



Au-delà de la fiche technique : Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Résumé

Ce livre blanc a été rédigé en réponse aux allégations des concurrents de la technologie FFF (fabrication par filament fusionné) concernant la supériorité des propriétés des matériaux, et ce malgré les tests internes de Stratasys qui ont démontré le contraire. Cette incongruité entre les spécifications publiées et celles démontrées provient des différences dans les parcours d'outils et l'orientation de fabrication des spécimens de test mécanique entre les méthodes de test de Stratasys et celles du concurrent. Si l'on passe du parcours d'outil standard utilisé par Stratasys au parcours d'outil unidirectionnelles adapté par le concurrent, le matériau Nylon-CF10 FDM® de Stratasys montre une augmentation de 160 % de la température de déflexion à la chaleur (HDT), une augmentation de 152 % du module d'élasticité en traction et une augmentation de 94 % de la limite d'élasticité en traction par rapport à nos spécifications publiées. L'impression d'échantillons mécaniques avec des trajectoires d'outil unidirectionnelles est appropriée pour montrer la résistance maximale d'un matériau chargé en fibres de carbone, mais n'est pas adéquate de la résistance de ce matériau dans la pièce FFF imprimée en 3D dans une situation réaliste.

Au-delà de la fiche technique :

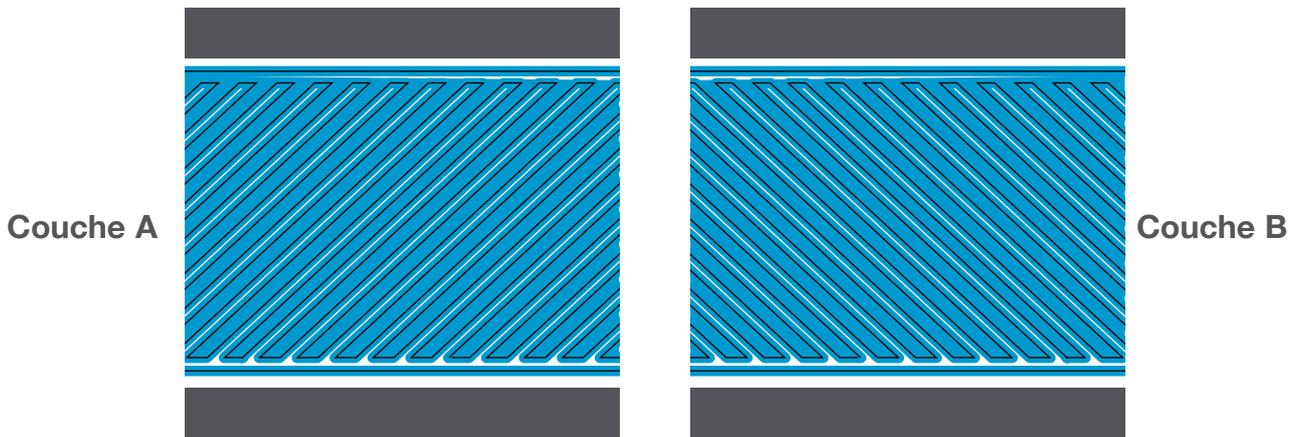
Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Introduction

Chez Stratasys, les propriétés mécaniques sont testées de manière cohérente et transparente ([consultez la procédure de test des matériaux Stratasys pour les procédures de test standard pour FDM](#)).

Les trajectoires d'outil suivent le parcours d'outil généré par défaut, où les couches sont orientées à 45° / -45° les unes par rapport aux autres. Cela signifie que la première couche de trame est à 45° dans le plan **XY** et que la couche suivante est perpendiculaire à cette couche (-45°). Pour une géométrie rectangulaire simple, il y aurait une alternance entre la couche A et la couche B dans l'[illustration 1](#). Le test de propriétés mécaniques avec des trames à 45° / -45° produit des performances plus isotropes dans le plan **XY** et représente les trajectoires d'outil utilisées pour les grandes pièces, telles que celles utilisées dans la fabrication.

Trajectoires d'outils de test mécanique Stratasys



Trajectoires d'outils de test mécanique des concurrents

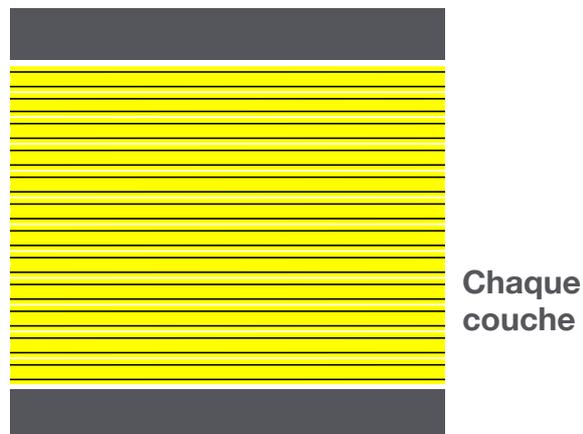


Illustration 1 - Différence entre les trajectoires d'outils de test mécanique de Stratasys et celles des concurrents. Stratasys possède des trames à un angle de 45° avec un décalage perpendiculaire entre les couches. Les concurrents ont des trajectoires d'outils unidirectionnelles qui sont les mêmes sur chaque couche.

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Lors de la fabrication des pièces FDM de Stratasys, les couches sont ajoutées une par une, ce qui réduit la liaison entre les couches et diminue la résistance dans la direction verticale (Z) par rapport au plan XY. Lors de l'impression d'un matériau plein, tel que le Nylon-CF10 ou l'ABS-CF10, ce phénomène est accentué lorsque la fibre de carbone s'aligne dans les trajectoires d'outils et augmente la résistance dans le plan XY. Stratasys teste les propriétés mécaniques dans les orientations sur la tranche (XZ) et Vertical (ZX) (voir l'illustration 2). Les données verticales (ZX) présentent la condition la plus faible, afin que les pièces puissent être conçues en tenant compte des performances mécaniques « les plus défavorables » possibles pour laisser une grande marge de sécurité.

