



HAL
open science

Comment choisir son protégé-dents : un nouveau type de classification

Marc Risolo

► To cite this version:

Marc Risolo. Comment choisir son protégé-dents : un nouveau type de classification. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03185869

HAL Id: dumas-03185869

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03185869v1>

Submitted on 30 Mar 2021

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



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.



UNIVERSITÉ DE PARIS

UFR D'ODONTOLOGIE - MONTROUGE

Année 2020

N° M057

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 07 juillet 2020

Par

Marc RISOLO

**Comment choisir son protège-dents : un nouveau type de
classification**

Dirigée par M. le Docteur Roddy Kheng

JURY

Mme le Professeur Sibylle Vital

Président

Mme le Professeur Claudine Wulfman

Assesseur

Mme le Docteur Céline Gaucher

Assesseur

M. le Docteur Roddy Kheng

Assesseur



Tableau des enseignants de l'UFR

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
1. DÉVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PRÉVENTION	ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE	Mme DAVIT-BÉAL Mme DURSUN Mme VITAL	M. COURSON Mme JEGAT Mme SMAIL-FAUGERON Mme VANDERZWALM
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE		Mme BENAHMED M. DUNGLAS Mme KAMOUN Mme LE NORCY
	PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE	Mme FOLLIGUET M. PIRNAY	Mme GERMA 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 Mme TAÏHI
	BIOLOGIE ORALE	Mme CHAUSSAIN M. GOGLY Mme SÉGUIER Mme POLIARD	M. ARRETO Mme BARDET (MCF) Mme CHARDIN M. FERRE M. LE MAY
3. RÉHABILITATION ORALE	DENTISTERIE RESTAURATRICE ENDODONTIE	Mme BOUKPESSI Mme CHEMLA	Mme BERÈS Mme BESNAULT M. BONTE Mme COLLIGNON M. DECUP Mme GAUCHER
	PROTHÈSES	Mme WULFMAN	M. CHEYLAN M. DAAS M. DOT M. EID Mme FOUILLOUX-PATEY Mme GORIN M. RENAULT M. RIGNON-BRET M. TRAMBA
	FONCTION-DYSFUNCTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX	M. SALMON	M. ATTAL Mme BENBELAID Mme BENOÎT A LA GUILLAUME (MCF) M. BOUTER M. CHARRIER M. CHERRUAU M. FLEITER Mme FRON CHABOUIS Mme MANGIONE Mme TILOTTA
	PROFESSEURS ÉMÉRITES	M. BÉRENHOLC Mme BRION M. LASFARGUES M. LAUTROU M. LEVY	M. PELLAT M. PIERRISNARD M. SAFFAR Mme WOLIKOW

Liste mise à jour le 04 novembre 2019

Remerciements

À Mme le Professeur Sibylle Vital

Docteur en Chirurgie dentaire

Ancien Interne des Hôpitaux

Docteur de l'Université Paris Descartes

Habilitée à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, UFR d'Odontologie - Montrouge

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Vice-Doyen de l'UFR d'Odontologie - Montrouge

Vous me faites l'honneur de présider ma thèse d'exercice. Je vous remercie pour l'attention que vous avez portée à mon égard. Je vous remercie pour votre engagement auprès des étudiants. Vous avez su être à l'écoute sans en tirer des jugements hâtifs. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mes sincères remerciements.

À Mme le Professeur Claudine Wulfman

Docteur en Chirurgie dentaire

Spécialiste qualifiée en Médecine bucco-dentaire

Ancien Interne des Hôpitaux

Docteur de l'Université Paris 13

Habilité à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, UFR d'Odontologie- Montrouge

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Merci d'avoir accepté spontanément de participer à ce jury de thèse. Merci pour votre dévotion et professionnalisme. Merci de votre soutien et de votre qualité d'enseignement durant toutes mes années cliniques. Je vous témoigne ma plus profonde reconnaissance.

À Mme le Docteur Céline Gaucher

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Maître de Conférences des Universités, UFR d'Odontologie - Montrouge

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Vous me faites l'honneur de participer à mon jury de thèse. Je vous remercie pour votre accessibilité, votre pédagogie et votre célèbre gentillesse face à toutes les situations. Merci du temps que vous consacrez à vos étudiants, et de la passion que vous mettez dans votre travail. Veuillez trouver dans ce travail mon plus profond respect.

À M. le Docteur Roddy Kheng

Docteur en Chirurgie dentaire

Assistant Hospitalo-Universitaire, UFR d'Odontologie - Montrouge

Merci de l'honneur que vous me faites en dirigeant cette thèse. Merci pour votre disponibilité, votre implication et votre gentillesse. Merci de me témoigner autant de respect que celui que je vous porte. Merci de l'exemple que vous donnez aux étudiants. Par ce travail, je salue la mémoire d'un homme de grandes qualités. Je vous communique mon plus grand respect et ma plus grande gratitude pour votre aide et soutien.

À Brigitte et Serge, mes parents. Ils sont les premiers à m'avoir vu rire, boudier, pleurer. Ils sont les premiers à m'avoir vu marcher, courir, tomber et me relever. Mes parents ont été là dans toutes les étapes de ma vie. Ils m'ont donné la force et le courage nécessaire pour surmonter les difficultés. Depuis mon départ en métropole, ils ont tout fait pour nous aider, ma sœur et moi. Ils ne savent pas que là où ils ont été le plus utiles, c'est toutes les fois où ils nous ont écoutés, où ils ont essayé de comprendre nos craintes, nos difficultés et où ils nous ont encouragés. Merci pour votre amour, votre dévouement et vos valeurs. Je vous aime.

À Sarah, ma sœur. « Si Sarou peut le faire, je peux le faire ». Elle n'a jamais laissé personne me faire du mal. Un jour elle est venue dans mon école avec tous ses copains pour me défendre. Je plains encore cet enfant. Elle a toujours su me guider. J'avais toujours une longueur d'avance sur les autres parce qu'un mini-moi y était passé deux ans avant. Aujourd'hui, elle entreprend un chemin où je vois qu'elle est la plus forte. Je ne m'inquiéterai plus jamais pour elle car elle est où elle doit être et avec les gens les plus importants. Elle et notre relation évoluent tous les jours vers le meilleur. Nous n'avons jamais été aussi proches qu'aujourd'hui et je ne la remercierai jamais assez pour tout l'amour qu'elle me porte.

À Mathieu et Valentin, mes frères. Notre trio est indémodable. Nous sommes à la fois semblables et complémentaires. Merci d'avoir toujours été là pour moi, dans les moments les plus heureux et les plus incertains. Je peux toujours compter sur vous. Votre bonne humeur et vos mots ont toujours su me remettre d'aplomb pour reprendre une vie comme nous l'entendons : avec le sourire. Même dans vos moments les plus difficiles vous avez su le garder (grandes pensées pour Claudie). Merci pour votre motivation sans faille. J'espère avoir été à la hauteur de votre amitié. À très vite pour de nouvelles aventures. **Mathieu**, merci de m'avoir autant supporté. Je sais que je me plains beaucoup mais c'est parce que je sais que tu es à l'écoute et que tu sais autant te moquer que de trouver les mots justes pour me remonter à bloc. Je peux passer des jours avec toi sans jamais m'ennuyer. J'ai une confiance aveugle en toi. Je sais que je pourrai toujours compter sur toi peu importe les circonstances. Tu es vraiment un ami formidable, qui a toujours su me montrer mes qualités comme mes défauts. Je suis heureux de t'avoir craché dessus au bon moment. Heureusement que nous savons tous les deux retenir que le meilleur de l'autre. Merci pour toutes ces années de bonheur et au plaisir de les poursuivre très vite. **Valentin**, je ne me lasserai jamais de ta gentillesse et de ton intelligence. De nous trois tu seras toujours le plus calme et le plus excité. Tu nous as rendu tellement fier le jour où tu t'es tenu debout pour soutenir ta thèse qu'aujourd'hui je me sens redevable. Peu importe tes décisions dans la vie, on sera là pour toi comme tu l'as toujours été pour nous. T'es un homme exceptionnel qui mérite tout ce qu'il y a de mieux au monde.

Plein de love.

À la bande. Nous nous sommes suivis dans les contrées parisiennes pour n'en ressortir que plus fort. Nous nous sommes serré les coudes dans toutes les situations. Chaque coup de fête, chaque concert, chaque foot, chaque voyage avec vous est un souvenir incroyable. Merci d'avoir été là, merci pour votre bonne humeur quotidienne, merci de rester vous-mêmes en toute circonstance. Je vous aime tous autant que vous êtes. A très vite pour construire ensemble une belle mafia de la santé Calédonienne. **Spontex**, (oui j'ai osé mais j't'aime quand même) merci d'être là pour nous divertir. Tu sais que malgré toutes les vanes que tu prends dans la tête, tout le monde t'adore comme tu es. **Matthias**, fidèle à toi-même, merci pour la bière. **Valentin**, le plus gentil de tous. **Ugo**, merci pour ton soutien quand t'étais encore mon binôme. Des débuts tourmentés mais on a réussi à surmonter tout ça. **Darren**, merci pour ta bonne humeur. **Vincent**, reste passionné comme tu es. **Bertille**, la bande t'aime autant que tu l'aimes, alors c'est dire. **Robin**, ne te débarrasse jamais de la Jeep. **Naïs**, la beauté de la bande. Reste comme tu es et continue ton aventure comme tu l'as commencé. **Violaine**, la sœur à la bande, toujours un plaisir de te parler. Tu évolues chaque jour pour le meilleur (c'est ça la puberté). **Nicus**, loin des yeux mais près du cœur et bientôt réunis pour te mettre des petits ponts. **Marco**, seulement des barres de rire avec toi. **Céline et Camille**, obligé de parler de vous deux en même temps. Petit trio du coin gauche de l'amphi. Merci d'avoir été là pour montrer que je n'étais pas le seul dans la merde. **Fariz**, merci pour ta motivation à faire la fête et bouger ton body. **Marius**, le radar légendaire, le premier couché, toujours un plaisir de te voir claquer 4 cordes. **Erwan**, toujours motivé pour bouger et pour glander. Une belle rencontre et des rigolades à n'en plus finir. **Ben**, what a coloc !? J'ai envie de dire « ouais on se met bien ». Trois ans ensemble et jusqu'au bout on continue de bien s'entendre. Merci pour ton soutien quotidien.

Merci à vous tous.

À mes confrères et consœurs Cristoliens, Montrougiens et Français. À toutes ses personnes qui s'ont apparues de près ou de loin durant mes années d'études parisiennes. À toutes les personnes qui m'ont soutenu durant mes épreuves professionnelles et d'intégration. Vous avez tous participé à mon épanouissement durant ces 7 longues années. À **Justine**, merci de m'avoir aidé dans les moments difficiles, j'espère que tu vivras une longue et heureuse vie. À **Cyril**, apprend tes gammes. À **Alexis**, merci d'avoir su me montrer mes qualités. À **Pierre**, ralentis un peu le rythme. À **Axel**, merci pour tous les services que tu m'as rendus sans jamais rien attendre en retour. À **Thomas B.**, arrête de faire peur aux enfants. À **Felix**, dis à Thomas B. d'arrêter de faire peur aux enfants. À **Nina, Marina, Yohan et Maxime** merci pour votre bonne humeur quotidienne. À **Jerry**, arrête de mater. À **Emile**, rend mon stylo. À **Ishai**, merci pour ton humour noir et ton seuil au point Godwin extrêmement sensible. À **Mélodie**, merci pour toutes ces discussions. À **Kevin**, tu ne seras jamais trop vieux pour un CRIT. Et à tous les autres que je n'ai pas cités, je n'avais pas assez de bêtises en stock mais je vous porte tous sincèrement dans mon cœur.

Aux Snakes. Tous ceux qui me connaissent savent l'importance que j'accorde au sport (d'où ce sujet de thèse). Et cette petite famille m'a accompagné dans ma vie parisienne pendant 6 longues années. Je ne parlerai pas des titres que l'on a obtenus à la force de nos jambes et de notre mental mais plutôt du bonheur qu'ils m'ont apporté. Cette petite famille m'a accepté comme l'un des leurs dès mon premier passage. Ils ont forgé mon caractère dans ce sport et m'ont énormément appris. Chacun d'entre eux est unique en son genre et je les aime tous comme ils sont. Merci pour toutes ses années de bonheur et de divertissement. Je ne vous oublierai pas. Let's Go Snakes !

À la bourse Cadres Avenirs, au GIP et Aceste. Merci de votre aide financière et de m'avoir permis de poursuivre mon cursus dans les meilleures conditions. Merci à Frédéric COMAYRAS pour son dévouement envers ses étudiants et moi-même. Je me rapproche tous les jours de ce beau pays qui est la Nouvelle-Calédonie et je compte les jours avant de pouvoir participer à son épanouissement.

Table des matières

INTRODUCTION	4
1 : CLASSIFICATION ACTUELLE DES PROTEGE-DENTS	5
1.1 TYPE I : STANDARD.....	5
1.2 TYPE II : BOILAND BITE	6
1.3 TYPE III : CUSTOM-MADE.....	8
2 : CAHIER DES CHARGES DU PROTEGE-DENTS IDEAL	13
2.1 MATERIEL ET METHODE	13
2.2 ABSORPTION DES FORCES.....	14
2.2.1 Dureté du matériau	15
2.2.2 Épaisseur	17
2.2.3 Limites	22
2.2.4 Matériaux.....	23
2.2.5 Architecture du protège-dents	24
2.3 CONFORT	28
2.4 INFLUENCE SUR LA PERFORMANCE DU SPORTIF.....	32
2.5 BIOCOMPATIBILITE	34
2.6 DURABILITE.....	35
2.6.1 Absorption de l'eau	35
2.6.2 Résistance au déchirement.....	36
2.6.3 Résistance à la traction	36
2.7 CONSEQUENCES SUR L'ATM	37
2.8 DEPEND DU SPORT PRATIQUE	38
2.9 PRISE EN CHARGE PAR UN CHIRURGIEN-DENTISTE	41
2.10 LE PROTEGE-DENTS DE DEMAIN, LE PROTEGE-DENTS IDEAL.....	41
3 : ÉLABORATION D'UNE ECHELLE DE CRITERE DE CLASSEMENT	46
3.1 SONDAGE.....	46
3.2 PONDERATION DES CRITERES	48
3.2.1 Biocompatibilité.....	50
3.2.2 Absorption des forces	50
3.2.3 Confort.....	51
3.2.4 Conséquences sur l'ATM	52
3.2.5 Influence sur les performances du sportif.....	52

3.2.6 Durabilité.....	53
3.2.7 Prise en charge par un chirurgien-dentiste.....	53
3.2.8 Esthétique.....	53
3.3 TABLEAU DE CLASSEMENT RECAPITULATIF.....	55
3.4 EXEMPLES	56
3.5 LES LIMITES	62
CONCLUSION.....	65
BIBLIOGRAPHIE	67
TABLE DES FIGURES.....	70
TABLE DES TABLEAUX.....	72
ANNEXES.....	73

Introduction

Dans la population actuelle, le sport fait partie du quotidien de nos patients. En fonction du sport pratiqué, la prévalence des traumatismes dentaires et des tissus environnants peut être plus ou moins importante. C'est pourquoi le port d'une protection intra buccale est indispensable. Cependant, des études ont montré que le port du protège-dents chez les sportifs n'est pas systématique (Annexe 1). L'étude de Ferrari et de Medeiros indique le pourcentage de protège-dents utilisé en fonction du sport pratiqué. Mis à part pour le Hockey où 91.3 % des athlètes utilisent un protège-dents, dans les autres sports (arts martiaux, basketball, handball, soccer), l'utilisation du protège-dents ne s'élève pas à plus de 13 %¹, malgré un pourcentage d'accident élevé (Arts martiaux : 32,1 % - Hockey : 11,5 % - Basketball : 36,4 % - Handball : 37,1 % - Soccer : 23,1 %).

Les raisons du non-port du protège-dents varient selon trois facteurs principaux (Annexe 2) : l'inconfort, la perturbation de l'élocution et de la respiration.

Le problème financier ne semble pas entrer en compte. En effet, de plus en plus de compagnies d'assurance refusent de prendre en charge des traumatismes dentaires lorsque le protège-dents n'a pas été porté².

Les avantages du protège-dents sont multiples. En premier lieu il permet de prévenir les lésions dentaires, les lacérations muqueuses, les fractures, il diminue la sévérité des contusions et de ce fait impacte la partie financière engagée pour la réparation des lésions faciales. Il induirait également une plus grande confiance dans la pratique de son activité en diminuant les préoccupations liées à une blessure potentielle.

Cette thèse se veut de développer le système de classification des protège-dents (commerciaux et professionnels) afin de renseigner le praticien, les instances (clubs sportifs, enseignes commerciales) et le patient de la qualité de la protection utilisée. En effet, même si le manque d'information ne semble pas être une des raisons principales du non-port du protège-dents, une information sur la qualité de celui-ci ne peut être que bénéfique pour le patient.

¹ Ferrari et de Medeiros, « Dental trauma and level of information : mouthguard use in different contact sports ».

² Farrington et al., « A review of facial protective equipment use in sport and the impact on injury incidence ».

1 : Classification actuelle des protège-dents

Selon l'ASD (Academy for Sport dentistry) et l'ADA (American Dental Association), les protège-dents sont classés en trois types :

- Type I : standard, non adaptable
- Type II : semi-adaptable, « boil-and-bite », mouth-formed
- Type III : adaptable, sur mesure, custom made.

1.1 Type I : Standard

Les protections dites « standards » (Type I) sont des protections prêtes à l'emploi souvent en caoutchouc ou en plastique³. Le sportif peut se la procurer directement dans son magasin de sport avec un choix de trois tailles. Le protège-dents peut être utilisé sans manipulation préalable. Cet appareillage ne tient en place que si le sportif à la mâchoire serrée. Dans le cas contraire, la perte du protège-dents est inévitable. Celui-ci pourrait même bloquer les voies aériennes du sportif. Or, durant un effort intense, la respiration buccale est inévitable.

Ce dispositif, bien que moins onéreux, est celui qui procure le moins de protection. De plus, souvent inconfortable, il entrave l'élocution et la respiration.

Figure 1 : Protège-dents standard (stock-form, type I)



Source : Dhillon et al., « Guarding the precious smile : incidence and prevention of injury in sports : a review », 2014 ; Roettger, *Modern sports dentistry*, 2018.

³ Bourguignon et Sigurdsson, « Preventive strategies for traumatic dental injuries ».

1.2 Type II : Boil and Bite

La protection de type II est la plus utilisée par les sportifs (90 %)⁴. Ce protège-dents industriel, généralement composé de Polyéthylène Vinyle Acétate (PEVA), est modifié en bouche par le sportif en suivant les recommandations préconisées par le fabricant au dos de son emballage.

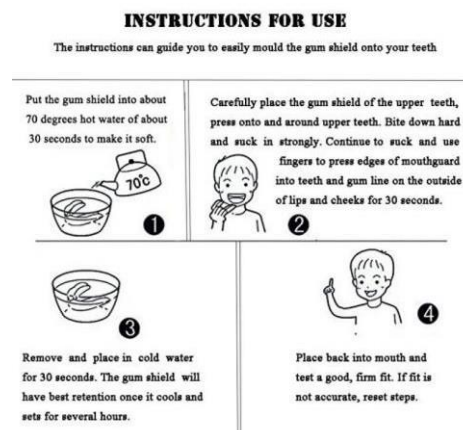
Celles-ci sont variables selon les fabricants (cf. figure 3) et questionnent donc sur l'efficacité de la mise en œuvre. Lors de cette manipulation, le protège-dents peut perdre jusqu'à 99 % de son épaisseur occlusale, diminuant ainsi ses capacités de protection⁵. Il est conseillé de réaliser la procédure avec son chirurgien-dentiste.

Figure 2 : Protège-dents « boil-and-bite » (mouth-formed, type II)



Source : Dhillon et al., « Guarding the precious smile : incidence and prevention of injury in sports : a review », 2014 ; Roettger, *Modern sports dentistry*, 2018.

