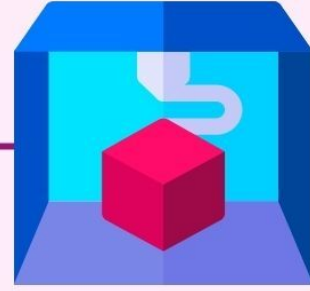
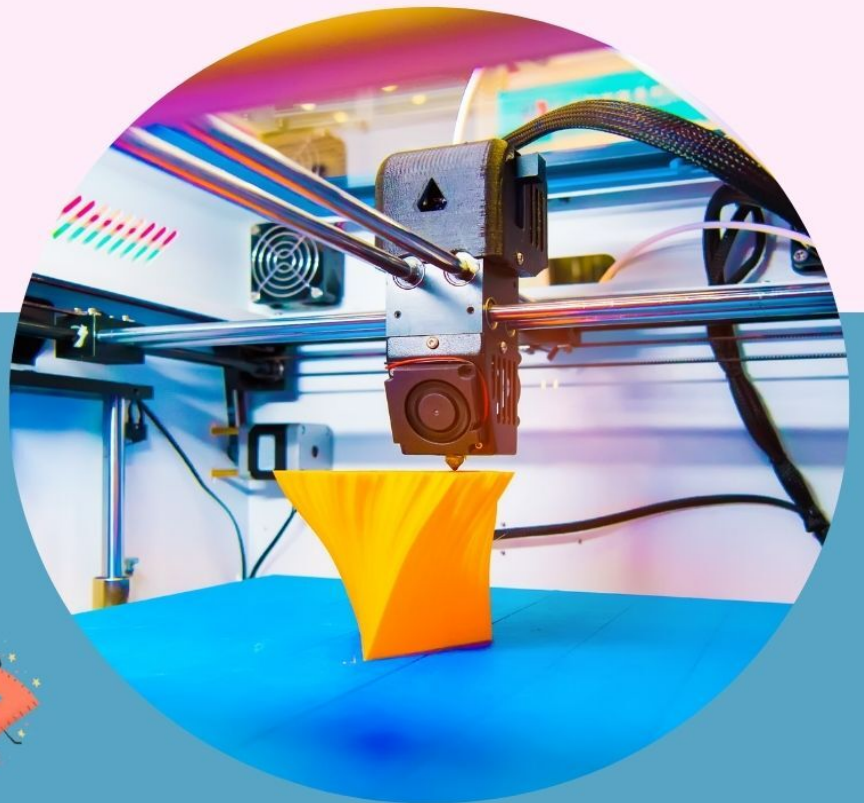


# Impression 3D

## Manuel de mise en oeuvre



Conseils pratiques &  
Règles de sécurité pour  
des impressions réussies



## Table des matières

Table des matières .....	1
Introduction.....	2
Les parties d'une imprimante 3D .....	3
Le filament d'impression 3D.....	4
La buse .....	5
L'extrudeuse.....	5
L'extrémité chaude .....	6
La surface de construction / lit d'impression .....	6
Le refroidissement (ventilateurs de refroidissement des pièces).....	7
L'affichage de l'impression.....	7
Préparer votre école pour l'impression 3D .....	9
L'emplacement de votre imprimante 3D .....	9
Sélection et stockage des matériaux pour imprimantes 3D.....	9
Une formation adéquate pour les enseignantes et enseignants .....	10
Outils et fournitures.....	11
Le calibrage.....	12
Température .....	13
Les supports en impression 3D .....	14
Post-traitement.....	16
Règles de sécurité.....	17
Références.....	19

Face à la généralisation de l'impression 3D dans de nombreuses écoles, les ministères sont de plus en plus sollicités pour partager leurs recommandations quant à la mise en œuvre de cette technologie. Les écoles sont souvent en terrain inconnu lorsqu'elles élaborent leurs recommandations et/ou partagent des **lignes directrices en matière de santé et de sécurité** pour l'utilisation d'imprimantes 3D dans leurs établissements et leurs salles de classe.



*Figure 1 / Enseignant et élèves avec leurs pièces imprimées en 3D*

Suite du « **Module de formation à l'impression 3D** », ce « **Manuel de mise en œuvre** » fournit des informations sur les aspects techniques du processus d'impression 3D (températures, configuration, etc.) tout en fournissant une compréhension claire des fonctionnalités d'une imprimante 3D.

