



**UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

Année de soutenance : 2024

N° :

**THESE POUR LE
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement le 28 mai 2024

Par DUBOIS Hugo
Né le 16 septembre 1999 à Lille

Réalisation de modèles pédagogiques dans le cadre des travaux pratiques de prothèse fixée de deuxième année à l'UFR3S – Odontologie de Lille

JURY

Président : Monsieur le Professeur Philippe BOITELLE

Assesseurs : Monsieur le Docteur François DESCAMP

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Madame le Docteur Edwine FLEUTRY

Monsieur le Docteur Adam ABED



Président de l'Université	:	Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
Doyen UFR3S	:	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S	:	G. PIERSON
Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S	:	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services	:	N. RICHARD
Responsable de la Scolarité	:	G. DUPONT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

K. AGOSSA	Parodontologie
P. BOITELLE	Responsable du département de Prothèse
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S Odontologie Pédiatrique
E. DEVEAUX	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. BEDEZ	Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUTEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
C. DENIS	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Responsable du Département d' Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses
R. WAKAM KOUAM	Prothèses

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation ni improbation ne leur est donnée.

Remerciements

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Phillippe BOITELLE

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Habilitation à Diriger des Recherches (Université de Lille)

Docteur de l'Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité. Spécialité : Mécanique des matériaux.

Master 2 recherche Biologie et Santé, mention Biologie cellulaire et biologie quantitative – Université Lille2

Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales – Université Lille2

CES d'Odontologie Prothétique option Prothèse fixée – Université Paris Descartes

Prix 2006 Annual Scholarship Award for outstanding academic achievements in dentistry – Pierre Fauchard Academy Foundation – New-York – U.S.A

Responsable du Département de Prothèses

Responsable de l'Unité Fonctionnelle de Prothèse

Responsable du DU Biomimétique, Esthétique et Numérique (Lille)

Chargé de mission à la Formation Continue

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites en acceptant de présider le jury de ma thèse.

J'ai su apprécier la qualité de votre enseignement et l'intérêt que vous portez aux étudiants.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de ma vive reconnaissance et de mon profond respect.

Monsieur le Docteur François DESCAMP

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales

Maîtrise Universitaire de Pédagogie des Sciences de la Santé

Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées Education et Santé

Diplôme d'Etudes Approfondies Sciences de l'Education

Diplôme Universitaire de CFAO Clinique

Lauréat de l'Académie Nationale Chirurgie Dentaire

Médaille de Bronze de la Défense Nationale (Agrafe « service de santé »)

Médaille d'Outre-Mer (Agrafe « Tchad »)

Titre de reconnaissance de la Nation

Croix du Combattant.

Vous me faites l'honneur de siéger au sein ce jury,

Je vous remercie pour le savoir que vous m'avez apporté, ainsi que pour votre gentillesse, vos encouragements et vos conseils avisés lors de ces cinq années au sein de la faculté.

En espérant que ce travail soit à la hauteur de vos espérances, Veuillez accepter l'expression de ma profonde reconnaissance.

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master II « Sciences du médicaments » - Parcours « Dispositifs Médicaux – Biomatériaux » -

Université Lille2

C.E.S Prothèses Fixées – Université d’Aix-Marseille

Je vous suis très reconnaissant d’avoir eu la gentillesse d’accepter de diriger cette thèse.

*Je vous remercie pour votre pédagogie, votre disponibilité et votre sympathie que vous nous
avez accordé durant nos années d’étude.*

Veillez trouver ici le témoignage de mes sincères considérations.

Madame le Docteur Edwine FLEUTRY

Chef de Clinique des Universités – Assistant Hospitalier des CSERD

Section de Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Merci de m'avoir fait l'honneur de participer au jury de cette thèse.

Merci pour vos conseils avisés, pour votre enthousiasme, votre disponibilité et votre gentillesse.

Veillez trouver dans ce travail le témoignage de ma vive reconnaissance et de mon profond respect.

Monsieur le Docteur Adam ABED

Chef de Clinique des Universités – Assistant Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master 1 « Sciences du médicament » - Parcours « Dispositifs Médicaux – Biomatériaux » -
Université de Lille

Master 2 « Sciences du médicament » - Parcours « Dispositifs Médicaux – Biomatériaux » -
Université de Lille

J'apprécie l'honneur que vous m'avez fait en acceptant de siéger au sein de ce jury.

Je vous remercie de l'intérêt que vous avez porté à ce travail.

*Puissiez-vous trouver en celui-ci le témoignage de ma gratitude et l'assurance de mes
sentiments respectueux.*

Remerciements :

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES.....	12
Introduction.....	15
1. Les préparations périphériques totales : notions enseignées et évaluées en travaux pratiques de deuxième année.....	16
1.1. Les préparatifs obligatoires avant le début des travaux pratiques.....	17
1.2. Le principe d'ergonomie.....	17
1.3. La notion de prothèse fixée et d'axe de préparation.....	19
1.3.1. Définitions.....	19
1.3.2. Axe des dents antérieures et postérieures maxillaires.....	20
1.3.3. Axe des dents postérieures mandibulaires.....	20
1.3.4 Les erreurs d'axe.....	21
1.3.5 La notion de mise en dépouille et de contre dépouille.....	22
1.4 La limite cervicale.....	25
1.4.1 Le profil de la limite cervicale.....	26
1.4.2 La limite cervicale utilisée en travaux pratiques.....	27
1.5 Notion d'homothétie de réduction.....	27
1.5.1 La réduction périphérique.....	27
1.5.2 La réduction occlusale.....	29
1.6 L'intégration intra-arcade.....	31
1.7 Les éléments adjacents.....	32
1.8 L'étape de finition de la préparation.....	32
1.9 Réalisation des préparations périphériques totales : matériels et techniques en travaux pratiques de deuxième année.....	33
1.9.1 Instrumentation adaptée.....	33
1.9.2 Protocole enseigné pour une préparation sur dent postérieure pour la mise en place d'une couronne monolithique.....	33
2. Les modalités d'enseignement actuelles des préparations périphériques totales en prothèse fixée en deuxième année à Lille.....	35
2.1. Les travaux pratiques.....	35
2.2. Les Enseignements dirigés de corrections des travaux.....	37
2.3. Les Supports pédagogiques existants.....	38
2.3.1. Cours magistraux et ressources théoriques.....	38
2.3.2. Guide pédagogique pour les évaluations.....	39
2.3.3. Vidéos pédagogiques.....	40
2.3.4. Modèles physiques en plâtre de l'hémi-préparation.....	41
2.3.5. Modèle de démonstration avec dents Frasaco® préparées.....	42
2.4. Limites des supports existants et discussion sur la création de nouveaux supports.....	42
2.5. Questionnaire auprès des étudiants de deuxième année (promotion 2022-2023)	42
3. Réalisation de modèles pédagogiques par technique de mise en forme additive	47

3.1. Intérêts de la réalisation des modèles pédagogiques.....	47
3.2. Choix des différents modèles pédagogiques.....	49
3.3. Matériels et méthodes	50
3.3.1. Matériels et réalisation des préparations périphériques totales.....	50
3.3.2. Acquisition des données numériques	53
3.3.3. Conception assistée par ordinateur des modèles (CAO)	57
3.3.4. Mise en forme des modèles par technique additive	61
3.3.4.1. Les technologies de polymérisation en cuve	61
3.3.4.2. Préparation à l'impression	64
3.3.4.3. Mise en forme des pièces par polymérisation en cuve	66
3.3.4.4. Post-traitement	68
3.3.4.5. Post-polymérisation et finitions	70
3.4. Résultats des mises en forme des modèles.....	73
3.4.1 Les modèles pédagogiques physiques	73
3.5. Diffusion et accessibilité des données auprès des étudiants.....	76
3.5.1. Mise à disposition des modèles en travaux pratiques.....	76
3.5.2. Mise à disposition des fichiers numériques sur la plateforme Moodle® et Nextcloud®	76
Conclusion	78
Références bibliographiques	79
Webographie.....	81
Table des illustrations.....	82

Liste des abréviations

ADA = *American Dental Association*

CAO = Conception Assistée par Ordinateur

CC = Couronne Coulée

CCC-Z = Couronne Céramo-Céramique avec armature Zircon

CCM = Couronne Céramo-Métallique

cm = centimètre

DFGSO 2A = Diplôme de Formation Générale en Sciences
Odontologiques 2^{ème} Année

DLP = Digital Light Processing

DMD = *Digital Micromirror Device*

ED = Enseignement Dirigé

FAO = Fabrication Assistée par Ordinateur

HAS = Haute Autorité Santé

ICM = Intercuspidie Maximale

IPA = *Isopropyl Alcohol = Alcool Isopropylique*

LCD = Liquid Crystal Display

min = minute

mm = millimètre

MPU = Modèle Positif Unitaire

PACES = Première Année Commune aux Etudes de Santé

PF = Prothèse fixée

SLA = Stereolithography Apparatus

STL = *Standard Triangle Language*

TPs = Travaux Pratiques

UFR3S = Unité de Formation et de Recherche des Sciences de Santé et
du Sport

2D = deux dimensions

3D = trois dimensions

µm = micromètre

Introduction

Lorsque nous évoquons l'art de restaurer la fonction et l'esthétique au sein de la pratique dentaire, nous constatons que les préparations périphériques totales sont d'une importance cruciale dans le processus de conception et de réalisation des prothèses fixées, qu'il s'agisse d'éléments unitaires ou pluraux. Comme le soulignait le célèbre chirurgien-dentiste et chercheur Pr John A. Sorensen « *Les préparations périphériques totales ou partielles représentent le point de départ pour créer des bases solides, esthétiques et harmonieuses sur lesquelles reposent les futures restaurations dentaires* ».

Durant la première année du cursus de chirurgie dentaire (DFGSO 2A), le programme repose sur un équilibre entre des cours magistraux axés sur la théorie et une série de travaux pratiques qui visent à mettre en application les connaissances théoriques acquises.

Pour bon nombre d'étudiants, ces travaux pratiques s'avèrent être un défi, engendrant des difficultés considérables à la fois dans la compréhension des concepts mais aussi dans la réalisation pratique. Aussi, le but est de fournir aux futurs étudiants des modèles pédagogiques novateurs, à la fois plus divertissants, plus précis et plus captivants. Parallèlement, ce projet vise à développer un « maxi-modèle » utilisable en salle de simulation, contribuant ainsi à améliorer l'apprentissage, la visualisation et la préparation des étudiants à la pratique dentaire.

Au cours de cette thèse, il sera abordé dans un premier temps une synthèse des concepts théoriques liés aux préparations périphériques dentaires, englobant les mesures, le bon déroulement des TP et les critères d'évaluation nécessaires aux étudiants pour réaliser leurs préparations.

Ensuite, il sera passé en revue l'ensemble des supports pédagogiques actuellement disponibles tout en identifiant leurs éventuelles limites. De plus, nous mettrons en lumière les défis et les obstacles auxquels les étudiants sont confrontés, en s'appuyant sur un questionnaire réalisé avant de commencer ce travail.

Enfin, il sera détaillé de façon précise, les étapes requises pour la création de ces modèles : la réalisation des préparations, l'acquisition et les différentes étapes d'impression via le laboratoire de prothèse et enfin les différentes méthodes de diffusion auprès des étudiants.

1. Les préparations périphériques totales : notions enseignées et évaluées en travaux pratiques de deuxième année

Selon l'ADA (*American Dental Association*)¹, la prothèse fixée est définie comme une prothèse dentaire non amovible solidement fixée aux dents piliers, aux racines ou aux implants. Cette discipline regroupe un ensemble de moyens thérapeutiques dont les buts sont de restaurer des dents délabrées, de remplacer des dents absentes mais aussi d'immobiliser une ou plusieurs dents. Elle se présente sous plusieurs formes cliniques selon le nombre d'éléments (unitaire ou plural), en fonction de la partie de la dent concernée par la restauration (coronaire ou corono-radiculaire), par rapport au matériau de restauration (métallique, céramo-métallique ou céramique), en fonction du moyen de fixation (scellée, collée ou vissée) et selon le pilier (prothèse dento-portée ou implanto-portée).

La préparation coronaire périphérique est l'étape qui va permettre de donner au pilier dentaire la forme de la dent pour laisser la place à la restauration prothétique tout en essayant de maintenir suffisamment de structure dentaire afin d'assurer la pérennité de la couronne, de respecter l'économie tissulaire, tout en respectant le gradient thérapeutique [1].

Le type de préparation dépend :

- du matériau avec lequel sera constituée la couronne ;
- des obturations coronaires présentes sur la dent ;
- des parois résiduelles ;
- du traitement canalaire de la racine effectué sur la dent.

A l'UFR3S odontologie de Lille, l'apprentissage des préparations périphériques totales se déroule en deuxième année (DGFSO 2A). Durant les travaux pratiques différentes notions sont à appliquer et à acquérir.

¹ <https://www.ada.org/publications/cdt/glossary-of-dental-clinical-terms> [consulté le 13 octobre 2023]

1.1. Les préparatifs obligatoires avant le début des travaux pratiques

L'étudiant doit se préparer correctement avant sa séance de travail.

➤ L'étudiant présente une tenue correcte :

- blouse propre ;
- avant-bras nus ;
- cheveux longs noués ;
- bijoux retirés ;
- lunettes obligatoires (leur absence interdit la participation au travail) ;
- masque obligatoire tout au long du TP (son absence ou son non-port entraîne l'exclusion).

➤ L'étudiant se présente avec :

- ses modèles complètement dentés. Aucune des dents ne devra avoir subi de préparation ou de dégradation ;
- les gencives sont dans un état correct ;
- une instrumentation complète, propre et en bon état en relation avec la séance de travail ;
- le matériel rotatif en bon état de fonctionnement ;
- l'ensemble du matériel disposé de façon ergonomique, orienté dans le même sens et disposé sur un champ opératoire propre sur le plan de travail dédié ;
- seul le matériel propre est disposé sur le plateau technique ;
- les modèles montés sur la mâchoire en position d'intercuspidation maximale (ICM).

1.2. Le principe d'ergonomie.

L'étudiant respecte les notions d'ergonomie.

- l'étudiant porte en permanence lunettes, masque et gants durant toute la séance ;
- la position de travail doit être correcte durant toute la séance ;

- Le fauteuil est correctement réglé :
 - s'asseoir au fond du fauteuil ;
 - poser les pieds à plat au sol ;
 - régler la hauteur du siège de telle sorte que l'angle entre les cuisses et les jambes soit voisin de 100° ;
 - régler l'assise dorsale de façon à avoir le dos parfaitement soutenu et droit.

- La hauteur du simulateur est réglée de telle sorte que les bras fassent toujours un angle de 90° avec les avant-bras lors du travail en bouche.

- Le scialytique doit être situé à une distance suffisante pour éclairer parfaitement la zone de travail sans interférer avec la tête du praticien ; la lumière étant face à lui.

- L'étudiant est positionné correctement autour du « patient » et du simulateur :
 - l'étudiant droitier est positionné entre 12h et 8h autour de la tête du patient. L'étudiant gaucher entre 12h et 4h ;
 - le bras supportant les instruments rotatifs de l'étudiant droitier est positionné à droite, celui supportant les aspirations, à gauche de la pédale ; et inversement pour les gauchers ;
 - la pédale doit être actionnée par le pied gauche pour les droitiers, avec le pied droit pour les gauchers.

- L'étudiant positionne et maintient correctement ses points d'appui :
 - l'étudiant droitier tient la canule d'aspiration dans la main gauche, de la même façon qu'un stylo, et inversement pour les gauchers.
 - l'instrument rotatif se tient comme un stylo entre le pouce et l'index. Il est soutenu par le majeur ;
 - l'extrémité du majeur s'appuie sur la dent adjacente à la préparation ou sur une structure dure à proximité.

1.3. La notion de prothèse fixée et d'axe de préparation

1.3.1. Définitions

La préparation doit se faire selon **un axe** et **une direction** choisis. Cet axe devra permettre la correcte transmission des forces mécaniques dues à la mastication de la table occlusale à l'os alvéolaire. De plus cet axe va devenir l'axe d'insertion et de désinsertion de la couronne. Il est donc important que cet axe tienne compte des dents adjacentes et du couloir prothétique (fig.1A et 1B) [2].

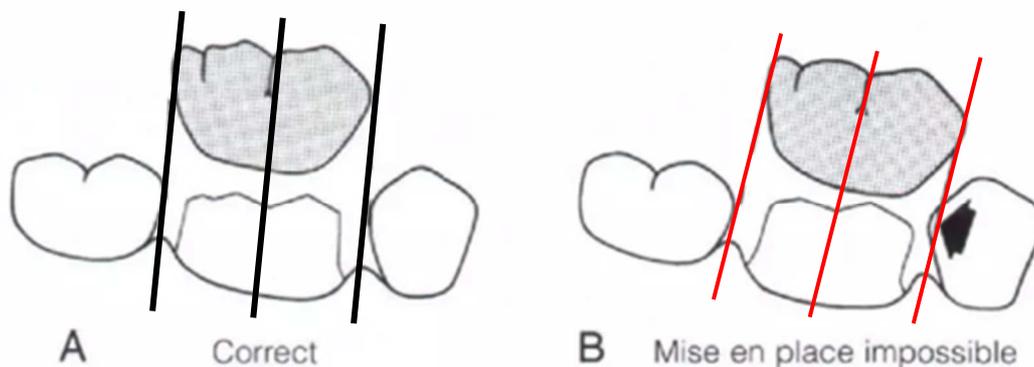


Figure 1 : schéma illustrant un axe d'insertion correct et satisfaisant (A) et un mauvais axe d'insertion (B) ce qui empêche la mise en place de la couronne [2].

Ainsi, les faces vestibulaires et palatines/linguales de la future couronne doivent se placer dans l'alignement de celles des dents adjacentes. L'axe de préparation est alors choisi grâce à la perception visuelle et matérialisé par la position de l'instrument.

Il y a **3 plans** à prendre en compte pour la détermination de cet axe de préparation :

- le plan vestibulo-buccal ;
- le plan mésio-distal ;
- le plan occluso-apical.

D'une manière générale, les règles de préparation sont dictées par le substrat dentaire résiduel ainsi que par le matériau utilisé. En effet, trois critères doivent être pris en compte :

- l'anatomie des préparations ;
- la forme ;
- la situation des limites cervicales.

