

**UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER**  
**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

---

ANNEE 2021

2021 TOU3 3044

**THÈSE**

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

**Thomas TRUCHETTO**

le 31 août 2021

**GRILLE ANALYTIQUE ASSISTEE PAR ORDINATEUR POUR  
EVALUER LES PREPARATIONS CORONO-PERIPHERIQUES  
PRE-CLINIQUES**

Directeur de thèse : Dr Antoine GALIBOURG

**JURY**

Président :	Pr Olivier HAMEL
1er assesseur :	Dr Karim NASR
2e assesseur :	Dr Paul MONSARRAT
3e assesseur :	Dr Antoine GALIBOURG
Invité :	Dr Jean DUMONCEL



## Faculté de Chirurgie Dentaire

### ➔ DIRECTION

#### DOYEN

M. Philippe POMAR

#### ASSESEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONIOT

Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

#### CHARGÉS DE MISSION

M. Karim NASR (*Innovation Pédagogique*)

M. Olivier HAMEL (*Maillage Territorial*)

M. Franck DIEMER (*Formation Continue*)

M. Philippe KEMOUN (*Stratégie Immobilière*)

M. Paul MONSARRAT (*Intelligence Artificielle*)

#### PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Cathy NABET

#### DIRECTRICE ADMINISTRATIVE

Mme Muriel VERDAGUER

### ➔ PERSONNEL ENSEIGNANT

### ➔ HONORARIAT

#### DOYENS HONORAIRES

M. Jean LAGARRIGUE +

M. Jean-Philippe LODTER +

M. Gérard PALOUDIER

M. Michel SIXOU

M. Henri SOULET

### ➔ ÉMÉRITAT

M. Damien DURAN

Mme Geneviève GRÉGOIRE

M. Gérard PALOUDIER

## Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

### 56.01 ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE et ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE (Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER)

#### ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeurs d'Université : Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER, M. Frédéric VAYSSE

Maîtres de Conférences : Mme Emmanuelle NOIRRI-ESCLASSAN, Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY

Assistants : Mme Alice BROUTIN, Mme Marion GUY-VERGER

Adjoints d'Enseignement : M. Sébastien DOMINE, M. Robin BENETAH, M. Mathieu TESTE,

#### ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : M. Pascal BARON, Mme Christiane LODTER, M. Maxime ROTENBERG

Assistants : Mme Isabelle ARAGON, Mme Anaïs DIVOL,

### 56.02 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE (Mme NABET Catherine)

Professeurs d'Université : M. Michel SIXOU, Mme Catherine NABET, M. Olivier HAMEL

Maître de Conférences : M. Jean-Noël VERGNES

Assistant: M. Julien ROSENZWEIG

Adjoints d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, Mme Géromine FOURNIER

M. Fabien BERLIOZ, M. Jean-Philippe GATIGNOL, Mme Carole KANJ

## Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

### 57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE (M. Philippe KEMOUN)

#### PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences : M. Pierre BARTHET, Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN, Mme Alexia VINEL

Assistants: Mme Charlotte THOMAS, M. Joffrey DURAN

Adjoints d'Enseignement : M. Loïc CALVO, M. Christophe LAFFORGUE, M. Antoine SANCIER, M. Ronan BARRE, Mme Myriam KADDECH, M. Matthieu RIMBERT,

## CHIRURGIE ORALE

Professeur d'Université : Mme Sarah COUSTY  
Maîtres de Conférences : M. Philippe CAMPAN, M. Bruno COURTOIS  
Assistants : Mme Léonore COSTA-MENDES, M. Clément CAMBRONNE  
Adjoints d'Enseignement : M. Gabriel FAUXPOINT, M. Arnaud L'HOMME, Mme Marie-Pierre LABADIE, M. Luc RAYNALDY, M. Jérôme SALEFRANQUE,

## BIOLOGIE ORALE

Professeur d'Université : M. Philippe KEMOUN  
Maîtres de Conférences : M. Pierre-Pascal POULET, M. Vincent BLASCO-BAQUE  
Assistants : M. Antoine TRIGALOU, Mme Inessa TIMOFEEVA, M. Matthieu MINTY, Mme Chiara CECCHIN-ALBERTONI  
Adjoints d'Enseignement : M. Mathieu FRANC, M. Hugo BARRAGUE, M. Maxime LUIS

## **Section CNU 58 : Réhabilitation Orale**

### **58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX** (M. Serge ARMAND)

#### **DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE**

Professeur d'Université : M. Franck DIEMER  
Maîtres de Conférences : M. Philippe GUIGNES, Mme Marie GURGEL-GEORGELIN, Mme Delphine MARET-COMTESSE  
Assistants : M. Jérôme FISSE, M. Sylvain GAILLAC, Mme Sophie BARRERE, Mme. Manon SAUCOURT  
M. Ludovic PELLETIER, M. Nicolas ALAUX  
Adjoints d'Enseignement : M. Eric BALGUERIE, M. Jean- Philippe MALLETT, M. Rami HAMDAN, M. Romain DUCASSE

#### **PROTHÈSES**

Professeurs d'Université : M. Serge ARMAND, M. Philippe POMAR  
Maîtres de Conférences : M. Jean CHAMPION, M. Rémi ESCLASSAN, M. Florent DESTRUHAUT  
Assistants : M. Antonin HENNEQUIN, M. Bertrand CHAMPION, Mme Caroline DE BATAILLE, Mme Margaux BROUTIN, Mme Coralie BATAILLE  
Assistant Associé : M. Antoine GALIBOURG,  
Adjoints d'Enseignement : M. Christophe GHRENASSIA, Mme Marie-Hélène LACOSTE-FERRE, M. Olivier LE GAC, M. Louis Philippe GAYRARD, M. Jean-Claude COMBADAZOU, M. Bertrand ARCAUTE,  
M. Eric SOLYOM, M. Michel KNAFO, M. Alexandre HEGO DEVEZA, M. Victor EMONET-DENAND  
M. Thierry DENIS

#### **FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX**

Maîtres de Conférences : Mme Sabine JONJOT, M. Karim NASR, M. Paul MONSARRAT  
Assistants : M. Thibault CANCEILL, M. Julien DELRIEU, M. Paul PAGES  
Adjoints d'Enseignement : Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, Mme Josiane BOUSQUET, M. Damien OSTROWSKI

-----

Mise à jour pour le 25 mai 2021

## REMERCIEMENTS

A mes parents, pour leur exemple et encouragement à la réussite personnelle, pour leur présence et participation à une jeunesse épanouie.

A ma sœur, Mathilde. Je te souhaite du bonheur dans tous tes projets.

A mes grands-parents, arrière-grands-parents, qui m'ont toujours suivi de près dans mes aventures, d'un soutien sans faille.

A ma famille, citant parmi d'autres parrain et marraine, cousins et cousines, grands-oncles et grands-tantes.

A Mathilde, qui rend mon quotidien plus heureux et partage tant de choses. Je nous souhaite de rester sur cette même lancée.

A mes amis aveyronnais, toujours prêts à se retrouver sur deux roues ou autour d'une table, une belle Entente, que ça continue.

A ces rencontres à la fac, amis, futurs confrères, à la motivation exceptionnelle lorsqu'il s'agit de partir en vadrouille ou de passer un simple moment. Je compte sur vous pour garder autant de dynamisme et d'appétence aux sorties.

A mon acolyte et binôme clinique, Paul, force tranquille mais surtout blagueur dans l'âme. J'espère que tu maintiens la même ambiance en cabinet que celle que t'apportais en clinique.

A mon pote de première année, Marc, pour ton second degré et tes bonnes nouvelles, à deux nous étions plus forts. Je te souhaite une spécialité passionnante.

A ces praticiens et toutes leurs équipes, tous bienveillants, m'ayant ouvert leurs cabinets et montré la diversité de ce métier, puis m'ayant fait confiance pour les remplacer : Sébastien, Dominique, Ana, Laure, Sylvie.

A tous ceux que j'oublie mais que j'apprécie sans nul doute.

**A notre Président du jury,**

**Monsieur le Professeur Olivier HAMEL**

- Professeur des Universités,
- Praticien Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherches Dentaires,
- Chef de Service - Service d'Odontologie du CHU de Toulouse,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Spécialiste Qualifié « Médecine Bucco-Dentaire »,
- Docteur en Ethique Médicale et Biologique de l'Université Paris Descartes,
- Habilitation à Diriger des Recherches (HDR),
- Chevalier dans l'Ordre des Palmes Académiques.

*Nous avons beaucoup à apprendre de votre sagesse et de vos qualités d'écoute.  
Vos enseignements nous ont permis d'envisager l'exercice de la profession dans sa globalité.*

*Je vous remercie d'avoir accepté la présidence de ce jury.*

**A notre jury de thèse,**

**Monsieur le Docteur Karim NASR**

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,
- Master 1 Biotechnologies - Biostatistiques,
- Master 2 Recherche en Sciences des Matériaux,
- Certificat d'Études Supérieures de technologie des matériaux employés en Art Dentaire,
- Certificat d'Études Supérieures de prothèse Dentaire (option prothèse scellée),
- Responsable du domaine d'enseignement Imagerie et Numérique,
- Responsable de l'Attestation d'Études Universitaires d'Imagerie maxillo-faciale,
- Responsable du Diplôme Universitaire de CFAO en Odontologie,
- Chargé de mission à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse.

*Vous nous avez fait découvrir avec talent les flux digitaux  
et les biomatériaux de la dentisterie moderne.*

*Je vous remercie d'avoir accepté de siéger dans ce jury.*

**A notre jury de thèse,**

**Monsieur le Docteur Paul MONSARRAT**

- Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier - Spécialité Physiopathologie,
- Lauréat de la faculté de Médecine Rangueil et de Chirurgie Dentaire de l'Université Paul Sabatier,
- Diplôme Universitaire d'Imagerie maxillo-faciale,
- Diplôme Universitaire de Recherche Clinique en Odontologie,
- Habilitation à Diriger des Recherches (HDR).

*Votre présence en clinique nous a été d'une grande aide.*

*Nous saluons votre dynamisme et votre polyvalence.*

*Je vous remercie d'avoir accepté de siéger dans ce jury.*

**A notre Directeur de thèse,**

**Monsieur le Docteur Antoine GALIBOURG**

- Assistant hospitalo-universitaire d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Master 1 : Biosanté,
- Ingénieur de l'Institut Catholique des Arts et Métiers,
- Diplôme Universitaire d'Imagerie 3D,
- Diplôme Universitaire d'Implantologie.

*Vous m'avez initié aux sciences expérimentales et leur rigueur.  
J'ai apprécié votre pédagogie, votre disponibilité et votre sympathie.  
Veuillez trouver ici le témoignage de ma plus grande gratitude.*

*Je vous remercie d'avoir dirigé cette thèse.*



**A notre jury de thèse,**

**Monsieur le Docteur Jean DUMONCEL**

- Docteur en Informatique,
- Ingénieur d'études au CNRS.

