

# Déminéralisation

## Processus de déminéralisation/reminéralisation, thérapeutiques de reminéralisation

**NELLY PRADELLE-PLASSE**  
Faculté de Chirurgie Dentaire, Université de Paris  
Laboratoire LMI, UMR 5615, Lyon

**JEAN-BAPTISTE HAURET**  
Faculté de Chirurgie Dentaire, Université de Paris

**BRIGITTE GROSGOGEAT**  
Laboratoire LMI, UMR 5615, Lyon  
Faculté de Chirurgie Dentaire, Université Lyon 1

**CAROLINE MOCQUOT**  
Faculté de Chirurgie Dentaire, Université de Paris  
Laboratoire LMI, UMR 5615, Lyon

**PIERRE COLON**  
Faculté de Chirurgie Dentaire, Université de Paris  
Laboratoire LMI, UMR 5615, Lyon

**Taches blanches, lésions carieuses initiales, érosions : autant de termes qui signent des phénomènes de déminéralisation amélaire et dentinaire impliquant la présence d'acides (fig. 1 et 2). Ces derniers sont d'origine alimentaire ou bactérienne lors du processus carieux ou d'origine intra ou extrinsèque lors du processus érosif.**

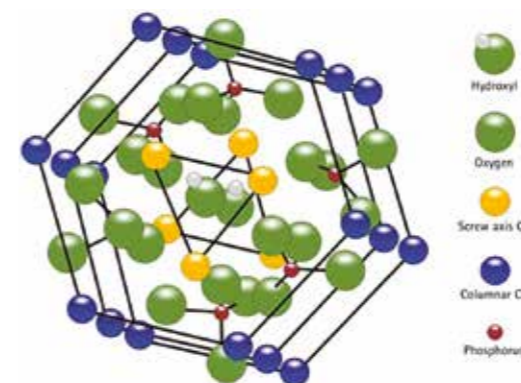


1. Déminéralisation d'origine carieuse.



2. Déminéralisation d'origine érosive.

Ces pathologies, notamment les lésions d'origine non carieuse, sont en forte progression dans les pays industrialisés du fait des habitudes alimentaires actuelles. D'après une étude de 2013 de Barlett et al., près de 30% de la population âgée de 18 à 35 ans présente au moins une dent à un stade avancé d'usure érosive [1]. Plus récemment, une étude de 2015 de Muller-Bolla et al. indique une prévalence de l'érosion jusqu'à 57 % de la population étudiée [2].



3. Structure de l'hydroxyapatite [10].

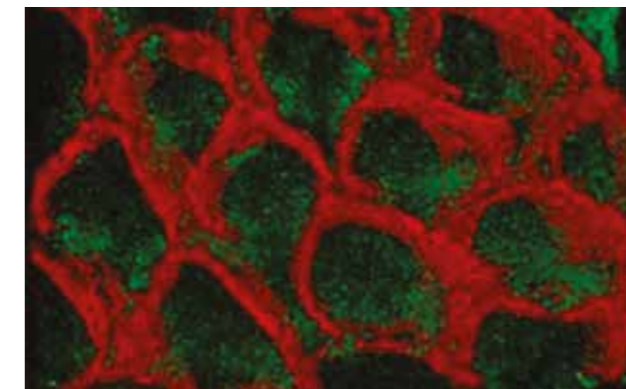
Une autre source de réflexion porte sur les conséquences de la déminéralisation de la dentine lors des processus de collage. En effet l'intégralité de la couche dentinaire déminéralisée n'est pas infiltrée par les monomères résineux et est source de mécanismes de dégradation [3]. L'objectif des thérapeutiques actuelles est donc de stopper ces phénomènes de déminéralisation, de permettre la reminéralisation pour permettre une reminéralisation « biologique ». On parle même de reminéralisation biomimétique [4-6].

