

UNIVERSITE DE NANTES
UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2018

N° 3497

**APPORT PEDAGOGIQUE DE LA CFAO DANS
L'ENSEIGNEMENT DE LA PROTHESE FIXEE**

THESE POUR LE DIPLÔME D'ETAT DE DOCTEUR
EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

Louise MOISAN

Née le 25/11/1992

Le 25 septembre 2018 devant le jury ci-dessous :

Président : M. le Professeur Bernard GIUMELLI

Assesseur : M. le Professeur Laurent LEGUEHENNEC

Assesseur : M. le Docteur Xavier BOUCHET

Directeur de thèse : M. le Docteur François BODIC

UNIVERSITÉ DE NANTES		
Président	Pr LABOUX Olivier	
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE		
Doyen	Pr GIUMELLI Bernard	
Assesseurs	Dr RENAUDIN Stéphane Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre	
Professeurs des Universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.		
Monsieur AMOURIQ Yves Monsieur GIUMELLI Bernard Monsieur LE GUEHENNEC Laurent Monsieur LESCLOUS Philippe	Madame ALLIOT-LICHT Brigitte Madame PEREZ Fabienne Monsieur SOUEIDAN Assem Monsieur WEISS Pierre	
Professeurs des Universités		
Monsieur BOULER Jean-Michel		
Professeurs Emérites		
Monsieur BOHNE Wolf	Monsieur JEAN Alain	
Praticiens Hospitaliers		
Madame DUPAS Cécile (Praticien Hospitalier) Madame LEROUXEL Emmanuelle (Praticien Hospitalier)	Madame HYON Isabelle (Praticien Hospitalier Contractuel) Madame GOEMAERE GALIERE Hélène (Praticien Attaché)	
Maitres de Conférences des Universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.		
Monsieur AMADOR DEL VALLE Gilles Madame ARMENGOL Valérie Monsieur BADRAN Zahi Madame BLERY Pauline Monsieur BODIC François Madame DAJEAN-TRUTAUD Sylvie Madame ENKEL Bénédicte Monsieur GAUDIN Alexis Monsieur HOORNAERT Alain Madame HOUCHMAND-CUNY Madline Madame JORDANA Fabienne Monsieur KIMAKHE Said Monsieur LE BARS Pierre Madame LOPEZ-CAZAUX Serena Monsieur NIVET Marc-Henri Madame RENARD Emmanuelle Monsieur RENAUDIN Stéphane Madame ROY Elisabeth Monsieur STRUILLLOU Xavier Monsieur VERNER Christian	Assistants Hospitaliers Universitaires des C.S.E.R.D.	
	Monsieur ABBAS Amine) Monsieur AUBEUX Davy Madame BARON Charlotte Madame BEURAIN-ASQUIER Mathilde Madame BERNARD Cécile Monsieur BOUCHET Xavier Madame BRAY Estelle Madame CLOITRE Alexandra Madame LE LAUSQUE Julie Madame LEMOINE Sarah Monsieur LOCHON Damien Madame MERCUSOT Marie-Caroline Monsieur NEMIROVSKY Hervé Monsieur OUVRARD Pierre Monsieur RÉTHORÉ Gildas Monsieur SARKISSIAN Louis-Emmanuel Madame WOJTIUK Fabienne	
Maitre de Conférences		
Madame VINATIER Claire		
Enseignants Associés		
Monsieur KOUADIO Ayepa Madame LOLAH Aoula	Madame MERAMETDJIAN Laure Madame RAKIC Mia	

Mise à jour le 16/04/201

**Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le conseil de la
Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises
dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être
considérées comme propre à leurs auteurs et qu'il n'entend leur
donner aucune approbation, ni importance.**

REMERCIEMENTS :

A Monsieur le Professeur Bernard GIUMELLI

Doyen de l'UFR Odontologie Nantes

Département de Prothèses

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury,

Pour m'avoir aidé dans mes premiers pas de clinique en prothèse et prodigué vos bons conseils,

Veillez recevoir toute ma gratitude et mon entière reconnaissance.

A Monsieur le Docteur François BODIC

Maître de conférences des Universités

Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Docteur de l'université de Nantes

Département de Prothèses

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de diriger cette thèse,

Pour avoir trouvé le sujet intéressant et m'avoir aidé à l'élaborer jusqu'au bout,

Veillez accepter ma sincère reconnaissance et mes sentiments respectueux.

A Monsieur le Professeur Laurent LE GUEHENNEC

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Docteur de l'Université de Nantes

Habilité à Diriger des Recherches

Chef du Département de Prothèses

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury,

*Pour m'avoir aidé à réaliser mes premières préparations périphériques en bouche et appris
les bases de la prothèse,*

*Veillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance et de mes sentiments les plus
respectueux.*

A Monsieur le Docteur Xavier BOUCHET

Assistant Hospitalier Universitaire des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires
Département d'Odontologie Conservatrice et Pédiatrique

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury,

Pour m'avoir initié à la CFAO en dernière année et m'avoir inspiré dans l'élaboration du sujet,

Veillez accepter ma reconnaissance et mes sentiments respectueux.

SOMMAIRE :

1 INTRODUCTION	13
2 PREMIERE PARTIE : fonctionnement des systèmes CFAO	14
2.1 Généralités sur la CFAO	14
2.1.1 Définition.....	14
2.1.2 Un peu d'histoire.....	16
2.1.2.1 Le temps des pionniers (1975-1985)(6).....	16
2.1.2.2 Période industrielle (1985-2000)(6)(7)	17
2.1.2.3 Des années 2000 à aujourd'hui	18
2.2 Prise d'empreinte : les caméras optiques ou scanner intra-oral	19
2.2.1 Types de capture.....	19
2.2.2 Principes technologiques	19
2.2.2.1 Mesure triangulaire	19
2.2.2.2 Lumière structurée	20
2.3 Analyse de l'empreinte optique.....	20
2.3.1.1 Pré-requis	20
2.3.1.2 Détermination de l'axe d'insertion	21
2.3.1.3 Détermination de la limite cervicale	22
2.3.1.4 Enregistrement de l'occlusion	22
3 DEUXIEME PARTIE : état des lieux du cursus universitaire	23
3.1 Principes de préparation périphérique d'une dent recevant une couronne céramo-céramique	23
3.1.1 Axe de préparation	23
3.1.2 Limite cervicale	23
3.1.2.1 Profil de la limite.....	23
3.1.2.2 Situation de la limite (13)	24
3.1.2.3 Largeur de la limite.....	25
3.1.3 Dépouille axiale et rétention(11)	25

3.1.3.1	Préparation des faces vestibulaire et linguale	26
3.1.3.2	Préparation des faces proximales	26
3.1.4	Surface occlusale(11).....	27
3.2	Etat des lieux sur l' enseignement de la prothèse fixée	27
3.2.1	Programme des cours magistraux	27
3.2.2	Objectifs à atteindre par année.....	28
3.2.3	Travaux pratiques	29
4	TROISIEME PARTIE : projet pédagogique	32
4.1	Mise en place d'un nouveau système pédagogique d'apprentissage de la prothèse fixée par la CFAO, intégré aux travaux pratiques existants	32
4.1.1	Principe.....	32
4.1.2	Choix de la caméra optique et du logiciel de conception	32
4.1.3	Mise en place du TP 1 en deuxième année : empreinte optique et analyse de sa préparation.....	33
4.1.3.1	Avant propos	33
4.1.3.2	Principe.....	33
4.1.3.3	Première hypothèse	33
4.1.3.4	Deuxième hypothèse.....	34
4.1.4	Mise en place du TP 2 en deuxième année : Travail sur un modèle positif virtuel, préenregistré en salle informatique	36
4.1.4.1	Principe.....	36
4.1.4.2	Recalage du mordu	37
4.1.4.3	Zone d'ajustage.....	39
4.1.4.4	Tracer le bord.....	40
4.1.4.5	Axe d'insertion.....	42
4.1.4.6	Analyse de la préparation	43
4.1.4.7	Design	47
4.1.5	Apports pédagogiques pour l' étudiant.....	51
4.1.5.1	Visualisation globale de l'anatomie dentaire et des préparations	51

4.1.5.2	Visualisation directe à chaque étape : auto-évaluation	52
4.1.5.3	Mise en évidence des différentes contraintes	53
4.1.5.4	Gratification du travail de l'étudiant	53
4.1.5.5	Double formation.....	53
5	CONCLUSION.....	55
6	BIBLIOGRAPHIE	56
7	TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	60

1 INTRODUCTION

La dentisterie évolue en permanence. Il est aujourd'hui impensable d'exercer la dentisterie restauratrice et la prothèse dentaire sans conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO). François Duret en a posé les bases dans sa thèse de 1973 « l'empreinte optique ».

Depuis, les techniques fondamentales n'ont pas changé, le fonctionnement intrinsèque de l'empreinte optique jusqu'à la fabrication par machine-outil assistée par ordinateur est resté le même depuis son invention. Seules la facilité d'en acquérir en cabinet et l'utilisation en pratique quotidienne par les chirurgiens dentistes ont énormément changé, et pourtant nous n'assistons toujours pas à la systématisation de cette pratique en cabinet.

Alors qu'aujourd'hui presque tous les laboratoires de prothèse travaillent par CFAO à des degrés d'implications variables, la majeure partie des cabinets utilise encore uniquement les techniques conventionnelles d'empreintes par matériaux insérés en phase plastique ainsi que leurs envoies conventionnels aux laboratoires de prothèse. (1)(2)

Plusieurs raisons peuvent expliquer l'arrivée timide de la CFAO en pratique quotidienne et notamment le manque d'enseignement et de pratique dès l'université. Il est bien prouvé que plus le sujet est jeune, plus il apprend vite(3). C'est en mettant l'étudiant au contact de la CFAO dès son entrée à la faculté de chirurgie dentaire que l'on permettra aux futurs praticiens de s'engager naturellement sur la voie du tout numérique(4).

De plus, enseigner ce mode d'exercice est une évidence afin d'éviter les formations privées ne rentrant pas toujours dans des structures correctement encadrées. Il doit se faire à l'université, mais aussi dans le cadre de la formation continue reconnue. (1)

Après avoir fait un rappel de l'arrivée de la CFAO dans le milieu médical, nous développerons le fonctionnement de l'empreinte optique et les outils disponibles pour analyser les empreintes numériques. Dans un second temps, nous ferons un état des lieux de l'enseignement en prothèse fixée après avoir établi les règles fondamentales de préparation d'une couronne. Enfin nous apporterons des solutions afin que les étudiants puissent acquérir à l'issue de leur cursus les automatismes du tout numérique, notamment par la création de travaux pratiques ciblés dès la deuxième année, comme ce fût le cas par exemple lors du passage de l'endodontie manuelle à la rotation continue.

2 PREMIERE PARTIE : fonctionnement des systèmes CFAO

2.1 GÉNÉRALITÉS SUR LA CFAO

2.1.1 DÉFINITION

La CFAO est l'acronyme de la Conception et la Fabrication Assistée par Ordinateur, plus connue à l'internationale par le terme de CAD/CAM, acronymes de Computer Aided Design/ManufacturingAided Design.

Un système de CFAO se compose de trois unités parfaitement identifiables :

- Un système de mesure qui a pour fonction de communiquer les informations dentaires voulues par l'opérateur à un ordinateur : c'est l'empreinte optique. Nous nous intéresserons uniquement à l'empreinte optique intra-buccale.

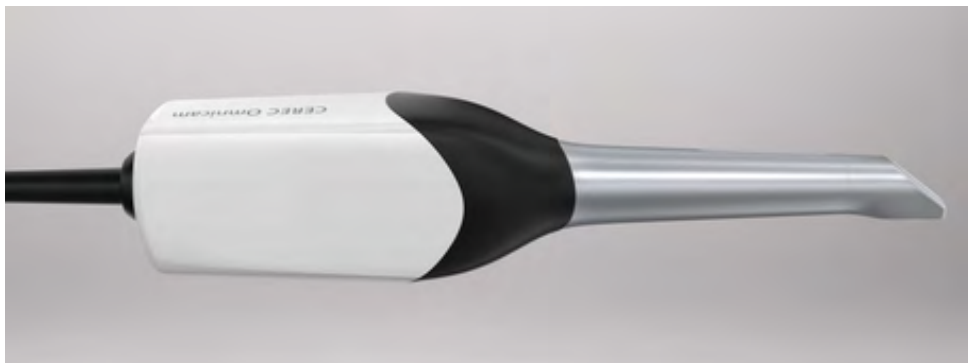


FIGURE 1 : CAMERA OPTIQUE CEREC OMNICAM

- Un système de traitement de l'empreinte et de conception de la prothèse (CAO) va permettre de matérialiser l'empreinte optique en un modèle positif virtuel afin de modéliser la prothèse sur ordinateur.



FIGURE 2 : CEREC AC AVEC OMNICAM

- Un système de fabrication matériel sous forme de machine outils, va construire en effet la prothèse à partir des informations numériques que l'ordinateur lui a transmises. La machine peut fabriquer la prothèse par addition, en utilisant la stéréo-lithographie, ou bien par soustraction, en utilisant l'usinage.



