

Université Saleh Boubnider Constantine 3

Faculté De Médecine

Département De Médecine Dentaire



*Cours de prothèse
dentaire.
4eme année.*

La CFAO.

*Dr : A.LAICHE.
Maitre Assistante*

Année universitaire 2021-2022

Plan.

Introduction

- I. Définition.
- II. Principes de base de la CFAO.
- III. Séquence de la chaîne numérique.
 - III.1. Numérisation.
 - III.2. Conception assistée par ordinateur.
 - III.3. Fabrication assistée par ordinateur.

Conclusion.

Bibliographie.

Introduction

Le sigle CFAO signifie littéralement Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur. Il s'agit de la synthèse de la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et de la FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) avec l'introduction des machines-outils à commande numérique (MOCN).

I. Définition :

- 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 les équipements de numérisation 3D (scanners) et de fabrication à commande numérique.
- Les équipements de fabrication sont de deux types : les machines d'usinage (mise en forme par enlèvement de matière : soustraction) et les machines de fabrication additive (par ajout de matière).

II. Principes de base de la CFAO :

- **Numérisation 3D** des modèles ou des empreintes par un système d'acquisition d'image ;
- **Modélisation 3D** de l'armature ou de la dent complète (armature + cosmétique) ;
- **Fabrication à partir de maquettes numériques** de maquettes en résine (pour la fonderie à cire perdue) ou fabrication en bonne matière (par usinage) ou par procédé additif d'impression 3D, de stéréolithographie (résine calcinable) et de micro-fusion laser de poudres métalliques (Cobalt-Chrome).

III. Séquence de la chaîne numérique :

III.1. Numérisation :

- 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.

III.1.1 Numérisation intra-buccale :

- La capture numérique intra-buccale autorise la prise d'empreinte sans passer par le moulage.
- Elle évite ainsi les désagréments des empreintes conventionnelles pour le patient.
- Elle permet un gain pour la chaîne numérique dentaire ainsi qu'une meilleure précision de la prothèse en supprimant l'imprécision de la pâte à empreinte.
- La capture d'empreintes numériques directement en bouche permet de réduire le délai de réalisation.

III.1.2. Numérisation des empreintes :

- Les fabricants font évoluer leurs scanners vers la numérisation des empreintes.
- Le chirurgien dentiste a désormais la possibilité 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.

III.1.3. Numérisation de modèles :

- Ce procédé éprouvé est le point d'entrée dans le processus numérique de CFAO des prothèses dentaires.
- 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 résident dans 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.

II.1.4. Numérisation de maquettes :

- Elle permet de transmettre les maquettes au directeur de commande numérique de la machine.
- C'est aussi un moyen utilisé pour communiquer, via internet, la copie numérique d'une maquette en cire à un centre de production distant.
- Elle s'avère nécessaire pour pallier aux champs d'applications encore restreints des logiciels de CAO.
- C'est par exemple le cas pour la réalisation de 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.

II.2. Conception assistée par ordinateur :

- Connaître le rapport d'occlusion est indispensable pour effectuer une restauration.
- Il existe différentes méthodes d'enregistrement de l'arcade antagoniste (enregistrement du rapport d'occlusion) selon l'appareil d'empreinte numérique utilisé.
- Avec le système E4D Dentist, l'enregistrement de l'occlusion ne se fait au moyen d'un matériau d'empreinte placé au sommet de la dent préparée pour la restauration.
- Le scanneur enregistre l'ensemble matériau d'empreinte-dent cible découverte et utilise ensuite l'information pour la conception de la future restauration.
- Le système iTero quant à lui procure des modèles en couleurs et en 3D après balayage des deux arcades.
- Lors de la phase de conception, le praticien peut vérifier le balayage depuis tout angle de vue.
- Un articulateur numérique permet au praticien de réévaluer la dimension verticale et de réaliser toutes les modifications nécessaires sur les préparations ou sur les arcades antagonistes.

