

THERMOPLASTIQUES POUR ALIGNEURS TRANSPARENTS

L

'orthodontie invisible moderne repose sur l'utilisation d'un modèle de la bouche du patient, fabriqué en plastique transparent, avec une modification ou désajustement entre la bouche et le modèle en plastique qui génère la force nécessaire à appliquer sur les dents. Cela permet de distribuer la force sur toute la surface de la dent, nécessitant ainsi des forces moindres par rapport à l'orthodontie conventionnelle. Cependant, ce système requiert la coopération totale du patient, une planification rigoureuse, ainsi que l'utilisation d'un plastique adéquat.[1], [2], [3], [4]

Actuellement, il existe une grande variété de marques sur le marché prétendant offrir le plastique parfait pour les aligneurs thermoplastiques, mais en réalité, les types de plastiques utilisés sont très limités. Le marché se divise essentiellement entre le PETG[5], [6], [7], [8], qui est le plastique pour aligneurs transparents le plus courant et économique, suivi par le TPU[9], [10], [11], le PC, le PP, l'EVA[6], [12], et les matériaux multicouches qui combinent deux ou plusieurs de ces matériaux[12], [13].

En général, il est demandé que le matériau utilisé soit transparent, biocompatible, inerte dans l'environnement oral et économique[12], [14]. Tous les matériaux cités remplissent, dans une plus ou moins grande mesure, ces exigences, mais d'autres critères plus importants sont liés aux capacités thermo-mécaniques du matériau et à la force qu'il peut générer tout au long du traitement[9], [10], [11].

En principe, on pourrait penser que plus le matériau est élastique, mieux c'est, car il pourrait exercer plus de force. Cependant, il existe en réalité une force optimale qui dépend de la génétique, du sexe, de l'âge, de l'alimentation, de l'environnement et de nombreux autres facteurs[15], [16], [17]. Même chez un même patient, différents points du ligament parodontal peuvent avoir des valeurs optimales de force à générer. Des valeurs supérieures à cet optimal ralentissent le mouvement en endommageant les tissus mous, en particulier le ligament parodontal. Si les forces sont trop élevées, le mouvement ne se contente pas de ralentir, il se bloque, entraînant des dommages plus graves tels que la nécrose de la racine dentaire et d'autres maladies associées. En général, des valeurs comprises entre 0,75 N et 10 N sont suffisantes pour générer un mouvement de manière efficace et sans douleur[10], [11], [15], [18].

Un autre aspect à prendre en compte est la durée de la force. Les plastiques sont des matériaux viscoélastiques, contrairement aux métaux qui sont des matériaux totalement élastiques. Chaque fois que l'aligneur est introduit dans la mâchoire, il est chargé avec une force élastique qui décroît avec le temps en raison de la viscosité du matériau. Lorsque l'aligneur est retiré pour manger ou le nettoyer, il retrouve sa forme initiale jusqu'à un certain point, grâce à l'élasticité du matériau. Une fois réintroduit, le matériau se recharge, mais cette fois avec une force initiale légèrement inférieure, jusqu'à ce qu'aucune force ne soit produite en raison de la perte totale de l'élasticité du matériau[8].

Il faut prendre en compte que tous ces processus se déroulent à 37 °C avec des pics de température. Les plastiques sont des matériaux très sensibles à la température, et en général, leur comportement par rapport à celle-ci est défini par la température de transition vitreuse ou Tg. En dessous de la Tg, le matériau se comporte comme un solide viscoélastique, et au-dessus, comme un liquide visqueux. La température corporelle est inférieure à la plupart des Tg des plastiques, mais elle est suffisamment élevée pour que, après 20 heures, les plastiques se déforment de manière permanente et ne génèrent plus de force.

En résumé, en plus des caractéristiques de transparence, de biocompatibilité et de résistance aux produits chimiques, il est nécessaire que le matériau possède un module d'élasticité élevé pour qu'il soit le plus élastique possible et perde la moindre force possible. Cependant, ce module d'élasticité ne doit pas être trop élevé pour éviter des forces douloureuses. Il est aussi important que la température de transition vitreuse (Tg) soit relativement élevée, ce qui va à l'encontre du deuxième point, car généralement, une augmentation de la Tg entraîne également une augmentation du module d'élasticité. De ce fait, il est nécessaire d'utiliser un matériau multicouche avec un matériau rigide offrant une haute Tg et une grande élasticité, associé à un matériau plus souple qui réduit l'intensité des forces appliquées, comme c'est le cas avec le matériau utilisé par Secret Aligner.

