

Éclaircissement dentaire
Effets
Tissus durs
Changements

*Tooth bleaching
Effects
Hard tissues
Changes*

Effets de l'éclaircissement sur les tissus durs de la dent

Z. KARIMI, S. CHALA, F. ABDALLAOUI

*Effects of bleaching
on dental hard tissues*

Z. KARIMI. Résident au service d'odontologie conservatrice, Centre de consultations et de traitements dentaires, Faculté de médecine dentaire de Rabat, Maroc. S. CHALA. Professeur agrégé en odontologie conservatrice, Centre de consultations et de traitements dentaires, Faculté de médecine dentaire de Rabat, Maroc. F. ABDALLAOUI. Professeur d'enseignement supérieur en odontologie conservatrice, Centre de consultations et de traitements dentaires, Faculté de médecine dentaire de Rabat, Maroc.

RÉSUMÉ

L'éclaircissement des dents est une option thérapeutique non invasive qui permet de traiter un grand nombre de dyschromies. Cette option thérapeutique est de plus en plus demandée dans la pratique quotidienne. Face à cette demande croissante, le nombre de produits ainsi que les techniques se sont multipliés.

L'objectif de cet article a été de revoir les effets des agents éclaircissants couramment utilisés sur les tissus durs de la dent, aussi bien sur leurs propriétés mécaniques que sur leur composition biochimique et leur structure histologique. Pour cela, une revue de littérature a été faite en se basant sur les études effectuées aussi bien *in vitro* que *in vivo*, recherchées à partir de la base de données PubMed Medline ainsi que dans les ouvrages traitant le sujet.

Les agents utilisés dans les techniques d'éclaircissements sont à l'origine de changements qui concernent aussi bien la structure dentaire que la composition des tissus durs de la dent. Ces changements doivent être pris en considération dans le contexte clinique, particulièrement lors du choix de la concentration de l'agent utilisé.

ABSTRACT

Tooth whitening is a non invasive therapeutic option which allows to treat a large number of dyschromias. This therapeutic option is more and more used in daily practice. With the increasing demand, the number of products and the techniques have flourished.

The purpose of the article is first to describe the effects of the most widely used whitening agents on dental hard tissues, both on their mechanical properties, their biochemical composition and their histological structure. A review of literature is based on the studies conducted both in vitro and in-vivo, researched in the PubMed medline database, as well as on various articles related to this matter.

Whitening agents generate changes in the dental structure and the composition of dental hard tissues. These changes must be taken into account in the clinical context and particularly when the practitioner must choose the concentration of the agent.

INTRODUCTION

La dentisterie esthétique en général et l'éclaircissement dentaire en particulier ont connu une demande accrue au cours de ces dernières années. Une hausse spectaculaire aussi bien du nombre des produits d'éclaircissement que des techniques utilisées était une conséquence normale de cette demande (Joiner, 2006). Des agents tels que le peroxyde d'hydrogène et le peroxyde de carbamide à différentes concentrations ainsi que le perborate de sodium, appliqués selon différentes techniques, notamment les techniques ambulatoires et celles immédiates au fauteuil, sont généralement utilisés pour éclaircir les dents.

La technique ambulatoire est la technique qui a fait le succès des éclaircissements dentaires; elle reste simple d'utilisation, à la fois pour le praticien et pour le patient. Les résultats sont en général prédictibles et aisés à obtenir. C'est une technique largement répandue, car elle bénéficie d'un recul important (Heymann, 1997; Wray et Welbury, 2001) et d'une efficacité satisfaisante, sans effet secondaire apparent à faible concentration. Cette technique pour les dents vitales consiste dans le port nocturne d'une gouttière thermoformée (fig. 1). La gouttière est réalisée en polyvinyle souple par thermoformage sur l'empreinte des dents du patient. L'agent éclaircissant est le peroxyde de carbamide, dont la concentration optimale est de 10 %. Le port des gouttières est d'environ 2 à 6 semaines pour obtenir un résultat satisfaisant (fig. 2a). Le temps de traitement est fonction de la teinte initiale (fig. 2b). L'efficacité la plus importante est obtenue lorsque l'étiologie est soit la coloration naturelle saturée des dents, soit une saturation de la teinte due au vieillissement physiologique.

INTRODUCTION

Aesthetic dentistry in general and teeth whitening in particular, have been faced to an increasing demand over these last few years. As a consequence, both the number of whitening agents and techniques have dramatically increased (Joiner, 2006). Agents such as hydrogen peroxide and carbamide peroxide in various concentrations as well as the sodium perborate, applied with various techniques, particularly ambulatory methods and those immediately performed in the dental armchair, are generally used to whiten the dentition.

The ambulatory technique has made the success of tooth whitening; it is easy to perform, both for the practitioner and the patient. The results are generally predictable and easy to obtain. It is a widely spread technique since it has been performed for a long time now (Heymann, 1997; Wray and Welbury, 2001) and turns out to be efficient with no visible side effects when used in low concentration.

On vital teeth, this technique consists of wearing a thermoformed splint at night (fig.1). The splint is made in flexible polyvinyl that is thermoformed from an impression of the patient's teeth. The bleaching agent used is carbamide peroxide with a maximum concentration of 10%. Patients must wear the splint during 2 to 6 weeks to obtain a satisfactory result (fig.2a). Treatment time depends on the initial teeth color (fig.2b). Treatment is most effective when etiology is either the natural saturated color of the teeth, or a color saturation due to physiological ageing.



Fig. 1. Gouttières maxillaire et mandibulaire permettant l'application du produit.

Fig. 1. Mandibular and maxillary splints designed for the application of the bleaching agent.

Fig. 2a. Résultat obtenu après 15 jours d'application.

Fig. 2a. Result 15 days after the application.

Fig. 2b. Photos montrant l'état initial des dents saturées.

Fig. 2b. Pictures showing the initial aspect of saturated teeth.



Par ailleurs, les premières concentrations de peroxyde d'hydrogène ont été très élevées, entre 30 et 35 %. Bien qu'elles soient très efficaces, des inquiétudes ont été exprimées quant à leur sécurité et à leur innocuité. Une irritation pulpaire (Anderson et coll., 1999 ; Caviedes-Bucheli et coll., 2008), des micro-infiltrations des restaurations (Attin et coll., 2004 ; El-Murr et coll., 2011), une modification de la qualité de l'adhésion des résines composites (Barcellos et coll., 2010 ; Shinohara et coll., 2004), des résorptions cervicales externes (Harrington et coll., 1979) et d'autres modifications (Martin et coll., 1968 ; Retstein et coll., 1993) ont été rapportés suite à l'application de ces agents. Les tissus durs de la dent sont aussi sujets à des modifications après une thérapeutique d'éclaircissement, aussi bien dans leurs composantes organiques et inorganiques qu'au niveau de leurs propriétés mécaniques et leur microstructure.

Le propos de cet article est de mettre en exergue les différents effets de l'éclaircissement sur les tissus durs de la dent afin de comprendre et de prévenir au mieux ces effets.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Une recherche bibliographique a été réalisée sur la base de données PubMed Medline en utilisant les mots-clés suivants : *teeth bleaching, teeth whitening, hard tissues modifications, enamel, dentin, cementum, hydrogen peroxide, carbamide peroxide, resorption*, sans limitation de date ni de types d'étude. Cette recherche électronique a été complétée par une recherche manuelle d'articles ou d'ouvrages traitant du sujet.

RÉSULTATS

EFFETS SUR L'ÉMAIL

L'une des questions fréquemment posées sur l'effet des agents éclaircissants porte sur les modifications morphologiques de l'émail (Hegedus et coll., 1999). Ces changements, atteignant, aussi bien la structure histologique que la composition biochimique, vont avoir un impact sur les propriétés mécaniques et la perméabilité de ce tissu (Al-Salehi et coll., 2007 ; Potocnik et coll., 2000 ; Tames et coll., 1998).

LES CHANGEMENTS STRUCTURAUX

Des modifications morphologiques au niveau de l'émail ont été rapportées *in vitro* suite à l'utilisation d'agents éclaircissants (Shannon et coll., 1993) (fig. 3, 4 et 5). Des différences morphologiques significatives ont aussi été rapportées au niveau des dents éclaircies par rapport aux non éclaircies (Piemjai et Surakomponorn, 2006). Potocnik et coll. (2000) ont observé des porosités et une surface amélaire rugueuse (fig. 4 et 5) suite à l'application d'agents éclaircissants sur l'émail. Les altérations les plus sévères ont été observées avec l'agent au pH le moins élevé (Shannon et coll., 1993). L'observation en microscopie à force atomique AFM a révélé que le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) à 30 % peut non seulement affecter la surface amélaire mais aussi la matrice organique interne de l'émail (Hegedus et coll., 1993). Les concentrations élevées de peroxyde de carbamide entraînent aussi des dommages de l'intégrité de la surface de l'émail, mais moins prononcés que l'acide phosphorique de mordantage (Tredwin et coll., 2006) (fig. 6).

The first concentrations of hydrogen peroxide used were very high, varying between 30% and 35%. Although they were very effective, concerns were expressed as for their safety and their harmlessness. Pulp irritation (Anderson et al., 1999; Caviedes-Bucheli et al., 2008), micro-infiltrations of the restorations (Attin et al., 2004; El-Murr et al., 2011), alteration of the adhesion property of composite resins (Barcellos et al., 2010; Shinohara et al., 2004), external cervical resorptions (Harrington et al., 1979), and other modifications (Martin et al., 1968; Retstein et al., 1993) have been reported after treatment with these agents. Dental hard tissues may also be altered after whitening, both in their organic and inorganic components but also in their mechanical properties and their microstructure.

This article wishes to highlight the various effects of tooth whitening on dental hard tissues in order to understand and prevent as much as possible any side effects.

EQUIPMENT AND METHOD

A bibliographic search was launched on PubMed medline database with the following keywords: teeth bleaching, teeth whitening, hard tissues modifications, enamel, dentin, cementum, hydrogen peroxide, carbamide peroxide, resorption, with no date limitation or selection of specific types of studies. This search was completed by a manual search for articles or studies dealing with the subject.

RESULTS

EFFECTS ON ENAMEL

One of the frequently asked questions on the possible effect of whitening agents is about the morphological modifications of enamel (Hegedus et al., 1999). As these changes affect both the histological structure and the biochemical composition, they have an impact on the mechanical properties and the permeability of tissues (Al-Salehi et al., 2007; Potocnik et al., 2000; Tames et al., 1998).

