

L'IMPORTANCE DES PROPRIÉTÉS VISCOÉLASTIQUES DES PLASTIQUES POUR L'ORTHODONTIE INVISIBLE

Lors du choix d'un plastique pour l'orthodontie invisible, il est essentiel de prendre en compte ses propriétés mécaniques afin d'effectuer les mouvements dentaires de manière efficace tout en assurant un confort optimal et une expérience indolore pour le patient. [1], [2], [3]

Ce confort est déterminé par le module élastique du matériau, qui représente la relation entre la force exercée par le matériau en réponse à une déformation. Un matériau plus rigide possède un module élastique plus élevé qu'un matériau plus souple ; ainsi, face à de petites déformations, il génère des forces importantes, ce qui peut entraîner des douleurs, de l'inconfort, des difficultés d'insertion de l'appareil en bouche et une plus grande tendance au désajustement lors de son utilisation. À l'inverse, un matériau excessivement souple ne générerait pas une force suffisante, d'où la nécessité de trouver un compromis. [2], [4], [5]

Un autre paramètre à prendre en compte est la limite élastique, c'est-à-dire la force et la déformation maximales que le matériau peut supporter avant de cesser d'être élastique. En dessous de ce seuil, le matériau se comporte de manière parfaitement élastique, rendant toutes les forces et déformations prévisibles. De plus, une fois retiré de la bouche, l'appareil est capable de retrouver sa forme originale. En revanche, si cette limite est dépassée, le matériau perd son élasticité et ne génère plus aucune force active, car il s'est déformé de manière permanente en adoptant la forme de la bouche du patient. [5]

En orthodontie invisible, il est impossible d'atteindre des valeurs proches, même en termes de forces, de la limite élastique [5], [7]. Cependant, il est possible de l'atteindre en matière de déformations, notamment dans les cas où celles-ci sont relativement élevées. Cela se produit en présence d'encombrement dentaire ou lors de mouvements de dents individuelles. La limite de déformabilité élastique restreint l'amplitude des déplacements réalisables. Avec des plastiques ayant une limite plus élevée, il est possible d'effectuer des mouvements plus marqués, mais il faut garder à l'esprit qu'une plus grande déformation implique une force plus importante.

C'est pourquoi plusieurs entreprises leaders du secteur ont commencé à utiliser deux types de matériaux [1], [7], [8] : un matériau relativement souple, généralement multicouche, avec une plus grande déformabilité élastique pour les mouvements complexes ; et un matériau plus rigide pour les mouvements collectifs de toute l'arcade dentaire ou ceux impliquant de faibles déformations, car dans ce second type de mouvements, un plastique souple ne serait pas en mesure d'exercer la force requise.

Chez SecretAligner, nous avons étudié les matériaux du secteur afin d'identifier le matériau commercial optimal qui le caractérise, dans le but d'offrir des traitements plus efficaces, confortables et indolores.

MATÉRIAUX ET MÉTHODES

Concrètement, 12 matériaux différents ont été étudiés, regroupés en copolyester de la famille du polyéthylène téréphtalate (PET), polyuréthanes thermoplastiques de haute rigidité (hTPU), polypropylène (PP) et multicouches de polyuréthane et copolyester.

Les essais consistent à soumettre des éprouvettes plates à une traction jusqu'à rupture à l'aide d'une machine de traction uniaxiale.

Autrement dit, une extrémité de l'éprouvette est étirée à une vitesse constante de 1 mm/min, tandis que l'autre extrémité est maintenue fixe. Les dimensions des éprouvettes découpées au laser étaient de 11 mm de long, 1,6 mm de large et correspondaient à l'épaisseur initiale de la plaque originale.