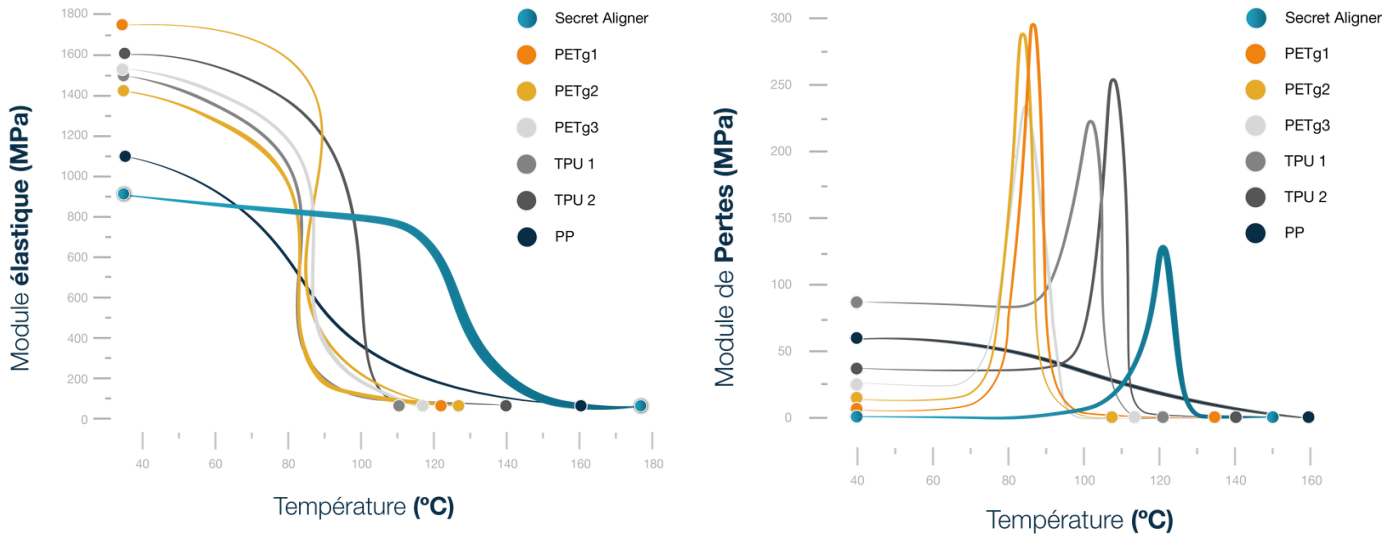


Illustration 1. Résultats de DMTA

Comme nous pouvons le constater, notre matériau présente un module d'élasticité plus bas que celui de ses concurrents, mais une Tg plus élevée que tout autre. Grâce à des essais de traction, nous avons trouvé que le module d'élasticité de notre matériau est la moitié de celui du PETG et du TPU, mais que la gamme d'élasticité est plus large.

Un autre test pour évaluer le confort est appelé relaxation des tensions, également connu sous le nom de décroissance de force. Ce test consiste à déformer le matériau jusqu'à un pourcentage donné et à maintenir cette déformation pendant 3 heures à 37 °C, afin d'observer comment le matériau s'adapte et comment la force décroît. Ensuite, le matériau est laissé pour retrouver sa forme initiale et son déplacement est surveillé pendant 5 minutes à 37 °C. L'idéal serait d'avoir un matériau qui exerce des forces légères avec une diminution minimale de la force et une récupération maximale de sa forme. Dans le graphique suivant, nous pouvons observer la décroissance de la force pour une déformation de 0,5 %.

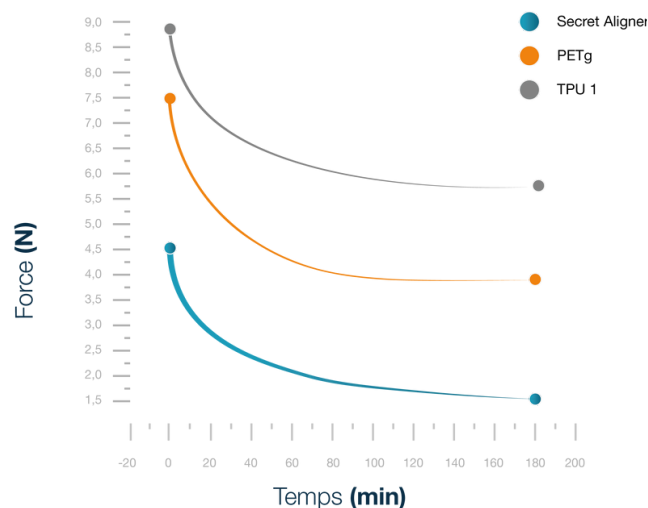


Illustration 2. Résultats de décroissance des tensions pour une déformation de 0,5 %



Comme nous pouvons le constater, la force initiale et finale du Zendura FLX est la plus basse et se situe dans les valeurs nécessaires pour l'orthodontie invisible. Sa récupération pour de petites déformations comme celle-ci est inférieure à celle des plastiques plus rigides, mais ces déformations très faibles sont bien éloignées de celles observées avec les aligneurs transparents lors de leur utilisation. En effet, les déplacements maximums dans ce test sont d'environ 50 micromètres, les plus courants étant de 200 micromètres.