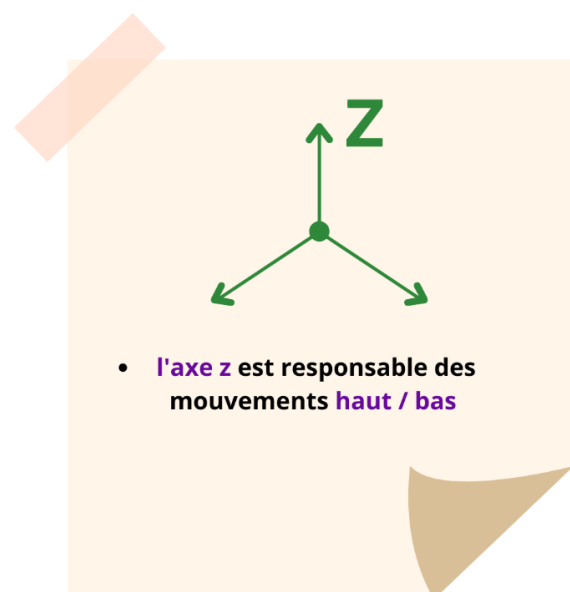
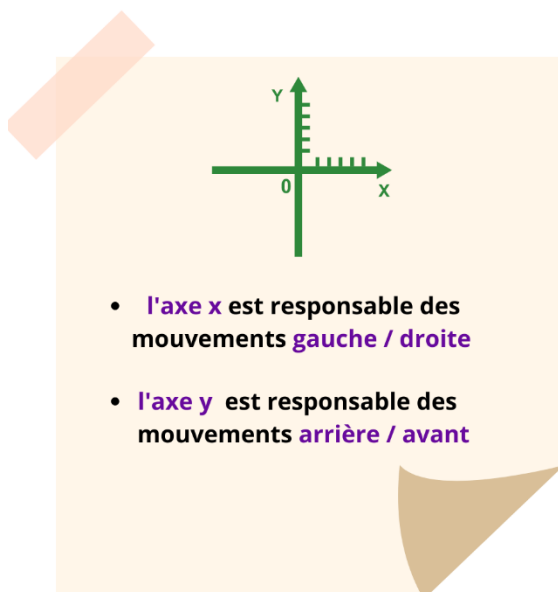
## Les parties d'une imprimante 3D

**Si vous souhaitez vous initier pour la première fois à l'impression 3D, votre première imprimante sera très probablement une imprimante FDM<sup>1</sup>.**

Le FDM est le processus d'impression 3D le plus connu. Il s'agit d'une technique ascendante basée sur la fusion du filament et son dépôt sur une table, couche par couche, basée sur un modèle en tranches.

La meilleure façon de comprendre le fonctionnement de la technologie FDM est de connaître les parties d'une imprimante 3D FDM. Avant de parler de pièces spécifiques, il convient de mentionner que les imprimantes 3D utilisent **trois axes : X, Y et Z.**

Les axes X et Y sont respectivement responsables des mouvements horizontaux : de gauche à droite, et d'avant et arrière, tandis que l'axe Z gère les mouvements verticaux : de haut en bas.



<sup>1</sup> Fused Deposition Modeling, ou Modélisation par dépôt de matière fondue.

Jetons un coup d'œil aux **principaux composants d'une imprimante 3D** :

