

# Les nouveaux composites : évaluation et intérêts cliniques pour les restaurations en technique directe.

## Mots clés :

Odontologie conservatrice  
Résine  
Composite  
Propriétés mécaniques  
Propriété matériaux



*Novel composites :  
evaluation and clinical interests  
of direct technique restorations.*

## Keywords :

Conservative dentistry  
Resin  
Composite  
Mechanical properties  
Material properties

G.N. BERTHAULT\*, A.L. DURAND\*\*, J.J. LASFARGUES\*\*\*, F. DECUP\*\*\*\*

\* DCD, Attaché à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Paris V.

\*\* DCD, Diplômée de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Paris V.

\*\*\* DCD, PU-PH à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Paris V.

\*\*\*\* DCD, MCU-PH à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Paris V.

**résumé** **« Les dernières générations de composite apportent-elles, par leur évolution, de véritables améliorations cliniques pour les traitements restaurateurs en technique directe ? ».** C'est la question à laquelle cet article tente donner quelques réponses. Au travers du développement de ces matériaux dans leur phase organique (matrice), inorganique (charges) ou interfaciale (agent de couplage), l'analyse de la littérature met en évidence leurs améliorations ou leurs défauts persistants. Ont été ainsi étudiées les principales caractéristiques des résines composites : les propriétés mécaniques, le retrait de polymérisation, l'aptitude au polissage, les propriétés optiques, les effets bioactifs, la dégradation et la manipulation. Les résultats montrent que les caractéristiques sont finalement peu améliorées même si elles restent bonnes et au moins équivalentes à celles des composites des générations précédentes. On peut regretter le faible nombre d'évaluations cliniques disponibles à ce jour.

**abstract** **« Can the developments on the latest generation of composites bring about real clinical treatment improvements to direct technique restorations ? ».** This article attempts to provide some answers to this question. Through the development of these materials in their organic (matrix), inorganic (fillers) or interfacial (coupling agent) phase, literature analysis revealed their enhancements or their persistent defaults. Also studied were the principal characteristics of composite resins: mechanical properties, polymerization shrinkage, polishing capacity, optical properties, bioactive effects, degradation and manipulation. The results showed that the characteristics were very little improved even if it remains good and at least equivalent to previous generations. It is regretful that to date, there are very few clinical assessments available.

Les résines composites sont maintenant largement utilisées dans la pratique quotidienne des soins dentaires. Leur suivi nous montre que ces matériaux présentent encore des défauts, surtout dans leur comportement à long terme. Les évaluations cliniques récentes rapportent des taux d'échec acceptables, mais, ces résultats pourraient être améliorés.

Nous pouvons observer que de nouveaux composites apparaissent régulièrement sur le marché (**Tableau 1 - Fig. 1**) et se présentent comme des produits dont la technologie récente est à même de donner des solutions à nos questions cliniques. Nous sommes en droit de nous demander si « ces dernières générations de composite apportent, par leur évolution, de véritables améliorations cliniques pour les traitements restaurateurs en technique directe ? ».

Pour donner des éléments de réflexion à cette question. Nous avons cherché à synthétiser les informations, analysées au laboratoire (*in vitro*) et recueillies par données cliniques (*in vivo*), à partir de la bibliographie. Cette recherche a été menée, *via PubMed*, afin de sélectionner les références les plus récentes (Berthault et Durand, 2007).

Composite resins are now widely used in everyday restorative dental practice. The follow-up of these materials shows that they still present defects especially in their long-term performance. Recent clinical evaluations reports acceptable failure rates but these results could be improved.

We can observe that the novel composites are regularly present in the market (**Table 1 - Fig. 1**) and appear as products of recent technology that answers all our clinical questions. We have the right to ask if « *the developments on latest generation composites bring about real clinical treatment improvements to direct technique restorations ?* ».

To give some thoughts to this question, we sought to combine informations, analyzed in the laboratory (*in vitro*) and gather clinical data (*in vivo*) from the bibliography. This study has been conducted via PubMed for the choice of the most recent references (Berthault and Durand, 2007).



**Fig. 1 :** Quelques exemples de résines composites récemment commercialisées.  
Examples of recently commercialized composite resins.

**Tableau 1 - Tableau récapitulatif des résines composites récentes d'après Raskin et coll. (2005), réactualisé.**

Nom (Fabricant)	Famille	Viscosité	Matrice	Type de charges	Taille des particules de charges	Pourcentage des charges en poids (P) et en volume (V)	Retrait de polymérisation (Vol. %)
Filtek Supreme (3M ESPE)	Microhybride nanochargé	Moyenne	Bis-GMA TEGDMA UEDMA Bis-EMA	Zircone, Silice	Nanomères : 0,02 à 0,075 $\mu\text{m}$ (teintes translucides) et 5 à 20 nm (autres teintes) Nanoclusters : 0,6 à 1,4 $\mu\text{m}$	P : 72,5 (translucide) à 78,5 V : 57,7 à 59,5	2,5
Grandio (Voco)	Microhybride nanochargé	Moyenne	Bis-GMA TEGDMA	Nanoparticules : Dioxyde de silicium ; Fines particules de céramique	20 à 50 nm	P : 87,0 V : 71,4	1,57
Premise (Kerr)	Microhybride nanochargé	Moyenne	Bis-GMA Bis-EMA TEGDMA	Nanoparticules de silice non agglomérées, charges prépolymérisées, Verre d'alumino fluoro boro silicate de baryum	20 nm 30 à 50 $\mu\text{m}$ 0,4 $\mu\text{m}$	P : 84,0 V : 75,0	1,6
Tetric Evoceram (Ivoclar Vivadent)	Microhybride nanochargé	Moyenne	Bis-GMA < 9 % UEDMA < 8 % TEGDMA < 5 %	Céramique de verre de baryum 50,8 %, Trifluorure d'Ytterbium (YbF3) 17,0 %	taille moyenne des charges 0,04 $\mu\text{m}$	P : 79,0 V : 60,0	3,3
EsthetX (Dentsply)	Microhybride nanochargé	Moyenne	Bis-GMA Bis-EMA TEGDMA Hexaméthylène disocyanate	Verre d'alumino boro fluoro silicate de baryum > 70 % SiO <sub>2</sub> < 3 %	Etendue de 0,02 à 2,5 $\mu\text{m}$ Nanoparticules de 10 à 20 nm	P : 73,3 à 77,5 V : 60,0	2,3
Enamel Plus HFO (Micerium)	Microhybride nanochargé	Moyenne	Bis-GMA UEDMA	Boro alumino silicate de strontium, SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> : 0,04 $\mu\text{m}$	P : 75,0 V : 52,0	4,3
Palfique Estelite (Tokuyama)	Microhybride nanochargé	Moyenne	Bis-GMA TEGDMA	Silice-zirconium Charges prépolymérisées de silice	0,2 $\mu\text{m}$	P : 82,0 V : 71,0	*
Virtuoso Universal (DenMat)	Microhybride nanochargé	Moyenne	*	Verre de baryum, nanocharges de silice	*	P : 74,0 V : 51,0	*
Simile (Jeneric Pentron)	Microhybride nanochargé	Moyenne	Bis-GMA UEDMA	Verre de boro-silicate de baryum, zirconium silicate, nanoparticules de silice	*	P : 75,0 V : 68,0	*
Filtek Silorane (3M ESPE)	Microhybride	Moyenne	SILORANE	Fluorure d'Yttrium Quartz	*	P : 76,0	< 1

Les lignes colorées correspondent aux résines répondant le mieux à l'appellation nanochargée.