FIGURE 3 : UNITE DE MEULAGE ET DE FRAISAGE CEREC

Ces trois composants sont reliés entre eux par un langage informatique spécifique (en système fermé) ou universel (en système ouvert). Le système fermé impose d'utiliser les trois composants de la CFAO venant d'un même fabricant tandis que par système ouvert il est possible d'utiliser les composants de différentes marques fonctionnant entre eux. (5)

2.1.2 UN PEU D' HISTOIRE

2.1.2.1 Le temps des pionniers (1975-1985)(6)

L'histoire commence lorsque l'informatique est naissante, et que l'usinage automatique apparaît dans les grandes usines d'automobiles (Renault à Béziers) ou d'aviation au début des trente glorieuses. Quant à l'optique, on l'utilisait déjà en dentisterie afin d'effectuer des mesures de dents (Université du Michigan, 1968) ou afin de réaliser des usinages de couronnes (A. Schuller ou Swinson, 1973).

L'idée de faire entrer ces nouvelles technologies en dentisterie germe dans l'esprit des chercheurs français et se matérialise par la thèse de son inventeur en 1973 : « empreinte optique » de François Duret. Cette dernière impose la faisabilité technique d'un processus jusque là à peine imaginable à l'époque. Toutes les techniques aujourd'hui utilisées en CFAO sont décrites dans la thèse du professeur. A partir de ce moment commence la véritable histoire de la CFAO dentaire.

Dès lors, seulement deux pays s'impliquèrent fortement dans le domaine, sans se connaître. La France, déjà très en avance puisque inventeur, s'associe avec la société Hennson et réalise la première démonstration de CFAO lors des « entretiens de Garancière » en 1982 puis fabrique une première prémolaire mandibulaire en une heure après empreinte optique, qui sera scellée sur la femme du Pr. Duret à l'ADF de 1985. Les Etats-Unis quant à eux avancent plus dans les publications que les démonstrations, notamment grâce à Diane Rekow.

La fin de cette période est marquée par la création du CEREC system en 1984 par le Professeur W. Moerman et l'ingénieur M. Brandestini à Zurich. Cette équipe s'impose dans la CFAO dentaire avec le Cerec mark 1 appelé aussi le « lemon » pour sa couleur jaune. Ce nouvel appareil permet de faire des empreintes en bouche et d'usiner des inlays en quelques minutes.



FIGURE 4 : TSUTSUMI, REKOW, MÖERMANN ET DURET A LOS ANGELES EN 1991

FIGURE 5 : LE CEREC LEMON DE MÖERMANN ET BRANDESTINI EN 1985

2.1.2.2 Période industrielle (1985-2000)(6)(7)

Avec l'engouement international de cette révolution scientifique, vient l'ère des démonstrations et de la rivalité amicale Allemagne/Suisse – France : l'équipe de Moerman rejoint Siemens et développe le CEREC, l'équipe française autour du professeur Duret continue son ascension et son leadership autour des démonstrations jusqu'en 1990 où le rachat de la société Hensonn par Sopha entraîne une implosion financière et brise dans l'œuf 20 ans d'effort.

L'équipe française se disperse, aidée par l'accueil froid des dirigeants européens, contrairement au réel engouement des USA et du Japon. Il en est fini du leadership français, alors que le CEREC à Zurich devient le numéro un incontesté de la CFAO dentaire dans le monde, que l'équipe de Matt Enderson perfectionne le système PROCERA en Suède et que le Japon rejoint le pool industriel de la CFAO dentaire avec l'appui de Nikon et Hitachi.

Les années suivantes consistent à industrialiser les systèmes CFAO afin de les commercialiser à grande échelle. Ceci entraîne la disparition des plus petites équipes face à l'explosion des grands groupes industriels. Si techniquement l'évolution stagne, la CFAO s'impose chez les utilisateurs comme les dentistes et prothésistes, qui devient crédible à leurs yeux.

2.1.2.3 Des années 2000 à aujourd'hui

C'est réellement en ce début de XXI ème siècle que la CFAO confirme sa position de leader dans les milieux industriels, scientifiques et dentaires.

L'arrivée de la zircone fin des années 1990 fût une nouvelle révolution pour la CFAO qui jusqu'alors ne pouvait usiner que des pièces métalliques, composites non esthétiques ou des céramiques fragilisées par l'usinage. (6)

A partir de 2003 apparaissent les systèmes ouverts de CFAO qui permettent d'utiliser différentes marques selon l'empreinte, la conception ou la fabrication, et sont compatibles entre elles.(5)

Dès 2005, les chercheurs et pionniers de la CFAO notaient la nécessité de posséder dans les centres de soins, notamment universitaires, au minimum une ou plusieurs caméras endo-buccales, un centre d'usinage, des périphériques d'informations types articulateurs et sondes parodontales, et des périphériques de stockage comme les informations numériques de la bouche des patients, incluses dans leur dossier médical. (8)

En 2007, 15% des prothèses mondiales sont réalisées par CFAO, bien que la technique n'a pas tellement évolué depuis les années 1980. Lorsque le magazine hebdomadaire « Information Dentaire » demande à François Duret en 2007 d'envisager l'avenir de la CFAO, il dit : « les centres universitaires seront capables de développer de nouveaux concepts qu'ils transmettront dans tous les cabinets utilisant cette technologie afin de mettre à jour les logiciels de lecture et d'analyse par CAO. Il n'y aura plus d'acte isolé mais une immense toile d'araignée reliant tous les actes cliniques pratiqués. »(6)

Les centres universitaires aujourd'hui ont tous introduit la CFAO dans les cours magistraux des étudiants, mais c'est encore du bout des doigts et trié sur le volet que les étudiants font de réels cas cliniques par CFAO, alors nous sommes encore bien loin de la toile d'araignée reliant tous les actes cliniques rêvée par le Professeur Duret.

2.2 PRISE D'EMPREINTE : LES CAMÉRAS OPTIQUES OU SCANNER INTRA-ORAL

2.2.1 TYPES DE CAPTURE

- Point and click : c'est une technique statique qui consiste à enregistrer l'objet image par image
- Full motion : c'est une technique dynamique qui consiste à enregistrer l'objet en le filmant.(9)

2.2.2 PRINCIPES TECHNOLOGIQUES

L'empreinte optique intra-orale est une méthode sans contact physique, seulement faisable par méthode ondulatoire en dentisterie.

L'empreinte optique utilise toujours une source lumineuse. Soit une lumière blanche émise par des LED, soit une seule onde lumineuse émise par un LASER.

2.2.2.1 Mesure triangulaire

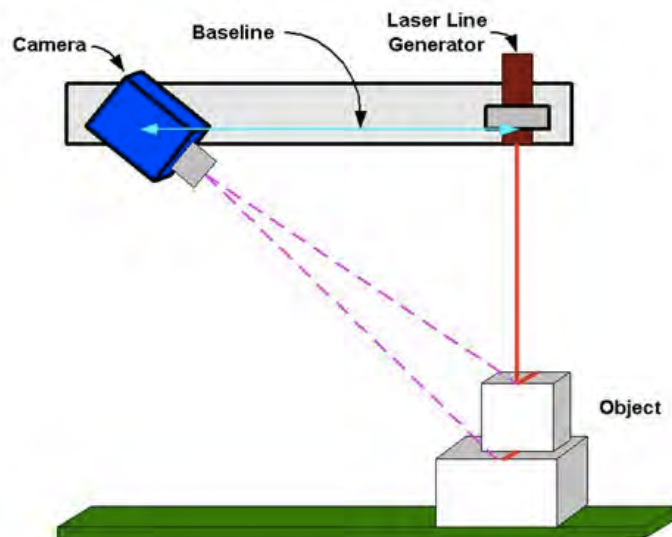


FIGURE 6 : PRINCIPE DE TRIANGULATION LASER

Le principe consiste à projeter le rayon laser sur l'objet et c'est le rayon réfléchi de l'objet qui est enregistré par la caméra et transformé en objet numérique par les capteurs CCD (détecteur à couple de charge) présents dans la caméra.

Cette technique est appelée triangulation car le point laser, le faisceau laser et la caméra forment un triangle. Ce procédé produit des lignes dans les trois plans de l'espace qui assemblées en centaines de triangles forment l'image tridimensionnelle numérisée.(10)

2.2.2.2 Lumière structurée

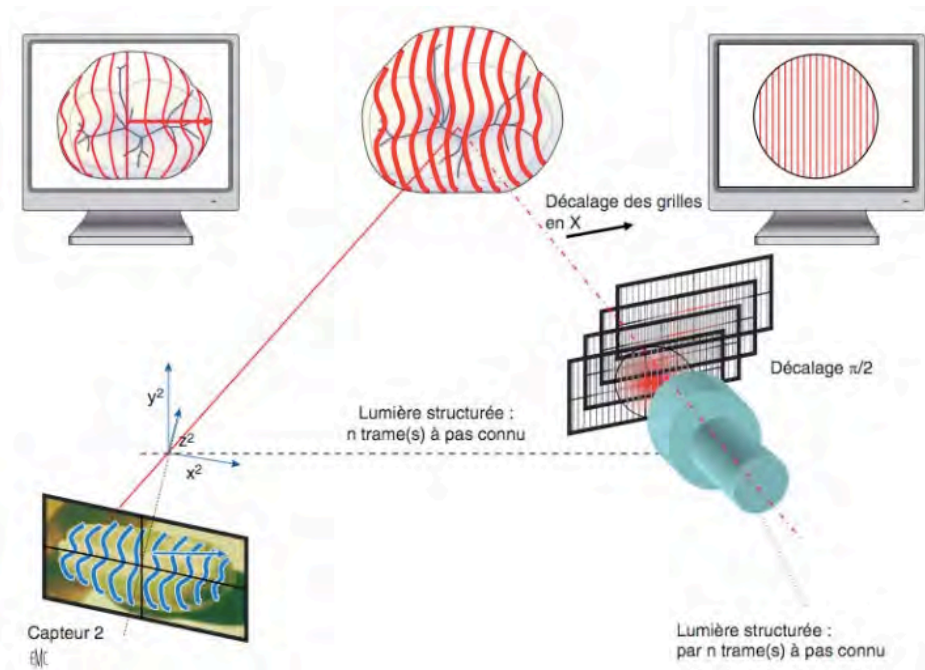


FIGURE 7 : PRINCIPE DU MOIRE ELECTRONIQUE UTILISE PAR LE SYSTEME CEREC

Ce n'est pas un laser mais un ensemble de franges lumineuses décalées qui est projeté sur l'objet. On observe ces franges au travers d'un deuxième réseau (« capteur 2 »). C'est l'interférence entre ces deux réseaux qui forme un phénomène ondulatoire permettant de recréer l'objet numériquement. C'est la méthode la plus utilisée en chirurgie dentaire car elle est très précise et rapide.

2.3 ANALYSE DE L'EMPREINTE OPTIQUE

2.3.1.1 Pré-requis

L'analyse des empreintes optiques renvoie aux fondamentaux de la prothèse fixée en ce qui concerne les préparations, et l'on retrouve les mêmes critères de validation d'une préparation périphérique conventionnelle que ceux décrits par Shillinburg au début des années 1980 (Shillinburg et al. 1981) mais avec des moyens différents(11).

Pour une préparation coronaire périphérique conventionnelle, les zones qui doivent être parfaitement lisibles sont :

- La totalité de la limite cervicale
- La totalité de la ligne de transition
- La préparation cervicale sous forme de bords réguliers
- La ligne déterminant la surface occlusale préparée à l'intérieur de la ligne de transition
- Les papilles
- Les points de contact des dents adjacentes

Pour l'analyse du modèle virtuel, nous utiliserons le logiciel CEREC de chez Sirona. Il est simple à manipuler et didactique dans la manière de proposer ses outils, il est ainsi pédagogique comme le demande la finalité de ce projet.

La conception assistée par ordinateur de ce logiciel comprend plusieurs étapes comme indiquées ci-dessous. La première, appelée « Administration », consiste notamment à indiquer le type de prothèse à réaliser et le matériau de reconstitution souhaité.

Ensuite vient l'étape de la prise d'empreinte, associée conjointement à l'analyse du modèle virtuel. La modélisation de la prothèse se produit dans l'étape suivante, nommée ici « Design ».

Enfin la fabrication pourra avoir lieu mais ne sera pas développée puisqu'elle ne concerne pas le sujet traité.



FIGURE 8 : ETAPES DU LOGICIEL DE CFAO CEREC DE CHEZ SIRONA

2.3.1.2 Détermination de l'axe d'insertion

Il est conseillé de faire pour première image une vue de l'axe d'insertion choisi afin d'étudier directement la qualité de l'empreinte.

L'axe d'insertion est déterminé sur écran par code couleur en visualisant les zones de contre-dépouilles. L'image choisie est celle sans contre-dépouille. Elle est fixée par un pointeau virtuel et définit le futur axe d'insertion.

2.3.1.3 Détermination de la limite cervicale

La seule contre-indication à l'empreinte optique est la non visibilité de la limite en totalité : « ce que l'œil voit, la caméra le voit ». Quel que soit le logiciel, la limite cervicale se trace informatiquement automatiquement ou par le praticien, par une ligne virtuelle représentant la ligne externe de la préparation cervicale.

