



HAL
open science

Influence des thérapeutiques de reminéralisation sur la profondeur de pénétration de l'acide chlorhydrique utilisé lors des protocoles d'érosion-infiltration

Imane Ramdani

► **To cite this version:**

Imane Ramdani. Influence des thérapeutiques de reminéralisation sur la profondeur de pénétration de l'acide chlorhydrique utilisé lors des protocoles d'érosion-infiltration. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-02992477

HAL Id: dumas-02992477

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02992477>

Submitted on 6 Nov 2020

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.

U.F.R. D'ODONTOLOGIE

Année 20

Thèse n°60

THESE POUR L'OBTENTION DU

**DIPLOME D'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE
DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement

Par RAMDANI, Imane

Née le 18/01/1990 à Casablanca

Le 12 octobre 2020

**Influence des thérapeutiques de reminéralisation sur la
profondeur de pénétration de l'acide chlorhydrique utilisé
lors des protocoles d'érosion-infiltration**

Sous la direction de : Olivia KEROUREDAN

Membres du jury :

Mr DEVILLARD, Raphael
Mme KEROUREDAN, Olivia
Mr PELL, Jean-François
Mr BOU, Christophe
Mr LASSERRE, Jean-François

Président
Directrice
Rapporteur
Examineur
Examineur

UNIVERSITE DE BORDEAUX

MAJ
02/12/2019

Président M. TUNON DE LARA Manuel
Directeur de Collège des Sciences de la Santé M. PELLEGRIN Jean-Luc

COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

Directrice Mme BERTRAND Caroline 58-01
Directeur Adjoint à la Pédagogie Mr DELBOS Yves 56-01
Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche M. CATROS Sylvain 57-01
Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales M.SEDARAT Cyril 57-01

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme	Caroline	BERTRAND	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M	Sylvain	CATROS	Chirurgie orale	57-01
M	Raphaël	DEVILLARD	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Véronique	DUPUIS	Prothèse dentaire	58-01
M.	Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques - Biomatériaux	58-01
M.	Jean-Christophe	FRICAIN	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme	Elise	ARRIVÉ	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Cécile	BADET	Biologie Orale	57-01
M.	Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Michel	BARTALA	Prothèse dentaire	58-01
M.	Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Christophe	BOU	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Sylvie	BRUNET	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01
M.	Jacques	COLAT PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M,	Jean-Christophe	COUTANT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M.	François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M,	Emmanuel	D'INCAU	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Dominique	GILLET	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Olivia	KEROUREDAN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M.	Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	58-01
M.	Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme	Odile	LAVIOLE	Prothèse dentaire	58-01
M.	Jean-Marie	MARTEAU	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01
Mme	Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Adrien	NAVEAU	Prothèse dentaire	58-01

M.	Jean-François	PELI	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M.	Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Johan	SAMOT	Biologie Orale	57-01
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noélie	THEBAUD	Biologie Orale	57-01
M.	Eric	VACHEY	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01

AUTRES ENSEIGNANTS

Mme	Audrey	AUSSEL	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M.	Cédric	FALLA	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	François	ROUZÉ L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-01

ASSISTANTS

Mr	Bastien	BERCAULT	Chirurgie Orale	57-01
Mme	Mathilde	BOUDEAU	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Wallid	BOUJEMAA AZZI	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Melle	Camille	BOULÉ- MONTPEZAT	Odontologie pédiatrique	56-01
Mlle	Anais	CAVARE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M	Hubert	CHAUVEAU	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Virginie	CHUY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M	Pierre-Hadrien	DECAUP	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Severine	DESCAZEAX	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Julia	ESTIVALS	Odontologie pédiatrique	56-01
Mme	Mathilde	FENELON	Chirurgie Orale	57-01
Mme	Agathe	GREMARE	Biologie orale	57-01
Mr	Louis	HUAULT	Fonction/dysfonctions, imagerie, biomatériaux	58-01
Mme	Mathilde	JACQUEMONT	Parodontologie	57-01
Mme	Clémence	JAECK	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Claudine	KHOURY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Camille	LACAULE	Orthopédie dento-faciale	56-01
Mr	Antoine	LAFITTE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M	Adrien	LASTRADE	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Aude	MENARD	Prothèse dentaire	58-01
M	Florian	PITEU	Prothèse dentaire	58-01
M	Antoine	PEPELUT	Parodontologie	57-01
Mr	Thibaut	ROULLAND	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Rawen	SMIRANI	Parodontologie	57-01
Mr	Clément	VACHEY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M	Paul	VITIELLO	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Sophia	ZIANE	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01

Titre : Influence des thérapeutiques de reminéralisation sur la profondeur de pénétration de l'acide chlorhydrique utilisé lors des protocoles d'érosion-infiltration

Résumé : **Objectif :** L'objectif de ce travail était d'étudier l'impact d'une reminéralisation de 1^{ère} intention préventive ou conservatrice, préalable à la thérapeutique d'érosion-infiltration, sur la profondeur de pénétration de l'acide chlorhydrique utilisé avant la phase d'infiltration résineuse. **Matériel et méthode :** 45 prémolaires extraites pour des raisons orthodontiques, présentant une zone de déminéralisation simulée par mordantage acide, ont été réparties dans 3 groupes différents P1 reminéralisation au Tooth Mousse[®], P2 reminéralisation au Duraphat[®] et T groupe témoin. 5 cycles d'acide chlorhydrique ont été réalisés sur l'ensemble des faces vestibulaires des 45 prémolaires et 2 cycles sur l'ensemble des surfaces palatines/linguales. Les prémolaires ont ensuite été immergées dans du bleu de méthylène. Une évaluation visuelle a permis de relever la présence ou l'absence de coloration ainsi que sa localisation amélaire et/ou dentinaire. Une évaluation numérique a permis de mesurer la profondeur de pénétration du bleu de méthylène grâce au logiciel Image J. **Résultats :** La pénétration du bleu de méthylène dans le groupe P1 Tooth Mousse[®] est significativement inférieure en comparaison aux groupes Duraphat[®] et Témoin. Il n'existe pas de différence significative entre les conditions 2 et 5 cycles pour les groupes Témoin et Tooth Mousse[®] alors qu'une différence significative est notée entre ces 2 conditions dans le groupe Duraphat[®]. **Conclusion :** Le choix du Tooth Mousse[®] en tant qu'agent de reminéralisation avant érosion-infiltration semble impacter la profondeur de pénétration de l'acide chlorhydrique. En présence d'une reminéralisation au Tooth Mousse[®], une infiltration profonde serait pertinente.

Mots clés : hypominéralisation, reminéralisation, résine infiltration, acide chlorhydrique, thérapeutique minimalement invasive.

Title: Influence of remineralization on penetration depth of hydrochloric acid used in resin infiltration treatment.

Abstract: Purpose: The aim of this work was to study the impact of preventive or conservative remineralization, when realized before resin-infiltration procedure, on penetration depth of hydrochloric acid used before application of resin infiltrant. **Material and method:** 45 premolars extracted for orthodontic purpose, exhibiting a demineralization area simulated by acid etching, were divided in 3 different groups P1 Tooth Mousse[®] remineralization, P2 Duraphat[®] toothpaste remineralization, T control group. 5 applications of hydrochloric acid 15% were performed on buccal faces and 2 on palatal or lingual faces. The forty-five tooth were immersed on methylene blue dye. Visual evaluation allowed to assess the presence or absence of blue coloration et its localization (enamel and/or dentin). Then quantitative evaluation was performed by depth coloration measurements using Image J. **Results:** Remineralization using Tooth Mousse[®] allowed significantly lower penetration depth than Duraphat[®] and control groups. No significant difference were highlighted between the 2 and 5 cycle conditions for the Control and Tooth Mousse[®] groups, whereas a significant difference was noted between these 2 conditions in the Duraphat[®] group. **Conclusion:** Choosing Tooth Mousse[®] as remineralization agent before resin-infiltration procedure seems to impact penetration depth of hydrochloric acid. Deep infiltration would be relevant when remineralization using Tooth Mousse[®] has been previously performed.

Keywords: hypomineralization, tooth remineralization, resin infiltration, chlorhydric acid, minimally invasive procedure.

REMERCIEMENTS

A notre Président de thèse

Monsieur le Professeur Raphael DEVILLARD

Habilité à diriger les recherches

Sous-section Odontologie restauratrice & Endodontie 58-01

Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider le jury de cette thèse. C'était pour moi un grand plaisir d'apprendre à vos côtés pendant mes 3 années d'internat. Je vous remercie pour le partage de connaissances, la qualité de vos enseignements ainsi que pour votre accessibilité et votre écoute pendant l'internat. Veuillez trouver ici un témoignage de respect pour vos qualités odontologiques et pédagogiques.

A notre Directrice de thèse

Madame le Docteur Olivia KEROUREDAN

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section Odontologie restauratrice & Endodontie 58-01

Nous vous remercions pour l'honneur que vous nous faites de diriger ma thèse. Vous avez toujours été présente tout au long de mon internat et de la réalisation de ma thèse. Merci pour votre aide, votre disponibilité, votre rigueur, votre gentillesse. Vous m'avez toujours accompagnée dans la bienveillance. Je vous remercie pour vos précieux conseils qui nous ont toujours été d'une grande aide pour l'aboutissement de ce travail.

A mon Rapporteur de thèse

Monsieur le Docteur Jean-François PÉLI
Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Odontologie Conservatrice – Endodontie 58-01

A vous qui m'avez fait l'honneur de juger notre travail en tant que Rapporteur, je vous remercie pour l'honneur que vous me faites et pour l'intérêt que vous portez au sujet. Je vous remercie pour votre implication dans mon internat, pour le temps consacré à nous former dans le cadre du D.U d'endodontie, pour votre écoute et votre volonté de toujours améliorer notre formation.

A mon Assesseur

Monsieur le Docteur Christophe BOU
Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section prévention épidémiologique – Économie de la santé – Odontologie légale 56-02

Je vous remercie d'avoir accepté d'être membre de mon jury de thèse. Je vous remercie pour votre implication dans ce travail de thèse. Vous m'avez énormément aidé à chaque étape du protocole expérimental. Vos conseils ont été précieux et nos échanges enrichissants ont contribué à l'aboutissement de ce travail. Ce fut un plaisir de partager ces heures de laboratoire à vos côtés.

A mon Assesseur

Monsieur le Docteur Jean-François LASSERRE
Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Je vous remercie pour l'honneur que vous me faites de siéger dans mon jury de thèse. Je vous suis reconnaissante pour tout ce que vous m'avez transmis. Mon apprentissage à vos côtés a été très enrichissant. Je vous remercie pour votre investissement à nos côtés, votre gentillesse, votre générosité, tant sur le plan professionnel qu'humain.

Au laboratoires GC

A Laurent BLANC

Je vous remercie pour votre disponibilité. Vous avez toujours été présent pour répondre à mes questions me guider, me renseigner au mieux sur le produit Tooth Mousse. Merci de m'avoir fourni des tubes de Tooth Mousse pour réaliser mes manipulations.

A Ludovic Moreau et toute l'équipe GC France

Au laboratoire DMG :

A Michel PHILIBERT & A Marina Kempf.

Je vous remercie de m'avoir fourni les seringues d'acide chlorhydrique nécessaires à la réalisation de mon protocole expérimental.

Au laboratoire Colgate :

A Mehdi Aït-Lahcen

Je vous remercie pour vos conseils et nos échanges sur mon sujet de thèse.

A mes parents chéris, ces quelques mots ne sauront jamais exprimer toute ma gratitude envers vous. Je ne vous remercierai jamais assez pour votre soutien sans failles. Vous avez toujours été là. Malgré la distance, vous continuez à jouer votre rôle de parents à merveille, toujours présents et bienveillants. Je suis fière de vous avoir comme parents. Vous êtes mes parents, mes confidents, mes amis, mon repère. Je vous aime de tout mon cœur.

Merci pour tous vos sacrifices. J'espère que ce moment d'accomplissement vous rendra fier.

A ma petite sœur, Halima, tu es le rayon de soleil de notre famille, toujours souriante toujours de bonne humeur. Je te remercie petite sœur pour ton soutien. Je suis très fière de toi et j'ai hâte de pouvoir à mon tour assister à ta thèse. On a tout partagé ensemble depuis notre plus jeune âge et ce n'est pas près de s'arrêter. Je t'aime très fort.

A mon mari, Ahmed, merci pour ta présence et ton soutien qui m'ont permis de surmonter tellement d'épreuves. Tu as toujours su m'aider, m'épauler et bien me conseiller et ce depuis la P1 où tu m'as conseillé de passer le concours de dentaire en plus de médecine. Il faut le dire, même si ça m'embête de l'avouer ^^, tu avais raison. Merci pour tous ces moments de vie ensemble et ce n'est que le début ... Je t'aime fort.

Désormais tu pourras profiter du salon sans avoir des dents dans du bleu de méthylène qui traînent.

A mon grand-père, tu as toujours été fier de tes petits enfants toujours le premier à vouloir fêter nos réussites. Alors j'espère qu'on pourra fêter ça très prochainement. Tu me manques énormément. Que Dieu te garde et te protège.

A la mémoire de mes **grands-parents, Jeddi Mustafa, Lalla Zoulikha et Mahbiba**, à vous qui m'avez apporté tellement d'amour, vous êtes partis trop tôt en laissant un énorme vide dans mon cœur. Vous me manquez énormément ...

A ma tante Nora et mon tonton Hassan, à ma grande sœur **Meryem** et mon grand frère **Haytham**. Vous êtes ma 2^{ème} famille, on a tout partagé ensemble et je me rends compte de la chance qu'on a eu de vous avoir. Vous avez toujours été présents pour nous. Votre présence à mes côtés à chaque épreuve de la vie me comble de bonheur. Hâte de vous revoir.

A **Khalou**, sa femme et mes cousins Fati, Marwa et Alae, merci pour les souvenirs d'enfance partagés ensemble

A mes beaux-parents, **M'Barek et Fadma**, merci de m'avoir aussi bien accueilli dans votre famille. Vous m'avez toujours mis à l'aise et veillé à mon bien-être. Un grand merci pour tout votre soutien et votre gentillesse.

A mes belles-sœurs **Latifa, Khadija, Samira, Fatima**, mon beau-frère **Lahcen** et leurs familles. C'est toujours un grand plaisir de partager des moments avec vous.

A mes amies depuis la P1, **Myriam et Mathilde M.** Vous êtes ma plus belle rencontre en P1 et je suis heureuse de vous avoir à mes côtés.

A mes amies de Nantes, **Chachou**, mon année de préparation d'internat aurait été bien différente sans toi. Grâce à toi j'en garde de très bons souvenirs, surtout une belle amitié qui n'est pas près de s'arrêter. **Audrey**, je suis très heureuse d'avoir pu partager l'aventure « internat » et les séminaires avec toi. **Mathilde D. et Lucile**, merci pour votre présence depuis la P2. Merci à vous 4 pour tout ce qu'on a partagé depuis toutes ces années.

A mes 2 co-internes de qualité, **Mathilde J. et Yannis**. L'internat aurait été bien différent et triste sans vous. **Mathilde** tu as toujours été la « maman » qui nous a si bien accueilli en 1^{ère} année, de très bons conseils, tu as veillé sur nous. **Yannis**, tu étais un allié pour les différentes épreuves de l'internat. Je retiens de ces années à vos côtés beaucoup de rires et de partages.

A mes co-internes d'orthodontie, **Myriam, Nath, Hélène et Manon**, merci de m'avoir accompagnée dans cette aventure d'internat bordelais.

A mes binômes, **Ana Estrade, Adrien Coquilhat, Adrien Laran** qui m'ont aidé à mener à bien mes plans de traitement. Merci pour votre présence. Merci à Adrien C. pour les prémolaires.

A tous les internes de chirurgie, **Xavier, Sophie, Chloé, Paul**, et chirurgiens-dentistes, **Dr Culot, Dr Poubeau**, qui m'ont aidé à collecter les prémolaires.

A **Anissa et Bilal**, voisins et amis, vous avez rendu le confinement plus paisible par votre présence. C'est un plaisir de vous avoir à nos côtés et de voir le petit Adam grandir.

A **Antoine Popelut**, merci de nous avoir formé pendant l'internat. C'était un honneur d'avoir pu apprendre à tes côtés.

A **Séverine, Sésé**, l'inspiration me manque pour rédiger ton poème en alexandrin mais promis il sera prêt pour ton pot de départ... Merci pour ton enseignement endodontique de qualité toujours dans la bonne humeur.

A **Walid Boujema**, je te remercie pour ton investissement, ton implication, ta volonté de transmettre. J'ai énormément appris à tes côtés.

A tous les enseignants et assistants qui m'ont formée, Dr **D'Incau Emmanuel**, Dr **Marteau Jean-marie**, Dr **Vivien Poubeau**, Dr **Hubert Chauveau**, Dr **François Rouzé l'Alzit**, Dr **Aude Menard**, Dr **Mathilde Fénelon**, Dr **Yves Delbos**, Dr **Aussel Audrey**, Dr **Elsa Garot**, Dr **Adrien Naveau**.

A toute l'équipe pédagogique et mes enseignants de Nantes qui m'ont formée pendant mon externat.

Aux équipes d'infirmières, de prothésistes, de secrétaires, d'aides-soignantes et d'agents de services hospitaliers pour le réel plaisir d'avoir travaillé en collaboration avec eux.

TABLE DES ABREVIATIONS

CPP-ACP	Phosphopeptide de Caséine - Phosphate de calcium amorphe.
WSLs	White Spot Lesions
EAPD	European Academy of Paediatric Dentistry
ANSM	Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé
TEGDMA	Triéthylène glycol diméthacrylate
JAD	Jonction Amélo-Dentinaire
HA	Hydroxyapatite
fTCP	functional Tricalcium Phosphate
CPP-ACFP	Caséine phosphopeptide et phosphate de calcium amorphe et fluor
PEI	Porte-empreinte individuel
JEC	Jonction Email/Cément.
TSIF	Tooth surface index of fluorosis
ATCD	Antécédents
MIH	Molar incisor hypomineralisation

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : PHOTOGRAPHIES ENDO-BUCALES MONTRANT LA PRESENCE DE WHITE SPOT LESIONS A LA SUITE DE LA DEPOSE D'UN SYSTEME MULTI-ATTACHE ORTHODONTIQUE (CREDIT PHOTO : OLIVIA KEROUREDAN / MATHILDE JACQUEMONT)	16
FIGURE 2 : PHOTOGRAPHIE DU SOURIRE (A GAUCHE), ET ENDO-BUCCALE (DROITE) MONTRANT DES LESIONS BLANCHES SYMETRIQUES SUR 11/21/13 ET 23 EVOQUANT UNE FLUOROSE (CREDIT PHOTO : IMANE RAMDANI / OLIVIA KEROUREDAN)	17
FIGURE 3 : PHOTOGRAPHIES ENDO-BUCALES MONTRANT DES LESIONS BLANCHES SUR LES INCISIVES CENTRALES MAXILLAIRES 11 ET 21 ET UNE TACHE BRUNATRE SUR L'INCISIVE LATERALE MANDIBULAIRE DROITE 42 (DIAGNOSTIC MIH ETABLI CLINIQUEMENT AVEC ATTEINTE DES MOLAIRES EN PLUS DES INCISIVES) (CREDIT PHOTO : OLIVIA KEROUREDAN / ANA ESTRADA).....	19
FIGURE 4 : CLASSEMENT DES THERAPEUTIQUES DE RESTAURATION SELON UN GRADIENT DU MOINS MUTILANT AU PLUS MUTILANT ..	24
FIGURE 5 : MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A BALAYAGE DE L'EMAIL DE MOLAIRES ATTEINTES DE MIH A) A T0 AVEC UN GROSSISSEMENT X1000, B) A T0 AVEC UN GROSSISSEMENT X500 C) APRES REMINERALISATION AVEC UN GROSSISSEMENT X1000 D) APRES REMINERALISATION AVEC UN GROSSISSEMENT X500. BARONI & COL. (18)	32
FIGURE 6 : MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A BALAYAGE DE BIOPSIE D'EMAIL DE MOLAIRES ATTEINTES DE MIH A) A T0 AVEC UN GROSSISSEMENT X2000, B) A T0 AVEC UN GROSSISSEMENT X20000 C) APRES REMINERALISATION AVEC UN GROSSISSEMENT X2000 D) APRES REMINERALISATION AVEC UN GROSSISSEMENT X20000. BARONI & COL. (18)	33
FIGURE 7 : A) EMAIL SAIN : INDICE DE REFRACTION UNIQUE CELUI DE L'HYDROXYAPATITE EGAL A 1,62. DANS CE CAS, LA TEINTE DE LA DENT EST OBTENUE PAR REFRACTION DU FAISCEAU LUMINEUX A LA SURFACE DE LA DENT ET SA REFLEXION A LA JONCTION AMELO-DENTINAIRE (JAD). B) EMAIL HYPOMINERALISE : LA MULTIPLICITE DES CHANGEMENTS D'INTERFACES LIQUIDE/HA ET DONC D'INDICE DE REFRACTION FAIT QU'A CHAQUE INTERFACE LE FAISCEAU EST DEVIE ET REFLECHI. L'EMAIL HYPOMINERALISE SE COMPORTE COMME UN " LABYRINTHE OPTIQUE APPARAISSANT A NOS YEUX BLANC/OPAQUE. MAUD DENIS & COL. (1)	37
FIGURE 8 : A) PHOTOGRAPHIE PRE-OP, B) CHOIX DE LA TEINTE, C) MISE EN PLACE DU CHAMP OPERATOIRE (DIGUE MULTIPLE), D) ÉLIMINATION SUPERFICIELLE DE LA LESION, E) APPLICATION D'ACIDE CHLORHYDRIQUE, F) APRES 2 CYCLES D'ATTAQUE ACIDE, G) APRES INFILTRATION RESINEUSE, H) PHOTOGRAPHIE POST-OPERATOIRE A LA DEPOSE DE LA DIGUE JO.	41
FIGURE 9 : EXEMPLE DE PHOTOGRAPHIE OBTENU EN PRE-OPERATOIRE AVEC LE BINOCULAIRE	43
FIGURE 10 : LES ETAPES DE MANIPULATION : A) PREMOLAIRES AVANT POLISSAGE, B) POLISSAGE A L'AIDE D'UNE BROSSETTE MONTÉE SUR PIÈCE À MAIN ET DE LA PONCE, C) PHOTOGRAPHIES POST-POLISSAGE, D) APPLICATION D'UN VERNIS SUR TOUTE LA SURFACE AMÉLAIRE CORONAIRE	44
FIGURE 11 : SCHEMA MONTRANT LES DIFFERENTES PHASES DE PREPARATIONS DE LA DENT AVANT REMINERALISATION	45
FIGURE 12 : E) DOUBLE ÉPAISSEUR DE CIRE SUR TOUTE LA SURFACE AMÉLAIRE CORONAIRE, F) RÉALISATION D'UNE FENÊTRE ENGLOBANT UNE DES FACES PROXIMALES, G) MORDANÇAGE 1 MIN, H) MISE EN PLACE DE LA CIRE SUR LA FACE PROXIMALE MANQUANTE.....	46
FIGURE 13 : LES ETAPES DE MANIPULATION : I : PHASE DE REMINERALISATION AU TOOTH MOUSSE, J : PHASE DE REMINERALISATION AU DENTIFRICE DURAPHAT, K : PHASE D'ÉROSION À L'ACIDE CHLORHYDRIQUE, L : APPLICATION D'ACÉTONE POUR ÉLIMINER LES RÉSIDUS DE CIRE ET DE VERNIS AVANT IMMERSION DANS LE BLEU DE MÉTHYLENE	47
FIGURE 14 : PHOTOGRAPHIES MONTRANT LES DENTS APRES INCLUSION EN BLOC DE RESINE	47
FIGURE 15 : UTILISATION DU MICROTOME POUR LA RÉALISATION DES COUPES VESTIBULO-LINGUALES LONGITUDINALES.....	48

