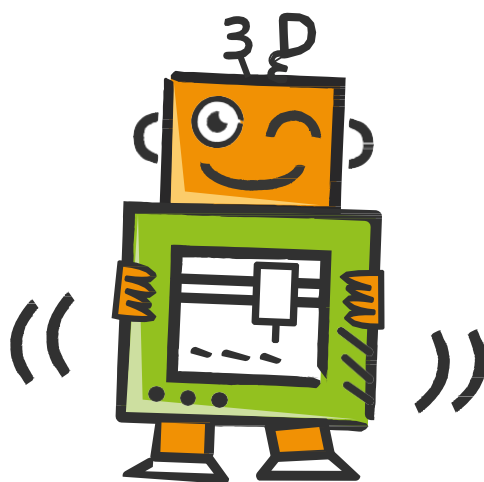


EMPOWER3D

Impression et modélisation 3D pour les écoles



EMPOWER3D

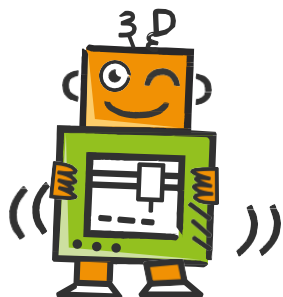
Martin Dosedla

Karel Picka

Jitka Šťastná



Co-funded by the
European Union



Introduction à l'impression

3D

À l'ère de la technologie, où l'impression 3D et la fabrication numérique font de plus en plus partie intégrante de l'industrie et des foyers, il est important de préparer les enfants à un monde où ces compétences feront partie intégrante de leur quotidien. Cette méthodologie pédagogique s'adresse aux enseignants du primaire qui souhaitent intégrer l'impression 3D, la modélisation de base et les technologies associées dans leur enseignement et les présenter à leurs élèves de manière ludique et pratique. Notre objectif est de vous fournir une orientation de base, de l'inspiration, des exemples concrets d'activités et des outils pour rendre l'impression 3D accessible même aux plus jeunes apprenants, tout en stimulant leur créativité, leur esprit technique et leurs compétences collaboratives.

L'utilisation de l'impression 3D à l'école primaire

A l'école primaire, travailler avec l'impression 3D peut être motivant car cela permet aux enfants de créer quelque chose de concret qu'ils peuvent tenir dans leurs mains, montrer à leurs parents ou utiliser dans leurs jeux. Cette expérience peut constituer une introduction à un monde de technologie et de conception qui leur serait autrement difficile à appréhender.

Supports visuels et tactiles

Dès leur plus jeune âge, les enfants apprennent principalement par le biais d'expériences et d'objets concrets qu'ils peuvent explorer avec tous leurs sens. Grâce à l'impression 3D, nous, enseignants, pouvons préparer des supports pédagogiques parfaitement adaptés au processus d'apprentissage et à l'âge des élèves. En mathématiques, par exemple, différentes formes géométriques peuvent être imprimées pour aider les enfants à mieux comprendre les différences entre les objets et leurs relations. De même, des lettres et des chiffres peuvent être imprimés pour les premiers exercices de lecture et de comptage, ou des modèles d'animaux et de plantes pour les sciences.

Les modèles spatiaux sont parfaits pour les jeunes enfants qui ont besoin d'un apprentissage visuel, car ils les aident à établir des liens plus profonds avec le contenu du programme scolaire. Pour les enfants malvoyants du primaire, les enseignants peuvent facilement préparer des supports tactiles spéciaux qui seraient autrement très coûteux ou difficiles à trouver. Par exemple, des cartes en relief ou de simples éléments tactiles leur permettent de participer pleinement aux cours.



Pas besoin de s'inquiéter de l'impression 3D, même au niveau primaire (source : <https://teachyourkidscode.com/>)

Développement de la créativité et de la motricité fine

À l'école primaire, il est important de développer la motricité fine et la coordination des mains, ce qui se fait souvent par le dessin, le découpage et diverses activités artistiques. L'impression

3D peut très bien contribuer à ce développement. Les enfants peuvent apprendre à utiliser des logiciels de modélisation simples pour dessiner leurs propres créations, qu'ils impriment ensuite avec l'enseignant.

La création de modèles aide à développer leur imagination visuelle et stimule leur esprit logique, tandis que le résultat final les motive à constater le fruit de leurs efforts. Ainsi, les enfants apprennent non seulement à créer, mais aussi à planifier les différentes étapes et à réfléchir à la manière d'améliorer leur création.

Pour les enfants, ce processus peut être très ludique : ils peuvent concevoir leurs propres décorations, petits jouets, voire des trousseaux à crayons ou d'autres petits objets du quotidien, mais personnalisés par eux-mêmes. Ils apprennent ainsi que la technologie n'est pas réservée aux seuls experts en informatique, mais qu'elle sert aussi à concrétiser des idées créatives. En plus de développer leur créativité grâce à l'impression 3D, les enfants travaillent également à améliorer leur patience et leur précision, des qualités précieuses non seulement pour leur réussite scolaire future, mais aussi pour la vie.

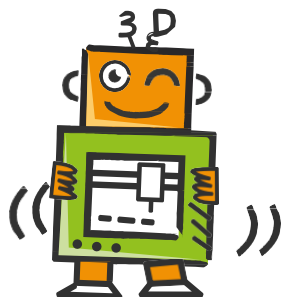
Favoriser la collaboration et le travail d'équipe

L'impression 3D est également un excellent outil pour favoriser la collaboration en classe. Les enfants peuvent travailler ensemble sur des projets simples, par exemple en concevant et en imprimant différentes parties d'une maquette de ville, d'une ferme d'animaux ou d'un système planétaire, chaque membre de l'équipe contribuant à une partie. Travailler sur un projet collaboratif favorise les compétences en communication, enseigne aux enfants le respect de leurs camarades de classe et renforce leur sens des responsabilités vis-à-vis du résultat de l'équipe tout entière.

Cette méthode de travail est également très utile dans les classes inclusives, où des enfants aux capacités différentes peuvent travailler ensemble pour contribuer au projet final en fonction de leurs capacités. L'impression 3D peut être un excellent outil pour leur permettre de s'engager dans une activité collaborative et d'apprendre les uns des autres sans ressentir de différence de compétences.

Activités ludiques et jeux

En CP, l'impression 3D peut également être utilisée pour toute une série d'activités et de jeux ludiques qui allient le plaisir à l'apprentissage. Par exemple, pour les cours de géographie, les enseignants peuvent utiliser l'impression 3D pour créer des puzzles représentant une carte de leur pays ou d'autres pays, que les élèves peuvent ensuite assembler. De même, des puzzles interactifs peuvent être réalisés sur différents thèmes tels que le corps humain, les animaux ou, par exemple, la décomposition des nombres.



EMPOWER3D

L'impression 3D et les graphiques 3D dans les domaines de l'activité humaine

Les imprimantes 3D à filament sont de plus en plus populaires dans les foyers aujourd'hui, principalement parce qu'elles sont plus abordables qu'auparavant. Les utilisateurs peuvent se procurer une imprimante sans avoir à investir beaucoup d'argent. En conséquence, l'impression 3D devient également de plus en plus populaire dans les écoles et diverses organisations où les imprimantes peuvent être utilisées pour des projets intéressants.

Outre les imprimantes 3D traditionnelles pour le plastique, il existe également des imprimantes 3D spécialisées capables de travailler avec du métal, des matériaux biologiques ou d'autres matériaux spéciaux. Cependant, ces imprimantes restent très coûteuses et se trouvent principalement dans des instituts de recherche et des entreprises spécialisées dans des domaines spécifiques. Il est néanmoins intéressant de s'informer à leur sujet afin d'avoir une idée des domaines dans lesquels l'impression 3D est appliquée aujourd'hui.

Dans les écoles, on trouve principalement des imprimantes à filament qui utilisent du plastique et qui peuvent constituer un excellent outil pour enseigner la créativité, les compétences techniques ou l'utilisation des nouvelles technologies.

Prototypage

L'impression 3D est utilisée pour le prototypage depuis les années 1980, ce qui permet aux entreprises de tester rapidement et à moindre coût l'aspect visuel et la fonctionnalité des produits avant le lancement de la production en série. Par exemple, lors de la conception d'une télécommande ou d'une souris d'ordinateur, l'impression 3D permet de créer facilement plusieurs pièces d'essai pour vérifier leur prise en main et savoir si les clients les apprécient. Contrairement à la fabrication traditionnelle, où la préparation des moules pour chaque pièce est coûteuse et prend du temps, l'impression 3D permet de créer un prototype pour quelques euros et pratiquement instantanément.

L'impression 3D de prototypes ne se limite pas à l'esthétique ou à l'ergonomie : elle permet également d'imprimer des modèles fonctionnels. Par exemple, pour une manette de jeu, vous pouvez imprimer son « corps », y insérer les composants électroniques et la tester concrètement. Cela permet aux entreprises de tester rapidement et efficacement une grande variété de produits sous leur forme fonctionnelle.

