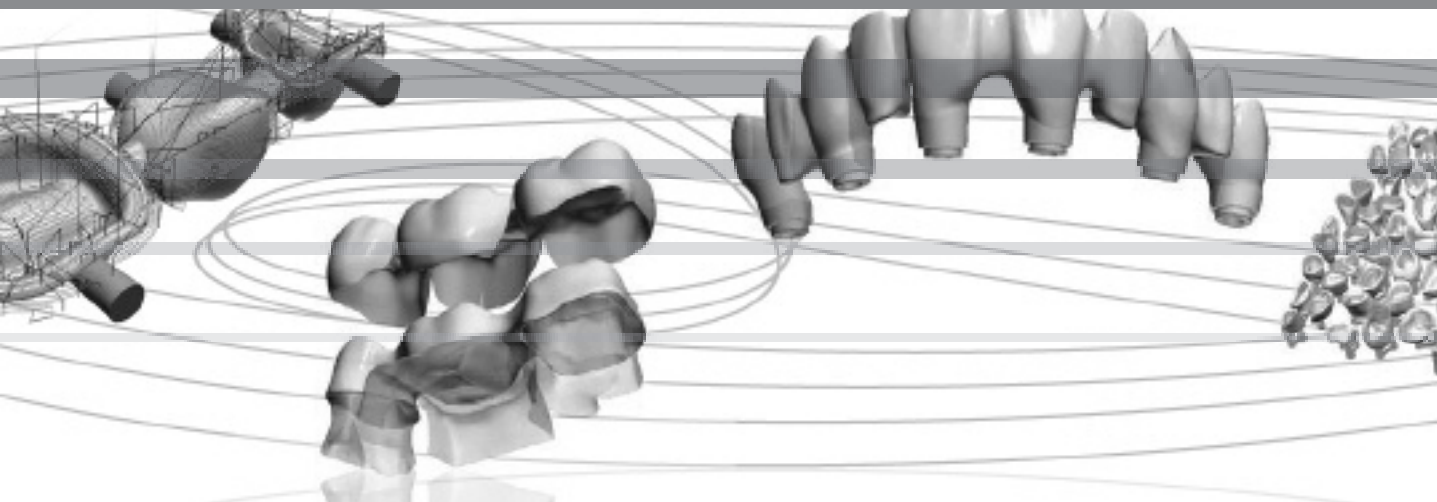




■ Le guide de
la CFAO dentaire

Numéro spécial - Le guide de la CFAO dentaire



le guide...

UNION NATIONALE INTERNATIONALE
DES PROTHÉSISTES DENTAIRES

Guide
de la CFAO
DENTAIRE

CNIF
Centre National d'Innovation
et de Formation des
Prothésistes Dentaires

Avant-propos

Ce guide a pour objectif de vous aider dans votre démarche globale d'investissement et de migration vers l'automatisation et l'industrialisation de vos activités techniques. Il ne s'agit pas d'un guide comparatif des outils de CFAO. Il a été établi sur les données connues à ce jour et en aucun cas il ne peut se substituer à l'analyse de la décision du chef d'entreprise.

Les équipements de CFAO Dentaire sont coûteux. Les investissements doivent donc être réalisés à bon escient. Il est nécessaire de bien choisir les équipements en fonction de son besoin et du moment auquel ils sont utilisés dans le processus allant de la conception à la fabrication.

La CFAO a pour but d'accroître la compétitivité de l'entreprise. L'investissement doit être compensé par des bénéfices en termes de délai, de qualité et de coûts.

Objectifs du guide

Donner des éléments d'information aux responsables de laboratoires de prothèses dentaires, leur apporter une aide pour choisir et intégrer les technologies de conception et de fabrication assistées par ordinateur dans le cycle de production de prothèses dentaires, les aider à identifier les compétences humaines requises.

Remarque : les technologies numériques de conception, de simulation, de fabrication et de contrôle sont en constante évolution. Le laboratoire de prothèses dentaires aura donc tout intérêt à poursuivre constamment sa recherche d'informations auprès des associations professionnelles, des revues spécialisées, des salons professionnels, des entreprises déjà équipées, et bien sur du Centre National d'Innovation et de Formation des Prothésistes Dentaires : le CNIFPD.

Organisation du guide

Le présent guide est articulé en quatre parties :

A - Des informations générales sur la CFAO Dentaire : contexte et enjeux, présentation des principaux composants et technologies commercialisés, présentation des processus numériques actuels, émergents et en devenir.

B - Des conseils thématiques : sur les aspects techniques (choix du procédé, moyens technologiques...), les aspects économiques (différents coûts à prendre en compte), de ressources humaines... et sur les conditions requises afin d'intégrer les technologies numériques dans de bonnes conditions.

C - Une série de tableaux : sur les fournisseurs de solutions de CFAO et leurs domaines de compétences et sur les caractéristiques des outils commercialisés en France.

D - Un carnet d'adresses utiles : pour vous permettre d'approfondir les points que vous jugerez utiles et d'effectuer votre veille technologique.

Guide de la CFAO dentaire

:: INFORMATIONS GENERALES

1 :: Contexte et enjeux

- 1.1 :: *Contexte économique*
- 1.2 :: *Contexte technique*
- 1.3 :: *Enjeux pour les prothésistes*

2 :: Les composants de la CFAO dentaire

- 2.1 :: *Numérisation 3D*
 - 2.1.1 :: Numérisation par balayage
 - 2.1.2 :: Radiographie panoramique
- 2.2 :: *CAO*
 - 2.2.1 :: Conception de prothèses fixes
 - 2.2.2 :: Conception de prothèses amovibles
 - 2.2.3 :: Conception de prothèses hybrides
 - 2.2.4 :: Conception d'appareils orthodontiques
- 2.3 :: *FAO*
 - 2.3.1 :: Préparation de la fabrication
 - 2.3.2 :: Création des séquences de mise en forme
- 2.4 :: *Fabrication*
 - 2.4.1 :: Usinage
 - 2.4.2 :: Fabrication Additive
- 2.5 :: *CFAO et standards numériques*
 - 2.5.1. Standard STL
 - 2.5.2. Norme STEP
 - 2.5.3. Norme DICOM

3 :: Les processus CFAO

- 3.1 :: *Fabrication de modèles calcinables*
- 3.2 :: *Fabrication bonne matière*
- 3.3 :: *Processus en cours d'initiation*
- 3.4 :: *Perspectives en implantologie*

:: CONSEILS

1 :: Aide au choix

- 1.1 :: *Quelle(s) restauration(s) industrialiser ?*
- 1.2 :: *Quel(s) processus automatiser ?*
 - 1.2.1 :: Conception en interne et fabrication sous-traitée
 - 1.2.2 :: Conception en interne et fabrication mutualisée
 - 1.2.3 :: Conception et fabrication en interne
 - 1.2.4 :: Conception en interne avec un mixte de fabrication en interne et externalisée.
- 1.3 :: *Système ouvert ou système fermé ?*
 - 1.3.1 :: Premier cas : Vous avez choisi de vous équiper d'un système de conception et de sous-traiter la fabrication.

1.3.2 :: Deuxième cas : Vous avez choisi de vous équiper d'une solution complète de conception et fabrication.

1.3.3 :: Troisième cas : Vous avez une solution CFAO "fermée" et souhaitez la rendre communicante.

1.4 :: *Choix du ou des équipements*

- 1.4.1 :: Choix du ou des équipements de conception
- 1.4.2 :: Choix du ou des équipements de fabrication
- 1.4.3 :: Testez avant d'acheter
- 1.4.4 :: Ne pas négliger le choix du fournisseur !
- 1.4.5 :: Se faire assister !

1.5 :: *Bien réussir son projet CFAO*

- 1.5.1 :: Sensibilisation et formation du personnel
- 1.5.2 :: Réorganisation du travail
- 1.5.3 :: Aménagement des locaux
- 1.5.4 :: Planification de la mise en service
- 1.5.5 :: Préparez votre communication

2 :: Analyse des pré-requis

2.1 :: *Investissement*

2.2 :: *Organisation des ressources humaines*

- 2.2.1 :: Qu'implique le management des activités de CFAO dentaire ?
- 2.2.2 :: De quelles compétences disposez-vous pour conduire les activités liées à la CFAO ?

2.3 :: *Installation du futur équipement*

2.4 :: *Sécurité & environnement*

- 2.4.1 :: Sécurité
- 2.4.2 :: Protection de l'environnement

:: FICHES TECHNIQUES

- :: Numérisation 3D
- :: Impression 3D
- :: Stéréolithographie par UV sélectif
- :: Micro-fusion de poudres

:: FOURNISSEURS ET PRODUITS

- :: Fournisseurs
- :: Scanners 3D
- :: Logiciels CAO
- :: Logiciels FAO
- :: Machines d'usinage
- :: Machines de fabrication additive

:: ADRESSES UTILES

:: GLOSSAIRE

1. Contexte et enjeux

1.1 Contexte économique

Depuis la mondialisation, et surtout depuis ces cinq dernières années, les fabricants français de prothèses dentaires ont à faire face à une forte concurrence des pays à bas coût de main d'œuvre. Désormais, la part des prothèses dentaires importées est estimée à 20% des revenus de la filière et 27% du nombre de prothèses vendues en France. La conséquence est que malgré un volume croissant de prothèses vendues, de par le vieillissement de la population, le chiffre d'affaires de

la filière progresse très peu (+1,5% par an au cours de ces cinq dernières années selon la dernière enquête annuelle de l'UNPPD), ce qui traduit aussi une baisse significative des prix de vente. Par ailleurs, la pression des prescripteurs sur les prix ne faiblit pas.

En France, selon les résultats de l'enquête de branche menée par l'UNPPD en novembre 2008, 16% des fabricants de prothèses dentaires (750) sont équipés, et seuls 6% sont équipés d'une solu-

tion complète : système de CAO + machine à commande numérique. En effet, la plupart des fabricants de prothèses dentaires n'a recours qu'à la CAO et sous-traite la fabrication auprès du centre de production qui lui a vendu le système de CAO. Ceux qui sont équipés d'une machine l'utilisent essentiellement pour usiner des armatures en zircone. Le chiffre d'affaire réalisé avec la CAO ne représente que 3,5% du chiffre d'affaires de la filière.

1.2 Contexte technique

Depuis le début des années 2000, il existe des systèmes de CFAO dédiés à la conception et à la fabrication de prothèses dentaires. Pour l'instant, cette automatisation a essentiellement concerné la production d'armatures de prothèses fixes.

En 2006, l'arrivée des premiers systèmes de CAO ouverts a étendu le panorama de l'offre CFAO. En moins de trois ans, on est passé d'une dizaine de fournisseurs de systèmes et de centres de production à une vingtaine de fournisseurs de système et des dizaines de sociétés de services de fabrication, dont une ma-

ajorité d'unités de production créées par des prothésistes dentaires plus quelques sous-traitants de l'industrie. Alors qu'en 2006 on ne comptait que cinq machines d'usinage disponibles en France, aujourd'hui on en compte une vingtaine.

Le champ d'application de la CFAO a également évolué. En 2006, il est devenu possible d'automatiser la conception et la fabrication de châssis de prothèses mobiles.

Et actuellement, l'offre évolue vers la conception et la fabrication numériques de prothèses dentaires sur implants, un marché à fort potentiel de croissance qui

permet aux laboratoires de préserver leur rentabilité.

En parallèle, les technologies numériques ont aussi progressé chez les dentistes. L'arrivée des scanners de numération 3D intra-buccale et de la reconstruction 3D de l'anatomie occlusale à partir de l'imagerie obtenue par tomographie ou par conversion d'un IRM sont des avancées qui démontrent qu'à moyen termes il sera possible de réaliser des restaurations dentaires avec un minimum d'interventions manuelles, voire sans préparations physiques.

1.3 Enjeux pour les prothésistes

Après la prothèse importée des pays émergents, la concurrence risque de venir des industriels, et surtout des fournisseurs de laboratoires qui adressent aussi les dentistes. En effet, avec la fabrication automatisée et la validation numérique des restaurations, ils seront en mesure de vendre en direct des prothèses aux dentistes, en recrutant des maquettistes pour la modélisation. D'ailleurs, c'est déjà le cas dans le domaine de l'orthodontie. Et

la vente de systèmes de fabrication aux dentistes ne laisse-t-elle pas présager de ce danger ?

Une chose est sûre, l'avenir des fabricants de prothèses dentaires va dépendre de la capacité de vos entreprises artisanales à se moderniser et à s'industrialiser. En ce sens, le Centre National d'Innovation et de Formation des Prothésistes Dentaires - CNIFPD, au service de tous les laboratoires français, est un le-

vier sur lequel vous devez vous appuyer pour moderniser vos activités. Et pour franchir ce cap de l'industrialisation, vous devez vous regrouper afin de mutualiser des moyens de production qui lorsqu'ils sont sous-exploités ne sont pas rentables et mettent en péril vos entreprises. Si vous ne prenez pas conscience de cela, demain une grande part d'entre vous aura disparu et ne resteront que quelques grands laboratoires et des artisans céramistes.

2. Les composants de la CFAO dentaire

Le sigle CFAO signifie littéralement Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur. Dans le domaine de la prothèse dentaire, par le sigle CFAO, la profession désigne tous les équipements utilisés dans la chaîne numérique allant de la modélisation à la fabrication des prothèses dentaires. Ainsi, au-delà des logiciels de conception et fabrication assistées par ordinateur, la "CFAO dentaire" comprend, en amont, les équipements de numérisation 3D (scanners) et, en aval, les équipements de fabrication à commande numérique. Les équipements de fabrication sont de deux types : les machines d'usinage (mise en forme par enlèvement de matière) et les machines de fabrication additive (mise en forme par ajout de matière).

Remarque : A l'heure du choix d'un système, il faut s'intéresser aux avancées technologiques en cours pour effectuer des investissements évolutifs et durables. C'est pourquoi, nous nous attachons ci-après à présenter les composants de la CFAO dentaire tels qu'ils sont utilisés aujourd'hui, mais aussi en tenant compte des progrès technologiques et de l'évolution des processus numériques dans le domaine du dentaire, à court et moyen terme.

2.1 Numérisation 3D

■ 2.1.1 Numérisation par balayage

La numérisation 3D par balayage peut être définie comme un procédé permettant de mesurer les formes de la surface d'un objet pour en créer un fichier informatique utilisable dans un ordinateur. Ce fichier informatique est appelé "modèle numérique 3D" de l'objet numérisé.

Les équipements de numérisation 3D utilisés fonctionnent en utilisant les senseurs mécaniques, la technologie laser, la lumière structurée ou les procédés photogramétriques [voir fiche technique : numérisation 3D, p.40].

■ 2.1.1.1 Numérisation de maquettes

Les tous premiers systèmes d'usinage de zircone capturaient la forme de la surface d'une maquette d'infrastructure en cire, avec un senseur mécanique, pour la transmettre au directeur de commande numérique de la machine. Ce fût, par exemple, le cas du premier centre d'usinage Cercon de Dentsply. C'est le même principe que le pantographe, mais l'automatisation du palpeur mécanisé et de la machine outils remplace l'homme pour

répliquer la maquette en cire dans le matériau souhaité.

La numérisation de la maquette physique est aussi un moyen utilisé pour communiquer, via internet, la copie numérique d'une maquette en cire à un centre de production distant. C'est typiquement ce que permet le système Piccolo de Nobel Biocare.

Si dans la pratique certains laboratoires continuent d'utiliser un scanner 3D pour numériser des maquettes de chapes et de bridges modelées manuellement, la numérisation de maquettes d'armatures s'avère surtout nécessaire pour pallier aux champs d'applications encore restreints des logiciels de CAO. C'est par exemple le cas pour la réalisation des certains composants de supra-structures sur implants : leur modélisation en 3D n'étant pas encore possible avec les logiciels de CAO, le prothésiste n'a guère d'autre choix que de réaliser des maquettes physiques puis de les numériser s'il veut les fabriquer ou les faire fabriquer via un procédé numérique, par usinage ou par fabrication additive.



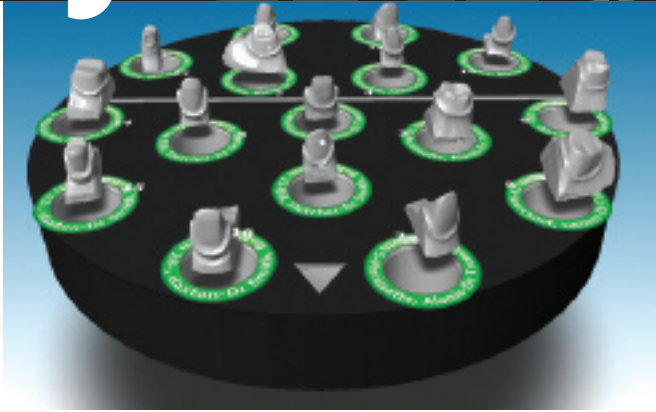


Fig 1. Numérisation simultanée de 16 dies avec le scanner DW de Dental Wings.

■ 2.1.1.2 Numérisation de modèles

Aujourd'hui, la numérisation 3D des modèles en plâtre est la pratique la plus courante. Ce procédé éprouvé est le point d'entrée dans le processus numérique de conception et fabrication assistées par ordinateur des prothèses dentaires. (Fig 1)

Tous les scanners 3D dédiés à la production de prothèses dentaires fixes et/ou mobiles offrent un niveau de précision similaire, de l'ordre de 20 µm. Tous ne se prêtent pas aisément à la numérisation des matériaux réfléchissants. Les principales différences entre les scanners sont la productivité, avec notamment la possibilité de numériser simultanément plusieurs éléments unitaires pour des prothèses distinctes (fonction multi-dies), et le champ d'applications : numérisation d'arcades complètes, d'antagonistes, de mordus, de préparations en plâtre avec implants, enregistrement des occlusions... [Voir liens Internet p.52 - l'offre de scanners].

Certains fabricants proposent des scanners dédiés à la numérisation 3D d'arcades pour l'orthodontie.

■ 2.1.1.3

Numérisation des empreintes

Les fabricants de systèmes de capture de modèles font évoluer leurs scanners vers la numérisation des empreintes.

(Fig 2)

Les avantages mis en avant par les fabricants sont la possibilité de réduire le besoin de modèle au minimum et d'accroître ainsi la productivité des laboratoires. Mais le public réellement visé par les fabricants de scanners est le cabinet dentaire. Ce dernier a désormais la possibi-

lité de numériser l'empreinte et d'adresser sa version numérique par internet au prothésiste, qui peut ainsi démarrer au plus tôt la conception de la prothèse.

Nombre de prothésistes dentaires émettent des doutes quant à la fiabilité de la numérisation des empreintes. Comment définir correctement la position d'une limite cervicale sur l'empreinte numérique ? Comment valider l'occlusion si l'on ne dispose plus du modèle en plâtre ?

La réponse à la première question est du ressort des éditeurs de logiciels de CAO, mais nul doute que la réponse va être rapidement apportée. C'est comme les adeptes du pantographe qui sont convaincus que la CFAO ne leur offre pas la même précision, or dans l'industrie le numérique a contribué à améliorer la précision des fabrications.

La réponse à la deuxième question, pour l'instant, est la fabrication de modèles physiques à partir des modèles virtuels, par fabrication additive ou par usinage. Le coût de fabrication d'un modèle physique par ce procédé est certes plus onéreux que la réalisation d'un modèle en plâtre, mais la mise en place d'une chaîne numérique dès le cabinet dentaire permet de réduire le délai de réalisation de la prothèse dentaire (réalisation au laboratoire et validation au cabinet de l'infrastructure en parallèle de la réalisation du modèle qui va servir à valider l'occlusion lors de la finition céramique). Par ailleurs, il faut se demander si le modèle physique s'impose dans toutes les restaurations prothétiques, notamment lors de la fabrication totalement mécanisée d'une restauration. De plus,

l'utilisation de la CAO dans le domaine dentaire est relativement jeune ; le champ de la simulation numérique n'a pas encore été investi. La cinématique numérique devrait permettre de remplacer la validation physique articulaire et occlusale par une validation numérique avec des modèles virtuels de la prothèse dentaire, de l'articulation orale et de l'anatomie occlusale.

Un autre point positif de la numérisation des empreintes chez les cabinets dentaires, est que cela rendra la CAO plus accessible à tous les prothésistes, puisqu'ils n'auront pas forcément besoin de s'équiper d'un scanner.

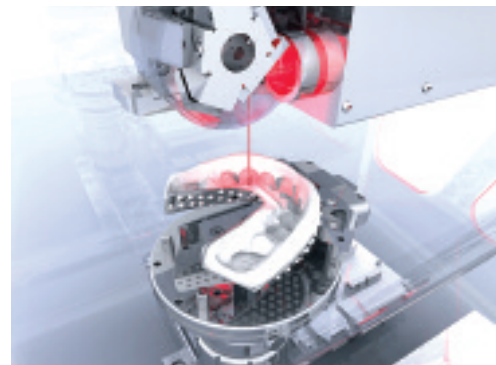


Fig 1. Nouveau scanner 3D du système Nobel Biocare, basé sur la technologie d'holographie conoscopique brevetée Optimet. Source : Nobel Biocare.

Déjà quatre offres !

Nobel Biocare vient de lancer un scanner 3D basé sur la technique d'holographie conoscopique qui permet la mesure d'angles prononcés (jusqu'à 85°) et de cavités profondes, caractéristiques des empreintes dentaires.

3Shape a optimisé l'angle de prise de vue de son scanner 3D, combinant 3 axes et 2 caméras, pour permettre la numérisation des empreintes. Dental Wings a développé un scanner dédié à la numérisation des empreintes dont la version qui sera lancée à l'automne s'enrichit d'une deuxième caméra couplée à un plateau 5 axes, là aussi pour optimiser l'angle de prise de vue. Imetric travaille aussi en direction de ce nouveau marché. (Infos 07/09)



Fig 2. Numérisation d'arcades en occlusion 3D avec le scanner R700 de 3Shape.

■ 2.1.1.4 Numérisation intra-buccale

La capture numérique intra-buccale autorise la prise d'empreinte sans passer par le moulage. Plusieurs systèmes amorcent leur commercialisation. Outre l'élimination des désagréments des empreintes conventionnelles pour le patient, le principal gain, pour la chaîne numérique dentaire, est la précision de la prothèse en supprimant l'imprécision de la pâte à empreinte.

Tout comme pour la numérisation de l'empreinte, tel que nous l'avons expliqué juste avant, la capture d'empreintes numériques directement en bouche permet de réduire le délai de réalisation de la prothèse.

■ 2.1.1.5

Numérisation des fabrications

Outre leur utilisation en début de chaîne numérique, dans l'industrie, les scanners sont également utilisés en bout de processus de fabrication pour le contrôle dimensionnel sans contact des pièces produites. La reconstruction 3D issue de la numérisation d'une pièce est comparée avec la maquette virtuelle d'origine générée en CAO. Avec un logiciel de contrôle 3D, il est alors possible de visualiser rapidement si les écarts dimensionnels sont ou non compris dans la zone de tolérance définie.

Un scanner polyvalent

A moins de disposer d'un volume de production qui justifie l'utilisation d'outils dédiés à chaque activité (prothèses fixes, prothèses mobiles, prothèses hybrides), il convient de s'assurer que le scanner pourra être utilisé pour plusieurs activités.

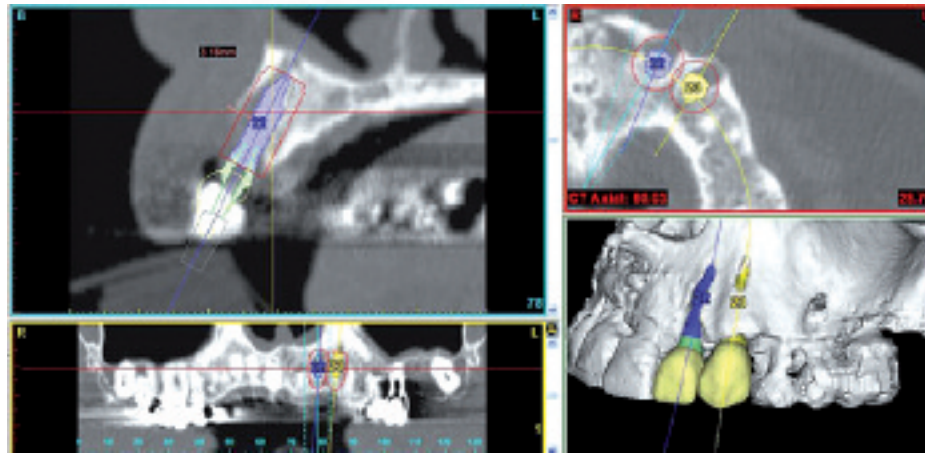


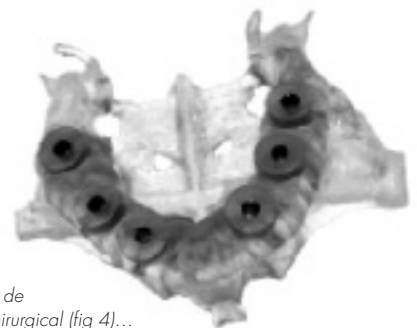
Fig 3. Source : Institut d'implantologie dentaire du Québec.

■ 2.1.2 Radiographie panoramique

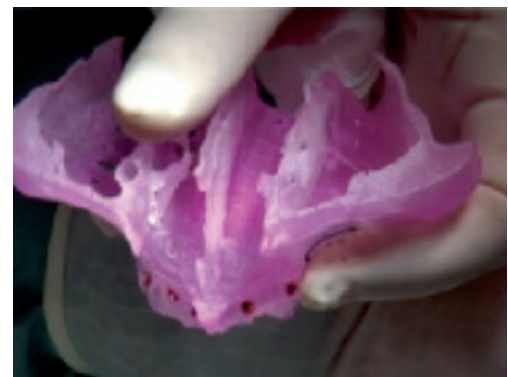
Les praticiens en chirurgie dentaire et chirurgie maxillo-faciale recourent de plus en plus à des logiciels de chirurgie assistée par ordinateur pour la planification de l'intervention chirurgicale et la simulation de la pose des implants et des couronnes. A partir de l'imagerie au format DICOM 3D obtenue par tomographie ou par conversion d'un IRM, le logiciel construit un modèle 3D du maxillaire ou de la mandibule du patient. (fig 3)

Les modélisations 3D sont générées par triangulation ; on obtient donc des fichiers au format 3D STL. Ces fichiers 3D sont déjà utilisés pour la fabrication par procédé additif de guides chirurgicaux (fig 4), ou de copies physiques du maxillaire et de la mandibule pour résoudre les cas complexes. (fig 5)

Il devient donc possible d'anticiper la réalisation de la prothèse dentaire temporaire, voire définitive, au travers d'échanges STL entre les chirurgiens-den-



Exemple de guide chirurgical (fig 4)...



... Et de copie osseuse (fig 5) fabriqués par stéréolithographie à partir des modèles STL.
Source : Materialise.

tistes et les prothésistes dentaires. Par ailleurs, des recherches universitaires, dans le domaine de l'orthodontie, ont démontré qu'il est possible de simuler numériquement des mouvements mandibulaires

ainsi que des déplacements des deux arcades de manière à optimiser les contacts occlusaux. Le couplage de la numérisation 3D intra-buccale avec la reconstruction 3D de l'anatomie occlusale à

partir de l'imagerie médicale laisse entrevoir la possibilité de concevoir et valider des restaurations prothétiques dans un environnement totalement virtuel, sans aucun moulage.

2.2 CAO

La plupart des logiciels de CAO pour la conception de prothèses dentaires, et c'est le cas des logiciels les plus répandus, utilisent un noyau graphique de modélisation géométrique polygonale. Cela leur permet d'exploiter directement les données issues de la numérisation 3D, dont le procédé de construction 3D du modèle numérique se fait également par triangulation du maillage de points dans l'espace. Les fichiers exportés par la plupart des logiciels de CAO dentaire sont donc "nativement" des fichiers au format STL. Cette modélisation est moins précise que la modélisation par courbes (NURBS) et génère des fichiers informatiques plus lourds, mais :

1) elle évite des conversions fastidieuses des données de triangulation en données de courbes pour la reconstruction de surfaces ou de solides et,

2) elle est suffisante pour la précision exigée en fabrication de prothèses dentaires adjointes et scellées. Par contre, pour la réalisation de prothèses visées sur implants, exigeant une excellente passivité, les logiciels de modélisation basés sur les NURBS offriront une meilleure précision, notamment lorsque les modèles 3D servent de définition numérique pour les machines-outils.

■ 2.2.1 Conception de prothèses fixes

C'est dans le domaine de la modélisation 3D de chapes et de bridges que sont nés, au début des années 2000, les premiers logiciels de CAO pour les prothésistes dentaires. Lancée par les fournisseurs de matériaux et d'équipements pour les laboratoires, l'offre a surtout consisté à vendre des systèmes de CAO (scanner + CAO) en complément de prestations de fabrication dans un environnement captif ; c'est la naissance des centres de production mis en place par

ces mêmes fournisseurs. En parallèle, sont apparus des solutions complètes de conception et d'usinage pour répondre au nouveau marché des prothèses fixes en céramo-céramique. Là aussi, c'est le marché captif qui a prévalu. Même la première solution de conception et d'impression 3D de maquettes en cire a suivi ce modèle économique.

Mais depuis 2006, le marché a été investi par de nouveaux acteurs qui ont développé des logiciels dits "ouverts", c'est-à-dire en mesure d'exporter des fichiers 3D au format STL, et qui les ont intégrés avec des scanners 3D du marché ou développés spécifiquement [Voir liens Internet p.52 - L'offre de logiciels].

Les gains de temps en maquettage sont discutés par les prothésistes. Certains estiment qu'ils vont aussi vite à modeler des armatures à la main qu'avec la CAO, sauf pour le modelage de bridges de grande taille. Peut-être, mais les gains de temps sont aussi à analyser en aval, lors de la fabrication. En passant de la maquette CAO à la fabrication numérique bonne matière, les gains de temps sur le processus complet de réalisation d'une armature deviennent conséquents. En termes de qualité, tous les utilisateurs s'accordent à dire que les gains de précision sont indéniables, avec des ajustements parfaits, une fois les technologies maîtrisés. De plus, le passage par une maquette numérique est nécessaire à la fabrication de certaines restaurations telles que l'usinage d'armatures en zircon. Il est possible de numériser une maquette en cire pour la transférer vers l'usinage. C'est ce que font certains, mais il est dommage de se priver de la qualité de précision de la CAO quand on est en possession de l'outil. Les maquettes manuelles sont d'une précision de 100 à 200 µm contre 20 à 50 µm avec la CFAO.



Maquette 3D d'un bridge.

L'ouverture s'accélère !

Les premiers systèmes de CAO "ouverts", permettant d'exporter des fichiers 3D STL, sont apparus en 2006, d'abord en Allemagne à l'initiative d'un collectif de prothésistes avec le logiciel CC Soft, puis chez des éditeurs de logiciels : 3Shape, Dental Wings, Evisra (Groupe Cynoprod) avec un module d'export STL, et plus récemment Delcam. En moins de trois ans, ces logiciels "ouverts" ont pris une part de marché significative ; les deux leaders actuels du marché de la CAO ouverte, 3Shape et Dental Wings, ont déjà vendu plus de 1500 licences de logiciels de CAO à travers le monde, dont environ 300 en France. En ajoutant les logiciels de Delcam et d'Evisra, on doit avoisiner les 350 licences de logiciels de CAO ouverts en France. De plus, plusieurs fournisseurs de solutions complètes de CFAO ou de services de production intègrent les logiciels de ces éditeurs à leur offre : Bego, Bien Air, Diadem, Edonis Dental Systems, Nobil Metal, Simedental, Wieland.

