

# Développement de TPE/TPU pour FDM

## 1- Contexte et enjeux

Francofil produit et développe des filaments pour procédés de Fabrication Additive FDM.

Dans leur portfolio, peu de matériaux techniques existent et un besoin de diversification est présent pour permettre à la société de se spécialiser.

Par ailleurs, de nombreux industriels ont manifesté leur intérêt pour des matériaux élastomères.

De plus, dans le cadre des plateformes Fabrication Additive Polymères en Normandie, une expérimentation avait été faite avec un TPE de dureté 90 Shore A de chez Kymia et avait montré la présence de cheveux d'anges sur les pièces produites. Une étude de dérisquage de production avec des paramètres procédés identifiés est donc nécessaire.

## 2- Objectif de l'étude :

Les objectifs sont donc :

- De pouvoir développer des filaments en TPE/TPU colorés pour répondre aux besoins industriels
- De dérisquer les paramètres procédés pour l'utilisation des matériaux développés en mettant en évidence les limitations d'impression.

## 3- Méthodologie :

L'étude s'est faite avec les étapes suivantes :

- Mise en place d'un cahier des charges pour les matériaux souhaités
- Production des matériaux TPE/TPU en filaments de différentes duretés
- Essais d'impression (Service Bureau + Utilisateur potentiel) avec éprouvettes de tortures
- Caractérisation complète des matériaux

## 4- Cahier des charges

Afin de pouvoir développer le matériau, les propriétés suivantes ont été identifiées :

- Duretés souhaitées : entre 60 et 98 Shore A
- Possibilités de coloration du matériau
- Développement par un interlocuteur de proximité à façon : Francofil

Les propriétés mécaniques de ces matériaux seront caractérisées après production en FA dépôt de fil.



## 5- Production des matériaux en filaments

Plusieurs matériaux en granulés ont été identifiés pour créer des filaments répondant à ce cahier des charges :

- Un TPU 98 Shore A (noir)
- Un TPE 88 Shore A (blanc et vert)

## 6- Essais d'impression

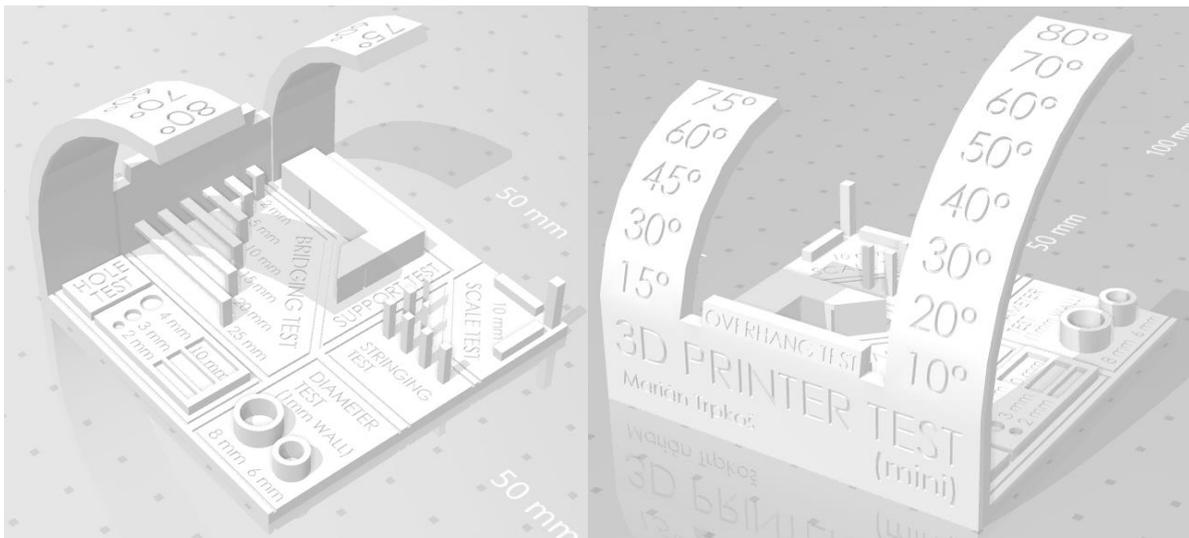
Les impressions des éprouvettes et des pièces de torture ont été faites sur une Volumic Stream 30 Ultra.