Si l'impression 3D n'est pas adaptée à la production de masse, elle est en revanche inestimable pour le prototypage !

Architecture

L'impression 3D offre aujourd'hui aux architectes de formidables opportunités pour donner vie à leurs créations. Alors qu'auparavant, la création de maquettes de bâtiments était laborieuse et chronophage, l'impression 3D permet aujourd'hui de les réaliser rapidement, à moindre coût et avec précision. Cela permet aux architectes de présenter de véritables maquettes de bâtiments à leurs clients, ce qui les aide à mieux comprendre le projet qu'à partir de dessins ou de visualisations informatiques.



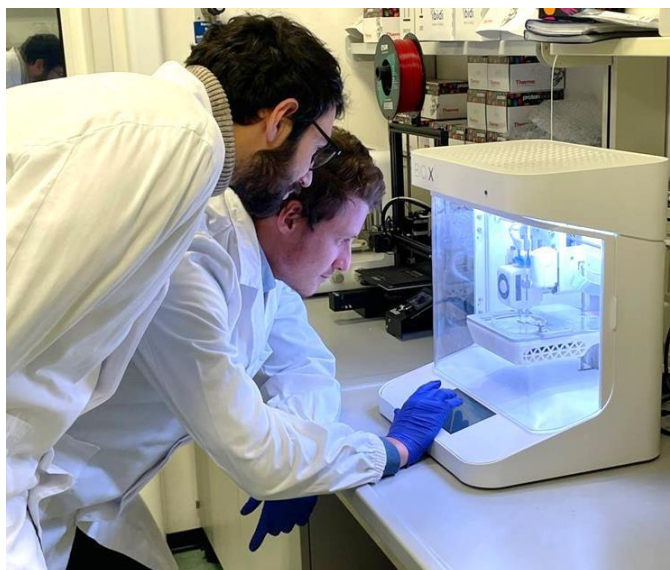
Impression 3D d'une maison
<https://ww3.rics.org/uk/en/modus/built-environment/construction/cobod-machines-3d-printing-homes.html>

Et cela ne se limite pas aux maquettes : l'impression 3D commence à être utilisée dans la construction de véritables maisons. L'impression en béton permet de construire une petite maison entière en quelques jours, avec un coût et un gaspillage de matériaux minimaux. Par exemple, Apis Cor a imprimé l'ensemble des murs extérieurs d'une maison en 24 heures, pour un coût bien inférieur à celui d'une construction traditionnelle. Ainsi, l'impression 3D offre aux architectes de nouvelles façons de créer des maisons pratiques, abordables et personnalisables.

Médecine

En médecine, l'impression 3D recèle un énorme potentiel et pourrait révolutionner les soins aux patients. Aujourd'hui, elle est déjà utilisée, par exemple, dans la fabrication d'implants pouvant être adaptés à chaque patient, ce qui améliore la précision, réduit les coûts et raccourcit les délais de production. L'impression à partir de matériaux biocompatibles tels que le titane permet de créer des prothèses sûres et durables pour les articulations ou les parties osseuses.

Une industrie fascinante est celle de la bio-impression, où des « bio-encre » spéciales contenant des cellules vivantes sont utilisées à la place du plastique. De cette manière, des structures cellulaires telles que du cartilage ou même des parties d'organes peuvent être imprimées. Ces technologies ont le potentiel de tester des médicaments et des traitements sans avoir recours à des expériences sur les animaux et offrent la possibilité d'imprimer les organes du futur.



Bioprint <https://www.cellink.com/customer-spotlight/innovative-silk-bioink-for-3d-bioprinted-bone-marrow-tissue-models/>

En dentisterie, l'impression 3D facilite la création de modèles de dents, de couronnes et d'appareils orthodontiques parfaitement adaptés. Grâce à l'impression 3D, un dentiste peut réaliser une couronne en moins d'une heure au cabinet, ce qui est plus rapide et moins coûteux que les méthodes traditionnelles. De plus, grâce au scan 3D des dents du patient, le résultat est également très précis !

Par ailleurs, l'impression 3D s'avère également utile dans l'enseignement médical, car elle permet de créer des modèles réalistes d'organes ou de tissus humains qui sont peu coûteux et faciles à conserver. Cette technologie améliore ainsi à la fois les soins prodigués aux patients et la formation des futurs médecins.

Bricolage et meilleures réparations

À la maison et à l'école, l'impression 3D offre une solution pratique pour les réparations quotidiennes et les petits projets. Autrefois, il était courant de réparer les objets cassés, mais aujourd'hui, nous jetons souvent les objets et en achetons de nouveaux. Ce n'est pas seulement coûteux, mais aussi peu respectueux de l'environnement : nous produisons tout simplement beaucoup de déchets. Cependant, grâce à l'impression 3D, nous pouvons facilement créer chez nous des pièces de rechange que les fabricants ne vendent souvent pas ou qui sont trop chères.

Il existe des bases de données de modèles partagées sur Internet où les gens proposent gratuitement leurs créations de pièces de rechange ou d'autres outils pratiques. Dans certains ateliers communautaires, les gens peuvent ensuite utiliser des imprimantes 3D s'ils n'en ont pas chez eux. Qu'il s'agisse d'un support pour téléphone, d'une grille pour la climatisation de votre voiture ou d'une pièce de rechange pour votre appareil photo, l'impression 3D permet de créer exactement ce dont vous avez besoin tout en favorisant une approche durable des objets qui nous entourent.

Art

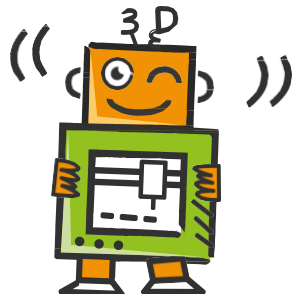
L'impression 3D ouvre de nouvelles perspectives aux artistes en matière d'expression et d'expérimentation. Elle leur permet de créer des sculptures uniques, des éléments de décoration d'intérieur ou même des accessoires de mode qui seraient difficiles à réaliser avec d'autres techniques. Outre la création de nouvelles œuvres d'art, 3D printing permet également de reproduire d'anciennes œuvres d'art d'être reproduites, ce qui permet de les protéger ou de créer des miniatures sans mettre l'original en danger.

L'impression 3D est également utilisée pour rendre l'art accessible aux personnes malvoyantes. Par exemple, le projet Unseen Art de l'artiste finlandais Marc Dillon donne une forme tangible à des œuvres d'art célèbres, telles que la Joconde, afin que les personnes malvoyantes puissent les « voir » avec leurs mains. Cette approche leur permet de découvrir des œuvres qui, autrement, resteraient hors de leur portée.



Image 1 <https://www.fastcompany.com/3049707/this-hermit-crab-has-a-glass-cathedral-for-a-shell>

Certains projets sont vraiment insolites, comme « Pourquoi ne pas offrir un « abri » aux bernard-l'ermite » de l'artiste japonaise Aki Inomata. Elle conçoit des coquilles imprimées en 3D pour les bernard-l'ermite qui sont non seulement confortables, mais qui ont également la forme de monuments architecturaux célèbres, tels que le centre-ville de Paris ou des moulins à vent. L'impression 3D permet ainsi une fusion créative entre l'art, le design et la nature.



EMPOWER3D

L'impression 3D au quotidien : rénovation, bricolage et surcyclage

L'impression 3D trouve aujourd'hui sa place partout ; on pourrait dire que si nous pouvons l'imaginer, cela peut être réalisé. L'impression 3D permet non seulement de gagner du temps, mais aussi de faire des économies, et peut créer un objet sur mesure pour nous en un temps relativement court. Où peut-on la trouver et l'utiliser ?

Rénovation

Un objet s'est cassé chez vous et vous cherchez une pièce de rechange ? Grâce à l'impression 3D, vous pouvez facilement concevoir l'objet cassé ou télécharger un modèle prêt à l'emploi, le modifier selon vos besoins et l'imprimer. Il peut s'agir d'un meuble, d'une poignée d'armoire, d'un

roulement cassé dans un mixeur, d'une pièce de Lego manquante, d'un porte-clés cassé, d'un crochet manquant dans un placard, ou même d'un tout nouveau pot à épices ou d'un remplacement pour une charnière fissurée sur le couvercle d'une boîte alimentaire.

ANECDOTE : *Saviez-vous que vous pouvez facilement imprimer des pièces d'accessoires IKEA ?* La chaîne de magasins propose certaines de ses collections de produits sous forme de modèles 3D gratuits dans sa base de données de planification, que vous pouvez utiliser pour aménager et modéliser votre propre espace de vie. Vous pouvez également fabriquer vous-même certains de ces produits grâce à l'impression 3D très pratique pour les bricoleurs - pour par exemple, imprimer divers produits grâce à l'impression 3D, très pratique pour les bricoleurs - pour par exemple, faire une modifications des poignées pour les [étagères murales multifonctionnelles SKÅDIS](#).