Face à ce plébiscite des prothésistes dentaires pour des systèmes ouverts, même des fournisseurs peuvent encliner à changer leur modèle économique ouvert leurs systèmes de fabrication à des logiciels de CAO communi-

cants, permettant ainsi à leurs clients d'augmenter le taux de charge de leurs machines. C'est par exemple le cas de Degudent, et Kavo qui viennent de passer des accords avec 3Shape pour une interopérabilité entre leurs systèmes respectifs.

Chez 3M Espe c'est la CAO qui s'ouvre. Les utilisateurs du système de CAO Lava on désormais la possibilité d'envoyer des maquettes virtuelles à d'autres unités de fabrication que les centres d'usinage agréés Lava, sauf pour l'usinage d'armatures en zircone qui est à l'origine de la solution Lava. Les envois de fichiers CAO restent sous contrôle de 3M : les unités de fabrication doivent être agréées par 3M Espe qui prend des royalties au passage. En Amérique du Nord, un accord a été conclu entre 3M Espe et Dental Wings pour exporter des maquettes d'armatures conçues avec Lava vers le logiciel de Dental Wings afin de modéliser les morphologies. 3M Espe a aussi passé un accord avec le fabricant d'imprimantes 3D Solidscape pour proposer cette machines à ses clients CAO. (Infos 07/09)

■ 2.2.2

Conception de prothèses amovibles

A ce jour, il n'existe qu'un seul système de modélisation 3D de châssis métalliques pour prothèses amovibles, basé sur la modélisation tactile avec un bras de retour d'effort. Deux nouveaux logiciels de CAO, commandés à la souris, sont en cours de développement. (fig 6)

Les gains de temps en modelage sont significatifs, plus importants qu'en modelage d'armatures de prothèses fixes ; un utilisateur expérimenté met 10 à 20 minutes pour modéliser un châssis. Par ailleurs, les utilisateurs font état d'une économie significative sur le revêtement et sur l'alliage.

Pour l'instant, il n'existe pas de logiciel pour la modélisation numérique de prothèses dentaires adjuvées en résine, tout simplement parce qu'il n'y a pas de procédés automatisés capables, aujourd'hui, de mettre en forme ce type de prothèses.

De nouveaux outils arrivent pour la conception de stellites

Le premier logiciel de CAO pour la modélisation 3D de châssis métalliques a été mis au point en 2006 à l'initiative d'un prothésiste français : M. David Negrel. A partir du système de sculpture numérique de l'éditeur américain Sensable, basé sur une technologie de modelage 3D tactile (modélisation 3D avec un périphérique de retour d'effort), il a fait personnaliser le logiciel pour l'adapter à la modélisation des châssis. Ainsi est né le système Digistell. Puis Sensable a également lancé son propre système pour la modélisation de prothèses dentaires : châssis amovibles et armatures de prothèses fixes. (fig 7 et 7 bis)

La société C4W a repris la marque Digilea mais avec le développement d'une nouvelle version du logiciel Digistell s'affranchissant du bras de retour d'effort, commandé avec une souris.

(Infos 09/09)

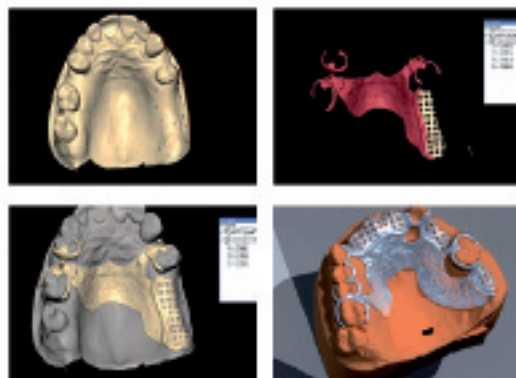
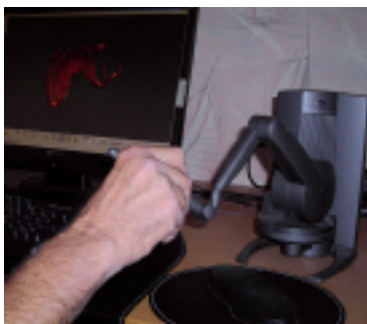


Fig 7. Exemple de conception d'un châssis avec le logiciel Digistell V1. Source : Digilea.

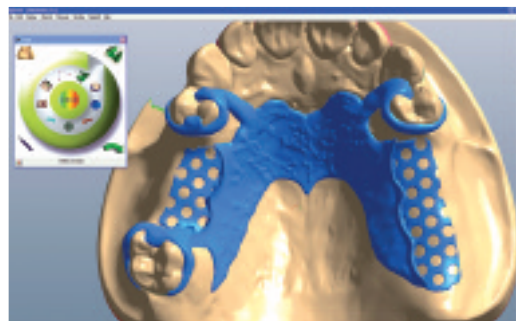


Fig 7 bis. Nouvelle version du logiciel Digistell (V2) pour la conception de châssis avec une souris. Source : C4W / Digilea.

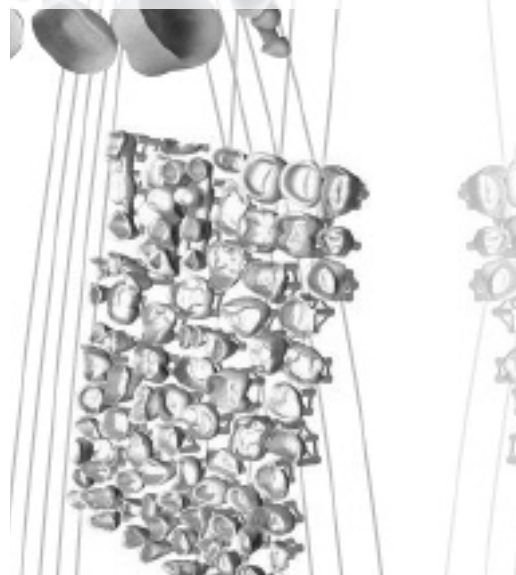


Fig 6. Utilisation du Digistell V1 de Sensable avec le bras de retour d'effort Phantom Desktop chez M. Rohr. Source : Laboratoire Rohr.

■ 2.2.3

Conception de prothèses hybrides

L'implantologie dentaire est un marché à fort potentiel de croissance et préservant la rentabilité du laboratoire. Pas étonnant donc que la conception numérique de prothèses sur implants soit en pleine effervescence. (fig 8 et fig 9)

Plusieurs logiciels - ouverts, associés à des systèmes de fabrication ou reliés à des centres de production - proposent un module pour la conception de chapes, de bridges et de piliers sur implants. Des industriels, forts de leur savoir-faire en usinage, se sont également lancés sur ce nouveau marché. Les logiciels ouverts sont les plus complets en termes de fonctionnalités ; ils permettent notamment la modélisation de barres.

Dans la pratique, le prothésiste numérise sa préparation en plâtre avec piliers pour l'importer dans son logiciel de CAO. L'idéal serait que le prothésiste dispose d'une bibliothèque de composants 3D de l'ensemble des marques d'implants pour répondre aux différentes demandes de ses clients dentistes. Mais les éditeurs de logiciels ouverts rencontrent des difficultés à passer des accords avec les fabricants d'implants. Ces derniers, qui sont aussi des centres de production et/ou des fournisseurs de systèmes de CFAO, protègent leur marché. Pourtant la plupart d'entre eux propose des piliers

et la fabrication de supra-structures compatibles avec les implants de leurs concurrents.

L'autre difficulté, en termes de CFAO de prothèses sur implants, est d'être en mesure de modéliser et de fabriquer tous les composants avec la précision dimensionnelle exigée pour une excellente passivité de la prothèse. Il existe bien sûr des machines-outils industrielles capables d'usiner tous les composants d'une supra-structure avec une grande précision, mais l'offre de logiciels de FAO capables de générer automatiquement les programmes d'usinage est encore naissante. De plus, la génération de programmes d'usinage de barres et de bridges visés de formes complexes nécessite des définitions géométriques à base de surfaces. Or, à notre connaissance, aujourd'hui, seuls les logiciels de CAO dentaire de Delcam et de Kavo utilisent un noyau graphique basé sur les Nurbs. D'autres offres, issues de logiciels de CAO mécanique, sont en cours de développement.

L'offre de modélisation 3D de prothèses sur implants est là, mais il reste à créer un catalogue des composants normalisés associé à une base de connaissance des protocoles de fabrication.



Fig 8. Exemple de conception chape + couronne d'une dent posée sur pilier.
Source : Euromax Monaco.

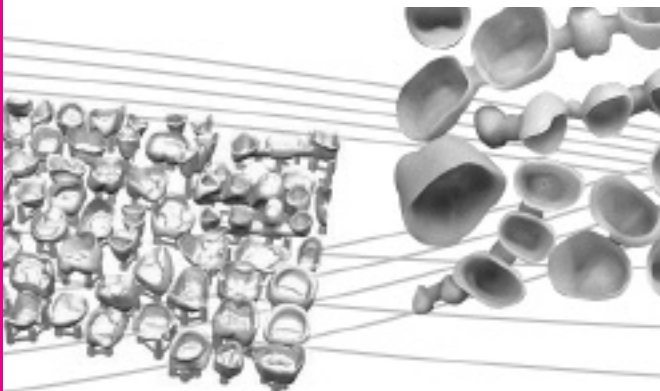


Fig 8. Exemple de conception d'un bridge vissé directement sur implants avec la logiciel CAO de 3Shape.
Source : 3Shape.

Prothèses sur implants : les éditeurs de logiciels ouverts prennent de l'avance

Dès 2006, le canadien Biocad Medical a proposé un logiciel de modélisation de piliers et de barres, relié à des centres de production agréés. Mais aujourd'hui, ce sont les éditeurs de logiciels ouverts qui fournissent les solutions de CAO les plus avancées.

3Shape est le premier à avoir proposé un module optionnel permettant de créer des piliers, des bridges et des barres sur implants. Des partenaires de 3Shape, comme Henry Schein en France, proposent une bibliothèque de composants 3D compatibles avec une vingtaine de systèmes. De son côté, l'éditeur a déjà conclu quelques accords avec des fabricants d'implants pour intégrer leurs bibliothèques 3D au logiciel de CAO, ces derniers se chargeant de la fabrication dans leurs centres d'usinage. (fig 10)

Dental Wings a suivi et a passé un accord avec la société suisse Biomediface, spécialisée dans la production de bio-prothèses médicales par le biais de méthodes CFAO. Celle-ci a développé une technique numérique permettant de matérialiser la position et la rotation de l'implant. Dental Wings a intégré cette fonction à son logiciel de CAO qui s'est également enrichi de la représentation virtuelle de la gencive. Le cas implantaire, comprenant les représentations 3D des implants, de l'armature et de la gencive, est adressé à Biomediface pour l'usinage de l'armature. (fig 11 et fig 12)

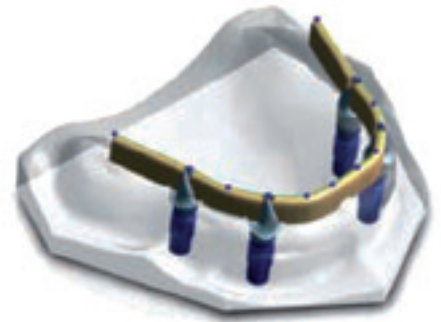


Fig 10. Barre sur piliers conçue avec le module AbutmentDesigner du logiciel de CAO de 3Shape.

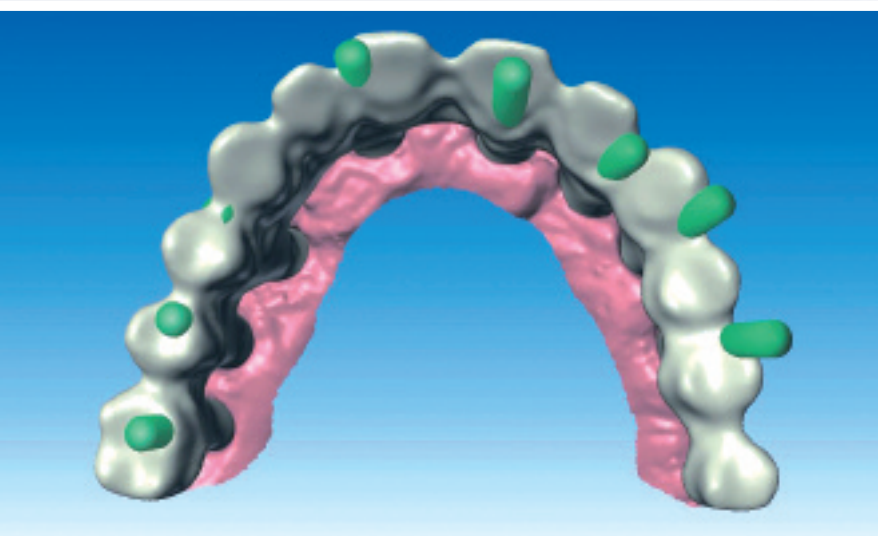


Fig 11 et 12. Source : Euromax Monaco.

Delcam annonce aussi l'extension de son logiciel de CAO à l'implantologie pour cet automne.

Du côté des centres de production, Biomet 3i a créé un service de fabrication de barres à partir des maquettes physiques réalisées par les laboratoires. En 2008, Nobel a racheté Biocad Medical pour s'accaparer de son logiciel de conception de barres et ses services de production. De son côté, Dentsply a racheté le centre d'usinage Isus en Belgique et la société prévoit de fournir aux prothésistes un logiciel de CAO spécifique à la conception de supra-structures sur implants qui sera relié à son centre de production.

Les centres de production industriels Diadem en France, Nobil Metal en Italie et Simedental au Luxembourg proposent des prestations de modélisation et/ou de fabrication de supra-structures, à partir de maquettes physiques ou virtuelles. (Infos 07/09)

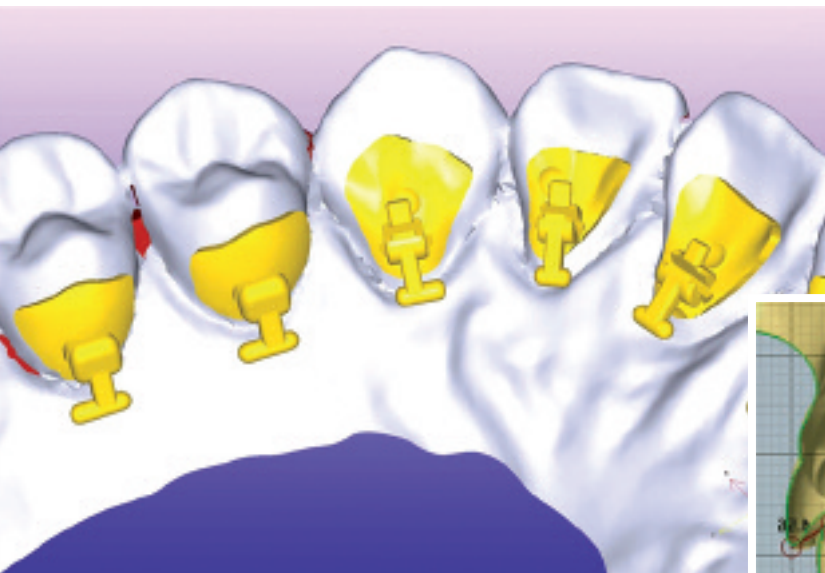
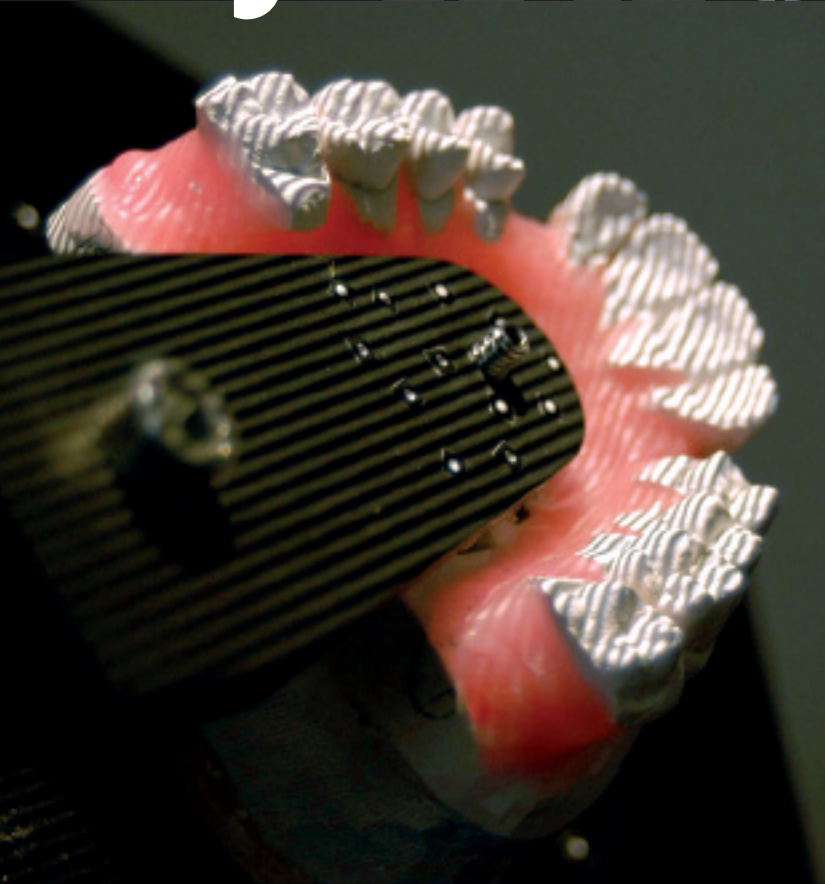
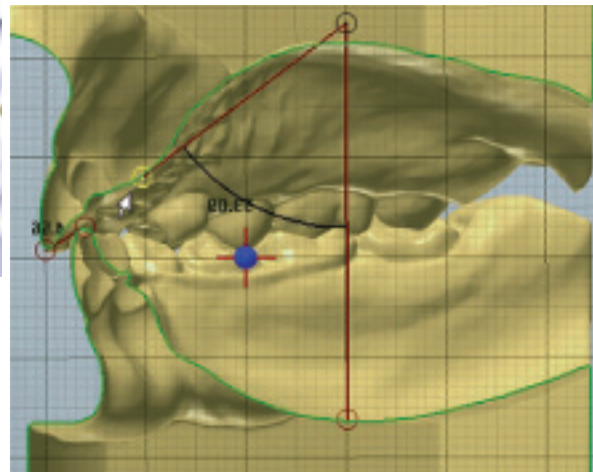


Fig 13 et 14. Source : TOP Service für Lingualtechnik GmbH.

Fig 16. Analyse orthopédique avec le logiciel OrthoAnalyser à partir de la numérisation d'arcades en occlusion 3D. Source : 3Shape.



■ 2.2.4 Conception d'appareils orthodontiques

La CAO orthodontique est une offre naissante. A ce jour, nous n'avons pas identifié de logiciel de CAO dédié aux laboratoires d'orthodontie allant jusqu'à la conception des appareils.

Quelques laboratoires proposent un service de numérisation des arcades pour créer des modèles en occlusion 3D, permettant de récupérer des moulages virtuels dans des logiciels d'études orthodontiques en 3D, qui eux sont disponibles.

Des sociétés commencent à proposer des solutions numériques couvrant l'ensemble du processus orthodontique, depuis l'étude chez l'orthodontiste jusqu'à la fabrication automatisée des appareils. Pour l'instant, c'est un marché naissant avec des approches captives, comme pour la CFAO de prothèses fixes au début des années 2000. Mais ici les centres de production s'adressent directement aux dentistes orthodontistes.

Cependant des solutions en laboratoire sont possibles. En Allemagne, la société TOP Service für Lingualtechnik recourt à la CAO pour modéliser et placer des brackets personnalisés (fig 14) sur un modèle numérisé de l'arcade (fig 13), à partir d'une bibliothèque 3D de brackets pré-paramétrés, puis elle fabrique des modèles en cire avec une imprimante 3D. (fig 13, 14 et 15)



Fig 15. Source : TOP Service für Lingualtechnik GmbH.

3Shape développe actuellement un système de CAO orthodontique. Le système comprend un logiciel spécifiquement développé pour la numérisation de modèles en occlusion, intégré au scanner R700, ainsi qu'un logiciel d'analyse (fig 16). Le système supporte le format d'export 3D STL. Un logiciel de planification du traitement (setup virtuel) et la

numérisation d'empreintes sont en cours de développement. L'extension de la solution vers la conception des appareils est prévue pour 2010. Le concept sera celui d'une boîte à outils, similaire à ce que 3Shape propose pour les implants, dans laquelle les utilisateurs pourront importer leurs modèles STL spécifiques (crochets, offsets, etc).

Attention ! Ils se passent de vous

Aux États-Unis, la société Orametrix propose une solution comprenant un scanner intra-buccale, un logiciel d'étude orthodontique en lingual et un service de production d'appareils sur mesure. Le processus numérique est le suivant : l'image 3D de la dentition du patient est obtenue par numérisation intra-buccale ou par tomographie, ensuite l'image 3D est récupérée dans un logiciel pour la simulation orthodontique et la planification du traitement ainsi que pour le positionnement et la création en 3D des brackets et des arcs sur mesure, puis les données 3D sont transmises au centre de production qui fabrique les arcs et les brackets personnalisés avec un robot. (fig 17)

En 2008 la société est entrée dans le Top 500 des entreprises à plus forte croissance aux États-Unis, et dans le Top 50 des entreprises texanes ; preuve que le marché est porteur. (Infos 07/09)

Fig 17. Conception de l'appareil orthopédique directement sur le modèle numérique obtenu par imagerie médicale 3D.
Source : Orametrix.



2.3 FAO

La fabrication assistée par ordinateur consiste en deux principales opérations :

- la préparation de la fabrication en fonction du procédé de mise en forme et du matériau utilisé,
- la création des séquences de mise en forme d'une ou de plusieurs maquettes numériques à fabriquer simultanément.

La FAO est une composante essentielle dans une chaîne numérique sans rupture. En effet, la FAO est l'interface entre la CAO et la machine de mise en forme du matériau. A titre d'exemple, les laboratoires qui décident d'ouvrir leurs machines (afin de récupérer des fichiers CAO au format STL) s'adressent aux éditeurs de logiciels de FAO.

La FAO est une composante essentielle d'intégration numérique. En effet, la FAO est l'interface entre la CAO et le directeur de commande numérique de la machine d'usinage.

■ 2.3.1 Préparation de la fabrication

Dans le domaine de la prothèse dentaire, on fabrique rarement à l'unité ; on produit des petites séries de pièces personnalisées. Le nombre d'éléments par cycle dépend de la taille du brut à usiner ou de la taille du plateau pour la fabrication additive. La préparation d'une production consiste à placer les maquettes 3D à fabriquer dans le brut ou sur le plateau.

► Usinage :

Pour l'usinage, l'opérateur sélectionne un lot de modélisations 3D et le logiciel de FAO suggère leur positionnement dans le brut à usiner et place les tiges de maintien. L'intervention de l'opérateur est parfois nécessaire afin d'augmenter le nombre de pièces produites sur un même brut à usiner, dans un souci d'économie de matière perdue. Les bruts qui ne sont pas complètement usinés sont réutilisés pour d'autres réalisations. (fig 18)

► Fabrication additive :

Pour la fabrication additive, la préparation des plateaux de fabrication est plus ou moins automatisée. (fig 19)
Les machines d'impression 3D déposent simultanément le matériau calcinable qui va former la pièce et un matériau support qui sera dissout après fabrication. Pour les autres techniques additives, il est nécessaire de générer des tiges qui servent à maintenir la pièce pendant sa construction et qui seront retirées manuellement après la fabrication. C'est le cas pour la fabrication par polymérisation de résine contenue dans un bac ou par micro-fusion laser de poudres métalliques. Normalement, toutes les machines intègrent un logiciel de placement des modélisa-

tions 3D sur le plateau et de génération automatique des tiges de construction, mais parfois ces logiciels ne sont pas adaptés à la fabrication de prothèses dentaires. C'est pourquoi, les éditeurs de logiciels de CAO ouverts qui visent le marché de la fabrication additive ont développé des applications spécifiques. 3Shape propose cette fonction dans un logiciel de FAO autonome. Dental Wings a intégré cette fonction à son logiciel de CAO, ce qui contraint à l'achat d'une licence complète du logiciel même pour un usage restreint à la préparation de la fabrication. L'outil propose aussi le placement de tiges pour la fabrication de modèles calcinables de châssis, mais non automatisé.

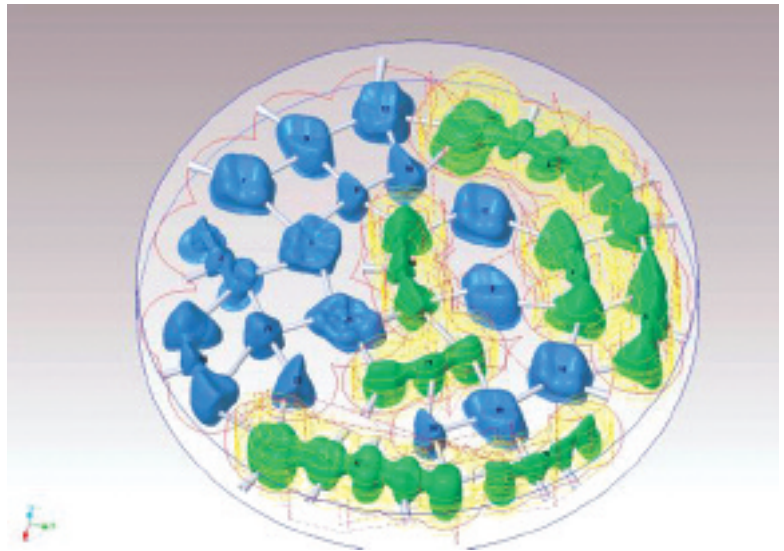


Fig 18. Exemple d'une préparation d'usinage avec le logiciel de FAO WorkNC avec optimisation de placement des éléments dans le disque. Source : SESCOI.

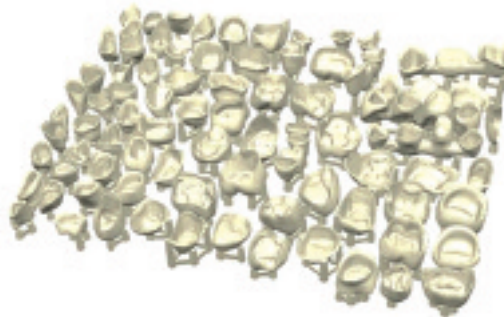


Fig 19. Préparation d'un plateau avec génération automatique des supports de construction. Source : 3Shape.

■ 2.3.2 Création des séquences de mise en forme

► Usinage :

Le but de la FAO est d'écrire le fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique (MOCN). Ce fichier décrit les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la ou les pièces demandées. Le fichier transféré vers la machine est au format ISO (langage de programmation normalisé), dit aussi G-code, qui est supporté par la plupart des machines.

Après avoir importé la modélisation 3D dans le logiciel de FAO, le programmeur élabore les parcours d'outils en respectant les choix d'outil, les vitesses de coupe et d'avance, et les stratégies d'usinage à mettre en œuvre. Le logiciel de FAO plaque les trajectoires des outils choisis sur la modélisation 3D et enregistre celles-ci sous forme d'équations. Puis le logiciel génère le programme ISO qui est transmis au directeur de commande numérique puis exécuté par la machine. Ce programme est appelé un post-processeur. *[fig 20]*

Dans le domaine de la prothèse dentaire, bien que chaque armature ait une géométrie unique, la morphologie des armatures est constante. Il est donc possible d'appliquer la même stratégie d'usinage pour un type de restauration. C'est pourquoi, des programmeurs FAO chez les fournisseurs définissent des stratégies d'usinage qui sont incorporées aux logiciels pour la génération automatique des programmes d'usinage. Tous les logiciels de FAO, ouverts ou imbriqués dans les machines, permettent la génération automatique de programmes d'usinage de couronnes, chapes et bridges, et la plupart vont jusqu'à l'usinage d'inlays, onlays et piliers. Par contre, seuls les éditeurs de logiciels de FAO ouverts proposent la programmation automatique de barres. Tout du moins, ils déclarent tous le proposer *[Voir liens Internet p.52 - Logiciels de FAO]*, mais les programmes sont en cours de développement et ne sont pas encore totalement automatisés.

► Fabrication additive :

Chaque constructeur de machine de fabrication additive recourt à une technique de mise en forme des matériaux qui lui est propre, qu'il a brevetée *[voir fiches techniques p.40]*. Tous proposent leur propre logiciel pour le paramétrage ou la création des séquences de mise en couche ainsi que l'exécution et la supervision du cycle de fabrication. Pour cette raison, on ne trouve pas sur le marché de logiciels de FAO capable de piloter diverses machines de fabrication additive. *[fig 21]*

Vers un standard de fabrication numérique !

Dans le domaine de la fabrication numérique, des travaux de standardisation sont en cours afin de formaliser la norme ISO STEP-NC. L'objectif est de définir un standard permettant de préserver l'intelligence des modèles CAO tout au long de la chaîne numérique de conception et de fabrication jusqu'au directeur de commande numérique, et ce, quelque soit la technique de mise en forme, par enlèvement ou par ajout de matière. Dans le cadre de ce standard, les logiciels de FAO n'auraient plus besoin de recourir à des post-processeurs spécifiques à chaque machine. En France, le laboratoire IRCCyN participe à ce programme international. *[Infos 07/09]*



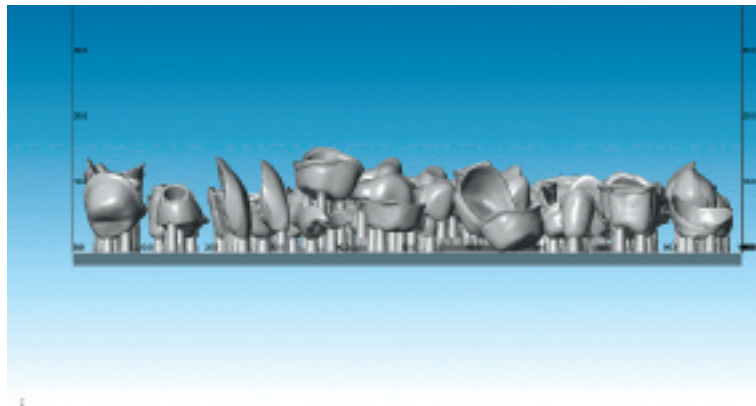
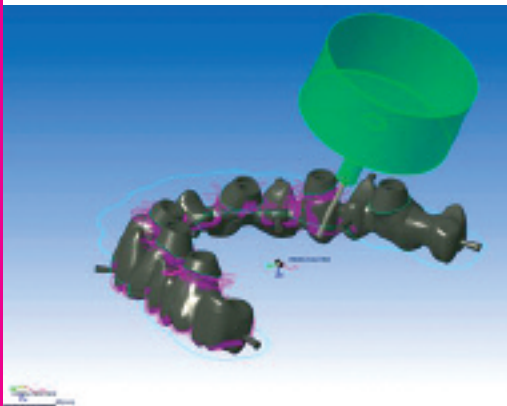


Fig 20. Exemple d'un parcours d'usinage généré avec le logiciel de FAO WorkNC. Source : SESCOI.