II.3. Fabrication assistée par ordinateur :

II.3.1. Les techniques soustractives : (usinage)

- L'usinage correspond à des machines-outils d'enlèvement de matière par coupe ou par meulage.
- Après avoir importé la modélisation 3D de la pièce prothétique à fabriquer, le logiciel de FAO transforme les données numériques en mouvement analogique que réalise une machine outil.
- Le programmeur élabore les parcours d'outils.
- Les outils de coupe sont alors pilotés par la machine dans les trois sens de l'espace, combinaison de déplacements latéraux, verticaux, d'avance ou de recul.
- A partir d'un bloc de matière la pièce prothétique est fabriquée.
- Le principe de cet usinage est de produire directement la structure prothétique dans la bonne matière (zircone, titane, métal).

A- Technique par usinage de blocs de Titane :

- Certains laboratoires commencent à proposer des châssis usinés mécaniquement par CFAO en titane.
- Le titane possède des caractéristiques qui font de lui et de ses alliages des métaux très attractifs pour la réalisation de châssis: faible masse volumique (prothèses légères), excellente mouillabilité, comportement élastique unique, résistance à la corrosion, biocompatibilité qui n'est plus à démontrer, possibilité de réaliser des restaurations composites homo-métalliques.
- Il présente de nombreux avantages tels que la précision, l'absence de porosité et d'impuretés.
- Il permet la suppression de la coulée. Malheureusement son usinage est délicat : production de copeaux inflammables, arrosage à haute pression obligatoire, usure rapide des outils de coupe.
- Son usinage nécessite encore des temps assez importants et surtout un outillage coûteux.
- Cette technologie novatrice est prometteuse mais encore peu pratiquée, notamment en raison du coût de production à l'unité conséquent

B- Usinage de châssis en matériaux calcinables (cire ou résine) :

- C'est une méthode alternative de plus en plus retenue par les laboratoires.
- Le modèle prothétique est usiné en cire ou en résine calcinable pour reprendre ensuite les procédés traditionnels de fabrication.
- L'intérêt de cette technique est dû au gain en précision d'exécution et en temps dans les séquences de conception de l'armature en évitant des séquences fastidieuses de duplication, de confection des maquettes d'occlusion ainsi que le positionnement des tiges de coulée.
- Cependant à la fin de l'usinage, le processus de fabrication reste traditionnel : la coulée traditionnelle.
- L'apport de la CFAO reste cependant conséquent, en permettant au laboratoire une production en interne plus rapide et de meilleure qualité, grâce à la précision de la maquette calcinable de départ.

II.3.2. Les techniques par addition :

-La méthode de fabrication la plus appropriée 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. La principale difficulté réside dans la métallurgie des crochets qui peuvent être cassants.

A- Fabrication de modèle calcinable :

- La fabrication additive de maquettes calcinables est la technique la plus simple d'emploi.
- Le modelage de toutes les maquettes 3D créées en CAO avec une précision machine de 20 à 50 μm .
- Eprouvée pour produire les maquettes calcinables de châssis à partir de leur modélisation numérique.
- S'inscrit dans les procédés traditionnels de fabrication métallique par fonderie à cire perdue.
- La précision procuré par l'utilisation de la CAO couplée à la fabrication numérique est important.
- Deux techniques de modelage numérique sont proposées : l'impression 3D (modelage par dépôt sélectif en jets multiples de cire ou de résine) et la stéréolithographie par UV sélectifs.

1. L'impression 3D ou 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 : par injection de cires ou injection de résine.

Impression 3D par injection de cires :

- L'injection simultanée de deux cires, celle du modèle et un servant de support de construction, est nécessaire pour la création des couches (de 13 à 76 μm).
- Un surfacage par fraisage est réalisé après chaque génération de couche pour obtenir une bonne planéité et améliorer la précision des pièces obtenues.
- La cire support est éliminée par dilution dans un bain de solvant élevé en température.
- Cette méthode présente des avantages tels que la facilité de la mise en œuvre (support de construction généré automatiquement). Les modèles en cire sont d'une très grande finesse et précision.
- Elle présente également des inconvénients, notamment un temps de fabrication important, même pour des pièces de petites dimensions.

