

Année 2022

2022 TOU3 3044

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

Emma MOLINER

Le 13 septembre 2022

**COMPARAISON DU POTENTIEL D'ECLAIRCISSEMENT INTERNE DU
PEROXYDE D'HYDROGENE A 35% ET DU PEROXYDE DE
CARBAMIDE A 35% AVEC OU SANS MORDANÇAGE PREALABLE :
ETUDE IN VITRO**

Directeur de thèse : Docteur Thibault CANCEILL

JURY

Président : Monsieur VAYSSE Frédéric

1^{er} Assesseur : Monsieur NASR Karim

2^{ème} Assesseur : Monsieur CANCEILL Thibault

3^{ème} Assesseur : Monsieur DELRIEU Julien



**Faculté de santé
Département d'Odontologie**

➔ **DIRECTION**

Doyen de la Faculté de Santé

M. Philippe POMAR

**Vice Doyenne de la Faculté de Santé
Directrice du Département d'Odontologie**

Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

Directeurs Adjoint

Mme Sarah COUSTY
M. Florent DESTRUHAUT

Directrice Administrative

Mme Muriel VERDAGUER

Présidente du Comité Scientifique

Mme Cathy NABET

➔ **HONORARIAT**

Doyens honoraires

M. Jean LAGARRIGUE +
M. Jean-Philippe LODTER +
M. Gérard PALOUDIER
M. Michel SIXOU
M. Henri SOULET

Chargés de mission

M. Karim NASR (*Innovation Pédagogique*)
M. Olivier HAMEL (*Maillage Territorial*)
M. Franck DIEMER (*Formation Continue*)
M. Philippe KEMOUN (*Stratégie Immobilière*)
M. Paul MONSARRAT (*Intelligence Artificielle*)

➔ **PERSONNEL ENSEIGNANT**

Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

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

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeurs d'Université : Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER, M. Frédéric VAYSSE
Maîtres de Conférences : Mme Emmanuelle NOIRRI-ESCLASSAN, Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY
Assistants : Mme Marion GUY-VERGER, Mme Alice BROUTIN (*associée*)
Adjoints d'Enseignement : M. Sébastien DOMINE, M. Robin BENETAH, M. Mathieu TESTE,

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : M. Pascal BARON, Mme Christiane LODTER, M. Maxime ROTENBERG
Assistants : M. Vincent VIDAL-ROSSET, Mme Carole VARGAS
Adjoints d'Enseignement : Mme. Isabelle ARAGON

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

Professeurs d'Université : M. Michel SIXOU, Mme Catherine NABET, M. Olivier HAMEL, M. Jean-Noël VERGNES
Assistante : Mme Géromine FOURNIER
Adjoints d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, M. Jean-Philippe GATIGNOL
Mme Carole KANJ, Mme Mylène VINCENT-BERTHOUMIEUX, M. Christophe BEDOS

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

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

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences : Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN, Mme Alexia VINEL
Assistants : Mme. Charlotte THOMAS, M. Joffrey DURAN
Adjoints d'Enseignement : M. Loïc CALVO, M. Christophe LAFFORGUE, M. Antoine SANCIER, M. Ronan BARRE ,
Mme Myriam KADDECH, M. Matthieu RIMBERT,

CHIRURGIE ORALE

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

BIOLOGIE ORALE

Professeur d'Université : M. Philippe KEMOUN
Maîtres de Conférences : M. Pierre-Pascal POULET, M. Vincent BLASCO-BAQUE
Assistants : Mme Chiara CECCHIN-ALBERTONI, M. Maxime LUIS, Mme Valentine BAYLET GALY-CASSIT
M. Mathieu MINTY (Associé)
Adjoints d'Enseignement : M. Mathieu FRANC, M. Hugo BARRAGUE, M. Olivier DENY

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX (M. Franck DIEMER)

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

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

PROTHÈSES

Professeurs d'Université : M. Philippe POMAR
Maîtres de Conférences : M. Jean CHAMPION, M. Rémi ESCLASSAN, M. Florent DESTRUHAUT, M. Antoine GALIBOURG,
Assistants : Mme Margaux BROUTIN, Mme Coralie BATAILLE, Mme Mathilde HOURSET, Mme Constance CUNY
M. Julien GRIFFE
Adjoints d'Enseignement : M. Christophe GHRENASSIA, Mme Marie-Hélène LACOSTE-FERRE, M. Olivier LE GAC, M. Jean-Claude COMBADAZOU, M. Bertrand ARCAUTE, M. Fabien LEMAGNER, M. Eric SOLYOM,
M. Michel KNAFO, M. Alexandre HEGO DEVEZA, M. Victor EMONET-DENAND M. Thierry DENIS,
M. Thibault YAGUE

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

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

Mise à jour pour le 25 Mai 2022

REMERCIEMENTS :

À mes parents, mes deux piliers,

Pour leurs encouragements, leur amour et le soutien sans faille qu'ils m'ont apportés durant toutes mes années d'études et au-delà. Pour l'éducation et les valeurs que vous m'avez données et transmises, merci de vous être toujours démenés pour que nous ne manquions de rien.

Maman, merci d'avoir toujours été là, de t'être toujours rendue disponible, d'avoir toujours fait passer tes enfants avant toi-même.

Merci à toi papa, pour tout ce que tu as pu m'apprendre et pour tous ces fous rires à m'en faire pleurer. Merci à vous deux de m'avoir offert cette vie-là, fait vivre tous ce que l'on a vécu et pu découvrir ensemble, ici ou à l'étranger. Je ne vous remercierai jamais assez pour tout. Je vous dois tout.

À ma sœur, pour la chance de t'avoir. Merci d'être la bonne personne que tu es. Même si les années passent et que nos études, et maintenant la distance physique depuis ton départ à Rennes, ont fait que l'on ne passe plus autant de temps qu'avant ensemble, sache que ces moments me manquent et que je t'aime terriblement.

À mon amour, Tristan. « Nous étions deux étrangers que le destin a rassemblés au même endroit et au bon moment ». Cette phrase est peut-être celle qui nous caractérise le mieux. Parfois la vie ne tient qu'à un fil et ce fil à nous c'est ce festival Garorock où l'on s'est rencontré, en juin 2017, et où j'avais failli ne pas me rendre à la dernière minute. Des fois je me demande comment aurait été ma vie si je ne t'avais pas rencontré ? Tu es entré dans ma vie à un moment où je ne m'y attendais pas, et si on m'avait dit à l'époque que ce serait toi qui partagerais ma vie aujourd'hui je ne l'aurais pas cru. Je ne pensais pas t'aimer comme ça, je ne pensais pas t'aimer autant. Mais parfois, il suffit d'une rencontre. LA bonne, LA seule, l'unique. Merci d'être la personne que tu es, de me faire rire, d'être quelqu'un d'aimant et respectueux, de m'avoir toujours soutenue et aidée. On est pareil, on pense pareil et c'est ça aussi l'amour : pouvoir se retrouver dans l'autre. Déjà 5 ans que j'avance à tes côtés, mais cela représente si peu face à tout ce qu'il nous reste encore à vivre. L'avenir avec toi est une évidence même si le futur reste à écrire. Je t'aime.

À mon grand-père Claude,

Une pensée à toi qui est parti trop tôt. J'espère que tu es fier de moi de là où tu te trouves, et je pense très fort à toi.

À ma mamie, merci pour tout ce que tu as fait pour nous, depuis notre petite enfance jusqu'à maintenant. Merci d'être là aujourd'hui.

À mes meilleures amies, Estelle et Océane, mes deux plus « vieilles » amies. On ne se voit pas tous les jours, on ne se parle pas tous les jours, mais je sais que je pourrais toujours compter sur vous, quoi qu'il arrive.

À mes amies rencontrées au cours de ces 6 années d'étude : Marie Astrid, Louisa, Camille, Marjorie. Je garderai en tête nos fous rires, nos angoisses, nos stress et surtout nos très bons moments passés ensemble à la fac et en dehors.

A notre Président de jury de thèse,

Monsieur le Professeur VAYSSE Frédéric

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter de présider ce jury de thèse. Nous vous en sommes très reconnaissants. Qu'il nous soit permis de vous exprimer nos sincères remerciements et notre respect le plus profond.

A notre jury,

Monsieur le Docteur NASR Karim

- Maître de Conférences des Universités
- Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier
- Master1 mention Biotechnologie-Biostatistiques
- Master 2 Recherche en Science des Matériaux
- Certificat d'Etudes Supérieures de technologie des matériaux employés en Art Dentaire
- Certificat d'Etudes Supérieures de prothèse Dentaire (Option prothèse Scellée)
- Responsable du domaine d'enseignement Imagerie et Numérique
- Responsable de l'Attestation d'Etudes Universitaires d'Imagerie Maxillo-Faciale (CBCT)
- Responsable du Diplôme Universitaire de CFAO en Odontologie
- Chargé de mission à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse

Nous vous remercions grandement d'avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse.

Nous vous en sommes très reconnaissants. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma gratitude et de mes sentiments les plus sincères.

A notre Directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Thibault CANCEILL

- Maître de conférences des Universités
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Master 1 Santé Publique : Biostatistiques, modélisation et méthodologie des essais cliniques
- Master 2 de Physiopathologie : du moléculaire au médical
- CES Biomatériaux en Odontologie
- D.U de conception Fabrication Assisté par ordinateur en Odontologie (CFAO)
- D.U de Recherche Clinique en Odontologie
- Attestation de Formation aux gestes et Soins d'Urgence Niveau 2

Une attention particulière pour toi Thibault. Merci d'avoir accepté de diriger ma thèse, pour ton aide et ton soutien tout au long de ce travail. Tu as su écouter mes doutes et interrogations quant au choix du sujet puis à la réalisation du protocole expérimental et me rassurer quand il le fallait. Au-delà de ce travail, je tenais à te remercier pour ta gentillesse et ton implication dans mon parcours scolaire, quand, en 4^e année j'étais angoissée de ne jamais réaliser assez d'actes en clinique et tu m'as permis de venir pratiquer à tes côtés le mardi matin en plus de mes vacations cliniques habituelles. Cela m'a grandement appris en me permettant de voir certains actes que je n'avais pas fait jusque-là et donc de gagner en confiance. Merci encore. J'espère que ce travail sera à la hauteur de tes attentes.

A notre jury,

Monsieur le Docteur DELRIEU Julien

- Assistant Hospitalier-Universitaire
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- CES de Prothèse Fixée
- Master 1 de Santé Publique
- Master 2 Anthropologie intégrative

Merci d'avoir accepté de participer à ce jury. Ce fut un réel plaisir d'avoir pu bénéficier de votre encadrement lors de ma clinique en 6e année, aussi particulière fût-elle. Veuillez trouver dans ce travail l'occasion de vous témoigner notre profonde reconnaissance.

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION..... | 11 |
| I – L'éclaircissement interne : comment et pourquoi ?..... | 13 |
| 1) L'éclaircissement dentaire : indications et contre-indications..... | 13 |
| 2) Produits utilisés et réglementation européenne..... | 15 |
| 3) Le mécanisme d'action de l'éclaircissement | 17 |
| 4) Différentes méthodes d'application et protocoles utilisés | 19 |
| A. La « <i>walking bleach technique</i> » | 20 |
| B. La technique thermocatalytique..... | 22 |
| C. La technique « <i>inside/outside</i> » | 23 |
| D. La technique mixte | 24 |
| E. La technique au fauteuil | 25 |
| II – Partie expérimentale : étude <i>in vitro</i> | 26 |
| 1) Objectif de l'étude | 26 |
| 2) Matériels et méthode | 26 |
| A. Déroulé de l'étude et protocole de réalisation | 26 |
| B. Méthode de détermination de la teinte..... | 28 |
| C. Analyses des données..... | 30 |
| 3) Résultats | 30 |
| A. Evolution du score L..... | 31 |
| B. Evolution du score a | 31 |
| C. Evolution du score b | 32 |
| D. Etude des delta E | 33 |
| 4) Discussion | 36 |
| CONCLUSION..... | 41 |
| TABLE DES ILLUSTRATIONS | 42 |
| TABLE DES TABLEAUX | 43 |
| RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 44 |

INTRODUCTION

Dans la société actuelle où l'image de soi et l'apparence sont des éléments clés de l'intégration sociale, l'esthétique du sourire est de plus en plus recherché par les individus. Ainsi, parmi les nombreux motifs de consultation dans les cabinets dentaires se trouve désormais régulièrement le désir de corriger une dyschromie unitaire ou plurale. Pour satisfaire les demandes parfois exigeantes de ses patients, le chirurgien-dentiste dispose de nombreuses techniques pour remédier à des défauts de la coloration des dents, allant de l'éclaircissement dentaire à la réalisation de couronnes. Les différentes solutions thérapeutiques qui existent ont été regroupées par Gil Tirlet et Jean-Pierre Attal en 2009 sous la forme d'un gradient thérapeutique (Figure 1) (1). Celui-ci est construit sous la forme d'une classification établie selon le degré croissant de destruction tissulaire que les actes entraînent. L'éclaircissement dentaire, première solution thérapeutique évoquée dans ce gradient correspond à l'acte le moins invasif qui soit (2,3). Cela signifie que lorsque les indications sont respectées, le chirurgien-dentiste doit respecter au maximum le recours à une technique d'éclaircissement en première intention pour la gestion d'une dyschromie (4). Dans le cas d'une dent antérieure dyschromiée et dépulpée, la technique d'éclaircissement qui semble s'imposer en première intention est celle de l'éclaircissement interne, en association ou non à un éclaircissement externe.

