

Substitut dentinaire
Fond de cavité
Remontée de marche
Technique directe
Restauration partielle

*Dentin substitute
Cavity bottom
Margin elevation
Direct technique
Partial restoration*

Le substitut dentinaire : un impératif contemporain

H. DE BELENET, C. PIGNOLY

*Dentin substitute:
a contemporary requirement*

HUGUES DE BELENET. Assistant hospitalo-universitaire. Assistance publique-Hôpitaux de Marseille. UF d'odontologie restauratrice, Aix-Marseille Université. CHRISTIAN PIGNOLY. Maître de conférences des universités. Assistance publique-Hôpitaux de Marseille. UF d'odontologie restauratrice, Aix-Marseille Université.

RÉSUMÉ

La dent naturelle est un compromis parfait entre rigidité, résilience et solidité. Copier la nature est une des idées directrices des thérapeutiques adhésives actuelles. Dans cette quête de ressemblance, encore imparfaite, les matériaux visant à remplacer la dentine jouent un rôle essentiel : restitution du volume, absorption des contraintes, protection du complexe pulpo-dentinaire, étanchéité de l'interface dent-restauration, soutien du matériau de substitution amélaire choisi. Cependant, la multitude de matériaux de substitution dentinaire potentiels disponibles sur le marché associée au marketing réalisé par les fabricants engendre une confusion dans l'esprit des praticiens. L'objet de cet article est d'éclairer ces interrogations quant à l'intérêt clinique d'un substitut dentinaire et à sa technique de mise en œuvre, et d'exposer atouts et faiblesses des différents matériaux utilisables. Conscient que le matériau idéal n'existe pas, le praticien ainsi averti devra choisir le matériau qui, pour une situation thérapeutique donnée, offrira le meilleur rapport avantages/inconvénients.

ABSTRACT

The natural tooth is a perfect compromise between rigidity, resilience and solidity. Mimicking nature is one of the basic concepts of current adhesive therapeutics. In this quest for resemblance, still imperfect, materials that are supposed to replace the dentin play an essential role: restoration of the volume, stress absorption, pulp-dentin complex protection, proper sealing of the tooth-restoration interface, support of the selected enamel substitute.

The multitude of dentin substitutes available on the market combined with manufacturers marketing policies create a confusion in the practitioners' minds. The aim of this article is to highlight the questions about the clinical interest of dentin substitutes and the inherent techniques as well as to describe the advantages and the drawbacks of the various materials. Fully aware that the ideal material does not exist, the enlightened practitioner will have to choose the material which, in a specific therapeutic situation, will provide the best advantages/inconveniences ratio.

INTRODUCTION

La dent est un compromis parfait entre rigidité (coque d'émail), résilience (absorption des contraintes par la dentine et la jonction amélo-dentinaire) et solidité (cohérence de l'ensemble). Depuis une dizaine d'années, préserver et reproduire la nature sont les maîtres mots d'un courant de penser, qui marque un tournant au sein de notre profession. Cette quête de ressemblance, qualifiée de biomimétique ou de bioémulation (Bazos et Magne, 2011), a été permise par l'amélioration constante et la validation scientifique des thérapeutiques adhésives.

La décision thérapeutique face à des dents délabrées doit désormais répondre aux objectifs suivants :

- protection et conservation du tissu pulpaire (tant qu'il n'y a pas de symptomatologie irréversible) ;
- moindre mutilation tissulaire (préservant les possibilités de réinterventions ultérieures) ;
- maintien de l'équilibre esthétique, mécanique, biologique et fonctionnel des tissus dentaires en rapport avec les restaurations qui les complètent.

Cette philosophie vise à retarder à bon escient la réalisation de trois actes néfastes pour la longévité de l'organe dentaire, selon le concept du « moins d'endodontie, moins de tenons, moins de couronnes ». Elle bouleverse les paradigmes et sert de catalyseur aux restaurations adhésives directes et indirectes au détriment des prothèses corono-périphériques « traditionnelles », coûteuses biologiquement et dont les indications ne seront plus limitées qu'au strict minimum (réintervention prothétique ou absence de support dentaire suffisant) (Belser, 2010 ; Magne, 2016).

Le traitement des cavités profondes sur les dents postérieures offre tout son sens à cette approche. Que les dents soient pulpées ou non, le principe de préservation des tissus reste l'idée directrice, puisque les caractéristiques biomécaniques tissulaires ne sont que très peu modifiées par l'absence de vitalité pulpaire (Decup, 2011).

Si les résines composites (restaurations directes et indirectes) et les céramiques (restaurations indirectes) sont sans conteste les matériaux de choix pour se substituer à l'émail naturel, l'intérêt clinique et le choix du matériau de substitution dentinaire (fig. 1a-d) reste en revanche beaucoup plus flou dans l'esprit des praticiens.

L'objet de cet article est d'éclairer ces interrogations dans le cadre des restaurations postérieures.

INTRODUCTION

The tooth is a perfect compromise between rigidity (enamel shell), resilience (stress absorption by the dentin and the dentin-enamel junction) and solidity (coherence of the complex). For a decade now, protecting and reproducing nature are the key words of a new concept which sets a new benchmark in our profession. This quest for resemblance, called "biomimetics" or "bioemulation" (Bazos and Magne, 2011), has been allowed by the scientific validation of dental adhesives and their ongoing improvement.

The therapeutic decision for decayed teeth must fulfill the following goals:

- Protection and preservation of the pulp tissue (as long as there is no irreversible symptomatology).
- Less tissue mutilation (providing the possibilities for later surgical procedures)
- Preservation of the esthetic, mechanical, biological and functional balance of dental tissues which the restorations which complete them.

This philosophy aims at delaying, when possible, three "fatal" procedures for the longevity of the dental organ: it is the concept of "less of endodontics, fewer posts, fewer crowns".

It radically changes paradigms and is a catalyst for the direct and indirect adhesive restorations to the detriment of the "traditional", biologically invasive coronal-peripheral prostheses for which the indications will now be strictly limited (prosthetic re-interventions or absence of sufficient dental support) (Belser, 2010) (Magne, 2016).

The treatment of deep cavities on posterior teeth makes perfect sense in this approach. Whether there is pulp or not, the principle of tissue preservation remains the basic idea since the tissue biomechanical properties are only slightly modified by the absence of pulp vitality (Decup, 2011).

If composite resins (direct and indirect restorations) and ceramics (indirect restorations) are undoubtedly the materials of choice to replace natural enamel, the clinical interest and the choice of the dentin substitute (fig. 1A to 1D) are still a bit vague to practitioners. The aim of this article is to highlight these issues for posterior restorations.

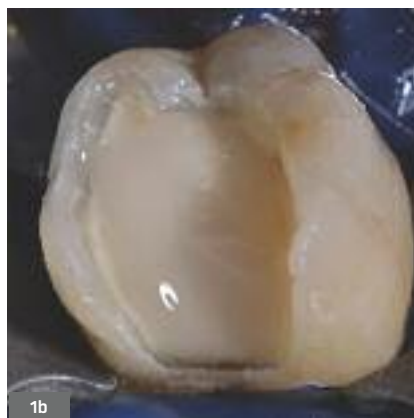




Fig. 1. Illustration clinique d'une approche biomimétique. Traitement d'une 36 dépulpée par restauration partielle collée afin de préserver au maximum les tissus dentaires résiduels et permettre d'éventuelles réinterventions ultérieures. **a.** Situation initiale. **b.** Mise en place d'un substitut dentinaire en masse (Luxacore-DMG). **c.** Collage de l'onlay au composite réchauffé (Enamel HRI UE 2 - Micerium). **d.** Restauration parfaitement intégrée d'un point de vue esthétique, biologique et fonctionnel.

Fig. 1. Clinical illustration of a biomimetic approach. Treatment of a pulpless 36 with a partial bonded restoration in order to protect residual dental tissues and allow possible re-interventions. **a.** Initial situation. **b.** Placement of a bulk-fill dentin substitute (Luxacore-DMG). **c.** The on-lay is bonded with pre-heated composite (Enamel HRI EU 2 - Micerium). **d.** The restoration is esthetically, biologically and functionally perfectly integrated.

PROBLÉMATIQUE INFLUENÇANT LE CHOIX DU SUBSTITUT DENTINAIRE ET SA TECHNIQUE DE MISE EN ŒUVRE

TYPE DE RESTAURATION

Il n'existe pas de limites strictes entre l'indication des restaurations directes et indirectes, et, si le volume de la perte de substance est le critère le plus fréquemment évoqué, la décision thérapeutique doit être fondée sur une analyse globale bénéfique/coût/risque (D'Incau, 2014).

STRESS DE POLYMÉRISATION

La contraction de polymérisation (1,5 à 5% du volume) est une des faiblesses des matériaux composites. Elle provoque des tensions au niveau des parois résiduelles – on parle de « stress de polymérisation » (Raskin, 2009). Selon son intensité, cette contrainte peut entraîner une rupture de la jonction dent-composite et des microfissures de la dent, dues aux contraintes sur les parois résiduelles. Les conséquences cliniques sont l'apparition de sensibilités postopératoires, de colorations marginales et, surtout, de caries récurrentes qui représentent la principale cause d'échec des restaurations en composite (73,9% des échecs dans une étude à 5 ans portant sur 4 030 restaurations) (Kopperud, 2012). Les principaux facteurs influençant l'intensité de ces contraintes mécaniques sont la géométrie de la cavité, la technique et le volume d'application du matériau, la composition de la résine et le mode de polymérisation, et les conditions d'irradiation lumineuse (Dietschi, 2013).