*Vous m'avez très gentiment épaulé dans les aspects techniques de ce travail.*

*Votre disponibilité et vos compétences m'ont impressionné.*

*Ce travail n'aurait pas été possible sans vous.*

*Pour cela, je vous suis profondément reconnaissant.*

*Je vous remercie d'avoir accepté de siéger dans ce jury.*

# TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>12</b>
<b>1. CONTEXTE ET ENJEUX .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Historique de l’outil 3D dans la formation des étudiants .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2. Les outils existants .....</b>	<b>15</b>
1.2.1. Comparaison de 3 systèmes .....	15
1.2.2. Limites techniques .....	18
<b>1.3. Place de ces outils dans la pédagogie .....</b>	<b>19</b>
1.3.1. Ressenti des étudiants .....	19
1.3.2. Comparaison de la progression : méthode traditionnelle vs. 3D .....	21
1.3.3. Enjeux de l’intégration dans les travaux pratiques .....	22
<b>2. EXPERIMENTATION .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1. Matériels et méthodes .....</b>	<b>25</b>
2.1.1. Socles .....	26
2.1.2. Scanners 3D .....	28
2.1.3. Traitement des surfaces .....	30
<b>2.2. Résultats .....</b>	<b>32</b>
<b>2.3. Discussion .....</b>	<b>33</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>37</b>
<b>Annexe 1 : Compte-rendu à destination des étudiants et de l’enseignant .....</b>	<b>39</b>
<b>Annexe 2 : Tableau précisant le volume (mm<sup>3</sup>) soustrait et la distance totale de déformation entre les 69 dents préparées et la dent non-préparée .....</b>	<b>40</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>41</b>
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>43</b>

# INTRODUCTION

Les travaux pratiques (TP) de prothèse fixée à la faculté de chirurgie dentaire de Toulouse sont destinés à développer des capacités manuelles dans le cursus universitaire des étudiants en odontologie. Au-delà d'initier au geste technique qu'est la préparation dentaire corono-périphérique pour couronne prothétique, les TP acclimatent les étudiants au maniement des outils rotatifs dans un travail de précision et répondant à des critères définis. L'évaluation des travaux a lieu à différents moments : au cours de la réalisation avec des conseils dispensés oralement en direct et à la fin de la réalisation avec une note qui sanctionne ce travail. Les enseignants utilisent un vocabulaire décrivant les caractéristiques des préparations. La question se pose de savoir si cette évaluation est intelligible et compréhensible par l'étudiant ? Comment décrire une forme avec des mots ?

Pour pallier ces défauts, des outils digitaux sont apparus dans la dernière décennie pour remplacer ou compléter l'enseignant dans l'évaluation <sup>1,2</sup>. Les étudiants les apprécient mais les considèrent chronophages <sup>3,4</sup>. On peut également se poser la question de savoir si ces évaluations numériques sont compatibles à l'échelle d'une promotion de plus de 100 étudiants ? Sur le plan pédagogique, les études rapportent l'intérêt de la notation par grille analytique par rapport à la méthode subjective globale <sup>5,6</sup>.

Ce travail veut croiser les technologies existantes pour fournir à l'enseignant et à l'étudiant des supports illustrés d'évaluation de manière automatisée et rapide.

Le traitement numérique des préparations réalisées en TP s'envisagera à l'échelle d'une promotion complète de 100 étudiants. La finalité est de mettre à disposition un document unique et personnel pour chaque étudiant, comme une aide à l'autocritique via des images, comme une assistance à la notation pour l'enseignant.

Au travers de la première partie, ce travail fait le point sur les outils existants et leur place dans la pédagogie. Au travers de la seconde, est proposée une automatisation du processus numérique associée à la notation analytique d'une promotion.

# **1. CONTEXTE ET ENJEUX**

## 1.1. Historique de l'outil 3D dans la formation des étudiants

En 2003, deux premières publications faisant référence à des simulateurs font part de l'intégration d'un système de réalité virtuelle (VR) dans le cursus préclinique dentaire en odontologie conservatrice <sup>1,7</sup>. Si dans la première les étudiants reconnaissent la qualité du feedback quand la VR s'ajoute à la méthode conventionnelle, ils sont 95% à affirmer qu'elle ne pourrait la remplacer en raison d'une critique excessive et d'un manque de contact personnel <sup>1</sup>. La deuxième étude ne permet pas de montrer de meilleurs résultats sur les paramètres cliniques mais conforte cette idée d'une approche bimodale souhaitée par les étudiants <sup>7</sup>.

Il a fallu attendre 2013, et le développement de l'utilisation des caméras intra-orales et leurs suites de logiciels permettant la Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur (CFAO), pour que les fabricants dérivent ces outils à destination des futurs dentistes en formation. Plusieurs études ont alors rapporté l'intégration de ces systèmes sur des cohortes d'étudiants et tenté de comparer la méthode traditionnelle d'évaluation en fin de séance par l'enseignant versus cette méthode d'autoévaluation en temps réel <sup>3,8,9</sup>.

Pour illustrer le contexte bibliographique, la recherche avec les mots-clés "student", "digital", "preclinical" et "tooth" aboutit à 52 résultats dont 50 à partir de l'année 2010 (Figure 1).

52 results

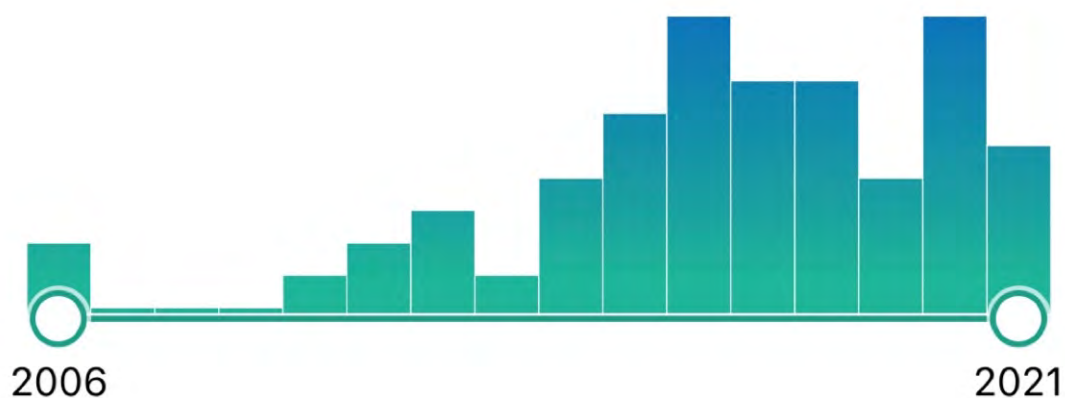


Figure 1 : Histogramme rapportant le nombre de publications par années pour la recherche "student digital preclinical tooth" (source : PubMed, NCBI)

## 1.2. Les outils existants

### 1.2.1. Comparaison de 3 systèmes

Il existe différents logiciels informatiques qui proposent des outils d'évaluation pour différents types de préparations. Ils sont en général dépendants d'un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) et d'un scanner intra-oral. On peut citer les trois systèmes suivants : prepCheck (Dentsply Sirona, USA), Romexis Compare (E4D Technologies, Planmeca Group, Finlande) ou encore Dental Teacher™ (KaVo Dental GmbH, Allemagne).

Ces trois programmes permettent aux étudiants d'évaluer en temps réel leur préparation par rapport à une préparation effectuée au préalable par l'enseignant ou par rapport à des critères précis. Différents outils sont disponibles pour monitorer la préparation <sup>10</sup>, par exemple : visualisation de la réduction axiale et occlusale, mesure de la largeur du congé, mise en évidence des mauvaises finitions de surface, identification des contre-dépouilles, évaluation de l'angle de convergence occlusale (Figure 2).

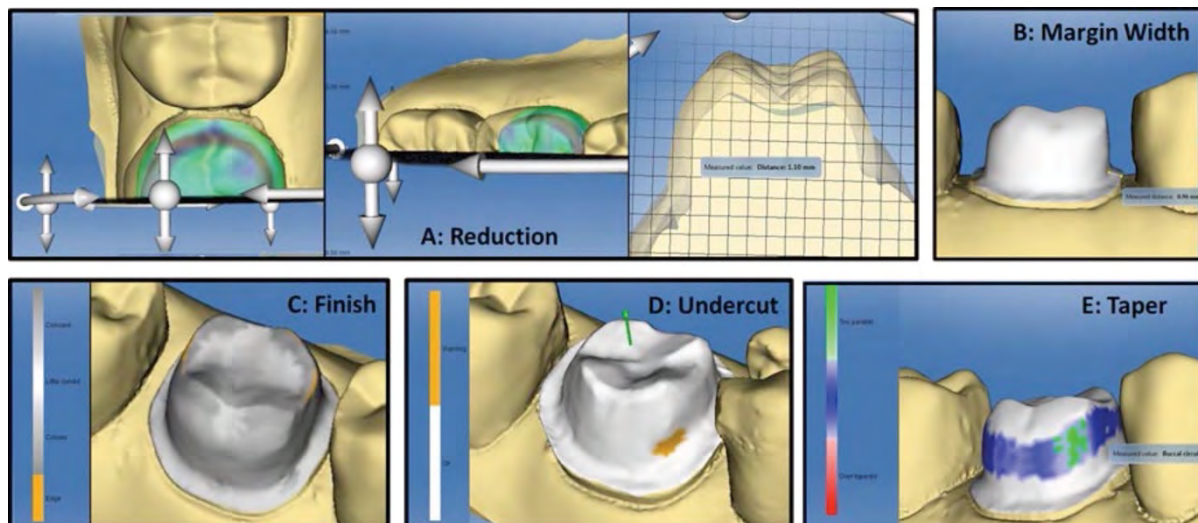
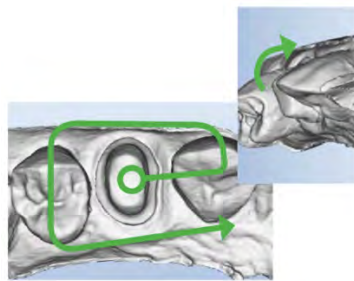


Figure 2 : Cinq des outils présents dans le système prepCheck (source : Park et al. 2017)

Ils permettent d'évaluer les préparations corono-périphériques pour couronnes prothétiques, mais aussi les préparations cavitaires pour onlays et les montages de dents en cire « wax-up ». Le prepCheck annonce également la compatibilité avec des préparations cavitaires pour inlays, des préparations partielles pour facettes et des préparations multiples pour bridges <sup>11</sup>.

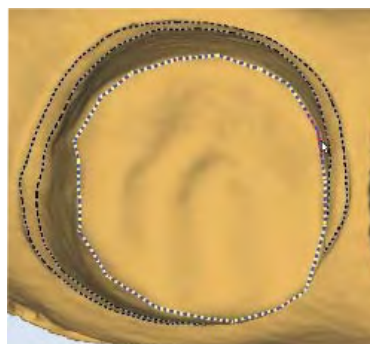
Pour le Dental Teacher de chez KaVo, l'utilisateur place directement le modèle à numériser dans un scanner de laboratoire <sup>12</sup>. La problématique de ce système réside dans le repositionnement physique et manuel parfait du modèle sur le socle en guise de recalage. Des calibrations sont nécessaires avec l'objet fourni à cet effet. Seules les dents préparées doivent être présentées sur le modèle.

Les systèmes Romexis Compare et prepCheck utilisent leurs scanners intra-oraux, initialement développés pour les cliniciens. L'acquisition se concentre donc sur la zone d'intérêt avec trois scans : mandibulaire, maxillaire et en occlusion. Le recalage des surfaces s'effectue à l'aide des dents adjacentes non-préparées. Dans sa notice d'utilisation <sup>13</sup>, Romexis Compare précise aux utilisateurs que le scan de 100% de la préparation et de 90% de l'occlusion des dents adjacentes est nécessaire pour le recalage (Figure 3).



*Figure 3 : Exemple de trajectoire pour réaliser le scan (source : manuel utilisateur de Romexis Compare)*

Les logiciels prepCheck et Romexis Compare nécessitent de choisir l'axe d'insertion prothétique à partir d'une vue occlusale et de marquer la limite périphérique. Il faut également tracer la limite de la base axiale et les contours de la table occlusale pour le système Romexis Compare (Figure 4). Le Dental Teacher nécessite, seulement pour certains de ses outils, que l'axe d'insertion utilisé pour la préparation soit précisé. Ces prérequis s'apparentent à ceux demandés par les systèmes de CFAO lors de la phase de conception.



*Figure 4 : Les 3 délimitations périphériques manuelles nécessaires aux outils visuels (source : manuel utilisateur de Romexis Compare)*

Ces logiciels de comparaison effectuent alors le recalage de la préparation scannée par l'étudiant par rapport à la préparation de référence réalisée, scannée et enregistrée dans le programme par l'enseignant. La superposition des surfaces peut aussi concerner la dent intacte avant préparation, ce qui permet d'envisager l'épaisseur du matériau de restauration disponible pour le prothésiste.

Ce recalage par rapport à une préparation de l'enseignant n'est pas la seule possibilité pour autoévaluer son travail. Les outils proposés sont nombreux et variables selon les fabricants (Figure 5). Ils permettent de visualiser, mesurer et comparer les défauts, notamment par colorimétrie.