Fig 21. Plateau prêt à être fabriqué sur une machine de fabrication additive Perfactory d'Envisiontec. Source : Euromax Monaco.

2.4 Fabrication

Deux techniques de mise en forme sont proposées pour la chaîne numérique de CFAO dentaire :

- l'usinage : possibilité de mettre en forme plusieurs matériaux avec la même machine,
- la fabrication additive : souvent chaque machine est dédiée à un seul matériau.

TECHNIQUES de fabrication	Usinage			Fabrication additive		
	3 axes	4 axes	5 axes	Imp. 3D	stéréo.	micro-fusion
> Waxup						
Couronnes, chapes, bridges	XX	XX	XX	XXX	XXX	
Inlays/Onlays	XX	XX	XX	XX	XX	
Implantologie (moignons, piliers...)		XX	XX	X	X	
Barres sur implants		X	X	X	X	
Châssis métalliques (amovibles)				XXX	XXX	
Composants orthopédiques				XXX	XX	
> Zircono						
Couronnes, chapes, bridges	XXX	XXX	XXX			
Inlays/Onlays	XXX	XXX	XXX			
Implantologie (moignons, piliers...)		X	X			
Barres sur implants		X	XXX			

TECHNIQUES de fabrication	Usinage			Fabrication additive		
	3 axes	4 axes	5 axes	Imp. 3D	stéréo.	micro-fusion
> Cobalt-Chrome						
Couronnes, chapes, bridges	XX	XX	XX			XXX
Implantologie (moignons, piliers...)		XX	XXX			X
Barres sur implants		X	XXX			X
Châssis métalliques (amovibles)						XX
> Titane						
Couronnes, chapes, bridges	XXX	XXX	XXX			X
Implantologie (moignons, piliers...)		XX	XXX			X
Barres sur implants		X	XXX			X
Châssis métalliques (amovibles)						X

X = Peu adapté

XX = Adapté

XXX = Bien adapté

■ 2.4.1 Création des séquences de mise en forme

L'usinage est une technique de fabrication qui permet la mise en forme de tous les composants mécaniques des prothèses dentaires fixes et hybrides. Destinée au départ à la fabrication de prothèses céramo-céramiques, l'usinage demeure le seul moyen efficace à ce jour pour fabriquer des pièces en alumine, zircono et céramique.

Toutes les MOCN peuvent usiner de la zircono pré-frittée, des matériaux calcifiables et des plastiques pour les prothèses temporaires. Quelques machines, plus robustes, permettent d'usiner du titane, du cobalt-chrome et de la zircono frittée. (fig 22)

L'usinage est le moyen de fabrication qui offre la plus grande précision, ce qui en fait la technique la mieux appropriée à

la fabrication de composants pour les superstructures sur implants qui exigent une excellente passivité.

Le nombre de machines-outils adaptées à la production de restaurations dentaires a longtemps été limité aux offres de cinq sociétés, les machines faisant partie d'une solution de CFAO complète. Mais avec l'arrivée de logiciels de CAO ouverts, une vingtaine de machines d'usinage sont désormais commercialisées en France (Voir liens Internet p.52 - L'offre de machines d'usinage).



Fig 22. L'usinage est le seul moyen de fabrication "bonne matière" de tout matériau.

■ 2.4.1.1 Machines faisant partie d'une solution de CFAO complète

Au début des années 2000, les fournisseurs d'équipements pour laboratoires furent les premiers à proposer des machines avec une programmation d'usinage totalement automatisée, développées spécifiquement ou essentiellement pour la mise en forme d'armatures en zircon : Cercon de Dentsply Degudent, Cerec de Sirona et Everest de Kavo. Dans le même temps, des entreprises sont nées pour adresser le marché spécifique de la conception et fabrication d'armatures : DCS Dental avec son système Precident et Hint-Els avec DentaCAD. En 2006, DCS a été racheté par Bien-Air qui a arrêté la commercialisation de Precident et propose deux nouvelles machines : Mill200 pour l'usinage de matériaux tendres et Mill300 pour les matériaux durs. Wieland s'est aussi lancé dans la fourniture d'une solution complète de CFAO en intégrant le système de CAO de 3Shape avec des machines de conception Imes pour donner naissance à la gamme Zeno. A l'IDS 2009, l'entreprise a présenté la première machine de sa propre conception : la Zenotec T1, 4 ou 5 axes, avec une palettisation pouvant contenir 30 disques de matériaux différents en magasin.

Les solutions complètes offrent comme avantage de fournir une chaîne numérique sans rupture et des protocoles pré-définis allant de la conception à la finition de la prothèse ; elles sont donc plus faciles à mettre en œuvre, puisque prêtes à l'emploi. Le problème est de pouvoir rentabiliser un tel investissement avec un volume de production suffisant, ce qui est difficile avec une solution fermée si l'on n'est pas un "gros" laboratoire. Mais face à la concurrence des fabricants de machines pour l'industrie et à la pression des utilisateurs, les fournisseurs sont obligés de revoir leur modèle économique et ils commencent à

Evolution de l'offre de solutions CFAO complètes

Le système Cercon est toujours dédié à la fabrication d'armatures en zircon pré-frittée. Cerec permet d'usiner des armatures (5 éléments maxi) en alumine, zircon et céramique. Ces sociétés proposent d'autres matériaux en sous-traitance via leurs centres de production. Les autres systèmes offrent un panel plus large d'applications et de matériaux, allant jusqu'à l'usinage de titane et de cobalt-chrome. Everest est aujourd'hui le système le plus polyvalent, il couvre presque toutes les applications, hormis les barres, et propose un large choix de bruts à usiner (disque, bloc, barre, lingotin).

Ils commencent à s'ouvrir à des CAO concurrentes

Chez Dentsply, Kavo et Sirona les machines font toujours partie d'une solution complète de conception et de fabrication, allant du scanner jusqu'aux matériaux, mais d'ici à l'automne leurs clients auront la possibilité d'usiner des fichiers issus de la CAO de 3Shape.

Bien-Air et Hint-Els offrent déjà la possibilité d'usiner à partir de fichiers 3D STL, issus de toute CAO ouverte.

Le cas spécifique de 3M Espe

La société ne vend pas de machines, elle propose des franchises. Le laboratoire qui s'équipe d'une machine devient un centre d'usinage agréé Lava avec une zone de chalandise qui lui est réservée. De son côté, 3M Espe fait la promotion de sa marque de restaurations dentaires Lava auprès des cabinets, et elle vend des systèmes de CAO à des laboratoires se chargeant de la modélisation 3D des armatures puis de la finition de la prothèse. Le centre d'usinage équipé d'une machine Lava est donc un concessionnaire "Lava CFAO" qui n'usine que des armatures conçues chez lui ou venant d'agents "Lava CAO". (Infos 07/09)

s'ouvrir à d'autres CAO. Leur principal défaut demeure le coût souvent trop élevé des matériaux, mais là aussi, la concurrence joue en faveur de la baisse des prix.

■ 2.4.1.2 Machines totalement ouvertes

Avec l'arrivée des systèmes de CAO ouverts, des fabricants de machines, parfois sous l'impulsion d'intégrateurs, se sont lancés sur le marché du dentaire en adaptant des machines existantes. La principale adaptation consiste à équiper la machine d'un porte matériau spécifique (le plus souvent des disques) et d'un système d'aspiration dans le cas de l'usinage à sec.

Désormais, une quinzaine de machines sont commercialisées sur le marché français, y compris des machines robustes adaptées à l'usinage de matériaux durs (cobalt-chrome et zircon frittée) qui sont

essentiellement destinées aux centres de production. L'offre s'étend de machines d'usinage de matériaux tendres (de 40 à 85 k€) à des machines d'usinage de matériaux durs (de 90 à 170 k€). Les centres de production industriels recourent à des machines adaptées à la production en masse d'armatures, de piliers et de superstructures (de 140 à 350 k€). La plupart des machines sont livrées avec un logiciel de FAO intégré, mais l'utilisateur peut changer de logiciel ou compléter l'équipement avec un logiciel supplémentaire, par exemple pour étendre les domaines d'applications de la machine.

Outre l'avantage d'intégrer des logiciels de FAO capables de lire des fichiers STL ou STEP, la plupart de ces fabricants n'imposent pas ses matériaux. Au contraire, ils s'adaptent aux bruts de matériau les plus courants. Le principal avantage des machines totalement ouvertes est donc de pouvoir choisir ses fournis-

seurs de matériaux comme le font les centres de production industriels. Mais cela implique que vous définissiez vos protocoles de fabrication.

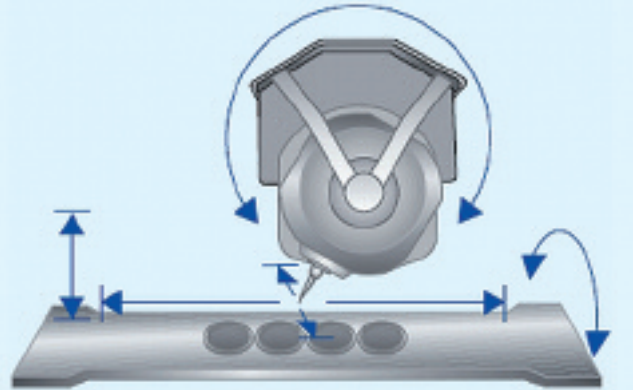
■ 2.4.1.3 Trois, quatre et cinq axes

Les machines 3 axes sont suffisantes pour usiner des couronnes, des chapes et des bridges. Le nombre d'éléments d'un bridge dépend du brut à usiner supporté par la machine. Elles permettent également d'usiner des barres à sens d'insertion simple.

Les machines 4 axes permettent d'étendre l'usinage à la fabrication de piliers.

L'usinage 5 axes est nécessaire pour usiner des suprastructures complexes, telles des barres à directions divergentes, et pour l'usinage en simultané d'une série de piliers. (fig 23)

Les capacités machines ne suffisent pas, encore faut-il avoir un logiciel de FAO capable de générer en automatique les programmes d'usinage à adresser au directeur de commande numérique de la machine, à moins que vous n'embauchiez un technicien FAO.



Mouvements possibles des axes :



les axes X, Y et Z définissent le déplacement horizontal et vertical dans l'espace.

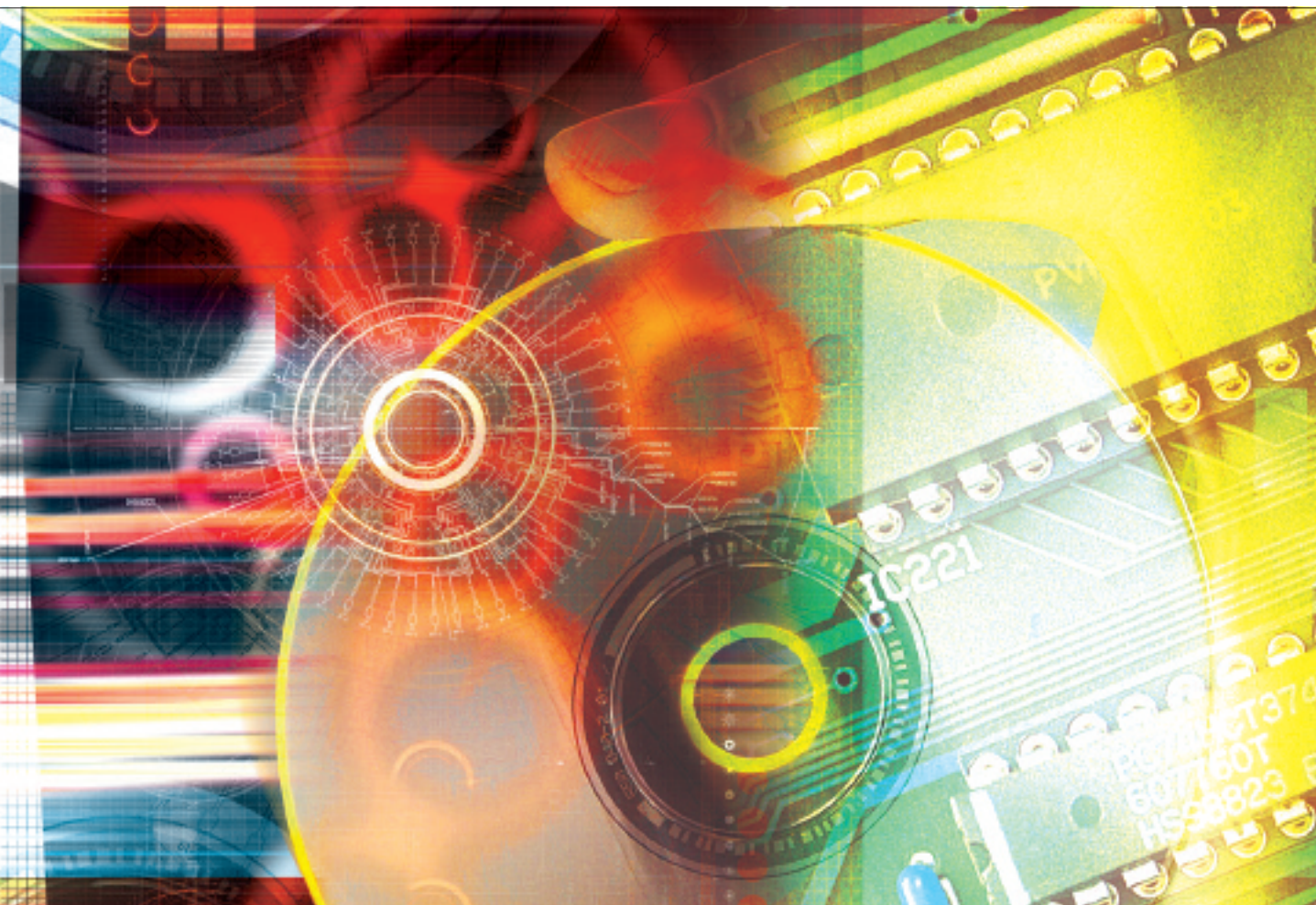


l'axe A correspond au positionnement de la barre d'usinage et à la rotation de la pièce.



l'axe B donne la rotation de la broche et de l'outil.

Fig 23. Exemple de mouvements 5 axes sur la machine Everest de Kavo.



■ 2.4.2 Fabrication Additive

La fabrication additive consiste à mettre en forme un objet par ajout de matière (par empilement de couches successives), contrairement à l'usinage qui met en forme un objet par enlèvement de matière. Le principal avantage de cette technique de fabrication est qu'elle permet de produire simultanément des pièces de morphologies différentes et de formes complexes. (fig 24)

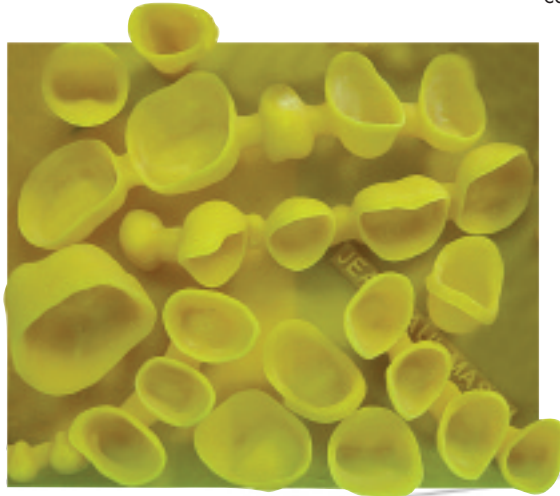
Née dans le début des années 80, cette technique a d'abord permis la mise en forme d'objets en résine photo-polymérisable qui ne pouvaient être destinés qu'à un usage de maquette pour la validation de forme. C'est pourquoi, on l'avait désigné par l'expression "prototypage ra-

pide". Depuis, les procédés, les matériaux et les technologies ont évolués. Tout d'abord, dès les années 80, les maquettes en résine sont utilisées comme modèles pour la fonderie à cire perdue. Puis les technologies mises en œuvre ont permis de fabriquer des prototypes fonctionnels en résine, en plastique, en métal et en céramique. Et aujourd'hui, il est devenu possible de fabriquer des pièces en plastique ou en métal dites en "bonne matière", c'est-à-dire à usage final et non plus à usage de prototype ou de modèle. On parle alors de "Fabrication Directe" car on forme une pièce directement à partir de sa représentation numérique 3D, sans passer par un moule ou par l'usinage d'un brut. (fig 25)

Une autre évolution, qui a notamment permis d'amener la fabrication additive vers la production de prothèses dentaires, est la simplification d'utilisation et la baisse de prix des machines, avec l'arrivée des "imprimantes 3D". Normalement, l'expression "imprimante 3D" désigne les machines de fabrication additive utilisant le même principe que l'impression par jet d'encre pour le dépôt sélectif, soit du matériau à l'état liquide, soit d'un liant venant agglomérer des poudres [voir fiche technique : impression 3D p.41]. Mais dans le langage usuel, l'expression "imprimante 3D" est utilisée pour désigner les machines de fabrication additive pouvant s'utiliser dans un environnement de bureau et permettant un rechargement facile du matériau, en remplaçant une cartouche ou en remplissant un bac.

Fig 24. Exemples de production d'armatures calcinables par fabrication additive avec la machine Perfactory DDP d'Envisiontec. Source : Euromax Monaco.

Fig 25. Exemples de production d'armatures calcinables par fabrication additive avec la machine Projet 3 000 DP de 3D Systems. Source : Byosys.



La seule technique de fabrication numérique de châssis

Compte-tenu de la forme complexe des châssis, l'usinage n'est pas un procédé de mise en forme approprié. La méthode de fabrication d'un châssis à partir d'une maquette numérique est la fabrication additive, principalement avec les imprimantes 3D de maquettes calcinables, mais il est également possible de produire des châssis directement en métal par procédé additif, avec les techniques de micro-fusion de poudres par laser. Les fabricants ne vendent pas leurs machines à ces fins car ils n'ont pas qualifié leurs procédés de fabrication pour ce type de produit, mais certains sous-traitants proposent ce service. La principale difficulté réside dans la métallurgie des crochets qui peuvent être cassants. (Infos 07/09)



Fig 26. Fabrication directe de châssis de prothèse mobile par micro-fusion laser sur machine PM100 Dental de Phenix Systems. Source : Dentinov.

■ 2.4.2.1 Fabrication de maquettes calcinables

La fabrication additive de maquettes calcinables est la technique de fabrication numérique la plus simple d'emploi. Elle permet le modelage de toutes les maquettes 3D créées en CAO, quelques soient leurs formes, avec une précision machine de 20 à 50 µm. La fabrication additive est d'ailleurs la seule technique éprouvée pour produire les maquettes calcinables de châssis à partir de leur modélisation numérique.

Cette technique s'inscrit dans les procédés traditionnels de fabrication métallique par fonderie à cire perdue et de fabrication de céramiques par pressage, ce qui en fait le seul moyen de fabrication additive polyvalent. Pour la production d'armatures, les gains de productivité sont discutables, ils sont essentiellement du côté de la CAO, notamment lors du maquetage des couronnes et des bridges à longue portée. Par ailleurs, les utilisateurs déclarent obtenir des pièces coulées avec un meilleur état de surface. Le gain de précision procuré par l'utilisation de la CAO couplée à la fabrication numérique est aussi à prendre en compte.

Deux techniques de modelage numérique sont proposées :

- **impression 3D** : modelage par dépôt sélectif en jets multiples d'une cire durcie par chauffe ou d'une résine photosensible liquide durcie par polymérisation UV,
- **stéréolithographie** : modelage par polymérisation UV sélective d'un mélange cire et résine liquide photosensible contenue dans une cuve.

[Voir fiches techniques p.40].

Une offre restreinte

La première application d'une imprimante 3D pour la production dentaire a été commercialisée par Cynovad (un des pionniers de la CFAO dentaire qui vient de disparaître) avec la machine d'impression 3D de cire lancée par 3D Systems : la machine Thermojet que Cynovad avait rebaptisée NeoPrint.

Seules trois marques d'imprimantes 3D adaptées à la production de maquettes calcinables pour le dentaire sont disponibles à ce jour sur le marché français : la machine ProJet 3000 DP (remplaçante de l'InVision) de 3D Systems, les machines Perfactory DDP et Desktop d'Envisiontec, et les machines D66 et D76 de Solidscape. Les deux premières offrent une bonne productivité mais le manque de concurrence fait que ces machines sont relativement chères, sachant qu'en plus les prix des machines sont majorés de l'ordre de 10 000 à 15 000 € quand elles sont vendues dans le dentaire (compter environ 100 000 € TTC pour une machine).

Il existe d'autres imprimantes 3D sur le marché mais leurs fabricants ne proposent pas de matériau qualifié pour une utilisation en fonderie. De ce fait, elles ne sont pas adaptées à la production de maquettes calcinables. L'israélien Objet Geometries, dont l'imprimante 3D Eden présente un bon rapport qualité/prix, travaille au développement d'un matériau calcinable qui devrait être disponible dans les prochains mois. Une jeune société française, Phidias, vient de mettre au point une nouvelle technique de stéréolithographie par UV sélectif, une machine de mise en forme de résine calcinable pour le dentaire est en cours de développement. (Infos 07/09)

■ 2.4.2.2 Fabrication directe d'armatures métalliques

La fabrication directe utilise le même processus numérique que l'impression 3D (mise en forme couche par couche à partir de la stratification de la maquette virtuelle), sauf qu'au lieu de fabriquer des maquettes en cire ou en résine calcinable, on fabrique directement des armatures en métal, essentiellement en cobalt-chrome. (fig 26)

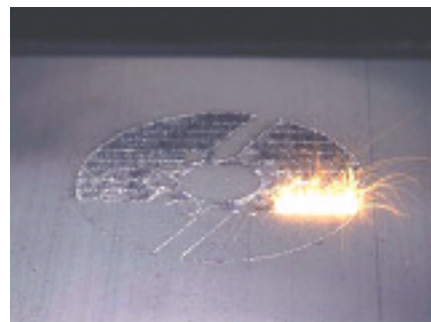


Fig 27. Vu du procédé de micro-fusion sélective de poudre par laser en cours de fabrication. Source : UTBM-LERMPS.

En 2003, la fabrication additive a fait une avancée importante avec la micro-fusion de poudres métalliques par laser ou par faisceau d'électrons. Le procédé consiste à fondre la poudre selon les paramètres géométriques définis à partir d'un fichier CAO, puis la poudre fondue est solidifiée rapidement formant des cordons de matière solide.

[Voir fiche technique : micro-fusion laser p.44]

De toutes les techniques de fabrication additive, la fabrication directe, par frittage ou micro-fusion de poudres, est sans nul doute celle qui a le plus de devenir pour la fabrication d'armatures et de châssis en métaux durs car elle est parfaitement adaptée à la production de masse personnalisée, plus rapide et plus rentable que le procédé de fonderie ou d'usinage.

Pour l'instant, on ne recourt pas à la fabrication directe pour la mise en forme de pièces en céramique, mais des laboratoires de recherche, des fabricants de machines et des entreprises de sous-traitance en fabrication additive y travaillent pour répondre à la demande de l'industrie aéronautique et du médical.



Fig 28. Exemple de production d'armatures en Co-Cr.
Source : Phenix Systems.

Fabrication directe : la technologie des centres de production

La plupart des centres de production adoptent cette technique pour produire les armatures en Co-Cr. Bego a été le premier à recourir à ce nouveau procédé de fabrication rapide, dès la naissance de la technologie de micro-fusion laser en 2003. Sirona a suivi en 2006 et Degudent s'y est mis aussi plus récemment. Quelques laboratoires de prothèses dentaires ont aussi créés des structures de sous-traitance de fabrication directe en Co-Cr. Tout d'abord MG Prod puis Dentinov, et actuellement on compterait une dizaine de sous-traitants. Tous utilisent des machines de frittage laser de Phenix Systems. (fig 28)

Chez les sous-traitants industriels, MB Proto a été le premier prestataire de services de Prototypage Rapide a proposé en France des services de fabrication métallique par micro-fusion laser. L'entreprise a développé une machine spécifique dédiée au dentaire sur la base de la technologie Realizer de MTT Technologies (ex. MCP-HEK), puis elle a créé la société Odenis Dental Systems. Parmi les autres centres de production industriels adressant les prothésistes dentaires, les sociétés Nobil Metal (Italie) et Simea Medical (Luxembourg) recourent aussi à la fabrication directe pour leurs productions en Co-Cr.

A ce jour, seul le centre de production de Bego recourt à la micro-fusion laser pour la fabrication directe d'armatures en titane. En France, la jeune société Poly-Shape est le premier sous-traitant en fabrication directe métallique à proposer la fabrication de composants en titane pour le médical. Aux États-Unis, la société Prometal, fabricant d'une machine d'agglomération de poudres métalliques par impression 3D, a créé un service de fabrication directe d'armatures en or. (Infos 07/09)

■ 2.4.2.3 Fabrication directe de prothèses fixes temporaires

Le marché de la fabrication additive de prothèses temporaires est un marché naissant. Son évolution est liée à la disponibilité de biomatériaux compatibles avec les procédés de modelage.

A moins d'en faire une activité à part entière (activité de sous-traitance), cette technique de fabrication ne peut-être retenue que si l'on utilise une machine polyvalente, c'est-à-dire une machine capable de mettre en œuvre à la fois un matériau calcinable et un matériau biocompatible, avec un passage rapide d'un matériau à l'autre. Les procédés de mise en œuvre utilisant des techniques dont les matériaux ne sont pas mis en contact avec les équipements de construction sont donc les plus appropriés.

La première offre pour le dentaire

Le domaine de la prothèse auditive a été le premier à adopter la fabrication directe comme moyen de production en série de prothèses personnalisées. Plusieurs fabricants de machines de fabrication additive ont mis au point des matériaux biocompatibles : 3D Systems, EOS, Envisiontec, Objet Geometries et Stratasy. La première application pour le dentaire a été présentée à l'IDS 2009 chez Envisiontec, avec la fabrication directe de prothèses temporaires sur la machine Perfactory DDP, en utilisant un élastomère photosensible. (Infos 07/09)

■ 2.4.2.4

Fabrication de modèles et de dies

Comme décrit dans la numérisation intra-buccale, la prise d'empreintes numériques directement en bouche va nécessiter la fabrication de modèles physiques à partir de modèles virtuels. La fabrication additive est la technique de modelage la mieux adaptée. (fig 29)

3M Espe, qui s'oriente vers un processus numérique sous son contrôle, a prévu de créer des unités de production de modèles équipées de machines de stéréolithographie Viper Pro SLA de 3D Systems. Le processus prévu est le suivant : le dentiste envoie ses empreintes numériques au prothésiste et en parallèle à 3M Espe qui se charge de la fabrication des modèles et les envoie au prothésiste.

Mais les systèmes de numérisation intra-buccale ne seront pas tous captifs. Itero, par exemple, a passé des accords avec 3Shape et Dental Wings pour créer une chaîne numérique sans rupture entre la numérisation intra-buccale avec son système Cadent et les logiciels de CAO de ces deux éditeurs. Les prothésistes seront donc amenés à fabriquer eux-mêmes des modèles ou à sous-traiter



Fig 29. Modèle physique d'occlusion modelé par fabrication additive à partir d'une modélisation 3D. Source : 3Shape.

leur fabrication à des prestataires de services de prototypage rapide. Plusieurs procédés de fabrication additive peuvent être envisagés : agglomération de poudres, impression 3D, dépôt de matière en fusion, stéréolithographie...

Outre la précision dimensionnelle, l'important sera d'utiliser des machines dont les procédés fournissent un bon état de surface et dont la capacité de production est adaptée aux besoins (nombre de modèles à produire), sans oublier la vitesse de construction.

■ 2.4.2.5 Fabrication de guides implantaires

Pour l'instant, le marché des guides implantaires est un marché captif. Mais lui aussi s'ouvrira ; tout comme les prothésistes, les chirurgiens-dentistes qui pratiquent la chirurgie implantaire assistée par ordinateur (CIAO) plébiscitent l'ouverture des systèmes. Les logiciels de CIAO reposant sur la modélisation par triangulation, là aussi différents procédés de fabrication additive sont possibles, sachant que plusieurs fabricants de ma-

chines proposent des matériaux biocompatibles.

■ 2.4.2.6 Fabrication de gouttières orthodontiques

Une société américaine a mis au point un procédé de fabrication de gouttières orthodontiques qui s'appuie sur la fabrication additive afin de produire la série de modèles utilisés pour le formage des gouttières en biomatériau.

On s'aperçoit que la fabrication additive offre des possibilités là où l'usinage n'est pas un mode de fabrication possible ou rentable. En effet, la mise en forme de modèles directement à partir de fichiers CAO (sans recourir à la programmation d'usinage) et les économies de matière rendent possible l'automatisation de certaines tâches manuelles à un coût compétitif.

2.5 CFAO et standards numériques

■ 2.5.1 Standard STL

Le format de fichier 3D STL est né il y a un peu plus de 20 ans, avec l'arrivée des techniques de fabrication additive par empilement de couches 2D. La première technique, commercialisée par la société 3D Systems, fût la stéréolithographie (technique de polymérisation de résine par laser) d'où l'abréviation STL. Depuis, le format STL est devenu un standard de facto industriel pour la production par procédés additifs de prototypes, d'outillages et de pièces, à partir de représentations 3D par triangulation. Les systèmes de numérisation 3D, utilisés en début de chaîne numérique par les prothésistes pour digitaliser les modèles en plâtre réalisés à partir des empreintes dentaires du praticien, ou pour digitaliser directement l'empreinte, génèrent un maillage de points. Puis, les points sont reliés entre eux pour constituer un modèle 3D par triangulation. Le modèle 3D, assimilé à un ensemble de polygones, est décrit par la liste des sommets et des arêtes. L'orientation des polygones permet de différencier l'extérieur et l'intérieur du modèle. La liste des sommets, des arêtes et de leur orientation est écrite en code Binaire ou ASCII pour être trans-

férée vers les logiciels de modélisation 3D, sous le nom de format de fichier STL. Dans le cas de la numérisation 3D intrabuccale, le contexte technique reste le même. Il s'agit toujours d'un procédé qui génère un maillage de points reliés entre eux pour constituer une modélisation 3D par triangulation.

Le fichier de polygones, généré à partir du maillage de points acquis lors la capture 3D (fichier STL), est ensuite importé dans le logiciel de CAO dentaire pour concevoir les restaurations. La plupart des logiciels de CAO dentaire, et c'est le cas des logiciels les plus répandus, utilisent un noyau graphique de modélisation polygonale ce qui leur permet d'exploiter directement les données issues de la numérisation 3D. Les fichiers exportés par la plupart des logiciels de CAO dentaire sont donc "nativement" des fichiers au format STL.