Upcycling

Que peut-on créer, au-delà du simple recyclage, lorsque l'on utilise l'impression 3D pour donner une toute nouvelle dimension à de vieux objets ? En combinant ces techniques, on peut non seulement redonner vie à toutes sortes de déchets ou les remettre en circulation, mais aussi les faire passer au niveau supérieur : créer des accessoires de décoration intérieure (par exemple, des abat-jours, [des vases](#), divers porte-carnets), des gadgets d'extérieur (mangeoires à oiseaux, outils de jardinage pour la plantation) et bien d'autres idées encore. Quoi qu'il en soit, il est toujours possible de prendre un morceau d'un vieil objet (par exemple, un flacon de shampoing vide) et d'y ajouter un élément imprimé en 3D (par exemple, un bouchon percé de trous pour y insérer des crayons) afin de créer quelque chose de nouveau et d'original (par exemple, un élégant porte-fournitures scolaires recyclé). Par ailleurs, il est possible, par exemple, de fabriquer un tout nouveau matériau d'impression à partir de vieilles bouteilles en PET, qui peut être refondu en cas d'échec d'une impression.



[Un trésor issu des déchets : un simple vieux bocal alimentaire peut être transformé en un accessoire élégant avec un peu d'habileté grâce à l'emballage conçu pour l'impression 3D.](#)

ANECDOTE : Saviez-vous qu'il existe divers concours sur [Printables.com](https://printables.com) qui mettent également en avant l'utilisation de l'impression 3D en combinaison avec le surcyclage ?

Bricolage / Artisanat

[Diorama de village médiéval réalisé par impression 3D](#)

L'impression 3D est récemment devenue une technologie très populaire, en particulier parmi [les modélistes](#) : elle permet d'imprimer des éléments de bâtiments et des rues entières, des montagnes, des avions, des voitures, ainsi que de petits objets individuels allant d'une poubelle à des figurines réalistes, des statues, des décors post-apocalyptiques et bien plus encore*. L'impression 3D est également utilisée dans la fabrication d'accessoires de mode tels que des bijoux ou [des sacs à main](#), d'œuvres d'art, ou encore dans l'industrie de la confiserie pour réaliser des sabots destinés aux moules à gâteaux en silicone. Ces objets subissent ensuite un post-traitement, au cours duquel ils sont poncés, peints avec des peintures pour maquettes, vernis, gravés à l'aide de solvants, etc. Vous trouverez plus d'informations sur cette technique dans un chapitre séparé.





L'impression utilisant la technologie [SLA](#) est de plus en plus utilisée aujourd'hui, car elle permet d'obtenir des détails de haute précision grâce au durcissement de la résine.

ANECDOTE : *Saviez-vous que même au sein de la communauté populaire du géocaching, on trouve dans diverses villes du monde entier toute une variété d'objets d'art créés directement à l'aide de l'impression 3D ?*

Ces trésors astucieusement cachés sont laissés dans des endroits intéressants par des artistes tels que [3Dfiti](#) – vous pouvez consulter une carte des emplacements [ici](#).

QUESTION : Où pouvez-vous rencontrer l'impression 3D dans votre vie quotidienne ?

DÉFI : Essayez de trouver 3 façons d'utiliser l'impression 3D chez vous de manière astucieuse – qu'est-ce qui vous vient à l'esprit ? **

** Vous pouvez l'utiliser pour fabriquer des porte-crayons, réparer des pièces cassées, créer des supports de placard pour les couvercles de casseroles, etc.

* Pour obtenir [des modèles](#) détaillés de haute qualité et lisses, sans transitions visibles entre les couches, 3D



Les possibilités d'utilisation de l'impression 3D à l'école

La mise en œuvre de l'impression 3D dans l'enseignement primaire permet la création et l'utilisation de nouveaux supports pédagogiques. Les élèves peuvent non seulement travailler avec des modèles pédagogiques en classe, mais grâce à un soutien méthodologique, ils peuvent également participer activement à leur création. Ainsi, on distingue deux axes principaux d'utilisation de l'impression 3D :

- L'impression de modèles par les enseignants et leur utilisation en cours pour illustrer des objets, des phénomènes ou des processus
- Modélisation et impression 3D d'objets par les élèves eux-mêmes dans les domaines des STEM

Les modèles 3D comme supports visuels

L'impression 3D permet de créer des modèles physiques qui aident les élèves à mieux comprendre les concepts abstraits, ainsi que les concepts plus complexes. Les principaux avantages comprennent à la fois la visualisation et la possibilité pour les élèves de manipuler physiquement ces

modèles. Cela peut être utilisé dans de nombreuses matières à l'école :

Sciences naturelles et sciences élémentaires – modèles de parties du corps et d'organes, de structures internes et de cellules, y compris leur démontage, de squelettes d'animaux ou de structures végétales et naturelles.

Histoire et géographie – objets historiques et leurs répliques, bâtiments et monuments architecturaux et divers paysages caractéristiques.

Mathématiques et physique – formes géométriques et leurs parties, motifs plus complexes, machines et mécanismes simples ou modèles de planètes et de l'univers.

Activités artistiques et manuelles - création d'objets personnels, figurines, puzzles, jeux, etc., leur impression et leur traitement ultérieur, comme la peinture.

Compétences techniques et STEM dans le cadre de projets interdisciplinaires

Dans les matières d'ingénierie et d'informatique, les élèves peuvent concevoir et modéliser dans des applications 3D des objets allant de simples porte-clés à des constructions plus complexes, améliorant ainsi leur imagination et leurs compétences techniques. De nombreux projets peuvent faire appel à plusieurs matières. La conception d'un pont fonctionnel fera appel aux mathématiques, à la physique, à l'informatique et aux arts. La conception technique peut inclure des objets adaptés à l'école : un pot à crayons, un organisateur de bureau, etc. Les élèves peuvent travailler en groupe, réaliser des prototypes et améliorer leurs conceptions en les testant dans la pratique après les avoir imprimés.



<https://www.thingiverse.com/thing:1720192>

Enseignement personnalisé et inclusion

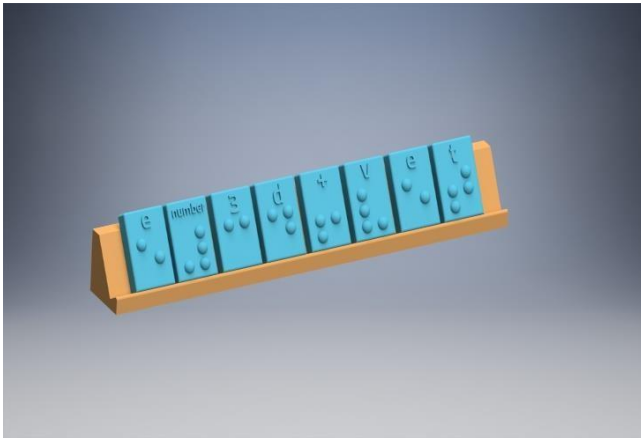
Grâce à la facilité avec laquelle les supports pédagogiques peuvent être adaptés aux besoins spécifiques des élèves, l'impression 3D constitue un atout majeur pour l'apprentissage personnalisé et l'accompagnement des élèves ayant des besoins éducatifs particuliers.

- Déficience visuelle : cartes tactiles, graphiques, repères pour l'orientation dans l'espace, modèles en relief d'objets pour se faire une idée concrète de la forme ou de la surface
- Déficience auditive : modèles de gestes de communication, signes de l'alphabet, visualisation de concepts abstraits dans différentes matières
- Troubles d'apprentissage : toute une gamme de supports peut être utilisée pour différents troubles d'apprentissage spécifiques, tels que des modèles tactiles de lettres et de mots pour la dyslexie, des objets interactifs pour les problèmes de concentration, etc.
- Aides sur mesure - aides individualisées adaptées au style d'apprentissage d'élèves spécifiques,

modèles anatomiques pratiques, aides à l'interaction et au travail en groupe

- Conception et impression de prototypes sur mesure de divers outils et instruments
- Expérimenter et résoudre des problèmes pratiques, effectuer des réparations et apporter des améliorations
- Développer l'esprit d'équipe, la pensée critique et la logique

jeter, ce qui permet d'apprendre le principe de la durabilité.

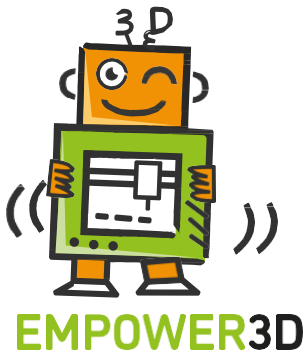


<https://www.thingiverse.com/thing:3824937>

Écologie et durabilité

Des projets pratiques d'impression 3D peuvent montrer aux élèves l'impact des décisions en matière d'environnement et de durabilité sur la planète.

