

Guide 3D

# Guide Ultime des matériaux d'impression 3D FDM

---



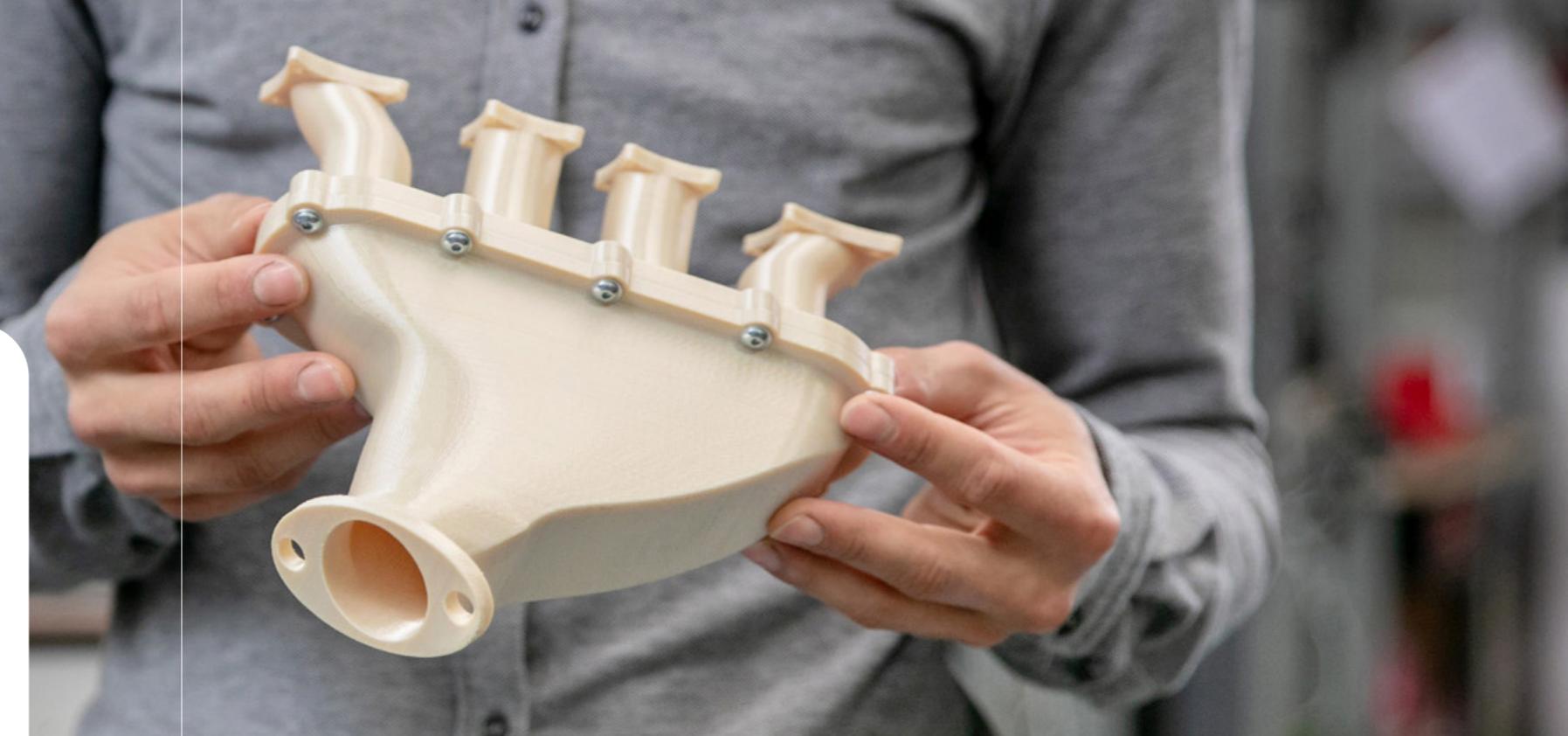
Nos conseils d'experts pour choisir  
le matériau adapté à votre application

[www.hava3d.com](http://www.hava3d.com)

 **HAVA 3D GROUP**  
Your 3D printing business partner

## Sommaire

Introduction	3
Comportement des matériaux FDM	4
Glossaire des termes techniques	7
<b>Thermoplastiques standards</b>	
PLA	8
ABS	10
ASA	12
HIPS	14
PETG / CPE	16
PC	18
NYLON	20
PP	24
TPU	26
<b>Matériaux de supports solubles</b>	
PVA / BVOH	29
<b>Matériaux hautes températures</b>	
FAMILLE PAEK (PEEK / PEKK)	31
<b>Métaux</b>	
17-4 PH	35
H13	36
A2	37
D2	38
INCONEL 625	39
CUIVRE	40
<b>Matériaux composites Markforged</b>	
ONYX	43
FIBRES DE RENFORT	44
<b>Conclusion</b>	48



## Introduction

Au-delà des capacités d'une imprimante 3D, de la qualité du modèle et des réglages d'impression, le choix du matériau reste un **élément clé** dans la réussite de vos projets d'impression 3D. Chaque matériau possède des propriétés bien distinctes qui peuvent avoir une incidence sur le résultat final.

Choisir le matériau le plus adapté parmi la variété existante sur le marché peut parfois apparaître comme une opération difficile. C'est pourquoi il est important de se poser les bonnes questions dès le début afin de **s'orienter vers le matériau le plus adéquat** pour chaque projet.

Du prototypage aux pièces fonctionnelles, en passant par l'outillage et la conception de modèles, l'impression 3D rend possible de plus en plus d'applications avec des **matériaux de plus en plus performants**. Sélectionner avec soin son matériau, c'est donc l'assurance de s'adapter au plus près des spécificités requises par un projet et de profiter au mieux des propriétés de chaque matière pour une expérience d'impression réussie.

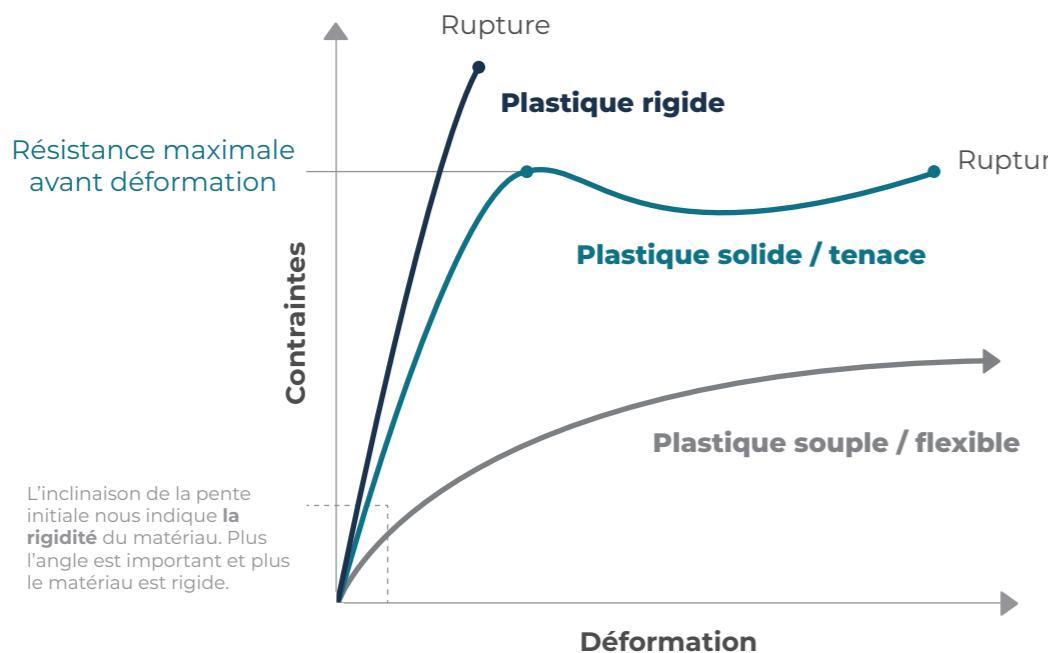
En fonction de votre application finale, le matériau d'impression 3D recherché devra répondre à **différents besoins, contraintes et exigences** : résistance mécanique, résistance chimique, résistance à la température, aspect esthétique, flexibilité, facilité d'utilisation etc. sont autant de critères à prendre en considération.

Nous souhaitons donc, à travers ce guide, vous faire partager **notre expérience de l'impression 3D** en vous présentant les différentes typologies de matériaux et leurs spécificités. Les informations et conseils dispensés dans ce guide vous permettront donc de mieux connaître les consommables, et de vous guider dans l'achat de ces derniers.

**Important:** Toutes les valeurs indiquées dans ce guide sont données à titre indicatif, elles peuvent varier selon la marque du matériau et ne peuvent donc pas être considérées comme absolues.

# COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES MATÉRIAUX FDM

Schéma récapitulatif du comportement des matériaux thermoplastiques soumis aux contraintes mécaniques de **tension, traction, flexion, élongation**.



## Plastique rigide

Matériau offrant une forte rigidité et une haute dureté. Ces plastiques acceptent peu la flexion et vont rapidement se briser dès que l'on appliquera une contrainte atteignant la limite.

### Applications

Prototypage visuel  
Design / Packaging  
Architecture / Maquette  
Pièces soumises à peu de contraintes mécaniques

### Exemple

PLA

## Plastique solide / tenace

Matériau résistant davantage aux contraintes mécaniques. Il permet une déformation de l'objet plutôt qu'une rupture immédiate. Bonne résistance à la traction, la tension et l'impact.

### Applications

Prototypage fonctionnel  
Outils / Gabarits  
Boîtier / Capot / Couvercle  
Pièce d'usure  
Environnement mécanique

### Exemple

NYLON

## Plastique souple / flexible

Matériau flexible ou semi flexible n'offrant que très peu de rigidité et de dureté. Très forte résistance à la fatigue, à l'usure, aux chocs et à la pression. Déformation et élongation importante.

### Applications

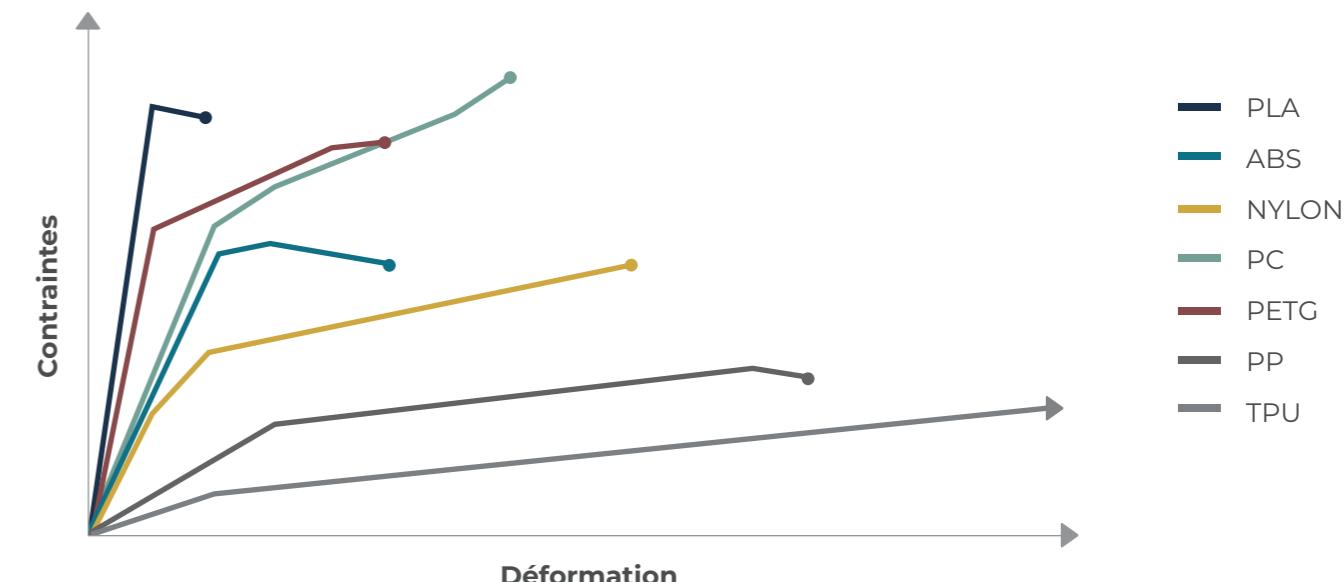
Grip / Courroies  
Amortisseurs / Anti-vibration  
Packaging / Objet visuel  
Pièce d'usure  
Environnement mécanique

### Exemple

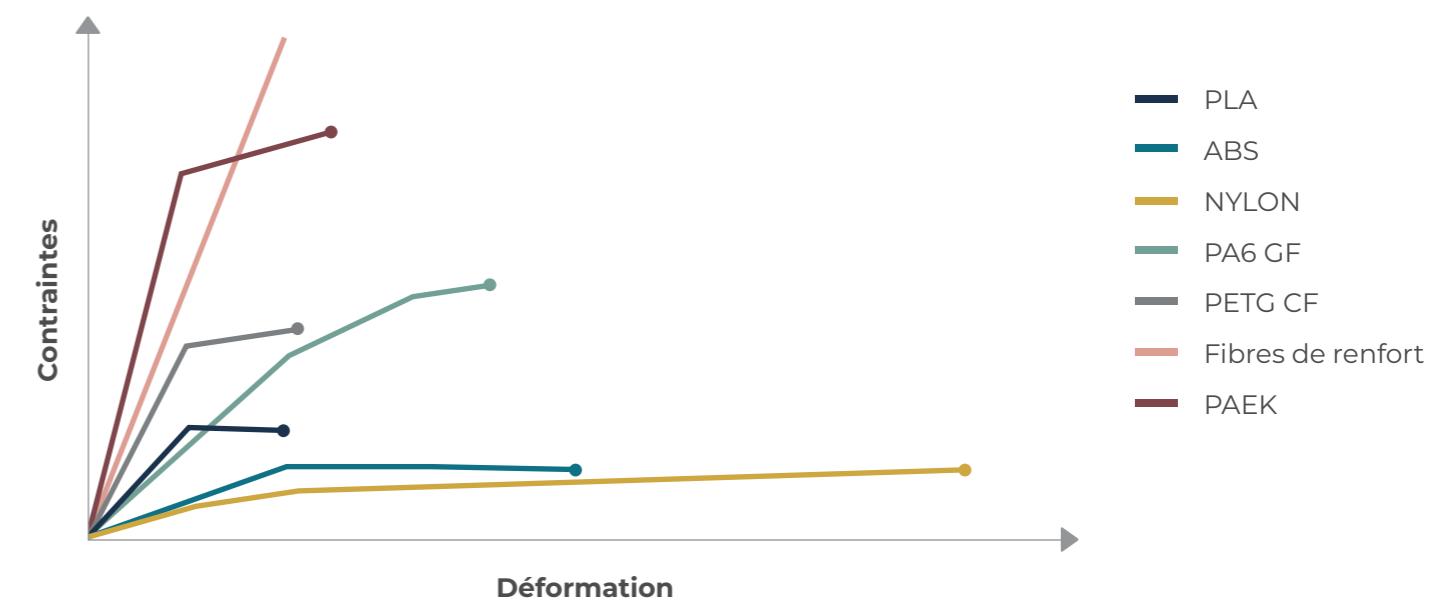
TPU / PP

## Comparatif des Matériaux Standards

Pour comprendre au mieux les comparatifs ci-dessous, référez-vous au schéma et à sa légende sur la page ci-contre.



