

Les fils en alliages composites

Yassir EL JABRI*

19 rue du Moulin Delmar, 59700 Marcq-en-Baroeul, France

1. Introduction aux polymères fibrés

En réponse à des exigences esthétiques de plus en plus importantes, beaucoup de chercheurs se sont penchés sur le développement d'arcs orthodontiques esthétiques en complément des attaches à même vocation (attache en céramique, composite, plastique) (voir Chap. 1B, Les céramiques p. 31 et Chap. 1C, Les verrous plastiques et composites p. 51)...

Les premières pistes de travail consistaient en un développement des techniques et matériaux de recouvrement de toutes natures ayant une couleur avoisinant celle des tissus dentaires (Téflon, polymères organiques comme le polytétrafluoro éthylène...). Selon Kusy [8,9], beaucoup de ces solutions se sont montrées décevantes par rapport aux attentes cliniques des praticiens.

Ainsi, ces solutions présentaient plusieurs inconvénients aussi bien biomécaniques qu'esthétiques vu le manque de résistance des différents revêtements aux forces mises en jeu ainsi qu'à l'activité enzymatique présente dans la cavité buccale :

- effet inesthétique lors de l'écaillage du matériau de recouvrement,
- perte d'informations (notamment du torque) en raison de la compressibilité de la couche de recouvrement,
- entrave du glissement au contact des attaches avec les zones d'écaillage...

La réponse de certains fabricants à quelques-uns de ces inconvénients a été d'appliquer un micro-revêtement uniquement sur la face vestibulaire des arcs orthodontiques.

Plus récemment, beaucoup d'efforts ont été déployés en vue de mettre au point des fils orthodontiques translucides non métalliques.

* Auteur pour correspondance : yassir.eljabri@tele2.fr

Il s'agit essentiellement de polymères renforcés par adjonction de fibres (également appelé composites à fibres, composites à renfort de fibres, ou encore composites ou polymères fibrés). Ces matériaux mettent à profit les hautes propriétés mécaniques de certaines fibres qui, enveloppées dans une matrice organique, constituent une nouvelle classe de matériaux structuraux qui sont largement utilisés depuis déjà de nombreuses années, dans des technologies de pointe : industrie aéronautique, navale, textile...

2. Définition

Un polymère fibré est constitué par l'inclusion de fibres de nature diverse au sein d'un matériau polymère.

En odontologie, il existe plusieurs types de polymères susceptibles de recevoir un renfort fibré : les résines époxy, le polyéthylène téréphtalate-glycol (PETG), le polycyclohexylène diméthylène téréphtalate glycol (PCTG) [4], ainsi que le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), renforcé par des fibres de verre de type S qui présenteraient plus de résistance que celles de type E [12]. D'autres résines, tels que le bis-phényl-A-gycidylmethacrylate (BisGMA), l'uréthane diméthacrylate (UDMA) et le triéthylène glycol diméthacrylate (TEGDMA) peuvent être utilisées.

Quatre principaux renforts fibrés sont utilisés en odontologie :

- les fibres de carbone,
- les fibres d'aramide plus connues sous le nom de fibres de Kevlar[®],
- les fibres de polyéthylène,
- les fibres de verre (type E, R, S : CaO-P₂O₅-SiO₂-Al₂O₃).

Malgré d'excellentes propriétés mécaniques, les fibres de carbone ont été rapidement laissées de

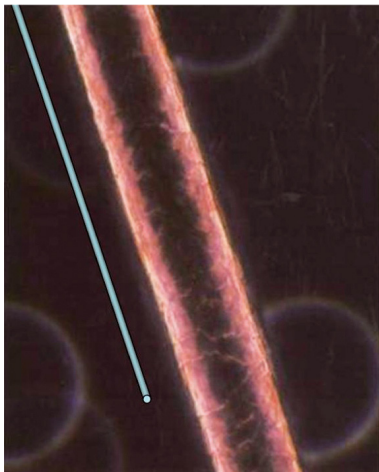


Figure 1

Image comparative des diamètres moyens d'un cheveu humain 70–75 μm et d'une fibre de verre 6–10 μm .

côté, essentiellement à cause de leur couleur noirâtre difficile à dissimuler. De plus, les résines dentaires présentent une mauvaise adhérence sur ce type de fibres. Actuellement, les fibres de carbone sont principalement utilisées pour la confection de tenons endodontiques.

Les fibres d'aramide ont été également délaissées, car elles présentaient une absorption d'eau importante, et une médiocre résistance à la compression.