Les paramètres utilisés étaient les suivants :

- Buse en cuivre nickel de diamètre 0,4mm
- Epaisseur de couche : 0,09mm
- Température d'extrusion : 225°C
- Température de plateau : 45°
- Vitesse d'impression : 50mm/s et 35mm/s
- Rétractation : 0,8 (ou 1 ou 1,2 ou 1,4) à 8 (ou 36) mm/s
- Remplissage 100% rectiligne à 0 et 90° (débit à 100%)

Les essais d'impression sur éprouvettes n'ont pas montré de difficultés particulières.

Les pièces de torture sont fabriquées sur la base du 3D Printer Test Mini.



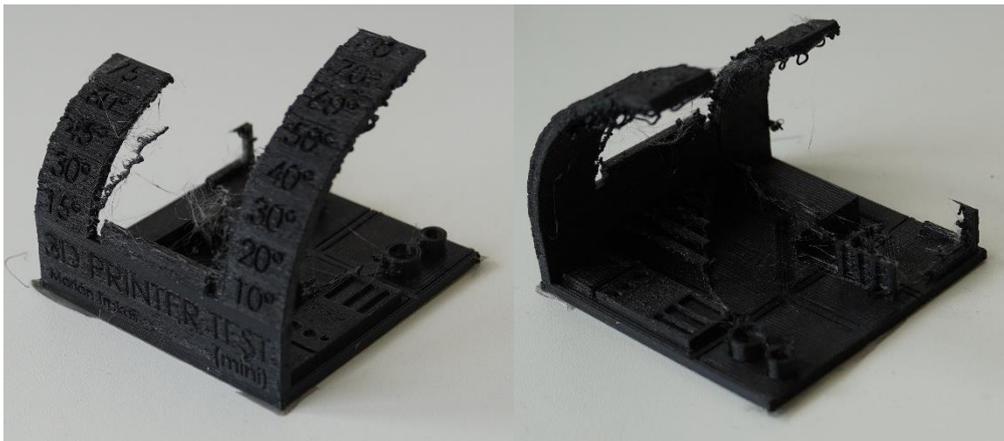
Cette pièce est constituée de différentes zones :

- Une zone d'échelle : vérification des retraits
- Une zone de test diamètre : vérification de fiabilité d'obtention de cercles en interne et externe
- Une zone de trous : vérification des dimensions des trous pour calibration
- Une zone de stringing test : vérification d'apparition de cheveux d'anges
- Une zone de ponts : vérification de distance d'impression sans support
- Une zone de support : vérification de non obturation de fentes fines
- Une zone de surplomb : vérification de l'angle limite de fabrication sans support et sans défaut

Ainsi, sur les pièces de tortures, les observations suivantes ont pu être faites avec 3 jeux de paramètres différents.

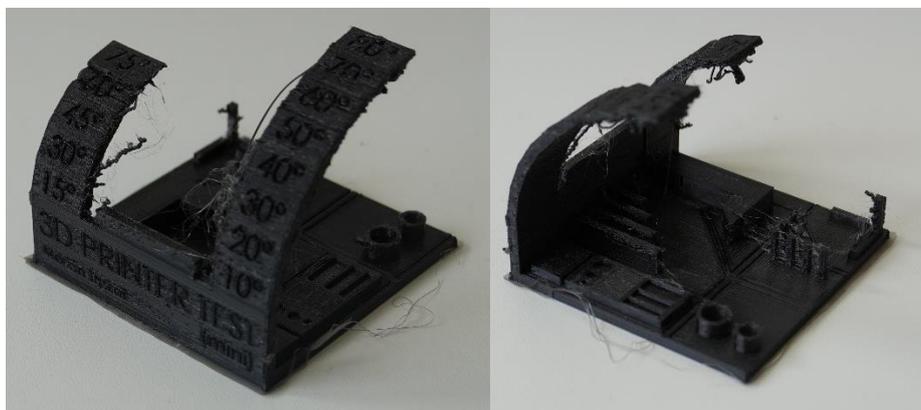
Pour le **TPU98A**, la première pièce de torture a été produite avec les paramètres suivants :