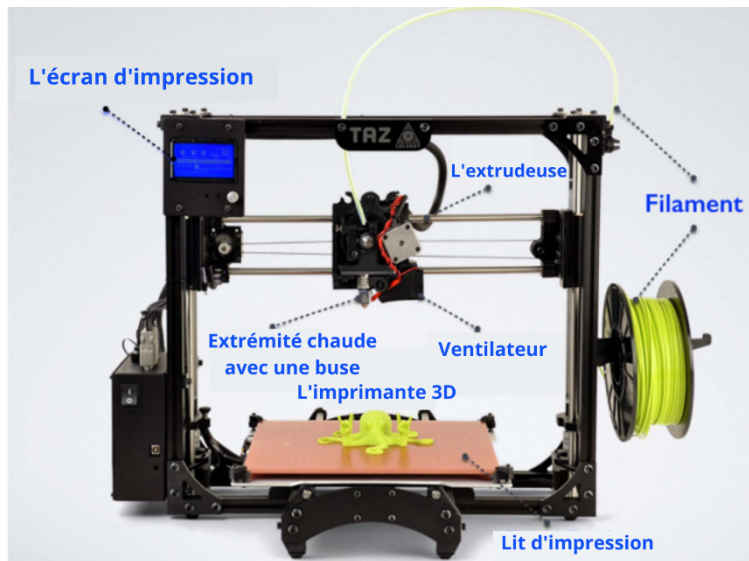


Figure 2 / Principaux composants d'une imprimante 3D FDM

Source : <http://my3dconcepts.com/explore/main-components-of-desktop-3d-printers/>

## Le filament d'impression 3D

**Le Filament d'impression 3D est un thermoplastique, ou polymère, qui fond lorsqu'il est chauffé et extrudé à travers une buse pour créer, couche par couche, un objet tridimensionnel.**

L'Acide Polylactique, communément appelé PLA, est l'un des matériaux les plus utilisés dans l'impression 3D de bureau. **C'est le filament par défaut pour la plupart des imprimantes 3D à base d'extrusion** car il peut être imprimé à basse température et ne nécessite pas de lit chauffant. Le PLA est un excellent premier matériau à utiliser lorsque vous apprenez l'impression 3D car il est facile à imprimer, très peu onéreux et crée des pièces qui peuvent être utilisées pour une grande variété d'applications. C'est également l'un des filaments les plus respectueux de l'environnement sur le marché aujourd'hui.



Figure 3/Filament de l'imprimante 3D

Source : [allthat3d.com](http://allthat3d.com)

## La buse

Les buses existent de différents diamètres, dont le choix affecte de nombreux aspects de votre impression comme la précision ou la vitesse. **L'objectif est d'équilibrer la vitesse et la précision de vos impressions.**

Buses plus grandes (>0,4 mm)	Buses plus petites (<0,4 mm)
✓ Temps d'impression plus rapide	✓ Haute précision
✓ Moins d'entretien/d'erreurs liées à la buse	✓ Plus d'entretien et risques d'obstruction



**Il est généralement recommandé d'opter pour des buses de 0,4 mm** car cela permet un bon équilibre entre vitesse et précision.

## L'extrudeuse

L'extrudeuse est l'une des parties les plus importantes de l'imprimante. Également appelé extrémité froide, **elle est chargée de guider et de conduire le filament de la bobine vers l'extrémité chaude pour la fusion.**

L'extrudeuse est la partie supérieure de l'ensemble d'extrusion. Son rôle est de transporter et de pousser le filament dans les parties inférieures de l'assemblage, l'extrémité chaude.



Figure 4 / Extrudeuse d'une imprimante 3D

Source: <https://3dprinterly.com/wp-content/uploads/2021/08/What-Are-the-Parts-of-a-Filament-3D-Printer-Extruder-3D-Printerly.jpg>

## L'extrémité chaude

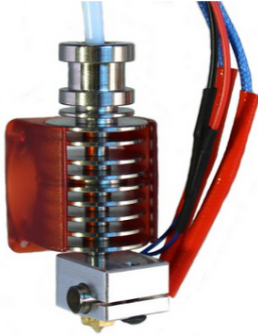


Figure 5 / Extrémité chaude

Source : <https://8059blank.github.io/individual/3D-printers-102/>

L'extrémité chaude est également un autre élément essentiel de l'imprimante 3D. C'est la partie qui fond, extrait et dépose le filament sur le plateau d'impression.

Une fois que l'extrudeuse a poussé le filament dans l'extrémité chaude, le filament passe par un chemin chauffé appelé zone de fusion. Là, le filament fond sous l'effet de la chaleur. Sous l'effet de la pression exercée par l'extrudeuse, il est expulsé par la buse.

## La surface de construction / lit d'impression

La surface de construction de l'imprimante 3D désigne la plate-forme sur laquelle le filament est déposé pour former l'impression. Selon le modèle de l'imprimante, la surface de construction peut être fixe ou se déplacer dans une direction donnée.