2.3.1.4 Enregistrement de l'occlusion

- *Enregistrement*

Il faut enregistrer les rapports occlusaux en Occlusion d'Intercuspidie Maximale (OIM) par une prise d'empreinte optique en vue vestibulaire.

- *Outils d'épaisseurs*

Le logiciel est programmé soit par l'industriel, soit par le praticien à trois niveaux :

- L'épaisseur minimale d'espace dento-prothétique (qui correspond au vernis espaceur) doit être de 0,1 mm.
- L'épaisseur minimale du joint dento-prothétique cervical doit être de 0,4 mm.
- L'épaisseur minimale du matériau de reconstruction doit être de 1 à 1,5 mm.

Lorsque l'axe d'insertion, le tracer des limites et la programmation des outils d'épaisseurs sont saisis, la conception virtuelle de la prothèse peut être lancée.

3 DEUXIEME PARTIE : état des lieux du cursus universitaire

3.1 PRINCIPES DE PRÉPARATION PÉRIPHÉRIQUE D'UNE DENT RECEVANT UNE COURONNE CÉRAMO-CÉRAMIQUE

3.1.1 AXE DE PRÉPARATION

L'axe de préparation se fait selon un axe qui devient l'axe d'insertion de la couronne. Cet axe prend en compte les dents adjacentes, antagonistes et le couloir prothétique. Un mauvais axe entraîne un risque d'exposition pulpaire pour les dents pulpées, un défaut d'orientation de la couronne par rapport à la racine, un manque d'ajustage et une mauvaise transmission des contraintes occlusales. (12)

3.1.2 LIMITE CERVICALE

Elle représente la zone de transition entre la partie coronaire préparée et la racine non préparée. La couronne doit être adaptée à cette zone précisément et sans interruption dans la continuité de la racine.

3.1.2.1 Profil de la limite

Elle prend théoriquement le profil de la fraise choisie. Pour une couronne céramo-céramique, il faut un profil concave ou à angle interne arrondi.(12)

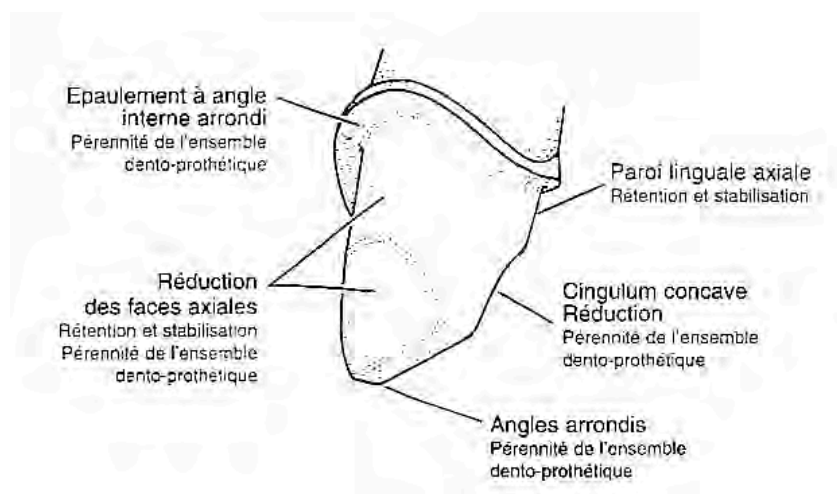


FIGURE 9 : ELEMENTS MORPHOLOGIQUES D'UNE PREPARATION POUR UNE COURONNE CERAMO-CERAMIQUE

3.1.2.2 Situation de la limite (13)

Elle se définit par rapport au contour gingival. Selon l'état de délabrement coronaire, la coloration de la dent et le matériau de restauration choisi.

La limite conditionne l'intégration parodontale et esthétique et la hauteur de rétention. Elle doit aussi respecter l'espace biologique (espace de 2 à 3 mm entre le fond du sulcus et le sommet de la crête alvéolaire).

- La limite supra-gingivale est indiquée si la hauteur de rétention est suffisante, pour les zones de furcation radiculaire et si l'esthétique n'est pas mis en cause. Elle est la limite la plus favorable à la santé parodontale.
- La limite juxta-gingivale suit le contour gingival sain ou assaini et reste facilement accessible. Elle est indiquée en antérieure, sur les faces vestibulaires et pour les restaurations céramiques dont les protocoles de collage nécessitent un accès direct aux excédents de colle.
- La limite infra-gingivale est indiquée selon le délabrement tissulaire et les colorations radiculaires obligeant à se placer plus profondément dans le sulcus. On la choisira également lorsque la rétention supposée est insuffisante.

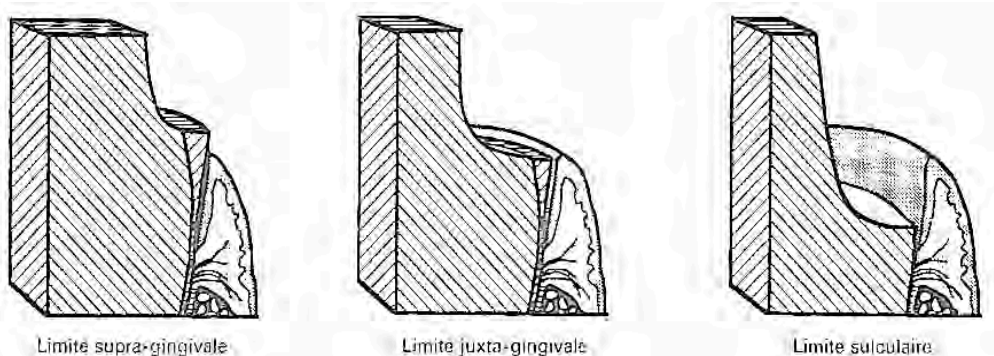


FIGURE 10 : ILLUSTRATION DES LIMITES SUPRA-GINGIVALE, JUXTA-GINGIVALE ET SULCULAIRE

3.1.2.3 Largeur de la limite

Elle se définit selon le matériau de restauration choisi afin de s'adapter à l'épaisseur nécessaire pour la fabrication de la couronne. Elle diffère selon le volume et la nature de la dent et sera en conséquence plus large pour une molaire qu'une incisive.

Elle n'est pas le résultat d'une mesure mais l'impression visuelle de l'opérateur en fonction de la fraise utilisée qui elle doit être de diamètre connue.

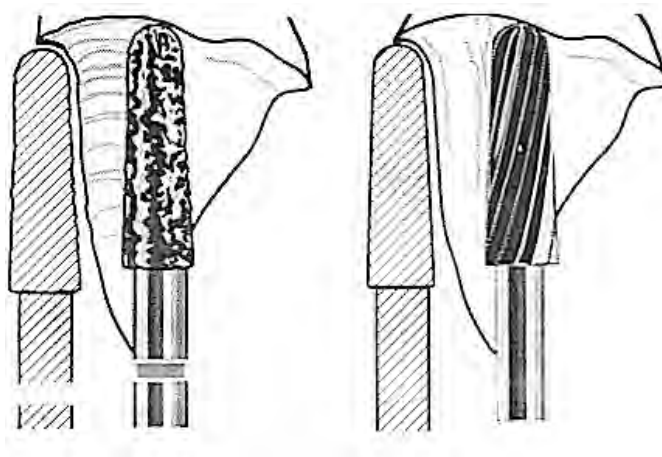


FIGURE 11 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE L'INSTRUMENT DE CHOIX EN FONCTION DE LA PREPARATION (13)

3.1.3 DÉPOUILLE AXIALE ET RÉTENTION(11)

La dépouille est l'angle de convergence occlusal des parois préparées ou conicité clinique observée. Elle doit être environ de 6°. Grâce aux nouveaux protocoles de collage on peut s'affranchir des principes exclusivement mécaniques et l'angle peu alors augmenter de 12° à 14°.

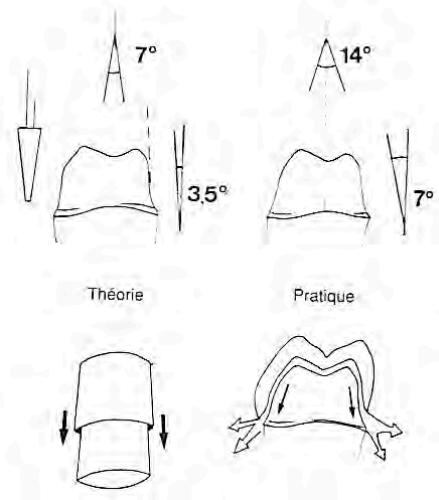


FIGURE 12 : ILLUSTRATION DU DEGRE DE DEPOUILLE IDEAL VERSUS ACCEPTABLE

3.1.3.1 Préparation des faces vestibulaire et linguale

Au niveau incisivo-canin, les profils des surfaces vestibulaires se présentent de façon presque rectilignes, ce qui facilite la préparation en enlevant le bombé et en créant le congé. La couronne clinique des dents cuspidées en revanche laisse souvent apparaître l'espace inter-radicaire et les surplombs que constituent les bombés. Or la limite cervicale doit suivre impérativement le contour sinueux de l'anatomie radicaire, il faut donc prolonger la concavité cervicale sur toute la hauteur coronaire.

Afin de répondre aux principes de rétention et de stabilisation, il est nécessaire de réaliser une double angulation de la surface vestibulaire et d'adoucir tous les angles de préparation.

3.1.3.2 Préparation des faces proximales

L'embrasure proximale doit protéger la papille et permettre l'élimination de la plaque dentaire. Dans le sens axial, un profil légèrement concave augmente la largeur d'embrasure. Dans le sens horizontal, il faut bien réduire le volume des cuspidés en tentant de garder la morphologie d'origine. Il faut passer les points de contact, le résultat donne un congé fin relié harmonieusement avec les faces vestibulaire et linguales.

3.1.4 SURFACE OCCLUSALE(11)

En regard des dents antagonistes, elle représente le sommet de la base circonscrite par la limite cervicale. On parle de bord libre pour les dents mono-radiculées. Pour prendre en compte l'épaisseur de céramique il faut ménager un espace prothétique occlusal assimilé à une distance minimale de 1,5 à 2 mm par rapport aux antagonistes.

Il faut réaliser un chanfrein sur la cuspide d'appui afin d'aligner les cuspides préparées.

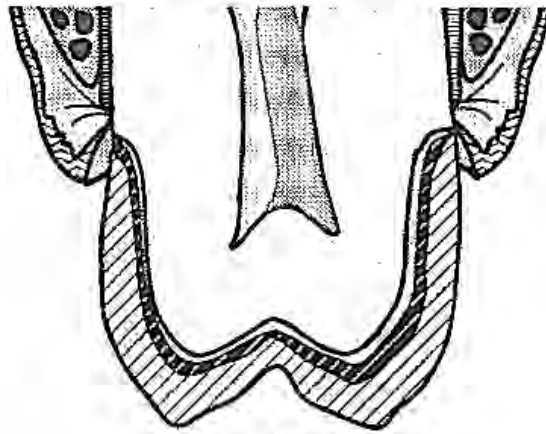


FIGURE 13 : VUE SAGITTALE D'UNE COURONNE CERAMO-METALLIQUE ET DE LA PREPARATION SOUS-JACENTE (13)

3.2 ÉTAT DES LIEUX SUR L'ENSEIGNEMENT DE LA PROTHÈSE FIXÉE

3.2.1 PROGRAMME DES COURS MAGISTRAUX

La prothèse fixée s'enseigne dès le passage en deuxième année, c'est à dire dès la première année d'étude à la faculté de chirurgie dentaire. Elle est incluse dans une Unité d'Enseignement (communément notée UE) globale appelée « prothèse » qui comprend également l'enseignement de la prothèse amovible partielle, complète et implantaire. Les cours magistraux s'intéressant à la prothèse fixée perdurent jusqu'en cinquième année et évoluent par difficulté croissante au fil des années, permettant d'acquérir toutes les données acquises par la science.

3.2.2 OBJECTIFS À ATTEINDRE PAR ANNÉE

En deuxième année, après avoir défini les différents types de prothèses, il est appris aux étudiants les notions générales sur la prothèse fixée, mises en pratiques sous forme de travaux pratiques tout au long de l'année. Les notions acquises à l'issue de la deuxième année sont :

- Les principes de préparation en prothèse fixée
- Les différentes formes de préparations existantes
- Les préparations des dents cuspidées
- La chronologie de la réalisation d'une prothèse fixée

En troisième année, des notions plus pointues mais non moins indispensables sont apprises telles que :

- Les paramètres de l'occlusion et l'articulateur dans la prothèse fixée
- Les préparations périphériques des dents antérieures
- Accès et indications des limites
- Empreintes et modèles de travail
- Les prothèses provisoires

En quatrième année, l'apprentissage théorique classique de la prothèse fixée est acquis, on demande donc à l'étudiant de réfléchir sur les indications de la prothèse fixée dans les plans de traitement globaux. Certaines notions théoriques manquent encore tout de même, et c'est seulement ici que la CFAO est abordée :

- Gestion de l'esthétique, les teintes et les scellements
- Biomécanique des bridges, les bridges collés
- Les couronnes céramo-céramiques
- La prothèse CFAO

En cinquième année sont essentiellement abordés les plans de traitements complexes et la gestion de cas cliniques, à travers de nombreux exemples, pour préparer au mieux l'étudiant à la pratique. C'est aussi cette année là que la CFAO est approfondie, sous forme d'un cours magistral, puis d'un enseignement dirigé. Seules les généralités sont abordées au sujet de la CFAO.