## Matériaux Standards VS Composites



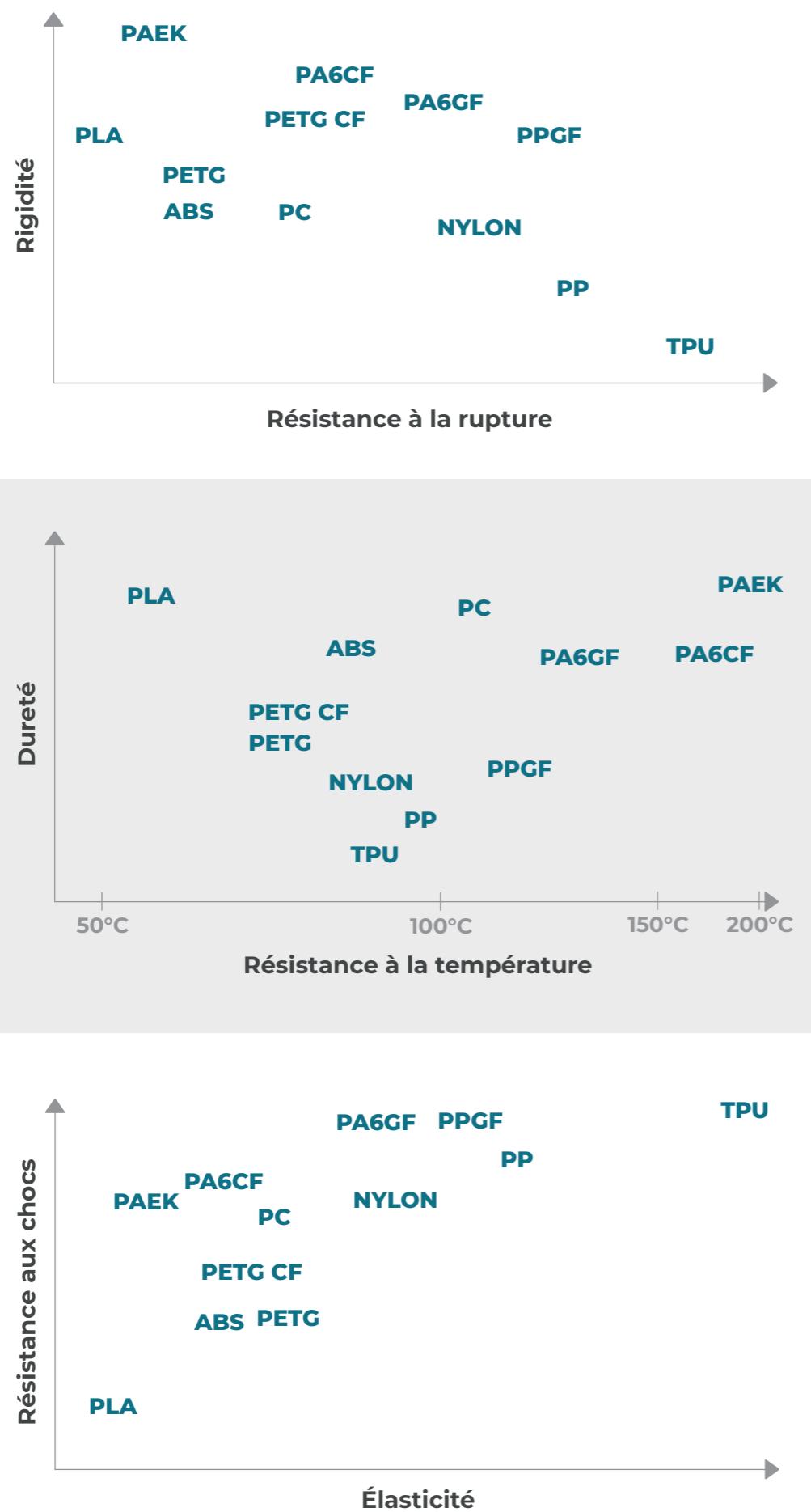
GF : Glass Fiber = Fibre de verre  
CF : Carbon Fiber = Fibre de carbone

**Composites Carbone** : Rigidité, légèreté, haute température. Convient avec ABS, PETG, Nylon, Onyx.

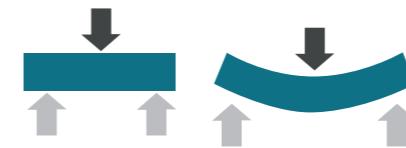
**Composites Fibre de verre** : Durabilité, résistance mécanique / flexion. Convient Nylon, PP, Onyx.

**Composites Kevlar** : Isotropie, résistance thermique et aux chocs. Convient ABS, Onyx.

## Comparatifs des Matériaux FDM



## GLOSSAIRE DES TERMES TECHNIQUES



**Module d'élasticité = Module de Young**  
Représente la résistance du matériau à une déformation élastique sous contrainte. Il mesure la rigidité du matériau ou sa tendance à se plier.



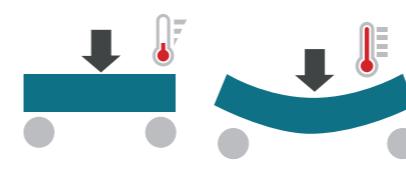
**Allongement à la rupture**  
Caractéristiques de l'étirement d'une pièce avant de se rompre ou de se craquer (résultat en pourcentage de la pièce).



**Résistance aux chocs**  
La résistance aux chocs, appelée parfois robustesse est la capacité du matériau à absorber les chocs et l'énergie d'impact sans se rompre.



**Résistance à la traction**  
La résistance à la traction est la résistance du matériau à la rupture lorsqu'il est soumis à une force de traction (résultat en MPa).



**Temp. de fléchissement sous charge**  
La température de fléchissement sous charge (TFC) est la température à laquelle le matériau se déforme sous une charge donnée.



# PLA

Le PLA (Polylactic Acid) est le plastique **le plus couramment utilisé** en impression 3D. Ce biomatériau généralement à base d'amidon de maïs est idéal pour une majorité d'applications visuelles de l'impression 3D ne nécessitant pas de résistance mécanique.

L'intérêt de ce matériau PLA aux caractéristiques générales intéressantes est sa **simplicité d'utilisation**. Ce thermoplastique offre d'excellents comportements lors d'une impression 3D, il s'imprime à des températures relativement faibles, ne pose pas de difficultés d'adhérence (pas de warping) et offre une excellente liaison intercouches. C'est également un matériau qui ne produit **pas de COV toxique** pendant l'impression.



# Champs d'applications

- Validation de forme
  - Décoration / Objets du quotidien
  - Packaging / Prototypes visuels
  - Modélisme / Maquettes d'architecture

# Les avantages du PLA

- Très simple d'utilisation
  - Peu soumis aux échecs relatifs à la variation thermique
  - Ne nécessite pas de plateau chauffant
  - Peu de risque de déformation
  - Qualité d'impression régulière
  - Large gamme de coloris
  - Post-traitement facile (ponçage, peinture etc.)
  - Accès aux composites et PLA renforcés

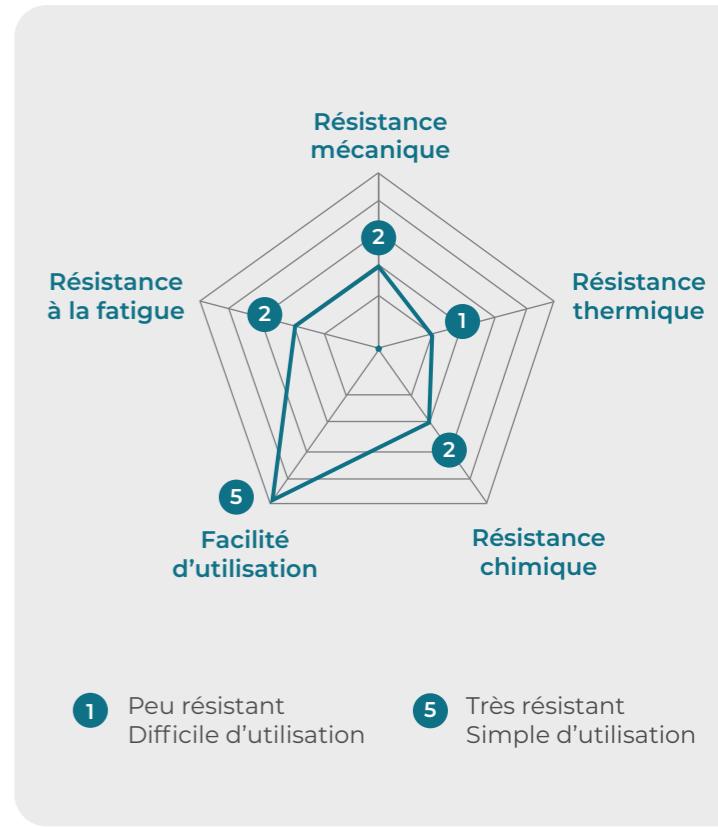
## Les limites du PLA

- Peu résistant à la chaleur
  - Peu enclin à se plier mais davantage à se casser
  - Sensible à l'humidité



## Caractéristiques techniques

Caractéristiques	Valeurs
<b>Thermique / Mécanique</b>	
Module d'élasticité (T / F)	2500 / 3000 Mpa
Résistance à la traction	48 Mpa
Résistance à la flexion	100 Mpa
Élongation maximum	3,5%
Résistance aux chocs	4 kJ/m <sup>2</sup>
Résistance température	55°C
<b>Impression</b>	
Température d'extrusion	180 à 220°C
Température du plateau	Ambiant à 60°C
Vitesse d'impression	30 à 90mm/s
Ventilation recommandée	100%



Le filament ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrene) est un thermoplastique durable et **résistant aux chocs**. Si ce thermoplastique est soumis à une certaine contrainte, il commencera par se plier et se déformer avant de casser, c'est pourquoi il est particulièrement adapté à l'impression de visseries, d'engrenages ou bien de **systèmes mécaniques** soumis à des forces extérieures.

Sa haute **rigidité**, lui permet d'être utilisé dans l'industrie (particulièrement dans l'injection). On retrouve ce thermoplastique dans les coques externes des appareils électroménagers ou encore les jouets (dont les célèbres briques de LEGO), et dans des applications où sa résistance aux chocs est mise à l'épreuve : les répliques d'armes dans le airsoft ou les casques de motos et carrosseries par exemple.



## Champs d'applications

- Prototypes fonctionnels
- Pièces de remplacement / Outilage
- Systèmes mécaniques variés
- Pièces d'usage courant

## Les avantages de l'ABS

- Matériau durable et rigide
- Bonne résistance mécanique - davantage tendance à se plier qu'à casser
- Assez résistant en environnement extérieur
- Post-traitement facile (ponçage, peinture etc.)
- Bonne résistance à la chaleur
- Matériau idéal pour l'industrie
- Peu sensible à l'humidité
- Bel aspect et haute résolution (petits détails)

## Les limites de l'ABS

- Plastique pétrolier, non bio-dégradable
- Requiert un plateau chauffant - soumis aux variations thermiques lors de l'impression
- COV toxiques



## Caractéristiques techniques

### Caractéristiques

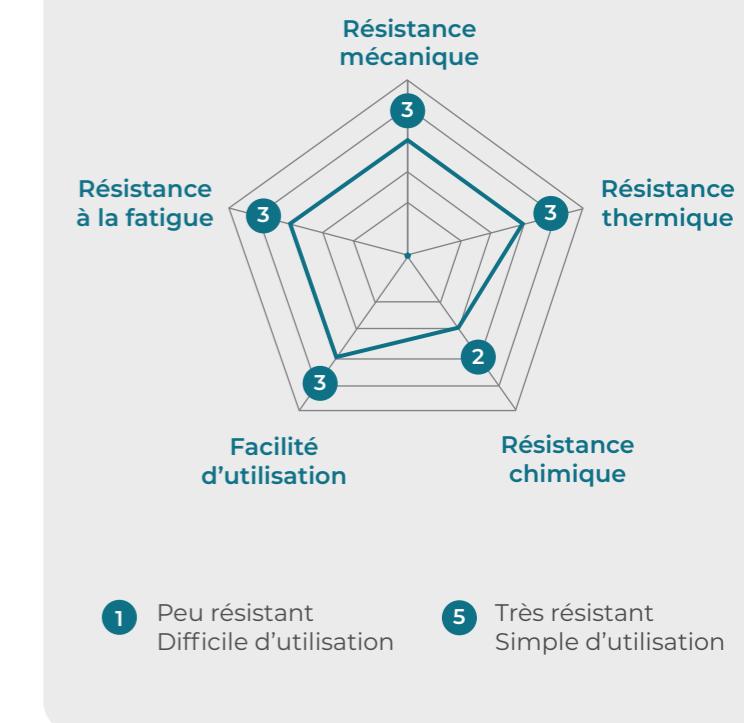
#### Thermique / Mécanique

Module d'élasticité (T / F)	1700 / 2200 Mpa
Résistance à la traction	35 Mpa
Résistance à la flexion	60 Mpa
Élongation maximum	4%
Résistance aux chocs	11 kJ/m <sup>2</sup>
Résistance température	85°C

#### Impression

Température d'extrusion	230 à 250°C
Température du plateau	80°C
Vitesse d'impression	30 à 70mm/s
Ventilation recommandée	5%

### Valeurs



# ASA

L'ASA (dérivée de l'ABS) est une excellente alternative à l'ABS avec une **plus forte résistance aux UV et aux variations thermiques**. Il bénéficie de bonnes propriétés mécaniques le rendant parfaitement adapté aux applications de la vie courante ou techniques en milieu extérieur. Comme l'ABS ce matériau offre un **bel aspect** et supporte bien le bridging.

