



Empreinte optique et impression 3D d' un protège-dents pour la pratique du rugby

Hippolyte Houdard

► To cite this version:

Hippolyte Houdard. Empreinte optique et impression 3D d' un protège-dents pour la pratique du rugby. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-02063603

HAL Id: dumas-02063603

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02063603>

Submitted on 11 Mar 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License



UNIVERSITÉ
PARIS
DESCARTES

MEMBRE DE

U-S-PC
Université Sorbonne
Paris Cité

AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 122.4

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 335.2 - L 335.10



UNIVERSITÉ
PARIS
DESCARTES

MEMBRE DE

U-S-PC
Université Sorbonne
Paris Cité

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2018

N° 060

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 21 juin 2018

Par

Hippolyte HOUDARD

Empreinte optique et impression 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby

Dirigée par Mme le Docteur Isabelle Fouilloux

JURY

M. le Professeur Michel Postaire
Mme le Docteur Isabelle Fouilloux
M. le Docteur Marwan Daas
M. le Docteur Lucien Dupagne
M. le Docteur Louis Toussaint

Président
Assesseur
Assesseur
Assesseur
Invité



Tableau des enseignants de la Faculté

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
1. DÉVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PRÉVENTION	ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE	Mme DAVIT-BÉAL Mme VITAL	M. COURSON Mme DURSUN Mme JEGAT Mme SMAIL-FAUGERON Mme VANDERZWALM
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE		Mme BENAHEMED M. DUNGLAS Mme KAMOUN-GOLDRAT Mme LE NORCY
	PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE	Mme FOLLIGUET	Mme GERMA M. PIRNAY M. TAVERNIER
2. CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE	PARODONTOLOGIE	Mme COLOMBIER Mme GOSSET	M. BIOSSE DUPLAN M. GUEZ
	CHIRURGIE ORALE	M. MAMAN Mme RADOI	Mme EJEIL M. GAULTIER M. HADIDA M. MOREAU M. NGUYEN
	BIOLOGIE ORALE	Mme CHAUSSAIN M. GOGLY Mme SÉGUIER Mme POLIARD M. ROCHEFORT (PU associé)	M. ARRETO Mme BARDET (MCF) Mme CHARDIN Mme CHERIFI (MCU associée) M. FERRE M. LE MAY
3. RÉHABILITATION ORALE	DENTISTERIE RESTAURATRICE ENDODONTIE	Mme BOUKPESSI Mme CHEMLA	Mme BERÈS (MCU associée) Mme BESNAULT M. BONTE Mme COLLIGNON (MCU associée) M. DECUP Mme GAUCHER
	PROTHÈSES	M. POSTAIRE	M. CHEYLAN M. DAAS M. DOT M. EID Mme FOUILLOUX-PATEY Mme GORIN M. RENAULT M. RIGNON-BRET M. TIRLET M. TRAMBA Mme WULFMAN
	FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX		M. ATTAL Mme BENBELAID Mme BENOÎT A LA GUILLAUME (MCF) M. BOUTER M. CHARRIER M. CHERRUAU M. FLEITER Mme FRON CHABOUIS Mme MANGIONE (MCU associée) M. SALMON Mme TILOTTA
	PROFESSEURS ÉMÉRITES	M. BÉRENHOLC Mme BRION M. LASFARGUES M. LAUTROU M. LEVY	M. PELLAT M. PIERRISNARD M. SAFFAR Mme WOLIKOW
Mise à jour le 18 décembre 2017			

Remerciements

À M. le Professeur Michel Postaire

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur en Sciences odontologiques

Docteur d'Etat en Odontologie

Professeur des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Merci de me faire l'honneur de présider le jury de cette thèse. Merci pour l'intérêt que vous avez porté sur ce sujet. Merci pour votre enseignement, en particulier celui de la prothèse. Grâce à vos nombreux conseils, je me sens prêt à les mettre en œuvre pour la réalisation de prothèses amovibles.

Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon profond respect et de ma profonde considération.

À Mme le Docteur Isabelle Fouilloux

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Maître de Conférences des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Merci de me faire l'honneur de diriger cet écrit. Merci pour vos conseils lors de la relecture de ce travail et de l'intérêt que vous y avez porté.

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

À M. le Docteur Marwan Daas

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur de l'Université de Metz

Maître de Conférence des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Qui m'a fait l'honneur de siéger dans le jury de cette thèse.

Je vous remercie pour tout ce que vous m'avez apporté. Je vous témoigne ma profonde reconnaissance pour votre enseignement, vos conseils et votre bienveillance. Cela est un plaisir de travailler avec vous, et de continuer en tant que votre attaché.

Veillez trouver ici le témoignage de mon profond respect.

À M. le Docteur Lucien Dupagne

Docteur en Chirurgie dentaire

Assistant Hospitalo-Universitaire, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Merci d'avoir accepté mon invitation et de me faire l'honneur de siéger dans ce jury. J'espère que ce travail trouvera un intérêt à vos yeux de spécialiste en biomatériaux et flux numérique. Veuillez trouver dans cet écrit l'expression de mon profond respect.

À M. le Docteur Louis Toussaint

Docteur en Chirurgie dentaire

Ancien Assistant Hospitalo-Universitaire, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Ancien enseignant devenu ami, quel plaisir de t'avoir dans mon jury en tant qu'invité ! Merci pour tout ce que tu m'as transmis, j'espère restituer au mieux tout ce que tu m'as appris dans ma pratique quotidienne. Merci pour tous ces moments où nous avons pu discuter de dentisterie mais aussi de pêche et de chasse et de pleins d'autres choses.

Tes compétences et tes connaissances suscitent chez moi une profonde admiration.

Merci pour tout.

A mes parents :

- A ma mère, tu as largement contribué à ma réussite. Tu m'as donné le goût pour la médecine, et tu as toujours été à mes côtés lors de mes études : que ce soit lors de révisions intensives ou lorsque je te récitais pendant des heures des diapos incompréhensibles ! Merci pour tout l'amour que tu as donné à tes enfants et pour tous les efforts que tu as fait pour nous permettre de réaliser nos études dans les meilleures conditions.
- A mon père pour m'avoir toujours soutenu. Tu n'as jamais rien compris à mes cours mais tu m'as toujours soutenu et je t'en remercie. Merci de m'avoir aidé à trouver mon futur métier grâce à nos heures de bricolage. La dentisterie, c'est avant tout « faire des trous et les combler, mettre des vis et visser, rétablir une armature solide à partir de bases plus ou moins fragiles... »

Je tenais également à remercier mon épouse, Louise. Nous nous sommes rencontrés il y a 10 ans, et nous voilà aujourd'hui mariés. Cette thèse est un peu la tienne aussi. Notamment grâce à ton investissement dans mes études (et les fiches de P1 de dentaire que tu recopiais de JB pour que je puisse les apprendre) et tes relectures. Merci pour tout.

A Tiphaine et Cassilde, mes 2 sœurs, merci d'avoir été là. Merci pour l'intérêt que vous portez à mon futur métier. Merci d'avoir supporté ma préparation de concours ... et les contraintes d'une P1. Nous sommes une vraie fratrie !

A mes POOOTTEESSSS de Colombes, le merveilleux Jib's, la brillante et talentueuse Moun et l'incroyable Mathias. Merci pour ces années merveilleuses à vos côtés. Vous m'avez fait vivre de très belles études :

JB, quel parcours depuis notre rencontre sur les bancs de Médisup ... en passant par le binôme de choc, pour finir témoin de mon mariage.

Mathias pour toutes ces histoires racontées aux Arcades ou à Odéon, et ton soutien sans faille à l'hôpital à Colombes pour des cafés, des blagues, et des conseils précieux en endodontie.

Et Moun pour ta bienveillance, ta gentillesse et ta générosité. Encore beaucoup d'aventures à vivre et partager aussi bien à Boulbi (aux arcades), chez toi (et Mitri) ou encore à Quimiac quand le Dr Lambert nous y invitera !

A la triplète gagnante, Pacli et JB, pour ces années rythmées de révisions, fêtes et bonheur. Cette triplète est marquée à jamais dans mon esprit.

Aux amis grêleurs, William, Thibault, Thibault LD, Walou et les autres ! A tous ces moments passés dans la nature à promener nos fusils avec (plus ou moins) de réussite. Ces moments m'ont permis de trouver un véritable équilibre pendant mes études.

A Véronique et Alexis, mes beaux-parents. Merci pour votre soutien de très longue date. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi. Merci pour votre aide, vos précieux conseils et votre soutien sans faille.

Au Dentrail Trophy, parce que « le Dentrail est le meilleur » ! Merci Elé, Marion et Mathias pour cette superbe aventure. Une très belle expérience à vos côtés ... qui me laissera un souvenir inoubliable de mes études.

A tous les autres fratés de dentaire, merci pour toutes ces soirées, ces années d'études magiques.

A Louis Toussaint, merci une fois de plus pour tout ce que tu m'as appris. Prochaine étape : pêcher avec toi de belles truites dans les Alpes, et continuer de débriefer de nos plus beaux cas.

A toute l'équipe enseignante de Colombes ainsi qu'au personnel qui m'ont permis de passer de belles années colombiennes !

Table des matières

INTRODUCTION	3
1. ENQUETE EPIDEMIOLOGIQUE : LES BLESSURES DENTAIRES LIEES A LA PRATIQUE DU RUGBY.....	4
1.1. LES DIFFERENTS TYPES DE BLESSURES	4
1.1.1. <i>La prévalence selon le type de traumatisme oro-facial</i>	5
1.1.2. <i>La prévalence de la localisation des traumatismes dentaires.....</i>	6
1.2. LE PORT DU PROTEGE-DENTS.....	6
1.2.1. <i>Prévalence du port du protège-dents.....</i>	7
1.2.2. <i>Les raisons du non port d'un protège-dents.....</i>	9
1.2.3. <i>Cas des joueuses de rugby</i>	11
1.3. QUELLES SONT LES CONSEQUENCES DE CETTE REVUE DE LITTERATURE EPIDEMIOLOGIQUE	11
2. LE PROTEGE-DENTS D'AUJOURD'HUI	13
2.1. LES DIFFERENTS PROTEGE-DENTS	13
2.1.1. <i>Trois types de protège-dents.....</i>	13
2.1.2. <i>Différents grades de protection des protège-dents</i>	15
2.2. ROLE ET INDICATIONS DU PROTEGE-DENTS	16
2.3. CARACTERISTIQUES DU PROTEGE-DENTS IDEAL.....	17
2.4. LE MODELE DE SAMETZKY	18
2.4.1. <i>Détails techniques de la réalisation du protège-dents de Sametzky.....</i>	19
2.4.2. <i>Détermination des limites périphériques du protège-dents de Sametzky</i>	19
2.5. LE MODELE SELON L'ETUDE DE PATRICK	20
2.5.1. <i>Sa composition</i>	20
2.5.2. <i>Ses dimensions et ses limites</i>	21
2.6. MATERIAUX CONVENTIONNELS D'AUJOURD'HUI.....	22
2.6.1. <i>L'EVA</i>	22
2.6.2. <i>Toxicité des volatiles organiques de l'EVA</i>	22
2.6.3. <i>Autres matériaux</i>	23
2.7. DISCUSSION SUR LE PROTEGE-DENTS DU COMMERCE	24
3. ELABORATION DU PROTEGE-DENTS DE DEMAIN	25
3.1. L'EPAISSEUR	25
3.1.1. <i>Quelle épaisseur choisir ?.....</i>	25

3.1.2.	Superpositions de différentes couches.....	27
3.2.	SES LIMITES PERIPHERIQUES.....	30
3.3.	L'INSERTION DE BULLES D' AIR DANS LES MATERIAUX	32
4.	ET APRES-DEMAIN	35
4.1.	L'EMPREINTE OPTIQUE.....	35
4.2.	CONCEPTION VIRTUELLE DU PROTEGE-DENTS.....	37
4.2.1.	Transformation de l'empreinte optique au format *.stl en modèle virtuel.....	38
4.2.2.	Découpe du modèle au niveau vestibulaire	39
4.2.3.	Découpe du modèle au niveau palatin.....	40
4.2.4.	Création d'un volume correspondant aux futures alvéoles.....	41
4.2.5.	Réalisation du volume complet du protège-dents	43
4.2.6.	Vérification de la conception	44
4.3.	SA COMPOSITION : MATERIAUX D'IMPRIMANTE 3D	45
4.3.1.	Les polymères thermoplastiques	45
4.3.2.	Comparaison des matériaux	46
4.3.3.	Biocompatibilité	47
4.3.4.	Les matériaux de demain en impression 3D	48
4.4.	L'IMPRESSION DES PROTOTYPES.....	49
CONCLUSION.....		55
BIBLIOGRAPHIE		56
TABLE DES FIGURES.....		59
TABLE DES TABLEAUX.....		61
ANNEXES.....		62

Introduction

Le rugby est un sport de contact. Lors de sa pratique, de nombreux chocs peuvent être reçus y compris au niveau de la sphère oro-faciale. Pour protéger le joueur, des protections individuelles sont portées comme les protège-dents.

Il existe trois types de protège-dents :

- Le protège-dents du commerce non adaptable.
- Le protège-dents du commerce adaptable par le joueur.
- Le protège-dents sur mesure réalisé par le dentiste et son prothésiste.

En 2018, un nouveau protège-dents peut-il être conçu et réalisé grâce aux technologies numériques ?

Cette thèse d'exercice tente de répondre à cette question.

L'objectif de cette thèse est de décrire le développement d'un nouveau protège-dents en exploitant la chaîne numérique de conception et de fabrication assistée par ordinateur (CFAO) qui intègre un nouveau design et de nouveaux matériaux.

Dans une première partie, nous allons faire une enquête épidémiologique sur les blessures dentaires liées à la pratique du rugby.

Dans une seconde partie, nous allons décrire les différents protège-dents existants.

Puis dans la troisième partie, nous allons élaborer le protège-dents de demain avec l'objectif de le produire en utilisant la technique de fabrication additive (impression 3D).

1. Enquête épidémiologique : les blessures dentaires liées à la pratique du rugby

L'objectif de cette première partie est de mener une enquête épidémiologique des traumatismes dentaires lors de la pratique du rugby afin de déterminer le type de chocs et la localisation des traumatismes spécifiques à ce sport. Cela permettra d'identifier les différents traumatismes, types de chocs, localisations qui peuvent avoir lieu lors de la pratique du rugby.

1.1. Les différents types de blessures

D'après la thèse d'exercice de Wissler et Younis¹, les constats concernant les différentes blessures recensées lors de la pratique du rugby sont les suivantes :

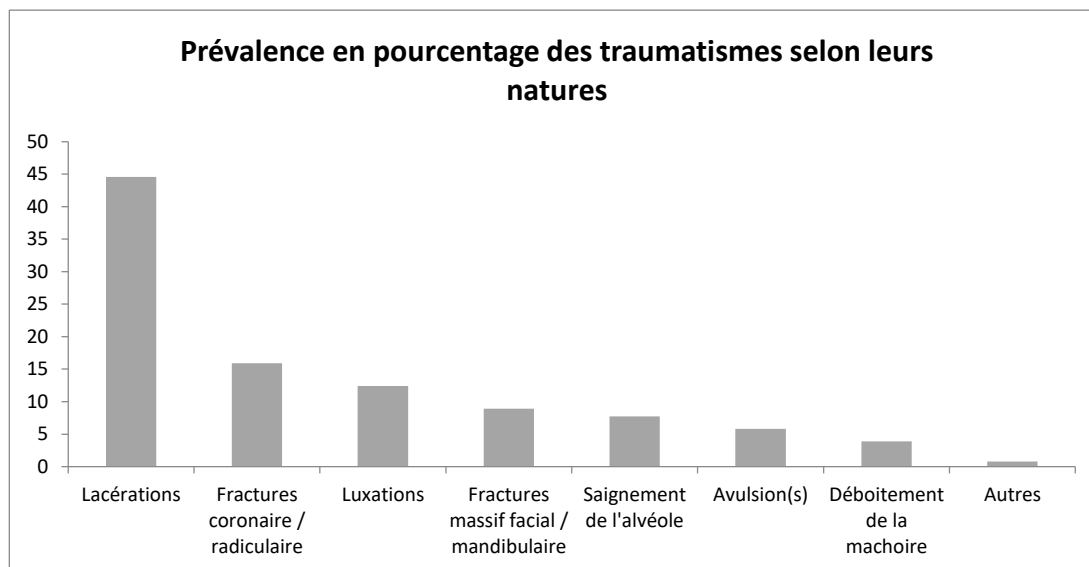
- Les lèvres sont blessées par les dents
- Les fractures par chocs directs intéressent principalement les dents maxillaires et antérieures
- Une arcade dentaire incomplète est plus fragile
- Les contacts brutaux inter arcades menacent toutes les dents
- L'appareil manducateur dans son ensemble, le massif facial, les zones cérébrales, sont moins vulnérables mâchoires serrées

Le rugby est un sport qui peut entraîner des blessures dentaires (fractures amélaire, fractures amélo-dentinaire). Ces blessures sont irréversibles et peuvent avoir un impact sur le complexe dentino-pulpaire. Cela peut entraîner des douleurs, des résorptions ou des nécroses en cas d'exposition du complexe dentino-pulpaire. Les chocs dentaires lors de la pratique du rugby entraînent également des blessures des tissus parodontaux. Ces tissus parodontaux peuvent être mous (gencives, lèvres, joues, ligaments alvéolo-dentaire) ou durs (os).

¹ Wissler et Younis, « Enquête épidémiologique sur les traumatismes dento-maxillaires dans la pratique du rugby : intérêts, protocole et résultats. »

1.1.1. La prévalence selon le type de traumatisme oro-facial ²

Tableau 1 : Prévalence en pourcentage des traumatismes selon leurs natures



Source : Auteur (2018), d'après Ilia, Metcalfe, et Heffernan « Prevalence of dental trauma and use of mouthguards in rugby union players », 2014

D'après l'étude de Ilia et al. ³, la lacération des tissus mous est la première cause de blessure pendant la pratique du rugby. La deuxième cause est liée aux fractures des tissus durs de la dent puis les luxations. Ces blessures touchent le support parodontal (os, tissus conjonctif et tissus gingival). Ainsi le protège-dents devra protéger aussi bien les tissus mous des lacérations que les dents. Il est important que la conception de notre protège-dents intègre l'ensemble de la cavité buccale, ainsi que le bon positionnement de l'ATM (articulation temporo-mandibulaire).

² Ilia, Metcalfe, et Heffernan, « Prevalence of dental trauma and use of mouthguards in rugby union players ».

³ Ilia, Metcalfe, et Heffernan.

