dire la conception et la mise au point de nouveaux objets qui seront ensuite produits en série via une autre méthode. C'est pourquoi elle nous intéresse particulièrement car dans le domaine dentaire toutes nos réalisations sont des prototypes uniques.

I.2. Acquisition des informations

Traditionnellement, pour réaliser une prothèse dentaire, on avait besoin d'un modèle sur lequel travailler. Ce modèle, le plus souvent en plâtre, était obtenu en prenant une empreinte physique du patient avec des matériaux tels que l'alginat ou le silicone. En CFAO, le modèle n'est pas physique mais numérique.

Remarque : Néanmoins, aujourd'hui encore certaines solutions prothétiques vont nécessiter la production de modèle physique, notamment les grandes restaurations afin de mieux gérer, par exemple, la finalisation occlusale.

I.2.1. Type de CFAO

On distingue la CFAO directe, semi-directe ou indirecte en fonction de la méthode de numérisation et du lieu de production :

CFAO Directe	CFAO semi directe	CFAO indirecte
Empreinte optique intra orale	Empreinte optique intra orale	Modèle d'empreinte physique numérisé ensuite au laboratoire
CAO et FAO au cabinet via une usineuse type CEREC	CAO et FAO au laboratoire de prothèse	CAO et FAO au laboratoire de prothèse

La CFAO directe ne permet pas de mettre en œuvre des procédés de fabrication utilisant des imprimantes 3D, seules la CFAO semi directe ou indirecte le permettent. En effet à l'heure d'aujourd'hui, seuls les laboratoires de prothèses ou les centres de production sont équipés en imprimantes 3D.

On aperçoit alors que ce qui varie entre la CFAO semi directe et indirecte, c'est la méthode de prise d'empreinte. Dans l'une on utilise une caméra optique intrabuccale alors que dans l'autre on passe par une empreinte physique traditionnelle coulée pour obtenir un modèle de travail qui sera ensuite numérisé au laboratoire, la plupart du temps.

I.2.2. Numérisation par empreinte intraorale au cabinet

Ce type d'empreinte fait appel à des caméras optiques intra orales. Le praticien va numériser directement les éléments dont il a besoin dans la bouche du patient :

- L'arcade avec le travail à effectuer (prothèse, orthodontie...)
- L'antagoniste
- Les 2 arcades en occlusion

Les premières caméras commercialisées étaient à système fermé, c'est-à-dire qu'elles ne pouvaient fonctionner qu'avec le logiciel de CFAO et l'usineuse qui y était associé. Il fallait payer une licence renouvelable tant pour le praticien que pour le laboratoire partenaire pour pouvoir exporter et traiter les fichiers. C'est le cas de l'Omniscam de Sirona ou encore de la TRIOS de 3 Shape, pour exemple.

Puis sont apparues des caméras dites « ouvertes » c'est-à-dire qui génèrent des fichiers .stl standards qui pourront être lus par tous les logiciels CFAO. Ce sont ces caméras qui nous intéressent car on pourra alors traiter les données et les utiliser avec une imprimante 3D ou une usineuse ou les 2. C'est le cas par exemple de la caméra CondorScan de chez Biotech, ou encore de la TRIOS de 3 Shape.

Bien réussir son empreinte numérique nécessite quelques prérequis :

- Une caméra performante
- Un ordinateur avec un processeur assez puissant pour traiter le flux que va lui envoyer la caméra
- Un praticien avec une certaine expérience : il y a une courbe d'apprentissage non négligeable dans la prose d'empreinte optique pour pouvoir enregistrer vite et bien
- Des préparations maîtrisées : la caméra ne peut enregistrer que ce qu'elle voit, il faut donc préférer des préparations juxta ou supra gingivale, gérer les techniques d'accès au sulcus, être sec (ni salive ni sang)

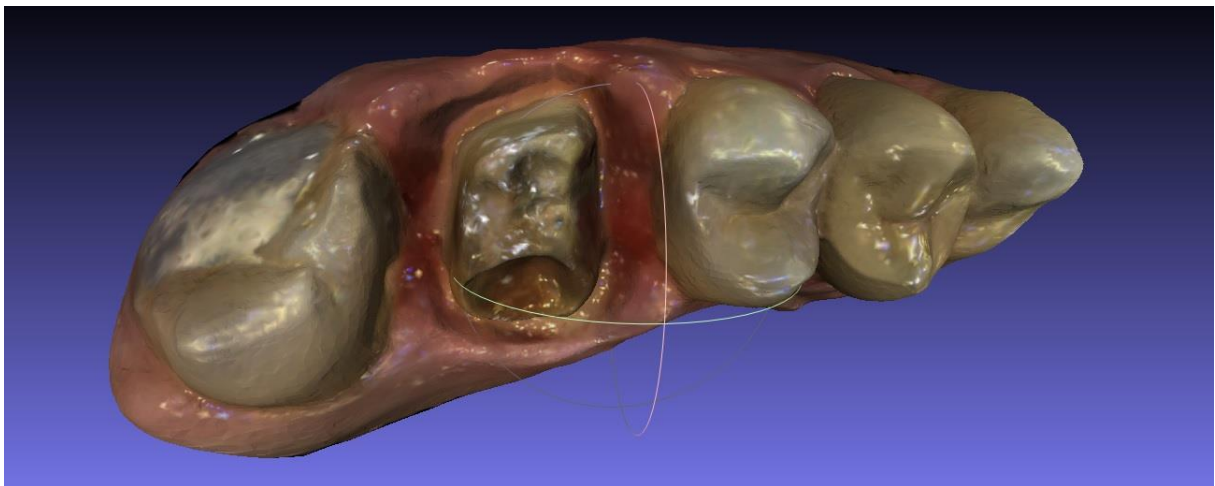
Intérêt de l'empreinte optique par rapport à une empreinte classique :

- Casser la chaîne des imprécisions : dans une empreinte traditionnelle, prise avec du silicone et coulée en plâtre, des imprécisions dues aux matériaux ou à l'utilisateur peuvent entraîner des variations non négligeables des volumes enregistrées et ainsi conduire à des prothèses mal ajustées.
- Pré traitement des données avec le logiciel de capture, qui va pouvoir nous indiquer s'il y a des contre dépouilles, des épaisseurs de céramiques qui seront insuffisantes...
- Aussi rapide qu'une empreinte classique

- C'est également un plus pour le patient : beaucoup moins désagréable qu'une prise d'empreinte classique et il y a un « effet high tech »
- Communication rapide avec le laboratoire.



La CondorScan de chez Biotech, caméra intrabuccale en couleur réelle et Open Source, c'est-à-dire qui produit des fichiers .STL libre de droit.



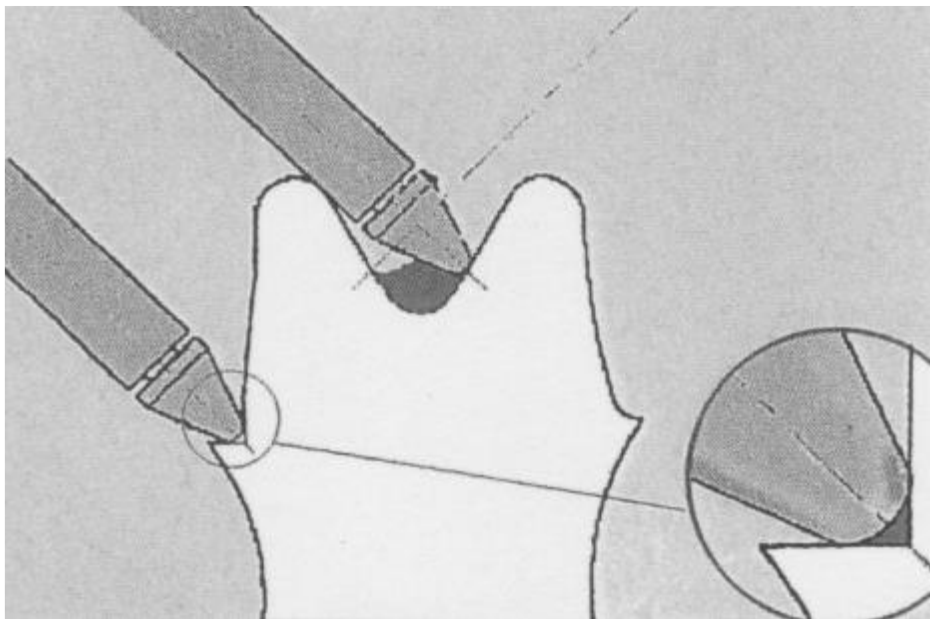
I.2.3. Numérisation des modèles au laboratoire suite à une empreinte classique

On parle dans ce cas de CFAO indirecte car toutes les étapes numériques sont faites au laboratoire par les prothésistes. Le praticien prend une empreinte classique en silicone (light et lourd) qu'il envoie au laboratoire. Le prothésiste coule l'empreinte pour obtenir un maître modèle en plâtre et l'antagoniste. Ils seront numérisés dans un scanner pour obtenir le modèle numérique.

Selon le type de scanner, la méthode de numérisation est différente :

- Numérisation tactile :

Les premiers scanners utilisaient des palpeurs qui balayaient la surface à numériser.



Il fallait adapter les préparations car il ne fallait pas faire d'angles plus vifs que la pointe du capteur comme le montre le schéma ci-dessus

- Numérisation non tactile :

Il n'y a pas de contact entre le scanner et l'objet à numériser. Le scanner va émettre un rayonnement électromagnétique (Laser...) qui va interférer avec le modèle. Il y a plusieurs principes de fonctionnement, les plus répandus sont :

- la méthode par mesure du temps de vol :

C'est le principe du sonar : on mesure le temps de propagation aller-retour de la lumière entre le capteur et la pièce à numériser.