- Fabrication d'articles écologiques pour l'école - remplacement des produits jetables, boîte à lunch, pot à crayons, ramasse-déchets, aides au tri des déchets en classe
- Recyclage des plastiques - discussion sur les possibilités de réutilisation des plastiques, production de filaments, économie circulaire
- Conception efficace : conception d'objets en 3D en tenant compte de la quantité de matériaux et des structures creuses légères
- Réparation d'objets endommagés : pièces de rechange, réparation de fournitures scolaires au lieu de les



Les différents types d'imprimantes 3D en bref

Il existe une grande variété d'imprimantes 3D sur le marché, non seulement en termes de fabricants ou de prix, mais aussi en fonction du type de technologie utilisée.

Chaque type de technologie présente des avantages et des inconvénients ; nous allons donc les présenter brièvement ici.

1. FDM/FFF (modélisation par dépôt fondu / fabrication par filament fondu)

Les imprimantes FDM fonctionnent avec un filament de plastique enroulé sur une bobine. Ce filament est chauffé dans la tête d'impression (extrudeuse) et le plastique fondu est déposé sur le plateau d'impression couche par couche. Une fois une couche déposée, la tête d'impression ou le plateau se déplace pour appliquer la couche suivante. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que le modèle soit entièrement terminé. Ce sont les imprimantes 3D les plus couramment utilisées

et sont également les plus courantes dans les écoles.



Figure 1 Imprimante Prusa MK4S -
<https://www.prusa3d.com/cs/produkt/3d-tiskarna-original-prusa-mk4s-5/>

Avantages :

- **Faible coût** : les imprimantes FDM sont abordables et faciles à entretenir. Les matériaux tels que le PLA, l'ABS ou le PETG sont également bon marché et facilement disponibles.
- **Facilité d'accès** : une technologie très populaire auprès de nombreux fabricants et bénéficiant du soutien de la communauté.

Diversité des matériaux : vous pouvez imprimer avec des matériaux présentant différentes propriétés
: souples, résistants à la chaleur ou biodégradables.

Inconvénients :

- **Précision moindre** : les détails et la qualité de surface ne sont pas aussi fins qu'avec les procédés SLA ou SLS.
- **Couches visibles** : les modèles obtenus présentent souvent des couches visibles, ce qui peut nécessiter un traitement supplémentaire (ponçage, peinture).
- **Impression plus lente** : pour les modèles plus complexes, l'impression peut prendre beaucoup de temps.

Utilisation :

- **Prototypage** : idéal pour créer rapidement des modèles de base ou des prototypes de test.
- **Loisirs** : à la maison , modélisme, jouets ou décorations.
- **Pièces fonctionnelles** : pièces de rechange ou objets pratiques pour la maison.

SLA (stéréolithographie)

Les imprimantes SLA utilisent une résine liquide qui est durcie à l'aide d'un laser UV. Le laser illumine de manière sélective les

zones de la surface de la résine à durcir, créant ainsi une seule couche. Après chaque couche, la plate-forme sur laquelle le modèle est imprimé est déplacée et le processus est répété.



Figure 2 Imprimante SLA Prusa SL1S avec station de durcissement UV. https://blog.prusa3d.com/cs/predstavujeme-original-prusa-sl1s-speed-nejrychlejsi-stolni-sla-3d-tiskarnu_51436/

être rincé à l'alcool isopropylique et durci à la lumière UV.

Utilisation :

- **Bijoux :** prototypes et conceptions.
- **Santé :** production de moules dentaires, appareils orthodontiques.
- **Modèles de conception :** objets décoratifs et miniatures.

Avantages :

- **Haute précision :** les imprimantes SLA peuvent produire des détails très précis, ce qui est idéal pour les modèles nécessitant un travail de précision.
- **Surface lisse :** les modèles obtenus présentent une surface nettement plus lisse que ceux issus des imprimantes FDM.
- **Capacité à imprimer de petits modèles :** grâce à la précision et à la finesse du laser, même les objets très petits peuvent être imprimés.

Inconvénients :

- **Coût d'exploitation plus élevé :** les résines sont plus chères que les filaments et plus difficiles à manipuler.
- **Risques pour la santé :** la résine peut être toxique avant durcissement !

Durcissement après impression :
une fois le modèle réalisé , il doit

DLP (Digital Light Processing)

Les imprimantes DLP fonctionnent de manière similaire aux imprimantes SLA, mais utilisent un projecteur numérique à la place d'un laser. Ce projecteur éclaire toute la couche en une seule fois, ce qui accélère le processus. La résine durcit là où la lumière la touche.

Avantages :

- **Vitesse** : comme le projecteur éclaire toute la couche simultanément, l'impression est beaucoup plus rapide qu'avec la SLA.
- **Précision** : les résultats sont très similaires à ceux des imprimantes SLA, avec un haut niveau de détail et une surface lisse.
- **Entretien plus facile** : les projecteurs comportent moins de pièces mobiles que les lasers, ce qui simplifie l'entretien.

Inconvénients :

- Similaires à ceux des imprimantes SLA.

Utilisation :

- **Modèles de conception et visuels** : sculptures, prototypes de produits.

- **Secteur de la santé** : moules pour implants dentaires ou instruments chirurgicaux.

SLS (frittage sélectif par laser)

Les imprimantes SLS utilisent un laser pour faire fondre un matériau en poudre (par exemple, du nylon). Le laser fusionne sélectivement la poudre pour former les formes souhaitées, couche par couche. Les parties de poudre superflues restent libres et servent de support à l'impression.



Figure 1 Imprimante SLS SINTRATEC S2.
<https://www.na3d.cz/p/3351/tiskarna-sintratec-s2?pp=375c7134>

Avantages :

- **Pas de supports** : il n'est pas nécessaire d'imprimer des structures de support, car la poudre non utilisée sert de support.
- **Pièces fonctionnelles** : les objets obtenus sont solides, durables et peuvent prendre des formes complexes.

- **Vitesse** : plus grande efficacité lors de l'impression de plusieurs pièces à la fois.

Inconvénients :

- **Coût** : imprimantes et la poudre sont plus chers.
- **Finition moins lisse** : les modèles obtenus peuvent présenter une finition légèrement granuleuse.
- **Entretien** : la poudre nécessite un recyclage et une manipulation soignée.

Utilisation :

- **Production** : prototypes fonctionnels, petites séries de produits.
- **Produits** : boîtiers, outils, composants.

Outre celles mentionnées ici, il existe un certain nombre d'autres technologies d'impression 3D (PolyJet, DMSL, LDM) ; il s'agit pour la plupart soit de variantes de celles mentionnées ici, soit d'applications industrielles ou médicales très spécifiques.

[Pour en savoir plus, cliquez ici.](#)



Imprimantes FFF adaptées à une utilisation dans les écoles primaires

L'impression 3D est un outil de plus en plus prisé dans le domaine de l'éducation, grâce à sa capacité à donner une forme concrète à des concepts abstraits. Grâce à l'impression 3D, la créativité et les compétences techniques des élèves peuvent être développées, tout en les motivant à participer activement au processus d'apprentissage et en les amenant à collaborer entre eux. L'un des types d'imprimantes 3D les plus abordables et les plus répandus, idéal pour les écoles primaires, est la technologie FFF mentionnée précédemment. Il existe aujourd'hui sur le marché une multitude d'imprimantes 3D qui peuvent être achetées à un prix très abordable et [qui enrichissent l'expérience d'apprentissage](#) grâce aux technologies modernes.

Paramètres de sélection d'une imprimante 3D FFF

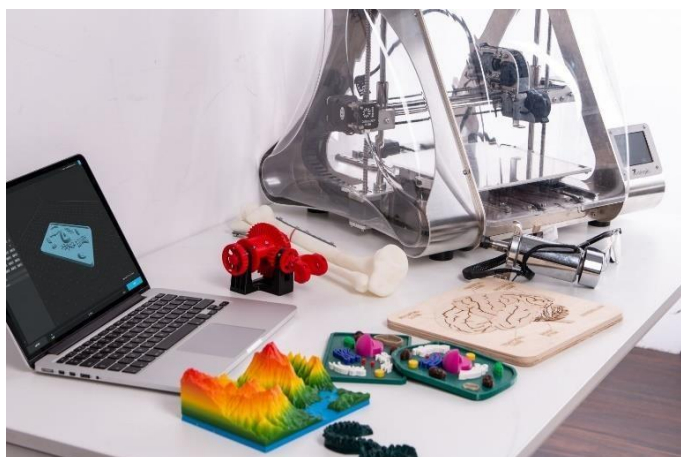
Comme déjà mentionné, les imprimantes 3D FFF constituent un excellent outil pour l'enseignement moderne, capable d'enrichir le processus éducatif et de préparer les élèves à un avenir marqué par la technologie.