1.1.2. La prévalence de la localisation des traumatismes dentaires

Afin d'identifier les zones à renforcer sur le futur protège-dents, il est nécessaire de déterminer la localisation précise des traumatismes.

Tableau 2 : Prévalence en pourcentage des traumatismes selon la localisation

Auteurs	Secteur antérieur Maxillaire	Secteur postérieur Maxillaire	Secteur postérieur Mandibulaire	Secteur antérieur Mandibulaire
Sane & Ylipaavalniemi ⁴ (cité par Tardivon)	77,0%			
Tardivon & Tavernier	61,9%	19,5%	11,4%	7,1%
Wissler ⁵	66,2%	14,3%		16,1%
Muller-Bolla ⁶	83,17%		6.83%	

Source : Auteur, 2018

D'après quatre études, le secteur antérieur maxillaire est la zone à risque de traumatismes lors de la pratique du rugby. Cela correspond au type de protège-dents disponible dans le commerce ou les protège-dents sur mesure. Le protège-dents devra donc englober le maxillaire dans son ensemble, c'est-à-dire la zone antérieure et la zone postérieure. Le protège-dents s'étendra des incisives maxillaires jusqu'en distal des deuxièmes molaires maxillaires.

1.2. Le port du protège-dents

Le port du protège-dents est un facteur déterminant dans la protection dento-maxillaire. S'il n'est pas porté par le joueur, le risque de traumatismes augmente considérablement. L'objectif de cette partie est de conduire une étude comparative afin de déterminer la fréquence du port du protège-dents ainsi que les raisons de son port ou non port de ce dernier.

⁴ Sane et Ylipaavalniemi, « Dental trauma in contact team sports ».

⁵ Wissler, « Enquête épidémiologique sur les traumatismes dento-maxillaires dans la pratique du rugby : intérêts, protocole et résultats. »

⁶ Muller-Bolla et al., « Orofacial trauma and rugby in France : epidemiological survey ».

1.2.1. Prévalence du port du protège-dents

Le tableau ci-dessous présente la comparaison de sept études sur le port du protège-dents.

Tableau 3 : Tableau comparatif du port d'un protège-dents

			Ne porte jamais de protection	Port occasionnel	Port systématique
Wissler Gilles ⁷			53,5%	25,1%	21,4%
Liew et al ⁸			72,4%	23%	4,6%
Banky et Mc Crory ⁹	Catégories				
	Elite	Match	11%	-	89%
		Entraînement	60%	-	40%
	Sub-Elite	Match	29%	-	71%
		Entraînement	79%	-	21%
	Junior	Match	36%	-	64%
		Entraînement	99%	-	1%
Muller et bolla ¹⁰	Elite France 1		32,5%		67,5%
	Elite 2 France		27,3%		72,7%
	National 1 France		43,3%		56,7%
Sinéad E.Delahunty ¹¹	Déjà eu concussion		8,6%	24,1%	67,2%
	Pas eu de concussion		6,6%	18,4%	75%
Ilia et Al ¹²	Australie rugby à 7		23,1	-	87,1%
Boffano ¹³	Nord Est Italie		32,3%	13,85%	53,85%

Source : Auteur, 2018

Selon ce tableau comparatif, le port du protège-dents varie selon :

- le mode de pratique (entraînement ou match) ¹⁴
- le niveau de pratique¹⁵

⁷ Wissler, « Enquête épidémiologique sur les traumatismes dento-maxillaires dans la pratique du rugby : intérêts, protocole et résultats. »

⁸ Liew et al., « Factors associated with mouthguard use and discontinuation among rugby players in Malaysia ».

⁹ Banky et McCrory, « Mouthguard use in australian football ».

¹⁰ Muller-Bolla et al., « Orofacial trauma and rugby in France : epidemiological survey ».

¹¹ Delahunty et al., « Prevalence of and attitudes about concussion in irish schools' rugby union players ».

¹² Ilia, Metcalfe, et Heffernan, « Prevalence of dental trauma and use of mouthguards in rugby union players ».

¹³ Boffano et al., « Rugby athletes' awareness and compliance in the use of mouthguards in the north west of Italy : compliance in the use of mouthguards ».

¹⁴ Banky et McCrory, « Mouthguard use in australian football ».

¹⁵ Banky et McCrory.

- les antécédents de traumatismes ¹⁶
- le pays de pratique du rugby.

Le non port du protège-dents a des prévalences très importantes (jusqu'à 99% ¹⁷). La statistique du port systématique varie beaucoup. Elle oscille entre 1% lors des entraînements et 89% lors d'un match en catégorie élite.

Cela reflète que l'engagement physique lors d'un match est plus intense. C'est pourquoi les joueurs-joueuses portent davantage leurs protège-dents au cours d'un match plutôt qu'aux entraînements. Or un traumatisme de l'appareil manducateur peut avoir de grosses conséquences quelle que soit l'intensité du choc.

Pour pallier ce non port du protège-dents, il faut une prévention plus importante et des protège-dents plus confortables qui puissent être portés sans gêne.

¹⁶ Delahunty et al., « Prevalence of and attitudes about concussion in irish schools' rugby union players ».

¹⁷ Banky et McCrory, « Mouthguard use in australian football ».

1.2.2. Les raisons du non port d'un protège-dents

Après avoir identifié la prévalence du port ou non d'un protège-dents dans la partie précédente, nous allons comparer sur des critères similaires et identiques les causes. Voici un tableau comparatif de différentes études.

Tableau 4 : Les raisons du non port du protège-dents

		Inconfort	Absence de risque de traumatismes	Manque d'informations	Trop cher	Perturbe l'élocution	Trop serré	Entraine des nausées	Blesse les gencives et les dents	Fait baver	Perturbe la respiration
Wissler¹⁸ <i>Enquête où l'on fait 1 choix parmi ces propositions</i>		65,9%	35,7%	19,2%	1,4%						
Liew et al¹⁹ <i>Combien de personnes ont coché cet item parmi l'ensemble des propositions</i>	Vont continuer de porter un protège-dents	47,5%			12,5%	35%	2,5%	10%	2,5%	7,5%	12,5%
	Vont arrêter de porter un protège-dents	76,5%			4,9%	32,4%	3,9%	12,7%	2%	25,5%	31,4%
Ilia et Al. ²⁰				14%	4%	15,1%		7%			24,9%
Boffano ²¹		35,1%				79,6%		16,7%			16,7%

Source : Auteur, 2018

¹⁸ Wissler, « Enquête épidémiologique sur les traumatismes dento-maxillaires dans la pratique du rugby : intérêts, protocole et résultats. »

¹⁹ Liew et al., « Factors associated with mouthguard use and discontinuation among rugby players in Malaysia ».

²⁰ Ilia, Metcalfe, et Heffernan, « Prevalence of dental trauma and use of mouthguards in rugby union players ».

²¹ Boffano et al., « Rugby athletes' awareness and compliance in the use of mouthguards in the north west of Italy : compliance in the use of mouthguards ».

Ce tableau permet de comparer quatre études menées pour déterminer les raisons du non port d'un protège-dents. Trois facteurs principaux sont à relever : l'inconfort, la perte d'élocution et la perturbation de la respiration.

- L'inconfort : Le premier facteur est l'inconfort. Il est logique qu'un protège-dents inconfortable ne soit pas porté. L'inconfort ressenti par le joueur peut être lié à la mauvaise adaptation de la protection par rapport à sa situation buccale. Il peut aussi venir d'une épaisseur trop importante, nécessaire au bon niveau de protection.
- La perte d'élocution : Le deuxième facteur est la perturbation de l'élocution. L'élocution est importante lors de la pratique du rugby. Il s'agit d'un sport collectif qui nécessite une bonne communication entre les joueurs/joueuses. Il est impensable qu'un joueur ait besoin de retirer son protège-dents pour annoncer une combinaison de jeu, encourager ses partenaires, faire une remarque à un de ses collègues ou faire participer sa vision du jeu et ses directives à son équipe.
- La perturbation de la respiration : Le troisième facteur principal est la perturbation de la respiration. Comme dans tout sport, le rythme cardiaque augmente et entraîne une augmentation du volume respiratoire. Si le protège-dents perturbe la respiration, il devient un handicap.
- Le coût : Un aspect qui n'est pas directement lié aux caractéristiques techniques du protège-dents apparaît dans trois études sur les quatre. Le prix d'un protège-dents peut varier de quelques euros (10 à 25 euros dans les grandes enseignes de sport) jusqu'à quelques centaines d'euros s'il est réalisé chez un dentiste (réalisé sur mesure par un prothésiste).

Le problème financier ne semble pas rédhibitoire. En effet, de plus en plus d'assurances ne souhaitent plus prendre en charge les traumatismes dentaires si le port d'un protège-dents n'a pas été prouvé²². Et le coût financier de ce dernier est nettement moins important pour le sportif comparé au coût des soins dentaires qui seront nécessaires afin de restaurer les dents ou le parodonte en cas de traumatisme.

Par exemple, lors d'une fracture amélo-dentinaire complexe, si une résorption radiculaire se produit, la thérapeutique sera certainement une avulsion suivie d'un implant et de la prothèse sur implant.

²² Farrington et al., « A review of facial protective equipment use in sport and the impact on injury incidence ».

Cela aura un coût très important (plusieurs milliers d'euros) souvent pris en charge par les assurances si les déclarations ont bien été effectuées et le port du protège-dents prouvé lors du choc. Or le coût d'un protège-dents fait sur mesure est au moins dix fois moins cher que celui des soins. Si la thérapeutique choisie est un traitement endodontique fait par un praticien exclusif avec de nombreuses séances, le coût pour le patient sera plus ou moins identique.

- D'autres facteurs que l'on peut qualifier de secondaires, car leur prévalence dans les études est inférieure à 12,5%, sont le manque d'information (prévention à améliorer), une sensation de serrement, des nausées, des blessures sur les dents et les gencives ou encore l'inconfort de saliver avec le protège-dents.

L'objectif du futur protège-dents avec l'impression 3D sera de s'adapter parfaitement au maxillaire du sportif et de créer un design favorable à l'élocution et la respiration.

Ces trois facteurs associés à une prévention et une bonne information devraient aider les sportifs à porter plus facilement leur protège-dents.

1.2.3. Cas des joueuses de rugby

La constitution dentaire et osseuse des femmes est la même que celle des hommes. La pratique du rugby féminin est confrontée aux mêmes chocs que celle des hommes. Il n'y a donc, concernant les protège-dents, aucune différence à faire entre les femmes et les hommes lors de la pratique du rugby.

1.3. Quelles sont les conséquences de cette revue de littérature épidémiologique

La conclusion de cette revue de littérature sur les traumatismes dentaires et le port du protège-dents est que ce dernier doit englober l'ensemble du maxillaire (jusqu'aux 2^{èmes} molaires maxillaire). Il doit être adapté au joueur pour lui permettre de bien respirer, de parler confortablement et il doit avoir un coût réduit.

Enfin, une prévention auprès des joueurs, des entraîneurs, et des dirigeants doit être faite pour rendre obligatoire le port du protège-dents en toutes circonstances lors de la pratique du rugby.

L'objectif de la partie suivante est d'identifier les différents types de protège-dents existants aujourd'hui, leurs caractéristiques pour créer une nouvelle approche au niveau de la conception et de la fabrication d'un « protège-dents numérique ».

2. Le protège-dents d'aujourd'hui

2.1. Les différents protège-dents

Il existe différents types de protège-dents, qui sont soit commercialisés suite à un procédé de fabrication industriel, soit faits sur mesure. Nous allons étudier l'ensemble de l'offre (matériaux, design, formes...) et analyser les différents avantages au profit du protège-dents de demain.

2.1.1. Trois types de protège-dents

Il existe trois types de protège-dents²³ :

- Le Stock : Standard
- Le Mouth-Formed = Self-adapted = Boil & bite : Protège-dents thermoformé
- Le Custom-made mouthguard : Protège-dents sur mesure

Cette thèse a pour but de créer un protège-dents personnalisé fait par des professionnels dentaires, c'est pourquoi le protège-dents que nous fabriquons rentrera dans la catégorie des protège-dents sur mesure.

Tableau 5 : Comparatif des trois types de protège-dents

Catégorie du protège-dents	Protège-dents non faits sur mesure		Protège-dents sur mesure
	Standard	Protège-dents thermoformé	
Disponibilité	Pharmacie / Magasins de Sports	Pharmacie / Magasins de Sports	Dentiste / Prothésiste
Personnalisation	Porté tel qu'il a été acheté = minimum de modifications	Chauffe le protège-dents pour le mouler directement dans la bouche (fait par le sportif)	A partir d'un modèle de l'arcade
Adaptation	Mauvaise / Nulle	Passable	Très bon
Problèmes	Ne tient pas en bouche Difficulté d'élocution / de respiration / déglutition	Ne tient pas en bouche Difficulté d'élocution / de respiration / déglutition	Tient en bouche, élocution, respiration et déglutition non contraignante

Source : Banky et McCrory « Mouthguard use in australian football », 1999

²³ Banky et McCrory, « Mouthguard use in australian football ».

L'Etude de Duarte Pereira ²⁴ démontre que les joueurs de rugby préfèrent un protège-dents sur mesure plutôt qu'un protège-dents thermoformable.

- Le protège-dents standard est à proscrire pour tous sportifs. En effet, il n'est pas adapté donc offre peu de protection de la cavité buccale et il est très encombrant et gênant pour son détenteur.
- Le protège-dents thermoformé semble à première vue le meilleur compromis pour le sportif. Il est facilement disponible dans les enseignes sportives et facile à mouler soi-même. Néanmoins, il n'est pas fait par un professionnel et présente des imperfections notamment en termes de garanties contre un choc. Si lors du moulage le sportif serre les dents trop fort, alors l'épaisseur du protège-dents en occlusal va diminuer et cela va diminuer la sécurité du protège-dents et la protection dentaire et buccale.
- Le protège-dents sur mesure interfère moins dans la respiration, l'élocution (phonation) et la salivation. De plus, il offre une meilleure adaptation, un meilleur confort, moins de nausées et plus de facilité pour boire. Il faut donc inciter les sportifs à porter ce type de protège-dents.

Les sensations de froid et le mauvais goût n'ont pas de différences significatives entre le protège-dents thermoformé et le protège-dents sur mesure²⁵.

²⁴ Duarte-Pereira et al., « Wearability and physiological effects of custom-fitted vs self-adapted mouthguards ».

²⁵ Duarte-Pereira et al.

2.1.2. Différents grades de protection des protège-dents ²⁶

Le tableau ci-dessous issu de l'étude de Patrick ²⁷ attribue un grade selon l'état du protège-dents.

Tableau 6 : Différents grades de protection des protège-dents

Grade	Fonctionnalité
10	But ultime = grade 8 et 9 combinés
9	Passé les tests d'évaluation du protège-dents avec succès
8	Protège-dents sur mesure utilisant un design et des matériaux innovants
7	Protège-dents sur mesure utilisant des matériaux innovants
6	Nouveau protège-dents réalisé sur mesure
5	Protège-dents sur mesure avec une insuffisance d'épaisseur
4	Vieux protège-dents sur mesure (2-5 ans)
3	Vieux protège-dents sur mesure > 5 ans
2	Protège-dents thermoformé
1	Protège-dents standard
0	Pas de protège-dents

Source : Patrick, « Scale of protection and the various types of sports mouthguard ».

Selon Patrick ²⁸, dix grades caractérisent la protection des protège-dents :

- Les six premiers grades (de 0 à 5) sont à bannir car ils ne remplissent pas leurs rôles de prévention et de protection. Ils vont entraîner des traumatismes en cas de chocs (même s'ils sont peu violents).
- Le niveau 6 est le premier grade utile à un rugbyman. C'est le protège-dents classique disponible chez un dentiste qui le fait fabriquer par son prothésiste.
- Le grade 7 est le protège-dents que tous les sportifs devraient avoir car il présente toutes les caractéristiques pour protéger efficacement la cavité buccale avec les derniers matériaux innovants.
- Le grade 8 est la gamme de protection que nous voulons approcher dans cette thèse. En effet, nous souhaitons utiliser des matériaux innovants mais aussi un nouveau design (ou un design amélioré de Sametsky). Puis, selon les évolutions attendues de l'industrie, si nous arrivons à le créer nous pourrions le tester et envisager de passer au grade 9 voire 10.

²⁶ Patrick, « Scale of protection and the various types of sports mouthguard ».

²⁷ Patrick.

²⁸ Patrick.

2.2. Rôle et indications du protège-dents

Le protège-dents doit protéger son porteur contre cinq types de blessures ²⁹ :

- Prévenir les blessures dentaires en absorbant les coups directs sur les dents.
- Offrir un bouclier pour les lèvres, la langue et le tissu gingival contre la lacération.
- Protéger les dents antagonistes lors d'un choc violent.
- Offrir à la mandibule un support résilient qui va absorber l'impact et prévenir une fracture de l'angle de la mandibule ou du condyle.
- Prévenir les traumatismes du cou et les lésions cérébrales.

Un autre rôle du protège-dents difficile à décrire de manière objective est la mise en confiance du joueur. Cela lui permet de ne pas penser en permanence aux chocs qu'il peut subir et d'être plus engagé dans le jeu.

En termes d'indications ³⁰, un accident dentaire entraîne des conséquences fonctionnelles, esthétiques, psychologiques et financières. De plus, en dentisterie, il n'y a jamais de restitution « Ad Integrum ». Toutes les fractures de l'organe dentaire sont irréversibles. Certaines luxations dentaires à la suite d'un choc direct ou indirect peuvent entraîner des nécroses pulpaire ou même des résorptions radiculaires externes ou internes³¹.

L'accidenté sportif demeurera donc « handicapé » et ne pourra reprendre son activité que diminué.

L'obligation du port du protège-dents en France existe « seulement » pour deux disciplines : la boxe et la boxe française. Les risques encourus sont plus grands que dans le rugby, le jeu à XIII ou encore le rugby à 7. Le port du protège-dents n'est pas obligatoire pour le rugby mais comme nous l'avons vu précédemment les traumatismes liés à ce sport sont nombreux.

Un protège-dents « bien porté » apporte une aide psychologique au sportif qui ne se soucie plus de ses dents, il n'a donc plus d'appréhension avant un contact plus ou moins violent. Cela lui permet de se concentrer sur le jeu. En effet, un joueur moins engagé se blessera plus facilement.

²⁹ Bourguignon et Sigurdsson, « Preventive strategies for traumatic dental injuries ».

³⁰ Lamendin, *Odontologie du sport*.

³¹ Heithersay, « Management of tooth resorption ».