Figure 3 : Un exemple de différences d'instructions pour deux fabricants



Source : Decathlon, « protège-dents de rugby R100 » ; Super combat et Roxan, « protège-dents simple : le comparatif », 2020.

⁴ Poisson et al., Protege-dents (protection intra-buccale) pour activités sportives.

⁵ Poisson et al.

Des marques comme DOOMEY® ou MG PROTECT®, lancent une gamme de protège-dents se rapprochant étonnamment d'un protège-dents de type III qui sera décrit ci-dessous.

En effet, il est proposé au sportif de prendre lui-même une empreinte en 1 temps, 1 viscosité, de son arcademaxillaire, ainsi qu'un morduoclusal grâce à de la cire. Les conseils d'utilisation et le mode d'emploi décrivent très bien les étapes de réalisation de l'empreinte. Une fois réalisée, le sportif envoie l'empreinte à l'entreprise qui réalisera le protège-dents.

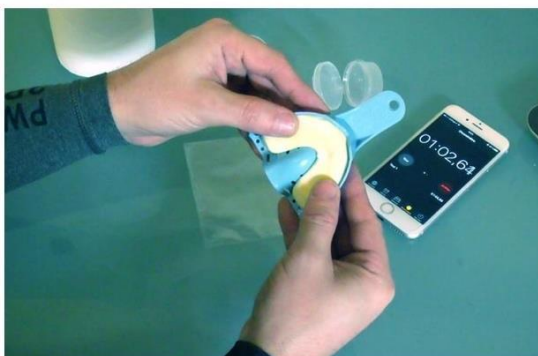
Nous pouvons catégoriser ce protège-dents en tant que type IIB, qui correspond à l'équivalent d'un type III mais sans suivi de la part d'un dentiste. L'occlusion, les surextensions, les gênes du sportif ne seront alors pas réglées. Ce type de protège dent IIB présente l'avantage d'avoir le meilleur rapport qualité prix.

Figure 4 : Illustrations de la prise d'empreinte 1 temps 1 viscosité par DOOMEY®

Mélange



Mise en place



Source : Doomey-sport, « Mode d'emploi », 2020.

Figure 5 : Protège-dents DOOMEY® (Type IIB)



Source : Doomey-sport, « Nos protège-dents », 2020.

1.3 Type III : Custom-made

Le protège-dents de type III, ou custom-made, est un protège-dents sur mesure réalisé par un dentiste et un prothésiste dentaire. Ce protège-dents est le plus adapté, le plus confortable mais aussi le plus cher.

Il ne doit pas être choisi chez l'enfant en croissance en cas de port fréquent au risque d'interférer avec le développement.

Ce type de protège-dents peut être adapté à des patients édentés, porteurs d'appareils orthodontiques, en classe III ou II d'Angle.

Les attentes doivent être discutées entre le patient et son praticien.

Figure 6 : Protège-dents sur mesure (custom made, type III)

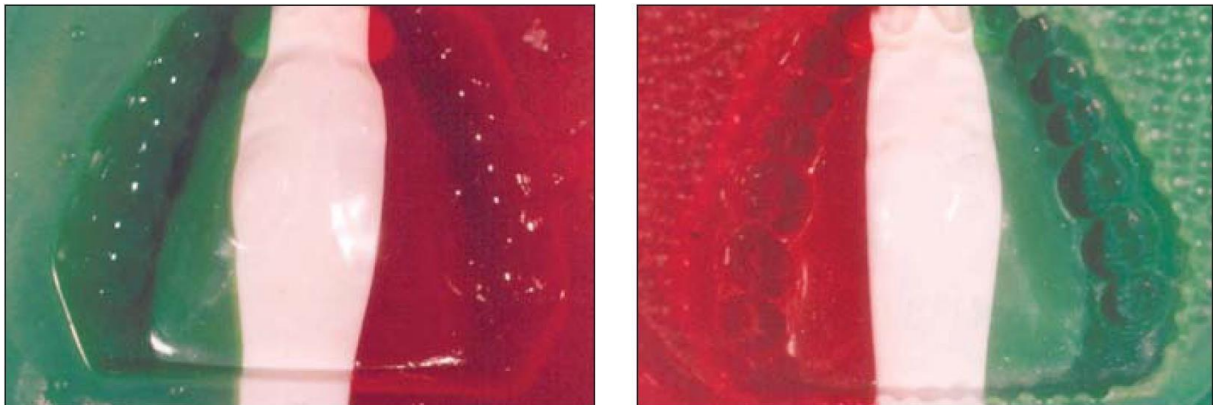


Source : Roettger, *Modern sports dentistry*, 2018.

Pour fabriquer un protège-dents de type III, deux techniques conventionnelles sont possibles : la technique par aspiration (vacuum formed) et la technique sous pression (pressure formed).⁶

- La technique de fabrication par aspiration (vacuum formed) est la technique traditionnelle de fabrication des protège-dents. Avec cette technique, il ne sera possible d'obtenir qu'une seule couche de matériau.
- La technique de fabrication sous pression (pressure formed) est quant à elle une technique permettant une meilleure adaptation du matériau au modèle. En effet grâce à sa chambre sous vide, l'appareil permet une adaptation parfaite. Un autre avantage de cette technique de fabrication est de pouvoir réaliser des protège-dents en plusieurs couches, permettant de contrôler l'épaisseur finale du protège-dents.

Figure 7 : Différence d'adaptation de l'intrados entre des protège-dents fabriqués par aspiration (à gauche) et sous pression (à droite)



Source : Padilla, « A technique for fabricating modern athletic mouthguards », 2005.

Une différence de précision évidente existe entre ces deux techniques. À droite, les cuspidés et fosses des faces occlusales sont bien plus nettes et mieux délimitées. De plus le risque d'obtenir des bulles est réduit.

⁶ Padilla, « A technique for fabricating modern athletic mouthguards ».

Le protocole de fabrication d'un protège-dents sur mesure nécessite plusieurs étapes :

- L'empreinte au fauteuil
- La fabrication au laboratoire de prothèse
- Le réglage en bouche

L'empreinte peut être réalisée avec un hydrocolloïde irréversible de type Alginate ou par une empreinte en 1 temps 2 viscosités. L'empreinte de l'arcade maxillaire devra aller jusqu'aux deuxièmes molaires et jusqu'au fond du vestibule. Une empreinte de l'antagoniste sera aussi nécessaire. De plus, si l'OIM n'est pas réitérative, il sera nécessaire de faire un mordure afin d'obtenir un montage sur occluseur ou articulateur.

Figure 8 : Empreinte du maxillaire au silicone A (Light and soft body), modèle correspondant et tracé du fond de vestibule



Source : Padilla, « A technique for fabricating modern athletic mouthguards », 2005.

Au laboratoire, le modèle est placé sur la machine de thermoformage sous pression juste en dessous de l'anneau où est fixée la feuille de matériau (sur la figure 9, une feuille d'Ethylène Vynil Acétate). Le matériau est lentement chauffé. À mesure que le matériau chauffe, il se ramollit. C'est à ce moment-là que le levier est abaissé afin de mettre en contact le matériau et le modèle. Puis la pression est activée pour gagner en précision.

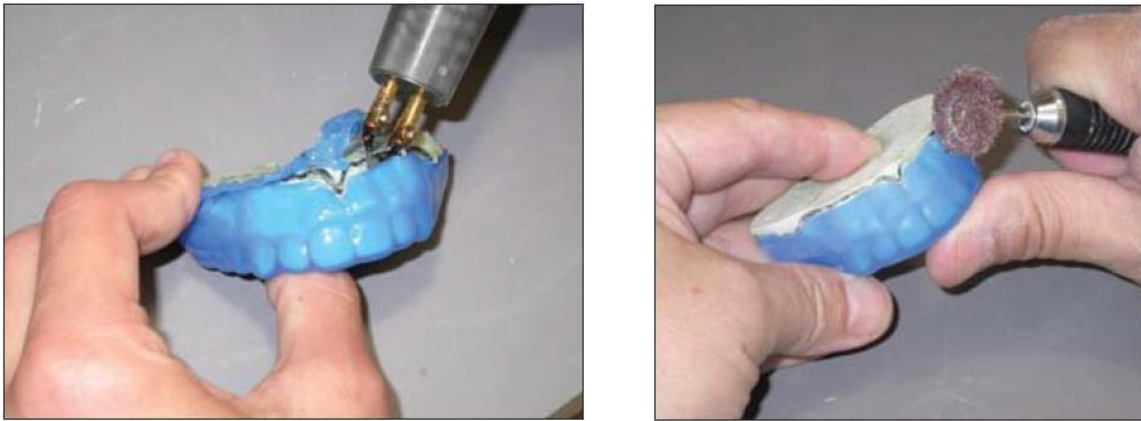
Figure 9 : Mise en place du modèle, ramollissement du matériau, abaissement du levier et mise en marche de la pression (machine DRUFOMAT)



Source : Padilla, « A technique for fabricating modern athletic mouthguards », 2005.

Le matériau doit ensuite refroidir durant au moins 10 à 15 minutes sans le sortir de la chambre à vide. Il faudra alors attendre quelques minutes pour que le matériau arrive à température ambiante avant de pouvoir le régler. Les excès seront découpés à l'aide d'une lame chaude selon les limites qui seront décrites dans le cahier des charges. Puis vient le polissage nécessaire pour éviter les blessures. Au désir du patient, des logos, et autres critères esthétiques pourront être ajoutés.

Figure 10 : Découpe des limites et polissage



Source : Padilla, « A technique for fabricating modern athletic mouthguards », 2005.

La dernière étape est réalisée par le praticien qui vérifie :

- Que le patient ne présente aucune douleur lors du port du protège-dents. En cas de douleur, il relève sa localisation et modifie le dispositif à l'aide de fraises résines et fraises à polir.
- Que l'occlusion est équilibrée et que les indentations soient bien marquées. Si ce n'est pas le cas, il faut délicatement chauffer la face occlusale (pas trop pour ne pas déformer le protège-dents) et demander au patient de fermer doucement la bouche jusqu'à obtenir l'occlusion souhaitée. Il faut prendre garde à respecter l'épaisseur occlusale et ne pas répéter l'action trop souvent.
- Le confort maximal du patient

Figure 11 : Prise en charge au fauteuil



Source : Padilla, « A technique for fabricating modern athletic mouthguards », 2005.

2 : Cahier des charges du protège-dents idéal

Selon différents auteurs (Poisson⁷, Dhillon⁸, Lamendin⁹) un protège-dents doit respecter plusieurs critères indispensables :

- Respect fonctionnel : déglutition, phonation (notamment pour les sports collectifs), respiration buccale, ne pas provoquer de sécheresse buccale
- Confort : ne doit pas provoquer de nausée
- Stabilité, rétention
- Adaptation mandibulaire (indentations antagonistes pour bloquer la mandibule)
- Absorption des forces subies
- Biocompatible
- Séparer les lèvres des dents
- Durable
- Facile à la fabrication

Le but ici est de réaliser un cahier des charges idéal pour créer une classification qualitative du protège-dents. Les critères n'influençant pas la qualité du protège-dents seront donc exclus.

2.1 Matériel et méthode

Pour la recherche documentaire, le catalogue de la BIU Santé (Bibliothèque Inter Universitaire de Santé) a été privilégié en utilisant des mots-clefs en rapport avec les protège-dents :

- (mouthguard) OU (Protection dento maxillaire) OU (protège dent) OU (protection intra buccale) : **1864** résultats en Septembre 2018 (résultats faussés car de nombreux articles étaient en double)
- Une recherche croisée a été réalisée de cette façon : (odontologie) ET (sport) : **101** résultats

Le but était de trouver un maximum d'articles sur le sujet puis d'exclure ceux ne répondant pas à la problématique.

⁷ Poisson et al., Protege-dents (protection intra-buccale) pour activités sportives.

⁸ Dhillon et al., « Guarding the precious smile : incidence and prevention of injury in sports : a review ».

⁹ Lamendin, *Odontologie du sport*.

Le choix des articles s'est fait en sélectionnant :

- Les articles rédigés en anglais ou français
- Les études comparatives
- Les études les plus récentes (après 2005)
- Les études évoquant l'efficacité des protections
- Des études épidémiologiques
- Les études dont l'intégralité du contenu était disponible en ligne
- Les méta-analyses

Les articles ont été sélectionnés à la lecture du titre, du résumé, puis de la lecture intégrale.

Au fil des lectures, la bibliographie m'emmenait vers de nouveaux articles.

2.2 Absorption des forces

Le rôle principal attendu d'un protège-dents est avant tout une protection des tissus dentaires et environnants. Pour avoir une idée de l'ampleur de cette propriété, des études cherchent à mesurer la transmission des forces appliquées sur un sujet avec ou sans protège-dents.

Par exemple, Tanaka et al¹⁰ montrent que les forces d'impacts reçues avec un protège-dents conçu à partir d'une feuille de PEVA de 4 mm valent 60 % de celles sans protège-dents.

En 2014, Ozawa et al¹¹ cherchent à démontrer si cette protection reste efficace dans le cas où la mandibule vient se fermer de manière forcée et traumatique.

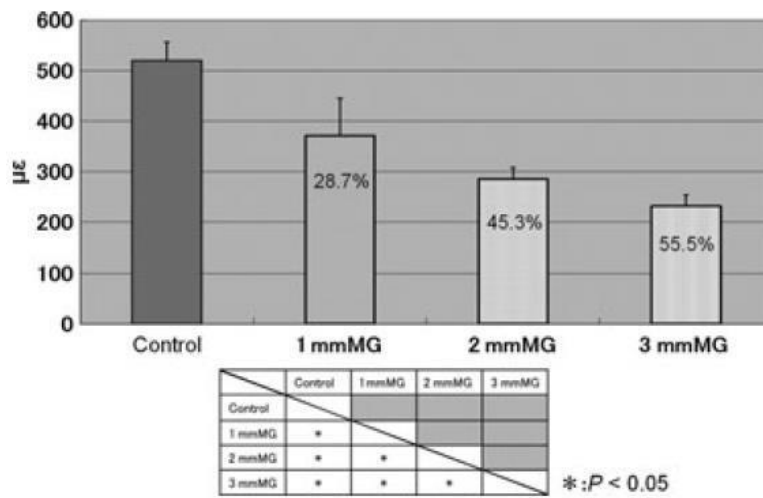
Leurs résultats montrent une diminution significative des forces reçues lors du port du protège-dents et que plus son épaisseur est importante, plus cette diminution l'était.

Plusieurs critères peuvent modifier la capacité d'un protège-dents à absorber des forces reçues. Le matériau en lui-même, son épaisseur, la manière dont il a été fabriqué, et ses limites en bouche.

¹⁰Tanaka et al., « A method for detecting the deterioration in the shock absorption capability of mouthguards ».

¹¹Ozawa et al., « Shock absorption ability of mouthguard against forceful, traumatic mandibular closure ».

Figure 12 : Résultats de l'expérience d'Ozawa et al

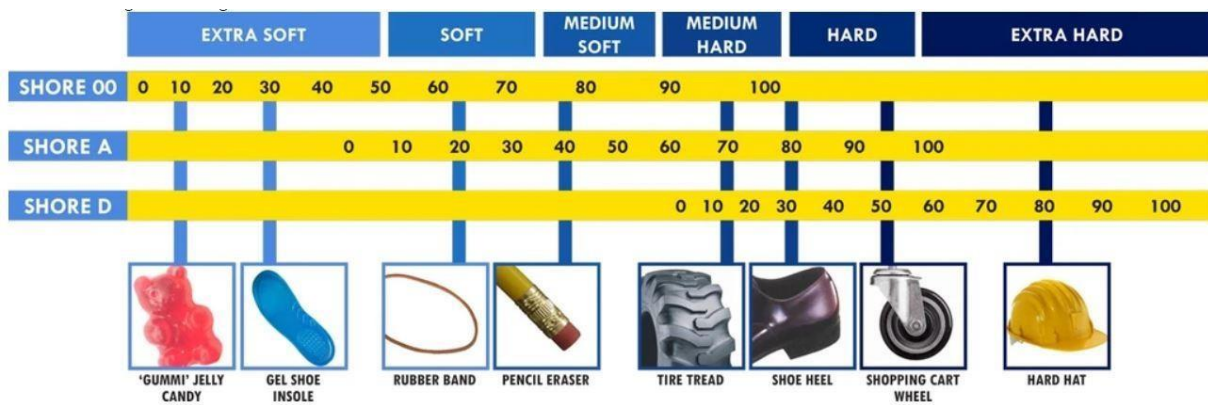


Source : Ozawa et al., « shock absorption ability of mouthguard against forceful, traumatic mandibular closure », 2014.

2.2.1 Dureté du matériau

La dureté d'un élastomère se mesure à l'aide d'un Duromètre. Celui-ci indiquera le Shore du matériau (unité de mesure de la dureté).

Figure 13 : Schéma de représentation du Shore



Source : Atome3D, « Échelle shore », 2020.

Les Shore A sont utilisés pour les matériaux plus mous, alors que les Shore D sont utilisés pour les plus durs. Plus le chiffre est grand, plus le matériau est dur. Par exemple, un matériau Shore 70 A (par exemple la bande de roulement d'un pneu) est plus dur qu'un matériau Shore 40 A (une gomme).

En 1996, Auroy et al.¹² comparent les différentes capacités d'absorption des forces en fonction de la dureté des matériaux. En comparant 27 plaques de différents caoutchoucs silicones 10 fois chacune, ils concluent qu'il existe une corrélation linéaire négative entre la dureté et l'absorption des forces.

En d'autres mots, lorsque la dureté d'un matériau augmente, sa capacité d'absorption des forces diminue.

Dans cet article, un matériau de Shore 28 A absorbe 92 % des forces reçues alors qu'un matériau Shore 82 A n'absorbe que 81 %.

Cependant, ils indiquent qu'aucune mesure concernant la rétention des protège-dents n'a été effectuée. Ils citent même certains auteurs affirmant que la rétention augmente avec l'augmentation de la dureté.

En 2000, Westerman et al.¹³, décide de tester différents protège-dents en PEVA, en insérant une couche de PEVA plus dure à différents niveaux. L'échantillon 5 (témoin) est composé de 5 couches de PEVA d'une dureté Shore 80 A. Les 4 autres échantillons sont composés de 4 couches de PEVA Shore 80 A et une couche de PEVA Shore 90 A placée à différents niveaux comme illustrés sur la figure 14.

Figure 14 : Différentes localisations de la couche dure de PEVA (Shore 90 A) en fonction des échantillons

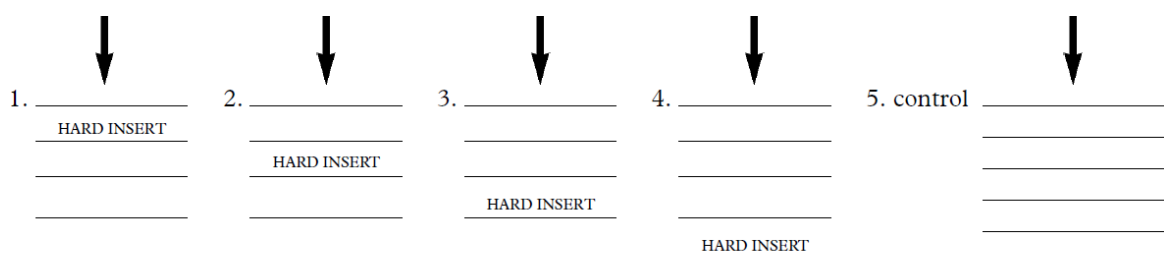


Fig. 2. – Laminate samples: combinations and impact direction.

Source : Westerman, Stringfellow, et Eccleston , « The effect on energy absorption of hard inserts in laminated EVA mouthguards », 2000.

¹² Auroy et al., « Hardness and shock absorption of silicone rubber for mouth guards ».

¹³ Westerman, Stringfellow, et Eccleston, « The effect on energy absorption of hard inserts in laminated EVA mouthguards ».