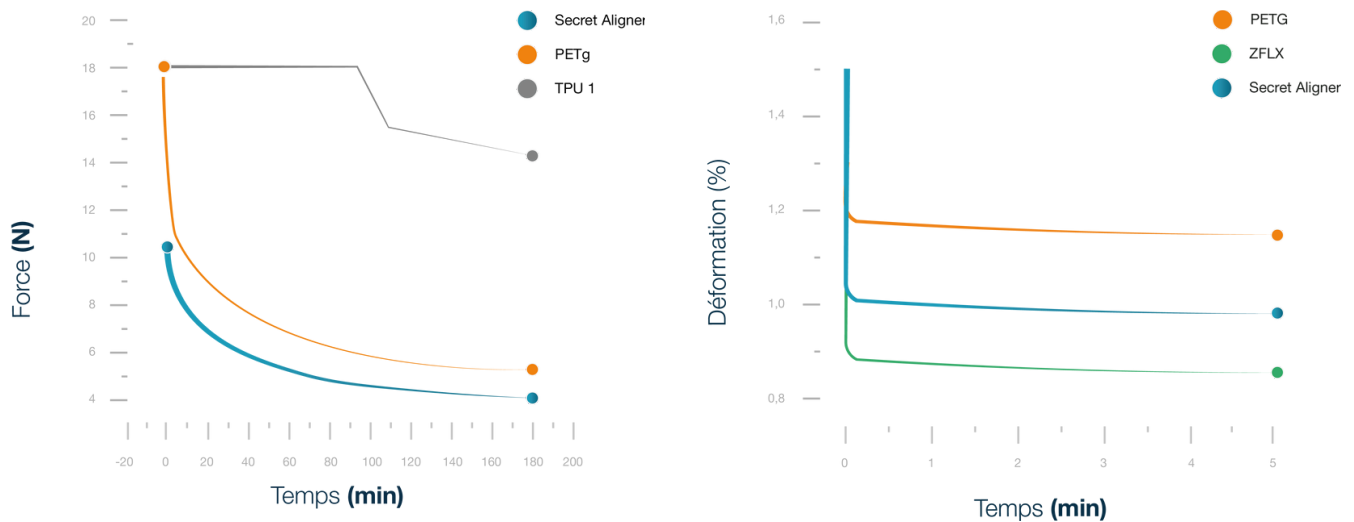


Illustration 3. Résultats de décroissance des tensions pour une déformation de 1,5 %

Comme nous pouvons le constater, en augmentant la déformation, notre matériau maintient une force dans les limites biologiques et présente un déclin comparable à celui du test précédent, tout en étant capable de réaliser un déplacement plus proche de ce qui se produit lors du traitement. En revanche, pour les autres matériaux, le PETG dépasse ces limites, entraînant une perte de force considérable ainsi qu'une déformation accrue à la fin du temps de récupération. Le TPU est si rigide qu'il atteint le maximum de force mesurable par l'équipement (18 N), ce qui signifie que ce test révèle que ce matériau générera plus du double de la force nécessaire. Les données de déformation et de déplacements ne sont donc pas fiables pour ce test. Pour le PETG, les déplacements étaient inférieurs à ceux observés avec le matériau Secret Aligner. Nous pouvons donc affirmer que le matériau de Secret Aligner est capable de générer des forces plus légères pour les traitements.