Dans l'impression 3D, la qualité de l'impression est fortement influencée par la première couche et l'adhérence de la plaque de construction. La surface de construction joue donc un rôle important dans le processus d'impression.

En fonction du matériau du filament, il y a différents éléments à prendre en compte lors de l'utilisation d'un lit d'impression. Il s'agit notamment du :

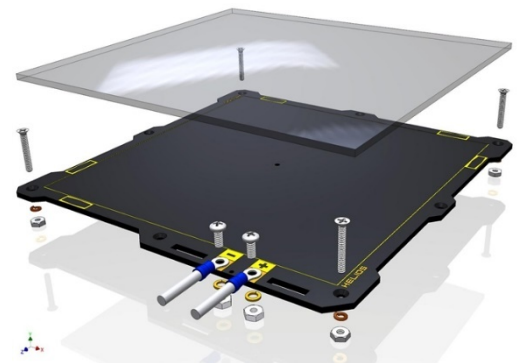


Figure 6 / Plate-forme de construction - Lit d'impression

Source: <https://8059blank.github.io/individual/3D-printers-102/>

- ✓ **Chauffage :** Certains lits d'impression sont équipés d'un coussin chauffant pour augmenter la température de la surface de construction. L'augmentation de la température favorise l'adhésion de la première couche et le gauchissement.
- ✓ **Matériau :** Le matériau de la plaque de construction détermine également ses performances. Il détermine la résistance de la plaque de construction à la chaleur et l'adhérence du filament.

## Le refroidissement (ventilateurs de refroidissement des pièces)

Les ventilateurs de refroidissement des pièces **refroidissent le plastique chaud et fraîchement extrudé dès qu'il sort de la buse**. Cela élimine certains problèmes d'impression. Cependant, plusieurs matériaux tels que l'ABS créeront davantage de problèmes avec un ventilateur de refroidissement. Il est donc recommandé de toujours vérifier si un ventilateur de refroidissement partiel est nécessaire pour différents matériaux. **Pour la plupart des filaments tels que le PLA, un ventilateur de refroidissement est recommandé.**



Figure 7/ Ventilateurs de refroidissement

Source: <https://8059blank.github.io/individual/3D-printers-102/>

## L'affichage de l'impression

L'écran d'impression (ou boîtier de commande) est l'interface homme-machine de l'imprimante 3D. C'est ainsi que l'opérateur de l'imprimante communique directement avec l'imprimante 3D sans utiliser d'ordinateur ou de dispositif quelconque.

Grâce au boîtier de commande, l'opérateur **peut démarrer, mettre en pause ou arrêter l'impression**. Il peut également charger les fichiers d'impression à



partir d'un support externe comme une clé USB ou une carte SD. Tout dépend du type de micrologiciel chargé sur l'imprimante.

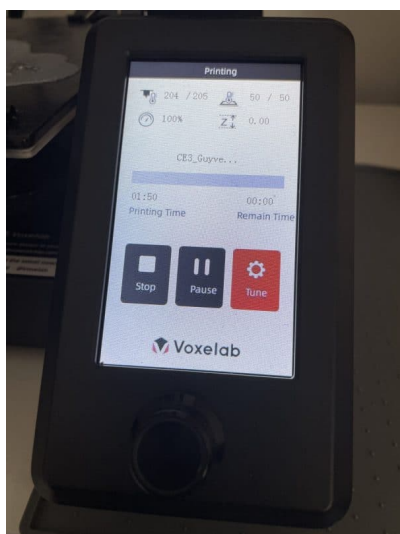


Figure 8 / Affichage de l'impression

Source: <https://3dprinterly.com/wp-content/uploads/2021/08/What-Are-the-Parts-of-a-Filament-3D-Printer-Control-Screen-3D-Printerly.jpg>

L'interface du boîtier de commande peut être un écran tactile ou un simple écran LCD avec des boutons physiques ou un bouton de commande.

Le boîtier de commande peut également contenir d'autres éléments électroniques sensibles nécessaires au bon fonctionnement de l'imprimante 3D. Ces composants électroniques comprennent le bloc d'alimentation, une carte mère, des ports USB et un système Wi-Fi.

## Préparer votre école pour l'impression 3D

Les imprimantes 3D nécessitent une configuration adéquate pour être utilisées efficacement.