- Vitesse d'impression 50mm/s et Rétractation 0,8 à 8mm/s



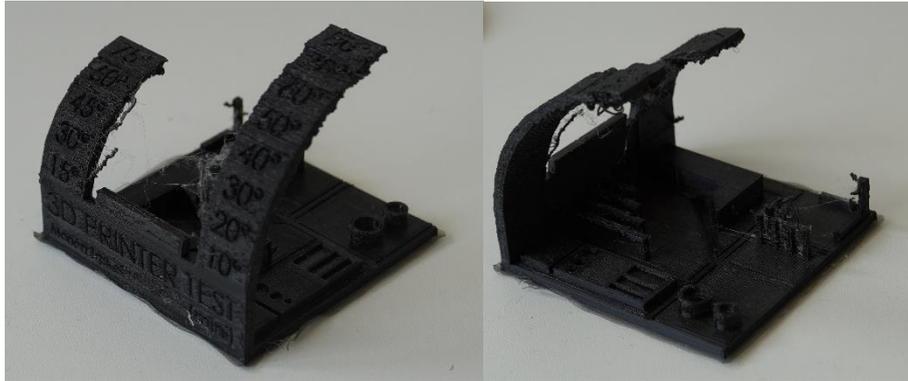
La deuxième pièce de torture a été produite avec les paramètres suivants :

- Vitesse d'impression 35mm/s et Rétractation 1,2 à 8mm/s



Enfin, la troisième pièce de torture a été produite avec les paramètres suivants :

- Vitesse d'impression 35mm/s et Rétractation 1,4 à 8mm/s



Les conclusions sur les analyses visuelles effectuées pour le TPU98A sont les suivantes : de nombreux filaments et sous-extrusions apparaissent quelques soient les paramètres utilisés. Aussi, ce matériau serait plutôt préconisé pour faire des pièces plutôt simples (absence de parois fines, zones de suspension limitées et sans pont).

Pour le **TPE88A**, la première pièce de torture a été produite avec les paramètres suivants :

- Vitesse d'impression 50mm/s et Rétractation 0,8 à 36mm/s



La deuxième pièce de torture a été produite avec les paramètres suivants :

- Vitesse d'impression 35mm/s et Rétractation 1 à 36mm/s



Enfin, la troisième pièce de torture a été produite avec les paramètres suivants :

- Vitesse d'impression 35mm/s et Rétractation 1,4 à 36mm/s



Les conclusions sur les analyses visuelles pour le TPE88A sont les suivantes : de nombreux filaments et sous-extrusions apparaissent quelques soient les paramètres utilisés. De plus, de par sa grande souplesse, il n'a pas été possible de produire les pièces de torture en totalité. Aussi, ce matériau serait plutôt préconisé pour faire des pièces très simples (sans zone de surplomb, pas de paroi fine, pas de ponts).

### Conclusion générale

Quelque soit le matériau, on constate que la diminution de la vitesse d'impression amène une résolution améliorée sur les zones d'écriture. Cela entraîne également une diminution de quantité et de longueurs de filaments.

Par ailleurs, le fait d'augmenter la distance de rétractation a permis d'amplifier la diminution du nombre et de la longueur des filaments.