<b>Romexis Compare</b>	<b>prepCheck</b>	<b>Dental Teacher</b>
Distance par rapport à : - la préparation de l'enseignant - la restauration (= dent initiale)	Bords de la préparation : vifs / tolérables  Qualité de la surface : arêtes vives + irrégularités	Distance par rapport à : - la préparation du maître - la restauration (= dent initiale)
Largeur du congé	Type de terminaison du bord : congé / épaulement	Mesures manuelles de distances et d'angles possibles
Angle de la préparation	Angle de la préparation	
Hauteur de la préparation	Contre-dépouilles	
Contre-dépouilles	Distance par rapport à : - la mâchoire opposée - une autre préparation - la préparation du maître - la restauration (= dent initiale)	
	Réduction axiale / occlusale	
	Analyse des dents adjacentes	

*Figure 5 : Outils d'analyse disponibles pour chaque système (source : document personnel, d'après les manuels utilisateurs des 3 fabricants)*



Il est à noter que l'autoévaluation permise par ces logiciels s'effectue indépendamment pour chaque critère de préparation et a pour but d'amener à la correction, ou du moins à la compréhension, du défaut par l'étudiant à l'instant même. Ces systèmes ne permettent pas de fournir une note globale sur 20 dans le modèle académique et n'ont pas pour but de remplacer la notation finale de l'enseignant.

Schepke *et al.*<sup>3</sup> testent la notation d'une cohorte d'étudiants (n=41) par deux enseignants avec, pour chacun d'entre eux, deux méthodes différentes : la méthode conventionnelle à l'œil nu « glance and rate », qui est une appréciation visuelle globale, et la méthode assistée par le prepCheck pour quantifier les paramètres de la préparation à l'aide d'une grille analytique. L'interprétation du Kappa de Cohen obtenu indique un accord très faible entre les deux opérateurs lorsqu'ils inspectent visuellement les préparations contre un accord presque parfait lorsqu'ils sont assistés par le prepCheck pour remplir une unique grille analytique.

Dans cette étude, les auteurs détournent l'utilisation originelle du prepCheck, outil d'autoévaluation à destination des étudiants, en un outil d'évaluation à destination du corps enseignant. Le prepCheck permet de calibrer les évaluateurs en faveur d'une note plus impartiale.

Gratton *et al.*<sup>14</sup> montre que, parmi deux groupes ayant utilisé exclusivement Romexis Compare pour l'un ou prepCheck pour l'autre, il n'apparaît pas de différence significative dans les performances techniques des étudiants ou leur perception du logiciel. Ces outils ont été apportés en supplément à la méthode conventionnelle. Plutôt que les différences techniques entre les systèmes, les auteurs soulignent la façon de les intégrer dans les TP existants et le moment opportun dans le cursus de chirurgie dentaire.

### 1.2.2. Limites techniques

Il apparaît que, malgré une interface facile et agréable à utiliser, la réalisation de trois scans demande du temps et qu'une procédure de scan unique serait préférable<sup>15</sup>. C'est le cas du Dental Teacher qui automatise l'acquisition, mais le temps n'en est pas pour autant réduit puisque le scanner de table doit être partagé par tous les étudiants du TP, un à un. De plus, ce système ne permet pas d'avoir les informations de l'arcade antagoniste et se limite au recalage de préparations entre-elles pour mettre en avant les défauts de l'une par rapport à l'autre.

La réalisation de préparations plurales de grande étendue peut poser des difficultés dans l'acquisition selon la caméra utilisée mais aussi dans le recalage si le logiciel ne trouve pas de surfaces adjacentes comme repères. Selon les scanners utilisés, les utilisateurs doivent poudrer avec un spray de dioxyde de titane les surfaces à numériser.

L'enseignant qui voudrait noter ses étudiants avec un de ces systèmes d'évaluation numérique devra, pour chaque préparation, éliminer les défauts de l'empreinte, orienter le modèle, définir l'axe d'insertion, tracer la limite périphérique. L'interprétation des outils d'évaluation dépend de tous ces paramètres et nécessite des manipulations de l'opérateur pour chaque préparation.

Enfin, les études disponibles sur l'intégration des outils d'autoévaluation numériques <sup>1-4,7-10,14,16,17</sup> ont un niveau de preuve de grade 2, soit de présomption scientifique, et gagneraient à être conduites sur des durées plus longues, voire sur un cursus complet.

### **1.3. Place de ces outils dans la pédagogie**

#### **1.3.1. Ressenti des étudiants**

Les systèmes d'évaluation virtuelle apportent aux étudiants un retour en temps réel sur la qualité de leur préparation. C'est un changement de paradigme par rapport à la méthode traditionnelle en deux temps (exécution puis évaluation), sanctionnée par une évaluation visuelle et une notation subjective.

Une étude menée en Caroline du Sud sur une cohorte de 81 étudiants au cours de deux années montre l'intérêt significatif des étudiants pour le système Romexis Compare <sup>8</sup>. Ils apprécient de voir les défauts facilement et d'observer une préparation type comme but final.

A l'école dentaire d'Harvard, le suivi d'une promotion complète de 36 étudiants de 3<sup>e</sup> année visait à évaluer quels outils numériques du prepCheck étaient préférés <sup>10</sup>. Le questionnaire fourni aux étudiants s'articule selon trois axes : « utilité », « convivialité » et « fréquence d'utilisation ». Les outils permettant de visualiser les contre-dépouilles et l'angle de dépouille de la préparation obtiennent des scores significativement supérieurs aux autres outils comparés : finitions, largeur du congé et enfin réduction, ce dernier étant le moins apprécié. De plus, les auteurs ont souligné que les étudiants ayant échoué à l'examen final ont donné des

scores significativement supérieurs dans les catégories « utilité » et « convivialité ». Ces résultats démontrent l'intérêt d'un apprentissage diversifié pour les étudiants ayant des difficultés dans leurs réalisations précliniques et soulignent par la même occasion des affinités différentes en ce qui concerne les méthodes d'apprentissage.

La méthode Prep-along <sup>18</sup> désigne, à l'image d'un tutoriel, un cheminement étape-par-étape pour obtenir une préparation normalisée par de nombreux critères. Les supports vidéo et diapositives apportent en images et en termes techniques toutes les précisions nécessaires. Ils sont complétés entre chaque étape par les réponses des enseignants aux questions des élèves. Ce cheminement chronologique, l'explication des erreurs fréquemment commises, ainsi que les techniques pour les éviter sont autant de repères qui doivent permettre un apprentissage autonome et une autoévaluation. Les étudiants s'en disent rassurés et le questionnaire montre que 96% d'entre eux sont en faveur de cette méthode Prep-along. Il a été souligné une diminution nette du temps d'apprentissage. La réalisation de leurs toutes premières préparations a été chronométrée à environ 1 heure, là où cela demandait jusqu'à 3 voire 4 heures aux promotions précédentes.

Si les outils sont différents, la base pédagogique des solutions d'autoévaluation numérique évoquées précédemment s'apparente à la méthode Prep-along et, à travers les études disponibles, semble convenir aux nouvelles générations <sup>19,20</sup>.

Toutefois, parmi 37 étudiants ayant utilisé le prepCheck et ayant été notés par des enseignants assistés du prepCheck, il ressort via un questionnaire la préférence d'une association enseignant - prepCheck à la fois pour la critique lors de la préparation (83,8% des étudiants) et pour la notation finale (70,3% des étudiants) <sup>3</sup>. Certains apprécient les encouragements des enseignants associés aux remarques et conseils, certains relatent une critique trop sévère du prepCheck.

Une autre étude récente <sup>16</sup> compare le flux numérique prepCheck au flux numérique CEREC (Dentsply Sirona, Inc). Le premier est destiné aux étudiants et le deuxième est destiné aux praticiens et prothésistes. Un premier groupe d'étudiants (n=101) a utilisé le système prepCheck et un second groupe d'étudiants de l'année supérieure (n=97) a utilisé le flux numérique CEREC. L'étude visait à recueillir le ressenti des étudiants. S'ils préfèrent l'évaluation des enseignants au système prepCheck, notamment pour leurs conseils et coaching plus personnels, la plupart d'entre eux préfère le flux numérique CEREC aux empreintes traditionnelles, pour l'efficacité et leur expérience globale.

L'ensemble de ces publications s'accorde donc pour affirmer que les outils disponibles actuellement sont efficaces comme supplément à la méthode conventionnelle, sans pour autant pouvoir s'y substituer.

### 1.3.2. Comparaison de la progression : méthode traditionnelle vs. 3D

La préparation dentaire corono-périphérique par l'étudiant fait classiquement l'objet d'une ou plusieurs appréciations de l'enseignant durant le TP. L'autoévaluation numérique par les systèmes décrits précédemment intervient également au cours de sa réalisation. Ces deux approches, différentes dans leur feedback, doivent permettre d'améliorer le résultat de l'évaluation terminale effectuée par l'enseignant après le TP (Figure 6).

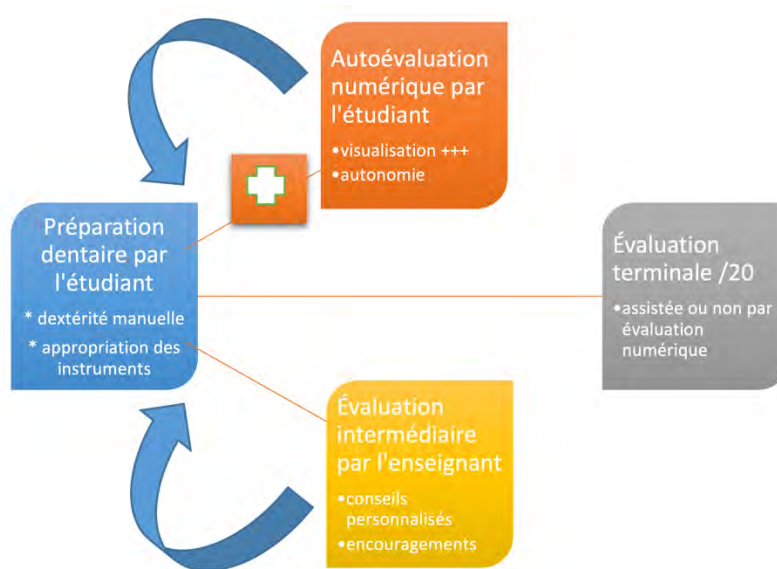


Figure 6 : Schéma explicatif du cheminement de l'étudiant lors de la réalisation d'une préparation en prothèse fixée (source : document personnel)

Il est difficile de comparer les méthodes d'enseignement en termes de compréhension des étudiants et d'amélioration de leurs compétences manuelles. Cela implique le suivi de deux groupes sur une période suffisamment longue.

Une étude a montré l'efficacité du Dental Teacher pour apprendre à réaliser une cavité complexe type onlay. Des étudiants ayant deux ans d'expérience clinique ont été répartis en deux groupes. Selon le groupe, ils ont bénéficié des commentaires des enseignants ou des commentaires du Dental Teacher pour leur première préparation cavitaire.

L'étude a montré que la seconde préparation cavitaire réalisée par les étudiants ayant bénéficié du Dental Teacher est meilleure que celle du groupe témoin <sup>17</sup>.

Ces récents travaux témoignent par ailleurs de l'application universelle des outils d'évaluation 3D, qu'il s'agisse de préparations cavitaires ou corono-périphériques.

### 1.3.3. Enjeux de l'intégration dans les travaux pratiques

Il y a quelques années déjà, une très large étude, menée sur les étudiants des écoles dentaires nord-américaines, a permis de mettre en évidence le sentiment d'un manque de fauteuils dentaires disponibles en clinique par rapport au nombre d'étudiants et aussi le déséquilibre qu'il existe entre les tâches administratives et le temps clinique. Concernant les TP, les étudiants dénoncent la pénurie de moniteurs, notamment en prothèse fixée, et leur besoin de passer plus de temps à s'exercer avant et pendant la clinique <sup>21</sup>.