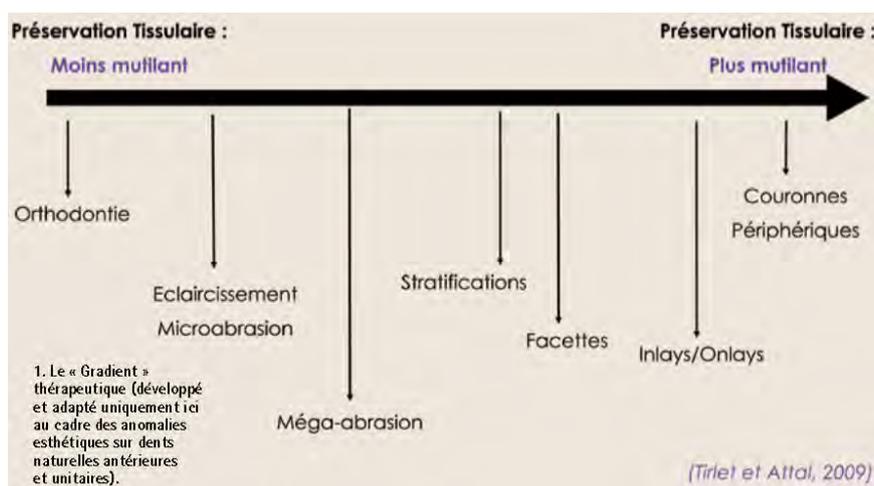


Figure 1 : Le concept de gradient thérapeutique, proposé par G.Tirlet et JP.Attal en 2009

L'abord interne de l'éclaircissement consiste à appliquer un produit éclaircissant à l'intérieur de la dent, plus précisément dans la cavité d'accès qui a été aménagée pour le traitement endodontique, et à le laisser agir pendant plusieurs jours. De bons résultats sont obtenus généralement en deux à trois applications espacées de 1 à 3 semaines (2,5,6).

Par ailleurs, en odontologie, il est courant d'utiliser de l'acide orthophosphorique au cours des soins car il permet d'éliminer la smear layer et d'améliorer la perméabilité des tubules. Certains auteurs se sont alors penchés sur l'effet d'un mordantage préalable des tissus avant éclaircissement interne qui permettrait un meilleur résultat esthétique en améliorant la diffusion du peroxyde d'hydrogène au travers de la dentine (7–9).

L'objectif de ce travail est de comparer l'efficacité de deux produits (du peroxyde d'hydrogène à 35% et du peroxyde de carbamide à 35%) dans l'éclaircissement interne des dents dépulpées, avec ou sans mordantage des tissus.

La première partie de ce travail servira de rappel sur les différentes techniques d'éclaircissement interne et sur la description des produits utilisés, puis le protocole et les résultats de l'étude de laboratoire que nous avons réalisée seront présentés pour répondre à l'objectif énoncé.

I – L'éclaircissement interne : comment et pourquoi ?

1) L'éclaircissement dentaire : indications et contre-indications

Il existe deux méthodes d'éclaircissement des dents. La première, que nous allons simplement évoquer ici, concerne l'éclaircissement externe qui se réalise au fauteuil ou en ambulatoire au moyen d'une gouttière avec un agent éclaircissant appliqué directement sur l'émail dentaire. Il peut être réalisé sur dent saine et vitale, ou sur dent dépulpée en complément d'une autre technique.

L'éclaircissement interne, lui, se pratique exclusivement sur dents dévitalisées puisque la technique utilise la chambre pulpaire de la dent comme cavité pour y appliquer les produits oxydants, au contact direct de la dentine (10). Il sert à corriger une dyschromie, le plus souvent présente sur une seule dent en position antérieure (*figure 2*). Cela peut être lié à la présence de matériau d'obturation trop haut au niveau coronaire et/ou au matériau de restauration de la dent qui peut contribuer au changement de teinte (11).

Il a été rapporté que 10% des patients sont mécontents de l'apparence de leur dent après un traitement canalaire (12). Les patients demandent fréquemment « Est-ce que ma dent va devenir « noire » maintenant qu'elle a été traitée ? » (11). Une seule dent dyschromiée peut être plus préjudiciable socialement qu'un ensemble de dents de teinte grisâtre.

Avant d'éclaircir les dents d'un patient, il est nécessaire de connaître ou de rechercher la cause de la coloration des dents. Le succès de l'éclaircissement dépend de la teinte naturelle de la dent ainsi que de l'intensité et de l'origine de la coloration. Au niveau du pronostic, l'ancienneté de la dyschromie rentre également en compte : plus elle est ancienne, moins le pronostic est bon.

La dyschromie peut ainsi avoir plusieurs étiologies possibles :

- Une origine externe : les colorations externes restent principalement localisées en superficie et concernent tout ce qui va provenir de résidus alimentaires ou de boissons (consommation de thé, café, fruits rouges, vins rouges, alcool, tabac, oranges, carottes, épices ou bien simplement la plaque dentaire et le tartre laissés à la surface des dent) (10,13,14) ;
- Une origine interne : la décoloration est causée par l'incorporation intrinsèque de matière chromatogène dans la dentine et l'émail pendant l'odontogenèse ou après

l'éruption dentaire. Les causes de décoloration intrinsèque dans la pré-éruption de la dent sont l'administration de tétracyclines, l'exposition à des niveaux élevés de fluor (fluorose), un traumatisme de la dent en développement, ou encore des maladies héréditaires. Celles-ci peuvent toucher spécifiquement les dents comme l'amélogénèse et la dentinogénèse imparfaite, mais certaines pathologies génériques peuvent être systémiques et avoir des manifestations orales (la porphyrie érythropoïétique congénitale et la bêta-thalassémie en sont deux exemples). Les colorations qui peuvent survenir en post-éruptif sont d'origine traumatique, suite à un choc reçu dans l'enfance, une hémorragie pulpaire avec dépôt de composants sanguins dans les tubulis dentinaires après un traumatisme ou une pulpectomie, une nécrose pulpaire, une dégradation des produits d'obturation canalaire : les ciments à base d'eugénol et le MTA contenant de l'oxyde de bismuth sont responsables d'une coloration iatrogène de la dent (15,16) et/ou coronaire, un traitement endocanalaire incomplet, ou enfin le dépôt de dentine secondaire en raison du vieillissement physiologique de la dent ou de lésions iatrogènes (2,10,13,14).

Les techniques d'éclaircissement, qu'elles soient internes ou externes, agissent surtout sur les pigments organiques (2,17) tels que les résidus de débris pulpaires et la coloration liée à la contamination sanguine. Les colorations d'origine inorganique, comme par exemples la diffusion de composants de l'amalgame (pigments iatrogéniques métalliques) et les restaurations de type composite ne sont pas éclaircies (2,18). Les colorations d'origine médicamenteuse qui sont principalement dues aux tétracyclines (antibiotiques prescrits pour le traitement de l'acné) constituent aussi des pigments inorganiques et l'éclaircissement ne sera pas efficace dans les stades avancés III et IV (5).



Figure 2 : Illustration de l'arcade maxillaire présentant une dyschromie sur la 21

L'éclaircissement sera contre-indiqué lors de la présence de restaurations coronaires étendues, de la perte massive de dentine ou de la présence de caries (2,19). D'un point de vue systémique, en cas d'allergie à un des constituants des produits d'éclaircissement et chez la femme enceinte et allaitante, il est déconseillé d'avoir recours à un produit d'éclaircissement (18). Celui-ci est également interdit chez les moins de 18 ans.

2) Produits utilisés et réglementation européenne

La molécule active dans toutes les méthodes d'éclaircissement est le peroxyde d'hydrogène, qui peut être utilisé pur ou bien libéré progressivement au travers de ces précurseurs : le peroxyde de carbamide ou le perborate de sodium (13,20,21).

- Le **peroxyde d'hydrogène** (H_2O_2) : également appelé eau oxygénée, est un composé chimique contenant de l'hydrogène et de l'oxygène qui a un puissant effet oxydant et réducteur. Il produit des radicaux libres et de l'oxygène en présence d'eau (22). C'est un produit éclaircissant très efficace. Le peroxyde d'hydrogène est instable et se dégrade au fil du temps, 50% étant disponible après deux heures (23). Il nécessite un renouvellement régulier. Cependant, de hautes concentrations de peroxyde d'hydrogène doivent être utilisées avec précaution pour éviter l'augmentation du risque de résorptions cervicales externes (6,18) dans les années futures. Le peroxyde d'hydrogène se décompose plus vite que le peroxyde de carbamide. Ainsi, il délivre la majorité de son pouvoir éclaircissant en 30-60 minutes (24), il agit donc rapidement et reste actif peu de temps.

- Le **perborate de sodium** : se présente sous la forme d'une poudre cristallisée, blanche et anhydre que l'on mélange à de l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'une pâte granuleuse (2). En présence d'humidité, cet agent oxydant se clive en peroxyde d'hydrogène, métaborate de sodium et oxygène (2).

D'après plusieurs articles de la littérature, le perborate de sodium est décrit comme le produit présentant le rapport bénéfice/risque le plus favorable pour l'éclaircissement interne car il donne de bons résultats esthétiques avec le minimum d'effets néfastes sur les tissus dentaires environnants (6,21). En effet, son efficacité a été démontrée comme équivalente à celle des autres agents éclaircissants. L'inconvénient de l'utilisation de ce produit est sa durée, le traitement est plus long mais présente beaucoup moins de risque de résorptions cervicales externes (2,6,18,21).

Cependant, dans le cadre des réglementations récentes sur l'éclaircissement interne, il apparaît que l'utilisation du perborate de sodium, soit désormais interdite (25). En effet, depuis 2011, la décision de la Commission Européenne a été de suspendre l'utilisation de ce produit car classé comme CMR1B, c'est-à-dire cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction (20,21).

- Le **peroxyde de carbamide** ($\text{CH}_6\text{N}_2\text{O}_3$) : est un produit chimique qui se clive en peroxyde d'hydrogène et urée. Le peroxyde de carbamide concentré à 10% libère environ 3,35% de peroxyde d'hydrogène (18) et 6,65% d'urée dans un environnement hydrophile (22). L'urée se décompose ensuite en ammoniac et en eau, ce qui a pour effet d'élever le pH de la cavité buccale pour augmenter l'effet éclaircissant et permettre une meilleure stabilisation du peroxyde d'hydrogène (22). A la différence du peroxyde d'hydrogène pur qui relargue une molécule d'oxygène dans ses premières secondes de contact avec les surfaces dentaires, le peroxyde de carbamide reste actif pendant plusieurs dizaines de minutes après le contact tissulaire. Il libère 50% de son peroxyde dans les deux premières heures, tandis que les 50% restants seront progressivement expulsés au cours des heures suivantes (23,24), pouvant le rendre actif jusqu'à 6 heures supplémentaires (22). Il va donc nécessiter un temps d'application en bouche plus important. Le peroxyde de carbamide a un potentiel antibactérien et bactériostatique (26), qui est

supérieur à celui de la chlorhexidine à 0,2%, d'où son utilisation parfois décrite sans fermeture de la cavité (22). Ce produit existe à des concentrations allant de 10% à 37% (5), les concentrations plus élevées permettent d'obtenir un effet plus rapide que les concentrations plus faibles (27) mais sont plus agressives. En général, les produits composés de peroxyde de carbamide ont une durée de conservation légèrement plus longue que ceux composés de peroxyde d'hydrogène.