Aussi, même si avec les conditions d'impressions utilisées, le matériau ne semble pas adapté pour des géométries complexes, une étude paramétrique pour améliorer la qualité de pièces plus complexes pourrait être menée.

En effet, les cheveux d'anges peuvent apparaître selon les réglages de rétraction et les températures utilisées. Aussi l'étude paramétrique pourrait se faire selon les paramètres suivants :

- Réglage de la rétraction : distance, vitesse
- Réglage de la température
- Réglage de la vitesse d'impression
- Vérification du nettoyage de la buse
- Conditions de stockage des filaments

## 7- Caractérisation des matériaux

Les caractérisations suivantes ont été faites afin de fournir les fiches techniques des 2 matériaux :

- Densité
- MFI (Melt Flow Index : Indice d'écoulement sous charge)
- DSC (Détermination des températures de transition vitreuse et de fusion)
- Choc Charpy
- Traction
- Flexion
- Dureté

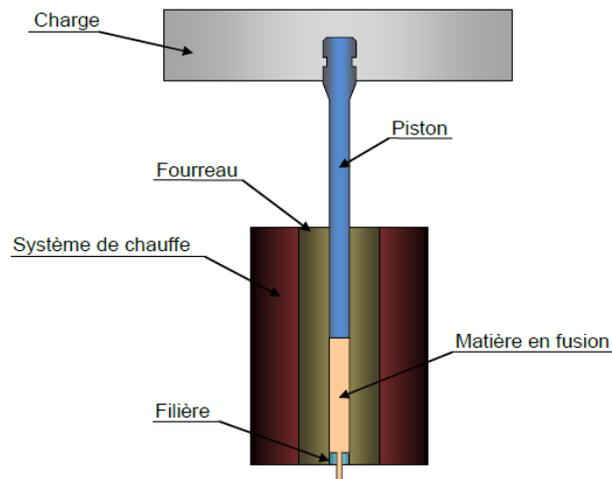
Ainsi, nous obtenons les résultats suivants :

- Densité : Mesure par la méthode d'Archimède selon la norme NF EN ISO 1183-1 (Méthode A)

	<b>TPE 88 Shore A</b>	<b>TPU 98 Shore A</b>
<b>Densité</b>	1,166	1,232
<b>Ecart type</b>	0,001	0,003

- MFI

Cet essai consiste à mesurer la quantité de matière s'écoulant au travers d'une filière sous une charge et une température en fonction de la nature du matériau analysé selon la norme NF EN ISO 1133-1 (Méthode B).



La charge est de 2,16kg avec une température d'essai de 220°C. Les résultats sont donc les suivants :

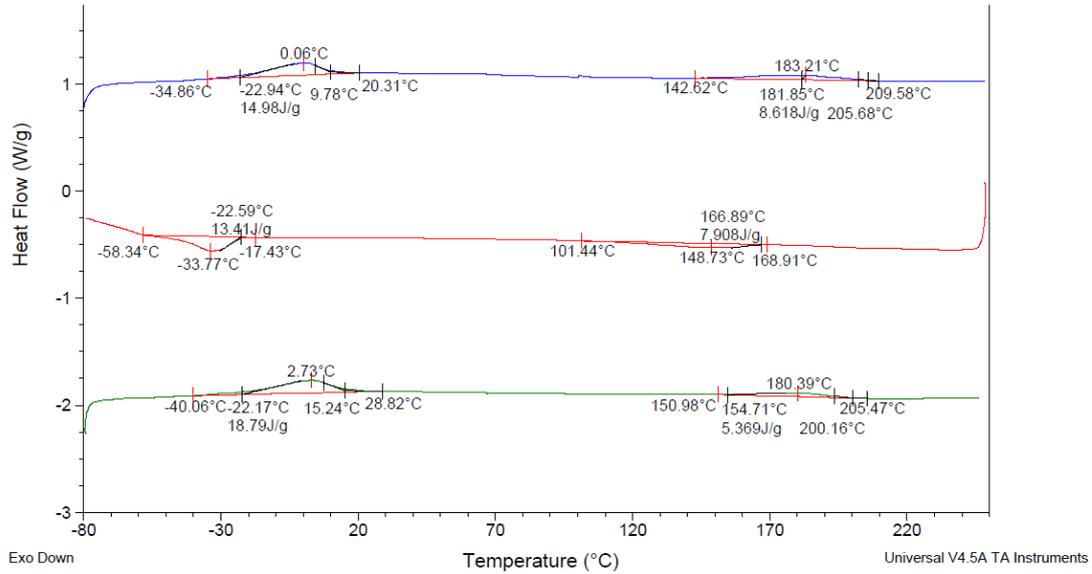
	<b>TPE 88 Shore A</b>	<b>TPU 98 Shore A</b>
<b>MFI (g/10min)</b>	27	26,7