STRUCTURAL CHANGES

Morphological modifications of enamel were reported in vitro after using whitening agents (fig. 3, 4 and 5) (Shannon et al., 1993). Significant morphological changes were also reported on whitened teeth compared to those that had not been bleached (Piemjai and Surakomponorn, 2006). Potocnik et al. in 2000 noticed the presence of porosities and a rough enamel surface (fig. 4 and 5) after whitening agents had been applied on enamel. The most significant changes were observed with the lowest pH agent (Shannon et al., 1993). Observation by scanning microscopy showed that 30% hydrogen peroxide (H_2O_2) does not only affect the enamel surface but also the internal organic matrix of enamel (Hegedus et al., 1993). High concentrations of carbamide peroxide can also damage the integrity of the enamel surface, although it is less pronounced than etching phosphoric acid (fig. 6) (Tredwin et al., 2006).

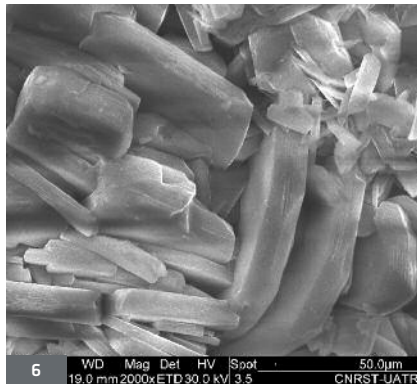
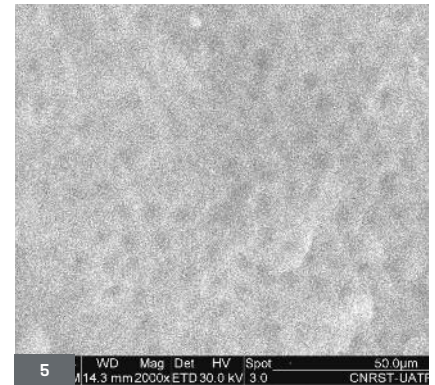
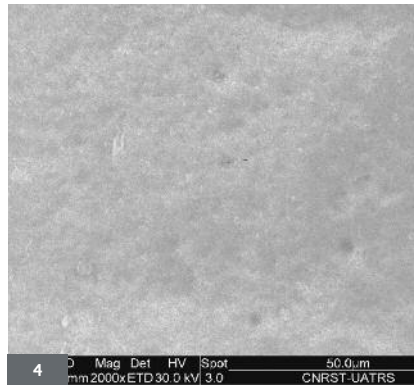
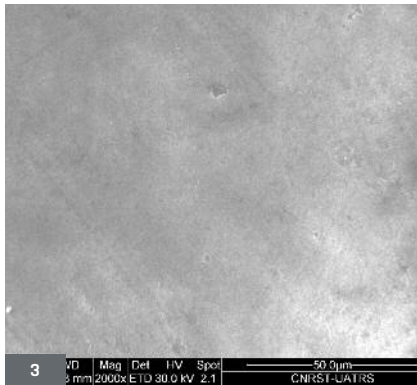


Fig. 3. Aspect microscopique de la surface de l'émail non exposé.

Fig. 3. Microscopic aspect of unexposed enamel surface.

Fig. 4. Aspect microscopique de la surface de l'émail, exposé au peroxyde de carbamide à 10 % pendant 3 jours, montrant la porosité et la rugosité de la surface éclaircie.

Fig. 4. Microscopic aspect of enamel surface exposed to 10% carbamide peroxide during 3 days, showing porosity and roughness on the whitened surface.

Fig. 5. Aspect microscopique de la surface de l'émail, exposée au peroxyde de carbamide à 40 % pendant 3 jours, montrant une augmentation plus prononcée de nombre de pores de diamètre élargi.

Fig. 5. Microscopic aspect of enamel surface, exposed to 40% carbamide peroxide during 3 days, showing a higher increase in the number of pores with a larger diameter.

Fig. 6. Aspect microscopique de l'émail en coupe, exposé à l'acide phosphorique à 37 % pendant 3 jours, montrant une disparition quasi totale des gaines des prismes mettant ces derniers à nu.

Fig. 6. Microscopic aspect of enamel (cross-section view) exposed to 37% phosphoric acid during 3 days, showing an almost total disappearance of prism sheaths exposing the prisms.

Selon Kwon et coll. (2002), ces porosités seraient dues à la dégradation des substances organiques responsables de la décoloration de l'émail. Ces porosités semblent être d'autant plus importantes que le temps d'éclaircissement augmente. Markovic et coll. (2004) ont également rapporté une dissolution des couches organiques de la surface de l'émail (la pellicule et la cuticule) et la perte de la couche d'émail aprismatique après l'application à long terme du H_2O_2 à concentration élevée (35 %). L'observation en microscopie électronique à balayage des coupes de dents (fig. 7, 8 et 9) traitées par un gel éclaircissant à 10 % de peroxyde de carbamide a révélé la présence des noyaux des prismes érodés et une altération de la direction des stries de Retzius (Potocnik et coll., 2000). Ces changements sont similaires à ceux observés lors des caries initiales de l'émail alors qu'ils se produisent dans des sites qui ne sont pas préférentiels pour la carie. En outre, des défauts ayant la forme de bandes étroites étendues plus profondément sous la surface de l'émail vers la dentine ont été observés (Potocnik et coll., 2000).

According to Kwon et al. (2002), these porosities might be due to the degradation of organic substances which generate the discoloration of enamel. These porosities seem to be greater when whitening time increases. In 2004, Markovic et al. also reported a dissolution of the organic layers of enamel surface (film and cuticle) and the loss of the aprismatic enamel layer after a long-term application of H_2O_2 with a high concentration (35%). The observation by scanning electron microscopy of cross sections of the teeth (fig. 7, 8 and 9) treated with a 10% carbamide peroxide bleaching gel showed the presence of the cores of the affected prisms and an alteration in the direction of Retzius striae (Potocnik et al., 2000). These changes are similar to those observed during primary caries of the enamel although they appear in sites that are not likely to develop caries. Defects looking like narrow strips spread deeper under the enamel surface towards the dentin were also observed (Potocnik et al., 2000).

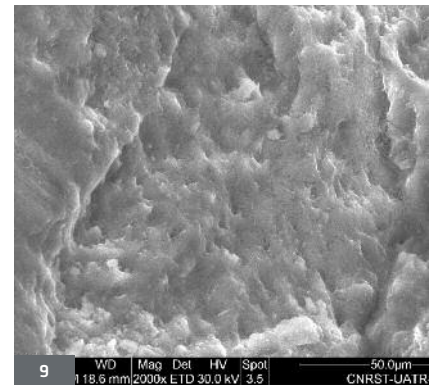
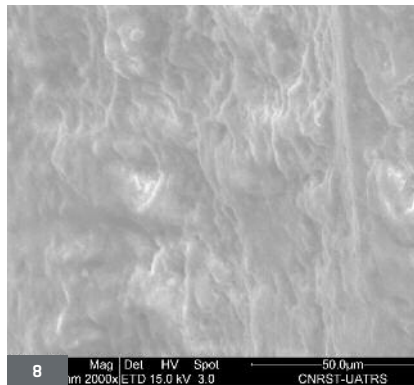
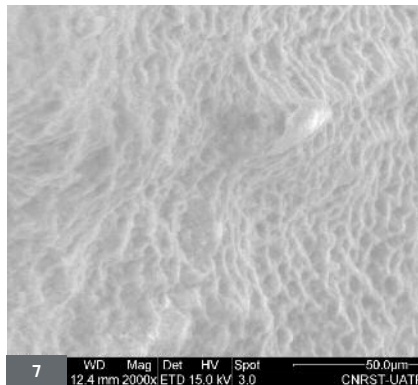


Fig. 7. Aspect microscopique de l'émail non exposé après une coupe vestibulo-linguale de la dent.

Fig. 7. Microscopic aspect of unexposed enamel after a buccolingual cross-section view of the tooth.

Fig. 8. Aspect microscopique de l'émail en coupe, exposé au peroxyde de carbamide à 10 % pendant 3 jours, montrant la présence des porosités répartie de façon non uniforme.

Fig. 8. Microscopic aspect of enamel (cross-section view), exposed to 10% carbamide peroxide during 3 days, showing the presence of unevenly distributed porosities.

Fig. 9. Aspect microscopique de l'émail en coupe, exposé au peroxyde de carbamide à 16 % pendant 3 jours, montrant une dissolution des prismes à l'origine d'une porosité plus marquée de l'émail.

Fig. 9. Microscopic aspect of enamel (cross-section view), exposed to 16% carbamide peroxide during 3 days, showing a dissolution of prisms which generates a greater enamel porosity.

LA PERMÉABILITÉ

Une augmentation du nombre de pores de diamètre élargi a été observée dans la couche de subsurface de l'émail éclairci. Ceci a pour conséquence une perméabilité et une adhérence accrue des bactéries cariogènes accélérant la progression des lésions carieuses (Gurgan et coll., 1997 ; Piemjai et Surakompontrorn, 2006 ; Tames et coll., 1998).

Ghavamnasiri et coll. (2006) ont révélé *in vitro* que la susceptibilité des dents aux colorations extrinsèques est accentuée après l'application d'un gel du peroxyde de carbamide à 16 %. Cette susceptibilité augmentée pour des dents traitées avec différentes concentrations du H_2O_2 et du peroxyde de carbamide est due à la rugosité de la surface de l'émail éclairci (Schiavoni et coll., 2006 ; Tredwin et coll., 2006). Ainsi l'utilisation répétée d'agents éclaircissants à forte concentration peut avoir des conséquences sur l'émail ; il convient donc d'en tenir compte en fin de traitement et de prévoir un polissage soigneux des surfaces éclaircies (Efeoglu et coll., 2007).

LA COMPOSITION BIOCHIMIQUE

Le calcium (Ca) et le phosphore (P) sont présents dans les cristaux d'hydroxyapatite, qui constituent l'élément principal de tissus dentaires durs. Tout changement dans le rapport Ca/P indique des altérations dans les composants inorganiques de l'émail.

Une diminution des concentrations du Ca et du P dans l'émail a été notée après application du gel d'éclaircissement ayant un pH de 6,62 (Watson, 1991). McCracken et Haywood (1996) ont rapporté une perte de Ca après 6 heures d'exposition au gel éclaircissant qui a atteint $1,061 \mu\text{g}/\text{mm}^2$. La libération du calcium dans les solutions du H_2O_2 a été plus élevée que celle

PERMEABILITY

A greater number of pores with a larger diameter was observed in the bleached subsurface enamel. Hence a permeability and a greater adhesion of cariogenic bacteria accelerating the progress of carious lesions (Gurgan et al., 1997; Piemjai and Surakompontrorn, 2006; Tames et al., 1998).