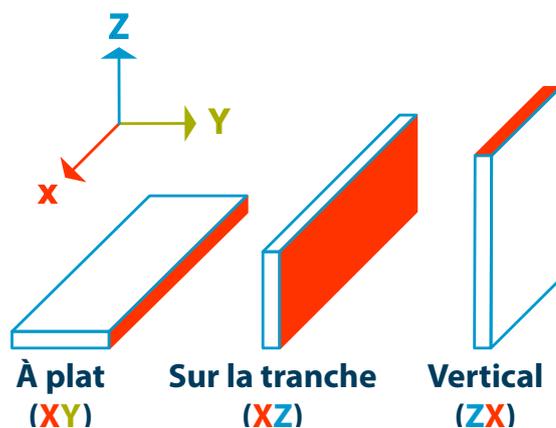
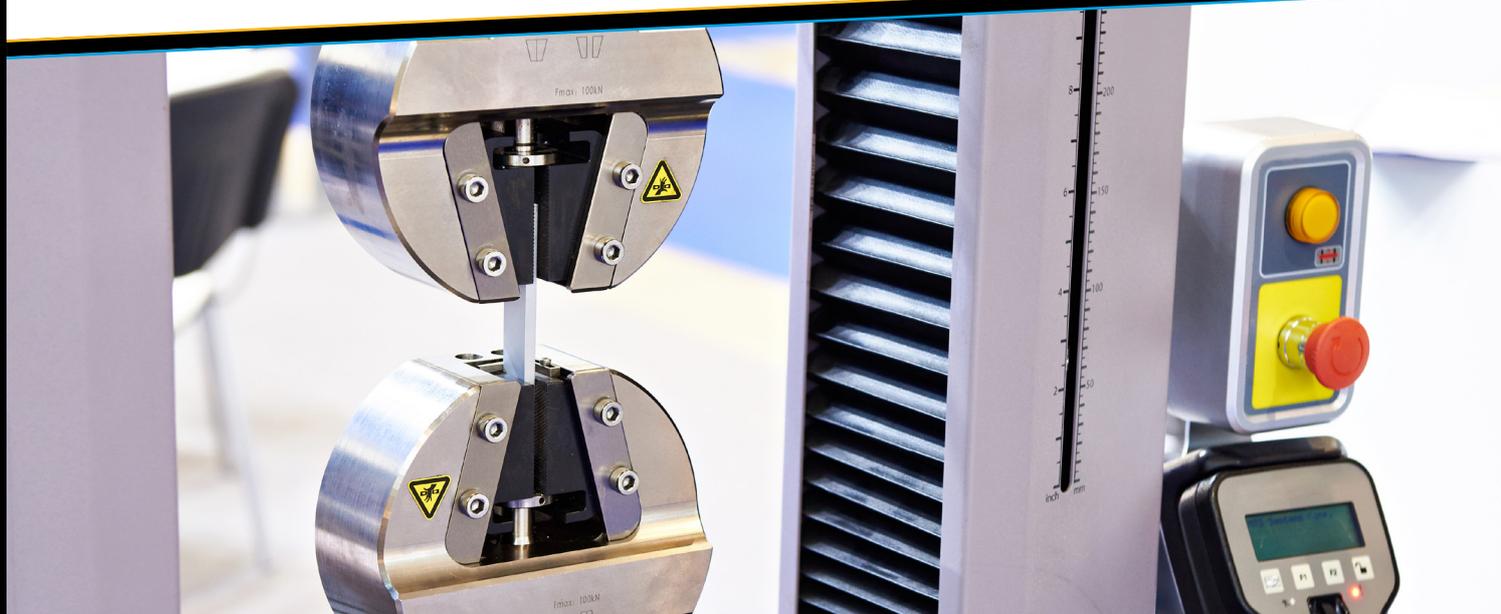


Illustration 2 - Orientations d'impression.

Les fabricants de FFF concurrents ont tendance à sélectionner et à présenter les propriétés mécaniques et physiques à partir de trajectoires d'outils optimisées pour la configuration du test. Par exemple, un concurrent ne fournit des données que pour l'orientation à plat (XY) avec des trajectoires d'outils unidirectionnelles comme celles illustrées dans l'illustration 1. Avec un matériau plein, les fibres de carbone alignées aident à augmenter la résistance au sein du plan de construction XY. Cette méthode d'optimisation des trajectoires d'outil est appropriée pour montrer la résistance maximale des matériaux pleins, mais doit être utilisée avec prudence, car elle n'est pas représentative des trajectoires d'outil et de la résistance typiques des pièces.

Pour montrer les performances améliorées avec des trajectoires d'outils unidirectionnelles, Stratasys a imprimé des échantillons pour la température de déflexion à la chaleur (HDT), la flexion, la traction et la résistance aux chocs en ABS-CF10 et Nylon-CF10. Ce livre blanc présente les procédures et les performances améliorées des matériaux lors de l'utilisation de trajectoires d'outils unidirectionnelles.



Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Procédure de test

Le logiciel Insight™ a été utilisé pour préparer les fichiers de fabrication avec une trajectoire d'outil unidirectionnelle pour les échantillons de test pour la HDT, la traction, la flexion et l'impact. Des échantillons ont été préparés pour les matériaux ABS-CF10 et Nylon-CF10. Des détails spécifiques concernant les paramètres de traitement et les méthodes de test sont disponibles dans les sous-sections ci-dessous. Sauf indication contraire, les paramètres et les normes de traitement par défaut ont été suivis. Des échantillons comparatifs dans ces matériaux avec des trames standard de 45°/-45° ont suivi les procédures de la [Procédure de test des matériaux de Stratasys](#) pour le traitement des fichiers.

Tous les packs de fabrication ont été créés avec le logiciel Control Center™ en suivant le processus de la Procédure de test des matériaux de Stratasys. Les échantillons ABS-CF10 ont été produits sur une F370® et les échantillons de Nylon-CF10 sur une F370®CR. Pour chaque type de matériau, le matériau provenait du même lot. Le support QSR™ a été utilisé avec les deux matériaux de modèle. Les échantillons de Nylon-CF10 ont été immergés en réservoir pendant 4 à 6 heures pour retirer le support QSR. Le matériau de support a été retiré manuellement de l'échantillon ABS-CF10.

Pour les échantillons de résistance à la traction, à la flexion et à l'impact, 10 d'entre eux ont été testés pour chaque type de matériau et de trajectoire d'outil. Pour la HDT, des tests en triple ont été effectués pour chaque matériau et pression [0,45 MPa et 1,8 MPa (66 et 264 psi)]. Les détails des tests physiques et mécaniques pour cette étude sont énumérés ci-dessous.

Consultez l'annexe A pour obtenir une liste complète des versions de logiciel et des équipements de test.

Tests de température de déflexion à la chaleur

Les échantillons de test HDT étaient des échantillons de 127 mm x 12,7 mm x 5,1 mm (5 po x 0,5 po x 0,2 po), imprimés en orientation à plat (XY) avec trajectoire d'outil unidirectionnelle. Pour ce faire, les échantillons ont été produits comme un « circuit » de contours continus en reliant deux échantillons de longueur surdimensionnée, reliés par des extrémités arrondies comme indiqué dans l'[illustration 3](#). Les extrémités semi-circulaires ont été coupées à la dimension voulue en enlevant les extrémités semi-circulaires aux endroits indiqués dans l'[illustration 3](#).