Ils montrent ainsi que l'échantillon témoin est celui qui absorbe au mieux les forces subies. L'insertion d'une couche dure dans un protège-dents en PEVA laminé réduit donc son efficacité à absorber les chocs. Parmi les protège-dents avec une couche dure, l'échantillon 4 était le plus efficace.

Il existe un consensus entre différents articles affirmant qu'une dureté Shore 80A est idéale pour les protège-dents.

2.2.2 Épaisseur

L'épaisseur de notre matériau va influencer la capacité de notre protection intra buccale à absorber les forces reçues. En effet, plus l'épaisseur de notre matériau est importante, moins les forces appliquées seront transmises.¹⁴

Dans leur article, Westermann et al ¹⁵ confirment cette affirmation et en démontrent les limites. En effet, les auteurs expérimentent différentes épaisseurs de protège-dents en PEVA (Dureté Shore 80 A). Avec un test de pendule, ils impactent chaque échantillon huit fois et trouvent les résultats suivants :

Tableau 1 : La transmission des forces subies en fonction de l'épaisseur du protège-dents en PEVA

Table 1. Mean maximum transmitted forces (kN)

Thickness (mm)	Mean maximum transmitted force
1	Not recorded
2	15.70
3	11.40
4	4.38
5	4.03
6	3.91

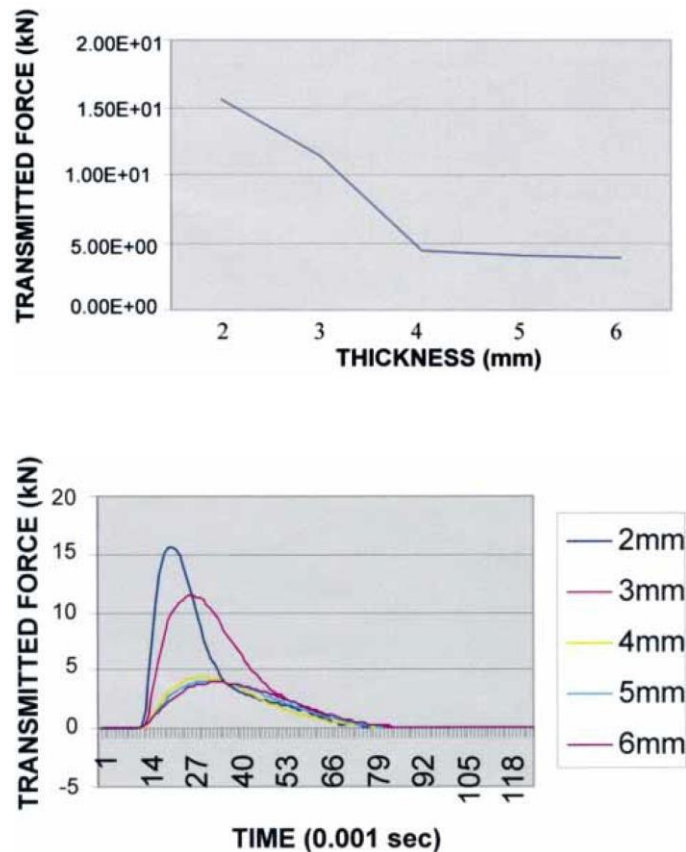
Source : Westerman, Stringfellow et Eccleston, « EVA mouthguards : how thick should they be ? », 2002.

¹⁴ Farrington et al., « A review of facial protective equipment use in sport and the impact on injury incidence ».

¹⁵ Westerman, Stringfellow, et Eccleston, « EVA mouthguards : how thick should they be ? »

Ces résultats montrent que l'épaisseur du dispositif influence directement sa capacité à absorber les forces subies. En effet, pour une épaisseur inférieure à 4 mm, le protège-dents en Poly Ethylène Vinyle Acétate (PEVA) avec une dureté Shore A égale à 80, n'est pas assez efficace et les forces transmises enregistrées varient entre 11,4 et 15,7 kN.

Figure 15: Transmission des forces subies en fonction de l'épaisseur du protège-dents en PEVA (en haut) et du temps (en bas)



Source : Westerman, Stringfellow et Eccleston, « EVA mouthguards : how thick should they be ? », 2002.

Comme le montre la figure 15 à partir d'une épaisseur de 4 mm, les forces transmises continuent de diminuer avec l'augmentation de l'épaisseur. Cependant, la courbe de progression est bien amoindrie. En effet, pour une épaisseur de 4, 5 et 6 mm, les forces transmises enregistrées varient de 4,38 – 4,03 et 3,91 kN respectivement.

Prenant en compte le confort du patient, il est donc établi que l'épaisseur optimum d'un protège-dents en PEVA serait de 4 mm en occlusale et en vestibulaire. Un bon compromis entre efficacité et confort.

Dans son étude de 2005, Patrick¹⁶ préconise une épaisseur palatine de 3 mm.

Tableau 2 : Tableau référençant l'épaisseur nécessaire en fonction de la localisation selon différents auteurs

Auteurs	Epaisseur occlusale	Epaisseur vestibulaire	Epaisseur palatine
Sametzky ¹⁷	4 mm	4 mm	X
Patrick ¹⁸	2 mm	3 mm	3 mm
Takahashi ¹⁹	4 mm	4 mm	X
Houdard ²⁰	3-4 mm	3-4 mm	3 mm

Source : Houdard, « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby », 2018.

Certains auteurs comme Takahashi et al²¹ ou Del Rossi²² s'intéressent au procédé de fabrication d'un protège-dents de type III et montrent la difficulté d'obtention d'une épaisseur idéale en vue de différents critères.

Tableau 3 : Épaisseurs obtenues après fabrication par thermo formation-pression sur différente localisation du protège-dents

Table 1. Descriptive statistics

Height of model (mm)	<i>n</i>	Incisors thickness, [mm; Mean (SD)]	Canine thickness, [mm; Mean (SD)]	Molar cusp thickness, [mm; Mean (SD)]
20	15	1.6 (0.09) ^x	1.6 (0.11) ^y	1.6 (0.06)
25	15	1.4 (0.11) ^{ax}	1.4 (0.10) ^{by}	1.6 (0.08) ^{ab}
30	15	1.2 (0.15) ^{cx}	1.2 (0.10) ^{dy}	1.6 (0.08) ^{cd}

All data sharing the following letters are significantly different ($P < 0.05$): x,y,a,b,c,d

Source : Del Rossi G. et Leyte-Vidal, « Fabricating a better mouthguard. Part I : factors influencing mouthguard fining. », 2007.

¹⁶ Patrick, « Scale of protection and the various types of sports mouthguard ».

¹⁷ Lamendin, *Odontologie du sport*.

¹⁸ Patrick, « Scale of protection and the various types of sports mouthguard ».

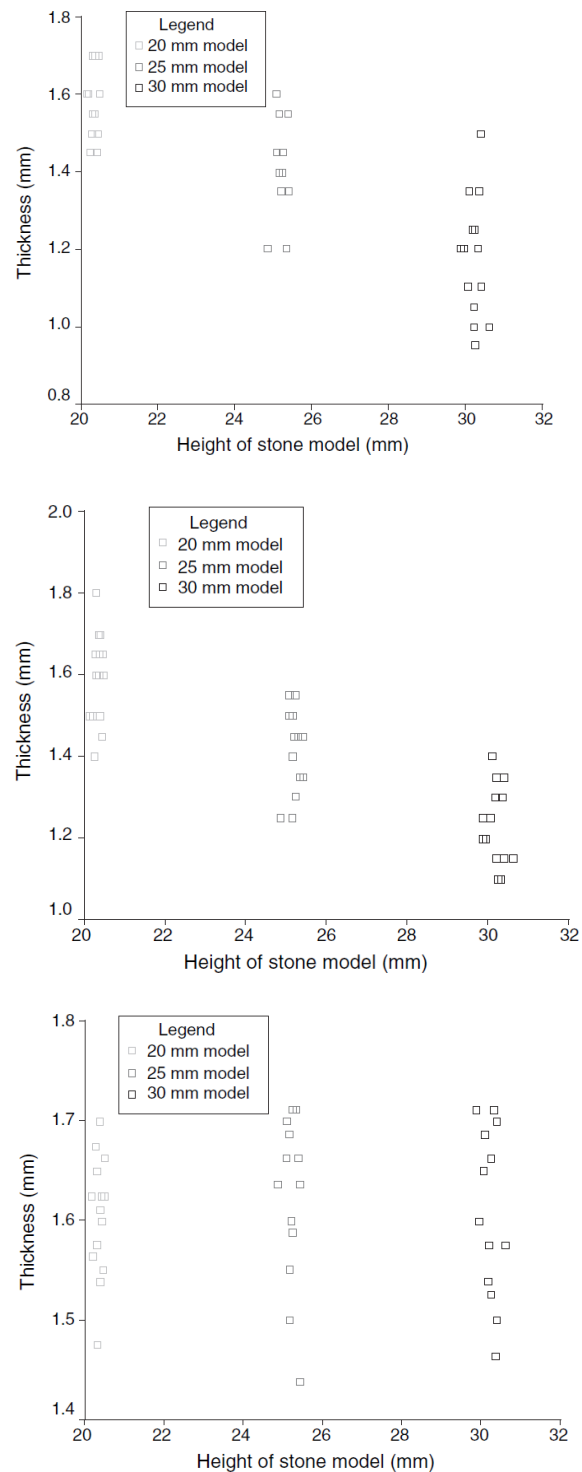
¹⁹ Takahashi, Koide, et Mizuhashi, « Difference in the thickness of mouthguards fabricated from ethylene-vinyl acetate copolymer sheets with differently arranged v-shaped grooves ».

²⁰ Houdard, « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby ».

²¹ Takahashi, Koide, et Mizuhashi, « Difference in the thickness of mouthguards fabricated from ethylene-vinyl acetate copolymer sheets with differently arranged v-shaped grooves ».

²² Del Rossi et Leyte-Vidal, « Fabricating a better mouthguard. Part i : factors influencing mouthguard thinning ».

Figure 16 : Graphique en nuage de points montrant la différence d'épaisseur en fonction de la hauteur du modèle au niveau vestibulaire des CANINES (en haut), des INCISIVES (au milieu) et en occlusal des MOLAIRES (en bas)



Source : Del Rossi G. et Leyte-Vidal « Fabricating a better mouthguard. Part I : factors influencing mouthguard fining. », 2007.

Les résultats ci-dessus montrent l'amincissement que subit le matériau lors de la mise en œuvre. En effet entre 25 et 50 % de l'épaisseur est perdue. Ici, le facteur influençant est la hauteur du modèle en plâtre. Grâce à son étude, Del Rossi montre que la hauteur du modèle en plâtre utilisée pour fabriquer notre protège-dents se doit d'être le plus petit possible. En effet, plus le modèle est haut, plus l'amincissement sera important.²³

Tableau 4 : Relation entre différents facteurs dimensionnels et l'épaisseur obtenue

Table 2. The relationship between various dimensional factors and mouthguard thickness

Measurement	Pearson product moment correlation coefficients (<i>P</i> -values)		
	Height of model, (<i>n</i> = 45)	Arch length, (<i>n</i> = 15)	Area covered by model, (<i>n</i> = 15)
Molar thickness	0.014 (0.926)	0.570 (0.027)*	0.488 (0.065)
Incisor thickness	-0.817 (<0.0001)*	-0.172 (0.540)	-0.233 (0.404)
Canine thickness	-0.815 (<0.0001)*	-0.148 (0.598)	-0.248 (0.373)

**P* < 0.05

Source : Del Rossi G. et Leyte-Vidal « Fabricating a better mouthguard. Part I : factors influencing mouthguard fining. », 2007.

Comme présenté dans le tableau 4, le facteur de corrélation de Pearson indique que d'autres facteurs peuvent influencer l'obtention d'une épaisseur idéale.

Ce coefficient de corrélation varie entre -1 et 1 :

- Lorsque celui-ci est proche de zéro, il n'y a pas de relation linéaire entre les deux variables X et Y (ici, X représente différents facteurs dimensionnels et Y l'épaisseur de matériau obtenue)
- Lorsque le facteur de corrélation est proche de -1, il existe une forte relation linéaire négative entre X et Y (plus X augmente, moins le matériau sera épais)
- Lorsque le résultat est proche de 1, la relation linéaire est positive (Plus X augmente, plus Y sera grand).

Del Rossi montre donc qu'il existe une forte corrélation négative entre la hauteur du modèle et l'épaisseur obtenue dans les milieux incisifs et canins. Mais aucune relation quant à la partie occlusale molaire.

²³ Del Rossi et Leyte-Vidal.

De plus d'autres facteurs peuvent entrer en compte comme par exemple la longueur et la surface du modèle.

En 2013, Takahashi et al²⁴ montrent que la forme initiale de la feuille de matériau et la position du modèle en plâtre influencent l'épaisseur. En 2012, Takahashi et al²⁵ mettent en avant un facteur encore plus étonnant : la couleur de la feuille de PEVA. En fonction de la couleur initiale de la feuille de PEVA, l'amincissement lors de la procédure peut varier.

Ces résultats démontrent que l'obtention d'une épaisseur idéale est complexe. Cependant, certaines techniques de fabrication peuvent permettre d'améliorer ce critère. En effet, la technique de thermoformation sous pression permet d'accumuler plusieurs couches de matériaux.

De plus, grâce à la CFAO, l'épaisseur et d'autres critères peuvent être modélisés en avance.

La communication entre le praticien et le laboratoire afin d'exprimer au mieux les critères recherchés est un point clef pour la confection d'un bon protège-dents.

2.2.3 Limites

Actuellement la plupart des articles admettent qu'il existe des critères essentiels concernant les limites d'un protège-dents, Poisson²⁶ les décrit ainsi :

- Recouvrir les dents maxillaires jusqu'à la 2^{ème} molaire
- Le volet vestibulaire doit s'arrêter à 2 mm du fond vestibulaire
- La portion palatine doit s'étendre jusqu'à 10 mm du bord gingival et être fine
- Les bords doivent être arrondis

McClelland et al²⁷ ajoutent :

- Des bords arrondis en vestibulaires et effilés en palatin
- Des contacts occlusaux équilibrés.

²⁴ Takahashi, Koide, et Mizuhashi, « Difference in the thickness of mouthguards fabricated from ethylene-vinyl acetate copolymer sheets with differently arranged v-shaped grooves ».

²⁵ Takahashi, Koide, et Mizuhashi, « Influence of color difference of mouthguard sheet on thickness after forming ».

²⁶ Poisson et al., Protege-dents (protection intra-buccale) pour activités sportives.

²⁷ McClelland, Kinirons, et Geary, « A preliminary study of patient comfort associated with customised mouthguards ».

Duhaime et al²⁸ montrent que la limite palatine n'a qu'une différence non significative sur la capacité du protège-dents à absorber les forces. Un compromis en faveur du confort peut donc être réalisé par rapport à la description de Poisson²⁹.

2.2.4 Matériaux

Le matériau de notre protège-dents idéal doit répondre à plusieurs critères :

- Il doit être d'une dureté Shore 80 A
- Il doit être résistant mécaniquement (résistance au déchirement et à la fracture)
- Il doit être le moins soluble à l'eau pour éviter les déformations
- Il doit absorber les chocs
- Il doit être souple pour passer les contre-dépouilles
- Il doit être facilement modulable
- Il doit pouvoir être fraisé pour faciliter les possibles modifications nécessaires
- Il doit être biocompatible

Peu de matériaux répondent à tous ces critères. Aujourd'hui le plus utilisé pour la fabrication conventionnelle d'un protège-dents est le PEVA (Polyéthylène Vinyle Acétate). Plusieurs auteurs dont Westerman et Padilla en font le matériau de choix pour les protège-dents.

Dans son article, Fukasawa et al³⁰ testent 13 différentes feuilles de matériaux pour leur capacité à absorber les chocs. Des feuilles en PEVA, en polyoléfine et un copolymère de polystyrène-polyoléfine. Toutes permettent une absorption entre 26 et 37 %. Cependant les conditions de l'expérience ne se rapprochent pas des conditions in-vivo. Ici, ce sont les feuilles de matériaux qui sont testées (elles sont circulaires, 2 mm d'épaisseur et 50 mm de diamètre), à température ambiante (et non 37°C comme en intra-buccal) et sans humidité intra-buccal. Ces critères sont pourtant connus pour changer légèrement les propriétés des matériaux.

Cette comparaison montre tout de même que les feuilles de polystyrène-polyoléfine ont une meilleure capacité d'absorption que les feuilles de PEVA et polyoléfine.

Cependant, cet article ne compare que l'absorption des forces pour les feuilles de matériaux bruts (non mis en forme). D'autres critères sont à prendre en compte pour la qualité d'un protège-dents.

²⁸ Duhaime et al., « Comparison of forces transmitted through different EVA mouthguards ».

²⁹ Poisson et al., Protege-dents (protection intra-buccale) pour activités sportives.

³⁰ Fukasawa et al., « Difference among shock-absorbing capabilities of mouthguard materials ».

En 1985, Bishop³¹ compare des feuilles de PEVA présentant des proportions en polyvinylacétate (PVA) /polyéthylène (PE) différentes modifiant les propriétés du matériau. Il considère que la quantité idéale de PVA est de 18 % à 24 %.

2.2.5 Architecture du protège-dents

2.2.5.1 Monocouche vs multicouche

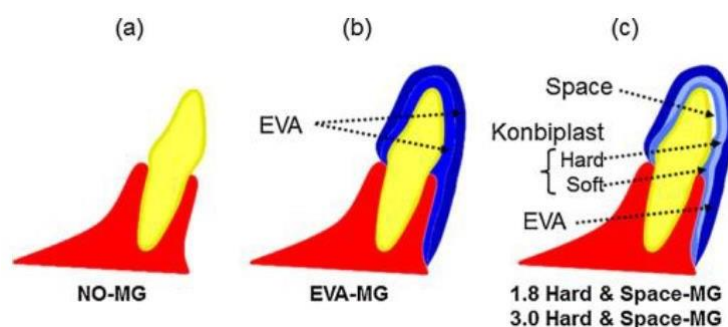
Dans une étude de 2011, Handa et al³², veut trouver un design de protège-dents diminuant la transmission des forces. Ils prouvent que l'insertion d'une couche dure dans le protège-dents améliore l'absorption des forcessubies.

Le design testé est composé de l'extrados vers l'intrados, de la manière suivante (cf. figure 17) :

- Une couche de PEVA de 3 mm
- Une couche de résine acrylique dure (Konbiplast® hard)
- Une couche de résine acrylique molle (Konbiplast® soft)
- Ces deux couches de résine mesurant 1,8 mm ou 3 mm
- Un espace vide situé entre la face vestibulaire des dents antérieures maxillaires et l'intrados d'approximativement 1mm

Ce protège-dents est comparé à un protège-dents en EVA de 6 mm et à un cas sans protège-dents.

Figure 17 : Schéma des différents protège-dents testés : (a) pas de protège-dents, (b) protège-dents en EVA 6mm, (c) protège-dents en EVA 3mm et insertion de Konbiplast + espace vide 1,8 ou 3 mm



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

³¹Bishop, « Materials for mouth protectors ».

³²Handa et al., « Influence of pre-laminated material on shock absorption ability in specially designed mouthguard with hard insert and space ».

Handa et al³³ testent les différents protège-dents en utilisant un pendule associé à un accéléromètre. Le pendule se trouve à une distance de 10, 20 et 30 centimètres. Les résultats sont les suivants (cf. tableau 5) :

Tableau 5 : Résultats de l'article de Handa et al³⁴

	Absorption des forces au niveau de la couronne	Absorption des forces au niveau du collet	Absorption de l'accélération
EVA - MG 6mm	10cm : 78,3 % 20cm : 73,5 % 30cm : 64,5 %	10cm : 56,2 % 20cm : 59,1 % 30cm : 55,4 %	10cm : 36,1 % 20cm : 27,4 % 30cm : 21,5 %
1.8 Hard & Space – MG 5,8 mm	10cm : 98,2 % 20cm : 94,8 % 30cm : 89,4 %	10cm : 92,2 % 20cm : 95,3 % 30cm : 88,7 %	10cm : 31,3 % 20cm : 25,3 % 30cm : 21,9 %
3.0 Hard & Space – MG 7 mm	10cm : 98,6 % 20cm : 98,2 % 30cm : 97,1 %	10cm : 92,4 % 20cm : 96,3 % 30cm : 96,2 %	10cm : 54,6 % 20cm : 29,6 % 30cm : 42,2 %

Source : Auteur, selon l'étude de Handa et al, « influence of pre-laminated material on shock absorption ability in specially designed mouthguard with hard insert and space », 2011.