<i>FIGURE 16 : SYSTEME POUR PHOTOGRAPHIER LES LAMES</i>	49
<i>FIGURE 17 : PHOTOGRAPHIES PRISES AU BINOCULAIRE, MONTRANT LA PENETRATION DU BLEU DE METHYLENE DANS LA DENT TEST NON REMINERALISEE (DENT TEST) AYANT SUBI PLUSIEURS CYCLES DE DEMINERALISATION PREALABLES</i>	49
<i>FIGURE 18 : MESURES DES PROFONDEURS DE PENETRATION DU BLEU DE METHYLENE, A GAUCHE DEFINITION DE L'ECHELLE SUR IMAGE J, A DROITE MESURE DE LA PROFONDEUR DE PENETRATION</i>	50
<i>FIGURE 19 : FREQUENCE DE PENETRATION DU BLEU DE METHYLENE AU SEIN DES TROIS GROUPES POUR LA "CONDITION 2 CYCLES" (A GAUCHE) ET LA "CONDITION 5 CYCLES" (A DROITE)</i>	51
<i>FIGURE 20 : MOYENNES DES PROFONDEURS DE PENETRATION ET ECART-TYPES POUR LES TROIS GROUPES AU SEIN DE LA "CONDITION 2 CYCLES" (NS : NON SIGNIFICANT ; *P : P<0.05 ; **P<0.01)</i>	52
<i>FIGURE 21 : MOYENNES DES PROFONDEURS DE PENETRATION ET ECART-TYPES POUR LES TROIS GROUPES AU SEIN DE LA "CONDITION 5 CYCLES" (NS : NON SIGNIFICANT ; *P : P<0.05 ; ****P<0.0001)</i>	53
<i>FIGURE 22 : MOYENNES DES PROFONDEURS DE PENETRATION ET ECART-TYPES POUR LES TROIS GROUPES AU SEIN DES "CONDITION 2 CYCLES" ET "CONDITION 5 CYCLES" (NS : NON SIGNIFICANT ; *P : P<0.05)</i>	54
<i>FIGURE 23 : EXEMPLE D'UNE COUPE OU LA PENETRATION DU BLEU DE METHYLENE N'EST PAS PRISE EN COMPTE CAR LIEE A LA PRESENCE DE FELURES</i>	58
<i>FIGURE 24 : EXEMPLE D'UNE DENT PRESENTANT UNE POROSITE TRES IMPORTANTE AVEC UNE PROFONDEUR DE PENETRATION EXTREME PAR RAPPORT AUX AUTRES DENTS</i>	59

LISTE DES TABLEAUX

<i>TABLEAU 1 : LES DIFFERENTES ETIOLOGIES DES TACHES BLANCHES ET LEURS PREVALENCES</i>	15
<i>TABLEAU 2 : TABLEAU DATANT LES DIFFERENTES PHASES DE LA MISE EN PLACE DU GERME A L'ERUPTION POUR L'ENSEMBLE DES DENTS DE L'ARCADE ET PERMETTANT DE DATER LA PERIODE D'INTOXICATION AU FLUOR EN CAS DE FLUOROSE (1)</i>	18
<i>TABLEAU 3 : DIFFERENTES ETIOLOGIES DES TACHES BLANCHES, LEURS CARACTERISTIQUES ET LEURS THERAPEUTIQUES « D'APRES MAUD DENIS, JEAN PIERRE ATTAL & COL. » (1)</i>	23
<i>TABLEAU 4 : LES VERNIS FLUORES DISPONIBLES ET COMMERCIALISES EN FRANCE, ADAPTE DE MULLER ET AL (10)</i>	27
<i>TABLEAU 5 : LES CREMES COMMERCIALISEES CONTENANT DU CPP-ACP</i>	30
<i>TABLEAU 6 : PROFONDEURS DE PENETRATION MESUREES DANS LES 3 DIFFERENTS GROUPES AVEC OU SANS REMINERALISATION (EN MM)</i>	51

TABLE DES MATIERES

I - INTRODUCTION	15
I.1. Les différentes étiologies des taches blanches	15
I.1.1. Les lésions pré-carieses ou White spot lesions (WSLs)	15
I.1.2. Les perturbations de l'amélogénèse	17
a) Fluorose	17
b) MIH : Hypominéralisation Molaire Incisive	19
c) Hypominéralisation traumatique	21
I.2. Les thérapeutiques des lésions blanches	24
I.2.1. La reminéralisation amélaire	24
a) Le fluor	25
b) Les reminéralisants calcium et phosphate based : fTCP, ACP et CPP-ACP	28
I.2.2. Éclaircissement dentaire	33
I.2.3. Érosion/infiltration	33
I.2.4. Micro-abrasion	34
I.2.5. Stratification de composite et facettes	35
I.3. L'érosion-infiltration	36
I.3.1. Définition et principes (mécanique et optique)	36
a) L'érosion-infiltration face à l'adhésion	36
b) L'érosion-infiltration face aux propriétés optiques	36
c) L'érosion-infiltration et les propriétés mécaniques	37
I.3.2. L'érosion-infiltration : caractéristiques microscopiques	38
I.3.3. Indications de l'érosion-infiltration et l'érosion-infiltration profonde	39
I.3.4. Composition du seul produit d'érosion-infiltration commercialisé : ICON	39
I.3.5. Protocole d'érosion-infiltration (ICON)®	40
I.4. Objectif du travail	42
II- Matériels et méthodes	43
II.1. Établissement du protocole expérimental <i>in vitro</i>	43
II.2. Collecte des échantillons	43
II.3. Traitement des échantillons	44
II.4. Définition de l'axe et de l'épaisseur de coupe	47
II.4.1. Définition de l'axe de coupe	47
II.4.2. Définition des épaisseurs de coupe	48
II.5. Observation au binoculaire	48
II.6. Analyses d'images	49
II.7. Analyses statistiques	50
III- Résultats	50
III.1. Pénétration du bleu de méthylène	50
III.2. Comparaison des groupes expérimentaux pour la « Condition 2 cycles » (P/L)	52
III.3. Comparaison des groupes expérimentaux pour la « Condition 5 cycles » (V)	53
III.3. Comparaison des « Condition 2 cycles » et « Condition 5 cycles » pour chaque groupe expérimental	54
IV- Discussion	55
V- Conclusion	62
BIBLIOGRAPHIE	63

I - INTRODUCTION

Les taches blanches sont d'un point de vue histologique des hypominéralisations amélaire responsables de leur aspect blanchâtre typique (1). Ces hypominéralisations se traduisent localement par une diminution de la phase minérale compensée par une augmentation de la phase aqueuse et organique. Il s'agit d'un amoindrissement de la phase minérale qui reste qualitativement normale (2).

I.1. Les différentes étiologies des taches blanches

Deux familles de défauts de structure amélaire se traduisant par des taches blanches peuvent être distinguées : les caries débutantes ou white spot lésions (lésions blanches) et les pathologies de l'amélogénèse, telles que les fluoroses, les hypominéralisations traumatiques et les MIH (Tableau 1).

DEFAUTS DE MINERAUX			
Perte de minéraux liée à une activité bactérienne Lésions post-éruptives	Défaut de minéraux lié à un défaut de structure amélaire, et non à une activité bactérienne Lésions pré-éruptives		
Carie débutante ou WSL	Fluorose	Hypominéralisation traumatique	MIH
<u>Prévalence 24%</u> <i>Hescot et Roland 1998</i>	<u>Prévalence 5,2%</u> <i>Andreasen 1971,</i> <i>De Amori 2011</i>	<u>Prévalence 2,75%</u> <i>Weerheijm 2003,</i> <i>Crombie 2008</i>	<u>Prévalence 3 à 25%</u> <i>Kukleva 2002,</i> <i>Bishara 2008</i>

Tableau 1 : Les différentes étiologies des taches blanches et leurs prévalences

I.1.1. Les lésions pré-carieuses ou White spot lesions (WSLs)

L'émail dentaire est composé à 96% de phase minérale essentiellement constituée d'hydroxyapatite organisée en réseaux de cristaux d'hydroxyapatite de calcium ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). A pH neutre, la salive contient des ions Ca^{2+} et PO_4^{3-} maintenant un équilibre déminéralisation/reminéralisation. Le métabolisme du biofilm cariogène en

présence de carbohydrates fermentables va avoir pour conséquence une diminution du pH (3). Les acides vont entraîner une dissolution de la surface amélaire (4). Les white spot lesions (WSL) constituent le premier signe clinique visible de cette déminéralisation amélaire (Figure 1).



Figure 1 : Photographies endo-buccales montrant la présence de white spot lesions à la suite de la dépose d'un système multi-attache orthodontique (Crédit photo : Olivia Kérourédan / Mathilde Jacquemont)

Les WSLs sont des lésions caractérisées par une surface externe intacte et une déminéralisation sous-jacente. La dissolution progressive de la phase minérale se fait préférentiellement le long des zones de faiblesse de la phase cristalline (*c'est-à-dire en longueur le long des prismes et en largeur le long des stries de Retzius*) créant un niveau de porosité au niveau du "corps" de la lésion, tout en maintenant sa surface relativement intacte (2). Lorsque le déficit minéral atteint 10% par rapport à l'émail sain, la lésion devient visible cliniquement. L'émail atteint est alors blanc-crayeux, de taille et de forme variables avec des contours plus ou moins diffus et une surface rugueuse, poreuse et opaque (5). Il s'agit du stade initial de la maladie carieuse, non cavitaire et asymptomatique. Ce déficit minéral peut aller jusqu'à plus de 40% à un stade avancé (1).

La fréquence d'apparition des leucomes est plus importante en présence d'un traitement orthodontique fixe favorisant la rétention de plaque. En moyenne, ces lésions sont retrouvées chez 15,5 % à 40 % des patients avant le début d'un traitement orthodontique et chez 30-70 % au cours du traitement (6). Il a été rapporté dans l'étude de Bishara et Ostby, qu'à la suite du collage de brackets orthodontiques, un changement de la composition de la plaque avec une augmentation de bactéries acidogènes, telles que *Streptococcus Mutans* et *Lactobacillus*, était observée entraînant une baisse du pH (7).

Les facteurs favorisant l'apparition de taches blanches post-orthodontiques sont (8):

- Une mauvaise hygiène bucco-dentaire

- Un mordançage > 15 secondes au niveau de l'émail lors du collage de brackets durant le traitement orthodontique
- Une consommation importante de glucides non fermentescibles
- Un excès de résine de collage durant le traitement orthodontique
- Une durée de traitement orthodontique prolongée.

En parallèle des WSLs en lien avec l'activité bactérienne, certaines taches blanches sont dites post-éruptives car liées à un défaut de structure amélaire intervenant au cours du développement des dents définitives.

I.1.2. Les perturbations de l'amélogénèse

Ces phénomènes affectent principalement l'organe dentaire au cours du stade de post-sécrétion, généralement avant l'âge de 3 ans. Ils entraînent un défaut de l'émail à la fois qualitatif et quantitatif. Trois pathologies pré-éruptives sont à l'origine de porosités amélaire accrues : la fluorose, l'hypominéralisation molaire-incisive (MIH) et l'hypominéralisation traumatique.

a) Fluorose

Il s'agit d'un défaut d'amélogénèse dû à une incorporation trop importante de fluorures au niveau de l'émail lors de sa formation entraînant une hypominéralisation (9). En effet, les fluorures ont une action directe sur les améloblastes sécréteurs. Ces actions sont dose-dépendantes (10). Classiquement, elle apparaît pour des apports journaliers en fluorures $\geq 0,1$ mg/kg/jour. Le tableau clinique de la fluorose peut aller de la simple hypominéralisation (taches blanches) à des hypoplasies secondaires (Figure 2).



Figure 2 : Photographie du sourire (à gauche), et endo-buccale (droite) montrant des lésions blanches symétriques sur 11/21/13 et 23 évoquant une fluorose (Crédit photo : Imane Ramdani / Olivia Kérourédan)

La prévalence de la fluorose varie entre 4 et 70% en fonction des régions (11).

Macroscopiquement, ces lésions correspondent à des altérations polymorphes de couleurs variables : blanc crayeux, marron, brun. La perte de substance associée n'est pas un facteur constant, ce qui explique un état de surface pouvant être lisse (état de surface intact) ou rugueux (état de surface altéré avec perte de substance par endroits) (12). Les atteintes sont symétriques mais de sévérité variable. Seuls les fluorures sont capables de causer des opacités diffuses, généralisées à plusieurs groupes de dents, et des atteintes symétriques des dents homologues (8).

En fonction du type de dents atteintes, il est possible de dater la période d'intoxication (Tableau 2).

	Central incisor/ <i>Incisive centrale</i>	Lateral incisor/ <i>Incisive latérale</i>	Canine/ <i>Canine</i>	First premolar/ <i>Première prémolaire</i>	Second premolar/ <i>Seconde prémolaire</i>	First molar/ <i>Première molaire</i>	Second molar/ <i>Deuxième molaire</i>	Third molar/ <i>Troisième molaire</i>
Development of the bud/ <i>Mise en place du germe</i>	5th month IU/ <i>5^e mois IU</i>	5th month IU/ <i>5^e mois IU</i>	5th month IU/ <i>5^e mois IU</i>	Birth/ <i>Naissance</i>	9 to 12 months/ <i>9 à 12 mois</i>	4th month IU/ <i>4^e mois IU</i>	9 to 12 months/ <i>9 à 12 mois</i>	5 to 6 years/ <i>5 à 6 ans</i>
Initial mineralisation/ <i>Début de minéralisation</i>	3 months/ <i>3 mois</i>	6 months/ <i>6 mois</i>	6 to 9 months/ <i>6 à 9 mois</i>	2 yrs/ <i>2 ans</i>	3 yrs/ <i>3 ans</i>	Birth/ <i>Naissance</i>	2 ¹ / ₂ yrs/ <i>2¹/₂ ans</i>	7 to 10 yrs/ <i>7 à 10 ans</i>
Crown completed/ <i>Achèvement de la couronne</i>	4 to 5 yrs/ <i>4 à 5 ans</i>	5 yrs/ <i>5 ans</i>	6 yrs/ <i>6 ans</i>	6 to 7 yrs/ <i>6 à 7 ans</i>	6 to 8 yrs/ <i>6 à 8 ans</i>	3 to 4 yrs/ <i>3 à 4 ans</i>	8 yrs/ <i>8 ans</i>	13 to 15 yrs/ <i>13 à 15 ans</i>
Eruption/ <i>Éruption</i>	6 to 7 yrs/ <i>6 à 7 ans</i>	7 to 8 yrs/ <i>7 à 8 ans</i>	11 to 12 yrs/ <i>11 à 12 ans</i>	10 to 12 yrs/ <i>10 à 12 ans</i>	11 to 12 yrs/ <i>11 à 12 ans</i>	6 yrs/ <i>6 ans</i>	12 to 13 yrs/ <i>12 à 13 ans</i>	17 yrs and <i>+17 ans et +</i>

Tableau 2 : Tableau datant les différentes phases de la mise en place du germe à l'éruption pour l'ensemble des dents de l'arcade et permettant de dater la période d'intoxication au fluor en cas de fluorose (1).

D'un point de vue histopathologique, les taches blanches fluorotiques où l'émail de surface est intact ne concerne que les stades les moins sévères de la fluorose. En effet, dans les stades les plus sévères, l'émail fluorotique fracture sous l'effet des contraintes (13).

Plusieurs caractéristiques peuvent être relevées :

- Un émail de surface hyperminéralisé
- Une hypominéralisation de subsurface qui ne concerne que la partie externe de l'émail.
- Une trame minérale non perturbée
- Une augmentation de la porosité le long des espaces inter-prismatiques liée à une diminution du nombre de cristaux
- Une taille de cristaux non perturbée.

b) MIH : Hypominéralisation Molaire Incisive

La MIH est définie comme un défaut qualitatif de l'émail d'origine systémique touchant 1 à 4 premières molaires permanentes, associée ou non à une atteinte des incisives (14).

Ce sont des atteintes asymétriques avec des degrés de sévérité d'atteinte qui peuvent être très différents pour un même patient (15) (Figure 3).

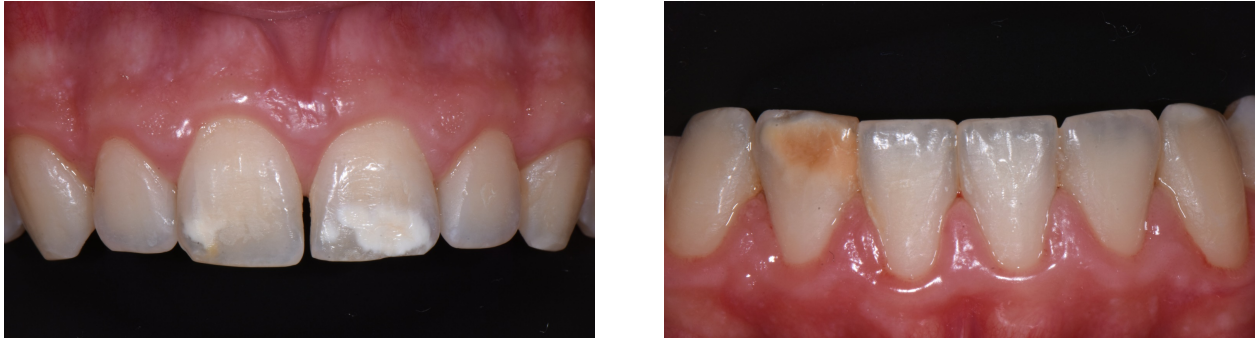


Figure 3 : Photographies endo-buccales montrant des lésions blanches sur les incisives centrales maxillaires 11 et 21 et une tache brunâtre sur l'incisive latérale mandibulaire droite 42 (diagnostic MIH établi cliniquement avec atteinte des molaires en plus des incisives) (Crédit photo : Olivia Kérourédan / Ana Estrade)

La MIH est d'origine multifactorielle, nécessitant donc un questionnaire médical détaillé soumis aux parents et une consultation rigoureuse du carnet de santé de l'enfant. Des corrélations entre la MIH et des facteurs systémiques/environnementaux à la naissance ou au cours des premières années de développement ont été mises en évidence (16). La formation de l'émail des premières molaires débute au 3^e trimestre de grossesse et se termine vers l'âge de 3 ans, elle peut ainsi être impactée par la survenue des facteurs suivants au cours des 3 premières années :

- Accouchements prématurés
- Problèmes respiratoires, asthme
- Problèmes cardiaques
- Infection : otite, amygdalite
- Virus : rubéole, rougeole, varicelle.

En se basant sur les critères de Weerheijm & Col., la prévalence de la MIH est estimée entre 4 et 25% (15).

D'un point de vue histologique, les analyses structurales au microscope électronique à balayage (MEB) ont mis en évidence une porosité allant de 5 à 25%. Plus la lésion est

opaque, plus le degré de porosité est élevé (17). L'émail cliniquement sain d'une dent hypominéralisée perd partiellement son organisation prismatique. Les cristaux des prismes ont des extrémités plus arrondies. Cependant, aucune altération structurelle n'est pas à noter à ce stade.