2.3. Caractéristiques du protège-dents idéal

Tableau 7 : Les caractéristiques d'un protège-dents idéal

	Lamendin ³²	Gould ³³	Dhillon et al ³⁴	Patrick ³⁵
Isoler les lèvres des dents	X	X	X	X
Protéger les dents contre les chocs directs	X	X	X	X
Amortir les contacts occlusaux	X	X		X
Respirer par la bouche, même mandibule bloquée	X			
Avaler sa salive	X			
Parler	X		X	
Stable et rétentif	X		X	
Pas d'effets iatrogènes	X			
Confortable			X	
Résistant à la déchirure			X	
Inodore / insipide			X	
Fabrication facile			X	

Source : Auteur, 2018

Ce tableau permet de comparer quatre études afin de caractériser le protège-dents idéal.

Le protège-dents idéal doit isoler les lèvres des dents, protéger les dents contre les chocs directs, amortir les contacts occlusaux (chocs indirects), permettre de respirer par la bouche, même si la mandibule est bloquée, permettre d'avaler sa salive, permettre l'élocution, être stable et rétentif, ne pas entraîner d'effets iatrogènes, être confortable, être résistant à la déchirure, être indolore et insipide et être de fabrication facile pour un coût optimisé.

Si le protège-dents répond à tous ces critères d'après les études analysées en début de thèse, il n'y aura aucune raison de ne plus porter un protège-dents lors de la pratique du rugby. En effet, les trois facteurs principaux du non port, que sont l'inconfort, la perte d'élocution et la gêne à la respiration, ne seront plus un frein au port du protège-dents.

³² Lamendin, *Odontologie du sport*.

³³ Gould et al., « Characterization of mouthguard materials : physical and mechanical properties of commercialized products ».

³⁴ Dhillon et al., « Guarding the precious smile ».

³⁵ Patrick, Noort, et Found, « The influence of heat treatment on the impact performance of sports mouthguard materials ».

La Fédération Dentaire Internationale (FDI) a créé et publié les critères de recommandation d'un protège-dents. Ces critères sont cités par Bourguignon & Sigurdsson ³⁶

- Le protège-dents doit être fait avec un matériau résilient, qui peut être nettoyé et désinfecté.
- Il doit être adapté et avoir une rétention permettant de le manipuler pendant une activité sportive. Il doit permettre d'avoir des rapports d'occlusions normaux pour donner un maximum de protection.
- Il doit absorber et disperser l'énergie accumulée par un choc et pour cela il doit :
 - Couvrir l'arcade maxillaire
 - Retirer toutes interférences
 - Reproduire des rapports occlusaux normaux
 - Permettre une respiration buccale
 - Protéger les tissus mous

Un protège-dents idéal doit avoir une absorption de l'eau inférieure à 0,5wt% ³⁷. Etant dans la cavité buccale, milieu humide, il ne faut pas qu'il se déforme et perde ses caractéristiques par sa simple présence en bouche.

2.4. Le modèle de Sametzky ³⁸

Le modèle de Sametzky est aujourd'hui le Gold Standard des protège-dents. Il répond à tous les critères cités précédemment. Il s'agit d'une gouttière maxillaire, en matériau thermoplastique avec renfort vestibulaire métallique ou en PVC rigide. Elle est réalisée à partir d'empreintes et d'un enregistrement de l'occlusion. La prise d'occlusion se fait avec une béance de 1 mm, environ, au niveau incisif, afin de permettre la respiration buccale d'effort et la phonation.

Il y a possibilité d'adjonction du matériau thermoplastique pour le comblement des espaces répondant aux dents absentes non remplacées ou aux prothèses amovibles enlevées pour la pratique sportive.

Aujourd'hui le modèle de Sametzky est la référence. Ce modèle est conçu pour permettre une absorption des contraintes suffisantes, c'est-à-dire une diminution de 70% du choc.

Le protège-dents idéal devrait viser une diminution de 100% du choc. Afin d'aller au-delà des 70% atteints aujourd'hui, un nouveau design avec de nouveaux matériaux est nécessaire. Même si l'absorption de 100% du choc est un objectif a priori irréaliste, nous allons faire une étude de la

³⁶ Bourguignon et Sigurdsson, « Preventive strategies for traumatic dental injuries ».

³⁷ Gould et al., « Characterization of mouthguard materials : physical and mechanical properties of commercialized products ».

³⁸ Lamendin, *Odontologie du sport*.

littérature sur les matériaux utilisés et les designs existants pour augmenter l'efficacité du protège-dents.

2.4.1. Détails techniques de la réalisation du protège-dents de Sametzky

La protection doit être réalisée au maxillaire afin de protéger les dents les plus antérieures. Ceci, même dans les cas de classe III de Balard puisque l'ouverture orale engendrée par l'épaisseur du protège-dents permettra vraisemblablement de compenser la dysharmonie squelettique. Les empreintes des arcades dentaires sont réalisées à l'alginate. Il est important de bien réaliser l'enregistrement du vestibule et des freins en phase dynamique. L'enregistrement des rapports occlusaux se fait par simple accompagnement tactile, l'opérateur enregistre la position mandibulaire en relation centrée. La détermination de la dimension verticale thérapeutique (DVT) est primordiale. Plus une protection est épaisse, plus elle doit augmenter la capacité d'amortissement du matériau. Sans trop empiéter sur la notion de confort, il semblerait qu'une épaisseur de quatre millimètres en occlusal soit un compromis tout à fait acceptable.

Une autre étude justifie qu'il faut 4 mm d'épaisseur en occlusale : (Takahashi³⁹).

On se rapprochera au plus près de la dimension verticale thérapeutique avec une feuille de cire Moyco mesurant un peu moins de 1,5mm d'épaisseur, avec un léger écrasement lors de la prise du RIM.

De cette façon, en ne modifiant pas l'épaisseur donnée par les cires Moyco® de quadruple épaisseur, le montage des modèles peut être effectué à une dimension verticale thérapeutique correcte. Et cela sans faire varier la dimension verticale sur l'articulateur à l'aide de la tige incisive.

Le modèle de Sametzki suggère de noyer dans la cire une armature métallique coulée ou en fibre de verre afin de renforcer son ensemble. Avant de confectionner la maquette en cire, le renfort métallique est réalisé directement sur le moulage de travail en utilisant une préforme en cire de 5,5 mm de large et 1 mm d'épaisseur.

2.4.2. Détermination des limites périphériques du protège-dents de Sametzky

Le protège-dents a plusieurs limites périphériques. La limite périphérique au fond du vestibule, en palatin et en occlusal.

- En palatin, pour augmenter la rigidité, le contour peut être positionné jusqu'à 10 mm sous le collet des dents.

³⁹ Takahashi, Koide, et Mizuhashi, « Difference in the thickness of mouthguards fabricated from ethylene-vinyl acetate co-polymer sheets with differently arranged v-shaped grooves ».

- La limite vestibulaire est dessinée 2 mm en deçà du fond du vestibule, sans interférer sur les freins. C'est pourquoi lors d'une prise d'empreinte classique, il faut enregistrer les mouvements fonctionnels des freins et brides de la muqueuse. On peut utiliser les mêmes mouvements que pour une empreinte secondaire de prothèse amovible complète (sans faire dire le « A grave » puisque notre protège-dents n'ira pas sur le voile du palais).
- La protection doit recouvrir toutes les dents jusqu'à la face distale des dernières molaires maxillaires. Pour un meilleur confort, si l'espace n'est pas suffisant et que les dents de sagesse sont sur arcades on pourra exceptionnellement s'arrêter en distal des deuxièmes molaires maxillaires.

S'il y a un édentement en bouche, un comblement d'espace doit avoir lieu sous forme d'une selle de prothèse amovible partielle.

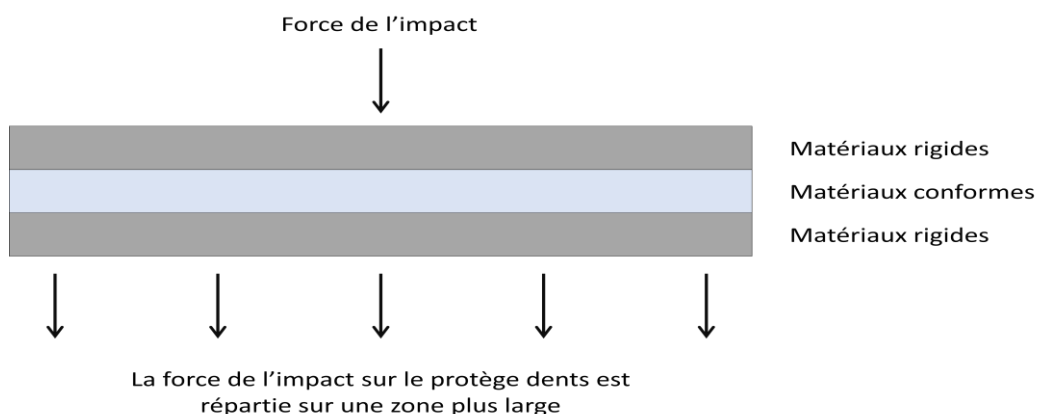
2.5. Le modèle selon l'étude de Patrick ⁴⁰

2.5.1. Sa composition

L'étude de Patrick décrit un autre protège-dents idéal. Son modèle s'inspire du modèle de Sametsky avec quelques évolutions.

Le matériau idéal doit être du polyvinyle acetate polyethylene avec de l'EVA (Ethylène Acétate de Vinyl) entre 18 et 24%. Il instaure l'idée d'une superposition de lamelle d'EVA de duretés différentes

Figure 1 : Distribution des forces avec différentes couches d'EVA



Source : Patrick.

⁴⁰ Patrick, « Scale of protection and the various types of sports mouthguard ».

Le traitement à la chaleur de l'EVA réduit le stress du matériau donc réduit le déplacement et la force transmise. Cela permet de mieux amortir les chocs en répartissant les forces et in fine de mieux protéger les dents et les tissus de soutien.

L'article de Bourguignon & Sigurdsson⁴¹ mentionne trois types de matériaux utilisés : le vellum (caoutchouc avec du soufre à l'origine utilisé pour combler les fissures palatines), le latex et les résines acryliques. Mais les matériaux couramment utilisés pour les protège-dents sont les copolymères d'EVA. Le pourcentage d'EVA dans les copolymères varie de façon importante selon les fabricants. Il préconise d'utiliser 28% d'EVA dans les copolymères.

2.5.2. Ses dimensions et ses limites

Le protège-dents englobe le maxillaire jusqu'en distal des 2^{ème} molaires. Il prend donc l'ensemble de l'arcade maxillaire.

- L'épaisseur du matériau doit être de trois millimètres au niveau labial (vestibulaire), deux millimètres en occlusal et trois millimètres en palatin. On peut noter qu'il préconise un protège-dents plus fin en occlusal (deux millimètres) que le modèle de Sametsky⁴² et l'étude de Takahashi⁴³ (quatre millimètres).
- Le rebord labial doit s'étendre à moins de deux millimètres de la réflexion vestibulaire et un centimètre en palatin au-dessus de la gencive marginale.
- Le bord du rebord labial doit être arrondi en section transversale alors que le bord palatin doit être conique.
- Le maxillaire doit être articulé avec la mandibule pour un confort optimal. L'article de Padilla⁴⁴ confirme que l'extension minimale du protège-dents doit être en distal de la première molaire donc la deuxième molaire sera notre référence.

⁴¹ Bourguignon et Sigurdsson, « Preventive strategies for traumatic dental injuries ».

⁴² Lamendin, *Odontologie du sport*.

⁴³ Takahashi, Koide, et Mizuhashi, « Difference in the thickness of mouthguards fabricated from ethylene-vinyl acetate co-polymer sheets with differently arranged v-shaped grooves ».

⁴⁴ Padilla, « A technique for fabricating modern athletic mouthguards ».

2.6. Matériaux conventionnels d'aujourd'hui

Le matériau idéal pour un protège-dents n'existe pas. Néanmoins, certains matériaux sont considérés comme des références aujourd'hui car ils sont facilement disponibles sur le marché, faciles d'utilisation et ont de bonnes propriétés biomécaniques.

2.6.1. L'EVA

De nombreuses études⁴⁵⁴⁶ présentent l'EVA copolymères comme le matériau de référence pour un protège-dents. C'est un matériau facilement disponible dans le commerce et facile à mettre en œuvre. En revanche, il n'existe pas de bobines de fil d'EVA pour impression 3D disponibles à ce jour sur le marché.

Une étude comparative entre deux matériaux : l'Acrylic resin (methyl-methacrylate) de SR-ivocap d'Ivoclar et le Silicone rubber = Silastic Q7-4850 de Dow Corning Corporation a été faite par Brionnet et al⁴⁷. La conclusion de cette étude montre qu'il n'existe pas de différences significatives entre ces deux matériaux pour la salivation, la difficulté à respirer et la difficulté à parler entre ces deux matériaux.

En revanche, il existe une différence significative sur la stabilité et la dureté : le protège-dents en Acrylic resin est plus stable et plus dur.

Dans cette étude les joueurs avaient la possibilité de garder un des deux protège-dents. 56% des joueurs garderont le protège-dents en méthyl-methacrylate et 44% celui en silicone.

Padilla⁴⁸ dit que le matériau de choix est l'éthylène vinyl acetate avec une dureté de 80 shore A. Il précise également que l'EVA a un rétrécissement de 30 à 40% de son volume lors de la fabrication du protège-dents.

2.6.2. Toxicité des volatiles organiques de l'EVA

Dans notre société actuelle, la toxicité des matériaux est un enjeu majeur de santé publique. Notre futur protège-dents devra être donc être constitué d'un matériau neutre pour la santé et la planète. L'étude de Meng⁴⁹ étudie la toxicité des composants volatiles organiques de l'EVA. Cette étude démontre que l'EVA est sans phtalate et biodégradable. L'absence de chlore diminue considérablement les dégazages nocifs. En revanche, malgré le fait qu'il soit sans chlore, l'EVA a des

⁴⁵ Farrington et al., « A review of facial protective equipment use in sport and the impact on injury incidence ».

⁴⁶ Gould et al., « Characterization of mouthguard materials : physical and mechanical properties of commercialized products ».

⁴⁷ Brionnet et al., « Rugby players' satisfaction with custom-fitted mouthguards made with different materials ».

⁴⁸ Padilla, « A technique for fabricating modern athletic mouthguards ».

⁴⁹ Meng, « Volatile organic compounds of polyethylene vinyl acetate plastic are toxic to living organisms ».

effets toxiques sur l'oxygène que nous respirons, sur le comportement social (des *lumbriculus variegatus*) et leur activité malgré le fait qu'il soit sans chlore. Cette étude prouve qu'il faut pousser les recherches sur la toxicité des volatiles organiques avec l'EVA en phase plastique.

Toutefois, pour cette étude, l'EVA a été mis dans un bain marie à 66°C, donc en phase plastique, or le corps humain est à 37°C. Le protège-dents constitué d'EVA ne pourra donc pas se retrouver dans une telle situation (66°C) lors de la pratique du rugby.

On peut se poser la question des protège-dents thermoformés qui doivent être chauffés dans de l'eau chaude (95° selon les notices d'utilisation) pour être appliqués directement en bouche. Lors de l'adaptation par le joueur lui-même, le protège-dents en EVA est donc en phase plastique et il est inséré directement au contact des dents et des muqueuses. Il devrait donc y avoir des volatiles organiques d'EVA qui peuvent apporter une toxicité à l'organisme. La réalisation d'un protège-dents confectionné par un prothésiste ou à l'aide d'une imprimante 3D permet d'éviter tout contact entre le corps humain et l'EVA en phase plastique ce qui est un avantage considérable.

2.6.3. Autres matériaux

Une étude sur le comportement de différents matériaux a été menée par Auroy et al.⁵⁰ Cette étude compare de l'EVA, du Styrol (polyoléfin methyl methacrylate), du silicone et du « medical dow corning ».

Cette étude apporte les résultats suivants :

- Les matériaux avec la plus grande valeur de dureté sont ceux qui absorbent le moins les chocs.
- Quand la dureté augmente, le pourcentage de force transmis au support (maxillaire) augmente aussi.
- Ajouter de l'huile de silicone dans les silicones améliore significativement leurs capacités d'absorption et réduit leurs duretés.
- Mélanger le silicone associé à 20 % d'huile de silicone avec des fibres de verre diminue la capacité d'absorption des forces.
- Incorporer des lamelles de fibres de verre proches les unes des autres augmente la force transmise au support ou réduit la capacité d'absorption.

Le silicone recommandé par cette étude pour la fabrication des protège-dents est le Stock MDX-4-4210 (*fiche caractéristique en annexe*). Le dérivé de ce matériau avec 20% d'huile ajouté (RTV 71556 de Rhône-Poulenc) est le matériau qui présente tous les critères et toutes les propriétés pour le protège-dents idéal.

⁵⁰ Auroy et al., « Hardness and shock absorption of silicone rubber for mouth guards ».

2.7. Discussion sur le protège-dents du commerce

Le protège-dents du commerce est un protège-dents industriel. Il est fabriqué en général avec une monocouche d'Éthylène Vinyle Acétate (EVA). La monocouche n'offre pas une protection suffisante pour un professionnel de la santé buccodentaire mais suffisante pour les institutions publiques car il absorbe au moins 70% du choc.

Ces protège-dents sont adaptés directement par le joueur qui fait bouillir le protège-dents puis une fois l'EVA rendu souple, l'applique en bouche. C'est alors que les organiques volatiles toxiques peuvent se diffuser dans les muqueuses et donc dans le corps.

De plus son adaptation et sa rétention sont décroissantes dans le temps. Sa forme imposée ne peut proposer aucune extension protectrice vers les dents mandibulaires. Il est aussi pré-adapté selon un maxillaire type. Souvent il ne couvre que les premières molaires maxillaires donc est par défaut trop court.

Le protège-dents thermoformé du commerce constitue un compromis protection/coût peu acceptable.

Nous pouvons poser son indication pour :

- Les enfants en cours de croissance
- Les personnes avec une dentition changeante
- Les porteurs d'appareil orthodontique.

Il ne présente pas toutes les garanties contre un choc important mais peut être suffisant en cas de choc léger. Sa modification reste aisée pour s'adapter aux évolutions des traitements. Souvent les personnes ayant des dentitions changeantes ou des traitements orthodontiques sont des enfants ou adolescents. Les chocs reçus lors de la pratique du rugby chez les plus jeunes sont moins violents ce qui rend ce protège-dents tout de même protecteur.

3. Elaboration du protège-dents de demain

Cette partie a pour objectif de présenter les caractéristiques du protège-dents. Elles ont été choisies suite aux différentes études analysées précédemment afin de ressortir les propriétés importantes.