**Mais en quoi consiste exactement le processus ?**

### La déminéralisation

La première phase du cycle correspond à la déminéralisation. Elle se définit comme la fuite de certains éléments minéraux constitutifs (calcium, phosphate) des tissus minéralisés par dissolution acide [7]. Celle-ci provient donc soit de la production d'acides dans le biofilm avec une libération d'ion  $H^+$ , soit d'une origine intrinsèque ou extrinsèque. Lorsque la solution acide entre en contact avec l'émail, elle diffuse à travers le biofilm. Ce n'est qu'après qu'elle peut interagir directement avec les tissus minéralisés de la dent, et plus précisément avec les cristaux d'hydroxyapatite qui composent l'émail, puis pénétrer dans le gel aqueux qui occupe le réseau des pores de l'émail. Il se produit donc une perturbation des équilibres ioniques au niveau de l'interface tissu dentaire/gel aqueux du biofilm [8].

En dessous d'une valeur seuil de pH dénommée pH critique, il se produit une déminéralisation des tissus dentaires calcifiés. Ce processus se divise en deux étapes. Tout d'abord, les ions  $H^+$  de l'acide diffusent à l'interface



4. Observation en microscopie électronique à balayage d'un échantillon d'émail érodé mettant en évidence la structure en « nid d'abeille » (remerciements au laboratoire Mateis).

entre les prismes et la substance interprismatique riche en matière organique. A ce stade, une reminéralisation *ad integrum* est envisageable. Par la suite, les prismes sont dissous, initiant le phénomène de cavitation et empêchant une reminéralisation sans altération de forme [9]. En effet, la configuration du cristal d'hydroxyapatite détermine la cinétique de dissolution acide. Celle-ci débute au niveau du centre du cristal occupé par les ions hydroxyles, diffuse vers la périphérie occupée par le calcium et progresse préférentiellement le long de l'axe C (fig. 3). La structure caractéristique en « tunnel » révèle une densité atomique plus faible selon l'axe c centré sur les ions hydroxyles. Les ions  $H^+$  peuvent donc diffuser rapidement selon cet axe et provoquer, dans ce cas de figure, une dissolution intraprismatique.

Ces altérations de surface de l'émail engendrées par ces attaques acides se manifestent par une structure en « nid d'abeille » (fig. 4).

L'émail subit une déminéralisation en surface, alors que, d'un point de vue clinique, on ne constate aucun ramollissement de cette surface. Tant que le pH reste sous ce seuil critique, la déminéralisation se poursuit, mais lorsque le processus de dissolution est stoppé, le pH environnant remonte et s'ensuit une cascade complexe de réactions de dissolution-précipitation-recristallisation dans le micro-environnement concerné et, par conséquent, une augmentation locale du pH. Cependant, lorsque les structures amélaire sont totalement détruites, une reminéralisation est impossible.

Secondairement, le tissu dentinaire peut être atteint également. La proportion d'éléments organiques y est plus importante. La première zone de dentine atteinte est la dentine péri-tubulaire. Seront affectées ensuite les

zones intertubulaires avec un élargissement des tubuli. La matrice organique joue un rôle tampon limitant la diffusion des acides, elle se trouve cependant exposée à l'action d'enzymes, les métalloprotéinases (MMP), issues des agents bactériens mais également de l'hôte. Lorsque les capacités de réparation de la dent seront dépassées, il n'y aura pas de réaction dentinaire par formation de dentine tertiaire. La perméabilité aux acides des canalicules dentinaires sera augmentée, provoquant des sensibilités. Lors d'atteintes plus sévères, on observe des pathologies pulpaires irréversibles pouvant aboutir à des nécroses.

## La reminéralisation

La reminéralisation est l'enrichissement en sels minéraux d'un minéral, d'une solution ou d'un tissu minéralisé ayant auparavant subi une déminéralisation. Cette dernière est un phénomène réversible, lorsque la lésion est initiale, dans une bouche saine et dans des conditions normales de pH. Cette reminéralisation est un processus naturel de réparation par reprécipitation des lésions carieuses initiales ou des lésions d'érosion mettant en jeu les principes de base de la chimie inorganique [11, 12]. Cette reminéralisation s'initie par une augmentation de la concentration en calcium et en phosphate au niveau salivaire et du biofilm, ces espèces étant alors disponibles pour diffuser au sein de l'émail superficiel. Même si cette reconstitution ne se fait pas en intégralité, la couche néoformée de phosphates de calcium sera plus résistante aux attaques acides ultérieures, en particulier en présence de fluorures dans la salive [8]. La reminéralisation des cristaux ayant été dissous au sein de l'émail va se faire selon trois schémas distincts : par restauration de cristaux partiellement dissous, par formation de nouveaux cristaux ou par croissance des cristaux résiduels [13].