**Table 1 - Updated summary of recent composite resins according to Raskin et al. (2005).**

Name (Manufacturer)	Family	Viscosity	Matrix	Type of fillers	Particle size of fillers	Percentage of filler in weight (W) and in volume (V)	Polymerization shrinkage (Vol. %)
Filtek Supreme (3M ESPE)	Microhybrid nanofilled	Average	Bis-GMA TEGDMA UEDMA Bis-EMA	Zirconia, Silicate	Nanomerses : 0.02 – 0.075 µm (translucent hues) and 5 - 20 nm (other hues) Nanoclusters : 0.6 -1.4 µm	P : 72.5 (translucent) to 78.5 V : 57.7 to 59.5	2.5
Grandio (Voco)	Microhybrid nanofilled	Average	Bis-GMA TEGDMA	Nanoparticles: Silicon dioxide; Fine particles of ceramic	20 to 50 nm	P : 87.0 V : 71.4	1.57
Premise (Kerr)	Microhybrid nanofilled	Average	Bis-GMA Bis-EMA TEGDMA	Silica non-agglomerated nanoparticles, Pre-polymerized load, Barium–aluminum-fluoro-silicate glass	20 nm 30 to 50 µm 0.4 µm	P : 84.0 V : 75.0	1.6
Tetric Evoceram (Ivoclar Vivadent)	Microhybrid nanofilled	Average	Bis-GMA < 9 % UEDMA < 8 % TEGDMA < 5 %	Glass-ceramic barium 50.8 %, Ytterbium trifluoride (YbF3) 17.0 %	Average size of fillers 0.04 µm	P : 79.0 V : 60.0	3.3
EsthetX (Dentsply)	Microhybrid nanofilled	Average	Bis-GMA Bis-EMA TEGDMA Hexaméthylèn edisocyanate	Barium–aluminum-fluoro-silicate glass > 70 % SiO <sub>2</sub> < 3%	Scope of 0.02 to 2.5 µm Nanoparticules of 10 to 20 nm	P : 73.3 to 77.5 V : 60.0	2.3
Enamel Plus HFO (Micerium)	Microhybrid nanofilled	Average	Bis-GMA UEDMA	Strontium boro-aluminosilicate, SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> : 0;04 µm	P : 75.0 V : 52.0	4.3
Palfique Estelite (Tokuyama)	Microhybrid nanofilled	Average	Bis-GMA TEGDMA	Silica-zirconium Pre-polymerized silica	0.2 µm	P : 82.0 V : 71.0	*
Virtuoso Universal (DenMat)	Microhybrid nanofilled	Average	*	Barium glass, silica nanofilled	*	P : 74.0 V : 51.0	*
Simile (Jeneric Pentron)	Microhybrid nanofilled	Average	Bis-GMA UEDMA	Barium borosilicate glass, zirconium silicate, silica nanoparticles	*	P : 75.0 V : 68.0	*
Filtek Silorane (3M ESPE)	Microhybrid	Average	SILORANE	Yttrium fluoride, Quartz	*	P : 76.0	< 1

Colored-shaded areas correspond to resins best designated as nanofilled.

## Recherches et développements : des résines composites en constante mutation

Les résines composites sont des matériaux de restaurations dentaires esthétiques, organo-minéraux, à insérer en phase plastique dans le cas des obturations par technique directe. Au cours de ces dernières années, elles ont pu voir des transformations s'effectuer au sein des 3 phases dont elles sont composées :

### La phase organique

La phase organique correspond à la matrice résineuse. Il s'agit, le plus souvent, d'un mélange de monomères à base de dérivés des méthacrylates.

Les évolutions tentent surtout de modifier la nature de la résine en incorporant de nouveaux monomères, afin d'améliorer les propriétés mécaniques, mais aussi d'apporter de nouvelles caractéristiques (bioactivité, etc...). Parmi les nouveaux monomères développés, on retrouve de nombreux dérivés des méthacrylates, mais aussi de nouvelles familles, telles que les résines époxy, les oxiranes/siloranes et les SOC (spiro-ortho carbonates). Beaucoup sont encore au stade expérimental.

Parmi les composites commercialisés, les monomères retrouvés appartiennent essentiellement à la famille des méthacrylates, et sont le Bis Glycidyl DiMéthAcrylate (Bis-GMA), le TriEthyl Glycidyl DiMéthAcrylate (TEGDMA), et plus récemment l'Urethane-DiMéthAcrylate (UEDMA) et le Bis-phénol Ethyl MethAcrylate (Bis-EMA) (Tableaux 2 et 3).

## Research and developments : composite resins in constant change

Composite resins are aesthetic restorative dental materials, organo-mineral, applied during its plastic phase in the case of direct filling techniques. During these past years, changes have taken place in the 3 phases in which they are formed :

### The organic phase

The organic phase corresponds to the resin matrix. It is most often a mixture of monomers based on methacrylate derivatives.

The developments mostly try to modify the nature of the resin by incorporating new monomers meant to improve the mechanical properties, but also to bring new characteristics (bioactivity, etc...). Among the new monomers developed, we find numerous methacrylate derivatives, but also new families, like the epoxy resin, the oxiranes and siloranes and the SOC (spiroortho-carbonates). Many are still at an experimental stage.

Amongst the commercialized composites, the monomers are found to be essentially part of the methacrylate family and are the Bis-GMA, the TEGDMA and recently the UEDMA and the Bis-EMA (Table 2 and 3).

**Tableau 2 - Classification des différents monomères / Classification of different monomers**

<b>Familles de monomères</b> <i>Family of monomers</i>	<b>Monomères présents dans les produits commercialisés</b> <i>Monomers in commercialized products</i>	<b>Monomères expérimentaux</b> <i>Experimental monomers</i>
Dérivés des méthacrylates <i>Methacrylate derivatives</i>	Bis-GMA, TEGDMA UEDMA, Bis-EMA	DMBis-GMA, TMBis-GMA, TTEMA, POSS-MA, MEP/MAA, BTDMA
Résines époxy / <i>Epoxy resins</i>	-	Ethylène imine
Oxiranes/siloranes	Siloranes	Oxiranes
SOC	-	Spiro-ortho-carbonates



**Tableau 3 - Avantages et inconvénients des monomères actuellement commercialisés**  
*Advantages and disadvantages of currently commercialized monomers*

Avantages / <i>Advantages</i>	Inconvénients / <i>Disadvantages</i>
Bonnes propriétés mécaniques pour Bis-GMA et TEGDMA <i>Good mechanical properties for Bis-GMA and TEGDMA</i>	Retrait de polymérisation important pour les MÉTHACRYLATES <i>Important polymerization shrinkage for METHACRYLATES</i>
Bon contrôle de la balance d'eau pour TOUS <i>Good control of H<sub>2</sub>O balance for ALL</i>	Mauvaise biocompatibilité du TEGDMA (Potentiellement toxique, délétion de séquence d'ADN) <i>Bad biocompatibility of TEGDMA (Potentially toxic, deletion sequence of DNA)</i>
Absorption d'eau réduite pour UEDMA et Bis-EMA <i>Reduced H<sub>2</sub>O absorption for UEDMA and Bis-EMA</i>	Bis-GMA/TEGDMA hydrophiles : absorption d'eau augmentée <i>Bis-GMA/TEGDMA hydrophiles: increased H<sub>2</sub>O absorption</i>
Faible retrait de polymérisation et taux de conversion élevé pour le SILORANE <i>Weak polymerization shrinkage and increased conversion level for SILORANE</i>	Faible recul clinique pour le SILORANE <i>Weak clinical decline for SILORANE</i>

Très récemment, 3M ESPE a mis sur le marché une résine composite à base de silorane (molécule obtenue par combinaison d'un siloxane et d'un oxirane) dont le processus chimique de polymérisation est profondément différent de celui des autres familles. Par leur agencement spécifique, la forme de ces molécules limite les phénomènes de rétraction chimique lors de la polymérisation.

### La phase inorganique

La phase inorganique correspond aux charges situées au sein de la matrice. Il s'agit, le plus souvent, de particules de quartz ou de verre de silice.

La principale évolution récemment constatée réside en l'apport de la nanotechnologie (production et manipulation de particules de l'ordre de 20 à 75 nanomètres). Celle-ci a permis l'apparition d'une nouvelle famille de matériau : les composites microhybrides nanochargés qui sont issus de la réduction de la taille des particules et la modification de leur distribution (**Fig. 2**). Le taux de charge se trouve alors augmenté laissant une place moindre à la matrice. Un certain nombre de caractéristiques physico-chimiques intéressantes cliniquement sont ainsi modifiées (**Tableau 4**).

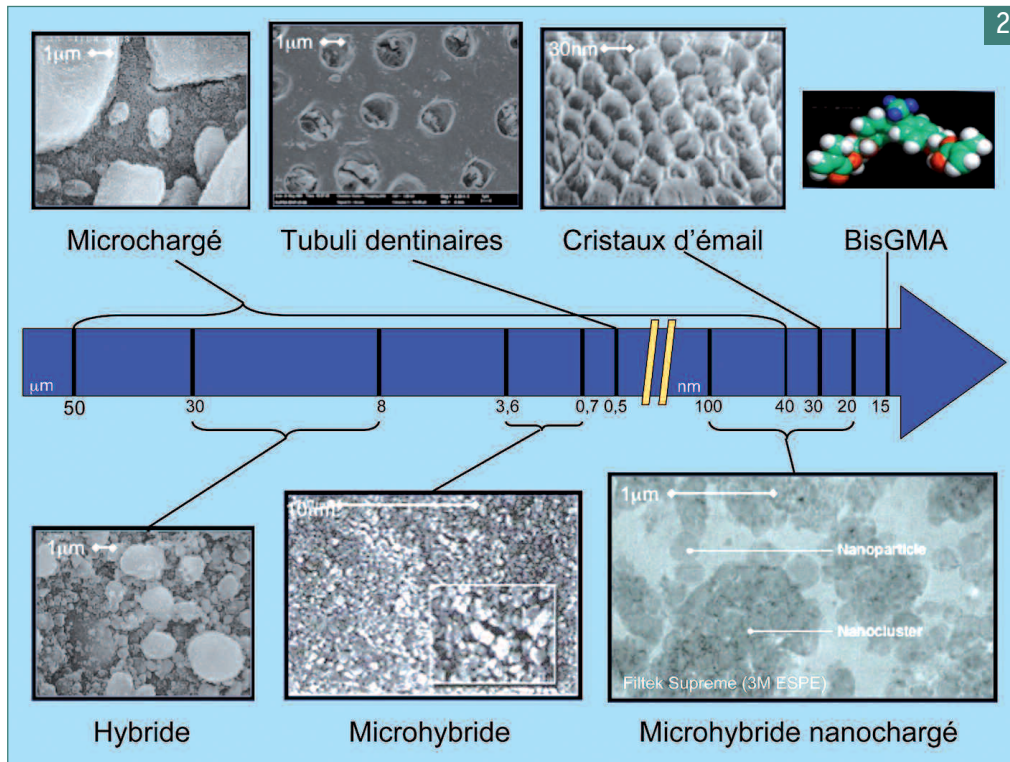
Very recently, 3M ESPE marketed a silorane-based composite resin (molecule obtained by the combination of a siloxane and an oxirane) whose chemical polymerization process is very different to that of other families. By their specific organization, the form of these molecules limits the chemical retraction phenomenon during polymerization.