Selon Westerman ⁵¹, la performance d'un protège-dents doit être déterminée selon trois points : La mesure de l'énergie absorbée, la résistance à la déformation et le port d'un protège-dents confortable. C'est une approche différente des critères décrit précédemment mais qui a tout son sens. Le protège-dents décrit dans cette thèse est conçu selon les trois critères ci-dessus.

3.1. L'épaisseur

3.1.1. Quelle épaisseur choisir ?

L'épaisseur d'un protège-dents est une des caractéristiques principales importantes. Il ne doit pas être trop épais car il deviendrait trop encombrant et par conséquent ne serait pas porté par le joueur.

Ci-dessous, un tableau récapitulatif des différentes recommandations selon les auteurs.

Tableau 8 : Récapitulatifs des différentes épaisseurs d'un protège-dents selon les auteurs

Modèle du protège-dents	Epaisseur occlusale	Epaisseur vestibulaire	Epaisseur palatine
Sametzky ⁵²	4 mm	Non renseignée	Non renseignée
Patrick ⁵³	2 mm	3 mm	3 mm
Takahashi ⁵⁴	4 mm	Non renseignée	Non renseignée

Source : Auteur, d'après les études de Sametzky, Patrick et Takahashi, 2018

Patrick préconise un protège-dents plus fin en occlusal (2 millimètres) par rapport au modèle de Sametzky⁵⁵ et l'étude de Takahashi⁵⁶ (4 millimètres). L'étude de Farrington et al⁵⁷ précise que

⁵¹ Westerman et al., « Effect of ethylene vinyl acetate (EVA) closed cell foam on transmitted forces in mouthguard material ».

⁵² Lamendin, *Odontologie du sport*.

⁵³ Patrick, « Scale of protection and the various types of sports mouthguard ».

⁵⁴ Takahashi, Koide, et Mizuhashi, « Difference in the thickness of mouthguards fabricated from ethylene-vinyl acetate co-polymer sheets with differently arranged v-shaped grooves ».

l'épaisseur est directement corrélée à l'absorption de l'énergie d'un choc. Une épaisseur de 2 millimètre d'EVA transmet 15,7 kN tandis qu'une épaisseur de 6 millimètres d'EVA ne transmettra que 3,91 kN.

Notre protège-dents fera donc :

- Trois millimètres d'épaisseur en palatin
- Trois millimètres d'épaisseur en vestibulaire.

C'est un bon compromis entre efficacité de l'absorption du choc et le confort du joueur.

- Trois millimètres d'épaisseur en occlusal.

Un protège-dents avec une épaisseur de quatre millimètres peut être également proposé si la cavité buccale du joueur est assez volumineuse pour optimiser l'absorption des chocs.

Tableau 9 : Les différentes épaisseurs selon les auteurs et notre protège-dents

Modèle du protège-dents	Epaisseur occlusale	Epaisseur vestibulaire	Epaisseur palatine
Sametzky ⁵⁸	4 mm	Non renseignée	Non renseignée
Patrick ⁵⁹	2 mm	3 mm	3 mm
Takahashi ⁶⁰	4 mm	Non renseignée	Non renseignée
Notre Protège-dents	3 mm	3 mm	3 mm

Source : Auteur, d'après les différentes études, 2018

⁵⁵ Lamendin, *Odontologie du sport*.

⁵⁶ Takahashi, Koide, et Mizuhashi, « Difference in the thickness of mouthguards fabricated from ethylene-vinyl acetate co-polymer sheets with differently arranged v-shaped grooves ».

⁵⁷ Farrington et al., « A review of facial protective equipment use in sport and the impact on injury incidence ».

⁵⁸ Lamendin, *Odontologie du sport*.

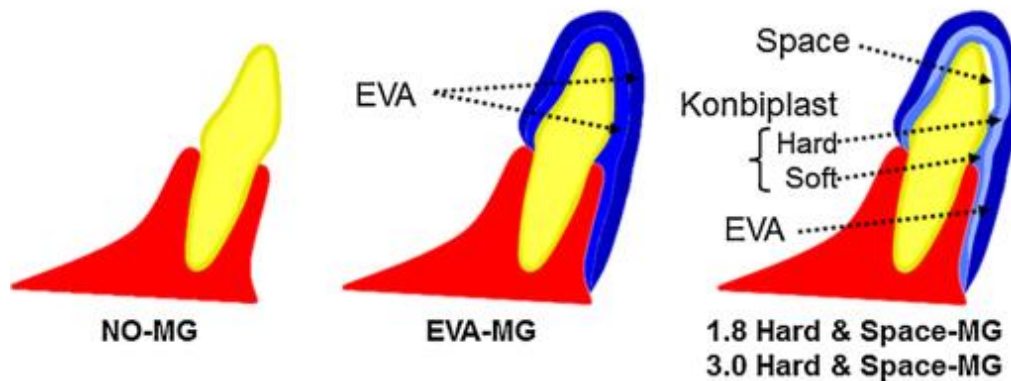
⁵⁹ Patrick, « Scale of protection and the various types of sports mouthguard ».

⁶⁰ Takahashi, Koide, et Mizuhashi, « Difference in the thickness of mouthguards fabricated from ethylene-vinyl acetate co-polymer sheets with differently arranged v-shaped grooves ».

3.1.2. Superpositions de différentes couches

Handa⁶¹ montre dans son étude que l'association de couches de différentes duretés augmente l'absorption des chocs. Il est important de souligner que les résultats de cette étude sont des essais en laboratoire, qui n'ont pas été appliqués cliniquement.

Figure 2 : Illustration de différents modèles : a) contrôle b) EVA 3mm + 3mm c) EVA + Konbiplast hard + Konbiplast soft + espace vide

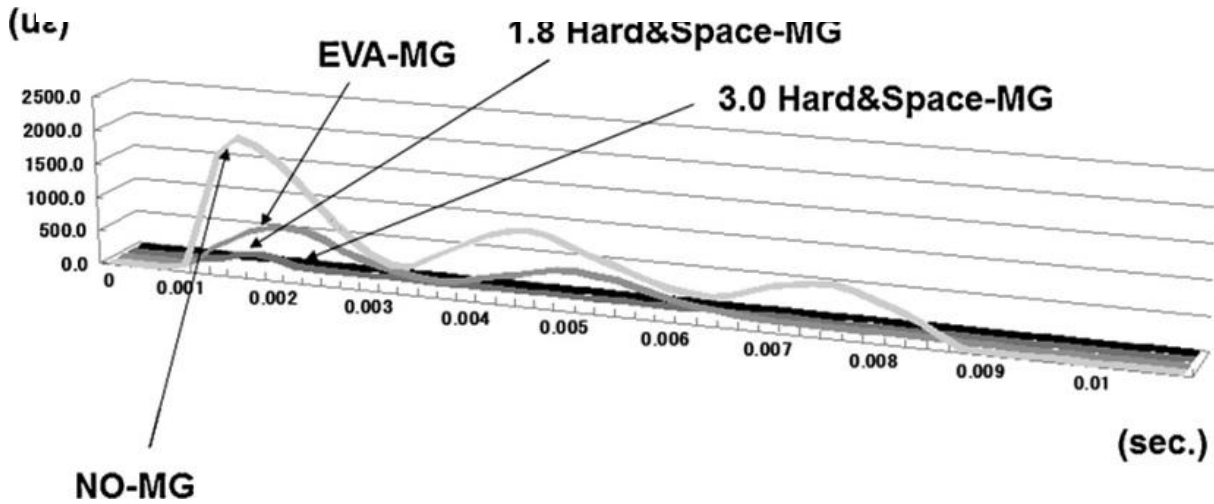


Source : Handa, « Influence of pre-laminated material on shock absorption ability in specially designed mouthguard with hard insert and space », 2011

Le protège-dents testé (Figure 2 : Illustration de différents modèles : a) contrôle b) EVA 3mm + 3mm c) EVA + Konbiplast hard + Konbiplast soft + espace vide) est composé d'une couche extérieure d'EVA, une couche intermédiaire de résine acrylique puis d'un espace pour empêcher le contact entre la surface intérieure du protège-dents et les surfaces vestibulaires des dents antérieures maxillaires. En effet, ce sont ces dernières qui reçoivent souvent les impacts horizontaux et qui entraînent des lésions dentaires importantes. Ce protège-dents présente une grande faculté d'absorption des chocs. Dans cette étude, trois types de matériaux sont comparés en fonction d'un contrôle/témoin (sans protège-dents). Le premier modèle est l'EVA (Figure 2 : Illustration de différents modèles : a) contrôle b) EVA 3mm + 3mm c) EVA + Konbiplast hard + Konbiplast soft + espace vide), le second l'ensemble Konbiplast + espace vide mesure 3 millimètres associé à 3 millimètres d'EVA à l'extérieur et enfin le troisième modèle l'ensemble Konbiplast + Espace vide mesure 1,8 millimètres + 3 millimètres d'EVA à l'extérieur.

⁶¹ Handa et al., « Influence of pre-laminated material on shock absorption ability in specially designed mouthguard with hard insert and space ».

Figure 3 : Courbes de distorsion du matériaux en fonction du temps

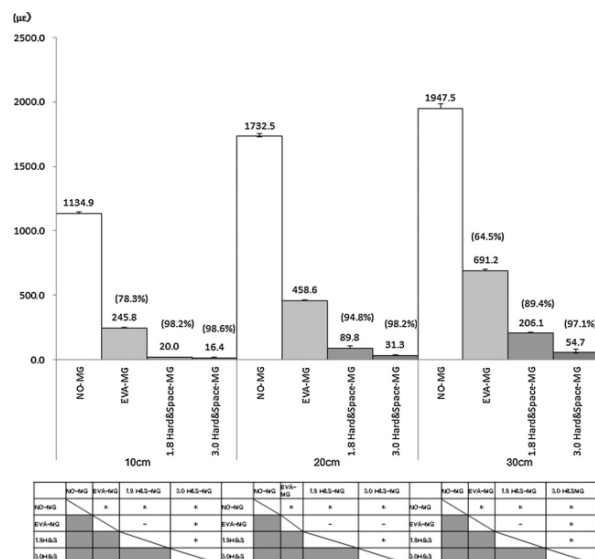


Source : Handa, « Influence of pre-laminated material on shock absorption ability in specially designed mouthguard with hard insert and space », 2011

L'étude de l'absorption et de la distorsion de ces matériaux a été effectuée avec un pendule qui tape dans les mêmes conditions sur la dent ou sur le matériau. Un accéléromètre situé derrière la dent ou le matériau mesure l'intensité du choc.

Les résultats de la distorsion en fonction du temps (*Figure 3 : Courbes de distorsion du matériaux en fonction du temps*) montre que le choc est très important sans protège-dents. Le protège-dents avec seulement de l'EVA protège correctement alors que celui avec le Konbiplast protège mieux.

Figure 4 : Comparaison de la distorsion de la couronne par rapport à la capacité d'absorption du matériau



Source : Handa, « Influence of pre-laminated material on shock absorption ability in specially designed mouthguard with hard insert and space », 2011

La Figure 4 (*Figure 4 : Comparaison de la distorsion de la couronne par rapport à la capacité d'absorption du matériau*) permet de comparer la distorsion de la couronne dentaire par rapport à la capacité d'absorption du matériau.

Ces résultats confirment que le protège-dents avec de l'EVA seul protège suffisamment la dent tandis que le protège-dents avec plusieurs couches est plus performant.

Néanmoins, certaines limites sont à noter car les essais ont été réalisés in vitro or in vivo le protège-dents doit être suffisamment fin pour être confortable pour le joueur. L'étude révèle aussi un risque de délamination dû à la stratification.

Le matériau le plus dur est celui qui jouxte l'espace vide entre l'intrados du protège-dents et la dent. En cas de choc important c'est donc lui qui va frapper la dent. Est-ce un problème ? Enfin la réalisation de cette stratification est difficile à mettre en œuvre.

L'impression 3D peut-elle nous permettre d'éviter la délamination due à la stratification et la gestion de l'espace dent/protège-dents ?

Notre protège-dents pourrait avoir un espace de 1 mm entre les dents et le matériau mais seulement au niveau dentaire car il sera au contact au niveau des muqueuses pour permettre d'avoir une rétention suffisante. Lors de la conception, nous avons pris la décision de ne pas retenir cette solution mais de créer des cavités internes d'air à l'intérieur du matériau constituant le protège-dents. Nous développons dans la partie 3.3. ce design retenu.

3.2. Ses limites périphériques

Ce tableau présente, selon les auteurs, les différentes données des limites et des dimensions d'un protège-dents.

Tableau 10 : Récapitulatif des dimensions et limites d'un protège-dents

Modèle du protège-dents	Limites périphériques	Limites périphériques	Limites occlusales
	vestibulaires	palatines	
Sametzky ⁶²	2 mm en deçà du fond du vestibule	10 mm sous le collet	Non renseigné
Patrick ⁶³	2 mm de la réflexion de la muqueuse	10 mm sous le collet	Distal 2 ^{ème} molaire
Padilla ⁶⁴	Non renseigné	Non renseigné	Distal 2 ^{ème} molaire

Source : Auteur, selon les études citées, 2018

Notre protège-dents aura ses limites périphériques vestibulaires à 2 millimètres en deçà du fond du vestibule. Au niveau palatin, sa limite s'arrêtera 1 centimètre sous le collet des dents. Il n'est pas nécessaire de prendre tout le palais comme pour une prothèse amovible complète car la rétention n'a pas besoin d'être obtenue pour la mastication. En effet le sportif serre les dents pendant l'effort mais ne mastique pas.

L'occlusion doit être bien enregistrée afin qu'il n'y ait pas de déséquilibre. Les indentations des dents antagonistes (mandibulaires) doivent être présentes pour retrouver l'occlusion. L'indentation de l'arcade antagoniste (mandibulaire) au niveau occlusal est indispensable car la crispation et le serrement des dents diminue les mouvements de la tête lors d'un choc violent ce qui entraîne une diminution des risques de commotions cérébrales⁶⁵. Le risque est non négligeable car ce type de choc violent arrive lors de la pratique du rugby et les conséquences peuvent être néfastes⁶⁶ à long terme.

La limite occlusale sera par défaut la deuxième molaire maxillaire en distal. Si le praticien observe lors de son examen clinique que les troisièmes molaires maxillaires sont sur arcade il faudra les englober dans le protège-dents, sans entraîner d'inconfort pour le joueur.

⁶² Lamendin, *Odontologie du sport*.

⁶³ Patrick, « Scale of protection and the various types of sports mouthguard ».

⁶⁴ Padilla, « A technique for fabricating modern athletic mouthguards ».

⁶⁵ Hasegawa et al., « Does clenching reduce indirect head acceleration during rugby contact ? »

⁶⁶ Decq et al., « Long-term consequences of recurrent sports concussion ».

Tableau 11 : Les différentes limites périphériques selon les auteurs et notre protège-dents

Modèle du protège-dents	Limites périphériques vestibulaires	Limites périphériques palatines	Limites occlusales
Sametzky ⁶⁷	2 mm en deçà du fond du vestibule	10 mm sous le collet	Non renseigné
Patrick ⁶⁸	2 mm de la réflexion de la muqueuse	10 mm sous le collet	Distal 2 ^{ème} molaire
Padilla ⁶⁹	Non renseigné	Non renseigné	Distal 2 ^{ème} molaire
Notre Protège-dents	2 mm en deçà du fond du vestibule	10 mm sous le collet	Distal 2 ^{ème} molaire ou 3 ^{ème} Molaire selon l'avis du praticien

Source : Auteur, selon les études citées, 2018

⁶⁷ Lamendin, *Odontologie du sport*.

⁶⁸ Patrick, « Scale of protection and the various types of sports mouthguard ».

⁶⁹ Padilla, « A technique for fabricating modern athletic mouthguards ».

3.3. L'insertion de bulles d'air dans les matériaux

L'étude de Westerman⁷⁰ précise que l'insertion de bulles d'air avec de l'EVA comparé à l'EVA sans bulles d'air diminue significativement la transmission des forces. Il chiffre cette diminution à 32%. L'impression 3D permettra certainement de créer des bulles d'air lors de la conception et de l'impression.

Figure 5 : Graphique des forces transmises selon le temps en fonction des

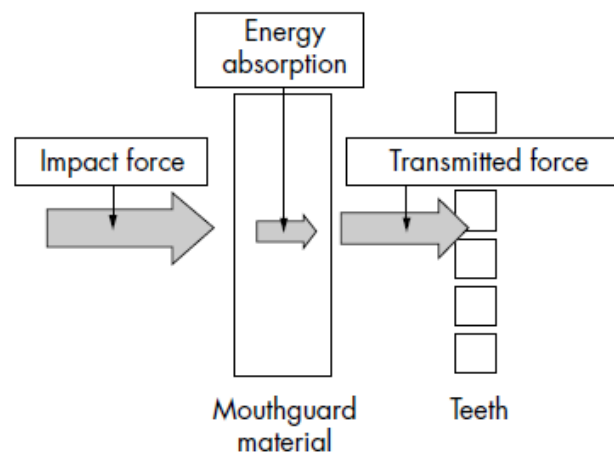


Figure 1 Impact and transmitted forces.

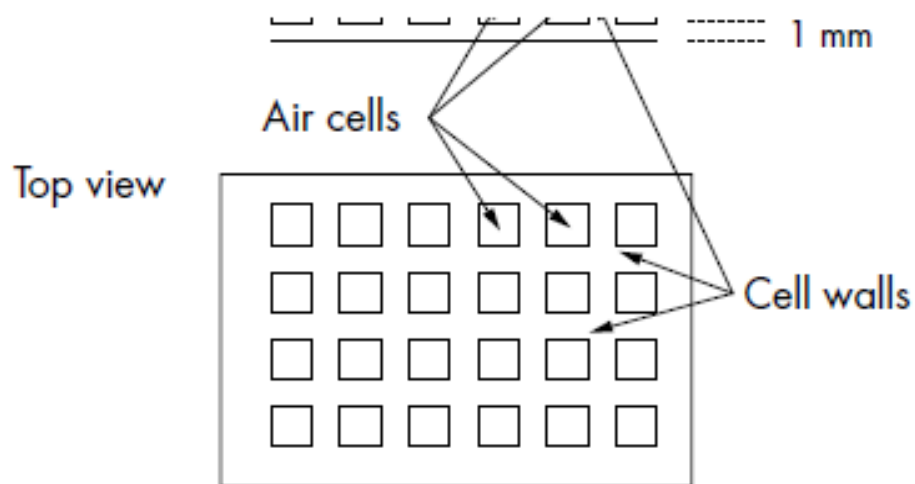
Source : Westerman, « Beneficial effects of air inclusions on the performance of ethylene vinyl acetate (EVA) mouthguard material », 2002

Dans son étude Westerman différencie trois échantillons d'essai pour le matériau d'EVA de 85 Shore A selon le modèle décrit en figure 6 ci-après :

- Echantillon 1 = cellules d'air de 2x2x2 mm avec 1 mm de séparation
- Echantillon 2 = cellules d'air 2x2x2 mm avec une séparation de 2 mm
- Echantillon 3 = cellules d'air 3x3x2 mm avec une séparation de 1 mm

⁷⁰ Westerman, Stringfellow, et Eccleston, « Beneficial effects of air inclusions on the performance of ethylene vinyl acetate (EVA) mouthguard material ».