1.3.2. Axe des dents antérieures et postérieures maxillaires

Les préparations sont réalisées selon un axe qui coïncide généralement avec le grand axe longitudinal des dents (fig.2 et 4). Cet axe correspond à la perpendiculaire passant par le centre de la face occlusale et est aligné avec l'apex de la dent (logement de la vis en TP). Il doit être apprécié dans le sens vestibulo-palatin et mésio-distal.



Figure 2 : photographie d'une préparation réalisée sur 21 dans le respect du grand axe de la dent (iconographie personnelle).

1.3.3. Axe des dents postérieures mandibulaires

Les préparations sont réalisées selon un axe qui est légèrement lingualé par rapport au grand axe longitudinal des dents (fig.3 et 4). Cet axe peut correspondre à la perpendiculaire passant par le centre de la face occlusale et est aligné avec l'apex de la dent (logement de la vis en TP). Il doit être apprécié dans le sens vestibulo-lingual et mésio-distal. Mais il est important de notifier qu'une dent mandibulaire

préparée selon un axe proche de l'axe longitudinal de la dent est préférable à une préparation avec un axe beaucoup trop lingualé.

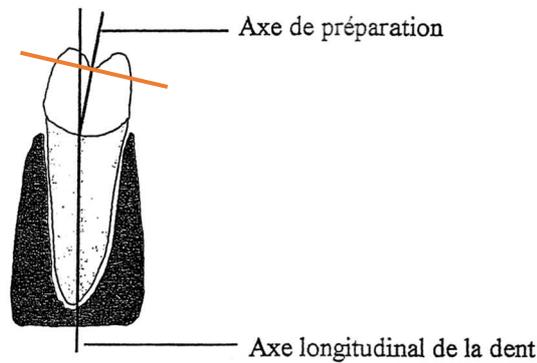


Figure 3 : schéma de l'axe de préparation et l'axe longitudinal des dents mandibulaire (courtoisie Dr Denis).

L'axe de préparation dans le plan méso-distal s'inscrit en lien avec le plan frontal, tandis que l'axe dans le plan vestibulo-buccal s'inscrit en lien avec le plan sagittal. Dans les deux plans, il est parallèle au grand axe de la dent [2].

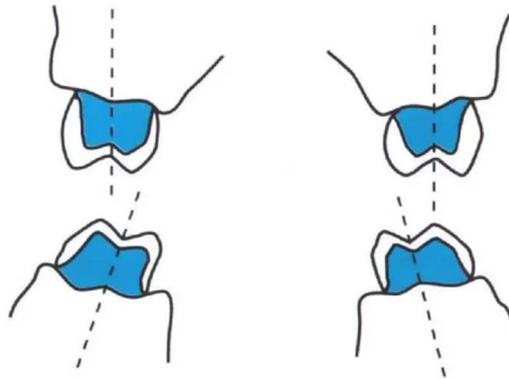


Figure 4 : schéma représentant les axes dentaires maxillaire et mandibulaire des secteurs postérieurs [2].

1.3.4 Les erreurs d'axe

Un défaut d'axe lors d'une préparation périphérique entraîne un risque accru d'exposition pulpaire si la dent préparée est vitale ainsi qu'un défaut d'angulation de la couronne prothétique (fig.5A et 5B). Cela peut également avoir pour conséquence la création de contre dépouille et donc l'impossibilité d'insérer la future couronne.

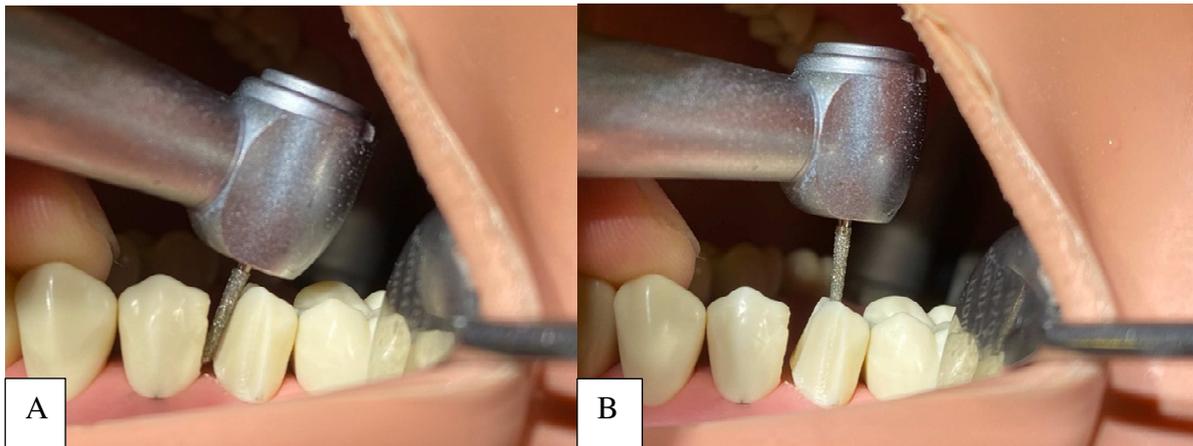


Figure 5 : photographies d'une erreur d'axe de préparation trop distalée (A) et la tenue de la fraise dans l'axe de préparation correct et parallèle au grand axe de la dent (B) (iconographie personnelle).

1.3.5 La notion de mise en dépouille et de contre dépouille

Pour pouvoir insérer et désinsérer une couronne sur un pilier dentaire, toutes les faces de la préparation doivent être mises en dépouille. Ainsi le périmètre cervical de la préparation doit être supérieur au périmètre occlusal. Autrement dit, les parois externes axiales convergent vers la face occlusale de la préparation (fig.6).

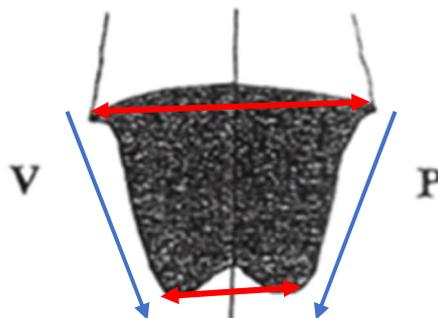


Figure 6 : schéma illustrant une préparation dentaire dont le périmètre cervical est supérieur au périmètre occlusal (courtoisie Dr Denis).

La conicité idéale correspond à un angle de 6 degrés (5 à 8 degrés) entre les parois axiales de la préparation et le grand axe de cette dernière [2].

Une convergence occlusale globale de 6 degrés des parois est considérée comme la plus acceptable. Elle correspond à une inclinaison de 3 degrés de chaque paroi par rapport à l'axe d'insertion (grand axe de la dent) de l'élément prothétique. Ce degré de

convergence permet la mise en place complète de la restauration prothétique avec une rétention optimale [2].

Il est important de souligner que la rétention est inversement proportionnelle à l'angle de dépouille (fig.7). Plus la dépouille s'accroît, plus la rétention diminue et inversement. Malgré une dépouille idéale qui serait de l'ordre de 6°, il est considéré qu'une dépouille entre 12° et 16° est cliniquement acceptable entre dépouille faible, rétention efficace et facilité de réalisation [2].

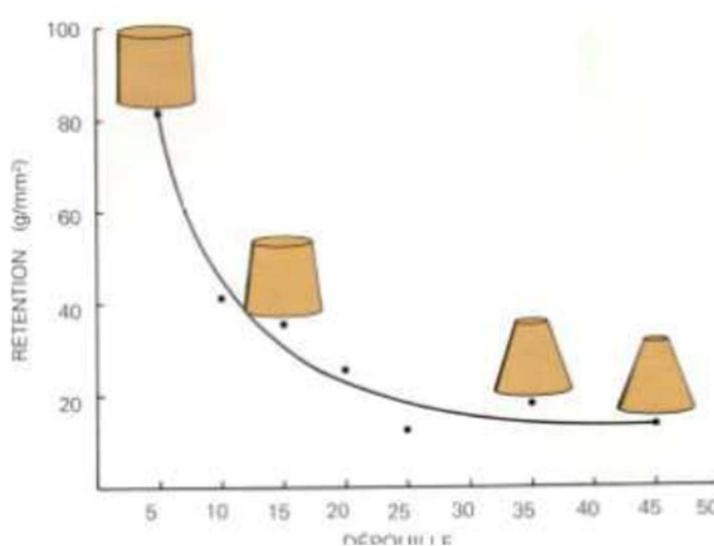


Figure 7 : graphique expliquant la proportionnalité entre la mise en dépouille et le pouvoir de rétention [2].

La conicité est déterminée par le type de fraise qui est choisi. Il convient donc d'utiliser et de faire travailler l'instrument en plaçant le fût de la fraise selon l'axe de la préparation souhaitée. Le plat de la tête de l'instrument rotatif est perpendiculaire à l'axe de préparation de la dent (fig.8).

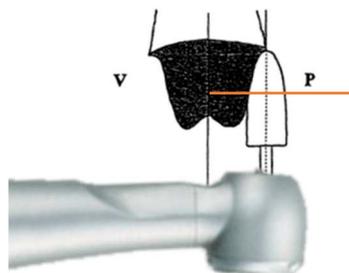


Figure 8 : schéma de l'axe de la fraise à utiliser qui doit correspondre au grand axe de la dent (courtoisie Dr Denis).

Pour contrôler visuellement une préparation, il faut regarder le centre de la face occlusale de la préparation directement avec son œil directeur à une distance d'environ 30 cm la préparation. L'ensemble des parois périphériques et de la limite cervicale doit être visible. Dans cette situation, toutes les parois périphériques doivent être convergentes [2] (fig.9).

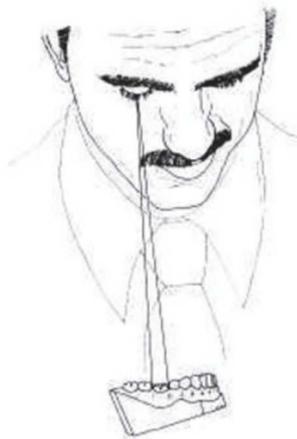


Figure 9 : dessin illustrant l'examen des préparations avec l'aide de son œil directeur afin de déceler des contredépouilles [2].

De même, il est possible de tracer une ligne fine au crayon de bois sur le bord interne du congé : cette ligne doit être visible en totalité lorsque l'opérateur contrôle en vue occlusale. Il suffit de fermer un œil puis de regarder en vision directe la préparation. L'ensemble des parois périphériques et de la limite cervicale doit être visible. Dans cette situation, toutes les parois périphériques sont donc convergentes (fig.10).



Figure 10: photographie illustrant l'appréciation des faces périphériques axiales permettant de conclure à leur convergentes vers la face occlusale (iconographie personnelle).

Si une ou des parties des faces périphériques (axiales) ne sont pas visibles, les parois sont donc divergentes par rapport à l'axe de préparation : la préparation est alors de contre-dépouille (fig.11 et 12).

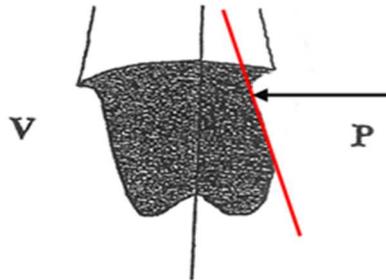


Figure 11 : schéma illustrant la présence d'une contre dépouille au niveau de la face palatine (courtoisie Dr Denis).



Figure 12 : photographie illustrant la présence de contre-dépouilles au niveau de la face distale de 15 et 16, induites par une erreur d'axe de préparation (iconographie personnelle).

1.4 La limite cervicale

La limite cervicale correspond à la zone de transition entre la partie préparée et la racine non préparée. Elle doit être continue et facilement reconnaissable par le scanner intra oral. La limite cervicale de la préparation doit être marquée, nette et régulière.

Depuis que les couronnes existent, les matériaux de réalisation n'ont cessé d'évoluer, partant d'une couronne totalement métallique, à une couronne céramo-métallique puis à une couronne tout céramique avec un protocole et un cahier des charges qui diffèrent en fonction des matériaux [3].

La couronne doit venir s'ajuster avec précision avec la partie radiculaire non préparée dans la continuité de la racine.

Pour qu'elle soit lue sur le modèle de travail et afin de confectionner la future couronne, il faut que cette limite cervicale existe et qu'elle soit réellement marquée afin d'être enregistrée de manière parfaite et complète.

1.4.1 Le profil de la limite cervicale

Le profil de la limite cervicale prend la forme de l'instrument choisi lors de la préparation de la dent. Il existe lors de la préparation des dents, différents types de profils de limite cervicale.

Le choix de la limite se fait en fonction :

- de la situation de la dent ;
- du type de restauration ;
- du type de parodonte.

Ainsi, en fonction de la localisation de la limite cervicale par rapport à la gencive, il est communément défini trois types de positionnement de la limite cervicale (fig.13) :

- la limite supragingivale ;
- la limite juxtagingivale ;
- la limite intrasulculaire.

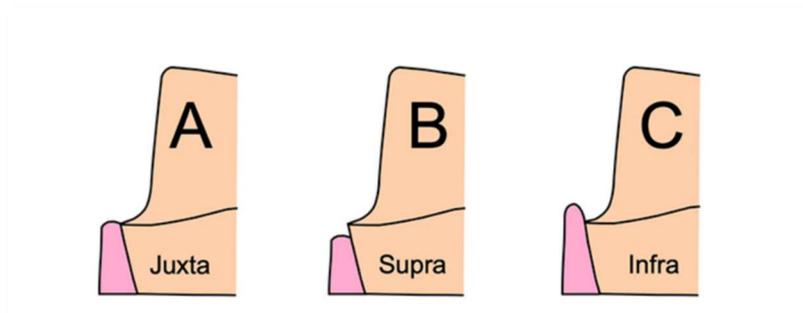


Figure 13 : schéma illustrant les trois positions de limites possibles. Supra-gingivale (A), juxta-gingivale (B) et intrasulculaire (C)²

²Source : <https://www.idweblogs.com/cfao/les-limites-peripheriques-des-preparations-en-prothese> [consulté le 20 novembre 2023]

1.4.2 La limite cervicale utilisée en travaux pratiques

Le positionnement de la limite cervicale dans le sens occluso-apical est déterminé avant de commencer la préparation. La limite cervicale **juxta-gingivale** est la seule indiquée et demandée aux étudiants lors des travaux pratiques et son profil correspond à un congé quart de rond.

Lorsque la limite est juxta-gingivale, il est impératif de suivre le contour de la gencive marginale. La préparation axiale de la dent se fait d'emblée en positionnant l'extrémité de la fraise là où l'on désire situer la limite cervicale.

1.5 Notion d'homothétie de réduction

L'homothétie de réduction en chirurgie dentaire se réfère à une technique de préparation dentaire visant à réduire la taille totale d'une dent tout en préservant ses proportions naturelles initiales. Il s'agit d'obtenir, par la préparation, l'épaisseur nécessaire et suffisante destinée au futur matériau de restauration. Une réduction homothétique reproduit ainsi les volumes cuspidiens et le sillon central qui est indispensable pour réaliser correctement l'anatomie occlusale de la dent prothétique. Le sillon doit donc être situé dans le prolongement de celui des dents adjacentes.

1.5.1 La réduction périphérique

La réduction périphérique consiste à réduire uniformément et de façon homothétique les faces vestibulaires, buccales, mésiales et distales. Pour les préparations recevant des couronnes définies comme monolithiques (coulée métallique ou céramique), la consigne en travaux pratiques est d'utiliser une fraise cylindro-conique congé quart de rond (016), et il est demandé de réaliser une réduction d'une épaisseur de 0,6 à 1mm, soit l'insertion d'une demi-fraise (fig.14) [4].

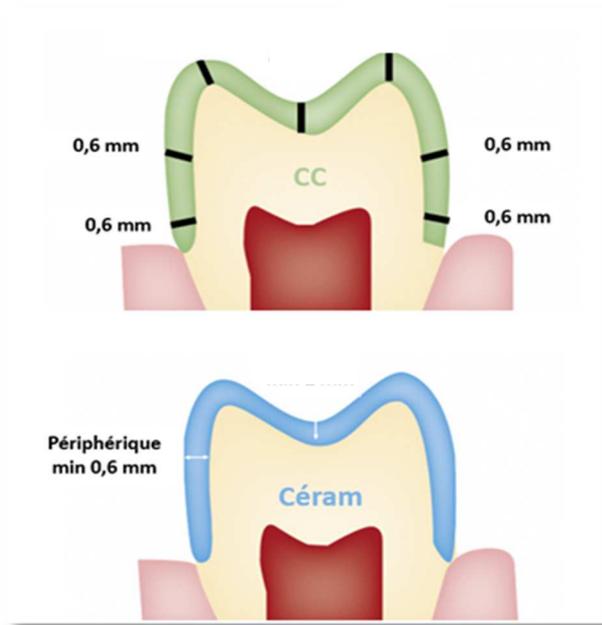


Figure 14 : schéma illustrant les épaisseurs de réduction pour une couronne monolithique (couronne coulée ou monolithique full zircone) [4].

Pour les préparations des couronnes avec armature (couronne céramo-métallique CCM, couronne céramo-céramique sur zircone CCC-Z), il est conseillé d'utiliser une fraise congé cylindro-conique quart de rond (021) et il est demandé de réaliser une réduction d'une épaisseur de 1,5 mm en vestibulaire, 1,2 mm en buccal, 1 mm en proximal, soit une insertion d'environ $\frac{3}{4}$ de fraise en vestibulaire [4] (fig.15).

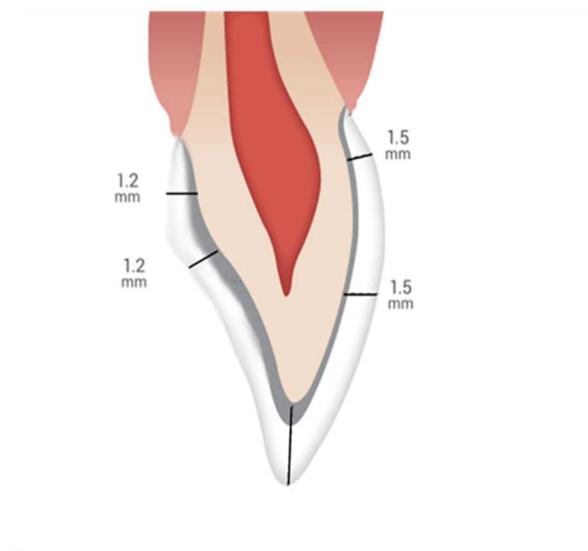


Figure 15 : schéma illustrant l'épaisseur de préparation en vestibulaire et en buccal pour une préparation périphérique d'une couronne avec armature (CCM, CCC-Z) (courtoisie Dr Denis).