### L'emplacement de votre imprimante 3D

Il est essentiel de s'assurer que les imprimantes se trouvent dans un environnement qui permet une utilisation et des performances optimales. Tout d'abord, réfléchissez au cadre dans lequel vous allez placer vos imprimantes. Vous pouvez placer les imprimantes dans plusieurs configurations, chacune offrant un avantage différent. **Si vous prévoyez d'acheter plusieurs imprimantes, vous pouvez les placer dans un environnement de type laboratoire.** Cela peut également aider les enseignantes et enseignants à organiser des programmes de cours entiers sur plusieurs imprimantes 3D. Si vous envisagez de n'acheter qu'une ou deux imprimantes, une configuration traditionnelle de la salle de classe pourrait être plus avantageuse, car elle permet aux élèves un accès instantané aux tâches de conception et d'impression 3D. Cependant, veillez à ne pas placer les imprimantes dans une zone de passage ou près d'une fenêtre ouverte, car les imprimantes à chambre ouverte sont plus sujettes aux problèmes d'impression dus aux courants d'air. Les imprimantes à chambre fermée sont sûres, mais elles sont parmi les plus chères.

### Sélection et stockage des matériaux pour imprimantes 3D

Le type de matériaux d'impression 3D que vous choisissez aura un impact sur votre sécurité. Les matériaux d'impression 3D produisent des COV (composés organiques volatils) ou des PUF (particules ultrafines), mais certains matériaux sont considérés comme plus nocifs. Alors qu'un matériau comme l'ABS produit des niveaux potentiellement dangereux d'un COV appelé styrène, le PLA produit du lactide, qui est plus sûr pour les élèves et produit des quantités plus faibles de PUF que l'ABS. Par conséquent, nous recommandons l'utilisation de matériaux PLA ou PVA dans un environnement de classe.

Le PLA, qui est généralement fabriqué à partir d'amidon de maïs, est également biodégradable, inodore et ne nécessite pas de plaque de construction chauffée sur l'imprimante. En outre, un matériau à considérer lors de l'impression avec

une imprimante à double extrusion (une imprimante qui utilise 2 têtes d'impression en même temps) est le PVA. Tout comme le PLA, le PVA peut être utilisé en toute sécurité dans la salle de classe. Il fournit un support hydrosoluble pour l'impression de modèles complexes qui nécessitent un support pour de grands porte-à-faux, des cavités internes profondes et des géométries complexes. En outre, pour éviter que votre filament ne soit exposé à l'humidité, ce qui pourrait faire déformer votre impression ou éventuellement la faire échouer pendant la construction, essayez de le stocker dans un endroit frais et sec (idéalement dans son emballage d'origine).



Il est recommandé d'utiliser des matériaux PLA ou PVA, car ils sont inodores et ne nécessitent pas de plaque de construction chauffée sur l'imprimante. Ils sont également plus sûrs que l'ABS.

### Une formation adéquate pour les enseignantes et enseignants

L'une des critiques les plus courantes des écoles qui disposent d'imprimantes 3D est que ces dernières « restent dans un placard » ou « prennent la poussière ». Cela s'explique par le fait que les enseignantes et enseignants ne sont pas à l'aise avec les imprimantes ou qu'ils ont du mal à trouver le moyen de les intégrer dans leurs cours. La formation donne aux enseignantes et enseignants les compétences nécessaires pour intégrer les imprimantes dans leur programme actuel. Le développement professionnel en personne est une excellente occasion pour les enseignantes et enseignants de recevoir une formation pratique de la part de personnes expertes en impression 3D et de se familiariser avec les imprimantes.

## Outils et fournitures



Vous trouverez ci-dessous quelques suggestions d'outils et de fournitures qui faciliteront l'entretien et l'utilisation de vos imprimantes 3D :

- **Clé USB** - C'est un excellent outil pour les écoles qui ont une connexion internet limitée. Les écoles peuvent stocker, organiser et imprimer des dessins sans avoir besoin d'une connexion Internet.
- **Pince coupante et pince à bec effilé** - Chaque fois que vous imprimez un modèle qui présente un surplomb, vous devrez imprimer l'objet avec un matériau de support. Ces outils sont conçus pour vous aider à retirer en toute sécurité le matériau de support du modèle après l'impression.
- **Craft Spatula** - Permet de retirer efficacement et en toute sécurité les impressions des plaques de construction à l'aide de colle.