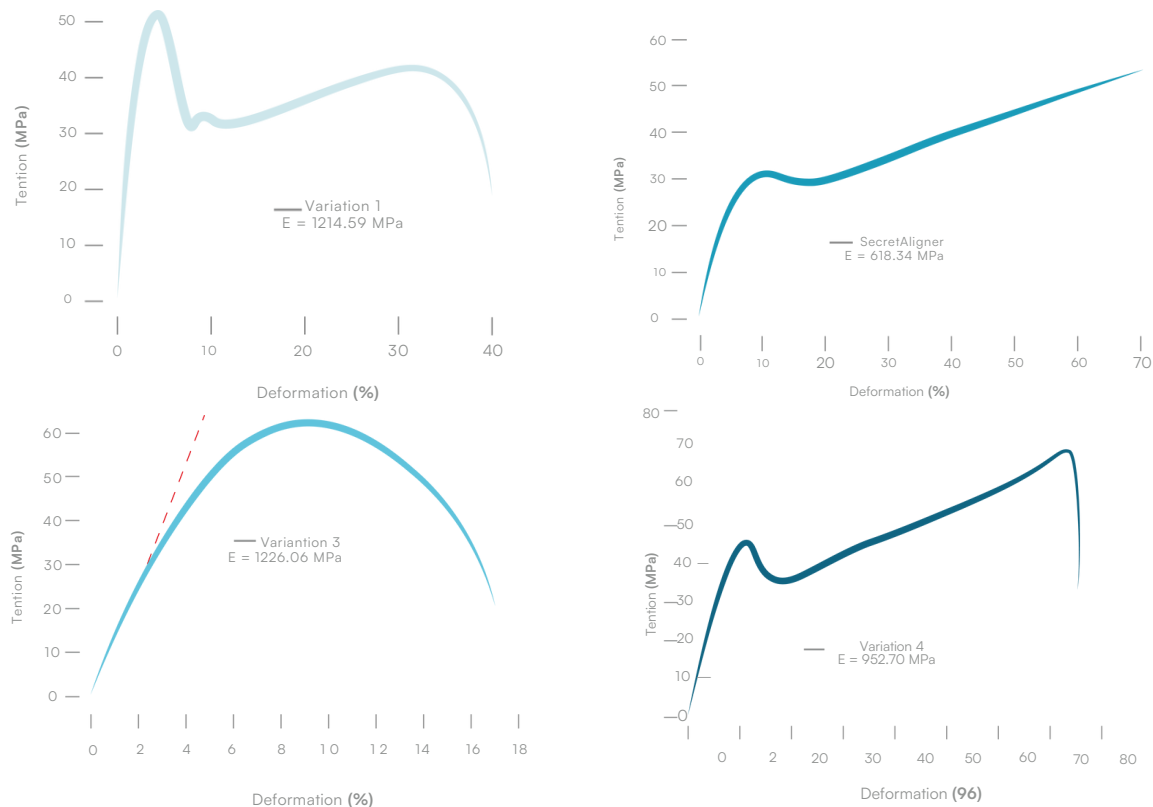
RÉSULTATS

La première chose que l'on observe dans tous les matériaux est qu'ils sont relativement élastiques jusqu'à leur point de fluage, mais on peut constater qu'ils commencent tous à se dévier autour de 3 % de déformation. Cela signifie qu'au-delà de cette limite de 3 %, bien que le matériau reste principalement élastique, il commence à présenter une déformation non récupérable.

La première chose que l'on observe dans tous les matériaux est qu'ils sont relativement élastiques jusqu'à leur point de fluage, mais on peut constater qu'ils commencent tous à se dévier autour de 3 % de déformation. Cela signifie qu'au-delà de cette limite de 3 %, bien que le matériau reste principalement élastique, il commence à présenter une déformation non récupérable.

Cela ne se produit pas avec le hTPU, où le matériau se casse immédiatement après la limite élastique, ni avec le PP, où un phénomène se produit : après ce point de fluage, le matériau se déforme à tension constante, sa section diminue progressivement, il devient blanchâtre, puis finit par se fracturer.

Illustration 1. Courbes contrainte-déformation dans un PETG (en haut à gauche), dans une multicouche (en haut à droite), dans un hTPU (en bas à gauche) et dans un PCTG (en bas à droite).



Comme on peut l'observer sur l'image ci-dessus, dans des matériaux comme le PET ou le PCTG, la zone du maximum couvre une plage de déformations plus réduite que dans les multicouches, où elle est plus étendue et où la chute de tension après le dépassement de la limite élastique est moindre. Cela confère une plus grande marge de sécurité aux multicouches, ainsi qu'une plus large plage élastique.

Les dispositifs d'orthodontie invisible sont conçus pour fonctionner mécaniquement à proximité du point de fluage. Ainsi, une erreur de conception dans une multicouche entraîne une moindre variation dans l'application des forces, tandis que dans le PET ou le PCTG, cette erreur a des conséquences plus marquées.

De plus, il a été observé que, dans la majorité des cas, le matériau multicouche ne se fracture pas complètement, mais uniquement ses couches externes rigides. La couche interne, composée d'un matériau plus souple et élastomérique, se déforme alors presque entièrement de manière élastique, permettant aux éprouvettes de retrouver en grande partie leurs dimensions initiales.

Concernant les valeurs du module élastique, les matériaux monocouches conventionnels tels que le PET et le hTPU présentent des valeurs avoisinant respectivement 1000-1200 MPa et 1200-1300 MPa. En revanche, pour le PCTG, les multicouches et le PP, ces valeurs sont de 900-1000 MPa, 600-700 MPa et 500 MPa respectivement.