A noter que la réduction périphérique pour une couronne céramo-céramique sur zirconium reste identique voire légèrement plus importante que pour une CCM (fig.16).

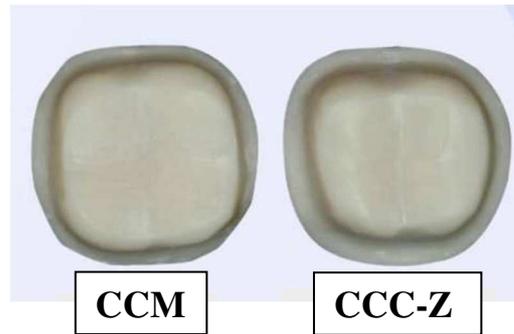


Figure 16 : vue occlusale de préparations périphériques pour couronne avec armature respectivement à gauche pour une CCM et à droite pour une CCC-Z (courtoisie Dr Denis).

1.5.2 La réduction occlusale

L'épaisseur de la réduction occlusale est dépendante également du choix du futur matériau tout en respectant l'économie tissulaire et l'homothétie. Elle doit être nécessaire et suffisante pour garantir une épaisseur correcte du futur matériau de reconstitution et doit être constante sur toute la face occlusale. Lors de la réalisation d'une préparation pour couronne coulée, il est demandé d'abord de réduire entre 0,8 à 1mm en occlusal et de 1 mm minimum pour une couronne céramique monolithique pour ensuite intégrer les cuspidés [4] (fig.17).

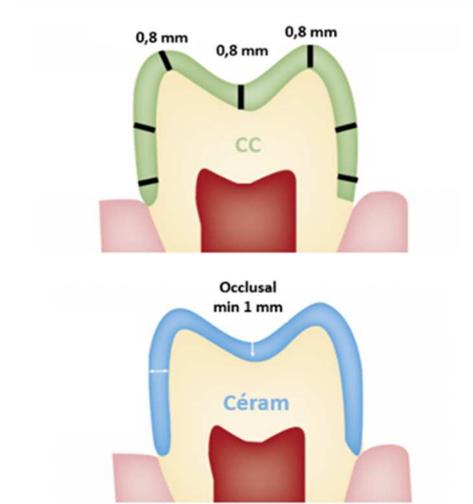


Figure 17: schéma illustrant l'épaisseur de réduction de la face occlusale pour les préparations pour couronne monolithique (courtoisie Dr Denis d'après [4]).

Pour une préparation d'une couronne avec armature (type CCM, CCC-Z), il est demandé de réduire en occlusal de manière plus importante et il est recommandé de réduire entre 1,5 à 2 mm, que ce soit pour les dents antérieures ou les dents postérieures (fig.18) [4].

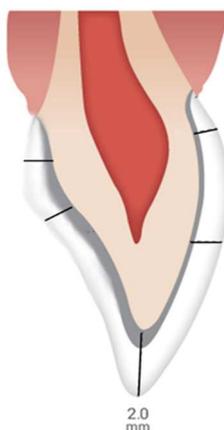


Figure 18 : schéma illustrant l'épaisseur de préparation d'une couronne avec armature (courtoisie Dr Denis).

Le contrôle de cette épaisseur de réduction doit être réalisé en position d'ICM. La réduction occlusale de la dent doit être homothétique afin d'éviter un délabrement trop important de certaines zones (pointes cuspidennes). Afin de contrôler la réduction occlusale d'une préparation pour couronne monolithique, la pointe de la sonde devra passer sans interférence entre les cuspidés vestibulaire, maxillaire et mandibulaire. Pour une préparation pour couronne avec armature (CCM, CCC-Z), la sonde doit passer de part en part avec un passage de mésial à distal sans interférence (fig.19). A noter, une réduction occlusale légèrement trop importante est préférable à une réduction occlusale insuffisante.

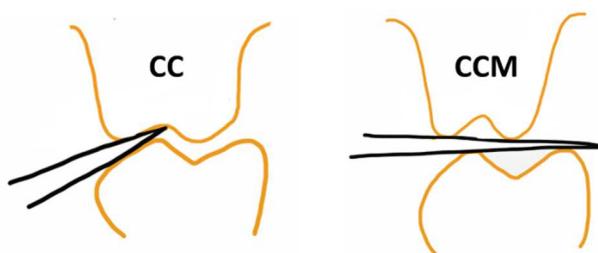


Figure 19: schéma illustrant le contrôle de la réduction de la face occlusale (courtoisie Dr Denis).

1.6 L'intégration intra-arcade

La préparation des faces axiales périphériques suivies de la réduction occlusale créent un angle saillant qui doit être supprimé. Un biseau doit être réalisé en passant la fraise sur les versants externes des cuspidés, sur les faces axiales de la préparation avec un angle correspondant à l'angulation du versant cuspidien externe de la dent adjacente de la même famille.

L'intégration intra-arcade intéresse 1/4 à 1/3 de la hauteur des faces axiales vestibulaires et buccales de la préparation pour les dents postérieures. Pour les dents antérieures, l'intégration intra-arcade intéresse le 1/3 de la hauteur de la face vestibulaire (fig.20).

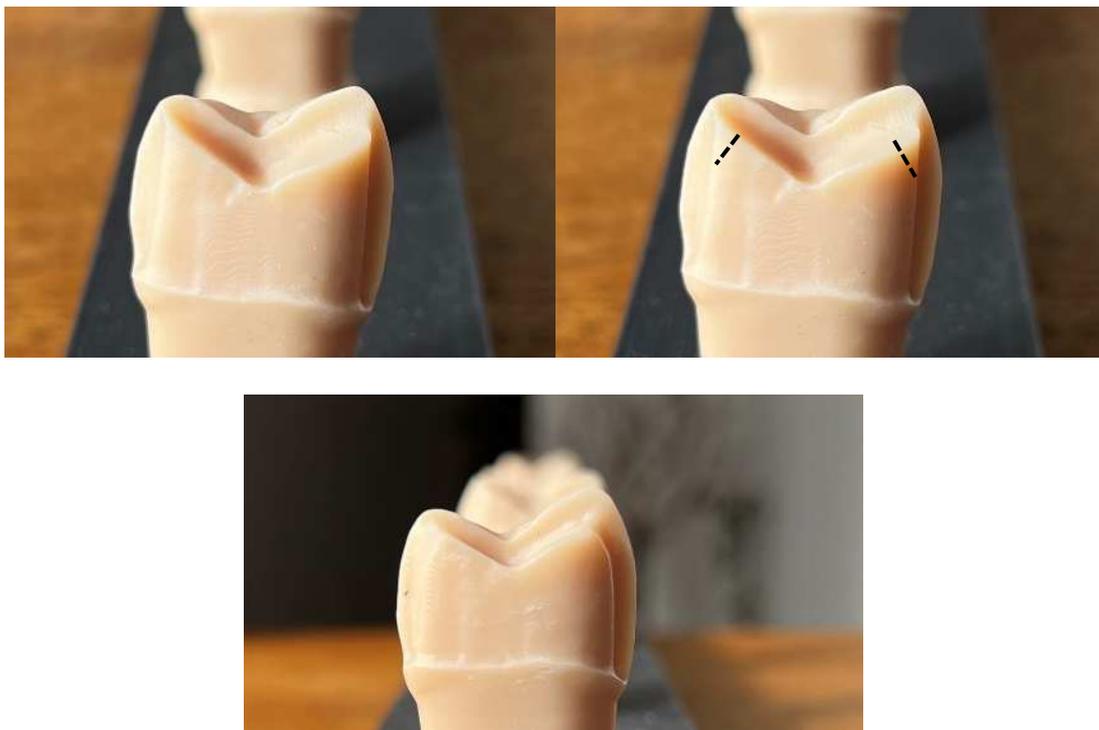


Figure 20 : Iconographie illustrant respectivement de gauche à droite : avant réduction des versants externes, l'axe des biseaux et après réduction des versants externes (propriété personnelle).

Afin de contrôler cette intégration intra-arcade, il est conseillé de fermer un œil et de regarder les dents dans le sens méso-distal. La préparation doit s'intégrer parfaitement dans la continuité des cuspidés des dents adjacentes (fig.21A et 21B).

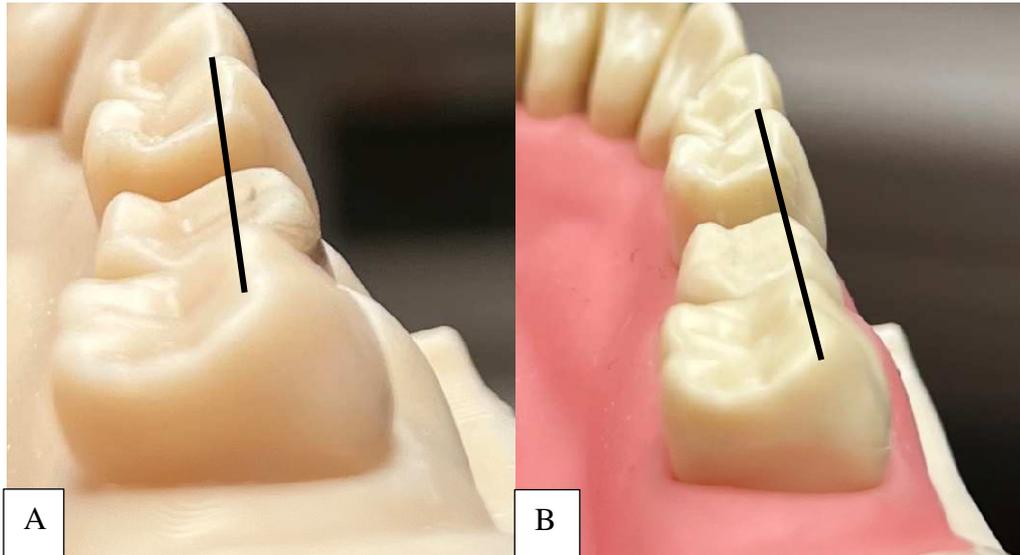


Figure 21: photographies d'une préparation sur 46, présentant une intégration intra-arcade incorrecte (les cuspides vestibulaires en dehors de la droite passant par les cuspides vestibulaires des dents adjacentes (A) et une préparation avec une intégration intra-arcade correcte (B) (propriété personnelle).

1.7 Les éléments adjacents

Lors de la préparation, il est important de respecter l'intégrité des dents voisines qui ne doivent pas être endommagées, en particulier au cours de l'étape de franchissement des points de contacts proximaux. Lors de la préparation, il est impératif de préserver l'intégrité des tissus environnants que ce soit dentaire ou bien aussi gingival [5].

1.8 L'étape de finition de la préparation

La préparation doit être soigneusement polie afin de permettre la réalisation d'une empreinte très précise et nette. Pour cela, il convient alors d'émousser les angles de raccordement qui existent entre les parois axiales (vestibulaire, buccale, mésiale et distale) et avec la face occlusale de la préparation ; mais aussi, passer sur toutes les faces de la préparation (axiale et occlusale) avec une fraise bague rouge de forme et de diamètre identiques à la fraise diamantée bague verte qui a servie à réaliser la préparation. Il est important de supprimer tout angle saillant au niveau de la préparation [5].

1.9 Réalisation des préparations périphériques totales : matériels et techniques en travaux pratiques de deuxième année

1.9.1 Instrumentation adaptée

Lors des TP, les étudiants de deuxième année doivent se munir d'un matériel particulier afin de mener à bien les TP :

- équipements de protection individuelle (lunettes, masque et gants) ;
- un coffret de fraises Komet® de prothèse fixée composé de 10 fraises (fig.22) ;
- un jeu de modèles maxillaire et mandibulaire Frasaco® ;
- des joues en silicone ;
- une turbine ;
- une canule d'aspiration ;
- un plateau propre avec sonde, miroir et précelles.



Figure 22 : coffret de fraises Komet® utilisé par les étudiants (iconographie personnelle).

1.9.2 Protocole enseigné pour une préparation sur dent postérieure pour la mise en place d'une couronne monolithique

La préparation d'une dent postérieure pour la réalisation d'une couronne monolithique est enseignée selon les étapes suivantes :

- 1) Réalisation des encoches centrales, mésiales et distales que ce soit en vestibulaire mais aussi en buccal. il est indiqué de faire pénétrer de moitié la

fraise cylindro-conique congé quart de rond (016) tenue dans le grand axe longitudinal de la dent.

- 2) Réunion des encoches entre la centrale, la mésiale et la distale sur les faces vestibulaires puis buccales en suivant le contour gingival et les bombées de la dent.
- 3) Passage des points de contact et préparation des faces en mésial et distal.
- 4) Réduction occlusale.
- 5) Intégration intra-arcade afin d'insérer les cuspides de la préparation dans l'axe des cuspides des dents adjacentes.
- 6) Finition et polissage de la préparation avec une fraise bague rouge.

2. Les modalités d'enseignement actuelles des préparations périphériques totales en prothèse fixée en deuxième année à Lille

2.1. Les travaux pratiques

Même si en début d'année universitaire, des cours magistraux (CM) et des enseignements dirigés (ED) de prothèse fixée sont dispensés avant les premiers travaux pratiques, ceux-ci s'adressent à des étudiants qui n'ont jamais utilisé ni de matériel rotatif ni de matériaux dentaires. Ces travaux pratiques de prothèse fixée consistent donc en l'apprentissage de l'utilisation des instruments rotatifs et des outils de coupe appelés « fraises » suivant un protocole clinique défini. Grâce à la forme et aux dimensions des fraises, le retrait d'une partie des tissus dentaires est contrôlé. Les étudiants doivent donc gérer la pression qu'ils exercent lors de la préparation. La turbine qui possède un couple faible s'arrête lors d'une pression trop élevée, ce qui aide l'étudiant à maintenir une pression raisonnable lors de la préparation [5,6].

Il est important lors de la première année d'acquérir les trois notions suivantes : **ergonomie de travail, réduction contrôlée** et **axe de préparation** afin de mener à bien l'ensemble des travaux demandés lors des travaux pratiques, mais aussi ces notions constituent un bagage indispensable pour la vie professionnelle future [5,6].

Lors du premier TP, les étudiants utilisent un instructeur de préparation de chez Frasaco GmbH[®] [7] (fig.23 et 24). Cet instructeur de préparation est un bloc en plexiglas sur lequel se trouve plusieurs figures (en Y, en S et en O). Les étudiants doivent donc suivre ces figures et fraiser dans le bloc de plexiglas en respectant l'axe et la profondeur de 5mm exigée tout en s'assurant d'un fond plat et lisse. A l'aide d'un papier millimétré, ils peuvent par conséquent apprécier l'axe de préparation, la profondeur de fraisage ainsi que sa qualité [7].

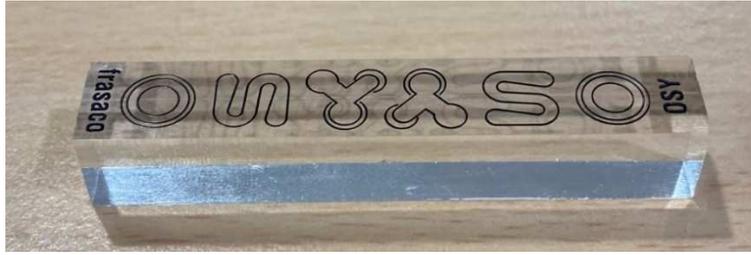


Figure 23 : instructeur de préparation Frasaco® [7] (iconographie personnelle)



Figure 24 : vue latérale du modèle OSY en plexiglas de chez Frasaco® en (A) et en vue supérieure (B) après préparation [7].

Ensuite, les travaux pratiques s'orientent vers la préparation périphérique totale d'une dent. Les dents utilisées sont des dents en résine montées sur modèle Frasaco® ANA 4V (fig.25). Ces dents en résine respectent le plus possible l'anatomie d'une dent saine [5].



Figure 25 : photographie du modèle Frasaco® ANA-4 maxillaire et mandibulaire en intercuspitation maximale (iconographie personnelle).

Le premier TP de préparation consiste en l'hémi-préparation mésiale ou distale d'une deuxième prémolaire maxillaire d'une dent Frasco® GmbH®. Cela permet à l'étudiant de visualiser l'avant / après de la préparation et de comprendre les objectifs de ces travaux pratiques (la réduction périphérique homothétique et l'axe de préparation).

Enfin, au cours de l'année universitaire, l'étudiant doit réaliser la préparation périphérique totale de plusieurs dents. Les préparations pour couronne monolithique sur dents postérieures (molaire et prémolaire) sont abordées au cours du premier semestre [5].

Le planning de l'ensemble des TP de l'année est disponible sur la plateforme Moodle® (fig.26). Répartis en quatre groupes, les étudiants disposent de 7 travaux pratiques de 2h au premier semestre de l'année universitaire.