Sa résistance élevée aux conditions climatiques, permet au filament ASA d'être utilisé avec succès dans l'**industrie automobile**, pour l'impression de carrosserie par exemple.



## Champs d'applications

- Prototypes fonctionnels
  - Pièces de remplacement / Outilage
  - Systèmes mécaniques variés
  - Pièces d'usage extérieur

## Les avantages de l'ASA

- Matériaux durables et rigides
  - Bonne résistance mécanique - davantage tendance à se plier qu'à casser
  - Très résistant en environnement extérieur (UV / humidité / variations thermiques)
  - Bon vieillissement dans le temps
  - Post-traitement facile (ponçage, peinture etc.)
  - Bonne résistance à la chaleur
  - Matériaux idéaux pour l'industrie
  - Bel aspect et haute résolution (petits détails)

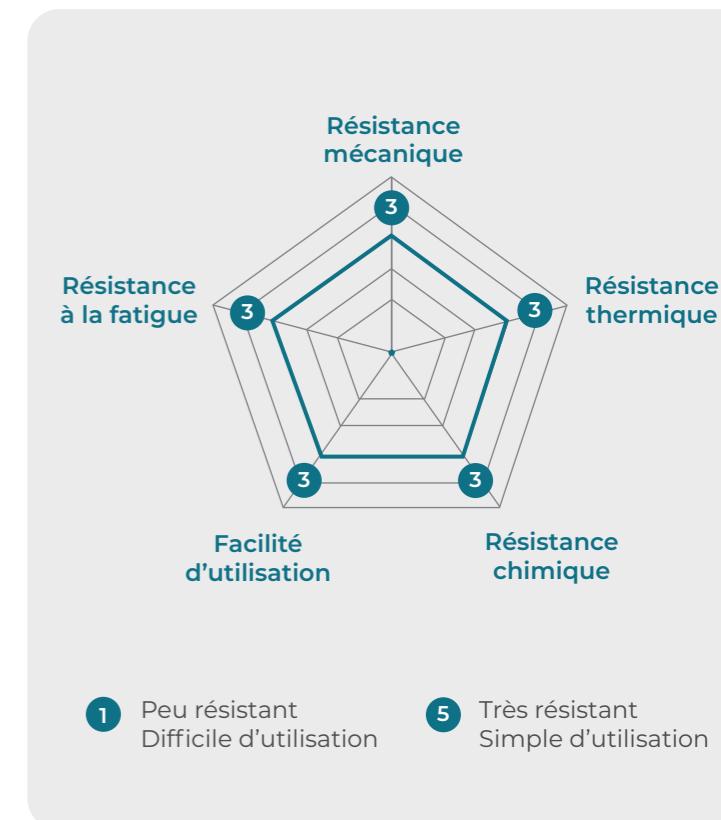
# Les limites de l'ASA

- Plastique pétrolier, non bio-dégradable
  - Requiert un plateau chauffant - soumis aux variations thermiques lors de l'impression
  - COV toxiques



## Caractéristiques techniques

Caractéristiques	Valeurs
<b>Thermique / Mécanique</b>	
Module d'élasticité (T / F)	2000 / 1900 Mpa
Résistance à la traction	44 Mpa
Résistance à la flexion	72 Mpa
Élongation maximum	5%
Résistance aux chocs	9 kJ/m <sup>2</sup>
Résistance température	85°C
<b>Impression</b>	
Température d'extrusion	240 à 260°C
Température du plateau	80°C
Vitesse d'impression	30 à 70mm/s
Ventilation recommandée	5%



# HIPS

Thermoplastiques standards

L'HIPS (High Impact Polystyrene ou Polystyrene Choc) offre une dualité unique dans le secteur de l'impression 3D thermoplastique. Il est connu comme étant un matériau **rigide, solide et léger** permettant la fabrication de pièces d'usage. Particulièrement résistant aux chocs et offrant un bon niveau de détails, il convient à de nombreuses applications.

D'un autre coté, il est également (et surtout) utilisé en double extrusion comme **matériau de support soluble** adapté aux matériaux styréniques comme l'ABS ou l'ASA. Ce matériau **se dissout facilement** dans le D-limonène (solvant à base de citron) qui laissera apparaître après quelques heures la pièce finie.



## Les avantages de l'HIPS

- Résistant aux chocs
- Matériau léger
- Bonne stabilité dimensionnelle
- Post-traitement facile (ponçage, peinture etc.)
- Bel aspect mat, doux et lisse
- Peut servir de matériau de support avec l'ABS
- Dissolution facile
- Peu soumis au warping

## Les limites de l'HIPS

- Faible résistance mécanique, peu durable
- Sensible à la délamination et aux UV
- Non bio-dégradable - déchets à longue durée de vie
- Base styrène - COV toxiques



## Caractéristiques techniques

### Caractéristiques

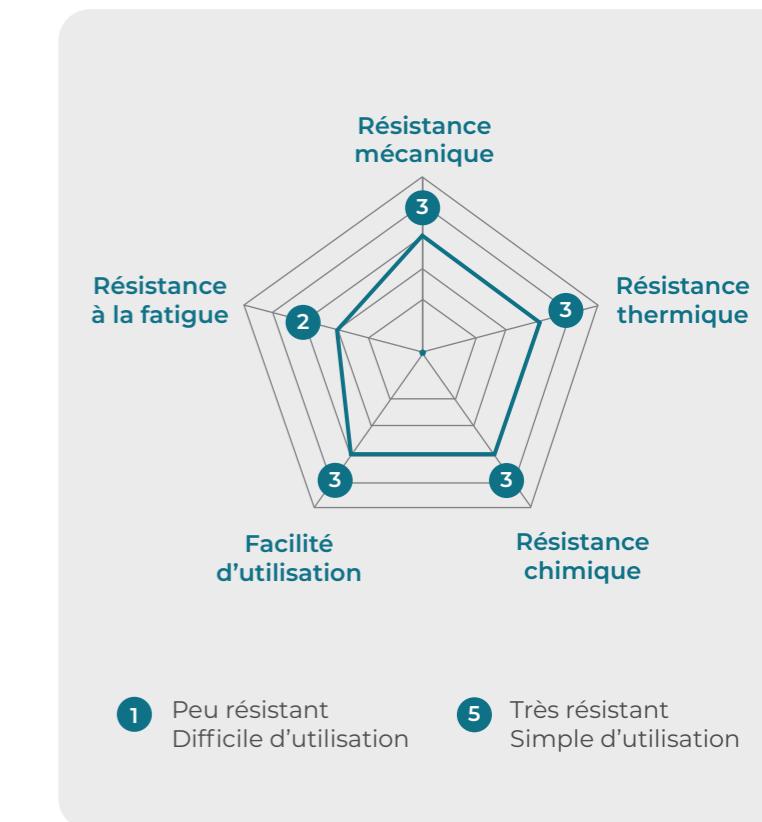
#### Thermique / Mécanique

Module d'élasticité (T / F)	1550 / 1500 Mpa
Résistance à la traction	22 Mpa
Résistance à la flexion	35 Mpa
Élongation maximum	20%
Résistance aux chocs	15 kJ/m <sup>2</sup>
Résistance température	85°C

#### Impression

Température d'extrusion	230 à 250°C
Température du plateau	70°C à 110°C
Vitesse d'impression	40 à 80mm/s
Ventilation recommandée	0% à 10%

### Valeurs

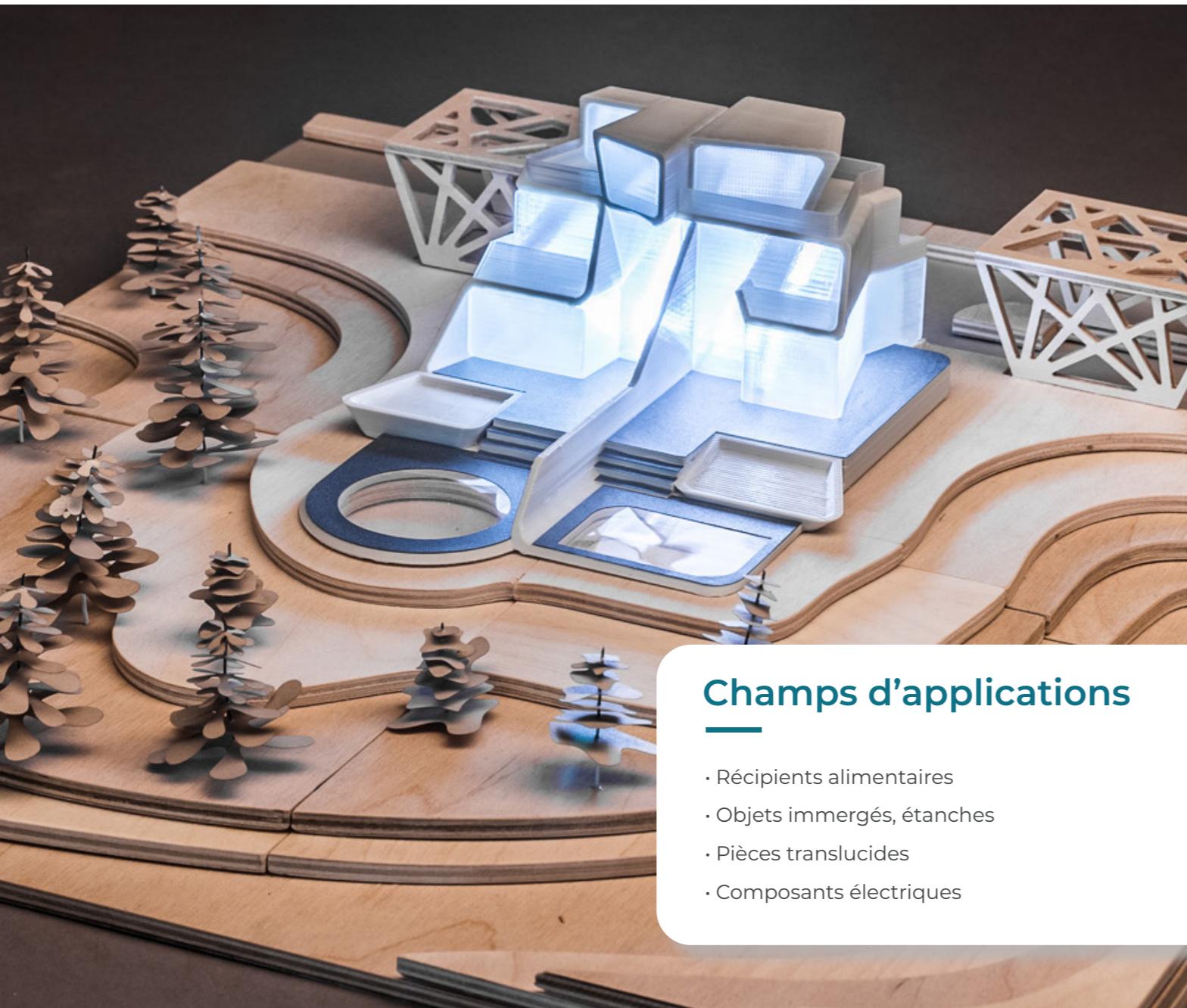


# PETG / CPE

Thermoplastiques standards

Le filament PET (Polyéthylène téréphthalate) est un plastique polyester qui compose par exemple les bouteilles plastiques, emballages ou encore les cartes de crédit. Ce matériau courant présente un **aspect visuel brillant** et translucide, il est **compatible alimentaire** (norme FDA) et étanche, il est logiquement particulièrement présent dans l'emballage alimentaire.

Avec une résistance située entre le PLA et l'ABS, il permet des **impressions 3D durables, solides** et particulièrement adaptées aux applications dans les environnements exigeants.