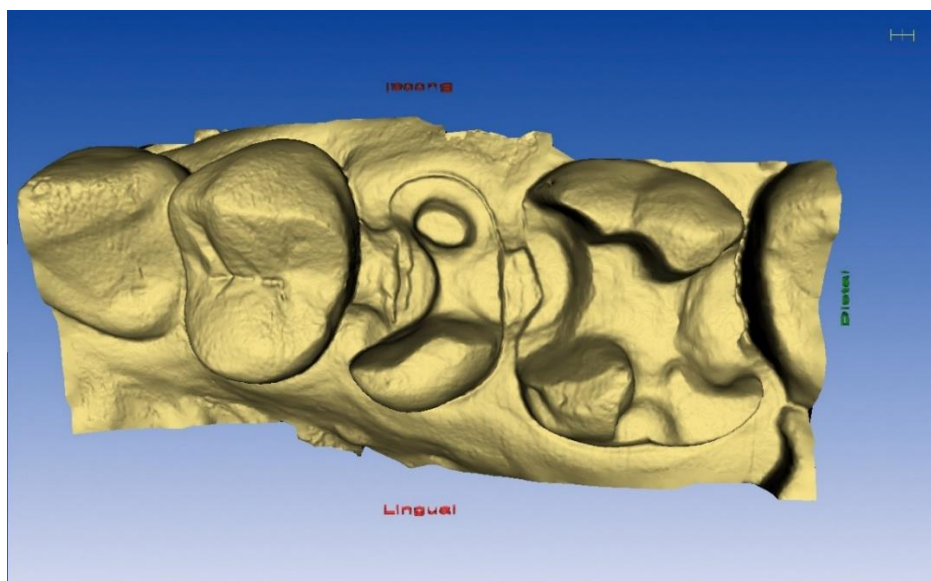
- La méthode par triangulation active :

Un Laser parcourt le modèle à scanner pendant qu'un capteur CCD (Charged Couple Device) prend constamment en photo le balayage sur un intervalle de temps. Ces photos sont ensuite transmises à un ordinateur qui va les analyser et déterminer un nuage de points qui donnera l'image et le relief de l'objet numérisé.

Le scanner cyberscan Art plus de Pi Dental :



Nous obtenons suite à cette étape le maître modèle numérique sur lequel le prothésiste va modéliser la future prothèse.



I.3. Conception assistée par ordinateur (CAO)

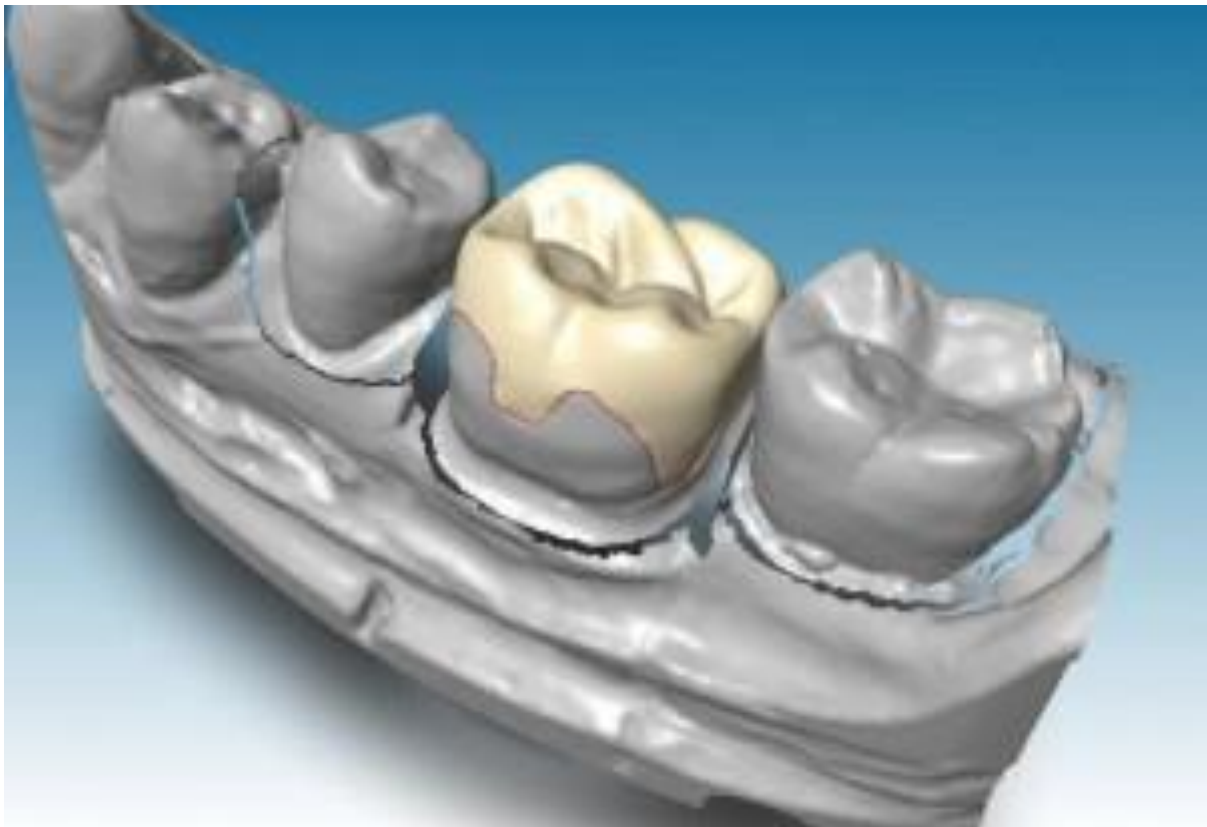
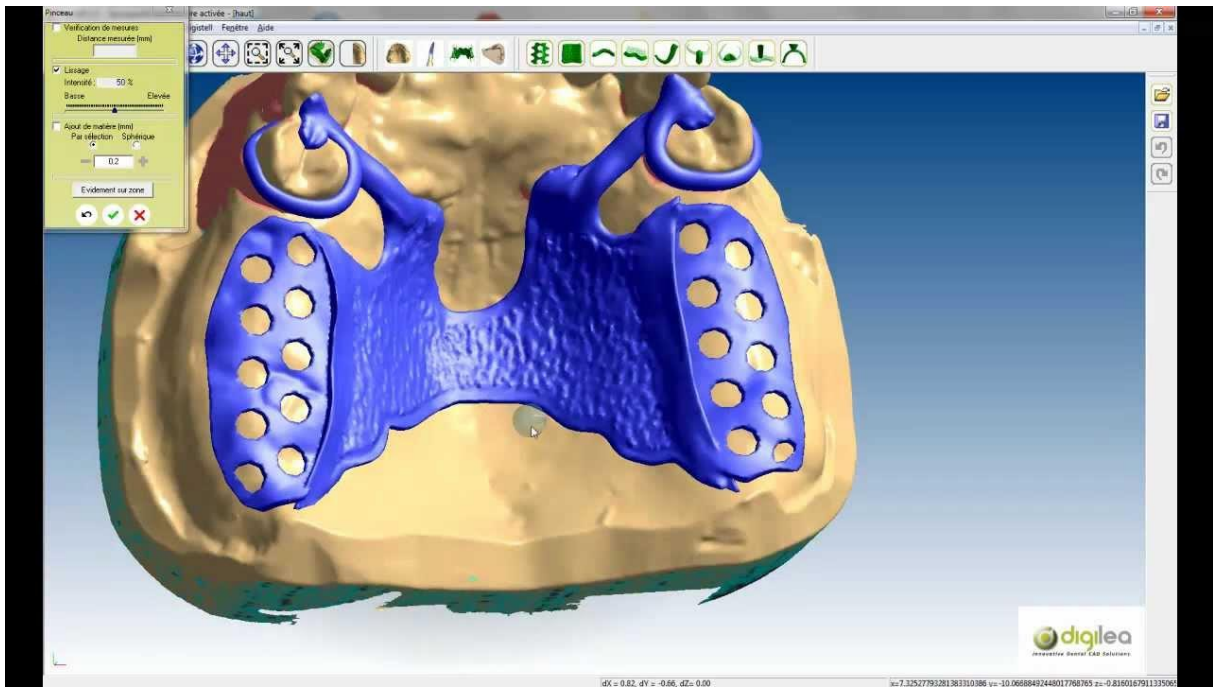
Une fois le maître modèle obtenu, l'opérateur va pouvoir modéliser numériquement (virtuellement) la future prothèse (CAO).

Le modèle de travail apparaît en 3 dimensions, il peut être vu sous tous les angles et toutes les tailles. Il peut être détourné, corrigé ; on peut simuler le vernis d'espacement pour le ciment/colle, les limites peuvent être reprises...

Les logiciels de CAO disposent de préformes qu'il va adapter en fonction de la prothèse à réaliser, de la forme des dents du patients, des limites prédéfinies par le prothésiste, de l'occlusion... Il est cependant impératif de retravailler cette préforme qui n'est jamais parfaite du premier coup. Il faut donc toujours un opérateur humain qui ait les compétences nécessaires pour modéliser correctement une prothèse numérique.

Cette étape peut être chronophage pour une personne qui ne maîtrise pas le logiciel de CAO parfaitement. Mais dans le cas contraire, la modélisation numérique est un gain de temps considérable par rapport à une technique traditionnelle de wax up. On a ainsi vu apparaître des « E-prothésistes » spécialisés dans la CAO.

Une fois la conception finie, l'objet à imprimer va être transféré au logiciel d'impression 3D qui va le découper en strates, le positionner sur le plateau avec les autres éléments et intégrer les différents supports qui vont le relier au plateau.



I.4. Production par fabrication additive

L'impression 3D, aussi appelé fabrication additive, est un type de production par ajout de matière. C'est la mise en forme d'une pièce par empilement de couches successives. C'est ainsi l'inverse de l'usinage qui va réduire un bloc pour arriver à la forme souhaitée, avec une grande perte de matériau parfois onéreux.