FACTEUR DE CONFIGURATION CAVITAIRE : FACTEUR C

Le facteur C est exprimé par le nombre de faces collées aux parois de la cavité rapporté au nombre de faces libres du composite. Plus le facteur C est élevé, plus le stress de polymérisation est important. Ainsi, plus la cavité est profonde, plus le stress appliqué aux interfaces sera important. Il en découle donc des règles pour la réalisation des restaurations en résine composite.

Technique d'application du matériau

La rétraction étant proportionnelle au volume initial du matériau, l'application et la polymérisation d'incrément successifs permettent de diminuer le stress de polymérisation global. Ils doivent se limiter à 2 mm d'épaisseur.

PROBLEMS INFLUENCING THE CHOICE OF THE DENTIN SUBSTITUTE AND ITS PLACEMENT

TYPE OF RESTORATION

There are no strict limits between the indication for direct and indirect restorations and if the volume of substance loss is the most frequent criterion, the therapeutic decision must be based on a global profit/cost/risk analysis (D'Incau, 2014).

POLYMERIZATION STRESS

The polymerization shrinkage (1.5 to 5% of the volume) is one of the weaknesses of composite materials. It generates tensions on the residual walls and is called "polymerization stress" (Raskin, 2009). According to its intensity, this stress can break the tooth-composite junction, and micro-fissures of the tooth (due to constraints on the residual walls). The clinical consequences are post-operative sensitivities, marginal coloring and above all recurrent caries which are the main cause of failure of composite restorations (73.9% of the failures in a 5-year study on 4030 restorations) (Kopperud, 2012). The main factors influencing the intensity of these mechanical constraints are the cavity geometry, the technique of placement and the volume of the material, the resin composition, the polymerization method and the light irradiation procedures (Dietschi, 2013).

CAVITY CONFIGURATION FACTOR: C FACTOR

The C factor refers to the number of surfaces bonded on the cavity walls to the number of unbonded surfaces. The higher the C factor, the greater the polymerization stress. As a consequence, the deeper the cavity is, the greater the stress applied onto the interfaces will be. This directly impacts the preparation of composite resin restorations.

Placing the material

As shrinkage is proportional to the initial volume of the material, the placement and the polymerization of successive increments allows to decrease the global polymerization stress. They cannot be thicker than 2 millimeters.

Composition de la résine

Plus le matériau est chargé, moins la rétraction de polymérisation est importante puisque cette dernière est liée à la phase organique (Raskin, 2009).

Mode de polymérisation

Le stress de polymérisation est plus faible pour un composite chémo-polymérisable que pour un composite photopolymérisable. Effectivement, en dépit d'une rétraction finale identique, la prise lente du matériau permet une répartition homogène et une absorption progressive des contraintes interfaciales conduisant à une meilleure étanchéité marginale (Byoung, 2013 ; Lopes, 2008).

Condition d'irradiation lumineuse

Afin de réduire le stress de polymérisation, il est préférable de réaliser une irradiation faible sur une durée prolongée (ou croissante de type « soft start ») plutôt qu'une irradiation intense et courte.

RESPECT DES PROTOCOLES

Les restaurations adhésives sont « praticiens sensibles ». L'âge, l'expérience et la formation augmentent significativement le taux de succès. Les difficultés sont nombreuses car chaque étape opératoire est déterminante : préparation, isolation, matricage, adhésion, application des matériaux, temporisation, empreinte...

Parmi elles, la pose d'une digue isolante est un facteur clef du succès des thérapeutiques adhésives (Weisrock, 2009). Elle permet d'éviter toute contamination du champ opératoire par l'humidité, la salive, le sang et les bactéries. Au même titre, la qualité du matricage joue un rôle déterminant lors des restaurations proximales en technique directe ou dans les cas de remontée de marge dans la mesure où la zone cervicale ne sera ensuite plus accessible au polissage.

FACTEURS DE RISQUE LIÉS AU PATIENT

Les restaurations sont soumises au vieillissement dès leur mise en place. Environnement socioculturel, habitudes alimentaires et qualité de l'hygiène buccale conditionnent leur durée de vie. Le risque carieux arrive en première place et présente une influence significative sur les taux d'échec des restaurations (carie secondaire, dégradation de surface, colorations marginales) (Delavitz, 2014). S'il existe des différences importantes entre les propriétés *in vitro* des résines composites disponibles, les études cliniques ne montrent pas de différences cliniques significatives. Ainsi, le pronostic à long terme dépend plus de la qualité de mise en œuvre et des facteurs de risque individuels du patient plutôt que du choix du matériau (Demarco, 2012).

POURQUOI UN SUBSTITUT DENTINAIRE ?

La résistance aux forces de compression représente une fonction essentielle des dents postérieures. Tout est fait dans la macrostructure (rapport dentine/émail) et la microstructure (jonction amélo-dentinaire) d'une dent saine pour absorber les contraintes, limiter la propagation des fêlures et répartir les forces dues à la mastication et aux rapports occlusaux (Bazos,

Resin composition

The more the material is filled, the smaller the polymerization shrinkage, since the latter is connected to the organic phase (Raskin, 2009).

Polymerization techniques

The polymerization stress is smaller for a chemopolymerizable composite than for a photopolymerizable composite. Indeed, in spite of a similar final shrinkage, the slow-curing material allows a homogeneous distribution and a progressive absorption of interfacial stresses resulting in a tighter marginal seal (Byoung S, 2013) (Lopes, 2008).

Light irradiation

To reduce polymerization stress, it is better to perform a longer but lower irradiation (or a stepped irradiation such as "soft start") rather than an intense and short irradiation.

COMPLYING WITH PROTOCOLS

Adhesive restorations are "practitioner-sensitive". Age, experience and training significantly increase the success rate. There are many difficulties because each operating stage is determining: preparation, insulation, matrixing, adhesion, placement of materials, temporization, impression...

Among those steps, the placement of an insulating dam is a key factor in the success of adhesive systems (Weisrock, 2009). It allows to avoid any contamination of the operative field with humidity, saliva, blood and bacteria. In the same way, the quality of matrixing plays a determining role during the proximal restorations in direct technique or in the cases of margin elevation as the cervical zone will then no longer be accessible to polishing.

PATIENT-RELATED RISK FACTORS

*Restorations are subjected to ageing as soon as they are placed. The sociocultural background, food habits and the quality of oral hygiene have an impact on their longevity. The carious risk prevails and has a significant influence on the failure rates of restorations (secondary caries, degraded surface, marginal coloring) (Delavitz, 2014). If there are considerable differences between the *in vitro* properties of composite resins currently on the market, the clinical trials do not show any significant clinical differences. Consequently, the long-term prognosis depends more on the quality of the procedures and on the specific patient-related risk factors than on the choice of the material (Demarco, 2012).*

WHY A DENTIN SUBSTITUTE?

The resistance to compression strength is a major function of the posterior teeth. Everything is made in the macrostructure (relationship dentin / enamel) and the microstructure (dentin-enamel junction) of a healthy tooth to absorb stress, limit the spreading of cracks and distribute strengths due to mastication and

2011). L'objectif louable de biomimétisme visant à remplacer l'émail par un substitut amélaire et la dentine par un substitut dentinaire n'est pas encore une réalité. Il subsiste des différences majeures entre les dents naturelles et celles restaurées par des thérapeutiques adhésives (Dietschi, 2015) : les différentes couches de la restauration et leurs interfaces ne partagent pas la même configuration que la dent naturelle ; les matériaux utilisés sont isotropes, alors que la dentine et l'émail sont anisotropes ; la continuité des interfaces de la restauration est un concept certes similaire à la jonction amélo-dentinaire mais, malgré leur qualité, elle n'est pas encore totalement résolue par les adhésifs dentaires (notamment sur la dentine).

Dans ces thérapeutiques adhésives biosubstitutives inspirées de la nature mais encore imparfaites, le matériau de substitution dentinaire, en compensant la perte de substance volumique de la dentine, joue un rôle essentiel. Son intérêt clinique varie selon qu'il est associé à une restauration directe ou indirecte.

Associé aux restaurations directes, le matériau de substitution dentinaire peut servir à :

- **préserver la vitalité pulpaire** (coiffage direct ou indirect) ;
- **raccourcir le temps opératoire** en s'affranchissant des appositions et irradiations lumineuses d'incréments successifs inférieurs à 2 mm (remplissage des deux tiers profonds de la cavité par un apport unique d'un matériau injectable) ;
- **diminuer le stress de polymérisation** et donc améliorer l'étanchéité marginale (notamment au niveau de la limite gingivale) ;
- **restaurer des zones difficiles d'accès** d'un point de vue instrumental et/ou de l'irradiation lumineuse (avec des matériaux injectables et chémo-polymérisables) (fig. 2a-e).

occlusal relationships (Bazos, 2011). The laudable goal of "biomimicry" to replace enamel by an enamel substitute and dentin by a dentin substitute has not been achieved yet. There are major differences between natural teeth and teeth restored with adhesive systems (Dietschi, 2015): the various layers of the restoration and their interfaces do not have the same configuration as a natural tooth; the materials are isotropic while dentin and enamel are anisotropic; the continuity in the interfaces of the restoration is a concept which is very much similar to the dentin-enamel junction, but which, despite their quality, is not totally achieved with dental adhesives for the moment (particularly on dentin). In these "bio-substitute" adhesive systems inspired by nature but still imperfect, the dentin substitute material, by making up for the loss of the dentin volume substance, plays an essential role. Its clinical interest varies whether it is associated with a direct or indirect restoration.