### The ionorganic phase

The inorganic phase corresponds to fillers found within the matrix. It is most often made up of particles of quartz or silicate glass.

The main development recently found lies in the provision of nanotechnology (production and manipulation of particles of about 20 to 75 nanometers). This has allowed the advent of a new family of materials : the microhybride nanofiller composites obtained from the reduction of the size of particles and the modification of their distribution (**Fig. 2**). The filler rate is increased leaving less room for the matrix. A certain number of clinically interesting physico-chemical characteristics were modified (**Table 4**).





**Fig. 2** : Évolution de la réduction de la taille des charges d'après (a) Premise Technical Manual, Kerr. (b) Macpherson et al. Chem. Soc. Faraday Trans. 1995 ; 91 : 1407. (c) Schwartz et al. J. Endod. 1998 ; 24 : 564-7. (d) Beun et al. Dent. Mater. 2007 ; 23 : 51-9. (e) Filtek Supreme XT, Universal Restorative system, Technical Product Profile, 3M ESPE.

*Evolution of the filler size after (a) Premise Technical Manual, Kerr. (b) Macpherson et al. Chem. Soc. Faraday Trans. 1995;91:1407. (c) Schwartz et al. J. Endod. 1998;24:564-7. (d) Beun et al. Dent. Mater. 2007;23:51-9. (e) Filtek Supreme XT, Universal Restorative system, Technical Product Profile, 3M ESPE.*

**Tableau 4 - Avantages et inconvénients des résines composites conventionnelles**

Familles de composites	Avantages	Inconvénients
Macrochargés	- Bonnes caractéristiques mécaniques	- Caractéristiques de surfaces inappropriées - Mauvaise résistance à l'usure
Microchargés : microchargés, microchargés renforcés	- Grande résistance à l'abrasion appropriée - Bonne qualité de surface (polissage rapide et facile, garde son poli longtemps) - Bonnes caractéristiques optiques	- Fort retrait de polymérisation - Faible module de flexion - Faible résistance mécanique
Hybrides : hybrides, microhybrides	- Résistance physique plus élevée, - Bon rendu esthétique	- Retrait de polymérisation toujours existant - Propriétés mécaniques encore perfectibles



Table 4 - Advantages and disadvantages of conventional composite resins

Family of composites	Advantages	Disadvantages
Macrofiller	- Good mechanical characteristics	- Inappropriate surface characteristics - Poor wear resistance
Microfiller : microfiller, reinforced microfiller	- Strong resistance to appropriate abrasion - Good surface quality (easy and rapid polishing, keeps luster for a long time) - Good optical characteristics	- Strong polymerization shrinkage - Weak module bending - Weak mechanical resistance
Hybrides : hybrides, microhybrides	- Higher physical resistance - Good aesthetics quality	- Lasting polymerization shrinkage - Mechanical properties still perfectible

## La phase interfaciale

La phase interfaciale correspond à l'agent de couplage entre la matrice et les charges. Il s'agit de dérivés des organosilanes qui vont lier chimiquement la matrice et les charges. Les plus récentes évolutions visent à améliorer cette liaison afin de réduire la solubilité et de prolonger ainsi la durée de vie des restaurations.

En analysant les répercussions des avancées technologiques proposées aujourd'hui pour les différentes phases, nous pouvons avoir une idée de l'intérêt clinique des « progrès » promis par les fabricants au travers des « nouveautés » mises sur le marché. Nous pouvons ainsi discuter de l'amélioration des matériaux rapportée :

- à l'aspect physique (propriétés mécaniques, résistance à l'usure et à l'abrasion, retrait de polymérisation)
- à l'aspect esthétique
- au vieillissement (maintien du polissage et de l'état de surface, absorption d'eau, solubilité)
- à l'aspect biologique (biocompatibilité, activité antibactérienne, relargage de fluor)

## Caractéristiques des nouvelles résines composites et améliorations cliniques

### Aspect physique

#### **Propriétés mécaniques**

Les performances mécaniques des résines composites s'évaluent en tant que résistance à la fracture

## The interfacial phase

The interfacial phase corresponds to the coupling agent between the matrix and the fillers. It is derived from organosilanes that will chemically link the fillers with the matrix. Most of the recent developments aim to improve this link to eventually reduce the solubility and extend the lifespan of these restorations.

In analyzing the impact of technological advances currently offered for the different phases, we can have an idea of the clinical interest of the « progress » promised by the manufacturers through « innovations » marketed. We can therefore discuss the improvements on the materials reported according to :

- the physical aspect (mechanical properties, resistance to wear and abrasion, withdrawal of polymerization)
- the aesthetic aspect
- their ageing (maintains luster and surface state, water absorption, solubility)
- the biological aspect (biocompatibility, antibacterial activity, release of fluoride).

## Characteristics and clinical improvements of novel composite resins

### Physical aspect

#### **Mechanical properties**

The mechanical performance of composite resins is evaluated according to its resistance to frac-







**Fig. 3 :** Fracture au sein d'une restauration composite.  
*Fracture of a composite restoration.*

**(Fig. 3).** Elles sont caractérisées par le module élastique (variant en moyenne de 5,2 GPa pour les microchargés à 9,3 GPa pour les microhybrides), le module de flexion (de 66,3 MPa pour les microchargés et 109,8 MPa pour les microhybrides) et la dureté Vickers (de 30,8 pour les microchargés à 57,0 pour les microhybrides) (Raskin et coll., 2005). La taille et la quantité des charges influencent principalement les propriétés mécaniques.

Le taux de charges en poids des résines composites microhybrides et microhybrides nanochargés (72,0 à 86,0 %) étant significativement plus élevé que celui des microchargés (46,0 à 77,0 %) (Raskin et coll., 2005), il est donc attendu que leurs propriétés mécaniques soient accrues.

Une étude menée par Beun et coll. (2007) visait à comparer la fraction inorganique et les propriétés mécaniques de 3 composites microhybrides nanochargés (Filtek Supreme [3M ESPE], Grandio et Grandio Flow [Voco]), de 4 composites hybrides (Point 4 [Kerr], Tetric Ceram [Ivoclar Vivadent], Venus [Heraeus Kulzer] et Z 100 [3M ESPE]) et de 2 composites microchargés (A 110 [3M ESPE], Durafill VS [Heraeus Kulzer]). Les résultats de cette étude ont montré, pour les composites microhybrides nanochargés, un module élastique significativement plus élevé que celui des composites hybrides et microchargés et une résistance en flexion équivalente. Peu d'études *in vitro* et aucune *in vivo* sont disponibles sur ce sujet. Les autres auteurs ne corrélaient pas l'évolution des charges avec une amélioration des propriétés mécaniques, mais aucune ne montre une diminution des caractéristiques. Nous pouvons conclure que les propriétés mécaniques de ces matériaux sont au moins aussi bonnes que celles des composites hybrides.

**(Fig. 3).** They are characterized by the modulus of elasticity (average range from 5.2 GPa for the microfiller to 9.3 GPa for the microhybrides), the bending modulus (from 66.3 MPa for the microfiller and 109.8 MPa for the microhybrides) and the Vickers hardness (from 30.8 for the microfiller to 57.0 for the microhybrides) (Raskin et al., 2005). The size and quantity of fillers principally influence the mechanical properties.

The weight proportion of fillers in microhybride and microhybride nanofiller composite resins (72.0 to 86.0 %) are significantly much higher than that of microfilled (46.0 to 77.0 %) (Raskin et al., 2005), therefore it is expected that their mechanical properties are increased.

A study conducted by Beun et al. (2007) aimed to compare the inorganic fraction and the mechanical properties of 3 microhybrides nanofilled composites (Filtek Supreme [3M ESPE], Grandio and Grandio Flow [Voco]) to 4 hybride composites (Point 4 [Kerr], Tetric Ceram [Ivoclar Vivadent], Venus [Heraeus Kulzer] and Z 100 [3M ESPE]) and to 2 microfilled composites (A 110 [3M ESPE], Durafill VS [Heraeus Kulzer]). The results of this study showed that for the microhybride nanofilled composites, their elastic module is significantly higher than that of hybride and microfilled composites and have an equivalent resistance to bending. Few *in vitro* studies and no *in vivo* studies are available on this subject. Other authors do not correlate the evolution of fillers with the development of the mechanical properties, but none showed a decrease in characteristics. We can conclude that the mechanical properties of these materials are also as good as those of hybride composites.