Les objets à produire sont « coupés » en tranches successives par le logiciel de CAO pour que l'imprimante puisse reproduire ces couches. A l'instar des pixels d'un écran d'ordinateur, plus ces couches seront fines et meilleure sera la précision. A l'heure actuelle les meilleures imprimantes produisent avec des couches de l'ordre de 10µm d'épaisseur.

Le matériau de base peut se présenter sous différentes formes : liquide, poudre, fil...

On va classer les différentes méthodes de fabrication additive selon le procédé de mise en forme. Ce procédé peut être physique (fusion, frittage) ou chimique (photo-polymérisation, réticulation). Nous allons voir les différents procédés utilisés dans le domaine qui nous intéresse : la dentisterie.

Matériaux de base	Poudre	Poudre	Poudre/liquide	Liquide
Techniques de mise en forme	Physique : fusion	Physique : frittage	Chimique : polymérisation et réticulation	Chimique : Polymérisation
Source d'énergie	Laser	Laser	UV	Laser/UV
Nom	Fusion sélective par Laser (SLM)	Frittage sélectif par Laser (SLS)	Impression 3D	Stéréolithographie
Matériaux finis	Métaux (titane, chrome cobalt...)	Céramiques (Alumine, Zirconie)	Résine (polymères acryliques)	Résines et plastiques

Nous allons détailler les différentes techniques citées et voir ce qu'elles nous offrent comme possibilités.

I.4.1. Impression 3D par dépôt successif de matière

Il existe différents procédés de fabrication dans ce domaine, les principaux étant le dépôt de matière par fil fondu (FDM) et le système Polyjet. Si le système par fil fondu n'est pas du tout assez précis pour être utilisé dans notre domaine, la technologie Polyjet permet de fabriquer des pièces avec une grande précision tout en étant abordable financièrement.

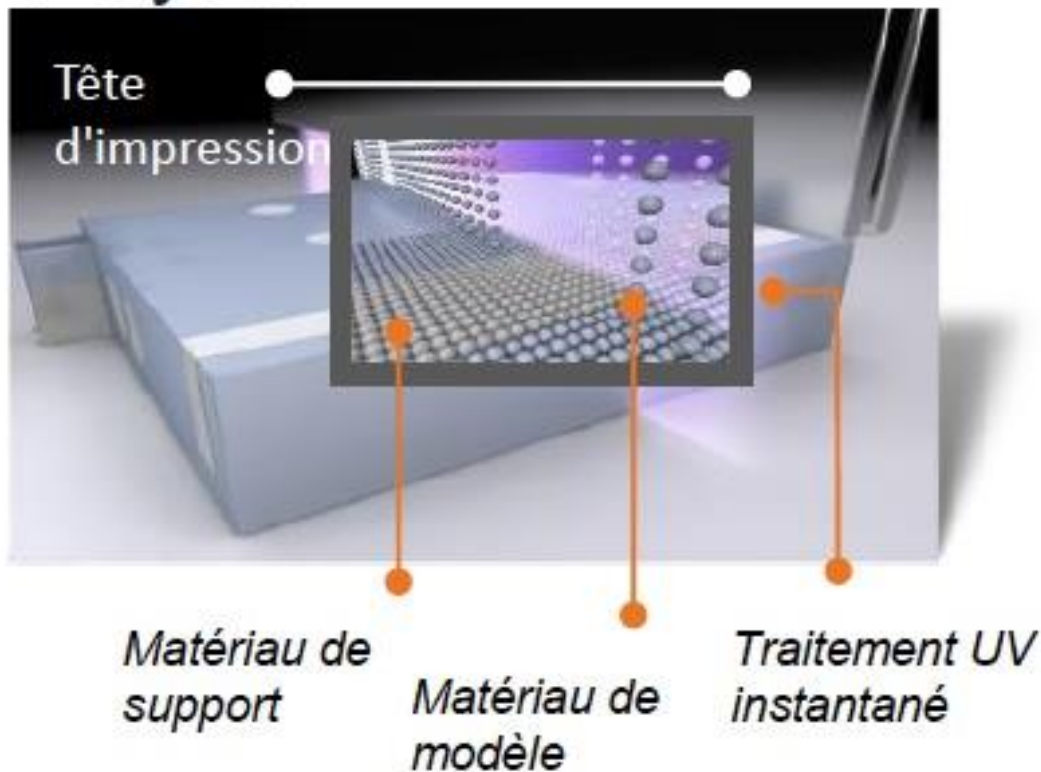
Le système Polyjet a été breveté en 1999 par la société Objet Ltd, qui depuis a fusionné avec Stratasys en 2012. Cette technologie peut se voir comme une imprimante traditionnelle qui utilise de multiples têtes d'impressions (dont le nombre varie selon les modèles) et qui, au lieu d'injecter de l'encre, va injecter des micro gouttelettes de matière qui seront instantanément durcies par photopolymérisation UV.

On va pouvoir avec cette technologie imprimer avec des cires et des résines calcinables pour remplacer le traditionnel travail de wax up des prothésistes par un procédé numérique plus rapide.

Différents type de matériaux peuvent être utilisés simultanément en même temps grâce aux différentes têtes d'injection mais dans notre domaine cela est très peu usité.

L'objet va ainsi être imprimé couche par couche sur un plateau, et bien sur plusieurs pièces peuvent être imprimées simultanément avec des géométries très variables. Dans certains cas d'impression de formes complexes, il faudra rajouter des supports sur le plateau, qui seront retirés de la pièce manuellement par l'opérateur une fois le prototypage fini.

PolyJet



Photopolymères traités aux UV

Dérivé de l'impression jet d'encre

Cette technologie possède de nombreux avantages :

- Une très bonne résolution : précision de l'ordre de $16\ \mu\text{m}$
- Pas d'effet d'escalier comme avec la technologie FDM
- Production de pièce à géométrie complexe impossible à obtenir par usinage
- Large choix de matériaux et temps de fabrication relativement faible
- Aucune étape de finition (pas besoin de polissage, cuisson...)
- Machine avec un coût relativement faible abordable pour les prothésistes comme les praticiens



Imprimantes à Polyjet de la marque Stratasys.

I.4.2. La stéréolithographie (SLA)

La stéréolithographie est considérée comme le procédé à l'origine de l'impression 3D, le premier brevet étant déposé par Charles Hull en 1984.

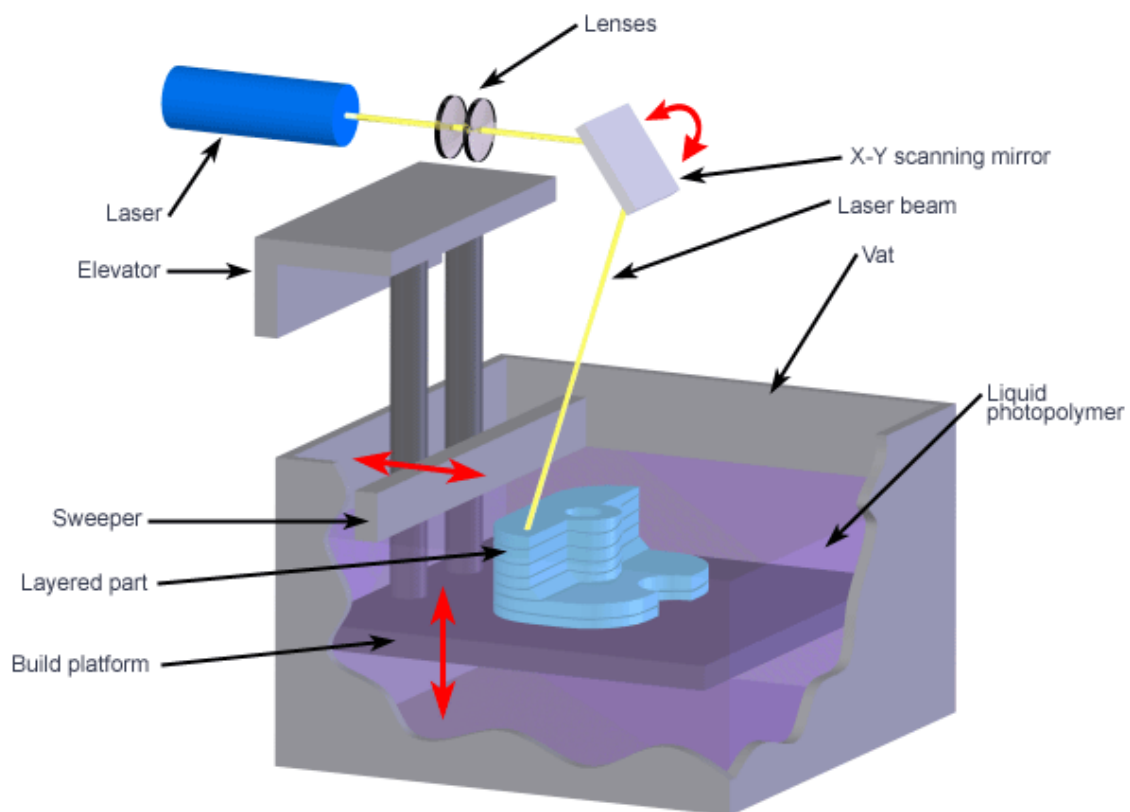
Le procédé de stéréolithographie ou SLA fonctionne sur le même principe d'impression 3D, c'est-à-dire un objet numérique coupé en strates qui va être modélisé couches par couches. Cependant, à la différence du système Polyjet, le plateau support d'impression est ici mobile et baigne dans une cuve rempli de monomère liquide. Le monomère recouvre le plateau et va être polymérisé par un rayon UV ou un laser. Ce rayon peut être un faisceau fin ou dans le cas de pièces volumineuses la projection directe d'une partie de la pièce par un projecteur.