SOURCES

- 1.G. Singh, Textbook of orthodontics, 2nd ed. New Delhi: Jaypee Brothers, 2007.
- 2.W. R. Proffit, H. W. Fields, D. M. Sarver, and J. L. Ackerman, Contemporary orthodontics, 5. ed. St. Louis, Mo: Elsevier/Mosby, 2013.
- 3.A. E. Moutawakil, 'Biomechanics of Aligners: Literature Review', Adv. Dent. Oral Health, vol. 13, no. 5, Jan. 2021, doi: 10.19080/ADOH.2020.13.555872.
- 4.N. D. Kravitz, B. Kusnoto, E. BeGole, A. Obrez, and B. Agran, 'How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign', Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. Off. Publ. Am. Assoc. Orthod. Its Const. Soc. Am. Board Orthod., vol. 135, no. 1, pp. 27–35, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.ajodo.2007.05.018.
- 5.N. Zhang, Y. Bai, X. Ding, and Y. Zhang, 'Preparation and characterization of thermoplastic materials for invisible orthodontics', Dent. Mater. J., vol. 30, no. 6, pp. 954–959, 2011, doi: 10.4012/dmj.2011-120.
6. Y. M. Bichu et al., 'Advances in orthodontic clear aligner materials', Bioact. Mater., vol. 22, pp. 384–403, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.bioactmat.2022.10.006.
- 7.B. Xiang et al., 'The force effects of two types of polyethylene terephthalate glycol-modified clear aligners immersed in artificial saliva', Sci. Rep., vol. 11, p. 10052, May 2021, doi: 10.1038/s41598-021-89425-8.



- 8.P. Albertini, V. Mazzanti, F. Mollica, F. Pellitteri, M. Palone, and L. Lombardo, 'Stress Relaxation Properties of Five Orthodontic Aligner Materials: A 14-Day In-Vitro Study', *Bioengineering*, vol. 9, no. 8, p. 349, Jul. 2022, doi: 10.3390/bioengineering9080349.
- 9.F. Li, 'A Standardized Characterization of the Mechanical and Thermal Properties of Orthodontic Clear Aligners', UCLA, 2020. Accessed: Dec. 15, 2023. [Online]. Available: <https://escholarship.org/uc/item/7rr5d47s>
- 10.B. E. Brown, 'EFFECT OF GINGIVAL MARGIN DESIGN ON CLEAR ALIGNER MATERIAL STRAIN AND FORCE DELIVERY', UNIVERSITY OF MINNESOTA, 2021.
- 11.Z. A. Larson, 'THE EFFECT OF ATTACHMENT FLASH ON CLEAR ALIGNER FORCE DELIVERY', UNIVERSITY OF MINNESOTA, 2022.
- 12.H. Ryokawa, Y. Miyazaki, A. Fujishima, T. Miyazaki, and K. Maki, 'The mechanical properties of dental thermoplastic materials in a simulated intraoral environment', *Orthod. Waves*, vol. 65, no. 2, pp. 64–72, Jun. 2006, doi: 10.1016/j.odw.2006.03.003.
13. L. Jia, C. Wang, C. Wang, J. Song, and Y. Fan, 'Efficacy of various multi-layers of orthodontic clear aligners: a simulated study', *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin.*, Oct. 2022, Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10255842.2022.2034796>
- [14. School of Dentistry, Kiel University, Germany, H. L. G. Md, and Institute of Material Science, Faculty of Engineering, Kiel University, Germany, 'Effect of Dental Thermoplastic Materials on the Clinical Effectiveness of Clear Aligner', *Austin J. Dent.*, vol. 8, no. 1, Mar. 2021, doi: 10.26420/austinjdent.2021.1151.
15. Bunta, D. Festila, V. Muresan, T. Coloși, O. P. Stan, and M. Baciut, 'Mathematical Modeling and Digital Simulation of Teeth Dynamics for the Approximation of Orthodontic Treatment Duration', *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 10, Art. no. 10, Jan. 2023, doi: 10.3390/app13105932.
- 16.M. Moustafa, M. N. Roslly, Z. Ismail, N. A. Jaafar, S. Shafie, and N. Mokhtar, 'Mathematical Modelling and Simulation of Periodontal Ligament Using COMSOL Multiphysics', in *Proceedings of the International Conference on Mathematical Sciences and Statistics 2022 (ICMSS 2022)*, N. Wahi, M. A. Mohd Safari, R. Hasni, F. Abdul Razak, I. Gafurjan, and A. Fitrianto, Eds., Dordrecht: Atlantis Press International BV, 2023, pp. 267–277. doi: 10.2991/978-94-6463-014-5_25.
- 17.Y. Ren, J. C. Maltha, M. A. Van 't Hof, and A. M. Kuijpers-Jagtman, 'Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: a mathematic model', *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.*, vol. 125, no. 1, pp. 71–77, Jan. 2004, doi: 10.1016/j.ajodo.2003.02.005.
- 18.Y. Ma and S. Li, 'The optimal orthodontic displacement of clear aligner for mild, moderate and severe periodontal conditions: an in vitro study in a periodontally compromised individual using the finite element model', *BMC Oral Health*, vol. 21, no. 1, p. 109, Mar. 2021, doi: 10.1186/s12903-021-01474-7.