L'émail avec des lésions d'hypominéralisation présente des défauts structurels en plus de la perte de son organisation prismatique. Des fissures aléatoires délimitent alors différents plans dans l'espace. Plus la lésion est opaque plus les fissures sont plus importantes (17). Les dents atteintes de MIH, à travers des études au microscope électronique, montrent un faible pourcentage en ions calcium et phosphate laissant place principalement à des ions magnésium et carbone (18). Une diminution de 20% de la densité minérale est observée (19).

L'hypominéralisation des MIH débute à la jonction amélo-dentinaire (1) :

- Pour une MIH légère : hypominéralisation circonscrite au 1/3 interne amélaire (les 2/3 externes relativement intacts) : un traitement minimalement invasif avec préservation tissulaire est compliqué dans ce cas rendant le protocole d'érosion-infiltration inadéquat.
- Pour une MIH sévère : l'ensemble de l'épaisseur amélaire est hypominéralisée => thérapeutiques restauratrices complexes.

Pour établir le diagnostic de MIH, il faut garder à l'esprit que l'implication des incisives reste secondaire à celle des molaires. Une atteinte des incisives seules ne permet pas de diagnostiquer une MIH. C'est la sévérité de l'atteinte des molaires qui induit bien souvent une atteinte des incisives.

Le diagnostic est basé sur la présence d'un ou plusieurs éléments suivants :

- Présence d'opacités amélares bien délimitées (blanc crayeux ou jaune/marron/brun) entraînant une altération de la translucidité amélaire. Les opacités jaunes/marrons semblent présenter une dureté de Knoop faible et une porosité plus importante que les opacités blanches ou l'émail sain selon Jälevik & Col. (20). Ces opacités sont souvent situées au niveau du 1/3 coronaire ou incisal.

- Éclats amélaire ou fractures amélaire au cours de la période post-éruptive (=post-eruptive breakdown) menant parfois à une exposition dentinaire post-éruptive liée aux forces masticatoires.
- Restaurations atypiques: échec des précédentes restaurations ou restaurations sur incisives sans ATCD de traumatismes.
 - Formes et tailles non conformes à la carie
 - Restaurations incluant souvent les faces vestibulaires et linguales
 - Les bords de ces restaurations présentent souvent des opacités.
- Extraction prématurée des premières molaires permanentes
- Hypersensibilité accrue aux soins et difficulté d'anesthésie : provoquant une forte anxiété aux soins. Le brossage également peut être perçu comme une épreuve difficile et douloureuse.

c) Hypominéralisation traumatique

Il s'agit d'une séquelle de la dent permanente suite à un traumatisme du parodonte de la dent temporaire, au vu du lien étroit entre l'apex radiculaire des dents lactéales antérieures et le germe des dents permanentes. En effet, au niveau des incisives, dents les plus concernées par les traumatismes, une fine épaisseur de barrière osseuse (- de 3 mm) ou parfois un simple tissu conjonctif sépare les 2 dentures. Ce sont des séquelles d'apparition sporadique sans lien avec la gravité du traumatisme (21). Les traumatismes en cause peuvent être de type : concussion, intrusion, extrusion, subluxation, luxation, expulsion/extraction. Cependant une prévalence plus importante d'apparition de défauts amélaire a été notée dans les cas d'intrusion des dents temporaires (22).

Une coloration amélaire et/ou hypoplasie amélaire sont souvent observées pour les traumatismes survenus entre 1 et 2 ans. C'est la perturbation du stade de maturation des améloblastes qui aboutit à l'hypominéralisation traumatique associée ou non à une hypoplasie amélaire. La prévalence de l'hypominéralisation traumatique est estimée à 5,2 % (1).

A l'échelle macroscopique, le diagnostic met en évidence une grande variété d'expressions cliniques en termes de forme, contour, teinte. Souvent ce sont des atteintes ponctiformes isolées asymétriques atteignant le 1/3 incisal des couronnes. Cependant, des atteintes des

dents antagonistes mandibulaires peuvent y être associées. Son diagnostic reste un diagnostic d'exclusion.

A l'échelle microscopique, il est rapporté :

- Une hypominéralisation ressemblant à celle des WSL et fluorose
- Une hypominéralisation de subsurface sous une surface amélaire intacte.
- Des failles inter-prismatiques répétées à l'origine de la perturbation de la trajectoire du rayon lumineux.
- Une expression variable de l'hypominéralisation :
 - Soit elle s'étend sous toute la surface amélaire avec un angle obtus (idem que pour les WSL et fluorose)
 - Soit elle possède une morphologie circulaire formant des angles aigus par rapport à la surface amélaire.

En conclusion, les taches blanches peuvent avoir des étiologies différentes. Il est important de bien connaître ces diverses étiologies et leurs caractéristiques pour réaliser le bon diagnostic. En effet, en fonction de l'étiologie, la topographie de l'hypominéralisation est différente et va dicter notre choix thérapeutique (Tableau 3).




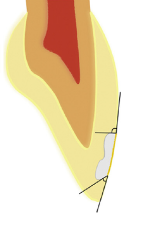
<p style="text-align: center;"><u>WSL</u></p> 	<p>Évolution en subsurface selon un angle obtus.</p>	<p>Toute la surface de la lésion est accessible par la résine d'infiltration lors de l'érosion/infiltration.</p>
<p style="text-align: center;"><u>Fluorose</u></p> 	<p>Topographie et angulation similaires aux WSL. Son étendue à toute la surface de l'émail est variable.</p>	<p>Éclaircissement ambulatoire + érosion infiltration peut être une thérapeutique <i>a minima</i> efficace.</p>
<p style="text-align: center;"><u>MIH</u></p> 	<p>MIH légère constitue un obstacle au traitement à minima</p>	<p>Erosion-infiltration non indiquée / ou alors une infiltration en profondeur par légère mutilation amélaire initiale pour accéder au plafond de la lésion.</p>
<p style="text-align: center;"><u>Hypominéralisation traumatique</u></p> 	<p>Topographie en subsurface mais avec des angulations pouvant être différentes par rapport à la surface amélaire rendant l'érosion infiltration non prédictible.</p>	<p>Angulation obtuse : érosion-infiltration efficace. Angulation aiguë : érosion infiltration incomplète avec un effet bord parfois plus disgracieux que la tâche elle-même.</p>

Tableau 3 : Différentes étiologies des taches blanches, leurs caractéristiques et leurs thérapeutiques « d'après Maud Denis, Jean pierre Attal & Col. » (1)

I.2. Les thérapeutiques des lésions blanches

Les thérapeutiques en odontologie conservatrice sont régies par la règle du gradient thérapeutique (Figure 4). En fonction de l'importance de la lésion, et afin de répondre de façon adéquate à la demande des patients, les traitements seront évalués du moins invasif au plus invasif selon le schéma ci-dessous, développé par Jean-Pierre Attal et Gil Tirlet (23). C'est un principe qui a été décrit par Magne et Belser sous le nom de « puzzle physiologique » (24).

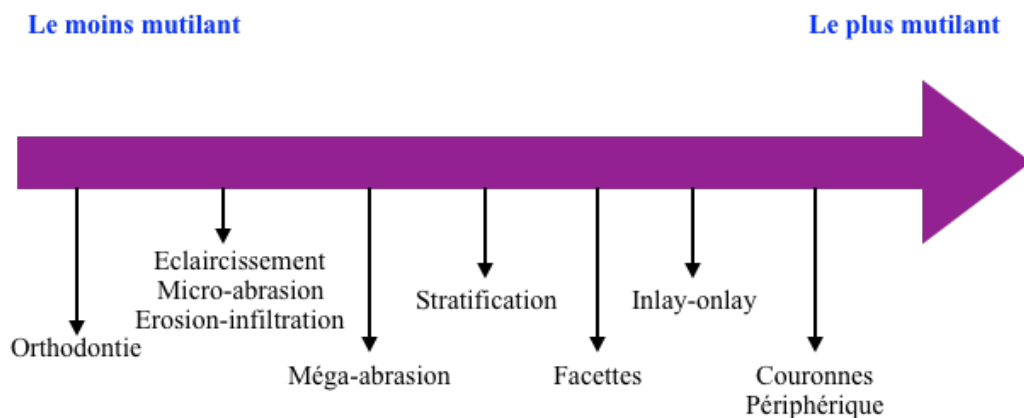


Figure 4 : Classement des thérapeutiques de restauration selon un gradient du moins mutilant au plus mutilant

Le traitement des dents antérieures est relié à une dimension esthétique. Le but du traitement est de répondre à la demande des patients, tout en préservant au mieux les tissus dentaires. Le risque carieux doit être maîtrisé par les thérapeutiques mises en œuvre permettant d'obtenir une pérennité esthétique et fonctionnelle des résultats. Généralement, une combinaison de plusieurs thérapeutiques est nécessaire pour répondre de façon satisfaisante à la situation clinique observée lors des défauts de structure amélaire.

I.2.1. La reminéralisation amélaire

Il s'agit de la première étape à envisager devant un diagnostic de caries débutantes de type WSL sans doléances esthétiques après traitement orthodontique. La reminéralisation peut être également mise en place pendant le traitement orthodontique pour prévenir

l'apparition de WSL. Elle peut être associée à d'autres thérapeutiques telles que l'éclaircissement, la micro-abrasion ou encore l'érosion/infiltration.

a) Le fluor

Les ions fluor jouent un rôle dans la prévention des caries dentaires en modifiant le métabolisme bactérien de la plaque dentaire, en altérant la composition de la flore bactérienne et/ou en altérant l'activité métabolique des micro-organismes, diminuant ainsi la déminéralisation et favorisant la reminéralisation (25).

a.1) Les dentifrices fluorés

L'effet protecteur des dentifrices fluorés (fluorure de sodium, monofluorophosphate, fluorure d'étain, Olafluor, Fluorinolge) est obtenu pour des concentrations supérieures à 1000 ppm. Les dentifrices à plus forte teneur en fluor sont plus efficaces (26).

Les dentifrices fluorés 5000 ppm (Duraphat), en utilisation bi-quotidienne, sont plus efficaces que les formulations classiques. Cependant, ces derniers ne peuvent être prescrits que chez les patients de plus de 16 ans. Certains auteurs (Heymann et Grauer) préconisent une seule utilisation quotidienne, plutôt le soir, de ces dentifrices (3).

Pour le traitement des WSL, surtout associées à la mise en place d'un système multi-attaches orthodontique, il est important d'observer une phase de prévention à travers :

- Un enseignement de l'hygiène alimentaire avec limitation de la consommation de sucres
- Un enseignement à l'hygiène bucco-dentaire (brosse à dent électrique ++ ou irrigation quotidienne associée à un brossage manuel)
- Un débridement mécanique 3 fois par an au cours d'un traitement orthodontique afin de diminuer la charge bactérienne
- Un polissage des parties coronaires des dents au cours du traitement orthodontique, à l'aide de brochettes ou cupules en silicone associées à des pâtes à polir avec fluorure à granulométrie décroissante, empêchant ainsi la rétention des bactéries
- Une réévaluation de la motivation du patient de son hygiène orale à chaque rendez-vous au cours du traitement orthodontique.

L'utilisation de dentifrice fluoré seul ne suffit pas à prévenir l'apparition des leucomes, malgré la présence d'une bonne hygiène bucco-dentaire (27).

a.2) Les bains de bouche fluorés

Les solutions fluorées à 0,05% de NaF, sont des solutions renfermant près de 230 ppm de fluor. Elles sont recommandées par plusieurs auteurs en usage quotidien, le soir (28). Elles réduisent significativement la formation de WSLs sous les brackets. Elles peuvent être associées à la Chlorhexidine, Triclosan et Zinc pour améliorer l'effet cariostatique (29). Geinger & col ont noté une diminution de 25% des WSL en utilisant des bains de bouche fluorés (30). Benson dans sa revue systématique considère l'utilisation quotidienne de bain de bouche à 0,05% de NaF comme la meilleure méthode pour prévenir la déminéralisation amélaire autour des brackets (31). Hirschfiel préconise pour sa part l'utilisation de bain de bouche contenant du fluorure de phosphate acidulé (APF) pour rendre l'émail plus résistant à la déminéralisation au cours du traitement orthodontique (32).

Une étude *in vitro* a montré que l'utilisation quotidienne de bain de bouche fluoré (NaF à 0,05% ou 0,2%) associé ou non à un rinçage hebdomadaire avec une solution de fluorure de phosphate acidulé semblait diminuer la déminéralisation amélaire pendant la phase active du traitement orthodontique (33).

a.3) Les vernis fluorés

Plusieurs types de vernis fluorés sont actuellement disponibles sur le marché, avec différentes indications et modes d'utilisation (Tableau 4).

Produits	Indications du commercial	Utilisation
Fluor Protector (Ivoclar Vivadent) 1% difluorosilane (1000 ppm)	<ul style="list-style-type: none"> - Prophylaxie de la carie à long terme - Augmentation de la résistance de l'émail 	<p>Application au cabinet dentaire</p> <p>Tous les 6 mois</p>
Fluor Protector S (Ivoclar Vivadent) Fluorure d'ammonium (7700 ppm)	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement des collets sensibles - Traitement des sensibilités après un éclaircissement 	
Flor-Opal varnish (Ultradent) 5% Naf (22600 ppm)	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement de l'hypersensibilité dentaire - Prévenir la déminéralisation de l'émail chez l'enfant à risque de caries précoces. 	<p>Application au cabinet dentaire</p> <p>Tous les 6 mois</p> <p>Existe également le Flor Opal en application prolongée de fluor avec le port d'une gouttière pendant 30 à 60 min</p>
Duraphat (Colgate) 5% Naf (22600 ppm)	<ul style="list-style-type: none"> - Prévention des caries récidivantes (ou marginales) - Prévention de l'évolution du processus carieux. - Prévention des phénomènes de déminéralisation des points de contact avec les appareils d'orthodontie - Prévention des caries des puits et des sillons - Hypersensibilité dentaire 	<p>Application au fauteuil tous les 6 mois (ou plus fréquemment tous les 3 mois)</p> <p>Dans le cadre des hypersensibilités plusieurs applications doivent être réalisés sur quelques jours (l'utilisation du dentifrice duraphat peut être recommandé)</p>
Profluorid® (Voco) 5% Naf (22600 ppm)	<ul style="list-style-type: none"> - Traitements des dents hypersensibles - Scellement des tubuli dentinaires 	
Bifluorid 10® (Voco) 5% Naf et 5% CaF2 (45600 ppm)	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement de toutes les hypersensibilités 	<p>2 à 3 applications en 7 jours</p>

Tableau 4 : les vernis fluorés disponibles et commercialisés en France, adapté de Muller et al (10)

- ***Prévention des WSLs :***

Plusieurs études ont montré l'effet protecteur de l'application des vernis fluorés en début de traitement orthodontique sur l'apparition des WSLs (34). Cependant une étude plus récente randomisée a démontré l'absence d'effet protecteur d'une unique application de vernis fluoré en début de traitement orthodontique par rapport à une hygiène adaptée (dentifrice fluoré) (35). Une application régulière, toutes les 6 semaines, est recommandée durant le traitement orthodontique, pour tous les patients présentant un risque carieux élevé et/ou n'ayant pas accès aux produits adaptés d'hygiène dentaire quotidiens (36). L'application de vernis fluorés ne garantit pas une protection totale vis à vis de l'apparition des WSLs (26). En effet, les produits d'hygiène dentaire quotidiens fluorés à usage domestique (dentifrice, bain de bouche, gels) ont prouvé leur efficacité dans la prévention des WSLs. Cependant leur efficacité est directement liée à la coopération du patient.

- ***En présence de WSLs post-orthodontiques***

Une application mensuelle par un chirurgien-dentiste pendant 6 mois sur des WSL post-orthodontiques a montré une efficacité en termes de reminéralisation (37).

- ***Cas des MIH***

Les vernis fluorés, seuls ou associé à l'ozonothérapie, ont montré leur efficacité dans la diminution de l'hypersensibilité dentaire dans le traitement des MIH (38). Les recommandations concernant le traitement des MIH préconisent l'utilisation de vernis fluoré. Leur intérêt dans ces cas est de protéger l'émail de surface, prévenir l'apparition de caries en permettant la reminéralisation par incorporation de fluor dans la structure amélaire de surface en cas d'attaque acide mais également de diminuer les sensibilités dentaires. Cependant la lésion n'étant pas une lésion de subsurface mais plutôt une lésion en profondeur située à la jonction amélo-dentinaire, la reminéralisation par vernis fluoré sur les dents antérieures ne semble pas efficace et n'a pas d'impact sur l'extension de la lésion (39).

b) Les reminéralisants calcium et phosphate based : fTCP, ACP et CPP-ACP

Appliqués régulièrement, les molécules actives des produits reminéralisants se lient à trois structures différentes : 1/ les cellules bactériennes, 2/ les composants de la plaque intracellulaire et 3/ les protéines adsorbées sur l'émail.

Ce mécanisme diminue l'adhérence du biofilm cariogène à la surface amélaire durant plus de 24h, ainsi Ca^{2+} et PO_4^{3-} sont relarguées doucement et régulièrement du biofilm vers la surface amélaire poreuse (40). Ensemble, calcium et phosphate vont inhiber la déminéralisation et promouvoir la reminéralisation (41). La disponibilité des ions calcium et phosphate est un élément important dans le processus de reminéralisation. Cependant, pour une reminéralisation efficace un des paramètres le plus important est la solubilité des phosphates de calcium : une faible solubilité empêche une reminéralisation de la subsurface amélaire (42). Ces reminéralisants sont classés en trois catégories en fonction de la forme des ions calcium et phosphate (42) :

1. **Forme cristalline** : fonctionnel tricalcium phosphate (fTCP). Le fTCP est associé à 5% de fluorure (*Clinpro White Varnish*® 3M ESPE)
2. **Forme instable** : amorphous calcium phosphate (*Enamel Pro Varnish*®)
3. **Forme stable** : caseine phosphopeptide amorphous calcium phosphate nanocomplexes (*Tooth Mousse*®)

b.1) fTCP + fluorure de sodium

Le fTCP peut être associé à 5% de fluorure de sodium et commercialisé par 3M ESPE sous le nom de Clinpro White Varnish®. Les résultats des études sur le Clinpro® varient. Trois études *in vitro* mettent en évidence :

- Une meilleure reminéralisation, meilleure résistance à l'attaque acide par rapport aux groupes non traités et aux CPP-ACP associés à 900 ppm de fluor (43)
- Une meilleure micro-dureté par rapport aux vernis fluorés, dentifrices fluorés à 500 ppm, mais significativement inférieure par rapport aux CPP-ACP. Il présente une rugosité de surface diminuée par rapport au CPP-ACP, vernis fluorés et dentifrices fluorés, expliqué par la formation homogène de prismes (4)
- Selon l'étude de Karlinsey et col. le minéral issu de la synergie entre le fTCP et le fluorure de sodium est plus résistant à l'attaque acide que le fluor, le β TCP ou le fTCP seuls (44)
- Selon Cochrane et col. (45), il semble relarguer moins d'ions et surtout d'ions de calcium que les autres agents de reminéralisation.

Les études *in vivo* concernant la reminéralisation amélaire ne montrent pas de différence significative entre le Clinpro® et un dentifrice à 1000 ppm et un potentiel de reminéralisation significativement inférieure par rapport à un dentifrice 5000 ppm (46).

b.2) ACP

Enamel Pro Varnish® est le nom commercial d'un agent de reminéralisation contenant de l'ACP. L'inconvénient majeur des produits de reminéralisation contenant ACP ou ACP associé au fluor est leur manque de stabilité dans l'environnement oral. En effet, les phosphoprotéines dans la salive et la plaque peuvent stabiliser ACP ou ACPF. Cette transformation rapide diminue considérablement la biodisponibilité des ions calcium et phosphate pour la reminéralisation de la subsurface amélaire (47). Les résultats comparant le potentiel de reminéralisation et de relargage de fluor de ces agents comparés à des vernis fluorés varient selon les études (48).

b.3) CPP-ACP

Le CPP, produit à partir de la caséine (protéine de lait), présente la capacité à stabiliser le calcium et le phosphate. Il augmente également la concentration de calcium et phosphate au niveau de la plaque dentaire. La liaison de CPP à ACP empêche la croissance des ions calcium et phosphate à la taille critique nécessaire pour la nucléation et la transformation de phase, maintient ainsi une sursaturation des ions calcium et phosphate respectant l'émail, limitant la déminéralisation et permettant ainsi une reminéralisation (49). La stabilité de la biodisponibilité des ions calcium et phosphate maintient un gradient de concentration élevé qui permet une diffusion plus profonde de ces ions dans le corps de déminéralisation des lésions amélares de subsurface (50). Plusieurs études ont démontré l'efficacité significative des CPP-ACP dans la reminéralisation de la subsurface amélaire ainsi que dans la prévention des déminéralisations (12)(46) (51) (52). Différents produits contenant du CPP-ACP sont actuellement commercialisés (Tableau 5).