■ 2.5.2 Norme STEP

La norme STEP (norme pour l'échange de données de produit - Standards for the Exchange of Product data), est la norme d'échange de données de produit en vigueur dans l'industrie. Elle fournit un mécanisme qui est capable de décrire

les données de produit sur l'ensemble du cycle de vie, indépendamment du système employé. De par sa nature, cette description est adaptée non seulement à l'échange de fichiers neutres, mais également comme base pour appliquer et partager des bases de données de produits et pour l'archivage. La recherche d'échanges efficaces de données à l'aide de STEP a conduit à des améliorations des algorithmes centraux de modélisation des systèmes en CAO, à des modèles de pratiques de développement et à la qualité d'ensemble des données de produit.

■ 2.5.3 Norme DICOM

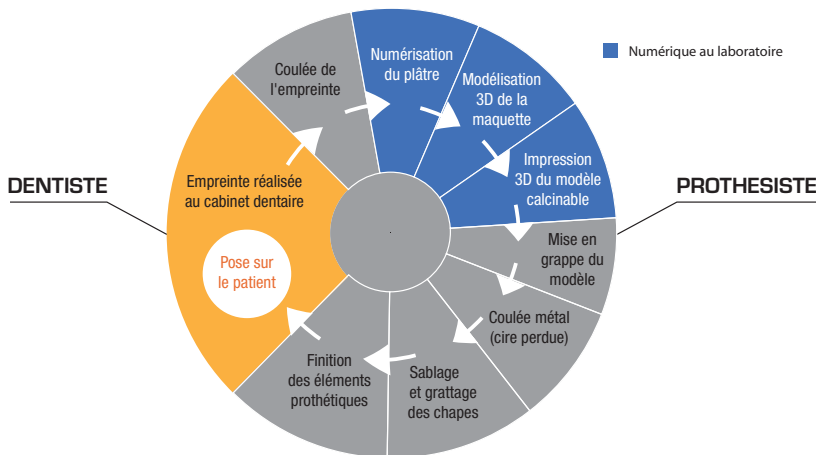
DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine - imagerie numérique et communications en médecine) est une norme qui vise à réglementer le format des images médicales à des fins de transfert. Des travaux sont en cours pour créer la norme DICOM 3D visant à réglementer la génération de modélisations 3D à partir d'images DICOM. La dentisterie commence à adopter la norme DICOM 3.0 pour l'imagerie numérique dentaire, mais elle n'est pas encore répandue uniformément.

3. Les processus CFAO

Les solutions de CFAO couvrent actuellement 4 familles de produits : prothèses fixes, prothèses mobiles, prothèses fixes sur implants (collées ou visées), prothèses mobiles sur implants (emboîtées). Pour chaque famille de produits, les procédés de fabrication diffèrent mais les processus numériques restent sensiblement les mêmes : numérisation 3D des modèles ou des empreintes, modélisation 3D de l'armature ou de la dent complète (armature + cosmétique) et fabrication à partir de maquettes numériques ; fabrication de maquettes en résine pour la fonderie à cire perdue ou fabrication en bonne matière, par usinage (tous matériaux) ou par procédé additif d'impression 3D, de stéréolithographie (résine calcinable), et de micro-fusion laser de poudres métalliques (cobalt-chrome).

Aujourd'hui, il n'y a pas de continuité dans la chaîne numérique entre le praticien et le prothésiste. Même dans le domaine de l'implantologie dentaire où de plus en plus de praticiens utilisent des logiciels d'implantologie assistée par ordinateur, le prothésiste travaille toujours à partir d'une empreinte physique. L'arrivée de la numérisation 3D intra-buccale et les avancées de l'imagerie médicale 3D devraient résoudre ce problème de rupture dans la chaîne numérique dentaire.

3.1 Fabrication de modèles calcinables



Avec ce processus numérique, seul le travail des maquetristes est assisté par ordinateur. Ce processus permet de bénéficier des avantages de la CAO avec des gains de qualité et de productivité en modelage et fabrication de wax-up mais les gains de productivité en métallurgie sont faibles.

1/ Composants CFAO mis en œuvre

- ▶ Scanner 3D pour la numérisation des préparations en plâtre.

- ▶ Logiciel de CAO pour la modélisation des restaurations.
- ▶ Système de fabrication des maquettes calcinables :
 - imprimante 3D : modelage directement à partir du fichier STL issu du logiciel de CAO,
 - ou machine-outil à commande numérique avec logiciel de FAO,
 - pour générer le programme d'usinage à partir de la modélisation 3D.

2/ Types de réalisations

- ▶ Fabrication additive : tous les modèles calcinables, y compris les châssis de prothèses dentaires mobiles, dans la limite d'une précision machine de 20 à 50 µm.
- ▶ Usinage : tous les modèles calcinables pour prothèses dentaires fixes et hybrides, avec une précision machine de 5 à 20 µm.

3/ Matériaux mis en forme

- ▶ Cire, résine ou élastomère calcinables.

4/ Avantages

- ▶ Gains de temps en modelage des calcinables, surtout pour la production de châssis de prothèses mobiles.
- ▶ Gain de temps en post-traitement des pièces issues de la fonderie (très peu de grattage)
- ▶ Economie de matériaux de l'ordre de 50% lors de la réalisation des châssis.
- ▶ Amélioration de la précision des restaurations, avec une constance dans la qualité et les exigences de chaque praticien.

► Possibilité de mettre œuvre tous les matériaux par les procédés de fonderie et de pressage maîtrisés au laboratoire.

5/ Inconvénients

► Gains de productivité limités pour la fabrication de prothèses fixes et hybrides.

► Coûts élevés des machines et des matériaux, ce qui réduit les gains liés au temps de modelage.

3.2 Fabrication bonne matière

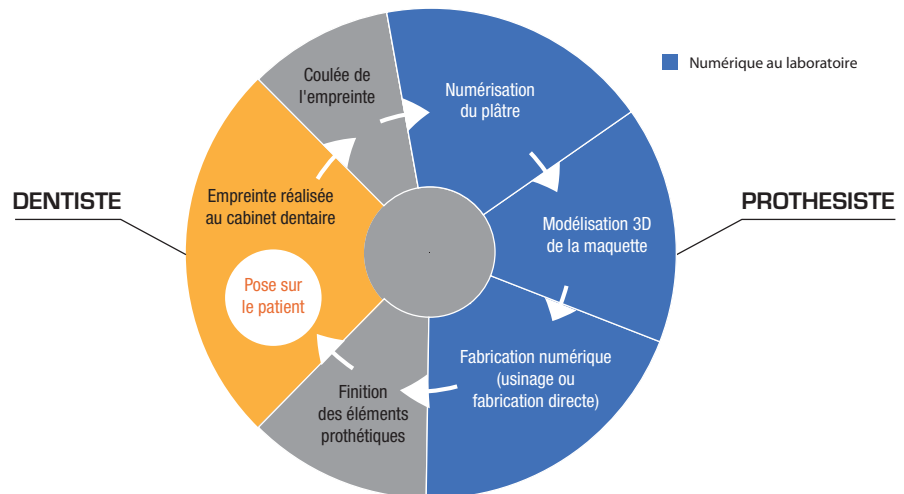
Ce processus numérique est celui qui permet réellement l'industrialisation de la production de structures de prothèses dentaires, en automatisant la fabrication grâce à une chaîne numérique allant de la numérisation du modèle en plâtre jusqu'à la fabrication des structures en bonne matière.

1/ Composants CFAO mis en œuvre

- Scanner 3D pour la numérisation des préparations en plâtre.
- Logiciel de CAO pour la modélisation des restaurations.
- Système de fabrication de composants en bonne matière :
 - machine de frittage ou micro-fusion laser : fabrication directe à partir du fichier STL issu du logiciel de CAO,
 - ou machine-outil à commande numérique avec logiciel de FAO pour générer le programme d'usinage à partir de la modélisation 3D.

2/ Types de réalisations

- Fabrication additive : technique éprouvée de fabrication de couronnes, chapes et bridges pour prothèses scellées, dans la limite d'une précision machine de 20 à 50 µm ; possibilité de fabriquer des châssis métalliques de prothèses mobiles.
- Usinage : tous les composants pour prothèses dentaires fixes et hybrides, avec une précision machine de 5 à 20 µm.



3/ Matériaux mis en forme

- Fabrication additive : cobalt-chrome.
- Usinage : tous les matériaux mis en œuvre pour la production d'armatures de prothèses dentaires : alumine, céramique, cobalt-chrome, titane, zircon

4/ Avantages

- CAO : gains de temps en conception et amélioration de la précision.
- Gains de productivité importants par la suppression de la chaîne fonderie : automatisation de la fabrication avec très peu de post-traitement.
- Usinage : santé métallurgique et précision optimale des restaurations sur

implants exigeant une excellente passivité.

5/ Inconvénients

- Fabrication additive : processus limité à un seul matériau et à la fabrication d'armatures de prothèses fixes (scellées).
- Usinage : coûts des bruts à usiner ainsi que des outils coupants pour l'usinage de matériaux durs.
- Le prix élevé des machines rend l'investissement risqué, difficile à amortir, chez la plupart des laboratoires de prothèses dentaires de par leur taille et donc leur volume de production.

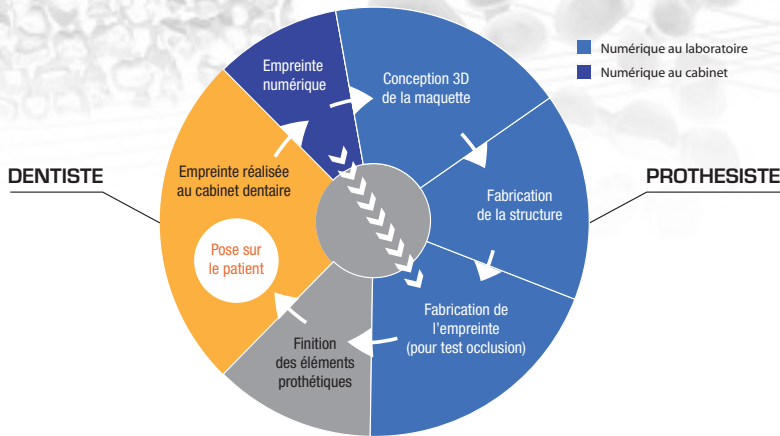
3.3 Processus en cours d'initiation

Ce processus est celui qui s'initie actuellement dans l'activité dentaire. Le prothésiste démarre son travail à partir de la représentation 3D de l'empreinte réalisée chez le dentiste,

par numérisation intra-buccale ou par numérisation de l'empreinte physique.

Les processus de conception et de fabrication des structures au sein du labora-

toire restent les mêmes, selon les deux processus de fabrication décrits précédemment. Par contre, la disparition de la préparation en plâtre pose problème. Trois possibilités sont à envisager : conti-



nuer à produire des modèles en plâtre, produire des modèles par fabrication numérique ou ne plus produire de modèles. Dans le cas de la numérisation d'une empreinte physique, le prothésiste va pouvoir démarrer sa conception dès réception du fichier 3D de l'empreinte, puis deux processus sont à envisager pour la validation d'occlusion lors la pose du cosmétique de finition :

- a) il recevra l'empreinte physique qui lui permettra de réaliser le modèle en plâtre,
- b) il réalisera le modèle par fabrication

numérique (fabrication additive ou usinage).

Dans le cas de la numérisation intra-buccale, seul le processus b) est envisageable.

Lors de la fabrication totalement automatisée d'une restauration (fabrication numérique de la structure et du cosmétique), la réalisation de modèles pour les tests d'occlusion ne s'impose pas pour les cas simples. En effet, les logiciels de CAO permettent une validation numérique de l'occlusion. Pour les cas complexes, il va falloir attendre des progrès

en simulation numérique de l'anatomie occlusale et une interopérabilité entre les outils numériques du prothésiste et ceux du dentiste.

1/ Composants CFAO mis en œuvre

- ▶ Logiciel de CAO pour la modélisation des restaurations.
- ▶ Système de fabrication des maquettes calcinables ou des structures en bonne matière.
- ▶ Système de fabrication des modèles se substituant aux préparations en plâtre.

2/ Avantages

- ▶ Plus besoin de scanner 3D.
- ▶ Mise en place d'une chaîne numérique sans rupture, de la prise d'empreinte à la prothèse dentaire.
- ▶ Réduction significative du délai de la réhabilitation dentaire.

3/ Inconvénients

- ▶ Nécessité d'un équipement de fabrication des modèles pour la validation d'occlusion.
- ▶ La fabrication des modèles par usinage ou procédé additif à la place des préparations en plâtre va augmenter le coût de revient de la restauration.

3.4 Perspectives en implantologie

Pour les cas complexes de réhabilitation dentaire sur implants, les dentistes recourent aussi à des technologies numériques de reconstruction, de modélisation et de simulation en trois dimensions pour leurs études cliniques d'implantologie, de stomatologie et de chirurgie maxillo-faciale. Comme expliqué dans la reconstruction 3D par radiographie panoramique (Voir p.9), il est possible de simuler virtuellement des mouvements mandibulaires ainsi que des déplacements des deux arcades de manière à optimiser les contacts occlusaux.

Le couplage de la reconstruction 3D de l'anatomie occlusale à partir de l'imagerie médicale avec la simulation 3D de l'articulation orale et de l'occlusion dentaire laisse entrevoir la possibilité de concevoir et de valider des restaurations prothétiques dans un environnement totalement virtuel, sans aucun moulage.

Reste donc à intégrer les deux processus numériques praticien/prothésiste, de la chirurgie et de la technicité dentaire, pour aboutir à une chaîne numérique de réhabilitation orale sans rupture, depuis l'étude clinique jusqu'à la fabrication de

la prothèse dentaire. En orthodontie, ce cap a été franchi, comme décrit dans la conception d'appareils orthodontiques (Voir p. 14).

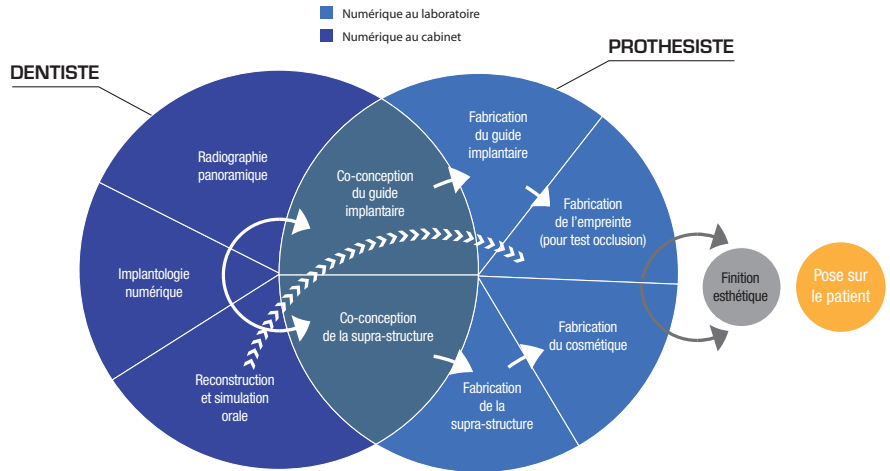
L'adoption massive des technologies numériques d'imagerie, de modélisation, de simulation et de contrôle, tant chez les dentistes que chez les prothésistes, va favoriser l'interopérabilité entre les outils numériques des deux parties, et donc rendre possible la co-conception entre les deux acteurs historiques de la réhabilitation dentaire.

1/ Composants numériques mis en œuvre

- ▶ Chez le dentiste
 - Système de radiographie numérique panoramique.
 - Logiciel de reconstruction 3D de l'anatomie occlusale.
 - Logiciels de simulation et de placement des implants.
- ▶ Chez le prothésiste
 - Logiciel de modélisation 3D des restaurations.
 - Logiciel de simulation de l'articulation orale et de l'occlusion dentaire.
 - Système de fabrication des structures en bonne matière.
 - Système de fabrication des modèles de validation d'occlusion lors de la pose manuelle du cosmétique de finition esthétique.

2/ Avantages

- ▶ Pour les cas complexes, chirurgiens



dentistes et maîtres prothésistes travailleront en étroite collaboration pour apporter la meilleure solution de réhabilitation au patient.

▶ La proximité culturelle et géographique sera un atout face à la concurrence des industriels du dentaire.



1. Aide au choix

Une fois la décision d'investir prise, vous devez tout d'abord décider :

- ▶ Quelle(s) restauration(s) industrialiser ?
- ▶ Quel(s) processus automatiser ?
- ▶ Avec quel(s) procédés, quelle(s) technologie(s) ?
- ▶ Avec quel(s) équipement(s) ?
- ▶ Chez quel(s) fournisseur(s) ?

La CFAO a pour but d'accroître la compétitivité de l'entreprise. L'investissement doit être compensé par des bénéfices en termes de délai, de qualité et de coûts.

1.1 Quelle(s) restauration(s) industrialiser ?

Votre décision doit être guidée par vos principales activités et vos volumes de production.

Le coût d'un poste CAO, scanner plus logiciel de CAO, est compris entre 20 000 et 35 000 €, au quel il faut ajouter environ 5 000 € par licence CAO supplémentaire. C'est un investissement conséquent, surtout pour une petite entreprise. Il serait donc dommage de faire un tel investissement pour limiter l'utilisation du système à un produit, surtout si le produit en question ne représente qu'un faible pourcentage de votre activité. Ceci est d'autant plus vrai si vous décidez d'acquérir également un équipement de production, qui lui coûte entre 40 000 et 170 000 €, voir plus. C'est pourtant ce qui s'est passé avec les investissements dans des solutions de conception et de fabrication limitées à la production de chapes et de bridges en zircon. Cela explique sûrement le fait que le chiffre d'affaire réalisé avec la CAO ne représente que 3,5% du chiffre d'affaires de l'activité de prothèses dentaires en France, selon la dernière étude de branche de l'UNPPD, alors que 16% des laboratoires sont équipés.

Vous ne devez pas investir dans un système de CAO ou CFAO parce que vous n'avez pas le choix, par exemple : « je dois pouvoir produire des armatures en zircon ». Vous devez investir parce que vous avez la volonté d'améliorer votre compétitivité. Vous devez donc quantifier précisément vos volumes de production annuelle pour chacun de vos produits. Puis vous assurer que le choix que vous ferez permettra d'accroître votre performance globale d'entreprise. Vous devez limiter vos investissements aux matériels dont vous savez disposer du taux de charge pour les rentabiliser. L'offre de systèmes de CAO vous permet d'externaliser en partie ou en totalité la fabrication de vos conceptions CAO. N'investissez dans une machine que si vous avez calculé que le prix de revient de vos produits sera moins élevé que l'achat en sous-traitance.

La bonne démarche pour une industrialisation de vos activités techniques est de considérer que la CAO doit devenir le principal outil de conception des prothèses dans le laboratoire, et non l'outil réservé à un maquettiste ou à une seule famille de structures. Cette approche vous permettra aussi de tirer parti de

votre outil de fabrication numérique, pour peu qu'il soit polyvalent.

L'industrialisation du laboratoire doit être progressive. Une bonne stratégie pour démarrer peut consister à s'équiper d'un système de CAO répondant aux principaux besoins du laboratoire et de sous-traiter la fabrication. Puis dans un deuxième temps vous faites l'acquisition du moyen de fabrication dont vous avez validé, par expérience, que les coûts de production en interne sont avantageux par rapport à de la sous-traitance.

Outre une migration en douceur d'une activité artisanale vers une activité semi-industrielle, un des avantages de cette démarche est de vous permettre de tester différents procédés de mise en forme, de comparer les résultats selon les techniques de fabrication utilisées (usinage ou fabrication additive), et d'effectuer l'achat d'une machine en utilisateur averti.

En résumé, la bonne question n'est pas : quelle(s) restauration(s) industrialiser ? Mais plutôt : quelles restaurations sont industrialisables ? Et quelle stratégie d'industrialisation adopter ?

1.2 Quel(s) processus automatiser ?

CAO ou CFAO ? Votre décision doit être guidée par vos volumes de production et vos capacités d'investissement.

Plusieurs cas de recours à la CFAO sont possibles :

- ▶ Conception en interne et fabrication sous-traitée.
- ▶ Conception en interne et fabrication mutualisée.
- ▶ Conception et fabrication en interne.
- ▶ Conception en interne avec un mixte de fabrication en interne et externalisée.

Nous nous attachons ici à répondre à la question pour ceux dont l'objectif est de couvrir les besoins de production de leur laboratoire. Il va de soit que pour ceux qui souhaitent mettre en place une activité de sous-traitance, le choix portera sur des moyens de fabrication en interne. On constate aussi que des laboratoires choisissent de s'équiper d'un système complet de CFAO en cumulant leur production interne à une activité de sous-traitance. Attention ! Ceux qui misent sur ce modèle économique sont de plus en plus nombreux et à force il n'y aura pas de travail en sous-traitance pour tout le monde. Si telle est votre stratégie, privilégiez des partenariats avec des confrères plutôt que de risquer votre rentabilité sur un chiffre d'affaires aléatoire. La sous-traitance est une activité à part entière, pour laquelle vous devez prévoir des ressources dédiées et une organisation spécifique.

■ 1.2.1 Conception en interne et fabrication sous-traitée

Si vous ne disposez pas d'un volume de production suffisant, vous devez vous équiper d'un système de CAO et sous-traiter la fabrication. Il n'y a aucun intérêt à s'équiper d'un système de fabrication si le coût de revient en interne d'une fabrication est plus élevé que celui que vous propose un sous-traitant, coût de main d'œuvre y compris. Pour les prothésistes indépendants, voire

les très petites entreprises, cette formule permet de se consacrer aux activités à forte valeur ajoutée et d'externaliser les tâches moins rentables.

■ 1.2.2 Conception en interne et fabrication mutualisée

Le principe consiste à se regrouper pour créer un centre de production dédié au collectif. Dans le cadre d'un regroupement de proximité, il est même envisageable de mutualiser les équipements de numérisation 3D. Ainsi, pour certains prothésistes, l'investissement pourra se limiter à l'achat d'un logiciel de CAO ce qui rend la technologie numérique accessible à tous. Et la production de chaque prothésiste, même indépendant, contribuera à accroître la compétitivité globale du centre de production, et donc la compétitivité de chacun.

C'est le choix le plus judicieux pour un grand nombre de laboratoires car il permet au collectif de profiter des meilleurs coûts ; le volume cumulé de production profite à tous. En effet, la principale variable du coût de revient des fabrications est le prix de la machine ; plus on augmente le taux de charge d'une machine, moins le coût de la machine impacte le prix des pièces fabriquées. De même, le prix d'achat des matériaux est dégressif plus on augmente la quantité commandée. De plus, l'achat collectif des équipements de CAO vous permettra de négocier le prix des équipements. Toutefois, l'approche collective ne doit pas se traduire par l'achat du même système de CAO pour tous les membres du groupe. Chacun doit choisir la CAO qui répond le mieux à ses attentes, à son intuition face à l'outil. C'est pourquoi, vous devez favoriser l'achat d'un ou plusieurs systèmes de fabrication capables de recevoir des fichiers de divers logiciels de CAO.

Un autre avantage de la mutualisation des équipements de fabrication est la possibilité de choisir les équipements les

plus compétitifs pour chacune des applications. Imaginons un groupement cumulant en moyenne plus de 200 éléments en cobalt-chrome et plus de 50 éléments en zircone par jour. Il pourra s'équiper de deux machines, chacune dédiée à un matériau. Si en plus le collectif œuvre dans le domaine de l'implantologie, il pourra acquérir une machine-outil à 5 axes pour l'usinage des composants en titane, y compris les barres. Dans ce cas, il faudra davantage de compétences en CFAO mécanique. Or, l'autre intérêt de la mutualisation, c'est que le groupement pourra se permettre d'embaucher du personnel qualifié en usinage et/ou fabrication additive venant de l'industrie mécanique.

Plusieurs formes juridiques sont possibles pour créer un groupement d'entreprises ; la plus courante est le GIE : Groupement d'Intérêt Économique. Il permet de créer rapidement une structure fiable pour toutes sortes de mises en commun entre TPE ou PME. Sachez que même les plus grandes entreprises de l'industrie aéronautique et automobile créent des GIE pour mettre en commun des ressources technologiques très onéreuses.

■ 1.2.3 Conception et fabrication en interne

Si vous disposez d'un volume de production qui le justifie, vous pouvez choisir de vous équiper d'un équipement de CFAO complet. Pour le système de fabrication, deux options sont possibles :

- a) choisir un système polyvalent qui répond à l'ensemble des réalisations automatisées, ce qui impliquera une organisation rigoureuse des temps d'occupation de la machine pour chaque type d'application,
- b) choisir un système de fabrication par type d'application et/ou de matériau, ce qui implique que vous ayez des volumes de production qui vous permettent de rentabiliser chaque équipement.

■ 1.2.4 Conception en interne avec un mixte de fabrication en interne et externalisée

C'est certainement la formule la plus efficace pour les laboratoires de taille moyenne. Vous pouvez par exemple vous équiper d'un système de CFAO complet pour l'activité dont vous disposez d'une production interne qui assure

un bon taux de charge de la machine et externaliser vos autres fabrications. Ainsi, vous vous équipez de la machine la plus compétitive par rapport à votre principal besoin pour vous assurer de sa disponibilité permanente. Pour les productions externalisées, vous pouvez choisir de les sous-traiter ou de vous associer à un collectif de mutualisation de ressources.

Cette formule est celle que proposent notamment la plupart des fournisseurs d'équipements pour laboratoires. Souvent, ils proposent la vente d'un système d'usinage de matériaux tendres et un service de sous-traitance des fabrications en matériaux durs, pour compléter la production par fonderie du laboratoire.

1.3 Système ouvert ou système fermé ?

Une fois la décision prise de vous équiper en CAO ou en CFAO, c'est certainement la deuxième question que vous vous poserez. La meilleure réponse est : système intégré.

Intégration : c'est le mot clé pour un processus prothétique de bout en bout, sans rupture numérique.

■ 1.3.1 Premier cas : vous avez choisi de vous équiper d'un système de conception et de sous-traiter la fabrication

Si vous avez choisi de sous-traiter la fabrication de vos conceptions, vous devez décider si vous donnez la priorité au choix ① du fabricant (sous-traitant) ou ② du système de CAO (numérisation et modélisation 3D).

■ 1.3.1.1 Priorité au choix du fabricant

Si vous choisissez de collaborer avec un centre de production imposant son système de conception, votre choix doit avant tout s'opérer sur les services. Vous devez d'abord comparer l'étendue des services proposés (types de réalisations, matériaux, délais, qualité, garanties...) et leurs prix (frais de livraisons compris). Seulement après, vous devez comparer les systèmes de CAO proposés par les centres de production pré-sélectionnés, pour analyser le potentiel de vos gains de productivité interne (temps passé pour la conception). Votre compé-

titivité sera le cumul du prix d'achat des fabrications sous-traitées et des gains de productivité interne.

La possibilité de fournir à vos clients un large choix de réalisations prothétiques est également un facteur de compétitivité. Tous les centres de production proposent des services de fabrication de chapes et de bridges. Mais dès qu'on veut fabriquer des infrastructures prothétiques plus complexes, des barres sur implants par exemple, le choix se restreint. Bien entendu, si vous faites le choix de collaborer avec un ou plusieurs centres de production acceptant de recevoir des fichiers de logiciels de CAO ouverts, la restriction du champ d'applications ne se pose pas ; vous aurez la possibilité de choisir le plus compétitif pour chacune de vos activités.

Compte-tenu du coût d'un système de CAO, si vous faites le choix d'un système dédié à un centre de production, attention à ne pas limiter votre investissement à un champ restreint d'applications.

■ 1.3.1.2 Priorité au choix du système de CAO

Si vous donnez la priorité à l'achat du système de conception, votre choix doit s'opérer sur le champ d'applications métiers du système, logiciel et scanner y compris.

La plupart des fournisseurs proposent une solution de conception intégrée : dispositif de numérisation 3D associé à un logiciel de CAO. Bien que plusieurs fabricants déclarent vendre indépendamment leurs scanners et leurs logiciels de CAO, sur le terrain leurs distributeurs imposent souvent le couple scanner et CAO. Cela dit, l'intégration du scanner avec le logiciel de CAO permet d'optimiser la récupération des numérisations 3D dans le logiciel de CAO. C'est pourquoi, afin d'être garant d'une bonne interopérabilité, il est préférable d'acheter ces deux composants chez un même fournisseur (fabricant ou intégrateur). Mais vous devez exiger que les fichiers générés par le dispositif de numérisation ne soient pas cryptés pour pouvoir exporter vos numérisations 3D vers un autre logiciel de CAO. En effet, si vous décidez ultérieurement d'intégrer un autre logiciel de CAO pour étendre votre chaîne numérique à d'autres activités de conception, vous devez pouvoir le faire sans obligation d'acheter un nouveau scanner.

Un système de conception est composé d'un scanner et d'un logiciel de CAO. Le scanner représente deux tiers à trois quarts du prix du système de CAO. Il est donc important de ne pas se tromper dans le choix du scanner.

■ 1.3.2 Deuxième cas : vous avez choisi de vous équiper d'une solution complète de conception et fabrication

Les premières solutions complètes de CFAO étaient toutes fermées. Cela s'expliquait en partie par la volonté de fournir des solutions intégrales ne nécessitant aucunes connaissances informatique et mécanique de la part du prothésiste. Mais l'expérience montre que les savoir-faire techniques des prothésistes leur permettent d'acquérir rapidement les compétences mécaniques suffisantes pour les travaux les plus courants, sachant que les logiciels de FAO génèrent automatiquement les programmes d'usinage. S'agissant des connaissances informatiques requises, il n'y a guère de différence entre une solution fermée et une solution ouverte ; c'est avant tout une question d'interopérabilité entre les outils via des interfaçages qui sont effectués par des intégrateurs ou par les fabricants des outils. Cette intégration étant prise en compte lors du choix des composants CFAO, les autres aspects sont du ressort de sociétés de services en informatique.

■ 1.3.2.1 Solution unifiée de conception et de fabrication

Si l'utilisation de vos équipements numériques est réservée à une production exclusivement interne, vous pouvez choisir une solution unifiée, dite "fermée", pour vous garantir d'une intégration complète de la numérisation jusqu'au matériau. Dans ce cas :

- ▶ assurez-vous que la solution couvre l'ensemble des réalisations que vous souhaitez automatiser, à court et moyen terme (durée d'amortissement de l'équipement),
- ▶ analysez bien les prix des matériaux et des outils de coupe car ils ont un impact important sur les coûts de production. A titre d'exemple, sur un des systèmes de fabrication d'armatures en zircone pré-frittée les plus répandus sur le marché, le coût du matériau vous en coûtera aussi cher que le prix de la machine pour la production de 700 éléments par an (3 par jour), sur la base d'un amortissement de la machine en 5 ans. Cela signifie qu'avec une production moyenne de 15 éléments par jour, en un an, le

budget matériau égale le prix de la machine. Ce n'est pas que la machine soit peu chère, c'est le matériau qui est excessivement cher, d'où l'importance du prix du matériau au moment du choix de la machine.

Normalement, aucun fournisseur ne devrait imposer son matériau et ses outils de coupe, mais plutôt les préconiser par rapport à un protocole de mise en forme validé. En effet, si les tarifs des matériaux sont compétitifs, le laboratoire n'aura aucune raison de s'approvisionner chez un autre fournisseur.