Lors du choix d'une imprimante 3D FFF pour l'école, il convient de garder à l'esprit plusieurs paramètres dont nous aurons besoin pendant les cours, les clubs ou les activités périscolaires.

À noter:

- **Prix d'achat et disponibilité de l'imprimante** : rapport entre le prix, la qualité d'impression et les coûts liés au matériau d'impression ; maintenance et dépannage de l'imprimante.
- **Facilité d'utilisation** : dans quelle mesure l'utilisation de l'imprimante, y compris du logiciel associé, sera-t-elle simple et intuitive pour les enseignants et les élèves ?
- **Utilisation sûre et polyvalente** : fonctions de sécurité intégrées en cas de problème d'impression (détection de filament, protection contre la surchauffe, interrupteur d'urgence pour arrêter la machine en cas d'erreur pendant l'impression, etc.) et capacité à imprimer à partir d'une grande variété de matériaux, du PLA au PETG, FLEX et d'autres.

Utilisation d'une imprimante 3D à l'école primaire



L'impression 3D à l'école trouve des applications dans toutes les matières.

Outre l'informatique, l'imprimante 3D peut être utilisée pour de nombreuses idées dans d'autres matières. En mathématiques, des modèles peuvent être créés pour comprendre la géométrie ; en sciences, en chimie, en physique ou en histoire, elle permet de réaliser des modèles de molécules, de cellules, de bâtiments historiques ou même des reliefs ou des cartes géographiques ; en arts plastiques et en travaux manuels, divers prototypes mécaniques de produits peuvent être conçus ou des modèles individuels peuvent être modifiés, peints, collés, poncés et transformés, en combinaison avec d'autres matériaux, en divers objets utilitaires (tels que des mangeoires à oiseaux, des porte-crayons, des pièces supplémentaires pour

des jouets robotiques ou la fabrication de leurs propres kits de construction techniques) ou d'œuvres d'art (sculptures diverses, décorations de classe, représentations, maquettes d'écoles, etc.) Elle est également utile pour créer des supports pédagogiques adaptés aux élèves présentant divers besoins particuliers. Dans tous ces domaines, l'imprimante 3D et le processus de création contribuent à approfondir les connaissances ainsi qu'à développer les compétences techniques et la créativité.

Imprimantes adaptées aux besoins de l'école primaire

Lorsqu'il s'agit de choisir une imprimante 3D à des fins scolaires, il est conseillé de tenir compte du prix, de la sécurité et de la facilité d'utilisation. Parmi ces imprimantes, on trouve par exemple les modèles de la série Prusa [de Prusa Research](#), qui propose également [des imprimantes 3D gratuites aux écoles](#). Outre une méthodologie sophistiquée pour la configuration, le fonctionnement et la résolution des problèmes d'impression, l'entreprise propose des formations, [des concours pour les élèves](#) et bien d'autres choses, y compris sa propre [base de données](#) de modèles.

Une autre imprimante 3D très répandue est la marque [Ender](#) de Creality qui, outre son prix abordable, offre une qualité relativement élevée et une impression précise. Tout comme Prusa, cette imprimante bénéficie d'un large soutien de la part des utilisateurs et convient aux débutants. Si vous avez des doutes quant à savoir si un type d'imprimante particulier vous conviendra, vous pouvez également [louer une imprimante 3D](#) pour votre école avant de l'acheter. Bien sûr, ces options peuvent varier selon le pays ou la région où se trouve votre école.



Imprimante 3D Prusa MINI+ 1



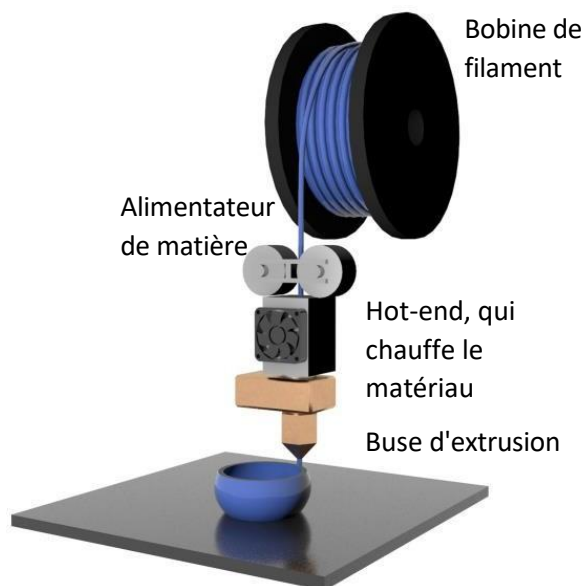
Éléments des imprimantes FFF

Les imprimantes FFF (Fused Filament Fabrication) sont les plus adaptées et les plus répandues dans les écoles primaires. Bien que les différents modèles disponibles sur le marché varient en termes de taille, de mode de déplacement des axes et d'autres paramètres, elles sont en principe toutes similaires et se composent des éléments de base suivants :

Matériau d'impression et son alimentation

Bobine de filament - Le filament est un matériau (généralement du plastique) se présentant sous la forme d'un cordon d'impression d'un diamètre précis (généralement 1,75 mm), enroulé sur une bobine et placé dans un porte-bobine sur ou à proximité de l'imprimante. Nous en apprendrons davantage sur les matériaux plus loin dans ce texte.

Dévidoir de filament - a pour fonction de faire avancer progressivement et avec précision le filament vers la partie chaude de la tête d'impression. Le dévidoir peut être intégré à la tête d'impression, directement sur le bras coulissant, ou être séparé et placé dans le châssis de l'imprimante, puis pousser le matériau plus loin de la tête d'impression à l'aide du Bowden. **CONSEIL** : pour une alimentation correcte du matériau, la pression des roues d'alimentation est cruciale pour que le matériau ne glisse pas et ne frotte pas, tout en évitant que le matériau ne soit écrasé ou ne se coince.



Tête d'impression

La **tête d'impression** constitue l'élément central de l'imprimante. Sa conception varie légèrement d'un modèle à l'autre, et la qualité de l'ensemble de la construction détermine en grande partie la qualité de l'impression. Elle influe principalement sur la plage de température de fonctionnement, sa stabilité et la qualité du refroidissement. Outre le système d'alimentation en filament (voir ci-dessus), elle peut comporter les composants principaux suivants :

Bloc chauffant avec refroidissement - le bloc chauffant, généralement un bloc métallique qui chauffe le matériau, doit maintenir une température stable pour une fusion correcte du filament, c'est pourquoi il comprend également un refroidissement passif et actif de la tête d'impression. L'ensemble de cette partie de l'imprimante est également appelé « **hot-end** ».

Buse d'impression : il s'agit généralement d'une buse métallique dont le diamètre de l'orifice par lequel le matériau est extrudé est précis. La dimension de base est de 0,4 mm, mais en remplaçant la buse par une plus petite ou une plus grande, il est possible d'obtenir une résolution plus fine sur les axes x/y et donc un niveau de détail plus élevé ou, à l'inverse, une impression

plus rapide pour des impressions plus grandes (et moins détaillées). Les buses sont également disponibles en divers matériaux, par exemple avec un noyau en corindon pour un écoulement du filament plus solide et plus résistant à l'abrasion.



Refroidissement du matériau imprimé : un ou plusieurs ventilateurs dirigeant un flux d'air ciblé sur le matériau imprimé accélèrent son refroidissement ; la qualité et la précision du refroidissement affectent principalement l'impression des surplombs et des ponts.

Plateau d'impression

Le plateau d'impression est un élément important de l'imprimante et son rôle principal est de maintenir le matériau fermement fixé au plateau tout au long du processus d'impression. Il doit être calibré avec la tête d'impression afin que la distance entre la buse et le plateau soit constante et précise en tous points et, en particulier sur la première couche, que le matériau soit pressé contre le plateau. En ce qui concerne les matériaux, différentes surfaces sont couramment utilisées. Les plus courantes sont le PEI (un type de thermoplastique déposé sur un mince substrat métallique) ou le verre. Cependant, de nombreux fabricants proposent des supports spéciaux, et différentes surfaces sont également mieux adaptées à des matériaux d'impression spécifiques.

Chauffage du plateau : la plupart des imprimantes sont équipées d'un plateau chauffant. Le chauffage du plateau permet au matériau d'adhérer mieux pendant le processus d'impression. En cas de plateau non chauffé ou de problèmes d'adhérence, il est conseillé d'appliquer de la colle (bâton de colle de bureau) avant l'impression.