## Champs d'applications

- Récipients alimentaires
- Objets immergés, étanches
- Pièces translucides
- Composants électriques

## Les avantages du PETG

- Facile à imprimer
- Compatible avec le contact alimentaire
- Très solide et étanche à de nombreux gaz tels que le CO<sub>2</sub>
- Bon isolant électrique
- Léger et translucide
- Bonne base de matériaux composites

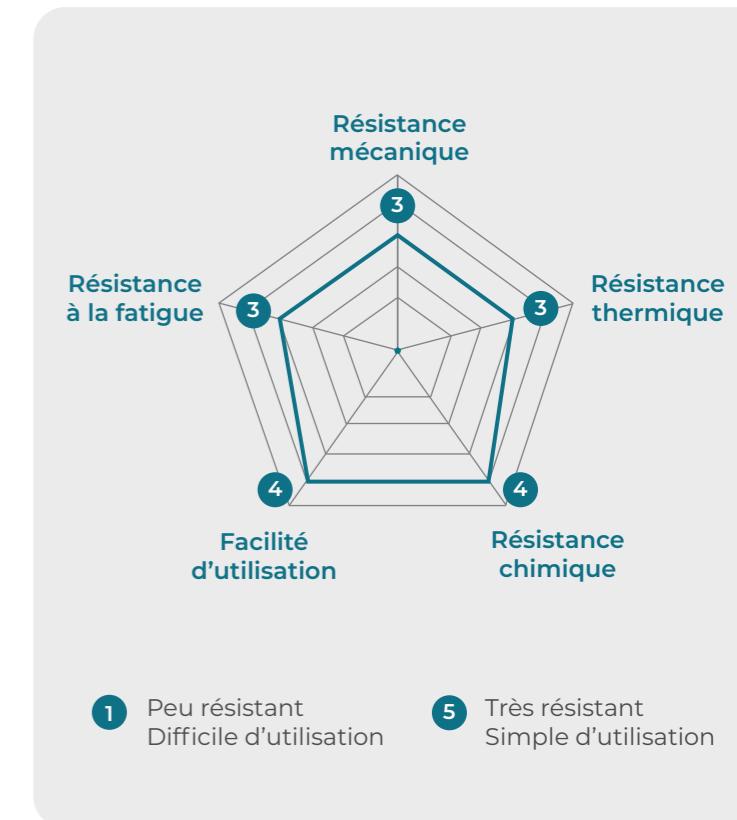
## Les limites du PETG

- L'effet de translucidité nécessite un paramétrage précis (1 ou 2 coques, vitesse d'impression lente)
- Sensible à la délamination, fragile
- Matériau acceptant peu de souplesse, rigide



## Caractéristiques techniques

Caractéristiques	Valeurs
<b>Thermique / Mécanique</b>	
Module d'élasticité (T / F)	1600 / 2000 Mpa
Résistance à la traction	45 Mpa
Résistance à la flexion	65 Mpa
Élongation maximum	5%
Résistance aux chocs	8 kJ/m <sup>2</sup>
Résistance température	80°C
<b>Impression</b>	
Température d'extrusion	230 à 260°C
Température du plateau	70°C
Vitesse d'impression	30 à 90mm/s
Ventilation recommandée	50%



Le filament Polycarbonate (PC) est **le plus solide** des matériaux thermoplastiques standards. Ce plastique est présent autour de nous sous la forme de phares de voiture, de verre de lunettes, de carter d'appareil électroménager par exemple. Ses caractéristiques de **résistance mécanique** sont très élevées et il permet les applications à haute température (jusqu'à 140°).

Ce matériau s'adresse particulièrement aux industriels des secteurs de l'automobile, de l'aérospatiale ou de l'industrie. Il est primordial d'être équipé d'une imprimante 3D suffisamment performante et fiable pour utiliser ce dernier. Les **hautes températures d'utilisation** de ce matériau exigent lors de la phase d'impression un contrôle thermique important.



## Champs d'applications

- Prototypes fonctionnels résistants
- Carter de protection
- Pièces finies / Outilage
- Pièces automobiles / industrielles

## Les avantages du PC

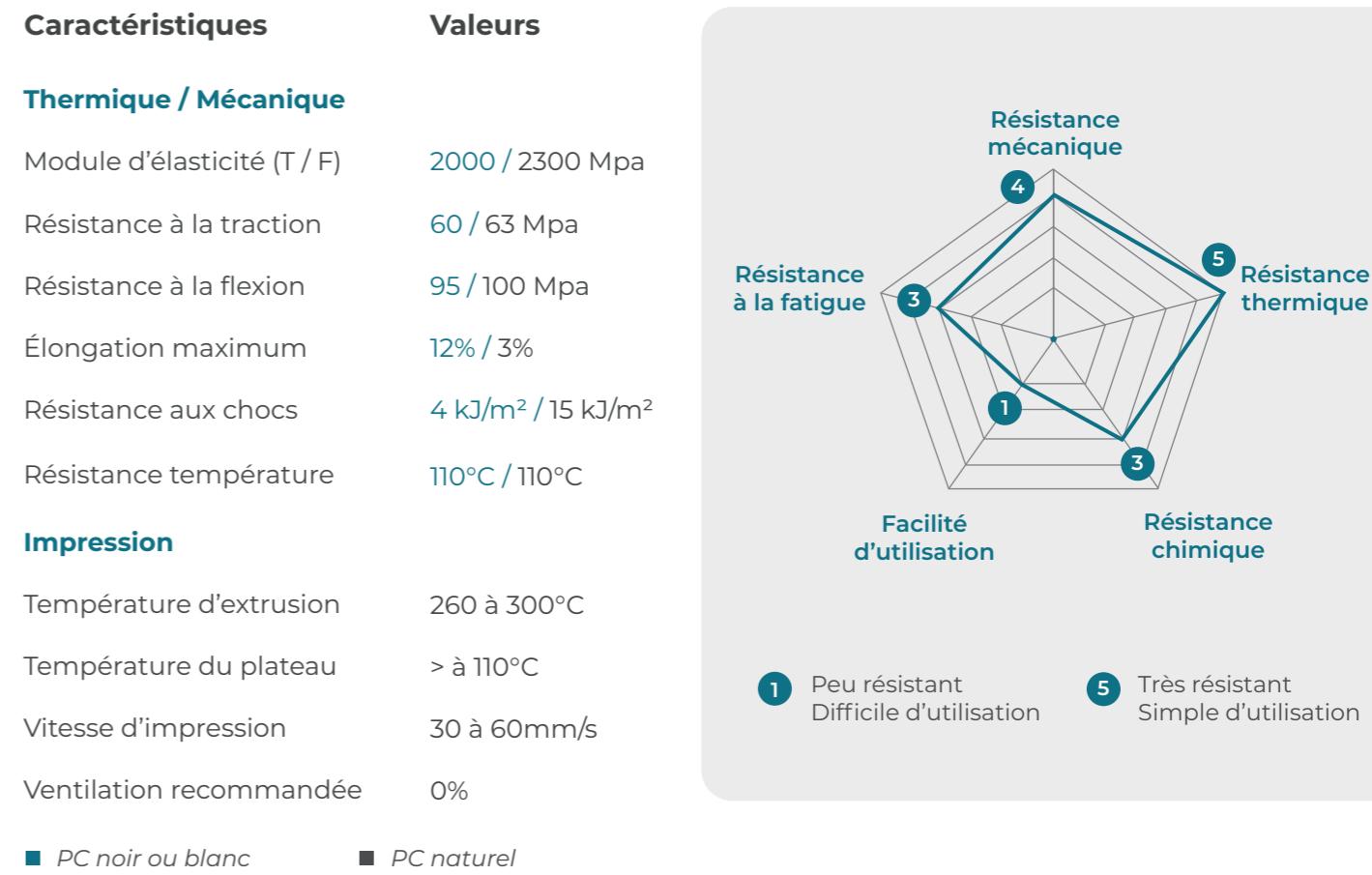
- Filament extrêmement solide
- Excellente résistance mécanique et à l'impact
- Résistant même en milieu chaud
- Résistant aux conditions climatiques difficiles
- Bonne stabilité dimensionnelle
- Faible distorsion à la chaleur - adapté à l'impression 3D de moules
- Difficilement inflammable

## Les limites du PC

- Matériau réservé aux experts : risque de délamination / décollement
- Imprimante 3D performante nécessaire : enceinte fermée obligatoire, +280°C etc.
- COV toxiques



## Caractéristiques techniques



# NYLON

Le Nylon est une famille de matériau à part dans la gamme des thermoplastiques. En effet ces Polyamides existent sous différentes formes dans l'impression 3D, dont les principales : **le PA6 et le PA12**.

La résistance et surtout les qualités frottantes du Nylon en font un matériau de choix pour les **petites pièces de frottement**, en particulier dans l'industrie alimentaire. Les Nylons sont également appréciés pour leur **résistance aux produits chimiques** et aux températures soutenues.

Nous vous présentons dans les prochaines pages, les 4 types de filament Nylon les plus répandus : **le PA6, le PA66 ainsi que le PA11 et le PA12**.



## Champs d'applications

- Secteur médical
- Pièces fonctionnelles / Pièces d'usure
- Pièces automobiles
- Outilage

## Focus sur le Nylon PA6

Thermoplastiques standards

### Les avantages du PA6

- Matériau rigide et ductile
- Bonne résistance mécanique
- Excellente résistance à la friction, à l'usure et à l'impact
- Bas coefficient de frottement
- Matériau durable

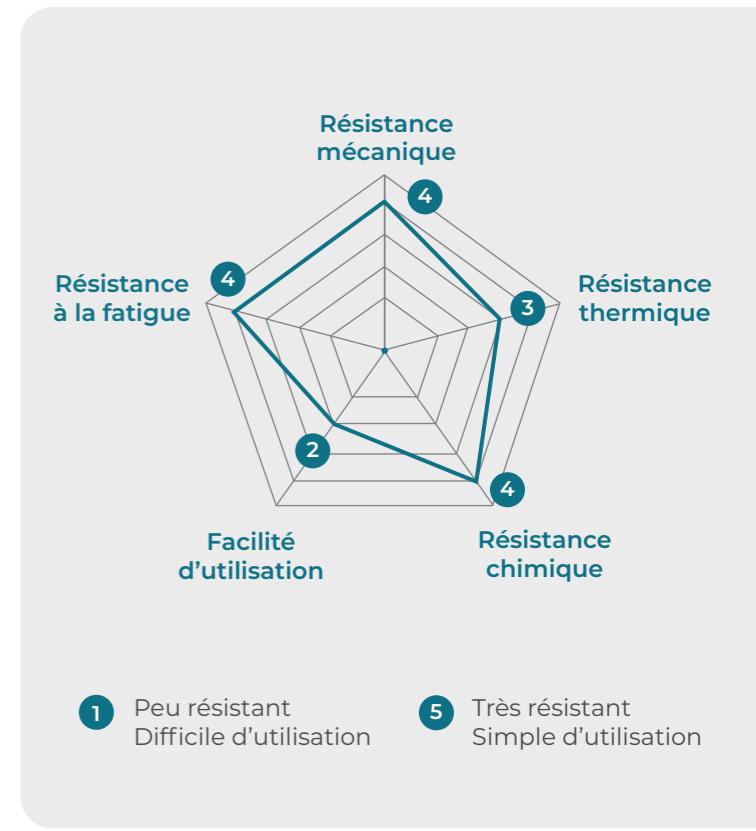
### Les limites du PA6

- Sensible à l'humidité ambiante (étuvage nécessaire)
- Adhérence plateau difficile
- Mauvaise stabilité dimensionnelle



## Caractéristiques techniques

Caractéristiques	Valeurs
<b>Thermique / Mécanique</b>	
Module d'élasticité (T / F)	850 / 1900 Mpa
Résistance à la traction	37 Mpa
Résistance à la flexion	35 Mpa
Élongation maximum	> 20%
Résistance aux chocs	8 kJ/m <sup>2</sup>
Résistance température	70°C
<b>Impression</b>	
Température d'extrusion	240 à 260°C
Température du plateau	60°C
Vitesse d'impression	30 à 70mm/s
Ventilation recommandée	40%



## Focus sur le Nylon PA66

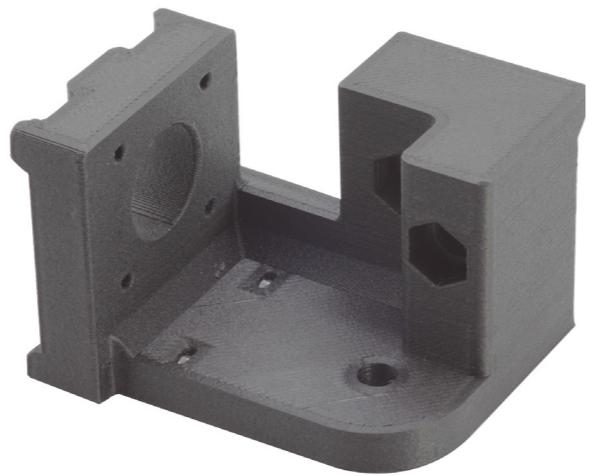
### Thermoplastiques standards

#### Les avantages du PA66

- Résistance mécanique plus élevée que le PA6 (rigidité plus importante)
- Très bonne résistance à la température
- Excellente résistance à la friction et à l'usure
- Moins sensible à l'humidité que le PA6

#### Les limites du PA66

- Résistance aux chocs plus faible (comparé au PA6)



#### Caractéristiques techniques

##### Caractéristiques

Caractéristiques	Valeurs
Thermique / Mécanique	

Module d'élasticité (T / F) 2000 / 2100 Mpa

Résistance à la traction 42 Mpa

Résistance à la flexion 40 Mpa

Élongation maximum 10%

Résistance aux chocs 5 kJ/m<sup>2</sup>

Résistance température 90°C

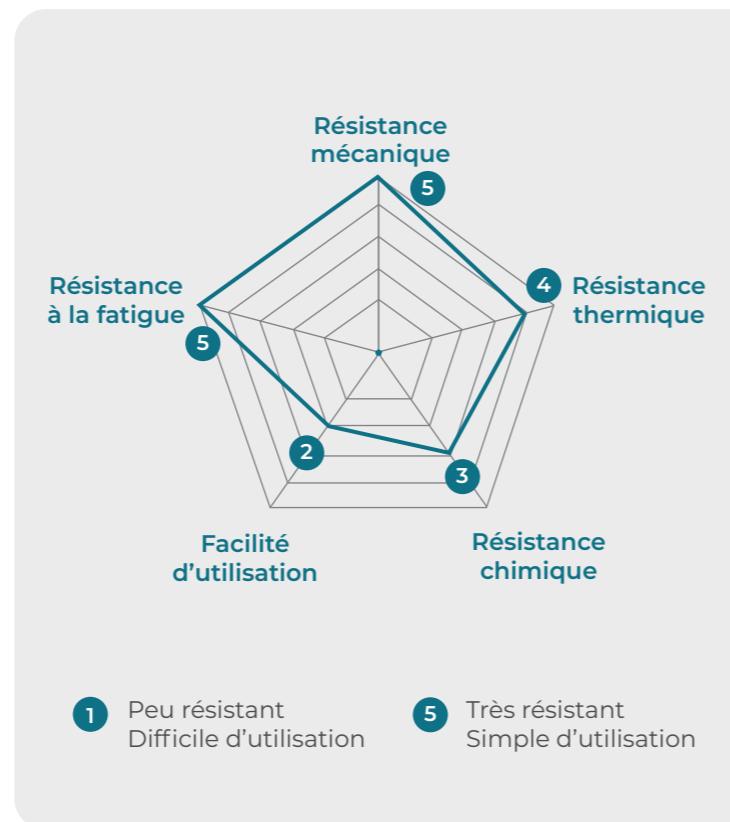
##### Impression

Température d'extrusion 240 à 260°C

Température du plateau 60°C

Vitesse d'impression 30 à 70mm/s

Ventilation recommandée 40%



## Focus sur le PA11 et le PA12

### Thermoplastiques standards

#### Les avantages du PA11/12

- Meilleure résistance aux chocs
- Plus grande flexibilité
- Bonne résistance à l'humidité
- Bonne stabilité dimensionnelle
- Résistance jusqu'à -40°C
- Résistance aux UV (PA11 uniquement)