Figure 6 : Schémas modélisant les bulles d'air insérées dans le matériau



Source : Westerman, « Beneficial effects of air inclusions on the performance of ethylene vinyl acetate (EVA) mouthguard material », 2002

La figure 7 montre les résultats de l'étude de Westerman⁷¹. L'insertion de bulles d'air a un impact significatif sur la diminution des forces transmises à la dent.

Figure 7 : Valeurs de l'étude de Westerman

Table 1 Mean maximum transmitted forces (kN) within impacts and direction of impact forces (positive and negative)				
Impact site	Standard	Sample 1	Sample 2	Sample 3
A	-7.56	-5.50	-6.15	-5.12
B	+1.28	+0.25	+0.04	-0.10
C	-1.45	-0.58	-0.84	-0.75
D	+0.35	-0.12	-0.18	-0.19

Source : Westerman, « Beneficial effects of air inclusions on the performance of ethylene vinyl acetate (EVA) mouthguard material », 2002

⁷¹ Westerman, Stringfellow, et Eccleston.

Figure 8 : Graphique des forces transmises selon l'échantillon testé

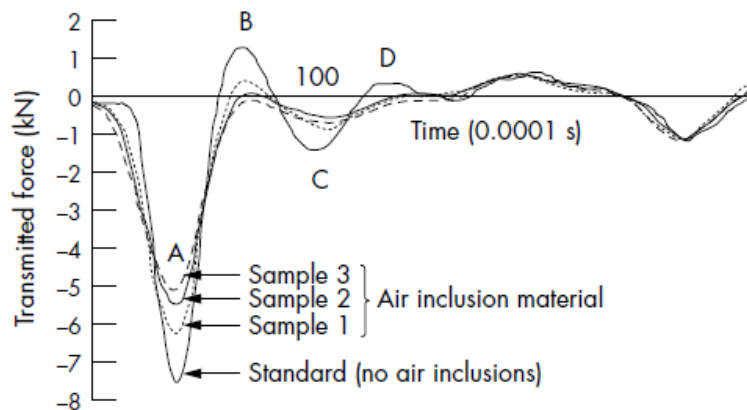


Figure 4 Forces within impacts on EVA mouthguard materials with and without air inclusions.

Source : Westerman, « Beneficial effects of air inclusions on the performance of ethylene vinyl acetate (EVA) mouthguard material », 2002

Ce même auteur a publié une étude⁷² avec des cellules d'Hydrocerol® (agent moussant) à la place des cellules d'air. Les conclusions de son étude montre qu'il n'y a pas de différence significative entre de l'EVA de 4 mm d'épaisseur avec ou sans ces cellules de mousse d'Hydrocerol®.

L'étude démontre que c'est l'échantillon n°3 qui possède les meilleures caractéristiques pour l'absorption des forces. Cet échantillon est celui qui inclut des cellules d'air de 3x3x2 mm avec une séparation de 1 mm.

C'est sur cette étude que va reposer le design de notre futur protège-dents. Nous allons profiter de la conception 3D pour inclure des bulles d'air sur mesure.

Nous faisons le choix de l'insertion de bulles d'air versus l'espacement entre la dent et le protège-dents. En effet, l'impression 3D va avoir un apport plus important dans le design avec les insertions de bulles d'air dans le matériau pour un résultat comparable voire meilleur. L'espacement entre la dent et le protège-dents peut se faire aujourd'hui avec la technique de Sametzky. L'insertion de bulles d'air est à ce jour impossible avec l'EVA car aucun industriel n'a encore commercialisé de plaquettes d'EVA incorporées de bulles d'air.

⁷² Westerman et al., « Effect of ethylene vinyl acetate (EVA) closed cell foam on transmitted forces in mouthguard material ».

4. Et après-demain

L'objectif de notre protège-dents est d'être créé exclusivement par flux numérique. Cela passe donc par la chaîne numérique qui comporte l'empreinte optique, la conception assistée par ordinateur (CAO) et la fabrication assistée par ordinateur (FAO). Pour l'empreinte, l'idéal est d'utiliser une caméra optique portative permettant au dentiste de se déplacer directement « sur le terrain ». Une fois l'empreinte effectuée sur les joueurs d'une équipe, ou d'un club, la conception peut se faire au cabinet, chez son prothésiste ou chez soi. Enfin l'impression du protège-dents sera faite soit par sous-traitance soit directement par une imprimante 3D au sein du cabinet.

4.1. L'empreinte optique

L'objectif de l'empreinte est d'obtenir l'ensemble de l'arcade dentaire ainsi que l'ensemble des muqueuses jusqu'au fond du vestibule et 10 millimètres sous le collet des dents au niveau du palais. Les progrès de l'informatique permettent aujourd'hui de numériser les dents de façon fiable et standardisée afin d'obtenir des modèles 3D réalistes⁷³. Les empreintes conventionnelles et numériques sont équivalentes pour les restaurations prothétiques de grande étendue et le numérique a dépassé les empreintes conventionnelles pour les faibles étendues (toutes réserves faites si la préparation est trop intrasulculaire).^{74 75} La concaténation, qui consiste à lier entre elles des informations (ici nuages de points) est facilitée par des surfaces présentant des caractéristiques remarquables. L'enjeu consiste donc à appliquer les méthodes d'empreinte optique à l'enregistrement des muqueuses et des dents afin de s'affranchir de l'empreinte conventionnelle⁷⁶. Bien que cette technique ait l'avantage de s'affranchir des empreintes physico-chimiques, elle présente des limites :

- Son caractère statique lui confère une équivalence avec les empreintes muco-statiques, et pas avec les empreintes anatomo-fonctionnelles (qui enregistrent les mouvements des muqueuses dans des positions extrêmes).
- La dépressibilité des muqueuses ne peut pas être enregistrée avec cette méthode.

⁷³ Baixe et al., « La prothèse partielle à châssis métallique : de l'empreinte optique à la fabrication additive ».

⁷⁴ Ender et Mehl, « In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions ».

⁷⁵ Patzelt et al., « Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners ».

⁷⁶ Kattadiyil et al., « Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication ».

Ces inconvénients n'ont cependant pas d'impact pour notre protège-dents. En effet, notre protège-dents aura des limites à au moins deux millimètres du fond du vestibule et des freins. Cela est suffisant pour ne pas blesser le joueur en utilisant seulement une empreinte muco-statique. De plus, la dépressibilité des muqueuses est peu importante pour le protège-dents car le matériau est souple et s'adaptera donc même s'il y a des défauts d'empreintes.

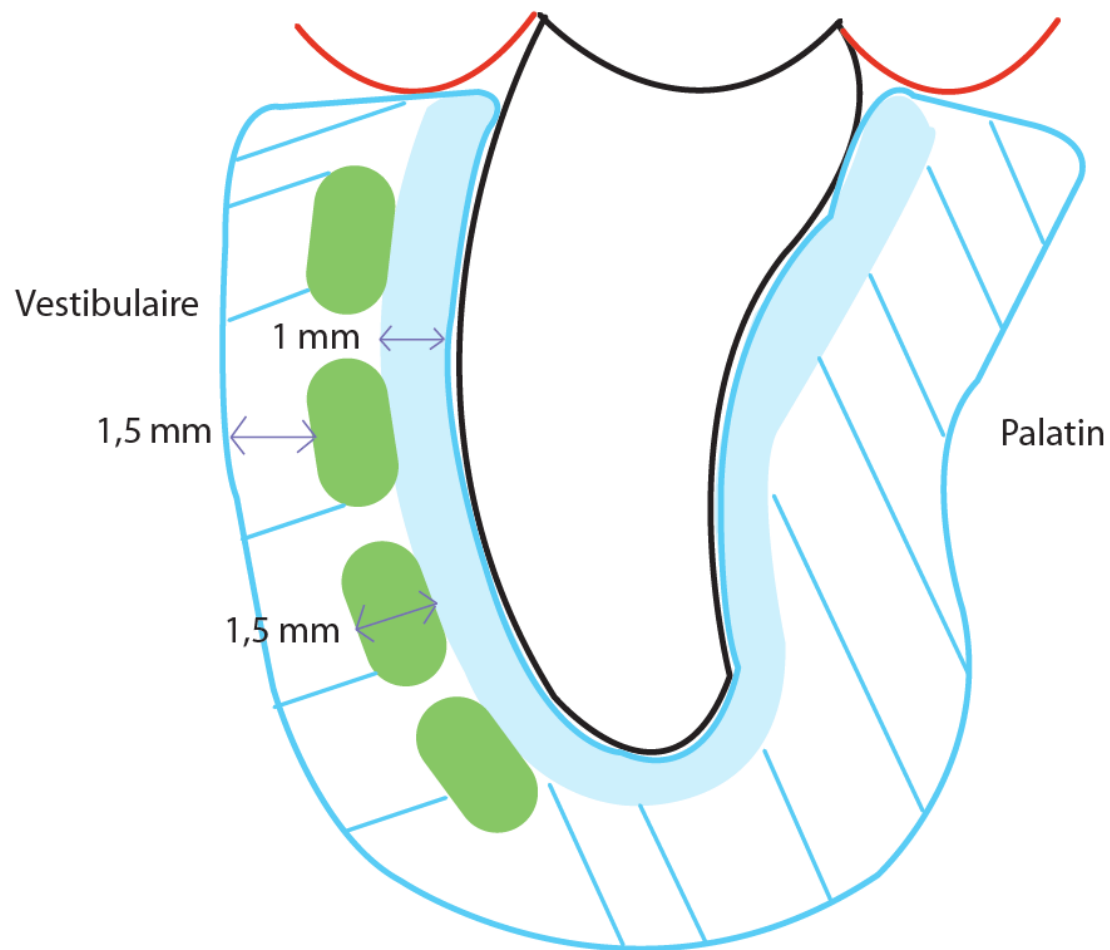
Dans le cadre de cette thèse, la caméra optique utilisée est la caméra optique 3Shape®. Celle-ci permet l'enregistrement des muqueuses à condition que la prise soit faite en une fois. En effet, si l'acquisition est interrompue, la caméra et le logiciel ne sont pas capables de se resituer dans l'espace. Cela est dû au manque de repères « durs » tels que les dents. De nombreuses recherches et développements sont en cours sur cette empreinte numérique des muqueuses.

Le fichier de l'empreinte (dents + muqueuses) est très volumineux. Afin d'en faciliter l'exploitation, il est nécessaire de travailler le nuage de points et de le lisser pour ne garder que 0,1 à 1% des données de l'empreinte initiale.

Une fois l'empreinte optique obtenue, le fichier doit être exporté au format *.stl. Ce type de fichier est équivalent aux fichiers *.dicom pour les radiographies. C'est à partir de ce fichier que le protège-dents est conçu.

4.2. Conception virtuelle du protège-dents

Figure 9 : Schéma en coupe sagittale du protège-dents sur une incisive



Source : Dr Fouilloux, 2018

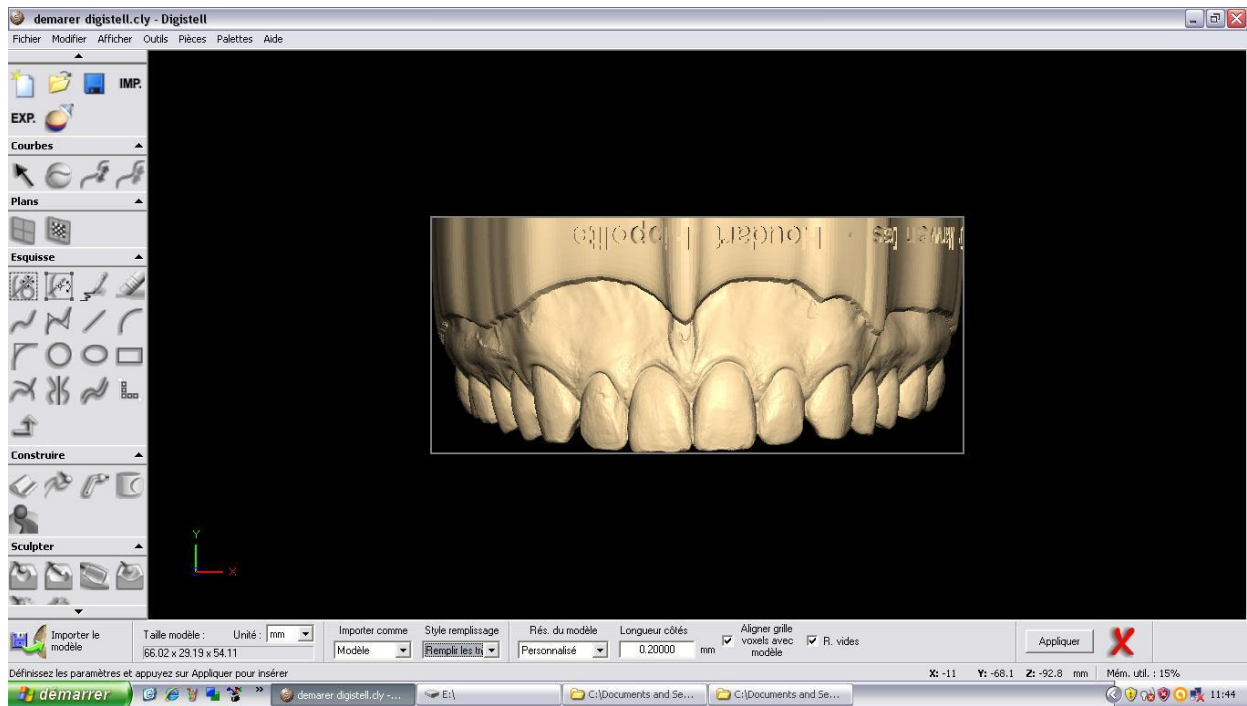
Ce schéma est la base de la réflexion pour la conception du protège-dents. Sa conception se déroule en 5 étapes :

- Découpe du modèle selon les limites périphériques du futur protège-dents
- Extrusion de 1 millimètre correspondant à l'intrados du protège-dents
- Réalisation d'une extrusion des alvéoles sur l'intrados de 1 millimètre
- Réalisation d'une extrusion de 4mm correspondant au protège-dents à partir du modèle initial
- Soustraction de matière (volume des alvéoles) sur l'extrusion des 4 millimètres correspondant au protège-dents

4.2.1. Transformation de l’empreinte optique au format *.stl en modèle virtuel

Une fois l’empreinte optique réalisée, le fichier au format *.stl doit être converti en un modèle virtuel. Ce modèle est la base de notre travail. Il correspond au modèle en plâtre réalisé par le prothésiste lors de la fabrication d’un protège-dents conventionnel.

Figure 10 : Modèle virtuel de l’arcade maxillaire, vue de face

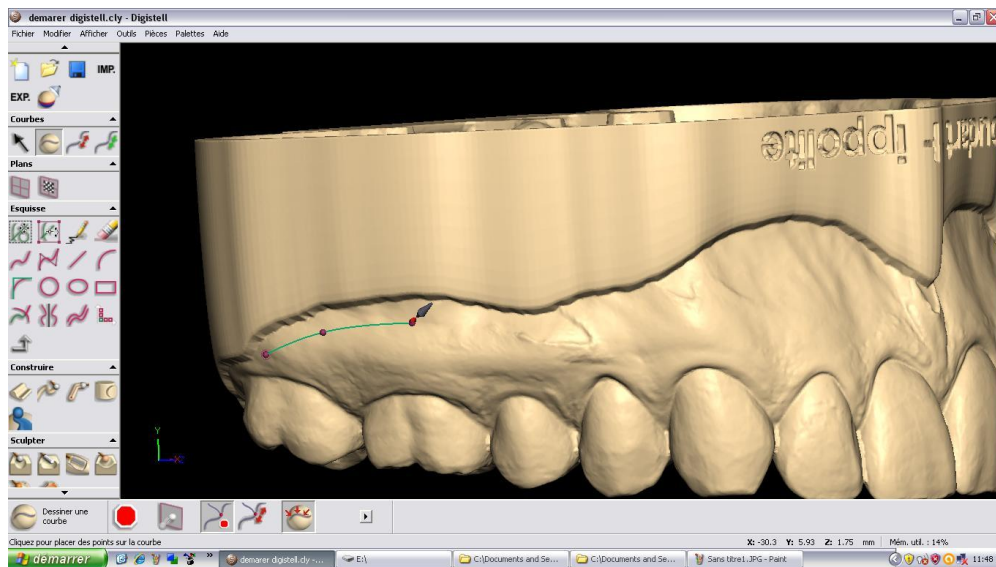


Source : Auteur, 2018

4.2.2. Découpe du modèle au niveau vestibulaire

Le protège-dents doit être délimité à deux millimètres du fond du vestibule. Cette limite est dessinée à l'aide d'un logiciel et d'un bras robotisé à retour de force et correspond à la future limite de notre protège-dents.

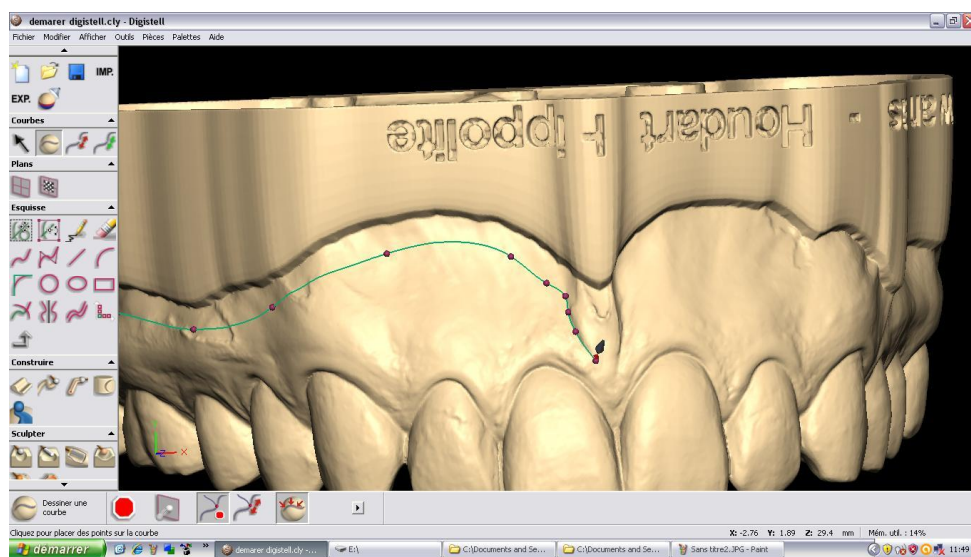
Figure 11 : Détermination de la limite vestibulaire du protège-dents sur le modèle virtuel



Source : Auteur, 2018

Au niveau des freins, le joueur de rugby doit pouvoir effectuer ses mouvements fonctionnels. Ainsi, il est nécessaire d'aller à 2 millimètres en deçà du frein.