A chaque nouvelle couche, le plateau descend de la hauteur d'une couche (environ 10 à 20 μm) pour qu'une couche de cette épaisseur de monomère

liquide vient recouvrir l'ensemble. Cette couche est uniformisée par un racleur et sera polymérisé à son tour et ainsi de suite.

Ces machines ont une capacité de production bien plus importante que celles citées précédemment et, même si certains modèles réduits abordables sont apparues, c'est un procédé surtout utilisé dans l'industrie et les centres de production.

Avec cette technologie on va fabriquer des pièces avec différents types de résine photosensibles.



Sur ce schéma on peut observer le plateau mobile qui descend au fur et à mesure dans la cuve, un racleur qui vient recouvrir la pièce à chaque descente de plateau pour uniformiser la nouvelle couche de monomère liquide et garantir le respect de son épaisseur, et le laser dirigé par un miroir qui va polymériser le matériau.

Intérêt de la technologie :

- Plus grand volume de production que par Polyjet
- Meilleure précision et résolution (environ $10\mu\text{m}$)

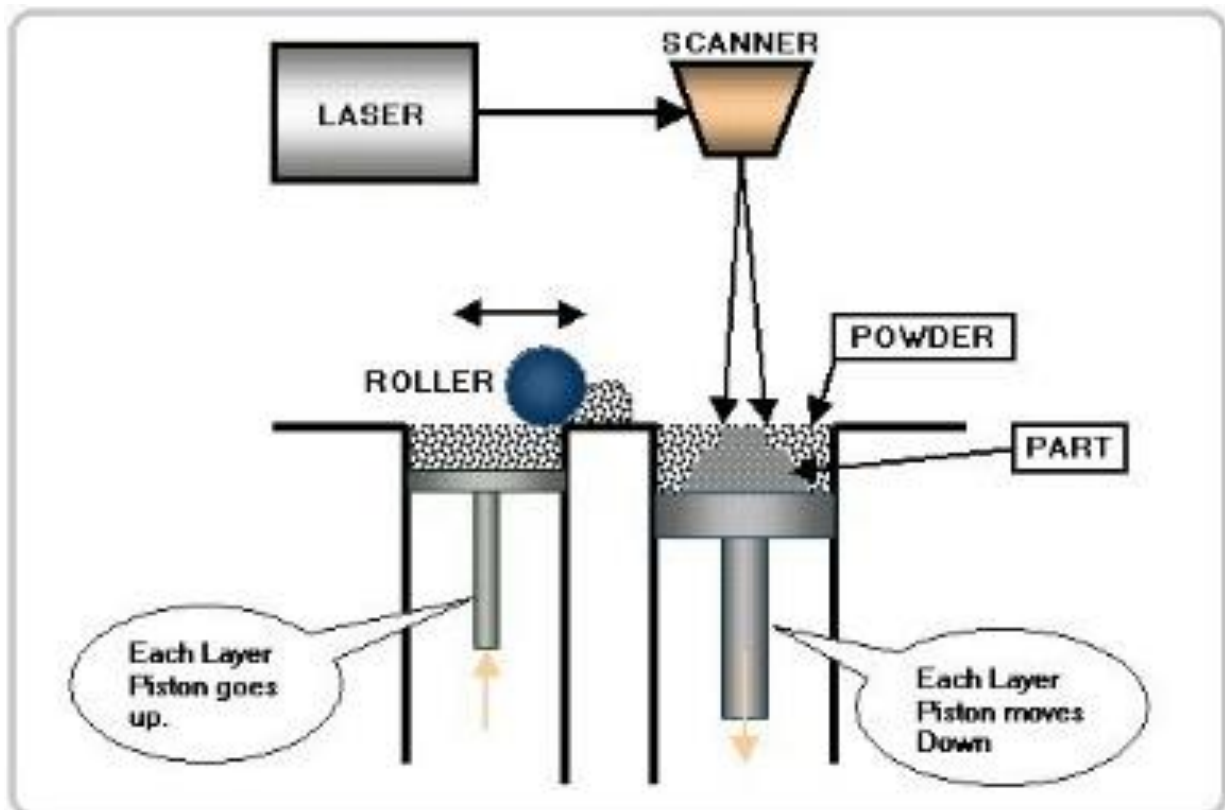
Par contre il y a un problème dans cette technologie lié au volume piégé, c'est-à-dire un espace clos qui serait modélisé et dans lequel du liquide non polymérisé serait piégé (exemple : un œuf serait plein de monomère non polymérisé au lieu d'être vide).



La 3D System iPro 8000, beaucoup plus imposante qu'une imprimante de type Polyjet.

I.4.3. La fusion sélective par Laser

Cette technologie est assez similaire dans son principe à la stéréolithographie. Cependant dans ce cas, ce n'est pas un liquide mais de la poudre de métal que l'on va utiliser comme matériau de base, et un LASER va venir fusionner la poudre couche par couche pour fabriquer la pièce.



Comme le montre ce schéma, cette technologie fait appel, comme la stéréolithographie, à un plateau mobile. Sauf que dans ce cas il y en a 2 : un qui descend à chaque couche et sur lequel l'objet va être fusionné, et un qui monte et qui sert de réservoir à poudre. A chaque nouvelle couche le plateau avec l'objet descend de la hauteur d'une couche, et celui avec la réserve de poudre monte de la hauteur d'une couche pour que racleur puisse venir étaler ce surplus de poudre sur l'autre plateau.

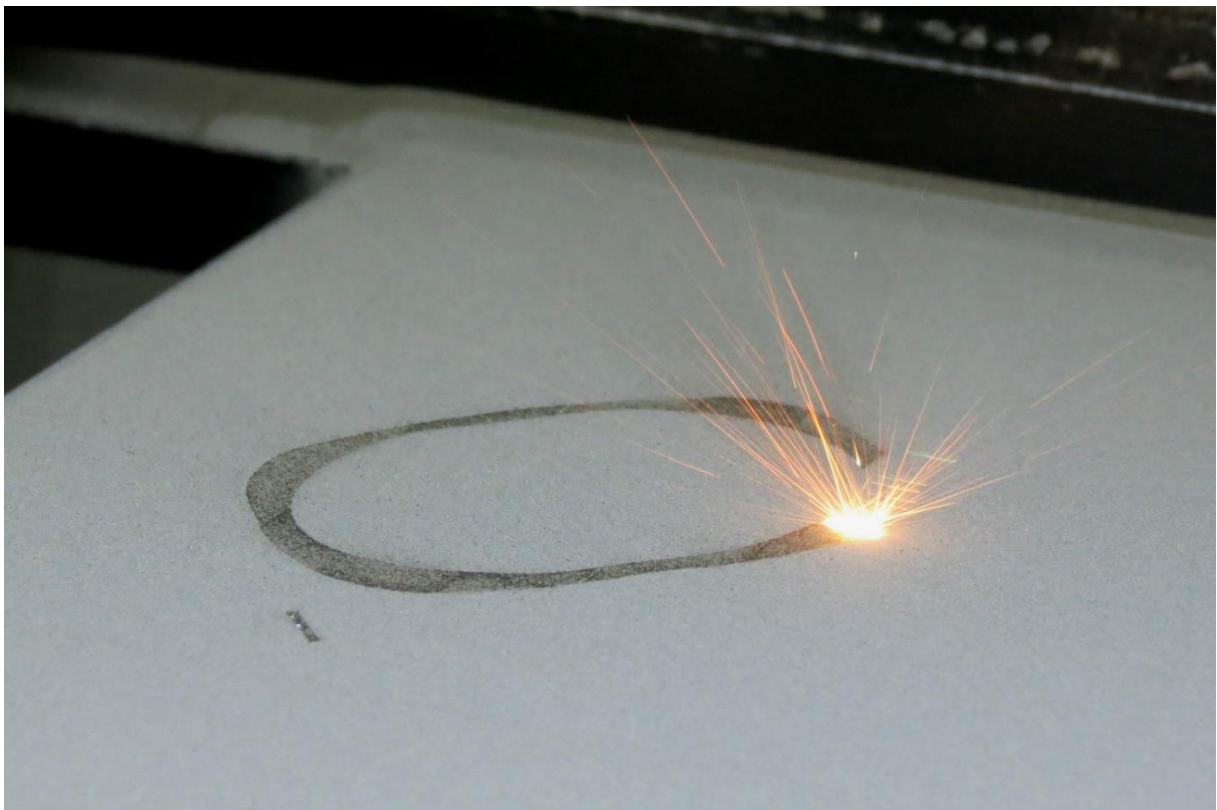
Un LASER vient faire fondre la poudre de métal qui refroidit et durcit instantanément. Les métaux utilisés dans notre domaine seront principalement le Titane et le Chrome-Cobalt.

Ces machines-là sont extrêmement onéreuses et en général seuls les centres de production et les grands groupes en sont équipés.

Contrairement à la SLA, il faut un vrai savoir-faire pour utiliser correctement cette technologie, car les contraintes dans le matériau lors de sa fusion sont très importantes. En effet, la fusion d'une couche de poudre va entraîner une nouvelle fusion de la couche précédente, voir des 2 précédentes. Il s'en suit des contraintes dû au refroidissement qui peuvent rendre la pièce non conforme par déformation. Pour éviter ceci, les opérateurs doivent placer des supports pour compenser ces distorsions qui peuvent apparaître.

Une fois la pièce finie, elle devra subir un traitement thermique afin de réduire les contraintes internes et éviter les risques de casse ou de déformation. Elle sera séparée du plateau et des supports à la main, ce qui peut poser des problèmes de précisions, surtout dans des domaines comme l'aérospatiale.