Associated with direct restorations, it can be used to:

- 1. Protect pulp vitality** (direct or indirect capping).
- 2. Reduce the operating time** by eliminating appositions and light irradiations of successive increments smaller than 2 mm (filling the deep two thirds of the cavity with a single injection of material).
- 3. Reduce the polymerization stress** and thus improve the quality of the marginal seal (particularly on the gingival margin).
- 4. Restore areas which are difficult to reach** with instruments and/or light irradiation (with injectable and chemopolymerizable materials) (fig. 2a to 2e).



Fig. 2. Traitement par un composite direct d'une reprise de carie sous l'amalgame d'une 46 dépulpée. a. Amalgame infiltré. b. Pose d'une digue individuelle. c. Cavité débridée.

Fig. 2. Treatment of a recurrent caries under the amalgam of pulpless 46 with a direct composite. a. Infiltrated amalgam. b. Placement of a separate dam. c. Cavity after debridement.

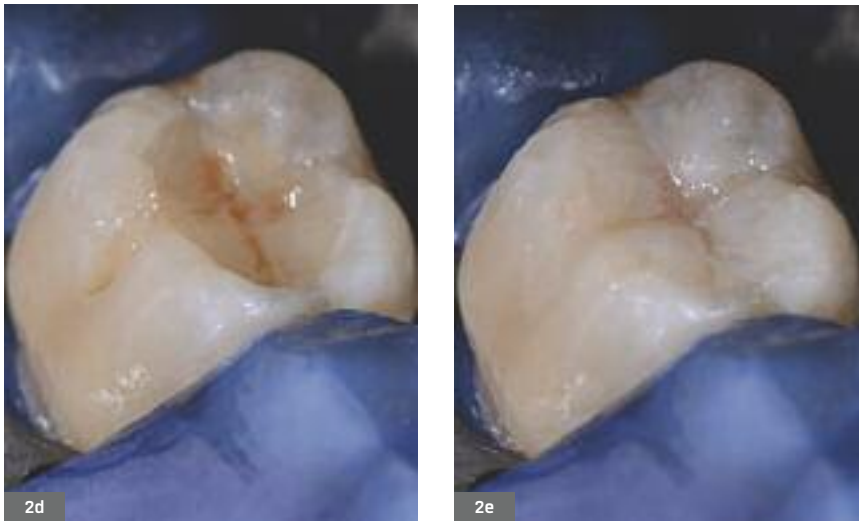


Fig. 2. Traitement par un composite direct d'une reprise de carie sous l'amalgame d'une 46 dépulpée (suite). d. Obturation en un temps de la partie profonde de la cavité par injection d'un composite chémo polymérisable (Luxacore-DMG) et marquage du futur sillon. e. Restauration de la surface occlusale par un composite amélaire microhybride (Enamel HRI EF2 Micerium) par la technique du composite-up.

Fig. 2. Treatment of a recurrent caries under the amalgam of pulpless 46 with a direct composite. d. Closing of the deep part of the cavity with a single injection of a chemopolymerizable composite (Luxacore DMG) and marking of the future groove. e. Restoration of the occlusal surface with a microhybrid enamel composite (Enamel HRI EF2 Micerium) using the composite-up technique.

Associé aux restaurations indirectes, le matériau de substitution dentinaire peut servir à :

- **préserver la vitalité pulpaire** (coiffage direct ou indirect) ;
- **réaliser un scellement dentinaire immédiat** (Magne, 2014). Systématisée par bon nombre d'auteurs (Dietschi, 2015 ; Kouassi, 2015 ; Decup, 2014), cette procédure améliore la stabilité de l'interface adhésive, absorbe les contraintes et limite les sensibilités postopératoires. Elle consiste à appliquer un système adhésif sur la dentine fraîchement curetée avant de la protéger éventuellement par une fine couche de composite fluide ;
- **optimiser le dessin cavitaire** pour éviter une mutilation excessive de la dent lors de la préparation. Le substitut dentinaire permet alors de combler les contre-dépouilles, de simplifier la forme de préparation, d'harmoniser l'épaisseur de la restauration, de protéger la dentine exposée et ainsi d'améliorer l'adaptation de la restauration ;
- **remonter la limite cervicale** afin de préserver les tissus sains et de faciliter les étapes opératoires des restaurations indirectes en cas de limites intrasulculaires (préparation, empreinte du profil d'émergence, épaisseur de la pièce prothétique, contrôle de l'ajustage et de l'élimination des excès lors du collage) (Dietschi, 2015). Cette approche séduisante mais techniquement exigeante réduit les indications de chirurgie d'élongation coronaire (fig. 3).

Sur le plan anatomo-fonctionnel, le substitut dentinaire restitue les caractéristiques biomécaniques dentinaires (amortissement des contraintes) et sert d'assise à la restauration proprement dite (assimilable à un substitut amélaire).

Associated with indirect restorations, it can be used to:

1. **Protect pulp vitality** (direct or indirect capping).
2. **Perform an "immediate dentin sealing"** (Magne, 2014). Systematized by a lot of authors (Dietschi, 2015) (Kouassi, 2015) (Decup, 2014), this procedure improves the stability of the adhesive interface, absorbs stress and limits the post-operative sensitivities. It consists in applying an adhesive system to the freshly curetted dentin before protecting it, if necessary, with a thin layer of fluid composite.
3. **Optimize the cavity design** to avoid an excessive mutilation of the tooth during the preparation phase. The dentin substitute then allows to fill in the undercuts, to simplify the preparation shape, to even out the restoration thickness, to protect the exposed dentin and thus to improve the adjustment of the restoration.
4. **Elevate the cervical margin** in order to protect healthy tissues and facilitate the operating stages of indirect restorations in case of intra-sulcus limits (preparation, impression of the emergence profile, thickness of the prosthesis, control of the adjustment and elimination of the excess during bonding) (Dietschi, 2015). This attractive but technically demanding approach reduces the indications of coronary elongation surgery (fig. 3). Anatomically and functionally, the dentin substitute restores the dentin biomechanical properties (damping of stress) and is used as a basis to the restoration itself (similar to an "enamel" substitute). Biologically, it protects the pulp-dentin complex by creating a tight seal to

Sur le plan biologique, le substitut dentinaire assure une protection du complexe dentino-pulpaire en créant une étanchéité vis-à-vis des micro-organismes et des stimuli externes, voire en induisant la régénération de l'organe pulpaire lésé (Decup, 2014). Il devra donc associer au mieux résistance mécanique (module d'élasticité proche de celui de la dentine) et étanchéité marginale.

Enfin, dans le cadre des techniques de restauration dites « sandwich ouvert » ou lors des remontées de la limite cervicale, le substitut dentinaire reste en contact avec le milieu extérieur. Il lui faudra alors résister aux dégradations dues aux fluides salivaires et être toléré par le parodonte (Kouassi, 2015). Les progrès concernant les matériaux (biomimétiques, biomécaniques, voire bioactifs) et les arguments marketing agressifs des fabricants peuvent laisser les praticiens perplexes face au large panel de substituts dentinaires potentiels – CVIMAR, résines composites microhybrides, résines composites fluides, résines composites bulk, silicates tricalciques, composites chétopolymérisables (ou duals) injectables (fig. 4).

microorganisms and external stimuli, even by triggering the regeneration of the altered pulp organ (Decup, 2014). It will thus have to associate mechanical resistance (elasticity modulus close to the dentin elasticity modulus) and marginal sealing.

Finally, in the so-called techniques of "open sandwich" restorations or during the elevation of the cervical margin, the dentin substitute remains in contact with the external environment. It will then have to resist damages due to the salivary fluids as well as to be accepted by the periodontium (Kouassi, 2015). The great improvements in materials (biomimetic, biomechanical, and even bioactive) and the manufacturers' aggressive commercial arguments might puzzle practitioners when they see the wide array of dentin substitutes (CVIMAR, microhybrid composite resins, fluid composite resins, bulk-fill composites, tricalcium silicates, injectable chemopolymerizable (or dual) composites (fig. 4).

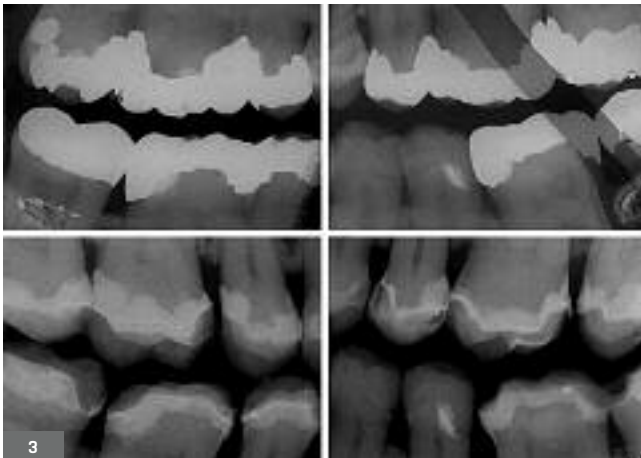


Fig. 3. Contrôle radiographie à 2 ans postopératoires du remplacement d'onlays en or par des onlays composites après remontées des marches cervicales avec du composite injectable chétopolymérisable (Luxacore-DMG). (Cas clinique professeur Jean-Louis Brouillet.)

Fig. 3. Control X-ray two years after the replacement of gold on-lays with composite on-lays after elevation of the cervical margin with the injectable chemopolymerizable composite (Luxacore DMG) (clinical case professor Jean-Louis Brouillet).



Fig. 4. Exemple de substituts dentinaires potentiels disponible dans les tiroirs d'un praticien : lequel choisir ?

Fig. 4. Example of dentin substitutes available in a practitioner's drawer. Which one to choose?

QUELS SONT LES SUBSTITUTS DENTINAIRES POTENTIELS ?