Tooth Mousse® (GC, Tokyo, Japan)	CPP-ACP
Tooth Mousse® Plus (GC, Tokyo, Japan)	CPP-ACFP (CPP-ACP + 900 ppm de fluor)
MI Paste (3M ESPE)	CPP-ACP
MI Paste Plus® (3M ESPE)	CPP-ACFP (CPP-ACP + 900 ppm de fluor)
MI Varnish® (3M ESPE)	CPP-ACFP (CPP-ACP + 5% de fluorure de sodium)

Tableau 5 : Les crèmes commercialisées contenant du CPP-ACP

Le CPP possède également un rôle antibactérien qui interfère dans les phases de croissance et d'adhérence des bactéries *Streptococcus mutans* et *Streptococcus sobrinus* (49). L'action anti-cariogène est permise grâce à l'incorporation d'ACP dans la plaque dentaire permettant la reminéralisation. Au niveau de la plaque, le CPP-ACP agit comme un réservoir de calcium et phosphate. La liaison du CPP à l'ACP dépend du pH, la liaison diminue lorsque le pH diminue. Lorsque le pH augmente, le taux d'ACP lié augmente stabilisant le calcium et phosphate libres de façon à ce que la précipitation spontanée du phosphate de calcium ne se produise pas (49).

- ***Dentifrices à base de CPP-ACP***

Les dentifrices à 2% CPP-ACP présentent le même degré de reminéralisation de la subsurface amélaire qu'un dentifrice fluoré à 2800 ppm. Ces dentifrices associés à 1100 ppm de fluor sont 2,6 fois plus performants que les dentifrices fluorés à 1100 ppm. De plus, les dentifrices à 2% de CPP-ACP/ 2% CPP-ACFP présentent une reminéralisation plus homogène du corps de déminéralisation en comparaison aux dentifrices fluorés qui agissent plutôt en superficie de la lésion. Ils créent en plus une résistance plus importante au challenge acide par rapport aux dents traitées par des dentifrices ne contenant pas de CPP-ACP (50).

- ***Crèmes à base de CPP-ACP***

Reynolds et col. ont montré que l'utilisation de CPP-ACP à 0,5-1% est équivalent à 500 ppm de vernis fluoré en terme de réduction d'activité cariogène (53).

Une étude de 3 mois sur des lésions blanches non orthodontiques a montré l'efficacité significative de l'application bi-quotidienne des crèmes à 10% de CPP-ACP, associée à une bonne hygiène bucco-dentaire (dentifrice fluoré 2 fois/j, bain de bouche, chewing gum au xylitol) dans l'amélioration de l'apparence des lésions blanches et leur reminéralisation (54).

- ***Traitement des WSLs***

Llena *et al.* (55), dans une étude prospective en double aveugle de 2015, ont montré l'efficacité supérieure des vernis à base de CPP-ACFP par rapport aux vernis fluorés, dans la reminéralisation des WSL après 4 semaines d'application chez des enfants entre 6 et 14 ans.

CPP-ACFP semblent avoir une capacité de reminéralisation supérieure à celle de CPP-ACP en milieu acide pH < 5,5, leur action est plus soutenue dans des conditions de grande acidité orale (44).

Différentes méta-analyses (56) (57) ont démontré l'efficacité de reminéralisation des CPP-ACP sur les lésions carieuses non cavitaires débutantes avec un effet de reminéralisation sur le long terme mais ont démontré une différence non significative de ces derniers en comparaison aux produits de reminéralisation fluorés.

A la fin du traitement orthodontique l'application de CPP-ACP une fois par jour pendant 3 mois suivi d'un brossage bi-quotidien à l'aide d'un dentifrice fluoré semble améliorer l'état de surface amélaire en diminuant la rugosité de surface (58). Il semble également efficace dans l'amélioration de l'apparence des WSL et leur régression (58)(59).

- **Traitement des MIH**

Özgül & col. en 2013, ont montré dans leur étude l'efficacité des vernis CPP-ACP /CPP-ACFP dans la diminution des hypersensibilités observées chez les patients MIH. L'ozone semble prolonger l'effet désensibilisant de CPP-ACP. Ils sont significativement plus performants que le fluor et fluor + ozone dans la diminution des hypersensibilités en post-opératoire, à 2 semaines post-opératoire et à 4 semaines post-opératoire. Cependant, pas de différence significative entre CPP-ACP/ CPP-ACPF/ CPP-ACP+ Ozone n'est notée au-delà de 4 semaines post-traitement (38). Le CPP-ACP permet d'augmenter la concentration de calcium et de phosphate dans l'émail diminuant ainsi la concentration de carbone.

Les études Baroni & Col. (18) montrent les effets du CPP-ACP sur les molaires atteintes de MIH :

- ***In vivo*** : CPP-ACP permet d'obtenir une surface amélaire plus lisse sans gaps (Figure 5)

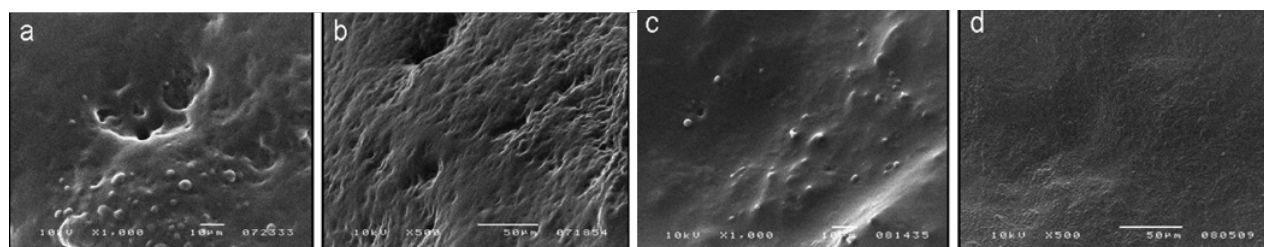


Figure 5 : Microscopie électronique à balayage de l'émail de molaires atteintes de MIH a) A T0 avec un grossissement X1000, b) A T0 avec un grossissement X500 c) Après reminéralisation avec un grossissement X1000 d) Après reminéralisation avec un grossissement X500. Baroni & Col. (18)

- ***In vitro*** : CPP-ACP permet de diminuer la porosité amélaire, d'évoluer vers une structure amélaire plus géométrique, un émail plus mature et plus minéralisé (Figure 6).

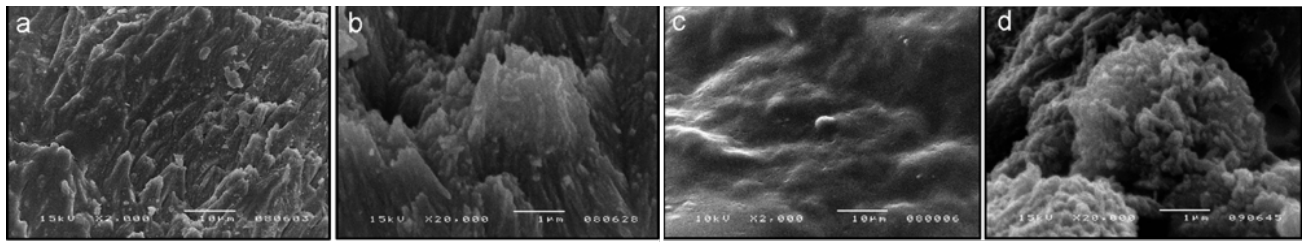


Figure 6 : Microscopie électronique à balayage de biopsie d'émail de molaires atteintes de MIH a) A T0 avec un grossissement X2000, b) A T0 avec un grossissement X20000 c) Après reminéralisation avec un grossissement X2000 d) Après reminéralisation avec un grossissement X20000. Baroni & Col. (18)

La reminéralisation peut constituer une première étape de traitement des WSLs. Elle peut participer à leur régression significative ou nécessiter la combinaison de cette thérapeutique à d'autres soins (éclaircissement dentaire, érosion-infiltration, ...) pour améliorer l'aspect esthétique du sourire.

1.2.2 Éclaircissement dentaire

L'éclaircissement externe à 10% de peroxyde de carbamide permet de diminuer le contraste entre les taches blanches et l'émail intact grâce à un gain de luminosité de l'arrière-plan lésionnel, permettant ainsi de camoufler ces taches, sans modification des propriétés chimiques et mécaniques. Les taches sont moins visibles et plus faciles à restaurer. De plus, une reminéralisation au CPP-ACP peut y être associée afin d'augmenter la densité minérale au niveau de la lésion et améliorer la dureté de surface diminuée après un éclaircissement dentaire (60) (61).

1.2.3 Érosion/infiltration

La technique d'érosion/infiltration répond à une volonté de renforcer cet émail amoindri plutôt que de l'éliminer. Par ailleurs, elle permet de restaurer les propriétés optiques du tissu dentaire grâce cette infiltration résineuse.

Ces cas cliniques posent souvent une double problématique :

- Présence d'une opacité résultant de la porosité/ hypominéralisation
- Présence d'une coloration liée à la présence de pigments.

Le procédé d'érosion-infiltration sera abordé plus en détails dans la partie I.3. de cette thèse.

1.2.4. Micro-abrasion

La microabrasion est un procédé chimio-mécanique, qui permet d'améliorer voire éliminer les dyschromies limitées à la couche superficielle de l'émail grâce à l'association d'un acide et d'un agent abrasif. L'épaisseur de surface amélaire éliminée varie entre 20 et 200 µm en fonction de la concentration en acide et de la durée d'application (62). Sur le plan histologique, elle est à l'origine d'une réorganisation de l'émail. La formation d'une couche amélaire de surface correspond à un émail aprismatique hautement compressé renforcé de particules issues du matériau de microabrasion (comme la silice) et/ou des pâtes de polissage (comme les fluorures), et qui se reminéralise progressivement au contact de la salive. Sur le plan optique, elle permet d'obtenir un émail lisse sans irrégularités dit « glacé » ou « vernis » (63).

Prema® (10% d'acide chlorhydrique + particules abrasives de carbure de silicium de 30 à 60 µm de granulométrie) et Opalustre® (6,6% d'acide chlorhydrique et de microparticules de carbure de silicium d'une granulométrie de 20 à 160 µm) sont les produits les plus largement utilisés.

Cette technique est indiquée pour traiter les dyschromies ancrées à moins de 200µm dans l'émail peut être éliminée par microabrasion (64). Comme l'épaisseur de l'émail décroît en direction de la JEC, le tiers cervical est une zone où le pronostic est moins favorable. Une réduction de 25 à 33% de l'épaisseur amélaire est imperceptible à l'œil nu et esthétiquement/ cliniquement acceptable, cela correspondrait selon Shillingburg et Grace à 300 µm au niveau du tiers incisal mais seulement 100 µm au niveau du 1/3 cervical (65).

La microabrasion est indiquée dans les cas suivants :

- Fluorose légère à modérée, sévères dans le cadre des traitements combinés
- WSL
- Hypoplasie amélaire superficielle localisée
- Amélogénèse imparfaite.

Cette technique est contre-indiquée si :

- Présence de colorations liées à la prise de tétracycline
- Présence d'une MIH.

La microabrasion, par suppression de la couche amélaire superficielle, peut aboutir à une coloration plus jaune/ sombre de l'émail due à une surface amélaire plus fine faisant ressortir la coloration dentinaire. Dans ce sens, il est parfois recommandé d'associer le mécanisme de microabrasion à un éclaircissement externe ambulatoire. Cette association peut être indiquée dans les cas de fluorose plus sévère (66).

1.2.5. Stratification de composite et facettes

Les dents antérieures hypominéralisées notamment les fluoroses modérées à sévères, les MIH sévères avec fracture amélaire constituent un challenge esthétique et fonctionnel. La réhabilitation esthétique et fonctionnelle par restauration adhésive par technique directe ou indirecte, en composite ou en céramique, semble être indiquée dans ces cas (67).

Ces techniques sont plus invasives que celles citées précédemment car nécessitent la suppression d'une grande partie de la lésion d'un côté pour améliorer l'esthétique et de l'autre pour améliorer l'adhésion. L'adhésion doit se faire sur des marges amélaire saines pour éviter des récives de fracture (68). La dentine sous-jacente ne présente aucun changement structurel majeur l'adhésion n'y est pas altéré.

La revue systématique d'Ekambaram & Col., traitant de l'adhésion à l'émail hypominéralisation a montré une adhésion moins importante à l'émail hypominéralisé en comparaison à l'émail sain. Cette étude ne note de supériorité d'adhésion entre les systèmes adhésifs auto-mordançants SAM et les systèmes avec mordançage et rinçage MR sur l'émail hypominéralisé. Cependant la déprotéinisation à l'aide d'hypochlorite de sodium à 5% semblent améliorer l'adhésion (69).

L'érosion infiltration s'est largement développée dans la pratique courante des chirurgiens-dentistes pour le traitement des taches blanches, car elle constitue une thérapeutique minimalement invasive offrant de très bons résultats esthétiques avec un protocole clinique aisé et reproductible.

I.3. L'érosion-infiltration

I.3.1. Définition et principes (mécanique et optique)

Il s'agit d'une thérapeutique proposée initialement pour l'infiltration des lésions carieuses, et employée spécifiquement dans le traitement des lésions responsables de taches blanches de l'émail (70). Son principe thérapeutique consiste à réaliser une déminéralisation superficielle dans un premier temps grâce à l'acide chlorhydrique 15% permettant d'atteindre l'hypermérialisation de subsurface puis infiltrer une résine ultra-fluide au sein de la lésion dans un second temps. Un double intérêt est noté pour cette thérapeutique : masquage de l'opacité blanche permise par les propriétés optiques de la résine et la limitation de la pénétration chimique et bactérienne.

Ainsi plusieurs études *in vivo* et *in vitro* ont confirmé l'efficacité de la thérapeutique d'érosion-infiltration dans l'amélioration esthétique des WSLs ainsi que dans l'effet cariostatique puisque l'émail traité par érosion/infiltration est mécaniquement plus résistant à une nouvelle attaque acide par scellement des microporosités amélares produites par la déminéralisation.

a) L'érosion-infiltration face à l'adhésion

L'érosion-infiltration n'améliorerait pas l'adhésion du composite à l'émail hypomérialisé. En effet, selon l'étude de Chay & al, l'adhésion à l'émail hypomérialisé est améliorée par un pré-traitement de l'émail à l'hypochlorite à 5,25% (71). Cependant, le collage sur l'émail infiltré est de bonne qualité. La mise en place de l'infiltrant ne semble pas nuire au collage et peut être considéré comme un pré-traitement au collage de l'émail hypomérialisé (72). Ceci rend son application très intéressante dans le domaine orthodontique (73). Une étude a même montré que l'érosion-infiltration prévenait les fractures de l'émail hypomérialisé à la dépose des brackets (74).

b) L'érosion-infiltration face aux propriétés optiques

L'érosion-infiltration permet également d'améliorer les propriétés optiques de la dent traitée. Afin d'expliquer ce phénomène optique, il est nécessaire de définir les deux termes suivants :

- *Email sain* : corps homogène constitué de minéral.

- *Email hypominéralisé* : structure hétérogène constitué de parts minérale et aqueuse quasi-équivalentes (phase minérale dissoute est remplacée par les fluides salivaires). Au niveau de cet émail, de multiples interfaces séparent 2 milieux d'indice de réfraction différents (hydroxyapatite et l'eau). L'hypominéralisation forme un labyrinthe optique qui contribue à réfléchir la lumière incidente.

En infiltrant l'émail hypominéralisé par une résine d'indice de réfraction proche de celui de l'émail sain (résine $n= 1,52$ et émail sain $n=1,62$), les faisceaux lumineux peuvent alors être transmis rendant à l'émail son aspect translucide (75) (Figure 7).

En séchant les surfaces amélares avec un spray d'air et en absence de salive, l'air s'installe au niveau des porosités amélares. L'indice de réfraction de l'air $n=1$, les WSL sont plus donc plus visibles lorsque la dent est déshydratée (1). Il peut donc être intéressant de sécher les surfaces amélares afin d'évaluer l'étendue de la lésion.

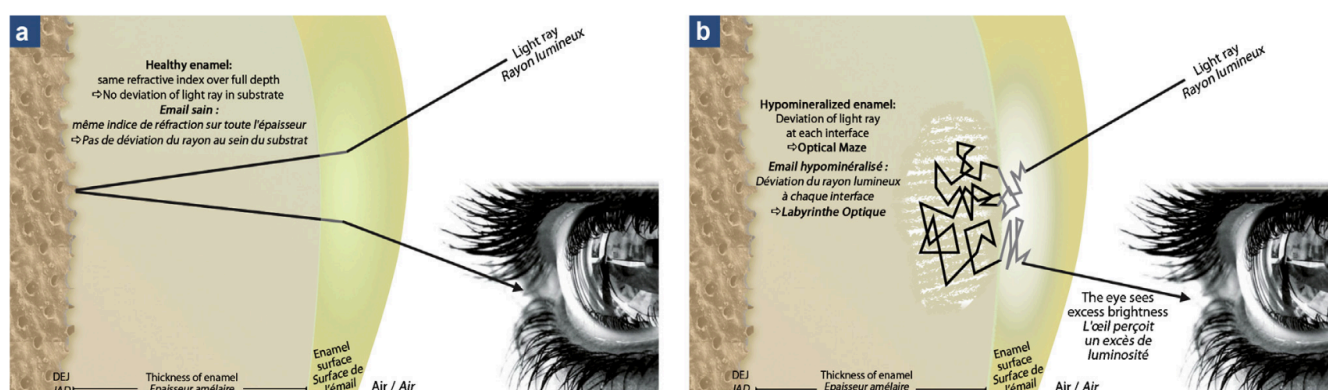


Figure 7 : a) *Email sain* : indice de réfraction unique celui de l'hydroxyapatite égal à 1,62. Dans ce cas, la teinte de la dent est obtenue par réfraction du faisceau lumineux à la surface de la dent et sa réflexion à la jonction amélo-dentinaire (JAD). b) *Email hypominéralisé* : la multiplicité des changements d'interfaces liquide/HA et donc d'indice de réfraction fait qu'à chaque interface le faisceau est dévié et réfléchi. L'émail hypominéralisé se comporte comme un " labyrinthe optique " apparaissant à nos yeux blanc/opaque. Maud Denis & Col. (1)

c) L'érosion-infiltration et les propriétés mécaniques

- **Micro-dureté et résistance à l'abrasion**

L'infiltration résineuse permet d'augmenter la micro-dureté amélaire et la résistance à la déminéralisation des lésions amélares. Le type de résine infiltrante n'a pas d'incidence sur cette amélioration mécanique de micro-dureté (76). Torres *et al* ont démontré que la micro-dureté amélaire suite à une infiltration résineuse par technique ICON® est supérieure à la micro-dureté obtenue par application topique quotidienne de fluor (ICON® > application

quotidienne de fluor> application hebdomadaire de fluor> groupe contrôle). Deux applications de résine permettent d'augmenter encore plus la dureté de surface (77).

▪ **Rugosité de surface**

Les résultats de l'étude de l'effet de l'érosion-infiltration sur la rugosité de surface ne sont pas unanimes. Des études *in vitro* ont montré aucune différence significative entre la surface amélaire traitée par technique d'érosion-infiltration et une surface amélaire saine en termes d'état de surface et de rugosité de surface (78)(79). Arnold & Col. 2016 ont montré un meilleur état de surface de l'émail traité par érosion infiltration par rapport à la reminéralisation par vernis fluoré (Clinpro® et Embrace®)(80). Arora & Col. ont montré une diminution sur le long terme de la rugosité de surface après le traitement par érosion infiltration par rapport à l'état de surface initial, diminuant ainsi l'accumulation de la plaque bactérienne au niveau des surfaces traitées (81).

1.3.2. L'érosion-infiltration : caractéristiques microscopiques

L'émail atteint d'une WSL, au MEB, se caractérise par la présence de zones avec des dépôts particuliers et des zones d'exposition de cristaux d'HA sans arrangement prismatique. Des pores de 50 à 200 nm sont observés entre les cristaux. L'émail sain autour de la lésion quant à lui est un émail aprismatique.

A l'application d'acide chlorhydrique 15%, il est constaté microscopiquement :

- **Email sain** : émail prismatique typique d'un mordantage avec dissolution de la substance inter prismatique et exposition des cristaux d'HA. La déminéralisation atteint en profondeur 0,9 à 2 μm .
- **Email avec WSL** : puits/ canaux observés dans le corps de l'émail prismatique. La déminéralisation atteint en profondeur 2,1 à 92,1 μm (82).

L'acide orthophosphorique ne permet pas d'obtenir une porosité suffisante pour une permettre une infiltration résineuse (83).

Après application d'ICON® Infiltrant :

- Au niveau de l'émail, formation d'agglomérat dense de tags de résine où les cristaux d'HA sont entourés de résine formant une couche hybride amélaire pouvant aller de 20 à 465 μm , rendant l'émail plus résistante à une nouvelle attaque acide (82).

1.3.3. Indications de l'érosion-infiltration et l'érosion-infiltration profonde

Deux types de protocole impliquant la technique d'érosion-infiltration peuvent être appliquées selon la sévérité de la lésion.

- **Indications de l'érosion/infiltration « classique » :**
 - Fluorose légère à modérée
 - White spot lesions / carie débutante
 - Hypominéralisations d'origine traumatique superficielles

- **Indications étendues grâce à l'infiltration en profondeur :**
 - MIH
 - Fluorose sévère
 - Hypominéralisations d'origine traumatique profondes

En effet, face à certains échecs de traitement par érosion-infiltration de MIH, d'hypominéralisations traumatiques profondes, ou même de fluorose sévère, Jean-Pierre Attal et Gil Tirlet ont proposé la thérapeutique d'infiltration en profondeur. L'infiltration en profondeur consiste à réaliser une mutilation de l'émail par sablage ou fraisage léger à l'aide de fraise bague rouge. Le but est d'atteindre le plafond de la lésion MIH située en profondeur ou d'infiltrer l'ensemble d'une lésion profonde (84).