In 2006, Ghavamnasiri et al. revealed *in vitro* that the exposure of teeth to extrinsic coloration is enhanced after the application of 16% carbamide peroxide gel. This higher exposure for teeth treated with various concentrations of H_2O_2 and carbamide peroxide is due to the roughness of bleached enamel surface (Schiavoni et al., 2006; Tredwin et al., 2006). A repeated use of bleaching agents with high concentrations may have repercussions on enamel; it is thus recommended to take this into account once the treatment completed and plan a careful polishing of the whitened surfaces (Efeoglu et al., 2007).

BIOCHEMICAL COMPOSITION

Calcium (Ca) and phosphorus (P) are present in hydroxyapatite crystals, which are the main element of hard dental tissues. Any change in the Ca/P ratio indicates changes in the inorganic components of enamel.

Lower concentrations of Ca and P in enamel were noticed after application of a bleaching gel with a 6.62 pH (Watson, 1991). McCracken and Haywood (1996) reported a loss of Ca after a 6 hour exposure to a whitening gel that had reached $1,061 \mu\text{g}/\text{mm}^2$. Calcium release in H_2O_2 solutions was higher than the release in

du phosphore à toutes les concentrations, ce qui provoque une diminution du rapport Ca/P (Lee et coll., 2006 ; Piemjai et Surakomponorn, 2006). Lee et coll. (2006) ont également révélé une dissolution du magnésium (Mg) avec un taux de Mg/Ca de 0,06 après application de H₂O₂ à 30 %. Cela semble dû au fait que le magnésium est parmi les premiers éléments minéraux dissous dans le processus de déminéralisation. Ainsi cette perte de magnésium pourrait être le premier signe de déminéralisation.

Le pH des agents éclaircissants varie entre 4,6 et 7,4, et cela peut donc affecter la composition chimique de l'émail pour les pH acides (Bax et coll., 1992 ; Price et coll., 2000). Par ailleurs, certaines études qui ont utilisé des agents avec un pH variable de 6,22 à 7,84 ont également observé une perte minérale au niveau de l'émail éclairci (Basting et coll., 2003). Ainsi le pH à lui seul ne peut pas expliquer l'effet déminéralisant des agents éclaircissants couramment utilisés (Price et coll., 2000). En outre, Leonard et coll. 1994 ont montré *in vivo* que le pH de la salive diminue pendant les cinq premières minutes de l'application du peroxyde de carbamide à 10 %, puis une augmentation se produit 15 minutes plus tard. Cela peut être expliqué par la neutralisation de cet acide par la salive.

Cependant, cette déminéralisation reste transitoire. En effet, la salive, grâce aux substituts qui contiennent du calcium et des ions phosphates ainsi que la présence de peroxydases et des enzymes salivaires, permet de neutraliser les effets nocifs des H₂O₂ et peroxyde de carbamide et, de ce fait, la reminéralisation des tissus déminéralisés (Rodrigues et coll., 2001). L'utilisation des agents éclaircissant contenant du fluor peut se révéler utile puisque, selon Chen et coll. (2008), ces agents provoquent moins de déminéralisation de la surface de l'émail, alors que Tschoppe et coll. (2009) ont rapporté qu'ils n'ont pas d'effet significatif sur la reminéralisation après éclaircissement.

LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

Plusieurs études ont montré une diminution de la résistance à la fracture de l'émail éclairci, ainsi que la microdureté après application de peroxyde de carbamide à 10 % (pH de 6,62) (Piemjai et Surakomponorn, 2006 ; Seghi et Denry, 1992 ; Smidt et coll., 1998), sans montrer une augmentation de la susceptibilité aux érosions acides (Pashley et coll., 1983). Pretty en 2005 a également constaté que l'émail traité par le peroxyde de carbamide ne présente pas de susceptibilité élevée aux érosions acides ni aux déminéralisations carieuses.

Lewinstein et coll. (1994) ont observé une réduction significative de la microdureté de l'émail après application du H₂O₂ à 30 %. Cette diminution était corrélée à l'augmentation de la concentration du H₂O₂ dans l'agent éclaircissant (Al-Salehi et coll., 2005). Une explication possible de la diminution rapide des valeurs de microdureté pourrait être le pH acide des agents éclaircissants (Bax et coll., 1992 ; Price et coll., 2000).

Cette baisse de la microdureté de l'émail n'est qu'un phénomène transitoire et une remontée des valeurs est possible grâce à la reminéralisation par la salive, mais sans possibilité de retour à l'état initial de la microdureté (Basting et coll., 2003). L'application de fluorures favorise la formation d'une couche de fluorure de calcium au niveau des surfaces de l'émail. Par

phosphorus solutions in all concentrations, generating a decrease in the Ca/P ratio (Lee et al., 2006; Piemjai and Surakomponorn, 2006). Lee et al. (2006) also revealed a dissolution of magnesium (Mg) with a Mg/Ca ratio of 0,06 after application of 30% H₂O₂. This may be due to the fact that Mg features among the first mineral elements dissolved in the demineralization process. Consequently, the loss of Mg might be the first sign of demineralization.

The pH of bleaching agents varies between 4,6 and 7,4. This may affect the enamel chemical composition for acidic pHs (Bax et al., 1992; Price et al., 2000). Besides, studies which used agents with a pH varying between 6,22 and 7,84, also observed a mineral loss in bleached enamel (Basting et al., 2003). So, the sole pH cannot explain the demineralizing effect of the frequently used whitening agents (Price et al., 2000). Besides, Leonard et al. (1994) showed *in vivo* that the pH of saliva decreases during the first five minutes following the application of 10% carbamide peroxide. It increases 15 minutes later, and this may be explained by the neutralization of this acid by saliva.

However, demineralization remains provisional. Indeed, saliva, thanks to substitutes containing calcium and phosphate ions as well as the presence of peroxydases and salivary enzymes, is able to neutralize the harmful effects of H₂O₂ and carbamide peroxide and consequently allows the remineralization of demineralized tissues (Rodrigues et al., 2001). The use of whitening agents with fluorine may be helpful since, according to Chen et al. (2008), these agents generate a more limited demineralization of the enamel surface. However, Tschoppe et al. (2009) reported they had no significant effect on the remineralization after whitening.

MECHANICAL PROPERTIES

Several studies showed a lower resistance to fracture of whitened enamel, as well as microhardness after application of 10% carbamide peroxide (6.62 pH) (Piemjai and Surakomponorn, 2006; Seghi and Denry, 1992; Smidt et al., 1998), but did not show any increase of the susceptibility to acid erosions (Pashley et al., 1983). In 2005, Pretty also noticed that enamel treated with carbamide peroxide does not present a greater susceptibility to acid erosions or carious demineralizations.

Lewinstein et al. (1994) observed a significant reduction of the enamel microhardness after application of 30% H₂O₂. This decrease was correlated with the increase of H₂O₂ concentration in the whitening agent (Al-Salehi et al., 2005). The fast decrease of microhardness values might be due to the acidic pH of whitening agents (Bax et al., 1992; Price et al., 2000).

The reduction of enamel microhardness is only a temporary phenomenon and a rise of the values is possible thanks to the remineralization by saliva although it is not possible to reach back the initial

la suite, ce dépôt sera dissous, ce qui permet au fluorure de diffuser dans l'émail sous-jacent et la salive et/ou la plaque pour servir à la reminéralisation de la dent (Plotino et coll., 2008).

Attin et coll. (2007) ont constaté une augmentation plus rapide de la dureté de l'émail après éclaircissement par des gels du peroxyde de carbamide à 10 % contenant du fluor par rapport aux agents non fluorés. Cette constatation a été aussi partagée par Chen et coll. (2008), qui ont rapporté que la microdureté de l'émail est moins affectée avec les agents éclaircissants fluorés sans interférer avec l'efficacité de l'éclaircissement.

EFFETS SUR LA DENTINE

LA COMPOSITION BIOCHIMIQUE

Le peroxyde d'hydrogène, contenu dans les agents éclaircissants ou produit lors de la réaction, est capable de générer des radicaux d'hydroxyle (OH) qui agissent au niveau de la dentine intertubulaire et péritubulaire par rupture des chaînes polypeptides (Kawamoto et Tsujimoto, 2004) et la dégradation des composants du tissu conjonctif, en particulier le collagène et l'acide hyaluronique (Pobbe et coll., 2008).

Comme la dentine intertubulaire a relativement une haute teneur en matière organique, d'environ 20 % en poids par rapport à la dentine péritubulaire, qui est hyperminéralisée, le changement de la composition chimique de la dentine après éclaircissement peut être dû principalement à l'oxydation de la matrice organique de la dentine intertubulaire, entraînant par conséquence une perte de la teneur minérale associée aux fibres de collagènes. Cependant, le collapsus du collagène et la déminéralisation de la dentine intertubulaire peuvent être accentués par le pH acide du H_2O_2 . D'autre part, la dentine péritubulaire, étant hyperminéralisée, est susceptible d'être plus résistante à l'effet oxydatif du H_2O_2 (Chng et coll., 2005). Ainsi elle est susceptible d'être essentiellement affectée par le pH du H_2O_2 . Le renouvellement de l'éclaircissement peut causer une perte de substance au niveau de la dentine péritubulaire qui augmente de façon exponentielle avec le temps de contact (Marshall et coll., 1997).

Les résultats de l'étude de Kawamoto et Tsujimoto (2004) suggèrent que le H_2O_2 ou le OH (naissant de l'interaction de H_2O_2 avec les rayons lumineux, laser ou les ions métalliques) n'a aucun effet sur la composante minérale de la dentine, mais agit sur les composants organiques. L'analyse par résonance magnétique nucléaire a révélé une dégradation de deux acides aminés, la proline et l'alanine, après application de l'OH et/ou du H_2O_2 , alors que la glycine n'a pas montré de modification (Kawamoto et Tsujimoto, 2004). Cependant, d'autres études ont indiqué que le H_2O_2 entraîne la dissolution de la phase minérale avec une réduction des taux de phosphate-calcium (Rotstein et coll., 1996, 1992).

La variation des effets des agents éclaircissants sur la dentine est susceptible d'être liée à plusieurs facteurs, tels que le pH de l'agent d'éclaircissement, le pouvoir tampon de la dentine, le diamètre et le nombre des tubuli dentinaires (Chng et coll., 2002).

microhardness (Basting et al., 2003). Application of fluorides favors the formation of a layer of calcium fluoride on the enamel surfaces. Afterward, this deposit will be dissolved, which allows fluoride to spread in the underlying enamel and saliva and / or plaque to help the remineralization of the tooth (Plotino et al., 2008).

Attin et al. 2007 noticed a faster increase of enamel hardness after whitening with 10% carbamide peroxide gels containing fluorine compared to fluoride-free agents. This observation was also shared by Chen et al. in 2008 who reported that enamel microhardness suffers less damage with fluoride bleaching agents while whitening treatment remains as efficient.