Si le cahier des charges du substitut dentinaire idéal devait être dressé, il serait le suivant :

- propriétés mécaniques et esthétiques proches de celles de la dentine (module d'élasticité 18,5 GPa) ;
- peu ou pas de contraction et stress de polymérisation très réduit ;
- facile et rapide d'utilisation (injectable ou applicable en un seul apport) ;
- mouillabilité permettant une application intime sur les surfaces dentaires ;
- haut degré de polymérisation ;
- bonnes valeurs d'adhésion aux tissus durs (voire adhésion spontanée) ;

WHAT ARE THE AVAILABLE DENTIN SUBSTITUTES?

If the specifications of the ideal dentin substitute should be written down, they would go as follows:

- Mechanical and esthetic properties very similar to those of the dentin (elasticity module 18,5 GPa).
- Slight or no shrinkage and very limited polymerization stress.
- fast and easy use (injectable or applicable in a single contribution)
- Wettability allowing a proper placement on the dental surfaces.
- High degree of polymerization.

- biocompatible ;
- radio-opacité ;
- propriétés réparatrices sur les cellules pulpaire (dentinogénèse) ;
- bonne tolérance parodontale (montage en sandwich ouvert).

Ce matériau idéal n'existant pas, il est essentiel de connaître les atouts et les faiblesses des différents matériaux disponibles afin de sélectionner celui qui, pour chaque situation clinique, sera le plus approprié.

CIMENT VERRE IONOMÈRE

Les ciments verre-ionomères (CVI) résultent d'une réaction de prise acido-basique. Lorsqu'ils sont modifiés par adjonction de résine (CVIMAR), leur prise devient duale (réaction A-B plus photopolymérisation). Ils possèdent de nombreux atouts en tant que substituts dentinaires potentiels (Blique, 2013) :

- adhésion spontanée aux structures dentaires par échanges ioniques ;
- coefficient de dilatation thermique proche de celui de la dentine ;
- contraction de prise plus faible que les résines composites ;
- pouvoir cariostatique et potentiel de reminéralisation des tissus préalablement déminéralisés par le processus carieux (libération de fluor initiale et retardée) ;
- bonne tolérance par les cellules pulpaire et parodontales ;
- capsules pré-dosées facilitant la mise en œuvre ;
- injection rapide en une seule fois ;
- pas de préparation de la surface dentaire (ou simplement acide polyacrylique pendant 10 secondes).

Leur facilité d'utilisation et l'ensemble des propriétés citées ci-dessus rendent les CVIMAR moins opérateur-dépendant que les résines composites et en font de bons candidats au rôle de substitut dentinaire. Malheureusement, ces matériaux sont faibles mécaniquement et possèdent une mauvaise résistance à l'hydrolyse et à l'érosion lorsqu'ils sont exposés aux fluides buccaux (Blique, 2013). Leur faible mouillabilité empêche le contrôle clinique d'une application intime sur les parois cavitaires. La taille des particules de verre (plusieurs dizaines de microns) rend la finition délicate et facilite la rétention de plaque dans les zones difficiles d'accès. Les études *in vivo* sont également en défaveur des CVI et CVIMAR dans le cadre de techniques sandwichs sur des restaurations postérieures volumineuses (Opdam, 2007).

Compte tenu de ces considérations, l'utilisation des CVIMAR en tant que substituts dentinaires doit rester limitée. Notons toutefois que l'évolution récente représentée par les CVI à haute viscosité infiltré et protégé (CVI-HVIP) semble contourner les insuffisances citées plus haut et mérite à l'avenir d'être étudiée avec intérêt (Dursun, 2016). Cependant, de par leur facilité d'utilisation, leur relative tolérance à l'humidité et leur pouvoir cariostatique, les CVIMAR (ou les CVI-HV) pourront être indiqués dans certaines situations délicates : cavités non parfaitement isolables, patients difficiles (jeunes enfants, personnes âgées ou handicapées), risque carieux important ou encore pour des praticiens peu familiarisés avec les protocoles de collage (Dursun, 2016) (fig. 5a-d).

- Good adhesion values on hard tissues (even spontaneous adhesion).
 - Biocompatible.
 - Radio-opacity.
 - Repair properties on pulpal cells (dentinogenesis).
 - Good periodontal tolerance (open sandwich technique).
- Since this ideal material does not exist, it is essential to know the assets and the weaknesses of the various available materials to select the one which will be the most appropriate according to each clinical situation.

GLASS IONOMER CEMENT

Glass ionomer cements (GIC) are based on an acid-base cured reaction. When they are modified with resin (RMGIC), they are dual-cured (A-B reaction + photopolymerization). They have a lot of advantages as potential dentin substitutes (Blique, 2013):

- Spontaneous adhesion to dental structures by ion exchanges.
- Coefficient of thermal expansion very similar to the dentin coefficient of thermal expansion.
- Lower cure shrinkage than composite resins.
- Cariostatic properties and remineralization potential of tissues that have been demineralized by the carious process (initial and delayed release of fluoride).
- Well tolerated by pulpal and periodontal cells.
- Pre-dosed capsules for an easier use.
- Fast and single injection.
- No preparation of the dental surface (or polyacrylic acid during 10 seconds).

Their easy use and all the properties quoted above makes them less operator-dependent than composite resins; RMGIC are therefore potentially good dentin substitutes. Unfortunately, these materials are mechanically weak and do not resist properly to hydrolysis and erosion when exposed to oral fluids (Blique, 2013). Their low wettability prevents the clinical control of a tight application on cavity walls. The glass particles size (several dozens of microns) hinders the finishing stage and facilitates the retention of plaque in hard-to-access areas. Moreover, the *in vivo* studies do not recommend the use of GIC and RMGIC during sandwich procedures on voluminous posterior restorations (Opdam, 2007). Considering these observations, the use of the RMGIC as dentin substitutes must remain limited. We shall however note that the recent evolution such as Protected and Infiltrated High Viscosity GIC seems to overcome those inadequacies and deserves to be closely followed in the future (Dursun, 2016). However, due to their ease of use, their relative tolerance to humidity and their cariostatic properties, RMGIC (or the HV-GIC) can be indicated in a few "delicate" situations: cavities that cannot be properly insulated, difficult patients (young children, elderly or disabled people), considerable carious risk or when practitioners are not very familiar with the adhesive procedures (Dursun, 2016) (fig. 5a to 5d).

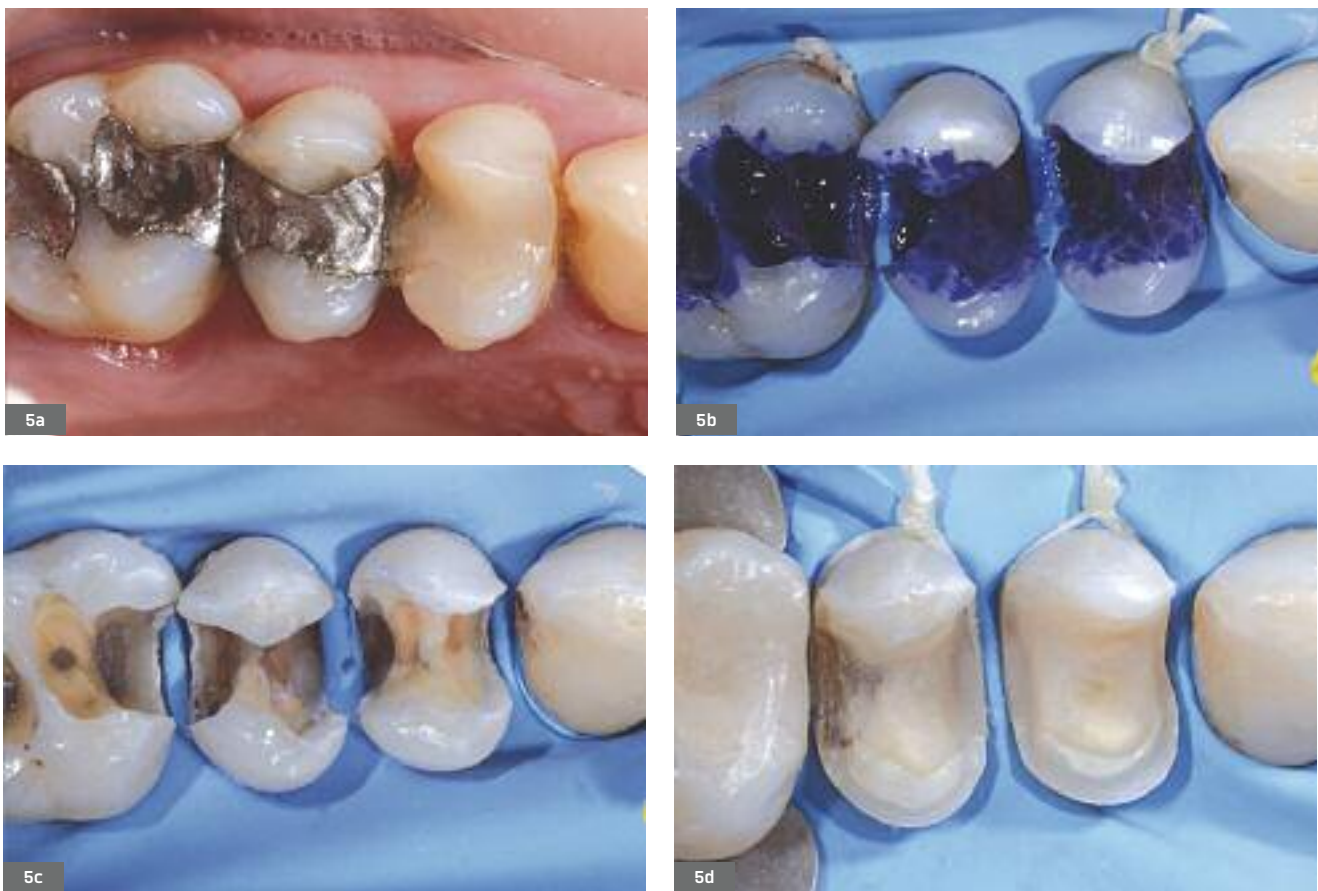


Fig. 5. Utilisation d'un CVI à haute viscosité (Equia Forte-GC) pour remonter les marches cervicales chez un patient présentant un risque carieux élevé et des lésions profondes difficilement isolables. a. Situation initiale. b. Révélateur de carie pour s'assurer du parfait débridement. c. Cavités débridées et digue insuffisamment étanche en distal de 24 et mésial de 25. d. Préparation pour restauration partielle collées en céramique après remontée de marche à l'aide d'un CVI-HV (Equia Forte-GC).