Le témoignage des étudiants indique que le protocole de scan et d'interprétation nécessite plus de temps que la méthode traditionnelle, principalement en raison du délai d'initiation <sup>3</sup>. D'autres pensent que l'utilisation du système représente autant de temps perdu pour effectuer leurs préparations et accroître leur dextérité manuelle <sup>4</sup>.

Ces propos peuvent être pondérés par la quantité de modules prepCheck alloués aux étudiants et par le nombre d'enseignants disponibles pour leur utilisation. La prise en compte de ces différents paramètres est nécessaire pour une intégration optimale du système dans les établissements. Au risque que cette technologie nouvelle diminue le temps non-extensible attribué aux TP et éloigne les futurs praticiens du geste clinique à proprement parler.

Le temps nécessaire pour former enseignants et étudiants à l'emploi de la caméra optique et du logiciel est à prendre en compte. L'autoévaluation 3D n'est appréciée et bénéfique pour les étudiants qu'en addition à l'enseignement traditionnel et non en substitution <sup>3</sup>. Cela conduit à considérer un temps de prise en main initial, mais aussi des séances supplémentaires de TP destinées à l'utilisation des systèmes 3D.

Or, pour des raisons structurelles et de choix pédagogiques, les heures allouées à la formation pratique préclinique ont nettement diminué au cours des dernières années. Il est alors compliqué d'utiliser l'outil digital dans les TP actuels en complément de l'apprentissage traditionnel.

Il convient ainsi de penser l'organisation globale des TP de prothèse fixée pour intégrer au mieux ce nouvel outil par rapport à l'enseignement traditionnel.

Plusieurs possibilités s'offrent aux facultés comme, par exemple, alterner par semestres les deux enseignements en demi-groupes ou encore restreindre l'utilisation de l'autoévaluation 3D aux étudiants déjà présents en clinique. Cette dernière proposition permettrait de faire le lien avec les flux numériques et les caméras intra-orales utilisées à l'hôpital. A ce jour, les deux dernières années du cursus de chirurgie dentaire ne proposent pas de TP en prothèse fixée (Figure 7).



Figure 7 : Chronologie du cursus de chirurgie dentaire en rapport avec la clinique et les TP (source : document personnel)

## **2. EXPERIMENTATION**

## 2.1. Matériels et méthodes

Cette étude a été conduite dans la sous-section de réhabilitation orale en prothèse, faculté de chirurgie-dentaire de Toulouse. 69 dents de plusieurs promotions ont été récupérées en fin d'année afin de constituer une promotion virtuelle. Il s'agit d'une dent maxillaire supérieure gauche #26 en ivoirine sur un modèle maxillaire (ANA 4 ; Frasco, GmbH) (Figure 8) dans la bouche d'un mannequin. Les étudiants ont reçu un enseignement théorique de prothèse, associé à une pratique selon la méthode traditionnelle : critiques et conseils des assistants universitaires et étudiants seniors pendant la séance.



*Figure 8 : Modèles maxillaire et mandibulaire utilisés en TP (source : Frasco, GmbH)*

Le scanner intra-oral Primescan associé au logiciel CEREC SW 5.1 (Dentsply Sirona, Inc), ou le scanner de laboratoire inEos x5 associé au logiciel inLab SW 18.1 (Dentsply Sirona, Inc) ont été utilisés pour la numérisation de la totalité des dents préparées et positionnées sur des socles. Des fichiers surfaciques en 3D au format stéréolithographique (STL) sont obtenus et contiennent chacun plusieurs dents préparées, en vue d'un traitement d'image.



### 2.1.1. Socles

Le but de ce travail est d'apporter une solution automatisée à l'échelle d'une promotion d'étudiant. Cela implique de regrouper les dents pour limiter le nombre et le temps des numérisations. Un socle comportant un maximum d'emplacements apparaît comme un outil idéal. Sa taille se limite aux capacités des scanners 3D utilisés. Il doit garantir le maintien et l'alignement des dents en répondant à ces critères :

- rétention des dents,
- espacements suffisants pour ne pas avoir de zones d'ombre lors du scan,
- repères fixes pour aider au recalage.

Le premier socle, en bois, est conçu afin de tester un scan avec plusieurs dents et sa prise en charge par le logiciel d'acquisition (Figure 9).

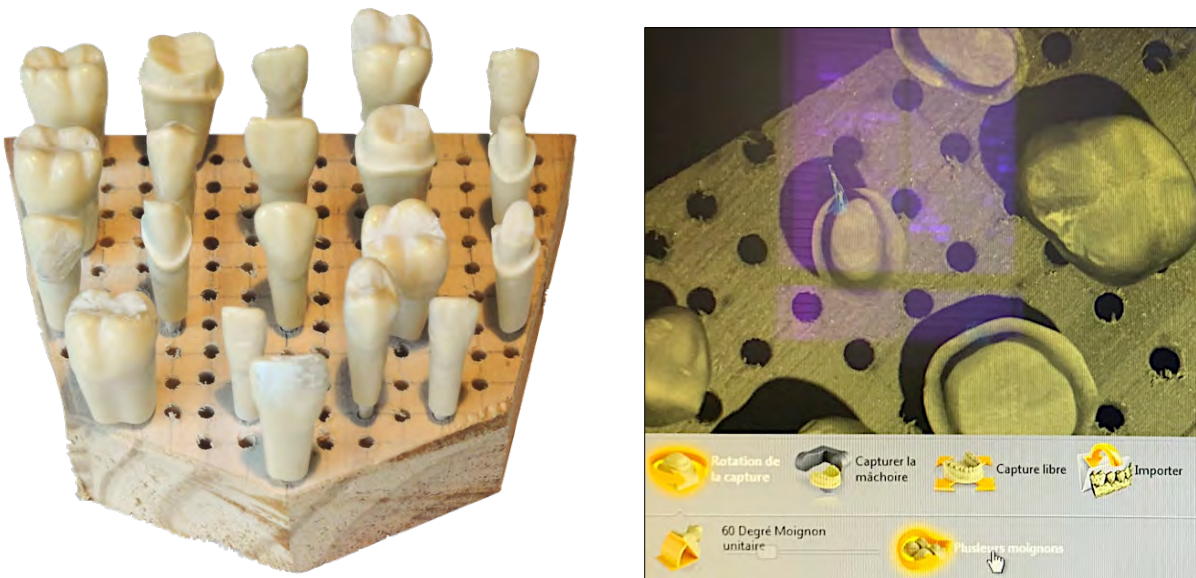
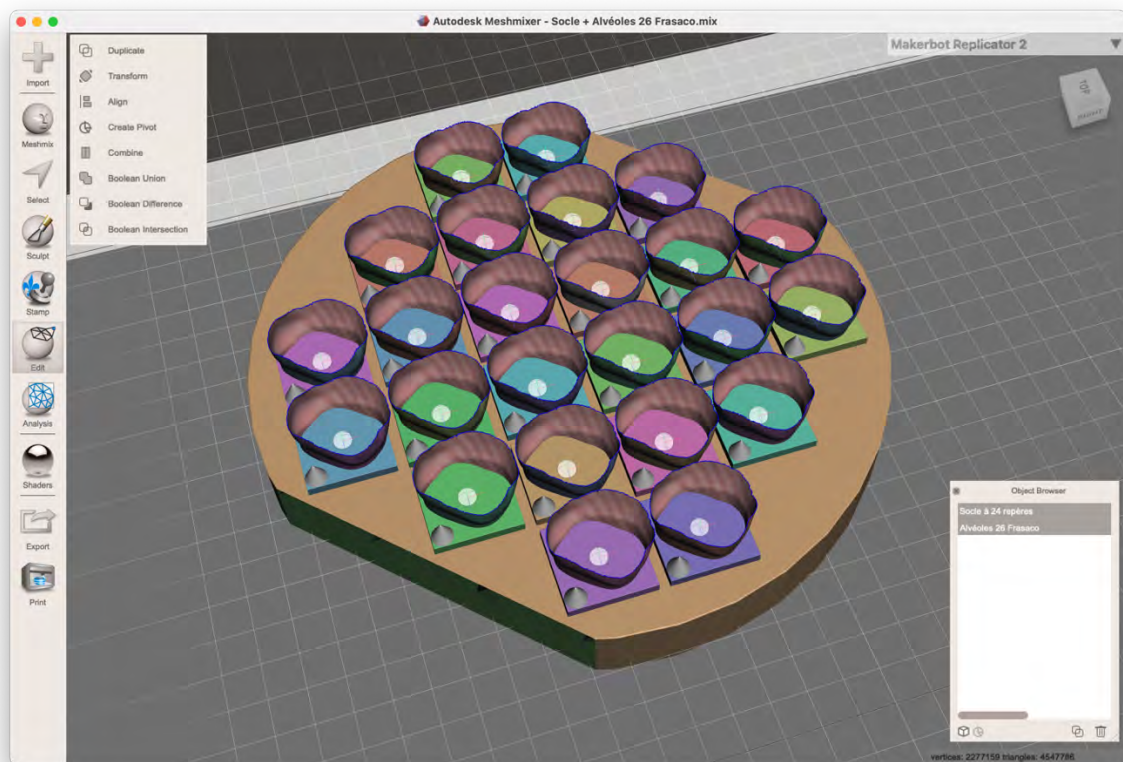


Figure 9 : Premier essai de scan multiple avec un socle en bois (source : document personnel)

L'expérience étant concluante, il est envisagé de nouveaux socles dont la rétention s'effectue via des alvéoles. Le logiciel de CAO Meshmixer (Autodesk, Inc) a permis de réaliser des opérations d'unions et soustractions booléennes de 3 éléments :

- un socle cylindrique avec des méplats pour sa stabilité sur d'éventuels supports,
- des repères coniques posés à une extrémité des bases carrées,
- des alvéoles spécifiques scannées sur les arcades Frasaco.

De nombreuses évolutions de ces socles ont été nécessaires, faisant principalement varier la quantité d'alvéoles, leur espacement et la taille du socle (Figure 10).



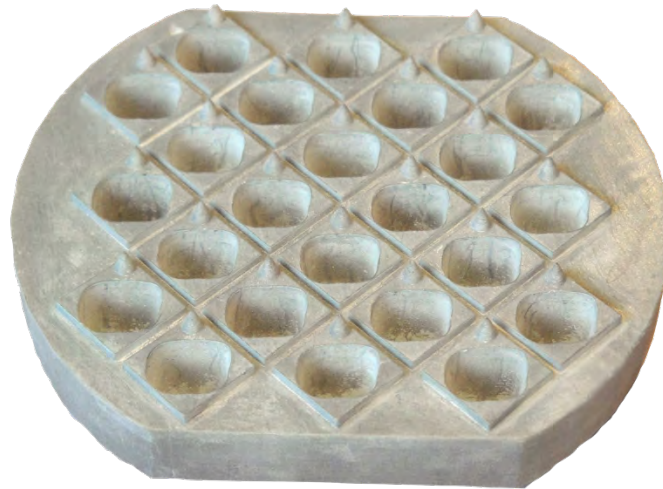
*Figure 10 : Sous Meshmixer, recalage des alvéoles sur les bases à l'aide de pivots avant de réaliser une soustraction booléenne (source : document personnel)*

Le second prototype (Figure 11) a été fabriqué par dépôt de fil fondu (FDM). Le thermoplastique utilisé est l'acide polylactique (PLA). Le défaut de ce socle était de contenir trop de dents, responsables de zones d'ombre importantes lors de l'acquisition.



*Figure 11 : Socle fabriqué par dépôt de fil fondu avec 40 alvéoles (source : document personnel)*

Le socle utilisé au terme des essais permet de recevoir 24 dents (Figure 12). Il est fabriqué par stéréolithographie laser (SLA) grâce à l'imprimante Form 3B (Formlabs, Inc).