La réglementation Européenne a changé en 2012 et divise les produits éclaircissants en 2 groupes (28) :

- L'un est désigné désormais comme produit cosmétique et est réservé aux éclaircissements externes sur dents vitales. C'est le traitement qui est effectué avec des gouttières et limité à 6% (28).
- L'autre, considéré comme un dispositif médical, permet d'utiliser des pourcentages de peroxyde d'hydrogène supérieurs à 6%, pouvant aller jusqu'à 35 voire 40%, dans le cas des dents dévitalisées (28).

3) Le mécanisme d'action de l'éclaircissement

La molécule active des produits éclaircissants est le peroxyde d'hydrogène, qui va produire des radicaux libres, des molécules d'oxygène et des anions de peroxyde d'hydrogène (6,22). Ces petites molécules réactives, mises en contact prolongé avec la dent, peuvent passer librement et pénétrer au travers de l'émail et de la dentine pour décolorer ou solubiliser le matériau chromogène présent dans la structure dentaire (13,22) au niveau de la jonction amélo-dentinaire.

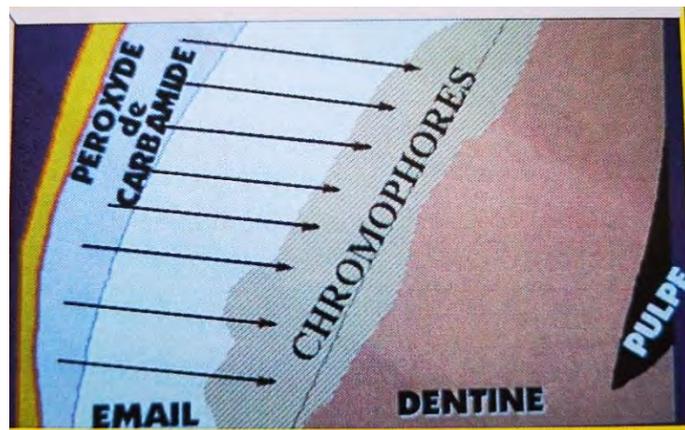


Figure 3 : Mode d'action des agents éclaircissants, proposé par G. Tirlet et J-P. Attal

Les colorations dentaires ou dyschromies sont dues à la formation de produits chromogènes chimiquement stables (6,18). Ces pigments ou chromophores, sont constitués de molécules organiques à longues chaînes conjuguées (présence de doubles liaisons qui absorbent la lumière en alternance avec des liaisons simples). Plus le nombre de doubles liaisons est important, plus la couleur observée est foncée (25). Lors de l'éclaircissement, ces molécules sont oxydées par le peroxyde d'hydrogène : les pigments sont divisés en molécules plus petites et plus légères car leurs liaisons conjuguées sont cassées, moins colorées et plus diffusibles (6,29,30). Les molécules à longues chaînes sont alors transformées en carbone et en eau, et sont ensuite libérées avec de l'oxygène naissant (6,18).

Les chromophores, avec le temps, ont tendance à se regrouper et à former des complexes, entraînant un aspect de moins en moins lumineux de la dent. Plus les complexes sont importants, plus long sera le processus d'éclaircissement. Ainsi, les dents jeunes sont plus faciles à éclaircir car les chromophores n'ont pas eu le temps de se rassembler en gros complexes et que l'émail est plus perméable (22). Inversement, les dents âgées sont plus difficiles à éclaircir car de gros complexes ont été formés avec le temps (31) et que la perméabilité décroît avec l'âge.

Les radicaux libres sont des espèces chimiques extrêmement instables qui, pour se stabiliser, vont avoir tendance à capter des électrons à partir de molécules adjacentes. Ce sont par conséquent des agents oxydants très puissants. Leur cible principale correspond aux sites donneurs d'électrons que représentent les doubles liaisons conjuguées. La capture, par les radicaux libres, d'électrons localisés au niveau des doubles liaisons des

chromophores va entraîner une rupture de ces liaisons et donc une modification des propriétés d'absorption de la lumière (31,32). Le processus d'éclaircissement est donc fondé sur la fragmentation des chromophores organiques par un phénomène d'oxydation qui est responsable de la dégradation de la structure tridimensionnelle et de la décoloration des molécules pigmentées (5) et donc du changement de couleur de la dent (avec une diminution du jaune et du rouge).

En plus de cette composante chimique de l'éclaircissement, une composante physique entre également en jeu, qui est quant à elle assez méconnue et mal décrite dans la littérature. Une étude de 2011 a permis de mettre en évidence la diminution de la transmission de la lumière à travers l'émail suite au traitement d'éclaircissement (33). Cette opacification amélaire serait responsable de l'augmentation de la luminosité de la dent mais également de la diminution de la coloration par effet de masquage de la dentine sous-jacente (augmentation de la réflectance). En effet, c'est l'épaisseur de l'émail qui détermine la blancheur des dents car la coloration de la dent dépend de la dentine, c'est elle qui est colorée et qui donne la couleur à la dent (34). L'émail qui recouvre la dentine est translucide, mais plus l'émail est épais, plus il masque cette dentine (28,33,35).

Ces phénomènes sont décrits depuis près de 20 ans dans l'étude de Kawamoto et *al.* (30), la dentine inter et péri-tubulaire est dissoute par l'action du peroxyde d'hydrogène à concentration élevée alors que l'hydroxyapatite n'est pas influencée par son action. Les résultats suggèrent que l'action du peroxyde n'affecte pas l'émail de la dent et confirment que c'est le groupement OH qui joue le principal rôle dans l'action éclaircissante du peroxyde d'hydrogène (5).

4) Différentes méthodes d'application et protocoles utilisés

Avant de choisir le matériau et la technique d'éclaircissement interne, il faut tenir compte de certains critères :

- La quantité de tissus dentaires restants,
- La qualité du traitement endodontique,
- L'intégrité des parois internes de la racine,
- La santé des tissus parodontaux (10).

A. La « walking bleach technique »

Il s'agit d'une technique ambulatoire, la plus utilisée aujourd'hui, et donc celle que nous détaillerons le plus. Jusqu'en 2012, le perborate de sodium s'était imposé comme étant le traitement de référence pour la réalisation de cette technique. Désormais, toutes les concentrations de peroxyde d'hydrogène (30 à 35%) ou de peroxyde de carbamide (10% ou 16%) peuvent être utilisées (18).

Le prérequis à toute technique d'éclaircissement interne est de vérifier :

- Cliniquement que la dent ne présente aucune symptomatologie apicale,
- Radiologiquement, la qualité du traitement endodontique (36) : que celui-ci soit étanche et homogène.

La première étape du traitement à proprement parler est de faire un enregistrement de la teinte préopératoire (37). Il convient ensuite de réaliser une cavité d'accès en conservant le maximum de tissus dentinaires sains. La cavité est nettoyée à l'aide d'ultrasons, car l'utilisation d'une fraise diamantée sur turbine pour le nettoyage entraînerait une fragilisation excessive de la face vestibulaire et ensuite une fracture. Une cavité coronoradiculaire est par la suite réalisée au dépend de l'obturation canalaire (2). En effet, le matériau d'obturation canalaire est coupé de 2 à 3 mm en deçà de la jonction amélo-cémentaire (4,5,18,21,22). Le contrôle est effectué à l'aide d'une sonde parodontale, puis un scellement de l'entrée canalaire pour assurer l'étanchéité du traitement endodontique sous-jacent (5) est réalisé avec un matériau du type CVI ou CVIMAR la plupart du temps (36). Le bouchon de ciment verre ionomère placé à l'entrée du canal radiculaire a été évoqué par plusieurs auteurs (4,10,14,38,39). Sa fonction est de réduire la pénétration du peroxyde d'hydrogène dans les tubulis dentinaires au niveau radiculaire et donc de minimiser le risque d'une possible résorption externe (10,40). L'épaisseur de la barrière semble être un facteur important (39). En effet, lorsque la couche mesure au moins 2 mm d'épaisseur, les résultats des études n'ont montré aucune pénétration du produit utilisé, quel que soit le type de matériau isolant employé (40).

La cavité coronaire finale doit être exempte de matériau d'obturation canalaire, de résidus de tissus pulpaire, ou de quelques autres éléments que ce soient qui pourraient être à l'origine d'une récurrence de la dyschromie ou bien de limitation de l'action du produit éclaircissant (2).

Le gel d'éclaircissement est ensuite inséré à l'intérieur de la dent (*Figure 4*), après mise en place de la digue car une fuite de peroxyde d'hydrogène en quantité importante peut être nocif pour les muqueuses et causer des brûlures de la gencive (5).



Figure 4 : Les étapes du protocole d'éclaircissement interne avec le retrait de la gutta-percha, le placement d'une barrière étanche et l'application du gel éclaircissant dans la cavité d'accès (21)

Pour finir, les excès de liquide sont enlevés avec un rouleau de coton et la cavité d'accès est refermée provisoirement avec une restauration de type Cavit ou CVI (36). Le placement de la restauration provisoire sur le gel de peroxyde peut être difficile du fait de la texture de ce dernier. Une boulette de téflon ou de coton peut être placée entre les deux pour faciliter la procédure (*Figure 5*) (21).

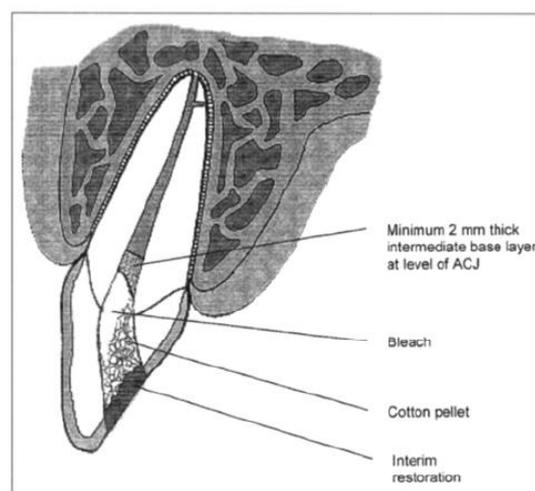


Figure 5 : Aménagement des différents matériaux lors de l'éclaircissement interne (37)

Le produit d'éclaircissement diffuse dans la dentine qui s'éclaircit progressivement. Après 4 à 7 jours (37), le résultat de l'éclaircissement est examiné et, si nécessaire, le produit est à nouveau inséré dans la cavité d'accès (18).

Le traitement sera répété jusqu'à ce que l'effet désiré soit obtenu (36). Lorsque l'éclaircissement est satisfaisant, il est conseillé de différer l'obturation permanente de la dent. Il convient alors de rincer et sécher la cavité et de placer une obturation provisoire durant 1 à 3 semaines avant de réaliser la restauration définitive en composite. En effet le dégagement d'oxygène (résidus de radicaux libres) après l'application des produits d'éclaircissement peut persister pendant quelques jours et ainsi inhiber la prise optimale des résines composites au contact des parois dentaires (5,22,37,41). De l'hydroxyde de calcium mélangé à de l'eau distillée avec une consistance pâteuse pourra être utilisé pour permettre la dispersion totale des radicaux libres dérivés de l'oxygène (18). La capacité tampon de l'hydroxyde de calcium avec son pH alcalin permet aussi d'augmenter le pH initialement acide avec le peroxyde d'hydrogène empêchant ainsi l'activation des cellules clastiques responsables du processus de résorptions radiculaires (10).

La durée de temporisation est aussi un moyen de laisser se stabiliser la couleur obtenue pour atteindre la teinte définitive de la dent (22,36).

Il est à noter que certains auteurs préconisent le mordantage à l'acide orthophosphorique à 37% de la cavité d'accès (4,22) pendant 15 secondes voire 1 minute pour retirer la smear layer présente à la surface de la dentine avant d'appliquer le gel éclaircissant, tandis que d'autres ne le mentionnent pas. La justification du mordantage de la dentine serait l'augmentation de la perméabilité de la dentine (7,8) ainsi que l'ouverture des tubules dentinaires offrant ainsi une meilleure diffusion de l'agent éclaircissant (37). Or à l'heure actuelle, il n'existe pas de consensus quant au mordantage de la dentine interne à l'aide d'acide orthophosphorique. Certaines études montrent qu'il n'améliore pas l'efficacité du produit éclaircissant (7) et qu'il peut conduire à une diffusion accrue du produit dans le parodonte. D'autres, conseillent un total etch de toute la **cavité** du fait de la diffusion confirmée plus élevée lors du mordantage de la **cavité** d'accès (9).