Au niveau dentinaire, la reminéralisation se produit non seulement selon ces mécanismes de dissolution/reprécipitation, mais également par réactivation de la dentinogénèse par formation de dentine tertiaire réactionnelle ou réparatrice.

## Les thérapeutiques de reminéralisation

L'agent de reminéralisation amélaire aura pour objectif :  
- de diffuser en subsurface amélaire pour favoriser à ce niveau le relargage d'ions calcium et phosphate ;

- d'élever la valeur du pH dans les zones de subsurface ;
- d'améliorer et/ou maintenir les propriétés reminéralisantes de la salive.

L'agent de reminéralisation dentinaire aura, de plus, pour objectif de favoriser la formation de dentine tertiaire. Des biomatériaux ou substituts dentinaires seront utilisés. Dans le cas de reminéralisation de la couche hybride, la recherche évolue vers l'utilisation de matériaux bioactifs de type bioverre inclus dans le système adhésif ou en application topique préalable.

Actuellement, de nombreux produits apparaissent sur le marché. Ils se présentent sous la forme de bains de bouche, de vernis ou de pâtes à application locale. Leur composition est variable et en évolution constante. Diverses molécules utilisées ou étudiées sont décrites ci-après.

## Les agents reminéralisants non invasifs

### Le fluor

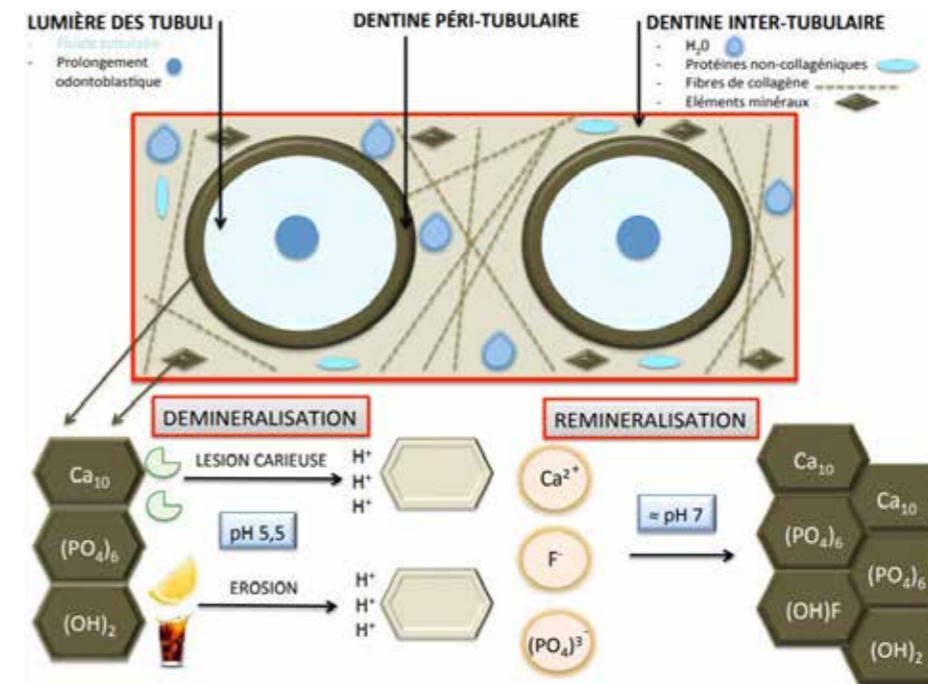
Le fluor joue un rôle déterminant dans le processus de déminéralisation-reminéralisation (fig. 5). Il est la pierre angulaire de la gestion non invasive des lésions carieuses non cavitaires [14]. En effet, les ions  $F^-$  ont la capacité de former des cristaux d'apatites fluorées lorsqu'ils sont présents sur le site de reprécipitation, mais leur capacité à promouvoir la reminéralisation est limitée par la disponibilité des ions calcium et phosphate. Cela peut être le facteur limitant pour la fixation du fluorure et la reminéralisation.