EFFECTS ON DENTIN

BIOCHEMICAL COMPOSITION

Hydrogen peroxide, contained in whitening agents or released during the reaction, is able to generate hydroxyl radicals (OH) acting on peritubular and intertubular dentin by breaking polypeptide chains (Kawamoto and Tsujimoto, 2004) and the degradation of the connective tissue components, in particular collagen and hyaluronic acid (Pobbe et al., 2008).

As intertubular dentin has a relatively high content of organic matter, weighing about 20% compared with peritubular dentin which is hypermineralized, changes in the chemical composition of dentin after tooth whitening might mainly be due to the oxidation of the organic matrix of intertubular dentin thus generating a loss of mineral content associated with collagen fibers. However, the collapse of collagen and the demineralization of the intertubular dentin may be aggravated by the acidic pH of H_2O_2 .

Moreover, peritubular dentin, being hypermineralized, may be more resistant to the oxidative effect of H_2O_2 (Chng et al., 2005). As a consequence, it may mostly be affected by the pH of H_2O_2 . Repetitive whitening treatments may cause a loss of substance in peritubular dentin which exponentially increases according to contact length (Marshall et al., 1997).

The results of Kawamoto K and Tsujimoto Y's study (2004) suggest that H_2O_2 or OH (coming from the interaction of H_2O_2 with light rays, laser rays or metallic ions) have no effect on the mineral component of dentin, but acts on its organic components. The nuclear magnetic resonance analysis revealed a degradation of two amino acids, proline and alanine, after application of OH and/or H_2O_2 , while glycine did not show any alteration (Kawamoto and Tsujimoto, 2004). However, other studies indicated that H_2O_2 generates a dissolution of the mineral phase with a reduction of calcium-phosphorus ratios (Rotstein et al., 1996; Rotstein et al., 1992).

The variation of the effects of bleaching agents on dentin may be due to several factors, such as the bleaching agent pH, the buffering capacity of dentin, the diameter and the number of dentin tubules (Chng et al., 2002).

LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

Éclaircissement interne

Tout changement des propriétés biomécaniques de la dentine après l'éclaircissement est susceptible d'avoir un impact sur la résistance de la dent puisqu'elle constitue le tissu le plus important de la structure de la dent (Chng et coll., 2002). En effet, Chng et coll. (2005) ont noté une baisse de la microdureté de la dentine qui peut être expliquée par l'oxydation de la matrice organique de la dentine intertubulaire, entraînant par conséquent une perte de la teneur minérale. Ces altérations ultrastructurelles réduisent aussi l'élasticité de la dentine (Oliveira et coll., 2007; Pobbe et coll., 2008) et seraient à l'origine d'une diminution significative de la résistance à la traction et au cisaillement de la dentine après éclaircissement intracronaire au H_2O_2 à 30 % pendant 24 heures (Chng et coll., 2005). L'application de deux ou plusieurs séances d'éclaircissement au H_2O_2 38 % activé par le système laser LED (Light Emitting Diode) diminue la résistance à la fracture des dents dépulpées (Pobbe et coll., 2008). L'éclaircissement intracronaire par H_2O_2 à 30 % et perborate de sodium semble avoir un effet limité sur la microdureté de la dentine. En effet, la fragilité de la dent dépulpée serait plus liée à une perte excessive de la structure de la dent qu'à l'effet de l'agent éclaircissant (Chng et coll., 2002).

Éclaircissement externe

Concernant les effets de l'éclaircissement externe sur propriétés mécaniques de la dentine, Ghavamnasiri et coll. (2007) ont mis en évidence une diminution plus importante des propriétés mécaniques, en particulier la résistance à la flexion après 2 mois d'éclaircissement par le peroxyde de carbamide à 20 %. Des résultats similaires ont été rapportés par Tam et Noroozi (2007), qui ont confirmé que l'application d'agent d'éclaircissement au peroxyde à des concentrations élevées pour une longue période de 8 semaines réduit la résistance à la fracture de la dentine. Un autre facteur qui peut expliquer les résultats de cette étude est lié à la lumière catalyseur du gel de peroxyde (Tam et Noroozi, 2007). Le laser LED a un effet photothermique qui peut produire des fissures ou peut élargir les fissures préexistantes. Le chauffage de l'agent éclaircissant par une source lumineuse augmente la pénétration du peroxyde à partir de matériaux d'éclaircissement, et cela peut expliquer l'effet éclaircissant à courte période (Wetter et coll., 2004; Ziemba, 2005). Cependant, la diffusion du peroxyde dans les tubuli dentinaires peut causer une force oxydative sur le substrat, et augmenter la susceptibilité de la dent à la fracture (Wetter et coll., 2004). Ces résultats pourraient être attribués à trois facteurs : le mécanisme d'action de H_2O_2 sur la dentine (Buchalla et Attin, 2007), le temps d'exposition des dents à l'agent d'éclaircissement (Walton et Rotstein, 1996) et la chaleur générée par photoactivation du H_2O_2 (Tam et coll., 2007; Ziemba, 2005).

MODIFICATION DE LA PERMÉABILITÉ DENTINAIRE

Carrasco et coll. (2003) ont constaté que le peroxyde de carbamide à 37 % entraîne une augmentation significative de la perméabilité dentinaire. Les agents éclaircissants entraînent des changements structurels superficiels

MECHANICAL PROPERTIES

- Internal bleaching

Any change in the biomechanical properties of dentin after bleaching may have an impact on the tooth resistance since it is the most important tissue of the tooth structure (Chng et al., 2002). Indeed, Chng et al. (2005) noted a reduction of dentin microhardness which can be explained by the oxidation of the organic matrix of intertubular dentin thus generating a loss of mineral content. These ultra-structural changes also reduce the elasticity of dentin (Oliveira et al., 2007; Pobbe et al., 2008) and might be at the origin of a significant decrease of tensile strength and shear strength of dentin after intracoronary bleaching with 30% H_2O_2 during 24 hours (Chng et al., 2005). Two or several bleaching sessions with 38% H_2O_2 activated by the laser LED (Light Emitting Diode) system reduce the resistance to fracture of pulpless teeth (Pobbe et al., 2008). Intracoronary bleaching with 30% H_2O_2 and sodium perborate seems to have a limited effect on dentin microhardness. Indeed, the fragility of pulpless teeth might be more connected to an excessive loss of tooth structure than to an effect of bleaching agents (Chng et al., 2002).

- External bleaching

As for the effects of external bleaching on dentin mechanical properties, Ghavamnasiri et al. (2007) also highlighted a greater alteration of mechanical properties -particularly flexural strength- after a 2-month whitening treatment with 20% carbamide peroxide. Similar results were reported by Tam and Noroozi in 2007, which confirmed that the application of high-concentrated peroxide bleaching agents during an 8-week period reduces dentin resistance to fracture. Another factor which may explain the results of this study is connected to the catalyst light of peroxide gel (Tam and Noroozi, 2007). LED laser has a thermal-photo effect that can cause cracks or may widen pre-existent cracks. Heating the bleaching agent with a light source increases the penetration of peroxide released by bleaching materials and this can explain the whitening effect in a short period of time (Wetter et al., 2004; Ziemba, 2005). However, diffusion of peroxide in dentin tubules can cause an oxidative strength on the substrate, and increase tooth susceptibility to fracture (Wetter et al., 2004). These results might be explained by three factors: the action mechanism of H_2O_2 on dentin (Buchalla and Attin, 2007), the exposure time of teeth to the whitening agent (Walton and Rotstein, 1996) and the heat generated by H_2O_2 photoactivation (Tam et al., 2007, Ziemba, 2005).

MODIFICATION OF DENTIN PERMEABILITY

Carrasco et al. (2003) noticed that 37% carbamide peroxide provokes a significant increase of dentin permeability. Whitening agents generate superficial structural changes in the dentin, and acidic pH has probably an etching effect on dentin; the elimination of

au niveau de la dentine et le pH acide produit probablement un effet de mordançage sur la dentine, l'élimination de la boue dentinaire, qui couvre la surface des tubules dentinaires, augmentant ainsi sa perméabilité (Rotstein et coll., 1996). Cela permet une plus grande diffusion de H_2O_2 à travers les tubules dentinaires (Plotino et coll., 2008).

Une augmentation de la perméabilité dentinaire a été également associée à la haute température environnante (Outhwaite et coll., 1976). En effet, l'application de la chaleur (méthode thermocatalytique) conduit à l'élargissement des tubules dentinaires et facilite la diffusion des molécules dans la dentine (Pashley et coll., 1983). C'est ce qui explique la diffusion croissante de H_2O_2 dans la dentine avec l'augmentation de la température (Rotstein et coll., 1991). Il a également été rapporté qu'il y a une plus grande diffusion de H_2O_2 au niveau cervical après un prétraitement par NaOCl à 5 % lors du traitement canalaire (Barbosa et coll., 1994). La pénétration élevée du H_2O_2 dans les tubules dentinaires, après un éclaircissement interne, serait à l'origine des résorptions cervicales externes (Carrasco et coll., 2003).

EFFET SUR LE COLLAGE

Barcellos et coll. (2010) ont rapporté que le collage au niveau de l'émail et la dentine a été influencé par l'application de peroxyde de carbamide. Cette baisse des valeurs d'adhérence était liée à la concentration de peroxyde de carbamide dans le gel d'éclaircissement. Pour Sasaki et coll. (2007), l'application du peroxyde de carbamide à 18 % ne modifie pas l'adhésion au niveau de l'émail. Cette constatation a été aussi partagée par Shinohara et coll. (2005) pour des concentrations entre 10 et 22 %. L'éclaircissement interne avec le perborate de sodium semble affecter le collage du composite aussi bien au niveau de l'émail qu'au niveau de la dentine. Des effets similaires ont été constatés avec le peroxyde de carbamide à 37 % au niveau de l'émail, mais sans affecter le collage dentinaire (Shinohara et coll., 2004). Les agents éclaircissant à base de perborate de sodium avec H_2O_2 à 30 % entraînent une diminution de la résistance au cisaillement des résines composites au niveau de l'émail (Teixeira et coll., 2002). Les radicaux libres semblent empêcher l'infiltration et la polymérisation de l'adhésif. Ainsi la mise en place d'un pansement temporaire d'hydroxyde de calcium après éclaircissement pourrait empêcher la baisse de la capacité d'adhésion de l'agent de collage (Demarco et coll., 2001).