#### Les limites du PA11/12

- Matériaux non bio-dégradables



#### Caractéristiques techniques

##### Caractéristiques

Caractéristiques	Valeurs
Thermique / Mécanique	

Module d'élasticité (T / F) 600 / 1200 Mpa

Résistance à la traction 25 Mpa

Résistance à la flexion 22 Mpa

Élongation maximum > 50%

Résistance aux chocs 12 kJ/m<sup>2</sup>

Résistance température 90°C

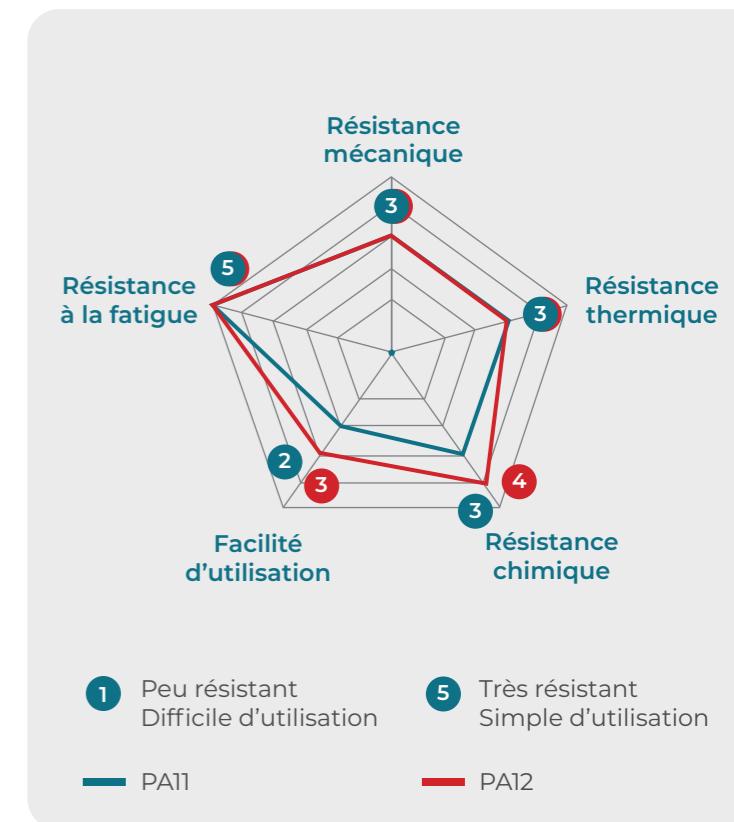
##### Impression

Température d'extrusion 240 à 260°C

Température du plateau 60°C

Vitesse d'impression 30 à 70mm/s

Ventilation recommandée 40%



Le filament Polypropylène (ou PP) est l'un des polymères les plus polyvalents possédant à la fois des caractéristiques de **souplesse** et de mémoire de forme. Il est utilisé principalement dans les emballages alimentaires, les pièces techniques pour l'automobile, la vaisselle pour four micro-ondes.

Il est **résistant aux acides et alcalins** et n'absorbe pas l'eau (par rapport au nylon). Ce matériau se situe entre un nylon et un flexible et permet l'impression 3D de **pièces semi-flexibles** avec une bonne finition de surface. Les pièces imprimées sont durables et résistent aux températures élevées (jusqu'à 100°C), à l'humidité et aux UV.



## Champs d'applications

- Récipients alimentaires
  - Pièces avec contact chimique
  - Outilage / Pièces d'usure
  - Prototypes fonctionnels

## Les avantages du PP

- Filament durable / indéchirable
  - Compatible avec le contact alimentaire
  - Résistance élevée aux frottements
  - Résistance élevée aux produits chimiques
  - Aspect visuel brillant
  - Excellent isolant électrique
  - Peut s'utiliser pour l'impression de coques fines

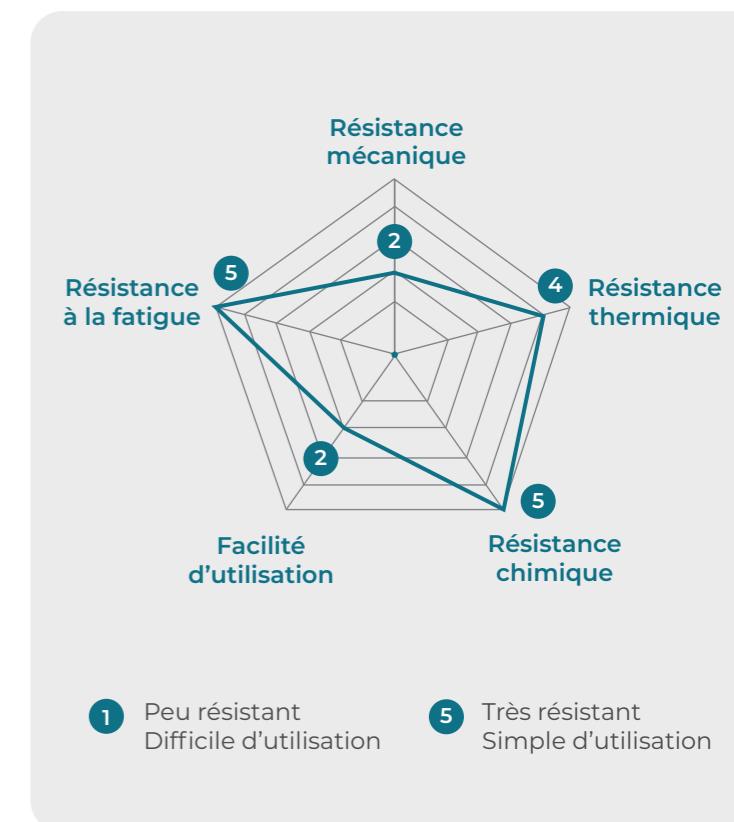
## Les limites du PP

- Requiert un revêtement PP pour l'accroche au plateau
  - Cristallisation du matériau inadaptée aux petits détails
  - Vitesse d'impression lente obligatoire



## Caractéristiques techniques

Caractéristiques	Valeurs
<b>Thermique / Mécanique</b>	
Module d'élasticité (T / F)	250 Mpa
Résistance à la traction	9 Mpa
Résistance à la flexion	13 Mpa
Élongation maximum	200%
Résistance aux chocs	34 kJ/m <sup>2</sup>
Résistance température	100°C
<b>Impression</b>	
Température d'extrusion	200 à 215°C
Température du plateau	80°C à 100°C
Vitesse d'impression	40 à 120mm/s
Ventilation recommandée	20%



Les filaments flexibles et semi-flexibles TPE/TPU (élastomères thermoplastiques) sont une catégorie de matériaux d'impression 3D qui peuvent être utilisés comme un plastique technique flexible ou en remplacement des caoutchoucs rigides.

Ce matériau permet d'imprimer des objets pouvant être **étirés, tendus, pliés** et qui reprendront leur forme originale en gardant l'élasticité qui les caractérise. Ce matériau est idéal pour imprimer des **grips, semelles, courroies**, ou tout autre objet nécessitant des propriétés de souplesse.

Cette catégorie de filament flexible est évaluée selon une valeur de souplesse appelée **dureté Shore**. L'impression de filament flexible est possible sur la majorité des imprimantes 3D FDM et répond à la demande de nombreuses applications.



## Les avantages du TPU

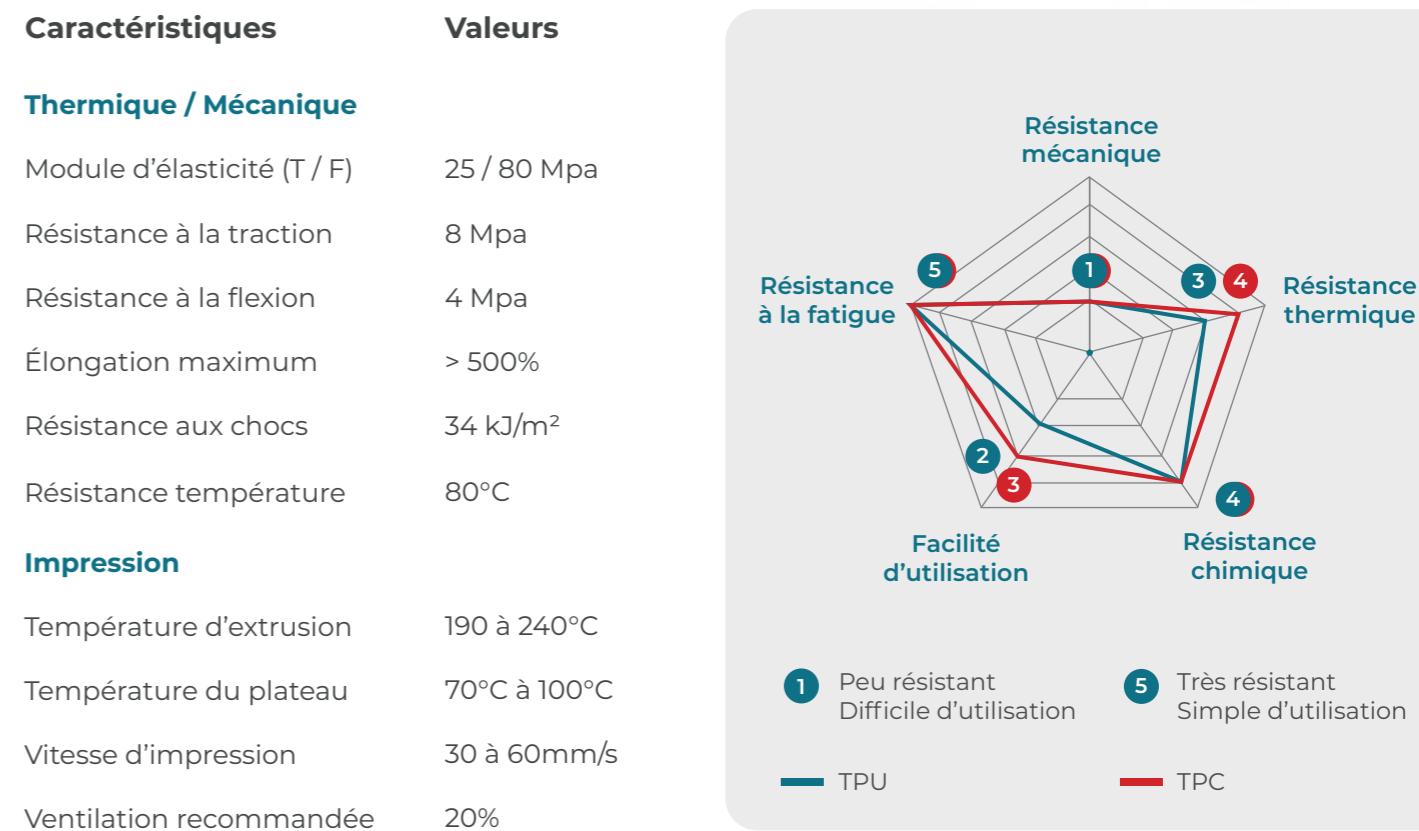
- Reprend sa forme après déformation
- Résistance à l'impact et à la déchirure
- Mémoire de forme
- Fonctionne en combinaison avec du PVA (matériau de support soluble)
- Amortissement des vibrations

## Les limites du TPU

- Requiert un plateau chauffant
- Vitesse d'impression lente obligatoire
- Forme géométrique simple
- Stringing accentué en fonction de la pièce



## Caractéristiques techniques



# PVA / BVOH

Lors de la réalisation de **pièces à géométries complexes**, il est généralement nécessaire d'utiliser un **support temporaire** pendant la construction de l'objet. Le but du PVA ou du BVOH est justement de répondre à cette attente. Plutôt que d'utiliser le même matériau pour la fabrication de l'objet et de ses supports, ce qui inclut de les retirer à la main (ou à la pince) lorsque l'impression est terminée, il est possible d'utiliser ces filaments PVA ou BVOH qui ont la particularité d'être solubles dans l'eau.

Cette dissolution dans l'eau va permettre une **meilleure qualité visuelle** de la zone en contact avec les supports et également un retrait facilité y compris dans les endroits inaccessibles.



## Champs d'applications

- Pièces aux géométries complexes
- Assemblages mécaniques
- Pièces comportant des portes-à-faux
- Pièces de bonne qualité visuelle

## Matériaux de supports solubles

### Les avantages du support

- Se dissout simplement et rapidement dans une eau tiède
- Ne dégage pas d'odeur lors de l'impression
- Très simple à imprimer pour les meilleures marques
- Ne nécessite pas de plateau chauffant
- Permet l'impression de pièces complexes

### Les limites du support

- Extrêmement sensible à l'humidité
- Matériau souvent fragile
- Conservation dans un endroit sec et à l'abri de la lumière



### Compatibilité des supports

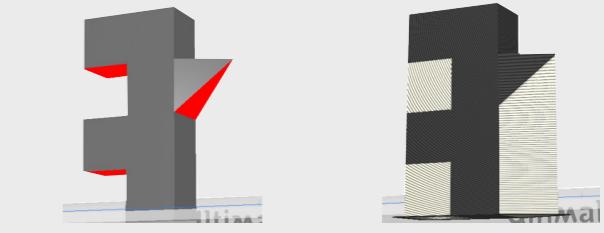
Le PVA s'imprime conjointement avec les matériaux suivants :

- |        |         |
|--------|---------|
| • PLA  | • NYLON |
| • PETG | • TPU   |

Le BVOH s'imprime conjointement avec les matériaux suivants :

- |       |         |
|-------|---------|
| • PLA | • PET   |
| • ABS | • NYLON |
| • ASA | • TPU   |

Dans votre slicer :



1 Les zones en rouge indiquent un besoin de support pour l'impression.

2 L'activation des supports permet d'autoriser à votre slicer de créer des supports pour votre pièce.

# FAMILLE PAEK

La famille des PAEK (Polyaryléthercétones) regroupe deux types de matériaux principaux : **le PEEK** (Polyétheréthercétone) et **le PEKK** (Polyéthercétonecétone). Ces polymères thermoplastiques semi-cristallins représentent **les plus performants** des plastiques disponibles en impression 3D. Leur technicité extrême en font des matériaux pouvant remplacer certaines applications habituellement métalliques. Dotés d'excellentes propriétés thermomécaniques et chimiques, les PAEK sont la solution pour **les besoins de l'industrie aérospatiale** (légèreté / anti-feu / haute résistance mécanique et thermique) et chirurgicale (inerte chimiquement).