*Figure 12 : Socle fabriqué par stéréolithographie laser avec 24 alvéoles (source : document personnel)*

#### 2.1.2. Scanners 3D

Deux possibilités d'acquisition des surfaces sont proposées : le scanner de laboratoire (« scanner de table ») et la caméra intra-orale :

- Scanner de laboratoire

Le socle est installé sur le support magnétique du bras rotatif de l'inEos x5. Le poudrage (CEREC Optispray ; Dentsply Sirona, Inc) homogène des dents et du socle à l'oxyde de titane est nécessaire pour limiter le reflet et augmenter le contraste des surfaces. La numérisation est réalisée à partir du logiciel inLab SW 18.1 permettant l'acquisition automatique de la surface des 24 dents présentes sur le socle (Figure 13). Les zones manquantes sur la surface enregistrée nécessitent des retouches manuelles d'acquisition.

Les temps relevés sont les suivants : série 1 ( $T_{\text{scan}} = 12 \text{ min}$  ;  $T_{\text{reconstruction}} = 1 \text{ min}$ ), série 2 ( $T_{\text{scan}} = 9 \text{ min}$  ;  $T_{\text{reconstruction}} = 1 \text{ min}$ ) et série 3 ( $T_{\text{scan}} = 9 \text{ min}$  ;  $T_{\text{reconstruction}} = 1 \text{ min}$ ). Le total est de 33 minutes pour 69 dents, soit, par extrapolation, 47 minutes pour une promotion de 100 étudiants.

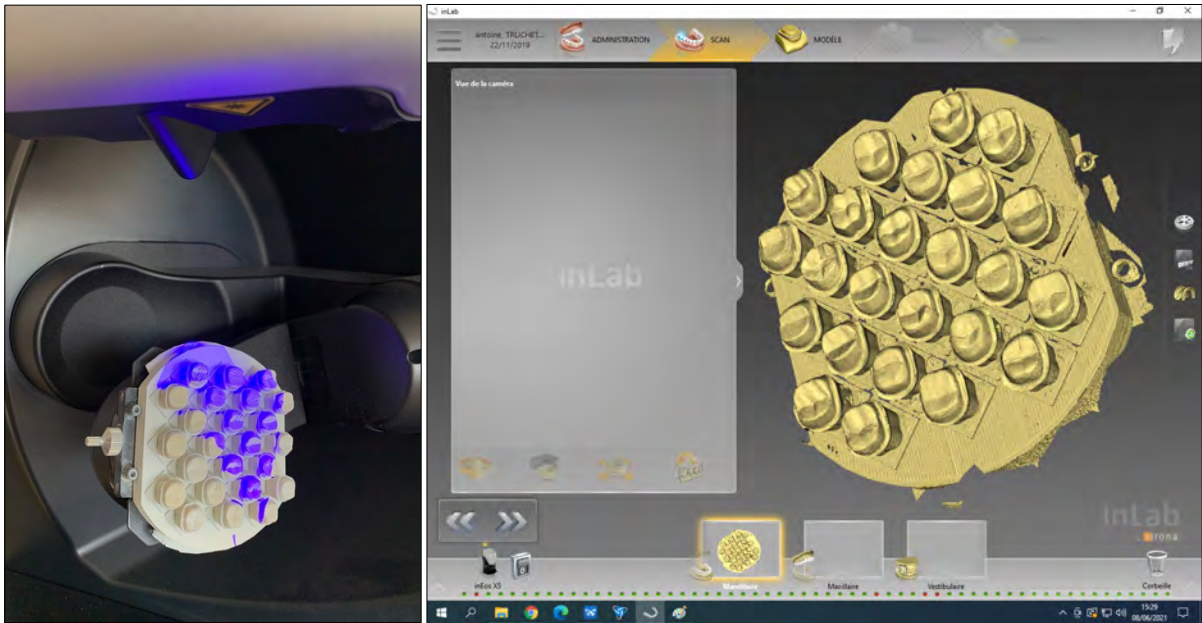


Figure 13 : Scan automatisé du socle avec l'inEos x5 (source : document personnel)

- Caméra intra-orale

Le même socle est posé sur une surface stable et l'utilisateur scanne l'ensemble des préparations à l'aide de la caméra intra-orale Primescan (Figure 14). Un poudrage des dents n'est pas nécessaire.

Les temps relevés sont les suivants : série 1 ( $T_{\text{scan}} = 8 \text{ min}$  ;  $T_{\text{reconstruction}} = 4 \text{ min}$ ), série 2 ( $T_{\text{scan}} = 5 \text{ min}$  ;  $T_{\text{reconstruction}} = 3 \text{ min}$ ) et série 3 ( $T_{\text{scan}} = 6 \text{ min}$  ;  $T_{\text{reconstruction}} = 4 \text{ min}$ ). Le total est de 30 minutes pour 69 dents, soit, par extrapolation, 43 minutes pour une promotion de 100 étudiants.

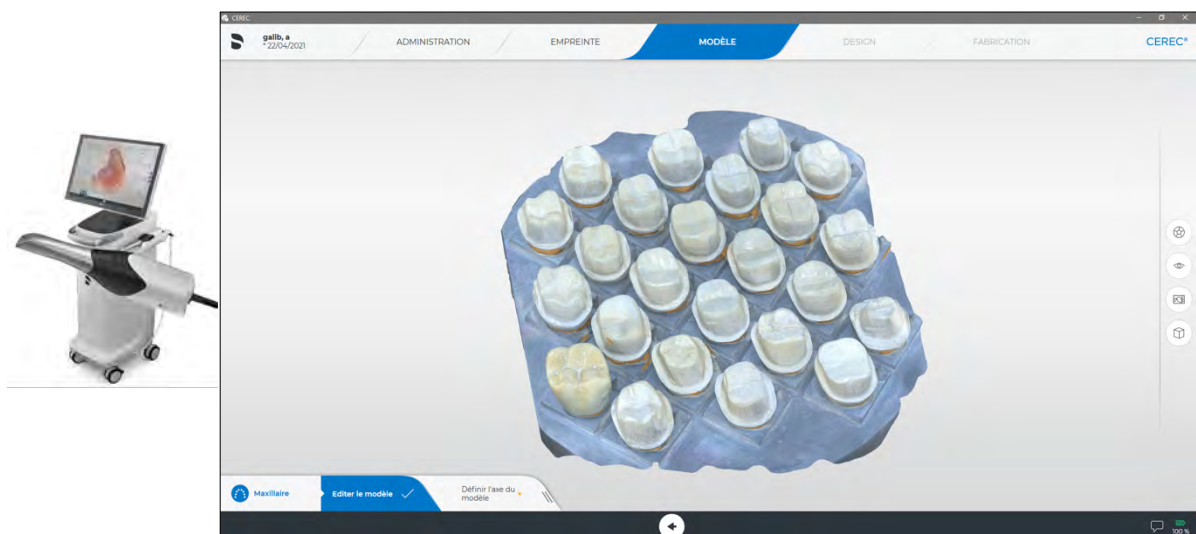
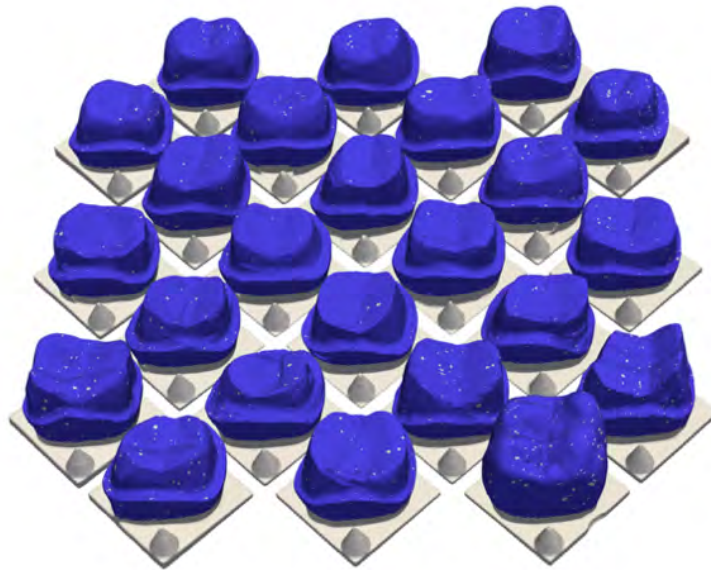


Figure 14 : Scan du socle avec la caméra intra-orale Primescan (source : Dentsply Sirona, Inc)

### 2.1.3. Traitement des surfaces

La première étape permet d'individualiser, d'identifier et de nettoyer les surfaces de chaque préparation. Les outils « Selection » et « Plane cut » du logiciel de modélisation 3D (Meshmixer) permettent d'isoler chaque dent du support (Figure 15).

Les temps relevés sont les suivants : série 1 ( $T_{\text{individualisation}} = 16 \text{ min}$ ), série 2 ( $T_{\text{individualisation}} = 17 \text{ min}$ ) et série 3 ( $T_{\text{individualisation}} = 14 \text{ min}$ ). Le total est de 47 minutes pour 69 dents, soit, par extrapolation, 68 minutes pour une promotion de 100 étudiants.



*Figure 15 : Séparation du socle, des bases et des dents préparées (source : document personnel)*

Le module Pickpoints d'un second programme d'édition 3D (MeshLab ; ISTI) permet d'identifier chaque dent par un numéro et ses coordonnées spatiales dans un fichier texte. Ce logiciel convertit ensuite le format des surfaces stéréolithographiques (STL) vers le format de fichiers polygones (PLY). Ce dernier permet d'inclure les propriétés de couleur, transparence, et texture de la surface.

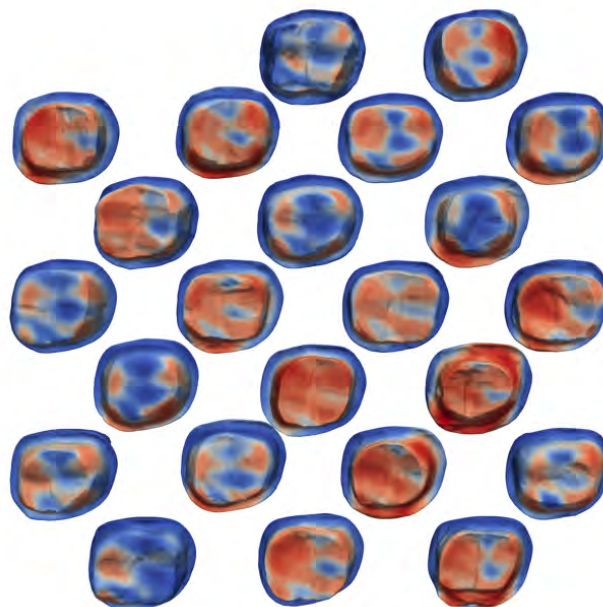
Le traitement d'images s'effectue via un programme développé par Jean Dumoncel<sup>22</sup>, édité en langage Python (Python 3.7.9.) et exécutable sous macOS 11.2.2. Il permet d'aligner puis cartographier les préparations dentaires. Ici en phase de test, ces programmes pourraient constituer une solution complètement automatisée sous forme de logiciel unique.

Le premier script crée un dossier contenant chaque dent individualisée et alignée (PLY) ainsi que le fichier répertoriant les transformations appliquées pour les alignements sous la forme d'un vecteur de translation par dent. Le second convertit l'ensemble de ces fichiers au format Visualization ToolKit (VTK) adapté à l'infographie et au traitement de données 3D dans les logiciels utilisés par la suite.

La phase de calculs est préparée avec des dossiers comprenant scripts et données nécessaires, dont les dents préparées et la dent non-préparée (VTK). Ces calculs de distances sont effectués par Deformetrica, un logiciel permettant de calculer les déformations entre fichiers de données 3D <sup>23</sup>. De multiples fichiers traduisent le chemin progressif entre chaque dent préparée et la dent saine.

Enfin, les programmes suivants donnent des surfaces cartographiées (VTK) correspondant à chaque dent préparée et traduisant la quantité de préparation via une échelle colorimétrique, ou un équivalent en fichier unique contenant toutes les dents du socle (Figure 16). Un tableur (CSV) est également produit et donne pour chaque dent la distance totale de déformation calculée dans Deformetrica et la différence de volume entre la dent préparée et la dent non-préparée.