La fluoroapatite ( $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$ ) ainsi formée répare la structure et est plus résistante à la dissolution en milieu acide.

Les cristaux de fluoroapatite ne peuvent pas être dissous par des ions acides à un pH supérieur à 4,5 (pH critique pour la fluoroapatite), donc la valeur du pH critique (entre 5,3 et 5,7) peut être revue à la baisse s'il existe à la surface de l'émail des ions fluorures à un taux de 2 500-4 000 ppm ou 132-210  $\mu\text{mol/l}$  [15].

Les études les plus récentes montrent que le type de composé fluoré utilisé détermine l'efficacité du produit. En les comparant, le fluorure d'étain ou la combinaison fluorure d'amine/fluorure d'étain se sont révélés beaucoup plus efficaces que le fluorure de sodium ou la combinaison fluorure d'amines/fluorure de sodium [16].

En effet, l'étain se présentant sous forme d'ions stanneux semble être une protection efficace de l'émail et de la dentine contre les attaques acides, notamment par la formation d'une couche résistante aux acides à la surface dentaire puis par leur réaction avec l'hydroxyapatite en



lui conférant une solubilité réduite, donc une meilleure résistance [17]. Les groupes comme Colgate ou Oral-B ont dernièrement développé des gammes de produits, notamment à base de fluorure stanneux, pour lutter contre l'érosion dentaire : la gamme Elmex Protection Erosion® chez Colgate et le dentifrice Pro-expert multi protection® chez Oral-B.

On pourrait aussi citer le titane dont de nouvelles études ont montré que les ions fluorures de titane ( $TiF_4$ ) ont une capacité unique à former un précipité sur les surfaces dentaires, particulièrement résistant à la dissolution ou à la désintégration. Cependant, le titane ne peut pas encore être présenté comme remplaçant des fluorures dans les procédures cliniques en raison de l'absence d'études toxicologiques le concernant [18, 19].

Plus récemment, en 2015, la *Food and Drug Administration* (FDA) aux États-Unis a autorisé la commercialisation du premier produit à base de fluorure d'argent diamine [20]. Ce médicament était, depuis plus de quatre-vingt ans, utilisé au Japon pour traiter les caries dentaires et l'hypersensibilité dentinaire [21]. Cependant, son mécanisme d'action pour stopper des caries actives dans la dentine reste incertain. Des hypothèses portant sur l'effet antibactérien de l'ion argent et la capacité de reminéralisation du fluorure ont été proposées [22]. Cette molécule est encore peu connue en Europe, seul SDI la commercialise (riva star).

Pour résumer, le fluor, associé ou non à des ions métalliques, agit à six niveaux :

- formation de la fluoroapatite moins soluble que l'hydroxyapatite ;
- inhibition de la déminéralisation ;
- amélioration de la reminéralisation ;
- inhibition du métabolisme bactérien ;
- réduction de la perméabilité de la structure dentaire ;
- inhibition de la formation de la plaque dentaire.

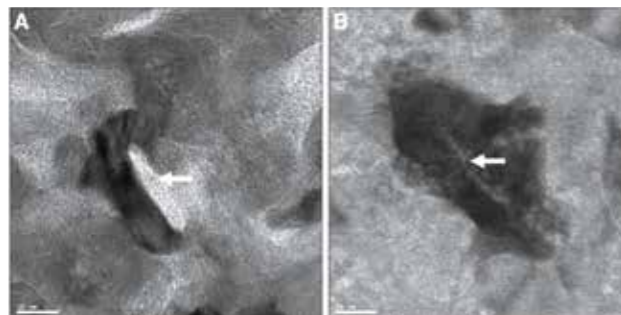
### Les dérivés du phosphate de calcium

Depuis plusieurs années, le développement des phosphates de calcium ( $CaPO_4$ ) suscite un intérêt croissant dans la recherche sur la reminéralisation. La molécule permet d'augmenter la concentration de calcium disponible dans la cavité buccale, améliorant ainsi la capacité naturelle de reminéralisation de la salive [23].