EFFETS SUR LE CÉMENT

Des changements structurels ont été constatés, après application des agents d'éclaircissement *in vitro*, au niveau du ciment, qui présentait plus de changements que les autres tissus de la dent (Zalkind et coll., 1996). En effet, le peroxyde provoque des perturbations biochimiques au niveau des tissus durs de la dent, en modifiant le rapport entre les composants organiques et inorganiques (Plotino et coll., 2008). Palo et coll. (2012) ont noté que le H_2O_2 à 35 % placé dans la chambre pulpaire traverse les tissus dentaires durs, atteignant la surface externe de la dent et les tissus parodontaux. Le ciment était le moins perméable que la dentine et que l'émail.

L'effet de l'éclaircissement, par les agents couramment utilisés pour application externe sur les tissus dentaires durs a été étudié par Rotstein et coll.

smear layer covering the surface of dentin tubules thus increases its permeability (Rotstein et al., 1996). This allows a greater diffusion of H_2O_2 through dentin tubules (Plotino et al., 2008).

An increase of dentin permeability has also been connected to the high ambient temperature (Outhwaite et al., 1976). Indeed, heat (thermocatalytic technique) widens dentin tubules and facilitates the diffusion of molecules in dentin (Pashley et al., 1983). This explains the higher diffusion of H_2O_2 in the dentin with higher temperature (Rotstein et al., 1991). It was also reported that there was a larger diffusion of H_2O_2 in the cervical area after a pre-treatment with 5% NaOCl during root canal treatment (Barbosa et al., 1994). High penetration of H_2O_2 in dentin tubules, after an internal whitening treatment, might be the cause of external cervical resorptions (Carrasco et al., 2003).

EFFECT ON BONDING

Barcellos et al. (2010) reported that bonding on enamel and dentin was impacted by the application of carbamide peroxide. The reduction of adhesion values was due to the concentration of carbamide peroxide in whitening gel. To Sasaki et al. (2007) the application of 18% carbamide peroxide does not modify adhesion on enamel; the same observation was shared by Shinohara et al. (2005) for concentrations included between 10 and 22 %. Internal bleaching with sodium perborate seems to affect the bonding of composite both for enamel and dentin. Similar effects were noticed with 37% carbamide peroxide for enamel although it does not affect dentin bonding (Shinohara et al., 2004). Bleaching agents containing sodium perborate with 30% H_2O_2 generate a decrease of shear strength of composite resins on enamel (Teixeira et al., 2002). Free radicals seem to prevent infiltration and polymerization of the adhesive. Consequently, the placement of a temporary calcium hydroxide seal after the whitening process might prevent the reduction of adhesion property of the bonding agent (Demarco et al., 2001).

EFFECTS ON CEMENTUM

After whitening agents were applied in vitro, structural changes were noticed in cementum, which showed greater alterations than the other dental tissues (Zalkind et al., 1996). Indeed, peroxide causes biochemical perturbations in dental hard tissues, by modifying relationships between organic and inorganic components (Plotino et al., 2008). Palo et al. (2012) noted that 35 % H_2O_2 placed in pulp chamber goes through hard dental tissues, affecting the external surface of the tooth and periodontal tissues. Cementum was less permeable than dentin and enamel.

The effect of whitening with the agents generally used for external application on hard dental tissues was studied by Rotstein et al. (1996); rates of calcium, phosphorus, sulfur and potassium were measured in

(1996), les taux de calcium, de phosphore, de soufre et de potassium ont été mesurés dans l'émail, la dentine et le cément. En général, la diminution du rapport Ca/P a été jugée plus importante dans le cément et la dentine que dans l'émail, probablement due à des différences dans la composition organique et inorganique de ces tissus. Le cément est le seul tissu qui a eu une diminution significative du taux de soufre après traitement avec le peroxyde de carbamide et le perborate de sodium. Cela peut être attribué à la concentration plus importante de composants organiques dans ce tissu.

RÉSORPTION CERVICALE EXTERNE : (RCE)

Les principaux effets néfastes de l'éclaircissement des dents dépulpées sont les résorptions cervicales externes (Plotino et coll., 2008). Les premiers cas ont été rapportés par Harrington et Natkin en 1979. Rolland (2005), après avoir fait une revue de la littérature, rapporte ces complications dans 3,9 à 9,7 % des cas selon les études. Friedman et coll. (1988) ont observé qu'environ 6,9 % des dents présentaient des RCE après 1 à 8 ans d'éclaircissement.

Heithersay (1999) a rapporté que 24,1 % des cas de RCE ont été causés par un traitement orthodontique, 15,1 % par des traumatismes dentaires, 5,1 % par chirurgie (une transplantation ou une chirurgie parodontale) et 3,9 % par un éclaircissement intrac coronaire. Une association d'éclaircissement interne avec l'une des autres causes était responsable de 13,6 % des cas de résorptions cervicales, alors que l'association d'éclaircissement et d'antécédent de traumatisme serait le plus important facteur prédisposant à la résorption cervicale (Heithersay, 2004).

Plusieurs études de suivi à long terme des cas d'éclaircissement interne ont montré une association entre la résorption externe et l'éclaircissement interne des dents, même plusieurs années après l'éclaircissement (Abou-Rass, 1998; Aldecoa et Mayordomo, 1992; Anitua et coll., 1990). Le mécanisme responsable des RCE au niveau des dents ayant bénéficié d'un éclaircissement interne n'est pas encore bien élucidé et plusieurs hypothèses ont été avancées afin de mieux comprendre la pathogénèse de ces résorptions :

- **hypothèse antigène-anticorps** : Lado et coll. (1983) ont suggéré que l'application des agents éclaircissant provoque une dénaturation des protéines de la dentine par les agents oxydants, ce qui induit une réaction aux corps étrangers (Ho et Goerig, 1989). Cette dénaturation peut aussi être causée par la chaleur (Dahlstrom et coll., 1997; Madison et Walton, 1990) ou par les variations du pH due aux agents éclaircissants (De Oliveira et coll., 2003; Price et coll., 2000) ;

- **hypothèse de l'induction d'un phénomène irritatif lié à l'agent éclaircissant** : Lee et coll. (2004) ont rapporté que la RCE pourrait être le résultat d'un environnement extraradicaire de pH acide produit par l'agent d'éclaircissement. Selon Halliwell et coll. (2000), lorsque la concentration du H_2O_2 dépasse 50 $\mu\text{Mol/L}$, une résorption radiculaire cervicale destructive pourrait avoir lieu ;

- **hypothèse bactérienne** : la diffusion du H_2O_2 à travers la dentine initierait une irritation du parodonte qui serait favorable par la suite à une colonisation bactérienne provenant du canal radiculaire ou de défauts

enamel, dentin, and cementum. In most cases, the decrease of the Ca/P ratio was considered higher in cementum and dentin than in enamel, probably due to the differences in the organic and inorganic composition of these tissues. Cementum is the only tissue which showed a significant decrease of the rate of sulfur after treatment with carbamide peroxide and sodium perborate. This might be due to a greater concentration of organic components in this tissue.

EXTERNAL CERVICAL RESORPTION: (ECR)

The main damaging effects of whitening treatment on depulped teeth are external cervical resorptions (Plotino et al., 2008). The first cases were reported by Harrington and Natkin in 1979. After a review of the literature, Rolland (2005) reported these complications in 3.9 to 9.7% of the cases according to the studies. Friedman et al. (1988) observed that approximately 6.9% of teeth presented ECR after 1 to 8-year whitening treatments. Heithersay (1999) reported that 24.1% of ECR cases were caused by an orthodontic treatment, 15.1% by dental traumas, 5.1% by surgery (transplantation or periodontal surgery), and 3.9% by intracoronary whitening treatment. Internal bleaching combined with one of the other causes was responsible for 13.6% of the cases of cervical resorptions while whitening combined with a trauma history might be the main predisposing factor to cervical resorption (Heithersay, 2004).

Several studies with long-term follow-up of internal bleaching cases showed a connection between external resorption and internal teeth whitening, even several years after the end of the whitening treatment (Abou-Rass, 1998; Aldecoa and Mayordomo, 1992; Anitua et al., 1990). The mechanism causing ECR on teeth that had internal whitening remains unclear, several hypotheses have been suggested to try and understand the pathogenesis of these resorptions.

- **Antigen-antibody hypothesis**: Lado et al. (1983) suggested that the application of bleaching agents provokes a denaturation of the dentin proteins with oxidizing agents, generating a reaction to foreign bodies (Ho and Goerig, 1989). This denaturation may also be caused by heat (Dahlstrom et al., 1997; Madison and Walton, 1990) or by pH variations due to bleaching agents (De Oliveira et al., 2003; Price et al., 2000).

- **Hypothesis of an irritating episode triggered by bleaching agent**: Lee et al. (2004) reported that ECR could be the result of an extraradicular environment with acidic pH created by bleaching agents. According to Halliwell et al. (2000), when the H_2O_2 concentration is higher than 50 $\mu\text{Mol/L}$, a damaging radicular cervical resorption might occur.

- **Bacterial hypothesis**: diffusion of H_2O_2 through the dentin might generate an irritation of the periodontium which could later favor a bacterial colonization coming from the root canal or osseous defects (periodontitis)

osseux (parodontite) (Cvek et Lindvall, 1985). La résorption serait due à l'association des facteurs locaux ainsi qu'à des taux adéquats de médiateurs chimiques. Par ailleurs, une exposition de la dentine sans inflammation conduit à une résorption transitoire (Neuvald et Consolaro, 2000) ;

(Cvek and Lindvall, 1985). The reduction could be due to a combination of local factors as well as to adequate rates of chemical mediators. Besides, dentin exposure with no inflammation can provoke a temporary resorption (Neuvald and Consolaro, 2000).