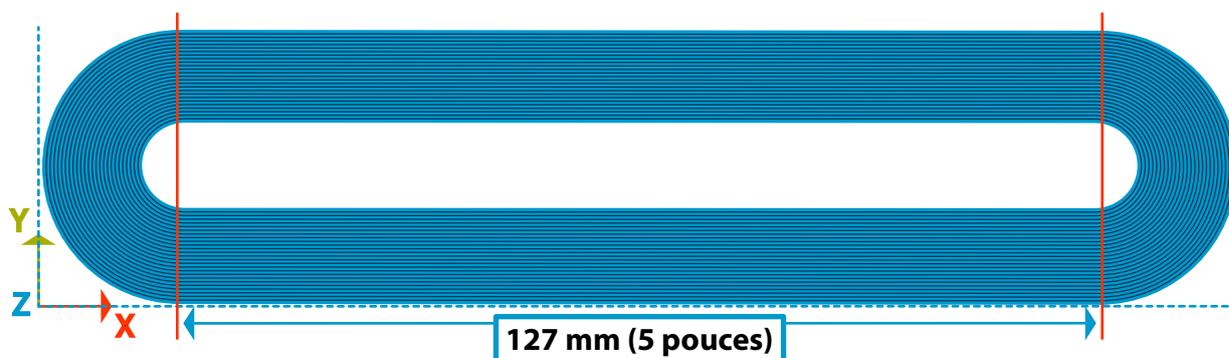


Illustration 3 - Circuit avec deux échantillons HDT attachés pour permettre des contours continus. Les demi-cercles ont été coupés pour ne laisser que l'échantillon HDT.

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Lors du traitement dans Insight, les paramètres de trajectoire d'outil ont été modifiés pour spécifier 15 contours et une largeur de contour de 0,0210 pouce pour le Nylon-CF10 et de 0,0208 pouce pour l'ABS-CF10. Lorsque la largeur de contour par défaut de 0,02 pouce a été utilisée, une petite trame est apparue au milieu de l'échantillon (voir l'illustration 4). Visuellement, on distingue un petit écart dans les trajectoires d'outil pour l'ABS-CF10 dans Insight, mais lors de l'impression, l'échantillon présentait un débordement sur la surface supérieure jusqu'à ce que la largeur du contour soit réduite à 0,0208 po. Un exemple des paramètres Insight pour les échantillons HDT est présenté dans l'illustration 5.

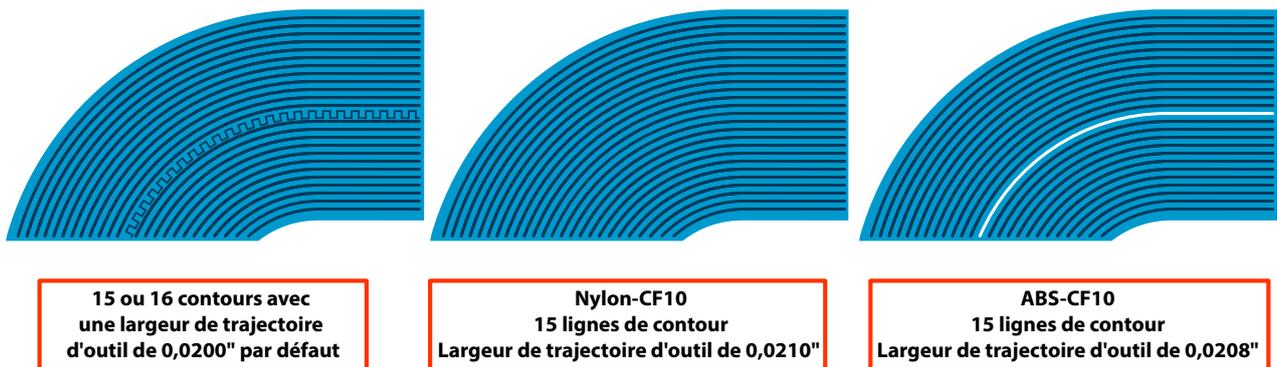
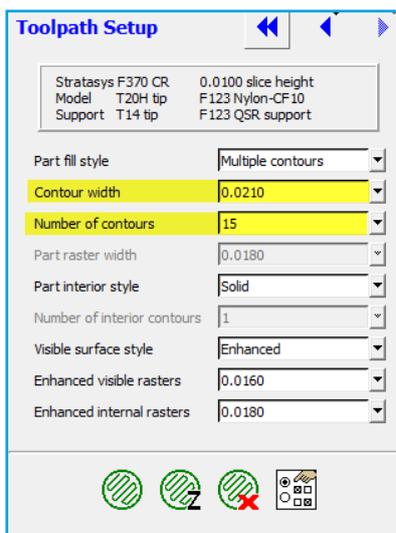


Illustration 4 - Exemple de contours sur le circuit HDT. Lorsque la largeur de contour par défaut a été utilisée, un petit motif de trame était présent au milieu de l'échantillon. Pour l'ABS-CF10 et le Nylon-CF10, la largeur du contour a été élargie de 0,0008-0,0010" pour des trajectoires d'outils complètement unidirectionnelles.



Les échantillons HDT unidirectionnels ont été testés à 0,45 et 1,8 MPa (66 et 264 psi). Trois échantillons ont été testés par matériau et par pression, conformément à la procédure B de la norme ASTM D648, avec une longueur de portée d'environ 51 mm (~ 2 pouces). Avant le test, tous les échantillons HDT ont été conditionnés pendant un minimum de 16 heures à $70 \pm 0,5$ °C (158 °F $\pm 0,9$ °F) dans une étuve à vide à moins de 100 mbar.

Illustration 5 - Exemple de paramètres de trajectoire d'outil modifiés pour HDT. Les paramètres modifiés sont surlignés en jaune.

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Résistance à la tension

Des tests mécaniques de tension ont été effectués sur des échantillons ASTM D638 Type I, épaisseur = 3,3 mm (0,130 po). Pour créer les trajectoires d'outils unidirectionnelles, toutes les courbes de l'échantillon de résistance à la tension ont été ajoutées à un groupe personnalisé dans Insight. Le groupe personnalisé était nécessaire pour qu'un angle delta de 0° puisse être appliqué afin d'éviter que la section de trame du coupon ne soit perpendiculaire sur des couches alternées. Dans le groupe personnalisé, les trajectoires d'outil modifiées ont utilisé six contours. Les commandes d'angle de remplissage ont été définies avec un angle de départ de 0° et un angle delta de 0°. Pour le Nylon-CF10, la largeur du contour était la valeur par défaut de 0,02 pouce. Pour l'ABS-CF10, la largeur du contour était de 0,0198 pouce car l'apparence de la pièce était trop remplie à la valeur par défaut de 0,02 pouce. L'**illustration 6** montre les trajectoires d'outil des coupons de tension avec les trajectoires d'outil unidirectionnelles en place pour la région coudée. L'**illustration 7** montre les paramètres de trajectoire d'outil qui ont été modifiés dans le groupe personnalisé appliqué pour la pièce.