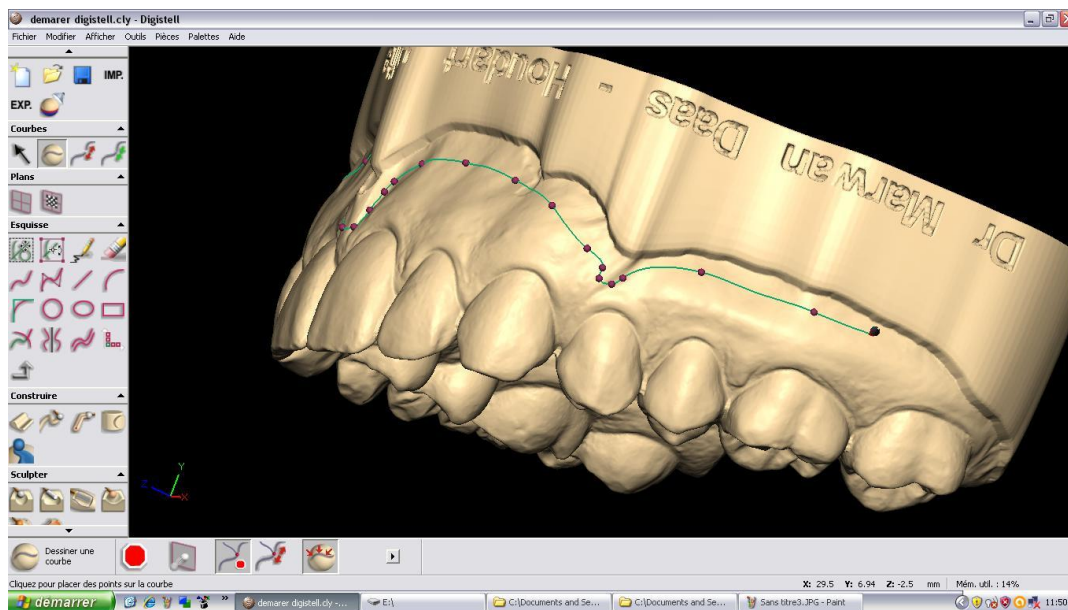
Figure 12 : Contour du frein maxillaire



Source : Auteur, 2018

Ensuite, la limite est dessinée au niveau vestibulaire secteur 2

Figure 13 : Détermination de la limite vestibulaire (secteur 2) du protège-dents sur le modèle virtuel

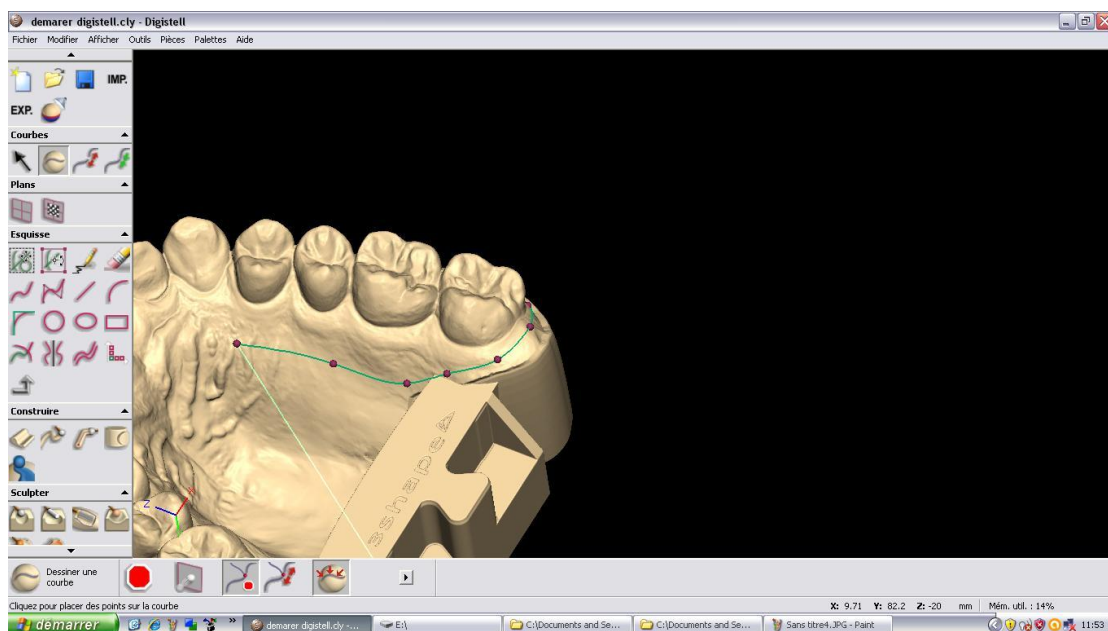


Source : Auteur, 2018

4.2.3. Découpe du modèle au niveau palatin

Au niveau du palais, la limite est placée à 10 millimètres en dessous des collets dentaires.

Figure 14 : Limite du protège-dents sur le modèle virtuel au palais



Source : Auteur, 2018

Pour créer un volume qui correspondra au protège-dents, cette limite constitue une enveloppe fermée. Si besoin, elle peut être retouchée en rajoutant des points sur la courbe ou en les déplaçant. Cela permet d'être plus précis.

Lors de la délimitation de l'enveloppe préfigurant la limite du protège-dents, la problématique des contre-dépouilles n'a plus lieu d'être. En effet, le protège-dents est constitué d'un matériau souple qui permet le passage de contre-dépouilles sans difficulté.

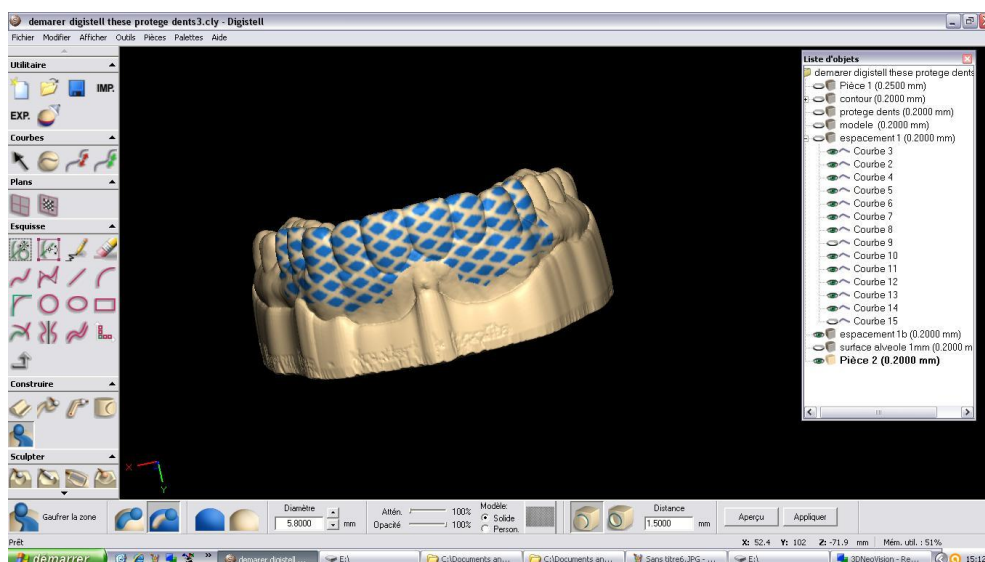
4.2.4. Création d'un volume correspondant aux futures alvéoles

Une extrusion de matière correspondant au premier millimètre d'épaisseur du protège-dents (au contact des dents) est réalisée. Cette extrusion correspond à l'intrados (1 mm) du futur protège-dents.

L'étude de Handa⁷⁷ propose de créer un espace vide entre les dents et le protège-dents. Pour cette thèse, il a été décidé de ne pas créer cet espace. S'il devait être réalisé, c'est à ce moment de la conception qu'une extrusion de 1 millimètre doit être faite. La suite de la conception se fait sur cette extrusion de 1 millimètre au niveau dentaire.

Le motif des futures alvéoles doit être patché sur cette extrusion. Différents motifs peuvent être faits et devront faire, par la suite, l'objet d'une étude comparative. Pour cette thèse, des losanges ont été choisis.

Figure 15 : Patch des futures alvéoles

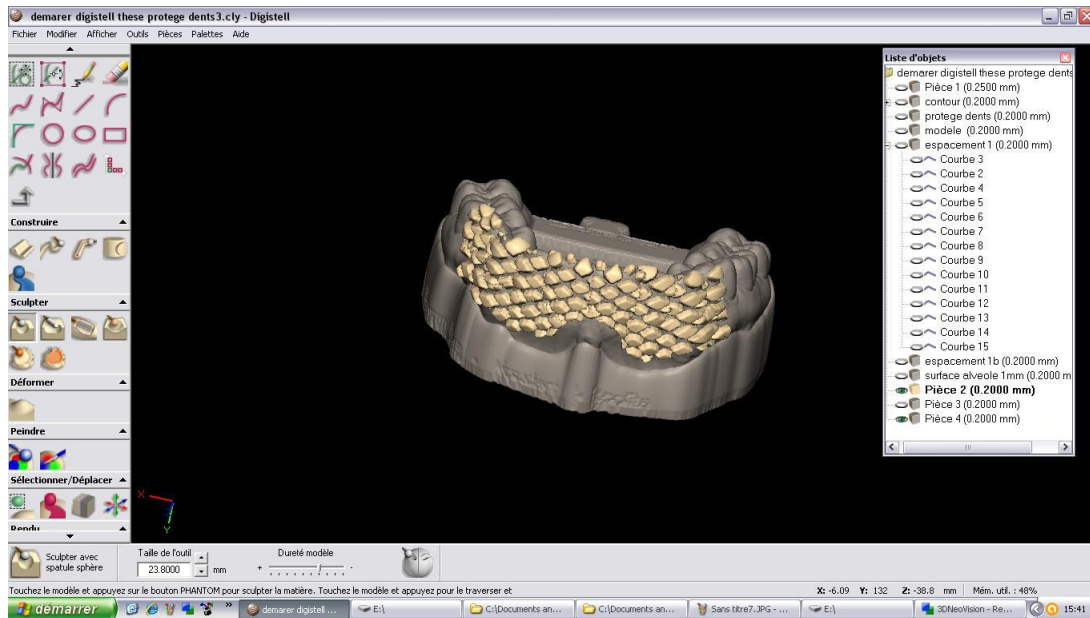


Source : Auteur, 2018

⁷⁷ Handa et al., « Influence of pre-laminated material on shock absorption ability in specially designed mouthguard with hard insert and space ».

Une extrusion de 1,5 millimètre est réalisée à partir du patch de nos alvéoles, permettant d'obtenir un volume correspondant au 1 millimètre au contact des dents et 1,5 millimètre pour le volume des alvéoles.

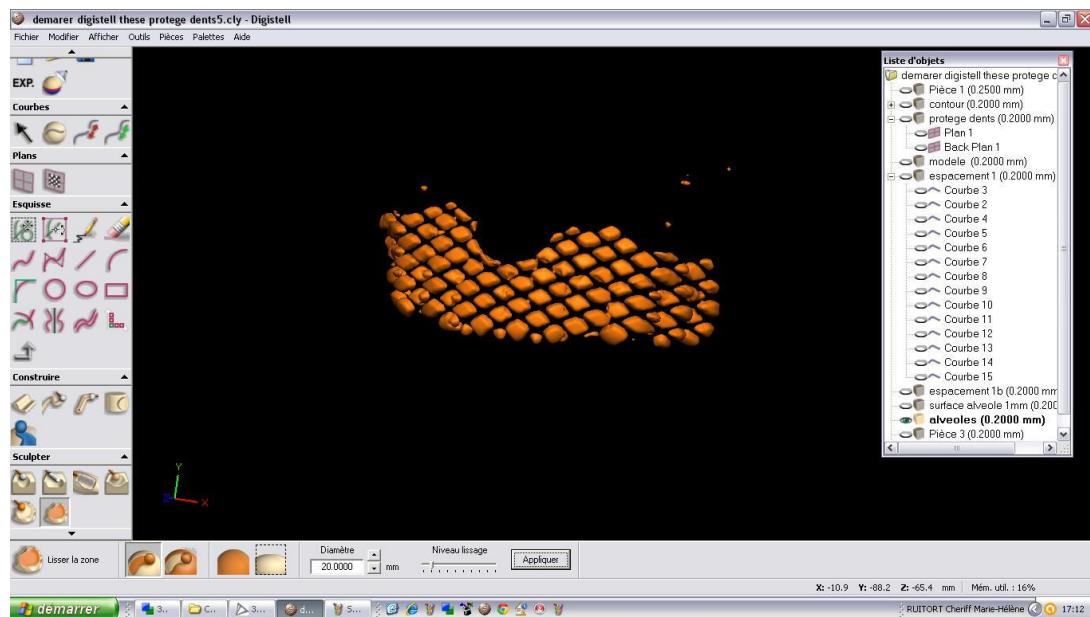
Figure 16 : Extrusion correspondant à 1mm + 1,5mm de matière



Source : Auteur, 2018

Ce volume des alvéoles (Figure 17) est soustrait au volume complet du protège-dents final.

Figure 17 : Volume des alvéoles

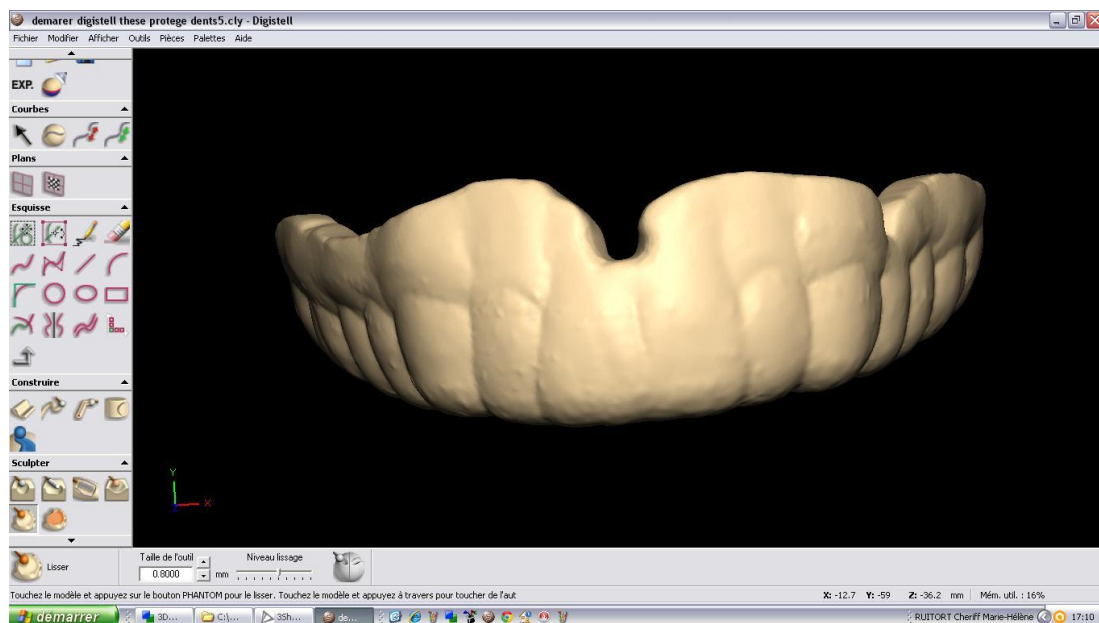


Source : Auteur, 2018

4.2.5. Réalisation du volume complet du protège-dents

Le dernier volume créé sert de modèle pour la soustraction du volume des alvéoles dans le protège-dents définitif. Ainsi, un volume correspondant aux épaisseurs du protège-dents doit être créé. Une épaisseur de 4 millimètres est créée avec le logiciel de conception de gouttière de 3Shape®. Celle-ci peut également être créée par Exocad® ou d'autres logiciels. Les avantages de ces logiciels sont leur facilité d'utilisation et la qualité du résultat. Lorsque la matière est extrudée avec d'autres logiciels, un maillage doit être défini avec une précision importante. Les ordinateurs ne sont pas assez puissants pour permettre une conception rapide (5 minutes de chargement minimum lors de la transformation de ce maillage). Pour rappel, le volume est créé par le logiciel selon les limites préalablement délimitées en début de conception. Cela doit être réalisé en début de conception car une fois le modèle extrudé pour créer les différentes couches de matériaux le modèle initial n'est plus disponible dans l'organigramme de la CAO. Il faudrait tout recommencer depuis le début de la CAO.