Le temps relevé de calculs simultanés du programme pour les 3 séries est  $T_{\text{programme}} = 20$  minutes pour 69 dents, soit, par extrapolation, 28 minutes pour une promotion de 100 étudiants.



*Figure 16 : Visualisation 3D du socle complet dont les couleurs de surface interprètent la distance de déformation avec la dent non-préparée (source : document personnel)*

A partir de ces résultats chiffrés, des visuels multiples, ainsi que de la dent remontée sur le modèle maxillaire, les étudiants remplissent la grille d'évaluation <sup>6</sup> en autonomie. De même que le fera l'enseignant lors de l'évaluation terminale.

## 2.2. Résultats

69 fichiers imprimables (Annexe 1), comme outil visuel d'évaluation de l'étudiant, ont été produits dans un temps cumulé de 97 minutes, soit, par extrapolation, 140 minutes pour une promotion de 100 étudiants.

Le compte-rendu est composé de vues vestibulaire <sup>3</sup>/<sub>4</sub> oblique, vestibulaire, palatine, mésiale, distale et occlusale, de valeurs pour le volume préparé et la distance de déformation, d'une grille analytique <sup>6</sup> pour l'autoévaluation de l'étudiant.

Les illustrations de la dent préparée, dont la surface dispose d'une échelle colorimétrique, traduisent la distance de déformation avec la dent non-préparée (Figure 17). Cette cartographie, également lisible pour les étudiants sur le logiciel open-source Paraview (Kitware, Inc), permet de mieux comprendre les excès ou les manques de préparation et d'avoir un modèle intelligible de l'espace requis pour le matériau prothétique.

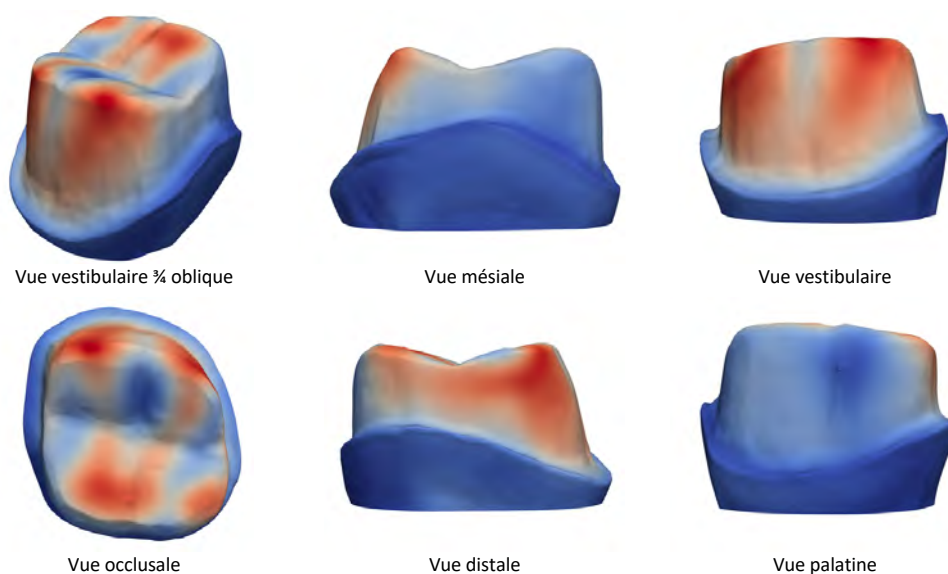


Figure 17 : Extrait de l'Annexe 1, Compte-rendu à destination des étudiants et de l'enseignant

Le programme Deformetrica donne une valeur pour la distance totale de déformation entre la dent préparée et la dent saine. Indépendamment, la simple comparaison volumique avec la dent saine, assimilée à la couronne prothétique, permet d'estimer le volume soustrait par les instruments rotatifs et de préciser la notion d'économie tissulaire quantitativement (Figure 18).

Base name	Base Volume	Target Volume	Extracted Volume	Distance (déformation)
26_P2_1_bases_002	661.915247	891.031850	-229.116604	110.222542
26_P2_1_bases_003	515.113510	891.031850	-375.918341	388.785759
26_P2_1_bases_004	577.758331	891.031850	-313.273519	212.796373
26_P2_1_bases_005	459.951624	891.031850	-431.080227	516.613137
26_P2_1_bases_006	501.574496	891.031850	-389.457354	464.798857
26_P2_1_bases_007	612.626431	891.031850	-278.405420	169.833024

Figure 18 : Extrait de l'Annexe 2, Tableau précisant le volume ( $mm^3$ ) soustrait et la distance totale de déformation entre les 69 dents préparées et la dent non-préparée

### 2.3. Discussion

Au cours de cette étude, 69 préparations dentaires corono-périphériques, reconstituant une promotion virtuelle, ont été numérisées et analysées par traitement d'image automatisé pour fournir une aide à l'évaluation. La sortie du programme informatique est un document comportant des visuels morphométriques et des valeurs relatives à la réduction dentaire réalisée. Ce document est destiné à l'étudiant pour son feedback et son autoévaluation ainsi qu'à l'enseignant pour monitorer les résultats et noter ses étudiants.

Les étudiants ont besoin de clairvoyance dans leurs notes. Les évaluations conventionnelles par appréciation visuelle globale ne permettent pas ce feedback de qualité. Elles sont trop subjectives<sup>2,24,25</sup>. L'intérêt de l'utilisation d'une grille analytique pour l'évaluation des préparations en prothèse fixée, telle qu'utilisée ici, a été précédemment décrit par Allen puis Habib<sup>6,26</sup>. L'association d'une grille analytique et d'une évaluation numérique a été proposée par Schepke et al.<sup>3</sup>. Elle permet d'uniformiser significativement les notes données par différents enseignants. Si l'utilisation de l'outil numérique est appréciée, elle est également décrite comme chronophage<sup>3,4,15</sup>. La méthode proposée dans cet article est hybride avec une partie d'évaluation numérique et une partie utilisant une grille d'évaluation analytique. Cette méthode est donc plus longue qu'une notation visuelle simple ou par grille analytique classique puisqu'il faut ajouter le temps de numérisation et de traitement d'image de 140 minutes par extrapolation à 100 étudiants.



Cependant, contrairement aux autres méthodes numériques, elle est applicable à l'échelle d'une promotion et se veut d'autant plus intéressante que le nombre d'étudiants est important.

L'évaluation d'une préparation dentaire sur simulateur a pour objectif de valider l'acquisition des compétences manuelles. La transmission de cette information à l'étudiant permet de lui fournir un feedback sur ses compétences. Mais le feedback peut être plus ou moins informatif. Une note seule donne une information sur le résultat global de la préparation et ne permet pas d'identifier les étapes ayant posé des difficultés à l'étudiant. Une grille analytique fournit un feedback plus informatif, elle permet de cerner les acquis et les lacunes<sup>27</sup>. Un parallèle peut être dressé avec la transmission d'une couleur au laboratoire de prothèse. L'utilisation des mots seuls ne permet pas de se faire une idée précise et leur interprétation est très variable selon les personnes. C'est la raison pour laquelle la transmission d'un code colorimétrique est de préférence associée à une photographie permettant d'avoir une idée plus précise de ce qui est attendu<sup>28</sup>. Les méthodes numériques de vérification des préparations 3D sont généralement associées à des outils visuels permettant d'identifier les zones sous-préparées, sur-préparées, les contre-dépouilles ou encore la largeur du congé<sup>3,10</sup>. Cependant, le feedback est instantané et il n'y a pas de compte-rendu produit par le logiciel. Cette méthode fournit une représentation visuelle aux étudiants par l'intermédiaire d'un fichier (PDF) archivable. Par ce biais, les étudiants peuvent se référer aux visuels pour localiser les défauts sur les préparations et les associer aux commentaires de la grille analytique.

L'utilisation d'une grille analytique seule est difficile à mettre en œuvre<sup>29</sup>. Un feedback direct entre l'enseignant et son étudiant est souvent difficile à trouver dans le contexte des TP pour une raison de temps limité<sup>8</sup>. Dans cette étude, la mise à disposition d'un support illustré et comportant la rubrique de notation dans un délai rapide apparaît comme une solution informative sur laquelle enseignants et étudiants pourront discuter. Dans la même idée, l'enseignant pourrait obtenir un document récapitulatif, à l'échelle de la promotion, lui permettant de cibler les étudiants en difficulté, de piloter son enseignement selon les défauts majoritairement rencontrés, ou encore de faire des comparaisons intra- et inter-promotion. Ce monitoring aurait pour but d'accroître les qualités pré-cliniques liées, plus tard, à la réussite des étudiants face aux patients<sup>30</sup>.

La conception d'un socle, avec le logiciel gratuit Meshmixer, a nécessité de nombreux tests donnant lieu à de multiples évolutions. Ce socle permet d'intégrer les alvéoles dentaires de

nombreux modèles utilisés en TP pour ensuite maintenir les dents préparées lors d'une acquisition. La communication du socle (STL) est possible, sur demande aux auteurs, à quiconque voudrait collaborer et enrichir les résultats obtenus.

Pour une promotion entière, l'analyse numérique simultanée de l'ensemble des préparations des étudiants est plus rapide qu'une analyse individuelle numérique itérative. Cependant, l'analyse numérique simultanée présente une série de défauts présentés ci-dessous :

- *La dent préparée est isolée de son environnement.*

La dent seule est retirée de l'arcade du simulateur. Il y a une perte d'informations concernant les rapports de la préparation avec les dents adjacentes, les contacts occlusaux et la fausse-gencive.

La vue occlusale, générée automatiquement dans ce protocole, présente moins d'intérêt qu'une vue depuis l'axe d'insertion prothétique <sup>11</sup>, configurable manuellement par les solutions numériques d'autoévaluation 3D. La position des limites de préparation, le respect de la fausse-gencive et des dents adjacentes, ou l'occlusion avec l'antagoniste ne sont pas visualisables dans cette évaluation automatique. La dent non-préparée apporte toutefois les références occlusales suffisantes pour déterminer la quantité de réduction nécessaire. La grille analytique hybride de la méthode présentée ici est ensuite utilisée avec la dent préparée en place sur le modèle. Elle vient donc corriger les manques de l'évaluation automatique numérique.

- *La méthode numérique globale nécessite du matériel informatique spécifique.*

Si les méthodes individuelles sont limitées par le nombre d'étudiants et de caméras intra-orales, la méthode présentée ici nécessite un traitement des données numériques. La manipulation des fichiers nécessite la connaissance de plusieurs logiciels. Un travail sur l'ergonomie et une simplification du flux numérique sont envisagés pour déployer cette solution au niveau des facultés d'odontologie.

- *Les outils d'évaluation numériques de la méthode globale sont moins nombreux que pour la méthode numérique individuelle.*

Une évaluation individuelle numérique fournit des informations sur les éventuelles contre-dépouilles, l'angle de la préparation, les dents adjacentes, la qualité du congé, les éventuels bords vifs, la quantité de réduction axiale et occlusale. L'évaluation globale permet d'obtenir une métrique sur la quantité de déformation par rapport à une dent non-préparée.

Deux voies d'amélioration sont possibles. La première vise à agrémenter le programme d'outils d'évaluation similaires à l'évaluation individuelle numérique existante. La deuxième porte sur la notion de volume cible. On peut définir ce volume cible comme étant le volume compris entre le minimum d'épaisseur prothétique nécessaire et la préparation idéale. Une préparation idéale en première position du socle serait une solution qui pourrait s'ajouter à l'utilisation dans ce protocole de la dent non-préparée. L'étape suivante de ce travail consistera à tester cette méthode sur une promotion d'étudiants et à la comparer avec les méthodes de notation classique et numérique existantes. Les perspectives d'évolution demeurent nombreuses avec notamment l'idée d'une palette d'outils regroupés dans un programme unique, ou encore la prise en charge des préparations cavitaires et multiples.

Ce travail vaut comme preuve de concept sur la possibilité d'automatisation de l'évaluation. Ce système n'a pas pour vocation de remplacer les conseils et critiques de l'enseignant. Il joue plutôt dans la visualisation et l'apport d'un nouvel angle de vue aux étudiants : une nouvelle information visuelle et rapide.