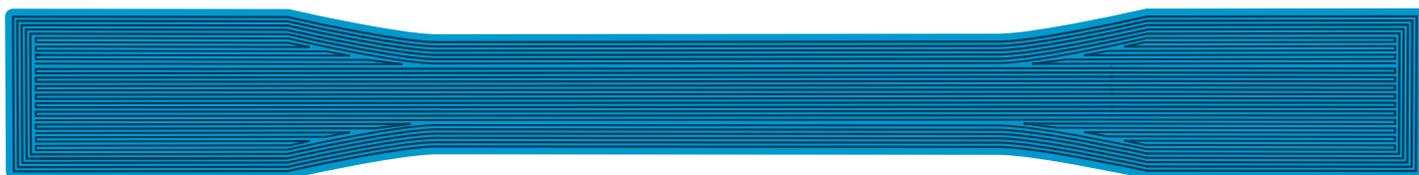
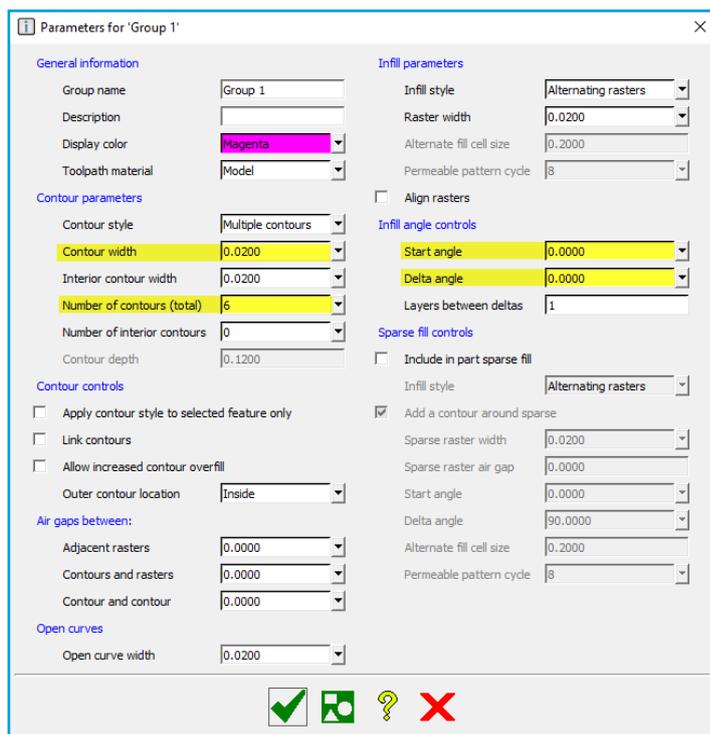


Illustration 6 - Trajectoires d'outil du coupon de tension D638 avec des trajectoires d'outil unidirectionnelles dans la région coudée.



Des tests mécaniques de tension ont été effectués selon la norme ASTM D638 avec une vitesse de traverse de 0,2 pouce/min. Le module d'élasticité en traction est calculé selon les valeurs de contrainte-déformation de 15 % à 35 % de la charge maximale. Avant le test, tous les échantillons ont été conditionnés pendant un minimum de 40 heures à 23 ± 2 °C (73 °F ± 3,6 °F) et 50 ± 10 % RH.

Illustration 7 - Exemple de groupes personnalisés pour les coupons de traction unidirectionnelle. Les paramètres modifiés sont surlignés en jaune pour le Nylon-CF10.

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Résistance à la flexion

Des tests mécaniques de flexion ont été effectués sur des échantillons ASTM D790, 10,2 mm x 6,1 mm x 152,4 mm (0,4 po x 0,24 po x 6 po). Comme avec les échantillons HDT, les coupons de résistance à la flexion ont été créés à partir d'un « circuit » avec uniquement des contours ; les extrémités ont ensuite été coupées (voir l'illustration 8). Afin de créer des coupons entièrement remplis, des ajustements mineurs ont été apportés à la largeur du contour pour remplir le coupon, puis les paramètres ont été réduits si le coupon était trop rempli lors de l'impression. Pour les paramètres de trajectoire d'outil modifiés dans Insight, les contours ont été fixés à 10 et la largeur du contour a été fixée à 0,0201 pouce pour le Nylon-CF10 et à 0,02005 pouce pour l'ABS-CF10.

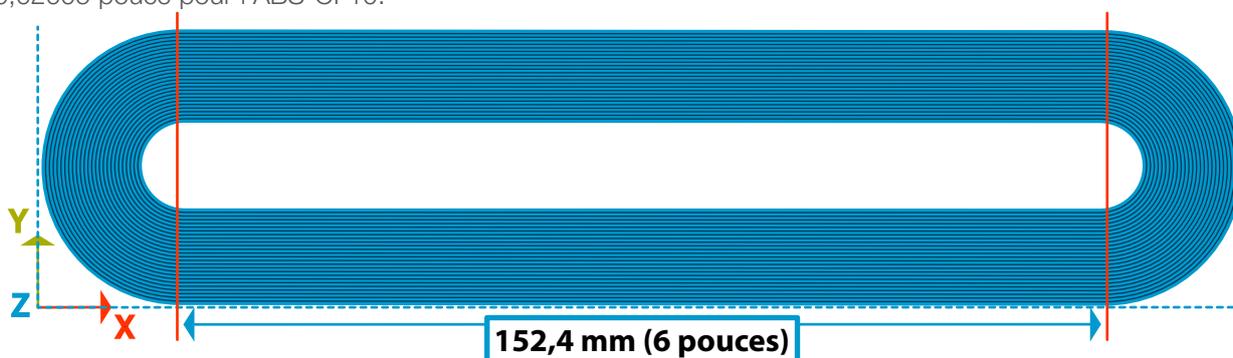


Illustration 8 - Circuit avec deux échantillons de résistance à la flexion attachés pour permettre des contours continus. Les demi-cercles ont été coupés pour ne laisser que l'échantillon de résistance à la flexion.

Des tests mécaniques de flexion ont été effectués sur des échantillons ASTM D790 en utilisant la procédure A avec une longueur de portée d'environ 2 pouces et une vitesse de déformation de 0,01 pouce/pouce/min. Avant le test, tous les échantillons ont été conditionnés pendant un minimum de 40 heures à 23 ± 2 °C (73 °F $\pm 3,6$ °F) et 50 ± 10 % RH.

Résilience Izod (avec entaille)

Les échantillons de résilience Izod ont été réalisés sur des échantillons ASTM D256, épaisseur = 3,175 mm (0,125 po). Les trajectoires d'outil ont été créées de manière similaire à l'échantillon de résistance à la traction, avec un groupe personnalisé afin que l'angle delta de la trame puisse être défini sur 0°. Le groupe personnalisé a été défini avec un contour unique, un remplissage solide, un angle de départ de contrôle d'angle de remplissage de 0° et un angle delta de 0°, et des largeurs de contour et de trame par défaut. Cela a abouti à un remplissage de coupon tel que celui indiqué dans l'illustration 9 sur chaque couche.

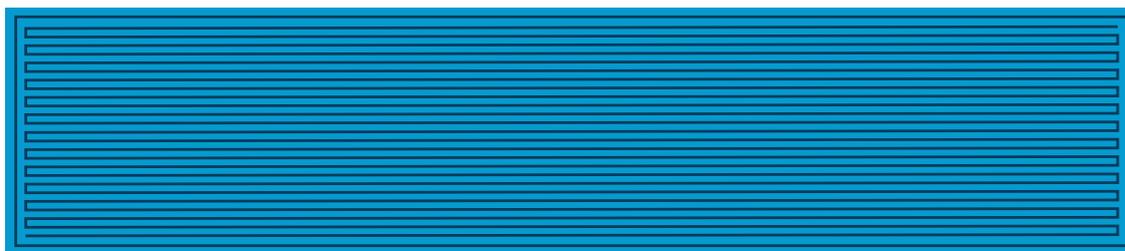


Illustration 9 - Trajectoires d'outil de l'échantillon de résilience Izod unidirectionnelle.