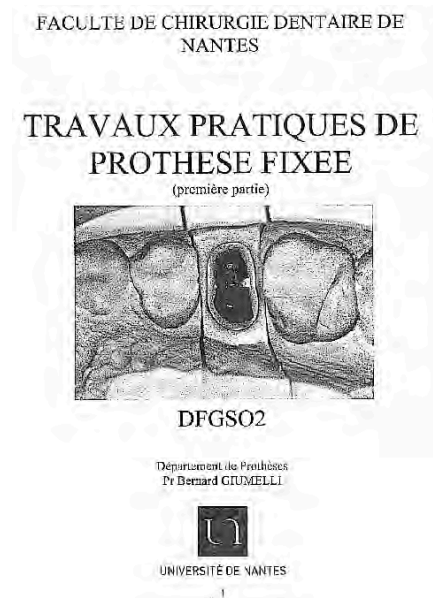
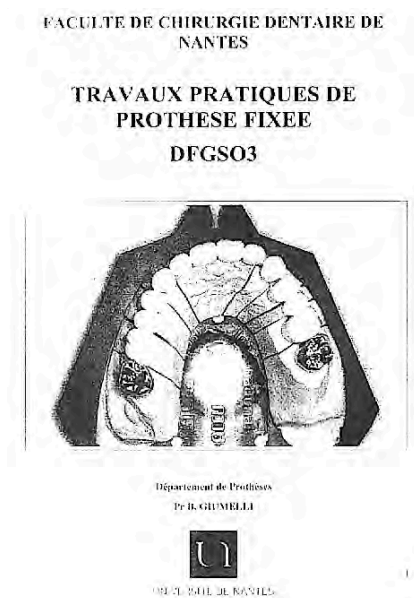
3.2.3 TRAVAUX PRATIQUES

La chirurgie dentaire est avant tout un apprentissage manuel qui doit se faire, en complément des données théoriques, sous forme de travaux pratiques avant l'entrée en clinique, c'est à dire en deuxième et troisième année. C'est pendant ces deux années universitaires qu'ont lieu la majeure partie des travaux pratiques, même si jusqu'à la sixième année certaines notions sont également vues en TP et que la formation continue est nécessaire tout au long de la vie professionnelle de chaque praticien.

Le but de ces travaux pratiques est ainsi d'entraîner les étudiants à la préparation de dents pour recevoir différents types de couronnes, mais pas seulement. En effet, les salles de TP sont réalisées de sorte que les étudiants s'exercent sur des « fantômes » simulant la position du patient et sur lesquels les dents artificielles sont fixées et démontables. Ainsi les étudiants, non seulement apprennent les techniques de préparations, mais aussi les positions de travail, l'ergonomie. Ils peuvent aussi examiner leur modèle de près à la fin de chaque séance afin de s'auto-évaluer, de comprendre les erreurs à ne pas refaire, de manière à progresser au fil des séances.

Il est fourni aux étudiants au début de chaque année un cahier de travaux pratiques de prothèse fixée dans lequel sont détaillés : le programme de l'année par séance, le détail de chaque séance avec des rappels des cours magistraux, et aussi une grille d'auto-évaluation à remplir par l'étudiant et à discuter avec un enseignant. Cette dernière évalue l'acte technique, l'ergonomie et l'asepsie.

Plus largement, il est fourni également un cahier de protocole clinique que l'étudiant a à sa disposition tout au long de ses études, regroupant tous les types de prothèses, le protocole à adopter étape par étape pour chaque indication prothétique, les différentes fraises et matériaux à utiliser dans chacune des situations ainsi qu'une carte des formes anatomiques des dents.



Département de Prothèses
Faculté de Chirurgie Dentaire de Nantes
Service d'Odontologie Restauratrice et Chirurgicale
Pôle Odontologie
Centre Hospitalier Universitaire de Nantes

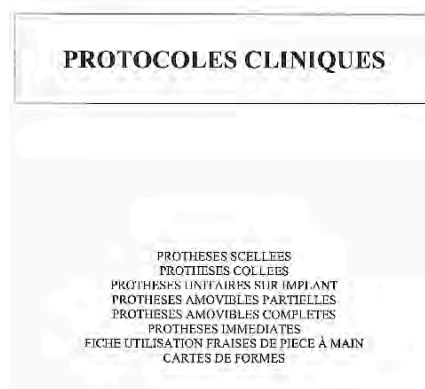


FIGURE 14 : ILLUSTRATIONS DES CAHIERS DE TRAVAUX PRATIQUES ET DU PROTOCOLE CLINIQUE FOURNIS AUX ETUDIANTS

Le programme de deuxième année comprend 23 séances, le programme de troisième année comprend 27 séances, dont la dernière de chaque année est un examen terminal sur la réalisation d'un acte en un temps limité.

Il est à noter qu'aucun TP n'est dédié à la CFAO en deuxième et troisième année. Un seul TP de présentation générale pendant 2 heures avec un des systèmes de CFAO est réalisé en 4ème année.

C'est pourquoi nous proposons un projet pédagogique sous forme de travaux pratiques et développé ci-dessous, qui consiste à la formation approfondie du système de conception et fabrication assistée par ordinateur dès l'entrée dans le cursus universitaire de chirurgie dentaire.

4 TROISIEME PARTIE : projet pédagogique

4.1 MISE EN PLACE D'UN NOUVEAU SYSTÈME PÉDAGOGIQUE D'APPRENTISSAGE DE LA PROTHÈSE FIXÉE PAR LA CFAO, INTÉGRÉ AUX TRAVAUX PRATIQUES EXISTANTS

4.1.1 PRINCIPE

La finalité du projet est d'apprendre la prothèse fixée et la conception et fabrication assistée par ordinateur. Autrement dit, utiliser l'empreinte optique et le logiciel de conception assistée par ordinateur afin de s'exercer à la fabrication de la prothèse fixée.

Plus précisément, les objectifs à atteindre sont :

- Acquérir des savoirs complémentaires en deux ans, avant l'entrée en pratique hospitalière.
- Comprendre les principes de préparations périphériques via le logiciel de CAO
- Manipuler les outils de CFAO
- Savoir prendre une empreinte optique
- Savoir faire fonctionner le logiciel de conception assistée par ordinateur avant l'entrée en clinique en quatrième année.

4.1.2 CHOIX DE LA CAMÉRA OPTIQUE ET DU LOGICIEL DE CONCEPTION

Il est nécessaire pour la réussite de ces travaux pratiques de mettre à disposition les machine-outils prêtées ou possédées par la faculté. Les logiciels sont différents selon les marques de CFAO dentaire et plus ou moins pédagogiques.

Les logiciels CEREC de chez Sirona sont instinctifs et très pédagogiques, c'est aussi la raison pour laquelle nous nous appuyerons sur cette marque afin de réaliser notre projet pédagogique, mais il est possible de confronter différents types de caméras et de logiciels, et notamment de réaliser les TP de CFAO en deuxième année grâce au CEREC de Sirona, et les TP de troisième année avec une autre marque comme Carestream.

4.1.3 MISE EN PLACE DU TP 1 EN DEUXIÈME ANNÉE : EMPREINTE OPTIQUE ET ANALYSE DE SA PRÉPARATION

4.1.3.1 Avant propos

Dans les universités ayant la possibilité d'avoir à disposition plusieurs machine-outils, nous pourrions imaginer utiliser l'empreinte optique au début de chaque travaux pratiques. Il s'agirait de se servir du logiciel pour que l'enseignant puisse montrer la préparation périphérique « idéale ». Cela permettrait dans un premier temps une familiarisation avec des logiciels de CFAO par les étudiants et le remplacement des tracés manuels sur tableau des préparations périphériques à réaliser.

4.1.3.2 Principe

En deuxième année, les séances des travaux pratiques de prothèse fixée sont essentiellement dédiées à la préparation des dents recevant une couronne coulée ou céramo-métallique. L'intérêt de la CFAO est la réalisation de couronnes céramo-céramiques. Connaître l'existence de ce type de matériau ainsi que la préparation théorique d'une couronne clinique recevant ce type de prothèse incombe donc à l'étudiant en pré-requis.

Il est préférable d'envisager la réalisation de ces nouveaux travaux pratiques à partir du second semestre, moment où l'étudiant aura une certaine habitude des préparations périphériques.

Nous avons élaboré deux hypothèses d'introduction de la CFAO dans les travaux pratiques.

Le TP ne consiste pas en la fabrication virtuelle de la prothèse mais il permet à l'étudiant de prendre un premier contact avec la caméra optique d'une part, et de visualiser en trois dimensions le modèle positif virtuel d'autre part.

4.1.3.3 Première hypothèse

L'empreinte optique et l'analyse de la préparation périphérique de chaque étudiant se feraient sans ajouter de travaux pratiques mais par inclusion dans une séance existante du deuxième semestre universitaire. En effet, il est dédié cinq séances autour d'une même dent, la première molaire mandibulaire, afin que l'étudiant puisse suivre l'évolution de la couronne prothétique, de la préparation périphérique à la fabrication de la prothèse en laboratoire de manière classique, en passant par l'empreinte secondaire type double mélange puis wash-technic.

Le principe est de confronter les deux versions en ajoutant l’empreinte optique et la visualisation sur logiciel, lors de la séance dédiée à l’empreinte secondaire.

En pratique, le déroulement se ferait comme suit :

- Séance 1: préparation de la dent pour recevoir une couronne céramo-céramique, et couronne provisoire par méthode manuelle (block technique).
- Séance 2: division du groupe en deux. Un groupe réalise l’empreinte double mélange, puis wash-technic de la préparation, l’autre réalise l’empreinte optique. Analyse tour à tour de ses empreintes avec l’enseignant.
- Séance 3, 4 et 5 en salle de laboratoire, sans changement de méthode : préparation des MPU (Modèle Positif Unitaire) et réalisation de la maquette en cire.

L’intérêt de cette proposition est de garder le programme des travaux pratiques afin de ne pas modifier le planning annuel existant. L’inconvénient est la densité d’informations à assimiler dans ces séances afin d’exécuter sans retard la préparation et les empreintes conventionnelles puis les empreintes optiques.

4.1.3.4 Deuxième hypothèse

Elle consiste à inclure un TP supplémentaire dédié à l’empreinte optique. La préparation périphérique de la dent à restaurer ainsi que la couronne provisoire auront été réalisées ultérieurement.

Au début du TP l’enseignant peut réaliser une introduction théorique sur la CFAO, sous forme de diapositives ou sous forme orale, afin de rappeler aux étudiants ce que sont les empreintes optiques, leurs principes et leurs intérêts.

Ensuite, chacun devra réaliser l’empreinte de sa propre préparation périphérique et l’analyser avec l’enseignant et les moniteurs.

Il est nécessaire de réaliser ce TP en groupes de dix personnes au plus, afin de donner du temps à chaque étudiant pour réaliser correctement son empreinte.(14)

Une fois que l’apprenti aura scanné son modèle correctement le long d’une héli-arcade au minimum, il pourra se servir du joystick permettant la mobilité du modèle afin d’observer la qualité de son empreinte et de sa préparation dans les trois dimensions de l’espace.

L'avantage de cette entrée en matière est de permettre à l'enseignant une réelle introduction à la CFAO. L'inconvénient est qu'il faut établir un planning aménagé pour inclure au moins dix heures dédiés à notre nouveau TP.



FIGURE 15 : MODELE DE TRAVAIL D'UN ETUDIANT PRIS AU HASARD.

36 ET 46 SONT PREPAREES AFIN DE RECEVOIR UNE COURONNE CERAMO-CERAMIQUE.



FIGURE 16 : MODELE DE TRAVAIL MANDIBULAIRE SCANNE PAR EMPREINTE OPTIQUE

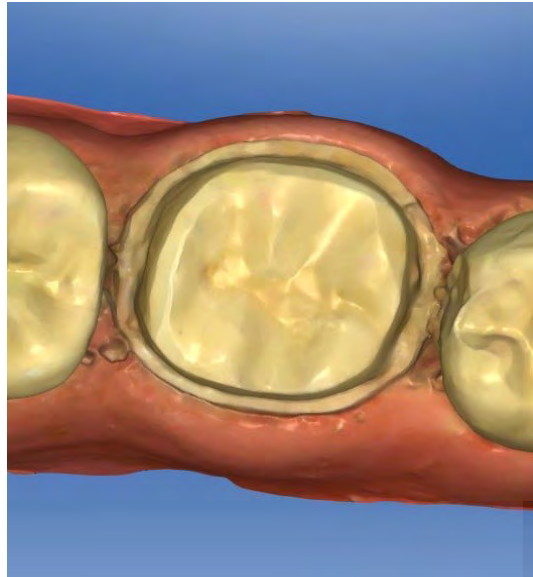


FIGURE 17 : PREPARATION PERIPHERIQUE SCANNEE D'UNE 36 AFIN DE RECEVOIR UNE COURONNE CERAMO-CERAMIQUE.