Construction de l'imprimante

En ce qui concerne la conception de l'imprimante, le châssis, le capot et surtout le déplacement des axes X, Y et Z sont des éléments essentiels. La solidité du châssis de l'imprimante influe sur la précision du déplacement des axes. Les imprimantes Prusa sont équipées d'un châssis en « U » pour le déplacement X/Z de la tête d'impression (latéralement et de haut en bas) et d'un plateau coulissant sur l'axe Y (d'avant en arrière). Sur l'imprimante Prusa Mini, le châssis est encore simplifié pour ne comporter qu'un seul bras. D'autres imprimantes (par exemple Ultimaker) déplacent le bras selon les axes x/y tandis que le plateau se déplace selon l'axe z/vers le bas. On peut également trouver des imprimantes dites « delta » dotées d'un plateau fixe immobile et d'une tête d'impression suspendue à trois bras et axes verticaux pour des mouvements 3D

complexes.

Un autre élément de l'imprimante est (ou n'est pas) son boîtier. Un grand nombre d'imprimantes ne sont pas équipées d'un boîtier en standard, mais l'utilisation d'une imprimante équipée d'un boîtier présente deux avantages majeurs :

- **Contrôle** des conditions d'impression en termes de température plus stable, de prévention des courants d'air, etc.
- **Sécurité** : lorsqu'on installe l'imprimante dans des écoles, empêcher l'accès à la tête d'impression est plus sûr.

Affichage et connectivité

Les derniers composants de base de l'imprimante sont ses éléments d'entrée et de sortie. La plupart des imprimantes sont équipées d'un écran affichant des menus permettant de configurer les paramètres d'impression et les réglages de l'imprimante. Un autre élément est l'interface permettant d'introduire les données d'impression. Les imprimantes peuvent disposer de différentes interfaces de connectivité, le plus souvent un emplacement pour carte mémoire (SD), une clé USB, un port LAN ou une connexion Wi-Fi.

Pièces de rechange

De nombreux composants sont soumis à l'usure lors de l'impression et doivent être remplacés au fil du temps. Il s'agit notamment des buses, du câble Bowden, des rondelles, etc. Les pièces mobiles, les axes, les engrenages, etc. doivent être lubrifiés avec un lubrifiant adapté dans le cadre de l'entretien. En général, une grande partie des composants de l'imprimante sont démontables et remplaçables, y compris l'ensemble de la tête d'impression.



Utilisation de base de l'imprimante 3D FFF

Les imprimantes FFF classiques d'aujourd'hui ne sont pas particulièrement compliquées et vous guideront en grande partie grâce aux indications affichées sur leur écran. Cependant, il est judicieux de connaître l'ensemble du processus d'impression afin de ne pas passer à côté d'une étape cruciale et de ne pas vous retrouver avec un modèle mal imprimé, voire une imprimante endommagée.

Passons donc en revue les étapes de base pour utiliser l'imprimante et pouvoir imprimer !

Insertion du filament (1) :

- Sur l'imprimante, sélectionnez « Insertion du filament » et choisissez le type de filament à insérer dans le menu. En fonction de ce choix, la buse et le plateau chauffant atteindront la bonne température.
- Coupez/taillez le filament en pointe avant de l'insérer dans l'extrudeuse.

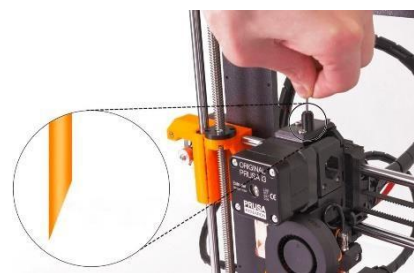


Figure 1 : Insertion du filament dans l'extrudeuse et démonstration de la coupe correcte de l'extrémité du filament.
Adapté de : <https://muni.cz/go/99d17d>

- Dès que l'imprimante nous indique qu'elle est prête thermiquement, nous plaçons le filament dans l'extrudeuse.
- Enfin, nous vérifions que le nouveau filament s'extrude et qu'il a la couleur souhaitée. Si nécessaire, nous laissons l'imprimante extruder davantage.
- S'il y a déjà du filament dans l'imprimante, sélectionnez « changement de filament ». Attendez que l'imprimante chauffe et éjecte le filament de l'extrudeuse. Retirez le filament et insérez le nouveau filament.

- Vérifiez s'il y a des nœuds sur la bobine de filament ou si le filament est emmêlé sur la bobine ! Évitez les problèmes inutiles liés à un filament cassé ou à un extrudeur bouché !

Alignement du plateau (2) :

- Le plateau doit être à niveau et la buse doit se trouver à la bonne distance du plateau.
- De nos jours, la plupart des imprimantes effectuent l'alignement automatiquement, généralement au début de l'impression ou même au démarrage de l'imprimante. Dans certains cas, si l'ABL ne fonctionne pas correctement (ou sur les imprimantes plus anciennes), un nivellement manuel du plateau est nécessaire. Le nivellement manuel du plateau nécessite d'insérer une feuille de papier entre la buse et le plateau à différents endroits de ce dernier. Une bonne distance est celle où le papier peut être retiré sans frottement.



Figure 2. Alignement à l'aide d'une feuille de papier.
<https://muni.cz/go/cc78df>

Préparation du plateau d'impression (3) :

- Le tapis du plateau doit être nettoyé régulièrement ! Souvent, il suffit de laver le tapis, mais pour un nettoyage en profondeur, l'alcool isopropylique est idéal.
- Pour les impressions présentant un risque de décollement (ou si cela s'est déjà produit sur le modèle), nous pouvons appliquer une fine couche de colle ou de laque sur le plateau.

Chargement du G-code (4) :

- À l'aide d'une carte SD, d'une clé USB ou d'une application en ligne, chargez le fichier d'impression préparé dans le logiciel de découpage dans l'imprimante.
- Sélectionnez le fichier souhaité dans le menu de l'imprimante et lancez l'impression. L'imprimante chauffe la buse et le plateau selon les réglages et commence l'impression.

Vérification des premières couches (5) :

- Il est important de vérifier les premières couches au début du processus d'impression. Vérifiez si elles s'impriment correctement, si l'impression ne s'est pas décollée du plateau, etc.
- Si un problème survient au niveau de la première couche, arrêtez l'impression, jetez le filament déjà imprimé et essayez de résoudre le problème (voir le chapitre Dépannage pour plus d'informations).

Surveillance de l'impression (6) :

- Nous n'intervenons pas dans le processus d'impression (bien que les utilisateurs plus expérimentés puissent modifier la vitesse d'impression ou la température du plateau).
- Nous surveillons l'impression en permanence afin de détecter toute erreur et d'éviter d'endommager l'imprimante – par exemple, une impression déchirée, une buse bouchée, une déformation du modèle imprimé, etc.
- Si un problème survient pendant l'impression, n'essayez en aucun cas de sauver l'impression en cours ! Le modèle peut être réimprimé, mais une imprimante endommagée est un problème bien plus grave !

Retrait du modèle du plateau (7) :

- Après l'impression, laissez le modèle refroidir un peu et retirez-le du plateau d'impression.
- Si l'impression ne se détache pas facilement du tapis, vous pouvez

utiliser une spatule, par exemple. Veillez à ne pas endommager le modèle, mais surtout le plateau d'impression !

- Pour les tapis souples (par exemple, les imprimantes Průša), retirez le tapis entier avec le modèle et pliez-le délicatement : l'impression devrait se décoller d'elle-même.

Éteignez l'imprimante (8) :

- Éteignez l'imprimante si vous ne comptez pas réimprimer immédiatement.

Entretien de l'imprimante (9) :

- Il n'est pas nécessaire de le faire après chaque impression, mais de temps en temps, il est conseillé de nettoyer la buse, de nettoyer correctement le plateau et de vérifier l'usure des pièces : si les courroies d'entraînement sont bien tendues, si les roulements sont lubrifiés, etc.