Les tests de résilience Izod avec entaille ont été effectués selon la norme ASTM D256 avec une capacité pendulaire de 2 ou 16,1 pi*lb en utilisant la méthode A. L'entaille a été créée après l'impression conformément à la norme ASTM D256. Avant le test, tous les échantillons ont été conditionnés pendant un minimum de 40 heures à 23 ± 2 °C (73 °F $\pm 3,6$ °F) et 50 ± 10 % RH.

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Résultats et analyse

Lors de l'examen des résultats des tests unidirectionnels, les données existantes des fiches techniques des matériaux ou d'autres ensembles de données qui ont été testés selon la procédure de test des matériaux Stratasys sont incluses pour présenter les comparaisons avec les performances mécaniques. Les données brutes pour les données unidirectionnelles seront disponibles sur demande. Les tableaux comportant les unités impériales sont disponibles dans l'[Annexe B](#).

Tests HDT

La HDT est la température à laquelle un matériau commence à se ramollir ou à se déformer sous charge, indiquant sa résistance à la chaleur. Elle aide à déterminer la température maximale qu'un matériau peut supporter sans déformation ni défaillance significative.

Les données HDT pour l'ABS-CF et le Nylon-CF sont présentées dans le [tableau 1](#). Les trajectoires d'outil unidirectionnelles dans ABS-CF10 montrent des augmentations incrémentielles par rapport aux trajectoires d'outil standard de 45°/-45° aux deux pressions. Le Nylon-CF10 présente des augmentations significatives d'environ 160 % entre les trajectoires d'outils unidirectionnelles et standard. Il convient également de noter que les trajectoires d'outils unidirectionnelles sont supérieures aux données HDT telles que moulées. En alignant les fibres de carbone le long des trajectoires d'outil, plutôt que de les disperser de manière plus aléatoire pendant le processus de moulage par injection, on note une augmentation de 13 % à 40 % de la HDT obtenue.

	HDT (°C)			
	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Faible (0,45 MPa)	Élevée (1,8 MPa)	Faible (0,45 MPa)	Élevée (1,8 MPa)
Trajectoires d'outil unidirectionnelles (orientation XY)	117	112	153	133
Trajectoires d'outil standard 45/-45 (orientation XY)	112	111	58	52
Tel que moulé	100	99	109	105

Tableau 1 - HDT de l'ABS-CF10 et du Nylon-CF10

Résistance à la tension

Les tests de résistance à la tension évaluent la résistance, la ductilité et l'allongement d'un matériau en tirant sur les extrémités de l'échantillon jusqu'à ce qu'il se brise. Les données de tension pour les trajectoires d'outils unidirectionnelles figurent dans le [tableau 2](#), ainsi que des données de tension pour les coupons **XY** avec des trajectoires d'outil normales à 45°/-45° provenant des mêmes machines et lots de matériaux que ceux unidirectionnels. Pour les deux matériaux, on note une augmentation du module d'élasticité en traction, de la limite d'élasticité et de la contrainte à la rupture, ainsi qu'une diminution des valeurs d'allongement avec les trajectoires d'outils unidirectionnelles. Cela semble logique, car les fibres de carbone alignées dans l'axe sous tension aident à améliorer la résistance, mais diminuent la capacité du matériau de la matrice à s'allonger dans l'axe de tension.

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Pour l'ABS-CF10, les trajectoires d'outil unidirectionnelles entraînent une augmentation de 25 % de la limite d'élasticité et de la contrainte à la rupture et une augmentation de 71 % du module d'élasticité par rapport aux trajectoires d'outil standard. Avec le Nylon-CF10, le module d'élasticité augmente de 152 % et la limite d'élasticité de 94 % avec les trajectoires unidirectionnelles.

De plus, les données de traction sont relativement serrées, comme indiqué dans l'illustration 10 - La limite d'élasticité à la traction est augmentée avec l'utilisation de trajectoires d'outils unidirectionnelles. Le coefficient de variation (COV), qui est défini comme l'écart type divisé par la moyenne, est inférieur à 4 % pour l'ensemble du module d'élasticité en traction et de la limite d'élasticité pour les données de traction **XY**.

Pour l'ABS-CF10, les trajectoires d'outil unidirectionnelles entraînent une augmentation de 25 % de la limite d'élasticité et de la contrainte à la rupture et une augmentation de 71 % du module d'élasticité par rapport aux trajectoires d'outil standard. Avec le Nylon-CF10, le module d'élasticité augmente de 152 % et la limite d'élasticité de 94 % avec les trajectoires unidirectionnelles.

Trajectoires d'outil	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Unidirectionnelle	Standard 45/-45	Unidirectionnelle	Standard 45/-45
Module d'élasticité (GPa)	5,22	3,04	6,03	2,39
Limite d'élasticité (MPa)	44,9	35,8	68,1	35,1
Allongement au seuil d'écoulement (%)	1,2	3,0	4,0	5,6
Contrainte à la rupture (MPa)	44,6	35,6	64,4	20,0
Élongation à la rupture (%)	1,2	3,0	5,1	8,2

Tableau 2 - Données de tension de l'ABS-CF10 et du Nylon-CF10 dans l'orientation XY

Limite d'élasticité à la tension impactée par les trajectoires d'outil

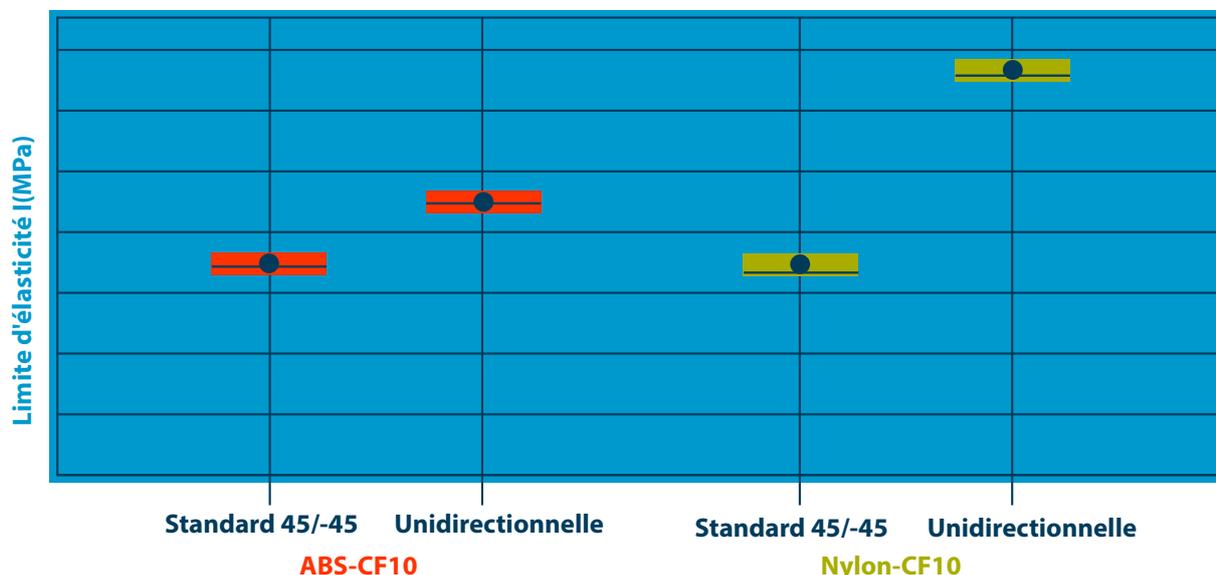


Illustration 10 - La limite d'élasticité à la traction est augmentée en utilisant des trajectoires d'outils unidirectionnelles.