B. La technique thermocatalytique

Elle est similaire à la technique précédente sauf qu'elle utilise une source de chaleur ou une lumière thermique pour activer l'agent actif dans la chambre pulpaire, dans le but d'accélérer le processus d'éclaircissement (10). D'après la littérature (3,39), cette technique n'est pas à privilégier car l'application de chaleur à une température entre 50 et 60°C (36) et l'utilisation de fortes concentrations d'agent éclaircissant (peroxyde

d'hydrogène à 30-35%) ont démontré un risque supérieur d'apparition de résorptions cervicales externes. En effet, la chaleur facilite la diffusion des molécules à travers la dentine et de ce fait l'augmentation de la diffusion de H₂O₂ (42). Par ailleurs, cette technique n'a pas prouvé une efficacité supérieure aux autres (18).

C. La technique « inside/outside »

Comme son nom le suggère, en parallèle de l'application du produit éclaircissant dans la chambre pulpaire, celui-ci est appliqué simultanément sur la surface externe de l'émail de la dent dyschromiée au moyen d'une gouttière thermoformée (18,21,22). Comme dans la technique d'éclaircissement ambulatoire, à la fin du traitement endodontique, un bouchon de CVI est placé sur la gutta-percha pour étanchéifier et protéger le canal radiculaire (21) mais ici, la cavité est laissée ouverte pour pouvoir faire une empreinte qui servira à réaliser une gouttière avec invagination en regard de la chambre pulpaire (21). Il est important de vérifier l'absence de pathologie péri-apicale, les traitements canaux inadéquats doivent être repris avant toute procédure d'éclaircissement (22).

L'un des avantages de cette technique est qu'une faible concentration de gel éclaircissant est suffisante pour obtenir l'effet désiré (18) : on utilise généralement du peroxyde de carbamide à 10% (21,22). Cette technique est surtout indiquée lorsqu'un éclaircissement sur dents vitales et non vitales est nécessaire et possible en même temps (18). L'utilisation d'une faible concentration de produit éclaircissant minimise les risques de résorptions cervicales qui existent avec la technique du walking bleach (22,36). Cependant, dans ce protocole inside/outside la cavité d'accès est laissée ouverte (21,22) durant toute la durée d'application du produit, ce qui peut compromettre le succès à long terme du traitement endodontique avec un manque de contrôle bactérien (18), bien que le peroxyde de carbamide soit décrit comme étant bactéricide (22).

Cette technique est plus contraignante pour le patient et celui-ci doit présenter une certaine dextérité et doit faire preuve de compliance (21,36). En effet, il va devoir injecter lui-même le produit éclaircissant dans la cavité coronaire et la nettoyer entre chaque renouvellement de produit (toutes les 2 à 4h et avant le coucher) à l'aide de brossettes ou de seringue avec de l'eau (22) et après chaque repas (21). Il faut montrer au patient comment réaliser cette étape. Le résultat est en général obtenu au bout de 3 à 5 jours, la gouttière peut être portée 3 à 4 jours de plus si nécessaire.

La coopération et l'observance du patient doivent être maximales car il faut nettoyer et refermer la cavité d'accès par la suite, donc si la durée du traitement est prolongée (18) ou que le patient ne revient pas au cabinet, il y a un risque de colonisation bactérienne (21), d'échec du traitement endodontique et/ou d'apparition de caries (22). Cette technique sera également contre-indiquée si la dent est trop fragile ou trop délabrée, car en la laissant ouverte, il existe un risque de fracture (perte des poutres de résistance).

D. La technique mixte

Cette technique combine un éclaircissement interne et externe. Elle se rapproche de la technique inside/outside sauf qu'ici le gel de peroxyde de carbamide (10%) est appliqué sur la dent dépulpée dans une cavité fermée. Le produit est renouvelé une fois par semaine. Un éclaircissement externe est pratiqué en même temps, soit seulement sur la dent dépulpée, soit également sur l'ensemble des dents vitales de l'arcade, au moyen d'une gouttière donc en ambulatoire. Le résultat est plus long à obtenir (car le produit utilisé est moins concentré) mais présente un double avantage :

- Le résultat final est satisfaisant
- Cette méthode présente moins de risque de contamination bactérienne (pas d'accumulation de débris alimentaire dans la cavité d'accès (21), pas d'exposition de la cavité hors des horaires de port de la gouttière comme c'est le cas avec la technique inside/outside...).

Cependant, le peroxyde de carbamide placé dans une cavité fermée diminue son efficacité car il n'est actif que les 4 premières heures après sa mise en place. Ceci implique une multiplication des RDV pour renouveler les produits.

E. La technique au fauteuil

Technique qui n'est plus vraiment pratiquée aujourd'hui, elle est surtout connue pour l'éclaircissement des dents vitales mais peut également se réaliser sur dents devitalisées. Il s'agit d'appliquer le produit éclaircissant (souvent plus concentré, utilisation de peroxyde d'hydrogène à 30-35%) à la fois sur et dans la dent et de le laisser agir seulement 15 à 20 minutes. L'utilisation de la digue est nécessaire pour éviter les fuites de produit sur les dents adjacentes. La préparation de la cavité d'accès est identique à celle décrite dans les techniques précédentes. Le gel est ensuite rincé et la procédure est répétée, si nécessaire. Le patient doit porter des lunettes de protection pour empêcher les gouttelettes d'entrer en contact avec les yeux.

Malheureusement, l'effet éclaircissant souhaité est souvent éphémère, car l'éclaircissement de la dent est aussi en partie produit par la déshydratation de la dent sous la digue. De plus, cette technique ne permet pas de laisser le produit pendant un temps suffisamment long pour obtenir les meilleurs résultats esthétiques. Cela concorde avec l'expérience obtenue lors de l'éclaircissement des dents vitales : ici aussi, le succès à long terme du traitement à domicile (avec un temps d'application plus long ou en portant une gouttière) est bien meilleur que celle du traitement au fauteuil (43).

II – Partie expérimentale : étude *in vitro*

1) Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude *in vitro* est de comparer l'efficacité du peroxyde de carbamide et du peroxyde d'hydrogène associés ou non à un mordantage préalable de la dentine lors de la réalisation d'un éclaircissement dentaire interne.

L'efficacité de l'éclaircissement interne dépendant en effet de la pénétration du produit dans les tubules dentinaires, l'acide orthophosphorique à 35% pourrait permettre d'éliminer la smear layer et d'améliorer la perméabilité des tubules.

2) Matériels et méthode

A. Déroulé de l'étude et protocole de réalisation

Nous avons développé une étude *in vitro* à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse en mars 2021, en réalisant des éclaircissements internes sur des dents humaines saines selon la technique du « Walking Bleach » facile à mettre en œuvre.

Dans cette étude nous avons dans un premier temps récupéré des dents humaines adultes extraites pour raison orthodontique ou parodontale. Après nettoyage, décontamination et curetage soigneux, nous les avons stockées dans une solution de chloramine à 1% pour les maintenir hydratées jusqu'au début des expérimentations.

Ne pouvaient être conservées que des dents permanentes, antérieures, monoradiculées (incisives ou canines), qui ne présentaient aucune restauration, aucun délabrement coronaire ni aucune lésion carieuse perturbant la prise de teinte.

Un relevé numérique de la teinte initiale des dents (Spectrophotomètre EFI ES-1000) a permis de créer 4 arcades dont les teintes étaient harmonisées. L'appareil indiquant le score L^*a^*b du tissu, nous avons utilisé un site spécifique en ligne pour calculer le ΔE , c'est-à-dire le degré de variation entre les scores des différentes dents et ainsi procéder à l'harmonisation. Pour constituer les arcades, les dents de chaque groupe ont été positionnées sur des morceaux d'Ivolen®. Chaque arcade contenait 2 incisives centrales, 2 incisives latérales et 2 canines.

Les cavités d'accès à l'endodonte de toutes les dents ont ensuite été réalisées à l'aide d'une fraise diamantée sur turbine puis un bouchon de ciment de verre ionomère (Equia Forte®, GC Europe) d'environ 2mm a été déposé dans le tiers coronaire du canal endodontique, sous la jonction amélo-cémentaire.

Chaque groupe a ensuite reçu un des quatre traitements suivants dans la cavité d'accès préalablement réalisée :

- Groupe 1 : application de peroxyde d'hydrogène à 35% (PH35) (Perfect Bleach Office+®, VOCO) sans mordantage ;
- Groupe 2 : application de peroxyde de carbamide à 35% (PC35) (Poladay CP 35%, SDI, actuellement non commercialisé en France) sans mordantage
- Groupe 3 : application de PH35 + mordantage de la dentine camérale à chaque renouvellement de produit
- Groupe 4 : application de PC35 + mordantage de la dentine camérale à chaque renouvellement de produit

Le mordantage de la cavité pour les groupes 3 et 4 a été effectué avec de l'acide orthophosphorique à 35% (Vococid®, VOCO) pendant 30 secondes pour ouvrir les tubulis dentinaires, d'après des protocoles similaires dans la littérature (7,22,44). Une fois la cavité rincée et séchée, le gel de peroxyde d'hydrogène à 35% ou de peroxyde de carbamide à 35% a été inséré dans la cavité d'accès et celle-ci a été refermée provisoirement à l'aide d'un matériau de restauration temporaire (Cavit®, 3M Espe).

Les arcades ont ensuite été placées à l'intérieur d'un incubateur dans un récipient fermé en atmosphère humide à 37°C. Les expérimentations se sont déroulées sur 3 semaines : une première application de produit a été réalisée dans la cavité d'accès de chacune des dents, puis l'application du produit a été renouvelée une fois par semaine pendant 2 semaines (selon les recommandations de Lim KC (37) et de Lim MY (45) d'un temps d'action de 7 jours), et en renouvelant également le mordantage dans les groupes concernés. A chaque renouvellement, après dépose du Cavit®, la chambre pulpaire a été nettoyée et la prise de teinte réalisée. L'évaluation de la teinte a donc été faite à 4 reprises à l'aide du spectrophotomètre : J0, J+7, J+14 et J+21. Toutes les mesures ont été réalisées dans la même position, en replaçant à chaque fois l'appareil au centre de la face vestibulaire de la dent.

B. Méthode de détermination de la teinte

La perception des couleurs est subjective et varie d'un individu à un autre. En effet, le chirurgien-dentiste risque de mal interpréter une couleur dentaire à l'œil nu en raison des tissus environnants qui peuvent apporter des contrastes forts (rouge de la gencive) ou des ombres portées (lèvres et joues) (46). C'est pourquoi l'apport d'un outil permettant une évaluation objective de cette thérapeutique semble nécessaire.

Les spectrophotomètres effectuent une mesure spectrale du flux lumineux réfléchi sous leur propre source lumineuse qui est une lumière incidente polychromatique visible, non influencée par l'éclairage du cabinet (47). La dent à évaluer est frappée par la lumière émise par le spectrophotomètre et devient complètement saturée de lumière. Le spectre réfléchi capturé par la sonde de l'appareil est mesuré en de nombreux points et il est comparé à une base de données qui permettra d'en déduire, de manière objective et indépendante de l'environnement, la couleur de la dent dans l'espace chromatique CIE $L^*a^*b^*$ (48). Plusieurs millions de points peuvent être analysés à la surface de la dent par l'appareil. Pour s'assurer de la fiabilité des mesures dans le temps, le spectrophotomètre doit être étalonné sur son socle en effectuant une balance des blancs avant chaque mesure (47–50).

L'avènement des technologies numériques en odontologie a ainsi mené à utiliser l'espace colorimétrique de la CIE- $L^*a^*b^*$. Défini en 1976 par la Commission Internationale de l'Eclairage, il s'illustre par une sphère à 3 axes pour couvrir l'intégralité du spectre visible par l'œil humain (*Figure 6*) (46,51) :

- Un axe vertical : le L^* qui renvoie à la valeur de luminosité (le blanc pur à une valeur de 100, le noir pur de 0)
- Deux axes horizontaux :
 - o Le a^* fait référence à sa position sur l'axe rouge (+a) – vert (-a)
 - o Le b^* situe la couleur sur l'axe jaune (+b) – bleu (-b)

Une couleur est donc définie dans ce système par 3 coordonnées (qui peuvent être positives ou négatives).