Ces résultats confirment que le protège-dents en EVA seul protège suffisamment mais que ce nouveau design améliore encore les performances de la protection.

Néanmoins, plusieurs éléments peuvent être discutés dans l'étude. Les tests sont réalisés in vitro. Il est impossible de savoir si l'amélioration de l'absorption des forces est due à l'insertion d'une couche dure, ou à l'insertion d'un espace entre la face vestibulaire des dents et le protège-dents. Or, Westerman et al.³⁵, en 2000, prouvait que l'insertion d'une couche dure était délétère à l'absorption. De plus, les protège-dents étudiés sont d'épaisseurs différentes.

Afin d'obtenir des résultats plus comparables, il aurait été intéressant de comparer la différence d'absorption de cette façon :

³³ Westerman, Stringfellow, et Eccleston, « The effect on energy absorption of hard inserts in laminated EVA mouthguards ».

³⁴ Handa et al., « Influence of pre-laminated material on shock absorption ability in specially designed mouthguard with hard insert and space ».

³⁵ Westerman, Stringfellow, et Eccleston, « The effect on energy absorption of hard inserts in laminated EVA mouthguards ».

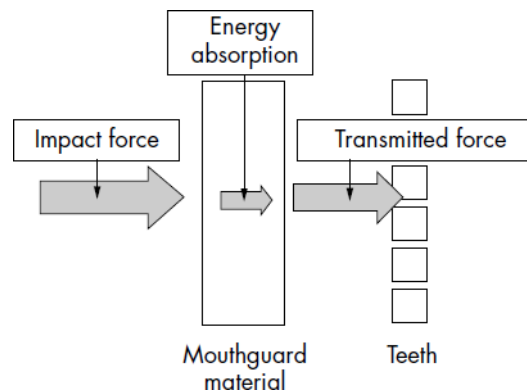
- Comparaison entre pas de protège-dents, un protège-dents en EVA de 6 mm et un protège-dents en EVA de la même épaisseur avec un espace au niveau vestibulaire.
- Comparaison entre pas de protège-dents, un protège-dents en EVA de 6 mm et un protège-dents en EVA avec insertion de Kombiplast® de la même épaisseur.

Cependant, l'étude donne une idée des différences possibles en fonction du design du protège-dents. Elle énonce aussi le risque de délamination avec le temps pour les protège-dents stratifiés. Les techniques de fabrication pourraient être à repenser.

2.2.5.2 Incorporation d'air

Lors de son expérience, Westerman et al³⁶, veulent montrer l'efficacité de l'incorporation de bulles d'air dans le matériau de notre dispositif. Ils publient quasiment le même article à 5 ans d'intervalle, calculant la réduction de la force transmise et la direction de celle-ci.

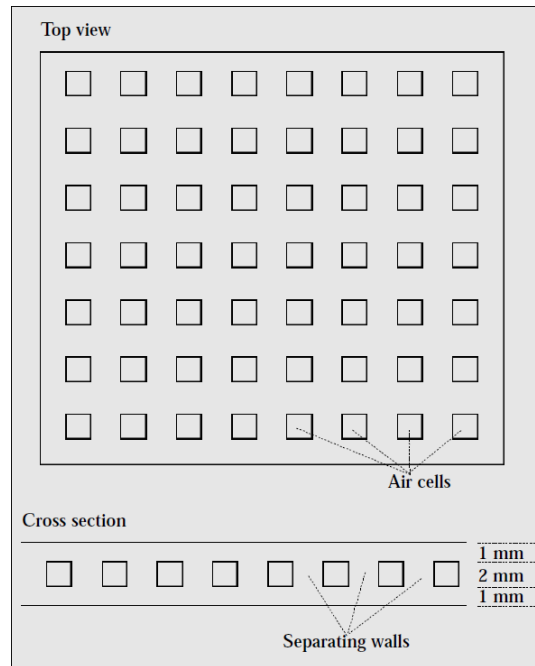
Figure 18 : Impact et forces transmises



Source : Westerman et al., « Beneficial effects of air inclusions on the performance of Ethylene Vinyl Acetate (EVA) mouthguard material », 2002.

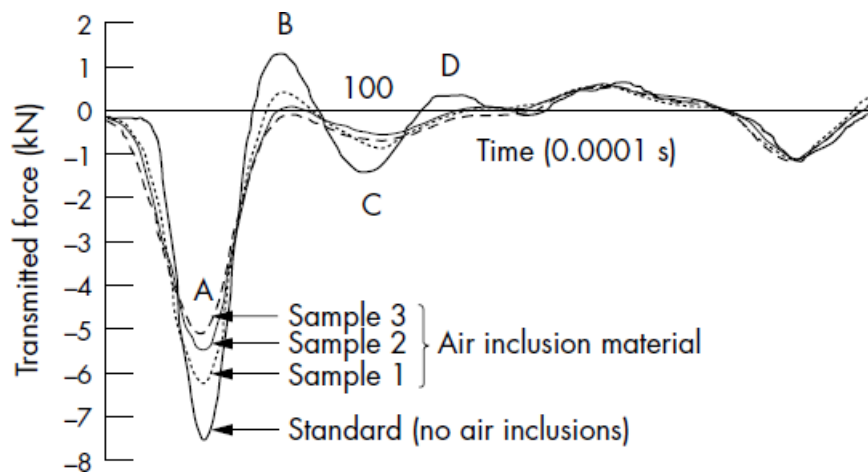
³⁶ Westerman, Stringfellow, et Eccleston, « Beneficial effects of air inclusions on the performance of ethylene vinyl acetate (EVA) mouthguard material ».

Figure 19 : Répartition des bulles d'air dans le matériau



Source : Westerman et al., « Beneficial effects of air inclusions on the performance of Ethylene Vinyl Acetate (EVA) mouthguard material », 2002.

Figure 20 : Forces transmises au cours du temps sur un protège-dents en EVA avec et sans incorporation d'air



Source : Westerman et al., « Beneficial effects of air inclusions on the performance of Ethylene Vinyl Acetate (EVA) mouthguard material », 2002.

La figure 20 montre l'efficacité de l'incorporation de bulles d'air dans le matériau. Le matériau standard étant une plaque d'EVA de 4 mm d'épaisseur sans incorporation d'air. Les trois autres échantillons sont des plaques d'EVA de 4 mm d'épaisseur avec incorporation de cellules d'air de tailles différentes.

Nous observons donc que l'incorporation d'air diminue dans tous les cas les forces transmises aux dents. Dans l'expérience réalisée, les bulles d'air plus grosses (échantillon 3) réduisent d'avantage ces forces (32% par rapport à l'échantillon témoin).

Ceci est une grande avancée dans la fabrication des protège-dents. Ces cellules d'air pourront être incluses dans un protège-dents grâce à une fabrication par CFAO. Elles permettront une meilleure acceptation du patient par la diminution de l'épaisseur et un plus grand confort.

2.3 Confort

Le confort est un point essentiel de la conception d'un protège-dents et influera directement le choix d'un sportif de le porter ou non.

Mais qu'est-ce qu'un protège-dents confortable ?

Plusieurs études auprès de sportifs ont identifié les raisons du non-port d'un protège-dents.

Selon Wissler³⁷, Liew et al³⁸, Ilija et al³⁹ et Boffano et al⁴⁰, les principales raisons du non-port d'un protège-dents sont (Annexes 2) :

- L'inconfort
- Perturbe l'élocution
- Perturbe la respiration
- Provoque des nausées
- Douloureux

D'après mon étude bibliographique, voici les différents critères qui, selon moi, entrent dans la catégorie de « confort » du protège-dents :

- Provocation de réflexes nauséeux

³⁷ Wissler et Younis, « Enquête épidémiologique sur les traumatismes dento-maxillaires dans la pratique du rugby : intérêts, protocole et résultats ».

³⁸ Liew et al., « Factors associated with mouthguard use and discontinuation among rugby players in Malaysia ».

³⁹ Ilija, Metcalfe, et Heffernan, « Prevalence of dental trauma and use of mouthguards in rugby union players ».

⁴⁰ 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 ».

- Difficulté à l'élocution
- Difficulté à la déglutition
- Provoque une xérostomie
- Stabilité en bouche (le protège-dents tombe)
- Douloureux
- Mauvais goût
- Mauvaise odeur

L'inconfort est le critère principal du non-port de la protection.

Selon toute logique, plusieurs facteurs vont influencer directement ou indirectement le confort du protège-dents :

- Le sportif (sensible aux réflexes nauséux...)
- Le matériau utilisé (goût, odeur, xérostomie...)
- L'épaisseur du protège-dents
- Les limites du protège-dents (douleurs, nausées...)
- L'adaptation (stabilité en bouche)

Tout d'abord, pour obtenir un protège-dents confortable, il est important que celui-ci soit exempt de goût et d'odeur. Des matériaux comme le PEVA remplissent ce critère.

Bien que l'absorption des chocs augmente avec l'épaisseur, il faut prendre en compte le confort du sportif. En effet, plus l'épaisseur d'un protège-dents augmente, moins celui-ci sera confortable.

Le dispositif devra donc éviter de dépasser les 4 mm d'épaisseur en occlusal et en vestibulaire, et 3 mm en palatin. À la demande d'un sportif sensible aux réflexes nauséux, il est possible de diminuer l'épaisseur palatine au niveau des molaires.

Selon Maeda et al⁴¹, une épaisseur de 4 mm est déjà souvent trop inconfortable pour le sportif. Une diminution des épaisseurs doit donc être envisagée (surtout en palatin).

Les limites d'un protège-dents devront être prise en compte avec le patient. En cas de réflexes nauséux ou de douleurs, un réglage du dispositif pourra être réalisé au fauteuil avec un protège-dents de type III.

⁴⁴ Maeda, Machi, et Tsugawa, « Influences of palatal side design and finishing on the wearability and retention of mouthguards ».

L'idéal des limites en prenant en compte l'absorption des forces a été décrit plus haut. Selon Poisson⁴² et McClland⁴³ :

- Recouvrir les dents maxillaires jusqu'à la 2^{ème} molaire
- Le volet vestibulaire doit s'arrêter à 2 mm du fond vestibulaire avec des bords arrondis
- La portion palatine doit s'étendre jusqu'à 10 mm du bord gingival avec des bords effilés
- Des contacts occlusaux équilibrés.

Dans un article de 2006, Maeda et al⁴⁴ tentent de démontrer l'influence de la limite palatine sur le confort. Dans cette expérience, 17 étudiants de la Osaka University School of Dentistry essayent des protège-dents, fabriqués à partir d'une feuille de Polyéthylène Vinyl Acétate de 3,8 mm, de plus en plus travaillés.

- La première modification est de tailler la limite vestibulaire à 4 mm du fond du vestibule, et la limite palatine au niveau des collets.
- La deuxième modification réduit la limite postérieure au niveau distale des premières molaires.
- Puis ils augmentent la dimension verticale de 3 mm.
- Un ajustement occlusal et des surextensions sont réalisés par un dentiste

Après chaque étape, les étudiants remplissent un questionnaire de satisfaction sous forme d'Echelle Visuelle Analogue incluant :

- Le confort
- La respiration
- La prononciation
- La déglutition
- L'occlusion labiale
- La fatigue de l'articulation temporo-mandibulaire
- La rétention

Avec cette étude, Maeda montre que la modification des limites du protège-dents entraîne une amélioration du confort pour le sportif. La rétention, quant à elle, n'est pas modifiée. Maeda montre

⁴² Poisson et al., Protege-dents (protection intra-buccale) pour activités sportives.

⁴³ McClelland, Kinirons, et Geary, « A preliminary study of patient comfort associated with customised mouthguards ».

⁴⁴ Maeda, Machi, et Tsugawa, « Influences of palatal side design and finishing on the wearability and retention of mouthguards ».

une augmentation significative du confort lors de la réduction de la limite palatine, des réglages occlusaux et périphériques par le dentiste.

Le rôle du chirurgien-dentiste et sa relation avec le sportif entre ici en compte. Il devra faire les derniers réglages pour améliorer son confort tout en maintenant l'efficacité du dispositif.

Les limites pour un confort optimal sont différentes de celles pour une absorption maximale des forces.

Elles sont de :

- 2 mm du fond du vestibule et bords arrondis
- Distal des premières molaires
- 2 mm des collets en palatin et bords effilés
- Contacts occlusaux équilibrés

Un facteur principal du confort est la stabilité en bouche.

Selon moi, une diminution de rétention et de stabilité provoque :

- Une augmentation du risque de perte du protège-dents
- Une diminution de l'efficacité du protège-dents qui ne sera pas toujours bien placé sur l'arcade
- Une obligation à l'occlusion pour garder le protège-dents en place, rendant ainsi difficile la respiration buccale
- Un risque de blocage des voies aériennes supérieures par le dispositif (Scott et al.⁴⁵)
- Une augmentation du réflexe nauséux
- Une difficulté à l'élocution

Une bonne stabilité sera obtenue avec une rétention optimale (permettant au protège-dents de rester en place même bouche ouverte) et par la présence d'indentations antagonistes (améliorant le confort bouche fermée).

Plusieurs facteurs influencent la rétention du protège-dents dont la dureté du matériau, le processus de fabrication (Padilla⁴⁶), le type de protège-dents, et même la couleur du matériau (Del Rossi⁴⁷).

⁴⁵ Scott, Burke, et Watts, « A review of dental injuries and the use of mouthguards in contact team sports ».

⁴⁶ Padilla, « A technique for fabricating modern athletic mouthguards ».

⁴⁷ Del Rossi et Leyte-Vidal, « Fabricating a better mouthguard. Part i : factors influencing mouthguard thinning ».

2.4 Influence sur la performance du sportif

Une des raisons pour lesquelles le sportif ne veut pas porter de protège-dents est le fait que celui-ci peut réduire ses performances sportives. Plusieurs facteurs peuvent engendrer cette baisse de performance :

- Des difficultés à respirer convenablement dues au manque de stabilité du protège dent.
- Un aspect psychologique moindre mais présent. Par exemple, le protège-dents me donne des nausées, il m'empêche de bien respirer, il m'empêche de communiquer convenablement avec mes équipiers ou mon coach. Durant la compétition je serai trop focalisé sur mon protège- dents et mon manque de concentration diminue mes capacités athlétiques.

Or, Duddy et al⁴⁸, dans un article consacré à l'influence des protège-dents sur les performances du sportif, démontrent qu'une protection de type III (custom made) n'influence aucunement les performances athlétiques des sportifs.

En effet, lors de son expérience, Duddy et al proposent 3 types d'exercices physiques. 18 athlètes devront les exécuter sans protège-dents, avec un protège-dents de type II et un de type III. Puis les sujets devront répondre à un bref questionnaire de satisfaction sur les différents protège-dents.

Les résultats ne montrent aucune différence significative entre les mesures sans protège-dents et avec un protège-dents de type III pour les trois exercices effectués.

Pour le « 3-Stroke maximum power test », les performances avec une protection sur mesure sont significativement améliorées en comparaison avec les résultats lors du port d'un Boil and Bite (type II).

De plus, le questionnaire de satisfaction rapporte que :

- 94 % des athlètes (17/18) sont satisfaits de la Protection Intra Buccale (PIB) de type III
- 61 % (11/18) disent qu'ils continueront de l'utiliser
- Tous les athlètes affirment une non-satisfaction lors du port de la protection de type II
 - 44,5 % (8/18) d'entre eux citent l'inconfort comme principale raison
 - 44,5 % (8/18) citent les difficultés à respirer
 - 11 % (2/19) parlent de leur manque de performance

⁴⁸ Duddy et al., « Influence of different types of mouthguards on strength and performance of collegiate athletes: a controlled-randomized trial : mouthguards and athletic strength and performance ».

En 1991, Francis et Brasher⁴⁹ mènent une expérience dont l'objectif est de découvrir les effets potentiels du port d'un protège-dents sur les performances respiratoires d'un sportif. Pour cela, ils vont tester 3 protège-dents différents sur 17 sujets en bonne santé et mesurer : le volume expiratoire maximal par seconde (FEV 1), le débit expiratoire maximal (PEF), la consommation d'oxygène (VO₂), la ventilation minute (VE) et le volume expiratoire par 20 secondes (Expired Volume).

Les résultats sont les suivants :

- Une diminution significative du volume expiratoire maximal par seconde (pour les protège-dents 1, 2, 3 respectivement, 8 %, 14 % et 12 %)
- Une diminution significative du débit expiratoire maximal (pour le protège dent 1, une réduction de 7 % et pour les protège-dents 2 et 3, approximativement 15 %)
- Aucune différence significative pour un exercice physique léger
- Une diminution significative, lors d'un exercice physique intense, de la consommation d'oxygène (pour les protège-dents 1, 2 et 3, respectivement, 10 %, 8 % et 10 %) et de la ventilation minute (pour les protège-dents 1, 2 et 3, respectivement, 14.5 %, 12.5 % et 19 %)
- Une augmentation significative du volume expiratoire par 20 secondes (pour les protège-dents 1, 2 et 3, respectivement, 59.5 %, 41 % et 43.5 %)
- Aucune différence significative pour le ratio VE/VO₂

À première vue, les protège-dents entraînent une difficulté respiratoire. Cependant, Francis et Brasher comparent la technique de respiration avec le port d'un protège-dents à celle utilisée par les patients atteints d'une maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC). Cette technique est une respiration par « lèvres pincées » (RLP). Et il a été démontré que cette technique améliorait la ventilation des patients atteints de MPOC.^{50 51}

Durant une RLP, moins d'air doit être respiré pour absorber une quantité d'oxygène donnée.

Selon Francis et Brasher, les données recueillies montrent une amélioration de la ventilation alvéolaire. Cependant, cet article contient quelques critères discutables.

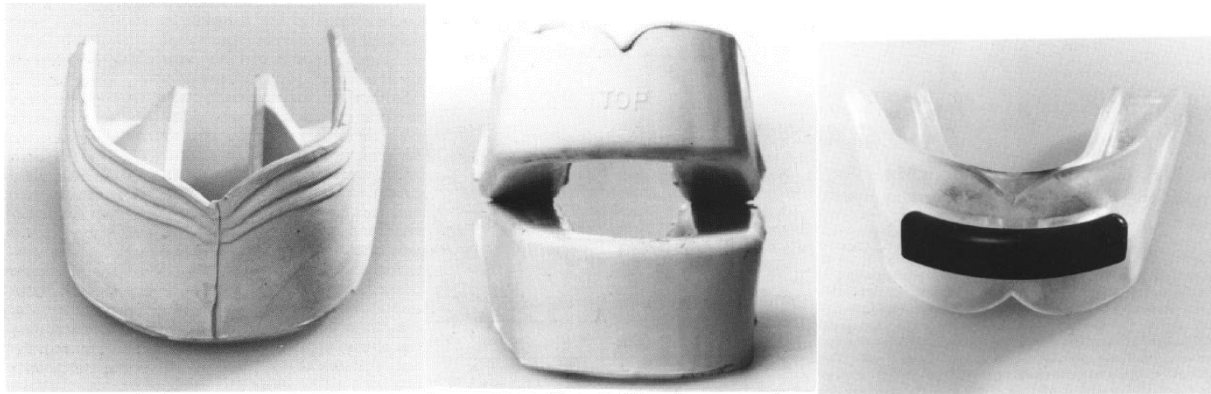
Premièrement, le type des protège-dents utilisés est aujourd'hui obsolète (cf. figure 21).