Dans ce domaine, nous avons la chance d'avoir en France, et plus précisément à Salon de Provence les leaders mondiaux de la fusion par laser : Biotech et sa filiale Polyshape, qui grâce à ce procédé et leur savoir-faire fabriquent des pièces pour l'industrie automobile (turbo de formule 1), des pièces pour les satellites, mais également des implants dentaires, des implants crâniens...



Fabrication d'une pièce de turbo de formule 1 dans les usines Polyshape par micro fusion laser.

Nous avons donc détaillé tout le processus de production via les techniques additives, ainsi que les différentes techniques utilisées dans le domaine de l'odontologie. Nous allons, dans la deuxième partie, comparer ce que nous apportent ces technologies par rapport à la méthode traditionnelle (wax up, mise en cylindre...) et par rapport à une autre technique numérique mieux implanté dans notre pratique : l'usinage.

II. UTILISATION ET INTERET DE L'IMPRESSIION 3D EN ODONTOLOGIE

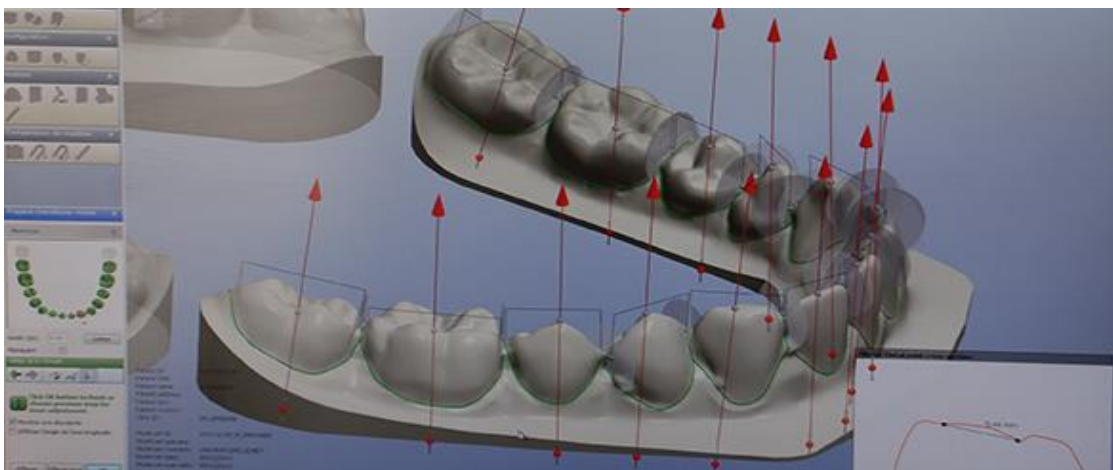
II.1. En Orthodontie

En orthodontie la fabrication additive a également trouvée des applications. Mais dans ce domaine, elle a pu non seulement améliorer et simplifier les techniques existantes, mais de nouvelles technologies sont apparues pour aligner les dents grâce à elle.

Le numérique a notamment pu faciliter les set-up qui, réalisés par la voie traditionnelle sur un modèle en plâtre, était long et fastidieux. Alors que réaliser un set-up sur un modèle numérique est beaucoup plus rapide et précis.



Set-up traditionnel, laboratoire Rouvre.



Set-up virtuel, Laboratoire Lionet.

L'impression de modèles via la stéréolithographie a permis de mettre au point de nouvelles techniques : les aligneurs invisibles, avec deux systèmes principaux : Invisalign et Dentosmile.

Le système Dentosmile, développé et commercialisé par Biotech, utilise d'impressionnantes imprimantes 3D pour réaliser leurs modèles.

Pour cette technologie d'aligneurs, tout commence par une empreinte classique des deux maxillaires qui sera scannée. L'orthodontiste va réaliser un set-up numérique en fonction des demandes du patient et de la prescription du praticien. Une fois réalisé, on a alors la situation initiale et la situation finale désirée.

C'est alors que, grâce à un algorithme, l'ordinateur va calculer le nombre d'étape et leur enchaînement, sachant que chaque étape déplace les dents de deux dixièmes de millimètre et deux degrés d'angle.

Chacune de ses « étapes » correspond à un modèle qui sera imprimé par SLA, et les gouttières seront alors thermoformées dessus.

II.2. En prothèse dentaire

II.2.1. Matériaux

A l'heure actuelle, tous les matériaux ne sont pas imprimables et dans le domaine dentaire, les principaux matériaux utilisés sont :

- Les céramiques
- Les résines composites
- Les métaux et alliages

Une impression en bonne matière signifie que l'on va imprimer directement avec le matériau nécessaire au produit fini. Par exemple une armure de bridge en Cr/Co sera directement imprimée avec cet alliage par fusion laser.

Cependant à l'heure actuelle l'impression directe en céramique est au stade de recherche et développement et n'est pas applicable dans notre domaine (nous y reviendrons dans la dernière partie).

Ce qui signifie, à ce jour, que nous ne pouvons imprimer en bonne matière que les résines et les métaux.

Pour les résines, on va imprimer des résines biocompatibles, qui nous serviront dans les cas de :

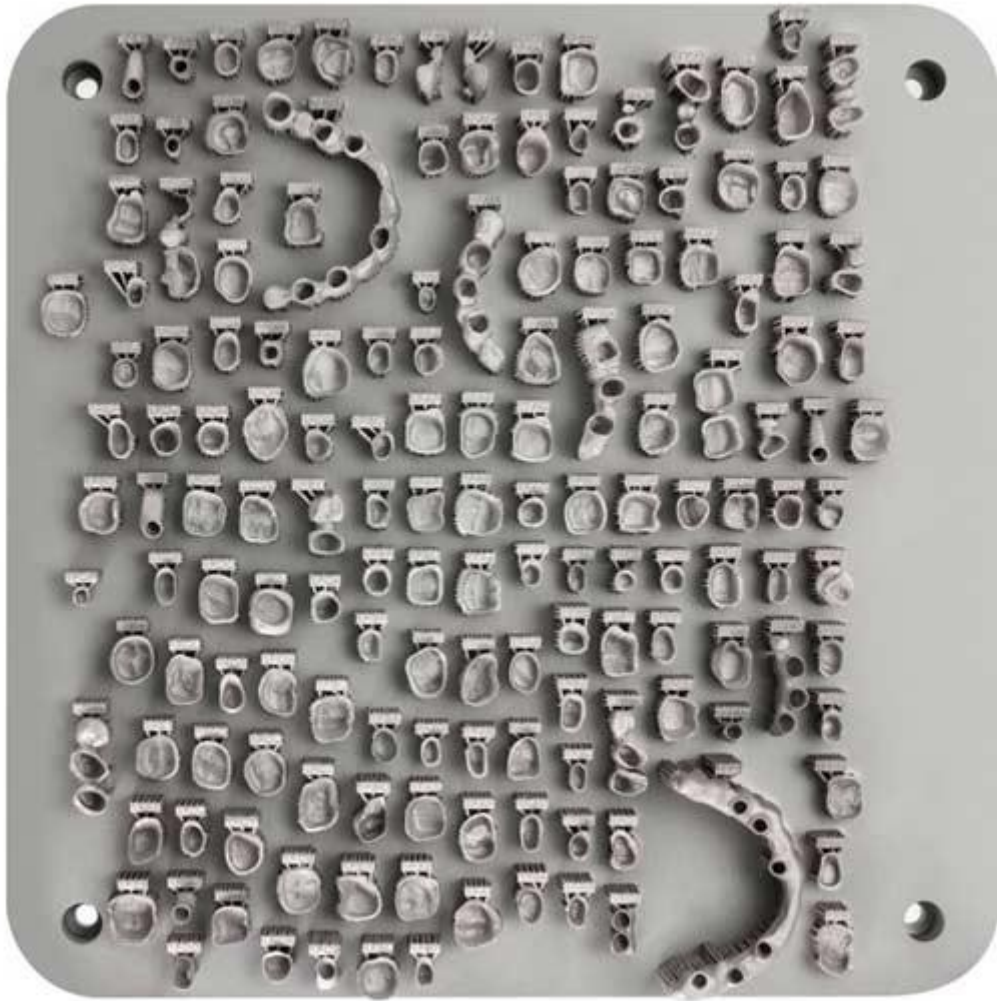
- Provisoires secondaires
- Facettes résines
- Onlay résines



Couronne dentaire provisoire imprimée en 3D (source : EnvisionTEC)

Ou en résines calcinables qui remplaceront le wax up traditionnel fait par le prothésiste et qui, à l'instar de la technique de la cire perdue, pourront être mises en cylindre et transformées selon la méthode de la cire perdue.

Pour les métaux, la technologie de fusion par laser va nous permettre de produire directement en titane ou en Chrome/Cobalt.



Impression 3D de prothèses dentaires et appareils dentaires (source : Renishaw)

Le développement des vitrocéramiques (Empress, IPS eMax), qui ont la capacité de pouvoir être pressées de manière similaire à la technique de la cire perdue, a permis aux technologies de fabrications additives de pouvoir produire, de façon indirecte, des restaurations en céramique. Cette méthode de production présente néanmoins l'inconvénient de devoir passer par une étape de mise en cylindre traditionnelle.

Ainsi, la fabrication additive nous permet de produire via une technologie numérique la totalité du panel des solutions prothétiques à notre disposition. Seule la zircone ne peut être mise en œuvre via ce procédé, sa fabrication ne pouvant être réalisée que par l'usinage.

II.2.2. Prothèse fixe (PF)

L'intérêt de la CFAO dans la production de prothèses dentaires a déjà été traité dans plusieurs thèses et publications et n'a plus à être démontré. Pour résumer la CFAO permet de :

- gagner du temps sur la conception et réalisation de la prothèse, nous l'avons vu précédemment nous n'y reviendrons pas
- de gagner en précision sur l'ajustage des prothèses, ce qui est un plus dans le cadre de prothèse dentoportée, mais indispensable pour les prothèses implantoportées, les implants n'ayant aucune mobilité.