Tableau récapitulatif des effets constatés au niveau des tissus durs de la dent selon les concentrations des produits d'éclaircissement utilisés – *Summary table of the effects noticed on dental hard tissues according to the concentrations of whitening agents.*

PRODUIT PRODUCT	CONCENTRATION CONCENTRATION	TECHNIQUE TECHNIQUE	EFFETS CONSTATÉS NOTED EFFECTS	AUTEURS AUTHORS
H_2O_2	30 %	Éclaircissement externe – <i>External bleaching</i>	Affecte la surface et la matrice organique de l'émail – <i>Affects surface and enamel organic matrix</i>	Hegedus et col., 1999
			Déminéralisation de l'émail – <i>Demineralization of enamel</i>	Lee et col., 2006
			Diminution de la microdureté de l'émail – <i>Decrease of enamel microhardness</i>	Lewinstein et col., 1994
	35 %	Éclaircissement interne – <i>Internal bleaching</i>	Diminution de la résistance à la traction et au cisaillement de la dentine – <i>Decrease of dentin shear bond strength</i>	Chng et col., 2005
		Éclaircissement externe – <i>External bleaching</i>	Dissolution des couches organiques de la surface de l'émail et la perte de la couche aprismatique – <i>Dissolution of the organic layers of the enamel surface and loss of aprismatic layer</i>	Markovic et col., 2004
	38 %	Éclaircissement interne – <i>Internal bleaching</i>	Diffusion vers la surface externe de la dent – <i>Diffusion toward the external surface of tooth</i>	Palo et col., 2005
		Éclaircissement interne avec LED – <i>Internal bleaching with LED</i>	Diminution de la résistance à la fracture de la dent – <i>Decrease of fracture resistance of teeth</i>	Pobbe et col., 2008
Perborate de sodium et H_2O_2 <i>Sodium perborate and H_2O_2</i>	30 %	Éclaircissement interne – <i>Internal bleaching</i>	Diminution de la résistance au cisaillement des résines composites au niveau de l'émail – <i>Decrease of shear strength of composite resins in enamel area</i>	Teixeira et col., 2002
Peroxyde de carbamide <i>Carbamide peroxide</i>	10 %	Éclaircissement externe – <i>External bleaching</i>	Diminution du pH de la salive pendant les 5 premières minutes – <i>Decrease of saliva pH in the first 5 minutes</i>	Leonard et col., 1994
			Altération des prismes de l'émail – <i>Change of enamel prisms</i>	Potocnik et col., 2000
			Diminution de la microdureté et la résistance à la fracture de l'émail – <i>Decrease of enamel microhardness and resistance to fracture</i>	Piemjai et col., 2006
	16 %	Éclaircissement externe – <i>External bleaching</i>	Augmente la perméabilité de la dent – <i>Increases tooth permeability</i>	Ghavamnasiri et col., 2006
	20 %	Éclaircissement externe – <i>External bleaching</i>	Diminution des propriétés mécaniques en particulier la résistance à la flexion – <i>Decrease of mechanical properties particularly fold resistance</i>	Kawamoto et Tsujimoto, 2004
	35 %	Éclaircissement interne – <i>Internal bleaching</i>	Augmentation de la perméabilité dentinaire – <i>Increase of dentin permeability</i>	Carrasco et col., 2004
	37 %	Éclaircissement externe – <i>External bleaching</i>	Affecte le collage au niveau de l'émail – <i>Affects bonding on enamel</i>	Shinohara et col., 2004

– **hypothèse d'induction des odontoclastes** : une action directe du H_2O_2 sur les cellules précurseurs des odontoclastes, cémentoclastes et ostéoclastes pourrait induire leur différenciation et initier une résorption (Bax et coll., 1992 ; Steinbeck et coll., 1998 ; Suda et coll., 1993).

De toutes ces hypothèses ressort la notion de « diffusion » du principe actif ou des bactéries au niveau de la région cervicale, en raison de la proximité du canal radiculaire par rapport à la surface externe de la racine mais aussi de l'organisation structurale des tubules dentinaire qui permet une plus grande diffusion de H_2O_2 . De ce fait, il résulte la nécessité pour l'opérateur d'isoler le principe actif éclaircissant par le biais d'un pansement étanche (verre ionomère) de 2 mm d'épaisseur entre l'obturation canalaire et la cavité pulpaire, dans laquelle l'agent éclaircissant va être mis en place (Demarco et coll., 2001).

En présence des tubuli dentinaires exposés au niveau de la jonction amélo-cémentaire, suite à un défaut anatomique (10 % des dents humaines ; Ten Cate, 1985) ou érosion cervicale, l'utilisation d'un agent d'éclaircissement contenant un pourcentage élevé des composés oxydants actifs doit être à proscrire et le temps d'action devrait être réduit pour des pourcentages plus faibles (Rotstein et coll., 1991).

PERSPECTIVES CLINIQUES

Il apparaît judicieux, pour éclaircir les dents vitales, d'utiliser un gel de peroxyde de carbamide à 10 % contenant du fluor en technique ambulatoire afin de mieux minimiser les effets néfastes sur les tissus durs de la dent qui restent élevés pour le peroxyde d'hydrogène. Une réserve doit être émise à l'égard des techniques immédiates au fauteuil utilisant des méthodes thermocatalytiques. Par ailleurs, un polissage soigneux des surfaces éclaircies, avec une pâte fluorée, à la fin du traitement semble diminuer la rugosité de surface inhérente à l'application de l'agent éclaircissant.

Pour éclaircir les dents dépulpées, l'utilisation du perborate de sodium mélangé à l'eau distillée sans utilisation de catalyseur (la chaleur) se révèle comme être la technique qui présente le moins de risque. Cependant, l'application du produit doit être précédée par la mise en place d'un bouchant de 2 mm de verre ionomère afin d'isoler l'obturation canalaire. Par ailleurs, les concentrations élevées de l'hypochlorite de sodium ainsi que l'utilisation de l'EDTA sont aussi à éviter lors de la préparation canalaire des dents qui seront l'objet d'un éclaircissement interne.

RÉGLEMENTATION POUR L'USAGE DES PRODUITS ÉCLAIRCISANTS

(JOURNAL OFFICIEL DE L'UNION EUROPÉENNE)

Une nouvelle réglementation européenne pour l'éclaircissement dentaire limite la teneur en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) à 0,1 % (présent ou dégagé) dans les produits d'hygiène buccale, ce qui correspond à 0,28 % de peroxyde de carbamide. L'utilisation de produits d'éclaircissement des dents dont la concentration en peroxyde d'hydrogène présent dans ces produits ou dégagé par d'autres composés ou mélanges contenus dans ceux-ci est supérieure à 0,1 % et inférieure ou égale à 6 % peut être consi-

Hypothesis of induction of odontoclasts: a direct action of H_2O_2 on the precursory cells of odontoclasts, cementoclasts and osteoclasts could infer their differentiation and generate a resorption (Bax et al., 1992; Steinbeck et al., 1998; Suda et al., 1993).

From all these hypotheses, we should keep in mind the notion of "diffusion" of the active ingredient or bacteria in the cervical region, because of the proximity of the root canal with the external surface of the root but also because of the structural organization of dentin tubules which allows a wider diffusion of H_2O_2 . Therefore, the practitioner has to isolate the bleaching active ingredient with a 2-millimeter thick waterproof seal (glass ionomer cement) placed between the root canal obturation and the pulp cavity, in which the whitening agent is going to be placed (Demarco et al., 2001). When dentin tubules are exposed at the cemento-enamel junction, due to an anatomic defect (10% of human teeth (Ten Cate, 1985) or cervical erosion, the use of a bleaching agent containing a high percentage of active oxidant compounds must be banned and the action time should be shorter with lower percentages (Rotstein et al., 1991).

CLINICAL PERSPECTIVES

To whiten vital teeth, it seems wise to use a 10% carbamide peroxide gel with fluorine with the ambulatory technique in order to minimize as much as possible the harmful effects on dental hard tissues which remain considerable with hydrogen peroxide. We must be very careful with immediate techniques performed in the dental armchair using thermocatalytic methods. Besides, meticulous polishing of whitened surfaces with a fluoride paste at the end of the treatment seems to reduce the surface roughness due to the application of a bleaching agent.

To whiten depulped teeth, the use of sodium perborate mixed with distilled water and no catalyst (heat) turns out to be the least damaging technique. However, the application of the product must be preceded by the placement of a glass ionomer 2-millimeter thick seal to isolate the root canal obturation. Besides, high concentrations of sodium hypochlorite as well as the use of EDTA also are to avoid during the root canal preparation of teeth which will get internal whitening.

REGULATIONS FOR THE USE OF BLEACHING AGENTS

(OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION)

A new European regulation concerning tooth whitening limits the quantity of hydrogen peroxide (H_2O_2) to 0.1% (present or released) in oral care products, which stands for 0.28% of carbamide peroxide. The use of teeth whitening products with a concentration of hydrogen peroxide present in these products or released by other compounds or mixtures contained in these products, higher than 0.1% and equal or inferior to 6% can be considered as safe if the following requirements are

dérée comme sûre si les conditions suivantes sont respectées : un examen clinique approprié est nécessaire pour garantir l'absence de facteurs de risque ou de pathologie orale préoccupante et l'exposition à ces produits devrait être limitée de manière à garantir qu'ils sont exclusivement utilisés conformément à leur destination, en termes de fréquence et de durée d'application ; ces produits ne pourront être employés chez le patient mineur en raison des risques de l'éclaircissement pour l'enfant et l'adolescent. Ces conditions devraient être remplies afin d'éviter tout mauvais usage raisonnablement prévisible.

CONCLUSION

Au regard de la littérature, il apparaît que les agents éclaircissants provoquent des perturbations biochimiques au niveau des tissus durs de la dent, en modifiant le rapport entre les composants organiques et inorganiques, qui est plus au moins accentué, en fonction des agents utilisés, leur concentration et la technique utilisée. Une altération des propriétés mécaniques et la structure histologique de ces tissus serait une conséquence normale des changements biochimiques engendrés par l'effet éclaircissant. Toutefois, une partie de la littérature est contradictoire et ne met pas en évidence la nature transitoire ou définitive de ces effets notoires.

Ce sujet mérite une évaluation plus poussée dans le futur, avec une collaboration entre chercheurs fondamentalistes et cliniciens afin de mieux comprendre les processus biochimiques et les changements histologiques des dents éclaircies ainsi que leur signification clinique. De nouvelles améliorations des produits et des techniques utilisés avec optimisation des facteurs de contrôle de processus d'éclaircissement seront le fruit de ces recherches. Une parfaite connaissance des techniques est requise pour pouvoir informer nos patients des effets et des limites de ces techniques. En ce sens, il faut éviter les fortes concentrations et les techniques immédiates utilisant la chaleur comme catalyseur qui sont séduisantes par leur efficacité et leur rapidité mais qui restent plus agressives par leurs effets secondaires immédiats.

Demande de tirés-à-part :

Dr Z. KARIMI, Faculté de médecine dentaire de Rabat,
BP 6212 Rabat Instituts, Rabat, Maroc.

respected. An appropriate clinical examination is necessary to guarantee the absence of risk factors or serious oral pathology; exposure to these products should be limited in order to make sure they are exclusively used according to their purpose, in terms of frequency and length of application. These products cannot be used on minor patients because of the risks connected to whitening treatments for children and teenagers. These conditions must be fulfilled to avoid any reasonably predictable misuse.

CONCLUSION

After reviewing the literature, it appears that bleaching agents can provoke biochemical perturbations on dental hard tissues, by modifying the relationship between organic and inorganic components that is more or less significant according to the chosen agents, their concentration and the technique performed by the practitioner. An alteration in the mechanical properties and the histological structure of these tissues would be a logical consequence of the biochemical changes created by the whitening effect. However, part of this literature is contradictory and fails to highlight the temporary or definitive nature of these notable effects.