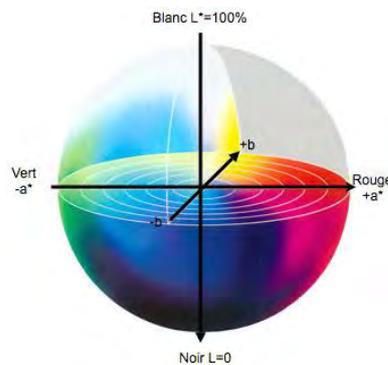


Figure 6 : Espace colorimétrique CIE-L*a*b* schématisé sous la forme d'une sphère (52)

Les dents naturelles humaines occupent un volume de forme rhomboïde. Cet espace de couleurs prend une forme de banane, communément appelé « banane chromatique ». La teinte des dents s'étend du rouge orangé clair au jaune clair alors que leurs luminosités varient et s'étirent en longueur selon l'axe blanc/noir (Figure 7) (52).

Cette zone est haut située dans l'espace chromatique, ce qui signifie que les dents naturelles sont très lumineuses et désaturées (53). La luminosité reste toujours le facteur le plus important de la réussite esthétique (49).



Figure 7 : La banane chromatique dans l'espace CIE-L*a*b* (52)

La plus petite différence entre deux nuances de couleur équivaut à un ΔE (Delta E), qui est en quelque sorte l'unité de référence de cet espace colorimétrique et qui servira dans l'analyse des données de notre étude à comparer l'évolution de la teinte des dents. Sa valeur est aisée à interpréter et à généraliser à la clinique car il a déjà été montré qu'une valeur de Delta E supérieure ou égale à 3,3 était perceptible visuellement (54,55). Sous une valeur de 1, la différence de teinte n'est pas perceptible.

Il est possible d'estimer avec ce système la couleur des dents. Les dents sont très lumineuses lorsque la valeur de L* est supérieure à 85 et très jaunes lorsque la valeur de b* est supérieure à 25. Les dents sont peu lumineuses lorsque L* est inférieur à 75, et commencent à être très rouges lorsque a* est supérieur à 5. L'éclaircissement des dents se traduit donc soit par une augmentation de la luminosité, soit par une diminution de la quantité de jaune, soit les 2 (48).

C. Analyses des données

Les données des paramètres colorimétriques (L*a*b) de chacune des 24 dents ayant subi le traitement d'éclaircissement interne ont été regroupées sur un tableur Excel (Microsoft Excel 2010®) et traitées à l'aide du logiciel Stata v13.0®. Les variables quantitatives ont été comparées à l'aide de tests non paramétriques de Mann-Whitney (comparaisons intergroupes) ou d'analyses de variance (comparaisons intra-groupes). Le seuil de significativité de l'ensemble des résultats a été fixé à 5%.

3) Résultats

24 dents ont été sélectionnées et utilisées dans le cadre de l'étude. 6 ont été utilisées dans chaque groupe.

Vérification de l'harmonisation des paramètres initiaux

Les scores L, a et b moyens de chaque groupe ne sont pas significativement différents entre les groupes au commencement de l'étude (*Tableau 1*). Les groupes ont bien été constitués de façon à être comparables avant application des agents éclaircissants.

| | PH | PC | PH + mord. | PC + mord. | p |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------|
| Score L initial | 53,15 ± 1,44 | 55,86 ± 1,87 | 54,16 ± 3,71 | 56,46 ± 6,2 | 0,43 |
| Score a initial | -0,33 ± 1,02 | -0,64 ± 0,65 | -0,08 ± 1,74 | -0,9 ± 1,04 | 0,66 |
| Score b initial | 4,87 ± 2,12 | 4,26 ± 2,59 | 5,85 ± 4,12 | 2,18 ± 2,87 | 0,23 |

Tableau 1 : présentation des scores L, a et b initiaux moyens de chaque groupe

A. Evolution du score L

On n'observe pas de réelle modification du score L au cours du temps (*Tableau 2, Figure 8*), si ce n'est une légère augmentation dans le groupe traité au peroxyde de carbamide. En effet, au bout de 7 jours de traitement, le peroxyde de carbamide à 35% sans mordantage semble être plus efficace que les produits utilisés dans les 3 autres groupes.

| | PH | PC | PH + mord. | PC + mord. | p |
|-----------------|---------------|----------------|--------------|-------------|---------|
| Score L initial | 53,15 ± 1,44 | 55,86 ± 1,87 | 54,16 ± 3,71 | 56,46 ± 6,2 | 0,43 |
| Score L à 7j | 51,86 ± 2,2 | 62,89 ± 1,83** | 53,33 ± 3,83 | 56,3 ± 6,59 | < 0,001 |
| Score L à 14j | 54,57 ± 1,61 | 56,79 ± 3,95 | 58,11 ± 7,81 | 56,4 ± 5,82 | 0,72 |
| Score L à 21j | 55,09 ± 1,06* | 55,97 ± 1,85 | 57,23 ± 4,18 | 56,3 ± 4,55 | 0,73 |

Tableau 2 : présentation des scores L de chaque groupe

* indique une p-value < 0,05 par rapport au temps 0 du même produit, ** indique une p-value < 0,01.

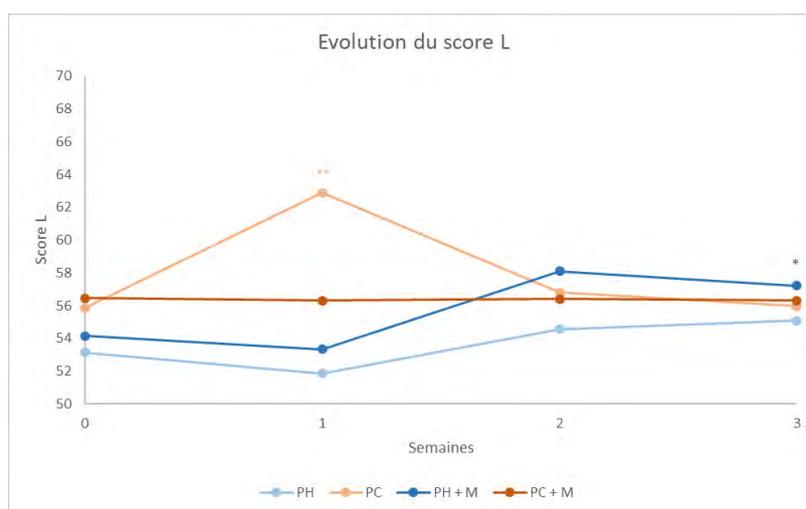


Figure 8 : Evolution du score L au cours du temps

B. Evolution du score a

On n'observe pas de réelle modification du score a au cours du temps (*Tableau 3, Figure 9*) mais la tendance générale dans chaque groupe est à une diminution de ce score, ce qui traduit une diminution de la quantité de « rouge » présente dans la teinte des dents, sans qu'il n'y ait de différence significative d'un point de vue statistique.

| | PH | PC | PH + mord. | PC + mord. | <i>p</i> |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|
| Score a initial | -0,33 ± 1,02 | -0,64 ± 0,65 | -0,08 ± 1,74 | -0,9 ± 1,04 | 0,66 |
| Score a à 7j | -0,72 ± 0,77 | 0,32 ± 0,54* | -0,57 ± 1,21 | -0,88 ± 1,1 | 0,16 |
| Score a à 14j | -0,76 ± 0,86 | -0,73 ± 0,7 | -0,78 ± 1,07 | -1,4 ± 0,86 | 0,51 |
| Score a à 21j | -1,21 ± 0,82 | -0,95 ± 0,44 | -1,21 ± 1,17 | -1,59 ± 0,74 | 0,62 |

Tableau 3 : présentation des scores a de chaque groupe au cours du temps

* indique une p-value < 0,05 par rapport au temps 0 du même produit.

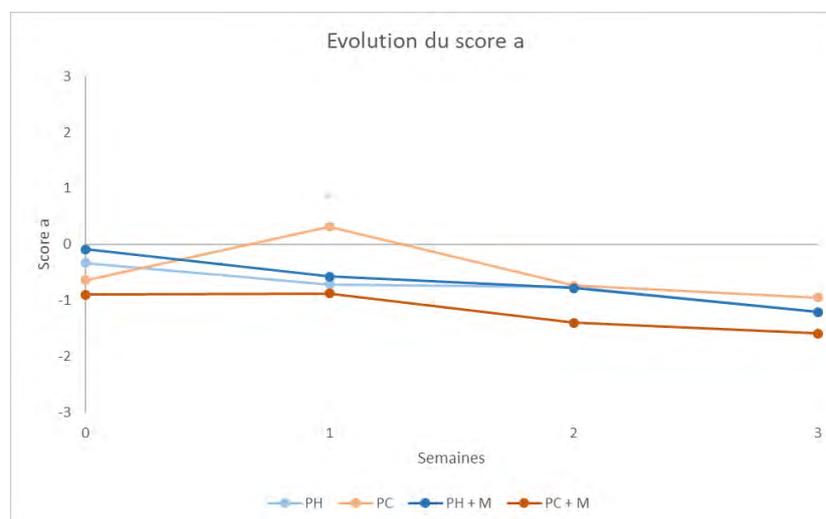


Figure 9 : Evolution du score a au cours du temps

C. Evolution du score b

On n'observe pas de réelle modification du score b au cours du temps (Tableau 4, Figure 10) mais une légère tendance à la diminution de ce score (sauf dans le groupe traité avec le peroxyde de carbamide à 35%) qui traduit une diminution de la quantité de jaune dans les teintes des dents traitées.

| | PH | PC | PH + mord. | PC + mord. | <i>p</i> |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| Score b initial | 4,87 ± 2,12 | 4,26 ± 2,59 | 5,85 ± 4,12 | 2,18 ± 2,87 | 0,23 |
| Score b à 7j | 4,6 ± 2,6 | 4,26 ± 2,28 | 5,6 ± 2,77 | 1,56 ± 3,23 | 0,1 |
| Score b à 14j | 4 ± 2,81 | 4,53 ± 1,27 | 3,14 ± 3,62 | 1,82 ± 2,58 | 0,35 |
| Score b à 21j | 3,82 ± 3,48 | 4,67 ± 0,82 | 2,17 ± 2,77 | 1,65 ± 2,68 | 0,2 |

Tableau 4 : présentation des scores b de chaque groupe au cours du temps



Figure 10 : Evolution du score b au cours du temps

D. Etude des delta E

A une semaine de traitement, le peroxyde de carbamide a significativement modifié la teinte des dents ($\Delta E = 7,27 \pm 1,82$), sans mordantage préalable car celui-ci apporte des résultats très variables ($\Delta E = 4,86 \pm 3,47$) (Tableau 5, Figure 11). Après 2 semaines, on ne note pas de différence statistiquement significative entre les différents groupes (Figure 12). À trois semaines de traitement, l'association de peroxyde d'hydrogène et d'un mordantage préalable des tissus semble apporter un effet plus important, et significativement meilleur que le peroxyde de carbamide seul (Figure 13). La différence de teinte dans le groupe traité par PH et mordantage des tissus est d'ailleurs perceptible à l'œil nu ($\Delta E = 5,58 \pm 1,21$ donc $>3,3$). Il n'y a pas de différence significative entre les effets des différents produits lors des relevés entre première et deuxième semaine, ni entre deuxième et troisième semaine (Figures 14 et 15).