 ANNEE UNIVERSITAIRE 2023-2024 Sous-section Réhabilitation Orale, Département Prothèses
Gestuelle en restauration fonctionnelle : approche prothétique
TRAVAUX PRATIQUES DE PROTHÈSE FIXÉE P2 - Semestre 1
 Responsables : Dr Corentin DENIS (MCU-PH), Dr Edwige FLEUTRY (CCU-AH), Dr Adam ABED (CCU-AH)

TP	TRAVAIL A REALISER	DATE	GROUPES
0	Présentation de la séance d'initiation (avant de l'année)	Vendredi 14/09/2023	AB (13h45), CD (15h30)
1	Exercices sur instructeur de préparation	Mardi 19/09/2023	A (8h00), C (10h15)
		Mardi 26/09/2023	B (8h00), D (10h15)
2	Hémi-préparation pour couronne monolithique sur 15	Mardi 03/10/2023	A (8h00), C (10h15)
		Mardi 10/10/2023	B (8h00), D (10h15)
3	Préparation pour couronne monolithique sur 15	Vendredi 13/10/2023	C (8h00), A (10h15)
		Vendredi 20/10/2023	D (8h00), B (10h15)
4	Préparation pour couronne monolithique sur 35	Mardi 17/10/2023	A (8h00), C (10h15)
		Mardi 24/10/2023	B (8h00), D (10h15)
5	Préparation de pour couronne monolithique sur 46 <i>Evaluation : « Organisation du plateau technique – Ergonomie »</i>	Mardi 07/11/2023	A (8h00), C (10h15)
		Mardi 14/11/2023	B (8h00), D (10h15)
ED	Correction en binôme de la préparation 46	Vendredi 10/11/2023	A (8h00), C (10h00)
		Vendredi 17/11/2023	B (8h00), D (10h00)
DA	Démonstration vidéo « empreinte pour isomolage » (Moodle)	A consulter pour le 21/11/2023	ABCD
6	Empreinte pour isomolage • TP libre Travail libre	Mardi 21/11/2023	AB (8h00), CD (10h15)
7	<i>Evaluation terminale - Travail ponctuel</i>	Mardi 28/11/2023	A (8h00), C (10h15)
		Mardi 05/12/2023	B (8h00), D (10h15)

Figure 26 : exemple de planning des travaux pratiques du premier semestre (courtoisie Dr Corentin Denis).

2.2. Les Enseignements dirigés de corrections des travaux

Depuis l'année 2021-2022, des enseignements dirigés ont été mis en place. Ces ED se déroulent une fois par semestre et ont pour but de discuter des points abordés pendant toutes les séances. Ils se déroulent dans un premier temps sous la forme d'une présentation interactive via l'application Wooclap® avec la projection de photographies de travaux réalisés par les étudiants qui doivent y relever les erreurs présentes (fig.27). Ensuite, dans un deuxième temps, les étudiants sont invités à corriger leurs travaux en binôme (évaluation par un pair) (fig.28).

Pratiques » afin qu'ils puissent maîtriser, en amont, les notions théoriques générales pour le bon déroulement des travaux pratiques (fig.29).

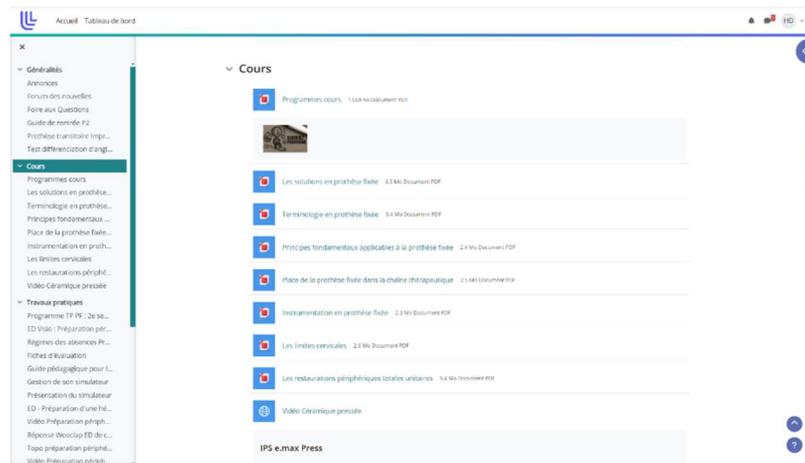


Figure 29 : capture d'écran de l'ensemble des cours théoriques disponibles sur la plateforme Moodle® (iconographie personnelle).

Les étudiants ont plusieurs supports pédagogiques à leur disposition. Tout d'abord, les présentations PowerPoint® durant les travaux pratiques qui présentent le matériel, les indications, les impératifs, les objectifs ainsi que la séquence de préparation.

2.3.2. Guide pédagogique pour les évaluations

Depuis 2018, les étudiants ont à leur disposition sur la plateforme Moodle®, un guide pédagogique pour la réalisation des évaluations des préparations périphériques totales (fig.30). Ce guide reprend et détaille les différents critères, présents sur la feuille d'évaluation, que les étudiants doivent maîtriser et réaliser pour la validation des travaux de préparation (fig.31).

GUIDE PEDAGOGIQUE POUR LA REALISATION DES EVALUATIONS DES PREPARATIONS PERIPHERIQUES EN PROTHESE FIXEE

2023 / 2024



Dr Corentin DENIS
Dr Edwine FLEUTRY
Dr Adam ABED

Tous droits réservés © { } Toute diffusion interdite

Figure 30 : « guide pédagogique » permettant aux étudiants de s'auto-évaluer³

NOM de l'étudiant :				
Année – Groupe – Simulateur :				
Date :				
Type de Préparation – N° DENT :				
	D.T.	D.P.	A.P.	A.T.
1. PREPARATIFS				
2. ERGONOMIE				
3. PREPARATION TYPE				
4. AXE				
5. DEPOUILLE - CONICITE				
6. PREPARATION OCCLUSALE				
7. INTEGRATION INTRA-ARCADE				
8. LIMITES CERVICALES				
9. ELEMENTS ADJACENTS				
10. FINITIONS				
SCORE / 30 :				
VALIDATION (score > ou = à 20)	NON		OUI	

Figure 31 : grille de notation pour les travaux pratiques de préparation périphérique totale (courtoisie Dr Corentin Denis).

2.3.3. Vidéos pédagogiques

Les étudiants ont aussi accès, via un lien sur la page Moodle®, à différentes vidéos, notamment celles de démonstration de préparations périphérique totale ; sur la plateforme d'apprentissage en ligne Lille.Pod® via leurs identifiants universitaires (fig.32).

³ https://moodle.univ-lille.fr/pluginfile.php/575121/mod_resource/content/15/guide_eval_prep_PF_P2_2023.pdf [Consulté le 13 octobre 2023]



Figure 32 : capture d'écran de la plateforme LillePod® de la vidéo d'une préparation pour couronne monolithique sur une première molaire mandibulaire droite.

2.3.4. Modèles physiques en plâtre de l'hémi-préparation

Il existe aussi en salle de TP, des modèles en plâtre montrant les différentes étapes de préparation sur une deuxième prémolaire maxillaire à réaliser lors du 2^{ème} TP (fig.33).

Il y a 8 étapes présentées sur le modèle ci-dessous :

- dent 15 non préparée ;
- encoches médiane et mésiale réalisées sur la face palatine et vestibulaire ;
- préparation réunissant les deux encoches vestibulaire et palatine réalisées préalablement ;
- passage du point de contact ;
- encoches sur la crête cuspidenne et sur la crête marginale mésiale en vestibulaire ;
- réalisation de la réduction occlusale de la cuspide vestibulaire ;
- réalisation de la réduction occlusale de la cuspide palatine ;
- réalisation de l'intégration intra-arcade ;
- hémi-préparation sur dent 15, complète, homogène et homothétique.



Figure 33 : Iconographie des modèles pédagogiques en plâtre montrant les étapes d'une préparation sur une deuxième prémolaire maxillaire (propriété personnelle).

2.3.5. Modèle de démonstration avec dents Frasaco® préparées.

Les étudiants ont aussi accès à une paire de modèles Frasaco® présents en salle de travaux pratiques afin de visualiser la finalité du travail demandé (fig.34).



Figure 34 : modèle Frasaco® mandibulaire en vue occlusale présentant une préparation pour CCM sur une première molaire mandibulaire droite (iconographie personnelle).

2.4. Limites des supports existants et discussion sur la création de nouveaux supports

Malgré la présence de tous ces supports existants, il existe malheureusement de nombreuses limites. En effet, les vidéos présentées ci-dessus ne sont pas très récentes. De même, le modèle en plâtre illustrant les étapes de l'hémi-préparation présente de nombreux défauts à certaines étapes, notamment lors des contre-dépouilles mais aussi avec un axe de préparation incorrect. Les préparations sur les modèles Frasaco® de démonstration présentent également quelques points négatifs (non-respect de l'homothétie de réduction occlusale par exemple, intégration intra-arcade incorrecte). De plus, ces modèles physiques sont uniques et ne sont consultables que lors des séances de TP en salle simulation.

2.5. Questionnaire auprès des étudiants de deuxième année (promotion 2022-2023)

Avant le commencement de cette thèse, il a été jugé important et intéressant de réaliser un sondage à l'intention des étudiants de 2ème année (promotion 2022-2023).

En effet, depuis de nombreuses années, les travaux pratiques de deuxième année sont considérés comme une épreuve par de nombreux étudiants, car ils leur sont difficile à appréhender et à réaliser. Sept questions principales ont été proposées ; cette enquête a été menée sur une promotion de 141 étudiants avec un total de 122 réponses.

Tout d'abord, il a été remarqué que pour **56,5%** des étudiants, il était compliqué de visualiser l'ensemble des travaux demandés (fig.35).

1) Avez vous eu des difficultés à visualiser le travail demandé concernant les préparations périphériques totales ?
122 réponses

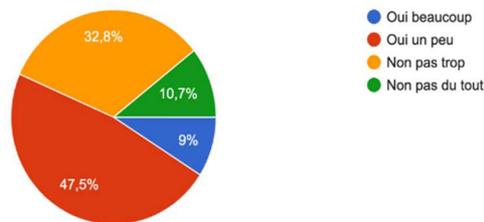


Figure 35 : résultats du sondage montrant les difficultés de visualiser le travail demandé (iconographie personnelle).

Mais aussi, pour plus de **83%** des étudiants, il était difficile de passer à la pratique et donc à la réalisation des préparations périphériques totales malgré toutes les notions théoriques disponibles (fig.36).

2) Avez vous eu des difficultés à réaliser le travail demandé par les enseignants concernant les préparations périphériques totales lors des TP de prothèse fixée ?
122 réponses

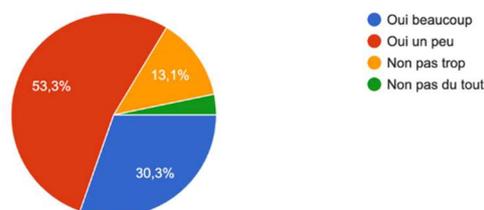


Figure 36 : résultats du sondage montrant les difficultés de réaliser le travail demandé (iconographie personnelle).

De plus, il a été demandé quelles notions rencontrées étaient difficiles à appréhender ; plusieurs difficultés ont été identifiées suite aux retours parmi des étudiants (fig.37) (plusieurs réponses étaient possibles) :

- la notion de conicité (42%) ;
- la notion d'axe (50%) ;
- la notion de congé (47%) ;
- la notion de contre-dépouille (39%) ;
- la notion d'intégration intra-arcade (28%).

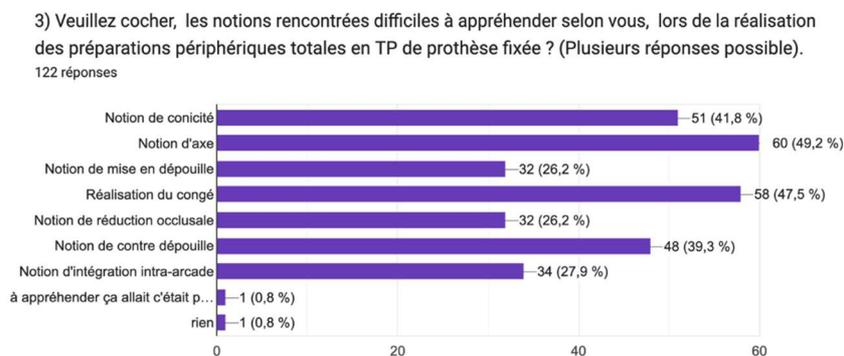


Figure 37 : résultats du sondage montrant les notions difficiles à appréhender (iconographie personnelle).

Ensuite, il a été demandé aux étudiants s'il était facile pour eux de comprendre leurs erreurs. Pour plus de **50%** des étudiants, il est compliqué les comprendre (fig.38).



Figure 38 : résultats du sondage à propos de la compréhension de leurs erreurs (iconographie personnelle).

Il a été aussi demandé aux étudiants s'ils trouvaient intéressants, les ED de correction réalisés après l'obtention de leurs résultats. Pour plus de **90%**, les étudiants ont trouvé cela très pertinent et intéressant (fig.39).

5) Les ED de corrections sur Wooclap et en binôme, permettant de visualiser les principales erreurs rencontrées et à éviter, vous ont ils aidés à améliorer du travail demandé en TP de prothèse fixée ?
122 réponses

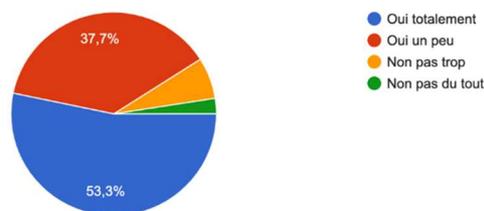


Figure 39 : résultats à la suite de l'ED sur l'application Wooclap® (iconographie personnelle).

Enfin, il a été demandé aux étudiants s'ils étaient intéressés pour recevoir des nouveaux modèles pédagogiques plus attractifs et individuels. En effet, plus de **90%** de la promotion aimerait recevoir ces nouveaux modèles afin de pouvoir visualiser les consignes demandées (fig.40).

6) Auriez vous souhaité recevoir des modèles pédagogiques individuels et plus attractifs (dents imprimées en 3D, Visualisation 3D) ?
122 réponses

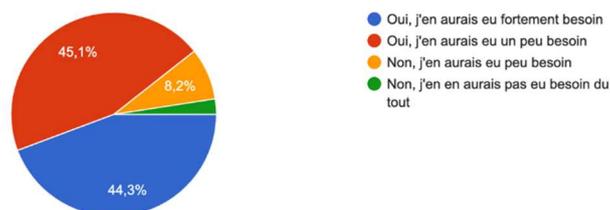


Figure 40 : résultats du sondage sur les besoins des étudiants d'avoir des nouveaux modèles pédagogiques (iconographie personnelle).

Pour finir, il a été proposé plusieurs idées afin d'améliorer la compréhension et la réalisation des travaux pratiques (fig.41) (plusieurs réponses étaient possibles) :

- préparation parfaite sur dent en résine Frasaco® (75%) ;
- hémi-préparation parfaitement réalisée (28%) ;

- préparation parfaite sur dent réalisée par un professeur ou un moniteur (55%) ;
- maxi modèle présent en salle de travaux pratique (53%) ;
- visualisation 3d sur Moodle® (59%).

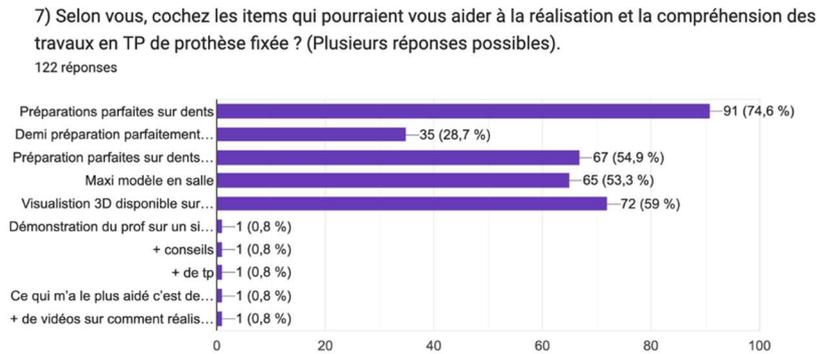


Figure 41 : solutions possibles pour améliorer la compréhension et la réalisation des travaux pratiques (iconographie personnelle).

Après avoir récolté l'ensemble des réponses du sondage, nous constatons qu'un grand nombre d'étudiants a des problèmes pour visualiser, appréhender, comprendre mais surtout réaliser les travaux demandés lors des travaux pratiques.

De plus, les étudiants sont très demandeurs pour recevoir de nouveaux modèles plus attractifs et individuels et semblent très motivés au regard du nombre de réponses.

3. Réalisation de modèles pédagogiques par technique de mise en forme additive

3.1. Intérêts de la réalisation des modèles pédagogiques

Après le sondage, il a été constaté que beaucoup d'étudiants ont du mal à comprendre la visualisation et l'exécution du travail demandé. En effet, un modèle peut être défini comme un objet ou une personne possédant certaines qualités ou caractéristiques propres à en faire le type d'une catégorie. Un modèle est donc un objet type à partir duquel sont reproduits des objets de même sorte, à de multiples exemplaires [8]. Ici, le modèle est une maquette des mâchoires dentaires maxillaire et mandibulaire avec des préparations périphériques totales réalisées.

La pédagogie, elle, se définit comme l'ensemble des méthodes utilisées pour éduquer les enfants, adolescents, étudiants. C'est une pratique éducative dans un domaine déterminé⁴.

En chirurgie dentaire, la pratique pédagogique est l'union de la théorie et de la pratique dans l'exercice de l'enseignement et de l'appréhension de la connaissance dans l'action pédagogique. Ces pratiques pédagogiques impliquent d'être au courant de l'ensemble du processus éducatif et des outils utilisés par les enseignants pour y parvenir. Les étudiants de deuxièmes années de chirurgie dentaire sortent d'une année éprouvante (PACES, PASS, LAS) au cours de laquelle ils ont engrangé énormément de connaissances mais exclusivement théoriques.

La difficulté du passage en deuxième année de chirurgie dentaire à Lille réside majoritairement dans le passage à l'activité pratique. Il s'agit donc pour eux d'acquérir la dextérité nécessaire à leur futur métier de chirurgien-dentiste et ce en très peu de temps au moyen de procédés de simulation. D'après le rapport de la Haute Autorité de Santé (HAS) de 2012, la simulation est définie par : « *l'utilisation d'un matériel (comme un mannequin ou un simulateur procédural), de la réalité virtuelle ou d'un patient standardisé pour reproduire des situations ou des environnements de soin,*

⁴ <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/p%C3%A9dagogie/58918> [consulté le 4 janvier 2024]

dans le but d'enseigner des procédures diagnostiques et thérapeutiques et de répéter des processus, des concepts médicaux ou des prises de décision par un professionnel de santé ou une équipe de professionnels »⁵.

En prothèse fixée (PF), au cours de la première année, les étudiants doivent suivre des règles précises de réalisation de préparations périphériques sur des modèles de mâchoires supérieure et inférieure Frasaco® transvissés sur des simulateurs équipés de dents démontables en résine.