⁴⁹ Francis et Brasher, « Physiological effects of wearing mouthguards ».

⁵⁰ Thoman, Stoker, et Ross, « The efficacy of pursed-lips breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease ».

⁵¹ Ingram et Schilder, « Effect of pursed lips expiration on the pulmonary pressure-flow relationship in obstructive lung disease ».

Figure 21 : Protège-dents 1 (maxillaire, inadapté, caoutchouc), 2 (bimaxillaire, inadapté, caoutchouc), 3 (bimaxillaire, vinyl plus rigide, léger trou pour la respiration)



Source : Francis et Brasher, « Physiological effects of wearing mouthguards », 1991.

Ils se basent également sur la supposition que la respiration buccale lors d'un exercice intense avec le port d'un protège-dents est la même que la RLP. Le fait qu'un exercice léger n'entraîne pas de modification est basé sur le fait que celui-ci ne nécessite pas de respiration buccale. Or, on ne peut pas en être certain.

Cet article nous apporte des informations intéressantes quant aux modifications respiratoires apportées par le port du protège-dents. Il nous montre aussi que ces modifications sont concrètement présentes et l'analyse des résultats nous assure un changement des performances physiologiques lors d'un exercice physique intense.

Une hypothèse personnelle serait que le port d'un protège-dents entraîne au court terme une diminution de la consommation d'oxygène pouvant être perçue par le sujet comme étant désagréable. Mais au long terme, les capacités physiques du sportif seront améliorées, car il se sera habitué à cette diminution d'apport en oxygène.

2.5 Biocompatibilité

Pour pouvoir être utilisé par les sportifs, le dispositif se doit d'être biocompatible. C'est-à-dire qu'il ne doit pas être irritant, hautement allergisant ou toxique. L'Agence Nationale de la Sécurité du Médicament et des produits de santé (ANSM) doit également approuver le matériau utilisé.

Meng⁵², en 2014, mène une expérience visant à observer le comportement de certaines bactéries lorsqu'elles entrent en contact avec des composés volatiles.

Il montre qu'en phase plastique, l'EVA (aujourd'hui étant le matériau le plus utilisé pour les protège-dents) a des effets toxiques sur le comportement social et l'activité des *Lumbriculus Variegatus*. Ceci démontre une toxicité des composés volatiles de l'EVA chez les humains, en théorie. Cependant, pour trouver l'EVA en phase plastique, il faut une élévation de la température (66°C). Nous ne craignons donc pas de le retrouver en bouche (37°C). De plus amples études doivent être entreprises concernant la toxicité du PEVA chez des organismes plus complexes.

La question de la toxicité du protège-dents thermoformable lors de la manipulation par le sportif peut tout de même se poser. En effet pour être thermoformé, celui-ci doit être plongé dans de l'eau bouillante (100°C) puis placé directement en bouche.

L'usage de ce matériau devrait être réservé au protège-dents de type III ou IIB.

2.6 Durabilité

La durabilité d'un protège-dents est la durée pendant laquelle ce protège-dents pourra être utilisé avec efficacité. Selon moi, cette durabilité dépend :

- Du rythme d'utilisation
- Du sportif (tic de morsure ou retrait systématique, manque d'entretien)
- Du matériau (absorption de l'eau, résistance au déchirement, résistance à la traction)
- Du type de protège-dents (I, II, IIB ou III)
- De l'architecture (un protège-dents multicouche pourra se délaminer avec le temps)

2.6.1 Absorption de l'eau

Un protège-dents étant utilisé dans un milieu aqueux, il est important de connaître sa potentialité à absorber son milieu.

Un matériau ayant une grande capacité à absorber l'eau :

- Absorbera d'avantage la salive et les micro-organismes, entraînant une difficulté dans le nettoyage du dispositif.
- Subira une modification de sa structure dimensionnelle plus importante, diminuant ainsi la rétention du protège-dents avec le temps.⁵³

⁵² Meng, « Volatile organic compounds of polyethylene vinyl acetate plastic are toxic to living organisms ».

⁵³ Bishop, « Materials for mouth protectors ».

Selon Gould et al⁵⁴, et Park et al⁵⁵ l'absorption de l'eau augmente avec la température. De ce fait, les expériences sur le sujet doivent être réalisées à 37°C de préférence.

Craig RG⁵⁶, définit que l'absorption de l'eau doit être inférieure à 0,5 % à 37°C pour un matériau de protège-dents.

2.6.2 Résistance au déchirement

La résistance au déchirement est un marqueur de la durabilité d'un matériau. Il est souvent calculé en mesurant la charge de déchirement du matériau divisée par son épaisseur.

Un matériau avec une résistance au déchirement élevée correspond mieux aux caractéristiques demandées pour un protège-dents.

Going et al⁵⁷, en 1974, mesurent différentes caractéristiques des protège-dents, dont la résistance au déchirement. Ils en arrivent à la conclusion que des valeurs entre 150 et 420 lb/inch (1695 et 4745 N/cm) sont des valeurs satisfaisantes pour la résistance au déchirement.

Craig RG⁵⁸, en 2002, disent qu'il faut une résistance au déchirement supérieure à 200 N/cm. Ces valeurs seront celles gardées dans notre classification car plus récentes.

Bishop et al⁵⁹, montrent que les PEVA comprenant 18 % à 24 % de polyvinylacétate (PVA) sont les plus satisfaisants au niveau de la résistance au déchirement.

2.6.3 Résistance à la traction

La résistance à la traction est définie comme étant la capacité d'un matériau à résister à des forces égales et opposées qui tendent à s'allonger sans rompre.

⁵⁴ Gould et al., « Characterization of mouthguard materials : physical and mechanical properties of commercialized products ».

⁵⁵ Park et al., « Improving mouth guards ».

⁵⁶ Craig et Godwin, « Properties of athletic mouth protectors and materials ».

⁵⁷ Going, Loehman, et Chan, « Mouthguard materials : their physical and mechanical properties ».

⁵⁸ Craig et Godwin, « Properties of athletic mouth protectors and materials ».

⁵⁹ Bishop, « Materials for mouth protectors ».

Figure 22 : Schéma de description d'une force F1 de traction



Source : ME Mechanical, « Tensile force », 2020.

Selon Going et al⁶⁰, un matériau utilisé pour une protection dento-maxillaire doit avoir une résistance à la traction supérieure à 460 PSI (Pound per Square Inch), soit 320 N/cm²

2.7 Conséquences sur l'ATM

Reculeau⁶¹, Kibal⁶² et Collomb-Clerc⁶³, dans leurs thèses respectives, arrivent à la même conclusion : une protection intra-buccale de type I augmente le risque de traumatisme de l'ATM en l'absence d'indentation et donc de calage. Le plan d'occlusion lisse empêche le blocage de la mandibule et sollicite donc l'ATM et les muscles environnants.

Tanaka et al⁶⁴ montrent en 2017 les bénéfices d'une protection dento-maxillaire de type III au niveau de l'ATM. En effet, le port d'un protège-dents et/ou l'occlusion maximale forcée réduit l'amplitude et la durée de l'accélération de la tête et de l'ATM lors d'un choc à la mandibule. Ceci prouve donc l'efficacité d'un protège-dents de type III pour prévenir des commotions et des fractures de l'ATM. Nous pouvons en déduire la possible prévention des douleurs articulaires mais ceci reste à prouver. De plus, il explique que porter un protège-dents de type III seul est aussi efficace que le port du protège-dents associé à une occlusion maximale forcée (il est ajouté que l'expérience a été réalisée pour des chocs légers à la mandibule). Le sportif peut donc respirer bouche ouverte.

Maeda⁶⁵ relève une diminution significative de la fatigue des ATM lors du réglage des contacts occlusaux.

⁶⁰ Going, Loehman, et Chan, « Mouthguard materials : their physical and mechanical properties ».

⁶¹ Reculeau, « Les protections dento maxillaires dans le sport ».

⁶² Kibal, « Moyens de prévention et traitement de la traumatologie dentaire du sportif de haut niveau ».

⁶³ Collomb Clerc, « Port du protege dents chez les rugbymen de plus de 14 ans étude préliminaire ».

⁶⁴ Tanaka, Tsugawa, et Maeda, « Effect of mouthguards on impact to the craniomandibular complex ».

⁶⁵ Maeda, Machi, et Tsugawa, « Influences of palatal side design and finishing on the wearability and retention of mouthguards ».

Une désocclusion (en moyenne de 4 mm) crée un déplacement de l'ATM en bas et en avant, éloignant ainsi le condyle de la fosse temporale. Cela permet de dissiper l'énergie du choc grâce à l'interface entre la PDM et le maxillaire osseux^{66 67}. Ainsi, l'amplitude de l'onde de choc intracrânienne, la déformation osseuse, la force d'impact⁶⁸ sont diminuées et le déplacement condylien⁶⁹ augmenté. C'est la protection de choix contre les uppercuts !

2.8 Dépend du sport pratiqué

Il existe de nombreux sports pour lesquels le protège-dents est nécessaire : la boxe, le hockey, le basketball, le cricket, le baseball, le taekwondo, le rugby, le roller derby, le football américain,

Or, tous ces sports diffèrent par les équipements possiblement traumatiques utilisés (batte en bois, palais en acier, casque de football américain, ...) et la nécessité de communiquer.

Le rôle du dentiste sera de discuter avec son patient pour savoir quel serait le protège-dents le plus adapté à sa pratique.

En toute logique, un patient pratiquant un sport collectif (basketball, soccer, football américain, cricket, rugby, ...) ne pourra en aucun cas se protéger grâce à un protège-dents bi-maxillaire. L'encombrement provoqué lui empêchera d'ouvrir la bouche et donc de communiquer (point essentiel dans les sports collectifs).

Pour ces derniers, le dentiste devra donc conseiller un protège-dents maxillaire avec des indentations mandibulaires pour un calage idéal.

Au contraire, un boxeur, n'a pas besoin de communiquer avec un coéquipier. Pour lui, le protège-dents bi-maxillaire est idéal. Sa mandibule sera parfaitement calée et les risques liés à un uppercut seront atténués.

Le praticien doit donc choisir le type de protège-dents en fonction du sport pratiqué.

Cette caractéristique n'entrera pas dans notre tableau de classification car elle est choisie au cas par cas.

⁶⁶ Jagger et Milward, « The bimaxillary mouthguard ».

⁶⁷ Chalmers, « Mouthguards : protection for the mouth in rugby union ».

⁶⁸ Hickey et al., « The relation of mouth protectors to cranial pressure and deformation ».

⁶⁹ Walilko et al., « Relationship between temporomandibular joint dynamics and mouthguards : feasibility of a test method ».

Figure 23 : Protège-dents bi-maxillaire avec augmentation de la DVO et ouverture antérieure



Source : Budd et Egea, « Sport and oral health : a concise guide », 2017.

Un protège-dents bi-maxillaire est un appareillage en une seule pièce ou en deux pièces réunies par une charnière souple. Cette protection recouvre l'ensemble des dents maxillaires et mandibulaires, à l'exception des incisives (et possiblement canines) mandibulaires. Une élévation de la DVO évaluée entre 8 mm pour un adolescent et 10 mm pour un adulte sera nécessaire afin de créer une béance antérieure permettant la respiration buccale.⁷⁰

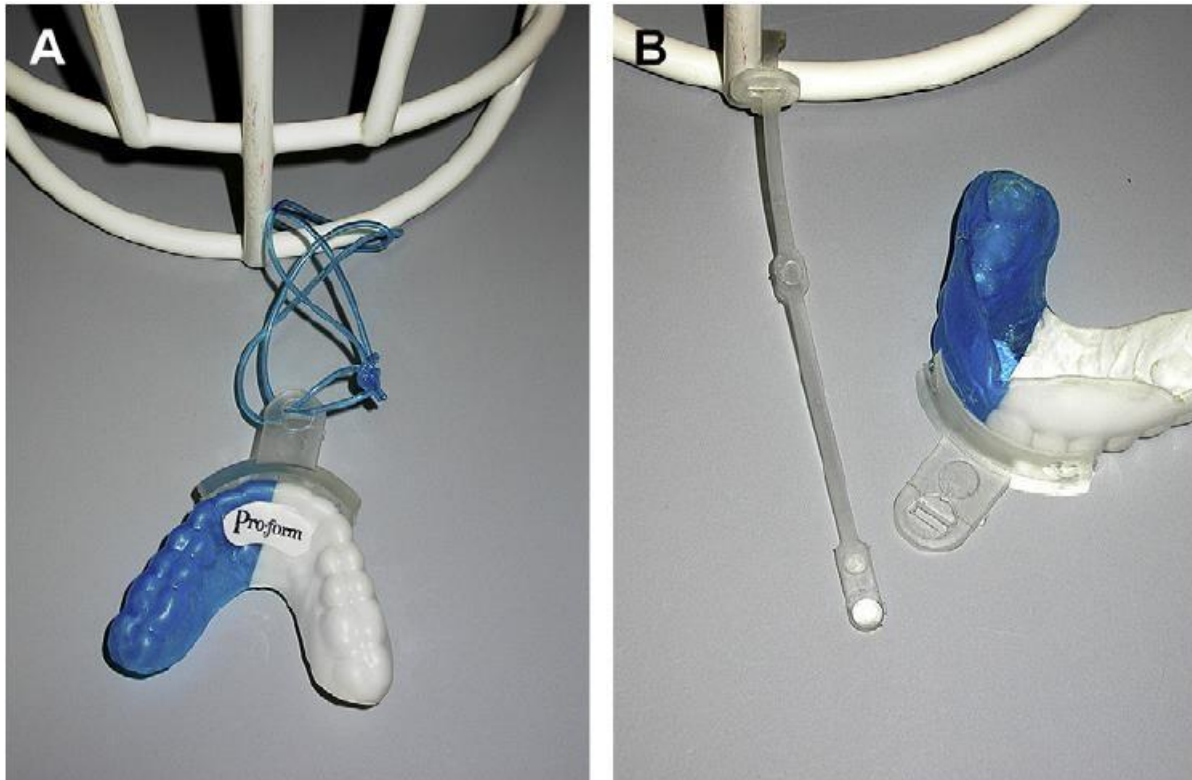
Ces protections peuvent être indiquées en cas de port d'appareillage orthodontique non amovible, en cas d'une classe III d'Angle pour laquelle la mandibule devient plus exposée.

Mais ce type de protection n'est que très peu répandue car elle est très inconfortable, elle peut provoquer des nausées et empêcher la déglutition.

D'autres ajustements peuvent être mis en place en fonction des sports. Ici un exemple avec un élément de connexion antérieur permettant au joueur de football américain d'attacher son protège-dents sur son casque (cf. figure 27). Ceci l'empêchera de tomber et d'être égaré en cas de choc violent.

⁷⁰ Poisson et al., Protege-dents (protection intra-buccale) pour activités sportives.

Figure 24 : Connexion antérieure mise en place sur un protège-dents de type III Proform®



Source : Bourguignon et Sigurdsson, « Preventive strategies for traumatic dental injuries », 2009.

Takeda et al.⁷¹ dans un article de 2004, montrent qu'il existe une différence d'efficacité du protège-dents en fonction de la matière de l'objet provoquant l'impact.

Lors de son expérience, les protège-dents en EVA ont une meilleure capacité à absorber des forces reçues depuis des éléments durs (balle en acier, batte en bois...) que pour des éléments mous (softball). Il conclut que malgré le fait que le protège-dents montre une amélioration dans tous les cas, il est nécessaire de perfectionner nos recherches sur le sujet en fonction des différents types d'objets possibles.

Il faudra alors adapter les matériaux de conception pour les protège-dents en fonction du sport pratiqué.

⁷¹Takeda et al., « The influence of impact object characteristics on impact force and force absorption by mouthguard material ».

2.9 Prise en charge par un chirurgien-dentiste

La prise en charge par un chirurgien-dentiste sera un point clef de notre classification. En effet, seul une visite régulière chez son praticien pourra affirmer la longue tenue du protège-dents, une occlusion idéale et sa stabilité.

Le praticien pourra alors guider le sportif si un nouveau protège-dents est nécessaire. Il pourra modifier les détails demandés par le sportif ou même ceux repérés par le praticien lui-même au niveau de l'occlusion, de l'épaisseur ou des limites.

Il pourra proposer aux patients des alternatives si celui-ci porte un appareil dentaire, s'il est en pro-alvéolie maxillaire importante, s'il présente des maladies parodontales, des dents incluses en évolution, ou encore des lésion endo osseuses. Ces critères étant des contre-indications relatives au port d'un protège-dents. (Reculeau⁷²).

Dans le cas de la prise en charge d'un enfant, le dentiste saura aiguiller et conseiller les parents vers le protège-dents qui conviendra au mieux.

2.10 Le protège-dents de demain, le protège-dents idéal

Dans sa thèse de 2018, Houdard⁷³ réalise un prototype du protège-dents de demain. Celui-ci doit être réalisé en CFAO afin de répondre à tous les critères d'un bon protège-dents :

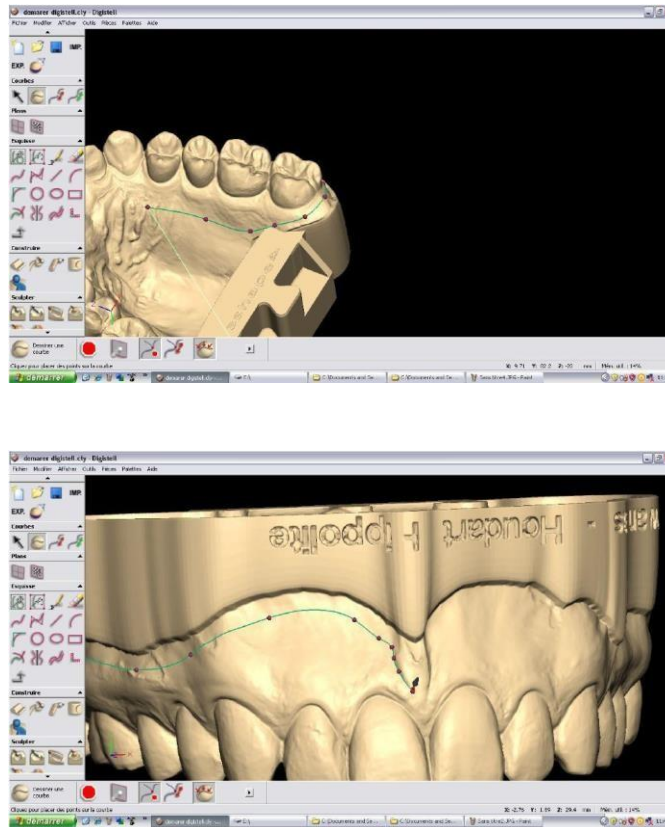
- D'abord l'empreinte optique. Différemment d'une empreinte conventionnelle, l'empreinte optique n'enregistre pas de manière dynamique. Cependant, celle-ci n'est pas nécessaire pour notre dispositif.
- La conception assistée par ordinateur. Celle-ci se fait en plusieurs étapes :

⁷² Reculeau, « Les protections dento maxillaires dans le sport ».

⁷³ Houdard, « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby ».

- La détermination des limites de notre protège-dents

Figure 25 : Détermination des limites du protège-dents



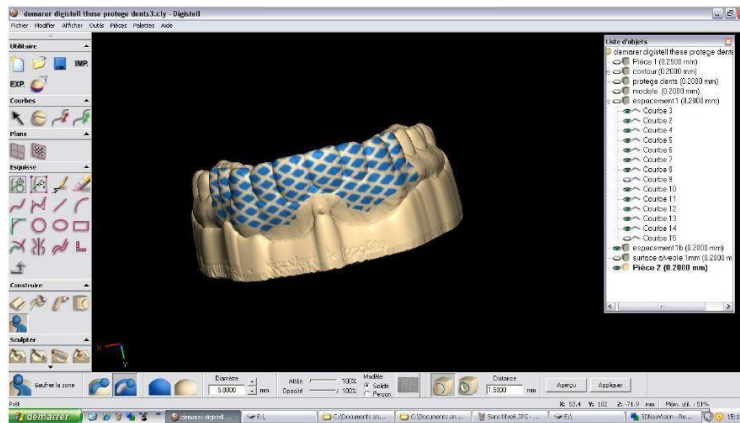
Source : Houdard, « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby », 2018.