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Résistance à la flexion

Les tests de résistance à la flexion évaluent la capacité d'un matériau à résister à la flexion ou à la déformation dans une configuration de chargement en trois points. Ils indiquent la résistance du matériau à la rupture ou à la fissuration lorsqu'il est soumis à des forces de flexion, ce qui donne un aperçu de son intégrité structurelle et de sa capacité à supporter des charges dans des applications réelles. Les données de résistance à la flexion unidirectionnelle sont présentées dans le **tableau 3** et la résistance à la flexion est indiquée dans l'**illustration 11**. Les données des 10 échantillons sont très reproductibles, avec un COV inférieur à 4 % pour le module de flexion et la déformation par flexion en rupture pour chaque matériau.

Résistance à la flexion de l'échantillon XY avec des trajectoires d'outil unidirectionnelles Nylon-CF10		
	ABS-CF10	Nylon-CF10
Module d'élasticité (GPa)	4,96	6,96
Déformation par flexion en rupture (%)	2,6	3,4
Contrainte de flexion à la rupture (MPa)	89,3	138,2

Tableau 3 - Résistance à la flexion de l'ABS-CF10 et du Nylon-CF10 dans l'orientation XY avec des trajectoires d'outils unidirectionnelles

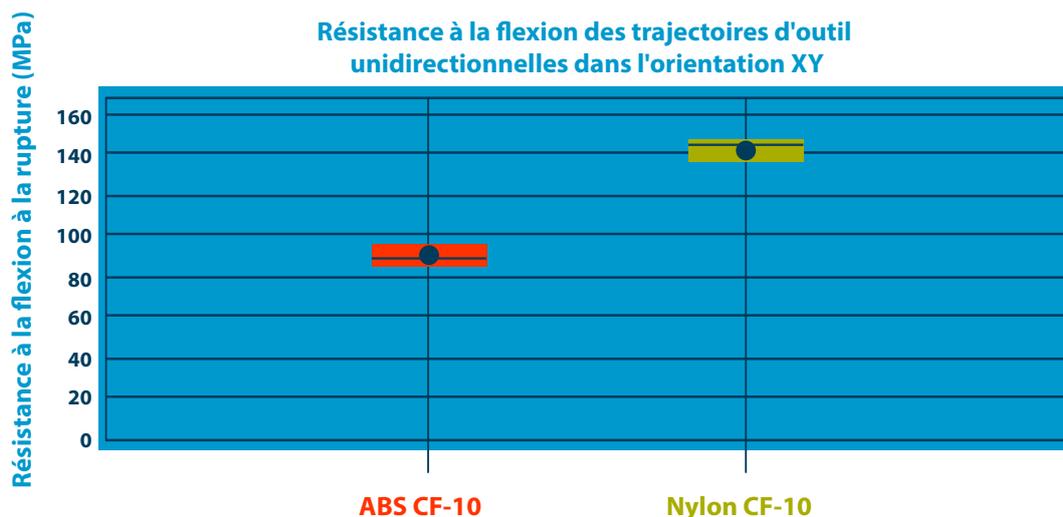


Illustration 11 - Contrainte de flexion à la rupture des trajectoires d'outils unidirectionnelles dans l'orientation XY.

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Résilience Izod (avec entaille)

Le test Izod avec entaille est une méthode utilisée pour évaluer la résistance aux chocs d'un matériau en mesurant l'énergie nécessaire pour casser un échantillon à entaille soumis à un impact pendulaire. Il indique la capacité du matériau à résister à un impact soudain ou à des charges de choc et donne un aperçu de sa robustesse et de sa résistance à la rupture. Ce test est très utile dans la sélection des matériaux pour les applications où l'impact ou la charge dynamique pose problème. Il aide à garantir que le matériau choisi peut résister aux impacts potentiels sans défaillance catastrophique.

Le [tableau 4](#) contient les données d'impact pour l'ABS-CF10 et le Nylon-CF10. Les données des trajectoires d'outil standard sont les données de la fiche technique du matériau. En imprimant des trajectoires d'outils unidirectionnelles dans l'orientation à plat, on note une augmentation de 54 % et de 26 % de la résistance aux chocs la plus élevée rapportée de l'ABS-CF10 et du Nylon-CF10, respectivement. Pour la technologie FDM, en raison de la liaison intercouche réduite entre les couches, la direction verticale (**Z**) est plus faible que le plan **Xy** (à plat). Si Stratasys ne communiquait que les données unidirectionnelles, la résistance aux chocs du Nylon-CF10 serait 7,5 fois supérieure à celle de l'orientation verticale (**XZ**) et la résistance aux chocs de l'ABS-CF10 serait 3,9 fois plus élevée. Cela fausserait considérablement la résistance réelle du matériau dans une pièce réelle où le chargement dynamique pose problème. Lors de la conception de pièces, la résistance du matériau dans la direction **Z** doit également être prise en compte pour garantir des limites de conception et des facteurs de sécurité appropriés.

L'impression de trajectoires d'outil unidirectionnelles dans l'orientation à plat entraîne une augmentation de 54 % de la résistance aux chocs de l'ABS-CF10 et une augmentation de 26 % de la résistance aux chocs du Nylon-CF10, mais cela ne reflète pas la résistance réelle du matériau dans les pièces réelles, où la résistance verticale est cruciale.

Des considérations de conception appropriées doivent tenir compte de la force directionnelle X, Y et Z pour la sécurité et la fonctionnalité.

Résistance aux chocs Izod de l'ABS-CF10 et du Nylon-CF10 (J/m)			
Orientation d'impression	Trajectoires d'outil	ABS-CF10	Nylon-CF10
À plat (XY)	Unidirectionnelle	79,2	272
Sur la tranche (XZ)	Standard 45°-45°	51,4	202
Vertical (ZX)	Standard 45°-45°	20,3	36,3

Tableau 4 - Données de résistance aux chocs Izod

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Comparaison avec le concurrent le plus proche

La rédaction de ce livre blanc a été motivée par les affirmations de concurrents selon lesquelles les propriétés de leurs matériaux étaient supérieures. Le test de nos matériaux avec des trajectoires d'outils unidirectionnelles livre une image plus claire, avec une comparaison plus appropriée. Pour illustrer cela, le **tableau 5** résume les données mécaniques unidirectionnelles pour l'ABS-CF10 et le Nylon-CF10 juste à côté des données mécaniques rapportées d'un concurrent. Sauf indication contraire, les données sur le matériau du concurrent proviennent directement de la dernière fiche technique du concurrent (datée de début 2022).