4.1.4 MISE EN PLACE DU TP 2 EN DEUXIÈME ANNÉE : TRAVAIL SUR UN MODÈLE POSITIF VIRTUEL, PRÉENREGISTRÉ EN SALLE INFORMATIQUE

4.1.4.1 Principe

Cette deuxième séance peut se faire sous forme de travaux pratiques ou d'enseignements dirigés, et doit avoir lieu peu de temps après le premier TP dédié à l'empreinte optique. Cette deuxième séance est focalisée sur l'analyse de la préparation périphérique (scannée au préalable) d'un étudiant pris au hasard et inconnu ainsi qu'à la conception virtuelle de la couronne prothétique. Tous les étudiants analyseront la même empreinte.

Les groupes sont ainsi répartis pour que le nombre d'ordinateurs corresponde au nombre d'étudiants afin que chacun puisse utiliser le logiciel.

D'abord, le type de restauration, le mode de construction et le choix du matériau dans « Administration » auront été préalablement choisis, l'empreinte aura été réalisée et enregistrée par le professeur afin de faciliter le commencement du TP.

Nous avons élaboré une simulation de TP, en suivant les étapes du logiciel pas à pas, avec les démonstrations iconographiques correspondantes, que devra réaliser l'étudiant devant l'ordinateur. Nous étudierons une préparation d'une première molaire mandibulaire réalisée par un étudiant X de la faculté de chirurgie dentaire de Nantes.

Il est développé ci-après le déroulement de l'analyse de cette dite empreinte, comme devra le faire l'étudiant.



FIGURE 18 : INTERFACE « TYPE » QUE L'ETUDIANT AURA A SA DISPOSITION AU COMMENCEMENT DU TP : ETUDE DE LA PREPARATION ET MODELISATION DE LA 36.

4.1.4.2 Recalage du mordue

L'empreinte maxillaire, mandibulaire et vestibulaire ont été réalisées. En cliquant sur la flèche indiquant « suivant », l'étudiant a simplement à observer le recalage automatique de l'occlusion en intercuspédie maximale (OIM) des modèles enregistrés.



FIGURE 19 : ETUDE DE L'OCCCLUSION EN OIM

A ce stade, l'étudiant n'a encore rien élaboré mais peut déjà étudier de très près l'occlusion en intercuspédie maximale, grâce aux outils d'analyse proposés, et notamment les contacts du modèle, mimant le papier d'occlusion.



FIGURE 20 : ETUDE DES CONTACTS OCCLUSAUX EN OIM

Parmi les outils dont l'étudiant dispose, on retrouve l'articulateur virtuel. Il s'anime automatiquement en cliquant dessus et montre les entrées et sorties de cycle de l'occlusion en mouvement. Selon l'occlusion enregistrée, on peut établir avec précision la fonction groupe ou canine liées aux mouvements mandibulaires.



FIGURE 21 : ETUDE DU MOUVEMENT MANDIBULAIRE EN FONCTION CANINE.

4.1.4.3 Zone d'ajustage

Pour une seule reconstitution prothétique et après avoir étudié l'occlusion, il est possible de diminuer le modèle virtuel à des fins plus pratiques. Ici est donc gardé le secteur trois seulement.

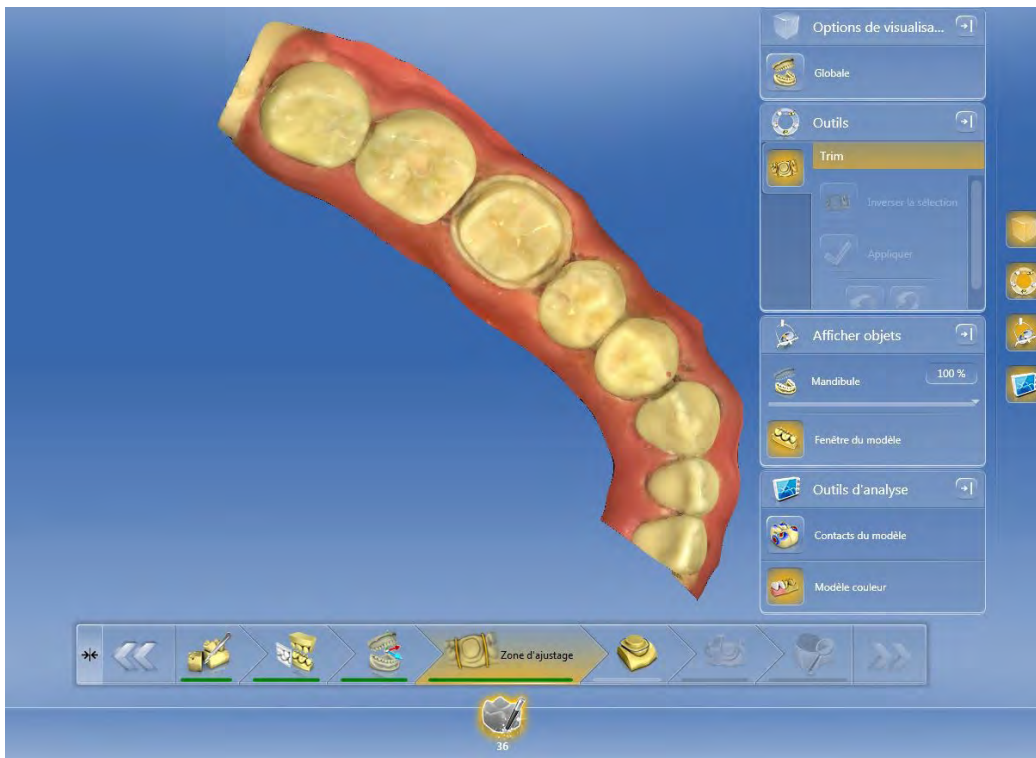


FIGURE 22 : ZONE D'ETUDE AJUSTEE

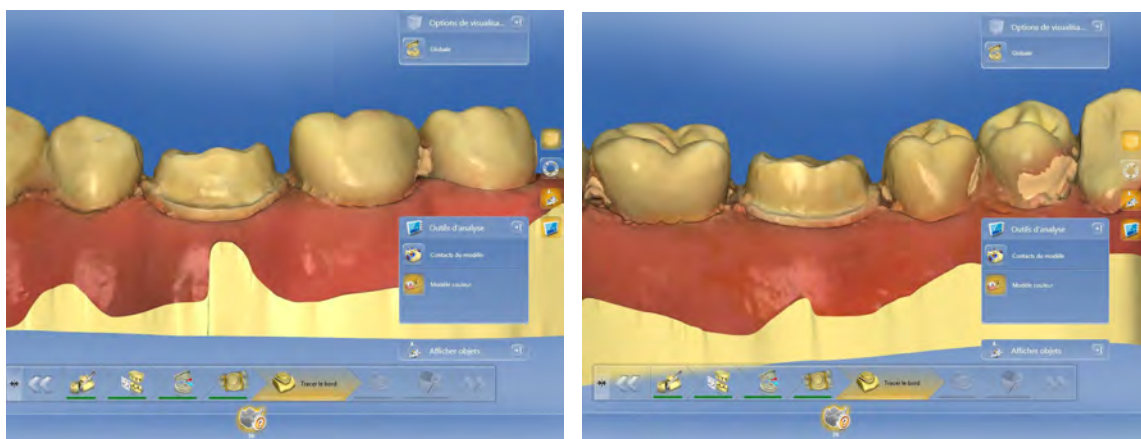


FIGURE 23 : VUE VESTIBULAIRE A GAUCHE ET LINGUALE A DROITE DE LA PREPARATION PERIPHERIQUE

4.1.4.4 Tracer le bord

Après validation, la page de modélisation va s'ouvrir et l'étudiant va pouvoir tracer le bord cervical virtuel représentant la limite de préparation. Il peut s'aider d'outil d'analyse tel que le tracé automatique, ou bien tracer manuellement le bord, ce qui l'aidera plus facilement à déceler les difficultés liées à la qualité de la préparation périphérique. Si le tracé effectué présente des irrégularités et n'est pas lisse et continu, il est possible de s'y reprendre à plusieurs fois et de

modifier son tracé autant de fois que nécessaire. En double cliquant d'une partie régulière à une autre, on gomme automatiquement l'irrégularité créée auparavant.



FIGURE 24 : LIMITES CERVICALES DE PREPARATION AVANT TRACE VIRTUEL

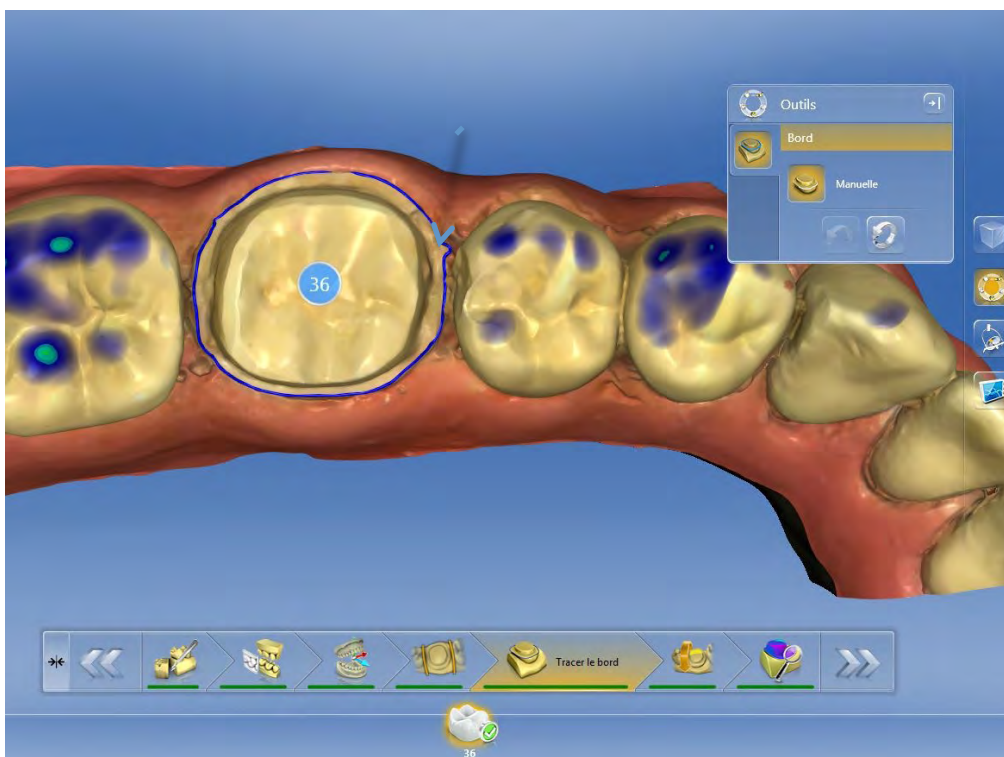


FIGURE 25 : TRACE VIRTUEL IRREGULIER NON VALIDE EFFECTUE MANUELLEMENT

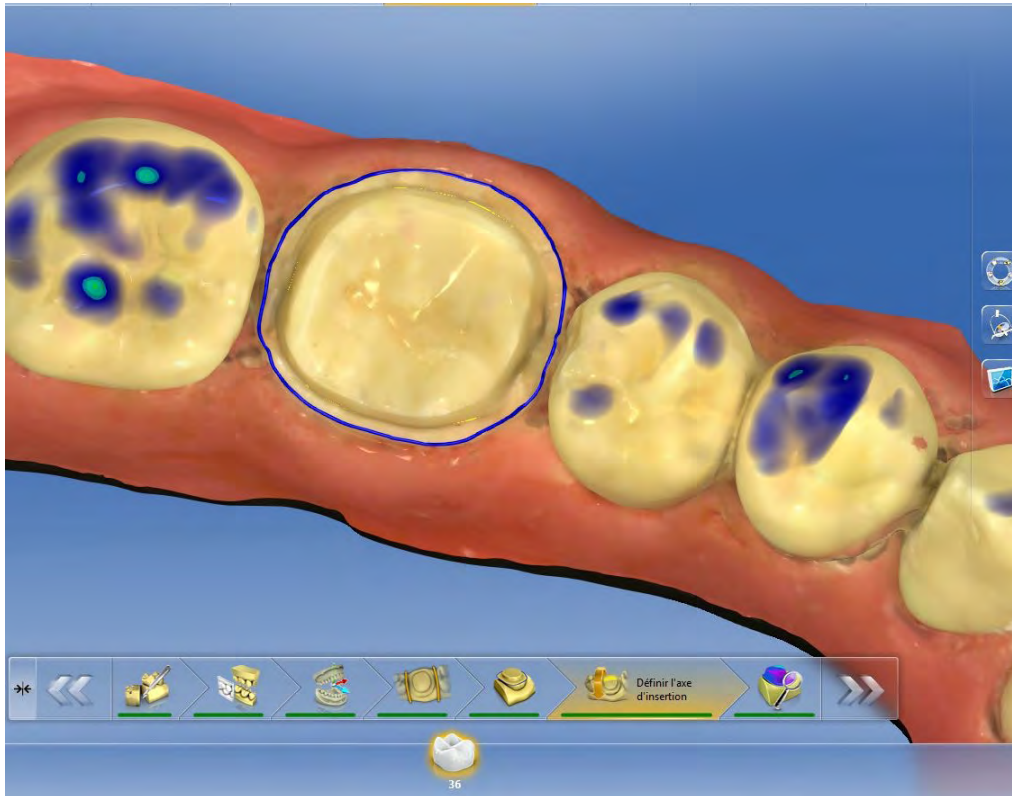


FIGURE 26 : TRACE DES LIMITES PERIPHERIQUES VALIDE, OPTION « CONTACTS DU MODELE » ACTIVEE

4.1.4.5 Axe d'insertion

En cliquant sur la flèche simulant l'étape suivante, le logiciel propose un axe d'insertion automatiquement. A chacun d'étudier la qualité de la proposition et de la modifier à sa guise. Les contre-dépouilles sont simulées par un liseré jaune lors de la recherche d'un axe d'insertion optimal.