La matrice a également une influence sur la résistance à la flexion. Le Bis-GMA, molécule la plus fréquemment utilisée, reste la référence dans ce domaine. Le silorane récemment arrivé s'inscrit dans la moyenne des valeurs des autres molécules. Il serait relativement aisé d'obtenir les mêmes propriétés avec d'autres composés (les dérivés des méthacrylates et les oxiranes) mais les performances n'étant pas jugées significativement améliorées, ils ne sont pas développés industriellement.

En synthèse, les composites microhybrides nanochargés, grâce à leur taux de charge augmenté, pourraient présenter des propriétés mécaniques meilleures ; mais l'absence d'étude *in vivo*, ne nous donne pas d'informations cliniques et cette hypothèse doit être validée dans le temps. Dans ce domaine, les nouvelles molécules utilisées pour la matrice ne présentent pas d'améliorations significatives.

### Résistance à l'usure et à l'abrasion

La résistance à l'usure caractérise la capacité du matériau à assurer le maintien de la forme et de l'intégrité de la restauration sous l'effet des contraintes de mastication (Fig. 4). La référence idéale est l'émail de la dent naturelle.

Il existe un certain nombre d'études menées *in vitro* nous permettant d'analyser la résistance à l'usure de ces nouveaux matériaux et de les comparer avec les matériaux de génération antérieure. Des arguments intéressants sont apportés par une étude *in vitro* réalisée par Yap et coll., (2004) qui a montré que la résistance à l'usure d'un composite microhybride nanochargé (Filtek Supreme [3M ESPE]) est comparable voire supérieure à celle de composites microchargés et microhybrides (Filtek A110 [3M ESPE], EsthetX [Dentsply]). L'explication tient au fait que l'usure des composites décroît avec l'augmentation du taux de charges. Ainsi, pour un volume fixé de charges, une taille plus fine des particules donne des espaces inter-particules plus faibles, une meilleure protection de la matrice résineuse et donc moins d'arrachement des charges. La surface ainsi augmentée de ces nanocharges permettrait aussi d'améliorer l'adhésion à l'interface charge / matrice et donc de limiter l'usure.

En revanche, une autre étude *in vitro*, menée par Turssi et coll. (2006) montre des résultats contradictoires en comparant la résistance à l'usure et les performances de fatigue de 5 résines composites (4 microhybrides nanochargées : Ceram-X mono [Dentsply], Filtek Supreme [3M ESPE], Grandio [Voco], Premise [Kerr], et 1 microchargée : Heliomolar [Ivoclar Vivadent]). Pour certains d'entre eux, une diminution minimale de ces propriétés peut être expliquée par le fait que les charges nanomé-

The matrix equally influences the resistance to bending. The molecule most frequently used, Bis-GMA, remains the benchmark in this field. The Silorane was recently developed and registered in the average value of other molecules. It would be relatively easy to obtain the same properties with other compounds (methacrylates and oxiranes derivatives) but their results were not better and were not industrially exploited.

In summary, the microhybride nanofilled composites can offer better mechanical properties owing to their increased filler rate. However, the lack of an *in vivo* study, does not give us clinical informations and this hypothesis must be validated in time. In this field, recently used matrix molecules does not provide significant improvements.

### Resistance to wear and abrasion

The resistance to wear is characterized by the capacity of the material to maintain the form and the integrity of the restoration under the effects of masticatory constraints (Fig. 4). The ideal reference is the enamel.

Several studies conducted *in vitro* allow us to analyze the wear resistance of these new materials and to compare them with materials of earlier generation. Some interesting arguments were made by an *in vitro* study carried out by Yap et al. (2004) who showed that the wear resistance of a microhybride nanofilled composite (Filtek Supreme [3M ESPE]) was comparable or even superior to certain microfilled and microhybride composites (Filtek A110 [3M ESPE], EsthetX [Dentsply]). The explanation lies in the decrease of composite wear with the increase of filler rate. Thus, for a fixed volume of fillers, finer particle size gives lesser interparticle spaces, a better protection for the resinous matrix and therefore less filler tearing. The surface with an increase of nanofillers also allows improvement in the filler-matrix interface adhesion hence limiting its wear.

On the other hand, another *in vitro* study lead by Turssi et al. (2006), showed contradictory results when wear resistance and fatigue performance of 5 composite resins (4 microhybride nanofillers: Ceram-X mono [Dentsply], Filtek Supreme [3M ESPE], Grandio [Voco], Premise [Kerr], and one microfilled : Heliomolar [Ivoclar Vivadent]) were compared. For some of them, a minimal decrease in their properties maybe explained by the fact that the



**Fig. 4 :** Abrasion cervicale d'un composite.  
*Cervical abrasion of composite.*

triques soient trop petites pour offrir une quelconque accroche sous l'effet des contraintes occlusales. Selon les résultats de cette étude, les composites microhybrides nanochargés donnent des performances similaires voire moins bonnes que le composite microchargé.

Il existe peu d'évaluations cliniques sur l'apport de la nanotechnologie quant à la résistance à l'usure. Bharadwaj et coll. (2005) ont proposé une évaluation *in vivo* de l'usure d'un composite microhybride nanochargé (Filtek Supreme [3M ESPE]), d'un microhybride (Z100 [3M ESPE]) et de l'émail humain pendant un an. Les résultats de cette étude ont montré que le composite microhybride nanochargé a une abrasion similaire à celle du microhybride, les deux matériaux ayant montré une abrasion similaire à celle de l'émail humain. Cependant, l'état de surface du microhybride est significativement moins bon que celui du microhybride nanochargé ce que nous pouvons expliquer par le mode d'usure du Filtek Supreme (3M ESPE). En effet, ce matériau contient des nanoparticules de silice colloïdale (de 40 nm de diamètre) soit isolées, soit regroupées en grappes (nanoclusters) dispersées dans la matrice. L'usure se produirait par arrachement d'une nanoparticule du nanocluster et non par l'arrachement d'un nanocluster entier. Ce mode de détérioration laisserait des défauts minimes offrant une surface plus lisse par rapport à un composite hybride qui possède des charges de plus grande dimension.

Concernant les modifications de la matrice, une piste intéressante a été trouvée avec l'intégration de nouveaux monomères : les oxiranes. Les résultats d'une étude comparative par rapport à un composite microhybride de référence (Z 100 [3M ESPE]) sont encourageants mais ce matériau est encore au stade expérimental (Palin et coll., 2005). Les siloranes, molécules

nanometric fillers were too small to cause tearing as a result of occlusal constraints. According to the results of this study, the microhybride nanofilled composites give similar results or even inferior to the microfilled composite.

There are few clinical assessments on the contribution of nanotechnology to wear resistance. Bharadwaj et al. (2005) proposed a 1-year *in vivo* wear evaluation of a microhybride nanofilled composite (Filtek Supreme [3M ESPE]), a microhybride (Z100 [3M ESPE]) and human enamel. The results of this study showed that the microhybride nanofilled composite had an abrasion similar to that of the microhybride, the 2 materials having shown an abrasion similar to that of the human enamel. However, the surface state of the microhybride is significantly inferior to that of the microhybride nanofilled, which is explained by the type of wear of the Filtek Supreme (3M ESPE). Indeed, this material contains colloidal silica nanoparticles (40 nm in diameter) either isolated or grouped in clusters (nanoclusters) dispersed in the matrix. Wear is produced by tearing of the nanocluster nanoparticle and not by the tearing of the entire nanocluster. This method of deterioration leaves minimal defects giving a smoother surface compared with a hybride composite with fillers of bigger dimensions.

Regarding matrix alterations, the concept of integrating new monomers such as Oxiranes was found to be interesting. The results of a comparative study on a reference microhybride composite (Z 100 [3M ESPE]) were encouraging but this material is still in the experimental stage (Palin et al., 2005). The Siloranes, whose molecules were derived from the

dérivées des précédentes, enregistrent également une bonne résistance à l'abrasion.

Les premiers résultats cliniques concernant les composites microhybrides nanochargés suggèreraient une amélioration relative des performances vis-à-vis de l'usure. Le fort taux de charge présent dans ces composites est un facteur favorable pour la résistance à l'usure. Cependant les études comparatives *in vitro* montrent des améliorations peu significatives par rapport aux composites microhybrides et microchargés et les premiers résultats cliniques ne donnent pas de différence significative avec les composites microhybrides.

Les études cliniques impliquant l'utilisation des composites à base de siloranes ne présentent pas encore de recul suffisant pour être validées.

### Retrait de polymérisation

Le retrait de polymérisation des résines composites résulte d'une réaction chimique en chaîne permettant la conversion des monomères de résine en un réseau de polymère. Il crée alors un stress de contraction au sein du matériau qui peut être fatal à l'étanchéité interfaciale. L'importance du retrait est fonction du volume occupé par les charges, de la composition du matériau et du degré de conversion obtenu lors de la polymérisation (Kleverlaan et Feilzer, 2005). La contraction de polymérisation est le principal facteur d'échecs cliniques. Elle est responsable du manque d'adaptation marginale, des microfractures, de la perte d'étanchéité, des sensibilités post-opératoires et des caries secondaires (Fig. 5a et 5b).