Il est important de noter que l'impression des ces matériaux n'est pas possible sur la majorité des imprimantes 3D de bureau. Les conditions d'impression : extrusion >400°C, plateau et enceinte thermorégulée >120°C limitent son utilisation aux imprimantes industrielles ou semi-industrielles.



## Focus sur le PEEK

Matériaux hautes températures

### Les avantages du PEEK

- Très haute résistance mécanique
- Léger (comparé au métal)
- Résistance aux très hautes températures
- Excellente résistance chimique
- Bonne stabilité dimensionnelle
- VO (anti-feu)
- Résistant aux UV
- Stérilisation possible

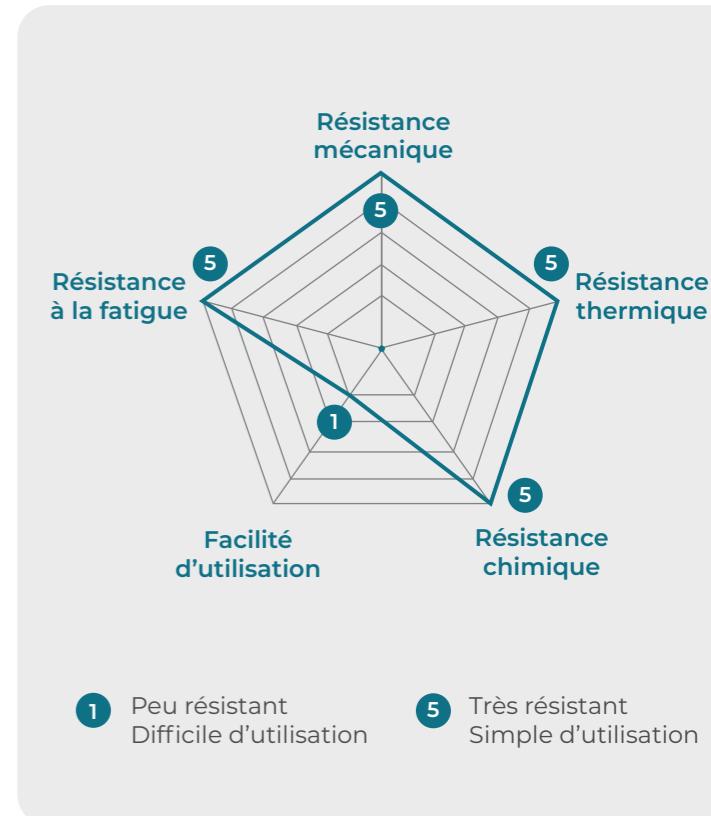
### Les limites du PEEK

- Matériau onéreux et complexe à imprimer
- Sensible à l'humidité (avant impression)
- Taux de cristallisation variable



### Caractéristiques techniques

Caractéristiques	Valeurs
<b>Thermique / Mécanique</b>	
Module d'élasticité (T / F)	3900 Mpa
Résistance à la traction	100 Mpa
Résistance à la flexion	130 Mpa
Élongation maximum	30%
Résistance aux chocs	4,5 kJ/m <sup>2</sup>
Résistance température	240°C
<b>Impression</b>	
Température d'extrusion	375 à 450°C
Température du plateau	70 à 110°C
Vitesse d'impression	40 à 80mm/s
Ventilation recommandée	0% à 10%



# Focus sur le PEKK

## Les avantages du PEKK

- Très haute résistance mécanique
- Léger (comparé au métal)
- Résistance aux très hautes températures
- Excellente résistance chimique
- Bonne stabilité dimensionnelle
- VO (anti-feu)
- Résistant aux UV
- Stérilisation possible

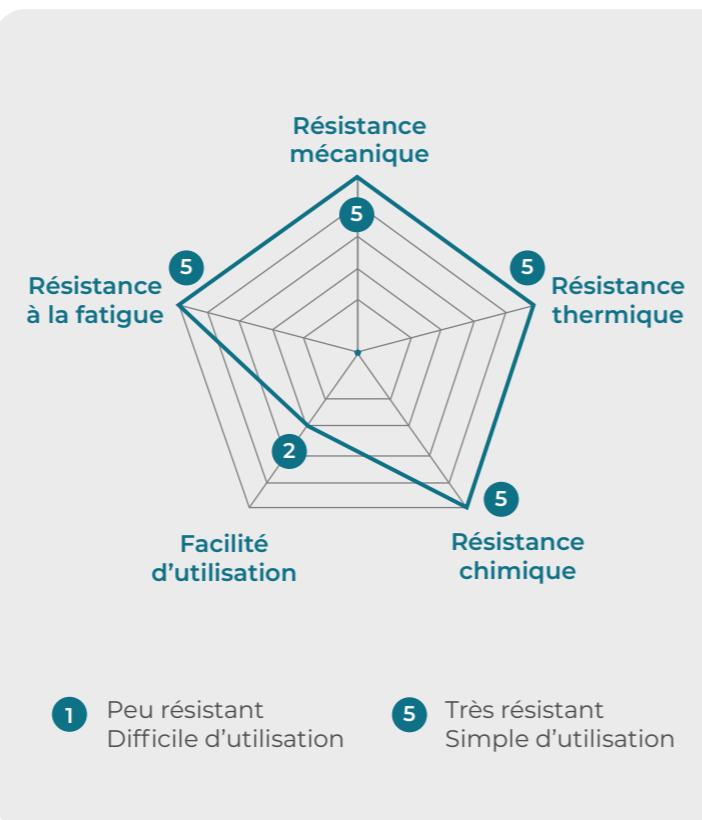
## Caractéristiques techniques

Caractéristiques	Valeurs
<b>Thermique / Mécanique</b>	
Module d'élasticité (T / F)	2900 Mpa
Résistance à la traction	850 Mpa
Résistance à la flexion	100 Mpa
Élongation maximum	8%
Résistance aux chocs	5 kJ/m <sup>2</sup>
Résistance température	260°C
<b>Impression</b>	
Température d'extrusion	350 à 420°C
Température du plateau	80°C
Vitesse d'impression	20 à 40mm/s
Ventilation recommandée	0% à 10%

## Matériaux hautes températures

## Les limites du PEKK

- Matériau onéreux et complexe à imprimer
- Sensible à l'humidité (avant impression)
- Taux de cristallisation variable



## Conseils d'impression des PAEK

Les différences que l'on retrouve entre les PEEK et PEKK sont principalement liées à leurs difficultés d'utilisation, cette caractéristique dépend fortement du **taux de cristallisation** que l'on souhaite obtenir.

Les PAEK sont des matériaux qui lors de l'impression vont subir une phase de cristallisation progressive et variable. Plus on extrude à haute température, plus le matériau sera cristallisé en sortie de fabrication. Pour autant cette haute cristallisation augmente la difficulté d'impression de ces matériaux : **stabilité dimensionnelle, adhérence au plateau, forme complexe avec support** etc. et rend parfois les libertés géométriques trop limitées.

Conscient de cette limite liée à la technologie d'impression couche par couche (FDM), la solution est généralement de **diminuer légèrement les températures** et donc le taux de cristallisation brut puis de passer par un recuit de la pièce. Cette étape de cuisson post-impression bénéficiera d'un environnement à température stable et permettra une réorganisation moléculaire plus isotropique. Le résultat indirect sera une **augmentation des caractéristiques thermiques et mécaniques** de la matière.

Le PEEK, semi-cristallin, va engendrer plus de difficultés à l'impression que le PEKK qui lui dispose d'une phase amorphe permettant une **malléabilité plus importante**. En comparaison, le PEKK aura besoin d'un taux de cristallisation plus faible pour obtenir les mêmes propriétés, C'est principalement ce facteur qui le rend plus adapté à l'impression 3D direct sans recuit.

De plus, il faut savoir que les PAEK sont des **matériaux sensibles au taux d'humidité**. En absorbant jusqu'à 0,5% de l'humidité présent dans l'atmosphère les PAEK vont créer une évaporation d'eau lors de l'extrusion. Cette réaction engendra une mauvaise finition de votre impression.

La bobine est généralement livrée dans **un sac hermétique** afin de conserver un taux d'humidité aux alentours de 0,02%. Plus le taux d'humidité est faible, plus vos impressions seront réussies. Une fois la bobine déballée, il est fortement recommandé de la conserver dans un **endroit à la fois sec et sombre**. De plus, avant chaque impression, il sera nécessaire de sécher votre bobine en la plaçant dans **un four dessicateur**.



# MÉTAUX

Depuis 2017 et l'annonce de la Metal X, il est désormais possible d'imprimer du métal en technologie de dépôt de fil. Il existe actuellement 6 métaux imprimables grâce à cette technologie : **l'acier inoxydable 17-4 PH**, les aciers à outils **A2, D2 et H13**, **l'Inconel 625** et enfin le **Cuivre**.

Cette diversité de matériaux permet aux industriels une certaine liberté sur le choix des applications (outillage, outils de formage, matrices, turbines, bride d'échappement, ...).

Concernant le processus d'impression, l'imprimante utilise un filament plastique chargé en poudre de métal. La pièce est ensuite plongée dans une solution de déliantage pour nettoyer la pièce et supprimer la cire présente dans la pièce. Une fois propre, la pièce est insérée dans le four de frittage atteignant les **1300°C**. Suite à ces trois étapes, on obtient une pièce d'une **densité métallique d'environ 97%**.



## Champs d'applications

- Industrie aérospatiale
- Industrie automobile
- Industrie manufacturière
- Secteur médical

## Focus sur le 17-4 PH

Métal - Acier inoxydable

### Les avantages du 17-4 PH

- Forte résistance
- Matériau polyvalent
- Résistance à la corrosion
- Forte dureté

### Les limites du 17-4 PH

- Perte de résistance lorsque soumis à de fortes températures



## Caractéristiques techniques

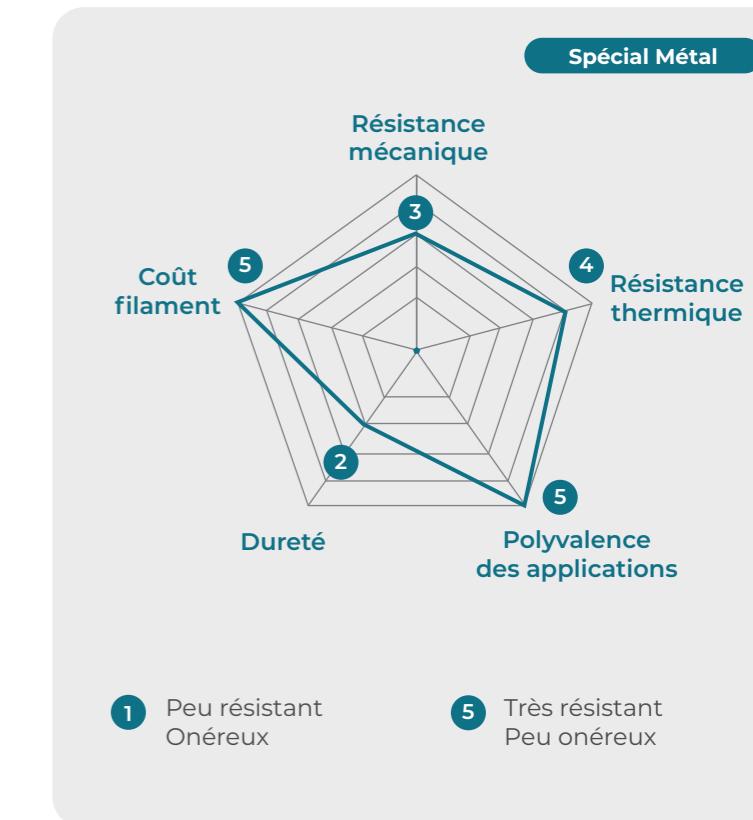
### Caractéristiques

#### Thermique / Mécanique

	Valeurs
Module d'élasticité (T / F) Avec traitement thermique	140 000 Mpa 170 000 Mpa
Résistance à la traction Avec traitement thermique	1 050 Mpa 1 250 Mpa
Dureté Avec traitement thermique	30 HRC 36 HRC
Élongation maximum Avec traitement thermique	5% 6%

### Remarque

L'acier inoxydable 17-4 PH est le premier métal disponible sur la Metal X. L'acier 17-4 est l'un des métaux les plus polyvalents disponibles.



## Focus sur le H13

Métal - Acier à outils

### Les avantages du H13

- Résistance thermique
- Résistance aux refroidissements drastiques
- Résistance à l'abrasion
- Forte dureté



### Caractéristiques techniques

#### Caractéristiques

##### Thermique / Mécanique

Module d'élasticité (T / F)	180 000 Mpa Avec traitement thermique
Résistance à la traction	1 420 Mpa Avec traitement thermique
Dureté	40 HRC Avec traitement thermique
Élongation maximum	5% Avec traitement thermique

#### Remarque

L'acier à outils H13 excelle dans le travail à chaud grâce à ses fortes résistances aux températures.