Les résultats présentés indiquent donc qu'au bout de 3 semaines d'éclaircissement interne, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre le peroxyde d'hydrogène à 35% et le peroxyde de carbamide à 35%. Quant au mordantage, celui-ci n'apporte pas d'effet significativement supérieur par rapport à l'absence de préparation des tissus, quel que soit le produit utilisé.

| | PH | PC | PH + mord. | PC + mord. | <i>p</i> |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| ΔE T0-S1 | 2,18 ± 1,25 | 7,27 ± 1,82 | 2,51 ± 1,2 | 4,86 ± 3,47 | 0,002 |
| ΔE T0-S2 | 2,93 ± 1,05 | 3,52 ± 2, 8 | 5,59 ± 3,91 | 2,35 ± 1,32 | 0,17 |
| ΔE T0-S3 | 3,16 ± 0,75 | 2,39 ± 1,12 | 5,58 ± 1,21 | 3,39 ± 2,1 | 0,005 |
| ΔE S1-S2 | 3,13 ± 1,88 | 6,58 ± 3 | 4,93 ± 4,17 | 3,72 ± 1,89 | 0,21 |
| ΔE S2-S3 | 1,9 ± 1,35 | 2,32 ± 1,82 | 5,33 ± 4,4 | 1,7 ± 0,65 | 0,07 |

Tableau 5 : présentation des valeurs de ΔE de chacun des groupes au cours du temps

T0 : teinte initiale / S1 : teinte au bout de la première semaine d'application / S2 : teinte obtenue au cours de la deuxième semaine de traitement / S3 : teinte obtenue au cours de la troisième semaine de traitement

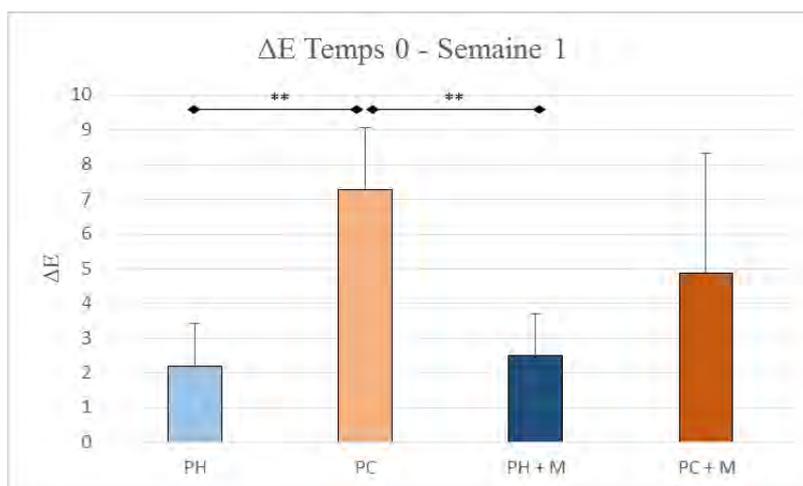


Figure 11 : Le ΔE de chacun des groupes traités au cours de la première semaine de traitement

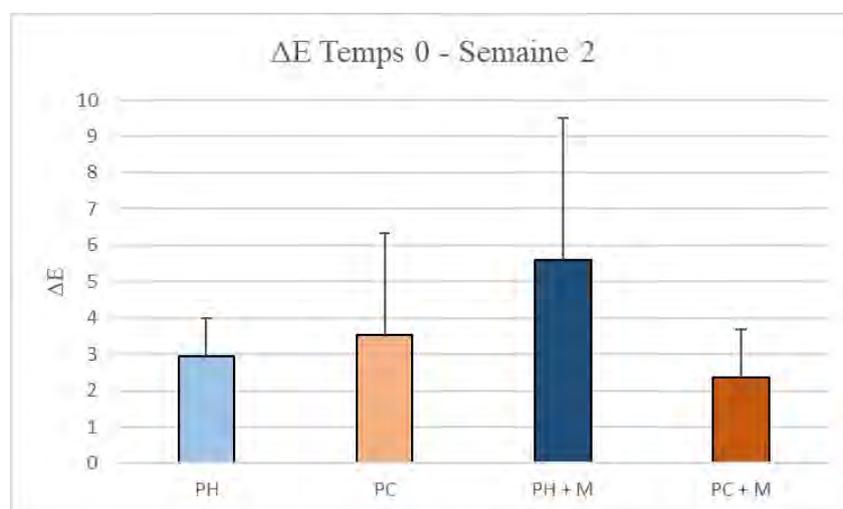


Figure 12 : Le ΔE de chacun des groupes traités entre la prise de teinte initiale et la deuxième semaine de traitement

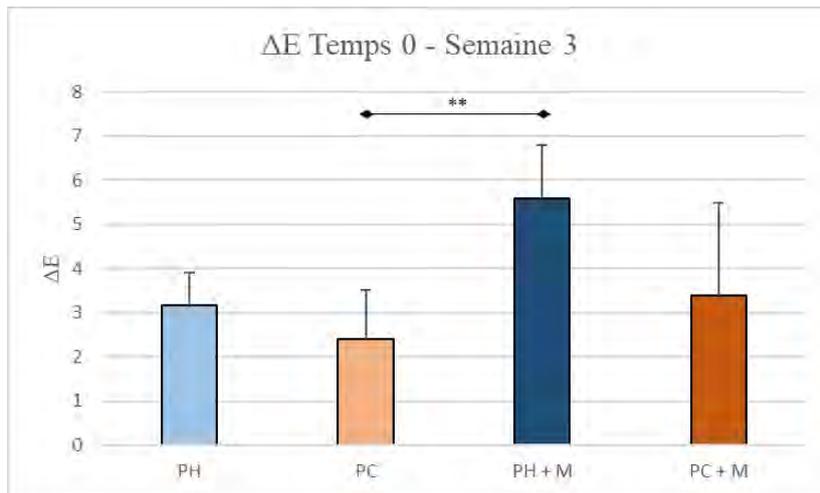


Figure 13 : Le ΔE de chacun des groupes traités entre la prise de teinte initiale et la troisième semaine de traitement

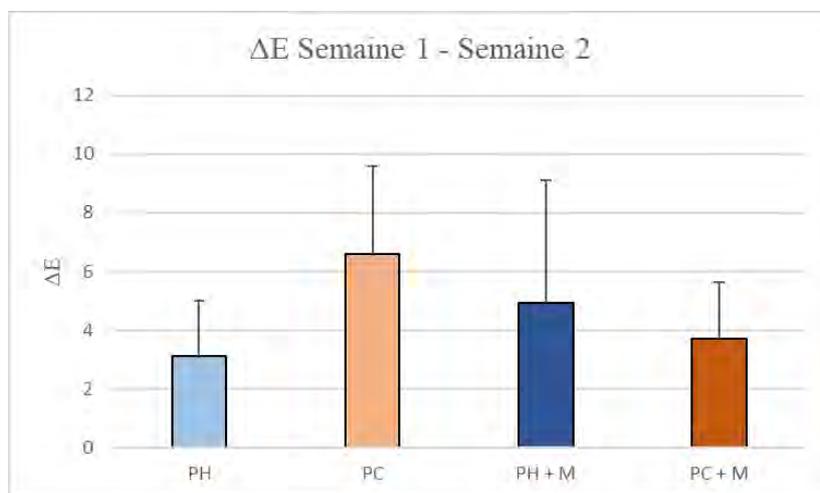


Figure 14 : Le ΔE de chacun des groupes traités entre la première semaine de traitement et la seconde

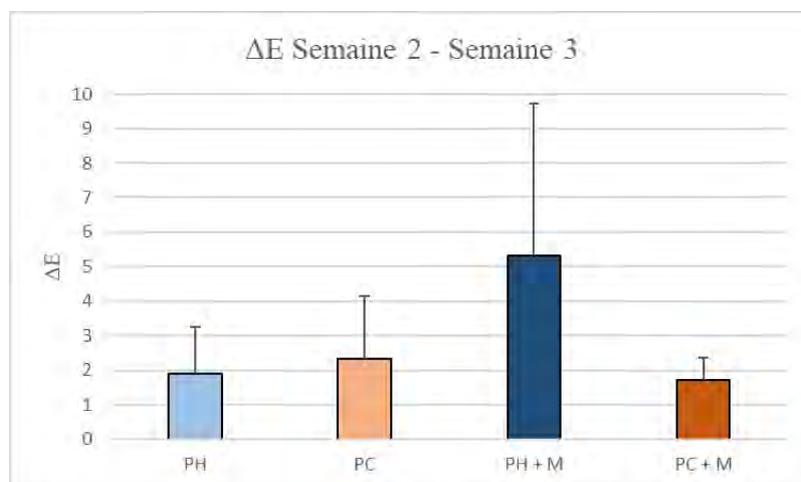


Figure 15 : Le ΔE de chacun des groupes traités entre la deuxième et la troisième semaine de traitement

4) Discussion

Les résultats de notre étude mettent en évidence l'absence de différence significative quant à l'efficacité du peroxyde de carbamide à 35% et du peroxyde d'hydrogène à 35%. Ces résultats rejoignent ceux de l'étude menée par Lim et al. (45) qui indiquent que le gel de peroxyde de carbamide à 35% et celui de peroxyde d'hydrogène à 35% étaient autant efficaces l'un que l'autre (37) pour l'éclaircissement interne (à J7 et J14), lorsque la dent a été artificiellement décolorée avec des chromogènes provenant de la dégradation des produits sanguins.

Comme le peroxyde de carbamide à 35% se décompose approximativement en 12% de peroxyde d'hydrogène, les résultats obtenus peuvent paraître surprenants, car on pourrait s'attendre à ce qu'un gel de peroxyde d'hydrogène à 35% produise un éclaircissement plus important que du peroxyde de carbamide à 35%.

Dans les comparaisons utilisant différentes concentrations de peroxyde de carbamide pour l'éclaircissement externe des dents vitales, des concentrations plus élevées ont tendance à être plus efficaces, bien qu'après plusieurs séances d'éclaircissement, le produit le moins concentré produira éventuellement le même effet éclaircissant que le plus concentré utilisé sur des durées plus courtes (56). L'efficacité égale du peroxyde d'hydrogène à 35% et du peroxyde de carbamide à 35% pourrait être due au fait qu'avec 35% de peroxyde d'hydrogène, il y a un excès d'agent actif, qui diffuse simplement sans réagir à travers le tissu **racinaire**. Une autre possibilité est que le peroxyde de carbamide pénètre moins facilement dans la dentine que le peroxyde d'hydrogène (57), il peut donc rester plus longtemps dans la dentine où il peut décomposer les chromogènes plus efficacement que le peroxyde d'hydrogène qui pénètre plus facilement dans la dentine et qui en sort aussi plus rapidement. Un autre facteur contribuant à la plus grande efficacité du peroxyde de carbamide concerne la relation entre le pH et la vitesse de réaction de la réaction d'éclaircissement (45). Le gel de peroxyde de carbamide a un pH plus élevé (6,5 contre 3,7 pour un gel de PH 35% (58)) or plus le pH est élevé, plus l'ionisation de l'agent éclaircissant est grande, plus il y a de radicaux libres disponibles. La capacité éclaircissante s'en trouve donc plus grande (45).

L'étape de mordantage préalable de la dentine ne semble pas apporter de meilleurs résultats par rapport à un traitement classique sans préparation des tissus, si ce n'est avec le peroxyde d'hydrogène car l'association des deux montre un changement de teinte important. Les résultats de notre étude sont concordants avec celle de Casey et al. (7) qui n'a montré aucune différence significative que la cavité d'accès soit mordancée ou non (acide orthophosphorique à 50% pendant 1 minute) avant l'éclaircissement interne avec un mélange de peroxyde d'hydrogène à 30%. Mohammadi et al. (44) n'ont pas non plus démontré d'amélioration statistiquement significative de l'efficacité de l'éclaircissement avec cette étape de mordantage (acide orthophosphorique à 37% pendant 30 secondes ; l'étude présentait également l'utilisation d'un laser dans son protocole).

L'absence de différence perceptible malgré la réalisation ou non d'un mordantage préalable des tissus pourrait être liée à plusieurs facteurs :

- La smear layer générée par le fraisage des parois dentinaires de la chambre pulpaire n'est probablement pas très dense ou imperméable et elle n'est résistante qu'à 86% au mouvement des fluides (59).
- Il est également possible que tous les tubules dentinaires ne soient pas bouchés par des débris et ceux qui restent ouverts pourraient certainement servir de canaux pour le passage des produits éclaircissants et de l'oxygène libéré qui sert d'agent oxydant pour éliminer les colorations. Le complexe des tubulis dentinaires présentant de nombreuses interconnexions entre les tubules, de sorte qu'il serait relativement facile pour les fluides ou les gaz de pénétrer dans la dentine même si un grand nombre de tubules était obstrué (7,44). Il est possible dans notre étude que ces interconnexions aient facilité la pénétration du gel éclaircissant dans la dentine dans les deux groupes sans mordantage.
- La plupart des agents éclaircissants sont acides (58), par conséquent ils sont susceptibles d'auto-mordancer la dentine. **Par conséquent**, l'étape supplémentaire de mordantage avant l'application du produit d'éclaircissement n'est pas nécessaire.

Après deux renouvellements de gel éclaircissant, chaque renouvellement supplémentaire produira un changement de couleur beaucoup plus petit (60), s'il y en a un. Le mordantage ne semble pas non plus influencer ce phénomène. Dans la plupart des cas, l'effet souhaité doit être obtenu par trois renouvellements de produits d'éclaircissement (61).