Cependant, le gros de la production est actuellement assuré par l'usinage, et non par la fabrication additive. Nous allons ainsi voir les avantages et les inconvénients de la fabrication additive dans ce domaine :

II.2.2.1. Economie de matériau

L'usinage, ou fabrication soustractive, permet de mettre en forme une pièce en partant d'un bloc de matériau (céramique ou métal principalement). Des fraises vont venir tailler le bloc pour lui donner la forme voulue. On a ainsi des pertes (et donc des frais) dus aux chutes de matériau, mais également à l'usure des fraises et la consommation d'eau.

Avec un procédé additif, il n'y a pas de pertes de matériau, pas de fraises... tout le matériau non polymérisé ou fritté (poudre ou liquide) pourra être utilisé pour une autre production.

II.2.2.2. Prototypage rapide et projet thérapeutique morpho-fonctionnel (PTMF)

C'est à l'heure actuelle l'application majeure des imprimantes 3D dans le domaine des prothèses dentaire. La vitesse et les faibles coûts de production via cette technologie vont permettre de produire des maquettes en résine pour effectuer des montages directeurs et valider des projets thérapeutiques à toutes les étapes :

- Correction de l'occlusion par addition ou soustraction.
- Dans le cadre de modification de DVO, il est possible de faire des wax up numérique directement sur le modèle du patient. Ce nouveau modèle est alors imprimé et une empreinte en silicone est effectuée pour le transférer en bouche comme un mock up.

L'intérêt de passer par l'impression 3D ici est multiple : outre les habituels gains de temps et de précision, on peut facilement imprimer plusieurs wax up rapidement et à moindre coût jusqu'à trouver le réglage de DVO et/ou d'occlusion idéale, le prothésiste n'ayant qu'à modifier le wax up numérique selon les instructions du praticien et le renvoyer en production.

- Validation de l'esthétique : on va pouvoir imprimer de la même façon des modèles pour réaliser des mock up pour les cas de facettes, des bridges secondaires dento ou implantoportés et apportés des modifications pour valider le projet avec la patient. Si une dent semble trop longue, mal positionnée... il est plus intéressant de le voir sur un montage directeur imprimé que sur l'armature ou la prothèse définitive que l'on devra alors retoucher.
- L'intérêt est aussi de valider toutes les étapes de la réalisation : après avoir par exemple validé l'esthétique et l'occlusion d'un bridge complet sur implant via un ou plusieurs montage directeur imprimé, on va pouvoir imprimer la future armature en résine calcinable et l'essayer en bouche pour en valider les limites et l'ajustage, et ce quel que soit le matériau définitif de l'armature et sa technologie de production.

Si une armature de grande portée doit être réalisée en zircone, qui ne peut être qu'usinée, il peut être très intéressant de valider son ajustage, son homothétie... plutôt que de la réaliser directement et de devoir la refaire en cas de problèmes ou de la modifier en la fraisant.

Ainsi, si la production de prothèse en impression 3D reste marginale par rapport à l'usinage à l'heure actuelle, ses applications sont très concrètes et vont nous permettre de faire du sur mesure en validant chaque étape de fabrication de la prothèse avec le patient, qui pourra valider avec son praticien des critères comme l'esthétique, l'occlusion, la DVO...

Mais pour ce qui est de la production de prothèse fixe définitive, il faudra attendre de perfectionner les technologies d'impression en céramique avant que cette technologie ne soit utilisée à grande échelle dans ce domaine.

II.2.3. En prothèse implantaire (PI)

L'impression 3D est utilisée depuis plusieurs années en implantologie dans le cadre de la production de guides chirurgicaux. Ces guides peuvent être à appui osseux, muqueux ou dentaires.

Ils sont réalisés par stéréolithographie en résine.

Pour les guides à appui muqueux ou dentaires, il faudra prendre une empreinte traditionnelle qu'il faudra scanner, et une tomodensitométrie avec guide radiologique pour faire coordonner les données de la planification implantaire avec les tissus mous ou dentaires qui supporteront le guide. L'indication des guides à appui dentaire est en général un pour de petits édentements, alors que le guide à appui muqueux est indiqué dans les édentements totaux ou partiels de plus de 30mm, lorsqu'une chirurgie peu invasive est recommandée.



Illustration des différents types de guides par 3Dental Prod

Les guides à appuis osseux ne nécessitent pas de prendre une empreinte physique du maxillaire du patient car ils seront formés à partir de la tomodensitométrie. Ils s'adapteront directement sur l'os du patient en fonction de la planification de la position des implants effectuée. Ils sont indiqués dans les cas où le praticien désire voir les crêtes osseuses pour mieux contrôler sa chirurgie. En plus du guide, il est possible d'imprimer, toujours par stéréolithographie, le « modèle » du patient, c'est-à-dire sa crête osseuse qui servira de support au guide chirurgical.

Ainsi, si à l'heure actuelle l'impression 3D reste une technologie marginale par rapport à l'usinage dans la production de prothèses, elle a des applications très concrètes dans notre pratique quotidienne. Dans la dernière partie nous essaierons d'entrevoir les possibilités futures qui nous attendent avec cette technologie.

II.2.4. Prothèse amovible partielle (PAP)

La fabrication additive est la seule technologie qui nous permette de produire numériquement des châssis métalliques.

Pour réaliser une PBM numérique, tout commence par une empreinte traditionnelle, primaire puis secondaire. L'empreinte sera coulée en plâtre puis numérisée.

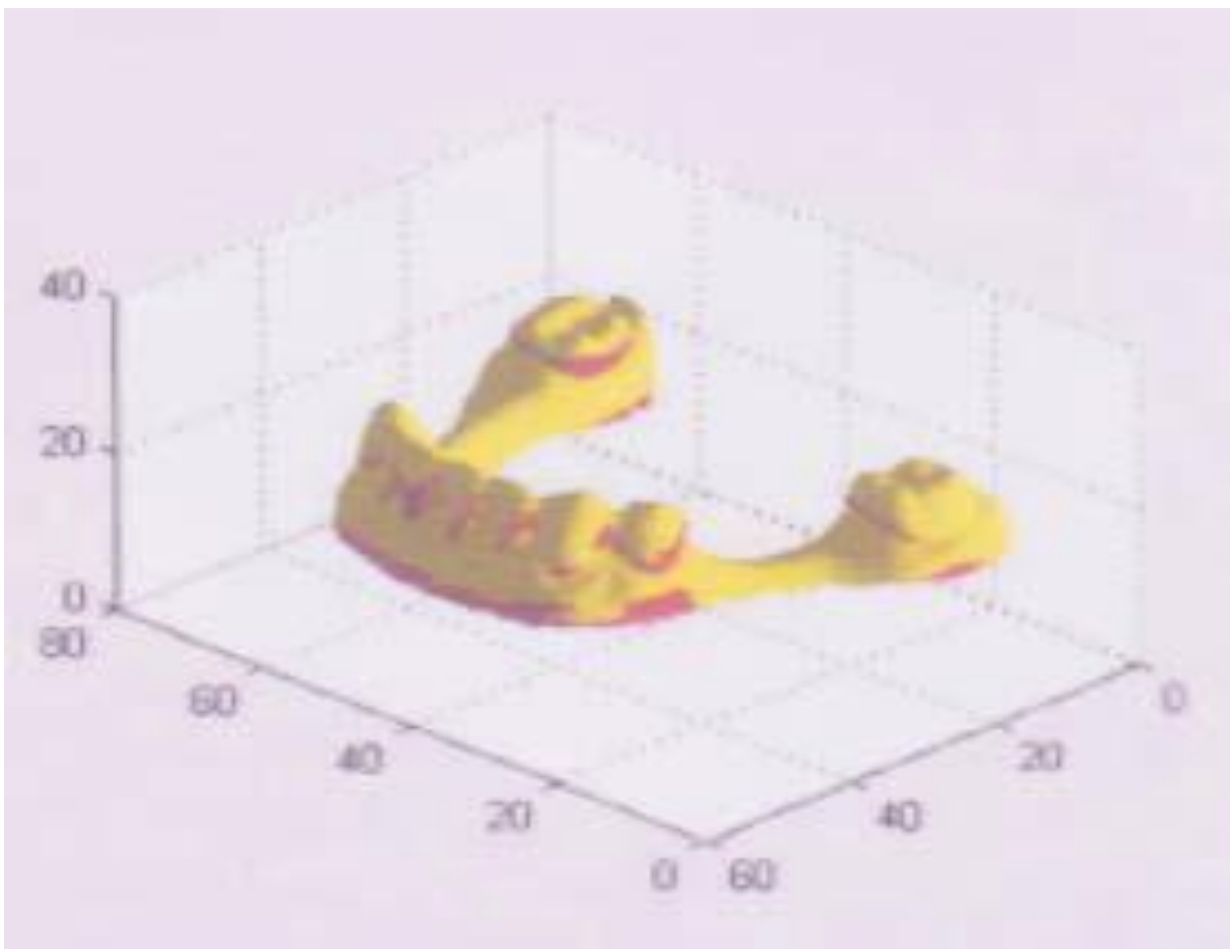
La maquette de la PBM est réalisée par CAO. Le logiciel détermine les lignes de plus grand contour des dents, les zones de contre dépouilles ainsi que l'axe d'insertion de la future prothèse. L'info prothésiste va modéliser la PBM en ajoutant un à un les différents éléments qui la composent, ou en utilisant des préformes qu'il va modifier pour les ajuster.