Le développement de nouveaux monomères est une piste intéressante dans la lutte contre le retrait de polymérisation. Actuellement, les dérivés des méthacrylates sont les molécules les plus utilisées, car elles présentent le meilleur compromis entre de bonnes propriétés mécaniques, une viscosité et un retrait acceptables. Les voies de recherche au niveau de la matrice peinent à aboutir, car la création d'une résine présentant un retrait quasi nul pourrait avoir des effets néfastes sur d'autres propriétés mécaniques. Le Filtek Silorane (3M ESPE) qui a été développé dans ce sens est le premier à être mis sur le marché. Sa base moléculaire et son mode de polymérisation lui confèrent un retrait de polymérisation théorique réduit (inférieur à 1 %). Plusieurs études *in vitro* (Bouillaguet et coll., 2006) mettent en évidence cet avantage, mais aucune étude clinique indépendante ne peut encore le confirmer.

L'apport de charges nanométriques pourrait contribuer à la diminution de ce retrait de polymérisation. En effet, leur utilisation permet, par l'augmentation du taux de charge, une diminution de l'importance de la place laissée à la matrice.

former mentionnés, également ont donné de bons résultats résistants à l'usure.

Les premiers résultats cliniques concernant les composites microhybrides nanofillés ont suggéré une amélioration relative des performances en matière de résistance à l'usure. Le haut taux de charge présent dans ces composites est un facteur favorable pour la résistance à l'usure. Cependant, ces études comparatives *in vitro* sur les composites microhybrides et microfillés ont montré de faibles améliorations et les premiers résultats cliniques sur les composites microhybrides n'ont pas montré de différence significative.

Les études cliniques utilisant des composites à base de Silorane, qui ne présentent pas encore de résultats à long terme, ne peuvent pas encore être validées.

### Polymerization shrinkage

Le retrait de polymérisation des résines composites résulte d'une réaction chimique en chaîne permettant la conversion des monomères de résine en un réseau de polymère. Il crée alors un stress de contraction au sein du matériau, ce qui peut être fatal à l'étanchéité interfaciale. L'importance du retrait dépend du volume occupé par les charges (Kleverlaan et Feilzer, 2005). Le retrait de polymérisation est le principal facteur d'échecs cliniques. Il est responsable du manque d'adaptation marginale, des microfractures, de la perte d'étanchéité, de la sensibilité post-opératoire et des caries secondaires (Fig. 5a et 5b).

Le développement de nouveaux monomères est d'un grand intérêt pour prévenir le retrait de polymérisation. Actuellement, les dérivés des méthacrylates sont les molécules les plus utilisées, car ils offrent le meilleur compromis entre de bonnes propriétés mécaniques, une viscosité et un retrait acceptables. Les recherches sur la matrice ont des difficultés à aboutir, car la création d'une résine présentant un retrait quasi nul pourrait avoir des effets néfastes sur d'autres propriétés mécaniques. Le Filtek Silorane (3M ESPE), qui a été développé dans ce sens, est le premier à être commercialisé. Sa base moléculaire et son mode de polymérisation lui confèrent un retrait de polymérisation théorique réduit (>1%). Plusieurs études *in vitro* (Bouillaguet et al., 2006) ont souligné cet avantage, mais aucune étude clinique indépendante ne peut encore le confirmer.

L'ajout de charges nanométriques peut contribuer à réduire le retrait de polymérisation. En effet, leur utilisation permet, par l'augmentation du taux de charge, une diminution de l'importance de la place laissée à la matrice.



Fig. 5 : Infiltrations du joint dent-obturation / *Infiltrations of dento-prosthetic junction.*

Le retrait linéaire de polymérisation des composites (microchargés et microhybrides) est compris entre 2,58 et 3,08 % (Raskin et coll., 2005). En revanche, les fabricants qui commercialisent des composites microhybrides nanochargés annoncent des retraits moins importants comme par exemple : pour le Filtek Supreme (3M ESPE) 2,09 %, pour le Premise (Kerr) de 1,4 à 1,6 % et pour le Grandio (Voco) de 1,57 %. Les réelles répercussions cliniques de ces valeurs devraient mettre en évidence des améliorations.

Or, il existe 3 études cliniques qui évaluent ce point (Dresch et coll., 2006 ; Ernst et coll., 2006 ; Sakrana et coll., 2004). Les résultats en sont contradictoires. Deux études ne montrent aucune différence significative. En revanche, la troisième met en évidence des lésions carieuses secondaires survenues au niveau des obturations réalisées avec le composite microhybride nanochargé (Palfique Estelite [Tokuyama]), alors qu'il n'y en a pas eu avec le composite microhybride (Palfique Toughwell [Tokuyama]) ! Ceci s'expliquerait par le fait que l'adjonction de diluants est souvent nécessaire pour contrebalancer l'augmentation rapide de la viscosité des microhybrides nanochargés ; ceci accroît, au final, leur rétraction de prise (Raskin et coll., 2005). Ces résultats semblent montrer que l'apport de nanocharges, permettant de réduire théoriquement le retrait de polymérisation, reste théorique.

Incontestablement aujourd'hui, pour les matériaux composites microhybrides nanochargés comme pour les autres matériaux composites, le retrait de polymérisation existe toujours. Les conséquences cliniques qui en découlent, restent les mêmes. Le respect des recommandations de mise en œuvre reste indispensable pour le succès clinique (application par strates, par petits incréments polymérisés successivement).

The linear polymerization shrinkage of composites (microfiller and microhybride) is between 2,58 and 3,08 % (Raskin et al., 2005). Although manufacturers who market microhybride nanofilled composites advertise that there is lesser shrinkage for products like Filtek Supreme (3M ESPE) with only 2,09 %, Premise (Kerr) from 1,4 to 1,6 % and Grandio (Voco) with 1,57 %. The real clinical implications of these values must emphasize on the developments.

Hence, there are 3 clinical studies that evaluate this argument (Dresch et al., 2006 ; Ernst et al., 2006 ; Sakrana et al., 2004). The results are contradictory. Two studies did not show any significant difference. However, the third study showed that secondary caries lesions occurred in the restorations filled with microhybride nanofilled composite (Palfique Estelite [Tokuyama]) but were absent with microhybride composite (Palfique Toughwell [Tokuyama]). This can be explained by the fact that the addition of thinners is often necessary to counterbalance the rapid increase of microhybride nanofilled viscosity thus finally increase their retraction (Raskin et al., 2005). These results seem to prove that the loading of nanofillers theoretically allows the reduction of the polymerization shrinkage.

Undoubtedly today, for the microhybride nanofilled composite materials like that of other composite materials, the polymerization shrinkage still exists. The clinical consequences arising therefrom remain the same. Compliance with the recommendations of implementation remains indispensable for clinical success (application in layers, by small increments successively polymerized).

Le Filtek Silorane, associé à son adhésif spécifique, est aujourd'hui le seul matériau composite dont la matrice présente un retrait de polymérisation inférieur à 1 %. Les répercussions cliniques favorables qui en sont attendues ne sont pas encore validées, par manque d'études et de recul.

## Aspect esthétique

L'intégration esthétique d'une restauration, surtout dans le secteur antérieur, reste un challenge complexe. Un résultat immédiat de qualité consiste en l'imitation de la couleur, de la forme et de la texture de la dent naturelle. Depuis plusieurs années, les techniques de stratification ont notablement amélioré les propriétés optiques des restaurations (**Fig. 6a, 6b et 6c**). Aujourd'hui, il est suggéré que l'utilisation de composites microhybrides nanochargés permettrait une meilleure distribution des pigments ce qui conférerait au matériau le potentiel d'améliorer la continuité entre les structures dentaires et ces particules et donc de fournir une interface optique plus stable et plus naturelle (Terry 2004). Ce point, assez subjectif, est difficile à vérifier.

En revanche, les changements de teintes au cours du temps sont une difficulté fréquente. Ils peuvent être attribués à différentes causes : une dégradation chimique, une oxydation de la double liaison de carbone non réagie, une accumulation de tâches, une déshydratation, des fissures, une faible adhésion, une rugosité de surface, etc ... (Lee et coll., 2004). Une étude réalisée par Lee et coll. (2005) a eu pour but d'évaluer les changements de couleur significatifs après vieillissement. La magnitude du changement de couleur varie selon les caractéristiques des composites. Ainsi, un composite nanohybride (Filtek Supreme [3M ESPE]) et un composite microhybride (Point 4 [Kerr]) présentent de relativement faibles changements de couleur, alors qu'un composite hybride (Charisma [Heraeus Kulzer]) et deux composites microhybrides (Clearfil AP-X [Kuraray] et Esthet-X [Dentsply]) présentent des changements plus importants.