- La création du premier millimètre d'épaisseur en contact avec les dents correspondant à l'intrados. Comme le montrent Honda et al⁷⁴, l'ajout d'un espace entre les faces vestibulaires et l'intrados améliore l'absorption des forces. Cet espace peut être ajouté lors de la conception de cette première couche.

⁷⁴ Honda et al., « Influence of pre-laminated material on shock absorption ability in specially designed mouthguard with hard insert and space ».

- Par la suite, vient l'étape de la réalisation des alvéoles d'air. Ici, Houdard décide de réaliser des alvéoles en losanges d'une épaisseur d'1,5 mm. Cependant la conceptualisation peut être modifiée. Par exemple, nous pouvons suivre le modèle de Westerman et al⁷⁵ qui utilise des cellules plus épaisses.

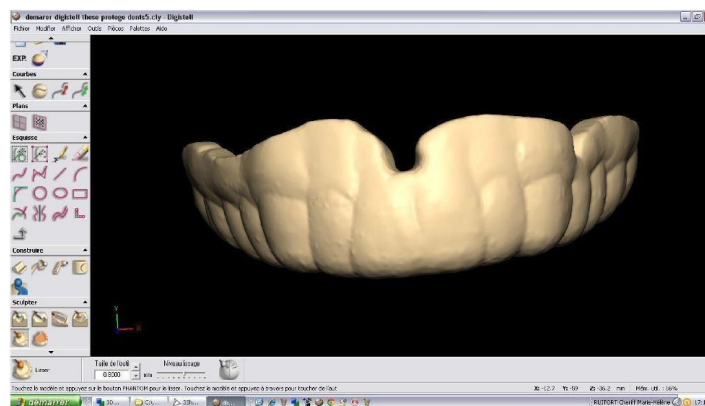
Figure 26 : Réalisation des cellules d'air par-dessus la couche de l'intrados



Source : Houdard, « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby », 2018.

- Enfin, la réalisation du volume total (d'épaisseur 4mm) dans lequel seront soustraites les cellules d'air réalisées au préalable.

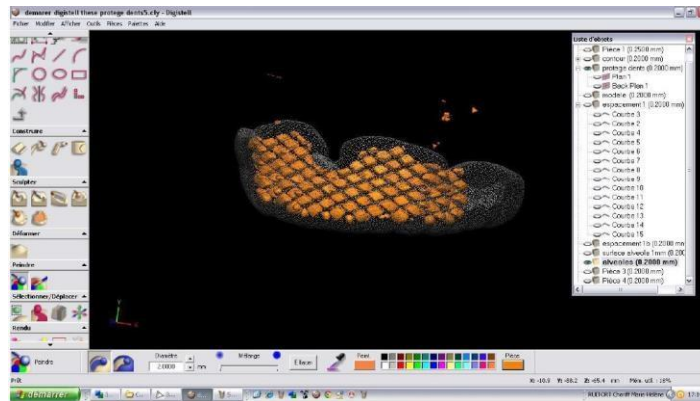
Figure 27 : Vue vestibulaire du futur protège-dents



Source : Houdard, « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby », 2018.

⁷⁵ Westerman, Stringfellow, et Eccleston, « Beneficial effects of air inclusions on the performance of ethylene vinyl acetate (EVA) mouthguard material ».

Figure 28 : Visualisation des alvéoles au sein du protège-dents



Source : Houdard, « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby », 2018.

- Une fois l'étape de conception achevée vient l'étape de fabrication. Le choix du matériau est primordial. Or aujourd'hui n'a pas été trouvé de matériau utilisable en imprimante 3D et répondant à tous les critères nécessaires du dispositif.

Tout d'abord, l'auteur décide de faire son prototype en résine blanche afin d'observer les alvéoles en transparence, puis en résine Flexible® de Formlabs® répondant à tous les critères sauf celui de la biocompatibilité.

Figure 29 : Protège-dents imprimé en résine blanche pour visualiser les alvéoles



Source : Houdard, « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby », 2018.

Figure 30 : Protège-dents imprimé en résine Flexible® de Formlabs®



Source : Houdard, « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby », 2018.

3 : Élaboration d'une échelle de critère de classement

Le but de cette thèse est dans un premier temps d'aider les praticiens et les instances à orienter les sportifs quant au choix de leur protection dento-maxillaire.

Une discussion entre le praticien et le sportif est absolument nécessaire. Plusieurs critères entrent en jeu lors du choix du protège-dents : le budget du patient, le sport qu'il pratique, s'il a déjà porté un protège-dents, et dans ce cas s'il le supportait bien.

Après ces quelques questions, le praticien pourra se référer à cette classification pour orienter son patient.

Dans l'élaboration de cette grille de classification, le critère de dépendance face au sport pratiqué a été omis. En effet, ceci sera un point à part du tableau car il n'influence pas la qualité du protège-dents mais il reste un point important à prendre en compte avant la conception.

3.1 Sondage

Afin de pouvoir hiérarchiser les différents critères du cahier des charges dans cette classification, le point de vue des sportifs a été pris en compte. Pour cela, j'ai distribué auprès de mon réseau social de sportifs un sondage expliquant les différents critères du protège-dents, en leur demandant de les classer par ordre d'importance selon eux.

Au préalable, ce questionnaire a été testé auprès de 15 sportifs en leur demandant si toutes les informations étaient compréhensibles et claires. Sur ces 15 sportifs, 14 ont répondu positivement.

Cinq critères de protège-dents sont proposés et décrits au lecteur : l'absorption des forces, le confort, l'influence sur les performances sportives, la biocompatibilité et la durabilité.

En plus de ces 5 critères, les candidats ont eu la possibilité d'ajouter deux critères supplémentaires qu'ils jugeaient importants : « autre 1 » et « autre 2 ».

Ils devaient alors placer un chiffre entre 1 et 5 (possiblement 1 et 7) devant les différents critères afin de les hiérarchiser selon leur importance (1 étant « le plus important » et 7 « le moins important »).

D'autres informations telles que leur âge, sexe, et les sports pratiqués ont été demandées.

Le sondage est présenté en Annexe 3.

Après envoi, 35 réponses ont été répertoriées.

Sur ces 35 personnes :

- 7 sont des femmes (soit 20 %)
- Les sports les plus courants sont le football américain et le basketball
- La moyenne d'âge est de 27 ans.

Les résultats ont été interprétés par le calcul de la moyenne pondérée de chaque critère. Par exemple : Pour l'absorption des forces, 17 votes pour la 1^{ère} place, 12 pour la 2^{ème}, 3 pour la 3^{ème}, 2 pour la 4^{ème}, 1 pour la 5^{ème} et aucun pour la 6^{ème} et 7^{ème} place. Le calcul est donc suivant :

$$\frac{(17 \times 1) + (12 \times 2) + (3 \times 3) + (2 \times 4) + (1 \times 5)}{17 + 12 + 3 + 2 + 1} = 1.8$$

Les moyennes suivantes sont obtenues :

- Absorption = 1.8
- Confort = 2.37
- Influence sur les performances = 3.54
- Biocompatibilité = 3.29
- Durabilité = 4.46
- Esthétique = 5.08
- Rapport qualité/prix = 5.75

Ayant proposé dans mon sondage 7 possibilités, 7 critères ont été retenus.

Après interprétation des résultats, nous voyons que les sportifs hiérarchisent les critères d'un protège-dents de telle manière :

1. Absorption des forces
2. Confort
3. Biocompatibilité
4. Influence sur les performances
5. Durabilité
6. Esthétique
7. Rapport qualité/prix

D'autres critères et remarques ont été relevés par une minorité des sportifs : la facilité de l'entretien (2 réponses), le côté pratique (1), qu'il soit conforme au règlement du sport pratiqué (2), que les conditions de fabrication respectent l'environnement (2), et qu'il soit utilisable dans plusieurs sports (1).

Ces critères n'ont pas été retenus car :

- Ils ne répondent pas à la qualité du protège-dents
- Trop peu de gens les ont mentionnés
- La moyenne pondérée fausse l'analyse

Cependant il reste des critères à prendre en compte pour des questions environnementale et/ou marketing.

Après l'avancée de la thèse, la lecture de différents articles, et la discussion avec des collègues, il a été remarqué que des points n'avaient pas été mentionnés dans le sondage :

- La prise en charge par le chirurgien-dentiste
- Les conséquences sur l'ATM

Ces deux critères entreront tout de même dans la classification.

Ces résultats apportent une hiérarchisation aux critères du cahier des charges, précisant ainsi la classification.

3.2 Pondération des critères

Patrick⁷⁶, en 2005, crée une échelle de protection. C'est-à-dire qu'il va évaluer le degré de protection en fonction du type de protège-dents.

⁷⁶ Patrick, « Scale of protection and the various types of sports mouthguard ».

Figure 31 : Échelle de protection

Grade	Feature
10	Ultimate aim: grades 8 and 9 combined
9	Passed effective instrumented test to evaluate mouthguards
8	Custom made mouthguard using improved design and materials
7	Custom made mouthguard using improved materials
6	Brand new custom made mouthguard
5	Custom made mouthguard of insufficient thickness
4	Old custom made mouthguard, 2–5 years old
3	Old custom made mouthguard, >5 years old
2	Boil and bite mouthguard
1	Stock mouthguard
0	No mouthguard

Source : Patrick, « Scale of protection and the various types of sports mouthguard », 2005.

Le tableau de classement se situe sur un autre point de vue. En effet cette thèse cherche à classer les protège-dents eux-mêmes, et non pas leur degré de protection (même si ce critère fait partie des caractéristiques prises en compte).

Pour faire cela, 7 caractéristiques du cahier des charges ont été choisies. Un coefficient leur est conféré selon leur importance, afin d'obtenir un score associé à une catégorie.

- **Biocompatibilité** avec un coefficient considéré comme OBLIGATOIRE. Un protège-dents non biocompatible ne pourra pas faire partie de ce tableau de classification.
- **Absorption des forces** avec un coefficient de 2. Pour valider ce point, il faudra que le protège-dents réponde à au moins 3 critères sur 4 (épaisseur, limites, architecture, dureté). Si l'absorption est validée, on ajoute 2 à la note totale.
- **Confort** avec un coefficient de 2. Pour valider ce point, il faudra que le protège-dents réponde à au moins 2 critères sur 3 (épaisseur, limites, stabilité).
- **Indentations antagonistes équilibrées** ont un coefficient de 2.
- **Influence négative sur les performances sportives** prend un coefficient 1. Pour valider ce point il faut être assuré que le protège-dents ne gêne pas les performances du sportif (souvent des type III ou IIB)
- **Durabilité** avec un coefficient 1. Pour valider ce point, il faudra que le protège-dents réponde à au moins 2 critères sur 3 (résistance au déchirement, à la traction, et l'absorption de l'eau).
- **La prise en charge par un chirurgien-dentiste** avec un coefficient de 1.

Le nombre total de coefficient est de 9 :

- Si la note finale est de 9, le protège-dents correspond à une **classe A**
- Si la note finale est de 7 ou 8 inclus on est en **classe B** ($7 \geq \text{classe B} \geq 8$)
- Si la note finale est entre 4 et 6 inclus on est en **classe C** ($4 \geq \text{classe C} \geq 6$)
- Si la note finale est de 2 ou 3 inclus on est en **classe D** ($2 \geq \text{classe D} \geq 3$)
- Si la note finale est de 0 ou 1 on est en **classe E** ($0 \geq \text{classe E} \geq 1$)

3.2.1 Biocompatibilité

La biocompatibilité sera un point essentiel à cette classification. Un matériau non biocompatible **ne pourra pas entrer dans ce tableau** car il ne peut pas être mis en bouche. Ceci sera un critère témoin de la possibilité de son utilisation.

Comme vu dans la partie 2, l'article de Meng et al⁷⁷ démontre une toxicité du PEVA à haute température (66°C) chez les *Lumbriculus Variegatus*, et donc théoriquement chez les humains. Il serait donc bon de déconseiller les protège-dents thermoformables (type II) en PEVA le temps que de plus amples études soient menées.

Les protège-dents de types III ne présentent pas ce problème car leur fabrication se fait sur modèle et non pas en bouche.

3.2.2 Absorption des forces

L'absorption des forces est un des points essentiels du dispositif. Il est le marqueur de la protection dento-alvéolaire, doit être un élément discriminant des différents types de protège-dents et permettre de les différencier. Un coefficient 2 est attribué à ce critère.

Les protège-dents de type I ne sont pas efficaces. En effet, ils ont souvent une épaisseur bien trop insuffisante avec des limites inadaptées et une stabilité inexistante.

Les protège-dents de type II seront les plus difficiles à différencier car la diminution de l'épaisseur est opératoire dépendant, les matériaux et duretés variant d'un dispositif à l'autre.

Les protège-dents de IIB et III, quant à eux, procurent une protection efficace pour prévenir des traumatismes en fonction de la qualité de leur fabrication

⁷⁷ Meng, « Volatile organic compounds of polyethylene vinyl acetate plastic are toxic to living organisms ».

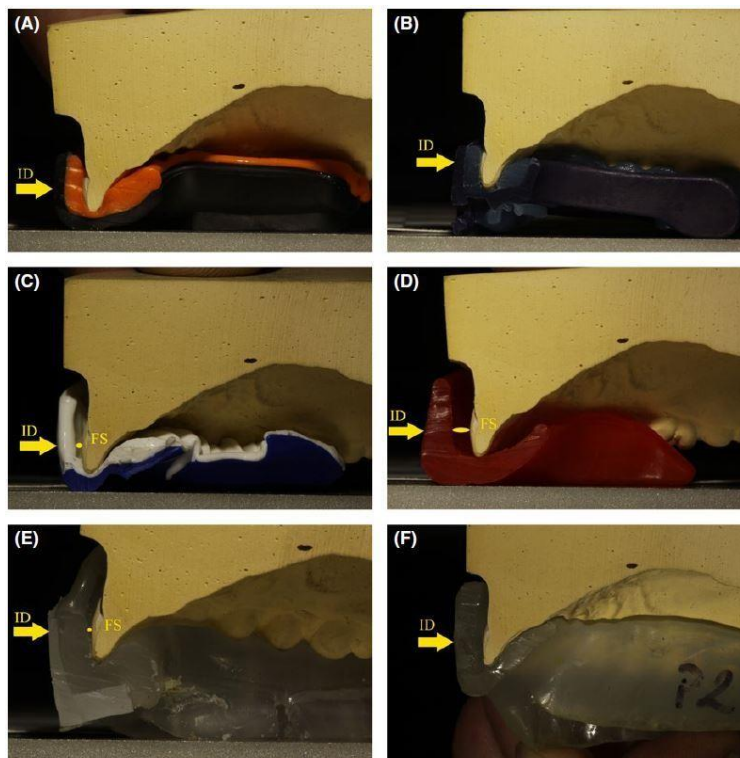
3.2.3 Confort

L'importance du confort pour un protège-dents est claire. Celui-ci arrive en deuxième place dans notre sondage et est un marqueur principal de la compliance du sportif. Mis à part pour les sports où la protection est obligatoire (seulement football américain et boxe anglaise en France), ce critère doit être primordial dans notre classement pour encourager son port dans les sports où celui-ci est facultatif. Je lui confère alors un coefficient 2.

Par leur manque de rétention et de stabilité, les protège-dents de type I et II réduisent le confort du patient. En effet, avec un protège-dents de type I, le patient est obligé de rester en occlusion, le gênant ainsi dans sa respiration, déglutition, phonation. De façon moindre, le protège-dents de type II manque souvent de rétention en fonction de sa fabrication.

Le protège-dents de type III offre un confort optimum par sa rétention. Il ne tombe pas pendant la phonation, la déglutition, ou la respiration bouche ouverte. Pour le retirer, le sportif doit utiliser ses doigts et créer un appel d'air.

Figure 32 : Différences d'adaptation entre des protège-dents (A-E : type II ; F : type III)



Source : Guérard et al⁷⁸, « Characterization of mouthguards : impact performance », 2017.

⁷⁸Guérard et al., « Characterization of mouthguards : impact performance ».

Sur cette image, Guérard et al mettent en évidence l'espace libre (FS = Free Space) entre les dents et le protège-dents qui est rarement contrôlé pour un type II.

Son test de rétention est « validé » lorsque celui-ci tient en place 30 secondes sous son propre poids seulement et « non validé » s'il ne tient pas.

Ceci n'est donc pas une situation in vivo où le joueur est dynamique. Cependant les images montrent des différences nettes.

3.2.4 Conséquences sur l'ATM

Après discussions et recherches sur le sujet, j'ai décidé d'octroyer un coefficient de 2 à « la présence d'indentations antagonistes équilibrées ». Ce critère est un signe du repos de l'articulation temporo-mandibulaire, il diminue les risques de fractures du condyle⁷⁹. Un plan occlusal lisse est dangereux pour les ATM en cas de choc violent. Ce critère doit donc être discriminant.

Du fait de leur plan occlusal lisse, les protège-dents de type I présentent des risques de fracture et de fatigue au niveau de l'Articulation Temporo Mandibulaire.

De même, le protège-dents thermoformé par le sportif ne présente que très rarement des indentations antagonistes.

Au contraire, un protège-dents sur mesure ou un type IIB bien réalisé comprend des indentations antagonistes plus ou moins marquées en fonction de l'épaisseur du matériau, permettant ainsi un bon calage de la mandibule et une réduction du risque de fracture du condyle.

3.2.5 Influence sur les performances du sportif

L'influence sur les performances du sportif sera un critère secondaire de notre tableau de classification. Je lui octroie un coefficient 1. Ce critère dépend du sportif. Il différenciera tout de même les différents types de protège-dents.

Une légère baisse des performances athlétiques due à l'inconfort du patient est notable.

Les protège-dents de type I et II sont donc délétères alors qu'un type III n'influence en rien les performances du sportif^{80,81}.

⁷⁹ Maeda, Machi, et Tsugawa, « Influences of palatal side design and finishing on the wearability and retention of mouthguards ».

⁸⁰ Duddy et al., « Influence of different types of mouthguards on strength and performance of collegiate athletes: a controlled-randomized trial : mouthguards and athletic strength and performance ».

⁸¹ Duarte-Pereira et al., « Wearability and physiological effects of custom-fitted vs self-adapted mouthguards ».

3.2.6 Durabilité

Je donne un coefficient 1 à la durabilité du protège-dents qui est un critère modifiable. En effet, au bout d'un certain temps, rien n'empêche le sportif de changer de protège-dents. Cependant, il sera plus difficile de racheter les protège-dents de type III dont le prix est plus élevé.

Ce critère dépend exclusivement du matériau lui-même. L'absorption de l'eau, la résistance au déchirement et la résistance à la traction doivent être renseignées par les fournisseurs pour les protège-dents de type III et sur une notice pour les protège-dents vendus en magasin.

Sans cela, le manque d'information empêchera le remplissage correct du tableau de classement.

3.2.7 Prise en charge par un chirurgien-dentiste

Une prise en charge par le chirurgien-dentiste est indispensable et fera la différence entre un protège-dents de type II de bonne qualité (Type IIB dans la partie 1 de cette thèse) et un type III.

En effet, le réglage de l'occlusion, la finition des limites et la communication avec le sportif pour entendre ses doléances font la différence.

Les type I et II n'étant pas modifiables par le praticien, ils n'auront pas le point qui lui est adressé.

3.2.8 Esthétique

L'esthétique étant un critère important pour les jeunes sportifs, certaines marques de matériaux dentaires ont su s'adapter.

Figure 33 : Choix de couleur et de personnalisation de protège-dents de type III Playsafe® de Erkodent®



Source : Erkodent®, Catalogue, 2012.