A ce stade, l'économie de temps et de matériau est déjà bien réelle :

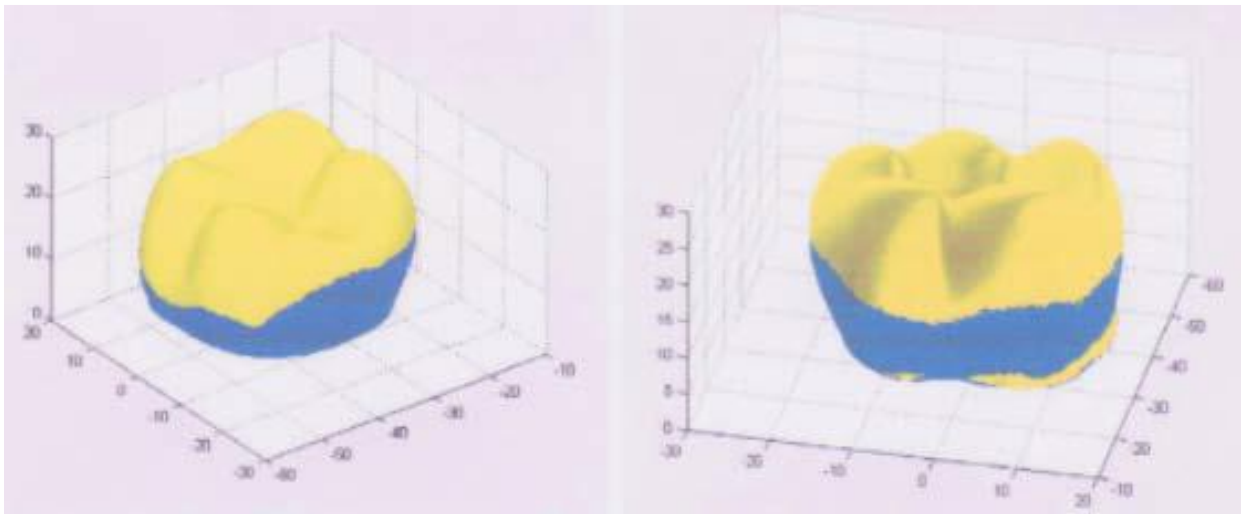
- Il ne faut que 10 à 15 minutes pour modéliser une PBM par CAO, contre 30 à 45 minutes par la voie traditionnelle
- On s'affranchi de la nécessité de produire un duplicata : on économise le revêtement, le gel et on diminue encore le risque d'induire de nouvelles variations dimensionnelles du maître modèle.

La PBM ainsi modélisée sera alors soit :

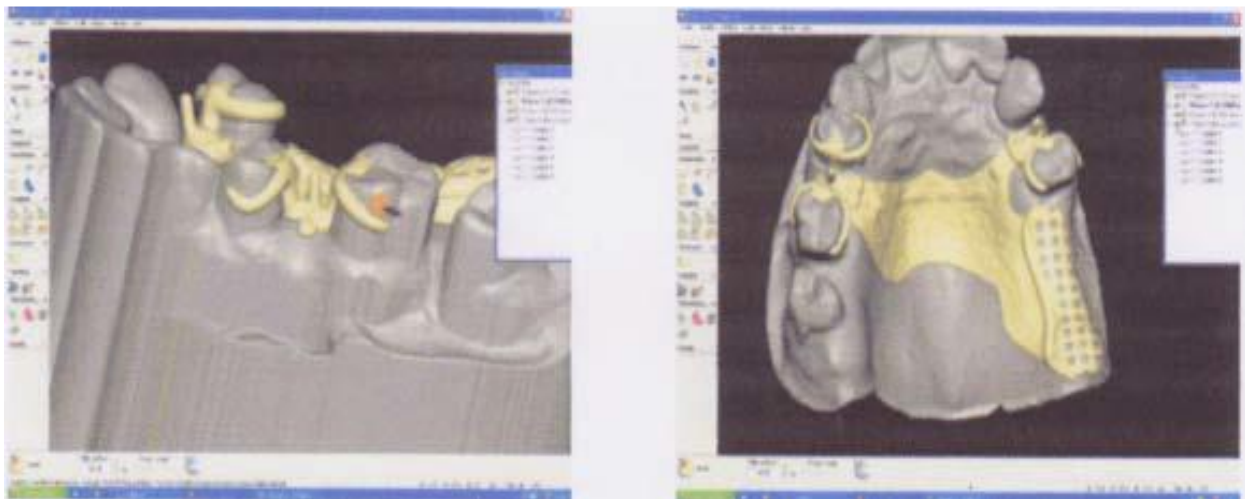
- imprimée en modèle calcinable, qui sera mise en cylindre puis coulée en Cr/Co. Cette maquette pourra être repositionnée avant la coulée sur le modèle pour tester son ajustage
- imprimée directement en bonne matière, c'est-à-dire en chrome cobalt via une fusion par laser. Dans ce cas on évite également la mise en cylindre de la maquette et la coulée du métal. On économise ainsi encore du temps et des matériaux. Une fois imprimées, les PBM seront traitées thermiquement pour éliminer les contraintes internes, puis séparées de leur support et polies. Cette méthode est peu répandue car les imprimantes à microfusion laser sont rares chez les prothésistes dentaires à cause de leur coût élevé. Aujourd'hui, Le recours à un centre de fusion métallique est néanmoins possible.



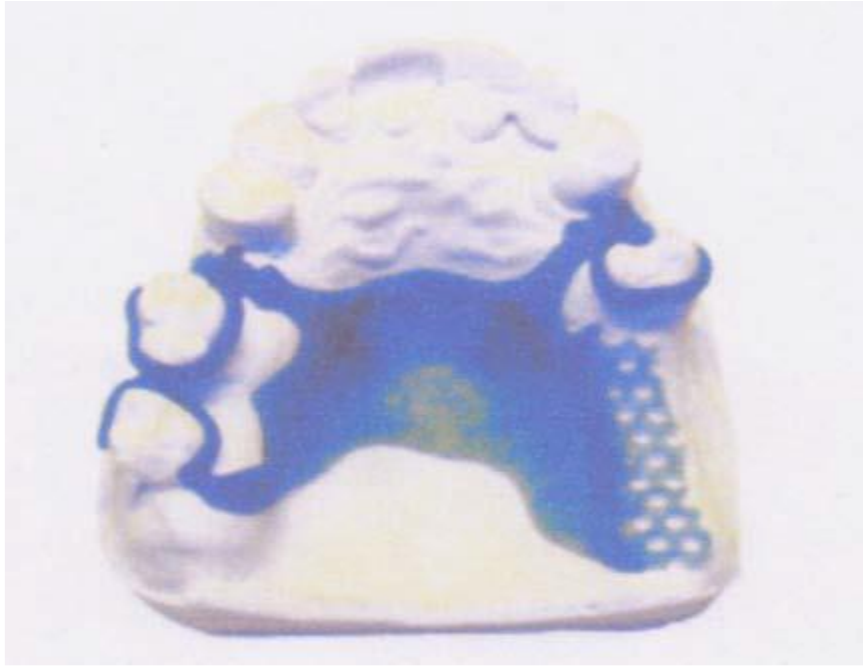
Zones de contre dépouilles en fonction de l'axe d'insertion déterminé



Détermination des lignes de plus grand contour



Modélisation de la PBM



PBM imprimée en résine calcinables



Exemple de PBM réalisées par microfusion laser par St Rémi dentaire, laboratoire de prothèse sur Reims.

II.2.5. En prothèse complète (PC)

Le processus de fabrication des PC a peu évolué durant les dernières décennies. Ce procédé fait appel à 5 étapes au cabinet et 6 à 8 heures de travail en 4 phases au laboratoire.

Dans ce domaine aussi le numérique et la fabrication additive a permis un changement radical dans la conception et la production de ces prothèses.

Plusieurs sociétés, comme Avadent, DENTCA, Pala digital denture... permettent de réaliser via la CFAO des PC en deux ou trois rendez-vous.

Comme toujours en prothèse tout commence par une prise d'empreinte. Il est à l'heure actuelle impossible d'enregistrer une empreinte de PC via le numérique car le joint périphérique ne peut être enregistré qu'avec une empreinte physique.

Les deux portes empreintes de l'empreinte secondaire vont être solidarisées selon l'occlusion en relation centrée par une vis dans le sens frontal. Des kits de transferts vont permettre d'enregistrer toutes les informations nécessaires :

- Position des collets
- Position de la lèvre supérieure et inférieure
- Ligne du sourire
- Position des canines
- Point inter-incisif

En PC, on ne va pas numériser les modèles mais les empreintes, encore solidarisées. On a donc pour modèle numérique de travail les deux maxillaires en relation centrée. Lors de la CAO, on va pouvoir modifier le plan d'occlusion, la ligne du sourire, l'alignement automatique des arcades basée sur les informations obtenues à partir des kits de transfert de l'occlusion et de la relation centrée.

Une fois les prothèses modélisées, on va passer à la production. Les bases sont produites en résine photopolymérisable via la stéréolithographie. Les dents sont ensuite encollées dans les loges prévues à cet effet sur la base, elles peuvent être en résine ou en céramique.

III. PERSPECTIVE DE L'IMPRESSION 3D

III.1. Perspectives de l'impression 3D : laboratoire - cabinet

Tout comme les usineuses type CEREC qui se sont installées dans nos cabinets dentaires, on peut imaginer que l'amélioration des performances et la diminution des coûts de ces technologies y fassent entrer également l'impression 3D.

Certains praticiens ont déjà investis dans des Imprimantes de types SLA pour concevoir eux même leur guides chirurgicaux et maîtriser eux même leur planification implantaire de A à Z, mais la pratique est plus que marginale, quand on sait que 5% des cabinets seulement ont investis dans une usineuse.