Même si l'approche diagnostique en dentisterie est majoritairement intellectuelle, la réalisation des actes reste principalement pratique. Ainsi la première étape pour les étudiants sera donc de bien comprendre ce qui leur est demandé. Elle fait indéniablement appel à la visualisation précise des préparations périphériques à réaliser. Depuis des années, les enseignants et moniteurs réalisent des schémas au tableau et ils apportent des explications individuelles aux étudiants, à leur simulateur mais sans véritable représentation visuelle.

Il n'existe à l'heure actuelle aucun modèle pédagogique officiel disponible de façon permanente pour les étudiants. L'intérêt de ces modèles pédagogiques est donc immense. Il ouvre la voie vers une meilleure compréhension et un apprentissage davantage adapté, non seulement en prothèse fixée mais aussi ouvert aux autres disciplines de la chirurgie dentaire. Enfin, ces techniques pourraient servir aussi à un grand nombre de discipline en dehors de la chirurgie dentaire que ce soit l'industrie, l'ingénierie et la conception [9].

Ces modèles seront présentés en séance de travaux pratiques tout comme en cours théorique ou consultable en fichier numérique 3D à domicile voire imprimé par l'étudiant. Notre choix s'est porté sur la réalisation d'une paire de modèle sans grossissement ; un maxi-modèle maxillaire ; les différentes étapes de préparation d'une héli-prémolaire et des occluseurs sectoriels montrant la différence de préparation d'une couronne avec armature avec une couronne monolithique [10].

⁵ https://www.has-sante.fr/jcms/c_1355008/fr/guide-bonnes-pratiques-simulation-sante-guide [consulté le 23 septembre 2023]

Enfin, l'impression 3D présente un intérêt majeur par rapport à des modèles pédagogiques réalisés en plâtre. En effet, ces modèles imprimés en 3D sont très facilement reproductibles, plus précis, plus rapides et réalisables à un faible coût [11-15].

3.2. Choix des différents modèles pédagogiques

Il a été décidé de réaliser :

- un macro-modèle maxillaire disponible en salle ;
- des modèles maxillaires et mandibulaires en taille réelle disponibles lors des TP avec modèle positif unitaire (MPU) correspondant aux préparations sur le modèle ;
- des dents préparées unitaires et adaptables à mettre sur les modèles Frasaco® étudiant ;
- une planche illustrant l'ensemble des différentes étapes d'une hémipréparation pour une couronne monolithique sur une deuxième prémolaire maxillaire droite ;
- mise à disposition en libre-service sur Nextcloud® via Moodle, des modélisations 3D et des fichiers (.STL) des préparations pour une visualisation et une possible future impression ;
- des occluseurs sectoriels illustrant les préparations périphériques d'une première molaire maxillaire droite pour une couronne monolithique et une couronne avec armature (CCM, CCC-Z).

3.3. Matériels et méthodes

3.3.1. Matériels et réalisation des préparations périphériques totales

Huit préparations ont été réalisées en salle de simulation en novembre 2023 à l'aide du même matériel dont disposent les étudiants (développé dans la partie 1.9.1) :

- une hémi-préparation sur la deuxième prémolaire maxillaire droite (15) pour une couronne monolithique (fig.42) ;



Figure 42 : hémi-préparation sur une deuxième prémolaire maxillaire droite (iconographie personnelle).

- une préparation sur une deuxième prémolaire maxillaire droite (15) pour une couronne monolithique (fig.43) ;



Figure 43 : préparation périphérique d'une couronne monolithique sur une deuxième prémolaire maxillaire droite (iconographie personnelle).

- une préparation sur une première molaire mandibulaire droite (46) pour une couronne monolithique (fig.44) ;



Figure 44 : préparation périphérique d'une couronne monolithique sur une première molaire mandibulaire droite (iconographie personnelle).

- une préparation sur une première molaire maxillaire gauche (26) pour une couronne monolithique (fig.45) ;



Figure 45 : préparation périphérique d'une couronne monolithique sur une première molaire maxillaire gauche (iconographie personnelle).

- une préparation sur une deuxième prémolaire mandibulaire gauche (35) pour une couronne monolithique (fig.46) ;



Figure 46 : préparation périphérique d'une couronne monolithique sur une deuxième prémolaire mandibulaire gauche (iconographie personnelle).

- une préparation sur une canine (13) pour une couronne céramique stratifiée sur armature (type CCM ou CCC-Z) (fig.47) ;



Figure 47 : préparation périphérique d'une couronne avec armature (type CCM, CCC-Z) sur une canine maxillaire droite (iconographie personnelle).

- une préparation sur une incisive centrale gauche (21) pour une couronne céramique stratifiée sur armature (type CCM ou CCC-Z) (fig.48) ;



Figure 48 : préparation périphérique d'une couronne avec armature (type CCM, CCC-Z) sur une incisive centrale maxillaire gauche (propriété personnelle).

- une préparation sur une première molaire maxillaire gauche (26) pour une couronne stratifiée sur armature (type CCM ou CCC-Z) (fig.49).



Figure 49 : préparation périphérique d'une couronne avec armature (type CCM, CCC-Z) sur une première molaire maxillaire gauche (propriété personnelle).

3.3.2. Acquisition des données numériques

Pour rappel le flux numérique se compose de trois maillons indissociables (fig.50) [16-19] :

- la première étape dite **d'acquisition**, elle-même composée de sous-ensembles regroupant les éléments de capture en 2D et 3D ;
- la deuxième consiste en **l'assemblage** des éléments préalablement capturés pour aboutir à la création de l'avatar virtuel ou clone digital du patient (CAO) ;
- la dernière est l'aboutissement du dessin numérique, c'est l'étape de **production des éléments** conçus : soit par un procédé additif, c'est l'impression 3D ou le frittage laser ; soit par un procédé soustractif, c'est l'usinage (FAO).

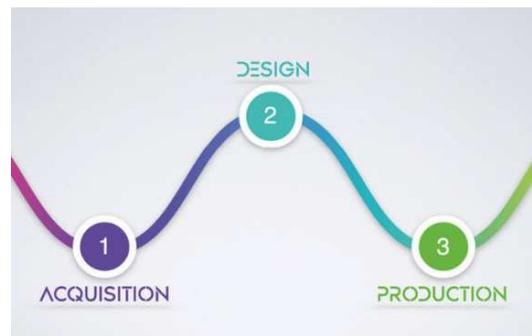


Figure 50 : schéma des 3 maillons indissociables du flux numérique en CFAO [17].

La primescan® de chez DentsplySirona® a été utilisée pour permettre l'acquisition des données (fig.51). Elle présente un champ de vision de 16x16mm, permettant d'enregistrer des zones plus étendues.

En ce qui concerne la technologie d'acquisition, elle se fait en *full motion* (film continu). Le fabricant annonce une nouvelle technologie « smart pixel » brevetée. La caméra peut acquérir plus d'un million de points 3D par seconde et générer 50 000 images par seconde⁶.

⁶ Source : <https://www.dentsplysirona.com/content/dentsply-sirona/fr-fr/decouvreznos-produits/impression-numerique/primescan.html> [consulté le 21 janvier 2024]

Le logiciel CEREC sw 5.2.3[®] a été utilisé pour le traitement des données. Il permet la retouche des empreintes.

Lors du scannage, les dents ont été posées sur une surface matifiée afin d'éviter la réflexion de la lumière envoyée par le scanner intra-oral.



Figure 51 : acquisition des données d'une hémi-prémolaire maxillaire (iconographie personnelle).

Le protocole d'acquisition a été divisé en 3 parties :

- administration ;
- acquisition / empreinte (fig.52 et 53) ;
- préparation du modèle (fig.54).

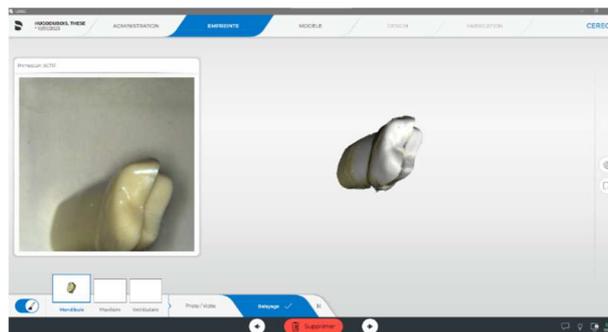


Figure 52 : capture d'écran de l'unit DentsplySirona[®] en cours d'acquisition de l'hémi-préparation d'une deuxième prémolaire maxillaire (iconographie personnelle).

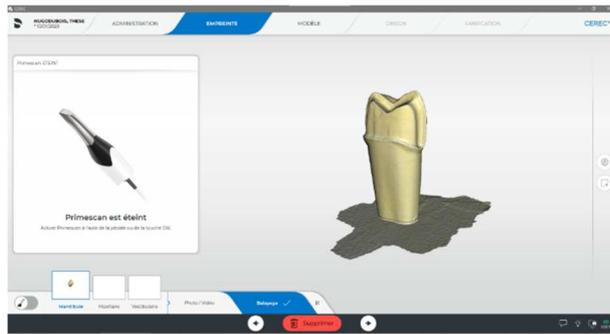


Figure 53 : capture d'écran de l'interface DentsplySirona® à la fin de l'acquisition de l'hémi-préparation d'une deuxième prémolaire maxillaire (iconographie personnelle).

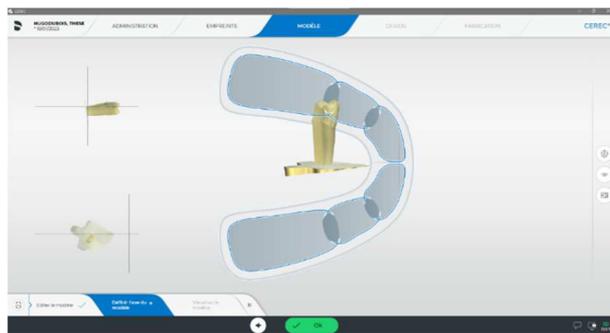


Figure 54 : capture d'écran de l'interface DentsplySirona® pour la création du modèle et l'hémi-préparation d'une deuxième prémolaire maxillaire (iconographie personnelle).

À la suite de l'acquisition des données avec la caméra intra-orale, il a été nécessaire d'exporter le fichier (.STL) de l'unit DentsplySirona® via une clé USB afin de les visionner sur le logiciel 3D Blender® (fig.55 et 56).

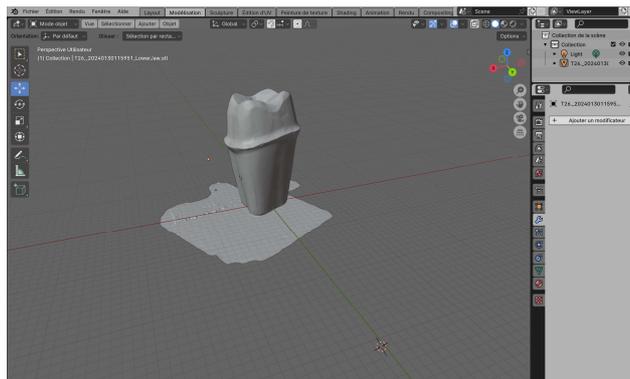


Figure 55: capture d'écran du modèle 3D d'une préparation périphérique sur une première molaire maxillaire gauche issu du logiciel Blender® (iconographie personnelle).

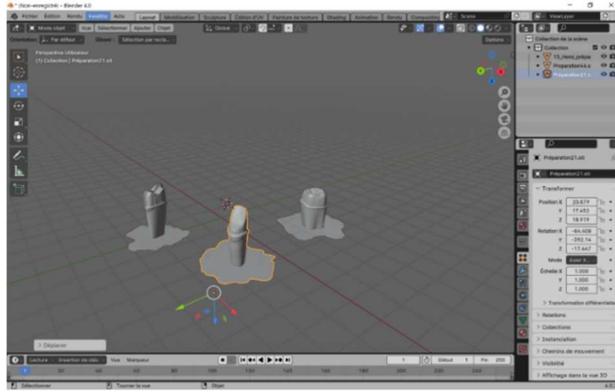


Figure 56 : capture d'écran des fichiers (.STL) d'une préparation périphérique d'une 21, 26 et une héli préparation sur 15 issu du logiciel Blender® (iconographie personnelle).

Pour la numérisation des modèles Frasco® complets maxillaire et mandibulaire, le scanner de table 3SHAPE® E3 a été utilisé au laboratoire Vandeweghe à Willems.

Ce scanner de laboratoire (fig.57) est pourvu de quatre appareils photographiques de cinq mégapixels chacun. Cet outil peut scanner un modèle complet d'un modèle en plâtre provenant d'une empreinte classique afin de réaliser l'acquisition.

À la suite de ce scan, les fichiers au format (.STL) compatibles sont importés dans le logiciel de design 3D Blender® pour visualiser, et le logiciel 3SHAPE® pour la partie conception (fig.58).



Figure 57 : scanner extra-oral 3SHAPE® E3 (iconographie personnelle).

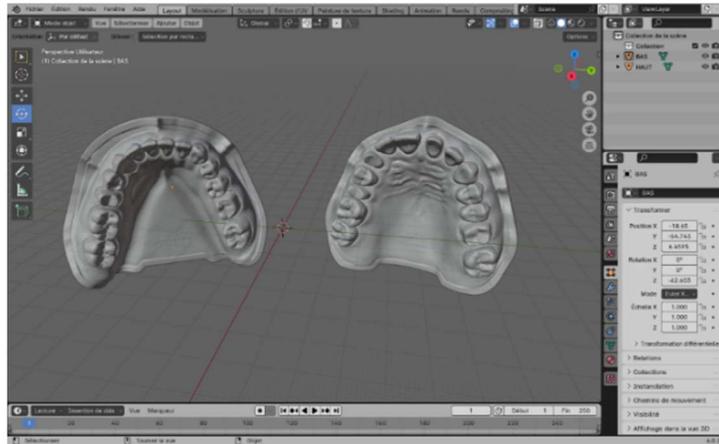


Figure 58 : capture d'écran des fichiers (.STL) des modèles maxillaire et mandibulaire sur le logiciel Blender® après l'acquisition des données avec le scanner extra-oral (iconographie personnelle).

3.3.3. Conception assistée par ordinateur des modèles (CAO)

La conception des modèles a eu lieu au laboratoire Vandeweghe à Willems.

Après avoir enregistré les modèles maxillaire et mandibulaire à l'aide du scanner extra-oral de laboratoire 3SHAPE® E3, il a été nécessaire de réaliser les MPUs au niveau de chaque préparation périphérique ; nous utilisons le logiciel « Model Builder Express de 3SHAPE® » pour la réalisation de ces derniers.

Suite à l'importation des fichiers (.STL) dans le logiciel, la limite cervicale clinique et théorique correspondant à la préparation est tracée (fig.59). De nombreux paramètres ont été utilisés pour créer cette limite cervicale, comme la distance entre les points de 0,5 mm, l'axe de la dent et une angulation de - 5 degrés (fig.60). Quand la limite cervicale a été correctement tracée, il suffit de créer ces MPUs (fig.61, 62, 63 et 64).

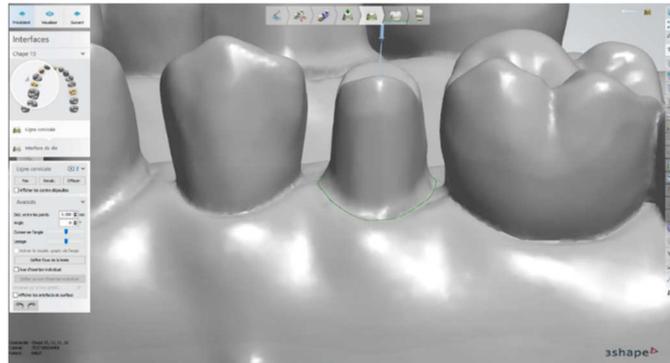


Figure 59 : capture d'écran du tracé de la limite cervicale de la préparation sur la prémolaire maxillaire droite afin de confectionner les MPU issus du logiciel 3SHAPE® (iconographie personnelle).

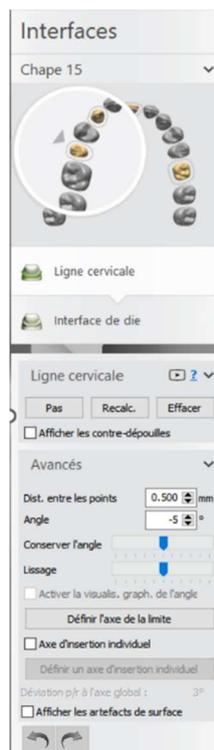


Figure 60 : capture d'écran des paramètres utilisés pour tracer manuellement la limite cervicale (iconographie personnelle).

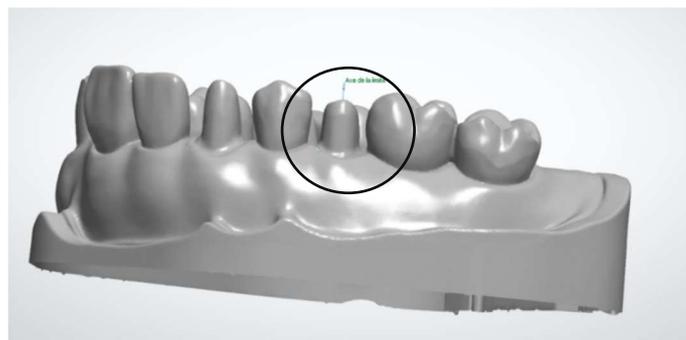


Figure 61 : capture d'écran de l'axe de confection du MPU sur la dent 15 (iconographie personnelle).

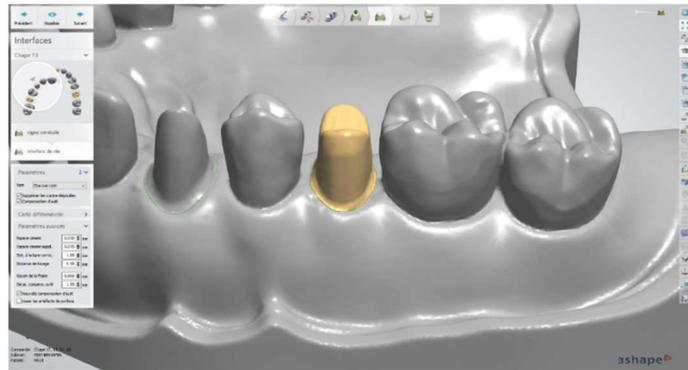


Figure 62 : capture d'écran de la confection de la limite cervicale sur la dent 13 et la réalisation du MPU sur 15 (iconographie personnelle).