Figure 18 : Vue vestibulaire du futur protège-dents



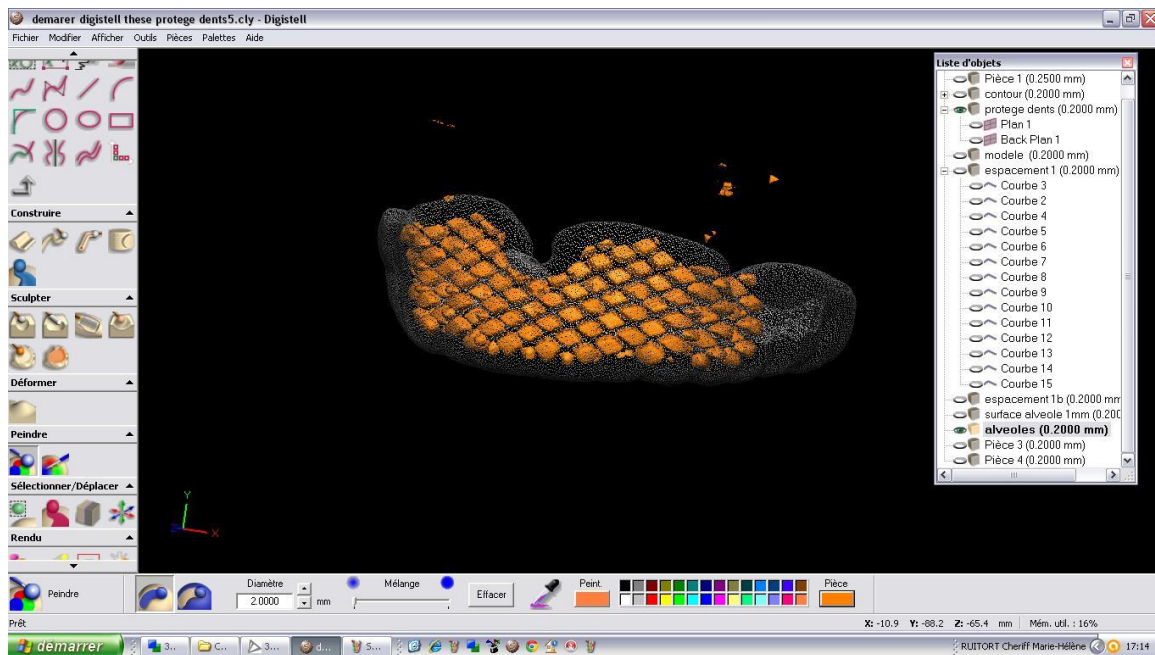
Source : Auteur, 2018

Seule la soustraction de matière reste à réaliser à partir du fichier créé précédemment dans le volume du protège-dents.

4.2.6. Vérification de la conception

Afin de s'assurer que les bulles d'air sont bien présentes dans le protège-dents, les paramètres de visualisation peuvent être modifiés, permettant de les identifier par transparence.

Figure 19 : Visualisation des alvéoles au sein du protège-dents



Source : Auteur, 2018

4.3. Sa composition : matériaux d'imprimante 3D

Il existe quatre catégories de matériaux pour réaliser une impression 3D :

- Les thermoplastiques
- Les métaux
- Les matériaux organiques
- Les céramiques

Les polymères thermoplastiques semblent être le matériau le plus innovant se prêtant le mieux à l'impression du protège-dents. Les caractéristiques seront décrites ci-dessous.

4.3.1. Les polymères thermoplastiques ⁷⁸

Les matériaux les plus courants sont :

- L'ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrène) : C'est un des matériaux préférés pour l'impression 3D par dépôt de filament fondu. L'exemple le plus souvent donné est celui des briques de Lego®. Il offre des propriétés plus intéressantes que le PLA (Acide polylactique) en termes de résistance à l'eau et à la chaleur. Son rendu est plus lisse que le PLA et demande moins de traitement à la sortie de la machine. Sa température de fusion se situe entre 200 à 250°C. Il existe en plusieurs couleurs et peut se trouver sous forme de bobines de filament ou sous forme de polymère liquide.
- Le PLA (acide poly-lactique) : Il s'agit d'un matériau très répandu dans l'impression 3D. Il utilise la technique de dépôt de filament fondu. Issu de matières comme l'amidon de maïs, il est biodégradable. Il est utilisable pour la confection d'objets en contact avec de la nourriture, comme des bols ou des assiettes. Il est sensible à l'eau et à la chaleur. Le contact répété avec l'un ou l'autre provoque des dégradations. Ce matériau est intéressant d'un point de vue biocompatibilité avec la peau et les muqueuses. Il ne peut pas être utilisé pour notre protège-dents car il se dégrade au contact de l'eau. Le PLA fond à une température comprise entre 160 et 220°C. S'il existe de nombreuses couleurs de PLA, certains dérivés offrent en plus des propriétés physiques intéressantes. Le NinjaFlex® par exemple est — comme son nom l'indique — un PLA flexible, la version standard étant plutôt cassante. Les flexibles demandent cependant une vitesse d'impression bien plus lente.

⁷⁸ Jacquet, « Quels sont les matériaux utilisés en impression 3D ? : liquide, en poudre ou en bobine ».

- Les polyamides (PA) : Utilisés avec la technique du frittage laser (SLS), ils se présentent sous forme de poudre. Lors d'une utilisation avec un procédé de dépôt de filament, on retrouve par exemple le nylon sous forme de bobines. Résistant et élastique, le PA a une température de fusion entre 235 à 260°C. La grande majorité des polyamides est compatible avec un contact alimentaire.
- Le PET (Polyethylene Terephthalate) : Obtenu à partir du pétrole, il est plus solide que l'ABS. Il est utilisé pour les pièces qui demandent à la fois de la robustesse et de la flexibilité. On le trouve notamment dans les bouteilles en plastique. Le PET est conditionné en bobine. La température d'impression est de l'ordre de 220°C.

4.3.2. Comparaison des matériaux

Les deux principaux matériaux utilisés en termes d'impression 3D sont : l'ABS (Acrylonitrile butadiène styrène) et le PLA (acide polylactique).

Ces deux matériaux présentent des avantages et des inconvénients. Ci-dessous leurs principales caractéristiques :

- Le PLA est biodégradable et issu de matériaux recyclés. Il est plus respectueux de l'environnement. Souvent utilisé dans l'emballage alimentaire, il peut être obtenu à partir d'amidon de maïs. Il ramollit autour de 50°, commence à fondre à 160° et est réellement travaillé à 180°. Il n'est pas très résistant à la chaleur et est sensible à l'humidité. Il faut donc la maintenir au sec, ce qui peut être un problème pour notre protège-dents (milieu humide) car il aura tendance à casser facilement en cas de chocs.
- L'ABS est un polymère thermoplastique. Il est souvent utilisé dans les appareils électroménagers (les cafetières par exemple). C'est également le même type de plastique que les Lego®. Il ramollit à 90°, commence à fondre à 180° et est réellement travaillé vers 230°. Il est donc plus résistant à la chaleur que le PLA. Contrairement à son concurrent, il se plie facilement et ne rompt pas. Attention, les risques d'échec (cassure par exemple) sont plus grands lors de l'impression, notamment pour des raisons de moins grande résistance aux chocs de température.

D'après la thèse d'exercice de Claire Perus⁷⁹, un tableau comparatif des matériaux peut être présenté de la façon suivante :

⁷⁹ Perus, « Réalisation de PEI chez un patient édenté total en utilisant des logiciels open source : à propos d'un cas ».

Tableau 12 : Comparatif des différents matériaux

Matériaux	Facilité d'impression	Adhésion inter-couche	Résistance à la traction	Elongation à la rupture	Résistance à la chaleur
ABS	-	-	+	--	+++
PLA	+++	++	++	--	--
PET	++	+	-	--	-
Nylon	+	--	-	+	--

Source : Perus, « Réalisation de PEI chez un patient édenté total en utilisant des logiciels open source : à propos d'un cas », 2017

4.3.3. Biocompatibilité⁸⁰

Le protège-dents réalisé dans le cadre des travaux de cette thèse est un prototype. Afin d'être utilisé en bouche, celui-ci doit être approuvé par l'ANSM (Agence Nationale de la Sécurité du Médicament et des produits de santé) dans le cadre des dispositifs médicaux (DMSM). Cette approbation permet de répondre aux normes de santé et de sécurité notifiées dans la directive 93/42/CEE⁸¹. Toutes les matières premières du protège-dents doivent porter la marque CE.

Aujourd'hui la Food Drug Administration (FDA), est la seule entité américaine qui attribue la compatibilité avec le contact alimentaire. Si le matériau est compatible avec le contact alimentaire, il pourra l'être avec la peau et les muqueuses.

⁸⁰ Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé, « Dispositifs médicaux (DM) ».

⁸¹ Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé.

4.3.4. Les matériaux de demain en impression 3D

Comme présenté auparavant, les matériaux disponibles et utilisables pour l'impression 3D ne sont pas encore suffisamment performants pour notre protège-dents. C'est l'une des premières fois dans l'histoire de l'industrie que les machines sont disponibles avant la matière première. C'est pourquoi l'absence du matériau idéal ne devrait pas poser de problèmes sur le long terme. En effet, d'ici quelques années, l'industrie aura développé le matériau qui se rapprochera du matériau idéal pour notre protège-dents.

D'après la littérature, deux matériaux sont retenus : le RTV 71556 de Rhône-Poulenc qui est un silicone avec 20 % d'huile de silicone et le copolymère d'EVA 28 %. Ces matériaux ne sont pas disponibles pour l'impression 3D mais seulement pour la fabrication conventionnelle du protège-dents.

A ce jour, l'entreprise française Sterne® a développé un silicone compatible avec l'impression 3D d'une dureté de 30 à 60 shore A. Il se rapproche donc du silicone optimal de 80 shore A. La confection d'un protège-dents en silicone est donc possible. Toutefois, pour des questions budgétaires, il n'a pas été possible de réaliser un prototype avec cette matière. Le coût de cette impression 3D se chiffre en millier d'euros. Un tel prix n'est pas réaliste pour un protège-dents car trop élevé. D'ici quelques années, cette impression sera certainement possible pour un coût inférieur à 100 euros.

Une impression a été réalisée avec la résine Flexible® de Formlabs®. Ce matériau présente toutes les caractéristiques nécessaires à notre protège-dents :

- Souple pour passer les contres-dépouilles
- Dureté de 80 Shore A
- Résistant mécaniquement
- Non soluble dans l'eau
- Absorption des chocs

Cependant, ce matériau est non compatible avec les muqueuses et la peau. D'après les fiches de sécurité, il est recommandé de ne pas le mettre au contact des muqueuses et de la peau.

C'est donc un matériau qui est optimal mécaniquement. Les industriels devront développer ce matériau afin qu'il soit compatible avec un contact de la cavité buccale.

4.4. L'impression des prototypes

Dans le cadre de cette thèse, deux prototypes de protège-dents ont été imprimés. L'un en résine dure avec l'insertion de résine blanche dans les alvéoles afin de visualiser au mieux les alvéoles.

Figure 20 : Photo du protège-dents imprimé en résine dure avec de la résine blanche pour visualiser les alvéoles, vue de face



Source : Auteur, 2018

Figure 21 : Photo du protège-dents imprimé en résine dure avec de la résine blanche pour visualiser les alvéoles, vue de l'intrados



Source : Auteur, 2018

Figure 22 : Photo du protège-dents imprimé en résine dure avec de la résine blanche pour visualiser les alvéoles, vue de l'extrados

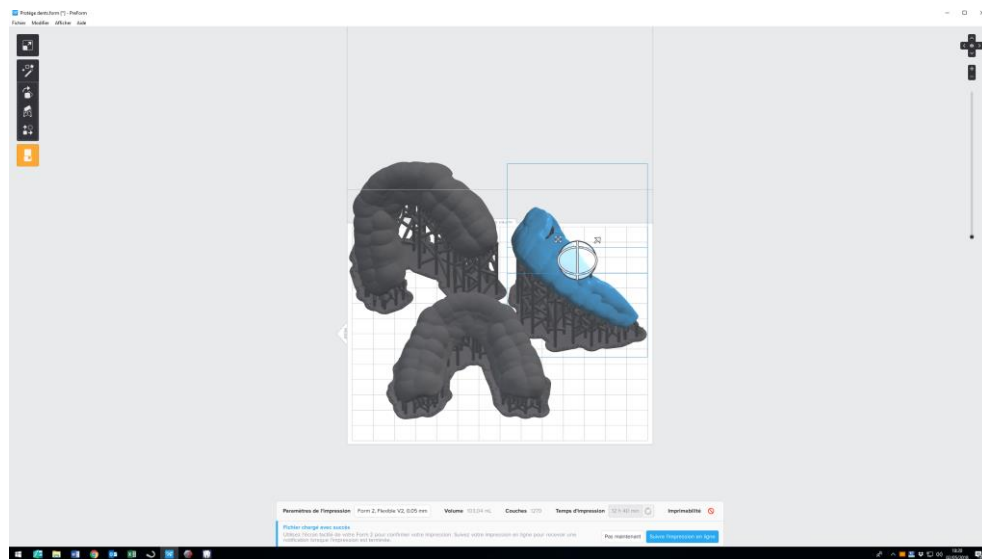


Source : Auteur, 2018

Un autre prototype de protège-dents a été imprimé avec la résine Flexible® de l'imprimante Formlabs®.

Avant l'impression 3D, il est important de bien positionner l'objet selon le mode d'impression. Le matériau doit être soutenu tout au long de l'impression. Il doit être aussi positionné de manière à éviter la formation de cuvettes lors de sa fabrication.

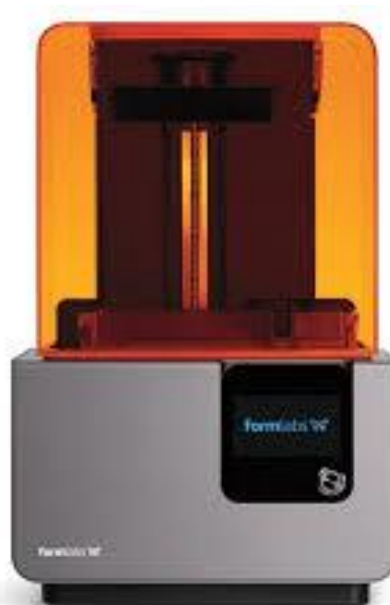
Figure 23 : Positionnement du protège-dents sur le logiciel d'impression 3D



Source : Auteur, 2018

L'impression du prototype a été faite avec l'imprimante de Formlabs®. Elle a duré environ 10 heures.

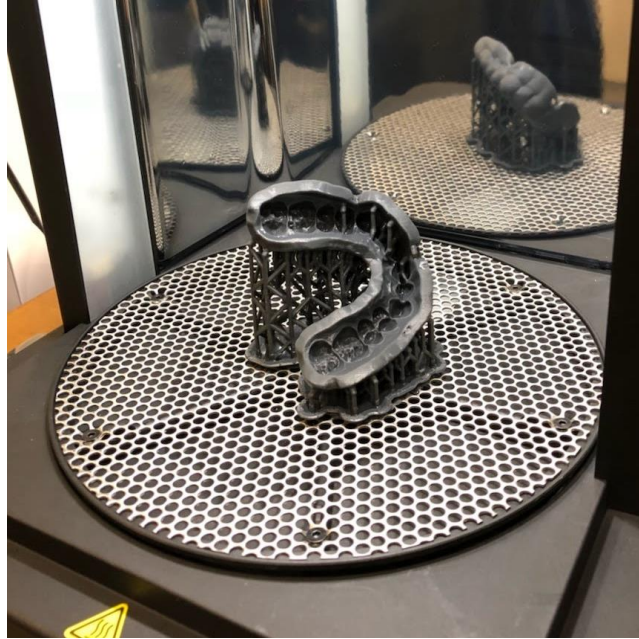
Figure 24 : Impression du protège-dents



Source : Auteur, 2018

A la sortie de l'imprimante 3D, l'objet réalisé doit être rincé en respectant les données du fabricant de résine puis polymérisé.

Figure 25 : Polymérisation du protège-dents



Source : Auteur, 2018

L'impression de ce prototype montre que toutes les caractéristiques du matériau de demain pour les protège-dents existent déjà. Cependant, la fiche de sécurité de cette résine ne permet pas d'avoir un contact avec la peau et les muqueuses. Dès lors qu'un industriel sera en mesure de fabriquer une résine comparable avec la possibilité d'obtenir le marquage CE et la norme de dispositif médical de classe 1 (dispositif appartenant à la classe de risque la moins élevée), cette résine sera le matériau idéal pour notre protège-dents de demain.

Figure 26 : Protège-dents imprimé avec la résine Flexible®



Source : Auteur, 2018

Pour imprimer le protège-dents avec la résine Flexible®, il faut être vigilant lors du positionnement de l'objet car des cuvettes peuvent être créées. Afin de soutenir le matériau non polymérisé, des supports sont imprimés. Il faut réduire leurs nombres au maximum car ils vont créer des petites imperfections une fois coupé.

2 protège-dents ont été imprimés avec les supports en intrados et en extrados.

Voici quelques photos du prototype imprimé selon plusieurs vues :

Figure 27 : Protège-dents en résine Flexible® vue 1



Source : Auteur, 2018

Figure 28 : Protège-dents en résine Flexible® vue 2



Source : Auteur, 2018

Conclusion

L'enquête épidémiologique sur les différents chocs bucco-dentaires subis lors de la pratique du rugby, a permis d'identifier et de caractériser les protège-dents existants à ce jour ainsi que les blessures les plus courantes. Ces données ont été utilisées pour élaborer un protège-dents avec un nouveau design conçu grâce aux technologies numériques (CFAO).

Si nous nous posions la question de savoir concevoir, en 2018, un nouveau protège-dents grâce aux technologies numériques, le travail effectué dans le cadre de cette thèse permet de répondre oui.

En revanche, en 2018, nous ne pouvons pas fabriquer un protège-dents commercialisable par le procédé d'impression 3D répondant à l'ensemble des critères biologiques et mécaniques. En effet, s'il est possible de fabriquer des prototypes avec des matériaux innovants nous n'avons pas pu créer un protège-dents répondant aux normes de dispositif médicaux de classe 1, avec les propriétés mécaniques suffisantes. Le coût des matériaux aux caractéristiques recherchées et utilisables pour l'impression 3D ne sont pas compatibles avec les conditions économiques du marché. Un budget de plusieurs milliers d'euros serait nécessaire.

D'ici quelques mois ou années de nouveaux matériaux devraient être disponibles sur le marché et sans aucun doute nous trouverons le matériau idéal pour réaliser notre protège-dents.

Cette thèse contribue à préparer le terrain pour concevoir des protège-dents individuels de haute qualité pour un coût et une facilité de fabrication abordable.