Lorsque l'on observe le **tableau 5**, il faut tenir compte de l'étendue des données représentées. Pour les matériaux concurrents, chaque point de données représente un test en trois exemplaires, c'est-à-dire seulement 3 échantillons. Pour l'ABS-CF10 et le Nylon CF10, le test HDT représente 3 échantillons, mais les propriétés du matériau de résistance à la tension, à la flexion et à l'impact contiennent des données provenant de 10 échantillons. Pour les tests mécaniques typiques sur les fiches techniques des matériaux FDM Stratasys, les données représentées concernent 30 échantillons au minimum (3 machines x 10 coupons). Ainsi, les matériaux Stratasys sont représentés par trois fois plus de données, mais nos fiches techniques de matériaux typiques contiennent dix fois plus de données par rapport à ce concurrent.

La rédaction de ce livre blanc a été motivée par les affirmations de concurrents selon lesquelles les propriétés de leurs matériaux étaient supérieures. Le test de nos matériaux avec des trajectoires d'outils unidirectionnelles livre une image plus claire, avec une comparaison plus appropriée.

Pour les résultats des tests de tension, les matériaux Stratasys ont un module d'élasticité en traction et une résistance à la tension supérieurs, tandis que les matériaux concurrents ont un allongement à la rupture plus important. Il s'agit d'un compromis ; en augmentant la résistance du matériau et sa capacité à résister à la déformation à une force donnée, la quantité d'élasticité ou la capacité d'allongement est diminuée. Le module d'élasticité en traction de l'ABS-CF10 et du Nylon-CF10 est environ deux fois supérieur à celui des matériaux concurrents, ce qui indique que les matériaux Stratasys sont plus rigides et capables de résister à des forces plus importantes avec moins de déformation.

Pour les résultats des tests de flexion, l'ABS-CF10 et le Nylon-CF10 ont un module de flexion et une contrainte à la rupture supérieurs à ceux des matériaux concurrents. Cela indique que ces matériaux sont plus à même de résister à la charge de flexion en 3 points, avec moins de déformation pour une charge donnée. Les fibres de carbone de l'ABS-CF10 et du Nylon-CF10 sont plus longues que celles des matériaux concurrents, ce qui contribue à augmenter leur capacité à résister à la flexion sous une charge donnée.

Pour la HDT à 0,45 MPa, la fiche technique du matériau concurrent indique 145 °C, ce qui est inférieur à celle du Nylon-CF10 (153 °C) et supérieur à celle de l'ABS-CF10 (117 °C). Le concurrent ne fournit aucune donnée de performance pour la HDT à 1,8 MPa, mais Stratasys a testé le seul matériau avec une pression plus élevée pour la HDT. Pour ce matériau, la HDT à 1,8 MPa était de 71 °C, ce qui représente une diminution de 51 % de la température HDT liée à la pression inférieure pour ce matériau. Pour l'ABS-CF10 et le Nylon-CF10, la diminution de la température HDT n'est que de 4 % et 13 % avec la pression plus élevée.

Pour la résistance aux chocs, le matériau concurrent est supérieur à l'ABS-CF10 et au Nylon-CF10. L'utilisation de la même méthodologie de test permet d'obtenir des valeurs plus appropriées pour la comparaison avec le matériau concurrent.

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Comparaison des propriétés mécaniques et physiques entre les matériaux Stratasys et les matériaux concurrents

	Propriétés des matériaux	ABS-CF10	Nylon-CF10	Matériau concurrent 1	Matériau concurrent 2
Élasticité ²	Module d'élasticité (GPa) ¹	5,22	6,03	2,4	3,0
	Limite d'élasticité (MPa)	44,9	68,1	40	41
	Allongement au seuil d'écoulement (%)	1,2	4,0	non reporté	non reporté
	Contrainte à la rupture (MPa)	44,6	64,4	37	40
	Élongation à la rupture (%)	1,2	5,1	25	18
Flexion	Module d'élasticité (GPa)	4,96	6,96	3,0	3,6
	Résistance à la flexion en rupture (%)	2,6	3,4	non reporté	non reporté
	Contrainte de flexion à la rupture (MPa)	89,3	138	71	71
HDT	Température de déflexion à la chaleur - 0,45 MPa (°C)	117	153	145	145
	Température de déflexion à la chaleur - 1,8 MPa (°C)	112	133	105 (tests en laboratoire Stratasys ³)	non reporté
Impact	Résilience Izod - avec entaille (J/m)	79,2	272	330	non reporté

Tableau 5 - Comparaison des propriétés mécaniques et physiques entre les matériaux Stratasys et les matériaux concurrents

Remarques :

1. Le module d'élasticité en traction pour l'ABS-CF10 et le Nylon-CF10 est calculé sur la base des valeurs de contrainte-déformation de 15 % à 35 % de la charge maximale. La plage de calcul du module d'élasticité en traction n'est pas connue pour le matériau concurrent.
2. Des échantillons d'ABS-CF10 et de Nylon-CF10 ont été imprimés avec la forme voulue, avec des trajectoires d'outils unidirectionnelles. Des coupons de traction du matériau concurrent ont été coupés à la forme voulue.
3. Le concurrent ne signale pas la pression plus élevée des tests HDT. En suivant les méthodes et tests de Stratasys, voici la valeur notée pour 1,8 MPa. Les mesures Stratasys de la HDT à 0,45 MPa étaient très similaires aux valeurs rapportées.

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Conclusion

En raison de la grande influence des trajectoires d'outil sur les propriétés mécaniques et physiques, les clients des entreprises de fabrication additive doivent examiner de près les données présentées pour effectuer des comparaisons précises entre les propriétés des matériaux.

En basculant entre les trajectoires d'outil standard 45°/-45° et les trajectoires d'outil unidirectionnelles optimisées, nous avons constaté des changements drastiques dans les performances des matériaux ABS-CF10 et Nylon-CF10. Pour la HDT, le Nylon-CF10 a montré une augmentation de 160 % en modifiant les trajectoires d'outil à 0,45 MPa et 1,8 MPa. Pour la résistance à la tension, l'ABS-CF10 a présenté une augmentation de 71 % du module d'élasticité. Le Nylon-CF10 a présenté une augmentation de 152 % du module d'élasticité et de 94 % de la limite d'élasticité avec les trajectoires unidirectionnelles. Ces modifications de la résistance et, en fin de compte, des performances des pièces ne sont pas mineures. Elles représentent une différence radicale par rapport aux matériaux concurrents qui sont toujours testés avec des trajectoires d'outils unidirectionnelles optimisées. Les tests mécaniques, en particulier s'ils sont utilisés pour définir les limites de conception, doivent être effectués sur des échantillons représentatifs des géométries des pièces. L'optimisation des trajectoires d'outil dans l'orientation la plus solide montre la résistance maximale possible, mais peut ne pas correspondre à la résistance réelle de la pièce et n'est pas conseillée en tant que méthodologie de test standard.