Impression 3D par 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 la résine photosensible.
- La résine est éliminée par dilution dans un bain de solvant haute température ou par jet d'un solvant.
- Les objets finis sont ensuite nettoyés puis mis au four pour finaliser la polymérisation.
- Cette méthode présente des avantages comme la facilité de la mise en œuvre (support de construction généré automatiquement), une importante productivité : jusqu'à 160 éléments ou 20 châssis par plateau.
- Mais chaque machine est paramétrée pour un seul matériau.
- Le coût du matériau dédié est généralement élevé.
- 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.

2. Stéréolithographie : modelage par polymérisation UV sélective d'un mélange cire et résine liquide photosensible contenue dans une cuve.

- Son principe général de fonctionnement repose sur la récupération du fichier STL de l'objet 3D par le logiciel de la machine qui le découpe ensuite en strates et crée une image bitmap.
- Une image bitmap est une image pixellisée, c'est-à-dire un ensemble de points (pixels) contenus dans un tableau, chacun de ces points possédant des valeurs décrivant la couleur de chaque strate.
- Une plate-forme horizontale est plongée dans une cuve de résine liquide photosensible.
- L'image bitmap d'une strate est projetée en surface du bain de résine.
- La résine est alors photo-polymérisée selon l'image bitmap projetée.
- Cela est réalisé grâce à une matrice constituée de miroirs numériques contenus dans le processeur de lumière numérique.
- Les miroirs sont orientés différemment selon le but recherché (polymérisation ou non).
- Ils sont orientés en direction de la source de lumière pour effectuer la polymérisation (par réflexion) ou loin de la source, de manière à bloquer la lumière.
- Pour réaliser une autre strate, le plateau de construction monte ou descend de la valeur de l'épaisseur d'une nouvelle couche (de 25 à 150 μm).
- Il y a autant de cycles que de nombre de couches nécessaires pour obtenir l'objet.
- La fabrication d'un objet 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.
- Que se soit par impression 3D ou par stéréolithographie, les pièces calcinables obtenues sont utilisées comme modèles pour la fonderie à cire perdue.
- La fabrication reprend la chaîne traditionnelle : mise en revêtement, coulée de l'alliage et finitions.
- Les avantages de cette technique sont nombreux : il est possible de mettre en forme différents matériaux avec la même machine, il suffit de changer la cuve.
- La machine est fiable et facile d'entretien. Les matériaux utilisés ont un coût compétitif.
- La maintenance peut être réalisée à faible coût.
- Mais elle présente également des inconvénients : la fabrication nécessite une préparation à partir des maquettes 3D pour la mise en place des supports de construction, non automatisée pour les châssis.
- Il existe une distorsion des pièces sur les côtés à cause du dispositif optique.
- Le retrait des étais est délicat.
- Le prix de la machine est 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.

B- Le frittage de poudre ou micro-fusion de poudre métallique :

- 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 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, 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).
- Les avantages sont multiples : il n'y a pas d'usure d'outils de coupe et peu de perte de matière (recyclage de la poudre non solidifiée). Ceci rend cette technique de fabrication très compétitive. La précision est haute.

Conclusion.

L'avènement des systèmes de CFAO dans la pratique quotidienne constitue une avancée incontestable dans la conception et la réalisation de prothèses, soit fixées soit amovibles.

Par son approche méthodique et reproductible, elle permet un gain de temps dans le cycle de production, une simplification des séquences, une amélioration de la précision et de la qualité des armatures ainsi qu'une diminution du prix de production par rapport à une réalisation « traditionnelle ».

Bibliographie.