Figure 63 : capture d'écran du modèle maxillaire en vue occlusale avec l'ensemble des MPUs modélisés sur le logiciel 3SHAPE® (iconographie personnelle).



Figure 64 : capture d'écran des modèles maxillaire et mandibulaire avec l'ensemble des MPUs correspondants aux préparations périphériques visibles sur le logiciel Blender® (iconographie personnelle).

Pour la réalisation des héli-prémolaires, ces dernières ont été coupées au niveau de la racine sur le logiciel 3SHAPE® socle qui a été ajouté.

Enfin, pour la réalisation des occluseurs sectoriels, il a d'abord été question de scanner les modèles Frasaco® avec le scanner extra-oral 3SHAPE® E3, puis le fichier (.STL) a été exporté dans le logiciel (fig.65) afin de réaliser les coupes des secteurs 2 et 3 pour réaliser les MPU des premières molaires maxillaires gauche (fig.66, 67 et 68A/B).



Figure 65 : capture d'écran de la confection de la limite cervicale et de l'axe de préparation sur la dent 26 pour une couronne avec armature (iconographie personnelle).

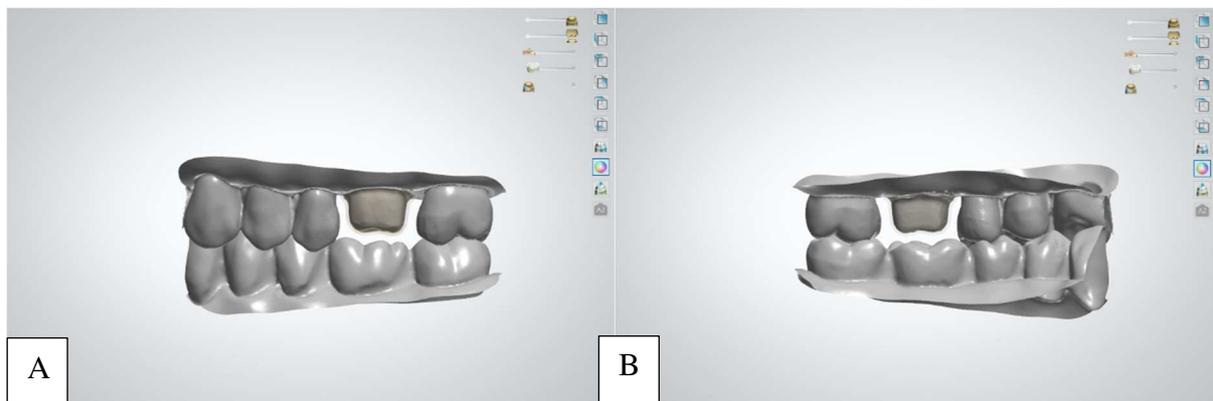


Figure 66 : capture d'écran illustrant les modèles sectoriels des secteurs 2 et 3 face vestibulaire (A) et face buccale (B) montrant une préparation périphérique pour couronne avec armature (iconographie personnelle).

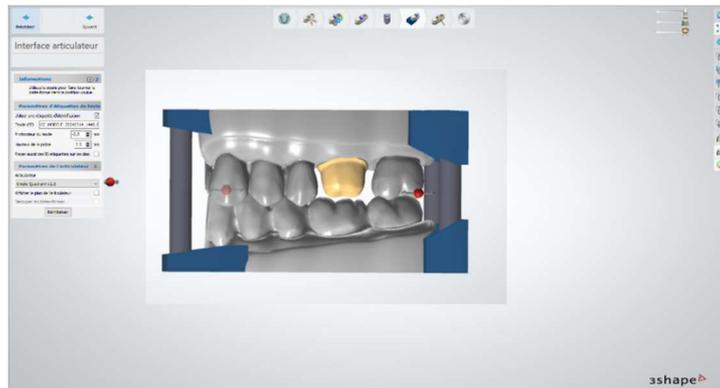


Figure 67 : capture d'écran illustrant les modèles sectoriels en occlusion avec la création des bases et piliers (iconographie personnelle).

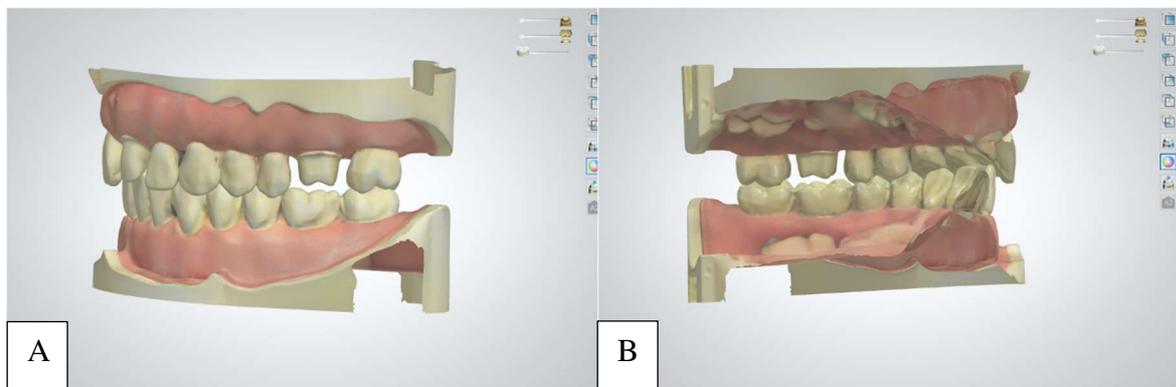


Figure 68 : capture d'écran illustrant les modèles sectoriels des secteurs 2 et 3 face vestibulaire (A) et face buccale (B) montrant une préparation périphérique pour couronne avec armature (iconographie personnelle).

3.3.4. Mise en forme des modèles par technique additive

3.3.4.1. Les technologies de polymérisation en cuve

L'impression 3D, également appelée « mise en forme par technique additive par polymérisation en cuve » [20], est en plein développement dans un nombre important de secteurs⁷.

L'utilisation de l'impression 3D a considérablement progressé au cours des dernières années, avec le développement commercial d'installation d'impression 3D, de scanners et de logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO).

⁷ <https://www.researchandmarkets.com/reports/4375433/3d-printing-market-size-share-and-trends-analysis> [consulté le 03 janvier 2024]

Plusieurs types d'imprimantes 3D sont disponibles sur le marché pour la mise en forme de résine par photopolymérisation en cuve, employant des technologies différentes. Les trois solutions technologiques d'impression sont :

- la stéréolithographie (**SLA**) ;
- la projection d'image lumineuse indirecte (**DLP** : Digital Light Processing) ;
- la projection d'image directe par écran LCD (**LCD** : Liquid Crystal Display).

Ce qui différencie ces techniques, c'est le type de source lumineuse qui assure celle-ci ; lorsque la source est un faisceau lumineux d'onde courte (380 nm - 405 nm), on parle de technique Digital Light Processing (DLP) ou de technologie LCD ; lorsque la source est un faisceau laser, on parle de technique StereoLithography Apparatus (SLA) (fig.69) [21] :

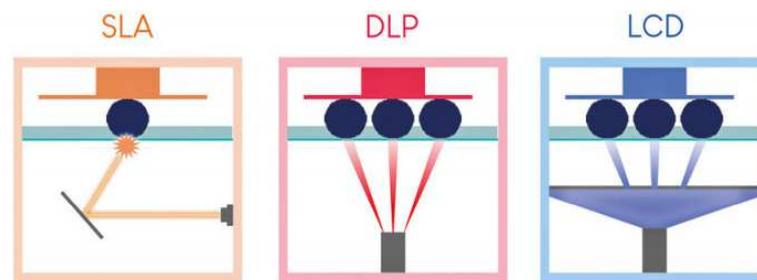


Figure 69 : schémas des modes de fonctionnement des technologies d'impression SLA, DLP et LCD [22].

Une fois l'impression lancée, un plateau d'impression, le plus généralement métallique, s'immerge dans la résine photosensible contenue dans le bac et une réaction de photopolymérisation par apport d'énergie lumineuse entraînera le durcissement de la résine pour la première couche (fig.70 et 71). [21, 22].

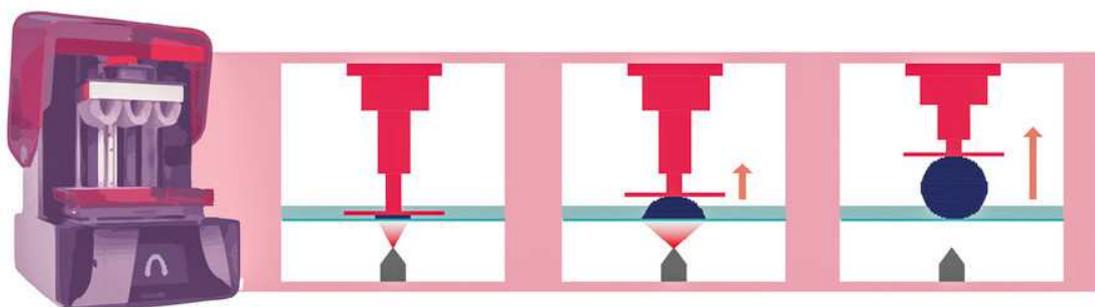


Figure 70 : mode de fonctionnement de la technologie DLP mettant en forme un objet couche par couche [22].

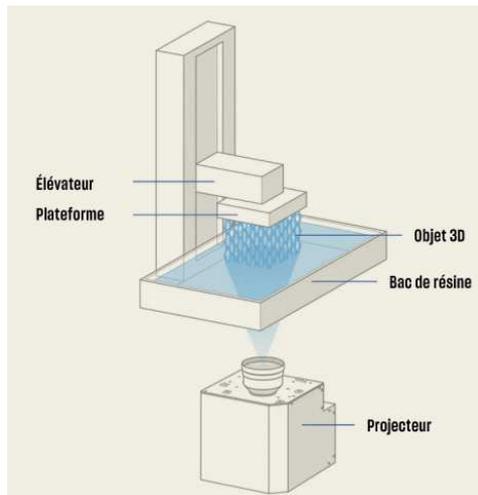


Figure 71 : schéma des constituants de la technologie DLP [20].

La technologie DLP utilise un écran miniature situé à distance du bac contenant la résine photopolymérisable. Le processeur DLP (Digital Light Processor) (fig.72) est constitué d'une matrice de plus d'un million de micro-miroirs (DMD : Digital Micromirror Device) ayant chacun deux positions possibles ; une position réfléchissant la lumière vers la fenêtre d'insolation et une position réfléchissant en dehors de la fenêtre d'insolation. C'est donc une image « pixelisée » qui est projetée sur la fenêtre d'insolation [20,23].

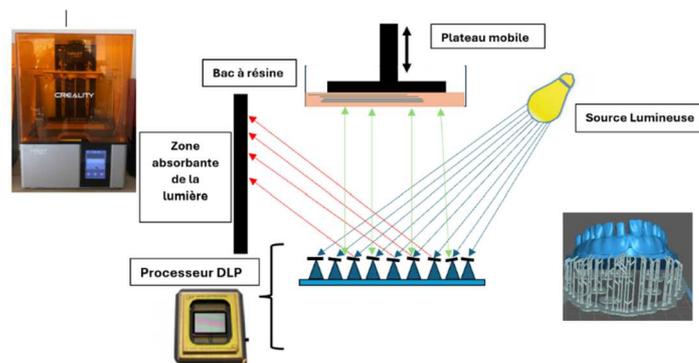


Figure 72 : mode de fonctionnement de l'impression par DLP (iconographie personnelle).

Le procédé DLP a été développé dans le but de réduire les temps d'impression 3D car la technologie SLA (fig.73) doit balayer point par point la résine sur la surface de la pièce avec un laser. Cette technologie est très fiable et est de très grande précision [21].

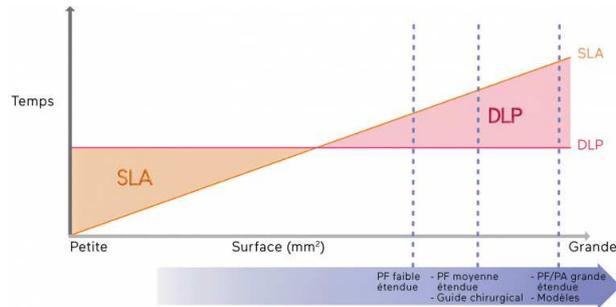


Figure 73 : graphique illustrant la proportionnalité entre la surface et le temps d'impression des deux techniques d'impression (SLA et DLP) [21, 24].

Avant l'étape d'impression, des étapes informatiques sont importantes et nécessaires à réaliser. Ces caractéristiques seront détaillées ci-après.

3.3.4.2. Préparation à l'impression

Le fichier (.STL) a été envoyé sur le logiciel Chitubox® qui a permis de programmer l'impression et régler les différentes caractéristiques de l'imprimante. Au sein du laboratoire Vandeweghe, la Halot SKY 6K® de chez Creality® a été utilisée. La préparation à l'impression a permis de régler l'épaisseur des différentes couches et donc de définir la résolution, la mise en place des piliers, choisir la couche d'exposition inférieure, choisir la hauteur montante, choisir la vitesse du moteur, choisir le nombre de bases, la densité, la taille des points, la localisation des support internes et l'inclinaison d'impression des pièces.

Pour ce faire, il a été convenu ici d'utiliser les paramètres suivants (fig.74) :

- une épaisseur de couche soit une **résolution** de 50 microns ;
- un temps d'exposition initial de 50 secondes ;
- un temps d'exposition de 3,2 secondes ;
- une vitesse du moteur de 3 mm par seconde ;
- une hauteur montante de 6 mm ;
- une couche d'exposition inférieure de 5 mm ;
- une orientation d'impression à 45 degrés.

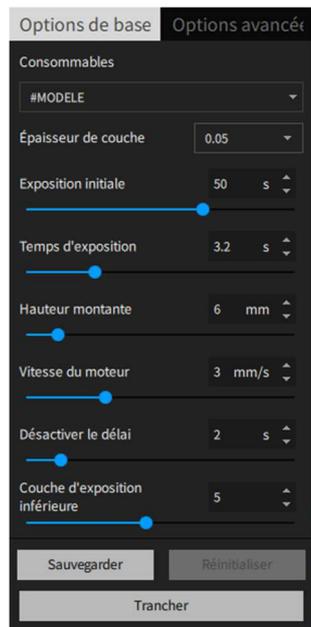


Figure 74 : capture d'écran des paramètres utilisés sur le logiciel Chitubox® pour l'impression des modèles maxillaire et mandibulaire (iconographie personnelle).

La création de la cinématique d'impression avec les différentes étapes et l'avancé d'impression sont visibles sur le logiciel Chitubox® (fig.75).

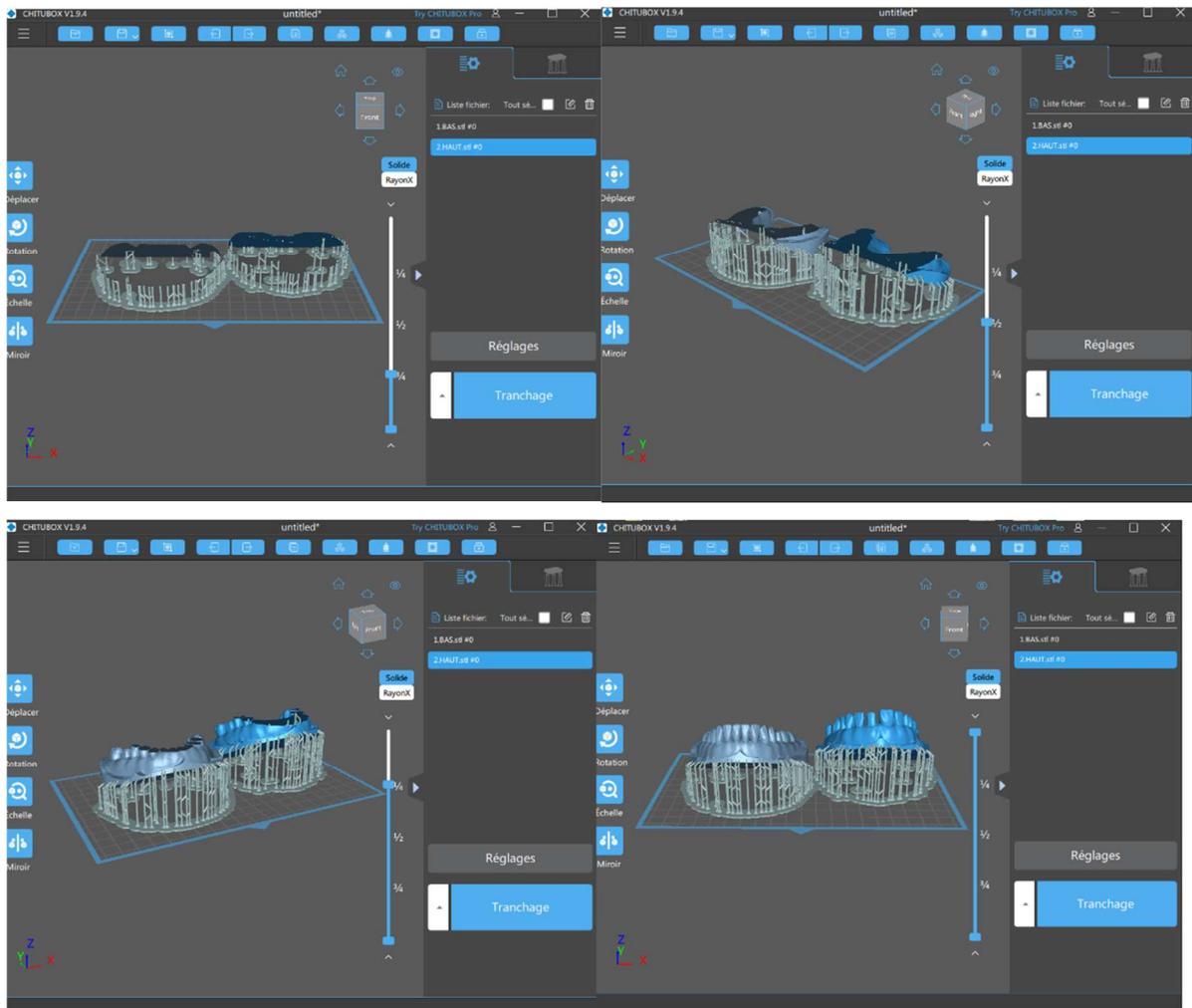


Figure 75 : iconographie illustrant la cinématique d'impression du plateau, des piliers, des modèles maxillaire et mandibulaire (iconographie personnelle).