Trois molécules dérivées du phosphate de calcium et dont l'utilisation est maintenant répandue ont vu leur apparition ces dernières années :

- le phosphopeptide de caséine-phosphate de calcium amorphe ou CPP-ACP (Recaldent™) ;
- le phosphate de calcium amorphe non stabilisé ou ACP qui est utilisé sous le nom d'Enamelon™ sous forme d'une pâte dentifrice ;
- un verre bioactif contenant du sodium phosphosilicate de calcium (NovaMin™).

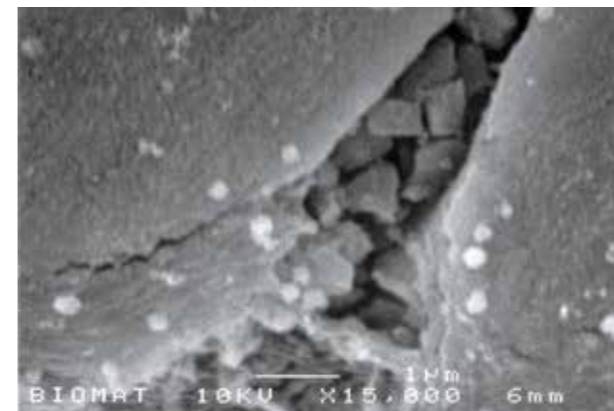
5. La déminéralisation-reminéralisation en présence de fluor dans le biofilm salivaire. Les sucres sont transformés en acides dans le biofilm. Lorsque le pH diminue au-dessous de 5,5, il se produit une sous-saturation dans le biofilm, ce qui entraîne la dissolution du minéral. Cependant, si ce pH est supérieur à 4,5 et en présence de fluor, le biofilm est sursaturé produisant une reprécipitation des minéraux dans l'émail. Ce qui a pour conséquence une réduction de la déminéralisation. (C. Mocquot)



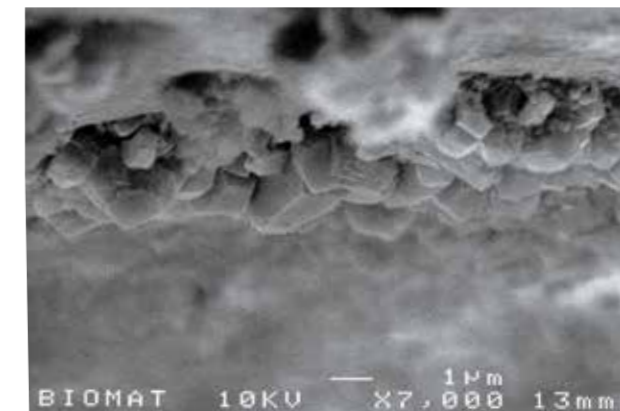
6. Microscopie électronique à transmission à champ lumineux de l'émail déminéralisé. A gauche: défaut central d'un cristal déminéralisé. A droite: cristaux d'émail CPP-ACFP-reminéralisés, où le défaut central (marqué d'une flèche) a été considérablement restauré. Les images ont été réalisées à partir du corps de la lésion 40 µ sous la surface [30].



7. Oblitération tubulaire liée à l'application de MI Varnish®. (Remerciements à Quentin Le Goff et Stéphane Legoff, laboratoire URB2I)



8. Interface Biodentine™-Dentine. Cristallisation au sein du réseau tubulaire (36) (A : en coupe, B : en coupe). (Remerciements à Stéphane Legoff, laboratoire URB2I)



#### • Phosphopeptide de caséine-phosphate de calcium amorphe (CPP-ACP)

Dérivé de la caséine bovine, le CPP-ACP permet d'alimenter un réservoir en ions calcium et phosphate au niveau des surfaces dentaires [24, 25]. Lors d'une exposition aux acides, les ions libérés par les tissus dentaires seront en sursaturation dans le milieu. En présence de CPP-ACP, ils pourront reprécipiter, formant un tissu plus dur que le tissu initial. En milieu acide, il se produit un relargage des ions, permettant de maintenir une sursaturation du milieu en éléments et donc de favoriser le phénomène de reminéralisation immédiat [26], ainsi que d'accroître la microdureté amélaire à la suite d'un défi érosif [27], rendant l'émail plus acido-résistant que l'émail non traité. Une fois présent dans la lésion amélaire, le CPP, possédant une forte affinité pour l'apatite [28], permet la libération des ions calcium et phosphate faiblement liés dans les pores du cristal [29] (fig. 6).