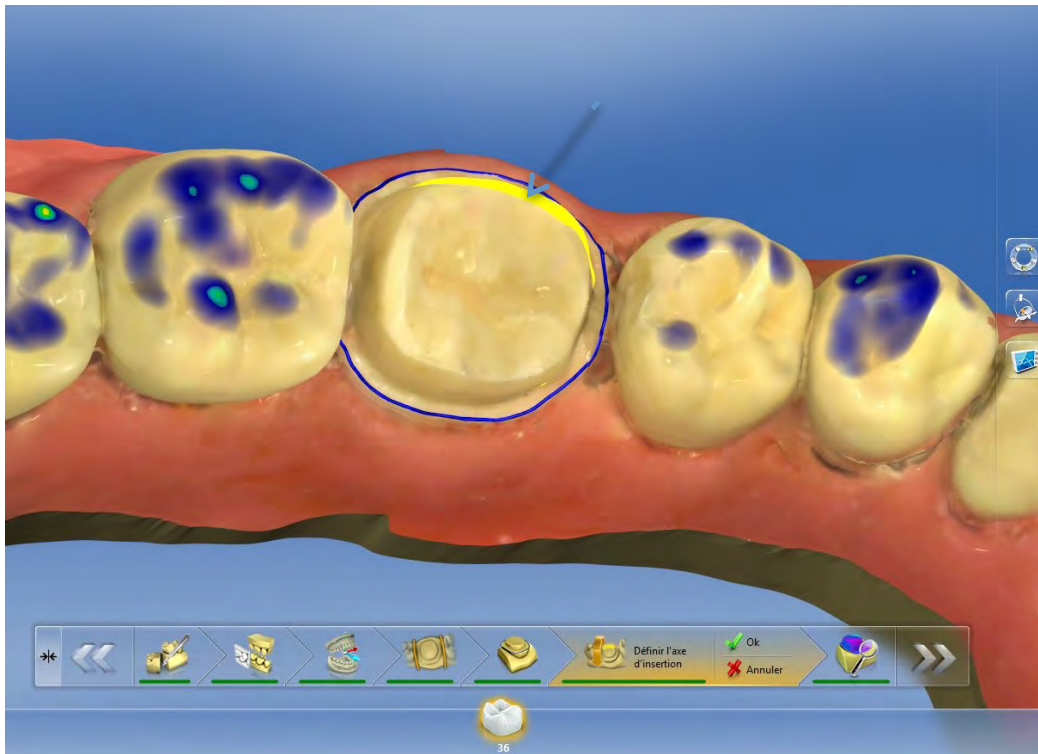


FIGURE 27 : AXE D'INSERTION NON VALIDE INDIQUE PAR LE LISERE JAUNE ET PAR LA FLECHE

L'axe d'insertion retenu ici est l'axe représenté par l'image du tracé des limites valides ci-dessus (figure 25), qui est l'axe proposé automatiquement par le logiciel.

4.1.4.6 *Analyse de la préparation*

L'étudiant en validant son tracé et en validant l'axe d'insertion, passe à l'étape suivante qui est « l'analyse de la préparation ». Il doit utiliser les différents outils d'analyse à disposition comme la distance à l'antagoniste, les contre-dépouilles, ou encore l'état de surface des préparations.



FIGURE 28 : OUTILS D'ANALYSE PROPOSES PAR LE LOGICIEL CEREC LORSQUE LA LIMITE PERIPHERIQUE EST VALIDEE

- **Distance à l'antagoniste**

La distance à l'antagoniste constitue l'espace nécessaire au matériau de reconstitution prothétique, laissé entre la préparation coronaire et les dents antagonistes et adjacentes. Pour la céramique, on estime l'espace minimum nécessaire entre 1 et 1,5 mm.

Le logiciel indique au micron mètre près l'espace de préparation par code couleur, du vert pour un espace d'au moins 4 mm, au rouge pour un espace inexistant, en passant par les nuances de bleu pour un espace entre 0,8 mm et 2,5 mm. Sur l'exemple ci-dessous, nous pouvons déduire qu'il y aura à peine assez de place pour la céramique en regard du bleu foncé correspondant à moins d'un millimètre.

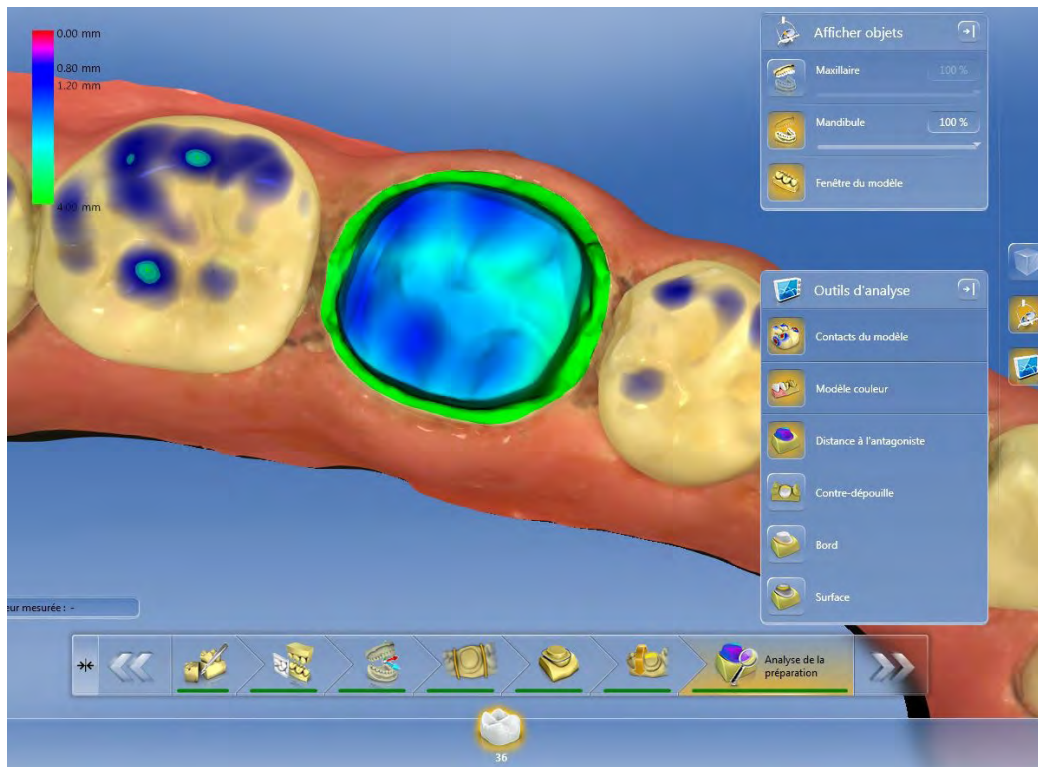


FIGURE 29 : DISTANCE A L'ANTAGONISTE

- **Contre-dépouilles**

De la même façon que la distance à l'antagoniste, les contre-dépouilles sont analysées par le logiciel et établies selon un code couleur, du blanc en l'absence totale de contre-dépouilles, jusqu'au rouge, en passant par des nuances de bleues, pour marquer l'importance plus ou moins nette de cette dernière.

Pour notre exemple, aucune contre-dépouille ne semble être notée, nous passons donc à l'étape suivante.

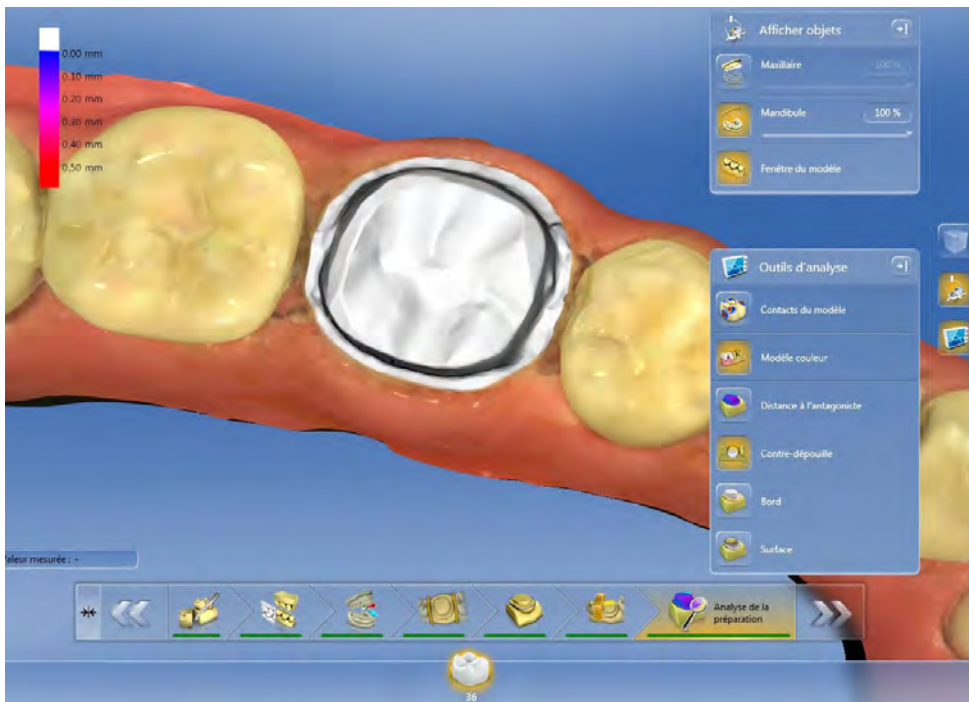


FIGURE 30 : ANALYSE DES CONTRE-DEPOUILLES

- **Qualité des bords**

Un autre outil d'analyse permet d'évaluer la qualité du bord de la préparation périphérique, autrement dit la qualité du congé. Avec la couleur orange, le logiciel détecte des irrégularités de préparation, telles que la rugosité, la discontinuité du congé ou le manque de netteté.

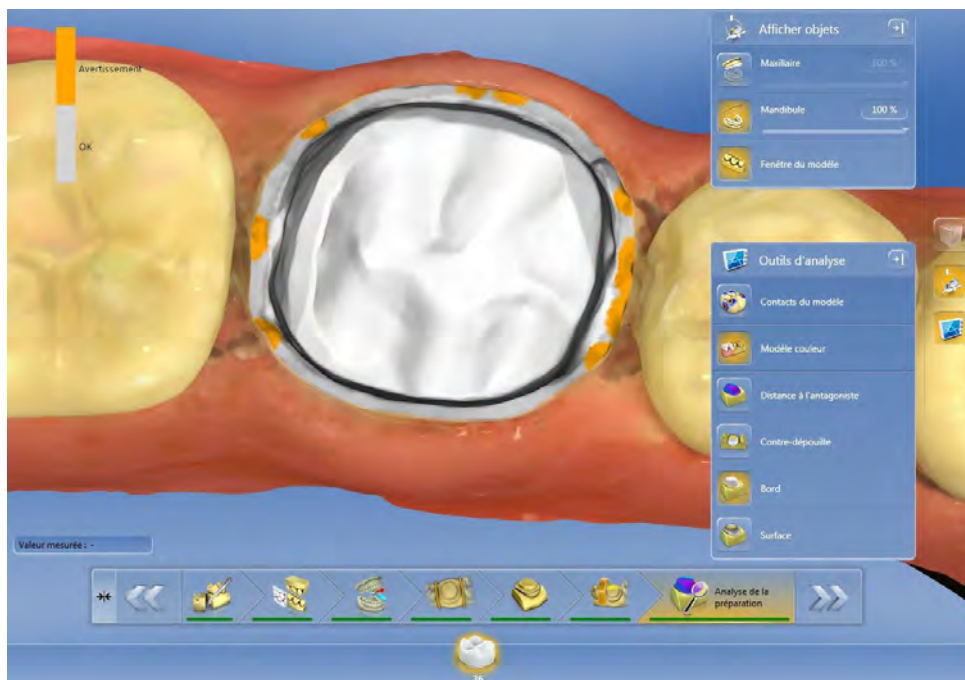


FIGURE 31 : ANALYSE DU CONGE

- **Qualité de surface**

Après l'analyse du congé, le logiciel examine la qualité de la surface de toute la préparation, et prévient également par le orange des rugosités ou des courbures trop marquées.