- DSC

Pour effectuer ces mesures, un calorimètre DSC Q100 TA Instruments a été utilisé avec une analyse entre -80 et 250°C à la vitesse de 10°C/min.

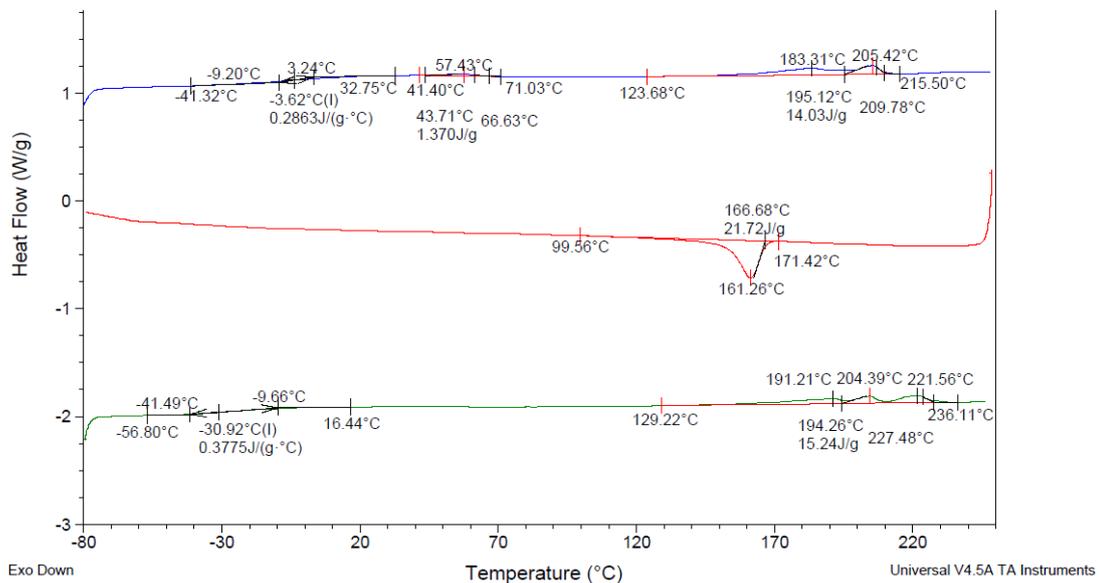
Les résultats suivants ont été obtenus :

- TPE 88 Shore A



Température de fusion	Température (°C)
- Phase souple	3
- Phase rigide	180

- TPE 98 Shore A



Température de fusion	Température (°C)
- Phase souple	-29
- Phase rigide	189-222

- Choc Charpy :

Le test a été fait à l'aide du Mouton pendule Zwick 5102 selon la norme NF EN ISO 179-1.

L'éprouvette est placée sur 2 appuis en horizontal et est sollicitée par choc d'un pendule à une vitesse de 2,9 m/s.