■ 1.3.2.2 Système de conception et système de fabrication intégrés

1/ Fabrication additive

Les systèmes de CAO ouverts exportent des fichiers 3D au format de triangulation STL. Ce format de représentation des modélisations 3D a été créé pour répondre aux besoins spécifiques de la fabrication additive. L'intégration entre la CAO et une machine de fabrication additive dépend donc uniquement de la qualité du fichier STL généré par le logiciel de CAO, c'est-à-dire sans problèmes de raccords entre les volumes, sans erreur d'orientation des polygones...

2/ Usinage

Dans l'industrie, les systèmes de conception et les systèmes de fabrication sont considérés comme deux équipements distincts, dont la communication entre les deux est assurée via une interface de transfert de la CAO vers la FAO à la norme STEP, puis de la FAO vers la machine à commande numérique via des programmes ISO.

Dans le dentaire, le transfert de la CAO vers la FAO ne pose pas de problème majeur, bien que le format STL utilisé pour le transfert de la modélisation 3D ne soit pas le plus approprié pour la génération des programmes d'usinage. Pour améliorer cette communication, certains éditeurs de logiciels de CAO associent au modèle STL un fichier qui comprend la ligne de représentation de la limite cervicale et un plan offset, afin de fournir des informations suffisamment

riches pour l'optimisation des parcours d'outils. A défaut, certains éditeurs de logiciels de FAO génèrent automatiquement ces deux informations à partir d'un modèle STL importé.

Toutefois, une des particularités de la CFAO dentaire est que certains paramètres de fabrication, comme les diamètres des outils de coupe, sont définis dans le logiciel de CAO. Il est donc nécessaire de définir des protocoles de communication de la CAO vers la FAO qui prennent en compte les spécificités de la machine-outil. Par exemple, si vous concevez une chape avec une cavité de 0,8 mm de diamètre et que la plus petite fraise de la machine-outil est de 1 mm, vous aurez des problèmes (trou ou sous-épaisseur de la paroi de la chape). Ceci est surtout vrai lors du transfert d'un fichier CAO vers un sous-traitant. Ce type de problème est résolu lorsque les éditeurs de logiciels se sont accordés sur les protocoles d'échange de données entre leurs outils respectifs, ou que l'intégrateur qui vous propose la solution a optimisé l'interopérabilité entre les deux systèmes.

Notons que les solutions intégrées de CAO/FAO sont, pour grande partie, bâties sur les logiciels ouverts des éditeurs suivants : 3Shape, Delcam et Dental Wings pour la CAO ; Delcam, Open Mind, Picasoft et SESCOI pour la FAO, comme vous pouvez le constater dans les tableaux de comparaison des solutions de CFAO (Voir p.46).

C'est pourquoi, même si vous achetez une solution complète chez un seul fournisseur, vous devriez vous assurer de la possibilité de récupérer des fichiers 3D issus d'autres logiciels de CAO dans votre logiciel de FAO, au même titre que vous devriez pouvoir transférer vos fichiers CAO à un sous-traitant ou vers un autre équipement de fabrication.

Nous vous conseillons de privilégier une solution offrant une parfaite intégration entre la conception et la fabrication, mais dont les deux systèmes de CAO et de FAO peuvent respectivement exporter et importer des fichiers compatibles avec la plupart des autres systèmes, c'est-à-dire :

- a) non cryptés et,
- b) conformes au format de données 3D le plus répandu dans la filière dentaire, à savoir le format STL.

■ 1.3.2.3 Solution totalement ouverte

Les aspects d'intégration du système de conception (scanner et logiciel de CAO) et d'intégration entre systèmes de conception et de fabrication ayant été traités dans les chapitres précédents, nous nous intéressons ci-après aux aspects d'intégration du système de fabrication.

Trois composants sont à prendre en compte dans l'intégration d'un système de fabrication : la machine, le logiciel de FAO et le matériau ; plus les outils de coupe pour les systèmes d'usinage.

1/ Fabrication additive

Toutes les machines de fabrication additive, disponibles pour le dentaire, sont pilotées par des logiciels de FAO propriétaires et elles utilisent des matériaux caractérisés et commercialisés exclusivement par leurs fabricants. Il n'existe donc pas, à ce jour, de système de fabrication additive vous permettant de choisir librement votre fournisseur de matériau. "L'ouverture" des systèmes de fabrication additive se limite à la récupération des fichiers STL issus des logiciels de CAO.

2/ Usinage :

Par conte, en usinage, il est tout à fait possible d'acquérir les composants du système chez différents fournisseurs.

Le choix doit démarrer par la machine. Vous devez vous assurer que la machine supporte le langage de programmation ISO, ce qui est le cas de la majorité des machines. Les logiciels de FAO ayant pour fonction de générer des programmes d'usinage en langage ISO, l'intégration ne pose donc pas de problème

majeur. Les fabricants de machines qui adressent le secteur dentaire ont souvent des accords avec des éditeurs de logiciels de FAO.

L'intégration d'un logiciel de FAO avec une machine d'usinage est un gage d'optimisation. La définition des programmes d'usinage, des parcours d'outils, est liée aux capacités de la machine et du jeu d'outils de coupe utilisés. Ainsi, un logiciel de FAO paramétré spécifiquement pour une machine offrira, à priori, une stratégie d'usinage optimisée permettant :

a) de réduire la durée du cycle d'usinage et,

b) d'augmenter la durée de vie des outils de coupe. C'est important car, à titre d'exemple, un jeu d'outils de coupe pour l'usinage d'armatures en cobalt-chrome coûte environ 150 € ; il vaut mieux que vous puissiez usiner au moins une soixantaine d'éléments avec un jeu. Le prix des fraises diamant pour l'usinage de la zircone frittée est encore plus élevé. Vous devez donc vous assurer auprès du fournisseur du logiciel qu'il propose, à son catalogue, un post-processeur et une stratégie d'usinage pour la machine qui vous intéresse, sinon vous devrez payer des coûts supplémentaires de développement spécifique.

Si vous envisagez de vous équiper de plusieurs machines, privilégiez un logi-

ciel capable de piloter vos différentes machines pour éviter de devoir vous familiariser avec plusieurs interfaces homme/machine, sans pour autant perdre de vue la performance du triptyque machine/outils de coupe/logiciel de FAO.

La possibilité de s'approvisionner chez les fournisseurs de matériaux de son choix est le principal avantage d'un système de fabrication totalement ouvert. En effet, le matériau est "la vache à lait" de la plupart des fournisseurs de systèmes imposant leurs bruts à usiner. Or, l'intérêt d'intégrer un système de fabrication dans le laboratoire est avant tout d'accroître sa compétitivité, sinon autant sous-traiter la fabrication.

Les codes à barres sont souvent présentés par les fournisseurs de solutions fermées comme un atout pour gérer les bruts à usiner en liaison avec le logiciel de FAO. C'est vrai, mais cette utilisation du code à barres peut également s'effectuer indépendamment des fournisseurs de logiciels de FAO et de bruts à usiner. En résumé, comme préciser en introduction, le mot clé c'est : intégration. Cette intégration peut avoir été réalisée par un fabricant de système complet ou par un distributeur de plusieurs marques, ou peut être faite sur mesure par un intégrateur.

Attention !

L'utilisation d'une solution de fabrication totalement « ouverte » signifie que vous devez acquérir une bonne connaissance des procédés de fabrication et du comportement des matériaux mis en forme, pour définir vos protocoles de fabrication. Ces protocoles doivent être rédigés pour être capitalisés et utilisables par d'autres personnes de l'entreprise.

Message aux fournisseurs

Il serait souhaitable que tous les fournisseurs d'équipements et de matériaux ouvrent au moins leurs systèmes de fabrication. En imposant ses prix de matériaux, c'est le fournisseur, aujourd'hui, qui fixe le prix de revient et donc de vente des fabrications chez les prothésistes dentaires. De même, l'impossibilité d'exploiter des données issues de logiciels de CAO concurrents ne permet pas au laboratoire d'exploiter pleinement son outil de production. Or, le laboratoire doit garder le contrôle de ses achats de matériaux et optimiser le taux de charge de sa (ses) machine(s) pour maîtriser sa compétitivité. Un bon accord commercial doit être gagnant / gagnant ! (Infos 07/09)

■ 1.3.3 Troisième cas : Vous avez une solution CFAO "fermée" et souhaitez la rendre communicante

Puis-je ouvrir mon système ? S'agissant des systèmes assemblant des composants du marché, la réponse est : OUI. Beaucoup de solutions sont composées de matériels et de logiciels disponibles de manière autonome auprès de leurs fabricants et éditeurs respectifs. Ces outils numériques ont donc des interfaces d'import et/ou d'export que votre fournisseur à crypter ; les informaticiens savent généralement les décrypter.

Les machines sont généralement pilotées en langage ISO, or tous les logiciels de FAO génèrent des programmes d'usinage normalisés ISO.

S'agissant des logiciels de CAO "maison", ils reposent pour la plupart sur des modeleurs polygonaux, c'est-à-dire de modélisation 3D par triangulation. Ces logiciels sont donc à même d'exporter des fichiers STL. Là encore, c'est une question de décryptage. Il peut y avoir des problèmes de qualité des fichiers STL pour une exploitation sur des machines de fabrication additive. En effet, cette technique de fabrication nécessite de travailler à partir d'une maquette numérique dont la représentation 3D est constituée d'un objet 3D unique sans recouvrement des volumes et non d'un assemblage de plusieurs objets 3D. Toutefois, il existe des logiciels de réparation des fichiers STL qui permettent de résoudre ce problème, de manière plus

ou moins automatique.

Attention ! Si vous possédez un matériel récent, attendez-vous à ce que votre fournisseur rompe le contrat de garantie. Il peut aussi refuser d'assurer la maintenance de votre équipement. Vous devrez donc être en mesure d'assurer vous-même la maintenance et le calibrage de vos équipements ou trouver un prestataire. Mais avant tout, parlez-en avec votre fournisseur. En effet, il n'est pas rare que des fournisseurs de solutions fermées acceptent au moins d'ouvrir leur système de fabrication à l'import de fichiers STL et STEP ; en permettant à leurs clients de vendre des prestations de fabrication, ils vendent davantage de matériaux.

1.4 Choix du ou des équipements

Les équipements de CFAO dentaire sont coûteux. Les investissements doivent donc être réalisés à bon escient. Il est nécessaire de bien choisir les équipements en fonction de son besoin et du moment auquel ils sont utilisés dans le processus allant de conception à la fabrication.

■ 1.4.1 Choix du ou des équipements de conception

Trois principaux critères doivent guider votre choix :

- ▶ le type de restaurations que vous souhaitez concevoir,
- ▶ l'intégration du système dans la chaîne numérique que vous avez décidé de mettre en place : fabrication en interne ou externalisée.
- ▶ le coût du système
 - coût du scanner : achat et maintenance,
 - coût des licences : achat et mises à jour,
 - coût des modules complémentaires,
 - coût du matériel informatique : achat, maintenance (système d'exploitation, réseau, internet), obsolescence (2 ou 3 ans, à prendre en compte pour l'amortissement),

- coût de la formation du personnel.

Votre choix peut aussi être guidé par l'affiliation à une marque. Certains fournisseurs, adressant à la fois les dentistes et les prothésistes, ont une forte notoriété auprès des cabinets. Le fait de devenir "agent" de la marque peut contribuer à développer votre activité. Mais si le système est fermé, ceci est valable en solution complémentaire. En effet, ce type de solution est souvent limité aux céramo-céramiques. Or, si vous achetez un système de CAO pour une seule famille de produits, vous aurez du mal à rentabiliser votre investissement. De plus, vous n'aurez pas automatisé votre activité de modélisation, mais uniquement un type de produit.

■ 1.4.2 Choix du ou des équipements de fabrication

Trois principaux critères doivent guider votre choix :

- ▶ Les capacités de la machine, en fonction, d'une part, des restaurations que vous souhaitez fabriquer (composants et matériaux), et d'autre part, de la productivité dont vous avez besoin par rapport au volume de production,

- ▶ l'intégration du système avec vos équipements de conception.
- ▶ les coûts d'exploitation de la machine
 - charges fixes : amortissement, maintenance, taxes (exonération en 2009),
 - charges variables : matériaux et outils de coupe (usinage),
 - charges de personnel.

Pour comparer correctement les offres, vous devez calculer de prix de revient de vos fabrications. Le calcul doit être effectué pour chaque famille de produit.

A votre tableur ! Ou faites-vous assister de votre comptable. Une petite dépense vaut mieux qu'un mauvais investissement.

Remarque : chez les prothésistes, on est souvent sensible à l'esthétique des machines. Cependant, intéressez-vous essentiellement aux équipements de la machine, à sa robustesse, à sa qualité d'assemblage. Vous achetez un équipement de production et non un objet de décoration.

Cela dit, si la machine réunit les deux qualités, tant mieux.

■ 1.4.3 Testez avant d'acheter

Si possible, vous devez tester les équipements pré-sélectionnés selon votre cahier des charges.

Les fournisseurs ne sont pas en mesure de prêter des équipements à chaque prospect. Pour les systèmes de conception, la plupart des fournisseurs proposent des journées gratuites d'initiation vous permettant de découvrir les outils de numérisation et de modélisation 3D par l'usage. S'agissant des logiciels de CAO, si vous disposez d'un ordinateur adapté, exigez le prêt d'une licence.

Il vous sera difficile de tester un équipement de fabrication. Mais vous devez assister à une démonstration complète de l'équipement en contexte de production. Ne vous contentez pas d'une démonstration de salon. Si le fournisseur n'est pas en mesure d'effectuer cette démonstration, rendez visite à l'un de ses utilisateurs. De plus, votre confrère sera sûrement plus objectif qu'un vendeur.

Si vous disposez déjà d'un système de CAO et que vous souhaitez acquérir uniquement une machine, assurez-vous que la communication entre votre CAO et le système de fabrication se déroule sans problème. Pour cela, adressez des fichiers CAO aux fournisseurs pré-sélectionnés pour qu'ils produisent des pièces de test, ce qui vous permettra aussi de comparer et de valider la qualité des fabrications.

Vous devez également valider que vous disposez des outils pour la préparation de fabrication.

Si votre investissement s'oriente vers une machine-outil à commande numérique, l'outil de préparation des fabrications et le logiciel de FAO. Là aussi, il est possible de demander un prêt de logiciel.

Si votre investissement s'oriente vers une machine de fabrication additive et que le procédé de modelage nécessite la génération de supports de construction, assurez-vous que cette fonction est intégrée à la machine. Si tel n'est pas le cas et qu'il vous faut acquérir un logiciel, faites des essais de préparation avec le logiciel (en prêt) et adressez vos préparations au fournisseur de la machine pour valider votre processus numérique avant d'acheter la machine.

■ 1.4.4 Ne pas négliger le choix du fournisseur !

Le choix du fournisseur est aussi important que le choix de l'équipement. Renseignez-vous auprès de plusieurs clients des fournisseurs pré-sélectionnés pour vous faire une idée juste de la qualité du service après-vente. Renseignez-vous également sur la santé financière des fournisseurs ; la pérennité de votre solution dépendra de la pérennité de votre fournisseur, sans parler des "escroqueries" auxquelles peuvent être tentés des fournisseurs en difficulté financière. Malheureusement, certains prothésistes y ont déjà été confrontés. Enfin, la qualité du rapport commercial est aussi à prendre en considération, mais n'ayez qu'une confiance modérée dans les dires des commerciaux ; ne croyez que ce que vous avez vous-même testé ou contrôlé auprès de confrères.

■ 1.4.5 Se faire assister !

Se renseigner auprès d'organisations

compétentes dans les domaines mécaniques, informatique & réseau...

Les problématiques de mise en réseau des équipements, d'internet, d'usinage, de fabrication additive... ne sont pas propres aux laboratoires de prothèses dentaires. Vous trouverez certainement davantage de compétences dans ces domaines auprès de centres de transferts technologiques, d'associations professionnelles ou d'intégrateurs d'autres secteurs industriels qu'auprès de certains vendeurs de systèmes de CFAO dentaire qui, par manque de connaissances ou volontairement, vous désinforment.

Se faire accompagner par un conseiller

La plupart des régions propose des aides au conseil qui couvrent généralement 50% des honoraires d'un conseiller. Cela vous permet, pour un coût raisonnable, de bénéficier d'une assistance à maîtrise d'ouvrage pour l'établissement du cahier des charges et l'aide au choix face à l'enjeu de votre investissement. Toutes les régions disposent d'un dispositif d'aide à l'innovation soutenu par OSEO. Si votre projet présente un caractère innovant de produit, de service ou de procédé, vous pouvez bénéficier d'une aide pour l'étude de faisabilité de votre projet à travers une Prestation Réseau Technologique (PTR).

Les démarches collectives bénéficient de soutiens particuliers par les Régions. En effet, les pouvoirs publics estiment que la compétitivité des petites entreprises passe par la mutualisation des technologies numériques.

Le CNIFPD, au service de tous les fabricants de prothèses dentaires, peut vous assister dans votre projet global de modernisation.

1.5 Bien réussir son projet CFAO

L'intégration d'un système de CAO-CFAO dans l'entreprise ne se limite pas à la décision d'achat. Des étapes préalables à l'arrivée du système sont nécessaires pour une exploitation optimale du système.

Les principaux facteurs d'échec d'un projet CAO ou CFAO sont liés à un manque d'anticipation de l'arrivée de ce nouveau moyen de production.

■ 1.5.1 Sensibilisation et formation du personnel

Souvent, pour le personnel, CFAO est synonyme de perte d'emploi. Il est donc important, avant l'investissement, de sensibiliser chaque personne aux enjeux de la CFAO et à son implication dans la réussite du projet d'entreprise.

[Voir liens Internet p.52 - Organisation des ressources humaines]

Une des clés de la réussite de la migration est la formation. Ce poste est bien souvent sous-estimé dans l'investissement CFAO, et pourtant c'est de lui que dépendra l'exploitation efficace de l'équipement. Pour les entreprises disposant de plusieurs maquetistes, il est recommandé de faire suivre la formation CAO initiale à tous les futurs utilisateurs, et de nommer un utilisateur qui lui suivra les formations avancées. Puis cet utilisateur sera chargé de former et d'assister ses collègues.

Remarque : beaucoup d'entreprises font l'erreur de croire que l'aptitude des jeunes pour l'informatique en fait des candidats naturels pour l'usage de la CFAO, même s'ils ont une connais-

sance limitée du métier. C'est faux ! Les outils de CAO et de FAO sont des outils d'aide à la conception et à la fabrication, ils ne remplacent pas le savoir-faire métier. L'avantage, quand on met un jeune prothésiste sur un poste CAO, c'est qu'on peut corriger son travail sur une maquette virtuelle, ce qui est plus commode que sur une maquette physique.

■ 1.5.2 Réorganisation du travail

L'arrivée d'un système de CAO ou CFAO dans un laboratoire implique la mise en place progressive d'une nouvelle organisation du travail entre prothésistes travaillant sur des équipements conventionnels et prothésistes sur des systèmes de CAO/FAO. Cela est surtout vrai dans les entreprises disposant de plusieurs maquetistes. L'important est d'éviter les solutions pouvant donner lieu à des conflits entre générations.

La mise en place d'une chaîne numérique de numérisation, de modélisation et de fabrication numériques, implique une réorganisation des processus métier et la prise en compte de nouveaux cycles. Si vous fabriquez en interne, il faut organiser les travaux de CAO en tenant compte des temps de fabrication (préparation de la fabrication et temps machine). Si vous sous-traitez des fabrications, vous devez prendre en compte les délais de livraison...

■ 1.5.3 Aménagement des locaux

L'utilisation de postes informatiques de CAO et de FAO nécessite un local doté d'éclairage et de mobilier adéquats. L'installation d'une machine implique un aménagement particulier du lieu d'utilisation, parfois très contraignant *[Voir liens*

Internet p.52 - Installation du futur équipement]. Certaines machines industrielles sont soumises à des règles très strictes de sécurité et environnementales *[Voir liens Internet p.52 - Sécurité et environnement]*. N'oubliez pas de vérifier le niveau sonore de la machine et de prévoir les travaux d'aménagement de l'espace machine(s) en conséquence, surtout si votre entreprise est installée dans un immeuble d'habitation.

■ 1.5.4 Planification de la mise en service

Définissez un programme de mise en service du système. Trop souvent, les chefs d'entreprises sous-estiment la charge de travail que va générer l'arrivée d'un équipement CAO ou CFAO, puis occupés par le quotidien de la production, ils traînent à le mettre en œuvre. Il faut obligatoirement prévoir du temps, non seulement pour la formation, mais aussi pour les essais, les réglages des équipements, voire la définition des protocoles de fabrication ou de transmission des fichiers CAO dans le cas de systèmes ouverts. L'arrivée d'un équipement CAO et surtout CFAO engendre une perte de productivité de quelques jours à quelques semaines, mais cela est nécessaire afin d'obtenir la meilleure productivité pour les mois et les années à venir. Dites vous que si vous laissez traîner la migration vers la CFAO pendant des mois après l'acquisition des équipements, c'est votre rentabilité qui en sera affectée.

■ 1.5.5 Préparez votre communication

Vous allez disposer d'un nouveau moyen de production qui va améliorer la qualité de vos produits, augmenter votre portefeuille d'offres... Faites le savoir à vos clients !

2. Analyses des pré-requis

2.1 Investissement

■ **Objet de cette fiche : préparer son achat d'un équipement**

L'intégration d'un nouvel équipement implique des coûts directs mais aussi des coûts induits, matériels et immatériels, non seulement lors de l'acquisition mais aussi lors de la mise en exploitation, ceci est à considérer avec d'autant plus attention qu'il s'agit d'une technologie nouvelle pour l'entreprise.

■ **Coûts liés à l'acquisition**

- Coût d'achat de l'équipement
- Frais de douane et de transport
- Installation, préparation de l'environnement (local, alimentation énergie, température, hygrométrie, vibrations, stockage matière, évacuation vapeurs et émanations diverses, poussière...).
- Outillage, appareils de mesure, matériel périphérique, accessoires, logiciels
- Frais financiers (intérêts d'emprunts)
- Communication : liaison interne et externe (connexion Internet...), logiciels interfaces
- Formation

■ **Coûts liés à la mise en exploitation**

- Coûts salariaux : main d'œuvre et emplois qualifiés
- Assistance à la mise en route
- Non-qualité (temps passé, rebuts, retouches...), notamment pendant la période de prise en main

Remarque : Les coûts de non-qualité peuvent être très importants, il est particulièrement recommandé d'étudier les paramètres qui influent sur la qualité.

- Maintenance (révisions, pièces d'usure, contrat maintenance logiciel, matériel)
- Consommables (matière, gaz, ...)
- Énergie
- Taxes (professionnelle, apprentissage, construction, ...)
- Assurance
- Besoin supplémentaire en fonds de roulement du fait de l'accroissement des besoins liés au cycle d'exploitation (Cette omission est souvent à l'origine des difficultés de trésorerie des PME en phase de croissance. Ce poste est d'autant plus sensible que l'équipement est destiné, au-delà des besoins internes, à des prestations extérieures).
- Investissement commercial (plaquette, communication, déplacements...)

■ **Opportunité et faisabilité de l'investissement**

Attention ! Le montant des investissements en machines pour CFAO dentaire est souvent élevé. Même pour des besoins réguliers, il peut être plus avantageux de sous-traiter en partie ou intégralement la fabrication. En effet un tel investissement impose une charge minimum pour être rentabilisé. Ne pas sous-estimer les frais fixes (moyens humains et matériels). Bien entendu, il faut aussi considérer les critères stratégiques

difficilement chiffrables mais pouvant intervenir dans l'appréciation de la rentabilité. Exemple : la réactivité (pouvoir livrer au plus vite accroît la satisfaction client).

■ **Aide à l'investissement matériel**

Certaines régions et certains départements proposent des aides aux petites et moyennes entreprises pour leurs investissements matériels, sous forme de subventions et/ou d'avances remboursables. Renseignez-vous auprès de votre chambre des métiers, auprès aussi de la Chambre de Commerce et d'Industrie qui est plus coutumière de l'accompagnement des investissements technologiques, voire directement auprès du conseil régional.

2.2 Organisation des ressources humaines

■ 2.2.1 Qu'implique le management des activités de CFAO dentaire ?

Avant d'investir, vous devez :

- identifier les objectifs
- identifier les réponses potentielles aux objectifs de votre entreprise
 - > moyens traditionnels et moyens CFAO
 - > moyens internes et moyens externes
- peser les réponses possibles et leur complémentarité éventuelle
- évaluer la faisabilité économique de la mise en place de la CFAO
- identifier les enjeux liés à la mise en place de la CFAO
 - > pérennité de votre entreprise, compétitivité
 - > évolution des effectifs
 - > développement, diversification : marchés, clients, secteurs d'activité, services,
- anticiper les évolutions de l'organisation
 - > identifier, analyser les comportements du personnel
 - > identifier les zones et facteurs de résistance
 - > identifier les points d'appui potentiels
 - > anticiper une stratégie visant à lever les résistances et à motiver le personnel
 - > identifier les incidences de la mise en place de la CFAO sur les modes de travail et les compétences des personnes et en particulier le passage de méthodes traditionnelles s'appuyant sur une approche physique à des méthodes nouvelles basées sur une représentation virtuelle
 - > établir un état des lieux des compétences
 - > évaluer le potentiel d'évolution
- identifier les grands axes d'actions à mener ainsi que leur incidence financière
 - > formation
 - > mise en pratique
 - > recrutement

POUR CHACUNE DES PERSONNES CONCERNÉES :

- vous devez identifier les compétences qui lui seront nécessaires

AVEC CHACUNE DES PERSONNES CONCERNÉES :

- pour obtenir son adhésion, vous devez lui présenter les objectifs que vous avez envisagés pour elle
- vous identifiez les écarts par rapport aux objectifs
- vous identifiez les actions nécessaires pour combler ces écarts : formation externe, interne, mise en situation, formation mutuelle,
- vous devez sensibiliser l'ensemble du personnel aux enjeux

- vous définissez qualitativement et quantitativement les modalités de la mise en place progressive de la nouvelle organisation liée à la mise en place de la CFAO

- > nouveaux rôles
- > nouvelles responsabilités
- > nouveaux modes de travail

■ 2.2.2 De quelles compétences disposez-vous pour conduire les activités liées à la CFAO ?

Vous devez disposer des compétences pour conduire les activités suivantes :

J'EN DISPOSE			
		OUI	NON
1	Piloter l'activité CFAO		
	Coordonner la relation avec les clients		
	Coordonner la relation avec les fournisseurs et les sous-traitants		
	Organiser et piloter le travail en réseau		
	Organiser et piloter la veille technologique		
	Coordonner les investissements		
	Organiser et piloter le travail en équipe pluri disciplinaire		
	Développer la capacité des personnels à travailler en réseau et en équipe pluri disciplinaire		
2	Gérer le parc informatique		
3	Gérer le parc machines		
4	Gérer les approvisionnements spécifiques		
5	Utiliser des outils CAO ou CFAO en fonction des nouveaux besoins		
	Numérisation		
	Modélisation		
	Préparation de fabrication		
	Fabrication (opérateur machine)		
	Post-traitement		
6	Établir et émettre les instructions de travail en fonction de la CFAO		
7	Assurer la conduite de réalisations externalisées		
	Émission des ordres de fabrication		
	Transfert de données numériques		
	Récupération de données numériques		
	Intégration des données récupérées dans le système de gestion du labo.		
	Autre 1		
	Autre 2		

2.3 Installation du futur équipement

■ **Objet de cette fiche : poser le cadre de réflexion nécessaire à l'installation d'une nouvelle machine**

Cette démarche permettra d'éviter d'éventuels désagréments liés à une interrogation incomplète sur les conditions requises pour la bonne exploitation de l'équipement. Il est important d'intégrer ces notions dès la consultation car une préparation insuffisante avant l'achat peut conduire à des résultats non satisfaisants en productivité, qualité, conditions de travail, etc. Les corrections au stade de la réception et de la mise en service peuvent être lourdes, coûteuses, parfois difficilement réalisables et ont toujours un effet néfaste sur le projet

■ **Lieu d'installation de la machine est-il déjà déterminé ?**

- La surface et la hauteur prévues sont-elles compatibles avec l'encombrement au sol de la machine et de son environnement ?
- Quelles sont les conditions d'installation et d'environnement nécessaires au bon fonctionnement de la machine ?

Vous devez vous renseigner auprès du fabricant sur les exigences particulières concernant les paramètres ci-dessous, bien vérifier par rapport à ceux-ci la compatibilité de l'environnement à l'endroit prévu pour l'installation, et ne pas oublier de chiffrer les coûts inhérents aux aménagements nécessaires.

■ **Température**

- Les minis et maxis à l'emplacement prévu sont-ils admissibles ?
- Faut-il prévoir un chauffage ou une climatisation ?

■ **Hygrométrie**

■ **Poussières**

- Le niveau de propreté est-il suffisant ou faut-il prévoir des moyens supplémentaires ? (confinement, mise du local en surpression, ...).

■ **Vibrations**

- Y a-t-il proximité de machines ou d'agents extérieurs pouvant provoquer des vibrations ?
- Faut-il prévoir une dalle isolante, un dispositif anti-vibration ?

■ **Projection d'eau**

- Notamment si proximité d'un ouvrant sur l'extérieur, d'un poste de lavage...

■ **Éclairage**

- Nature et puissance (certains procédés sont sensibles aux UV)
A titre indicatif, la luminosité requise est de 300 lux pour les machines-outils, 1500 lux pour micromécanique de précision.

■ **Produits chimiques incompatibles**

- Quel est l'environnement chimique existant (produits corrosifs, produits inflammables...) ?
- Les produits mis en œuvre dans le procédé peuvent-ils provoquer des réactions ou être affectés par les agents environnants (huiles, émanations, détergents...) ?
- Quelles dispositions faut-il prévoir ?

■ **Perturbations électromagnétiques**

- Y a-t-il proximité de circuits de puissance, d'appareils du type poste de soudure, four à induction, ... susceptibles d'émettre un rayonnement électromagnétique ?

Dans ce cas renseignez-vous sur la sensibilité de l'équipement à ces rayonnements et vérifiez la conformité de vos appareils par rapport à la norme (compatibilité électromagnétique).

■ **Raccordements d'entrée nécessaires au fonctionnement de la machine**

■ **Alimentation électrique**

- > Quelles sont les exigences vis à vis de l'alimentation électrique (stabilité réseau, parasites, protection contre les surintensités, ...) ?
- > Faut-il un branchement (raccordement) particulier ?
- > Comment s'effectue la reprise du travail après interruption momentanée d'alimentation (panne de secteur) ? Une réinitialisation est-elle nécessaire ? Existe-t-il une protection contre les micro coupures ?
- > Un dispositif temporisé à minimum de tension est-il prévu dans l'équipement, sinon faut-il recourir à un onduleur ? Dans ce cas ne pas l'oublier dans le coût matériel.
- Alimentation pneumatique (pression, débit)
- Alimentation hydraulique
- Alimentation en eau (débit, température, pureté, dureté, ...)
- Alimentation en gaz (azote, ...)