## CONCLUSION

Les outils de visualisation en 3D obtenus par des empreintes optiques apportent aux étudiants des informations intéressantes pour l'autoévaluation de leurs préparations. Mais la quantité de matériels disponibles et le temps d'enregistrement des surfaces rendent difficile une utilisation compatible avec l'encadrement en routine d'une promotion complète.

Ainsi, ce travail a montré qu'un outil d'aide à l'évaluation terminale des préparations dentaires corono-périphériques pouvait être adapté à une promotion. Cette solution s'appuie sur un matériel permettant de scanner l'ensemble des préparations grâce à un socle spécialement conçu pour cette tâche. L'acquisition des surfaces est possible à l'aide d'un scanner intra-oral ou d'un scanner de table. Un programme informatique permet ensuite le traitement des images et fournit en sortie les informations sur chaque préparation par rapport à une surface de référence. Enfin, des fiches d'autoévaluation ou d'évaluation terminale sont fournies respectivement à l'étudiant et à l'enseignant. Ces fiches contiennent des informations métriques sur les surfaces, des vues normées des préparations et une grille analytique d'évaluation.

Sur le plan technique, un scanner 3D et un traitement d'images informatique ont permis d'obtenir rapidement une comparaison des préparations corono-périphériques par rapport à une dent saine. Les repères du socle recevant les dents et un programme d'alignement surfacique permettent l'individualisation et le recalage en série de chaque dent préparée sur la dent saine. Le logiciel Deformetrica calcule ensuite les déformations entre ces deux surfaces. L'interprétation de ces valeurs se fait sous la forme d'une carte de déformation apposée sur la dent préparée. L'échelle colorimétrique traduit zone par zone les courbes de déformation, soit l'espace disponible pour la restauration prothétique. L'étendue des évolutions possibles dans l'interprétation et la communication de ces données est à souligner.

Sur le plan pédagogique, la compréhension des étudiants a été recherchée par une communication visuelle et une grille analytique pour diriger leurs regards sur les paramètres clés, c'est l'autoévaluation. L'enseignant utilise cette même grille analytique dans son

évaluation terminale. Des paramètres sont notés par ordinateur et d'autres à l'œil nu, pour approcher une évaluation juste et exhaustive. De plus, ce protocole chronométré fournit un ordre de grandeur pour son application sur une classe entière. Il donne la possibilité de fournir un feedback visuel rapidement après le TP pour accroître les compétences manuelles des étudiants.

Toutefois, ces travaux devront être rediscutés après leur mise en pratique pour préciser les conditions d'utilisation, évoquer les améliorations nécessaires, mais surtout évaluer l'apport dans l'enseignement même des chirurgiens-dentistes de demain.

Vu, le directeur de Thèse



Vu, le président du jury



# Annexe 1 : Compte-rendu à destination des étudiants et de l'enseignant

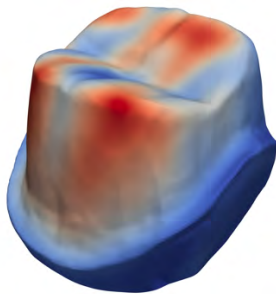
## NOM Prénom

Dent 26 numéro X

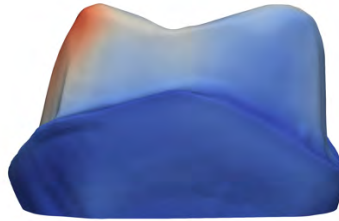
Distance de déformation : 152 mm

Volume préparé : -288 mm<sup>3</sup>

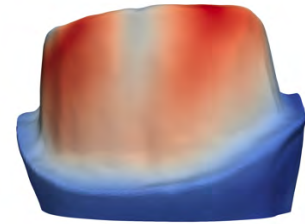
Valeur neutre de l'échelle : 1,2 mm



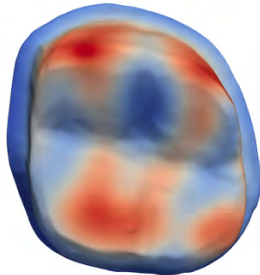
Vue vestibulaire ¾ oblique



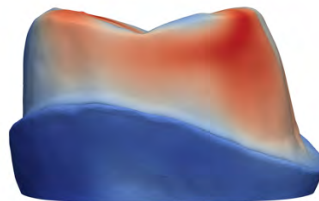
Vue mésiale



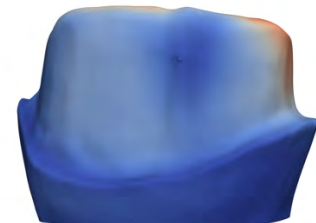
Vue vestibulaire



Vue occlusale



Vue distale



Vue palatine

### Grille analytique de notation pour la préparation corono-périphérique en vue d'une couronne tout-céramique (selon Habib, 2018)

Parameter	1.5 points	1 point	0.5 point	No points	Score
Occlusal Reduction	<i>Optimal reduction</i> Supporting areas or porcelain = 1.5 - 2.0 mm Non-supporting areas or metal = 1.0- 1.5 mm	<i>Moderately under-reduced</i> Supporting areas or porcelain <1.5 mm Non-supporting areas or metal <1.0 mm	<i>Moderately over-reduced</i> Supporting areas or porcelain >2.5 mm Non-supporting areas or metal = ≥2 mm	<i>Severely over-reduced or under-reduced</i> Supporting areas or porcelain >3.0 or <1.0 mm Non-supporting areas or metal >2.5 mm or <0.5 mm	
Axial reduction	<i>Optimal reduction</i> (1.0-1.5 mm for metal, 1.5-2.0 mm for porcelain) and Rounded line and point angles	<i>Moderately under-reduced</i> (<1.0 mm for metal, <1.5 mm) or Lack of rounded line or point angles	<i>Moderately over-reduced</i> (2 mm for metal, 2.5 mm for porcelain)	<i>Severely over-reduced or under-reduced</i> (>2 mm for metal, >2.5 mm for porcelain)	
Taper	<i>Optimal taper</i> Retentive walls have 6 degrees of taper	<i>Under- or Over-taper</i> Taper present, but near parallel or Over-tapered on mesial or distal (>8° <16°)	<i>Moderately Under- or Over-taper</i> - Undercuts visually present or - Over-tapered on buccal or lingual (>8° <16°)	<i>Severe Under- or Over-taper</i> - Severe undercuts present or - Severe over-tapered on any axial surface (>16°)	
Margin placement	<i>Optimal margin placement</i> Margins extended to specified target; (even with free gingival margin or 0.5 mm supragingival)	<i>Over- or Under-extended</i> Over-extended (not more than 0.5 mm subgingival) or moderately under- extended (not more than 1 mm supragingival)	<i>Moderately Under- or Over-extended</i> Significantly over-extended (not more than 1.0 mm subgingival) or significantly under-extended (not more than 1.5 mm supragingival)	<i>Severely Under- or Over-extended</i> Severely over-extended (more than 1.0 mm subgingival) or severely under-extended (more than 1.5 mm supragingival)	
Two plane reduction		<i>Proper planes</i> Providing adequate material bulk for strength/aesthetics	<i>Moderately improper planes</i> over-reduced or under-reduced	<i>Significantly improper planes</i> over-reduced or under-reduced	
Finish, margins and walls		<i>Optimal finish</i> - Margins and walls are smooth - Margins are continuous, well defined	<i>Moderate roughness</i> - Moderate roughness of margins and walls - Margins are moderately non-continuous, moderate lack of definition	<i>Significant roughness</i> - Significant roughness of margins and walls - Margins are non-continuous - Lack of definition of finish line	
Preservation of adjacent teeth		Adjacent teeth are unaffected	Adjacent teeth are minimally touched.	Adjacent teeth are abraded and flattened	
Time management		Student ends the examination on time	Student ends the examination 10-15 min late	Student ends the examination more than 15 min late	
<b>Total score of 10</b>					

**Annexe 2 : Tableau précisant le volume (mm<sup>3</sup>) soustrait et la distance totale de déformation entre les 69 dents préparées et la dent non-préparée**

Base name	Base Volume	Target Volume	Extracted Volume	Distance (déformation)
26_P2_1_bases_002	661.915247	891.031850	-229.116604	110.222542
26_P2_1_bases_003	515.113510	891.031850	-375.918341	388.785759
26_P2_1_bases_004	577.758331	891.031850	-313.273519	212.796373
26_P2_1_bases_005	459.951624	891.031850	-431.080227	516.613137
26_P2_1_bases_006	501.574496	891.031850	-389.457354	464.798857
26_P2_1_bases_007	612.626431	891.031850	-278.405420	169.833024
26_P2_1_bases_008	593.276869	891.031850	-297.754981	199.355591
26_P2_1_bases_009	511.764855	891.031850	-379.266996	393.245270
26_P2_1_bases_010	457.477608	891.031850	-433.554242	596.690860
26_P2_1_bases_011	494.843463	891.031850	-396.188387	422.813112
26_P2_1_bases_012	498.856662	891.031850	-392.175188	458.549759
26_P2_1_bases_013	465.521445	891.031850	-425.510405	561.695650
26_P2_1_bases_014	674.995990	891.031850	-216.035860	116.612236
26_P2_1_bases_015	543.415336	891.031850	-347.616514	307.627055
26_P2_1_bases_016	494.155369	891.031850	-396.876481	493.630306
26_P2_1_bases_017	592.495729	891.031850	-298.536121	254.296079
26_P2_1_bases_018	597.465654	891.031850	-293.566197	202.712597
26_P2_1_bases_019	543.027337	891.031850	-348.004513	328.993585
26_P2_1_bases_020	560.762944	891.031850	-330.268906	256.298057
26_P2_1_bases_021	555.995827	891.031850	-335.036024	282.919363
26_P2_1_bases_022	553.672470	891.031850	-337.359381	266.560157
26_P2_1_bases_023	606.574377	891.031850	-284.457473	226.834114
26_P2_1_bases_024	570.735829	891.031850	-320.296021	235.804595
26_P2_2_bases_002	586.841702	876.615830	-289.774128	212.230148
26_P2_2_bases_003	552.891100	876.615830	-323.724731	237.161624
26_P2_2_bases_004	607.563960	876.615830	-269.051870	156.231589
26_P2_2_bases_005	587.329074	876.615830	-289.286757	180.910063
26_P2_2_bases_006	416.675395	876.615830	-459.940435	614.772046
26_P2_2_bases_007	563.806848	876.615830	-312.808983	196.522242
26_P2_2_bases_008	472.023708	876.615830	-404.592122	522.811671
26_P2_2_bases_009	528.666055	876.615830	-347.949776	319.005412
26_P2_2_bases_010	508.714419	876.615830	-367.901412	335.252060
26_P2_2_bases_011	462.600874	876.615830	-414.014956	589.510079
26_P2_2_bases_012	439.991212	876.615830	-436.624618	475.871883
26_P2_2_bases_013	549.469512	876.615830	-327.146318	226.652157
26_P2_2_bases_014	619.132279	876.615830	-257.483551	137.879163
26_P2_2_bases_015	507.393692	876.615830	-369.222139	312.760556
26_P2_2_bases_016	541.013818	876.615830	-335.602013	234.570958
26_P2_2_bases_017	543.020886	876.615830	-333.594944	237.381979
26_P2_2_bases_018	634.491393	876.615830	-242.124438	147.057027
26_P2_2_bases_019	453.689132	876.615830	-422.926699	431.783006
26_P2_2_bases_020	556.712927	876.615830	-319.902903	256.735551
26_P2_2_bases_021	373.660891	876.615830	-502.954940	919.236960
26_P2_2_bases_022	398.587987	876.615830	-478.027843	852.833739
26_P2_2_bases_023	501.357438	876.615830	-375.258393	433.445408
26_P2_2_bases_024	518.439268	876.615830	-358.176563	327.867869
26_P2_3_bases_002	472.066317	809.711471	-337.645154	268.786726
26_P2_3_bases_003	499.816418	809.711471	-309.895053	225.335781
26_P2_3_bases_004	550.560496	809.711471	-259.150976	146.340226
26_P2_3_bases_005	475.298171	809.711471	-334.413300	262.572440
26_P2_3_bases_006	413.414555	809.711471	-396.296917	527.293998
26_P2_3_bases_007	589.895759	809.711471	-219.815713	127.531506
26_P2_3_bases_008	433.026944	809.711471	-376.684527	397.185621
26_P2_3_bases_009	387.534485	809.711471	-422.176986	464.056307
26_P2_3_bases_010	418.956504	809.711471	-390.754968	475.168110
26_P2_3_bases_011	497.319951	809.711471	-312.391520	226.430828
26_P2_3_bases_012	455.412015	809.711471	-354.299456	343.041825
26_P2_3_bases_013	438.601991	809.711471	-371.109480	372.461239
26_P2_3_bases_014	458.553261	809.711471	-351.158211	322.558366
26_P2_3_bases_015	491.248477	809.711471	-318.462995	241.583421
26_P2_3_bases_016	438.939675	809.711471	-370.771796	349.487666
26_P2_3_bases_017	542.426502	809.711471	-267.284969	161.694292
26_P2_3_bases_018	476.764857	809.711471	-332.946614	293.930898
26_P2_3_bases_019	464.504317	809.711471	-345.207154	270.007293
26_P2_3_bases_020	528.555640	809.711471	-281.155831	186.836951
26_P2_3_bases_021	472.776722	809.711471	-336.934749	273.419736
26_P2_3_bases_022	585.042920	809.711471	-224.668551	357.501188
26_P2_3_bases_023	508.902768	809.711471	-300.808703	249.053900
26_P2_3_bases_024	545.179199	809.711471	-264.532273	448.770184