Annexe A - Versions logicielles, équipement de test et historique d'étalonnage

	ABS-CF10	Nylon-CF10
Logiciel de traitement	Insight 16.10 (version 4372)	
Logiciel pour l'emballage des fabrications	Control Center 16.10 (version 4372)	
Numéro de série de l'imprimante pour les fabrications	D80022	D80005
Logiciel back-end de l'imprimante	2.5.5966.0	2.6.5976.0
Informations sur le matériau	Réf. : 333-90310 Numéro de série : 630755611 Date de fabrication : 04 juin 2022 Lot : 112995	Réf. : 333-90450 Numéro de série : 676936711 Date de fabrication : 13 avril 2023 Lot : 114590

Tableau 6 - Versions logicielles, informations sur la machine et informations sur le matériau

Tests	Équipement	Numéro de série	Date d'étalonnage
Test de tension	MTS Critère 43	5001678	15/6/2023
Cellule de charge de traction	Cellule de charge 10kN LPS-104C	1010933	16/6/2023
Extensomètre	Extensomètre 2 pouces 634-28E-24	10574728	15/6/2023
Tests de flexion	MTS Critère 43	5000462	14/6/2023
Cellule de charge flexible	Cellule de charge 5 kN LPS-503C	1021979	14/6/2023
HDT	DMA Q300	0800-1786	29/3/2023
Tests d'impact	Testeur d'impact Tinuis Olsen 892	195795	31/1/2023

Tableau 7 - Équipement de test et date d'étalonnage

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

Annexe B - Tableaux en unités impériales

	HDT (°F)			
	ABS-CF10		Nylon-CF10	
Trajectoires d'outil	Faible (66 psi)	Élevé (264 psi)	Faible (66 psi)	Élevé (264 psi)
Trajectoires d'outil unidirectionnelles (orientation XY)	242	233	307	271
Trajectoires d'outil standard 45/-45 (orientation XY)	234	233	136	126
Tel que moulé	212	210	228	221

Tableau 1 - HDT de l'ABS-CF10 et du Nylon-CF10 (unités impériales)

Trajectoires d'outil	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Unidirectionnelle	Standard 45/-45	Unidirectionnelle	Standard 45/-45
Module d'élasticité (ksi)	756	441	875	347
Limite d'élasticité (psi)	6 500	5 200	9 880	5 100
Allongement au seuil d'écoulement (%)	1,2	3,0	4,0	5,6
Contrainte en rupture (psi)	6 470	5 170	9 330	3 230
Élongation à la rupture (%)	1,2	3,0	5,1	8,2

Tableau 2 - Données de traction de l'ABS-CF10 et du Nylon-CF10 dans l'orientation XY (unités impériales)

Résistance à la flexion de l'échantillon XY avec des trajectoires d'outil unidirectionnelles		
	ABS-CF10	Nylon-CF10
Module d'élasticité (ksi)	719	1 010
Déformation par flexion en rupture (%)	2,6	3,4
Contrainte de flexion en rupture (ksi)	13,0	20,0

Tableau 3 - Résistance à la flexion de l'ABS-CF10 et du Nylon-CF10 dans l'orientation XY avec des trajectoires d'outils unidirectionnelles (unités impériales)

Résistance aux chocs Izod de l'ABS-CF10 et du Nylon-CF10 (pi*lb/po)			
Orientation d'impression	Trajectoires d'outil	ABS-CF10	Nylon-CF10
À plat (XY)	Unidirectionnelle	1,48	5,10
Sur la tranche (XZ)	Standard 45°/-45°	0,962	3,79
Vertical (ZX)	Standard 45°/-45°	0,381	0,68

Tableau 4 - Données de résistance aux chocs Izod (unités impériales)

Au-delà de la fiche technique :

Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production

	Propriétés des matériaux	ABS-CF10	Nylon-CF10	Matériau concurrent 1	Matériau concurrent 2
Élasticité ²	Module d'élasticité (ksi) ¹	756	875	348	435
	Limite d'élasticité (psi)	6 500	9 880	5 800	5 950
	Allongement au seuil d'écoulement (%)	1,2	4,0	non reporté	non reporté
	Contrainte en rupture (psi)	6 470	9 330	5 370	5 800
	Élongation à la rupture (%)	1,2	5,1	25	18
Flexion	Module d'élasticité (ksi)	719	1010	435	522
	Résistance à la flexion en rupture (%)	2,6	3,4	non reporté	non reporté
	Contrainte de flexion en rupture (psi)	13 000	20 000	10 300	10 300
HDT	Température de déflexion à la chaleur - 66 psi (°F)	243	307	293	293
	Température de déflexion à la chaleur - 264 psi (°F)	233	271	160 (tests en laboratoire Stratasys ³)	non reporté
Impact	Résilience Izod - avec entaille (pi*lb/po)	1,48	5,10	6,18	non reporté

Tableau 5 - Comparaison des propriétés mécaniques et physiques entre les matériaux Stratasys et les matériaux concurrents (unités impériales)

Remarques :

- Le module d'élasticité en traction pour l'ABS-CF10 et le Nylon-CF10 est calculé sur la base des valeurs de contrainte-déformation de 15 % à 35 % de la charge maximale. La plage de calcul du module d'élasticité en traction n'est pas connue pour le matériau concurrent.
- Des échantillons d'ABS-CF10 et de Nylon-CF10 ont été imprimés avec la forme voulue, avec des trajectoires d'outils unidirectionnelles. Des coupons de traction du matériau concurrent ont été coupés à la forme voulue.
- Le concurrent ne signale pas la pression plus élevée des tests HDT. En suivant les méthodes et tests de Stratasys, voici la valeur notée pour 1,8 MPa. Les mesures Stratasys de la HDT à 0,45 MPa étaient très similaires aux valeurs rapportées.

États-Unis – Siège

7665 Commerce Way
Eden Prairie, MN 55344, États-Unis
+1 952 937 3000

Israël – Siège

1 Holtzman St., Science Park
PO Box 2496
Rehovot 76124, Israël
+972 74 745 4000

EMEA

Airport Boulevard B 120
77836 Rheinmünster, Allemagne
+49 7229 7772 0

Asie du Sud

1F A3, Ninghui Plaza
No.718 Lingshi Road
Shanghai, Chine
Tél. : +86 21 3319 6000



CONTACT

www.stratasys.com/fr/contact-us/locations

stratasys.com/fr

Certification ISO 9001:2015

© 2023 Stratasys. Tous droits réservés. Stratasys, le logo Stratasys Signet, F370 CR, Control Center et QSR Support sont des marques déposées de Stratasys Inc. Toutes les autres marques commerciales appartiennent à leurs propriétaires respectifs, et Stratasys n'assume aucune responsabilité relative au choix, à la performance ou à l'utilisation de ces produits d'autres marques. Les spécifications des produits sont sujettes à modification sans préavis.

WP_Au-delà de la fiche technique : Les tests de matériaux unidirectionnels peuvent induire en erreur lors de la production_A4_0723a