Bibliographie

- Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé. « Dispositifs médicaux (DM) ». Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé. Consulté le 12 mai 2018. <http://ansm.sante.fr/Produits-de-sante/Dispositifs-medicaux>.
- Auroy, P., P. Duchatelard, N. E. Zmantar, et M. Hennequin. « Hardness and shock absorption of silicone rubber for mouth guards ». *The journal of prosthetic dentistry* 75, n° 4 (1996): 463-71.
- Baixe, s., E. Pilavyan, P. Kress, C. Taddei, et O. Etienne. « La prothèse partielle à châssis métallique : de l’empreinte optique à la fabrication additive ». *Réalités cliniques* 28, n° 1 (2017): 45-55.
- Banky, J, et P. R. McCrory. « Mouthguard use in australian football ». *Journal of science and medicine in sport* 2, n° 1 (1999): 20-29. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(99\)80181-9](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(99)80181-9).
- Boffano, P., M. Boffano, C. Gallesio, F. Roccia, R. Cignetti, et R. Piana. « Rugby athletes’ awareness and compliance in the use of mouthguards in the north west of Italy : compliance in the use of mouthguards ». *Dental traumatology* 28, n° 3 (2012): 210-13. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2011.01067.x>.
- Bourguignon, C., et A. Sigurdsson. « Preventive strategies for traumatic dental injuries ». *Dental clinics of North America* 53, n° 4 (2009): 729-49. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2009.06.002>.
- Brionnet, J., V. Roger-Leroi, S. Tubert-Jeannin, et A. Garson. « Rugby players’ satisfaction with custom-fitted mouthguards made with different materials ». *Community dentistry and oral epidemiology* 29, n° 3 (2001): 234-38. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0528.2001.290310.x>.
- Decq, P., N. Gault, M. Blandeau, T. Kerdraon, M. Berkal, A. ElHelou, B. Dusfour, et J.-C. Peyrin. « Long-term consequences of recurrent sports concussion ». *Acta neurochirurgica* 158, n° 2 (2016): 289-300. <https://doi.org/10.1007/s00701-015-2681-4>.
- Delahunty, S. E., E. Delahunt, B. Condon, D. Toomey, et C. Blake. « Prevalence of and attitudes about concussion in irish schools’ rugby union players ». *Journal of school health* 85, n° 1 (2015): 17-26. <https://doi.org/10.1111/josh.12219>.
- Dhillon, B. S., N. Sood, N. Sood, N. Sah, D. Arora, et A. Mahendra. « Guarding the precious smile : incidence and prevention of injury in sports: a review ». *Journal of international oral health : jioh* 6, n° 4 (2014): 104-7.
- Duarte-Pereira, D.-M.-V., M. Del Rey-Santamaria, C. Javierre-Garcés, J. Barbany-Cairó, J. Paredes-Garcia, E. Valmaseda-Castellón, L. Berini-Aytés, et C. Gay-Escoda. « Wearability and physiological effects of custom-fitted vs self-adapted mouthguards ». *Dental traumatology* 24, n° 4 (2008): 439-42. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2008.00595.x>.
- Ender, A., et A. Mehl. « In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions ». *Quintessence international* 46, n° 1 (2015): 9-17.
- Farrington, T., G. Onambele-Pearson, R.-L. Taylor, P. Earl, et K. Winwood. « A review of facial protective equipment use in sport and the impact on injury incidence ». *British journal of oral and maxillofacial surgery* 50, n° 3 (2012): 233-38. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2010.11.020>.
- Gould, T.-E., S.-G. Piland, J. Shin, C.-E. Hoyle, et S. Nazarenko. « Characterization of mouthguard materials : physical and mechanical properties of commercialized products ». *Dental materials* 25, n° 6 (2009): 771-80. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.12.005>.
- Handa, J., T. Takeda, K. Kurokawa, T. Ozawa, K. Nakajima, et K. Ishigami. « Influence of pre-laminated material on shock absorption ability in specially designed mouthguard with hard insert and space ». *Journal of prosthodontic research* 55, n° 4 (2011): 214-20. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2011.02.003>.

- Hasegawa, K., T. Takeda, K. Nakajima, T. Ozawa, K. Ishigami, K. Narimatsu, et K. Noh. « Does clenching reduce indirect head acceleration during rugby contact ? » *Dental traumatology* 30, n° 4 (2014): 259-64. <https://doi.org/10.1111/edt.12082>.
- Heithersay, G.-S. « Management of tooth resorption ». *Australian dental journal* 52, n° Suppl.1 (2007): S105-21.
- Ilia, E., K. Metcalfe, et M. Heffernan. « Prevalence of dental trauma and use of mouthguards in rugby union players ». *Australian dental journal* 59, n° 4 (2014): 473-81. <https://doi.org/10.1111/adj.12223>.
- Jacquet, R. « Quels sont les matériaux utilisés en impression 3D ? : liquide, en poudre ou en bobine ». Les numériques, 31 octobre 2014. <https://www.lesnumeriques.com/imprimante-3d/quels-sont-materiaux-utilises-en-impression-3d-a1884.html>.
- Kattadiyil, M. T., Z. Mursic, H. AlRumaih, et C.-J. Goodacre. « Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication ». *The journal of prosthetic dentistry* 112, n° 3 (2014): 444-48. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.03.022>.
- Lamendin, H. *Odontologie du sport*. Paris : Editions CdP, 2004.
- Liew, A.-K.-C., D. Abdullah, W.-A Wan Noorina, et S. Khoo. « Factors associated with mouthguard use and discontinuation among rugby players in Malaysia ». *Dental traumatology* 30, n° 6 (2014): 461-67. <https://doi.org/10.1111/edt.12114>.
- Meng, T.-T. « Volatile organic compounds of polyethylene vinyl acetate plastic are toxic to living organisms ». *The journal of toxicological sciences* 39, n° 5 (2014): 795-802. <https://doi.org/10.2131/jts.39.795>.
- Muller-Bolla, M., L. Lupi-Pegurier, P. Pedetour, et M. Bolla. « Orofacial trauma and rugby in France : epidemiological survey ». *Dental traumatology* 19, n° 4 (2003): 183-92. <https://doi.org/10.1034/j.1600-9657.2003.00095.x>.
- Padilla, R. « A technique for fabricating modern athletic mouthguards ». *Journal of the California dental association* 33, n° 5 (2005): 399-408.
- Patrick, D.-G. « Scale of protection and the various types of sports mouthguard ». *British journal of sports medicine* 39, n° 5 (2005): 278-81. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2004.012658>.
- Patrick, D.-G., R. v. Noort, et M. S. Found. « The influence of heat treatment on the impact performance of sports mouthguard materials ». *Composite. Part A, Applied science and manufacturing* 37, n° 9 (2006): 1423-27. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2005.06.015>.
- Patzelt, S., A. Emmanouilidi, S. Stampf, J.-R. Strub, et W. Att. « Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners ». *Clinical oral investigations* 18, n° 6 (2014): 1687-94. <https://doi.org/10.1007/s00784-013-1132-y>.
- Perus, C. « Réalisation de PEI chez un patient édenté total en utilisant des logiciels open source : à propos d'un cas ». Thèse d'exercice, Université Lille 2, 2017. <http://pepite.univ-lille2.fr/notice/view/UDSL2-workflow-8693>.
- Sane, J., et P. Ylipaavalniemi. « Dental trauma in contact team sports ». *Dental traumatology* 4, n° 4 (1988): 164.
- Takahashi, M., K. Koide, et F. Mizuhashi. « Difference in the thickness of mouthguards fabricated from ethylene-vinyl acetate co-polymer sheets with differently arranged v-shaped grooves ». *Journal of prosthodontic research* 57, n° 3 (2013): 169-78. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2013.01.004>.
- Westerman, B., P. M. Stringfellow, J.-A. Eccleston, et D.-J. Harbrow. « Effect of ethylene vinyl acetate (EVA) closed cell foam on transmitted forces in mouthguard material ». *British journal of sports medicine* 36, n° 3 (2002): 205-8.
- Westerman, B., P.-M. Stringfellow, et J. A. Eccleston. « Beneficial effects of air inclusions on the performance of ethylene vinyl acetate (EVA) mouthguard material ». *British journal of sports medicine* 36, n° 1 (2002): 51-53.
- Wissler, G. « Enquête épidémiologique sur les traumatismes dento-maxillaires dans la pratique du rugby : intérêts, protocole et résultats. », 2001.

Wissler, G., et A. Younis. « Enquête épidémiologique sur les traumatismes dento-maxillaires dans la pratique du rugby : intérêts, protocole et résultats. » Thèse d'exercice, Université Paris Descartes, 2001.

Table des figures

Figure 1 : Distribution des forces avec différentes couches d'EVA	20
Figure 2 : Illustration de différents modèles : a) contrôle b) EVA 3mm + 3mm c) EVA + Konbiplast hard + Konbiplast soft + espace vide	27
Figure 3 : Courbes de distorsion du matériaux en fonction du temps.....	28
Figure 4 : Comparaison de la distorsion de la couronne par rapport à la capacité d'absorption du matériau	28
Figure 5 : Graphique des forces transmises selon le temps en fonction des échantillons	32
Figure 6 : Schémas modélisant les bulles d'air insérées dans le matériau.....	33
Figure 7 : Valeurs de l'étude de Westerman.....	33
Figure 8 : Graphique des forces transmises selon l'échantillon testé.....	34
Figure 9 : Schéma en coupe sagittale du protège-dents sur une incisive	37
Figure 10 : Modèle virtuel de l'arcade maxillaire, vue de face	38
Figure 11 : Détermination de la limite vestibulaire du protège-dents sur le modèle virtuel	39
Figure 12 : Contour du frein maxillaire	39
Figure 13 : Détermination de la limite vestibulaire (secteur 2) du protège-dents sur le modèle virtuel	40
Figure 14 : Limite du protège-dents sur le modèle virtuel au palais.....	40
Figure 15 : Patch des futures alvéoles.....	41
Figure 16 : Extrusion correspondant à 1mm + 1,5mm de matière	42
Figure 17 : Volume des alvéoles.....	42
Figure 18 : Vue vestibulaire du futur protège-dents.....	43
Figure 19 : Visualisation des alvéoles au sein du protège-dents.....	44
Figure 20 : Photo du protège-dents imprimé en résine dure avec de la résine blanche pour visualiser les alvéoles, vue de face	49
Figure 21 : Photo du protège-dents imprimé en résine dure avec de la résine blanche pour visualiser les alvéoles, vue de l'intrados	49
Figure 22 : Photo du protège-dents imprimé en résine dure avec de la résine blanche pour visualiser les alvéoles, vue de l'extrados.....	50
Figure 23 : Positionnement du protège-dents sur le logiciel d'impression 3D	51
Figure 24 : Impression du protège-dents	51

Figure 25 : Polymérisation du protège-dents.....	52
Figure 26 : Protège-dents imprimé avec la résine Flexible®	53
Figure 27 : Protège-dents en résine Flexible® vue 1	54
Figure 28 : Protège-dents en résine Flexible® vue 2	54

Table des tableaux

Tableau 1 : Prévalence en pourcentage des traumatismes selon leurs natures.....	5
Tableau 2 : Prévalence en pourcentage des traumatismes selon la localisation.....	6
Tableau 3 : Tableau comparatif du port d'un protège-dents.....	7
Tableau 4 : Les raisons du non port du protège-dents	9
Tableau 5 : Comparatif des trois types de protège-dents.....	13
Tableau 6 : Différents grades de protection des protège-dents.....	15
Tableau 7 : Les caractéristiques d'un protège-dents idéal.....	17
Tableau 8 : Récapitulatifs des différentes épaisseurs d'un protège-dents selon les auteurs.....	25
Tableau 9 : Les différentes épaisseurs selon les auteurs et notre protège-dents	26
Tableau 10 : Récapitulatif des dimensions et limites d'un protège-dents.....	30
Tableau 11 : Les différentes limites périphériques selon les auteurs et notre protège-dents.....	31
Tableau 12 : Comparatif des différents matériaux	47

Annexes

Fiche de données de sécurité de Dow Corning

FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ conformément au Règlement (CE) No. 1907/2006			
SILASTIC(R) MDX4-4210 BIOMEDICAL GRADE ELASTOMER BASE (BASE information is below)			
Version 1.3	Date de révision: 26.04.2016	Numéro de la FDS: 733306-00004	Date de dernière parution: 18.09.2015 Date de la première version publiée: 11.11.2014

RUBRIQUE 1: Identification de la substance/du mélange et de la société/l'entreprise

1.1 Identificateur de produit

Nom commercial	: SILASTIC(R) MDX4-4210 BIOMEDICAL GRADE ELASTOMER BASE (BASE information is below)
Code du produit	: 00000000002708850

1.2 Utilisations identifiées pertinentes de la substance ou du mélange et utilisations déconseillées

Utilisation de la substance/du mélange	: Intermédiaire
--	-----------------

1.3 Renseignements concernant le fournisseur de la fiche de données de sécurité

Société	: Dow Corning Europe S.A. rue Jules Bordet - Parc Industriel - Zone C B-7180 Seneffe
Téléphone	: English Tel: +49 611237507 Deutsch Tel: +49 611237500 Français Tel: +32 64511149 Italiano Tel: +32 64511170 Español Tel: +32 64511163
Adresse e-mail de la personne responsable de FDS	: sdseu@dowcorning.com

1.4 Numéro d'appel d'urgence

Dow Corning (Barry U.K. 24h) Tél: +44 1446732350
Dow Corning (Wiesbaden 24h) Tél: +49 61122158
Dow Corning (Seneffe 24h) Tél: +32 64 888240
ORFILA (INRS): + 33 (0)1 45 42 59 59 (24/24)

RUBRIQUE 2: Identification des dangers

2.1 Classification de la substance ou du mélange

Classification (RÈGLEMENT (CE) No 1272/2008)
Pas une substance ni un mélange dangereux.

2.2 Éléments d'étiquetage

Étiquetage (RÈGLEMENT (CE) No 1272/2008)
Pas une substance ni un mélange dangereux.

1 / 12



SILICONES

SiO-LM-60

Silicone

Description

Le mélange STERNE SiO-LM-60 est une gamme de silicone optimisé pour la réticulation sous lumière Ultra Violette (UV). Cette gamme de matière combine les propriétés des silicones, tout en ayant une réticulation à faible température (< 70°C).

Caractéristiques

Densité	1,14	g/cm	DIN 53 479 A
Dureté	60	Shore A +/- 5	DIN 53 505
Module sécant @ 100%	2	Mpa	DIN 53 504 S2
Résistance à la rupture	11	Mpa	DIN 53 504 S2
Allongement à la rupture	440	%	DIN 53 504 S2
Déchirement	35	N/mm	ASTM D 624 die B
Couleur	Translucide (autres couleurs possibles)		

Transformation

Moulage et surmoulage par injection et impression 3D
Réticulation sous lumière ultra violette.

Règlementations

XV BfR "Silicones".
FDA 21 CFR 177.2600
USP Classe VI
ISO 10993 (Parties: 5, 6, 10 et 11)

Caractéristiques et avantages

Excellente stabilité thermique
Stabilité et flexibilité à basse température
Longue durée de vie à des contraintes dynamiques.
Grande stabilité à l'ozone et la lumière ultraviolette.
Excellent comportement diélectrique sur une large plage de températures.
Pas facilement inflammable.



Sterne SAS

ZAC du MIN - Avenue Jean Monnet - BP 50042 - F - 84302 CAVAILLON Cedex
Tél.(33) 4 32 50 16 97 - Fax (33) 4 90 71 47 53 - Siret N° 404 965 303 00021

Les valeurs sont obtenues sur éprouvette normalisée, nous ne garantissons pas les résultats puissent être reproduits en laboratoire en utilisant des méthodes et conditions différentes



SILICONES

SiO-LM-30

Silicone

Description

Le mélange STERNE SiO-LM-30 est une gamme de silicone optimisé pour la réticulation sous lumière Ultra Violette (UV). Cette gamme de matière combine les propriétés des silicones, tout en ayant une réticulation à faible température (< 70°C).

Caractéristiques

Densité	1,1	g/cm	DIN 53 479 A
Dureté	30	Shore A +/- 5	DIN 53 505
Résistance à la rupture	4,5	Mpa	DIN 53 504 S2
Allongement à la rupture	580	%	DIN 53 504 S2
Déchirement	9	N/mm	ASTM D 624 die B
Couleur	Translucide (autres couleurs possibles)		

Transformation

Moulage et surmoulage par injection et impression 3D
Réticulation sous lumière Ultra violette.

Règlementations

XV Bfr "Silicones".
FDA 21 CFR 177.2600
USP Classe VI
ISO 10993 (Parties: 5, 6, 10 et 11)

Caractéristiques et avantages

Excellente stabilité thermique
Stabilité et flexibilité à basse température
Longue durée de vie à des contraintes dynamiques.
Grande stabilité à l'ozone et la lumière ultraviolette.
Excellent comportement diélectrique sur une large plage de températures.
Pas facilement inflammable.



Sterne SAS

ZAC du MIN - Avenue Jean Monnet - BP 50042 - F - 84302 CAVAILLON Cedex

Tél.(33) 4 32 50 16 97 - Fax (33) 4 90 71 47 53 - Siret N° 404 965 303 00021

Les valeurs sont obtenues sur éprouvette normalisée, nous ne garantissons pas les résultats puissent être reproduits en laboratoire en utilisant des méthodes et conditions différentes.



Vu, le Directeur de thèse

Vu, le Doyen de la Faculté de Chirurgie dentaire
de l'Université Paris Descartes

Docteur Isabelle FOUILLOUX

Professeur Louis MAMAN

Vu, le Président de l'Université Paris Descartes
Professeur Frédéric DARDEL
Pour le Président et par délégation,

Le Doyen Louis MAMAN

Empreinte optique et impression 3D d'un protège dents pour la pratique du rugby

Résumé :

Les traumatismes dentaires liés à la pratique de sports de contact tels que le rugby représentent aujourd'hui entre 5 et 12 % des consultations d'urgence traumatique chez le dentiste.

Une fracture de l'émail ou de la dentine est un traumatisme irréversible. Le port systématique d'un protège-dents s'avère être actuellement le moyen le plus efficace pour préserver les tissus dentaires et muqueux. On constate que 93,2% des joueurs ne portaient pas de protection dentaire le jour du traumatisme. La raison principale du non port du protège-dents est l'inconfort (65,9%). A partir du modèle de Sametsky et des données issues de la littérature nous allons proposer un nouveau protège-dents. Celui-ci devra répondre à un cahier des charges optimal (protection des lèvres et dents contre les chocs directs, amortissement des chocs occlusaux, déglutition et phonation permises...). L'objectif est de créer un protège-dents confortable et plus efficace afin d'optimiser l'absorption des chocs. Une approche innovante exploitant la chaîne numérique CFAO visera à faciliter sa réalisation pour le praticien (empreinte optique) et le prothésiste (conception et impression 3D). Ce protège-dents intégrera un nouveau design tel que l'insertion de bulles d'air et un nouveau matériau d'impression 3D. Avons-nous la possibilité en 2017 d'améliorer les techniques de réalisation des protège-dents actuels avec de nouvelles technologies, en particulier la chaîne numérique (empreinte optique et imprimante 3D) ?

Discipline :

Prothèses dentaires

Mots clés fMesh et Rameau :

Conception assistée par ordinateur -- Dissertations universitaires ; Impression tridimensionnelle -- Dissertations universitaires ; Protège-dents -- Thèses et écrits académiques ; Rugby -- Thèses et écrits académiques

Université Paris Descartes
Faculté de Chirurgie dentaire
1, rue Maurice Arnoux
92120 Montrouge