## BIBLIOGRAPHIE

1. Quinn, F., Keogh, P., McDonald, A. & Hussey, D. A pilot study comparing the effectiveness of conventional training and virtual reality simulation in the skills acquisition of junior dental students. *Eur J Dent Educ* **7**, 13–19 (2003).
2. Renne, W. G., Wolf, B. J. & Holmes, J. R. E4D Compare Software: An Alternative to Faculty Grading in Dental Education. *Journal of Dental Education* **77**, 8 (2013).
3. Schepke, U. *et al.* Digital assessment of a retentive full crown preparation—An evaluation of prepCheck in an undergraduate pre-clinical teaching environment. *Eur J Dent Educ* [eje.12516](https://doi.org/10.1111/eje.12516) (2020) doi:10.1111/eje.12516.
4. Callan, R. S. & Furness, A. R. Effectiveness and Feasibility of Utilizing E4D Technology as a Teaching Tool in a Preclinical Dental Education Environment. *Journal of Dental Education* **78**, 8 (2014).
5. Alammari, M. R., Alkhiary, Y. M. & Nawar, A. A. Intra-and Inter-examiner Variability in Evaluating Impression Procedures at the Undergraduate Level. *Journal of Life Sciences* **5**, 5–10 (2013).
6. Habib, S. R. Rubric system for evaluation of crown preparation performed by dental students. *Eur J Dent Educ* **22**, e506–e513 (2018).
7. Quinn, F., Keogh, P., McDonald, A. & Hussey, D. A study comparing the effectiveness of conventional training and virtual reality simulation in the skills acquisition of junior dental students. *European Journal of Dental Education* **7**, 164–169 (2003).
8. Hamil, L. M. & Vuthiganon, J. Dental Students' Opinions of Preparation Assessment with E4D Compare Software Versus Traditional Methods. *Journal of Dental Education* **78**, 8 (2014).
9. Sadid-Zadeh, R., Sannito, N. M. & DeLuca, J. T. Comparison of Effectiveness of Two Teaching Methods on Acquisition of Skills in Preclinical Fixed Prosthodontics. *Journal of Dental Education* **83**, 8 (2019).
10. Park, C. *et al.* Dental Students' Perceptions of Digital Assessment Software for Preclinical Tooth Preparation Exercises. *JDE* **81**, 597–603 (2017).
11. Sirona Dental Systems GmbH. Manuel pour l'utilisateur prepCheck 3.1. (2018).
12. KaVo Dental GmbH. Instructions for use Dental Teacher. (2015).
13. E4D Technologies. Romexis Compare User Manual. (2014).
14. Gratton, D. G., Kwon, S. R., Blanchette, D. R. & Aquilino, S. A. Performance of two different digital evaluation systems used for assessing pre-clinical dental students' prosthodontic technical skills. *Eur J Dent Educ* **21**, 252–260 (2017).
15. Lenherr, P. & Marinello, C. prepCheck computergestützte objektive Beurteilung von Zahnpräparationen im Simulationslabor. *124(10): 1085-1092* (2014).
16. Schlenz, M. A. *et al.* Undergraduate dental students' perspective on the implementation of digital dentistry in the preclinical curriculum: a questionnaire survey. *BMC Oral Health* **20**, 78 (2020).



17. Nagy, Z. A., Simon, B., Tóth, Z. & Vág, J. Evaluating the efficiency of the Dental Teacher system as a digital preclinical teaching tool. *Eur J Dent Educ* **22**, e619–e623 (2018).
18. Lukas, R. W., Hardy, S. F., Johnson, G. M. & Brownstein, S. A. Prep-Along Facilitated Posterior Crown Preparation in the Preclinical Dental Setting: A Multimedia Approach. *MedEdPORTAL* **15**, 10822 (2019).
19. Kashbour, W. A., Kendall, J. & Grey, N. Students' perspectives of early and gradual transitioning between simulation and clinical training in dentistry and their suggestions for future course improvements. *Eur J Dent Educ* **23**, 471–481 (2019).
20. Freeman, Z., Cairns, A., Binnie, V., McAndrew, R. & Ellis, J. Understanding dental students' use of feedback. *Eur J Dent Educ* eje.12524 (2020) doi:10.1111/eje.12524.
21. Henzi, D. & Hendricson, W. In the Students' Own Words: What Are the Strengths and Weaknesses of the Dental School Curriculum? *Journal of Dental Education* **71**, 14 (2007).
22. Beaudet, A. *et al.* Morphoarchitectural variation in South African fossil cercopithecoid endocasts. *Journal of Human Evolution* **101**, 65–78 (2016).
23. Durrleman, S. *et al.* Morphometry of anatomical shape complexes with dense deformations and sparse parameters. *Neuroimage* **101**, 35–49 (2014).
24. Sharaf, A. A., AbdelAziz, A. M. & El Meligy, O. A. S. Intra- and inter-examiner variability in evaluating preclinical pediatric dentistry operative procedures. *J Dent Educ* **71**, 540–544 (2007).
25. Satterthwaite, J. D. & Grey, N. J. A. Peer-group assessment of pre-clinical operative skills in restorative dentistry and comparison with experienced assessors. *Eur J Dent Educ* **12**, 99–102 (2008).
26. Allen, D. & Tanner, K. Rubrics: Tools for Making Learning Goals and Evaluation Criteria Explicit for Both Teachers and Learners. *LSE* **5**, 197–203 (2006).
27. Jonsson, A. & Svingby, G. The use of scoring rubrics: Reliability, validity and educational consequences. *Educational Research Review* **2**, 130–144 (2007).
28. Hein, S., Tapia, J. & Bazos, P. eLABor\_aid: a new approach <sup>[1]</sup><sub>SEP</sub> to digital shade management. *Int J Esthet Dent* **12**, 186–202 (2017).
29. Al Amri, M. D., Sherfudhin, H. R. & Habib, S. R. Effects of Evaluator's Fatigue and Level of Expertise on the Global and Analytical Evaluation of Preclinical Tooth Preparation: Effects of Fatigue and Expertise on Preclinical Evaluation. *Journal of Prosthodontics* **27**, 636–643 (2018).
30. Velayo, B. C., Stark, P. C., Eisen, S. E. & Kugel, G. Using dental students' preclinical performance as an indicator of clinical success. *J Dent Educ* **78**, 823–828 (2014).

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Histogramme rapportant le nombre de publications par années pour la recherche "student digital preclinical tooth" (source : PubMed, NCBI).....	14
Figure 2 : Cinq des outils présents dans le système prepCheck (source : Park <i>et al.</i> 2017) 15	
Figure 3 : Exemple de trajectoire pour réaliser le scan (source : manuel utilisateur de Romexis Compare).....	16
Figure 4 : Les 3 délimitations périphériques manuelles nécessaires aux outils visuels (source : manuel utilisateur de Romexis Compare).....	16
Figure 5 : Outils d'analyse disponibles pour chaque système (source : document personnel, d'après les manuels utilisateurs des 3 fabricants).....	17
Figure 6 : Schéma explicatif du cheminement de l'étudiant lors de la réalisation d'une préparation en prothèse fixée (source : document personnel).....	21
Figure 7 : Chronologie du cursus de chirurgie dentaire en rapport avec la clinique et les TP (source : document personnel).....	23
Figure 8 : Modèles maxillaire et mandibulaire utilisés en TP (source : Frasco, GmbH) ..	25
Figure 9 : Premier essai de scan multiple avec un socle en bois (source : document personnel) .....	26
Figure 10 : Sous Meshmixer, recalage des alvéoles sur les bases à l'aide de pivots avant de réaliser une soustraction booléenne (source : document personnel) .....	27
Figure 11 : Socle fabriqué par dépôt de fil fondu avec 40 alvéoles (source : document personnel) .....	27
Figure 12 : Socle fabriqué par stéréolithographie laser avec 24 alvéoles (source : document personnel) .....	28
Figure 13 : Scan automatisé du socle avec l'inEos x5 (source : document personnel).....	29
Figure 14 : Scan du socle avec la caméra intra-orale Primescan (source : Dentsply Sirona, Inc).....	29
Figure 15 : Séparation du socle, des bases et des dents préparées (source : document personnel) .....	30
Figure 16 : Visualisation 3D du socle complet dont les couleurs de surface interprètent la distance de déformation avec la dent non-préparée (source : document personnel).....	31
Figure 17 : Extrait de l'Annexe 1, Compte-rendu à destination des étudiants et de l'enseignant.....	32
Figure 18 : Extrait de l'Annexe 2, Tableau précisant le volume (mm <sup>3</sup> ) soustrait et la distance totale de déformation entre les 69 dents préparées et la dent non-préparée.....	33

**GRILLE ANALYTIQUE ASSISTEE PAR ORDINATEUR POUR EVALUER LES  
PREPARATIONS CORONO-PERIPHERIQUES PRE-CLINIQUES**

Les travaux pratiques de prothèse fixée intègrent désormais les flux numériques pour améliorer le feedback des étudiants. Pour remédier aux problématiques des outils existants, chronophages et non-adaptés à l'évaluation d'une promotion, cette thèse propose une alternative automatique et hybride : l'utilisation d'une grille analytique dont certains paramètres sont notés par ordinateur. La numérisation, le traitement des données et l'infographie 3D sont mis au service de ce protocole pour fournir des supports visuels rapides et personnalisés. Le but est d'offrir aux étudiants une communication nouvelle et fortement intelligible pour l'amélioration de leurs compétences manuelles.

---

**RUBRIC SYSTEM ASSISTED BY COMPUTER TO EVALUATE PRECLINICAL  
DENTAL CROWN PREPARATION**

Fixed prosthesis practical works now integrates digital workflows to improve students feedback. To remedy the problems of existing tools, time-consuming and unsuitable for evaluating a promotion, these thesis offers an automatic and hybrid alternative : the use of a rubric system including some parameters noted by computer. Digitization, data processing and 3D infographics are used in this protocol to provide fast and personalized visual support. The aim is to supply students with new and highly intelligible communication for the improvement of their manual skills.

---

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

---

**MOTS-CLES :**

Travaux pratiques - Prothèse fixée - Feedback – Compétences manuelles – Digital – Evaluation

---

**INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR :**

Université Toulouse III - Paul Sabatier

Faculté de chirurgie dentaire - 3 chemin des Maraîchers - 31062 Toulouse Cedex

---

**DIRECTEUR DE THESE : Dr Antoine GALIBOURG**