3.3.4.3. Mise en forme des pièces par polymérisation en cuve

Après avoir choisi et validé tous ces paramètres et validé le rendu final de la cinématique d'impression, ce fichier a été envoyé à l'imprimante 3D.

Pour ce faire, l'imprimante 3D Halot Sky 6K[®] de chez Creality[®] a été utilisée (fig.76). Avec la technologie d'impression par DLP, elle possède une résolution de 5760 x 3600 pixels associée à une source lumineuse de longueur d'onde située entre 390 à 405 nm. La résine utilisée est l'Elegoo Water Washable[®] (fig.77).



Figure 76 : imprimante 3D utilisée « Halot Sky 6K » de chez Creality® (iconographie personnelle)⁸.



Figure 77 : résine utilisée pour l'imprimante 3D Halot Sky de Creality®⁹.

Ici le temps d'impression était de 2h pour l'ensemble des 7 pièces pour l'hémi-préparation avec les mêmes paramètres d'impression cités ci-dessus (fig.78). De plus, l'ensemble de ces mêmes paramètres a été utilisé pour réaliser l'impression des autres modèles. Pour le temps d'impression, il a été de 2h45 pour le maxi modèle maxillaire et de 1h40 pour les modèles à taille normale ; et un temps de 45 minutes pour les deux occluseurs sectoriels. Enfin, un total de 560 mL de résine a été nécessaire pour imprimer l'ensemble de ces modèles.

⁸ <https://www.lesimprimantes3d.fr/comparateur/imprimante3d/creality-3d/halot-sky/> [consulté le 13 décembre 2023]

⁹ <https://3ddentalstore.fr/boutique/imprimante-3d/resines/resines-elegoo/resine-elegoo-water-washable-8k-space-grey/> [consulté le 13 décembre 2023]

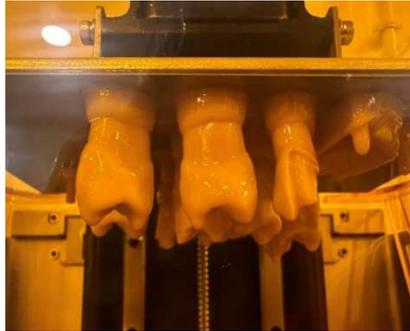


Figure 78 : plateau de l'imprimante 3D « Halot Sky » en fin d'impression (propriété personnelle).

3.3.4.4. Post-traitement

Le post-traitement représente une succession d'étapes obligatoires qui suivent la mise en forme. Actuellement, ces étapes sont limitantes mais sont essentielles en impression 3D par photopolymérisation en cuve. En effet, une fois l'impression terminée, quelle que soit la technologie employée (DLP, SLA, LCD), l'élément imprimé est impropre à une utilisation immédiate. Celui-ci est dans un état faiblement polymérisé, ne présentant pas des propriétés mécaniques, optiques et biologiques satisfaisantes [21].

Le post-traitement consiste en cinq étapes [21] :

- **rinçage** à l'aide d'un solvant qui élimine la résine non polymérisée ;
- **séchage** ;
- **post-polymérisation** dans un dispositif lumineux permettant l'amélioration et le durcissement complet de l'objet imprimé ;
- **élimination des supports** ;
- **polissage**.

L'optimisation de la qualité de ce post-traitement est alors un élément clé pour l'intégrer dans une pratique courante de soins et créer des dispositifs médicaux sur mesure de qualité.

Après l'étape d'impression, la première étape de post-traitement pour une pièce imprimée en résine, consiste à enlever tous les résidus non polymérisés qui la recouvrent. La technique la plus répandue repose sur l'utilisation d'une cuve à ultrasons remplie d'alcool isopropylique à 99% (IPA) dans laquelle les pièces sont plongées. Grâce à l'action mécanique des ultrasons, le solvant peut s'immiscer

facilement dans tous les interstices. Le temps d'action nécessaire était de 10 minutes lors d'un premier bain (fig.79) [21].



Figure 79 : bac de rinçage à ultrasons rempli d'alcool isopropylique (1^{er} bain) (propriété personnelle).

Toujours selon le même mode opératoire, un deuxième rinçage doit être effectué dans un autre bac d'IPA « propre » pendant 10 minutes. (fig.80 et 81) [21]¹⁰.



Figure 80 : iconographie illustrant le premier bain de rinçage dans l'alcool isopropylique (propriété personnelle).



Figure 81 : iconographie illustrant le deuxième bain de rinçage dans l'alcool isopropylique propre pour le modèle maxillaire avec grossissement (iconographie personnelle).

¹⁰ <https://www.primante3d.com/post-traitement-impression-sla-03102019/>] [consulté le 15 janvier 2024]

3.3.4.5. Post-polymérisation et finitions

La post-polymérisation est la dernière étape de post-traitement d'une impression résine. Cette étape a pour rôle de finir la solidification des pièces imprimées en les plaçant dans un four, ici muni de 13 LED multidirectionnelles capables d'émettre une lumière de 405 nm de longueur d'onde ; dans la situation décrite ci-dessus, c'est le four FormCure® de chez Formlabs®¹¹ qui a été utilisé.

Le temps d'exposition aux rayons lumineux était de 30 minutes à 80 degrés (fig. 82, 83 et 84). Le temps de polymérisation est variable et peut aller de quelques minutes si l'objet est évidé, à plusieurs heures s'il est plein. Si au toucher celui-ci est encore « collant », c'est qu'il nécessite d'être exposé plus longtemps. En revanche, trop longtemps exposée, la pièce peut présenter des craquelures, une altération de couleur et une altération des propriétés mécaniques¹².



Figure 82 : iconographie illustrant le four FormCure® de chez Formlabs® utilisé pour photopolymériser les pièces imprimées en 3D (iconographie personnelle).

¹¹ <https://formlabs.com/fr/boutique/post-processing/form-cure/> [consulté le 16 janvier 2024]

¹² <https://www.lefildentaire.com/articles/impression-3d-legislation-environnement-biocompatibilite-message-de-prudence/> [consulté le 14 janvier 2024]



Figure 83 : four utilisé pour polymériser les pièces imprimées en 3D après traitement du maxi modèle maxillaire (iconographie personnelle).



Figure 84 : modèle pédagogique maxillaire et ses MPU en sortie d'étape de photopolymérisation (iconographie personnelle).

Enfin, les supports d'impression ont été sectionnés à l'aide d'une pince coupante et d'un couteau à plâtre (fig.85). Les pièces ont été ensuite polies avec une fraise bague verte multi-lame montée sur un Dremel® (fig.86).



Figure 85 : suppression des piliers connectant le modèle au fond de la cuve d'impression (iconographie personnelle).



Figure 86 : étape de finition avec une fraise multi-lame montée sur Dremel (iconographie personnelle).

À la suite des finitions, les modèles sont contrôlés (fig.87). Il en est de même, pour l'insertion et la désinsertion facilitées des MPU via le mécanisme de bouton poussoir sous les modèles (fig.88, 89, 90 et 91).



Figure 87 : modèles définitifs après l'étape de finition des étapes de l'hemi-préparation (iconographie personnelle).



Figure 88 : iconographie illustrant le modèle mandibulaire mis en forme par technique additive avec les MPU mis en place correctement (iconographie personnelle).



Figure 89 : iconographie illustrant le MPU de la dent 46 en dehors du modèle pédagogique (iconographie personnelle).



Figure 90 : iconographie illustrant le MPU de la dent 35 en dehors du modèle pédagogique (iconographie personnelle).



Figure 91: dessous du modèle après impression montrant la présence de boutons poussoirs afin de faire sortir les MPU des modèles pédagogiques (iconographie personnelle).

3.4. Résultats des mises en forme des modèles

3.4.1 Les modèles pédagogiques physiques

Les différents modèles finaux imprimés qui seront disponibles à la visualisation en TP sont les suivants :

- un modèle maxillaire avec un grossissement de 2 par rapport aux modèles Frasaco® avec l'ensemble des MPU des préparations réalisées (fig.92) ;



Figure 92 : iconographie illustrant le modèle maxi-modèle maxillaire mis en forme par technique additive avec l'ensemble de ses MPUs (iconographie personnelle).

- une paire de modèles maxillaire et mandibulaire en taille réelle ont été imprimés par technique DLP disponibles en salle simulation lors des travaux pratiques (fig.93) ;



Figure 93 : modèles pédagogiques mis en forme par technique DLP en intercuspidie maximale (iconographies personnelles).

- les différentes étapes de préparation d'une couronne monolithique d'une deuxième prémolaire maxillaire droite ont été mises à disposition en salle simulation (fig.94) ;



Figure 94 : modèles pédagogiques présentant les différentes étapes de préparation d'une héli-préparation d'une deuxième prémolaire maxillaire (iconographie personnelle).

- les dents imprimables individuellement et adaptables aux modèles Frasaco® (fig. 95 et 96) ;



Figure 95 : dents préparées et adaptables dans les modèles Frasaco® (iconographie personnelle).



Figure 96 : dents mises en forme par technique additive positionnées et totalement adaptées aux modèles Frasaco® (iconographies personnelles).

- des occluseurs maxillaire et mandibulaire représentant la différence de préparation entre une couronne avec armature et une couronne monolithique (fig.97) ;



Figure 97 : iconographie illustrant les modèles sectoriels d'une préparation périphérique sur une première molaire maxillaire gauche pour une couronne monolithique et une couronne avec armature (propriété personnelle).

3.5. Diffusion et accessibilité des données auprès des étudiants

3.5.1. Mise à disposition des modèles en travaux pratiques.

L'ensemble de ces modèles pédagogiques est mis à disposition en salle simulation, disponible et consultables par l'ensemble des étudiants en amont ou pendant les travaux pratiques. Le but de ces modèles de démonstration est uniquement de guider les étudiants ce vers quoi doit tendre le résultat de leur travail.

3.5.2. Mise à disposition des fichiers numériques sur la plateforme Moodle® et Nextcloud®

Il est souhaité de mettre à disposition des étudiants en accès libre les fichiers (.STL) sur la plateforme Nextcloud® via Moodle®. A l'aide d'un logiciel de visionnage de fichier (.STL), les étudiants pourraient consulter directement les fichiers 3D numériques des modèles et des préparations. De plus, s'ils ont accès à une imprimante 3D, il serait possible pour eux de les imprimer dans un but de visualisation du travail demandé. Afin de respecter le cadre légal de la propriété industrielle, les

démarches pour pouvoir diffuser les fichiers aux étudiants de l'URF3S Odontologie de Lille ont été entreprises avec la société Frasaco GmbH®.

Pour cela, les étudiants devront se connecter avec leur identifiant sur la plateforme Moodle® sur la page de cours « Prothèse fixée P2 : Cours & Travaux pratiques » (fig.98).

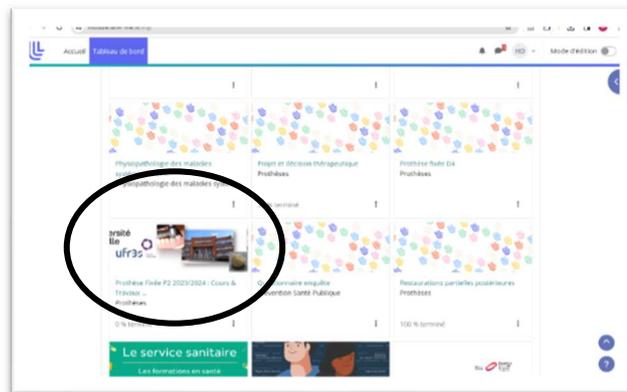


Figure 98 : capture d'écran de la page de prothèse fixée sur la plateforme Moodle®.

Une fois sur la page de cours, ils pourront accéder à l'ensemble des fichiers (.STL) sur Nextcloud® via le lien présent dans la rubrique des travaux pratiques « Fichiers Modèles + Préparations périphériques totales » (fig.99).

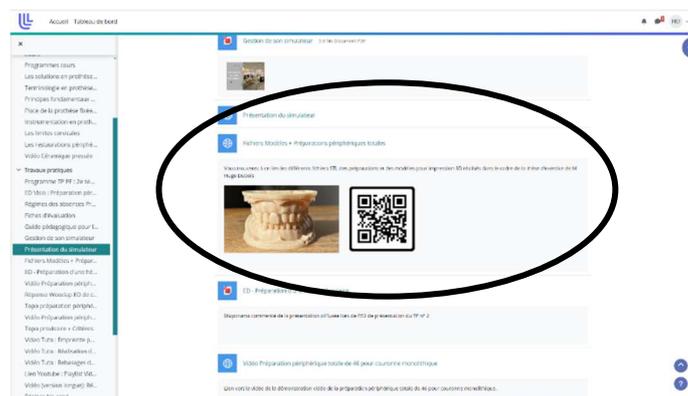


Figure 99 : simulation du lien vers les fichiers (.STL) disponibles dans la rubrique des travaux pratiques de prothèse fixée (iconographie personnelle).

Conclusion

Après avoir réalisé un sondage au préalable auprès des étudiants de deuxième année, il a été constaté qu'il existait un besoin considérable chez les étudiants afin d'améliorer leur apprentissage.

La mise en place de ces modèles pédagogiques va donc jouer un rôle crucial dans l'amélioration de l'appréhension, la compréhension et l'accomplissement des tâches demandées lors des travaux pratiques de deuxième année.

En effet, la simple visualisation et l'exécution de ces tâches ne suffisent pas à garantir la réussite complète du travail de l'étudiant.

L'utilisation de l'impression 3D pour la création de ces modèles s'est révélée très intéressante. D'une part, elle offre une solution facilement reproductible à faible coût, et d'autre part, une précision égale voire meilleure.

Enfin, tous ces modèles seront mis à la disposition des étudiants dès la rentrée de l'année universitaire 2024 / 2025, que ce soit en physique dans la salle de simulation ou à visualiser sur la plateforme Moodle®.

Cela permettra aux étudiants d'avoir un accès facile et pratique à ces ressources, favorisant ainsi leur apprentissage et contribuant à leur réussite.

Références bibliographiques

- [1] Tirlet G, Attal JP. Gradient thérapeutique. *Information Dent.* 2009;41/42:2561-8
- [2] Shillingburg HT. *Fundamentals of Fixed Prosthodontics.* Chicago: Quintessence Publishing Edition 2012.p584
- [3] Bayne SC, Ferracane JL, Marshall GW, Marshall SJ, van Noort R. The evolution of dental materials over the past century: silver and gold to tooth color and beyond. *J Dent Res.* 2019;98(3):257-265.
- [4] Regin M, Mahdhaoui K, Attal JP. Les couronnes tout céramique - Partie 2 - Quel choix dans le secteur postérieur ? *Biomatériaux Clin Dent.* 2020;5(2):31-43.
- [5] Fleutry E. Nouvelle approche pédagogique pour l'apprentissage de la prothèse fixée en DFGSO 2A [Thèse d'exercice.] Lille; 2020
- [6] Lugassy D, Levanon Y, Shpack N, Levartovsky S, Pilo R, Brosh T. An interventional study for improving the manual dexterity of dentistry students. *PLoS ONE* 2019;14(2):116-121.
- [7] Boitelle P, Piquet M, Graux F. Instructeur de préparation : Nouvel Outil pédagogique pour les TP de prothèse fixée en PCE02. CNEPO : Collège National des Enseignants en Prothèse Odontologique, Marseille, France. 2011.
- [8] S. Chevret. Réanimation. Modèles mathématiques utiles en médecine. Issy-les-Moulineaux : Edition Elsevier Masson, France, 2007 vol 3, p. 240-244
- [9] Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, et al. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning.*2021; 2021:9950131.
- [10] Dawood A, Marti Marti B, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J* 2015;219:521–529.
- [11] Czajkowska M, Walejewska E, Zadrozny Ł, Wieczorek M, Świążkowski W, Wagner L, et al. Comparison of dental stone models and their 3D printed acrylic replicas for the accuracy and mechanical properties. *Mater Basel Switz.* 2020;3(1):13-23
- [12] De Boer IR, Wesselink PR, Vervoorn JM. Student performance and appreciation using 3D vs. 2D vision in a virtual learning environment. *Eur. J. Dent. Educ.* 2016;20(3):142-147.
- [13] Höhne C, Schmitter M. 3D printed teeth for the preclinical education of dental students. *J. Dent. Educ.* 2019;83(9):100-106.
- [14] Moser N, Santander P, Quast A. From 3D imaging to 3D printing in dentistry - a practical guide. *Int J Comput.* 2018;21(4):345-356.

- [15] Ender A, Mehl A. Full arch scans: conventional versus digital impressions--an in-vitro study. *Int J Comput Dent.* 2011;14(1):11-21.
- [16] Tapie L, Nicolas L, Attal JP. La chaîne numérique en CFAO dentaire - Structuration de la chaîne de production en prothèse conjointe. *Réalités Cliniques.* 2015;26(4):263-273.
- [17] Casas T, Morice S. L'impression 3D dans le quotidien du chirurgien-dentiste et du laboratoire de prothèse. *Information Dent.* 2023;(22): 54-62.
- [18] Descamp F, Fages M. La CFAO en odontologie : les bases, les principes et les systèmes (Guide clinique). Rueil-Malmaison : Éditions CdP; 2016;p.104.
- [19] Duret F, Blouin JL, Nahmani L, Duret B. Principe de fonctionnement et application technique de l'empreinte optique dans l'exercice de cabinet. *Cah Protheses.* 1985;13: 72-73.
- [20] Etienne O. L'impression 3D en odontologie. 2022;33(3):6-13
- [21] François P, Fouquet V, Caussin É, Dursun E, Attal JP, Le Goff S, et al. Impression 3D au cabinet dentaire Partie 1. Tout ce qu'il faut savoir, expliqué et illustré. 2023; (5):16-36.
- [22] Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D Printing in Dentistry-State of the Art. *Oper Dent.* 2020;45(1):30-40.
- [23] Rungrojwittayakul O, Kan JY, Shiozaki K, Swamidass RS, Goodacre BJ, Goodacre CJ, et al. Accuracy of 3d printed models created by two technologies of printers with different designs of model base. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont.* 2020;29(2):124-128.
- [24] Maghami E, Homaei E, Farhangdoost K, Pow EHN, Matinlinna JP, Tsoi JKH. Effect of preparation design for all-ceramic restoration on maxillary premolar: a 3d finite element study. *J Prosthodont Res.* 2018;62(4):436-442.