Même si ce critère reste important pour les jeunes sportifs, il ne rentre pas dans le tableau de classification car tous les protège-dents actuels peuvent être personnalisés. Ce n'est donc pas un facteur discriminant.

3.3 Tableau de classement récapitulatif

Caractéristiques du protège-dents		Validation
Biocompatible OBLIGATOIRE		
Absorption <i>coefficient 2</i> <i>Minimum 3 sur 4 pour valider</i>	4 mm ≤ Epaisseur vestibulaire ≤ 5 mm	
	Shore 70 A ≤ Dureté ≤ Shore 85 A	
	Limites : <ul style="list-style-type: none"> • 2 mm du fond du vestibule et bords arrondis • Distale des deuxièmes molaires • 10 mm des collets en palatin et bords effilés 	/2
	Multicouche (laminé) et/ou architecture non conventionnelle (<i>cellules d'air, nid d'abeille</i>)	
Confort <i>coefficient 2</i> <i>Minimum 2 sur 3 pour valider</i>	1 mm ≤ Epaisseur palatine ≤ 3 mm	
	Limites : <ul style="list-style-type: none"> • 2 mm du fond du vestibule et bords arrondis • Distal des premières molaires • 2 mm des collets en palatin et bords effilés 	/2
	Stabilité : pas de désinsertion spontanée	
Indentations antagonistes <i>coefficient 2</i>	Présentes	/1
	Équilibrées	/1
Pas d'influence négative sur les performances <i>coefficient 1</i>		/1
Durabilité <i>coefficient 1</i> <i>Minimum 2 sur 3 pour valider</i>	Résistance au déchirement ≥ 200 N/cm	
	Absorption de l'eau ≤ 0.5 %	/1
	Résistance à la traction ≥ 320 N/cm ²	
Prise en charge et suivi du Chirurgien-dentiste <i>coefficient 1</i>		/1
TOTAL		/9

3.4 Exemples

Figure 34 : Premier exemple : un protège-dents de type III fabriqué à partir d'une feuille PlaySafe Triple® de chez Erkodent®



Source : Auteur, 2019.

Caractéristiques :

- Épaisseur vestibulaire 3,5 mm à 4 mm
- Épaisseur palatine 3mm
- Épaisseur occlusale antérieur 3 mm
- Dureté Shore 82 A
- Limites : 2mm du fond du vestibule, distal des premières molaires, 8mm du bord gingival palatin
- Trois couches
- Stabilité optimale avec retrait par force mécanique
- Indentations antagonistes marquées en antérieur et postérieur
- Aucune influence sur les performances
- Absorption d'eau : 0.01%
- Résistance à la traction : 6300 N/cm² (9000 PSI)
- Résistance au déchirement : non renseignée

Selon les caractéristiques de ce protège-dents et après report dans le tableau de classification, il peut être catégoriser de Classe A avec une note de 9/9.

Caractéristiques du protège-dents			Validation
Biocompatible OBLIGATOIRE			√
Absorption <i>coefficient 2</i> <i>Minimum 3 sur 4</i> <i>pour valider</i>	4 mm ≤ Epaisseur vestibulaire ≤ 5 mm	√	2/2
	Shore 70 A ≤ Dureté ≤ Shore 85 A	√	
	Limites : <ul style="list-style-type: none"> • 2 mm du fond du vestibule et bords arrondis • Distale des deuxièmes molaires • 10 mm des collets en palatin et bords effilés 	X	
	Multicouche (laminé) et/ou architecture non conventionnelle (<i>cellules d'air, nid d'abeille</i>)	√	
Confort <i>coefficient 2</i> <i>Minimum 2 sur 3</i> <i>pour valider</i>	1 mm ≤ Epaisseur palatine ≤ 3 mm	√	2/2
	Limites : <ul style="list-style-type: none"> • 2 mm du fond du vestibule et bords arrondis • Distal des premières molaires • 2 mm des collets en palatin et bords effilés 	X	
	Stabilité : pas de désinsertion spontanée	√	
Indentations antagonistes <i>coefficient 2</i>	Présentes	√	1/1
	Équilibrées	√	1/1
Pas d'influence négative sur les performances <i>coefficient 1</i>			1/1
Durabilité <i>coefficient 1</i> <i>Minimum 2 sur 3</i> <i>pour valider</i>	Résistance au déchirement ≥ 200 N/cm	Manquant	1/1
	Absorption de l'eau ≤ 0.5 %	√	
	Résistance à la traction ≥ 320 N/cm ²	√	
Prise en charge et suivi du Chirurgien-dentiste <i>coefficient 1</i>			1/1
TOTAL			9/9

Figure 35 : Deuxième exemple : un protège-dents de type II Gel Max® de chez Shock Doctor® après 4 thermoformages



Source : Auteur, 2020.

Caractéristiques :

- Épaisseur vestibulaire : 2,5 mm à 3 mm
- Épaisseur palatine : 1 à 2 mm
- Épaisseur occlusale : 2,5 à 3 mm
- Dureté : non mentionnée par le fabricant
- Limites : 1 mm du fond du vestibule en antérieur et en dessous des collets en postérieur, au niveau de la deuxième molaire secteur 2 et en distale de celle-ci secteur 1, et 3 mm coronairement à la gencive marginale en palatin
- 2 couches (extérieur en caoutchouc et intérieur en EVA)
- Stabilité médiocre : occlusion obligatoire pour être tenu en place.
- Indentations antagonistes peu marquées non équilibrées
- Influences négatives sur les performances par manque de stabilité
- Caractéristiques du matériau non mentionnées

Selon les caractéristiques de ce protège-dents et après report dans le tableau de classification, il peut être catégoriser de Classe E avec une note de 1/9.

Caractéristiques du protège-dents			Validation
Biocompatible OBLIGATOIRE			√
Absorption <i>coefficient 2</i> <i>Minimum 3 sur 4</i> <i>pour valider</i>	4 mm ≤ Epaisseur vestibulaire ≤ 5 mm	X	0/2
	Shore 70 A ≤ Dureté ≤ Shore 85 A	Manquant	
	Limites : <ul style="list-style-type: none"> • 2 mm du fond du vestibule et bords arrondis • Distale des deuxièmes molaires • 10 mm des collets en palatin et bords effilés 	X	
	Multicouche (laminé) et/ou architecture non conventionnelle (<i>cellules d'air, nid d'abeille</i>)	√	
Confort <i>coefficient 2</i> <i>Minimum 2 sur 3</i> <i>pour valider</i>	1 mm ≤ Epaisseur palatine ≤ 3 mm	√	0/2
	Limites : <ul style="list-style-type: none"> • 2 mm du fond du vestibule et bords arrondis • Distal des premières molaires • 2 mm des collets en palatin et bords effilés 	X	
	Stabilité : pas de désinsertion spontanée	X	
Indentations antagonistes <i>coefficient 2</i>	Présentes	√	1/1
	Équilibrées	X	0/1
Pas d'influence négative sur les performances <i>coefficient 1</i>			0/1
Durabilité <i>coefficient 1</i> <i>Minimum 2 sur 3</i> <i>pour valider</i>	Résistance au déchirement ≥ 200 N/cm	Manquant	0/1
	Absorption de l'eau ≤ 0.5 %	Manquant	
	Résistance à la traction ≥ 320 N/cm ²	Manquant	
Prise en charge et suivi du Chirurgien-dentiste <i>coefficient 1</i>			0/1
TOTAL			1/9

Figure 36 : Troisième exemple : un protège-dents de type II OFFLOAD® de chez Decathlon® après 4 thermoformages



Source : Auteur, 2020.

Caractéristiques :

- Épaisseur vestibulaire : 3,5 mm à 5 mm
- Épaisseur palatine : 1,5 à 2,5 mm
- Épaisseur occlusale : 2 à 3 mm
- Dureté : non mentionnée par le fabricant
- Limites : 1 mm du fond du vestibule, en distale des deuxièmes molaires, au niveau des collets en palatin
- 2 couches
- Stabilité médiocre : occlusion obligatoire pour être tenu en place.
- Respiration buccale en occlusion possible
- Elocution impossible
- Indentations antagonistes marquées non équilibrées
- Influences négatives sur les performances par manque de stabilité
- Caractéristiques du matériau non mentionnées.

Selon les caractéristiques de ce protège-dents et après report dans le tableau de classification, il peut être catégoriser de Classe D avec une note de 3/9.

Caractéristiques du protège-dents			Validation
Biocompatible OBLIGATOIRE			√
Absorption <i>coefficient 2</i> <i>Minimum 3 sur 4</i> <i>pour valider</i>	4 mm ≤ Epaisseur vestibulaire ≤ 5 mm	√	0/2
	Shore 70 A ≤ Dureté ≤ Shore 85 A	Manquant	
	Limites : <ul style="list-style-type: none"> • 2 mm du fond du vestibule et bords arrondis • Distale des deuxièmes molaires • 10 mm des collets en palatin et bords effilés 	X	
	Multicouche (laminé) et/ou architecture non conventionnelle (<i>cellules d'air, nid d'abeille</i>)	√	
Confort <i>coefficient 2</i> <i>Minimum 2 sur 3</i> <i>pour valider</i>	1 mm ≤ Epaisseur palatine ≤ 3 mm	√	2/2
	Limites : <ul style="list-style-type: none"> • 2 mm du fond du vestibule et bords arrondis • Distal des premières molaires • 2 mm des collets en palatin et bords effilés 	√	
	Stabilité : pas de désinsertion spontanée	X	
Indentations antagonistes <i>coefficient 2</i>	Présentes	√	1/1
	Équilibrées	X	0/1
Pas d'influence négative sur les performances <i>coefficient 1</i>			0/1
Durabilité <i>coefficient 1</i> <i>Minimum 2 sur 3</i> <i>pour valider</i>	Résistance au déchirement ≥ 200 N/cm	Manquant	0/1
	Absorption de l'eau ≤ 0.5 %	Manquant	
	Résistance à la traction ≥ 320 N/cm ²	Manquant	
Prise en charge et suivi du Chirurgien-dentiste <i>coef 1</i>			0/1
TOTAL			3/9

3.5 Les limites

Plusieurs limites peuvent être relevées dans ce tableau de classification :

- Les limites pour le remplissage du tableau :
 - La base de données utilisée pour la mise en place de ce tableau peut être plus ou moins récente.
 - Lors de la recherche bibliographique, certains articles se contredisaient. Il fallait alors analyser les biais des différents articles et/ou la notoriété des auteurs pour en tirer les meilleures conclusions.
 - La classification ne peut se faire que lorsque le protège-dents a déjà été moulé pour remplir les parties « épaisseur », « stabilité », « indentations antagonistes ». Même si selon Poisson⁸², 99 % d'épaisseur est perdue lors du moulage d'un protège-dents de type II. Un même protège-dents peut donc être classé différemment en fonction de l'opération. Chaque patient est différent, les protège-dents le seront aussi (malocclusion, classe d'Angle II ou III, etc.)
 - Quelle dureté choisir pour un protège-dents multicouche ? De nombreux protège-dents sont composés de couches de différentes duretés. La partie intérieure (Liner) étant souvent moins dure que la partie extérieure (Shell). Dans son article de 2002 Craig⁸³ conclut qu'il faut une dureté entre Shore 40 et 60 A pour la partie Liner et 55 et 85 A pour la partie Shell. Ce critère devient difficile à valider.
 - Des difficultés pour obtenir toutes les informations requises sont présentes ; il faut connaître tous les critères du matériau utilisé. La communication avec son prothésiste, les fournisseurs et les commerces est nécessaire. Elle est aisée en tant que professionnel de santé avec les prothésistes et fournisseurs, contrairement aux commerciaux qui peuvent être difficiles à contacter pour de telles informations.

- Les limites de l'impact de cette thèse :
 - En tant que thèse d'exercice, l'idée d'une nouvelle classification qualitative pour améliorer la prévention dans le milieu du sport, ne touchera que peu de personnes.
 - Malgré l'amélioration de toutes les techniques de fabrication, l'information reste un point clef de la prévention.
 - Les professionnels se doivent d'interroger les patients sur leurs pratiques sportives dès l'examen clinique.

⁸² Poisson et al., Protege-dents (protection intra-buccale) pour activités sportives.

⁸³ Craig et Godwin, « Properties of athletic mouth protectors and materials ».

- L'information n'a que peu de chances d'atteindre les industriels qui pourraient améliorer leurs produits et conseiller leurs clients.

- Les limites législatives⁸⁴ :

Pour être mis sur le marché, les équipements de protection individuelle (EPI) doivent satisfaire aux exigences de la directive européenne 2016/425 et ainsi porter le marquage « CE ».

Plusieurs catégories d'EPI existent. Le protège-dents entre dans la catégorie « Les EPI de conception complexe destinés à protéger contre des risques intermédiaires » (catégorie II).

L'Annexe II de la directive européennes nous informe sur les exigences essentielles de santé et de sécurité :

- Celles-ci « doivent être interprétées et appliquées de manière à tenir compte de l'état d'avancement de la technique et de la pratique au moment de la conception et de la fabrication ». Ici, il n'est jamais mentionné l'avancement des données acquises de la science.
- « Le fabricant effectue une analyse des risques ».

Les exigences s'étendent à plusieurs domaines (Annexe II de la directive UE 2016/425) :

- **Principes de conception** exigeant le déploiement normal de l'activité malgré le port de l'EPI
- **Principe d'innocuité** consistant à ne pas engendrer de risques ou facteurs de nuisance pouvant mettre en danger l'utilisateur ou la santé d'autrui. L'utilisation d'un matériau de conception approprié et sans effets nocifs sur la santé est mentionnée.
- **Facteur de confort et d'efficacité** mentionne la notion d'adaptation qui consiste à la fabrication d'un dispositif facile à mettre en place dans la position appropriée et s'y maintenir pour la durée nécessaire à l'emploi. Les notions de légèreté et solidité demandent à que les EPI soient aussi légers que possible sans entraver à leur solidité. La solidité étant définie dans les textes comme une résistance **suffisante** contre les facteurs ambiants.
- **La notice d'instruction et d'information** fournie par le fabricant ne l'oblige pas à indiquer le matériau utilisé et ses caractéristiques. Les performances réalisées lors d'examen techniques **pertinents** sont en revanche obligatoires, mais la précision de celles-ci reste souvent à désirer. Sur la notice du protège-dents OFFLOAD, aucun résultat sur les performances n'est inscrit. Sur la notice du protège-dents Shock Doctor, un tableau de

⁸⁴ « Règlement (ue) 2016 / 425 du parlement européen et du conseil », 425.

performance est inscrit. Mais ce tableau veut tout et rien dire à la fois. Aucune référence n'est indiquée. Le sportif n'aura aucune idée de la performance du protège-dents en lisant cette notice. Pour les EPI sujets à un vieillissement, les informations sur l'entretien et une date de péremption doivent être indiquées. Mais à quoi se réfèrent-ils pour déterminer cette date ?

Figure 37 : Performances aux examens techniques inscrites sur la notice du protège-dents Shock Doctor®

Tableau 1	Performances sur l'impact
Niveau 1	≤ 10 kN
Niveau 2	≤ 7,5 kN
Niveau 3	≤ 5 kN

Niveau 1 : Braces ; **Niveau 2 :** Double Braces, Nano 3D, Gel Nano, Nano Double, Pro ; **Niveau 3 :** Ultra STC, Baseball/Softball STC, Gravity 2 STC, Gel Max, Gel Max Lip Guard
Liste à inclure : Gel Max, Braces, Double Braces, Gel Nano, Nano Double, Nano 3D, Ultra STC, Gravity

Source : Auteur, 2020.

Des exigences supplémentaires spécifiques aux risques à prévenir sont aussi relevées dans cette Annexe II. Les EPI dont le but est de protéger contre des chocs mécaniques, doivent amortir **suffisamment** les effets de ce choc. Ici encore, aucune précision n'est exigée.

La procédure d'évaluation de la conformité pour les EPI de catégorie II est un examen UE de type (Module B) développé dans l'Annexe V : l'organisme notifié effectue ou fait effectuer les examens et les essais appropriés pour vérifier que les solutions adoptées par le fabricant satisfont aux exigences essentielles de santé et de sécurité mentionnées dans l'Annexe II de la déclaration européenne (UE) 2016/425.

Le contenu du rapport d'évaluation réalisé par l'organisme notifié n'est divulgué, en totalité ou en partie, qu'avec l'accord du fabricant. La déclaration de conformité atteste que le respect des exigences essentielles de santé et de sécurité applicables énoncées à l'Annexe II a été démontré.

Les protège-dents de type III ne sont pas concernés par cette directive car il provient de la prise d'empreinte d'un professionnel de santé qui n'est pas dans une logique commerciale mais dans un contrat de soin avec son patient. Cependant il est de la responsabilité du praticien de vérifier que le matériau qu'il commande soit bien certifié « CE ».

De ces limites législatives nous pouvons conclure que la législation actuelle ne suit pas les recommandations acquises par l'analyse des différents articles sur le sujet.

Conclusion

À la suite des recherches sur les critères d'un protège-dents idéal, un tableau a été réalisé afin de pouvoir les classer. Une approche qualitative a été choisie pour se différencier de la classification actuelle. Cette dernière permet d'acquérir des informations complètes tel qu'il en est attendu d'un point de vue préventif. En termes d'impact, nous voudrions que cette classification puisse :

- Participer à la réflexion du praticien pour orienter un patient ou réaliser un dispositif de qualité
- Aider au choix d'achat éclairé d'un patient en fonction de ses attentes
- Permettre aux instances sportives de s'en saisir pour sensibiliser sur l'importance du port d'une protection

Cependant, comme présentées précédemment, des limites existent et un éventail d'améliorations est possible par l'évolution des données acquises de la science. Par la suite il serait possible de :

- Sensibiliser les praticiens sur l'importance de l'abord du sport pratiqué lors du questionnaire médical afin d'informer et guider les patients
- Améliorer ce tableau en réalisant des expériences aux protocoles standardisés et uniformisés propres à chaque critère par des études comparatives de grande échelle
- Améliorer le taux de remboursement des protections dento-maxillaires étant donné leur importance dans la prévention des traumatismes
- Rendre obligatoire, l'apparition nette de la classe du protège-dents sur l'emballage afin que le sportif connaisse la qualité de son achat
- Avoir un poids sur des changements de réglementation pour les sports dans lesquels le port du protège-dents n'est pas obligatoire
- Améliorer la directive européenne :
 - En se basant sur les données acquises de la science et sur des articles relatant des caractéristiques idéales d'un protège-dents
 - En obligeant les fabricants à mentionner les matériaux utilisés lors de la fabrication ainsi que leurs performances lors d'exams réellement pertinents pour lesquels des normes auront été établies
 - En interdisant la vente des protège-dents de type I qui ne répondent pas aux exigences essentielles de santé et de sécurité (les principes d'innocuité, de confort et d'efficacité ne sont pas remplis)

- En interdisant la vente des protège-dents de type II « boil-and-bite » en EVA, qui selon l'article de Meng⁸⁵, sont nocifs pour l'Homme.

Actuellement, des projets de normes (PR NF S72-427) sont en cours pour spécifier les exigences fonctionnelles, techniques et de sécurité applicables aux protections intra buccales de type I et II. Ces normes ne sont pas consultables avant leur publication mais elles prouvent une volonté d'avancer dans le domaine.

⁸⁵ Meng, « Volatile organic compounds of polyethylene vinyl acetate plastic are toxic to living organisms ».