Une première éprouvette a été utilisée pour déterminer le percuteur adapté au matériau (permettant d'obtenir une énergie d'impact donnée). Ainsi, les percuteurs adaptés sont les suivants :

	TPE 88 Shore A	TPU 98 Shore A
<b>Percuteur (J)</b>	2	4

Les résultats sont les suivants :

	TPE 88 Shore A	TPU 98 Shore A
<b>Résistance (kJ/m<sup>2</sup>)</b>	8,1	23

- Traction :

Les essais de traction ont été effectués à l'aide des dynamomètres ZWICKI 1.0 et ZWICK Z100 pour déterminer le module d'Young (avec une vitesse de 1mm/min) et les déformations et contraintes maxi et à rupture (avec une vitesse d'essai de 50mm/min) selon la norme ISO 527-2/1B.

Les résultats sont les suivants :

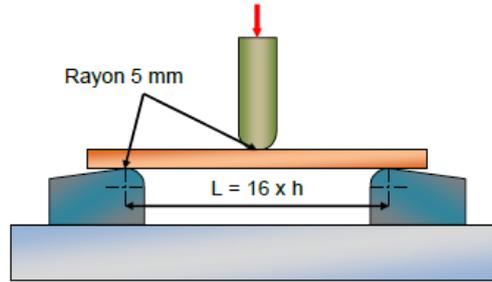
	TPE 88 Shore A	TPU 98 Shore A
<b>Module de traction (MPa)</b>	20,6	130
<b>Contrainte max (MPa)</b>	6,34	22
<b>Déformation à rupture (%)</b>	330	190

- Flexion :

Les essais de flexion ont été effectués à l'aide du dynamomètre ZWICKI 1.0 selon la norme NF EN ISO 178.

L'éprouvette repose sur 2 appuis et est soumise à un effort perpendiculaire à sa surface à vitesse constante (2mm/min).





Les résultats sont les suivants :

	<b>TPE 88 Shore A</b>	<b>TPU 98 Shore A</b>
<b>Module de flexion (MPa)</b>	24,4	100
<b>Contrainte max (MPa)</b>	1,8	5,09

- Dureté :

Les mesures sont faites par mesures de l'enfoncement d'un indenteur dans le matériau, la dureté étant inversement proportionnelle à la pénétration dans l'éprouvette.

On obtient les résultats suivants :

	<b>TPE 88 Shore A</b>	<b>TPU 98 Shore A</b>
<b>Dureté Shore A</b>	83,5	92

Les valeurs de dureté sont plus faibles que la dureté affichée du matériau, car la dureté est directement dépendante du taux de remplissage et des angles de recouvrement des différentes couches lors de la fabrication des éprouvettes.

L'ensemble des résultats est disponible en Annexe 1.

## 8- Conclusions

Le développement du matériau en filament par Francofil a donc pu être fait conformément au cahier des charges initial.

Ainsi, suite à cette étude, les fiches techniques des matériaux développés par Francofil ont pu être réalisées ( cf Annexe 2).

De plus, il est à noter qu'étant donné les résultats obtenus sur les pièces de torture, ces matériaux sont à utiliser plutôt pour des pièces à géométries simples, c'est-à-dire sans partie haute fine, sans arche trop fine.

Si le souhait de faire des pièces à géométrie plus complexe est présent, il sera alors peut-être nécessaire de faire une étude paramétrique beaucoup plus détaillée afin de pouvoir produire des pièces sans défaut d'aspect.

Ainsi les perspectives concernant ces matériaux consisteraient à étudier la production de pièces en prenant garde aux paramètres suivants :

- Réglage de la rétraction : distance, vitesse
- Réglage de la température
- Réglage de la vitesse d'impression
- Vérification du nettoyage de la buse
- Conditions de stockage des filaments

## Annexe 1 – Rapport de caractérisations complet



OLP01218997  
NORMANDIE AEROS

## Annexes 2 – Fiches techniques des matériaux développés par Francofil



FRANCOFIL - TDS  
TPE 88A.pdf



FRANCOFIL - TDS  
TPE 98A.pdf