Trois études cliniques analysent ce point : Ernst, Dresch, Sakrana (Dresch et coll., 2006 ; Ernst et coll., 2006 ; Sakrana et coll., 2004). Ernst et Dresch n'ont pas mis en avant de différence significative. En revanche, Sakrana a trouvé un changement significatif de teinte pour le composite microhybride (Palfique Toughwell [Tokuyama]), alors que le composite microhybride nanochargé (Palfique Estelite [Tokuyama]) n'en pas eu. Ceci est à mettre en relation tout d'abord avec les habitudes du patient (fumeur, buveur de café ou de

The Filtek Silorane, associated with its specific adhesive, is at present the only composite material in which the matrix exhibits polymerization shrinkage inferior to 1 %. The favorable clinical implications expected are not yet validated by the lack of long-term studies.

## Aesthetic aspect

The aesthetic integration of a restoration remains a complex challenge especially in the anteriors. An immediate result of quality is the imitation of the color, form, texture of the natural tooth. For several years, the stratification techniques have notably improved the optic properties of restorations (**Fig. 6a, 6b and 6c**). Nowadays, it is suggested to use microhybride nanofilled composites to allow better pigment distribution conferring with the materials potential of improving the continuity between the dental structures and these particules, thus providing a more stable and natural optical interface (Terry 2004). This quite subjective argument is difficult to verify.

On the other hand, color changes over time are frequent complications. They may be attributed to different reasons : chemical degradation, non-reactive oxidation of the carbon double bond, stain accumulation, dehydration, fissures, poor adhesion, surface rugosity, etc. (Lee et al., 2004). A study conducted by Lee et al. (2005) aimed to evaluate the color changes significant after aging. The magnitude of color change varies according to the composite characteristics. Thus a nanohybride composite (Filtek Supreme [3M ESPE]) and a microhybride composite (Point 4 [Kerr]) have relatively weak color change, while a hybride composite (Charisma [Heraeus Kulzer]) and 2 microhybride composites (Clearfil AP-X [Kuraray] and Esthet-X [Dentsply]) present more important changes.

Clinical studies by Ernst, Dresch, Sakrana (Dresch et al., 2006 ; Ernst et al., 2006 ; Sakrana et al., 2004) analyzed this standpoint. Ernst and Dresch did not put forward any significant difference. On the other hand, Sakrana found a significant change in the color of microhybride composite (Palfique Toughwell [Tokuyama]) while none was found for the microhybride nanofilled composite (Palfique Estelite [Tokuyama]). This is linked with the patient's habits (smoker, coffee or tea drinker...) as well as the man-



**Fig. 6 :**  
Restoration par stratification esthétique.  
*Restoration by aesthetic stratification.*

thé, ...), mais aussi avec le mode d'usure et de polissage qui peuvent accélérer l'altération de la teinte. Les agents de couplage pourraient aussi avoir une influence sur les propriétés optiques. Une technique de pré-traitement des charges largement utilisée a permis d'améliorer le lien entre la matrice et les charges et de produire des composites dont la teinte est plus translucide (Shirai et coll., 2000 ; Yoshida et coll., 2002). Le potentiel esthétique est ainsi amélioré. D'après les premiers résultats expérimentaux et cliniques, les résines composites microhybrides nanochargées permettent, par la diminution de la taille des charges, une meilleure distribution des pigments et donc d'améliorer le mimétisme de la restauration. Ces résines semblent par ailleurs montrer une bonne stabilité de la teinte immédiatement après le polissage et dans le temps. L'apport de nanocharges au sein des résines composites les plus récentes pourrait donc représenter un progrès intéressant en ce qui concerne l'intégration esthétique des restaurations mais aucun renseignement ne nous est donné sur le long terme.

ner of wear and polishing, which can increase the color alteration. The coupling agents can also have an influence on the optic properties. A pre-treatment technique of largely used fillers allowed improvement between the matrix-filler link and produced composites with more translucent colors (Shirai et al., 2000 ; Yoshida et al., 2002). The aesthetic potential is therefore improved. After the initial experimental and clinical results, the microhybride nanofilled composite resins allow by the decrease in the fillers size, a better distribution of pigments and thus improve the mimicry of the restoration. These resins also appear to show good color stability immediately after polishing and in the long run. The most recent contribution of nanofillers within composite resins therefore represents an exciting development with regard to aesthetic restorations but no information is given to us over the long term.

## Vieillesse

### Maintien du polissage et de l'état de surface

Le polissage permet de conférer au matériau des propriétés de surface qui vont influencer sur sa durée de vie. Les techniques de polissage (strips et disques abrasifs, fraises diamantées, cupules siliconées, pâtes à polir de granulométries décroissantes, ...) sont essentiellement responsables du rendu immédiat de la restauration en lui donnant un aspect lisse, similaire à celui de la dent, et reproduisant les effets de réflexion lumineuse (**Fig. 7a et 7b**). L'aptitude au polissage d'une résine composite dépend de la dimension moyenne des particules minérales qui la composent.

Les premières évaluations cliniques semblent montrer que les composites microhybrides nanochargés peuvent apporter une amélioration concernant l'aptitude au polissage et le maintien dans le temps de l'état de surface lisse.

Parmi les composites microhybrides nanochargés, plusieurs études concernent le Filtek Supreme (3M ESPE). Elles ont mis en évidence un mode de polissage et d'usure particulier. En effet, les charges sont distribuées de deux façons au sein de la matrice : soit libres (nanoparticule de 20 nm de diamètre), soit regroupées en grappe (nanoclusters de 0,6 à 1,4 µm de diamètre). Les phénomènes de polissage et d'usure se produisent en arrachant une nanoparticule d'un nanocluster et non pas par l'arrachage d'un cluster entier. Ceci permet d'avoir une surface plus lisse par rapport à un composite hybride qui possède des charges de plus grande dimension, et dont l'exfoliation d'une charge laisse une surface plus rugueuse. L'utilisation de nanoparticules permettrait ainsi théoriquement une meilleure résistance à l'abrasion ainsi qu'une rétention du poli plus importante (Ernst et coll., 2006).

## Aging

### Persistance of luster and surface polish

Polishing confers with the materials surface properties, which can then influence its life span. The polishing techniques (abrasive strips and disks, diamond burs, silicon rubber cups, polishing paste of decreasing granulometries, ...) which are essentially responsible for immediately rendering a smooth aspect to the restoration, similar to that of the natural tooth and reproducing the effects of light reflection (**Fig. 7a and 7b**). The ability to polish composite resin depends on the average size of the mineral particles that compose it.

The initial clinical evaluations seem to show that the microhybride nanofilled composites can bring about an improvement in surface luster and maintain a smooth surface at long-term.

Amongst the microhybride nanofilled composites, several studies were carried out on Filtek Supreme (3M ESPE). They highlight a particular polishing and wear technique. Indeed, the fillers are distributed in two methods within the matrix: either freely (20 nm diameter nanoparticle), or regrouped in clusters (0.6 to 1.4 µm diameter nanoclusters). The polishing and wear phenomena occurs when a nanoparticle is torn off from a nanocluster and not the tearing of the entire cluster. This allows a smoother surface compared with a hybride composite that has fillers of bigger dimensions, thus shedding of the filler leaves a rougher surface. Theoretically, the use of nanoparticles allows better resistance to abrasion as well as a better polishing retention (Ernst et al., 2006).



**Fig. 7 :** Illustration de différentes techniques de polissage / *Examples of different polishing techniques.*





**Fig. 8 :** Solubilité d'une résine composite.  
*Solubility of composite resin.*

### Absorption d'eau, solubilité

Les problèmes de solubilité et d'absorption d'eau sont des phénomènes directement impliqués dans la dégradation des restaurations en réduisant leur durée de vie et en minimisant les propriétés mécaniques et physiques (par rupture du lien entre le silane et les charges, entre la matrice et les charges, ou même par une hydrolyse des charges) (**Fig. 8**).

Dans un environnement aqueux, les composites absorbent l'eau et relarguent des monomères non polymérisés. Cependant il a été suggéré qu'une absorption minimale puisse être bénéfique pour provoquer une expansion du composite qui compenserait le retrait de polymérisation initial. Aujourd'hui, c'est pour les méthacrylates et ses dérivés que l'équilibre est le mieux maîtrisé (Sideridou et coll., 2003). Pour résister à la dégradation, les composites doivent être le moins soluble possible. Ce phénomène se développe essentiellement au sein de la matrice. Parmi les nouveaux monomères, les siloranes seraient les moins solubles (Eick et coll., 2002 ; Eick et coll., 2006). À ce jour, il n'y a pas d'études comparant de façon précise les taux de solubilité des composites du commerce. La qualité du couplage au silane va également influencer la solubilité du matériau. En effet en renforçant l'adhésion des molécules de charges à la matrice, il va améliorer la stabilité à l'hydrolyse en empêchant la pénétration des molécules d'eau (Halvorson et coll., 2003).