### Les limites du H13

- Besoin de travailler l'acier avec de fortes températures pour qu'il excelle



### Caractéristiques techniques

#### Caractéristiques

##### Thermique / Mécanique

Module d'élasticité (T / F)	180 000 Mpa Avec traitement thermique
Résistance à la traction	NC
Dureté	52 HRC Avec traitement thermique
Élongation maximum	NC Avec traitement thermique

1 Peu résistant  
Onéreux

5 Très résistant  
Peu onéreux

Spécial Métal

## Focus sur le A2

Métal - Acier à outils

### Les avantages du A2

- Polyvalence dans le domaine de l'outillage
- Résistance à l'usure
- Forte dureté



### Les limites du A2

- Il est recommandé de traiter thermiquement le A2 pour accroître les résistances

#### Caractéristiques

##### Thermique / Mécanique

Module d'élasticité (T / F)	180 000 Mpa Avec traitement thermique
Résistance à la traction	NC
Dureté	52 HRC Avec traitement thermique
Élongation maximum	NC Avec traitement thermique

1 Peu résistant  
Onéreux

5 Très résistant  
Peu onéreux

Spécial Métal

L'acier à outils A2 fournit des pièces dures et résistantes à l'usure. Ces caractéristiques sont très intéressantes pour des applications d'outillage, de fixations ainsi que pour les ateliers de moulage et découpage.

## Focus sur le D2

Métal - Acier à outils

### Les avantages du D2

- Bords coupants
- Forte dureté
- Résistance à l'usure
- Résistance à la compression
- Résistance à l'abrasion
- Résistance à la corrosion (comparé aux autres aciers à outils)

### Les limites du D2

- Perte de résistance lorsque soumis à de fortes températures



### Caractéristiques techniques

#### Caractéristiques

##### Thermique / Mécanique

Module d'élasticité (T / F)  
Avec traitement thermique

#### Valeurs

170 000 Mpa  
187 000 Mpa

##### Résistance à la traction

Avec traitement thermique

#### NC

NC

##### Dureté

Avec traitement thermique

#### 54 HRC

60 HRC

##### Élongation maximum

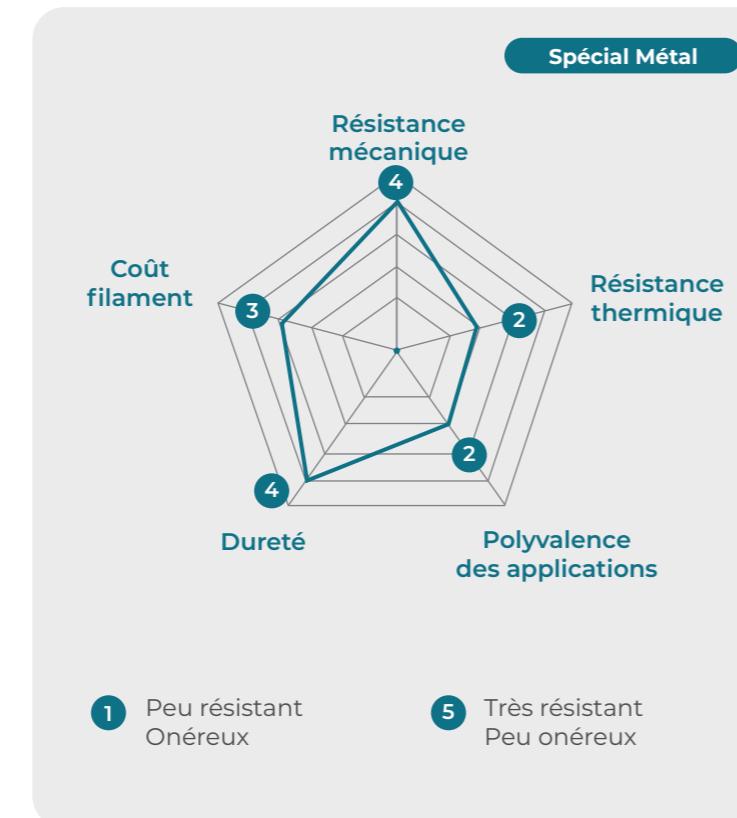
Avec traitement thermique

#### NC

NC

#### Remarque

L'acier à outils D2 est favorisé pour le travail à froid. Les bords tranchants permettent la création d'outils sur mesure pour l'industrie.



## Focus sur l'Inconel 625

Métal - Superalliages

### Les avantages de l'Inconel

- Résistance à la corrosion
- Résistance thermique

### Les limites de l'Inconel

- Matériau onéreux



### Caractéristiques techniques

#### Caractéristiques

##### Thermique / Mécanique

Module d'élasticité (T / F)

#### Valeurs

NC

##### Résistance à la traction

765 Mpa

##### Dureté

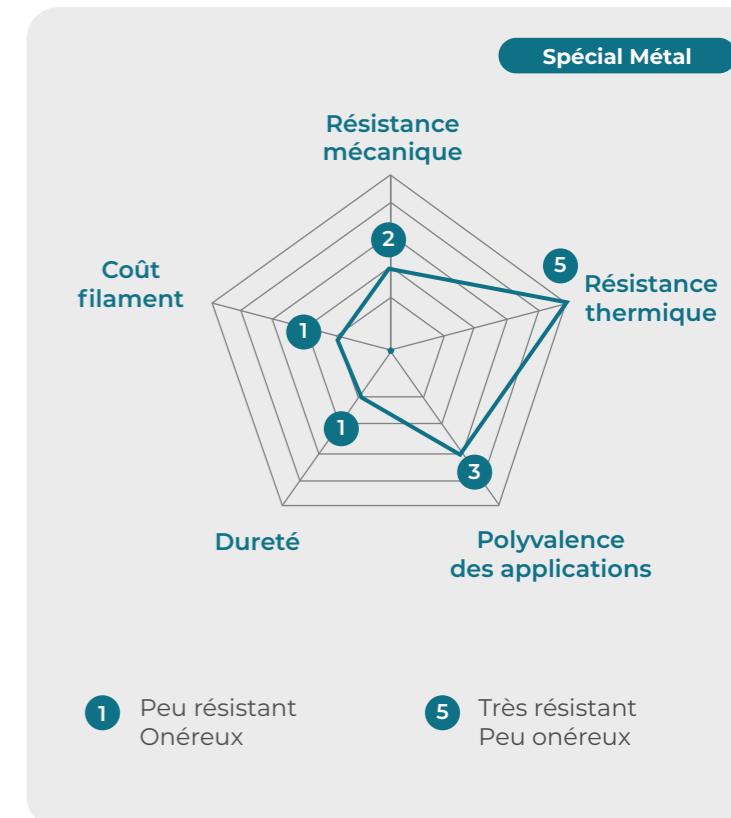
7 HRC

##### Élongation maximum

42%

#### Remarque

L'inconel est privilégié pour sa résistance aux fortes températures mais aussi à la corrosion. L'inconel excelle dans le secteur maritime par exemple.



# Focus sur le Cuivre

## Les avantages du Cuivre

- Très bonne conductivité thermique
- Très bonne conductivité électrique
- Résistance à la corrosion
- Métal malléable



## Caractéristiques techniques

### Caractéristiques

#### Thermique / Mécanique

	Valeurs
Module d'élasticité (T / F)	NC
Résistance à la traction	193 Mpa
Dureté	NC
Élongation maximum	45%

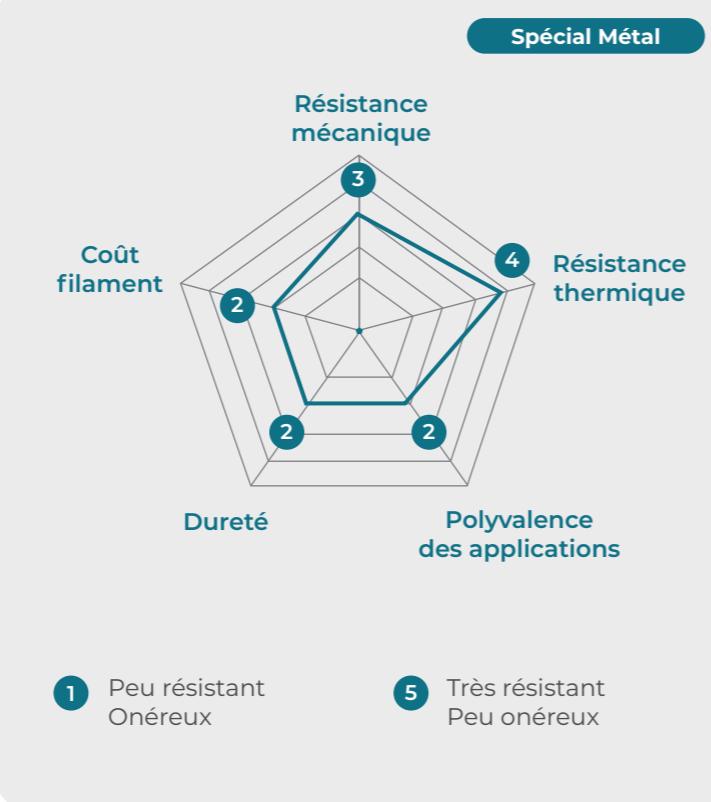
### Remarques

Le cuivre présente une forte conductivité thermique et électrique. Des pièces comme des manches de soudage tirent profit de ses caractéristiques.

## Métal

## Les limites du Cuivre

- Métal onéreux



## Guide de conception Metal X

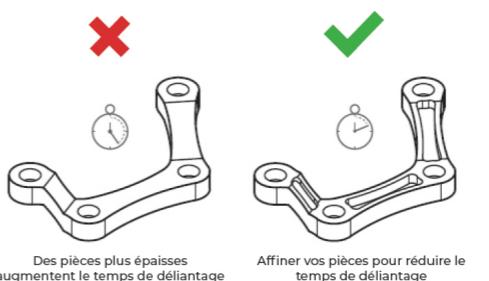
Comme expliqué, le fonctionnement de l'impression 3D métal est différent de ce qu'on peut voir sur les imprimantes FDM classiques. Pour rappel, 3 phases sont nécessaires pour obtenir des pièces métalliques imprimées en dépôt de filament : **l'impression**, le **déliantage** et le **frittage**.

Il est ainsi primordial de repenser la phase de conception afin d'optimiser l'ensemble du processus. Il faut prendre en compte la phase de déliantage et la phase de frittage lorsque vous concevez vos pièces.

### Déliantage

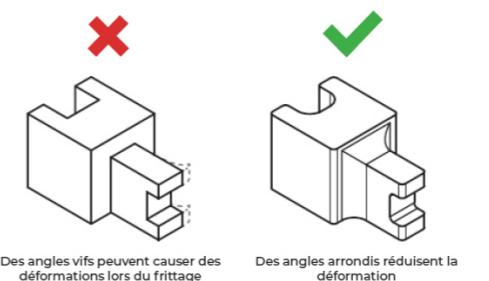
Pour délianter les pièces, le système utilise de l'optéon qui pénètre à l'intérieur des pièces et supprime les traces de cire présentes dans les pièces.

Il faut donc concevoir les pièces pour faciliter la pénétration de l'optéon dans celles-ci. Exemple :



### Frittage

La cuisson des pièces entraîne des réactions thermiques sur les pièces, il est ainsi conseillé de concevoir vos pièces avec des angles arrondis pour réduire les contraintes thermiques.



Pour connaître l'ensemble des optimisations possibles, nous vous conseillons de télécharger le guide de conception sur **Neofab.fr**, rubrique **Ressources**.



# COMPOSITES

La technologie de fabrication additive composite de Markforged s'appuie sur l'impression de deux matériaux de base que sont le **Nylon et l'Onyx** (Nylon dans lequel on rajoute des copeaux de carbone). Le Nylon possède des propriétés plus souples alors que l'Onyx est ferme et résistant dû à l'ajout des particules de carbone.

Même si le Nylon et l'Onyx sont des matériaux de base résistants, les limites peuvent être atteintes surtout dans le domaine de l'industrie. C'est pourquoi Markforged a conçu et breveté une solution permettant de déposer de la fibre continue lors de l'impression. Il est ainsi possible de choisir parmi les différentes fibres (**Fibre de Carbone, Fibre de Verre, Kevlar, Fibre de Verre Haute Température**) en fonction de l'utilisation finale des pièces imprimées.



## Champs d'applications

- Outilage industriel
- Prototypages fonctionnels
- Fixations
- Moules industriels

## Focus sur l'Onyx

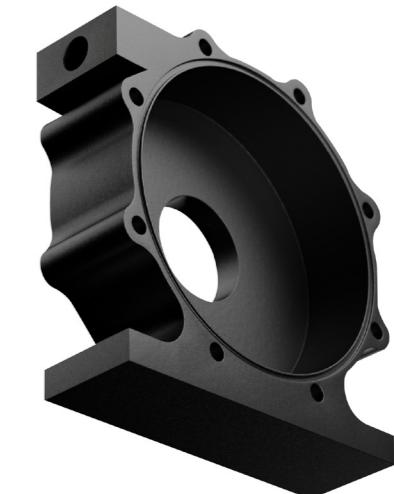
Matrice Plastique

### Les avantages de l'Onyx

- Forte résistance mécanique
- Matériau léger
- Qualité d'impression visuelle
- Bonne résistance thermique
- Résistance chimique

### Les limites de l'Onyx

- Sensible à l'humidité



## Caractéristiques techniques

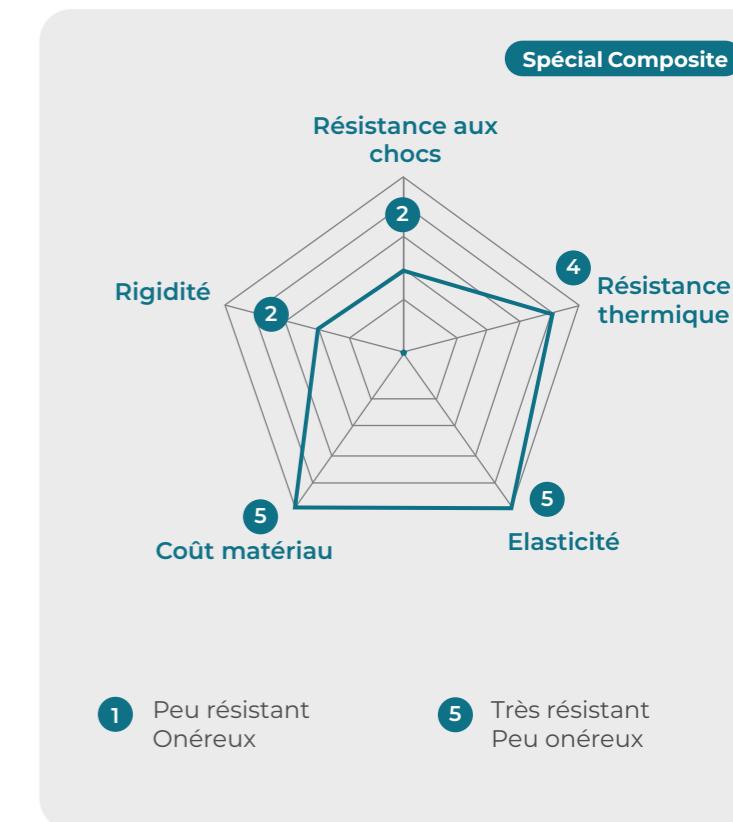
### Caractéristiques

#### Thermique / Mécanique

Caractéristiques	Valeurs
Module d'élasticité (T / F)	1400 Mpa
Résistance à la traction	30 Mpa
Résistance à la flexion	81 Mpa
Élongation maximum	58%
Résistance température	145°C

### Remarque

Markforged a également développé l'«Onyx Fire Retardant» possédant les mêmes résistances de températures mais certifié V-0 au test UL94. Si l'Onyx FR prend feu, la flamme s'éteindra.