■ **Connexions informatiques (liaison CAO, réseau, ...)**

■ **Évacuations nécessaires au fonctionnement de la machine**

- Évacuation des eaux usées : faut-il prévoir un système de filtrage ou d'épuration ?
- Évacuation de gaz et fumées : faut-il prévoir un système d'aspiration et d'évacuation ?
- Évacuation des déchets

■ **Les produits nécessaires au fonctionnement de la machine doivent-ils être stockés dans des conditions particulières ?**

- matières consommables pour la réalisation produit
- matières consommables pour le post-traitement

- matières consommables pour l'entretien machine

■ **Les rebuts post-fabrication doivent-ils faire l'objet d'un traitement spécial, en terme de :**

- recyclage (réutilisation après traitement)
- stockage (produits dangereux)
- tri (réaction entre produits)

■ **Disposez-vous des compétences et des moyens nécessaires pour :**

- la mise en place de l'environnement (raccordements, évacuations, recyclage,)

- le premier réglage de la machine
- le déplacement éventuel de la machine (manutention)

S'assurer que la notice constructeur indique bien les conditions de sécurité liées à la manutention

■ **Avez-vous prévu des tests pour valider la réception de l'équipement ?**

Vous devez préparer des procédures d'essais permettant de contrôler le bon fonctionnement de la machine et de ses périphériques éventuels :

- communication avec la CAO
- précision géométrique

- vitesse et répétitivité des mouvements
- éléments qualitatifs
- état de surface
- vérification de la conformité par rapport aux spécifications du constructeur

Vous devez effectuer un bilan précis sur les ressources techniques, financières, et de délai nécessaires pour remplir les conditions évoquées dans cette fiche.

Les exigences en termes d'hygiène et de sécurité peuvent avoir également un impact sur l'installation.

[voir fiche : sécurité & environnement]

2.4 Sécurité & Environnement

Il importe d'intégrer, dès la consultation, les exigences relatives à l'hygiène et la sécurité, à l'environnement, et aux divers aspects pratiques car l'expérience montre qu'une préparation insuffisante avant l'achat peut souvent conduire à des résultats non satisfaisants en productivité, qualité, conditions de travail, etc.

Les corrections au stade de la réception et de la mise en service peuvent être lourdes, coûteuses, parfois difficilement réalisables et ont toujours un effet néfaste sur le projet : démotivation du personnel due aux difficultés supplémentaires, aux mauvais résultats, au stress amené par la dérive du planning... D'égradation des relations avec le fournisseur.

■ 2.4.1 Sécurité

:: **Protection électrique**

Vérifier la conformité de l'installation prévue aux règles fixées par le décret 88-1056 du 14 novembre 1988

- séparation omnipolaire verrouillable, permettant d'isoler la machine de la source d'énergie

- protection contre surcharges et courts-circuits
- interdiction de redémarrage intempestif après coupure
- rétablissement de l'alimentation électrique....

:: **Éléments mobiles de transmission**

Vérifier que les éléments mobiles de transmission d'énergie ou de mouvements des équipements sont équipés de protecteurs fixes ou mobiles si le besoin d'accès est fréquent Le protecteur mobile doit être équipé d'un verrouillage électrique interdisant tout démarrage intempestif.

:: **Protection de la zone de travail**

Les protections dépendent beaucoup du procédé de la machine.

Dans le cas d'une machine par usinage il s'agira de protection contre les projections matière (copeaux, éclat d'outil). Pour une machine disposant d'une source laser, la sécurité portera sur les risques potentiels liés à l'utilisation de ce type de source (brûlure, lésions oculaires dans le cas de réflexion ou de déviation du faisceau, ...).

Si de tels risques existent, le constructeur devra avoir prévu les protections adéquates (protecteur, fonctionnement impossible pendant la manipulation de la source...).

:: **Sécurité incendie, explosion**

Le principal facteur de risque incendie et explosion vient de l'électricité d'où l'importance des protections électriques évoquées plus haut.

Le système de détection incendie devra être compatible avec le procédé de la machine. Par exemple, un détecteur de fumée ne pourra pas être utilisé avec un procédé émanant des fumées en fonctionnement normal (découpe laser du papier par exemple) à moins que celles-ci soient entièrement aspirées ou confinées.

Pour les matières en poudre, il peut exister des risques d'explosion par échauffement mécanique.

:: **Niveau de bruit en conformité avec la législation**

:: Accessibilité en tous points de la zone de travail

Penser aux endroits éloignés pour montages, bridages, opérations de mesure et de contrôle, etc.

:: Évacuation des fumées et émanations diverses

Faut-il prévoir un système d'aspiration ?

:: Conditions d'utilisation, d'installation et d'entretien de l'équipement

Exiger une notice complète, en français si possible. Celle-ci doit comporter tous les plans, schémas nécessaires pour l'entretien et les vérifications techniques de la machine.

:: Manutention

La notice du constructeur doit préciser le mode de manutention prévu pour la mise en place ou le déplacement de la machine : poids, points d'élingage, précautions particulières, équipements spéciaux, ...

:: Implantation

Le code du travail définit certaines conditions pour l'implantation des machines, notamment en ce qui concerne les passages entre équipements (80 cm minimum, organes mobiles en bout de course), mais il faut aussi tenir compte des impératifs liés à l'aménagement et l'évacuation de matière, pièces et chutes,

ainsi qu'aux interventions de réglage et de dépannage (accessibilité, ouverture des coffrets et des armoires).

■ 2.4.1 Protection de l'environnement

:: Évacuation des fumées ou émanations diverses

:: Recyclage ou élimination des déchets, de l'eau ou des produits de lavage et nettoyage

:: Stockage des matières ou produits dangereux dans un local adapté



Fiches techniques

:: Numérisation 3D

- Principe général de fonctionnement d'un scanner 3D
- Techniques de numérisation 3D
 - > Triangulation laser
 - > Lumière structurée
 - > Holographie conoscopique
- Modélisation des nuages de points
 - > Nurbs
- Définitions

:: Impression 3D

- Principe général de fonctionnement des procédés de modelage par dépôt en jets multiples
- Techniques d'impression 3D
 - > Injection de cires
 - > Injection de résines et polymérisation par UV

:: Stéréolithographie par UV sélectif

- Principe général de fonctionnement du procédé de stéréolithographie par UV sélectif
- Comparatif de productivité : impression 3D versus stéréolithographie par UV

:: Micro-fusion de poudres

- Principes général de fonctionnement du procédé de micro-fusion de poudres métalliques
- Applications dentaires

Scanners sans contacts actifs

La capture 3D des plâtres ou des empreintes dentaires recoure à la numérisation optique sans contact par balayage laser, par projection de lumière structurée ou par holographie conoscopique.

■ Principe général de fonctionnement d'un scanner 3D

À partir d'une position donnée par rapport à l'objet à numériser, l'appareil projette un rayonnement sur une section de la surface de l'objet. Chaque point de la surface touchée par source lumineuse est capté par une caméra intégrée au numériseur et les coordonnées X, Y, Z ainsi que l'intensité de chacun de ces points sont enregistrées dans la mémoire de l'ordinateur qui contrôle le scanner. Cette opération est répétée des millions de fois à la seconde, ce qui génère un fichier très dense de points X, Y, Z de la surface à numériser, appelé nuage de points. Ce fichier est affiché à l'écran de l'ordinateur et montre la forme tridimensionnelle de la surface numérisée.

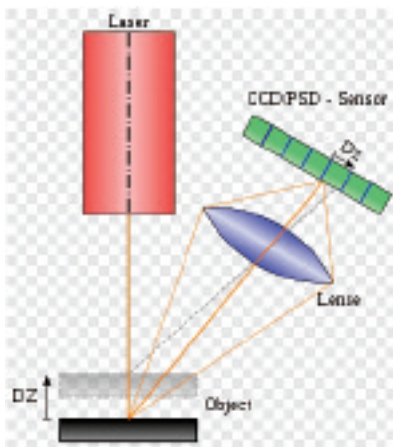


Fig 30. Principe d'un détecteur utilisant la triangulation laser. Deux positions de l'objet sont montrées.

L'opération de numériser une section de la surface de l'objet est répétée à partir de points d'observation différents de celui-ci, et cela, autant de fois qu'il est nécessaire pour en couvrir toute la sur-

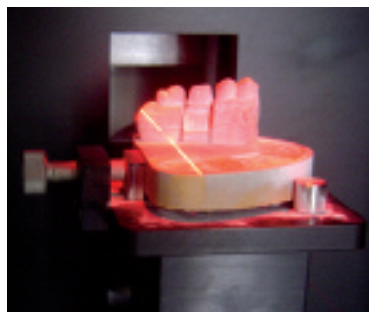
face, en prenant soin d'avoir une zone commune pour chaque image 3D. Ces images 3D individuelles ainsi captées sont par la suite fusionnées, à l'aide d'un logiciel qui utilise les zones communes de chacune d'elles, pour assembler de façon très précise le modèle numérique 3D. Le logiciel permet aussi d'éliminer les points redondants dans les zones communes de façon à obtenir une couche de points 3D de densité homogène sur toute la surface de l'objet. Les scanners scannent la totalité de la surface du modèle grâce à un mécanisme qui permet de faire tourner le modèle dans les trois sens de l'espace. La qualité de la reconstruction 3D dépend de la distance existante entre chaque point scanné, c'est ce qu'on appelle la résolution.

■ Techniques de numérisation 3D

Différents types de source de rayonnement sont utilisés. Les deux sources principalement utilisées pour la numérisation de modèles ou d'empreintes sont le faisceau laser de faible intensité et la lumière structurée.

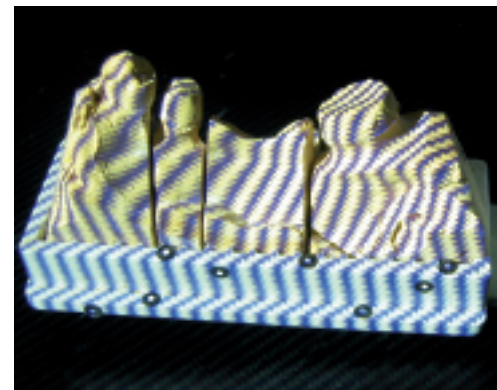
► **Triangulation laser** : le scanner balaye la surface du sujet avec un rayon laser et utilise une caméra numérique pour analyser les distorsions du rayon au fur et à mesure de sa progression.

Cette technique est appelée triangulation parce que le point laser, la caméra et l'émetteur laser forment un triangle. Ce procédé produit des lignes dans les trois sens de l'espace qui assemblées en centaines de triangles forment l'image tridimensionnelle.

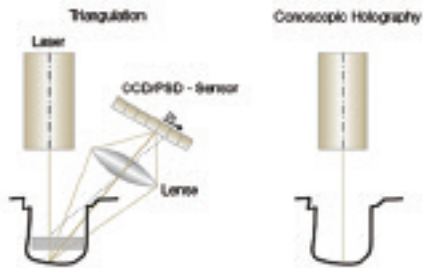


► **Lumière structurée** : le scanner à lumière structurée projette un motif lumineux (projection de franges de lumières) sur le sujet et en observe la déformation. L'image est projetée sur le sujet à l'aide d'un vidéoprojecteur LCD ou laser. Une caméra, légèrement décalée du projecteur, enregistre son éventuelle déformation. Une technique similaire à la triangulation est utilisée pour calculer la distance, et donc la position des points la représentant. Le motif balaye le champ de vision afin d'enregistrer les informations relatives aux distances.

Le point fort des scanners 3D à lumière structurée est leur rapidité. Au lieu de scanner une bande à la fois, ils peuvent scanner tout le champ de vision à la fois.



► **Holographie conoscopique** : l'holographie conoscopique est une nouvelle technique utilisée pour enregistrer des hologrammes en lumière incohérente au moyen d'un cristal monodirectionnel. La reconstruction est réalisée en utilisant un faisceau laser et un filtre spatial pour bloquer les fréquences indésirables. Cela produit un hologramme dont la période des franges de diffraction donne très exactement la distance du point mesuré. Les modules de mesure conoscopique sont robustes et peu sensibles, notamment aux différences de température. Par rapport aux techniques de capture 3D par triangulation, en holographie conoscopique les faisceaux projetés et



réfléchis empruntent respectivement la même trajectoire linéaire en direction et à partir de l'objet scanné. Cette technique permet la mesure d'angles prononcés (jusqu'à 85°) et de cavités profondes, caractéristiques des empreintes dentaires.

■ Modélisation des nuages de points

Les nuages de points produits par des scanners 3D ne sont bien souvent pas utilisables tels quels. La plupart des applications ne les utilisent pas directement, mais se servent à la place d'une modélisation 3D.

Dans le cadre d'une modélisation polygonale 3D, cela consiste à déterminer et à relier des points adjacents afin de créer une surface triangulée continue de l'objet numérisé.

La plupart des fabricants de scanners pour le dentaire intègre un logiciel tiers de traitement des nuages de points et de conversion en fichiers STL, exploitables directement par les logiciels de CAO basés sur la modélisation polygonale ou par les machines de fabrication additive (Voir standard STL p.25).

Pour la modélisation basée sur les Nurbs, cela consiste à générer des surfaces lisses approximant le nuage de points de l'objet numérisé. Cette technique de reconstruction 3D permet de

créer des formes gauches par des équations simples plutôt que des dizaines, des centaines (ou plus) de facettes, avec un rendu plus lisse que les polygones.

A notre connaissance, aujourd'hui, seuls les logiciels de CAO dentaire de Delcam et de Kavo utilisent un noyau graphique basé sur les Nurbs, ce qui leur confère une plus grande précision des définitions géométriques et davantage d'efficacité pour l'usinage de pièces de superstructures prothétiques exigeant une excellente passivité.

Nurbs

A notre connaissance, aujourd'hui, seuls les logiciels de CAO dentaire de Delcam et de Kavo utilisent un noyau graphique basé sur les Nurbs, ce qui leur confère une plus grande précision des définitions géométriques et davantage d'efficacité pour l'usinage de pièces de superstructures prothétiques exigeant une excellente passivité. (Infos 07/09)

■ Définitions

► **Modèle polygonal** : représentation informatisée de la forme complète d'un objet sous forme de facettes triangulaires adjacentes épousant la forme de l'objet numérisé. Les arêtes des facettes sont créées par les lignes qui réunissent les points issus du procédé de création de la forme numérique de l'objet.

► **Modèle NURBS** (Non Uniform Rational B-Spline) : représentation informatisée de la forme complète d'un objet par des surfaces 3D définies par des

courbes vectorielles (B-Spline) formant un maillage déformable et permettant un rendu plus lisse que les polygones.

► **Modèle numérique tridimensionnel (3D)** : représentation informatisée de la forme complète d'un objet, issue du procédé de numérisation ou de modélisation 3D. Cette représentation peut être sous forme d'un nuage de points, sous forme de facettes triangulaires adjacentes dont les côtés sont formés par les vecteurs reliant les points du nuage, sous forme de surfaces 3D définies par des courbes vectorielles formant un maillage et qui reliées entre elles forment un solide.

► **Nuage de points** : ensemble de points prélevés par balayage de la surface d'un objet dont les coordonnées X, Y, Z sont calculées dans un système de référence commun. Cet ensemble de points représente la forme, en version numérique, de la surface balayée de l'objet.

► **Reconstruction 3D** : un scanner 3D mesure le positionnement d'un échantillonnage de points dans un système de coordonnées (nuage de points) de la surface d'un sujet pour ensuite en extrapoler la forme à partir de leur répartition ; ce procédé est appelé une reconstruction 3D. L'image produite est basée sur une série de données composées des coordonnées positionnant chacun des points échantillonnés par rapport au scanner 3D.

► **Réflexivité** : facteur de réflexion d'une couche matérielle d'épaisseur telle que le facteur de réflexion ne changera pas lorsqu'on augmente cette épaisseur (capacité d'une surface à retourner un signal lumineux émis - vers le capteur).

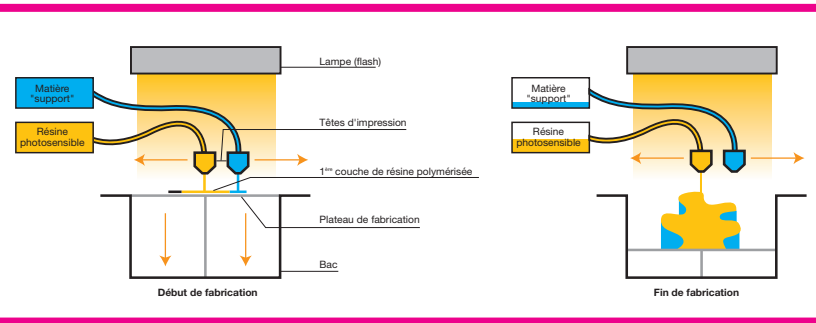
Impression 3D

■ Principe général de fonctionnement des procédés de modelage par dépôt en jets multiples

L'objet ou la série d'objets sont construits sur un plateau. Une tête d'impression comprenant plusieurs buses se déplace sur le plan horizontal et projette de manière sélective le matériau pour

construire chaque couche de la pièce. Pour réaliser une autre strate, le plateau descend de la valeur de l'épaisseur de la couche suivante, puis une nouvelle couche de matériau est déposée. Il y a autant de cycles que de nombre de couches nécessaires pour obtenir l'objet. La fabrication d'un objet ou d'un ensemble

d'objets nécessite la construction d'un support pour que les parois ne s'effondrent pas. Ces supports sont réalisés avec un matériau soluble, ce qui facilite leur suppression, dans un bain ou par projection d'une solution liquide. Les pièces obtenues sont utilisées comme modèles pour la fonderie à cire perdue.



■ Deux techniques d'impression 3D sont proposées

1/ Procédé : injection de cires

Les couches successives (de 13 à 76 µm) sont créées par l'injection simultanée de deux cires, celle du modèle et une autre qui sert de support de construction. Un surfacage par fraisage est réalisé après chaque génération de couche pour obtenir une bonne planéité et améliorer la précision des pièces obtenues. Un test automatique de bon fonctionnement des buses est réalisé après chaque passage sur une bande de papier. La cire support est éliminée par dilution dans un bain de solvant élevé en température.

- ▶ **Fabricant** : Solidescape
- ▶ **Machines disponibles en France pour le dentaire** : D66 et D76



Fig 31. Exemple de production de modèles en cire.

▶ Avantages

- Facilité de mise en œuvre : support de construction généré automatiquement.
- Modèles en cire d'une très grande finesse et précision

▶ Inconvénients

Temps de fabrication important, même pour des pièces de petites dimensions.

2/ Procédé : injection de résines et polymérisation par UV

Les couches successives (de 16 à 32 µm) sont créées par l'injection simultanée de deux résines, celle du modèle et une autre qui sert de support de construction. A chaque couche déposée, une source UV est utilisée pour solidifier par polymérisation la résine photo-sensible. La résine support est éliminée par dilu-

tion dans un bain de solvant élevé en température ou par jet d'un solvant. Les objets finis sont ensuite nettoyés puis mis au four pour finaliser la polymérisation.

- ▶ **Fabricants** : 3D Systems et Objet Geometries.

- ▶ **Machine disponible en France pour le dentaire** : ProJet 3000 DP de 3D Systems.

▶ Avantages

- Facilité de mise en œuvre : support de construction généré automatiquement.
- Productivité : jusqu'à 160 éléments ou 20 châssis par plateau.

▶ Inconvénients

- Chaque machine est paramétrée pour un seul matériau.
- Coût élevé du matériau dédié.
- Les têtes d'impression ont tendance à se boucher quand la machine est peu utilisée. Il faut donc prévoir un contrat d'entretien ou apprendre à déboucher soi-même les têtes d'impression.



Fig 32. Machine D76+ de Solidescape.

Fig 33. Exemple de production de modèles en résine calcifiable.

Fig 34. Machine ProJet DP 3 000 de 3D Systems.

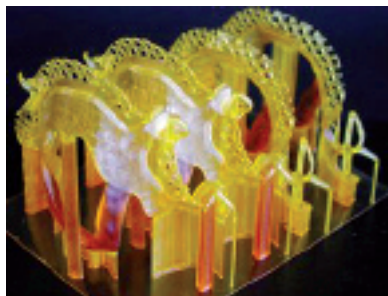
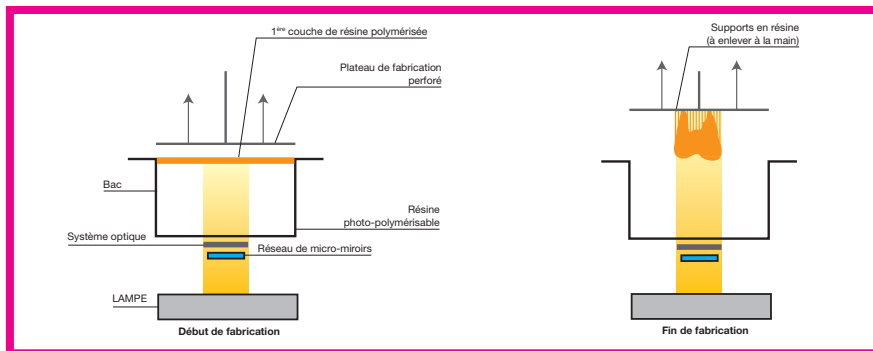
■ Principe général de fonctionnement du procédé de stéréolithographie par UV Sélectif

Le logiciel de la machine récupère le fichier STL de l'objet 3D puis le découpe en strates et crée une image bitmap de chaque strate. Une plateforme horizontale est plongée dans une cuve de résine liquide photosensible. La technologie DLP (Direct Light Projection) consiste à projeter l'image bitmap d'une strate en surface du bain de résine. La résine est alors photo-polymérisée selon l'image bitmap projetée ; elle se durcit. Cela est réalisé grâce à une matrice d'un million de miroirs numériques (1 280 x 1 024 pixels) contenus dans le processeur de lumière numérique, une technologie brevetée par Texas Instruments. Les miroirs sont orientés soit vers

la source de lumière pour la projeter où elle est nécessaire afin de durcir la matière, soit autre part de manière à bloquer la lumière. Pour réaliser une autre strate, selon la machine, le plateau de construction monte ou descend de la valeur de l'épaisseur d'une nouvelle couche (de 25 à 150 µm). Il a autant de cycles que de nombre de

couches nécessaires pour obtenir l'objet.

La fabrication d'un objet ou d'un ensemble d'objets nécessite la construction de supports pour que les parois ne s'effondrent pas. Ces supports sont réalisés sous forme de tiges dans le même matériau que les pièces, ce qui nécessite de les enlever manuellement.



A gauche :
Fig 35 et 36. Exemples de production sur Perfactory DDP.

A droite :
Fig 37. Perfactory DDP Desktop.
Fig 38. Perfactory DDP.



thèses temporaires, il suffit de changer la cuve.

- Fiabilité de la machine (mécanique de fonctionnement simple) et facilité d'entretien.
- Coût compétitif des matériaux.
- Faibles coûts de maintenance, à condition de ne pas prendre le contrat de maintenance proposé par le constructeur qui est excessivement cher.
- Modèle Desktop : prix abordable pour une production jusqu'à 50 éléments par jour.
- ▶ **Inconvénients**
 - La technique de fabrication nécessite une préparation à partir des

maquettes 3D pour la mise en place des supports de construction, non automatisée pour les châssis.

- Prix de la machine élevé au regard de la technologie mise en œuvre.
- La durée de vie de la lampe UV est d'environ 1500 heures ; pour éviter l'usure inutile de la lampe (hors production) il faut éteindre la machine, or à chaque démarrage, il faut calibrer la machine.
- La durée d'un cycle de fabrication est la même pour un seul élément que pour un plateau complet.
- Modèle Desktop : la taille réduite de la machine la limite à la production de bridges jusqu'à 10 dents.

- ▶ **Fabricant** : Envisiontec (Allemagne)
- ▶ **Machines disponibles en France pour le dentaire** : Perfactory DDP et Perfactory DDP Desktop
- ▶ **Avantages**
 - Possibilité de mettre en forme différents matériaux avec la même machine : mélange de résine et de cire pour la fabrication des modèles calcinables, résine pour prototypes et résine biocompatible pour les pro-

Comparatif de productivité : impression 3D versus stéréolithographie par UV

Pour la production de modèles calcinables, les machines Perfactory DDP d'Envisiontec et ProJet 3000 DP (remplaçante de l'InVision DP) de 3D Systems offrent une productivité similaire, de l'ordre de 300 éléments (couronnes, chapes et pontiques) par jour et pouvant même atteindre jusqu'à 500 éléments par jour en contexte de production industrielle : 160 éléments par cycle de 5h00 pour le ProJet ; 70 éléments par cycle de 2h30 pour la Perfactory. Leur précision comprise entre 20 et 50 µm est suffisante pour la production de maquettes calcinable de couronnes, d'armatures de prothèses fixes et de châssis de prothèses mobiles.

Les machines de Solidscape sont moins productives mais moins chères. Les versions D66 et D76, mises sur le marché en mai 2009, sont données pour des productions respectives de 750 et 1500 éléments de prothèses fixes par mois, mais avec un délai de cycle de fabrication de l'ordre de 24 heures. Avec des couches de 13 µm, cette machine est surtout intéressante en orthodontie où la hauteur de construction de brackets et de boîtiers (modélés à plat) rend le délai de fabrication raisonnable. (Infos 07/09)

Micro-fusion de poudres

■ Principe général de fonctionnement du procédé de micro-fusion de poudres métalliques

La micro-fusion sur lit de poudre consiste à déposer sur une plaque support un lit de poudre d'épaisseur de quelques dizaines de micromètres, puis un faisceau laser ou d'électrons, contrôlé par un système optique, vient chauffer les

grains de poudre jusqu'à leur température de fonte. La poudre est fondue de manière sélective, selon les paramètres géométriques définis à partir d'un fichier CAO. La poudre fondue est solidifiée rapidement formant des cordons de matière solides. A la fin de cette étape, le plateau support descend d'une épaisseur de couche et une nouvelle couche

de poudre est déposée (avec un bac mobile ou par étalement de la poudre avec un racleur), puis le processus démarre à nouveau pour consolider une nouvelle strate de matière sur la précédente. Ceci se répète jusqu'au produit fini. Pour éviter toute oxydation à haute température, le travail s'effectue en environnement contrôlé (azote, argon...).

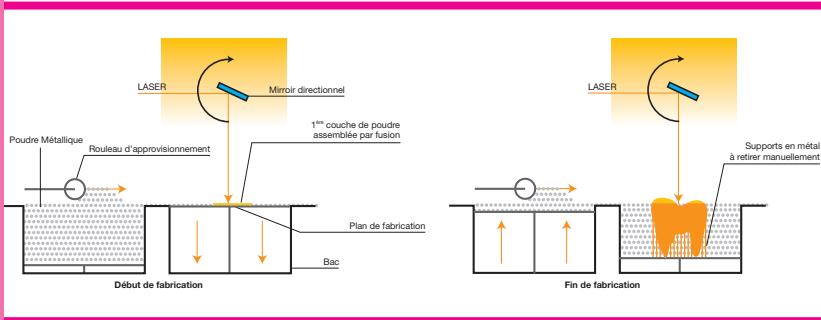
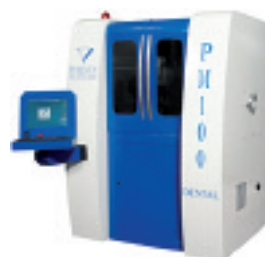


Fig 39. Exemple de production avec la PXS Dental de Phenix Systems.

De gauche à droite :
Fig 40. PXS Dental.
Fig 41 : PM100T Dental.
Fig 42 : Eosint M 270.



► Caractéristiques

- Précision : de 20 à 50 µm
- Epaisseur minimum des parois : de 150 à 200 µm
- Densité des pièces : > 99%

► Fabricants : EOS (Allemagne), Concept Laser (Allemagne), MIT Technologies (Royaume-Uni), Phenix Systems (France).

► Machines disponibles en France pour le dentaire : EOSINT M 270 d'EOS, PM100T Dental et PXS Dental de Phenix Systems.

► Avantages

- Par rapport à l'usinage : pas d'usure d'outils de coupe, peu de perte

matière (recyclage de la poudre non solidifiée), ce qui rend cette technique de fabrication très compétitive.

► Inconvénients

- Fabrication exclusive de couronnes, chapes et bridges en cobalt-chrome,

procédé qualifié par chaque fabricant de machines uniquement pour cette application.

- Post-traitement des pièces fabriquées pour le retrait des supports de construction : grattage et polissage par

micro-grenailage (facultatif) plus passage au four dans certains cas.

- Prix des machines relativement élevé, ce qui en fait une technologie réservée aux centres de production ou aux très grands laboratoires.

Applications dentaires

Plusieurs fabricants de machines de micro-fusion laser de poudres métalliques ont qualifié leurs machines pour la fabrication directe de couronnes, de chapes et de bridges, exclusivement en cobalt-chrome. Phenix Systems, fabricant français précurseur dans le domaine dentaire, et EOS sont les seuls à commercialiser en France des machines dédiées au dentaire [Voir liens Internet p.52 - Fabrication Additive]. La société MB Proto, sous-traitant spécialisé dans la fabrication additive, a développé la fabrication additive d'armatures sur la base de la technologie de MTT Technologies, puis elle a créé le centre de production Edonis Dental Systems. Désormais, MTT vend aussi une machine dédiée au dentaire, mais pas sur le marché français ; on l'a trouvée notamment chez Hint-els sous la marque rapidPro. Concept Laser a présenté sa première machine pour le dentaire à l'IDS 2009.

Avec une précision dimensionnelle de 20 à 50 µm, ce procédé est surtout adapté à la fabrication de prothèses fixes scellées. Certains sous-traitants proposent la fabrication d'autres composants de prothèses dentaires en cobalt-chrome : châssis de prothèses adjointes et barres sur implants. La précision est suffisante pour les châssis mais il réside des difficultés dans la métallurgie des crochets. Pour la fabrication de barres, la précision n'est pas suffisante si les prothèses exigent une excellente passivité. Dans ce cas, il faut prévoir une reprise par usinage de la pièce modelée, aux points nécessitant une grande précision (points de vissage par exemple).