## Le calibrage

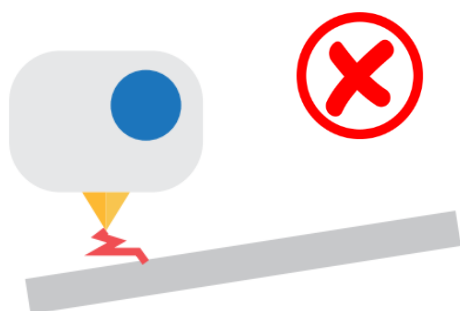
Mettre à plat le lit de votre imprimante peut sembler évident, mais cela fait une réelle différence ! **La calibrage fait référence au processus qui consiste à s'assurer que vous avez un lit d'impression à niveau et à la bonne distance de la buse de l'imprimante.** Bien que cela n'ait rien à voir avec la préparation de vos fichiers, c'est l'un des aspects les plus essentiels du processus d'impression.

Certaines imprimantes peuvent être dotées d'une fonction de mise à niveau automatique, qui effectue automatiquement ce processus. Avec d'autres imprimantes, vous devrez peut-être ajuster manuellement les vis pour vous assurer que le lit d'impression est dans la bonne position. Examinons deux scénarios pour expliquer pourquoi le calibrage est si important.



Dans ce scénario, **le lit d'impression est complètement nivelé.**

Lorsque l'impression commence, la buse écrase le filament sur le lit d'impression. L'effet d'écrasement donne au modèle une bonne adhérence au lit, ce qui est essentiel pour une **réussite** de l'impression.



Si le lit d'impression n'est pas nivelé, plusieurs problèmes peuvent survenir. Aux endroits où le lit d'impression est trop éloigné de la buse, l'imprimante **imprimera essentiellement en l'air, laissant des brins de filament désordonnés dans la zone de construction.** Si le lit d'impression est trop proche de la buse, la buse rayera le lit d'impression et aucun filament ne sera extrudé. Cela peut également empêcher le module d'extrusion de se déplacer librement.

## Température

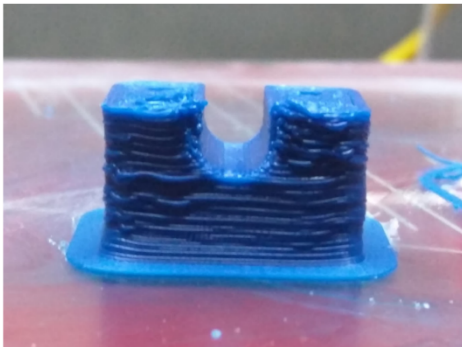
**La température d'extrusion est importante.** Si votre extrudeuse est réglée trop chaude ou trop froide pour le filament que vous utilisez, vous ne travaillez pas dans les conditions d'impression optimales pour lesquelles le filament a été conçu.

Vérifiez vos directives de fabrication et effectuez des tests à quelques degrés au-dessus et en-dessous du niveau optimal pour voir la différence. Vous devez vous assurer que la première couche d'impression est plus chaude que les autres pour garantir une bonne adhésion de l'impression au lit de l'imprimante.



**Si votre extrudeuse est trop chaude, vous obtiendrez plus de cordes de filament fondu par la buse, et cela pourrait même conduire à une fuite constante du filament sur votre modèle.**

**Si votre extrudeuse est trop froide, vous pourrez constater que les couches imprimées ne collent pas très bien ensemble, et vous verrez que vous devrez souvent déboucher la buse.**



extrudeuse **trop chaude**



extrudeuse **trop froide**

Figure 9/ Sources :

Photo de gauche :

[https://www.reddit.com/r/FixMyPrint/comments/3usovy/print\\_bed\\_too\\_hot\\_something\\_else/](https://www.reddit.com/r/FixMyPrint/comments/3usovy/print_bed_too_hot_something_else/), Image de

droite : <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/under-extrusion/>

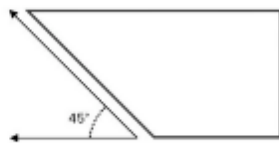
## Les supports en impression 3D

L'impression 3D construit les modèles couche par couche, il doit donc toujours y avoir une couche précédente sur laquelle s'appuyer. En fonction de la technologie d'impression 3D spécifique et de la complexité du modèle 3D, vous devrez peut-être produire votre pièce avec des structures de support.