Webographie

- 1- <https://www.ada.org/publications/cdt/glossary-of-dental-clinical-terms> [consulté le 13 octobre 2023]
- 2- <https://www.idweblogs.com/cfao/les-limites-peripheriques-des-preparations-en-prothese> [consulté le 20 novembre 2023]
- 3- https://moodle.univ-lille.fr/pluginfile.php/575121/mod_resource/content/15/guide_eval_prep_PF_P2_2023.pdf [Consulté le 13 octobre 2023]
- 4- <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/pC3A9dagogie/58918> [consulté le 4 janvier 2024]
- 5- https://www.has-sante.fr/jcms/c_1355008/fr/guide-bonnes-pratiques-simulation-sante-guide [consulté le 23 septembre 2023]
- 6- Source : <https://www.dentsplysirona.com/content/dentsply-sirona/fr-fr/decouvreznos-produits/impression-numerique/primescan.html> [consulté le 21 janvier 2024]
- 7- <https://www.researchandmarkets.com/reports/4375433/3d-printing-market-size-share-and-trends-analysis> [consulté le 03 janvier 2024]
- 8- <https://www.lesimprimantes3d.fr/comparateur/imprimante3d/creality-3d/halot-sky/> [consulté le 13 décembre 2023]
- 9- <https://3ddentalstore.fr/boutique/imprimante-3d/resines/resines-elegoo/resine-elegoo-water-washable-8k-space-grey/> [consulté le 13 décembre 2023]
- 10- <https://www.primante3d.com/post-traitement-impression-sla-03102019/> [consulté le 15 janvier 2024]
- 11- <https://formlabs.com/fr/boutique/post-processing/form-cure/> [consulté le 16 janvier 2024]
- 12- <https://www.lefildentaire.com/articles/impression-3d-legislation-environnement-biocompatibilite-message-de-prudence/> [consulté le 14 janvier 2024]

Table des illustrations

Figure 1 : schéma illustrant un axe d'insertion correct et satisfaisant (A) et un mauvais axe d'insertion (B) ce qui empêche la mise en place de la couronne [2].	19
Figure 2 : photographie d'une préparation réalisée sur 21 dans le respect du grand axe de la dent (iconographie personnelle).	20
Figure 3 : schéma de l'axe de préparation et l'axe longitudinal des dents mandibulaire (courtoisie Dr Denis).	21
Figure 4 : schéma représentant les axes dentaires maxillaire et mandibulaire des secteurs postérieurs [2].	21
Figure 5 : photographies d'une erreur d'axe de préparation trop distalée (A) et la tenue de la fraise dans l'axe de préparation correct et parallèle au grand axe de la dent (B) (iconographie personnelle).	22
Figure 6 : schéma illustrant une préparation dentaire dont le périmètre cervical est supérieur au périmètre occlusal (courtoisie Dr Denis).	22
Figure 7 : graphique expliquant la proportionnalité entre la mise en dépouille et le pouvoir de rétention [2].	23
Figure 8 : schéma de l'axe de la fraise à utiliser qui doit correspondre au grand axe de la dent (courtoisie Dr Denis).	23
Figure 9 : dessin illustrant l'examen des préparations avec l'aide de son œil directeur afin de déceler des contre-dépouilles [2].	24
Figure 10: photographie illustrant l'appréciation des faces périphériques axiales permettant de conclure à leur convergentes vers la face occlusale (iconographie personnelle).	24
Figure 11: schéma illustrant la présence d'une contre dépouille au niveau de la face palatine (courtoisie Dr Denis).	25
Figure 12 : photographie illustrant la présence de contre dépouilles au niveau de la face distale de 15 et 16, induites par une erreur d'axe de préparation (iconographie personnelle).	25
Figure 13 : schéma illustrant les trois positions de limites possibles. Supra- gingivale (A), juxta-gingivale (B) et intrasulculaire (C).	26
Figure 14 : schéma illustrant les épaisseurs de réduction pour une couronne monolithique (couronne coulée ou monolithique full zircon) [4].	28
Figure 15 : schéma illustrant l'épaisseur de préparation en vestibulaire et en buccal pour une préparation périphérique d'une couronne avec armature (CCM, CCC-Z) (courtoisie Dr Denis).	28
Figure 16 : vue occlusale de préparations périphériques pour couronne avec armature respectivement à gauche pour une CCM et à droite pour une CCC-Z (courtoisie Dr Denis).	29
Figure 17: schéma illustrant l'épaisseur de réduction de la face occlusale pour les préparations pour couronne monolithique (courtoisie Dr Denis d'après [4]).	29
Figure 18 : schéma illustrant l'épaisseur de préparation d'une couronne avec armature (courtoisie Dr Denis).	30
Figure 19: schéma illustrant le contrôle de la réduction de la face occlusale (courtoisie Dr Denis).	30
Figure 20 : Iconographie illustrant respectivement de gauche à droite : avant réduction des versants externes, l'axe des biseaux et après réduction des versants externes (propriété personnelle).	31
Figure 21: photographies d'une préparation sur 46, présentant une intégration intra-arcade incorrecte (les cuspides vestibulaires en dehors de la droite passant par les cuspides vestibulaires des dents adjacentes (A) et une préparation avec une intégration intra-arcade correcte (B) (propriété personnelle).	32
Figure 22 : coffret de fraises Komet® utilisé par les étudiants (iconographie personnelle).	33
Figure 23 : instructeur de préparation Frasaco® [7] (iconographie personnelle).	36
Figure 24 : vue latérale du modèle OSY en plexiglas de chez Frasaco® en (A) et en vue supérieure (B) après préparation [7].	36
Figure 25 : photographie du modèle Frasaco® ANA-4 maxillaire et mandibulaire en intercuspitation maximale (iconographie personnelle).	36
Figure 26 : exemple de planning des travaux pratiques du premier semestre (courtoisie Dr Corentin Denis).	37
Figure 27 : capture d'écran des réponses proposées par les étudiants lors des enseignements dirigés de corrections des travaux (courtoisie Dr Corentin Denis).	38

Figure 28 : photographie de deux étudiants de 2ème année en binôme évaluant mutuellement leur préparation (courtoisie Dr Corentin Denis).....	38
Figure 29 : capture d'écran de l'ensemble des cours théoriques disponibles sur la plateforme Moodle® (iconographie personnelle).....	39
Figure 30 : « guide pédagogique » permettant aux étudiants de s'auto-évaluer.....	40
Figure 31 : grille de notation pour les travaux pratiques de préparation périphérique totale (courtoisie Dr Corentin Denis).....	40
Figure 32 : capture d'écran de la plateforme LillePod® de la vidéo d'une préparation pour couronne monolithique sur une première molaire mandibulaire droite.....	41
Figure 33 : Iconographie des modèles pédagogiques en plâtre montrant les étapes d'une préparation sur une deuxième prémolaire maxillaire (propriété personnelle).....	41
Figure 34 : modèle Frasaco® mandibulaire en vue occlusale présentant une préparation pour CCM sur une première molaire mandibulaire droite (iconographie personnelle).....	42
Figure 35 : résultats du sondage montrant les difficultés de visualiser le travail demandé (iconographie personnelle).....	43
Figure 36 : résultats du sondage montrant les difficultés de réaliser le travail demandé (iconographie personnelle).....	43
Figure 37 : résultats du sondage montrant les notions difficiles à appréhender (iconographie personnelle).....	44
Figure 38 : résultats du sondage à propos de la compréhension de leurs erreurs (iconographie personnelle).....	44
Figure 39 : résultats à la suite de l'ED sur l'application Woodclap® (iconographie personnelle).....	45
Figure 40 : résultats du sondage sur les besoins des étudiants d'avoir des nouveaux modèles pédagogiques (iconographie personnelle).....	45
Figure 41 : solutions possibles pour améliorer la compréhension et la réalisation des travaux pratiques (iconographie personnelle).....	46
Figure 42 : hémi-préparation sur une deuxième prémolaire maxillaire droite (iconographie personnelle).....	50
Figure 43 : préparation périphérique d'une couronne monolithique sur une deuxième prémolaire maxillaire droite (iconographie personnelle).....	50
Figure 44 : préparation périphérique d'une couronne monolithique sur une première molaire mandibulaire droite (iconographie personnelle).....	51
Figure 45 : préparation périphérique d'une couronne monolithique sur une première molaire maxillaire gauche (iconographie personnelle).....	51
Figure 46 : préparation périphérique d'une couronne monolithique sur une deuxième prémolaire mandibulaire gauche (iconographie personnelle).....	51
Figure 47 : préparation périphérique d'une couronne avec armature (type CCM, CCC-Z) sur une canine maxillaire droite (iconographie personnelle).....	52
Figure 48 : préparation périphérique d'une couronne avec armature (type CCM, CCC-Z) sur une incisive centrale maxillaire gauche (propriété personnelle).....	52
Figure 49 : préparation périphérique d'une couronne avec armature (type CCM, CCC-Z) sur une première molaire maxillaire gauche (propriété personnelle).....	52
Figure 50 : schéma des 3 maillons indissociables du flux numérique en CFAO [17].....	53
Figure 51 : acquisition des données d'une hémi-prémolaire maxillaire (iconographie personnelle).....	54
Figure 52 : capture d'écran de l'unit DentsplySirona® en cours d'acquisition de l'hémi-préparation d'une deuxième prémolaire maxillaire (iconographie personnelle).....	54
Figure 53 : capture d'écran de l'interface DentsplySirona® à la fin de l'acquisition de l'hémi-préparation d'une deuxième prémolaire maxillaire (iconographie personnelle).....	55
Figure 54 : capture d'écran de l'interface DentsplySirona® pour la création du modèle et l'hémi-préparation d'une deuxième prémolaire maxillaire (iconographie personnelle).....	55
Figure 55 : capture d'écran du modèle 3D d'une préparation périphérique sur une première molaire maxillaire gauche issu du logiciel Blender® (iconographie personnelle).....	55
Figure 56 : capture d'écran des fichiers (.STL) d'une préparation périphérique d'une 21, 26 et une hémi préparation sur 15 issu du logiciel Blender® (iconographie personnelle).....	56
Figure 57 : scanner extra-oral 3SHAPE® E3 (iconographie personnelle).....	56
Figure 58 : capture d'écran des fichiers (.STL) des modèles maxillaire et mandibulaire sur le logiciel Blender® après l'acquisition des données avec le scanner extra-oral (iconographie personnelle).....	57

Figure 59 : capture d'écran du tracé de la limite cervicale de la préparation sur la prémolaire maxillaire droite afin de confectionner les MPU issus du logiciel 3SHAPE® (iconographie personnelle).....	58
Figure 60 : capture d'écran des paramètres utilisés pour tracer manuellement la limite cervicale (iconographie personnelle).	58
Figure 61 : capture d'écran de l'axe de confection du MPU sur la dent 15 (iconographie personnelle).	58
Figure 62 : capture d'écran de la confection de la limite cervicale sur la dent 13 et la réalisation du MPU sur 15 (iconographie personnelle).	59
Figure 63 : capture d'écran du modèle maxillaire en vue occlusale avec l'ensemble des MPU modélisés sur le logiciel 3SHAPE® (iconographie personnelle).....	59
Figure 64 : capture d'écran des modèles maxillaire et mandibulaire avec l'ensemble des MPU correspondants aux préparations périphériques visibles sur le logiciel Blender® (iconographie personnelle).	59
Figure 65 : capture d'écran de la confection de la limite cervicale et de l'axe de préparation sur la dent 26 pour une couronne avec armature (iconographie personnelle).....	60
Figure 66 : capture d'écran illustrant les modèles sectoriels des secteurs 2 et 3 face vestibulaire (A) et face buccale (B) montrant une préparation périphérique pour couronne avec armature (iconographie personnelle).	60
Figure 67 : capture d'écran illustrant les modèles sectoriels en occlusion avec la création des bases et piliers (iconographie personnelle).....	61
Figure 68 : capture d'écran illustrant les modèles sectoriels des secteurs 2 et 3 face vestibulaire (A) et face buccale (B) montrant une préparation périphérique pour couronne avec armature (iconographie personnelle).	61
Figure 69 : schémas des modes de fonctionnement des technologies d'impression SLA, DLP et LCD [22]......	62
Figure 70 : mode de fonctionnement de la technologie DLP mettant en forme un objet couche par couche [22]......	62
Figure 71 : schéma des constituants de la technologie DLP [20]......	63
Figure 72 : mode de fonctionnement de l'impression par DLP (iconographie personnelle).	63
Figure 73 : graphique illustrant la proportionnalité entre la surface et le temps d'impression des deux techniques d'impression (SLA et DLP) [21, 24].	64
Figure 74 : capture d'écran des paramètres utilisés sur le logiciel Chitubox® pour l'impression des modèles maxillaire et mandibulaire (iconographie personnelle).	65
Figure 75 : iconographie illustrant la cinématique d'impression du plateau, des piliers, des modèles maxillaire et mandibulaire (iconographie personnelle).	66
Figure 76 : imprimante 3D utilisée « Halot Sky 6K » de chez Creality® (iconographie personnelle).....	67
Figure 77 : résine utilisée pour l'imprimante 3D Halot Sky de Creality®	67
Figure 78 : plateau de l'imprimante 3D « Halot Sky » en fin d'impression (propriété personnelle).	68
Figure 79 : bac de rinçage à ultrasons rempli d'alcool isopropylique (1 ^{er} bain) (propriété personnelle).	69
Figure 80 : iconographie illustrant le premier bain de rinçage dans l'alcool isopropylique (propriété personnelle).	69
Figure 81 : iconographie illustrant le deuxième bain de rinçage dans l'alcool isopropylique propre pour le modèle maxillaire avec grossissement (iconographie personnelle).	69
Figure 82 : iconographie illustrant le four FormCure® de chez Formlabs® utilisé pour photopolymériser les pièces imprimées en 3D (iconographie personnelle).....	70
Figure 83 : four utilisé pour polymériser les pièces imprimées en 3D après traitement du maxi modèle maxillaire (iconographie personnelle).	71
Figure 84 : modèle pédagogique maxillaire et ses MPU en sortie d'étape de photopolymérisation (iconographie personnelle).	71
Figure 85 : suppression des piliers connectant le modèle au fond de la cuve d'impression (iconographie personnelle).	71
Figure 86 : étape de finition avec une fraise multi-lame montée sur Dremel (iconographie personnelle).	72
Figure 87 : modèles définitifs après l'étape de finition des étapes de l'hemi-préparation (iconographie personnelle).	72
Figure 88 : iconographie illustrant le modèle mandibulaire mis en forme par technique additive avec les MPU mis en place correctement (iconographie personnelle).....	72

Figure 89 : iconographie illustrant le MPU de la dent 46 en dehors du modèle pédagogique (iconographie personnelle).	72
Figure 90 : iconographie illustrant le MPU de la dent 35 en dehors du modèle pédagogique (iconographie personnelle).	73
Figure 91: dessous du modèle après impression montrant la présence de boutons poussoirs afin de faire sortir les MPU des modèles pédagogiques (iconographie personnelle).	73
Figure 92 : iconographie illustrant le modèle maxi-modèle maxillaire mis en forme par technique additive avec l'ensemble de ses MPUs (iconographie personnelle).	74
Figure 93 : modèles pédagogiques mis en forme par technique DLP en intercuspidie maximale (iconographies personnelles).	74
Figure 94 : modèles pédagogiques présentant les différentes étapes de préparation d'une hémipréparation d'une deuxième prémolaire maxillaire (iconographie personnelle).	75
Figure 95 : dents préparées et adaptables dans les modèles Frasaco® (iconographie personnelle). .	75
Figure 96 : dents mises en forme par technique additive positionnées et totalement adaptées aux modèles Frasaco® (iconographies personnelles).	75
Figure 97 : iconographie illustrant les modèles sectoriels d'une préparation périphérique sur une première molaire maxillaire gauche pour une couronne monolithique et une couronne avec armature (propriété personnelle).	76
Figure 98 : capture d'écran de la page de prothèse fixée sur la plateforme Moodle®.	77
Figure 99 : simulation du lien vers les fichiers (.STL) disponibles dans la rubrique des travaux pratiques de prothèse fixée (iconographie personnelle).	77

REALISATION DE MODELES PEDAGOGIQUES DANS LE CADRE DES TRAVAUX PRATIQUES DE PROTHESE FIXEE A L'UFR3S – Odontologie de Lille

DUBOIS Hugo

p. 86 : ill. 99 ; réf. 24

Domaines : Prothèse Fixée ; Pédagogie

Mots clés Libres : Prothèse fixée Préparation périphérique, mise en forme additive, impression 3D, modèle pédagogique,

Résumé de la thèse en français

Lorsque nous évoquons l'art de restaurer la fonction et l'esthétique au sein de la pratique dentaire, les préparations périphériques totales sont d'une importance cruciale dans le processus de conception et de réalisation des prothèses fixées.

Pour bon nombre d'étudiants, ces travaux pratiques s'avèrent être un défi, engendrant des difficultés considérables à la fois dans la compréhension mais aussi dans la réalisation pratique. Ainsi, l'objectif de ce travail a été de fournir aux futurs étudiants des modèles pédagogiques novateurs, à la fois divertissants, plus précis et plus captivants.

Le premier temps sera consacré à un rappel théorique des notions sur la réalisation des préparations périphériques totales. Ensuite seront développées les différents supports disponibles lors des travaux pratiques et leurs limites. Enfin seront présentées les différentes étapes de production des nouveaux modèles pédagogiques avec leurs méthodes de diffusion et d'accessibilité auprès des étudiants.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Philippe BOITELLE

Assesseurs : Monsieur le Docteur François DESCAMP

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Madame le Docteur Edwine FLEUTRY

Monsieur le Docteur Adam ABED