This matter deserves a more elaborate evaluation in the future with a collaboration between basic research and clinicians in order to fully understand the biochemical processes and the histological changes of whitened teeth as well as their clinical impact. New improvements of products and techniques used with an optimization of the control factors of the bleaching process will be the results of this research. A perfect knowledge of the techniques is also required to be able to inform our patients of the effects and the limits of this process. To this purpose, it is necessary to avoid high concentrations and the immediate techniques using heat as a catalyst which may be attractive because of their efficiency and their speed, but which definitely remain more aggressive due to their immediate side effects.

Traduction : Marie Chabin

Bibliographie

EFFETS DE L'ÉCLAIRCISSEMENT SUR LES TISSUS DURS DE LA DENT

ABOU-RASS M. – Long-term prognosis of intentional endodontics and internal bleaching of tetracycline-stained teeth. *Comp. Contin. Educ. Dent.*, 19: 1034-50. 1998. Cat 1

AL-SALEHI S.K., WOOD D.J., HATTON P.V. – The effect of 24 h non-stop hydrogen peroxide concentration on bovine enamel and dentine mineral content and microhardness. *J. Dent.*, 35: 845-50. 2007. Cat 2

ALDECOA E.A. MAYORDOMO F.G. – Modified internal bleaching of severe tetracycline discolorations: a 6-year clinical evaluation. *Quintess. Int.*, 23: 783-8. 1992. Cat 1

ANDERSON D.G., CHIEGO D.J. JR., GLICKMAN G.N., MCCAULEY L.K. – A clinical assessment of the effects of 10% carbamide peroxide gel on human pulp tissue. *J. Endod.*, 25: 247-50. 1999. Cat 1

ANITUA E., ZABALEGUI B., GIL J., GASCON F. – Internal bleaching of severe tetracycline discolorations: four-year clinical evaluation. *Quintess. Int.*, 21: 783-8. 1990. Cat 1

ATTIN T., BETKE H., SCHIPPAN F., WIEGAND A. – Potential of fluoridated carbamide peroxide gels to support post-bleaching enamel re-hardening. *J. Dent.*, 35: 755-9. 2007. Cat 2

ATTIN T., HANNIG C., WIEGAND A., ATTIN R. – Effect of bleaching on restorative materials and restorations--a systematic review. *Dent. Mater.*, 20: 852-61. 2004. Cat 1

BARBOSA SV., SAFAVI KE., SPANGBERG SW. – Influence of sodium hypochlorite on the permeability and structure of cervical human dentine. *Int. Endod. J.*, 27: 309-12. 1994. Cat 2

BARCELLOS DC., BENETTI P., FERNANDES VV JR., VALERA MC. – Effect of carbamide peroxide bleaching gel concentration on the bond strength of dental substrates and resin composite. *Oper. Dent.*, 35: 463-9. 2010. Cat 2

BASTING RT., RODRIGUES AL JR., SERRA MC. – The effects of seven carbamide peroxide bleaching agents on enamel microhardness over time. *J. Am. Dent. Assoc.*, 134: 1335-42. 2003. Cat 2

BAX BE., ALAM AS., BANERJI B., BAX CM., BEVIS PJ., STEVENS CR., ET AL. – Stimulation of osteoclastic bone resorption by hydrogen peroxide. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 183: 1153-8. 1992. Cat 2

BUCHALLA W., ATTIN T. – External bleaching therapy with activation by heat, light or laser—a systematic review. *Dent. Mater.*, 23: 586-96. 2007. Cat 1

CARRASCO LD., FRONER IC., CORONA SA., PECORA JD. – Effect of internal bleaching agents on dentinal permeability of nonvital teeth: quantitative assessment. *Dent. Traumatol.*, 19: 85-9. 2003. Cat 2

CAVIEDES-BUCHELI J., ARIZA-GARCÍA G., RESTREPO-MÉNDEZ S., RÍOS-OSORIO N., LOMBANA N., MUÑOZ HR. – The effect of tooth bleaching on substance P expression in human dental pulp. *J. Endod.*, 34: 1462-5. 2008. Cat 2

CHEN HP., CHANG CH., LIU JK., CHUANG SF., YANG JY. – Effect of fluoride containing bleaching agents on enamel surface properties. *J. Dent.*, 36: 718-25. 2008. Cat 2

CHNG HK., PALAMARA JEA., MESSER HH. – Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on biomechanical properties of human dentin. *J. Endod.*, 28: 62-7. 2002. Cat 2

CHNG HK., RAMLI HN., YAP AUJ., LIM CT. – Effect of hydrogen peroxide on intertubular dentine. *J. Dent.*, 33: 363-9. 2005. Cat 2

CVEK M., LINDVALL AM. – External root resorption following bleaching of pulpless teeth with oxygen peroxide. *Endod. Dent. Traumatol.*, 1: 56-60. 1985. Cat 3

DAHLSTROM SW., HEITHERSAY GS., BRIDGES TE. – Hydroxyl radical activity in thermo-catalytically bleached root-filled teeth. *Endod. Dent. Traumatol.*, 13: 119-25. 1997. Cat 2

DE OLIVEIRA LD., CARVALHO CA., HILGERT E., BONDIOLI IR., DE ARAÚJO MA., VALERA MC. – Sealing evaluation of the cervical base in intracoronary bleaching. *Dent. Traumatol.*, 19: 309-13. 2003. Cat 2

DEMARCO FF., FREITAS JM., SIVA MP., JUSTINO LM. – Microleakage in endodontically treated teeth: influence of calcium hydroxide dressing following bleaching. *Int. Endod. J.*, 34: 495-500. 2001. Cat 2

EFEÖGLU N., WOOD DJ., EFEÖGLU C. – Thirty-five percent carbamide peroxide application causes in vitro demineralization of enamel. *Dent. Mater.*, 23: 900-4. 2007. Cat 2

EL-MURR J., RUEL D., ST-GEORGES AJ. – Effects of external bleaching on restorative materials: a review. *J. Can. Dent. Assoc.*, 77: b59. 2011. Cat 3

FRIEDMAN S., ROTSTEIN I., LIBFIELD H., STABHOLZ A., HELING I. – Incidence of external root resorption and esthetic results in 58 bleached pulpless teeth. *Endod. Dent. Traumatol.*, 4: 23-6. 1988. Cat 1

GHAVAMNASIRI M., ABEDINI S., MEHDIZADEH TAZANGI A. – Effect of different time periods of vital bleaching on flexural strength of the bovine enamel and dentin complex. *J. Contemp. Dent. Pract.*, 8: 21-8. 2007. Cat 2

GHAVAMNASIRI M., BIDAR M., RADAH, NAMAZIKHAH MS. – The effect of 16 percent carbamide peroxide on enamel staining susceptibility. *J. Calif. Dent. Assoc.*, 34: 873-6. 2006. Cat 2

GURGAN S., BOLAY S., ALCAN R. – In vitro adherence of bacteria on bleached or unbleached enamel surfaces. *J. Oral. Rehabil.*, 8: 624-7. 1997. Cat 2

HALLIWELL B., CLEMENT MV., RAMALINGAM J., LONG LH. – Hydrogen peroxide: ubiquitous in cell culture and in vivo? *Life*, 50: 251-7. 2000. Cat 1

HARRINGTON GW., NATKIN E. – External resorption associated with bleaching of pulpless teeth. *J. Endod.*, 5: 344-8. 1979. Cat 4

HEGEDUS C., BISTEY T., FLORA-NAGY E., KESZTHELYI G., JENEI A. – An atomic force microscopy study on the effect of bleaching agents on enamel surface. *J. Dent.*, 27: 509-15. 1999. Cat 2

HEITHERSAY GS. – Invasive cervical resorption: analysis of potential predisposing factors. *Quintess. Int.*, 30: 83-95. 1999. Cat 1

HEITHERSAY GS. – Invasive cervical resorption. *Endod. Topics*, 7: 73-92. 2004. Cat 3

HEYMANN HO. – Nonrestorative treatment of discolored teeth: reports from an international symposium. *J. Am. Dent. Assoc.*, 128: 710-1997. Cat 1

HO S., GOERIG AC. – An in vitro comparison of different bleaching agents in the discolored tooth. *J. Endod.*, 15: 106-11. 1989. Cat 2

JOINER A. – The bleaching of teeth: a review of the literature. *J. Dent.*, 34: 412-9. 2006. Cat 3

JOURNAL OFFICIEL DE L'UNION EUROPÉENNE – Directive du Conseil 2011/84/UE du 20 septembre 2011 modifiant la directive 76/768/CEE relative aux produits cosmétiques en vue d'adapter son annexe III au progrès technique. Cat 1 <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ.L:2011:283:0036:0038.fr:PDF>

KAWAMOTO K., TSUJIMOTO Y. – Effects of the hydroxyl radical and hydrogen peroxide on tooth bleaching. *J. Endod.*, 30: 45-50. 2004. Cat 2

KWON YH., HUO MS., KIM KH., KIM SK., KIM YJ. – Effects of hydrogen peroxide on the light reflectance and morphology of bovine enamel. *J. Oral. Rehabil.*, 29: 473-7. 2002. Cat 2

LADO EA., STANLEY HR., WEISMANN MI. – Cervical resorption in bleached teeth. *Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol.*, 55: 78-80. 1983. Cat 4

LEE GP., LEE MY., LUM SOY., POH RSC., LIM K-C. – Extraradicular diffusion of hydrogen peroxide and pH changes associated with intracoronary bleaching of discoloured teeth using different bleaching agents. *Int. Endod. J.*, 37: 500-6. 2004. Cat 2

LEE K., KIM H., KIM K., KWON Y. – Mineral loss from bovine enamel by a 30% hydrogen peroxide solution. *J. Oral. Rehabil.*, 33: 229-33. 2006. Cat 2

LEONARD RH JR., BENTLEY CD., HAYWOOD VB. – Salivary pH changes during 10% carbamide peroxide bleaching. *Quintess. Int.*, 25: 547-50. 1994. Cat 1

LEWINSTEIN I., HIRSCHFELD Z., STABHOLZ A., ROTSTEIN I. – Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on the microhardness of human enamel and dentin. *J. Endod.*, 20: 61-3. 1994. Cat 2

MADISON S., WALTON R. – Cervical root resorption following bleaching of endodontically treated teeth. *J. Endod.*, 16: 570-4. 1990. Cat 2

MARKOVIC L., HEINE S., GAENGLER P., ARNOLD W. – Bleaching systems: a scanning electron microscopic and micro analytic study. *J. Dent. Res.*, 83(Spec Iss B): 336. 2004. Cat 2