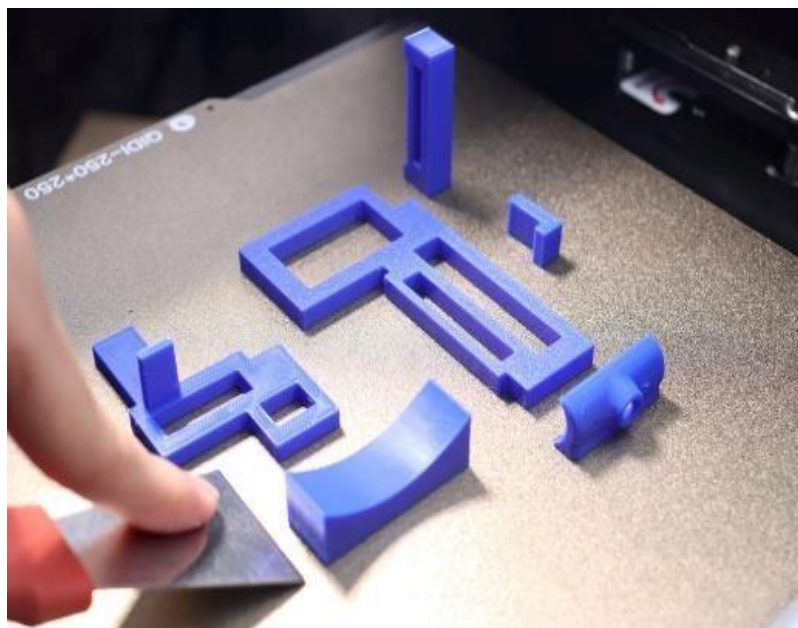
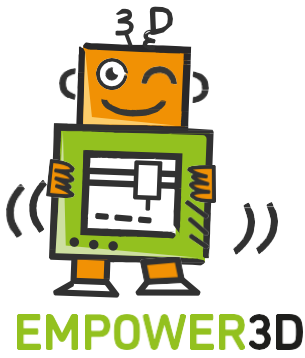


*Figure 3. Retrait de
l'impression du
plateau à l'aide d'une
spatule.*
<https://muni.cz/go/c076bb>



Dépannage - les problèmes d'impression les plus courants et leurs solutions

Diverses complications peuvent survenir pendant le processus d'impression, telles que des erreurs d'adhérence, la déformation du modèle, des bourrages, etc. Ces problèmes peuvent être dus aux réglages des paramètres, à la qualité du matériau ou à une mauvaise préparation. Examinons les problèmes les plus courants, leurs causes possibles et leurs solutions.

L'impression n'adhère pas au plateau

L'un des problèmes les plus courants est le manque d'adhérence : le modèle n'adhère pas correctement au plateau, il **se décolle**, certaines parties se détachent et se déforment, ou le modèle tout entier commence à bouger, ce qui entraîne souvent un **enchevêtrement de filaments**. Lorsque l'impression se détache du plateau, elle peut également commencer à coller à la buse et à l'extrémité chaude elle-même.

Solution : Tout d'abord, vérifiez que le plateau n'est pas gras avant d'imprimer. Ensuite, vérifiez l'alignement du plateau et le calibrage de la première couche. Lors de l'extrusion, la première couche doit être pressée contre le plateau par la buse (mais pas trop fort, au point qu'il n'y ait plus de place pour l'extrusion du filament et que la buse glisse et raye le plateau). Augmentez la température du plateau. Vous pouvez également appliquer de la colle de bureau sur le plateau. Une chambre d'impression fermée qui stabilise la température et empêche la circulation d'air peut également aider à éviter que les bords de l'impression ne se soulèvent.



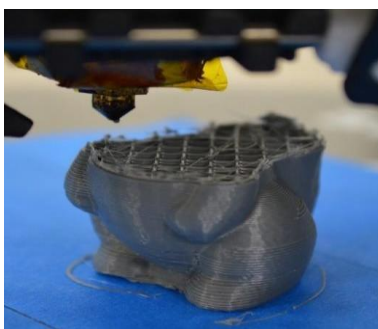
https://help.prusa3d.com/article/first-layer-calibration-i3_112364

Le filament ne s'extrude pas

Outre le simple fait d'être à court de filament, il existe deux causes courantes : **une buse bouchée** ou un problème **d'alimentation du matériau dans la tête d'impression**.

Solution : si le problème provient d'une buse bouchée ou d'une autre partie de la tête d'impression, il est possible d'essayer de la nettoyer soit par « cold-pull », soit en démontant certaines pièces de la tête d'impression. Cliquez [ici pour plus d'informations sur le « cold-pull »](#).

Une autre possibilité est un problème d'alimentation. Une pression insuffisante sur les roues d'alimentation peut entraîner un frottement ou un glissement du filament ; la pression doit donc être réglée correctement. Si le filament frotte depuis longtemps, il faudra nettoyer le chargeur pour éliminer les résidus de filament. Il est également nécessaire de surveiller si le filament s'épuise, se casse ou s'emmêle.



<https://www.obico.io/blog/step-by-step-g 1>

Certaines parties du modèle sont tordues, fondues ou s'effritent

Le modèle imprimé peut **fondre** ou **s'enrouler**, les détails ne sont pas clairement visibles et **les surplombs** ou **les ponts** sont difficiles à former. Cela peut également entraîner **des enchevêtrements** de filament sur certaines parties du modèle.

Solution : Il est essentiel de régler correctement la température de fusion du filament et les paramètres de refroidissement pour obtenir une impression de qualité. Il peut être nécessaire de baisser la température. Lors de la création de surplombs et de ponts, un bon refroidissement est également nécessaire, mais la vitesse d'impression joue également un rôle. Si le modèle comporte des surplombs ou des ponts importants, vous devrez peut-être activer **la création de supports** d'impression dans le logiciel de découpage.

Filament cassé

Le filament **se rompt** en cours d'impression, interrompant l'extrusion et laissant des espaces vides ou des couches défectueuses. Les causes peuvent être un matériau vieux ou cassant, une tension excessive de la bobine (par exemple si le filament est tordu dans la bobine), un chemin d'alimentation irrégulier ou une rétraction trop importante.

Solution : séchez ou remplacez le filament vieilli, réduisez la tension en repositionnant la bobine et en vérifiant les rouleaux, lissez le chemin du filament, réduisez la distance/vitesse de rétraction, et faites une pause pour recharger le filament avant de reprendre l'impression.

Problèmes mécaniques et électroniques de l'imprimante

Une imprimante 3D contient de nombreuses pièces mécaniques et électroniques susceptibles de tomber en panne ou de s'user. Pour éviter les problèmes, l'imprimante doit faire l'objet d'un entretien, notamment un nettoyage (buse, extrudeuse, alimentation) et une lubrification des pièces mobiles tels que les axes. Il convient également de prêter attention aux roulements et aux ventilateurs. Enfin, il est conseillé de mettre à jour le micrologiciel de l'imprimante. Vous trouverez d'autres étapes à suivre, par exemple, [ici](#).

[Vous trouverez ici](#) de nombreux autres problèmes et leurs solutions.



Types de matériaux d'impression 3D utilisant la technologie FFF

Pour imprimer différents objets, nous avons besoin de différents matériaux répondant à certaines propriétés. Parfois, la température joue un rôle, parfois la sécurité d'utilisation ; parfois, nous voulons que le produit final soit souple, parfois nous voulons qu'il résiste à des conditions plus difficiles et à une manipulation à long terme. Il existe donc différents matériaux d'impression 3D adaptés à différentes exigences que nous pouvons utiliser à l'école. Présentons-les brièvement.



Les filaments sont disponibles en différentes couleurs et compositions (source : for3dtisk.cz)

PLA

Le matériau le plus répandu et le plus utilisé, facile à imprimer et donc facile

à traiter. Le PLA est un polymère biodégradable et non toxique, ce qui le rend sûr à utiliser en milieu scolaire. Si sa faible température d'impression et sa facilité d'impression se traduisent par un produit final moins résistant, cela simplifie également le processus d'impression 3D lui-même, ce qui en fait un matériau idéal pour les débutants et les plus jeunes élèves qui commencent tout juste à se familiariser avec l'impression 3D. Les impressions finies réalisées à partir de ce matériau peuvent être retravaillées (par exemple, peintes, vernies, poncées, collées, etc.), ce qui peut ajouter une dimension supplémentaire aux produits et rendre l'impression 3D utile dans d'autres matières telles que le design et la technologie ou l'éducation artistique.

Avantages : facile à imprimer, facile à traiter (peinture, vernissage, ponçage), matériau non toxique – sans danger pour les environnements scolaires

Inconvénients : résistance d'impression réduite et faible stabilité à des températures supérieures à 50 °C et en cas de contraintes mécaniques.

ABS

L'ABS est un matériau largement utilisé pour l'impression 3D en raison de sa grande solidité et de sa résistance aux chocs. Il résiste également à la chaleur, ce qui en fait un matériau adapté aux objets qui seront soumis à des températures élevées ou à des contraintes mécaniques. Cependant, l'impression en ABS dégage des émanations qui peuvent être toxiques ; une bonne ventilation est donc indispensable. L'ABS convient à la fabrication de prototypes fonctionnels, d'outils et de jouets.

Avantages : résistant aux chocs et aux températures élevées, possibilité de lissage à l'acétone.

Inconvénients : - Dégagement de vapeurs pendant l'impression (ventilation requise), tendance à se déformer pendant l'impression (plateau chauffant requis, idéalement une imprimante fermée).

ASA

Il s'agit d'un matériau très similaire à l'ABS, auquel ont été ajoutés des composés qui améliorent ses propriétés par rapport à l'ABS.