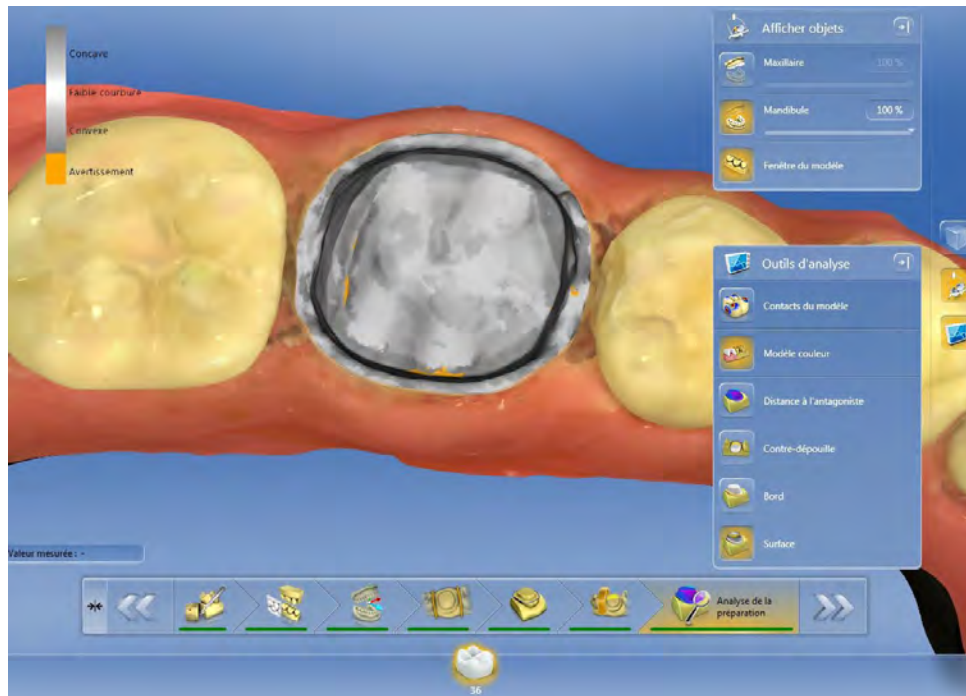


FIGURE 32 : SURFACE DE PREPARATION

4.1.4.7 Design

L'analyse de préparation étant terminée, le « design » de la future prothèse va pouvoir débuter. Le logiciel que l'on utilise ici va élaborer la forme de la couronne automatiquement. Le rôle du futur praticien est de vérifier que le logiciel a créé une prothèse en tout point adaptée au cas clinique.

Pour cela, l'étudiant dispose d'une palette d'outils qui permet de voir par code couleur l'intensité des contacts occlusaux et proximaux et l'épaisseur de céramique minimum, ainsi que de convenir de la forme anatomique élaborée par le logiciel.

Ensuite il possède d'autres outils afin de modifier à sa convenance les différents défauts mis en valeurs. Il peut ainsi diminuer ou augmenter l'épaisseur de céramique, lisser à sa guise, changer de forme anatomique.



FIGURE 33 : PROPOSITION DE COURONNE PAR LE LOGICIEL ET LES OUTILS D'ANALYSE ET DE MODIFICATION

- **Contacts proposés**

L'étudiant peut ajuster les contacts occlusaux et la force des points de contact mésiaux et distaux de la future prothèse.

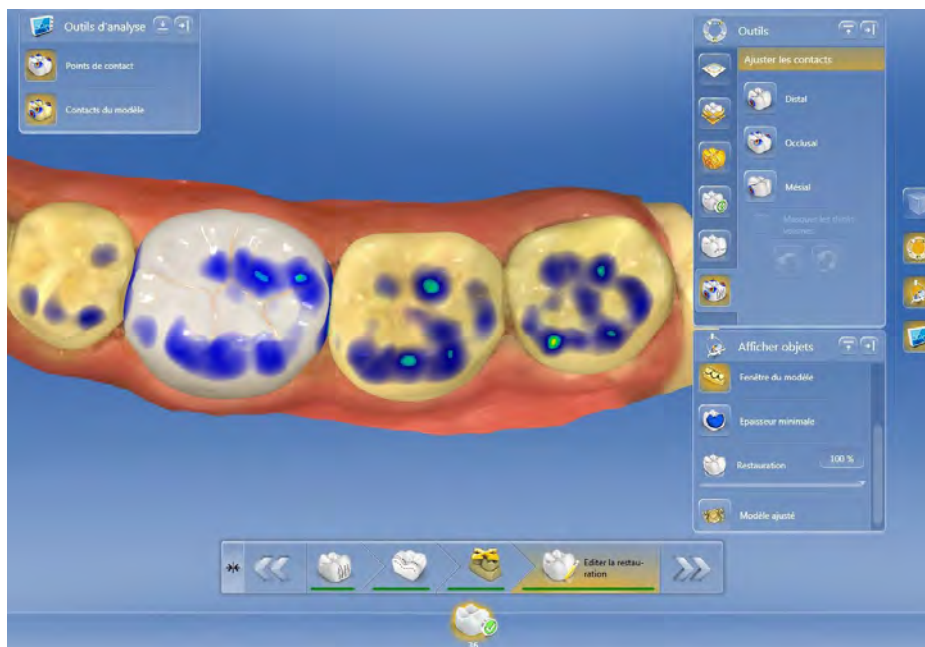


FIGURE 34 : CONTACTS OCCLUSAUX

L'étudiant peut tourner dans tous les sens le modèle virtuel de sorte qu'il lui est possible d'étudier la force des surfaces de contact inter-dentaires par l'intrados du modèle. Cette analyse est impossible à réaliser avec un modèle de travail réel.

L'image ci-dessous est une vue du modèle de travail par l'intrados, permettant de visualiser l'intensité du point de contact. L'intensité est identifiée par code couleur du vert au rouge et la surface de contact par l'étendue du cercle de couleur. Afin de faciliter l'insertion de la couronne, il est nécessaire de ne pas aller jusqu'à l'intensité rouge d'une surface de contact étendue.

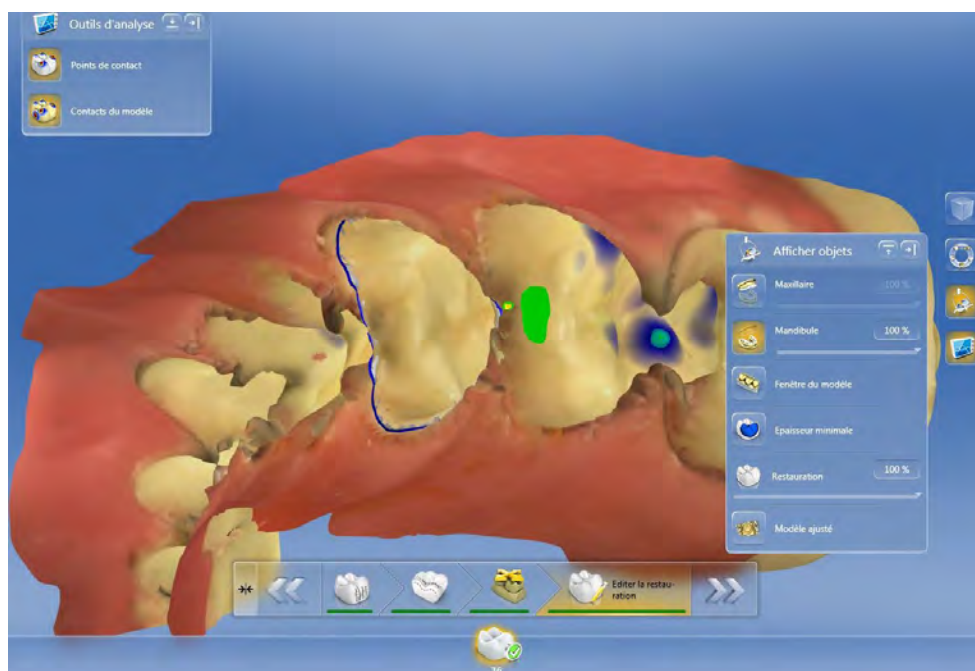


FIGURE 35 : FORCE DES SURFACES DE CONTACT PAR UNE VUE INTRADOS

- **Épaisseur de céramique**

L'épaisseur minimale de céramique est indiquée par du bleu aux endroits où le logiciel estime que c'est insuffisant. On peut ajouter ou supprimer manuellement de l'épaisseur de céramique.



FIGURE 36 : EPAISSEUR MINIMALE DE CERAMIQUE INDIQUEE PAR LA FLECHE EN VESTIBULAIRE, MODIFIABLE MANUELLEMENT GRACE A LA BARRE D'OUTILS PROPOSEE A DROITE DE L'IMAGE



FIGURE 37 : AJOUT DE CERAMIQUE AUX ENDROITS FRAGILISES. FABRICATION VIRTUELLE VALIDE.

L'étape suivante est la fabrication de la prothèse par usinage. Le travail de l'étudiant prend donc fin lorsque la couronne prothétique virtuelle est validée par l'enseignant.



FIGURE 38 : COURONNE PRETE A L'USINAGE

Afin de développer au mieux cette formation, il faudrait pouvoir reproduire les deux mêmes travaux pratiques en troisième année, en réalisant cette fois-ci un inlay-onlay ou un bridge classique trois éléments, si le niveau de connaissance étudiant a été atteint. Sinon refaire l'étude d'une préparation périphérique classique.

4.1.5 APPORTS PÉDAGOGIQUES POUR L'ÉTUDIANT

4.1.5.1 Visualisation globale de l'anatomie dentaire et des préparations

Dès la réalisation de l'empreinte numérique, l'étudiant peut apprécier la qualité de ses préparations avec une précision bien plus nette que d'examiner à l'œil nu le modèle réel. En effet, le modèle virtuel peut être doublé, triplé par rapport à l'échelle et donne un effet « loupe », tout en gardant la précision la plus fine. Le résultat permet une auto-évaluation immédiate après préparation par l'apprenti et un gain de temps sur l'évaluation enseignante(15).

De plus, les étudiants en deuxième année peuvent rencontrer certaines difficultés à se rendre compte des différentes formes de préparations périphériques « idéales » avec les moyens standards

de démonstration, or les techniques 3D ont montré un potentiel significatif pour compléter les méthodes conventionnelles (16).

Aussi, la possibilité de déplacer l’empreinte numérique dans les trois dimensions de l’espace, permet à l’étudiant une vision globale et complète du modèle, intrados compris, qu’il est impossible de voir avec du plâtre ou de la résine. Il peut ainsi découvrir les surfaces de contact inter-dentaires (ou points de contact), difficiles à examiner en réalité, les contacts occlusaux et la morphologie de chaque organe dentaire.

Ces travaux pratiques sont à mener en parallèle avec les sculptures des dents en cire ainsi que les enseignements dirigés des tracés des différents types de morphologie des dents. Certains résultats d’études sur la perception des étudiants entre l’apprentissage de l’anatomie à la cire par rapport à la CAO suggèrent que cette dernière pourrait être un complément d’enseignement aux techniques conventionnelles(17). Les nouvelles technologies telles que la CFAO pourraient en effet aider les jeunes étudiants à apprendre l’anatomie dentaire, pré-requis fondamental à la dentisterie(18).

4.1.5.2 Visualisation directe à chaque étape : auto-évaluation

Après avoir réalisé l’empreinte numérique, il faut analyser les préparations afin de recevoir correctement l’objet prothétique. Ces différentes étapes sur logiciel permettent à l’étudiant une analyse fine de ses préparations. Il peut effectivement évaluer les erreurs et les acquis de préparation grâce aux outils d’analyse et cela permet une correction immédiate à chaque étape.

De plus, il a été développé récemment un nouveau système de formation assistée par ordinateur pour un apprentissage simplifié, installé sur l’unité informatique mobile CEREC AC, appelé « Prepcheck ». Le but est d’évaluer l’apprentissage par auto-évaluation objective grâce aux comparaisons du travail étudiant avec les procédures de mesures connues du logiciel(19). L’efficacité d’auto-évaluation des étudiants par outil logiciel a été confirmée grâce à un autre outil nommé le « E4D compare »(20). L’étude confirme que les étudiants peuvent apprendre à auto-évaluer leur travail et que les outils d’évaluation logiciel peuvent aider à calibrer les outils de notation objectifs des enseignants.

4.1.5.3 Mise en évidence des différentes contraintes

Grâce aux outils d'analyse du logiciel, l'étudiant observe les différentes contraintes liées au cas clinique, cela lui permet de comprendre l'intérêt des règles de préparation périphériques, et de répondre à certaines problématiques posées par le logiciel, à savoir :

- L'axe d'insertion choisi va-t-il permettre l'entrée de la prothèse ?
- Le parallélisme des préparations permet-il l'insertion de la prothèse ?
- Y-a-t-il des contre-dépouilles ?
- Les dépouilles sont-elles suffisantes pour l'insertion de la prothèse ?
- La hauteur de préparation permet-elle la rétention et la stabilisation de la couronne ?
- Les limites de préparations sont-elles continues, lisses et assez larges ?
- Y-a-t-il suffisamment d'espace pour le matériau de restauration ?
- La ou les préparations sont-elles lisses et sans angles vifs ?

Sans que ces questions aient été réellement posées à l'étudiant, il passe par ces questionnements au long des différentes étapes d'analyse et de conception de la prothèse, grâce au logiciel de CFAO. C'est donc une réelle validation des règles de préparation qu'objective l'apprenti(21).