Le CPP-ACP peut être incorporé dans des produits et des aliments de soins bucco-dentaires car il est reconnu par la FDA et d'autres organismes de réglementation à travers le monde comme GRAS (*Generally Recognized As Safe*). Il est utilisé sous le nom de Recaldent™ et on le retrouve sous plusieurs formes: dentifrices, solutions de rinçage, chewing-gums (gamme Trident, Recaldent Gum), pastilles à sucer, pâtes à usage prophylactique (Tooth Mousse® (GC, Japon): 10 % de CPP-ACP) et MI Paste Plus® contenant en plus du fluor: 900 ppm) et vernis MI Varnish (CPP-ACP + fluor: 22 600 ppm).

Ces matériaux ont également montré leur efficacité dans le traitement de l'hypersensibilité dentinaire par fermeture des tubuli (fig. 7).

#### • Phosphate de calcium amorphe

Le rôle unique des phosphates de calcium amorphes (ACP) au cours de la formation de tissus minéralisés en fait un matériau prometteur pour la réparation des tissus et la régénération amélaire [31].

Les phosphates de calcium amorphes sont actuellement utilisés sous forme de pâte dentifrice sous le nom commercial Enamelon™.

#### • Verres bioactifs ou bioverres

Ce sont des dérivés des verres bioactifs 45S5, de composition initiale (en poids): 45 % SiO<sub>2</sub> - 24,5 % Na<sub>2</sub>O - 24,5 % CaO - 6 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Employés dans le domaine médical depuis les années 70, ces verres bioactifs voient leur intérêt grandir en odontologie. Le composé actif est le phosphosilicate inorganique de calcium/sodium (formule chimique: CaNaO<sub>6</sub>PSi). Ils sont utilisés sous le nom de NovaMin™, qui délivre de la silice, du calcium ionique, le phosphate et le sodium, qui sont nécessaires pour la minéralisation de la dent [32].

Leurs propriétés leur confèrent de nombreuses indications: composants des dentifrices, des poudres d'air abrasion en dentisterie *a minima* afin de lutter contre les sensibilités en oblitérant les tubuli dentinaires, intégration au sein de matériaux de restauration (composite, CVI/CVIMAR) ou bien en tant que charges dans les systèmes adhésifs pour permettre la reminéralisation de la dentine affectée ou infectée lors de procédures d'éviction carieuse partielle ainsi que la prévention de l'apparition de lésion carieuses secondaires au niveau de l'interface dent/matériau et la préservation de la couche hybride.

L'utilisation de bioverres poreux expérimentaux permettrait d'obtenir une qualité de reminéralisation supérieure [33] en augmentant la surface développée des particules et par conséquent leur bioactivité.

#### Autres molécules actives

##### • Arginine et carbonate de calcium

L'arginine est un complexe d'acide aminé présent dans la salive qui, associé au carbonate de calcium, se lie à la surface des dents. Cela rend possible la libération du calcium du carbonate qui peut alors contribuer à la reminéralisation de la surface des dents [34, 35].

##### • Technologie NR-5™

La combinaison de silicate de calcium et de phosphate de sodium favoriserait la reminéralisation de l'émail érodé en formant une structure cristalline similaire à celle de l'hydroxyapatite. Cette technologie est utilisée dans les produits de la gamme Regenerate™ sous forme de dentifrice ou en vernis [17, 18].

#### Les agents reminéralisants destinés aux lésions cavitaires

##### Les ciments à base de silicate de calcium

Les caractéristiques biologiques de ces matériaux reposent sur les propriétés des produits de la réaction [36]. MTA™, Biodentine™, Total Fill™ font partie de cette famille de matériaux. Leur composition peut être décrite soit en fonction des composés (silicate tricalcique, silicate dicalcique, aluminate tricalcique, aluminoferrite tétracalcique), soit en fonction des oxydes (oxyde de cal-

cium, silice, aluminium, magnésium...) constitutifs. La résultante est la formation, après hydratation, d'un gel silicate dicalcique hydraté et d'hydroxyde de calcium. Cette structure de gel favorise les échanges aux interfaces par migration ionique.