# Focus sur la Fibre de Carbone

Composites

## Les avantages

- Excellent ratio poids-résistance
- Forte solidité
- Très bonne rigidité
- Faible déformation

## Les limites

- Fibre la plus coûteuse parmi celles proposées par Markforged

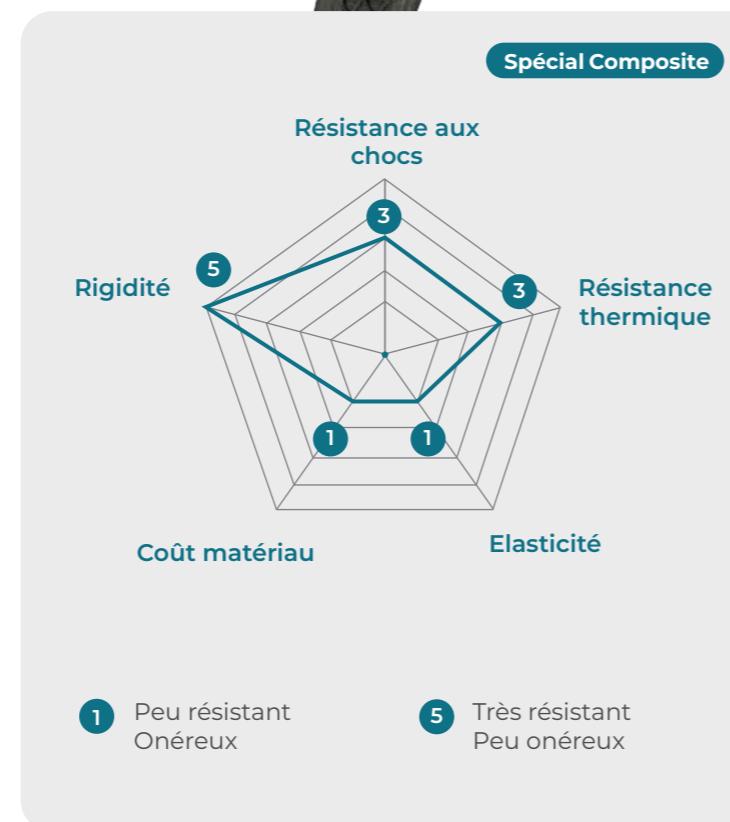


## Caractéristiques techniques

Caractéristiques	Valeurs
<b>Thermique / Mécanique</b>	
Module d'élasticité (T / F)	60 000 Mpa
Résistance à la traction	800 Mpa
Résistance à la flexion	540 Mpa
Élongation maximum	1,2%
Résistance température	105°C

### Remarque

La fibre de carbone est la fibre la plus rigide de chez Markforged. C'est à dire qu'elle va résister à de fortes contraintes puis cassera une fois la limite atteinte (contrairement au Kevlar par exemple).



# Focus sur la Fibre de Verre

Composites

## Les avantages

- Fibre la plus abordable des fibres disponibles chez Markforged
- Polyvalence des résistances
- Fibre idéale pour démarrer avec la technologie de renfort en fibre continu

## Les limites

- Fibre sensible aux températures élevées
- Les fibres de verre sont denses (poids élevé)

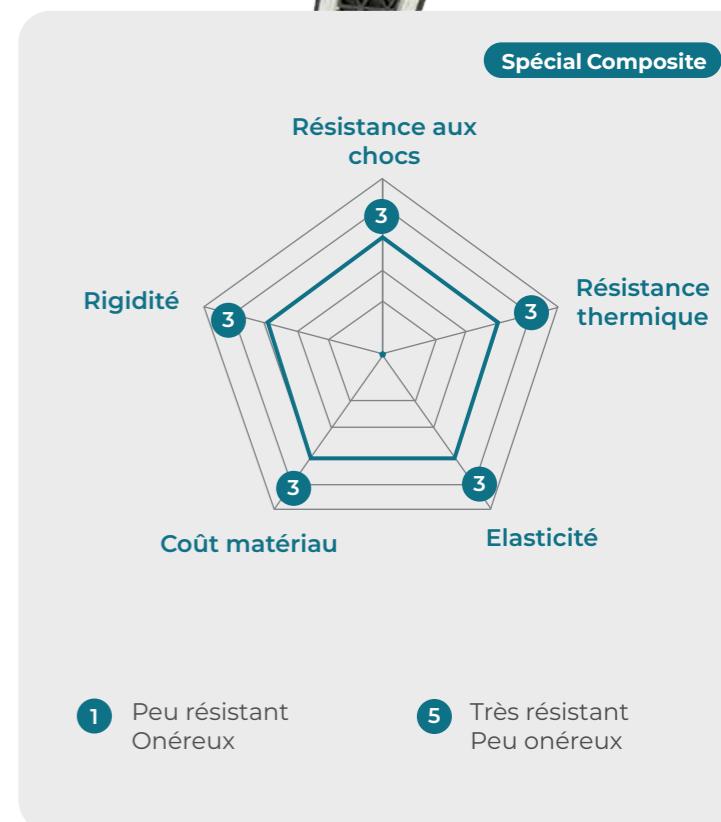


## Caractéristiques techniques

Caractéristiques	Valeurs
<b>Thermique / Mécanique</b>	
Module d'élasticité (T / F)	21 000 Mpa
Résistance à la traction	590 Mpa
Résistance à la flexion	200 Mpa
Élongation maximum	1,1%
Résistance température	105°C

### Remarque

La fibre de verre est idéale pour commencer, il s'agit de la fibre la moins onéreuse tout en présentant des caractéristiques complètes.



## Focus sur la Fibre de Verre HSHT

Composites

### Les avantages

- Meilleure résistance thermique des fibres présentées
- Fibre permettant de se déformer de manière répétée sans jamais se déformer de manière permanente

### Les limites

- La fibre HSHT s'imprime deux fois moins vite que les autres fibres Markforged

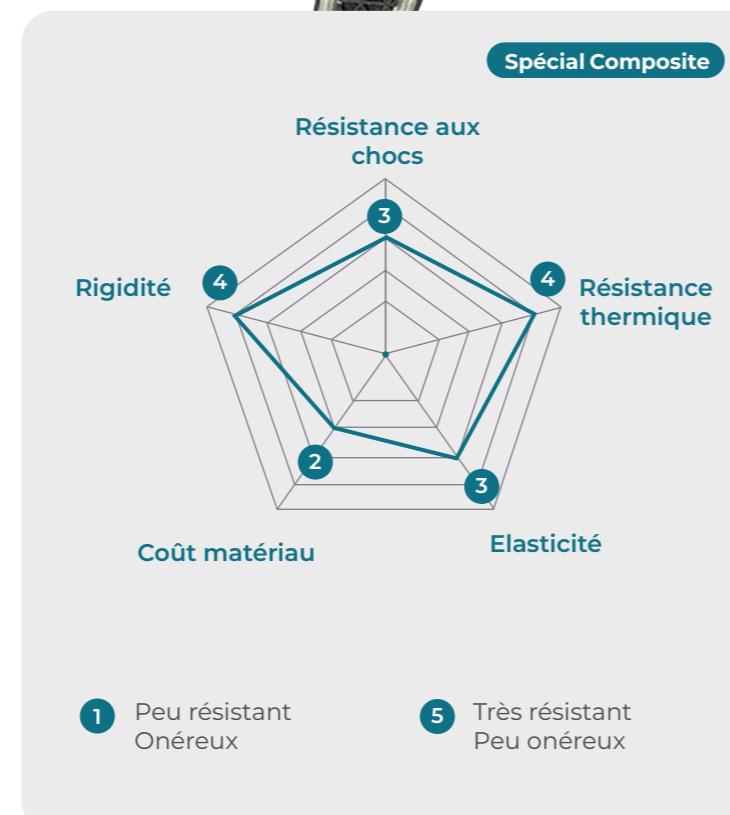


### Caractéristiques techniques

Caractéristiques	Valeurs
<b>Thermique / Mécanique</b>	
Module d'élasticité (T / F)	21 000 Mpa
Résistance à la traction	600 Mpa
Résistance à la flexion	420 Mpa
Élongation maximum	2,2%
Résistance température	150°C

#### Remarque

La fibre HSHT (High Strength High Temperature) est une fibre de verre améliorée en terme de résistance thermique et mécanique.



## Focus sur la Fibre de Kevlar®

Composites

### Les avantages

- Forte durabilité
- Résistance aux chocs
- Fibre présentant la meilleure légèreté parmi les fibres Markforged
- Capacité à se déformer sans rompre brusquement lors de chocs

### Les limites

- Fibre sensible aux températures élevées

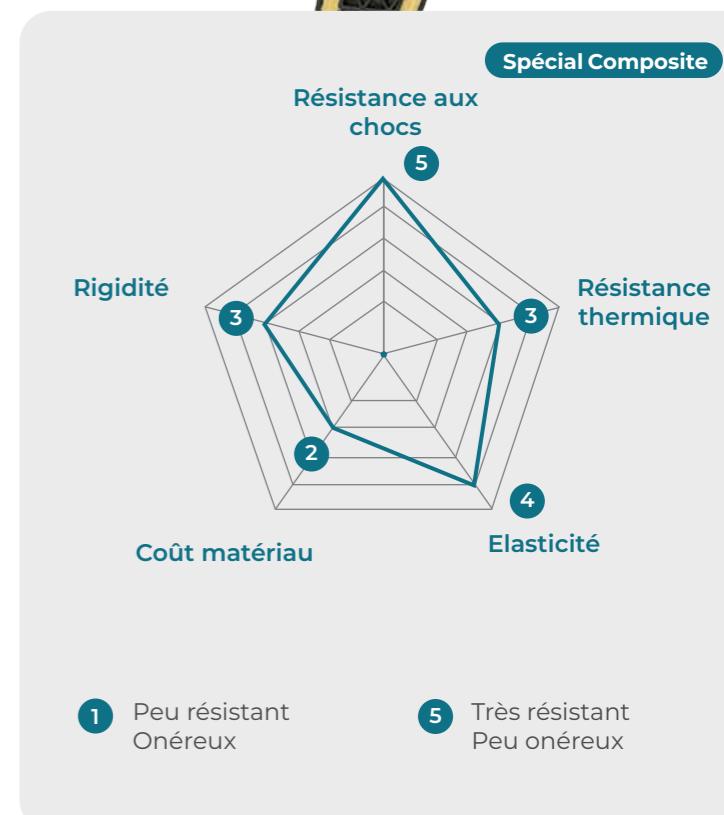


### Caractéristiques techniques

Caractéristiques	Valeurs
<b>Thermique / Mécanique</b>	
Module d'élasticité (T / F)	27 000 Mpa
Résistance à la traction	610 Mpa
Résistance à la flexion	240 Mpa
Élongation maximum	2,1%
Résistance température	105°C

#### Remarque

La fibre de Kevlar® sera favorisée pour sa très bonne résistance aux chocs et son élasticité.





## Résumé général des applications possibles

	Prototypes visuels	Prototypes fonctionnels	Outils & gabarits	Produits finis
PLA	✓	✓	✓	✓
ABS		✓	✓	✓
PETG	✓	✓	✓	✓
PC		✓	✓	✓
NYLON		✓	✓	
TPU		✓	✓	
PP	✓	✓	✓	
PEEK		✓	✓	
COMPOSITES	✓	✓	✓	✓
FIBRES		✓	✓	✓

## Conclusion

La première étape pour choisir votre matériau consistera avant tout à **déterminer l'usage de votre pièce** et ainsi opter pour le filament qui répondra le mieux à vos besoins. Nos techniciens expérimentés sont disponibles pour répondre à toutes vos interrogations et vous conseiller dans votre choix.

Les caractéristiques, avantages et limites des matériaux que nous évoquons dans ce guide sont les indicateurs les plus fréquemment pris en compte par nos clients, mais ils ne sont pas exhaustifs ! Bien d'autres indicateurs peuvent également être retenus pour vous aider à **choisir le matériau adapté** à votre application (géométrie de votre pièce, imprimabilité, précision requise etc.)

Votre application n'est pas représentée dans ce guide ? Vos exigences et contraintes sont différentes ? Contactez nous afin que nous déterminions ensemble vos besoins dans le but de vous aiguiller vers le matériau le plus adapté.

Pour vos besoins professionnels :



Tél. : 09 72 498 498  
E-mail : info@makershop.fr  
[www.makershop.fr](http://www.makershop.fr)

Pour vos besoins industriels :



Tél. : 09 80 80 11 49  
E-mail : pro@neofab.fr  
[www.neofab.fr](http://www.neofab.fr)