1.3.4. Composition du seul produit d'érosion-infiltration commercialisé : ICON

ICON Etch® : gel composé d'acide chlorhydrique à 15% ainsi que de silice pyrogénée. Il rend la couche amélaire intacte plus poreuse.

ICON Dry® : est composé à 99% d'éthanol. Il permet de pré-visualiser le résultat grâce à son indice de réfraction qui se rapproche de celui de la résine d'infiltration. Il permet d'éliminer les excès d'eau au niveau des microporosités afin de permettre à la résine de pénétrer par capillarité (85).

ICON Infiltrant® : est un fluide de basse viscosité avec un indice de réfraction de 1,51 proche de celui de l'émail sain (86). Il est constitué d'une matrice à base de résine

méthacrylate principalement du monomère triéthylène glycol dimétacrylate (TEGDMA), d'initiateur et d'additif (87).

1.3.5. Protocole d'érosion-infiltration (ICON)®

Les principes d'érosion-infiltration répondent à une volonté de renforcer cet émail amoindri plutôt que de l'éliminer. Il s'agit d'une technique minimalement invasive qui présente cytotoxicité moindre (<10%) sur les cellules pulpaires lorsque la résine est photopolymérisée et que le praticien suit les consignes du fabricant (88).

Les étapes de l'érosion-infiltration sont illustrées ici à travers le cas d'une jeune patiente de 17 ans adressée par son orthodontiste à la fin de son traitement après dépose des bagues pour présence de taches blanches symétriques au niveau de ses dents antérieures (11/21/13/23) suggérant une fluorose (Figure 8).

Le protocole se déroule comme suit :

- 1- **Choix de la couleur** du composite avant mise en place du champ opératoire pour éviter la déshydratation des dents pouvant mener à un mauvais choix de couleur.
- 2- **Anesthésie et mise en place du champ opératoire** : digue unitaire ou multiple en fonction du nombre des lésions à traiter. La mise en place de la digue protège les muqueuses de l'action de l'acide Icon Etch®, tout en permettant la mise en place de l'ICON Infiltrant® dans un environnement sec et étanche, améliorant ainsi l'infiltration résineuse.
- 3- **Erosion initiale** : permise par un mordantage de 120 s à l'acide chlorhydrique 15% de la surface amélaire. Elle permet l'élimination de la couche superficielle relativement intacte afin de créer un accès direct aux microporosités sous-jacentes.
- 4- **Rinçage** : 30 secondes.
- 5- **Séchage**.
- 6- **Prévisualisation** du résultat grâce à l'ICON Dry® (éthanol à 99%). Il possède un comportement optique proche de celui de la résine, donc tant que le résultat prévisualisé n'est pas satisfaisant, le cycle acide/rinçage/alcool est répété.
- 7- **Infiltration résineuse secondaire** : facilitée par l'érosion initiale et réalisée une fois que le résultat esthétique nous semble satisfaisant à l'application de l'ICON Dry®. La résine est appliquée pendant 3 minutes puis séchée et les excès

proximaux sont éliminés par passage du fil dentaire avant polymérisation. La polymérisation dure 40 secondes. Une nouvelle application de résine d'une minute peut être réalisée pour contrer un retrait de polymérisation. Elle permet d'augmenter la résistance à la déminéralisation et la dureté de surface.

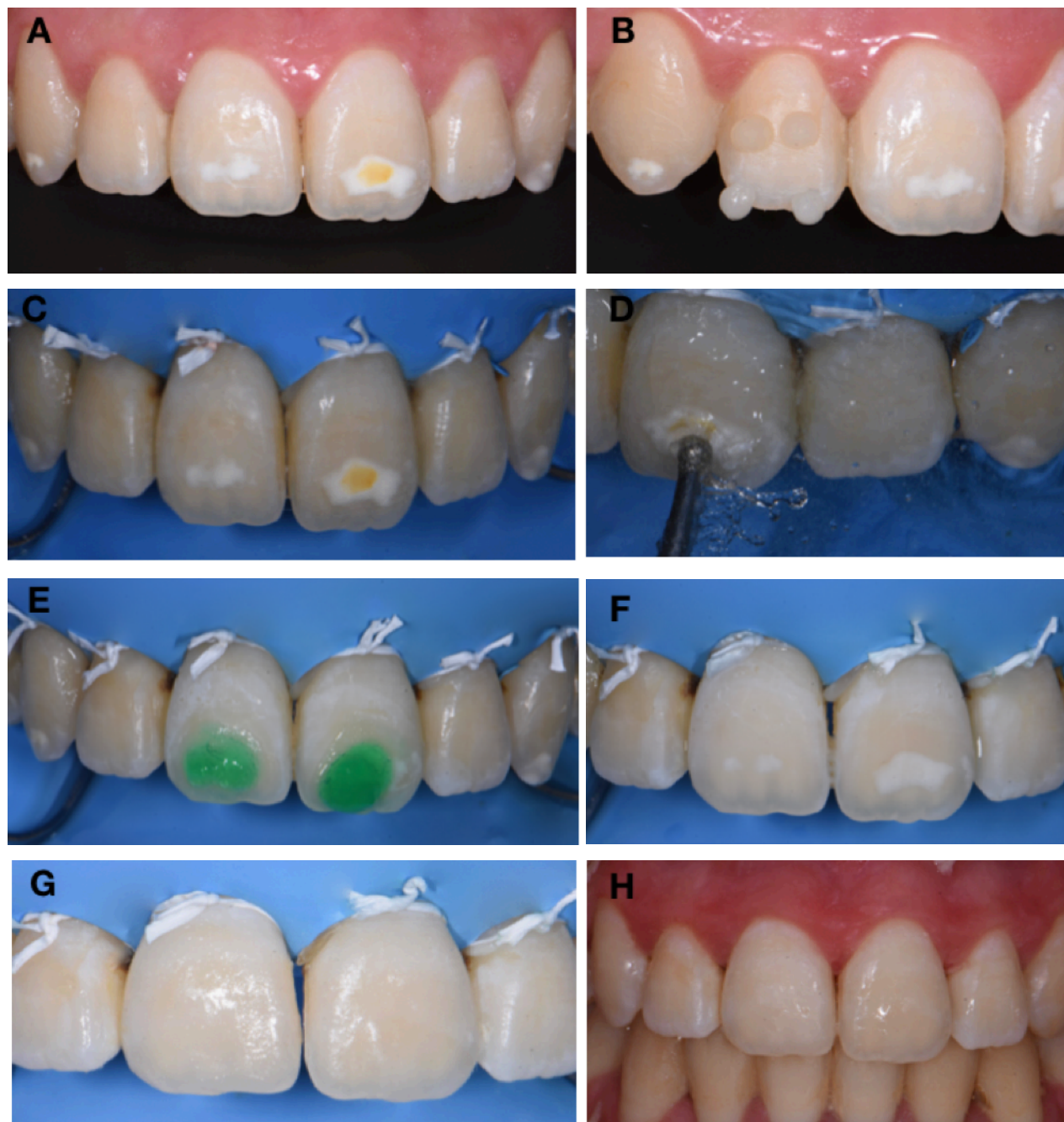


Figure 8 : A Photographie pré-op, B Choix de la teinte, C Mise en place du champ opératoire (digue multiple), D Élimination superficielle de la lésion, E Application d'acide chlorhydrique, F Après 2 cycles d'attaque acide, G Après infiltration résineuse, H Photographie post-opératoire à la dépose de la digue J0.

(Crédit photo : Imane Ramdani / Olivia Kérouédan)

I.4. Objectif du travail

La prise en charge des lésions blanches de l'émail varie en fonction de leur sévérité, leur étiologie et leur topographie. La reminéralisation est une thérapeutique de prévention dans le cadre des WSL mais également la thérapeutique la moins invasive qui permet la reminéralisation de ces lésions d'hypominéralisation et dans certains cas leur régression totale ou partielle.

La question posée, à l'origine de cette étude, était de savoir si une reminéralisation préalable à la thérapeutique d'érosion-infiltration, en créant une surface minéralisée d'épaisseur et de dureté plus importante, pouvait diminuer l'efficacité de l'ICON Etch® et ainsi complexifier l'infiltration de l'ensemble de la lésion par la résine en multipliant le nombre de cycles nécessaire à la réussite thérapeutique.

L'objectif principal de ce travail était de définir l'influence des thérapeutiques de reminéralisation (fluor ou CPP-ACP) sur la séquence opératoire d'érosion-infiltration au niveau de lésions hypominéralisées simulées sur dents extraites.

Les objectifs secondaires étaient de :

- Mesurer la profondeur de pénétration du bleu de méthylène suite à l'application de l'acide chlorhydrique lors des protocoles d'érosion/infiltration au niveau de lésions hypominéralisées simulées sur dents extraites, soumises ou non à un protocole de reminéralisation préalable ;
- Déterminer s'il existe une différence significative en termes de profondeur de pénétration du bleu de méthylène entre les groupes de dents « non reminéralisées », « reminéralisées au CPP-ACP » et « reminéralisées au fluor ».

II- Matériels et méthodes

II.1. Établissement du protocole expérimental *in vitro*

Une recherche de protocoles expérimentaux *in vitro* similaires a été effectuée avec les mots clés suivants selon plusieurs associations différentes : *in vitro*, white spot lesions, enamel remineralization, resin infiltration, ICON, chlorhydric acid, orthophosphoric acid, methylene blue, X-ray microtomography (Annexe 1).

II.2. Collecte des échantillons

45 dents extraites chez des patients d'âge et de sexe différents ont été incluses. Les patients ou parents (tuteurs légaux) des patients mineurs ont été informés et ont donné leurs consentements oraux éclairés pour l'utilisation des dents extraites dans le cadre d'un protocole d'étude.

Les dents sélectionnées étaient des prémolaires permanentes matures sur arcade chez des jeunes âgés de moins de 18 ans, présentant un émail sain, exempt de lésion carieuse/érosives/d'usure et de restaurations. L'ensemble de ces dents avaient été extraites pour raison orthodontique. Après examen au microscope, les dents présentant des traits de fêlure ou de fracture ont été exclues de l'étude.

Les faces vestibulaires et palatines/linguales des 45 dents ont été photographiées à l'état initial avant tout traitement au moment de leur exploration au binoculaire, afin de valider l'intégrité de leur état de surface (Figure 9).



Figure 9: Exemple de photographie obtenu en pré-opératoire avec le binoculaire

II.3. Traitement des échantillons

Les dents, fraîchement extraites, ont été conservées dans une solution à 0,1% de thymol. Le jour de l'étude, les dents ont été retirées de la solution de conservation, rincées et séchées. Elles ont été polies à l'aide d'un mélange eau + ponce et une fraise à polir sur contre-angle à basse vitesse afin d'éliminer le biofilm bactérien (89)(90) (Figure 10).

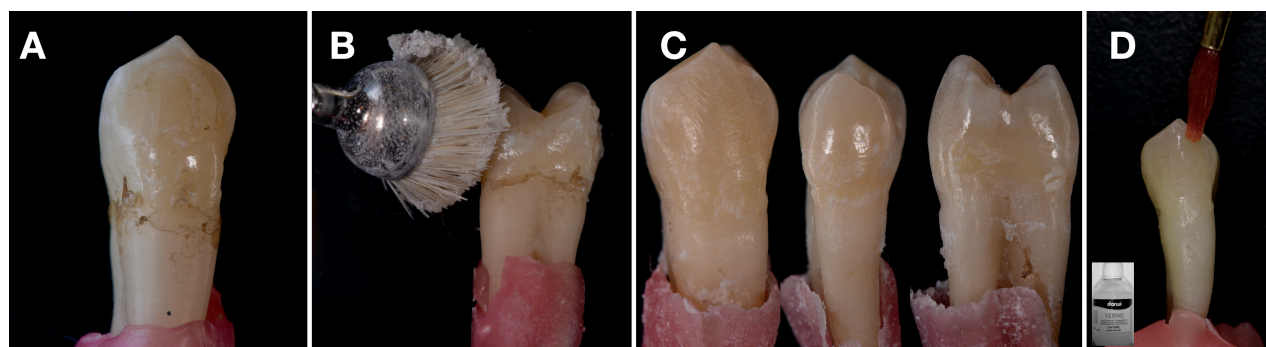


Figure 10 : Les étapes de manipulation : A) Prémolaires avant polissage, B) Polissage à l'aide d'une brosette montée sur pièce à main et de la ponce, C) Photographies post-polissage, D) Application d'un vernis sur toute la surface amélaire coronaire

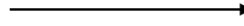
Les surfaces vestibulaire et linguale (palatine) ont été utilisées pour l'application du protocole. La totalité des surfaces amélares, vestibulaire et linguale (palatine), a été protégée par une double couche de vernis et de la cire molle, puis une fenêtre a été réalisée à travers la cire (90). Toutes les zones initialement protégées et n'ayant subi aucun traitement ont été considérées comme « zones témoins/contrôles ».

De l'acétone a été appliqué au niveau de la fenêtre d'étude pour éliminer la double couche de vernis. Un mordantage à l'acide orthophosphorique pendant 1 minute a été réalisé afin de créer une zone de déminéralisation en superficie, et simuler une lésion d'hypominéralisation. Enfin, une fine bande de cire appliquée sur une double couche de vernis en proximal, a permis d'isoler une nouvelle zone de référence (Figures 11 et 12).

GROUPE VESTIBULAIRE = OÙ SONT
APPLIQUÉS 5 CYCLES D'ACIDE
CHLORHYDRIQUE



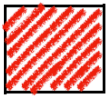
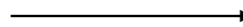
APRÈS MORDANÇAGE 2' DE LA ZONE NON ISOLÉE



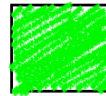
GROUPE PALATIN/LINGUAL = OÙ SONT
APPLIQUÉS 2 CYCLES D'ACIDE
CHLORHYDRIQUE



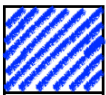
APRÈS MORDANÇAGE 2' DE LA ZONE NON ISOLÉE



ZONE 1 : ZONE DE RÉFÉRENCE



ZONE 2 : ZONE DÉMINÉRALISÉE



ZONE 3 : ZONE DE TRAITEMENT VESTIBULAIRE (5 CYCLES)



ZONE 3 : ZONE DE TRAITEMENT LINGUAL (2 CYCLES)

Figure 11 : Schéma montrant les différentes phases de préparations de la dent avant reminéralisation

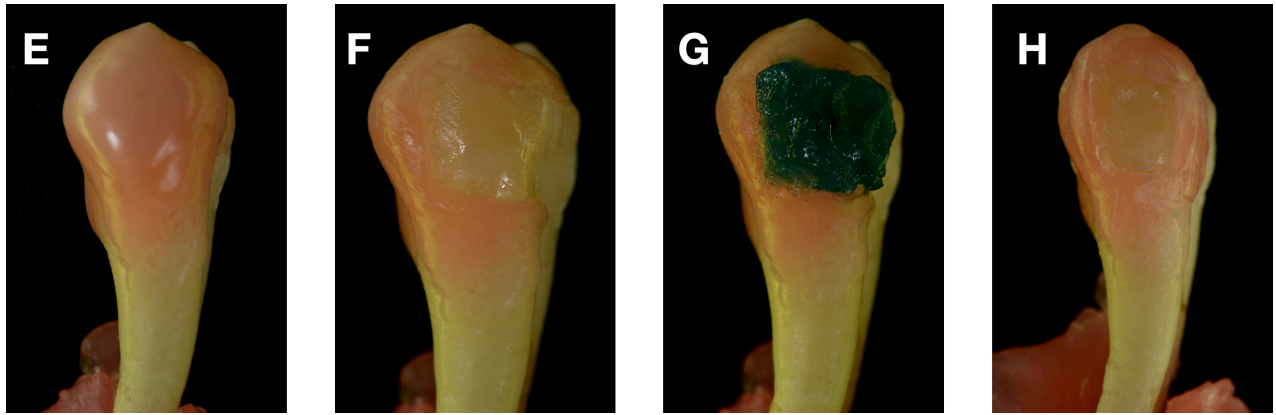


Figure 12 : E) Double épaisseur de cire sur toute la surface amélaire coronaire, F) Réalisation d'une fenêtre englobant une des faces proximales, G) mordançage 1 min, H) Mise en place de la cire sur la face proximale manquante

Les dents ont ensuite été séparées en 3 groupes distincts par randomisation et en simple aveugle. Chaque dent s'est vue attribuée un numéro d'identification.

- **1er groupe** : Dents numérotées de 1 à 15 => groupe témoin : dents numérotées de 1 à 15. Elles ont subi 5 cycles d'attaque acide (mordançage pendant 120 s à l'acide chlorhydrique puis rincé et séché) sur leurs faces vestibulaires au niveau de la fenêtre de traitement et 2 cycles d'attaque d'acide chlorhydrique en palatin.
- **2^e groupe** : Dents numérotées de 16 à 30 => reminéralisation au GC Tooth Mousse (CPP-ACP) pendant 30 jours à raison d'une application par jour. Une application quotidienne de Tooth Mousse pendant 3 minutes puis étalement du reminéralisant pendant 2 minutes avant remise dans tube de salive (89). La salive a été renouvelée en moyenne tous les 3 jours. Après la phase de reminéralisation ces dents vont subir des attaques acides selon le même schéma que le groupe 1 (5 cycles en vestibulaire et 2 cycles en palatin)
- **3^{ème} groupe** : Dents numérotées de 31 à 45 => reminéralisation au dentifrice Duraphat à 5000 ppm pendant 30 jours à raison de 3 applications par jour comme le préconise le fabricant. L'application se fait sur l'ensemble des dents du groupe. Elles sont ensuite rincées entre chaque application. Puis, après les 3 applications quotidiennes, les dents sont mises dans une solution de salive (89). De même que pour le 2^{ème} groupe la salive a été changée en moyenne tous les 3 jours. Après la phase de reminéralisation ces dents ont subi des attaques acides selon le même schéma que le groupe 1 (5 cycles en vestibulaire et 2 cycles en palatin).

La cire et le vernis ont été ôtés des surfaces dentaires par frottement délicat et application d'acétone à 50% pour éliminer le vernis en surface (90) (Figure 13).

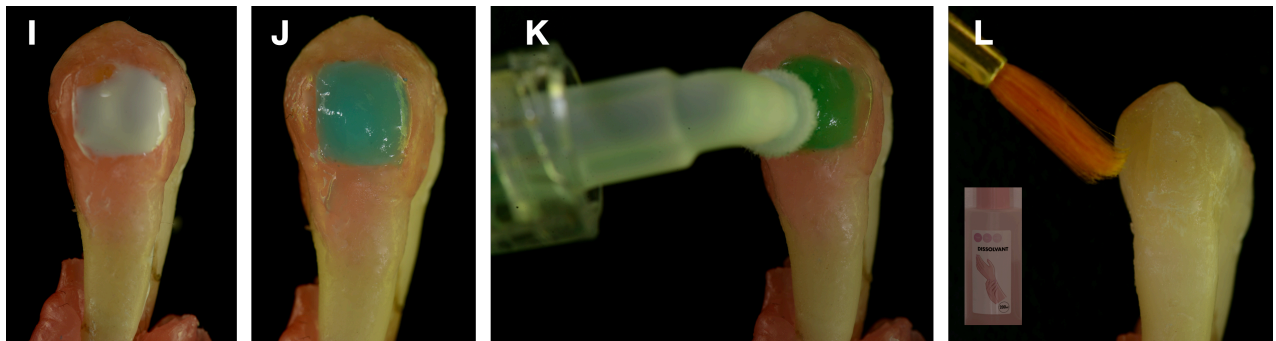


Figure 13 : Les étapes de manipulation : I : Phase de reminéralisation au Tooth Mousse, J : Phase de reminéralisation au dentifrice Duraphat, K : Phase d'érosion à l'acide chlorhydrique, L : application d'acétone pour éliminer les résidus de cire et de vernis avant immersion dans le bleu de méthylène

Les dents étaient ensuite immergées dans du bleu de méthylène à 1% pendant 24 heures à 37°C. Les échantillons étaient ensuite rincés au moins une fois par jour pendant 3/4 jours avant d'être inclus dans la résine EMBed- 812 (Figure 14).

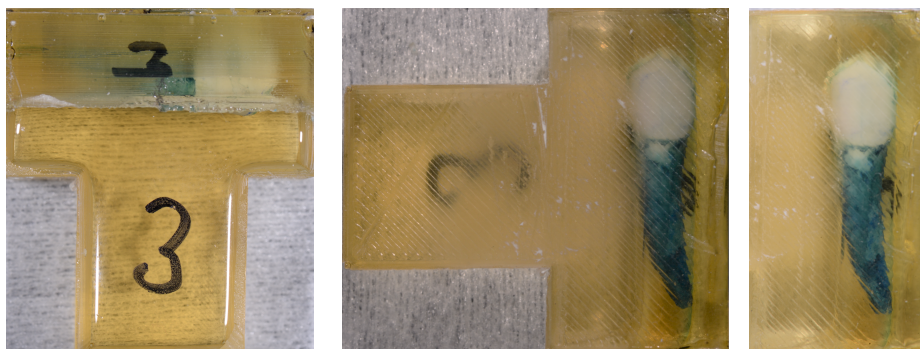


Figure 14 : Photographies montrant les dents après inclusion en bloc de résine.