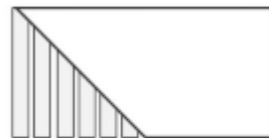
Dans l'impression 3D FDM, les **structures de support sont nécessaires lorsque l'impression présente des surplombs ou des éléments suspendus en l'air**. Ils permettent de réussir l'impression de formes complexes **en étayant ces zones autrement non soutenues**. Le matériau de support de l'imprimante 3D est simplement le matériau dans lequel ces supports sont imprimés.

Cependant, le matériau de support n'est essentiel que lorsqu'un élément **est imprimé avec un surplomb supérieur à 45 degrés**.

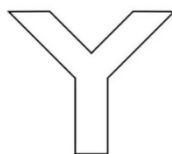
### Mais quand les supports sont-ils nécessaires ?



Porte-à-faux **inférieur** à 45 degrés  
Aucun support n'est nécessaire ❌



Porte-à-faux **supérieur** à 45 degrés  
Support nécessaire ✅

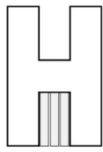


Bien que les « bras » de la lettre Y soient tendus, ils ne dépassent pas 45 degrés.

Aucun support n'est nécessaire ❌

Imaginons que nous devons imprimer en 3D les modèles de la lettre Y, H et T.

Voici la lettre Y.



La lettre H est un peu plus compliquée à imprimer en 3D.

- Si le pont central est **en-dessous de 5 mm**

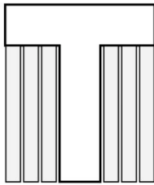


Aucun support n'est nécessaire ❌

- Si le pont central est **au-dessus de 5 mm**



Support nécessaire ✅



Enfin, jetons un coup d'œil à la lettre T.

**Nécessite un support pour les éléments supérieurs** qui s'étendent de chaque côté du modèle. Il n'y a rien pour imprimer ces bras et **le matériau tombera sans support.** ✅

Voici à quoi ressemblent ces modèles une fois imprimés. La deuxième image montre le résultat de la lettre T imprimée sans support. La surface présente un affaissement important et nécessitera beaucoup de post-traitement pour être nettoyée.



Modèles de Y, H et T imprimés avec supports par une imprimante FDM



Sans support, l'imprimante FDM dépose du matériau dans les airs et échoue à imprimer la lettre T



## Post-traitement

Presque toutes les impressions 3D nécessitent une sorte de post-traitement après l'impression. Le post-traitement peut améliorer l'esthétique d'une pièce imprimée, mais il peut aussi améliorer sa résistance et d'autres propriétés. Il existe de nombreuses techniques parmi lesquelles choisir, **du nettoyage de base ou du collage de différentes parties de votre modèle jusqu'à la peinture et au polissage**. Ces techniques sont généralement les premières étapes du post-traitement, mais peuvent aussi être suffisantes.

		
<p style="text-align: center;"><b>Enlever les supports</b></p> <p><b>L'enlèvement des supports est la plus courante des formes de post-traitement.</b> En général, l'enlèvement des supports ne demande pas beaucoup d'efforts, sauf en cas de supports dans des coins ou autres endroits difficilement accessibles.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Poncer</b></p> <p>En dehors de l'enlèvement des supports, le ponçage est l'une des formes les plus courantes de post-traitement. <b>Généralement, les impressions 3D FDM peuvent avoir une surface quelque peu rugueuse, et le ponçage est la façon la plus simple de la lisser</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Coller</b></p> <p>Heureusement, les impressions 3D créées avec du PLA peuvent être attachées par de la colle. Cela est généralement utilisé quand quelque chose ne peut être imprimé en une seule pièce.</p>
<p>Les structures de supports sont imprimées en 3D pour avoir moins de densité que la construction principale. Elles peuvent donc être facilement enlevées de l'impression 3D si on les enlève délicatement à la main, ou pour celles plus difficiles à retirer, en utilisant des pinces à bec, cure-dents ou pinces à épiler</p>	<p>Après l'impression, une partie peut avoir quelques bosses laissées sur sa surface, ou il peut y avoir des marques après avoir enlevé les supports. L'idéal est d'utiliser du papier de verre pour éliminer ces imperfections. Il est toujours préférable de commencer par un papier de verre à faible grain (150-400) et de passer à un papier de verre à grain plus élevé (jusqu'à 2 000) en quelques étapes de ponçage.</p>	<p>La meilleure colle pour le filament PLA est la super glue standard. Elle est largement disponible, forme un lien solide entre les pièces imprimées en quelques secondes et sèche de manière transparente.</p>