Il faut cependant considérer que la récurrence de la dyschromie est fréquente, estimée entre 40 et 60% à 5 ans (62,63). Ces récurrences sont surtout liées à la percolation périphérique de la restauration. La prévention souvent décrite pour les éviter est la suivante : une petite taille de cavité d'accès et une restauration définitive au moins 15 jours après la dépose de l'agent actif pour limiter l'inhibition de la polymérisation par l'oxygène encore présent dans les tissus. Le composite définitif doit être plus opaque pour créer une impression de luminosité à l'intérieur de la dent.

Pour essayer de contourner les risques liés à l'éclaircissement interne, ou pour traiter une récurrence de dyschromie sans augmenter le risque de fragiliser la dent, il est possible de réaliser un éclaircissement externe de la dent dépulpée (64). L'objectif de cette technique est de s'appuyer sur le recul clinique et les différents avantages de l'éclaircissement ambulatoire sur les dents pulpées. L'éclaircissement externe se réalise à l'aide d'une gouttière unitaire thermoformée sans réservoir et en ambulatoire. Un gel de peroxyde de carbamide à 16% est employé, avec une durée d'application aussi longue que nécessaire. Ainsi, l'éclaircissement externe représente une approche contemporaine de l'éclaircissement de la dent dépulpée et se révèle être une alternative fiable à l'éclaircissement interne, avec une innocuité totale. Toutefois, plus la coloration est ancienne, plus elle sera longue à traiter, de même plus la dentine est dense et concentrée. Il faut laisser plus de temps au produit pour rentrer à l'intérieur de la dent. La durée de traitement est alors augmentée par rapport à la méthode conventionnelle par voie interne mais le résultat est plus stable dans le temps.

D'un point de vue de la sécurité, il est préférable d'utiliser un agent éclaircissant avec le moins de diffusion extraradiculaire (65). Il a été rapporté que l'éclaircissement interne avec un gel de peroxyde de carbamide à 35% produisait de faibles niveaux de diffusion de peroxyde d'hydrogène dans la région péri-radulaire, en présence de défauts cimentaires. Par contre, on retrouve une quantité significativement plus élevée de peroxyde

d'hydrogène diffusée en utilisant un gel de peroxyde d'hydrogène à 35%. Le peroxyde de carbamide à 35% pourrait donc être considéré comme une solution de choix dans la sélection des produits d'éclaircissement interne (45,65) en étant plus sûr que le peroxyde d'hydrogène dans le but de minimiser l'apparition de résorption cervicale externe, tout en bénéficiant de la même efficacité (37).

Bien que la technique d'éclaircissement interne soit préconisée en priorité par rapport à d'autres thérapeutiques plus invasives, et que son efficacité soit reconnue (29), celle-ci n'est tout de même pas sans risque et peut causer des effets biologiques néfastes (66,67). En effet, il existe des précautions à prendre lors d'un éclaircissement interne, notamment avec le risque d'ingestion de produits acides hautement concentrés due à la difficulté d'obturer de façon étanche la dent avec un gel dans la cavité d'accès. De plus, si le produit éclaircissant entre en contact avec la gencive pendant le traitement, des dommages peuvent survenir pour la muqueuse et le ligament desmodontal (13,66,68). Il en résulte simplement dans ce cas, une irritation légère et transitoire.

Il existe également un risque de fragilisation mécanique de l'émail voire même de fracture radiculaire en cas de répétition trop fréquentes des éclaircissements sur une même dent et avec des produits trop concentrés. Les fractures coronaires peuvent aussi être dues à une élimination trop importante de la dentine intra-coronaire (6) lors du nettoyage de la cavité.

Le risque de résorption radiculaire cervicale externe, secondaire à l'éclaircissement interne (68,69), est également largement décrit dans la littérature (6,18,21,22,39). L'augmentation de la perméabilité des tissus dentaires produite par les produits éclaircissants facilite la diffusion des agents oxydants à travers les tubules dentinaires, qui peuvent atteindre le parodonte (70). Ce risque est présent même plusieurs années après le traitement (39,71) et est augmenté lors de l'emploi de peroxyde d'hydrogène en forte concentration et avec la répétition de l'opération (25). Rien ne permet aujourd'hui de savoir à partir de quelle fréquence ce traitement devient délétère pour les tissus dentaires. De plus, même si le mécanisme physiopathologique exact de ces résorptions n'a pas encore été déterminé (45), plusieurs facteurs de risque de leur survenue ont été identifiés (6,18,21,72) :

- Patients jeunes (car leurs tubules dentinaires sont davantage ouverts) ;
- Traitement de longue durée ou réintervention (limiter le nombre de séance et ne pas recommencer trop souvent) ;
- Application de chaleur (avec la technique thermocatalytique par exemple) (3,69) ;
- Utilisation de produits trop concentrés ;
- Mauvais scellement de l'entrée canalaire (37,73) ;
- Antécédent de traumatisme ou de traitement orthodontique (72,74) ;
- Défaut de la jonction émail-cément augmentant la pénétration de l'agent éclaircissant dans les espaces parodontaux ou patients avec peu de ciment (surfaçage). Lorsque les parois dentinaires restantes sont très fines, il est conseillé de n'utiliser que de faible concentration de produit éclaircissant dans le but d'éviter sa pénétration dans l'espace parodontal au travers des microperforations provoquant une inflammation qui peut par la suite faciliter la résorption de la racine (18) ;
- Surfaces cervicales avec début de déminéralisation.

Si plusieurs facteurs de risque sont identifiés, il est conseillé de faire une radiographie de contrôle tous les 6 mois pour un dépistage précoce. En effet, la découverte des résorptions est fortuite la plupart du temps car elles sont souvent asymptomatiques (39). Le signe clinique à surveiller se caractérise par une lésion rose qui débute au collet de la dent.

CONCLUSION

L'éclaircissement interne est une technique simple, conservatrice et efficace pour améliorer la couleur des dents devitalisées et dyschromiées. Plusieurs méthodes et techniques sont utilisées, basées principalement sur des réactions oxydatives. Le succès d'une procédure d'éclaircissement interne dépend de la pénétration de l'agent éclaircissant dans les tubules dentinaires : plus la pénétration du produit est profonde, plus l'élimination de la coloration est importante. De nombreuses méthodes ont été suggérées pour augmenter la perméabilité des tubules dentinaires, dont le mordantage à l'acide orthophosphorique pour préparer les surfaces dentinaires, l'utilisation de lumière ou encore de chaleur. La présente étude a démontré que l'efficacité du gel de peroxyde de carbamide à 35% ne présente pas de différence significative à celle du gel de peroxyde d'hydrogène à 35%. Le peroxyde de carbamide à 35% semble donc être le produit présentant le meilleur rapport bénéfice/risque pour l'éclaircissement interne. En effet, il combine l'efficacité du peroxyde d'hydrogène mais avec un taux de diffusion extraradiculaire plus faible, ce qui traduit un risque inférieur de complications par résorption cervicale externe. L'étape de mordantage des surfaces dentinaires pour présenter un réel intérêt devrait être associée à du peroxyde d'hydrogène à 35% sur au moins 3 semaines sinon elle n'améliore pas le résultat de manière significative. Les résultats obtenus dans cette étude sont bien sûr à pondérer avec les limites inhérentes à la réalisation d'essais *in vitro* et avec les différences que cela implique par rapport au suivi d'un traitement en clinique chez l'Homme.

Vu le Président du jury



Vu le Directeur de Thèse



TABLE DES ILLUSTRATIONS

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Le concept de gradient thérapeutique, proposé par G.Tirlet et JP.Attal en 2009..... | 11 |
| Figure 2 : Illustration de l'arcade maxillaire présentant une dyschromie sur la 21 | 15 |
| Figure 3 : Mode d'action des agents éclaircissants, proposé par G. Tirlet et J-P. Attal..... | 18 |
| Figure 4 : Les étapes du protocole d'éclaircissement interne avec le retrait de la gutta-percha, le placement d'une barrière étanche et l'application du gel éclaircissant dans la cavité d'accès (21)21 | |
| Figure 5 : aménagement des différents matériaux lors de l'éclaircissement interne (37) | 21 |
| Figure 6 : Espace colorimétrique CIE-L*a*b schématisé sous la forme d'une sphère (52) | 29 |
| Figure 7 : La banane chromatique dans l'espace CIE-L*a*b (52) | 29 |
| Figure 8 : Evolution du score L au cours du temps..... | 31 |
| Figure 9 : Evolution du score a au cours du temps..... | 32 |
| Figure 10 : Evolution du score b au cours du temps..... | 33 |
| Figure 11 : Le ΔE de chacun des groupes traités au cours de la première semaine de traitement . | 34 |
| Figure 12 : Le ΔE de chacun des groupes traités entre la prise de teinte initiale et la deuxième semaine de traitement | 34 |
| Figure 13 : Le ΔE de chacun des groupes traités entre la prise de teinte initiale et la troisième semaine de traitement | 35 |
| Figure 14 : Le ΔE de chacun des groupes traités entre la première semaine de traitement et la seconde..... | 35 |
| Figure 15 : Le ΔE de chacun des groupes traités entre la deuxième et la troisième semaine de traitement..... | 35 |

TABLE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : présentation des scores L, a et b initiaux moyens de chaque groupe | 30 |
| Tableau 2 : présentation des scores L de chaque groupe | 31 |
| Tableau 3 : présentation des scores a de chaque groupe au cours du temps | 32 |
| Tableau 4 : présentation des scores b de chaque groupe au cours du temps | 32 |
| Tableau 5 : présentation des valeurs de ΔE de chacun des groupes au cours du temps | 34 |

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Tirlet G, Attal JP. Le gradient thérapeutique : un concept médical pour les traitements esthétiques. *L'Information Dentaire*. 2009;2009(41/42).
2. Lehmann N, Bonnet E. Technique d'éclaircissement sur dents dépulpées. *Le Fil Dentaire*, magazine dentaire. 5 juill 2010;
3. Attin T, Paque F, Ajam F, Lennon AM. Review of the current status of tooth whitening with the walking bleach technique. *Int Endod J*. mai 2003;36(5):313-29.
4. Patil A, Hiremath V, Kumar Rs, Sheetal A, Nagaraal S. Bleaching of a non-vital anterior tooth to remove the intrinsic discoloration. *J Nat Sc Biol Med*. 2014;5(2):476.
5. Aboudharam G, Fouque F, Pignoly C, Claisse A, Plazy A. Eclaircissement dentaire. *EMC - Odontologie*. 2008;15.
6. Harshitha C. Effects of Tooth Whitening Agents in Non Vital Teeth. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2014;
7. Casey LJ, Schindler WG, Murata SM, Burgess JO. The use of dentinal etching with endodontic bleaching procedures. *J Endod*. nov 1989;15(11):535-8.
8. Banomyong D, Palamara JEA, Burrow MF, Messer HH. Effect of dentin conditioning on dentin permeability and micro-shear bond strength. *Eur J Oral Sci*. déc 2007;115(6):502-9.
9. Camps J, Pommel L, Aubut V, About I. Influence of acid etching on hydrogen peroxide diffusion through human dentin. *Am J Dent*. juin 2010;23(3):168-70.
10. Izidoro ACS de A. Combined Technique for Bleaching Non-Vital Teeth with 6-Month Clinical Follow-Up: Case Report. *Int J Oral Dent Health*. 30 juin 2015;1(2).
11. Poyser NJ, Kelleher MGD, Briggs PFA. Managing discoloured non-vital teeth : the inside/outside bleaching technique. *Dent Update*. mai 2004;31(4):204-10, 213-4.
12. Dugas NN, Lawrence HP, Teplitsky P, Friedman S. Quality of life and satisfaction outcomes of endodontic treatment. *J Endod*. déc 2002;28(12):819-27.
13. Plotino G, Buono L, Grande NM, Pameijer CH, Somma F. Nonvital Tooth Bleaching: A Review of the Literature and Clinical Procedures. *Journal of Endodontics*. avr 2008;34(4):394-407.
14. Valera MC, Camargo CHR, Carvalho CAT, Oliveira LD de, Camargo SEA, Rodrigues CM. Effectiveness of carbamide peroxide and sodium perborate in non-vital discolored teeth. *J Appl Oral Sci*. juin 2009;17(3):254-61.
15. Ioannidis K, Beltes P, Lambrianidis T, Kapagiannidis D, Karagiannis V. Validation and spectrophotometric analysis of crown discoloration induced by root canal sealers. *Clin Oral Investig*. juill 2013;17(6):1525-33.
16. Ioannidis K, Mistakidis I, Beltes P, Karagiannis V. Spectrophotometric analysis of crown discoloration induced by MTA- and ZnOE-based sealers. *J Appl Oral Sci*. avr 2013;21(2):138-44.