II.4. Définition de l'axe et de l'épaisseur de coupe

II.4.1. Définition de l'axe de coupe

Les coupes ont été réalisées dans le sens vestibulo-lingual et longitudinal (Figure 15).

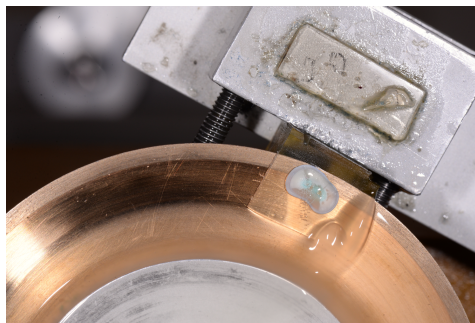


Figure 15 : Utilisation du microtome pour la réalisation des coupes vestibulo-linguales longitudinales

II.4.2. Définition des épaisseurs de coupe

Des tests d'épaisseur de coupe ont été réalisés afin de déterminer la plus faible épaisseur permettant d'obtenir une résine non déformable. L'épaisseur de coupe retenue était de 750 micromètres. Ces coupes étaient suffisamment fines pour observer, photographier et mesurer la profondeur de pénétration.

Avant observation au binoculaire, les lames ont été dégraissées puis rincées grâce à un bac à ultrasons, souvent, 2 cycles de 100 secondes chacun ont été nécessaires pour obtenir des lames propres.

II.5. Observation au binoculaire

L'observation et la mesure de la profondeur de pénétration du bleu de méthylène en micromètres ont été réalisées grâce à un binoculaire *Leica* à grossissement x12,5. Les photographies ont été prises à l'aide d'un appareil photo *Sony DSLR-A330* monté sur binoculaire et associé au système lumineux « *Scott Cold Light KL-1500 T (macro light)* ». Chaque photographie a été réalisée avec une règle positionnée en vestibulaire. Cette dernière a permis à la fois d'orienter le cliché mais également de calibrer les mesures de chaque photographie au moment des calculs pour limiter au maximum les biais (Figure 16).

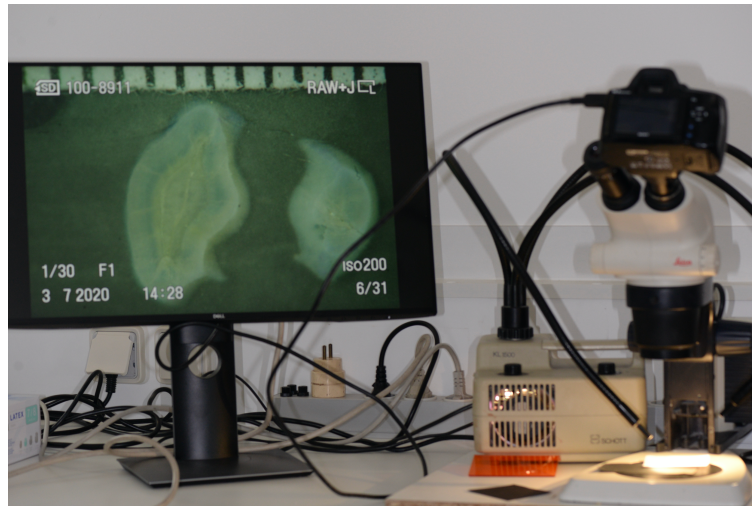


Figure 16 : Système pour photographier les lames

II.6. Analyses d'images

La prise de photographies a été réalisée à l'aide de binoculaire Leica avec un grossissement x12,5. La profondeur de pénétration du bleu de méthylène a été mesurée à l'aide du logiciel d'analyse d'images *Image J* (Figure 17).

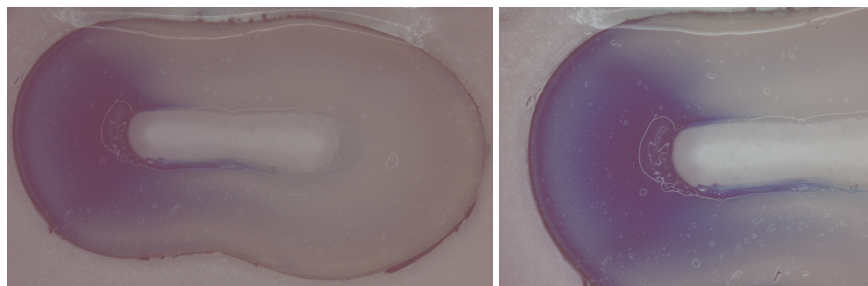


Figure 17 : Photographies prises au binoculaire, montrant la pénétration du bleu de méthylène dans la dent test non reminéralisée (dent test) ayant subi plusieurs cycles de déminéralisation préalables.

La règle a servi de référence afin de réaliser les mesures pour chaque cliché. Dans un premier temps, la mesure de 5 mm sur la règle a été rapportée au nombre de pixels sur *Image J* afin de calibrer l'échelle. Puis, la profondeur de pénétration du bleu de méthylène a été mesurée en se positionnant toujours de façon perpendiculairement à la tangente de la surface amélaire (Figure 18).

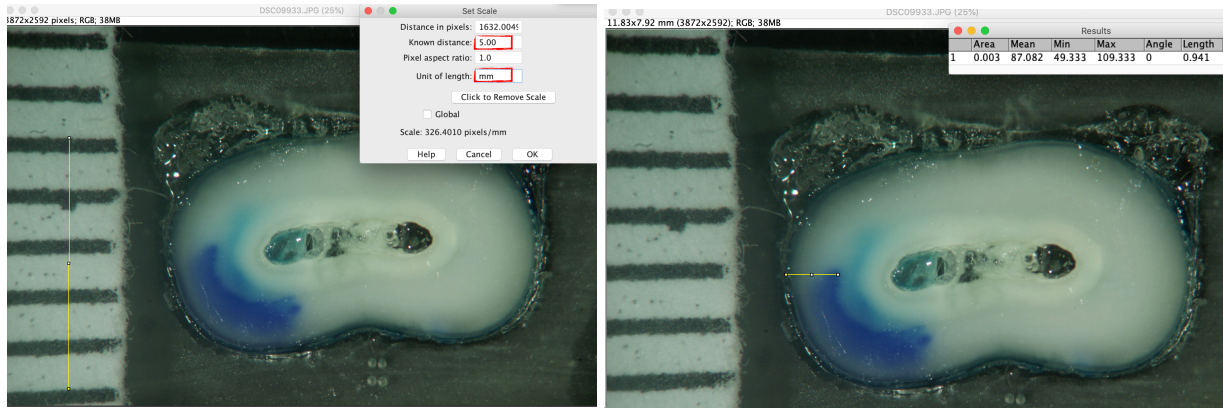


Figure 18 : Mesures des profondeurs de pénétration du bleu de méthylène, à gauche définition de l'échelle sur Image J, à droite mesure de la profondeur de pénétration

Pour chaque coupe, trois mesures ont été réalisées puis la mesure la plus profonde a été retenue puis confrontée aux mesures des différentes autres coupes de la même dent, répertoriées dans un tableau Excel. Pour chacune des dents, seule la valeur la plus élevée a été consignée dans nos résultats.

II.7. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel GraphPad Prism (GraphPad, San Diego, CA, USA). Les différences statistiquement significatives entre les trois groupes différents ont été analysées grâce au test non-paramétrique de Kruskal-Wallis. Le test non-paramétrique de Mann-Whitney (two-tailed) a été utilisé pour comparer les groupes deux à deux. Les différences ont été considérées comme statistiquement significative lorsque $p < 0.05$.

III- Résultats

III.1. Pénétration du bleu de méthylène

L'ensemble des données quantitatives et qualitatives ont été rassemblées au sein d'un tableau récapitulatif, fourni en annexe 2. Les valeurs numériques retenues ont été analysées (Tableau 6).

« CONDITION 2 CYCLES »

« CONDITION 5 CYCLES »

Témoin	Duraphat	ToothMousse	Témoin	Duraphat	ToothMousse
1,1	0	0	0,17	1,33	0
0	0,21	0	0	0,27	0
0	1,12	0	0	1,08	0
0,35	0,7	0	0,39	1,12	0
1,37	1,16	0,78	1,61	1,57	1,03
1,04	0,2	0	1,31	0,34	0
0,67	0,22	0,44	0	1,39	0
0,64	1	0	1,78	2,11	0
0	1,03	1,14	0	1,4	1,24
0,91	1,7	0	1,38	1,34	0
0,28	0,49	0	1,64	1,28	1,45
1,96	0,3	0	1,47	1,57	0
0,2	0,2	0	0	1,71	0

Tableau 6 : Profondeurs de pénétration mesurées dans les 3 différents groupes avec ou sans reminéralisation (en mm)

Pénétration Bleu de méthylène - 2x cycles HCl

Pénétration Bleu de méthylène - 5x cycles HCl

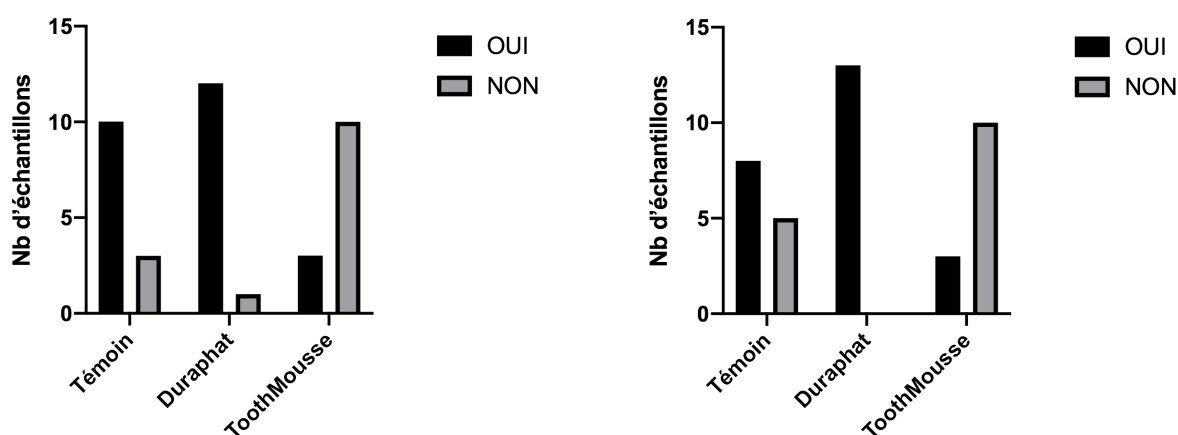


Figure 19 : Fréquence de pénétration du bleu de méthylène au sein des trois groupes pour la "condition 2 cycles" (à gauche) et la "condition 5 cycles" (à droite)

Une première analyse des valeurs a mis en évidence, pour la « Condition 2 cycles », une pénétration du bleu de méthylène pour la majorité des échantillons dans les groupes

« Témoin » (10 « OUI » / 3 « NON ») et « Duraphat[®] » (12 « OUI » / 1 « NON »), contrairement au groupe « Tooth Mousse[®] » où l'analyse des coupes n'a révélé aucune pénétration du bleu de méthylène pour la majorité des échantillons étudiés (3 « OUI » / 10 « NON »). Des constatations similaires ont pu être faites pour la « Condition 5 cycles », avec une pénétration du bleu de méthylène pour la majorité des échantillons dans les groupes « Témoin » (8 « OUI » / 5 « NON ») et « Duraphat[®] » (13 « OUI » / 0 « NON »), contrairement au groupe « Tooth Mousse[®] » où l'analyse des coupes n'a révélé aucune pénétration du bleu de méthylène pour la majorité des échantillons étudiés (3 « OUI » / 10 « NON ») (Figure 19).

III.2. Comparaison des groupes expérimentaux pour la « Condition 2 cycles » (P/L)

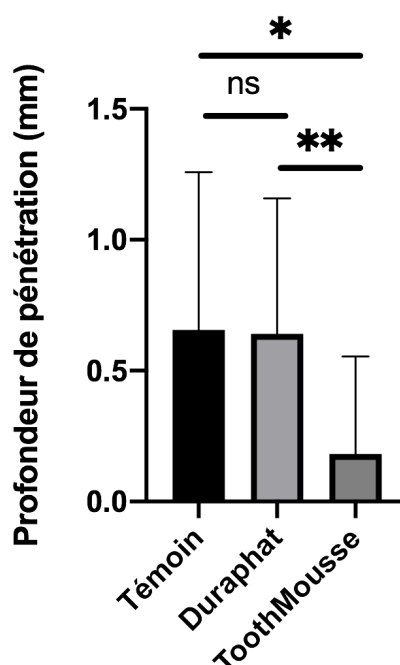


Figure 20 : Moyennes des profondeurs de pénétration et écart-types pour les trois groupes au sein de la "Condition 2 cycles" (ns : non significatif ; *p : p<0.05 ; **p<0.01)

La comparaison des groupes expérimentaux a permis de montrer que la profondeur de pénétration du bleu de méthylène, pour la « Condition 2 cycles », était significativement inférieure pour le groupe Tooth Mousse[®] (0,18 +/- 0,37 mm) par rapport aux groupes « Témoin » (0,66 +/- 0,60 mm ; p<0.05) et « Duraphat[®] » (0,64 +/- 0,52 mm ; p<0,01). Aucune différence significative n'a été notée entre le groupe « Duraphat[®] » et « Témoin » pour cette condition (Figure 20).

III.3. Comparaison des groupes expérimentaux pour la « Condition 5 cycles » (V)

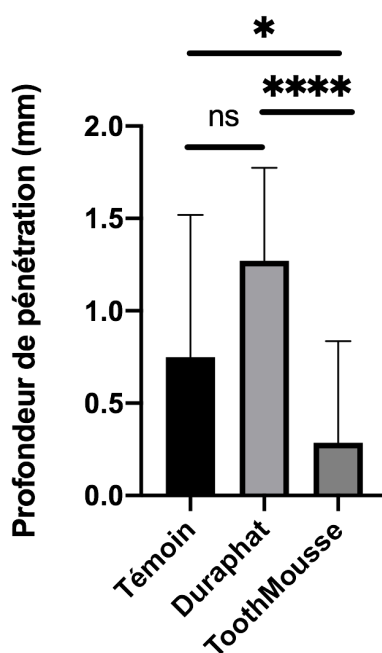


Figure 21 : Moyennes des profondeurs de pénétration et écart-types pour les trois groupes au sein de la "Condition 5 cycles" (ns : non significatif ; *p : p<0.05 ; ****p<0.0001)

La comparaison des groupes expérimentaux a permis de montrer que la profondeur de pénétration du bleu de méthylène, pour la « Condition 5 cycles », était significativement inférieure pour le groupe Tooth Mousse® (0,29 +/- 0,55 mm) par rapport aux groupes « Témoin » (0,75 +/- 0,77 mm ; p<0.05) et « Duraphat® » (1,27 +/- 0,50 mm ; p<0,0001). Aucune différence significative n'a été notée entre le groupe « Duraphat® » et « Témoin » pour cette condition (Figure 21).

III.3. Comparaison des « Condition 2 cycles » et « Condition 5 cycles » pour chaque groupe expérimental

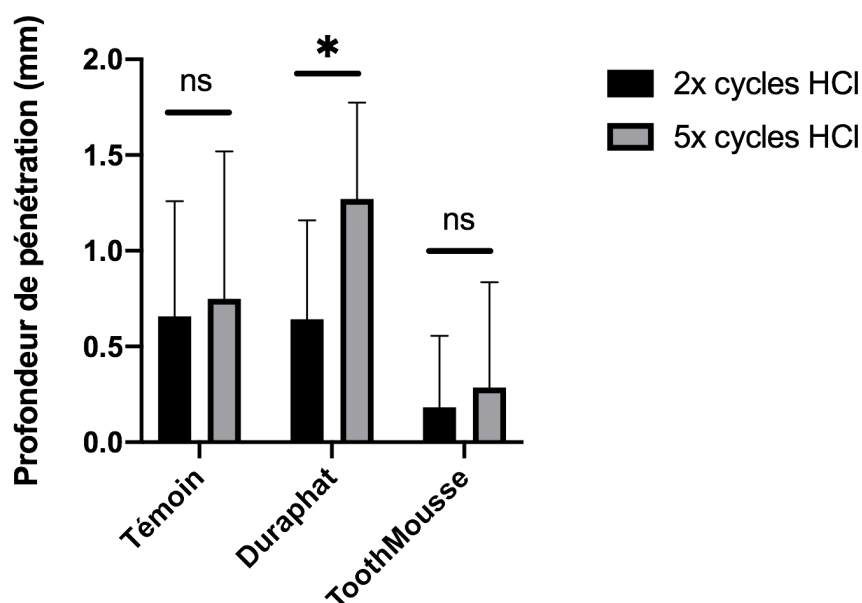


Figure 22 : Moyennes des profondeurs de pénétration et écart-types pour les trois groupes au sein des "Condition 2 cycles" et "Condition 5 cycles" (ns : non significatif ; *p : p<0.05)

Les analyses statistiques des profondeurs de pénétration du bleu de méthylène au niveau des faces ayant subi respectivement 2 cycles et 5 cycles d'érosion à l'acide chlorhydrique permettent de mettre en évidence :

- Une absence de différence significative pour les groupes « Témoin » et « Tooth Mousse® »
- Une profondeur de pénétration significativement plus importante dans le groupe « Duraphat® » pour la « Condition 5 cycles » (1,27 +/- 0,50 mm) par rapport à la « Condition 2 cycles » (0,64 +/- 0,52 mm ; p<0,05) (Figure 22).

IV- Discussion

L'objectif de ce travail était de déterminer si une reminéralisation avant érosion-infiltration avait un impact sur la profondeur de pénétration de l'acide chlorhydrique et par conséquent de la résine infiltrante. Cette étude a mis en évidence une diminution significative de la pénétration du bleu de méthylène et ainsi de l'acide chlorhydrique dans le groupe de dents reminéralisées à l'aide du Tooth Mousse®.

Des études ont montré la possibilité d'une reminéralisation spontanée des WSLs durant les semaines suivant l'arrêt du traitement orthodontique et la dépose du système multi-bague, entraînant une diminution de leur apparence voire même leur disparition pour les WSLs de petite taille. La régression de la surface de déminéralisation est exponentielle dans le temps avec une notable réduction les deux premiers mois suivant l'arrêt du traitement orthodontique (91). Cependant, certaines taches blanches peuvent persister et être détectables 12 mois après l'arrêt du traitement. Dans ces cas de figure, la reminéralisation est la thérapeutique la moins invasive et la plus conservatrice qui puisse être proposée au patient.

L'étude de Kucuk en 2016 a étudié les changements de la profondeur de la lésion, la surface et le pourcentage de minéraux des white spot lesions en comparant 3 agents reminéralisants (GC Tooth Mousse®, Clinpro® 5000, fluorure de sodium à 50 ppm)(92). Leurs conclusions montrent un taux de reminéralisation plus important pour le groupe Tooth Mousse® de GC avec une diminution significative de 21% du volume, 18% de la profondeur, 17% de la surface de lésion et une augmentation de 25% de la densité minérale dans la lésion. Ces conclusions sont en accord avec les résultats de notre étude qui montrent une meilleure reminéralisation en faveur du groupe Tooth Mousse® avec très peu de pénétration de bleu de méthylène après déminéralisation à l'acide chlorhydrique.

Concernant le choix de l'échantillon et de la population étudiée, seules des dents extraites pour des raisons orthodontiques ont été sélectionnées ce qui a permis de limiter l'âge maximum des patients inclus à 18 ans. De plus, nous avons également décidé de choisir d'exclure les prémolaires permanentes immatures afin de réduire au maximum la variabilité inter-individu bien qu'elle reste inévitable car les dents de plusieurs individus de sexe, d'âge et ethnies différentes ont été incluses au sein de l'étude. La variabilité dans la composition

salivaires, l'hygiène bucco-dentaire, le degré de minéralisation amélaire au moment de l'extraction font ainsi partie des biais de cette étude.

Cette variabilité interindividuelle est aussi observée dans les résultats du groupe témoin où certaines dents du même patient (31 à 34) ne présentent très peu ou aucune pénétration du bleu de méthylène malgré l'absence de reminéralisation.

L'établissement du protocole expérimental s'est basé sur plusieurs études *in vitro* étudiant la reminéralisation (89,90,93,94). L'application homogène d'acide orthophosphorique pendant une minute sur les surfaces amélaire concernées, en tant qu'agent déminéralisant, a été préférée à l'usage d'une solution de déminéralisation telle que proposée dans certains protocoles. La reproductibilité du geste a permis d'obtenir une déminéralisation peut être moins profonde comparée à une solution de déminéralisation, mais homogène sur l'ensemble des dents traitées sans différence entre les groupes ni entre les dents d'un même groupe.

Au cours de l'élaboration et de la validation du protocole préétabli avec la dent test, la possibilité de mesurer la surface de pénétration de bleu de méthylène a été discutée. Dans notre cas il a été compliqué de mettre en place cette mesure sans biais, car les fenêtres réalisées n'étaient pas de taille standardisée. La taille de la fenêtre a été adaptée aux dimensions de la surface coronaire amélaire, différentes entre les prémolaires mandibulaires et maxillaires et entre les faces vestibulaires et linguales.