Fig. 5. Use of a high viscosity GIC (Equia Forte GC) to elevate the cervical margins in a patient presenting a high carious risk and deep and lesions, difficult to isolate. a. initial situation. b. detection of caries to make sure of the perfect debridement. c. debrided cavities and poorly sealed dam distal of 24 and mesial of 25. d. preparation for ceramic bonded partial restoration after margin elevation with a HV-GIC (Equia Forte - GC).

RÉSINES COMPOSITES (ASSOCIÉES À UN SYSTÈME ADHÉSIF)

Les résines composites fluides

Faibles mécaniquement (module d'élasticité < 5 GPa) et sujet à une forte contraction de polymérisation, les composites fluides ne sont pas recommandés comme substituts dentinaires en base. Cependant, utilisés en faible épaisseur (1,5 mm maximum), ils le sont dans le cadre des restaurations indirectes ou directes. Ils seront alors appliqués en complément de l'IDS (scellement dentinaire immédiat), pour régulariser une surface, combler des contre-dépouilles, voire remonter la marge cervicale. Pour cette dernière indication, certains auteurs conseillent l'utilisation de résines composites fluides semi-rigides dont le module d'élasticité est supérieur à 7 GPa (Dietschi, 2015).

COMPOSITE RESINS (COUPLED WITH AN ADHESIVE SYSTEM)

Fluid composite resins

Mechanically weak (elasticity module < 5 GPa) and subject to an important polymerization shrinkage, fluid composites are not recommended as dentin substitutes as a base. However, if used in thin layers (maximum 1.5-millimeter-thick), they can be recommended for indirect or direct restorations. They will then be applied in addition to IDS (Immediate Dentin Sealing), to even out a surface, fill in undercuts, and even to elevate the cervical margin. For this last indication, some authors recommend the use of semi-rigid fluid composite resins with an elasticity module higher than 7 GPa (Dietschi, 2015).

Dans le cadre des restaurations directes, certains auteurs recommandent leur utilisation comme « liner » au niveau du joint cervical afin d'absorber les contraintes occlusales et de parfaire l'étanchéité marginale. Cependant, une récente revue de littérature (Boruziniat, 2016) émet des réserves sur cette hypothèse (fig. 6a-c).

In direct restorations, several authors recommend to use them as a "liner" in the area of the cervical joint to absorb the occlusal constraints and improve the marginal sealing. However, a recent review of literature (Boruziniat, 2016) highlights several reservations on this hypothesis (fig. 6a to 6c).



Fig. 6. Utilisation d'un composite fluide chargé (Gaenial Flo-GC) en faible épaisseur (< 1,5 mm) pour optimiser les designs cavitaires de trois cavités d'onlays. a. Amalgames infiltrés. b. Cavité pour onlays composites optimisées grâce à l'utilisation d'un composite fluide comme substitut dentinaire. c. Situation après collage des onlays.

Fig. 6. Use of a filled flowable composite (Gaenial Flo GC) in small thickness (<1.5 mm) to optimize the cavity design of three on-lays cavities. a. Infiltrated amalgam. b. Cavity for composite on-lays optimized with the use of a flowable composite as dentin substitute. c. View after bonding of on-lays.

Les résines composites microhybrides/nanohybrides

Les composites traditionnels de restauration peuvent tout à fait être utilisés comme substituts dentinaires en recréant une masse au comportement physique assez proche de la dentine (module d'élasticité entre 6 et 24 GPa) Leur contraction de polymérisation est le point faible. Il constitue un risque de déchirure à l'interface dent-restauration (hiatus) et de stress sur les parois restantes, à l'origine d'échecs cliniques (caries secondaires) (Kopperud, 2012). Pour cela, ils sont appliqués par stratification d'incrément n'excédant pas 2 mm d'épaisseur en respectant pour chacun le temps d'irradiation lumineuse recommandé. Ceci rend la procédure chronophage lors de la restauration de cavité volumineuse.

Les résines composites bulk

Pour simplifier et accélérer la procédure opératoire, les résines composites dites « bulk fill » (« de masse ») ont été proposées par les industriels. Il s'agit de résines composites microhybrides modifiées pour diminuer leur contraction de polymérisation et pouvoir être polymérisées sur des

Microhybrid/nanocross resin composites

The traditional restoration composites may perfectly used as dentin substitutes by recreating a mass with a physical behavior rather similar to the dentin behavior (elasticity module between 6 and 24 GPa) Their polymerization shrinkage is their weakness. It generates a risk of crack in the interface tooth-restoration (hiatus) as well as a risk of stress on the other walls, at the origin of clinical failures (secondary caries) (Kopperud, 2012). To compensate for this weakness, they are applied with the stratification technique and increments which must not be thicker than 2mm, respecting for each the recommended time of light irradiation. This procedure is very time-consuming during the restoration of voluminous cavities.

Bulk-fill resins composites

To simplify and accelerate the operating procedure, bulk-fill resins have been marketed by manufacturers. These microhybrid composite resins have been modified to decrease the polymerization contraction and to be

épaisseurs pouvant aller jusqu'à 4 mm. Ces arguments commerciaux attractifs simplifient la procédure clinique et semblent les positionner d'emblée comme des substituts dentinaires potentiels, d'autant qu'ils existent également sous une forme fluide. Cependant, les études cliniques sont quasi inexistantes et les études *in vitro* montrent des résultats contradictoires. Certaines sont relativement favorables (Agarwal, 2015 ; Al-Harbi, 2016), quand d'autres émettent un certain nombre de limites : module d'élasticité < 10 GPa (Leprince, 2014), perte de l'étanchéité interfaciale (Furness 2014), défaut de polymérisation (Alshali, 2013) ou augmentation des contraintes sur la flexion cuspidienne (Chuang, 2011). Dans l'attente de recul clinique, leur utilisation séduisante doit pour le moment être modérée.

Composites injectables chémo-polymérisables (ou à prise duale)

Ces résines composites fluides mais cependant hautement chargées (taux de charges 70 % en poids), classiquement utilisées pour les restaurations corona-radicaire collées ne manquent pas d'arguments pour être utilisées comme substituts dentinaires :

- caractéristiques mécaniques proches de celles de la dentine (module d'élasticité entre 25 et 50 GPa) permettant d'amortir et de dissiper les contraintes. Le joint de collage et donc l'étanchéité de l'interface s'en trouvent ainsi renforcés ;
- stress de polymérisation inférieur aux composites photopolymérisables (le mode de prise chimique permet une dissipation lente des contraintes de polymérisation au sein du matériau) (Byoung, 2013 ; Lopes, 2008) ;
- injection du matériau en une seule fois ;
- prise duale (chimique et photonique) ou uniquement chémo-polymérisable évitant une polymérisation incomplète dans les zones difficilement accessibles aux irradiations lumineuses ;
- viscosité adaptée permettant une répartition homogène et une bonne adaptation sur les surfaces cavitaires ;
- radio-opacité ;
- existe en opacité « dentine ».

Ils sont, de notre point de vue, des substituts dentinaires de choix pour la restauration de volume important et lorsque l'accès instrumental visuel ou de l'irradiation lumineuse est délicat (fig. 7a-f).

polymerized on thicknesses up to 4mm. These attractive commercial features simplify the clinical procedure and make them proper potential dentin substitutes, especially as they can also be flowable. However, clinical trials are almost non-existent and in vitro studies show contradictory results. Some of them are relatively favorable (Agarwal, 2015, Al-Harbi, 2016) when others express a certain number of limitations: elasticity module < 10 GPa (Leprince, 2014), loss of the interfacial sealing (Furness, 2014), polymerization defect (Alshali, 2013) or greater constraints on the flexion of cusps (Chuang, 2011). In the absence of actual clinical hindsight, their seemingly appealing use must be moderated for the moment.

Chemopolymerizable injectable composites (or dual-cured)

These flowable composite resins which are nevertheless highly filled (fill ratio 70% in weight), traditionally used for bonded coronal-radicular restorations have interesting properties to be used as dentin substitutes:

- *Mechanical properties very similar to the dentin properties (elasticity module between 25 and 50 GPa) allowing to absorb and dissipate the constraints. The bonded joint and consequently the sealing of the interface are thus more reliable.*
- *Polymerization stress lower than photopolymerizable composites (this type of chemical cure allows a slow dissipation of the polymerization constraints within the material) (Byoung S, 2013) (Lopes 2008).*
- *Injection of the material in one single time.*
- *Dual cure (chemical and photonic) or purely chemo-polymerizable, avoiding an incomplete polymerization in zones that light irradiations cannot reach easily.*
- *Adapted viscosity allowing a homogeneous distribution and a proper adaptation on cavity surfaces.*
- *Radio-opacity.*
- *Available in "dentin" opacity.*

In our opinion, they are the dentin substitutes of choice for large restorations and when the instrumental, visual and light irradiation access is complicated (fig. 7A to 7F).