17. Pallarés-Serrano A, Pallarés-Serrano S, Pallarés-Serrano A, Pallarés-Sabater A. Assessment of Oxygen Expansion during Internal Bleaching with Enamel and Dentin: A Comparative In Vitro Study. *Dent J (Basel)*. 24 août 2021;9(9):98.
18. Zimmerli B, Jeger F, Lussi A. Bleaching of nonvital teeth. A clinically relevant literature review. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*. 2010;120(4):306-20.
19. Faucher AJ, Koubi GF, Pignoly C. Les dyschromies dentaires: de l'éclaircissement aux facettes céramiques. *Cahiers de prothèses éditions*; 2001. 134 p.
20. Ghrenassia C, Elbeze L. Éclaircissement interne, alternative au perborate de sodium. *L'Information Dentaire*. 1 mars 2018;
21. Reitzer F, Ehlinger C, Minoux M. A modified inside/outside bleaching technique for nonvital discolored teeth: a case report. *Quintessence Int*. 2019;50(10):802-7.
22. Leith R, Moore A, O'Connell AC. An effective bleaching technique for non-vital, discoloured teeth in children and adolescents. *J Ir Dent Assoc*. sept 2009;55(4):184-9.
23. Matis BA, Gaião U, Blackman D, Schultz FA, Eckert GJ. In vivo degradation of bleaching gel used in whitening teeth. *J Am Dent Assoc*. févr 1999;130(2):227-35.
24. Peroxyde d'Hydrogène vs Peroxyde de Carbamide : Quelle est la différence ? -. *Opalescence Tooth Whitening Systems - Ultradent Products*.
25. Bonte E, Attal JP, François P. L'éclaircissement interne de la dent dépulpée dyschromiée : quel substitut au perborate de sodium ? *L'Information Dentaire*. 2018;3(2):50-7.
26. Gurgan S, Bolay S, Alaçam R. Antibacterial activity of 10% carbamide peroxide bleaching agents. *J Endod*. juill 1996;22(7):356-7.
27. Kwon SR, Wertz PW. Review of the Mechanism of Tooth Whitening. *J Esthet Restor Dent*. oct 2015;27(5):240-57.
28. En quoi consiste un blanchiment dentaire ? - France Assos Santé. France Assos Santé.
29. Joiner A. The bleaching of teeth : a review of the literature. *J Dent*. août 2006;34(7):412-9.
30. Kawamoto K, Tsujimoto Y. Effects of the hydroxyl radical and hydrogen peroxide on tooth bleaching. *J Endod*. janv 2004;30(1):45-50.
31. Carey CM. Tooth Whitening : what we now know. *J Evid Based Dent Pract*. juin 2014;14 Suppl:70-6.
32. Minoux M, Serfaty R. Mécanismes d'action de l'éclaircissement. *Le Fil Dentaire, magazine dentaire*. 5 juill 2010;
33. Ma X, Li R, Sa Y, Liang S, Sun L, Jiang T, et al. Separate contribution of enamel and dentine to overall tooth colour change in tooth bleaching. *J Dent*. nov 2011;39(11):739-45.
34. Ten Bosch JJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J Dent Res*. janv 1995;74(1):374-80.

35. Santana TR, Bragança RMF de, Correia ACC, Oliveira I de M, Faria-E-Silva AL. Role of enamel and dentin on color changes after internal bleaching associated or not with external bleaching. *J Appl Oral Sci.* 2020;29:e20200511.
36. Sulieman M. An Overview of Bleaching Techniques : 2. Night Guard Vital Bleaching and Non-Vital Bleaching. *Dental Update.* févr 2005;32(1):39-46.
37. Lim KC. Considerations in intracoronal bleaching. *Aust Endod J.* août 2004;30(2):69-73.
38. Maclsaac AM, Hoen CM. Intracoronal bleaching: concerns and considerations. *J Can Dent Assoc.* janv 1994;60(1):57-64.
39. Rolland C, Trotebas O, Bukiet F, Pignoly C. Éclaircissement des dents dépulpées et résorption cervicale externe : comprendre pour mieux prévenir. *EMC - Odontologie.* juin 2005;1(2):98-106.
40. Rotstein I, Zyskind D, Lewinstein I, Bamberger N. Effect of different protective base materials on hydrogen peroxide leakage during intracoronal bleaching in vitro. *J Endod.* mars 1992;18(3):114-7.
41. Dishman MV, Covey DA, Baughan LW. The effects of peroxide bleaching on composite to enamel bond strength. *Dent Mater.* janv 1994;10(1):33-6.
42. Rotstein I, Torek Y, Lewinstein I. Effect of bleaching time and temperature on the radicular penetration of hydrogen peroxide. *Endod Dent Traumatol.* oct 1991;7(5):196-8.
43. Dietschi D, Rossier S, Krejci I. In vitro colorimetric evaluation of the efficacy of various bleaching methods and products. *Quintessence Int.* août 2006;37(7):515-26.
44. Mohammadi N, Kimyai S, Navimipour EJ, Soleimanzadeh R, Bonab SS. Effect of acid etching and laser treatment of dentin surface on intracoronal bleaching efficacy. *Photomed Laser Surg.* oct 2010;28 Suppl 2:S51-55.
45. Lim MY, Lum SOY, Poh RSC, Lee GP, Lim KC. An in vitro comparison of the bleaching efficacy of 35% carbamide peroxide with established intracoronal bleaching agents. *Int Endod J.* juill 2004;37(7):483-8.
46. Ceinos R, Lasserre JF. La couleur des dents naturelles : bases fondamentales. *L'Information Dentaire.* nov 2020;(41/42):22-32.
47. D'Incau E, Pia JP, Pivet J. Couleur et choix de la teinte en odontologie. *JPIO Esthétique en odontologie.* oct 2014;
48. Attal JP, Gnanguenon K. Apports de la spectrophotométrie pendant l'éclaircissement dentaire. *L'Information Dentaire.* 25 nov 2020;102(41/42).
49. Lasserre JF, Pop IS, D'Incau E. La couleur en odontologie : déterminations visuelles et instrumentales. *Cahier de prothèse.* 2006;(135):25-9.
50. Pineau S. Le relevé de la couleur : Quelles sont les évolutions instrumentales ? *Le Fil Dentaire, magazine dentaire.* nov 2008;(37):30-2.
51. Joiner A. Tooth colour : a review of the literature. *J Dent.* 2004;32 Suppl 1:3-12.

52. Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V. La définition des teintes de dent. *Quintessenz Zahntech.* 2004;30(7):726-40.
53. Lasserre JF. Les sept dimensions de la couleur des dents naturelles. *Clinic.* juill 2007;28:14.
54. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. *Dent Mater.* juill 2004;20(6):530-4.
55. Gomes MN, Francci C, Medeiros IS, De Godoy Froes Salgado NR, Riehl H, Marasca JM, et al. Effect of light irradiation on tooth whitening: enamel microhardness and color change. *J Esthet Restor Dent.* 2009;21(6):387-94.
56. Leonard RH, Sharma A, Haywood VB. Use of different concentrations of carbamide peroxide for bleaching teeth: an in vitro study. *Quintessence Int.* août 1998;29(8):503-7.
57. Cooper JS, Bokmeyer TJ, Bowles WH. Penetration of the pulp chamber by carbamide peroxide bleaching agents. *J Endod.* juill 1992;18(7):315-7.
58. Price RB, Sedarous M, Hiltz GS. The pH of tooth-whitening products. *J Can Dent Assoc.* sept 2000;66(8):421-6.
59. Pashley DH. The effects of acid etching on the pulpodentin complex. *Oper Dent.* déc 1992;17(6):229-42.
60. Ho S, Goerig AC. An in vitro comparison of different bleaching agents in the discolored tooth. *J Endod.* mars 1989;15(3):106-11.
61. Warren MA, Wong M, Ingram TA. In vitro comparison of bleaching agents on the crowns and roots of discolored teeth. *J Endod.* oct 1990;16(10):463-7.
62. Amato M, Serena Scaravilli M, Farella M, Riccitiello F. Bleaching Teeth Treated Endodontically: Long-Term Evaluation of a Case Series. *Journal of Endodontics.* avr 2006;32(4):376-8.
63. Deliperi S. Clinical evaluation of nonvital tooth whitening and composite resin restorations : five-year results. *Eur J Esthet Dent.* 2008;3(2):148-59.
64. Giallo M. Approche contemporaine de l'éclaircissement de la dent dépulpée. *L'Information Dentaire.* 25 nov 2020;102(41/42):68-76.
65. Lee GP, Lee MY, Lum SOY, Poh RSC, Lim KC. Extraradicular diffusion of hydrogen peroxide and pH changes associated with intracoronary bleaching of discoloured teeth using different bleaching agents. *Int Endod J.* juill 2004;37(7):500-6.
66. Kinomoto Y, Carnes DL, Ebisu S. Cytotoxicity of intracanal bleaching agents on periodontal ligament cells in vitro. *J Endod.* sept 2001;27(9):574-7.
67. Tredwin CJ, Naik S, Lewis NJ, Scully C. Hydrogen peroxide tooth-whitening (bleaching) products: Review of adverse effects and safety issues. *British Dental Journal.* avr 2006;200(7):371-6.
68. Dahl JE, Pallesen U. Tooth bleaching - a critical review of the biological aspects. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2003;14(4):292-304.
69. Friedman S. Internal bleaching : long-term outcomes and complications. *J Am Dent Assoc.* avr 1997;128 Suppl:51S-55S.

70. Carrasco LD, Fröner IC, Corona SAM, Pécora JD. Effect of internal bleaching agents on dentinal permeability of non-vital teeth: quantitative assessment. *Dent Traumatol.* avr 2003;19(2):85-9.
71. Cvek M, Lindvall AM. External root resorption following bleaching of pulpless teeth with oxygen peroxide. *Endod Dent Traumatol.* avr 1985;1(2):56-60.
72. Heithersay GS. Invasive cervical resorption: an analysis of potential predisposing factors. *Quintessence Int.* févr 1999;30(2):83-95.
73. Dietschi D. Nonvital Bleaching : General considerations and report of two failure cases. *Eur J Esthet Dent.* avr 2006;1(1):52-61.
74. Heithersay GS, Dahlstrom SW, Marin PD. Incidence of invasive cervical resorption in bleached root-filled teeth. *Aust Dent J.* avr 1994;39(2):82-7.

COMPARAISON DU POTENTIEL D'ÉCLAIRCISSEMENT INTERNE DU PEROXYDE D'HYDROGENE A 35% ET DU PEROXYDE DE CARBAMIDE A 35% AVEC OU SANS MORDANÇAGE PREALABLE : ETUDE IN VITRO

RÉSUMÉ EN FRANÇAIS : La dyschromie antérieure sur dent devitalisée a un impact négatif sur l'esthétique du sourire. L'éclaircissement interne est la thérapeutique de choix et différents produits et techniques existent pour la mener à bien. L'objectif de ce travail est de comparer l'efficacité du peroxyde d'hydrogène à 35% et du peroxyde de carbamide à 35% avec ou sans mordantage lors d'un éclaircissement interne. Pour cela, une étude *in vitro* a été développée et a consisté sur une période de 3 semaines, à réaliser un éclaircissement interne sur 4 arcades avec les deux produits précédemment cités : seuls et avec un mordantage préalable pour chacun. Un relevé de teinte au spectrophotomètre a été effectué chaque semaine, avant le renouvellement du produit.

L'étude menée montre qu'il n'y a pas de différence entre l'utilisation du peroxyde d'hydrogène à 35% par rapport au peroxyde de carbamide à 35%. De plus, l'étape de mordantage des tissus n'influe pas de manière significative sur la qualité de l'éclaircissement, quel que soit le produit utilisé.

TITRE EN ANGLAIS :

COMPARISON OF NON-VITAL TOOTH INTERNAL BLEACHING USING 35% HYDROGEN PEROXIDE AND 35% CARBAMIDE PEROXIDE WITH OR WITHOUT ACID ETCHING : IN VITRO STUDY

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie Dentaire

MOTS CLÉS : éclaircissement interne, dyschromie dentaire, peroxyde d'hydrogène, peroxyde de carbamide, mordantage, étude in vitro

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR :

Université Toulouse III - Paul Sabatier
Faculté de Santé – Département de Chirurgie Dentaire
3 chemin des Maraîchers
31062 Toulouse Cedex 09

DIRECTEUR DE THÈSE : Docteur Thibault CANCEILL