III.2. Perspectives de l'impression de tissu biologique

« La bio-impression est l'impression en deux dimensions (2D) ou trois dimensions (3D) de tissus biologiques vivants. C'est ce qui la distingue de ce que l'on nomme communément impression 3D où l'on imprime des matériaux. La bio-impression consiste donc à déposer, couche par couche, ou point par point, des cellules, des composants de la matrice extracellulaire (MEC), des facteurs de croissance et des biomatériaux grâce à une technologie d'impression pilotée par un ordinateur à partir d'un fichier numérique. Il s'agit donc d'un procédé de conception (CAO) et de fabrication (FAO) assisté par ordinateur, selon un mode de fabrication additif grâce au couplage de l'ordinateur et d'une imprimante.

Une différence notable entre l'impression 3D qui imprime de la matière « inerte » et la bio-impression qui imprime de la matière vivante, est l'évolution du motif biologique. Il va subir des processus de fusion et de maturation qui vont évoluer en fonction du temps, de l'environnement et du motif imprimé. Cette évolution du produit biologique bio-imprimé a introduit la notion de *bio-impression 4D* où le temps représente la quatrième dimension. Plus récemment, la notion de quatrième dimension a aussi été appliquée aux matériaux déformables qui évoluent dans le temps. »

Extrait de « Impression 3D en médecine régénératrice et ingénierie tissulaire ».

Bien que ces technologies soient encore à l'étape expérimentale, les recherches dans ce domaine avancent très rapidement.

A l'heure actuelle, les recherches se concentrent principalement sur l'impression de tissus biologiques comme la peau, le cartilage, l'os... l'impression d'organes entiers relève encore de nos jours de la science-fiction.

Dans notre domaine, on pourrait trouver des applications dans les différents types de greffes que nous effectuons :

- Greffe d'os pour des solutions implantaires. Cela permettrait d'avoir des greffons avec de l'os autogène deuxième site opératoire. De plus, la prévisualisation par la tomodensitométrie permettra d'avoir un greffon imprimé sur mesure d'une taille et d'une géométrie adaptée aux besoins.
- Greffe de muqueuse ou de tissu conjonctif. Dans cette situation les avantages seraient les mêmes que dans le cas précédent.

III.3. Perspectives céramique

A l'heure actuelle, l'impression en bonne matière pour de la céramique est encore au stade de recherche et développement. Des sociétés comme Polyshape de Biotech ou encore 3DCERAM commercialisent des pièces imprimées en céramiques. Cependant ce mode de production n'est à l'heure actuelle pas du tout adapté à notre activité au vu des contraintes rencontrées.

En effet, sur le plan technique, l'impression de céramique est une impression secondaire, c'est-à-dire que c'est en fait une trame de résine calcifiable qui est imprimée sur laquelle la céramique non frittée est agglomérée. A l'heure actuelle, seules l'alumine et la zircone sont imprimables.

Les difficultés liées à l'impression 3D en céramique sont que pour chaque forme et géométrie de pièce à produire, il faut trouver les bons paramètres de pâtes (la pâte étant le mélange de résine et céramique qui sera imprimé) : rhéologie, viscosité, granulométrie...

Le problème, c'est que le cahier des charges pour notre domaine est tel (aspect de surface, ténacité, dureté, adaptation...) qu'il faudrait plusieurs essais de tests

pour mettre au point le bon mélange pour chaque prothèse, et qu'une dizaine de pièces environs seraient produites en vain pour arriver au bon résultat. Les problèmes rencontrés sont des problèmes de fatigue et de casse des matériaux lors du frittage.

Ces procédés sont utilisés pour l'instant pour des productions de moyennes séries c'est-à-dire entre 500 et 2000 pièces produites, principalement pour la bijouterie ou l'aéronautique. Dans le domaine de la santé, on va pouvoir produire des substituts osseux car avec leur géométrie complexe ils ne peuvent être produits que via cette technologie.



Implant crânien réalisé en céramique (3Dnatives.com)

Dans ce cadre, les ingénieurs vont passer un à deux jours de tests durant lesquels ils vont produire entre une dizaine à une vingtaine de pièce défectueuse jusqu'à avoir le bon processus de fabrication.

On se rend bien compte dans ces conditions que cela ne peut être en l'état utilisé pour produire nos prothèses car elles sont toutes des prototypes uniques.

Cependant si les ingénieurs en sont à devoir calibrer chaque pièce c'est parce qu'ils manquent de données pour établir des modèles fiables permettant d'anticiper ces contraintes alors que cela est bien maîtrisé pour les technologies utilisant les métaux. On peut espérer qu'avec la recherche ils pourront développer des modèles qui leur permettront de pouvoir produire directement et de manière fiable des pièces en céramique.

Conclusion

L'impression 3D est une technologie qui trouve déjà de nombreuses applications dans le domaine de la dentisterie. Les progrès effectués ces dernières années ont permis à cette technologie de trouver des applications dans notre domaine, et les nouveaux matériaux mis au point remplissent le cahier des charges en termes de biocompatibilité, résistance, esthétique...

Cependant de nombreux progrès restent à faire pour que cette technologie supplante l'usinage comme moyen de production numéro un. L'impossibilité d'impression directe en céramique est notamment un frein technique qu'il reste à franchir.

De nouvelles machines de production voient le jour, alliant impression 3D pour une production rapide et à moindre coût, et usinage pour une finition parfaite de la pièce. Ces machines sont malgré tout très coûteuses (elles dépassent le million d'euros) et sont dédiées à l'heure actuelle au recherche et développement.

Références bibliographiques

Duret F, Pélissier B. Différentes méthodes d’empreinte en CFAO dentaire. 2010 Elsevier Masson SAS [Internet]. Disponible sur: https://www-em--premium-com.docadis.ups-tlse.fr/showarticlefile/250936/28-38844_plus.pdf

Bie.C L’empreinte optique au cabinet dentaire. Université Toulouse III - Paul Sabatier; 2015. Disponible sur: <http://thesesante.ups-tlse.fr/984/1/2015tou33069.pdf>

Bermes-Klaine Rodolphe – La fabrication assistée par ordinateur en prothèse
Thèse de doctorat, UNIVERSITE HENRI POINCARÉ NANCY I, 2013, disponible sur : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/BUPHA_TD_2013_BERMES-KLAINE_RODOLPHE.pdf

Le guide de la CFAO dentaire [Internet]. CNIF; Disponible sur: http://www.unppd.org/cnifpd/Guide_CFAO.pdf

Pierrick Bouffaron Impression 3D : Les prémisses d’une nouvelle (r)évolution industrielle ? Rapport d’Ambassade / Consulat Général de France à San Francisco, Californie, disponible sur : https://www.frances-science.org/IMG/pdf/smm14_025_impression_3d_les_premisses_d_une_nouvelle_revolution_industrielle.pdf

Centre national de formation des prothésistes dentaires. Le guide de la CFAO dentaire. 2009. 70 pages.

Dr Jaisson Maxime. Impression 3D : La nouvelle mode en chirurgie dentaire ? Dental Tribune. Mars 2015.

Ceyte Samuel. L'impression 3D, fonctionnement et perspectives en chirurgie dentaire. Université Claude Bernard-Lyon I 2016

Negrel D. Stellite CAD-CAM, enfin! Technologie dentaire, N°243, Février 2007: p 33-38.

Dr Landwerlin Olivier, La prothèse adjointe complète assistée par ordinateur. Dental Tribune. Mars 2015.

<http://www.stratasys.com/fr>

<http://www.biotech-dental.com/>

<http://www.poly-shape.com/>

<http://www.dentosmile.fr/>

<http://www.aniwaa.fr/industrie-dentaire-et-impression-3d/>

<https://www.dentca.com>

<http://3dceram.com/>

<http://www.3dnatives.com/>

SERMENT MEDICAL

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'HIPPOCRATE.

Je promets et je jure, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine Dentaire.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

J'informerai mes patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des connaissances pour forcer les consciences.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leur père.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois déshonoré et méprisé de mes confrères si j'y manque.

PALAU Julien - L'impression 3D ou fabrication additive en odontologie, actualités et perspectives.

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix-Marseille Université : 2017

Rubrique de classement : Odontologie Prothétique

Résumé :

Malgré sa relative ancienneté, la technologie d'impression 3D, aussi appelée fabrication additive, connaît à l'heure actuelle un essor sans précédent. L'explosion du numérique, la multiplication des matériaux utilisables et les technologies d'empreintes optiques ont permis à cette technologie de trouver des applications dans le domaine médical, et notamment dans la dentisterie.

Cette thèse a pour but de faire le point sur cette technologie.

La première partie décrit les différentes technologies d'impression 3D et leurs principes de fonctionnement dans la chaîne de CFAO en odontologie.

La seconde partie souligne les différentes applications que nous apporte l'impression 3D, au cabinet comme au laboratoire.

La troisième partie dévoile les futures applications de cette technologie dans le domaine de l'odontologie.

Mots clés :

Impression 3D
Fabrication additive
CFAO
Polyjet
Stéréolithographie
Frittage laser
Prothèses dentaire

PALAU Julien – 3D printing or additive manufacturing, news and prospect.

Abstract :

Despite being in use for a relatively long period of time, 3D printing technology, also known as additive manufacturing, is today expanding at an unprecedented pace. The digital explosion, the availability of usable material and the optical impression technology have all contributed to make 3D printing highly useful in the healthcare sector, and most notably in dentistry.

The purpose of this thesis is to make a recap statement on this technology.

The first part will summarise the different 3D printing technologies available and their principles applied to CAD (Computer Aid Manufacturing) odontology.

The second part will review the different applications of 3D printing for a laboratory or at a dental practice.

The third part will try to highlight the future usage of this technology in odontology.

MeSH :

3D Printing
Additive Manufacturing
Cad/Cam
Polyjet
Stereolithography
Laser sintering
Dental Prosthesis

Adresse de l'auteur :

1014 Chemin des Viougues, Villa numéro 2
13300 Salon de Provence