Les fibres de verres, essentiellement de type S ont été préférées pour leurs propriétés mécaniques favorables malgré un diamètre extrêmement réduit (Fig. 1), leurs qualités esthétiques et leurs capacités d'adhérer chimiquement aux polymères [3, 10, 12].

3. Historique

Depuis presque quarante ans, le recours à des fibres pour le renforcement des résines à usage dentaire a été plusieurs fois décrit dans la littérature. Dans le milieu des années soixante, Smith [14], Schreiber [13] et Manley, *et al.* [11] ont tenté de renforcer les résines acryliques polyméthacrylate de méthyle, avec des fibres de verre, et des fibres de carbone en vue d'optimiser la résistance des pièces prothétiques.

Ensuite, d'autres applications furent imaginées, avec le développement de tenons endodontiques en fibres renforcées, d'infrastructures pour prothèses implanto-portées, de restaurations de prothèse fixée,

d'attelles de contention et de contentions post-orthodontiques.

Depuis quelques années, de nombreux chercheurs, Goldberg et Burstone [4], Kusy [8], Jancar, *et al.* [7], Zufall, *et al.* [16], se sont intéressés aux polymères fibrés comme matériaux de fabrication d'arcs orthodontiques en raison de leurs propriétés esthétiques et biomécaniques. Les résultats se sont révélés prometteurs et les applications en clinique orthodontique se sont diversifiées.

4. Principes de fabrication des arcs polymères renforcés

De nombreux chercheurs ont proposé différents procédés de fabrication d'arcs composites en polymères renforcés en fibres [5, 8, 9, 15]. Le plus souvent, ces procédés ont en commun la mise en œuvre simultanée et séquencée d'une résine photo ou thermodurcissable, la plupart du temps, et de renforts fibreux longitudinaux unidirectionnels type fibre de verre de 6 à 10 μm de diamètre.

Parmi les procédés les plus utilisés, on peut citer la pultrusion qui représente étymologiquement une contraction des termes anglo-saxons Pull (tirer) et Extrusion. Le procédé a pour objet la fabrication de profilés composites, rectilignes ou courbes à section constante, hautement renforcés dans la direction principale.

Une installation type (Fig. 2) comporte les éléments de base suivants : une alimentation en renforts fibrés, un dispositif d'imprégnation (lavage US des fibres, silanisation, imprégnation en résine), préformage, filière chauffée, système de traction, et un dispositif de découpe.

Le façonnage des arcs fait appel à deux techniques principales : la polymérisation par moulage de contact (*mould polymerization*), et la technique d'étirage à chaud (*hot drawing*) qui permet selon Watari [15] la production d'arcs présentant des propriétés biomécaniques satisfaisantes pour l'usage orthodontique.

5. Propriétés biomécaniques des arcs polymères fibrés

Watari [15] et Zufall [17] soulignent à l'occasion d'études comparatives que les arcs renforcés par des

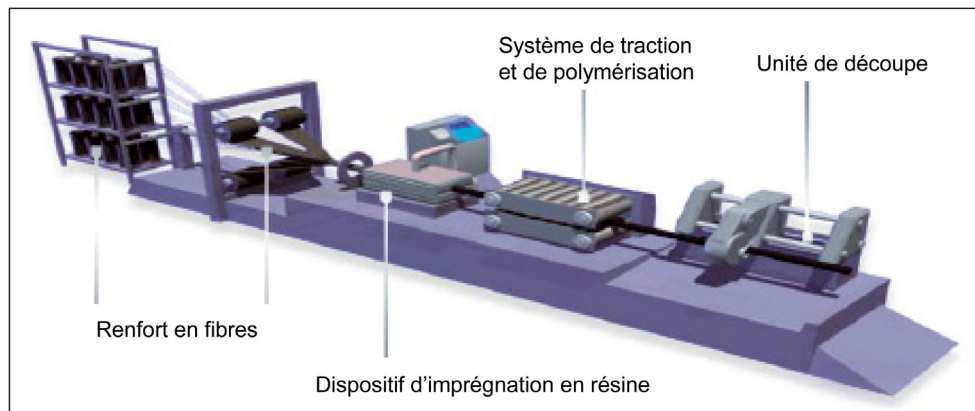


Figure 2

Représentation schématique d'une filière de production d'un polymère fibré.