Ce procédé permet de mettre en forme toutes sortes d'alliages d'acier, d'aluminium et de titane, et de l'or. Le centre de production de Bego a qualifié ce procédé pour produire des armatures en titane. Cependant, aucune machine n'est vendue pour produire des composants de prothèses dentaires en titane. En France, seule la société Poly-Shape, sous-traitant spécialisé dans la fabrication additive, propose la fabrication de pièces en titane pour le médical. (Infos 07/09)

Fournisseurs et produits

:: Fournisseurs

:: Scanners 3D

:: Logiciels CAO

:: Logiciels FAO

:: Machines d'usinage

:: Machine de fabrication additive

1. Fournisseurs

SOCIETE	3M Santé - 3M ESPE	Bien-Air	DAOS Dental (Suisse)	Delcam
Activité (CFAO)	Editeur/fabricant	Editeur/fabricant	Intégrateur	Editeur/fabricant
Site internet	www.3mespe.com/fr	www.bienair.com	www.daosdental.com	www.delcam.fr
Contact	Emmanuel Belloche	Denis Cuendet	Wilhelm Schaumloeffel	Bruno Gubala
Téléphone	01 30 31 85 74	0041 32 344 6464	0033 950 35 69 50/ 0033679 03 08 69	01 69 59 14 00
Email	ebelloche@mmm.com	-	daos.tec@ daos-dental.com	marketing@ france.delcam.com
Partenaire Prodentec	Non	Oui	Non	Oui
OFFRE				
Scanner(s)	Oui, vendu de manière autonome	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Non
Logiciel(s) de CAO	Oui, vendu exclusivement avec un scanner	Oui, vendu exclusivement avec un scanner	Oui, vendu de manière autonome	Oui, vendu de manière autonome
Logiciel(s) de GDT <i>(voir glossaire)</i>	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Non	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Non
Logiciel(s) de FAO	Oui, intégré à une solution complète	Oui, vendu exclusivement avec une machine	Oui, vendu de manière autonome	Oui, vendu de manière autonome
Logiciel(s) de GPAO <i>(voir glossaire)</i>	Non	Non	Non	Oui, module complémentaire intégré au logiciel de FAO
Machine(s) de fabrication additive	Non	Non	Non	Non
Machines d'usinage	Oui, vendue avec une FAO intégrée	Oui, vendue avec une FAO intégrée	Oui, vendue avec une FAO intégrée	Non
Services de production	Oui, réservé aux utilisateurs de la CAO de la société	Non	Oui, en dépannage pour les clients	Non
USAGES				
... Pour le prothésiste				
Prothèses fixes	Oui	Oui	Oui	Oui
Super-structures	Oui	Oui	Oui	Oui
Inlays/Onlays	Oui	Oui	Oui	NC
Châssis métalliques (amovibles)	Non	Oui	Non	Non
Appareils orthodontiques	Oui, 3M Unitek	Non	Non	Non
... Pour le dentiste				
Numérisation intra-buccale	Oui	Oui	Non	Non
Reconstruction 3D (maxillaire et mandibule)	Oui	Non	Non	Non
Implantologie assistée par ordinateur	Oui, IMTEK	Non	Non	Non
Simulation orthodontique	Oui, 3M Unitek	Non	Non	Non

Dentsply Degudent	Digilea / C4W	EOS France	Euromax Monaco	GO2cam International
Editeur/fabricant	Editeur/fabricant	Editeur/fabricant	Distributeur exclusif en France	Editeur / Fabricant
www.dentsply.fr	www.digilea.com	www.eos.info	www.euromaxmonaco.com	www.go2cam.net
Olivier Lafarge	Xavier Duriez	André Surel	Massimo Gai	Mathilde Borel
01 30 14 77 75	04 67 64 50 70	-	+377 97 97 42 30	+33 4 72 27 06 64
-	contact@digilea.com	Andre.Surel@eos.info	info@euromaxmonaco.com	mborel@go2cam.net
Non	Non	Non	Oui	
Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Non	Non	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Non
Oui, vendu exclusivement avec un scanner	Oui, vendu de manière autonome	Non	Oui, vendu de manière autonome	Non
Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Non	Non	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Oui, vendu de manière autonome
Oui, intégré à une solution complète	Oui, vendu exclusivement avec une machine	Non	Oui, intégré à une solution complète	Non
Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de FAO	Non	Non	Oui	Non
Non	Non	Oui, vendue de manière autonome	Oui, vendu de manière autonome	Non
Oui, intégré à une solution complète	Oui, vendue avec une FAO intégrée	Non	Oui, vendue avec une FAO intégrée	Non
Oui, réservé aux utilisateurs de la CAO de la société	Non	Non	Oui, réservé aux utilisateurs de la CAO de la société	Non
Oui	Non	Oui	Oui	Oui
Oui, via Compartis ISUS et avec Cercon Art (03/2009)	Non	Non	Oui	Oui
Non	Non	Non	Oui	Oui
Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Non	Non	Non	Non	Non
Non	Non	Non	Non	Non
Non	Non	Non	Non	Non
Oui	Non	Non	Non	Non
Non	Non	Non	Non	Non

SOCIETE	Henry Schein France	KAVO Dental	Laserdenta (Suisse)
Activité (CFAO)	Distributeur exclusif en France	Editeur/fabricant	Editeur/fabricant
Site internet	www.henryshein.fr	www.kavofr.com	www.laserdenta.com
Contact	-	Vincent Faure	-
Téléphone	-	825 82 50 99	+49 22 71 75 45 11
Email	www.henryshein.fr (rubrique agences)	info@kavofr.com	ulrich.kranz@ laserdenta.com
Partenaire Prodentec	Oui	Non	Non
OFFRE			
Scanner(s)	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Oui, intégré à une solution complète	Oui, vendu de manière autonome
Logiciel(s) de CAO	Oui, vendu exclusivement avec un scanner	Oui, intégré à une solution complète	Oui, vendu exclusivement avec un scanner
Logiciel(s) de GDT <i>(voir glossaire)</i>	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Non	Non
Logiciel(s) de FAO	Oui, vendu de manière autonome	Oui, intégré à une solution complète	Non
Logiciel(s) de GPAO <i>(voir glossaire)</i>	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Non	Non
Machine(s) de fabrication additive	Oui, vendu de manière autonome	Non	Non
Machines d'usinage	Non	Oui, intégré à une solution complète	Non
Services de production	Non	Non	Non
USAGES			
... Pour le prothésiste			
Prothèses fixes	Oui	Oui	Oui
Super-structures	Oui	Oui	Oui
Inlays/Onlays	Non	Oui	Oui
Châssis métalliques (amovibles)	Non	Non	Non
Appareils orthodontiques	Non	Non	Non
... Pour le dentiste			
Numérisation intra-bucale	Non	Non	Non
Reconstruction 3D (maxillaire et mandibule)	Non	Oui	Non
Implantologie assistée par ordinateur	Non	Oui	Non
Simulation orthodontique	Oui, analyse et archivage orthodontiques	Non	Non

Multistation	Nobel Biocare France	Open Mind Technologies	Phenix Systems	PX France
Editeur/fabricant	Editeur/fabricant	Editeur/fabricant	Editeur/fabricant	Distributeur exclusif en France
www.multistation.com	www.nobelbiocare.com	www.openmind-tech.com/fr	www.phenix-systems.com	www.px dental.com
Karol Ruel	Roger Farhadian	Alain Sutter	François Reymondet	Jean-Christophe Blot
02 99 16 35 33	01 49 20 00 30	06 81 36 82 17	04 73 33 45 85	04 50 51 17 34
karol@multistation.com	roger.farhadian@nobelbiocare.com	alain.sutter@openmind-tech.com	contact@phenix-systems.com	pxfrance@wanadoo.fr
Non	Non	Non	Oui	Non
Oui, vendu de manière autonome	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Non	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO
Oui, vendu de manière autonome	Oui, vendu exclusivement avec un scanner	Non	Oui, vendu exclusivement avec un scanner	Oui, vendu exclusivement avec un scanner
Non	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Non	Non	Non
Oui, vendu de manière autonome	Non	Oui, vendu de manière autonome	Oui, vendu exclusivement avec une machine	Oui, intégrée à une solution complète
Non	Non	Non	Non	Non
Oui, vendu de manière autonome	Non	Non	Oui	Non
Oui, vendu de manière autonome	Non	Non	Non, intégrée à une solution complète	Oui, intégrée à une solution complète
-	Oui, réservé aux utilisateurs de la CAO de la société	Non	Non, réservé aux utilisateurs de la CAO de la société	Non, réservé aux utilisateurs de la CAO de la société
Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Oui	Oui	Oui	NC, en développement chez des centres de production	Oui
Non	Oui, lancement juin	Oui	Non	Oui
Non	Non	Non	NC, oui chez certains centres de production	Non
Oui	Oui, lancement juin 2010	Non	Non	Non
Non	Non	Non	Non	Non
Non	Oui, Nobel Guide convertreur	Non	Non	Non
Non	Oui, Nobel Guide Templates	Non	Non	Non
Oui	Oui, lancement juin 2010	Non	Non	Non

SOCIETE	Sescoi	Sirona	Straumann - Etikon
Activité (CFAO)	Editeur/fabricant	Editeur/fabricant	Editeur/fabricant
Site internet	www.sescoi.fr	www.sirona.fr	www.straumann.fr
Contact	Laurent Journeau	Gilles Cahen	-
Téléphone	013 85 21 66 21	06 09 74 55 09	01 64 17 30 00
Email	dental.sescoi@sescoi.fr	info@sirona.fr	info.fr@straumann.com
Partenaire Prodentec	Oui	Non	Non
OFFRE			
Scanner(s)	Non	Oui, intégrée à une solution complète	Oui, vendu en complément d'un service de production
Logiciel(s) de CAO	Non	Oui, intégrée à une solution complète	Oui, vendu en complément d'un service de production
Logiciel(s) de GDT <i>(voir glossaire)</i>	Non	Oui, module complémentaire, intégré au logiciel de CAO	Non
Logiciel(s) de FAO	Oui, vendu de manière autonome	Oui, intégrée à une solution complète	Non
Logiciel(s) de GPAO <i>(voir glossaire)</i>	Oui, module complémentaire, intégré au logiciel de FAO	Oui, vendu exclusivement avec un logiciel de CAO	Non
Machine(s) de fabrication additive	Non	Oui, intégrée à une solution complète	Non
Machines d'usinage	Non	Oui, intégrée à une solution complète	Non
Services de production	Non	Oui, réservé aux utilisateurs de la CAO de la société	Oui, réservé aux utilisateurs de la CAO de la société
USAGES			
... Pour le prothésiste			
Prothèses fixes	Oui	Oui	Oui
Super-structures	Oui	Oui	Oui
Inlays/Onlays	Non	Oui	Oui
Châssis métalliques (amovibles)	Non	Oui, en sous-traitance chez infiniDent	Non
Appareils orthodontiques	Non	Oui	Non
... Pour le dentiste			
Numérisation intra-bucale	Non	Oui, caméra CEREC Bluecam	NC
Reconstruction 3D (maxillaire et mandibule)	Non	Oui	NC
Implantologie assistée par ordinateur	Non	Oui, avec le logiciel 3D Galaxis	NC
Simulation orthodontique	Non	Non	NC
Autres	-	Cerec : CFAO pour les cabinets dentaires	-

2. Scanners 3D

Systèmes de numérisation 3D				
Nom du produit	Activity	Cercon eye	D100	D700 (et D640)
Fabricant	Smart Optics	Degudent	IMETRIC	3Shape
Distributeur	-	Degudent Dentsply	Daos Dental	Henry Schein France
Nb de scanners vendus (1)				
en France	-	70	,NC	+/- 150
en Europe	-	NC	NC	NC
dans le monde	-	8000	NC	> 1000
Technologie de numérisation	Lumière frangée	Laser	Lumière frangée	Triangulation Laser
	2 axes		2 axes	3 axes + 2 caméras
Logiciel de maillage intégré	OUI	OUI	OUI	OUI
EXPORT STL	OUI	NON	OUI	OUI
NUMERISATION				
Positif et/ou Négatif	Modèle positif	Modèle positif	Les deux	Les deux
Matériaux numérisés	tous matériaux	plâtre	tous matériaux	plâtre + polymères
TYPE DE RESTAURATION				
Couronnes	OUI	OUI	OUI	OUI
Chapes	OUI	OUI	OUI	OUI
Inlays/Onlays	OUI	NON	OUI	NON
Bridges	OUI	OUI	OUI	OUI
Nb de dents maxi.	14	14	14	16
Antagonistes	OUI	OUI	OUI	OUI
Pontics	OUI	OUI	OUI	OUI
Supra-structures	OUI	OUI	OUI	OUI
Autre(s)	-	-	Double scan, Wax-ups	Wax-ups, morphologies
Dents à l'unité	OUI	OUI	OUI	OUI
Précision	10 µm	10 µm	20 µm	20 µm
Temps de numérisation	< 1 mn	14 sec.	40 sec. à 90 sec.	30 à 40 sec.
Nombre de points	NC	760 /sec.	25 000 - 100 000	10 000 à 1 500 000
Arcade complète	OUI	NON	OUI	OUI
Précision	10 µm	-	20 µm	20 µm
Temps de numérisation	< 3 mn	-	40 sec. à 90 sec.	2 à 5 mn
Nombre de points	NC	-	25 000 - 1 000 000	10 000 à 1 500 000
Nombre de triangles	NC	-	50 000 - 300 000	NC
Solutions intégrant le scanner (2)	Sensable Dental Lab	-	Bien-Air (Scan 200),	Zenotec (PX France), Digis-tell (Digilea SA)
Ils commercialisent le scanner (3)	Simeda Dental	-	Diadem, Simeda Dental	Bego, Degudent, Nobil Metal/Ugin, PX France
PRIX TTC (5)	15 000 € (4) *	17 500 €	20 000 à 24 900 € (5)	33 500 € (5)
Remarques (spécificités) :	* Scanner que l'on peut acquérir indépendamment d'un logiciel.	Scanner associé au système de conception et usinage Cercon et/ou relié au centre de production de Degudent.	Le prix de vente varie selon que le système de CAO (scanner + logiciel de modélisation) est commercialisé seul ou en complément d'un service de sous-traitance.	Export : DCM, format de données de 3Shape pour la fabrication.

Systèmes de numérisation 3D			
Nom du produit	DW-5Series	DW-3Series	etkon es 1
Fabricant	Dental-Wings	Dental-Wings	Straumann
Distributeur	Euromax Monaco	Euromax Monaco	Straumann
Nb de scanners vendus (1)			
en France	+/- 100	Lancement 05/2009	NC
en Europe	NC	-	NC
dans le monde	> 500	-	NC
Technologie de numérisation	Triangulation Laser	Triangulation Laser	Triangulation Laser
	5 axes	5 axes	
Logiciel de maillage intégré	OUI	OUI	NC
EXPORT STL	OUI	OUI	NON
NUMERISATION			
Positif et/ou Négatif	Les deux	Modèle positif	Modèle positif
Matériaux numérisés	plâtre + silicone	plâtre + silicone	plâtre
TYPE DE RESTAURATION			
Couronnes	OUI	OUI	OUI
Chapes	OUI	OUI	OUI
Inlays/Onlays	NON	NON	OUI
Bridges	OUI	OUI	OUI
Nb de dents maxi.	16	16	14
Antagonistes	OUI	OUI	OUI
Pontics	OUI	OUI	OUI
Supra-structures	OUI	OUI	NC
Autre(s)	Wax-ups	Wax-ups	Attachements
Dents à l'unité	OUI	OUI	OUI
Précision	20 µm	20 µm	NC
Temps de numérisation	45 sec.	45 sec.	10 à 25 sec.
Nombre de points	100 000 à 1 00 000	100 000 à 1 00 000	28 000 /sec.
Arcade complète	OUI	OUI	OUI
Précision	50 µm	50 µm	NC
Temps de numérisation	3 mn	3 mn	NC
Nombre de points	100 000 à 1 00 000	100 000 à 1 00 000	NC
Nombre de triangles	NC	NC	NC
Solutions intégrant le scanner (2)	-	-	-
Ils commercialisent le scanner (3)	Zenotec (Wieland)	Edonis Dental System,	-
PRIX TTC (5)	29 500 € (5)	20 000 € (5)	NC
Remarques (spécificités) :	Plateau Multi-Die : 16 unités en une session.	Plateau Multi-Die : 6 unités en une session.	Scanner + logiciel de CAO reliés au centre de production de Straumann

Systèmes de numérisation 3D

Everest Scan	i3 Evolution	inEOS	Laserdanta
KAVO	Cynoprod	Sirona Dental Systems	Laserdanta
KAVO	Cynovad	SOGIM Grimouille - ARSEUS Lab	Laserdanta
35	NC	NC	NC
700	NC	NC	NC
1000	NC	NC	NC
-	Triangulation Laser	Par déformation d'une moivre	Triangulation Laser
5 axes	3,5 axes	-	5 axes
OUI	OUI	NC	OUI
NON	OUI	NON	OUI
Modèle positif	Les deux	Modèle positif	Les deux
plâtre + polymères	plâtre, métal, silicone	Plâtres spécifiques sans poudrage	tous matériaux
OUI	OUI	OUI	OUI
OUI	OUI	OUI	OUI
OUI	OUI	OUI	OUI
OUI	OUI	OUI	OUI
16	NC	16	NC
NON	OUI	OUI	OUI
OUI	OUI	OUI	OUI
OUI	OUI	OUI	OUI
-	-	piliers implantaires individualisés	Piliers implantaires
OUI	OUI	OUI	OUI
15 µm	20 µm	25 x 29 µm	20 µm
3 mn	17 sec.	sec.	90 sec.
NC	250 000	NC	NC
OUI	OUI	OUI	OUI
20 µm	20 µm	25 x 29 µm	20 µm
38 mn	4 mn	2 mn	7 à 15 mn
NC	250 000	NC	NC
NC	100 000 à 500 000	NC	NC
-	-	-	-
-	-	-	-
NC	NC	16 000 €	NC
Scanner associé au système de conception et usinage Everest.	-	Scanner inEos + logiciel de CAO inlab 3D système relié au centre de production de Siro-na.	Interface directe avec le logiciel de CAO DentCAD et de FAO DentMill de Delcam, et avec les machines d'usinage Zeno de Wieland. Produit mal représenté en France.

Systèmes de numérisation 3D				
Nom du produit	Lava Scan ST	Optimet	Scanner Forte	Scanner Piccolo
Fabricant	3M ESPE	Orphire	Renishaw	Renishaw
Distributeur	3M ESPE	Nobel Biocare	Nobel Biocare	Nobel Biocare
Nb de scanners vendus (1)				
en France	NC	60	150	170
en Europe	NC	450	1810	1990
dans le monde	NC	700	2700	2300
Technologie de numérisation	NC	Holographie	Palpeur 5 axes	Palpeur 3 axes
	-	conoscopique	-	-
Logiciel de maillage intégré	OUI	OUI	NC	NC
EXPORT STL	NON	NON	NON	NON
NUMERISATION				
Positif et/ou Négatif	Modèle positif	Les deux	Modèle positif	Modèle positif
Matériaux numérisés	plâtre	tous matériaux	plâtre	plâtre
TYPE DE RESTAURATION				
Couronnes	OUI	OUI	OUI	OUI
Chapes	OUI	OUI	OUI	OUI
Inlays/Onlays	OUI	OUI	OUI	NON
Bridges	OUI	OUI	OUI	NON
Nb de dents maxi.	8	14	14	1
Antagonistes	OUI	OUI	OUI	NON
Pontics	OUI	OUI	OUI	NON
Supra-structures	OUI	OUI	OUI	NON
Autre(s)	Piliers implantaires	-	-	-
Dents à l'unité	OUI	OUI	OUI	OUI
Précision	NC	5 µm	30 µm	30 µm
Temps de numérisation	< 2 mn	1 mn	2 mn	2 mn
Nombre de points	NC	NC	NC	NC
Arcade complète	NON	OUI	OUI	NON
Précision	-	5 µm	30 µm	-
Temps de numérisation	-	15 mn	25 mn	-
Nombre de points	-	NC	NC	-
Nombre de triangles	-	NC	NC	-
Solutions intégrant le scanner (2)	-	-	-	-
Ils commercialisent le scanner (3)	-	-	-	-
PRIX TTC (5)	31 000 € (5)	30 000 € (5)	55 000 € (5)	15 000 € (5)
Remarques (spécificités) :	Scanner + logiciel de CAO relié aux centres d'usines agréés Lava plus d'autres centres de fabrication hors usinage Zircono agréés (sous contrôle de 3M ESPE).	Technologie d'holographie conoscopique brevetée par Optime. Scanner + logiciel de CAO vendus sous la marque NobelProcera et reliés au centre de production de Nobel Biocare.	Scanner + logiciel de CAO reliés au centre de production de Nobel Biocare.	Scanner de transfert numérique des maquettes unitaires relié au centre de production de Nobel Biocare.

Logiciels de CAO				
Nom du produit	Cercon Art	DentalDesigner	DentCAD	Design System
Editeur	Degudent	3Shape	Delcam	Sensable
Distributeur en France	Degudent Dentsply	Henry Schein France	Daos Dental	Sensable
Date de lancement V1	NC	mars-05	sep-08	2008
Dernière version	NC	Version 2.4.8.2	Version 80.91	NC
Date dernière version	NC	nov-08	déc-08	NC
Nb de licences vendues (1) en France	NC	+/- 150	NC	1 site
en Europe	NC	NC	NC	NC
dans le monde	NC	> 1000	NC	7 sites
Type de modeleur	Polygonale	Polygonale	NURBS	Polygonale
TYPE DE RESTAURATION				
Couronnes	NON	OUI	OUI	OUI
Chapes	OUI	OUI	OUI	OUI
Bridges	OUI	OUI	OUI	OUI
Inlays/Onlays	NON	NON	OUI	NON
Pontics	OUI	OUI	OUI	NON
Châssis métalliques (amovibles)	NON	NON	NON	OUI
Supra-structures	NON	OUI	NON	NON
Marques d'implants	-	NC	-	-
Appareil orthodontique	NON	NON	NON	NON
Autre(s)	-	-	-	-
IMPORT STL	NON	OUI	OUI	OUI
EXPORT STL	OUI (a)	OUI	OUI	OUI
Ils intègrent le logiciel (2)	-	Zeno CAD de Wieland (PX Dental)	Bien-Air, Laserdenta	-
Ils commercialisent le logiciel (3)	-	Bego, Degudent, Nobil Metal/Ugin	Diadem, Simedental	-
PRIX TTC (5)	Non vendu seul	6 000 € (4)	-	NC
Remarques (spécificités) :	Logiciel associé à une machine d'usinage et/ou connecté au centre de production de Degudent. (a) uniquement au format crypté .ART vers les laboratoires équipés de la machine d'usinage Cercon de Degudent.	Création de piliers et barres sur implants avec le module additionnel AbutmentDesigner.	L'application de CAO supra-structures sur implants est prévue à partir de juin 2009.	Modelage 3D tactile avec un bras de retour d'effort.

Logiciels de CAO			
Nom du produit	Digitell V2	DWOS-RPM	etkon_visual
Editeur	C4W	Dental-Wings	Straumann
Distributeur en France	Digilea	Euromax Monaco	Straumann
Date de lancement V1	sep-09	sep-07	NC
Dernière version	V2	V2.1	NC
Date dernière version	sep-09	fév-09	NC
Nb de licences vendues (1) en France	NC	+/- 100	NC
en Europe	NC	NC	NC
dans le monde	NC	> 500	NC
Type de modeleur	Polygonale	Polygonale	NC
TYPE DE RESTAURATION			
Couronnes	NON	OUI	OUI
Chapes	NON	OUI	OUI
Bridges	NON	OUI	OUI
Inlays/Onlays	NON	NON	OUI
Pontics	NON	OUI	OUI
Châssis métalliques (amovibles)	OUI	NON	NON
Supra-structures	NON	OUI	NC
Marques d'implants	-	NC	-
Appareil orthodontique	NON	NON	NON
Autre(s)	-	Facettes	-
IMPORT STL	OUI	OUI	NON
EXPORT STL	OUI	OUI	NON
Ils intègrent le logiciel (2)	-	-	-
Ils commercialisent le logiciel (3)	-	Edonis Dental System, Wieland	-
PRIX TTC (5)	13 150 €	8 000 € (4)	Non vendu seul
Remarques (spécificités) :	Le nouveau logiciel, V2, fonctionne avec une souris. Il remplace la version initiale, V1, basée sur la technologie de modelage 3D tactile de Sensable (modélisation avec un bras de retour d'effort).	Préparation des supports de fabrication pour les imprimantes 3D intégrée au logiciel. Module DWOS-IMP en option pour la conception de supra-structures sur implants. Logiciel interfacé avec le système de numérisation intra buccale iTero de Cadent.	Logiciel relié au centre de production de Straumann.

Logiciels de CAO

Nom du produit	Everest Energy CAD	inLab 3D	Lava design	NeoDesign 7.5
Editeur	KAVO	Sirona Dental Systems	3M ESPE	Evisra (Cynoprod)
Distributeur en France	KAVO	SOGIM Grimouille (région Sud) - ARSEUS Lab (Régions Est /Nord, Ouest, Ile de France)	3M ESPE	-
Date de lancement V1	NC	janv 2001	jan-02	NC
Dernière version	V8	V 3.60	Lava design 4.2	V7.5
Date dernière version	oct-08	mars 09	sep-08	nov-08
Nb de licences vendues (1)				
en France	35	NC	27	NC
en Europe	700	NC	NC	NC
dans le monde	1000	NC	NC	NC
Type de modelleur	NURBS	NC	NC	Polygonale
TYPE DE RESTAURATION				
Couronnes	OUI	OUI	OUI	OUI
Chapes	OUI	OUI	OUI	OUI
Bridges	OUI	OUI	OUI	OUI
Inlays/Onlays	OUI	OUI	OUI	NON
Pontics	OUI	OUI	OUI	OUI
Châssis métalliques (amovibles)	NON	OUI (usage via centre de production)	NON	NON
Supra-structures	OUI	OUI	OUI	NON
Marques d'implants	3i, Branemark, Straumann	Astra Tech, Biomet 3i, CAMLOG, Dentsply Friadent, Nobel Biocare, Straumann, Zimmer Dental	75% du marché	-
Appareil orthodontique	NON	OUI	NON	NON
Autre(s)	-	-	-	-
IMPORT STL	NON	NON	NON	OUI
EXPORT STL	NON	NON	OUI (a)	OUI
Ils intègrent le logiciel (2)	-	-	-	-
Ils commercialisent le logiciel (3)	-	-	-	-
PRIX TTC (5)	Non vendu seul	Non vendu seul	Non vendu seul	NC
Remarques (spécificités) :	Logiciel associé au système de conception et usinage Everest.	Logiciel associé au système inLab et/ou connecté au centre de production de Sirona. Logiciel principal de conception : inLab 3D. Logiciel d'usinage en pile avec un placement automatique des restaurations dans le bloc à usiner : inLab for Stack. Logiciel pour création et conception de piliers implantaires individualisés : inLab for Abutments	(a) uniquement sous contrôle de 3M ESPE (vers les centres de production agréés LAVA).	Logiciel vendu associé au scanner i3 Evolution, fonctionnant de manière autonome ou relié au centre de production de Cynoprod.

Logiciels de CAO				
Nom du produit	NobelProcera	Procera FORTE	Procera Piccolo	OrthoAnalyser
Editeur	NobelBiocare	NobelBiocare	NobelBiocare	3Shape
Distributeur en France	NobelBiocare	NobelBiocare	NobelBiocare	Henry Schein France
Date de lancement V1	mars-09	jan-04	jan-99	nov-08
Dernière version	4.01	266	266	NC
Date dernière version	sep-09	juin-09	juin-09	nov-08
Nb de licences vendues (1)				
en France	60	200	120	NC
en Europe	-	-	-	NC
dans le monde	700	3200	4500	NC
Type de modeleur	NC	NC	NC	Polygonale
TYPE DE RESTAURATION				
Couronnes	OUI	NON	NON	NON
Chapes	OUI	OUI	OUI	NON
Bridges	OUI	OUI	NON	NON
Inlays/Onlays	Juin 2010	NON	NON	NON
Pontics	OUI	OUI	NON	NON
Châssis métalliques (amovibles)	OUI	NON	NON	NON
Supra-structures	OUI	OUI	OUI	NON
Marques d'implants	Branemark, NobelReplace, Nobel Active Straumann 4,8 Camlogue	Branemark, NobelReplace, NobelActive Straumann 4,8 Camlogue	Branemark, NobelReplace, NobelActive Straumann 4,8 Camlogue	-
Appareil orthodontique	Juin 2010	NON	NON	OUI
Autre(s)	-	-	-	-
IMPORT STL	NON	NON	NON	OUI
EXPORT STL	NON	NON	NON	OUI
Ils intègrent le logiciel (2)	-	-	-	-
Ils commercialisent le logiciel (3)	-	-	-	-
PRIX TTC (5)	Non vendu seul	Non vendu seul	Non vendu seul	NC
Remarques (spécificités) :	Associé au scanner optimet (voir tarif sur fiche scanner).	Associé au scanner Forte (voir tarif sur fiche scanner).	Associé au scanner Piccolo (voir tarif sur fiche scanner).	Associé au scanner 3Shape R700.

Logiciels de FAO

Nom du produit	3Shape CAMbridge	DentMILL	G02dental	Mayka Dental
Editeur	3Shape	DELICAM	GO2cam International	Picasoft
Distributeur en France	Henry Schein France	DAOS Dental	GO2cam International	Picasoft
Date lancement V1	nov-08	jan-07	01-10-2009	NC
Dernière version	V 1.0.0.0	Version 40.07	V5.11	V3.0
Date dernière version	nov-08	sep-08	01-03-2011	NC
Nb de licences vendues (1)	NC	NC	NC	NC
en Europe	NC	NC	NC	NC
dans le monde	NC	NC	NC	NC
Nombre d'axes programmables	3,5 axes	5 axes	5 axes	4 et 5 axes
Usinage automatisé de				
Couronnes	OUI	OUI	OUI	OUI
Chapes	OUI	OUI	OUI	OUI
Bridges	OUI	OUI	OUI	OUI
Inlays/Onlays	NON	OUI	OUI	OUI
Pontics	OUI	OUI	OUI	OUI
Implants	OUI	OUI	OUI	OUI
Barres sur implants	OUI	OUI	OUI	OUI
Pontics	OUI	OUI	OUI	OUI
IMPORT	OUI	OUI	OUI	OUI
STL	OUI	OUI	OUI	OUI
Autres standards	HPS	IGES / STEP	IGES / STEP	-
Interfaces directes CAO (2)	DCM (3Shape)	Oui	OUI	3Shape, Dental Wings, Evisrsa (Cynoprod), Laser Denta
PILOTAGE MOCN				
Post-processeurs pour (3)	Roland JWX-303, Imes	CharlyDental 4X, Imes, Isel	Roland (DWX-50, DWX30), Isel, Icore, DMG, BienAir (Mill 300, Mill 200), VHF, OKK, WIA, Yena, Hintels, Primacon, Hint-Els, MCP, Witech, Charly Robot	CharlyRobot, Imes, Isel, Roland, YenaMak
Ils intègrent le logiciel (4)	Zeno CAM (PX Dental)	Mill200 (Bien-Air)	Mill 300 (Bien-Air), Hint-Els.	OvaMill (Cynoprod), Dental-Wings, Yenadent D40 (Euromax Monaco)
Remarques (spécificités) :	Préparation et interface directe avec les machines de fabrication additive : EOSINT M 270, Perfactory DDP, ProJet HD 3000	Développement de post-processeurs sur demande.	-	Développement de post-processeurs sur demande.