Fig. 7. Traitement par onlay composite d'une prémolaire maxillaire dépulpée. a. Situation initiale présence d'un bandeau d'émail cervical. b. Matricage intime de la limite cervicale. c. Remontée de marche et injection en masse d'un composite chétopolymérisable (Luxa Core Z -DMG). d. Préparation de la cavité. e. Digue individuelle pour le collage de l'onlay. f. Onlay composite en place.

Fig. 7. Treatment of a pulpless maxillary premolar with on-lay composite. a. Initial situation: presence of a strip of cervical enamel. b. Matrixing of the cervical limit. c. Margin elevation and injection of a bulk-in chemopolymerizable composite (Luxa Core Z - DMG). d. Preparation of cavity. e. Separate dam for the on-lay bonding. f. Composite on-lay is placed.

LES CIMENTS À BASE DE SILICATE TRICALCIQUE

Les ciments composés de silicate tricalcique ont la capacité d'induire une dentinogénèse réparatrice. Comparé à l'hydroxyde de calcium, qui a longtemps été considéré comme la référence, le ProRoot® MTA (Mineral Trioxide Aggregate) (Dentsply) et la Biodentine™ (Septodont) induisent la formation d'une dentine réparatrice à un taux plus élevé et avec une meilleure intégrité structurale du pont dentinaire (Tran, 2012). Le temps de prise très long du ProRoot® MTA (environ 3 heures) contre-indique son utilisation en dentisterie restauratrice. En revanche, la Biodentine™ a un temps de prise court (12 minutes) et des propriétés physico-mécaniques améliorées. Ses performances cliniques, associées à sa facilité d'utilisation et à sa compatibilité avec les procédures adhésives font de la Biodentine™, le substitut dentinaire de choix dans le cadre des coiffages pulpaire directes (effraction pulpaire) ou indirecte (dentine résiduelle inférieure à 0.5 mm). Ses faibles propriétés mécaniques ne lui permettent toutefois pas de rester exposée au long terme dans la cavité buccale (cas des restaurations en « sandwich ouvert ») (fig. 8a-h).

TRICALCIUM SILICATE-BASED CEMENTS

Cements made of tricalcium silicate can generate a reparative dentinogenesis. Compared with calcium hydroxide, which has long been considered as the "reference", ProRoot® MTA (Mineral Trioxide Aggregate) (Dentsply) and Biodentin™ (Septodont) provoke the formation of a greater quantity of reparative dentin with a better structural integrity of the dentinal bridge (Tran, 2012). The long hardening time of ProRoot® MTA (approximately 3 hours) contraindicates its use in restorative dentistry. On the other hand, Biodentin has a short hardening time (12 minutes) and improved physical-mechanical properties. Its clinical performances, associated with its ease of use and its compatibility with the adhesive procedures make Biodentin™ the dentin substitute of choice for direct pulp capping (pulp exposure) or indirect (residual dentin lower than 0.5mm). However, its poor mechanical properties forbid a long exposition in the oral cavity (cases of "open sandwich" restorations) (fig. 8A to 8H).



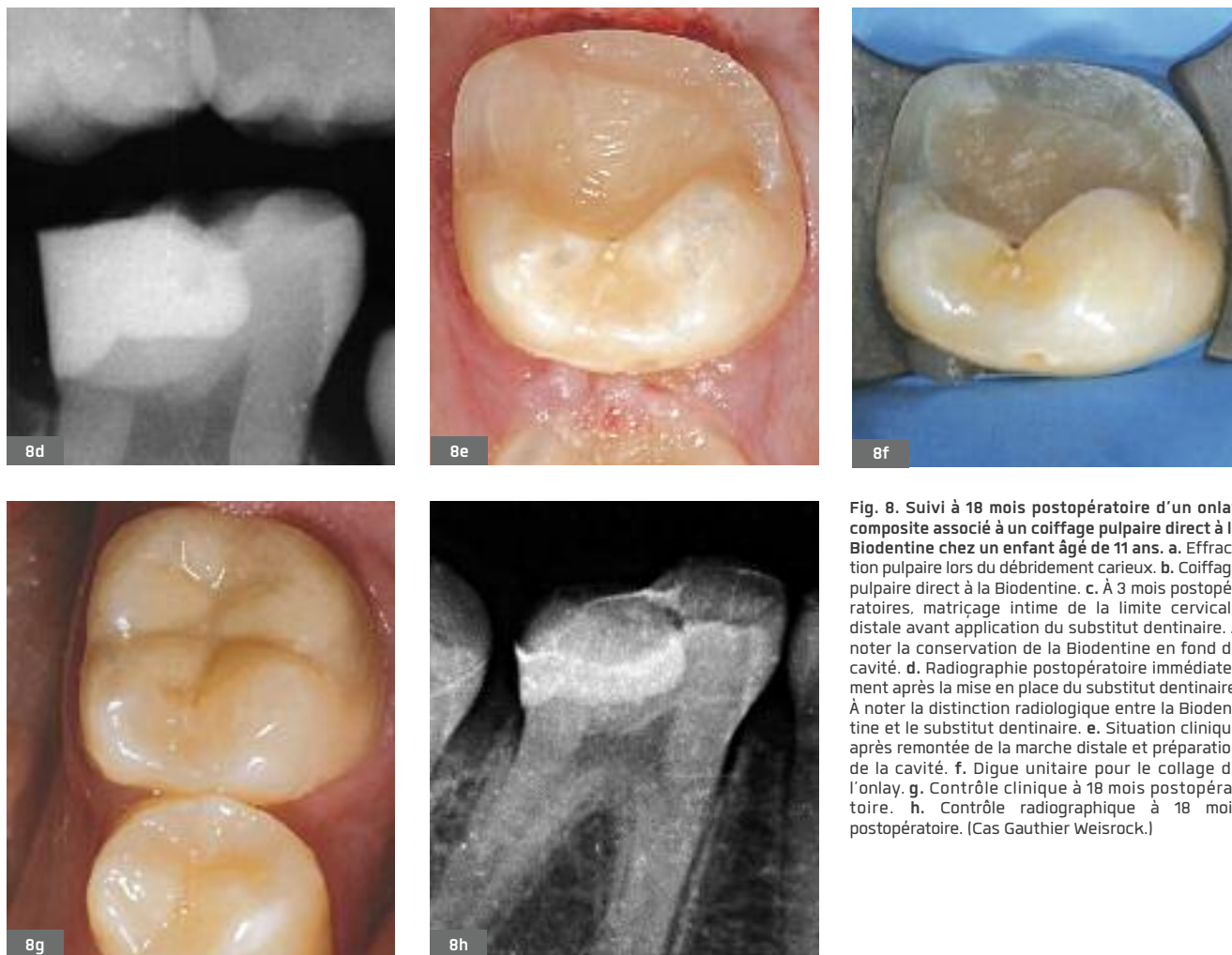


Fig. 8. Suivi à 18 mois postopératoire d'un onlay composite associé à un coffrage pulpaire direct à la Biodentine chez un enfant âgé de 11 ans. a. Effraction pulpaire lors du débridement carieux. b. Coffrage pulpaire direct à la Biodentine. c. À 3 mois postopératoires, matricage intime de la limite cervicale distale avant application du substitut dentinaire. À noter la conservation de la Biodentine en fond de cavité. d. Radiographie postopératoire immédiatement après la mise en place du substitut dentinaire. À noter la distinction radiologique entre la Biodentine et le substitut dentinaire. e. Situation clinique après remontée de la marche distale et préparation de la cavité. f. Digue unitaire pour le collage de l'onlay. g. Contrôle clinique à 18 mois postopératoire. h. Contrôle radiographique à 18 mois postopératoire. (Cas Gauthier Weisrock.)

Fig. 8. Follow-up consultation 18 months after surgery for a composite on-lay associated with direct pulp capping with Biodentin in an 11-year-old child. a. Pulp exposure during carious debridement. b. Direct pulp capping with Biodentin. c. 3 months after surgery, meticulous matrixing of the distal cervical limit before application of the dentin substitute. Notice the presence of Biodentin in the cavity bottom. d. Post-operative radiography right after the placement of the dentin substitute. Notice the radiological distinction between Biodentin and the dentin substitute. e. Clinical situation after elevation of the distal margin and preparation of the cavity. f. Single dam for the bonding of the on-lay. g. Clinical control 18 months after surgery. h. Control X-rays 18 months after surgery. (Case Gauthier Weisrock).

QUEL SUBSTITUT DENTINAIRE POUR QUELLE SITUATION CLINIQUE ?

Il existe dans la littérature une multitude d'études sur les restaurations postérieures directes ou indirectes. Celles-ci, dans leur très grande majorité *in vitro*, sont très hétérogènes quand aux protocoles d'études utilisés, aux variables analysées, aux matériaux (adhésifs et matériaux de restauration) ou à l'association de matériaux étudiés ou aux techniques opératoires avec lesquelles ces matériaux sont mis en œuvre. Cette hétérogénéité associée au faible niveau de preuve voire aux insuffisances de certaines études (Dietschi, 2013 ; Magne, 2016) conduit à des résultats expérimentaux souvent contradictoires. Face à cette confusion, il est très difficile de clarifier les procédures opératoires pour le clinicien et de standardiser l'utilisation de matériau de substitution dentinaire en fonction des

WHICH DENTIN SUBSTITUTE FOR WHICH CLINICAL SITUATION?