Bibliographie

- 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.
- 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).
- Bishop, B. M. « Materials for mouth protectors ». *The journal of prosthetic dentistry* 53, n° 2 (1985): 6.
- 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>.
- Chalmers, D. J. « Mouthguards : protection for the mouth in rugby union ». *Sports medicine* 25, n° 5 (1998): 339-49. <https://doi.org/10.2165/00007256-199825050-00006>.
- Collomb Clerc, G. « Port du protege dents chez les rugbymen de plus de 14 ans étude preliminaire ». Thèse d'exercice, Université Claude Bernard Lyon 1, 2015. <http://n2t.net/ark:/47881/m6pz575m>
- Craig, R. G., et W. C. Godwin. « Properties of athletic mouth protectors and materials ». *Journal of oral rehabilitation* 29, n° 2 (2002): 146-50. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2002.00831.x>.
- Del Rossi, G., et M. A. Leyte-Vidal. « Fabricating a better mouthguard. Part I : factors influencing mouthguard thinning ». *Dental traumatology* 23, n° 3 (2007): 149-54. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2006.00436.x>.
- 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* 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>.
- Duddy, F. A., J. Weissman, R. A. Lee, A. Paranjpe, J. D. Johnson, et N. Cohenca. « Influence of different types of mouthguards on strength and performance of collegiate athletes : a controlled-randomized trial : mouthguards and athletic strength and performance ». *Dental traumatology* 28, n° 4 (2012): 263-67. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2011.01106.x>.
- Duhaime, C. F., C. C. Whitmyer, R. S. Butler, et B. Kuban. « Comparison of forces transmitted through different EVA mouthguards ». *Dental traumatology* 22, n° 4 (2006): 186-92. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2006.00360.x>.
- 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>.
- Ferrari, C. H., et J. M. F. de Medeiros. « Dental trauma and level of information : mouthguard use in different contact sports ». *Dental traumatology* 18, n° 3 (2002): 144-47. <https://doi.org/10.1034/j.1600-9657.2002.00017.x>.
- Francis, K. T., et J. Brasher. « Physiological effects of wearing mouthguards ». *British journal of sports medicine* 25, n° 4 (1991): 227-31. <https://doi.org/10.1136/bjism.25.4.227>.

- Fukasawa, S., H. Churei, R. U. Chowdhury, T. Shirako, S. Shahrin, A. Shrestha, T. Wada, M. Uo, H. Takahashi, et T. Ueno. « Difference among shock-absorbing capabilities of mouthguard materials ». *Dental traumatology* 32, n° 6 (2016): 474-79. <https://doi.org/10.1111/edt.12275>.
- Going, R. E., R. E. Loehman, et M. S. Chan. « Mouthguard materials : their physical and mechanical properties ». *The journal of the american dental association* 89, n° 1 (1974): 132-38. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1974.0354>.
- 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>.
- Guérard, S., J. L. Barou, J. Petit, et P. Poisson. « Characterization of mouthguards : impact performance ». *Dental traumatology* 33, n° 4 (2017): 281-87. <https://doi.org/10.1111/edt.12329>.
- 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>.
- Hickey, J. C., A. L. Morris, L. D. Carlson, et T. E. Seward. « The relation of mouth protectors to cranial pressure and deformation ». *Journal of the american dental association* 74, n° 4 (1967): 735-40. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1967.0145>.
- Houdard, H. « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby ». Thèse d'exercice, Université Paris Descartes, 2018. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02063603>
- Ilija, 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>.
- Ingram, R. H., et D. P. Schilder. « Effect of pursed lips expiration on the pulmonary pressure-flow relationship in obstructive lung disease ». *The american review of respiratory disease* 96, n° 3 (1967): 381-88. <https://doi.org/10.1164/arrd.1967.96.3.381>.
- Jagger, R. G., et P. J. Milward. « The bimaxillary mouthguard ». *British dental journal* 178, n° 1 (1995): 31-32. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4808640>.
- Kibal, M. « Moyens de prévention et traitement de la traumatologie dentaire du sportif de haut niveau ». Thèse d'exercice, Université Nancy-Metz, 2016.
- 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>.
- Maeda, Y., H. Machi, et T. Tsugawa. « Influences of palatal side design and finishing on the wearability and retention of mouthguards ». *Yearbook of sports medicine* 40 (2006): 1006-8. [https://doi.org/10.1016/S0162-0908\(08\)79254-7](https://doi.org/10.1016/S0162-0908(08)79254-7).
- McClelland, C., M. Kinirons, et L. Geary. « A preliminary study of patient comfort associated with customised mouthguards ». *British journal of sports medicine* 33, n° 3 (1999): 186-89. <https://doi.org/10.1136/bjism.33.3.186>.
- 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. Pedeutour, 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>.
- Ozawa, T., T. Takeda, K. Ishigami, K. Narimatsu, K. Hasegawa, K. Nakajima, et K. Noh. « Shock absorption ability of mouthguard against forceful, traumatic mandibular closure ». *Dental traumatology* 30, n° 3 (2014) : 204-10. <https://doi.org/10.1111/edt.12063>.
- Padilla, R. R. « A technique for fabricating modern athletic mouthguards ». *Journal of the California dental association* 33, n° 5 (2005): 399-408.

- Park, J. B., K. L. Shaull, B. Overton, et K. J. Donly. « Improving mouth guards ». *The journal of prosthetic dentistry* 72, n° 4 (1994): 373-80. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(94\)90556-8](https://doi.org/10.1016/0022-3913(94)90556-8).
- 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/bjism.2004.012658>.
- Poisson, P., G. Dorignac, J. L. Llouquet, S. Perez, et F. Courson. Protege-dents (protection intra-buccale) pour activités sportives, Pub. L. No. prEN 15712:2007, 31 (2007).
- Reculeau, S. « Les protections dento maxillaires dans le sport ». Thèse d'exercice, Université de Nantes, 2007.
- « Règlement (ue) 2016/ 425 du parlement européen et du conseil », 2016. Roettger, M. *Modern sports dentistry*. Sham : Springer, 2018.
- Scott, J., F. J. Burke, et D. C. Watts. « A review of dental injuries and the use of mouthguards in contact team sports ». *British dental journal* 176, n° 8 (1994): 310-14. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4808433>.
- 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>.
- . « Influence of color difference of mouthguard sheet on thickness after forming ». *Journal of prosthodontic research* 56, n° 3 (2012): 194-203. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2011.11.002>.
- Takeda, T., K. Ishigami, K. Shintaro, K. Nakajima, A. Shimada, et C. W. Regner. « The influence of impact object characteristics on impact force and force absorption by mouthguard material ». *Dental traumatology* 20, n° 1 (2004): 12-20. <https://doi.org/10.1111/j.1600-4469.2004.00210.x>.
- Tanaka, Y., H. Miyana, Y. Maeda, M. Abe, et S. Miwa. « A method for detecting the deterioration in the shock absorption capability of mouthguards ». *International journal of sports medicine* 36, n° 08 (2015): 684-87. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1398655>.
- Tanaka, Y., T. Tsugawa, et Y. Maeda. « Effect of mouthguards on impact to the craniomandibular complex ». *Dental traumatology* 33, n° 1 (2017): 51-56. <https://doi.org/10.1111/edt.12283>.
- Thoman, R. L., G. L. Stoker, et J. C. Ross. « The efficacy of pursed-lips breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease ». *The american review of respiratory disease* 93, n° 1 (1996): 100-106. <https://doi.org/10.1164/arrd.1966.93.1.100>.
- Walilko, T., C. Bir, W. Godwin, et A. King. « Relationship between temporomandibular joint dynamics and mouthguards : feasibility of a test method ». *Dental traumatology* 20, n° 5 (2004): 255-60. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2004.00213.x>.
- 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.
- . « EVA mouthguards : how thick should they be ? » *Dental traumatology* 18, n° 1 (2002): 24-27. <https://doi.org/10.1034/j.1600-9657.2002.180103.x>.
- . « The effect on energy absorption of hard inserts in laminated EVA mouthguards ». *Australian dental journal* 45, n° 1 (2000): 21-23.
- 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 : Protège-dents standard (stock-form, type I)	5
Figure 2 : Protège-dents « boil-and-bite » (mouth-formed, type II)	6
Figure 3 : Un exemple de différences d'instructions pour deux fabricants	6
Figure 4 : Illustrations de la prise d'empreinte 1 temps 1 viscosité par DOOMEY®	7
Figure 5 : Protège-dents DOOMEY® (Type IIB)	8
Figure 6 : Protège-dents sur mesure (custom made, type III)	8
Figure 7 : Différence d'adaptation de l'intrados entre des protège-dents fabriqués par aspiration (à gauche) et sous pression (à droite).	9
Figure 8 : Empreinte du maxillaire au silicone A (Light and soft body), modèle correspondant et tracé du fond de vestibule	10
Figure 9 : Mise en place du modèle, ramollissement du matériau, abaissement du levier et mise en marche de la pression (machine DRUFOMAT)	11
Figure 10 : Découpe des limites et polissage	12
Figure 11 : Prise en charge au fauteuil	12
Figure 12 : Résultats de l'expérience d'Ozawa et al.	15
Figure 13 : Schéma de représentation du Shore	15
Figure 14 : Différentes localisations de la couche dure de PEVA (Shore 90 A) en fonction des échantillons	16
Figure 15 : Transmission des forces subies en fonction de l'épaisseur du protège-dents en PEVA (en haut) et du temps (en bas)	18
Figure 16 : Graphique en nuage de points montrant la différence d'épaisseur en fonction de la hauteur du modèle au niveau vestibulaire des CANINES (en haut), des INCISIVES (au milieu) et en occlusal des MOLAIRES (en bas)	20
Figure 17 : Schéma des différents protège-dents testés : (a) pas de protège-dents, (b) protège-dents en EVA 6mm, (c) protège-dents en EVA 3mm et insertion de Konbiplast + espace vide 1,8 ou 3 mm	24
Figure 18 : Impact et forces transmises	26
Figure 19 : Répartition des bulles d'air dans le matériau	27
Figure 20 : Forces transmises au cours du temps sur un protège-dents en EVA avec et sans incorporation d'air	27
Figure 21 : Protège-dents 1 (maxillaire, inadapté, caoutchouc), 2 (bimaxillaire, inadapté, caoutchouc), 3 (bimaxillaire, vinyl plus rigide, léger trou pour la respiration)	34

Figure 22 : Schéma de description d'une force F1 de traction	37
Figure 23 : Protège-dents bi-maxillaire avec augmentation de la DVO et ouverture antérieure	39
Figure 24 : Connexion antérieure mise en place sur un protège-dents de type III Proform®	40
Figure 25 : Détermination des limites du protège-dents	42
Figure 26 : Réalisation des cellules d'air par-dessus la couche de l'intrados	43
Figure 27 : Vue vestibulaire du futur protège-dents	43
Figure 28 : Visualisation des alvéoles au sein du protège-dents	44
Figure 29 : Protège-dents imprimé en résine blanche pour visualiser les alvéoles	44
Figure 30 : Protège-dents imprimé en résine Flexible® de Formlabs®	45
Figure 31 : Échelle de protection	49
Figure 32 : Différences d'adaptation entre des protège-dents (A-E : type II ; F : type III)	51
Figure 33 : Choix de couleur et de personnalisation de protège-dents de type III Playsafe® de Erkodent®	54
Figure 34 : Premier exemple : un protège-dents de type III fabriqué à partir d'une feuille PlaySafe Triple® de chez Erkodent®	56
Figure 35 : Deuxième exemple : un protège-dents de type II Gel Max® de chez Shock Doctor® après 4 thermoformages	58
Figure 36 : Troisième exemple : un protège-dents de type II OFFLOAD® de chez Decathlon® après 4 thermoformages	60
Figure 37 : Performances aux examens techniques inscrites sur la notice du protège-dents Shock Doctor®	64

Table des tableaux

Tableau 1 : La transmission des forces subies en fonction de l'épaisseur du protège-dents en PEVA	17
Tableau 2 : Tableau référençant l'épaisseur nécessaire en fonction de la localisation selon différents auteurs	19
Tableau 3 : Épaisseurs obtenues après fabrication par thermo formation-pression sur différente localisation du protège-dents.....	19
Tableau 4 : Relation entre différents facteurs dimensionnels et l'épaisseur obtenue.....	21
Tableau 5 : Résultats de l'article de Handa et al	25

Annexes

Annexe 1 : Tableau comparatif du port d'un protège-dents⁸⁶

		Ne porte jamais	Porte occasionnellement	Porte systématiquement	
Wissler Gilles⁸⁷		53.5 %	25.1 %	21.4 %	
Liew et al.⁸⁸		72.4 %	23 %	4 %	
Banky et Mc Crory⁸⁹	Catégories				
	Elite	Match	11 %	-	89 %
		Entrainement	60 %	-	40 %
	Sub-élite	Match	29 %	-	71 %
		Entrainement	79 %	-	21 %
	Junior	Match	36 %	-	64 %
Entrainement		99 %	-	1 %	
Muller-Bolla et al.⁹⁰	Elite 1 France		32.5 %	-	67.5 %
	Elite 2 France		27.3 %	-	72.7 %
	Nationale 1 France		43.3 %	-	56.7 %
Delahunty et al.⁹¹	Déjà eu concussion		8.6 %	24.1 %	67.2 %
	Pas eu de concussion		6.6 %	18.4 %	75 %
Ilia et al.⁹²	Australie Rugby à 7		23.1 %	-	87.1 %
Boffano et al.⁹³	Nord Est Italie		32.3 %	13.85 %	53.85 %

Source : Houdard, Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby, 2018

⁸⁶ Houdard, « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby ».

⁸⁷ Wissler et Younis, « Enquête épidémiologique sur les traumatismes dento-maxillaires dans la pratique du rugby : intérêts, protocole et résultats ».

⁸⁸ Liew et al., « Factors associated with mouthguard use and discontinuation among rugby players in Malaysia ».

⁸⁹ Banky et McCrory, « Mouthguard use in australian football ».

⁹⁰ Muller-Bolla et al., « Orofacial trauma and rugby in France : epidemiological survey ».

⁹¹ Delahunty et al., « Prevalence of and attitudes about concussion in irish schools' rugby union players ».

⁹² Ilia, Metcalfe, et Heffernan, « Prevalence of dental trauma and use of mouthguards in rugby union players ».

⁹³ 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 ».

Annexe 2 : Raison du non-port du protège-dents⁹⁴

	Wissler ⁹⁵ Enquête où l'on peut choisir un item parmi ses propositions	Liew et al. ⁹⁶ Nombre de personne ayant coché l'item parmi l'ensemble des propositions		Ilia et al. ⁹⁷	Boffano et al. ⁹⁸
		Vont continuer de porter un protège-dents	Ne porteront plus de protège-dents		
Inconfort	65.9 %	47.5 %	76.5 %		35.1 %
Pas de risque de traumatisme	35.7 %				
Manque d'information	19.2 %			14 %	
Trop cher	1.4 %	12.5 %	4.9 %	4 %	
Perturbe l'élocution		35 %	32.4 %	15.1 %	79.6 %
Trop serré		2.5 %	3.9 %		
Provoque des nausées		10 %	12.7 %	7 %	16.7 %
Blesse les gencives et les dents		2.5 %	2 %		
Fait baver		7.5 %	25.5 %		
Perturbe la respiration		12.5 %	31.4 %	24.9 %	16.7 %

Source : Houdard, « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby », 2018.

⁹⁴ Houdard, « Empreinte optique et imprimante 3D d'un protège-dents pour la pratique du rugby ».

⁹⁵ Wissler et Younis, « Enquête épidémiologique sur les traumatismes dento-maxillaires dans la pratique du rugby : intérêts, protocoles et résultats ».

⁹⁶ Liew et al., « Factors associated with mouthguard use and discontinuation among rugby players in Malaysia ».

⁹⁷ Ilia, Metcalfe, et Heffernan, « Prevalence of dental trauma and use of mouthguards in rugby union players ».

⁹⁸ 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 ».

Annexe 3 : Sondage utilisé pour l'élaboration d'une échelle des critères de classement

Sondage

Âge :

Sexe : M

F

Sport(s) pratiqué(s) :

A renvoyer à l'adresse suivante :

risolo.marc@hotmail.fr

Dans ma thèse intitulée « Comment choisir son protège-dent : Une nouvelle classification », je cherche à améliorer la classification actuelle qui se trouve être seulement descriptive. Ma nouvelle classification sera plus qualitative et pourra donc renseigner les professionnels de santé et les sportifs de la qualité d'un protège-dent choisi et/ou fabriqué.

Pour cela, j'ai choisi certains critères qui me paraissaient indispensables pour un protège-dent. Je vous demanderai donc de mettre ces critères dans l'ordre en fonction de ce que vous pensez qui est le plus important dans un protège dent.

Les critères sont les suivants :

- **L'absorption des forces** : plus un protège dent absorbe les forces, plus il protège les dents et les tissus environnants (os, muqueuses)
- **Le confort** : ceci regroupe la provocation de réflexe nauséeux, la difficulté d'élocution, de déglutition, le mauvais goût, mauvaise odeur, le fait qu'il rende la bouche sèche, le fait qu'il soit douloureux, et la stabilité du protège dent.
- **L'influence sur les performances sportives** : avec un protège-dent mal adapté, le sportif ne sera pas concentré à 100% sur son activité. De plus, le volume d'oxygène est diminué, et donc les capacités physiques au court terme sont diminuées. Cependant, au long terme, le corps s'habitue à faire des efforts avec moins d'oxygène, améliorant ainsi les capacités physiques du sportif.
- **La biocompatibilité** : c'est la non-toxicité du matériau. Un matériau non biocompatible peut être irritant, allergène, ou même toxique.
- **La durabilité** : un protège-dent ne peut être utilisé que quelques mois avant que la composition de celui-ci ne soit modifiée et empêche une protection efficace. Certains matériaux sont plus durables que d'autres.

Merci de numéroter de 1 à 7 les critères selon l'ordre d'importance que vous y apportez (1 étant le plus important et 7 le moins important. Les cases « autre 1 » et « autre 2 » sont facultatives.

Critères	Ordre
Absorption des forces	Choix de l'ordre
Confort	Choix de l'ordre
Influence sur les performances	Choix de l'ordre
Biocompatibilité	Choix de l'ordre
Durabilité	Choix de l'ordre
Autre 1	Choix de l'ordre
Autre 2	Choix de l'ordre

Autre 1 : Critère que vous pensez important

Autre 2 : Critère que vous pensez important

Remarques :

Vu, le Directeur de thèse

Vu, le Doyen de l'UFR d'Odontologie - Montrouge

Docteur Roddy KHENG

Professeur Louis MAMAN

Vu, le Président d'Université de Paris

Professeur Christine CLERICI

Pour le Président et par délégation,

Le Doyen Louis MAMAN

Comment choisir son protège-dents : un nouveau type de classification

Résumé :

Dans la population actuelle, le sport fait partie du quotidien de nos patients. En fonction du sport pratiqué par nos patients, la prévalence des traumatismes dentaires et tissus environnants est plus ou moins importante. Des recherches montrent que l'utilisation de protections (casque, plastron, épaulière, genouillère, protège -dent, etc...) baisse nettement la prévalence de ces accidents traumatiques. Malgré tout, selon des études épidémiologiques il n'est pas dans les mœurs de les utiliser. Ceci démontre un manque de prévention primaire à ce sujet, pourtant indispensable. Cette thèse cherche à améliorer le système de classification des protège-dents (commerciaux et professionnels). Les caractéristiques d'un protège-dents idéal ont été déterminées avec une revue de la littérature actuelle. Ceux-ci ont servi de base pour réaliser un tableau de classification en pondérant ces différents critères. Ce processus aboutit à une note permettant de classer le dispositif. Malgré les limites du tableau obtenu, de l'impact de cette thèse et de la législation actuelle sur les équipements de protection individuelle, l'intérêt de ce sujet reste d'importance. Cette thèse montre les changements importants à apporter à la classification actuelle pour améliorer la diffusion de l'information.

Discipline :

Santé publique et prévention

Mots clés français (fMeSH et Rameau) :

Collecte de données -- Dissertation universitaire ; Protecteurs buccaux -- Dissertation universitaire ; Protège-dents -- Thèses et écrits académiques ; Odontostomatologie -- Appareils et matériel -- Thèses et écrits académiques

English keywords (MeSH) :

Data Collection -- Academic Dissertation ; Mouth Protectors -- Academic Dissertation

Université de Paris
UFR d'Odontologie –Montrouge
1 rue Maurice Arnoux
92120 Montrouge