Figure 10 / Source : hubs.com

**Pour obtenir une meilleure finition, des techniques telles que la peinture, le lissage, le polissage ou le trempage sont réalisées.** L'effort supplémentaire fourni pour réaliser ces techniques de finition peut valoir la peine au final. En appliquant ces techniques, vous serez en mesure de vous débarrasser des couches visibles et de créer une surface aussi lisse que possible.

## Règles de sécurité

L'impression 3D est une technologie et une industrie relativement nouvelles, et c'est aussi l'une des dernières technologies à entrer dans les écoles. Avant d'acheter des imprimantes 3D pour une école, il est essentiel de prendre en compte toutes les exigences relatives aux installations, au site et à la sécurité du matériel et des thermoplastiques à utiliser, afin de minimiser les risques.

Pour assurer votre sécurité et celle des élèves lors de l'utilisation des imprimantes 3D, vous devez :

- Utilisez l'imprimante 3D dans un **environnement bien ventilé**, où les odeurs et les émissions peuvent quitter l'espace et ouvrez les fenêtres et les portes. **Ne l'utilisez pas dans un placard ou un espace fermé.**
- **Ne laissez pas les enfants - ou qui que ce soit - se pencher au-dessus de l'imprimante ou se tenir trop près d'elle.** La plupart des unités mettent au moins quatre heures (ou toute une nuit) pour que l'imprimante construise l'objet, alors mettez-la en marche, quittez-la et revenez la chercher plus tard lorsqu'elle aura terminé.
- **Achetez des filaments à faible émission.** Recherchez une certification attestant que l'imprimante 3D que vous achetez répond aux normes de faible émission. Si vous en avez déjà une, demandez au fabricant de vous communiquer ses données.
- Si vous sentez une odeur provenant de la machine, reculez et faites attention car ces vapeurs indiquent des émissions qui peuvent être des contaminants dangereux.
- **Tenez les personnes éloignées de l'imprimante**, surtout si elles souffrent d'asthme ou d'allergies, en veillant à ce que les élèves ne courent aucun risque.

**Portez des lunettes de sécurité**



Cela réduira le risque de lésions oculaires lors de l'utilisation d'une imprimante 3D.

**Ne touchez pas**



Selon le type d'imprimante 3D et le matériau déposé, la température peut atteindre 200 degrés Celsius. Par conséquent, toucher l'imprimante 3D peut provoquer une brûlure douloureuse.

**Contrôlez la température**



Le contrôle de la température de l'imprimante 3D peut réduire le risque de blessure. Les matériaux sont conçus pour durcir à des températures spécifiques.

**Ventilation**



Grâce à une ventilation adéquate, les fumées toxiques ou nocives sont évacuées de l'espace intérieur environnant afin qu'elles ne soient pas inhalées.

**Il est déconseillé de laisser vos élèves sans surveillance lorsque les imprimantes 3D sont en fonctionnement.**

Si vous achetez une imprimante qui n'est pas entièrement fermée, vous devez la conserver dans une pièce bien ventilée afin d'éviter les dangers qu'elle peut représenter pour l'environnement.



Source : 3dprintschooling.com

Il est également conseillé d'**éviter de se rassembler autour de l'imprimante** une fois qu'elle a été mise en service, afin d'éviter de respirer des particules dangereuses qui proviennent de l'imprimante.

1. Teq's Marketing Team, 2018, 4 Ways to Prepare your School for 3D Printing
2. Michelson, 2019, How to keep kids safe from 3D Printers
3. 3D Print Schooling Team, 2021, How to Explain 3D Printing to Kids & Pre-schoolers? Why you should get them one!
4. Hubs Team, A protolabs Company, What are supports in 3D printing? When and why do you need them?, 2019, Available Online: <https://www.hubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview/>