A multitude of studies on direct or indirect posterior restorations can be found in the literature. These mostly *in vitro* studies are very heterogeneous according to the chosen protocols of studies, to the analyzed variables, to the materials (adhesives and restoration materials) or according to the association of materials and to the operating techniques with which these materials are handled. This heterogeneousness associated with the low level of evidence and even with the inadequacies of certain studies (Dietschi, 2013) (Magne, 2016) often provide contradictory experimental results. Faced with this confusion, it is very difficult for the clinician to clarify the operating procedures and to standardize the

situations cliniques. Pour chaque situation clinique, la décision thérapeutique sera le propre de chaque praticien qui, conscient que le substitut dentinaire idéal n'existe pas, choisira le matériau pour lequel le rapport avantages/insuffisances cliniques sera le plus favorable.

Les matériaux proposés dans cet article ont fait l'objet d'études cliniques, concluant favorablement quant à leur possibilité d'utilisation comme substituts dentinaires. En dépit du faible niveau de preuve de ces études, nous pouvons en déduire que tous sont utilisables et que le succès thérapeutique semble plus dépendant des conditions de mise en œuvre (rigueur opératoire) et du contrôle des facteurs individuels du patient (notamment du risque carieux) que du choix du matériau lui-même (Demarco, 2012). S'appuyant sur la littérature et des sensations cliniques parfois subjectives, nous avons cherché à proposer un arbre décisionnel raisonné mais inévitablement arbitraire pour le choix du matériau de substitutions dentinaire (fig. 9).

- La Biodentine est sans conteste le matériau indiqué lorsqu'un coiffage pulpaire direct ou indirect est nécessaire. Dès que les conditions opératoires (isolation possible) et environnementales (risque carieux maîtrisé) le permettent et pour des raisons d'homogénéité globale de la restauration, notre choix se portera toujours sur la famille des résines composites faisant appel à une séquence adhésive pour l'obtention d'une couche hybride à l'interface dent-restauration.
- Les composites fluides utilisés en très faible épaisseur (liner et base) trouvent leur indication dans le cadre des restaurations indirectes pour optimiser le design cavitaire, parfaire le scellement dentinaire immédiat ou remonter la marge cervicale (maximum 1,5 mm et préférence pour les composites fluides « chargés »).
- Lorsque l'épaisseur du substitut dentinaire est conséquente, les composites microhybrides-nanohybrides traditionnels, les résines bulk ou les résines composite injectables chémo-polymérisables et (ou) duales peuvent être utilisés. Les résines injectables sont préférées, permettant l'application précise (embouts fins) en un seul apport de tout le substitut dentinaire, y compris dans des zones difficiles d'accès pour l'instrumentation ou l'irradiation lumineuse. Le temps de la polymérisation chimique doit alors être scrupuleusement respecté avant qu'une irradiation lumineuse complémentaire soit effectuée (cas des résines composite duales). Cette chémo-polymérisation lente permet une dissipation homogène des contraintes au sein du matériau, limitant les effets délétères du stress de polymérisation sur les parois résiduelles et l'étanchéité de l'interface.
- Concernant le choix du système adhésif, nous nous orientons préférentiellement vers des systèmes à trois étapes cliniques avec mordantage préalable (MR3) et préférons des systèmes adhésifs chargés, propices à une relative absorption des contraintes. Si la présence d'un bandeau d'émail résiduel au niveau cervical apporte une plus-value évidente quand à l'efficacité du collage, son absence ne contre-indique cependant pas l'utilisation d'un système adhésif. En effet, une revue de littérature (Papageorgiou, 2013) ne rapporte aucune influence de la situation de la marge cervicale par rapport à la jonction amélo-cémentaire dans la survenue de caries secondaires pendant une période de 10 ans.

use of the dentin substitute material according to the clinical situations. In each clinical situation, the therapeutic decision will belong to the practitioner who, aware that the ideal dentin substitute does not exist, will choose the material for which the advantages/clinical inadequacies ratio will be the most favorable.

The materials described in this article have been studied in clinical trials that showed they could be used as dentin substitutes. In spite of the low level of evidence of these studies, we can conclude that they can all be used and that the therapeutic success seems to depend more on the technical procedures (operating rigor) and on the control of the patient's individual factors (particularly the carious risk), than of the choice of the material (Demarco, 2012). After studying the literature and the sometimes subjective clinical sensations, we have tried to provide a reasoned decision tree which is inevitably arbitrary concerning the choice of the dentin substitute material (fig. 9).

• Biodentine is unquestionably the indicated material when direct or indirect pulp capping is necessary. When the operating conditions (possible insulation) and the environmental conditions (controlled carious risks) allow it and for reasons of global homogeneity of the restoration, we will always choose composite resins with an adhesive sequence in order to obtain a hybrid layer in the tooth-restoration interface.

• Flowable composites used in very small thickness (liner and base) are indicated in indirect restorations to optimize the cavity design, perfect the immediate dentin sealing or to elevate the cervical margin (maximum 1.5 mm and preference for filled flowable composites).

• When the dentin substitute is considerably thick, traditional microhybrid/ nanohybrid composites, bulk-fill composites or chemopolymerizable injectable and (or) dual-cure composite resins can be used. Injectable resins are preferred for their accurate application (fine tips) in a single contribution of the whole dentin substitute, including in zones that are difficult to access for instruments or light irradiation. The time of chemical polymerization must then be scrupulously respected before a complementary light irradiation is performed (case of dual-cure composite resins). This slow chemopolymerization allows a homogeneous dissipation of the constraints within the material, limiting the noxious effects of polymerization stress on the residual walls and the sealing of the interface.

Concerning the choice of the adhesive system, we rather use three-step systems with prerequisite etching (MR3) and prefer filled adhesive systems, suitable for a relative absorption of constraints. If the presence of a residual enamel strip in the cervical area is obviously convenient in the bonding process, its absence does not however hinder the use of an adhesive system. Indeed, a review of literature (Papageorgiou, 2013) reports no influence of the cervical margin condition in relationship with the dentin-enamel junction in the occurrence of secondary caries over ten years.

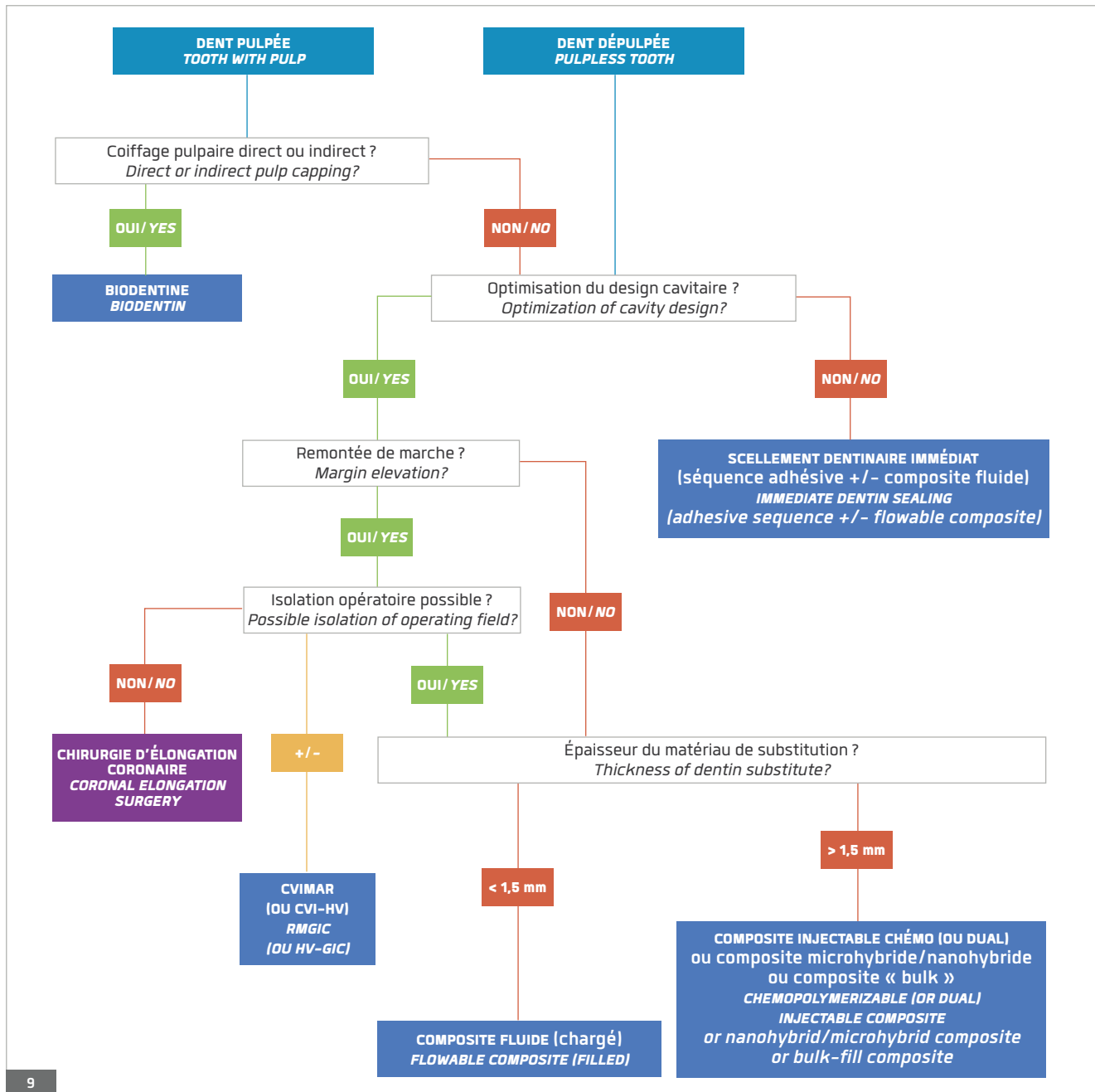


Fig. 9. Choix du matériau de substitution dentinaire dans le cadre des restaurations indirectes.