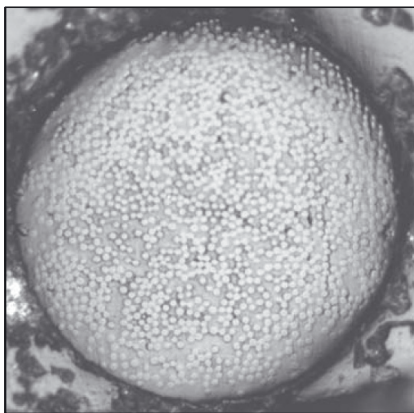


Figure 3

Image d'une section d'arc polymère fibré selon Ramakrishna, *et al.* [12].

fibres de verre possèdent des propriétés biomécaniques satisfaisantes pour un usage orthodontique essentiellement pendant le stade initial et les stades intermédiaires du traitement. Ils soulignent qu'à section égale, le module d'élasticité de l'arc peut être varié en fonction du pourcentage volumique de fibres incorporées. Ramakrishna [12] insiste sur l'importance quantitative des renforts fibrés (Fig. 3) et de la concentration en agent de couplage assurant la silanisation des surfaces fibrées afin d'améliorer l'adhésion entre celles-ci et la matrice de liaison en vue d'optimiser la cohésion et la résistance du polymère fibré.

Imai [9] affirme que par rapport aux conditions expérimentales en milieu sec (Fig. 4), l'immersion de ces matériaux dans un milieu liquide entraîne une

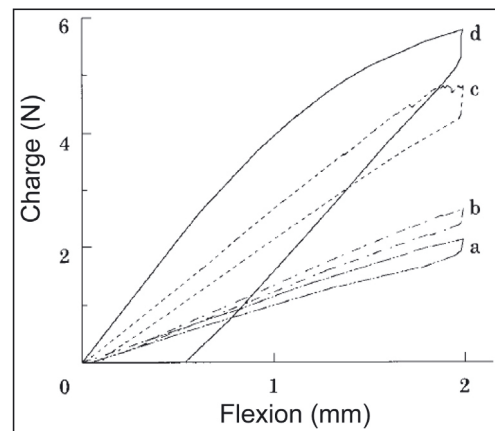


Figure 4

Courbes charge-flexion des arcs métalliques et en polymères fibrés à l'état sec. (a) Ni-Ti rond 0.016 inch, (b) arc 0.5 mm en polymère renforcé à 29,1 % de fibres, (c) arc 0.5 mm en polymère renforcé à 60,4 % de fibres, (d) Co-Cr rond 0.016 inch (d'après Imai, *et al.* [6]).

baisse de 7 % du module d'élasticité après trente jours.

Il a été également constaté un léger gonflement du matériau entraînant une augmentation de la section des arcs (initialement de 0,5 mm) de l'ordre de 0,002 à 0,003 mm [6].

Zufall [18] propose un revêtement en polychloro-p-xylylène, afin de protéger ces arcs des détériorations subies lors des mécaniques de glissement, liées aux frottements entre les attaches et la surface de l'arc et qui seraient responsables d'un endommagement des fibres, voir éventuellement de limiter les relargages en bouche (Fig. 5).

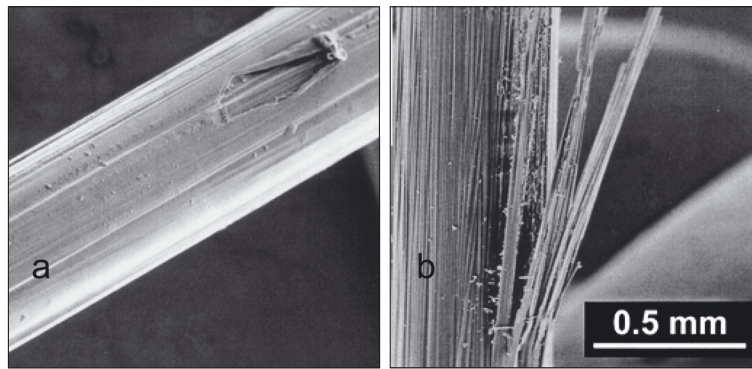


Figure 5

Image en microscopie électronique montrant les surfaces d'arcs en polymères fibrés présentant (a) ou non (b) un revêtement protecteur en chloro-p-xylylène après mécanique de glissement (d'après Zufall, Kusy [18]).

6. Usage des polymères fibrés en clinique orthodontique

Les polymères fibrés sont l'objet de plusieurs applications cliniques en orthodontie. En effet, à part le fait qu'ils peuvent servir de matériaux de base pour la confection d'attaches esthétiques (voir Chap. 1C, les verrous plastiques et composites p. 51), quelques arcs orthodontiques de différentes sections et rigidités sont commercialisés. Plusieurs auteurs, comme Watari [15], Zufall [18], Burstone [1], entre autres, trouvent que ces arcs, en plus de leurs propriétés esthétiques, présentent des qualités biomécaniques satisfaisantes pour un usage clinique surtout lors des premières phases et des phases intermédiaires du traitement. On peut aussi voir dans cette classe de matériaux une des réponses à apporter aux situations d'allergies à certains composants des arcs métalliques, notamment le nickel.