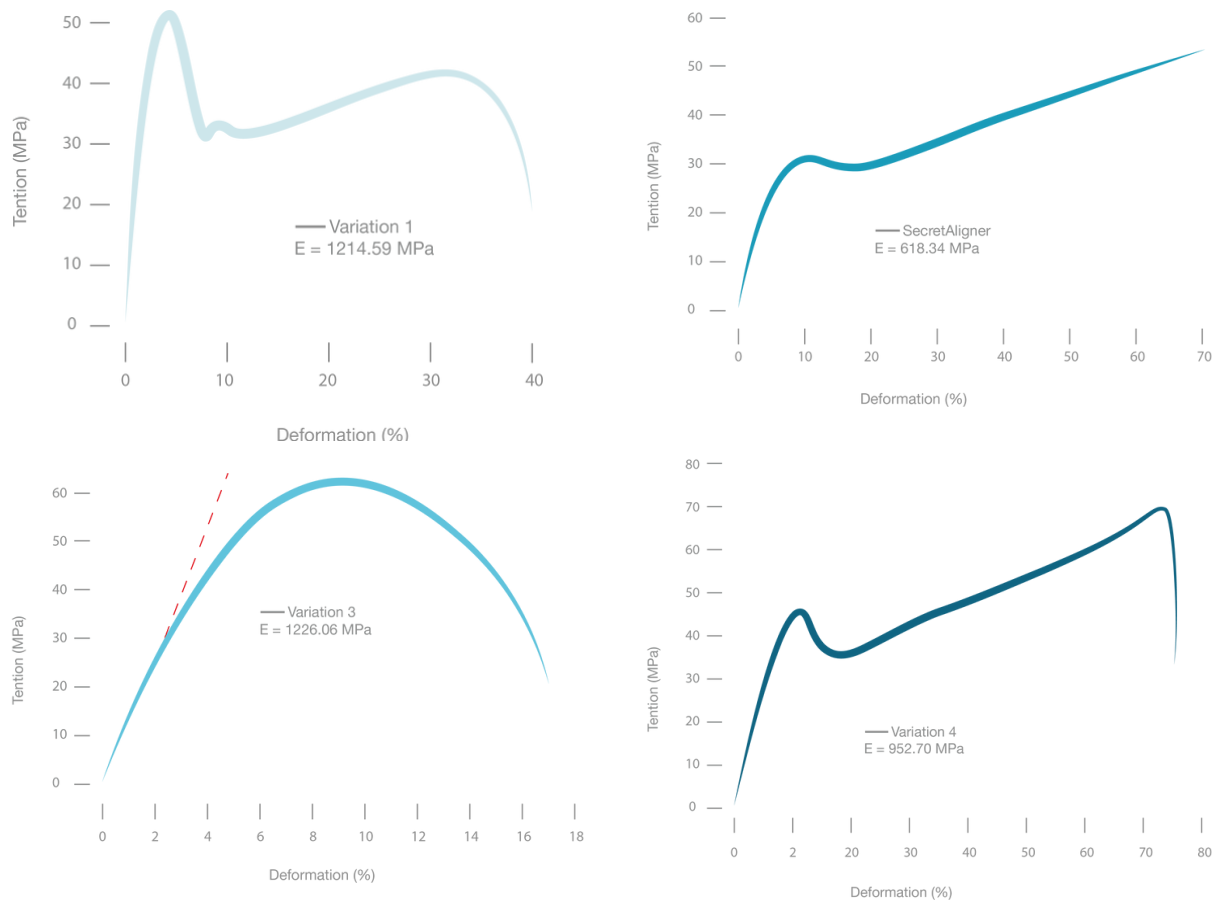
RÉSULTATS

La première chose que l'on observe dans tous les matériaux est qu'ils sont relativement élastiques jusqu'à leur point de fluage, mais on peut constater qu'ils commencent tous à se dévier autour de 3 % de déformation. Cela signifie qu'au-delà de cette limite de 3 %, bien que le matériau reste principalement élastique, il commence à présenter une déformation non récupérable.

La première chose que l'on observe dans tous les matériaux est qu'ils sont relativement élastiques jusqu'à leur point de fluage, mais on peut constater qu'ils commencent tous à se dévier autour de 3 % de déformation. Cela signifie qu'au-delà de cette limite de 3 %, bien que le matériau reste principalement élastique, il commence à présenter une déformation non récupérable.

Cela ne se produit pas avec le hTPU, où le matériau se casse immédiatement après la limite élastique, ni avec le PP, où un phénomène se produit : après ce point de fluage, le matériau se déforme à tension constante, sa section diminue progressivement, il devient blanchâtre, puis finit par se fracturer.