Fig. 9. Choice of the dentin substitute material for indirect restorations.

Face à des situations plus délicates, telles que des difficultés d'isolation, des patients difficiles (enfants, personnes âgées, handicapés) ou un risque carieux non maîtrisé, notre choix se portera sur les CVIMAR (ou les CVI-HV) du fait de leur facilité d'utilisation et de leur relative tolérance à l'humidité. Notons toutefois que l'élongation coronaire est une alternative thérapeutique intéressante lorsque l'isolation efficace du champ opératoire est compromise.

In more "delicate" situations such as cases with a difficult insulation, difficult patients (children, elderly and disabled people) or an uncontrolled carious risk, we will choose RMGIC (or high viscosity GIC) because of their easy use and their relative tolerance to humidity. Let's add however that the coronal elongation is an interesting therapeutic alternative when the operating field cannot be efficiently isolated.

CONCLUSION

Dans une dentisterie contemporaine, aujourd'hui biosubstitutive mais en quête de biomimétisme, l'intérêt clinique des restaurations collées directes ou indirectes est aujourd'hui une évidence. Les matériaux de substitution dentinaire y jouent un rôle primordial en influençant directement la qualité finale de la restauration (étanchéité des interfaces, protection de l'organe pulpo-dentinaire, absorption des contraintes, soutien de la restauration amélaire sus-jacente). Pour autant, la multitude des matériaux ou combinaison de matériaux disponibles, associée au faible niveau de preuve et à l'hétérogénéité des résultats et des protocoles des nombreuses études (essentiellement *in vitro*) disponibles, conduit à une confusion et ne permet pas de tirer un consensus clair quant au choix et à l'utilisation clinique des matériaux de substitution dentinaire. Dans l'attente de nouvelles données cliniques dans la littérature, pour chaque situation clinique, le praticien devra comprendre les atouts et faiblesses des matériaux disponibles et choisir celui qu'il estime être le plus adapté. Enfin, plus que par ce choix, le succès clinique des thérapeutiques adhésives semble essentiellement déterminé par la qualité de la mise en œuvre (rigueur opératoire) et les facteurs de risque individuel du patient (risque carieux notamment). Ceux-ci devront donc être maîtrisés en amont.

Remerciements

Les auteurs remercient le professeur Jean-Louis Brouillet pour son enseignement clinique raisonné, passionné et visionnaire et l'iconographie mise à disposition pour cet article.

CONCLUSION

*In the contemporary dentistry, currently guided by a "biosubstitutive" approach but in search of "biomimicry", the clinical interest of direct or indirect bonded restorations is now obvious. Dentin substitute materials play a key role by influencing directly the final quality of the restoration (efficient sealing of the interfaces, protection of the pulp-dentin organ, absorption of constraints, support of the overlying enamel restoration). However, the multitude of materials or combination of available materials, associated with a low level of evidence as well as heterogeneous results and protocols in the numerous (essentially *in vitro*) studies currently available create a confused situation which cannot result in a clear consensus concerning the choice and the clinical use of dentin substitute materials. While waiting for new clinical data in the literature the practitioner will have to understand and evaluate, for each clinical case, the assets and the weaknesses of the available materials and choose the one that he/she thinks is the most adapted. Finally, beyond this choice, the clinical success of the adhesive systems seems mostly determined by the quality of the procedures (operating rigor) and the specific patient-related risk factors (carious risk in particular) which need to be controlled upstream.*

Acknowledgments

The authors would like to thank Professor Jean-Louis Brouillet for his reasoned, passionate and visionary clinical expertise as well as for the iconography illustrating this article.

Traduction : Marie Chabin

BIBLIOGRAPHIE

- AL-HARBI F., KAISARLY D., BADER D., EL GEZAWI M. – Marginal Integrity of Bulk Versus Incremental Fill Class II Composite Restorations. *Oper Dent.* 2016 Mar-Apr;41(2):146-56
- ALSHALI R.Z., SILIKAS N., SATTERTHWAIT J.D. – Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals. *Dent Mater.* 2013 Sep;29(9):p213-7.
- AGARWAL R.S., HIREMATH H., AGARWAL J., GARG A. – Evaluation of cervical marginal and internal adaptation using newer bulk fill composites: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2015 Jan-Feb;18(1):56-61. doi:10.4103/0972-0707.148897.
- BAZOS P., MAGNE P. – Bio-emulation: biomimetically emulating nature utilizing a histo-anatomic approach: structural analysis. *Eur J Esthet Dent.* 2011 Spring;6(1):8-19.
- BELSER U. – Changement de paradigmes en prothèse conjointe. *Real Clin.* 2010, Vol 21, n°2:pp.70-95.
- BLIQUE M. – Restaurations partielles directes : les ciments verres ionomères. *Réalités cliniques* 2013. Vol 24, n°4:pp279-289
- BORUZINIAT A., GHARAEI S., SARRAF SHIRAZI A., MAJIDINIA S., VATANPOUR M. – Evaluation of the efficacy of flowable composite as lining material on microleakage of composite resin restorations: A systematic review and meta-analysis. *Quintessence Int.* 2016;47(2):93-101.
- BYOUNG Y SHU. – Curing and composite. Principles of adhesion dentistry : a theoretical and clinical guide for dentists. *Aegis communications* 2013, p91-93.
- CHUANG S.F., CHANG C.H., CHEN T.Y. – Spatially resolved assessments of composite shrinkage in MOD restorations using a digital-image-correlation technique. *Dent Mater* 2011;27:134-143.
- DECUP F., GAUCHER C. – Approche bioconservatrice des tissus pour les restaurations indirectes. *Réalités Cliniques* 2014;25(4):p279-287.
- DECUP F., MARCZAK E., SOENEN A., GUERRIERI A. – L'état « dent dépulpée » : données essentielles Réalités cliniques 2011. Vol 22, n°1:p5-13.
- DELAVIZ Y., FINER Y., SANterRE J.P. – Biodegradation of resin composites and adhesives by oral bacteria and saliva: a rationale for new material designs that consider the clinical environment and treatment challenges. *Dent Mater.* 2014 Jan;30(1):16-32.
- DEMARCO F.F., CORRÊA M.B., CENCI M.S., MORAES R.R., OPDAM N.J. – Longevity of posterior composite restorations: not only a matter of materials. *Dent Mater.* 2012 Jan;28(1):87-101.
- DIETSCHI D., ARGENTE A., KREJCI I., MANDIKOS M. – In vitro performance of Class I and II composite restorations: a literature review on nondestructive laboratory trials part II. *Oper Dent.* 2013 Sep-Oct;38(5):E182-200.
- DIETSCHI D., SPREAFICO R. – Evidence-based concepts and procedures for bonded inlays and onlays. Part I. Historical perspectives and clinical rationale for a biosubstitutive approach. *Int J Esthet Dent.* 2015 Summer;10(2):210-27.
- DURSUN E. – Les ciments verres ionomères à haute viscosité. Partie 1 : présentation, composition et propriétés. *Biomatériaux cliniques.* Vol 1, N°1 mars 2016. P26-33.
- D'INCAU E., SOENEN A., PIA J.P. – Restaurer sans tenon et sans couronne les dents postérieures ? *Le Fil dentaire* n°98.dec2014 p20-24
- FURNESS A., TADROS M.Y., LOONEY S.W., RUEGGEBERG F.A. – Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of bulk-fill composites. *J Dent.* 2014 Apr;42(4):439-49
- KOUASSI G., ATLAN A., BOUKPESSI T. – Matériaux de restaurations utilisés pour les remontées de marge. *Clinic* 2015 :36 :423-429.
- KOPPERUD S.E., TVEIT A.B., GAARDEN T., SANDVIK L., ESPELID I. – Longevity of posterior dental restorations and reasons for failure. *Eur J Oral Sci.* 2012 : 120 :539-548.
- LEPRINCE J.G., PALIN W.M., VANACKER J., SABBAGH J., DEVAUX J., LELOUP G.J. – Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *Dent.* 2014 Aug;42(8):993-1000.
- MAGNE P. – Biomimétique restauratrice sans tenons ni couronnes. *Biomatériaux cliniques* vol 1- n°1 mars 2016 p16-25.
- MAGNE P. – iDS : Immediate Dentin Sealing for tooth preparations. *J Adhes Dent.* 2014 Dec;16(6):594-601
- OPDAM N.J., BRONKHORST E.M., ROETERS J.M., LOOMANS B.A. – Longevity and reasons for failure of sandwich and total-etch posterior composite resin restorations. *J Adhes Dent.* 2007 Oct;9(5):469-75
- RASKIN A.L., LEHMAN N. – Résines composites en technique directe : propriétés, intérêts et indications cliniques. *Cahiers de prothèse* 2009;148:23-37
- TRAN X.V., GORIN C., WILLIG C., BAROUKH B., PELLAT B., DECUP F., OPSAHL VITAL S., CHAUSSAIN C., BOUKPESSI T. – Effect of a calcium-silicate-based restorative cement on pulp repair. *J Dent Res.* 2012 Dec;91(12):1166-71.
- WEISROCK G., BROUILLET J.L. – Le champ opératoire évidement. *Information Dentaire.* 2009;91 (42):2525-2529