Ils ont la capacité d'induire:

- à l'interface avec les tissus durs, la formation d'hydroxyapatite par échange ionique en présence d'apports exogènes d'ions phosphates (milieu salivaire, fluides biologiques) et des ions calcium en saturation [37] (fig. 8);
  - la cicatrisation pulpaire par le contrôle de l'inflammation et la stimulation de l'angiogenèse en présentant une action sur la synthèse de facteurs de croissance tels que VEGF et FGF<sub>2</sub> responsables de l'angiogenèse; de facteurs de l'inflammation (interleukines) et sur l'inhibition de TNF-alpha responsable de l'inflammation [38, 39].
- Dans l'objectif d'une reminéralisation, ils sont utilisés en substituts dentinaires dans les zones de proximité pulpaire ou au contact direct des cellules pulpaires (coiffage direct, pulpotomies) afin de stimuler l'action des odontoblastes pour créer une barrière dentinaire.

##### Les ciments verres ionomères

Comme précédemment, la réaction de prise acide-base de ces matériaux aboutit à la formation d'un gel qui permettra les échanges aux interfaces. Les CVI sont des ciments polyalkénoates composés de particules à base de verre de fluoro-alumino-silicates et d'acide polyacrylique ou de copolymères de ce dernier [40].

Ils ont la capacité d'induire, à l'interface avec les tissus dentaires calcifiés, la formation de cristaux de fluoroapatite, à l'origine d'une action anticariogénique. Ce

relargage d'ions fluorures se produit principalement les premiers jours. Mais lors d'apports exogènes en fluorures (dentifrices, bains de bouche...), les CVI peuvent se recharger prolongeant l'action reminéralisante.

## Perspective : la reminéralisation biomimétique

Au niveau amélaire, la reminéralisation biomimétique (initiation d'une minéralisation de novo et création de tissu dentaire) fait appel aux nanotechnologies [41] en utilisant des analogues aux amélogénines, des polymères, des acides aminés [42] ou des peptides auto-assemblants [43].

Au niveau dentinaire, la reminéralisation biomimétique a pour but d'initier une minéralisation à partir du réseau collagénique non imprégné par les monomères adhésifs lors du protocole adhésif. Elle tente d'exploiter le réseau de collagène afin de le minéraliser à l'image de la minéralisation lors de la dentinogenèse. Elle est définie comme une méthodologie qui imite le processus naturel de minéralisation en tentant de remplir le collagène déminéralisé avec des molécules de type phosphate de calcium amorphe ou bioverres en phase liquide, servant de nano-précurseurs de la reminéralisation qui seront

stabilisés par des analogues biomimétiques aux protéines non collagéniques dentinaires ou servant de vecteurs à la minéralisation par précipitation cristalline.

Il est nécessaire de conjuguer l'action de deux éléments :  
- une source ionique afin d'assurer l'apport en calcium, en phosphate et en hydroxyle nécessaire au dépôt minéral ;  
- un ou plusieurs analogues poly-anioniques des protéines non collagéniques dentinaires (acide polyacrylique ou polyaspartique) qui, en se liant au collagène, servent de support à la néonucléation et à la croissance.

## Conclusion

Les thérapeutiques de reminéralisation ont beaucoup évolué ces dernières années en raison de meilleures connaissances en histochimie et en biologie cellulaire et moléculaire des tissus dentinaires. Elles peuvent être indiquées pour lutter contre les processus carieux et/ou érosifs, mais également pour préserver l'organe pulpaire en cas de trauma et pour augmenter la stabilité des interfaces collées au niveau de la couche hybride. Une bonne connaissance des mécanismes d'action des différents produits permet de bien cibler les indications de ces thérapeutiques

*Les auteurs n'ont aucun liens d'intérêts.*

**Correspondance :** Equipe Biomatériaux, Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces, Faculté d'Odontologie, 11, rue Guillaume Paradin, 69372 Lyon Cedex 08