Le couplage peut être optimisé de deux manières :

- en utilisant de nouvelles molécules, qui vont présenter certaines améliorations par rapport à la molécule de référence le  $\gamma$ -Méthacryloxy Propyl triméthoxy Silane ( $\gamma$ -MPS), mais actuellement aucune n'est présente dans les composites commercialisés,
- en réalisant un pré-traitement de la surface des charges avant leur incorporation à la matrice. En effet une

### Water absorption, Solubility

The problem of solubility and water absorption are phenomena directly involved in the degradation of restorations that reduce their life span and minimize their mechanical and physical properties (by breaking the link between the silane and the fillers, between the matrix and the fillers, or even by filler hydrolysis (**Fig. 8**)).

In an aqueous environment, composites absorb water and release non-polymerized monomers. However it was suggested that minimum absorption could be beneficial in provoking composite expansion that compensates to the initial polymerization shrinkage. Today, the balance of methacrylates and its derivatives are best controlled (Sideridou et al., 2003). To resist degradation, composites must be less soluble as possible. The phenomenon develops essentially within the matrix. Amongst the new monomers, the siloranes are less soluble (Eick et al., 2006).

To date, there are no studies precisely comparing the rate of solubility of composites in the market.

The quality of silane linkage will equally influence the solubility of the material. By reinforcing the adhesion of filler molecules to the matrix, it will improve hydrolysis stability by preventing the penetration of water molecules (Halvorson et al., 2003).

The linkage may be optimized in 2 ways :

- by using new molecules which will provide certain enhancements compared to the reference molecule (the  $\gamma$ -MPS), but none is currently present in the marketed composites,
- performing pre-treatment of the filler surface before being incorporated into the matrix. In fact at the



contamination est présente à la surface des charges, et peut altérer le couplage matrice/charges, il est donc intéressant de la diminuer afin d'améliorer les propriétés du matériau (Shirai et coll., 2000 ; Yoshida et coll., 2002). Ce procédé, simple, se généralise.

Le vieillissement d'un matériau ne peut évidemment s'évaluer que sur le long terme et les études actuelles manquent de recul pour apprécier cette caractéristique. Aujourd'hui encore, le facteur environnemental (physiologie bucco-dentaire, régime alimentaire, habitude de vie) reste primordial devant l'altération des restaurations composites. Les caractéristiques du matériau n'ont pas suffisamment évolué pour provoquer un changement significatif dans ce domaine.

## Aspect biologique

### **Biocompatibilité**

La biocompatibilité des résines composites reste un problème encore mal défini. Ce sont surtout les monomères libres, contenus dans la matrice résineuse, qui seraient susceptibles de causer des dommages cellulaires. La biocompatibilité d'un monomère peut être évaluée à l'aide de l'ensemble des relations existantes entre le matériau et son milieu et des conséquences locales ou générales, immédiates ou différées, réversibles ou irréversibles. Les matrices époxy semblent être une voie de recherche intéressante comme alternative au TriEthylGlycidylDiMéthAcrylate (TEGDMA) qui serait potentiellement toxique (Eick et coll., 2002 ; Janke et coll., 2003). Les oxiranes présentent également un bon profil de biocompatibilité (Eick et coll., 2002). Les siloranes se montrent aussi faiblement toxiques.

Aujourd'hui, compte tenu des études de santé publique relativement faibles, concernant la biocompatibilité des résines composites, l'utilisation de ces nouveaux monomères n'a pas trouvé d'argument fort. Mais la vigilance, face à cet aspect, doit rester entière, afin de ne pas répéter les difficultés du passé.

### **Activité antibactérienne**

Les restaurations composites une certaine sensibilité vis à vis des récidives carieuses, la recherche s'est donc naturellement orientée vers le développement de matériaux possédant une activité antibactérienne (**Fig. 9**).

Le composé le plus prometteur étudié actuellement *in vitro* est un ammonium quaternaire : le MDPB (12-Méthacryloyloxydo-DecylPeridinium Bromide). Il peut être incorporé sous deux formes :

- directement contenu dans la matrice, dans ce cas il n'est pas relargué, donc ses effets sont limités,

filler surface, there is contamination present that may alter the matrix-filler linkage. It is therefore interesting to decrease the contamination to improve the material properties (Shirai et al., 2000 ; Yoshida et al., 2002). This procedure is simple and popular.

Material aging can eventually be evaluated in the long-term and actual studies lack of long-term results to evaluate these characteristics. Currently, environmental factors (oral physiology, diet, lifestyle) remain essential before the alteration of composite restorations. Material characteristics have not sufficiently evolved to provoke a significative change in this area.

## Biological aspect

### **Biocompatibility**

The biocompatibility of composite resins remains an issue still unclear. They are mostly free monomers contained in the resin matrix, which are susceptible in causing cellular damage. The biocompatibility of a monomer can be assessed using all existing relationships between the material and its environmental consequences, local or general, immediate or delayed, reversible or irreversible. A good research subject is the epoxy matrix as an alternative to TEGDMA, which would otherwise be potentially toxic (Eick et al., 2002 ; Janke et al., 2003). The oxiranes have equally a good biocompatible profil (Eick et al., 2002). The Siloranes are also slightly toxic.

Today, taking into account relatively poor studies on public health concerning the biocompatibility of composite resins, the use of these new monomers found no strong justification. But vigilance facing this aspect must remain intact in order not to repeat the difficulties of the past.

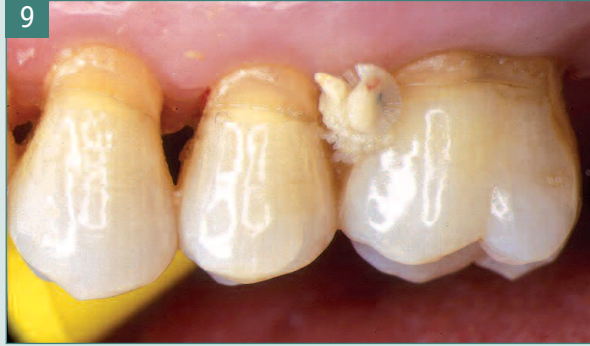
### **Antibacterial activity**

Composite restorations have certain susceptibility towards recurrent caries; the study was therefore oriented towards the development of materials with an antibacterial activity (**Fig. 9**).

The most promising compound that is currently studied *in vitro* is the quaternary ammonium: the MDPB (12-methacryloyloxydodecylperidinium bromide). It can be incorporated in two forms:

- directly included into the matrix, in this case it is not released therefore its effects are limited,





**Fig. 9 :** Vers des matériaux bioactifs pouvant limiter l'agression bactérienne ?

*Can bioactive materials limit the bacterial aggression?*

- contenu dans des charges de résine pré-polymérisées, son action par contact inhibe plus efficacement la croissance de *Streptococcus mutans*.

L'incorporation d'un tel type de charges modifie les propriétés mécaniques. La concentration optimale a été fixée à 2,3 % pour garder une manipulation aisée. Après polissage, l'effet de surface est optimal puisque dans le cas d'un composite chargé à 80 % de poids, la majeure partie de la surface est occupée par les charges (Ebi et coll., 2001 ; Imazato et coll., 2003).

L'incorporation de MDBP dans des charges résineuses semble être une voie prometteuse dans la limitation de l'accumulation de plaque, ce qui améliorerait le pronostic d'une restauration en composite dans un milieu buccal riche en *Streptococcus mutans* (dans le cas d'un patient polycarié). Mais cette technologie n'a pas encore été évaluée cliniquement sur une période significative.

### Relargage de fluor

Des fabricants ont également développé des matériaux relargant du fluor, possédant aussi des propriétés antibactériennes et de reminéralisation.

Des composites récemment développés contenant du fluor, ont été comparés avec des ciments verre-ionomères (CVI) : la cinétique de relargage est identique pour les 2 matériaux, mais les quantités sont bien moins importantes pour les composites. L'amélioration du relargage passe par une augmentation de l'hydrophilie du matériau, ce qui ne va pas dans le sens de l'amélioration des propriétés mécaniques.

Attar et coll. (2003) ont comparé les taux de relargage de différents composites du commerce présentés comme libérant du fluor. Parmi les matériaux étudiés, Wave [SDI] et Heliomolar flow [Ivoclar Vivadent] sont les plus performants, suivis du Tetric flow [Ivoclar Vivadent].

- included into the pre-polymerized resin fillers, its action by contact inhibits effectively the growth of *Streptococcus mutans*.

The incorporation of such type of fillers modifies the mechanical properties. The optimal concentration has been fixed at 2.3 % for easy manipulation. After polishing, in the case of an 80 % filled composite, the effect on the surface is optimal when the fillers occupies majority of the surface (Ebi et al., 2001 ; Imazato et al., 2003).

The incorporation of MDBP in resinous fillers seems to be a promising path in limiting plaque accumulation, which improves the prognosis of the composite restoration in the oral environment rich in *Streptococcus mutans* (in the case of a patient with polycaries). But this technology is not yet clinically evaluated within a significant period.

### Fluoride release

Manufacturers have also developed materials that release fluoride with anti-bacterial and remineralization properties.