En ce qui concerne la reminéralisation, le Duraphat® en vernis a été exclu pour cette comparaison car son indication se limite à une application en ambulatoire une fois par mois pendant 6 mois. Pour éviter ce biais trop important nous avons choisi le seul produit fluoré à application quotidienne chez Colgate®, le dentifrice Duraphat®, plus aisément comparable à l'application de Tooth Mousse®.

Pour la reminéralisation au Tooth Mousse®, les recommandations du fabricant étaient d'une application par jour à raison d'une première application de 3 minutes sur chaque face, étaler et répartir le produit avec la langue puis laisser agir de nouveau 2 minutes. Cependant, la durée du traitement n'était pas du tout indiquée. Après m'être rapproché du fabricant (GC), il m'a été recommandé de réaliser une reminéralisation d'un mois soit l'équivalent d'un tube Tooth Mousse®. La mise en place du protocole de reminéralisation au Tooth Mousse® a

été plus simple que celle concernant le groupe Duraphat® car la reproduction du brossage *in vitro* en s'assurant d'avoir le même temps d'application sur toutes les dents à chaque instant n'était pas aisé. Le protocole était à reproduire 3 fois dans la même journée ce qui a pu créer quelques biais.

Après avoir défini une durée de reminéralisation de 30 jours, la question de la solution de conservation entre chaque reminéralisation s'est posée. Les différentes études *in vitro* évoquaient l'utilisation de salives artificielles comme solution de conservation sans préciser la marque, le conditionnement ni la composition exacte. Dans le cadre de cette étude, le choix a été fait de conserver les dents dans la salive naturelle d'un seul individu, renouvelée tous les 3 jours afin de maintenir au mieux les propriétés salivaires.

Lors de la phase de reminéralisation, des difficultés techniques se sont posées du fait du décolllement de la cire mise en place. Comme expliqué dans la partie « matériels et méthodes », les dents étaient replacées après chaque reminéralisation dans un tube de salive, ce qui pouvait entraîner des décolllements partiels de la cire. Avant toute reminéralisation la cire était remise en place. Cependant, de très légers décalages des fenêtres de reminéralisation ont pu être observés à la fin de la phase de reminéralisation, mais sans impact sur les résultats finaux.

Quant au protocole d'érosion par application de l'acide chlorhydrique, il a été décidé de simplement appliquer ce dernier sur la surface amélaire à l'aide d'un pinceau sans frotter la surface afin d'éviter une application de forces différentes entre chaque dent, pouvant créer un biais. Nous avons choisi un nombre de cycle différents entre les faces, vestibulaire et palatine/linguale, afin de déterminer si le nombre de cycles d'acide influence sur la profondeur de pénétration de l'acide chlorhydrique et donc de la résine d'infiltration. Ne sachant pas comment le produit diffuserait et pour éviter une confusion dans l'interprétation de la profondeur de pénétration, nous avons choisi de se limiter à 5 cycles maximum.

Ainsi, comme nous pouvons le voir dans le groupe reminéralisé au Tooth Mousse® il semble judicieux au vu des résultats soit d'opter pour un autre agent de reminéralisation lorsqu'une procédure d'érosion-infiltration est programmée, soit de réaliser, comme pour les MIH, les hypominéralisations traumatiques profondes, les fluoroses sévères, une infiltration

profonde pour limiter le nombre de cycle d'attaque acide et s'assurer d'infiltrer l'ensemble d'une lésion profonde (84).

Au moment du choix de l'axe de coupes, les coupes devaient être réalisées dans le sens vestibulo-lingual/palatin pour pouvoir analyser distinctement la pénétration du bleu de méthylène en vestibulaire et en lingual/palatin. Une coupe transversale dans le sens mésio-distal a été réalisée ainsi qu'une coupe longitudinale toujours dans ce même sens. Après comparaison des deux coupes, il a été décidé de réaliser plutôt des coupes longitudinales où les mesures semblaient plus faciles à réaliser et surtout plus reproductibles.

En ce qui concerne l'interprétation des coupes, toute pénétration linéaire du bleu de méthylène n'était pas prise en compte car associée à une fêlure non détectée au préalable par l'analyse microscopique (Figure 23). L'interprétation des coupes pouvait être parfois difficile et subjective. Les mesures étaient réalisées par le même opérateur à 3 intervalles différents. Les coupes pour lesquelles subsistait un doute d'interprétation ont été analysées par un second opérateur.

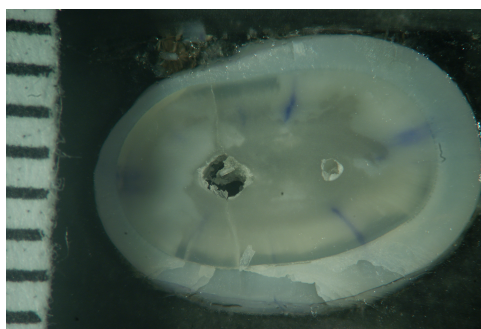


Figure 23: Exemple d'une coupe où la pénétration du bleu de méthylène n'est pas prise en compte car liée à la présence de fêlures

Lors de l'observation des différentes coupes, en présence de colorations il a été difficile de distinguer la zone distale ayant subi uniquement un mordantage à l'acide orthophosphorique. Cette dernière n'a ainsi pas pu être exploitée comme zone contrôle. Un fraisage préalable délimitant la fenêtre amélaire d'étude aurait pu éviter cette confusion et serait à envisager pour améliorer ce protocole expérimental pour d'autres études *in vitro* sur le sujet.

L'interprétation subjective, qualitative et quantitative, de la pénétration du bleu de méthylène est un point de réflexion majeur pour améliorer le protocole expérimental.

Certaines études *in vitro* ont utilisé comme méthode d'évaluation de la pénétration du bleu de méthylène un microscope confocal à balayage laser (95). Pour plus de précisions, certains chercheurs ont utilisé le microscope électronique à balayage (82). Il aurait été utile dans les cas où aucune coloration n'a été relevé au microscope binoculaire pour distinguer de très faibles pénétrations du bleu de méthylène de l'ordre du μm . Mais son intérêt est limité en présence de coloration car ne permet d'obtenir la pénétration la plus profonde.

De plus sur les coupes correspondant à la partie cervicale, en présence d'une coloration au bleu de méthylène une attention particulière était portée pour s'assurer qu'il ne s'agissait pas de la jonction amélo-cémentaire ou de la zone radulaire.

Il a cependant été noté dans le groupe de reminéralisation au Duraphat® qu'une pénétration du bleu de méthylène se produisait plus souvent dans la zone cervicale ceci étant liée à une épaisseur plus faible de l'émail dans cette zone. De plus, dans ce même groupe nous avons noté des valeurs extrêmes de pénétration de bleu de méthylène avec une infiltration très importante en vestibulaire (« Condition 5 cycles »). Une des hypothèses quant à cette pénétration excessive serait la présence d'une porosité exacerbée de l'émail pouvant être due à un sur-mordançage de la face vestibulaire lors d'un possible traitement orthodontique initié avant extraction.

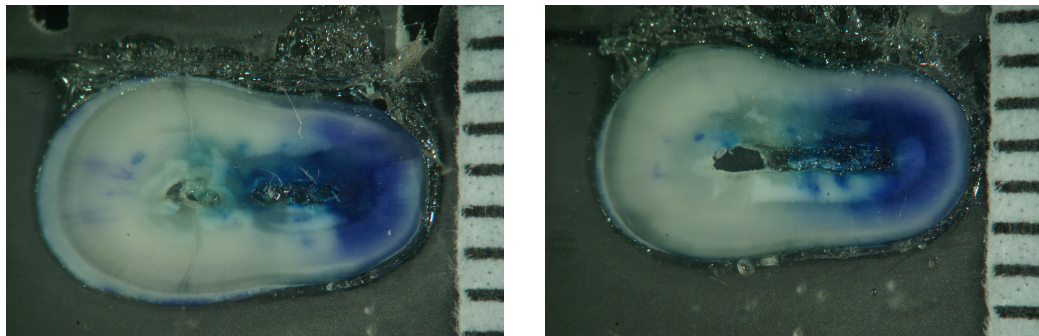


Figure 24 : Exemple d'une dent présentant une porosité très importante avec une profondeur de pénétration extrême par rapport aux autres dents

Dans la littérature, très peu d'études *in vitro* se sont intéressées à la profondeur de pénétration de l'acide chlorhydrique dans le protocole d'érosion infiltration. Cependant quelques études *in vitro* ont mesuré la profondeur de pénétration de la résine infiltrante ICON® en utilisant plusieurs techniques d'évaluation différentes. Les valeurs sont variables et difficilement comparables avec notre étude puisque nous avons ici étudié la pénétration

de bleu de méthylène et non de résine infiltrante post-érosion. Certaines valeurs sont donc en dessous de celles retrouvées dans nos résultats, c'est le cas de l'étude *in vitro* d'Arora & col, dans laquelle la profondeur de pénétration moyenne de la résine infiltrante est de 177,71 μm pour un cycle d'érosion infiltration selon le protocole indiqué par le fabricant (81). Shima M & Col, ont noté une profondeur de pénétration de la résine infiltrante moyenne de 26,32 μm après un cycle, relevée uniquement sur 3 zones différentes (96). López López & Col, ont montré dans leur étude *in vitro* qu'un pré-traitement de l'émail avec préalablement l'acide orthophosphorique à 37% pendant 15 secondes puis l'acide chlorhydrique pendant 2 minutes permettait une meilleure profondeur de pénétration de la résine infiltrante par rapport à l'acide chlorhydrique seul (95). Cette conclusion permet d'expliquer les valeurs plus élevées des résultats de notre étude puisqu'un pré-traitement de l'émail avec un acide orthophosphorique à 37% pendant 1 minute a précédé les différents cycles d'acide chlorhydrique. L'étude de Lausch & col, est celle qui présente des résultats de profondeur de pénétration proches de celles retrouvées avec une moyenne de 1232 μm lorsqu'une action abrasive à l'aide d'une brosse à poils durs est associée à l'application d'acide chlorhydrique (97). De plus contrairement aux études citées, dans notre protocole expérimental, plusieurs applications d'acide chlorhydrique ont été réalisées.

Aucune étude *in vitro* n'a mesuré la profondeur de pénétration de l'acide chlorhydrique ni de la résine infiltrante après reminéralisation. De même aucune étude *in vitro* n'a comparé le nombre de cycle d'acide chlorhydrique à la profondeur de pénétration de la résine infiltrante, d'où l'intérêt de ce travail réalisé dans le cadre de cette thèse.

L'érosion-infiltration est une thérapeutique qui permet à la fois de traiter l'émail hypominéralisé et poreux qui caractérise les dents présentant des taches blanches, et d'estomper ces taches pour un résultat esthétique très satisfaisant. Certains échecs ont été notés lorsque la lésion est profonde ou située plutôt à la jonction amélo-dentinaire.

Les résultats de l'étude montrent que le choix du produit reminéralisant est important avant une thérapeutique d'érosion infiltration. Le Tooth Mousse® semble créer une couche d'hyper-minéralisation amélaire qui rend la pénétration de l'acide chlorhydrique plus compliquée. Il serait donc conseillé de privilégier un reminéralisant tel que le Duraphat® dentifrice.

Si la reminéralisation au Tooth Mousse® a été réalisée par prévention lors du traitement orthodontique ou en 1^{ère} intention de traitement des WSL, il serait judicieux de réaliser une infiltration profonde par sablage ou fraisage de la lésion dans un premier temps.

Des études supplémentaires sont nécessaires au vu du faible échantillon de notre étude et des limitations liées aux études *in vitro*. En effet, les lésions *in vivo* sont plus perméables. De plus *in situ*, les études *in vivo* en présence de la salive et de la pellicule acquise peuvent donner des résultats différents. De nouvelles techniques d'évaluation de la pénétration de l'acide ou de la résine pourraient améliorer ce protocole et compléter cette étude.

V- Conclusion

L'érosion infiltration est une technique minimalement invasive qui traite efficacement les taches blanches liées à une hypominéralisation amélaire. Cette pratique est de plus en plus répandue dans les cabinets de chirurgie dentaire. Elle permet de répondre à une demande esthétique de plus en plus présente avec un protocole aisé, facile à mettre en place avec un temps opératoire correct. Elle présente également l'avantage d'être biocompatible.

Certaines études notent une modification de la coloration avec le vieillissement. Cependant, la réintervention dans ces conditions est aisée grâce à une résine composite par stratification qui permettrait d'améliorer les résultats esthétiques dans le temps tout en respectant le gradient thérapeutique. Elle peut souvent être associée à d'autres thérapeutiques telles que l'éclaircissement et/ou la reminéralisation ou micro-abrasion.

Lorsqu'une reminéralisation doit être réalisée avant érosion infiltration, l'usage du Duraphat® serait plus indiqué pour ne pas entraver la pénétration de la résine infiltrante. Cependant si une reminéralisation préventive au Tooth Mousse® est utilisée au cours du traitement orthodontique ou comme désensibilisant pour les MIH ou fluorose, il serait judicieux de réaliser d'emblée une érosion-infiltration profonde par élimination de la couche hyperminéralisée à l'aide d'un sablage ou d'un fraisage léger de l'émail afin de limiter le nombre de cycles d'acide et de s'assurer de pénétrer l'ensemble de la lésion.

BIBLIOGRAPHIE

1. Denis M, Atlan A, Vennat E, Tirlet G, Attal J-P. White defects on enamel: Diagnosis and anatomopathology: Two essential factors for proper treatment (part 1). *Int Orthod.* 1 juin 2013;11(2):139-65.
2. Denis M, Atlan A, Attal JP. Erosion/infiltration : Un nouveau traitement des taches blanches. :6.
3. Cecchini RCM, Zezell DM, Oliveira E de, Freitas PM de, Eduardo C de P. Effect of Er:YAG laser on enamel acid resistance: Morphological and atomic spectrometry analysis. *Lasers Surg Med.* 2005;37(5):366-72.
4. Memarpour M, Soltanimehr E, Sattarahmady N. Efficacy of calcium- and fluoride-containing materials for the remineralization of primary teeth with early enamel lesion. *Microsc Res Tech.* 2015;78(9):801-6.
5. Morrier J-J. Leucomes et traitement orthodontique. Prévention, traitement. *Orthod Fr.* sept 2014;85(3):235-44.
6. Julien KC, Buschang PH, Campbell PM. Prevalence of white spot lesion formation during orthodontic treatment. *Angle Orthod.* 4 janv 2013;83(4):641-7.
7. Bishara SE, Ostby AW. White Spot Lesions: Formation, Prevention, and Treatment. *Semin Orthod.* 1 sept 2008;14(3):174-82.
8. Heymann GC, Grauer D. A Contemporary Review of White Spot Lesions in Orthodontics. *J Esthet Restor Dent.* 1 avr 2013;25(2):85-95.
9. Sixou J-L, Delbos Y. Recommandation sur la prescription des fluorures de la naissance à l'adolescence. *J Odonto-Stomatol Pédiatrique.* 2004;11(3):24.
10. Agence Nationale de la Sécurité du Médicament et des Produits de Santé. Mise au point : utilisation du fluor dans la prévention de la carie dentaire avant l'âge de 18 ans [Internet]. 2008. Disponible sur: <http://ansm.sante.fr>
11. Coelho ASE da C, Mata PCM, Lino CA, Macho VMP, Areias CMFGP, Norton APMAP, et al. Dental hypomineralization treatment: A systematic review. *J Esthet Restor Dent.* 2019;31(1):26-39.
12. Nabiha D. • Le traitement de la fluorose dentaire. 24 déc 2003;
13. Yanagisawa T, Takuma S, Fejerskov O. Ultrastructure and composition of enamel in human dental Chlorosis. *Adv Dent Res.* 1989;203-10.
14. Jälevik B, Klingberg GA. Dental treatment, dental fear and behaviour management problems in children with severe enamel hypomineralization of their permanent first molars. *Int J Paediatr Dent.* 2002;12(1):24-32.
15. Weerheijm KL. Molar Incisor Hypomineralisation (MIH). *Eur J Paediatr Dent.* :7.
16. Jälevik B, Norén JG, Klingberg G, Barregård L. Etiologic factors influencing the prevalence of demarcated opacities in permanent first molars in a group of Swedish children. *Eur J Oral Sci.* 2001;109(4):230-4.
17. Fagrell TG, Dietz W, Jälevik B, Norén JG. Chemical, mechanical and morphological properties of hypomineralized enamel of permanent first molars. *Acta Odontol Scand.* juill 2010;68(4):215-22.
18. Baroni C, Marchionni S. MIH Supplementation Strategies. 13 déc 2010;
19. Fearn J, Anderson P, Davis GR. 3D X-ray microscopic study of the extent of variations in enamel density in first permanent molars with idiopathic enamel hypomineralisation. *Br Dent J.* 22 mai 2004;196(10):634-8; discussion 625.
20. Jälevik B, Norén JG. Enamel hypomineralization of permanent first molars: a morphological study and survey of possible aetiological factors. *Int J Paediatr Dent.* 2000;10(4):278-89.
21. Amorim L de FG de, Estrela C, Costa LRRS da. Effects of traumatic dental injuries to

- primary teeth on permanent teeth – a clinical follow-up study. *Dent Traumatol.* 2011;27(2):117-21.
22. Arx T von. Developmental disturbances of permanent teeth following trauma to the primary dentition. *Aust Dent J.* 1993;38(1):1-10.
 23. Attal J-P, Tirlet G. Le gradient thérapeutique : un concept médical pour les traitements esthétiques. 25 nov 2009;
 24. Magne P, Belser UC. Restaurations adhésives en céramique sur dents antérieures : approche biomimétique. *Quintessence International*; 2003.
 25. Davidson CL, Bekke-Hoekstra IS. The resistance of superficially sealed enamel to wear and carious attack in vitro. *J Oral Rehabil.* 1980;7(4):299-305.
 26. Marinho VCC. Cochrane reviews of randomized trials of fluoride therapies for preventing dental caries. *Eur Arch Paediatr Dent Eur Acad Paediatr Dent.* sept 2009;10(3):183-91.
 27. Hadler-Olsen S, Sandvik K, El-Agroudi MA, Ogaard B. The incidence of caries and white spot lesions in orthodontically treated adolescents with a comprehensive caries prophylactic regimen--a prospective study. *Eur J Orthod.* 1 oct 2012;34(5):633-9.
 28. Guzmán-Armstrong S, Chalmers J, Warren JJ. White spot lesions: Prevention and treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* déc 2010;138(6):690-6.
 29. Zabokova-Bilbilova E, Popovska L, Kapusevska B, Stefanovska E. White Spot Lesions: Prevention and Management During the Orthodontic Treatment. *PRILOZI.* 1 déc 2014;35(2):161-8.
 30. Geiger AM, Gorelick L, Gwinnett AJ, Griswold PG. The effect of a fluoride program on white spot formation during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 janv 1988;93(1):29-37.
 31. Benson PE. Quantifying enamel demineralization from teeth with orthodontic brackets--a comparison of two methods. Part 2: validity. *Eur J Orthod.* 1 avr 2003;25(2):159-65.
 32. Hirschfeld R. Control of decalcification by use of fluoride mouthrinse. *ASDC J Dent Child.* 1 nov 1978;45(6):458-60.
 33. Gwinnett AJ, Buonocore MG, Sheykhleslam Z. Effect of fluoride on etched human and bovine tooth enamel surfaces as demonstrated by scanning electron microscopy. *Arch Oral Biol.* févr 1972;17(2):271-IN9.
 34. Demito CF, Vivaldi-Rodrigues G, Ramos AL, Bowman SJ. The efficacy of a fluoride varnish in reducing enamel demineralization adjacent to orthodontic brackets: an in vitro study. *Orthod Craniofac Res.* 1 nov 2004;7(4):205-10.
 35. Kirschneck C, Christl J-J, Reicheneder C, Proff P. Efficacy of fluoride varnish for preventing white spot lesions and gingivitis during orthodontic treatment with fixed appliances—a prospective randomized controlled trial. *Clin Oral Investig.* déc 2016;20(9):2371-8.
 36. Quock RL, Warren-Morris DP. Fluoride varnish: the top choice for professionally applied fluoride. *Tex Dent J.* août 2010;127(8):749-59.
 37. Fernández-Ferrer L, Vicente-Ruiz M, García-Sanz V, Montiel-Company JM, Paredes-Gallardo V, Almerich-Silla JM, et al. Enamel remineralization therapies for treating postorthodontic white-spot lesions. *J Am Dent Assoc.* sept 2018;149(9):778-786.e2.
 38. Özgül BM, Saat S, Sönmez H, Öz FT. Clinical evaluation of desensitizing treatment for incisor teeth affected by molar-incisor hypomineralization. *J Clin Pediatr Dent.* déc 2013;38(2):101-5.
 39. Restrepo M, Jeremias F, Santos-Pinto L, Cordeiro RC, Zuanon AC. Effect of Fluoride Varnish on Enamel Remineralization in Anterior Teeth with Molar Incisor Hypomineralization. 29 juill 2016;
 40. Ancira-González L, Esparza-Villalpando V, Garrocho-Rangel A, Pozos-Guillén A. White Spot Lesion Remineralisation Agents in Primary Teeth: A Systematic Review. *Oral Health Prev Dent.* sept 2018;16(5):391-400.
 41. Oliveira GMS, Ritter AV, Heymann HO, Swift E, Donovan T, Brock G, et al. Remineralization Effect of CPP-ACP and Fluoride for White Spot Lesions in vitro. *J Dent.* déc

2014;42(12):1592-602.