Les fibres de verre pré-imprégnées en composites photopolymérisables trouvent quant à elles de multiples applications ; la plus classique d'entre-elles demeure la contention post-orthodontique collée. Cependant, quelques auteurs [1, 2] proposent des applications plus diversifiées afin de constituer un bloc dentaire qui va représenter l'unité d'ancrage passive ou l'unité active à mobiliser lors du traitement orthodontique aussi bien en technique vestibulaire que linguale.

7. Conclusion

Cette nouvelle classe de matériaux semble très prometteuse. Cependant, des tests plus poussés

demeurent nécessaires en vue de cerner les effets de la dégradation hydro-thermique et mécanique liée aux conditions d'utilisation et son réel impact sur les propriétés de ce type de fils ; de même que les conséquences des micro-largages des fibres de verre en bouche.

Sans doute, l'un des principaux freins à la généralisation de ces arcs malgré leur esthétique indéniable demeure les possibilités très limitées de pliage au risque de provoquer des dommages et des fractures internes de la structure fibrée. Quelques équipes de recherche travaillent sur de nouveaux polymères dits auto-renforcés SRP (*Self Reinforced Polymers*) qui présenteraient une meilleure élasticité, un meilleur glissement et des possibilités de façonnage après chauffage.

Bibliographie

- [1] Burstone, CJ, Kuhlberg AJ. Fiber-reinforced composites in orthodontics. *J Clin Orthod* 2000;34:271–279.
- [2] Cacciafesta V, Sfondrini MF, Lena A, Scribante A, Vallittu PK, Lassila IV. Force levels of fiber-reinforced composites and orthodontic stainless steel wires: a 3-point bending test. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:410–413.
- [3] Ellakwa AE, Shortall AC, Marquis PM. Influence of fiber type and wetting agent on the flexural properties of an indirect fiber reinforced composite. *J Prosthet Dent* 2002;88:485–490.
- [4] Goldberg AJ, Burstone CJ. The use of continuous fiber reinforcement in dentistry. *Dent Mat* 1992;8:197–202.

- [5] Huang ZM, *et al.* Fabrication of a new composite orthodontic archwire and validation by a bridging micromechanics model. *Biomaterials* 2003;24:2941–2953.
- [6] Imai T, Watari F, Yamagata S, Kobayashi M, Nagayama K, Nakamura S. Effects of water immersion on mechanical properties of new esthetic orthodontic wire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:533–538.
- [7] Jancar J, DiBenedetto AT, Hadziinikolau Y, Goldberg AJ, Dianselmo A. Measurement of the elastic modulus of fibre-reinforced composites used as orthodontic wires. *J Mater Sci Mater Med* 1994;5:214–218.
- [8] Kusy RP. A review of contemporary archwires : their properties and characteristics. *Angle Orthod* 1997;67:197–208.
- [9] Kusy RP. The future of orthodontic materials: the long term view. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;113:91–95.
- [10] McDonough WG, Antonucci JM, Dunkers JP. Interfacial shear strengths of dental resin-glass fibers by the microbond test. *Dent Mater* 2001;17:492–498.
- [11] Manley TR, Bowman AJ, Cook M. Denture bases reinforced with carbon fibers. *Br Dent J* 1979;146:25.
- [12] Ramakrishna S, *et al.* An introduction to biocomposites. Imperial College Press, 2004.
- [13] Schreiber CK. The clinical application of carbon fiber/polymer denture resin. *Br Dent* 1974;137:21–22.
- [14] Smith DC. Recent developments and prospects in dental polymer. *J Prosthet Dent* 1962;12:1066.
- [15] Watari F, Yamagata S, Imai T, Nakamura S, Kobayashi M. The fabrication and properties of aesthetic FRP wires for use in orthodontics. *J Mater Sci* 1998; 23:5661–5664.
- [16] Zufall SW, Kennedy KC, Kusy RP. Frictional characteristics of composite orthodontic archwires against stainless steel and ceramic brackets in the passive and active configurations. *J Mater Sci Mater Med* 1998;9:611–620.
- [17] Zufall SW, Kusy RP. Stress relaxation and recovery behaviour of composite orthodontic archwires in bending. *Eur J Orthod* 2000;22:1–12.
- [18] Zufall SW, Kusy RP. Sliding mechanics of coated composite wires and the development of an engineering model for binding. *Angle Orthod* 2000;70:34–47.