Illustration 1. Courbes contrainte-déformation dans un PETG (en haut à gauche), dans une multicouche (en haut à droite), dans un hTPU (en bas à gauche) et dans un PCTG (en bas à droite).



Comme on peut l'observer sur l'image ci-dessus, dans des matériaux comme le PET ou le PCTG, la zone du maximum couvre une plage de déformations plus réduite que dans les multicouches, où elle est plus étendue et où la chute de tension après le dépassement de la limite élastique est moindre. Cela confère une plus grande marge de sécurité aux multicouches, ainsi qu'une plus large plage élastique.

Les dispositifs d'orthodontie invisible sont conçus pour fonctionner mécaniquement à proximité du point de fluage. Ainsi, une erreur de conception dans une multicouche entraîne une moindre variation dans l'application des forces, tandis que dans le PET ou le PCTG, cette erreur a des conséquences plus marquées.

De plus, il a été observé que, dans la majorité des cas, le matériau multicouche ne se fracture pas complètement, mais uniquement ses couches externes rigides. La couche interne, composée d'un matériau plus souple et élastomérique, se déforme alors presque entièrement de manière élastique, permettant aux éprouvettes de retrouver en grande partie leurs dimensions initiales.

Concernant les valeurs du module élastique, les matériaux monocouches conventionnels tels que le PET et le hTPU présentent des valeurs avoisinant respectivement 1000-1200 MPa et 1200-1300 MPa. En revanche, pour le PCTG, les multicouches et le PP, ces valeurs sont de 900-1000 MPa, 600-700 MPa et 500 MPa respectivement.

RÉSUMÉ

Les essais de traction réalisés sur différents matériaux utilisés en orthodontie invisible ont mis en évidence des différences significatives en termes de propriétés viscoélastiques entre les matériaux multicouches et monocouches.

Les matériaux monocouches tels que le PET, le hTPU et, dans une moindre mesure, le PCTG, présentent un module élastique jusqu'à deux fois plus élevé que celui des multicouches. Cette rigidité accrue peut entraîner une plus grande gêne pour le patient. En revanche, les multicouches, grâce à leur plus grande déformabilité élastique, offrent un meilleur confort et une meilleure adaptation aux contraintes mécaniques sans perte de propriétés élastiques à long terme. Ces résultats soulignent l'intérêt croissant des matériaux multicouches pour l'optimisation des traitements en orthodontie invisible, en alliant efficacité biomécanique et confort patient.

CONCLUSION

Un matériau multicouche est capable de générer des forces plus légères, mais beaucoup plus constantes tout au long du traitement. De plus, il réduit l'impact des erreurs de planification ou des mauvais ajustements en bouche, limitant ainsi les écarts dans l'application des forces.

En revanche, dans les situations nécessitant de faibles déformations, les multicouches ne sont pas en mesure de produire la force suffisante pour activer efficacement le mouvement dentaire. Dans ces cas, il est préférable d'utiliser des matériaux à module élastique plus élevé, comme le hTPU, afin d'assurer une force adéquate pour la correction orthodontique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] M. Upadhyay and S. A. Arqub, 'Biomechanics of clear aligners: hidden truths & first principles', *J. World Fed. Orthod.*, vol. 11, no. 1, pp. 12–21, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.ejwf.2021.11.002.
- [4] A. T. Nguyen, 'Quantitative Evaluation Criteria for the Mechanical Properties of Orthodontic Clear Aligners', UCLA, 2020. Accessed: May 19, 2023. [Online]. Available: <https://escholarship.org/uc/item/1x11r1r8>
- [5] P. Suwanwitid, 'Clear Aligner: Effectiveness, Limitations and Considerations', *J. Dent. Assoc. Thai.*, vol. 71, p. 231236, 2021, doi: 10.14456/JDAT.2021.25.
- [6] F. Tamburrino, V. D'Antò, R. Bucci, G. Alessandri-Bonetti, S. Barone, and A. V. Razionale, 'Mechanical Properties of Thermoplastic Polymers for Aligner Manufacturing: In Vitro Study', *Dent. J.*, vol. 8, no. 2, p. 47, Jun. 2020, doi: 10.3390/dj8020047.
- [7] '3MTM Clarity™ Aligners'. Accessed: Jan. 08, 2024. [Online]. Available: https://www.3m.com/3M/en_US/orthodontics-us/featured-products/clarity-eos/clear-aligners/
- [8] 'The Latest Dental Aligner Material | Spark Aligners'. Accessed: Jan. 08, 2024. [Online]. Available: <https://ormco.com/en-us/spark/trugen-material>