## SÉLECTION BIBLIOGRAPHIQUE

- Bartlett DW et coll. Prevalence of tooth wear on buccal and lingual surfaces and possible risk factors in young European adults. *J Dent* 2013; 41 (11): 1007-13.
- Muller-Bolla M et coll. Dental erosion in French adolescents. *BMC Oral Health* 2015; 15 (1): 147.
- Pashley DH et coll. Collagen degradation by host-derived enzymes during aging. *J Dent Res* 2004; 83: 216-21.
- Kim K et coll. Functional biomimetic analogs help remineralize apatite-depleted demineralized resin-infiltrated dentin via a bottom-up approach. *Acta Biomater* 2010; 6: 2740-50.
- Alkilzy M, Santamaria RM, Schmoedel J, Splieth CH. Treatment of carious lesions using self-assembling peptides. *Adv Dent Res* 2018; 29 (1): 42-47.
- Philip N. State of the Art Enamel Remineralization Systems: The Next Frontier in Caries Management. *Caries Res* 2019; 53 (3): 284-295.
- Abou Neel EA et coll. Demineralization-remineralization dynamics in teeth and bone. *Int J Nanomedicine* 2016; 19; 11: 4743-4763.
- Colon P, Lasfargues JJ. Odontologie conservatrice et restauratrice. Tome 1 : une approche médicale globale. CdP. 2009. 475 p. (JPIO)
- Cougot N et coll. Towards quantitative analysis of enamel erosion by focused ion beam tomography. *Dent Mater* 2018; 34 (11): e289-e300.
- Brunton PA et coll. Treatment of early caries lesions using biomimetic self-assembling peptides – a clinical safety trial. *Br Dent J* 2013; 215 (4): E6.
- Jefferies S. Bioactive and biomimetic restorative materials: a comprehensive review. Part II. *J Esthet Restor Dent* 2014; 26 (1): 27-39.
- Jefferies SR. Bioactive and biomimetic restorative materials: a comprehensive review. Part I. *J Esthet Restor Dent* 2014; 26 (1): 14-26.
- Li X, Wang J, Joiner A, Chang J. The remineralization of enamel: a review of the literature. *J Dent* 2014; 42 Suppl 1: S12-20.
- Decup F et coll. Dentifrices et vernis fluorés : bilan des connaissances pour une bonne pratique clinique. *Clinic* 2018; 39: 329-336.
- Featherstone JDB. Remineralization, the natural caries repair process—the need for new approaches. *Adv Dent Res* 2009; 21 (1): 4-7.
- Ganss C et coll. Efficacy of the stannous ion and a biopolymer in toothpastes on enamel erosion/abrasion. *J Dent* 2012; 40 (12): 1036-43.
- Schlueter N, Klimek J, Ganss C. Effect of a chitosan additive to a Sn2+-containing toothpaste on its anti-erosive/anti-abrasive efficacy—a controlled randomised in situ trial. *Clin Oral Investig*. 2014; 18 (1): 107-15.
- Wiegand A, Magalhães AC, Attin T. Is titanium tetrafluoride (TiF4) effective to prevent carious and erosive lesions? A review of the literature. *Oral Health Prev Dent* 2010; 8 (2): 159-64.
- Comar LP et coll. TiF4 and NaF varnishes as anti-erosive agents on enamel and dentin erosion progression in vitro. *J Appl Oral Sci* 2015; 23 (1): 14-8.
- Horst JA, Ellenikiotis H, Milgrom PM. UCSF Protocol for caries arrest using silver diamine fluoride: rationale, indications, and consent. *J Calif Dent Assoc* 2016; 44: 16-28.
- Zhao IS et coll. Mechanisms of silver diamine fluoride on arresting caries: a literature review. *Int Dent J* 2018; 68 (2): 67-76.
- Zhi QH, Lo ECM, Kwok ACY. An in vitro study of silver and fluoride ions on remineralization of demineralized enamel and dentine. *Aust Dent J* 2013; 58, 50–56.
- Reynolds EC. Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate: the scientific evidence. *Adv Dent Res* 2009; 21 (1): 25-9.
- Ceci M, Miranda M, Beltrami R, Chiesa M, Poggio C. Protective effect of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate on enamel erosion: Atomic force microscopy studies. *Scanning* 2015; 37(5):327-34.

Retrouvez l'intégralité de la bibliographie sur : [www.information-dentaire.fr](http://www.information-dentaire.fr)