These recently developed composites containing fluoride have been compared with glass-ionomer cements (GIC): the kinetics of fluoride release is identical for the 2 materials but the quantity is less important for the composites. The improvement of fluoride release passes through an increase of the hydrophilic material, which does not improve the mechanical properties.

Attar et al. (2003) compared the rates of fluoride release of different commercialized composites. Amongst the materials studied, Wave [SDI] and Heliomolar flow [Ivoclar Vivadent] were high in performance, followed by Tetric flow [Ivoclar Vivadent].



Actuellement aucune étude clinique ne met en évidence les possibilités thérapeutiques des composites censés libérer du fluor. Ces matériaux visent à combiner les propriétés mécaniques des composites, tout en ayant les capacités de relargage du fluor ; mais aujourd'hui le meilleur moyen d'associer les qualités de ces deux matériaux semble être encore leur utilisation conjointe dans une technique sandwich (associant ciment verre-ionomère et composite).

At present, no clinical study has proven the therapeutic possibilities of fluoride-releasing composites. These composite materials aims to combine the mechanical properties with the capacity of releasing fluoride; but nowadays the best way to associate these material qualities still seems to be their combined use in the sandwich technique (associating GIC with composite).

## Conclusion

Actuellement les avancées technologiques n'ont pas encore permis de mettre en évidence une véritable « nouvelle génération » de matériau de restauration composite. L'analyse des études *in vitro* concernant les différentes voies de recherche permet de mettre en évidence certains progrès, mais peu sont exploités industriellement. À ce jour, seule la société 3M ESPE vient de commercialiser un composite utilisant comme base d'une nouvelle matrice, composée de silorane, dont le retrait de polymérisation est significativement réduit. En ce qui concerne les apports relatifs aux charges, l'adjonction de nanocharges constitue la principale évolution car elle permet de légers progrès quant à la résistance à l'usure, à l'aptitude au polissage et aux qualités optiques. Les apports relatifs à la matrice et aux agents de couplage ne sont pas encore prouvés cliniquement, les seuls résultats sont encore au stade expérimental ou sans recul clinique. Aujourd'hui, il ne ressort donc pas d'améliorations significatives cliniquement évaluables. En revanche, les caractéristiques des composites de dernière génération sont bonnes et au moins équivalentes à celles des composites des générations précédentes. Les évaluations cliniques, trop peu nombreuses, nous amènent à rester attentifs aux publications scientifiques à venir sur ces matériaux.

Currently, the technological advances have not yet identified a real « novel generation » material for composite restoration. Analysis of *in vitro* studies concerning different methods of research allows highlighting certain progress even if little has been industrially exploited. So far, only 3M ESPE Company has recently marketed a composite with the new Silorane matrix as base. This significantly reduces the polymerization shrinkage. Concerning the addition of fillers, the incorporation of nanofillers constitutes the main development because it allows slight progress in wear resistance, polishing ability and optical qualities. Recommendations regarding the matrix and coupling agents were not yet clinically proven and short-term results are still in the experimental stage. Nowadays, it is not apparent for significant improvements to be clinically evaluated. However, the characteristics of the latest generation composites are better than or at least equivalent to the previous generation. Limited clinical evaluations, teach us to remain vigilant for future scientific publications concerning these materials.

*Traduction : Marie-Grâce POBLETE*

**Demande de tirés-à-part : Docteur Guy-Noël BERTHAULT - 4, rue Sadi-Carnot - 92000 Nanterre - FRANCE.**

- ATTAR N., TURGUT M. D.  
Fluoride release and uptake capacities of fluoride-releasing restorative materials. *Oper Dent* 2003;**28**:395-402.
- BERTHAULT G. N., DURAND A. L..  
Intérêts cliniques de l'évolution des composites de dernière génération pour les restaurations en technique directe. Thèse d'exercice (Université de Paris V) 2007; 42.55.07.
- BEUN S., GLORIEUX T., DEVAUX J., VREVEN J.  
Characterization of nanofilled compared to universal and microfilled composites. *Dent Mater* 2007;**23**:51-59.
- BHARADWAJ P., LAMBRECHTS P., DE MUNCK J., MATTAR D., VAN MEERBECK B.  
Clinical Wear Performance of Filtek Supreme and Z 100 in Posterior Teeth. IADR 2005;Abstract 0576.
- BOUILLAGUET S., GAMBA J., FORCHELET J., KREJCI I., WATAHA J.C.  
Dynamics of composite polymerization mediates the development of cuspal strain. *Dent Mater* 2006;**22**:896-902.
- DRESCH W., VOLPATO S., GOMES J. C., RIBEIRO N.R., REIS A., LOGUERCILO D.  
Clinical evaluation of a nanofilled composite in posterior teeth: 12-month results. *Oper Dent* 2006; **31**:409-417.
- EBI N., IMAZATO S., NOIRI Y., EBISU S.  
Inhibitory effects of resin composite containing bactericide-immobilized filler on plaque accumulation. *Dent Mater* 2001;**17**:485-491.
- EICK J. D., KOSTORYZ E. L., ROZZI M, JACOBS D.W., OXMAN J.D., CHAPPELOW C.C., GLAROS A.G., YOURTEE D.M.  
In vitro biocompatibility of oxirane/polyol dental composites with promising physical properties. *Dent Mater* 2002;**18**:413-421.
- EICK J. D., SMITH R. E, PINZINO C. S., KOSTORYZ E. L. .  
Stability of silorane dental monomers in aqueous systems. *J dent* 2006;**34**:405-410.
- ERNST C. P., BRANDENBUSCH M., MEYER G., CANBECK K., GOTTSCHALK F., WILLERSHAUSEN  
Two-year clinical performance of a nanofiller vs a fine-particle hybrid resin composite. *Clin Oral Investig* 2006;**10**:119-125.
- HALVORSON R. H., ERICKSON R. L., DAVIDSON C. L.  
The effect of filler and silane content on conversion of resin-based composite. *Dent Mater* 2003; **19**:327-333.
- IMAZATO S., EBI N., TAKAHASHI Y., KANEKO T., EBISU S., RUSSELL R.R.  
Antibacterial activity of bactericide-immobilized filler for resin-based restoratives. *Biomaterials* 2003;**24**:3605-3609.
- JANKE V., VON NEUHOF N., SCHLEGELBERGER B., LEYHAUSEN G., GEURTSSEN W.  
TEGDMA causes apoptosis in primary human gingival fibroblasts. *J dent Res* 2003;**82**:814-818.
- KLEVERLAAN C. J., FEILZER A. J.  
Polymerization shrinkage and contraction stress of dental resin composites. *Dent Mater* 2005;**21**: 1150-1157.
- LEE Y. K., LIM B. S., RHEE S. H., YANG H.C. POWERS J.M.  
Changes of optical properties of dental nano-filled resin composites after curing and thermocycling. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2004;**71**:16-21.
- LEE Y. K., LIM B. S., RHEE S. H., YANG H.C., POWERS J.M.  
Color and translucency of A2 shade resin composites after curing, polishing and thermocycling. *Oper Dent* 2005;**30**:436-442.
- PALIN W. M., FLEMING G. J., BURKE F. J. MARQUIS P.M., PINTADO M.R., RANDALL R.C., DOUGLAS W.H.  
The frictional coefficients and associated wear resistance of novel low-shrink resin-based composites. *Dent Mater* 2005;**21**:1111-1118.
- RASKIN A., SALOMON J. P., J. SABBAGH.  
Les résines composites: classification - évolution. *Réal Clin* 2005;**16**:297-312.
- RASKIN A., TASSERY H., SALOMON J. P.,SABBAGH J.  
Les résines composites: propriétés et indications cliniques. *Réal Clin* 2005;**16**:313-326.
- SAKRANA A. A., TANOUE N., KAWASAKI K., MATSUMURA H.  
One-year clinical evaluation of two composite materials used for anterior class V restorations. *J Oral Rehabil* 2004;**31**:985-990.
- SHIRAI K., YOSHIDA Y., NAKAYAMA Y., FUJITANI M., SHINTANI H., WAKASA K., OKAZAKI M., SNAUWAERT J., VAN MEERBECK B.  
Assessment of decontamination methods as pretreatment of silanization of composite glass fillers. *J Biomed Mater Res* 2000;**53**:204-210.
- SIDERIDOU I., TSEKI V., PAPANASTASIOU G.  
Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials* 2003;**24**:655-665.
- TERRY D. A..  
Direct applications of a nanocomposite resin system : Part 1--The evolution of contemporary composite materials. *Pract Proced Aesthet Dent* 2004;**16**:417-422.
- TURSSI C. P., FERRACANE J. L., FERRACANE L.  
Wear and fatigue behavior of nano-structured dental resin composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2006;**78**:196-203.
- YAP A. U., TAN C. H., CHUNG S. M. .  
Wear behavior of new composite restoratives. *Oper Dent* 2004;**29**:269-274.
- YOSHIDA Y., SHIRAI K., SHINTANI H., OKASAKI D., SUZUKI K., VAN MEERBECK B.  
Effect of presilanization filler decontamination on aesthetics and degradation resistance of resin composites. *Dent Mater J* 2002;**21**:383-395.