4.1.5.4 Gratification du travail de l'étudiant

Lors de l'étape de modélisation, l'étudiant voit se construire la future potentielle prothèse, c'est l'aboutissement du travail fourni. Même si la fabrication de l'objet prothétique n'a pas lieu, la satisfaction du résultat numérique est la récompense de l'effort achevé. Cela ne peut donc que motiver l'étudiant à toujours faire mieux.

Une étude sur le processus d'intégration de la CFAO dans un cursus pré-master de l'Indiana aux Etats-Unis note les effets positifs sur la qualité des prothèses réalisées d'une part, mais surtout l'enthousiasme des étudiants dans la maniabilité du logiciel(22).

4.1.5.5 Double formation

L'objectif à atteindre à l'issue de ces nouveaux TP est l'acquisition des savoirs théoriques et des savoirs pratiques de plusieurs unités de formation complémentaires, et de façon didactique.

Il s'agit d'une réelle formation double : d'une part il y a les acquis théoriques représentant les règles de préparations en prothèse fixée, d'autre part il y a les acquis pratiques tels que l'entraînement

aux préparations périphériques avant la clinique, et enfin il y a la formation CFAO, permettant une certaine autonomie sur l’empreinte optique et l’utilisation du logiciel avant l’arrivée en pratique hospitalière.

Certaines recherches épidémiologiques notent des compétences et des performances élevées chez des étudiants en dernière année ayant bénéficié de l’introduction des restaurations par la CFAO dans leur programme d’étude(21)(23).

5 CONCLUSION

L'implantation de nouvelles technologies en faculté de médecine dentaire paraît devenir une évidence pour une formation adaptée et conforme aux données actuelles de la science. Or, certaines études montrent que la plus faible intégration à l'université des nouvelles technologies concerne la CFAO, et est corrélée à la faible intégration de ces techniques dans la pratique privée. Ainsi, pour une adoption large et unanime de la CFAO dans le milieu de la dentisterie, elle nécessite son introduction dans toutes les facultés(4).

On note pourtant que ce n'est pas le cas partout, et notamment au Royaume Uni, où une enquête a été menée pour tenter de déterminer la proportion d'écoles dentaires à enseigner la CFAO. Non seulement presque la moitié (des écoles ayant répondu) n'enseigne pas du tout les techniques d'empreinte et d'impression numériques, mais aussi et surtout parce qu'elles ne sont pas au programme universitaire et qu'elles manquent de financement (24).

Il est possible que l'évaluation numérique d'une préparation peut être plus précise que l'évaluation visuelle(25) et qu'il est envisageable de permettre au corps enseignant d'utiliser les supports numériques comme aide à l'évaluation (16).

En outre, les techniques 3D ont montré un potentiel significatif pour compléter les méthodes conventionnelles d'évaluation, et elles détiennent un bon niveau d'acceptation des groupes étudiants et du corps enseignant(26).

Ainsi, nous avons vu l'importance des travaux pratiques dans l'apprentissage de la dentisterie. L'ajout massif et systématique de travaux pratiques sur la CFAO est à portée de mains. Ils sont faciles à mettre en place sans système spécifique, même s'ils existent.

Enfin, s'il est possible d'utiliser les techniques numériques pour préparer les étudiants à leur pratique quotidienne, et s'il est possible de soulager le corps enseignant de la tâche évaluative qui leur incombe, il est donc nécessaire d'investir dans l'avenir de la profession dès les premières années de formation.

6 BIBLIOGRAPHIE

1. FAGES M, MARGERIT J, VALCARCEL J, GIBERT P.

La CFAO, le praticien et l'enseignement à l'UFR de Montpellier.

Fil Dent. 2011;63:26-31.

2. DESCAMPS F.

Pratique de l'empreinte en prothèse fixée : du pilier naturel à l'implant. Collection guide clinique.

Rueil Malmaison: CdP, 2012.

3. VIDAL C.

La plasticité cérébrale : une révolution en neurobiologie.

Spirale. 2012;3(63):17-22.

4. BROWNSTEIN SA, MURAD A, HUNT RJ.

Implementation of new technologies in U.S. dental school curricula.

J Dent Educ. 2015;79(3):259-64.

5. DURET F.

Un peu d'histoire...avant de parler d'aujourd'hui et de demain.

Fil Dent. 2010;51:12-6.

6. DURET F.

CFAO, histoire vécue.

Inf Dent. 2007;89(29):1649-712.

7. DURET F.

La révolution du CAD/CAM.

Technol Dent. 2003;200/201:5-15.

8. DURET F, PELISSIER B, DURET B.

Peut-on envisager de faire des empreintes optiques en bouche.

Stratégie Prothétique. 2005;5(1):67-74.

9. DESCAMPS F.

La CFAO en odontologie : les bases, les principes et les systèmes.

Paris: CdP, 2016.

10. CENTRE NATIONAL D'INNOVATION ET DE FORMATION DES PROTHÉSISTES DENTAIRES.

Le guide de la CFAO dentaire.

Paris: CNIFPD, 2009.

11. Walter B.

Prothèse fixée : approche clinique. Collection JPIO.

Malakoff: CdP, 2016.

12. SHILLINGBURG HT.

Bases fondamentales de prothèse fixée.

Paris: CdP, 1982.

13. EXBRAYAT J, SCHITTLY J, BOREL J-C.

Manuel de prothèse fixée unitaire.

Paris: Masson, 1991.

14. SCHWINDLING FS, DEISENHOFER UK, PORSCHE M, RAMMELBERG P, KAPPEL S, STOBER T.

Establishing CAD/CAM in preclinical dental education: evaluation of a hands-on module.

J Dent Educ. 2015;79(10):1215-21.

- 15. KWON SR, HERMANDEZ M, BLANCHETTE DR, LAN MT, GRATTON DG, AQUILINO SA.**
Effect of computer-assisted learning on students' dental anatomy waxing performance.
J Dent Educ. 2015;79(9):1093-100.
- 16. SOARES PV, DE ALMEIDA MILITO G, PEREIRA FA, REIS BR, SOARES CJ, DE SOUSA MENEDES M, et al.**
Rapid prototyping and 3D-virtual models for operative dentistry education in Brazil.
J Dent Educ. 2013;77(3):358-63.
- 17. DOUGLAS RD, HOPP CD, AUGUSTIN MA.**
Dental students' preferences and performance in crown design: conventional wax-added versus CAD.
J Dent Educ. 2014;78(12):1663-72.
- 18. HAN K, LU RQ, MA YH, LU PJ, ZHANG H, WANG WB.**
Reconstruction of three-dimensional digital teeth.
Chin J Dent Res. 1998;1(2):22-5.
- 19. PARK CF, SHEINBAUM JM, TAMADA Y, CAHDIRAMANI R, LIAN L, LEE C, et al.**
Dental students' perceptions of digital assessment software for preclinical tooth preparation exercises.
J Dent Educ. 2017;81(5):597-603.
- 20. GARRET PH, FARAONE KL, PATZELT SBM, KEASER ML.**
Comparison of dental students' self-directed, faculty, and software-based assessments of dental anatomy wax-ups: a retrospective study.
J Dent Educ. 2015;79(12):1437-44.

21. CALLAN RS, PALLADINO CL, FURNESS AR, BUNDY EL, ANGE BL.

Effectiveness and feasibility of utilizing E4D technology as a teaching tool in a preclinical dental education environment.

J Dent Educ. 2014;78(10):1416-23.

22. REIFEIS PE, KIRKUP ML, WILLIS LH, BROWNING WD.

Introducing CAD/CAM into a predoctoral dental curriculum: a case study.

J Dent Educ. 2014;78(10):1432-41.

23. WRBAS K-T, HEIN N, SCHIRMEISTER JF, ATLENBURGER MJ, HELLWIG E.

Two-year clinical evaluation of Cerec 3D ceramic inlays inserted by undergraduate dental students.

Quintessence Int (Berlin)2007;38(7):575-81.

24. CHATHAM C, SPENCER MH, WOOD DJ, JOHNSON A.

The introduction of digital dental technology into BDS curricula.

Br Dent J. 2014;217(11):639-42.

25. MAYS KA, CRISP HA, VOS P.

Utilizing CAD/CAM to measure total occlusal convergence of preclinical dental students' crown preparations.

J Dent Educ. 2016;80(1):100-7.

26. ESPERO-TRUNG LC, ELIAN SN, LUZ MAADC.

Development and Application of a New Learning Object for Teaching Operative Dentistry Using Augmented Reality.

J Dent Educ. 2015;79(11):1356-62.

7 TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : camera optique cerec omnicam.....	14
Figure 2 : cerec ac avec omnicam	15
Figure 3 : unité de meulage et de fraisage cerec	15
Figure 4 : Tsutsumi, Rekow, Möermann et Duret a Los Angeles en 1991	17
Figure 5 : le CEREC lemon de Möermann et Brandestini en 1985.....	17
Figure 6 : Principe de triangulation laser	19
Figure 7 : Principe du moiré électronique utilisé par le système cerec	20
Figure 8 : Etapes du logiciel de CFAO CEREC de chez sirona	21
Figure 9 : Eléments morphologiques d'une préparation pour une couronne céramo-céramique	23
Figure 10 : Illustration des limites supra-gingivale, juxta-gingivale et sulculaire	24
Figure 11 : Représentation schématique de l'instrument de choix en fonction de la préparation (14)	25
Figure 12 : Illustration du degré de dépouille idéal versus acceptable.....	26
Figure 13 : Vue sagittale d'une couronne céramo-métallique et de la préparation sous-jacente (14)	27
Figure 14 : Illustrations des cahiers de travaux pratiques et du protocole clinique fournis aux étudiants.....	30
Figure 15 : Modèle de travail d'un étudiant pris au hasard.....	35
Figure 16 : Modèle de travail mandibulaire scanné par empreinte optique.....	35
Figure 17 : Préparation périphérique scannée d'une 36 afin de recevoir une couronne céramo- céramique.....	36
Figure 18 : Interface « type » que l'étudiant aura à sa disposition au commencement du TP : étude de la préparation et modélisation de la 36.....	37
Figure 19 : Etude de l'occlusion en OIM.....	38
Figure 20 : Etude des contacts occlusaux en OIM	38
Figure 21 : Etude du mouvement mandibulaire en fonction canine.....	39
Figure 22 : Zone d'étude ajustée.....	40

Figure 23 : Vue vestibulaire à gauche et linguale à droite de la préparation périphérique.....	40
Figure 24 : Limites cervicales de préparation avant tracé virtuel	41
Figure 25 : Tracé virtuel irrégulier non valide effectué manuellement	41
Figure 26 : Tracé des limites périphériques valide, option « contacts du modèle » activée	42
Figure 27 : Axe d'insertion non valide indiqué par le liseré jaune et par la flèche	43
Figure 28 : Outils d'analyse proposés par le logiciel CEREC lorsque la limite périphérique est validée	44
Figure 29 : Distance à l'antagoniste	45
Figure 30 : Analyse des contre-dépouilles.....	46
Figure 31 : Analyse du congé	46
Figure 32 : Surface de préparation.....	47
Figure 33 : Proposition de Couronne par le logiciel et les outils d'analyse et de modification	48
Figure 34 : Contacts occlusaux	48
Figure 35 : Force des surfaces de contact par une vue intrados	49
Figure 36 : Epaisseur minimale de céramique indiquée par la flèche en vestibulaire, modifiable manuellement grâce à la barre d'outils proposée à droite de l'image	50
Figure 37 : Ajout de céramique aux endroits fragilisés. Fabrication virtuelle valide	50
Figure 38 : Couronne prête à l'usinage	51

UNIVERSITÉ DE NANTES
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Vu le Président du Jury,



Vu et permis d'imprimer

Vu le Doyen,



Pr Bernard GIUMELLI

MOISAN (Louise) – Apport pédagogique de la CFAO dans l’enseignement de la prothèse fixée– 60 f ; ill. ; 26 ref. ; 30 cm (Thèse : Chir. Dent ; Nantes ; 2018)

RÉSUMÉ

L’apparition des techniques d’empreintes numériques et d’impression 3D datent maintenant des années 1970 et ne sont toujours pas systématiques dans la pratique quotidienne ni au cabinet dentaire ni à l’université d’odontologie. Le but de ce travail est d’inclure la conception et fabrication assistée par ordinateur dès les premières années du cursus universitaire afin que l’étudiant sortant en fin de cycle sache parfaitement utiliser cette technique. Nous développerons l’élaboration de nouveaux travaux pratiques réalisables en 2^{ème} et 3^{ème} années lors de l’apprentissage des règles de préparations en prothèse fixée. A l’issue de ce projet, nous établirons les apports pédagogiques que la CFAO offre pour les étudiants en formation.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Prothèse conjointe

MOTS CLÉS MESH:

Conception assistée par ordinateur – Computer-aided design

Enseignement assisté par ordinateur – Computer-assisted instruction

Simulation numérique – Computer simulation

Enseignement dentaire – Education, dental

JURY

Président : Professeur Bernard GIUMELLI

Assesseur : Professeur Laurent LEGUEHENNEC

Assesseur : Docteur Xavier BOUCHET

Directeur : Docteur François BODIC

ADRESSE DE L’AUTEUR

7 Rue Dugommier – 44000 Nantes

louisemoisan@gmail.com