MARSHALL JR GW., INAI N., WU-MAGIDI IC., BALOOCH M., KINNEY JH., TAGAMI J., ET AL. – Dentin demineralization: effects of dentin depth, pH and different acids. *Dental. Mater.*, 13: 338-43. 1997. Cat 2

MARTIN JH., BISHOP JG., GUENTHERMAN RH., HOMER LD. – Cellular response of gingiva to prolonged application of dilute hydrogen peroxide. *J. Periodontol.*, 39: 208-10. 1968. Cat 2

MCCRACKEN MS., HAYWOOD VB. – Demineralization effects of 10 percent carbamide peroxide. *J. Dent.*, 24: 395-8. 1996. Cat 2

NEUVALD L., CONSOLARO A. – Cementoenamel Junction: Microscopic Analysis and External Cervical Resorption. *J. Endod.*, 26: 503-8. 2000. Cat 2

Bibliographie

EFFETS DE L'ÉCLAIRCISSEMENT SUR LES TISSUS DURS DE LA DENT

OLIVEIRA DP, TEIXEIRA ECN, FERRAZ CCR, TEIXEIRA FB. – Effect on intracoronal bleaching agents on dentin microhardness. *J. Endod.*, 33: 460-2, 2007. Cat 2

OUTHWAITE WC, LIVINGSTON MJ, PASHLEY DH. – Effects of changes in surface area, thickness, temperature and post extraction time on human dentine permeability. *Arch. Oral. Biol.*, 21: 599-603, 1976. Cat 2

PALO R, BONETTI-FILHO I, VALERA M, CAMARGO C, CAMARGO S, MOURA-NETTO C, PAMEIJER C. – Quantification of Peroxide Ion Passage Dentin, Enamel, and Cementum After Internal Bleaching With Hydrogen Peroxide. *Oper. Dent.*, 22, 2012. Cat 2

PASHLEY DH, THOMPSON SM, STEWART FP. – Dentin permeability: effects of temperature on hydraulic conductance. *J. Dent. Res.*, 62: 956-9, 1983. Cat 2

PIEMJAI M, SURAKOMPONTORN J. – Effect of tooth-bleaching on the tensile strength and staining by caries detector solution on bovine enamel and dentin. *Am. J. Dent.*, 19: 387-92, 2006. Cat 2

PLOTINO G, BUONO L, GRANDE NM, PAMEIJER CH, SOMMA F. – Nonvital Tooth Bleaching: A Review of the Literature and Clinical Procedures. *J. Endod.*, 34: 394-407, 2008. Cat 3

POBBE PDE O, VIAPIANA R, SOUZA-GABRIEL AE, MARCHESAN MA, SOUSA-NETO MD, SILVA-SOUSA YT, SILVA RG. – Coronal resistance to fracture of endodontically treated teeth submitted to light-activated bleaching. *J. Dent.*, 36: 935-9, 2008. Cat 2

POTOCNIK I, KOSEC L, GASPERIC D. – Effect of 10% carbamide peroxide bleaching gel on enamel microhardness, microstructure, and mineral content. *J. Endod.*, 26: 203-6, 2000. Cat 2

PRETTY IA, EDGAR WM, HIGHAM SM. – The effect of bleaching on enamel susceptibility to acid erosion and demineralisation. *Br. Dent. J.*, 198: 285-90, 2005. Cat 2

PRICE RB, SEDAROUS M, HILT GS. – The pH of tooth-whitening products. *J. Can. Dent. Assoc.*, 66: 421-6, 2000. Cat 2

QUALTROUGH AJE, BURKE FJT. – A look at dental esthetics. *Quintess. Int.*, 25: 7-14, 1994. Cat 3

RETSTEIN I, WESSELINK PR, BAB I. – Catalase protection against hydrogen peroxide-induced injury in rat oral mucosa. *Oral. Surg.*, 75: 744-50, 1993. Cat 2

RODRIGUES JA, BASTING RT, SERRA MC, RODRIGUES AL JR. – Effects of 10% carbamide peroxide bleaching materials on enamel microhardness. *Am. J. Dent.*, 14: 67-71, 2001. Cat 2

ROLLAND C, TROTEBAS O, BUKIET F, PIGNOLY C. – Éclaircissement des dents dépulpées et résorption cervicale externe : comprendre pour mieux prévenir. EMC/Elsevier Masson SAS, Paris, Odontologie, 23-150-A-10, 2005. Cat 3

ROTSTEIN I, DANKER E, GOLDMAN A, HELING I, STABHOLZ A, ZALKIND M. – Histochemical analysis of dental hard tissues following bleaching. *J. Endod.*, 22: 23-6, 1996. Cat 2

ROTSTEIN I, LEHR Z, GEDALIA I. – Effect of bleaching agents on inorganic components of human dentin and cementum. *J. Endod.*, 18: 290-3, 1992. Cat 2

ROTSTEIN I, TOREK Y, LEWINSTEIN I. – Effect of bleaching time and temperature on the radicular penetration of hydrogen peroxide. *Endod. Dent. Traumatol.*, 7: 196-8, 1991. Cat 2

ROTSTEIN I, TOREK Y, MISGAV R. – Effect of cementum defects on radicular penetration of 30% H2O2 during intracoronal bleaching. *J. Endod.*, 17: 230-3, 1991. Cat 2

SASAKI RT, BARBOSA MC, FLÓRIO FM, BASTING RT. – Enamel microhardness and shear bond strength after treatment with an 18% carbamide peroxide bleaching varnish. *Am. J. Dent.*, 20: 324-8, 2007. Cat 2

SCHIAVONI RJ, TURSSI CP, RODRIGUES JR. AL, SERRA MC, PECORA JD, FRONER IC. – Effect of bleaching agents on enamel permeability. *Am. J. Dent.*, 19: 313-6, 2006. Cat 2

SEGHI RR, DENRY I. – Effects of external bleaching on indentation and abrasion characteristics of human enamel in vitro. *J. Dent. Res.*, 71:1340-4, 1992. Cat 2

SHANNON H, SPENCER P, GROSS K, TIRA D. – Characterization of enamel exposed to 10% carbamide peroxide bleaching agents. *Quintess. Int.*, 24: 39-44, 1993. Cat 2

SHINOHARA MS, PERIS AR, PIMENTA LA, AMBROSANO GM. – Shear bond strength evaluation of composite resin on enamel and dentin after nonvital bleaching. *J. Esthet. Restor. Dent.*, 17: 22-9, 2005. Cat 2

SHINOHARA MS, PERIS AR, RODRIGUES JA, PIMENTA LA, AMBROSANO GM. – The effect of nonvital bleaching on the shear bond strength of composite resin using three adhesive systems. *J. Adhes. Dent.*, 6: 205-9, 2004. Cat 2

SHINOHARA MS, PERIS AR, RODRIGUES JA, PIMENTA LA, AMBROSANO GM. – The effect of nonvital bleaching on the shear bond strength of composite resin using three adhesive systems. *J. Adhes. Dent.*, 6: 205-9, 2004. Cat 2

SMIDT A, WELLER D, ROMAN I, GEDALIA I. – Effect of bleaching agents on microhardness and surface morphology of tooth enamel. *Am. J. Dent.*, 11: 83-5, 1998. Cat 2

STEINBECK MJ, KIM JK, TRUDEAU MJ, HAUSCHKA PV, KARNOVSKY MJ. – Involvement of hydrogen peroxide in the differentiation of clonal HD-11EM cells into osteoclast-like cells. *J. Cell. Physiol.*, 176: 574-87, 1998. Cat 2

SUDA N, MORITA I, KURODA T, MUROTA S. – Participation of oxidative stress in the process of osteoclast differentiation. *Biochim. Biophys. Acta.*, 1157: 318-23, 1993. Cat 2

TAM LE, KUO VY, NOROOZI A. – Effect of prolonged direct and indirect peroxide bleaching and fracture toughness of human dentin. *J. Esthet. Restor. Dent.*, 19: 100-9, 2007. Cat 2

TAM LE, NOROOZI A. – Effects of direct and indirect bleach on dentin fracture toughness. *J. Dent. Res.*, 86: 1193-7, 2007. Cat 2

TAMES D, GRANDO W, TAMES DR. – In vitro study of alterations of dental enamel submitted to 10% carbamide peroxide. *J. Dent. Res.*, 77: 1153, 1998. Cat 2

TEIXEIRA EC, HARA AT, TURSSI CP, SERRA MC. – Effect of non vital tooth bleaching on resin/enamel shear bond strength. *J. Adhes. Dent.*, 4: 317-22, 2002. Cat 2

TEN CATE AR. – Oral histology: development, structure, and function. 2nd ed. St Louis, MO: Mosby, 1985. Cat 3

TREDWIN CJ, NAIK S, LEWIS NJ, SCULLY C. – Hydrogen peroxide tooth-whitening (bleaching) products: Review of adverse effects and safety issues. *Br. Dent. J.*, 200: 371-6, 2006. Cat 3

TSCHOPPE P, NEUMANN K, MUELLER J, KIELBASSA AM. – Effect of fluoridated bleaching gels on the remineralization of predemineralized bovine enamel in vitro. *J. Dent.*, 37: 156-62, 2009. Cat 2

WALTON RE, ROTSTEIN I. – Bleaching discolored teeth: internal and external. In: Walton RE, Torabinejad M, eds. Principles and practice of endodontics. 2nd ed. Philadelphia: W.B. Saunders, 1996: 385-400. Cat 3

WATSON T. – Application of confocal scanning optical microscopy to dentistry. *Br. Dent. J.*, 171: 287-91, 1991. Cat 2

WETTER NU, WALVERDE D, KATO IT, EDUARDO CP. – Bleaching efficacy of whitening agents activated by xenon lamp and 960-nm diode radiation. *Photomed. Laser Surg.*, 22: 489-93, 2004. Cat 2

WRAY A, WELBURY R. – UK National Clinical Guidelines in Paediatric Dentistry: Treatment of intrinsic discoloration in permanent anterior teeth in children and adolescents. *Int. J. Paediatr. Dent.*, 11:309-15, 2001. Cat 1

Y. H. KWON, M. S. HUO, K. H. KIM, S. H. KIM, Y. J. KIM. – Effects of hydrogen peroxide on the light reflectance and morphology of bovine enamel. *J. Oral Rehabil.*, 29: 473-7, 2002. Cat 2

ZALKIND M, ARWAZ JR, GOLDMAN A, ROTSTEIN I. – Surface morphology changes in human enamel, dentin and cementum following bleaching: a scanning electron microscopy study. *Endod. Dent. Traumatol.*, 12: 82-8, 1996. Cat 2

ZIEMBA SL. – Clinical evaluation of a novel dental whitening lamp and light-catalyzed peroxide gel. *J. Clin. Dent.*, 16: 123-7, 2005. Cat 1