Logiciels de FAO

Nom du produit	WorkNC Dental Labs	WorkNC Dental Xpert	Hyperdent 2009
Editeur	Sescoi	Sescoi	Open Mind Technologies
Distributeur en France	Sescoi	Sescoi	Open Mind Technologies
Date lancement V1	sep-08	mars-09	-
Dernière version	V 1,20	V 2,0	2009.1
Date dernière version	jan-09	mars-09	mai-09
Nb de licences vendues (1) en France	NC	NC	2
en Europe	NC	NC	42
dans le monde	NC	NC	NC
Nombre d'axes programmables	3+2, 4 axes	3+2, 4 & 5 axes continus	3+1, 3+2, 5 axes simultanés
Usinage automatisé de			
Couronnes	OUI	OUI	OUI
Chapes	OUI	OUI	OUI
Bridges	OUI	OUI	OUI
Inlays/Onlays	OUI	OUI	OUI
Pontics	OUI	OUI	OUI
Implants	OUI	OUI	OUI
Barres sur implants	NON	OUI	OUI
Pontics	NON	OUI	OUI
IMPORT	OUI	OUI	OUI
STL	OUI	OUI	OUI
Autres standards	IGES / STEP	IGES / STEP	IGES / STEP
Interfaces directes CAO (2)	Oui	Oui	-
PILOTAGE MOCN			
Post-processeurs pour (3)	Charlyrobot , DMG, Imes, Isel, Mikron, Realmeca, Yenamak	Charlyrobot , DMG, Imes, Isel, Mikron, Realmeca, Yenamak	Norme ISO
Ils intègrent le logiciel (4)	CharlyDental4X (Charlyrobot), Yenadent (Yenamak)	CharlyDental4X (Charlyrobot), Yenadent (Yenamak)	-
Remarques (spécificités) :	Développement d'interfaces directes CAO natives et de post-processeurs sur demande.	Développement d'interfaces directes CAO natives et de post-processeurs sur demande.	Développement d'interfaces directes CAO natives et de post-processeurs sur demande. Tarifs : 4200 à 12620 € TTC

(1) au 31 décembre 2008 / (2) Interface directe avec des logiciels de CAO de restaurations dentaires (traitement de fichiers natifs) / (3) Noms des machines pour lesquelles sont proposés des post-processeurs (4) Noms des machines ou des solutions de CFAO dentaire intégrant le logiciel



(1) au 31 décembre 2008 / (2) Nombre d'éléments pouvant être usinés en continu (sans intervention humaine pour le remplacement de bruts)
 (3) Tarifs constatés (logiciel de FAO compris) : la plupart des fournisseurs n'ayant pas communiqué leurs tarifs nous indiquons donc les prix de vente constatés auprès de fabricants de prothèses dentaires. / (4) Prix du système complet : scanner + poste CAO + machine

Machines d'usinage

Nom du produit	CAM 4.02	Circon Brain	CharlyDental4X	Caritec 450i	Caritec 750i	DaosMill 5X
Fabricant	VHF	Degudent	Charlyrobot	Imes et icoredental	Imes et icoredental	Realmecca
Distributeur(s) en France	Multistation	Degudent	Daos Dental	Icoredental	Icoredental	Daos Dental
Nb de machines vendues (1)	NC	NC	NC	NC	NC	Nouveauté 2009
en France	NC	NC	NC	NC	NC	Nouveauté 2009
en Europe	NC	NC	NC	NC	NC	-
dans le monde	3 axes + 1	3 axes + 1	4 axes	4 axes	5 axes	5 axes
Nombre d'axes	4 et 4+1 axes	3 axes + 1	4 axes	4 axes	5 axes	5 axes
Matériau(x) usinés	Cire, zircon et matériaux durs	Zircon pré-frittée, Résine	Zircon pré-frittée, Résine, Cire	CrCo, Titane, Zircon pré-frittée, Résine, Cire	CrCo, Titane, Zircon pré-frittée, Résine, Cire	CrCo, Titane, Zircon pré-frittée, Zircon HIP, Résine, Cire
FAO	Logiciel de FAO au choix du client	Logiciel intégré	Logiciel intégré	Logiciel intégré	Logiciel intégré	Logiciel de FAO au choix du client
Logiciel intégré	-	Logiciel maison (dvp spécifique)	Intégration d'un logiciel (OEM)	Intégration d'un logiciel (OEM)	Intégration d'un logiciel (OEM)	-
Si logiciel OEM	-	-	WorkNC Dental	Mayka Dental	Mayka Dental	-
Si partenariats	Delcam, Sescoi	-	Delcam, Sescoi	Picasoft	Picasoft	Delcam, Sescoi
FORMATS D'IMPORT						
STL	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI
Autres standards	-	-	IGES + plusieurs formats natifs CAO	-	-	IGES + plusieurs formats natifs CAO
APPLICATIONS						
Couronnes	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI
Chapes	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Bridges	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Nb d'éléments maxi	NC	12	14	14	14	14
Inlays/Onlays	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	OUI
Implantologie (molignons, piliers...)	OUI	NON	OUI	NON	OUI	OUI
Barres sur implants	NON	NON	NON	NON	NON	OUI
Restaurations temporaires	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI
Modèles (empreintes positives)	NON	NON	NON	NON	NON	NON
Autre (préciser)	-	-	-	-	-	-
PRECISION						
Précision	3 µm	10 µm	+/- 30 µm (répétitivité 10 µm)	NC	NC	+/- 3 µm (répétitivité 2 µm)
PRODUCTIVITE						
Brut à usiner	Disques 100 mm	Lingotins spécifiques codifiés	Disques standards 100 mm	Disques 100 mm codés	Disques standards 100 mm	Disques standards 100 mm
Nb d'éléments maxi par brut	35	12	Zr = 30 / résine ou cire = 40	35	Zr = 30 / autres = 40	Zr = 30 / autres = 40
Palettisation	NON	NON	NON	NON	NON	Option
Nb d'éléments par cycle (2)	35	12	Zr = 30 / CrCo = 40 (2 disques)	60 (2 disques)	60 (2 disques)	Zr = 30 / autres = 40 (2 disques)
Nb d'éléments maxi par jour	Cire / Plastique / Résine	NC	NC	120	120	160
Zircon pré-frittée	70	NC	NC	120	120	120
Métaux	35	-	60	60	60	160
PRIX TTC (3)	NC	NC (4)	53 800 €	89 100 €	142 300 €	NC
Remarques (spécificités) :	Libre choix des matériaux et outils de coupe.	Machine faisant parti d'un système de conception et usinage. Matériaux et outils de coupe sous contrôle de vente du fabricant.	Libre choix des matériaux et outils de coupe.	Libre choix des matériaux et outils de coupe.	Libre choix des matériaux et outils de coupe.	Libre choix des matériaux et outils de coupe.

Machines d'usinage

Nom du produit	Everest BaseCamp	InLab	InLab MC XL	Lava Calc	MIC4	MIC5
Fabricant	KAVO	Sirona Dental Systems	Sirona Dental Systems	3M ESPE	Witech	Witech
Distributeur(s) en France	KAVO	SOGIM Grimouille (région Sud) - AR-SEUS Lab (Régions Est / Nord, Ouest, Ile de France)	SOGIM Grimouille (région Sud) - AR-SEUS Lab (Régions Est / Nord, Ouest, Ile de France)	3M ESPE	Witech SA et Digilex SA (Suisse)	Witech SA et Digilex SA (Suisse)
Nb de machines vendues (1)	35	NC	NC	5 centres d'usinage agréés	1	Lancement ISD 2009
en France	700	NC	NC	NC	NC	Lancement ISD 2009
dans le monde	1000	NC	NC	NC	NC	Lancement ISD 2009
Nombre d'axes	4 ou 5 axes	5 axes	5 axes	5 axes	3 ou 4 axes	5 axes
Matériau(x) usinés	Zircone, Plastique, Titane, Résine, Céramique, HPC	Cire, résine, plastique, Alumine, Zircone pré-fritée, Zircone HIP, céramiques feldspathiques, vitrocéramiques, disilicate de lithium, céramiques d'infiltration	Cire, résine, plastique, Alumine, Zircone pré-fritée, Zircone HIP, céramiques feldspathiques, vitrocéramiques, disilicate de lithium, céramiques d'infiltration	Zircone pré-fritée	Zircone pré-fritée, Résine, Cire	CrCo, Titane, Zircone pré-fritée, Alumine, Résine, Composites
FAO	Logiciel intégré	Logiciel maison (dvp spécifique)	Logiciel maison (dvp spécifique)	Logiciel intégré	Logiciel intégré	Logiciel de FAO au choix du client
Logiciel intégré	Logiciel maison (dvp spécifique)	Logiciel maison (dvp spécifique)	Logiciel maison (dvp spécifique)	Logiciel maison (dvp spécifique)	Logiciel maison (dvp spécifique)	Intégration d'un logiciel (OEM)
Si logiciel OEM	-	-	-	-	WorkNC Dental	WorkNC Dental
Si partenariats	-	-	-	-	Dalcam, Sescor	Dalcam, Sescor
FORMATS D'IMPORT						
STL	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI
Autres standards	-	-	-	-	-	IGES
APPLICATIONS						
Couronnes	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Chapes	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Bridges	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Nb d'éléments maxi	16	6	11	NC	14	14
Inlays/Onlays	OUI	OUI	OUI	OUI	NC	OUI
Implants (moyennants, piliers...)	OUI	NON	OUI	OUI	NC	OUI
Barres sur implants	NON	NON	NON	NON	NON	NC
Restaurations temporaires	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	OUI
Modèles (empreintes positives)	OUI	OUI	OUI	NON	NON	NON
Autre (préciser)	-	-	-	-	-	-
PRECISION						
Précision	15 µm	50 µm	25 µm	± 25 µm	10 µm	5 µm
PRODUCTIVITE						
Brut à usiner	Disque, bloc, barre, lingotin	Blocs codifiés	Blocs codifiés	Blocs spécifiques codifiés	Disques standards 100 mm	Disques standards 100 mm
Nb d'éléments maxi par brut	de 1 à 25	bridge 5 à 6	bridge de 10 à 11 éléments	NC	Zr = 30 / résine ou cire = 40	Zr = 30 / autres = 40
Poléittisation	NON	NON	NON	OUI	NON	Option
Nb d'éléments par cycle (2)	50 (2 disques)	bridge 5 à 6	usinage en pile : 25 à 27 éléments	NC	Zr = 30 / CrCo = 40 (2 cliques)	Zr = 30 / autres = 40 (2 cliques)
Nb d'éléments maxi par jour :						
Cire / Plastique / Résine	50	8 min / élément	5 min / élément	NC	NC	NC
Zircone pré-fritée	50	15 min / élément	8 min / élément	NC	NC	NC
Métaux	50	-	-	-	-	NC
PRIX TTC (€)	NC (4)	38 000 €	70 000 €	NC (4)	40 000 à 48 550 €	119 540 €
Remarques (spécificités) :	Machine faisant parti d'un système de conception et usinage. Matérialité d'usinage des couronnes totales (sans chapes).	Machine faisant parti d'un système de conception et usinage. Possibilité d'usiner des couronnes totales (sans chapes).	Machine faisant parti d'un système de conception et usinage. Possibilité d'usiner des couronnes totales (sans chapes).	Machine faisant parti d'un système de conception et usinage. Matérialité d'usinage des couronnes totales de vente du fabricant.	Libre choix des matériaux et outils de coupe. Prix hors logiciel de FAO.	Possibilité d'adapter la machine à d'autres bruts d'usinage (barre par exemple). Libre choix des matériaux et outils de coupe. Prix comprenant le logiciel de FAO

Machines d'usinage

Nom du produit	Mill200	Mill300	PRODIG	Yencident D40
Fabricant	Bien-Air	Bien-Air	C4W / ROLAND	Yenamak
Distributeur(s) en France	Bien-Air France	Bien-Air France	C4W / DIGILEA	Euromax-Monaco
Nb de machines vendues (1)	Lancement été 2008	Lancement IDS 2009	1	Nouveauté 2009
en France	NC	Lancement IDS 2009	NC	NC
en Europe	NC	Lancement IDS 2009	NC	NC
dans le monde	3 axes	3 axes	4 axes	4 axes ou 5 axes
Nombre d'axes				
Matériau(x) usinés	Zircone pré-fritée, Résine, Composites	Zircone, Titane, Zircone pré-fritées, Alumine, Résine, Composites	Zircone pré-fritée, Résine, Cire	CrCo, Zircone pré-fritée, Résine
FAO	Logiciel intégré	Logiciel intégré	-	Logiciel intégré
Logiciel intégré	Intégration d'un logiciel (OEM)	Intégration d'un logiciel (OEM)	FAO	Intégration d'un logiciel (OEM)
SI logiciel OEM	DentMill	DentMill	-	Mayka Dental
SI partenariats	Delcam	Delcam	-	Picasoft, Sescot
FORMATS D'IMPORT				
STL	OUI	OUI	OUI	OUI
Autres standards	-	-	-	-
APPLICATIONS				
Couronnes	OUI	OUI	OUI	OUI
Chapes	OUI	OUI	OUI	OUI
Bridges	OUI	OUI	OUI	OUI
Nb d'éléments maxi	14	14	30	16
Inlays/Onlays	OUI	OUI	NC	OUI
Implantologie (moignons, pliers...)	NON	OUI	NC	OUI (à l'unité en 4 axes)
Barres sur implants	NON	NON	NON	OUI avec la 5 axes
Restaurations temporaires	OUI	OUI	OUI	OUI
Modèles (empreintes positives)	NON	NON	NON	NON
Autre (préciser)	-	Marylandbridges, Inlaybridges	-	Facettes
PRECISION				
Précision	NC	NC	10 µm	2 µm
PRODUCTIVITE				
Brut à usiner	Disque 90 mm	Disque 90 mm	Plaques 89 x 89 mm	Disques standards 100 mm
Nb d'éléments maxi par brut	25	25	30	Zr = 35 / CrCo = 45
Poléittisation	NON	NON	NON	NON
Nb d'éléments par cycle (2)	-	-	30	70 Zr / 90 CrCo (2 disques)
Nb d'éléments maxi par jour				
Cire / Plastique / Résine	9 mm par élément	9 mm par élément	60	150
Zircone pré-fritée	11 mm par élément	11 mm par élément	60	70
Métaux	-	NC	-	90
PRIX TTC (3)	85 525 €	NC	23 000 €	86 000 € (4 axes)
Remarques (spécificités) :	Matériaux et outils de coupe sous contrôle de vente du fabricant.	Matériaux et outils de coupe sous contrôle de vente du fabricant.	Matériaux sous contrôle de vente du distributeur.	Libre choix des matériaux et outils de coupe.



(1) au 31 décembre 2008 / (2) Nombre d'éléments pouvant être usinés en continu (sans intervention humaine pour le remplacement de bruts)
 (3) Tarifs constatés (logiciel de FAO compris) : la plupart des fournisseurs n'ayant pas communiqué leurs tarifs nous indiquons donc les prix de vente constatés auprès de fabricants de pothèses dentaires. / (4) Prix du système complet : scanner + poste CAO + machine

		Machines d'usinage			
Nom du produit		Zeno 2100	Zeno 4030	Zeno 4820	Zenotec T1
Fabricant		Imes et Wieland	Imes et Wieland	Imes et Wieland	Wieland
Distributeur(s) en France		PX Dental	PX Dental	PX Dental	Wieland
Nb de machines vendues (1)					
en France		NC	NC	NC	Nouveauté IDS 2009
en Europe		NC	NC	NC	Nouveauté IDS 2009
dans le monde		NC	NC	NC	Nouveauté IDS 2009
Nombre d'axes		4 axes	4 axes	5 axes	3+1 3+2 axes
Matériau(x) usinés		Zircone pré-fritée, Résine, Cire	Zircone pré-fritée, Résine, Cire	CrCo, Titane, Zircone pré-fritée, Résine, Cire	CrCo, Titane, Zircone pré-fritée, Résine, Cire
FAO		Logiciel intégré	Logiciel intégré	Logiciel intégré	Logiciel intégré
Logiciel intégré		Intégration d'un logiciel (OEM)	Intégration d'un logiciel (OEM)	Intégration d'un logiciel (OEM)	Intégration d'un logiciel (OEM)
SI logiciel OEM		3Shape CAMbridge	3Shape CAMbridge	3Shape CAMbridge	NC
SI partenariats		3Shape	3Shape	3Shape	-
FORMATS D'IMPORT					
STL		NON	NON	NON	OUI
Autres standards		-	-	-	-
APPLICATIONS					
Couronnes		OUI	OUI	OUI	OUI
Chapes		OUI	OUI	OUI	OUI
Bridges		OUI	OUI	OUI	OUI
Nb d'éléments maxi		14	14	14	14
Inlays/Onlays		NON	NON	OUI	OUI
Implantologie (moignons, pliers...)		NON	NON	OUI	OUI
Barres sur implants		NON	NON	NON	NC
Restaurations temporaires		OUI	OUI	OUI	OUI
Modèles (empreintes positives)		NON	NON	NON	NON
Autre (préciser)		-	-	-	-
PRECISION					
Précision		NC	NC	NC	NC
PRODUCTIVITE					
Brut à usiner		Disques 100 mm codés	Disques 100 mm codés	Disques 100 mm codés	Disques 100 mm codés
Nb d'éléments maxi par brut		35	35	35	35
Poléitisation		NON	NON	NON	OUI
Nb d'éléments par cycle (2)		30	60 (2 disques)	60 (2 disques)	1000 (magasin de 30 disques)
Nb d'éléments maxi par jour :					
Cire / Plastique / Résine		60	120	120	120
Zircone pré-fritée		60	120	120	120
Métaux		-	-	60	60
PRIX TTC (3)		NC (4)	NC (4)	NC (4)	NC
Remarques (spécificités) :		Machine faisant parti d'un système de conception et usinage. Matériaux et outils de coupe sous contrôle de vente du fabricant.	Base machine : Isel 4030. Machine faisant parti d'un système de conception et usinage. Matériaux et outils de coupe sous contrôle de vente du fabricant.	Machine faisant parti d'un système de conception et usinage. Matériaux et outils de coupe sous contrôle de vente du fabricant.	Matériaux et outils de coupe sous contrôle de vente du fabricant.

FABRICATION ADDITIVE

	Fabrication de calcinables Perfactory DDP HP Envisiontec	Fabrication de calcinables Perfactory DDP Desktop Envisiontec	Fabrication de calcinables Project DP 3000 3D Systems	Fabrication de calcinables Solidscape T76 Solidscape
NOM DU PRODUIT	Perfactory DDP HP	Perfactory DDP Desktop	Project DP 3000	Solidscape T76
Fabricant	Envisiontec	Envisiontec	3D Systems	Solidscape
Distributeur(s) en France	Euromax Monaco	Euromax Monaco	Henry Schein France, Kaillisto	Multistation
Nombre de machines vendues : En France	NC	NC	NC	0 (200 hors dentaire)
En Europe	NC	NC	NC	NC
Dans le monde	NC	NC	NC	NC
Technologie de mise en forme	Stéréolithographie	Stéréolithographie	Impression 3D (injection)	Impression 3D (injection)
Matériau(x) mis en forme	Cire-résine calcinable, résine bio-compatible	Cire-résine calcinable	Résine calcinable	Cire
IMPORT				
STL	OUI	OUI	OUI	OUI
Autres	-	-	SIC	-
APPLICATIONS				
Couronnes	OUI	OUI	OUI	OUI
Chapes	OUI	OUI	OUI	OUI
Bridges	OUI	OUI	OUI	OUI
Inlays/Onlays	OUI	OUI	OUI	OUI
Châssis métalliques (amovibles)	OUI	NON	OUI	NON
Composants orthopédiques	NON	NON	OUI	OUI
Restaurations temporaires (2)	OUI	NON	NON	NON
Guides implantaires	OUI	NON	OUI	NON
Modèles à partir d'empreintes 3D	NON	NON	NON	NON
PRECISION				
Précision des fabrications	± 25 µm	± 25 µm	± 20 µm	25 µm
Précision en XY	43 à 68 µm	40 µm	NC	25,4 µm
Épaisseur des couches en Z	25 à 50 µm	25 à 50 µm	20 µm	12,7 à 76,2 µm
Résolution	1400 x 1050 pixel	1024 x 768 pixel	656 x 656 x 800 DPI	
CAPACITE / PRODUCTIVITE				
Volume de fabrication XYZ	90 x 67,5 x 230 mm	40 x 30 x 100 mm	127 x 178 x 50 mm 298 x 185 x 203 mm	152,4 x 152,4 x 101,6 mm
Nb maxi de pièces par cycle :	80	20	180	NC
Nb d'éléments (fixes) (5)	70	12 à 20	160	NC
Durée d'un cycle	2 h 30	2 h 30	5 h	NC
Nb de structures (amovibles)	6 à 8	-	20	NC
Durée d'un cycle	7 h	-	18 h	NC
Post-traitement :	Photopolymérisation + Retrait manuel des supports de fabrication	Photopolymérisation + Retrait manuel des supports de fabrication	Élimination des supports par bain en étuve	Élimination des supports par bain en étuve
PRIX TTC (3)	100 500 €	46 000 €	105 000 €	NC

(1) au 16 septembre 2009 / (2) Fabrication directe de restaurations temporaires en résine ou plastique bio-compatible / (3) Selon les distributeur, l'installation et la formation sont compris ou non dans le prix de vente. (4) Prix non communiqué par le distributeur ; Prix de vente constaté chez les fabricants de prothèses de dentaires. / (5) Éléments à prendre en compte : chapes, couronnes et pontiques.

FABRICATION ADDITIVE

NOM DU PRODUIT	Fabrication de calcaïnables	Fabrication directe métallique	Fabrication directe métallique	Fabrication directe métallique
	Xtreme	EOSINT M 270	PM100T Dental	PXS Dental
Fabricant	Envisiontec	EOS	Phenix Systems	Phenix Systems
Distributeur(s) en France	Henry Schein France	EOS France	Phenix Systems	Phenix Systems
Nombre de machines vendues : En France	NC	1 (+4 hors dentaire)	> 10 (PM100 + PM100T)	Lancement ISD 2009
En Europe	NC	12 (60 y compris dentaire)	NC	Lancement ISD 2009
Dans le monde	NC	20 (100 y compris dentaire)	NC	Lancement ISD 2009
Technologie de mise en forme	Stéréolithographie	Microfusion laser	Microfusion laser	Microfusion laser
Matériau(x) mis en forme	Résine	Co-Cr	Co-Cr	Co-Cr
IMPORT				
STL	OUI	OUI	OUI	OUI
Autres	-	-	-	-
APPLICATIONS				
Couronnes	NON	OUI	OUI	OUI
Chapes	NON	OUI	OUI	OUI
Bridges	NON	OUI	OUI	OUI
Inlays/Onlays	NON	NON	NON	NON
Châssis métalliques (amovibles)	NON	OUI	OUI	OUI
Composants orthopédiques	NON	NON	NON	NON
Restaurations temporaires (2)	NON	NON	NON	NON
Guides implantaires	NON	NON	NON	NON
Modèles à partir d'empreintes 3D	OUI	NON	NON	NON
PRECISION				
Précision des fabrications	NC	± 40 µm	± 50 µm	± 50 µm
Précision en XY	76 à 109 µm	20 µm	20 µm	20 µm
Epaisseur des couches en Z	25 à 150 µm	20 µm	20 µm	20 µm
Résolution	1400 x 1050 pixel	-	-	-
CAPACITE / PRODUCTIVITE				
Volume de fabrication XYZ	304 x 228 x 38 1 mm	250 x 250 x 215 mm	Diamètre 100 x 100 mm en Z	100 x 100 x 80 mm
Nb maxi de pièces par cycle :	-	250	70	-
Nb d'éléments (fixes) (5)	-	220	60	60
Durée d'un cycle	-	11 h	4 h	7 h
Nb de structures (amovibles)	-	NC	NC	NC
Durée d'un cycle	-	NC	NC	NC
Positratement :	Photopolymérisation + Retrait manuel des supports de fabrication	Micro-grenaillage, four	Micro-grenaillage, four	Micro-grenaillage, four
PRIX TTC (3)	NC	450 000 €	278 000 €	NC

(1) au 16 septembre 2009 / (2) Fabrication directe de restaurations temporaires en résine ou plastique bio-compatible / (3) Selon les distributeurs, l'installation et la formation sont compris ou non dans le prix de vente. (4) Prix non communiqué par le distributeur ; Prix de vente constaté chez les fabricants de prothèses dentaires. / (5) Éléments à prendre en compte : chapes, couronnes et pontiques.

le guide...

de la CFAO DENTAIRE

Le Guide de la CFAO sur internet

Trouvez des compléments d'information sur les équipements CFAO et leur mise en œuvre en visitant le site internet : www.cnifpd.fr/guidecfao.

La version internet du Guide de la CFAO vous permet également d'accéder à des informations mises à jour régulièrement sur les technologies numériques et les processus métier mis en œuvre pour l'activité de prothèses dentaires.

Tableaux comparatifs des équipements CFAO

Quels équipements pour quels usages ?

- **Scanners 3D** : www.cnifpd.fr/guidecfao/pdf/scanners.pdf
- **Logiciels de CAO** : www.cnifpd.fr/guidecfao/pdf/logiciels_CAO.pdf
- **Logiciels de FAO** : www.cnifpd.fr/guidecfao/pdf/logiciels_FAO.pdf
- **Machines d'usinage** : www.cnifpd.fr/guidecfao/pdf/usinage.pdf
- **Machines de fabrication additive** : www.cnifpd.fr/guidecfao/pdf/fabrication_additive.pdf

Pré-requis

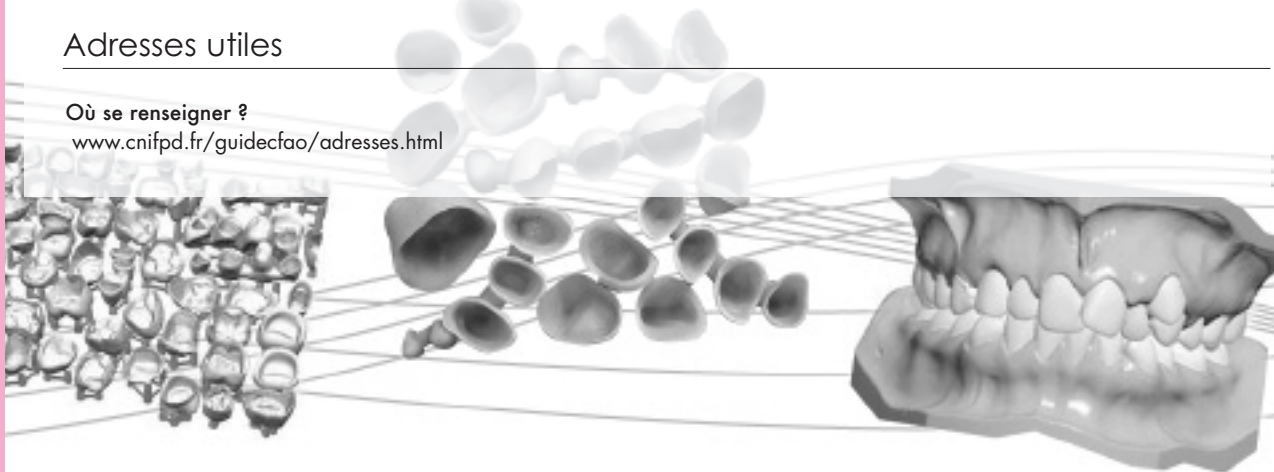
A savoir avant d'investir !

- **Investissement** : www.cnifpd.fr/guidecfao/investissement.html
Comment préparer son achat d'un équipement.
- **Organisation des ressources humaines** : www.cnifpd.fr/guidecfao/organisation.html
Qu'implique le management des activités de CFAO dentaire ?
De quelles compétences disposez-vous pour conduire les activités liées à la CFAO ?
- **Installation du futur équipement** : www.cnifpd.fr/guidecfao/installation.html
Poser le cadre de réflexion nécessaire à l'installation d'une nouvelle machine.
- **Sécurité & environnement** : www.cnifpd.fr/guidecfao/securite.html
Intégrer, dès la consultation, les exigences relatives à l'hygiène et la sécurité, à l'environnement et aux divers aspects pratiques d'un équipement.

Adresses utiles

Où se renseigner ?

www.cnifpd.fr/guidecfao/adresses.html



Sigles

- ▶ **CAO** : Conception Assistée par Ordinateur.
- ▶ **DICOM** : Digital Imaging and Communications in Medicine - imagerie numérique et communications en médecine.
- ▶ **FAO** : Fabrication Assistée par Ordinateur.
- ▶ **GDT** : Gestion des Données Techniques
- ▶ **GPAO** : Gestion de Production Assistée par Ordinateur.
- ▶ **MOCN** : Machine-outil à Commande Numérique.
- ▶ **NURBS** : Non uniform rational basic spline - Spline basique rationnelle non uniforme
- ▶ **PDM** : Product Data Management - gestion des données des produits.
- ▶ **PLM** : Product Lifecycle Management - gestion du cycle de vie des produits.
- ▶ **STEP** : Standards for the Exchange of Product data - standards pour l'échange de données de produit
- ▶ **STL** : issu du mot "stéréolithographie" ce sigle désigne un format de données triangulées qui est devenu un format de facto dans l'industrie pour la représentation numérique d'un modèle tridimensionnel discrétisé.
- ▶ **TIC** : Technologies de l'Information et de la Communication, cet acronyme regroupe toutes les technologies de création et de transport de données numériques.

Expressions et définitions

- ▶ **Chaîne numérique** : ensemble des activités numériques menées sur un produit tout au long de son cycle de vie, sans rupture numérique. Dans le domaine de la prothèse dentaire cela commence à la saisie de la prescription du dentiste jusqu'à la fin de vie de la prothèse. La CFAO n'est qu'une partie de la chaîne numérique, allant de la numérisation à la fabrication de la prothèse.
- ▶ **Fabrication Additive** : mise en forme par ajout de matière, par empilement de couches successives, en opposition à la mise en forme par enlèvement de matière, c'est-à-dire l'usinage.
- ▶ **Fabrication Directe** : mise en forme de composants en bonne matière par empilement de couches successives, sans recourir à l'usinage ou à des outillages intermédiaires, cette expression est souvent utilisé pour désigner le fait que l'on passe directement de la représentation numérique d'un composant à sa version physique à usage final.
- ▶ **Fabrication Numérique** : élaboration du processus opératoire pour une ou plusieurs phases spécifiées (chronologie des opérations, choix des outils et des cycles...), à partir d'une définition numérique et à l'aide de logiciels de fabrication assistée par ordinateur.
- ▶ **Imprimante 3D** : l'expression "imprimante 3D" est né avec l'arrivée des premières machines de fabrication additive utilisant la technique d'impression, c'est-à-dire d'injection de matière, pour mettre en forme des matériaux. Dans le langage courant, on utilise l'expression "imprimante 3D" pour désigner les machines de fabrication additive pouvant être utilisées dans un environnement de bureau et permettant un rechargement facile du matériau.
- ▶ **Maquette Numérique** : représentation géométrique d'un produit, généralement en 3D, réalisée sur ordinateur en vue de l'analyser, de le contrôler et d'en simuler certains comportements, depuis la définition globale initiale jusqu'à l'élaboration détaillée du produit.
- ▶ **Modélisation 3D** : modelage tridimensionnel d'une forme réalisée sur ordinateur.
- ▶ **Prototypage Rapide** : l'expression "prototypage rapide" est né avec l'arrivée des premières machines de fabrication additive, car ces machines permettaient alors la fabrication rapide de prototypes. Depuis, cette technique de mise en forme de matériaux permet de fabriquer aussi des outillages (modèles pour la fonderie ou moules de coulée) ou des pièces en bonne matière, c'est pourquoi on parle désormais de fabrication rapide de prototypes et la désignation internationale du procédé est la "fabrication additive".