42. Ekambaram M, Said SNBM, Yiu CKY. A Review of Enamel Remineralisation Potential of Calcium- and Phosphate-based Remineralisation Systems. *Oral Health Prev Dent.* sept 2017;15(5):415-20.
43. Elkassas D, Arafa A. Remineralizing efficacy of different calcium-phosphate and fluoride based delivery vehicles on artificial caries like enamel lesions. *J Dent.* avr 2014;42(4):466-74.
44. Karlinsey RL, Pfarrer AM. Fluoride Plus Functionalized β -TCP: A Promising Combination for Robust Remineralization. *Adv Dent Res.* sept 2012;24(2):48-52.
45. Cochrane N, Shen P, Yuan Y, Reynolds E. Ion release from calcium and fluoride containing dental varnishes. *Aust Dent J.* mars 2014;59(1):100-5.
46. Shen P, Manton DJ, Cochrane NJ, Walker GD, Yuan Y, Reynolds C, et al. Effect of added calcium phosphate on enamel remineralization by fluoride in a randomized controlled in situ trial. *J Dent.* juill 2011;39(7):518-25.
47. Cochrane NJ, Cai F, Huq NL, Burrow MF, Reynolds EC. New Approaches to Enhanced Remineralization of Tooth Enamel. *J Dent Res.* 1 nov 2010;89(11):1187-97.
48. Gelhard TB, Arends J. Microradiography of in vivo remineralized lesions in human enamel. II. *J Biol Buccale.* mars 1984;12(1):59-65.
49. Reema SD, Lahiri PK, Roy SS. Review of Casein Phosphopeptides-Amorphous Calcium Phosphate. 2014;17(1):8.
50. Reynolds EC, Cai F, Cochrane NJ, Shen P, Walker GD, Morgan MV, et al. Fluoride and Casein Phosphopeptide-Amorphous Calcium Phosphate. *J Dent Res.* avr 2008;87(4):344-8.
51. Walker GD, Cai F, Shen P, Adams GG, Reynolds C, Reynolds EC. Casein Phosphopeptide-Amorphous Calcium Phosphate Incorporated into Sugar Confections Inhibits the Progression of Enamel Subsurface Lesions in situ. *Caries Res.* 2010;44(1):33-40.
52. Thakkar PJ, Badakar CM, Hugar SM, Hallikerimath S, Patel PM, Shah P. An in vitro comparison of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate paste, casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate paste with fluoride and casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate varnish on the inhibition of demineralization and promotion of remineralization of enamel. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 10 janv 2017;35(4):312.
53. Reynolds EC, Cain CJ, Webber FL, Black CL, Riley PF, Johnson IH, et al. Anticariogenicity of Calcium Phosphate Complexes of Tryptic Casein Phosphopeptides in the Rat. *J Dent Res.* juin 1995;74(6):1272-9.
54. Güçlü ZA, Alaçam A, Coleman NJ. A 12-Week Assessment of the Treatment of White Spot Lesions with CPP-ACP Paste and/or Fluoride Varnish. *BioMed Res Int.* 2016;2016:1-9.
55. Llana C, Leyda AM, Forner L. CPP-ACP and CPP-ACFP versus fluoride varnish in remineralisation of early caries lesions. A prospective study. *Eur J Paediatr Dent Off J Eur Acad Paediatr Dent.* 2015;16(3):181-6.
56. Li J, Xie X, Wang Y, Yin W, Antoun JS, Farella M, et al. Long-term remineralizing effect of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate (CPP-ACP) on early caries lesions in vivo: A systematic review. *J Dent.* juill 2014;42(7):769-77.
57. Yengopal V, Mickenautsch S. Caries preventive effect of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate (CPP-ACP): a meta-analysis. *Acta Odontol Scand.* 1 janv 2009;67(6):321-32.
58. Ma X, Lin X, Zhong T, Xie F. Evaluation of the efficacy of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate on remineralization of white spot lesions in vitro and clinical research: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health.* déc 2019;19(1).
59. Andersson A, Sköld-Larsson K, Haligren A, Petersson LG, Twetman S, Sköld-Larsson K, et al. Effect of a dental cream containing amorphous cream phosphate complexes on white spot lesion regression assessed by laser fluorescence. *Oral Health Prev Dent.* juin 2007;5(3):229-33.
60. Kim Y, Son H, Yi K, Ahn J, Chang J. Bleaching Effects on Color, Chemical, and Mechanical Properties of White Spot Lesions. *Oper Dent.* 1 mai 2016;41(3):318-26.
61. Penumatsa NV, Kaminedi RR, Baroudi K, Barakath O. Evaluation of remineralization

- capacity of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate on the carbamide peroxide treated enamel. *J Pharm Bioallied Sci.* août 2015;7(Suppl 2):S583-6.
62. Croll TP. Enamel microabrasion: the technique. *Quintessence Int.* juin 1989;20(6):395-400.
 63. Pini NIP, Costa R, Bertoldo CES, Aguiar FHB, Lovadino JR, Lima DANL. Enamel morphology after microabrasion with experimental compounds. *Contemp Clin Dent.* juin 2015;6(2):170-5.
 64. Macedo AFD, Tomazela-Herndl S, Corrêa MSNP, Duarte DA, Santos MTBR. Enamel microabrasion in an individual with Cohen syndrome. *Spec Care Dentist.* 2008;28(3):116-9.
 65. Shillingburg HT, Grace CS. Thickness of enamel and dentin. *J - South Calif Dent Assoc.* janv 1973;41(1):33-36 passim.
 66. Sundfeld D, Pavani CC, Pavesi Pini NI, Machado LS, Schott TC, Bertoz AP de M, et al. Esthetic recovery of teeth presenting fluorotic enamel stains using enamel microabrasion and home-monitored dental bleaching. *J Conserv Dent JCD.* 2019;22(4):401-5.
 67. Sundfeld D, da Silva LMS, Kluppel OJ, Santin GC, de Oliveira RCG, Pacheco RR, et al. Molar Incisor Hypomineralization: Etiology, Clinical Aspects, and a Restorative Treatment Case Report. *Oper Dent.* 1 juill 2020;45(4):343-51.
 68. Krämer N, Bui Khac N-HN, Lücker S, Stachniss V, Frankenberger R. Bonding strategies for MIH-affected enamel and dentin. *Dent Mater.* 1 févr 2018;34(2):331-40.
 69. Ekambaram M, Yiu CKY. Bonding to hypomineralized enamel – A systematic review. *Int J Adhes Adhes.* 1 sept 2016;69:27-32.
 70. Martignon S, Ekstrand K r., Gomez J, Lara J s., Cortes A. Infiltrating/Sealing Proximal Caries Lesions: A 3-year Randomized Clinical Trial. *J Dent Res.* mars 2012;91(3):288-92.
 71. Chay PL, Manton DJ, Palamara JEA. The effect of resin infiltration and oxidative pretreatment on microshear bond strength of resin composite to hypomineralised enamel. *Int J Paediatr Dent.* juill 2014;24(4):252-67.
 72. Wiegand A, Stawarczyk B, Kolakovic M, Hämmerle CHF, Attin T, Schmidlin PR. Adhesive performance of a caries infiltrant on sound and demineralised enamel. *J Dent.* 1 févr 2011;39(2):117-21.
 73. Attin R, Stawarczyk B, Keçik D, Knösel M, Wiechmann D, Attin T. Shear bond strength of brackets to demineralize enamel after different pretreatment methods. *Angle Orthod.* 27 juill 2011;82(1):56-61.
 74. Naidu E, Stawarczyk B, Tawakoli PN, Attin R, Attin T, Wiegand A. Shear bond strength of orthodontic resins after caries infiltrant preconditioning. *Angle Orthod.* 22 août 2012;83(2):306-12.
 75. Paris S, Schwendicke F, Keltsch J, Dörfer C, Meyer-Lueckel H. Masking of white spot lesions by resin infiltration in vitro. *J Dent.* 1 nov 2013;41:e28-34.
 76. Paris S, Schwendicke F, Seddig S, Müller W-D, Dörfer C, Meyer-Lueckel H. Microhardness and mineral loss of enamel lesions after infiltration with various resins: Influence of infiltrant composition and application frequency in vitro. *J Dent.* 1 juin 2013;41(6):543-8.
 77. Torres CRG, Rosa PCF, Ferreira NS, Borges AB. Effect of caries infiltration technique and fluoride therapy on microhardness of enamel carious lesions. *Oper Dent.* août 2012;37(4):363-9.
 78. Taher NM, Alkhamis HA, Dowaidi SM. The influence of resin infiltration system on enamel microhardness and surface roughness: An in vitro study. *Saudi Dent J.* 1 avr 2012;24(2):79-84.
 79. Chandrasekhar R, Uloopi K, RojaRamya KS, Aswani R, Chandrappa V. Resin Infiltration of Artificial Enamel Lesions: Evaluation of Penetration Depth, Surface Roughness and Color Stability. *Int J Clin Pediatr Dent.* déc 2019;12(6):520-3.
 80. Arnold WH, Meyer A-K, Naumova EA. Surface Roughness of Initial Enamel Caries Lesions in Human Teeth After Resin Infiltration. *Open Dent J.* 23 sept 2016;10(1):505-15.
 81. Arora TC, Arora D, Tripathi AM, Yadav G, Saha S, Dhinsa K. An In-Vitro evaluation of resin infiltration system and conventional pit and fissure sealant on enamel properties in white

- spot lesions. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 4 janv 2019;37(2):133.
82. Perdigão J. Resin infiltration of enamel white spot lesions: An ultramorphological analysis. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(3):317-24.
 83. Meyer-Lueckel H, Paris S, Kielbassa AM. Surface Layer Erosion of Natural Caries Lesions with Phosphoric and Hydrochloric Acid Gels in Preparation for Resin Infiltration. *Caries Res.* 2007;41(3):223-30.
 84. Attal J-P, Atlan A, Denis M, Vennat E, Tirlet G. White spots on enamel: Treatment protocol by superficial or deep infiltration (part 2). *Int Orthod. mars* 2014;12(1):1-31.
 85. Meyer-Lueckel H, Paris S. Progression of Artificial Enamel Caries Lesions after Infiltration with Experimental Light Curing Resins. *Caries Res.* 2008;42(2):117-24.
 86. Willmot DR. White Lesions after Orthodontic Treatment: Does Low Fluoride Make a Difference?: *J Orthod.* 5 févr 2019;
 87. He T, Li X, Dong Y, Zhang N, Zhong Y, Yin W, et al. Comparative assessment of fluoride varnish and fluoride film for remineralization of postorthodontic white spot lesions in adolescents and adults over a 6-month period: A single-center, randomized controlled clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* juin 2016;149(6):810-9.
 88. Gözl L, Simonis RA, Reichelt J, Stark H, Frentzen M, Allam J-P, et al. In vitro biocompatibility of ICON® and TEGDMA on human dental pulp stem cells. *Dent Mater.* 1 août 2016;32(8):1052-64.
 89. Shaik ZA. Quantitative Analysis of Remineralization of Artificial Carious Lesions with Commercially Available Newer Remineralizing Agents Using SEM-EDX- In Vitro Study". *J Clin Diagn Res.* 2017;
 90. Freitas MCC de A, Nunes LV, Comar LP, Rios D, Magalhães AC, Honório HM, et al. In vitro effect of a resin infiltrant on different artificial caries-like enamel lesions. *Arch Oral Biol.* 6 août 2018;95:118-24.
 91. Shungin D, Olsson AI, Persson M. Orthodontic treatment-related white spot lesions: A 14-year prospective quantitative follow-up, including bonding material assessment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* août 2010;138(2):136.e1-136.e8.
 92. Kucuk EB, Malkoc S, Demir A. Microcomputed tomography evaluation of white spot lesion remineralization with various procedures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 sept 2016;150(3):483-90.
 93. Vieira AE de M, Danelon M, Camara DM da, Rosselli ER, Stock SR, Cannon ML, et al. In vitro effect of amorphous calcium phosphate paste applied for extended periods of time on enamel remineralization. *J Appl Oral Sci.* déc 2017;25(6):596-603.
 94. Subramaniam P, Girish Babu KL, Lakhota D. Evaluation of penetration depth of a commercially available resin infiltrate into artificially created enamel lesions: An in vitro study. *J Conserv Dent JCD.* 2014;17(2):146-9.
 95. López López EA, Dominguez JA, Gomes GM, Mora CAP, Bittencourt BF, Gomes JC, et al. Effect of Conditioning Protocols and Ultrasonic Application of an Infiltrant Resin in White Spot Lesions. *Braz Dent J.* févr 2019;30(1):58-65.
 96. Shimaa M E, Wegdan M AEF, Sonia M E-S. PENETRATION DEPTH AND ENAMEL MICROHARDNESS OF RESIN INFILTRANT AND TRADITIONAL TECHNIQUES FOR TREATMENT OF ARTIFICIAL ENAMEL LESIONS. *Alex Dent J.* 1 avr 2016;41(1):20-5.
 97. Lausch J, Paris S, Selje T, Dörfer CE, Meyer-Lueckel H. Resin Infiltration of Fissure Caries with Various Techniques of Pretreatment in vitro. *Caries Res.* 2015;49(1):50-5.

Annexe 1 : Articles ayant permis d'établir notre protocole expérimental

<u>Titre de l'article :</u>	<u>Protocole</u>
<p><i>Quantitative Analysis of Remineralization of Artificial Carious Lesions with Commercially Available Newer remineralization Agents Using SEM-EDX- In vitro study (89)</i></p> <p style="text-align: right;">2017</p>	<p>Dents incluses : Prémolaires extraites pour raison orthodontique, sans obturation, sans fêlures, sans caries.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nettoyage des dents extraites du sang et débris • Conservation dans des solutions de 0,1% thymol • Nettoyage des dents avec de la ponce avec une fraise sur contre angle à basse vitesse. • Décoronation des dents au niveau de la JEC. • <u>Les dents sont coupées dans le sens mésio-vestibulaire pour avoir une stabilité des échantillons lors des manipulations.</u> • Une surface de 4x4 a été protégée par du scotch. Le reste de l'émail qui ne sera pas analysé est coloré au feutre. • 3 groupes de 26 dents chacun comparant 3 techniques. • Le protocole dure 28 jours, l'opération est répétée tous les jours durant 28 jours. Après chaque manipulation les dents sont immergées dans de la salive artificielle.
<p><i>In vitro effect of a resin infiltrant on different artificial caries-like enamel lesions (90)</i></p> <p style="text-align: right;">2018</p>	<p>Dents incluses : Incisives de bovins.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Préparation des surfaces au disque diamanté à faible vitesse de rotation • Polissage (machine à polissage) • Conservation (solution 0,1% thymol) • Avant tout traitement des dents, elles sont nettoyées grâce à <u>un mélange eau+ ponce</u>. • 3/4 de l'émail reste exposé tandis que le reste est protégé par une double couche de vernis et de la cire (servira de référence pour l'analyse). 3/4 de l'émail exposé est déminéralisé selon 3 différents protocoles de déminéralisation. • Avant tout traitement 1/3 de l'émail déminéralisé est protégé par une double couche de vernis. • L'autre moitié subit un traitement d'érosion infiltration par Icon. 1/4 de cette surface est protégé par application de vernis. • Le 1/4 d'émail non protégé subit une nouvelle attaque acide (toujours selon 3 procédés différents). • Pour l'analyse, le vernis est délicatement retiré puis les surfaces nettoyées avec une solution à 50% d'acétone. • Section longitudinale des échantillons, puis inclusion dans de la résine acrylique. • Observation au microscope (x40)
<p><i>Evaluation of penetration depth of a commercially available resin infiltrate into artificially created enamel lesion: An in vitro study (94)</i></p> <p style="text-align: right;">2016</p>	<p>Dents incluses : Prémolaires extraites pour raison orthodontique, sans obturation, sans fêlures, sans caries</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conservation dans une solution de 0,1% de thymol. • Pour l'étude elles sont rincées nettoyées puis protégées par du vernis en laissant seulement une fenêtre de 4x4 mm sur le versant vestibulaire. <p>Immersion pendant 4 jours dans une solution de déminéralisation (chlorure de calcium, phosphate de potassium, acide acétique, hydroxyde de potassium) => création de WSL. Les dents sont traitées par érosion infiltration (ICON-DMG®) selon les instructions du fabricant.</p> <p>Section dans le sens vestibulo-lingual à l'aide d'un disque diamanté puis observation au microscope (x80) de la profondeur de pénétration</p>

<p><i>In vitro effect of amorphous calcium phosphate paste applied for extended periods of time on enamel remineralization (93)</i></p> <p>2017</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dents incluses : Incisives de bovins. • Étude qui mesure la perte de substance amélaire, la profondeur des lésions et le pourcentage de minéraux suite à une déminéralisation puis reminéralisation par différents procédés (Fluor, CPP-ACP avec plusieurs temps d'applications) grâce à la micro-tomographie
--	--

Annexe 2 : Tableau récapitulatif de l'ensemble des valeurs obtenues

Abréviations utilisées :

P1 : Tooth Mousse

P2 : Duraphat dentifrice

T : Témoin

E : Email

D : Dentine :

E+D : Email + Dentine

EV : Évaluation visuelle

EN : Évaluation numérique

N° Dent	Mesures	Faces	Produit	Coloration EV	Localisation coloration	Profondeur de pénétration
1	1	V	P1	Non	Abs	0
	2	P	P1	Non	Abs	0
2	3	V	P1	Non	Abs	0
	4	P	P1	Non	Abs	0
3	5	V	P1	Non	Abs	0
	6	P	P1	Non	Abs	0
4	7	V	P1	Non	Abs	0
	8	P	P1	Non	Abs	0
5	9	V	P1	Oui	E+D	1,03
	10	P	P1	Oui	D	0,78
6	11	V	P1	Non	Abs	0
	12	P	P1	Non	Abs	0
7	13	V	P1	Non	Abs	0
	14	P	P1	Oui	E	0,44
8	15	V	P1	Non	Abs	0
	16	P	P1	Non	Abs	0
9	17	V	P1	Oui	D	1,39
	18	P	P1	Oui	E+D	1,89
10	19	V	P1	Oui	E+D	1,24
	20	P	P1	Oui	E+D	1,14
11	21	V	P1	Non	Abs	0
	22	P	P1	Non	Abs	0
12	23	V	P1	Oui	D	1,45
	24	P	P1	Non	Abs	0
13	25	V	P1	Non	Abs	0
	26	P	P1	Non	Abs	0
14	27	V	P1	Non	Abs	0
	28	P	P1	Non	Abs	0
15	29	V	P1	Non	Abs	0
	30	P	P1	Non	Abs	0
16	31	V	P2	Oui	E+D	1,33
	32	P	P2	Non	Abs	0

17	33	V	P2	Oui	E	0,27
	34	P	P2	Oui	E	0,21
18	35	V	P2	Oui	E+D	1,08
	36	P	P2	Oui	E+D	1,12
19	37	V	P2	Oui	E+D	1,12
	38	P	P2	Oui	E+D	0,7
20	39	V	P2	Oui	E+D	1,57
	40	P	P2	Oui	D	1,16
21	41	V	P2	Oui	E+D	2,16
	42	P	P2	Oui	E+D	1,88
22	43	V	P2	Oui	E+D	2,11
	44	P	P2	Oui	D	2,03
23	45	V	P2	Oui	D	1,4
	46	P	P2	Oui	E	0,2
24	47	V	P2	Oui	E+D	3,68
	48	P	P2	Oui	E	0,22
25	49	V	P2	Oui	E+D	1,34
	50	P	P2	Oui	E+D	1
26	51	V	P2	Oui	E+D	1,28
	52	P	P2	Oui	D	1,03
27	53	V	P2	Oui	E+D	1,57
	54	P	P2	Oui	E+D	1,7
28	55	V	P2	Oui	E+D	1,71
	56	P	P2	Oui	E	0,49
29	57	V	P2	Oui	E	0,34
	58	P	P2	Oui	E	0,3
30	59	V	P2	Oui	E+D	1,39
	60	P	P2	Oui	E	0,2
31	61	V	T	Oui	E	0,17
	62	P	T	Oui	E	1,1
32	63	V	T	Non	Abs	0
	64	P	T	Non	Abs	0
33	65	V	T	Non	Abs	0
	66	P	T	Non	Abs	0
34	67	V	T	Non	Abs	0
	68	P	T	Non	Abs	0
35	69	V	T	Oui	E	0,39
	70	P	T	Oui	E	0,35
36	71	V	T	Non	Abs	0
	72	P	T	Non	Abs	0
37	73	V	T	Oui	E+D	1,61
	74	P	T	Oui	E+D	1,37

38	75	V	T	Oui	E+D	1,31
	76	P	T	Oui	E+D	1,04
39	77	V	T	Non	Abs	0
	78	P	T	Oui	E	0,67
40	79	V	T	Oui	E+D	1,78
	80	P	T	Oui	E	0,64
41	81	V	T	Non	Abs	0
	82	P	T	Non	Abs	0
42	83	V	T	Oui	E+D	1,38
	84	P	T	Oui	E+D	0,91
43	85	V	T	Oui	E+D	1,64
	86	P	T	Oui	E	0,28
44	87	V	T	Oui	E+D	1,47
	88	P	T	Oui	E+D	1,96
45	89	V	T	Non	Abs	0
	90	P	T	Oui	E	0,2