L'ASA est très résistant aux rayons UV et aux intempéries, ce qui lui assure une longue durée de vie même dans des conditions difficiles. Il convient donc à

l'impression d'objets qui seront exposés au soleil et à diverses conditions météorologiques, tels que les décorations de jardin, les nichoirs, le mobilier d'extérieur.

En cas d'utilisation dans des environnements scolaires, il est donc nécessaire de tenir compte de la moindre facilité de mise en œuvre par rapport au PLA et de prendre en considération la sécurité des élèves – par exemple, en disposant d'un laboratoire suffisamment ventilé et d'une imprimante 3D fermée dans laquelle l'impression à partir de ce matériau peut avoir lieu sans danger pour la santé.

Avantages : haute résistance aux intempéries (rayonnement UV), bonne résistance mécanique.

Inconvénients : des vapeurs sont libérées pendant l'impression (ventilation requise), tendance à se déformer pendant l'impression (plateau chauffant requis, idéalement une imprimante fermée).

Inconvénients : sensibilité à l'humidité, plus difficile à traiter pendant l'impression (PET), nécessité d'une bonne ventilation pendant l'impression (PETG).

PET et PETG

Le PET et le PETG sont deux types différents de polyéthylène téréphtalate. Le PET est connu pour sa solidité, sa dureté et sa bonne résistance chimique. Il est souvent utilisé pour les bouteilles, les emballages et les textiles. Le PETG est une variante du PET qui contient du glycol, ce qui améliore ses propriétés d'impression 3D. Le PETG est plus souple et durable que le PET, tout en conservant une résistance mécanique et une résistance chimique élevées. Le PETG est moins cassant que le PLA et peut être utilisé pour produire des pièces fonctionnelles et des prototypes nécessitant une plus grande résistance mécanique.

Avantages : plus résistant que le PLA et le PET – résistance et dureté, bonne résistance chimique ; PETG : flexibilité et moindre fragilité.

NYLON

Le nylon est un polymère synthétique connu pour sa grande solidité, sa résistance à l'usure et sa résistance chimique. Le nylon est également connu pour sa douceur et son faible coefficient de frottement, ce qui en fait un matériau idéal pour l'impression de pièces fonctionnelles telles que des engrenages, des roulements et d'autres composants mécaniques nécessitant une grande durabilité et une grande précision.

Le nylon possède d'excellentes propriétés mécaniques, mais son impression peut s'avérer plus difficile en raison de sa tendance à absorber l'humidité de l'environnement. Cela peut entraîner des problèmes d'impression si le matériau n'est pas stocké et séché correctement avant utilisation.

En milieu scolaire, le filament de nylon peut être utile pour créer une variété de modèles pratiques et pédagogiques. Grâce à sa résistance et à sa durabilité, le nylon est idéal pour fabriquer des pièces mécaniques destinées à illustrer des principes physiques. Les élèves peuvent imprimer des modèles de machines ou créer des outils et des gadgets durables capables de résister à une utilisation fréquente et à des expérimentations.

Avantages : grande résistance et durabilité.

Inconvénients : impression plus exigeante et nécessité d'un environnement sec.

TPU – FLEX

Le filament TPU - Flex est connu pour sa grande flexibilité et sa durabilité. Ce matériau est idéal pour imprimer des objets souples et pliables tels que divers joints, housses de protection, articulations élastiques, moules ou même des semelles de chaussures. En milieu scolaire, le filament TPU peut être utilisé à des fins pratiques et créatives variées. Il permet d'imprimer des modèles de physique pour illustrer les propriétés des matériaux telles que l'élasticité et la résistance, divers petits coussinets et bouchons en caoutchouc pour récipients, des bouchons, des élastiques ou des modèles comportant des pièces flexibles. Ce filament convient également à la fabrication d'emballages de protection et d'outils pouvant être utilisés dans le cadre de projets scolaires et d'expériences.

Avantages : grande flexibilité et résistance aux chocs, à l'abrasion et aux produits chimiques.

Inconvénients : plus difficile à imprimer (vitesse réduite et extrudeuse à entraînement direct recommandées), temps d'impression plus long en raison de la vitesse réduite.

Filaments spéciaux

Il existe de nombreux types de filaments spéciaux qui élargissent les possibilités de l'impression 3D. Nous n'en citerons ici que quelques-uns, mais la gamme de filaments ne cesse de s'élargir. Les filaments nouveaux et spécialisés ont tendance à être plus chers, et certains nécessitent une plus grande expérience de l'utilisateur, mais ils peuvent s'avérer idéaux pour votre impression :

Filament bois : contient de minuscules particules de bois mélangées à du PLA, ce qui vous permet d'imprimer des objets présentant l'aspect et la texture du bois.

Filament métallique : contient des poudres métalliques mélangées à une base plastique, ce qui permet d'imprimer des objets présentant un aspect métallique et un poids supérieur à celui des plastiques conventionnels.

Filament phosphorescent : ce type de filament brille dans le noir lorsqu'il est exposé à la lumière. Il est idéal pour les décorations, les panneaux de sécurité et les projets créatifs.

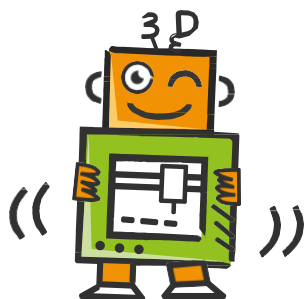
Filament de carbone : contient des fibres de carbone mélangées à une base plastique, offrant une résistance et une rigidité élevées. Ce filament est idéal pour

l'impression de pièces mécaniques et de structures nécessitant une plus grande durabilité.

Filament soluble dans l'eau : souvent fabriqué à partir de PVA (alcool polyvinylique), ce filament est utilisé comme matériau de support lors de l'impression 3D. Une fois imprimé, le matériau de support est facilement soluble dans l'eau, ce qui facilite le retrait des supports.

Filament textile : ce filament contient des fibres textiles mélangées à une base plastique, ce qui permet d'imprimer des objets présentant une texture fine semblable à celle d'un tissu.

Filament antibactérien : contient des additifs destinés à empêcher la prolifération bactérienne, ce qui le rend idéal pour l'impression de produits médicaux et d'hygiène.



Acquisition et création de modèles pour l'impression 3D

L'impression 3D et l'utilisation de modèles tridimensionnels peuvent sembler compliquées au premier abord, mais il existe en réalité de nombreuses façons simples et accessibles d'intégrer des objets 3D dans le processus éducatif.

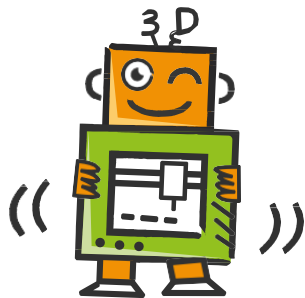
Dans les chapitres suivants, nous explorerons plusieurs façons d'acquérir des modèles 3D :

Recherche dans des bases de données

Il existe un certain nombre de sites web spécialisés qui proposent des milliers de modèles 3D disponibles gratuitement et téléchargeables immédiatement. Cela permet de trouver facilement des modèles pour les sciences, les mathématiques, la géométrie ou les arts et de les utiliser directement dans la pratique pédagogique.

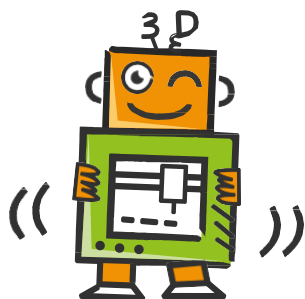
Création de modèles à l'aide d'un scanner 3D

Pour certains projets, il est intéressant de scanner un objet réel (par exemple, des feuilles d'arbre, des objets historiques ou du matériel scolaire), que les élèves peuvent ensuite explorer numériquement. Aujourd'hui, la numérisation n'est plus l'apanage des laboratoires spécialisés : même dans la pratique quotidienne, on peut trouver des scanners 3D abordables ou utiliser des applications mobiles.



Modélisation dans un logiciel 3D

La création de modèles 3D offre aux élèves une nouvelle dimension : elle leur permet de développer leur imagination, leur compréhension de l'espace et leur créativité. Il existe sur le marché de nombreux programmes simples permettant aux débutants de créer leurs propres modèles dans le cadre d'un projet ou d'un travail d'équipe. Nous nous concentrerons principalement sur TinkerCad, mais nous montrerons également qu'il n'est pas le seul.



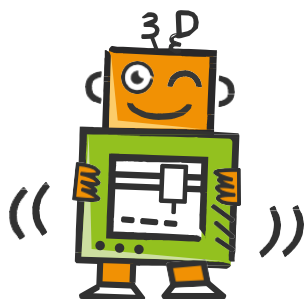
Bases de données de modèles 3D

Il existe sur Internet un certain nombre de grandes bases de données proposant des modèles 3D. Beaucoup d'entre elles offrent des modèles gratuitement, tandis que d'autres exigent le paiement d'un abonnement pour y accéder ou pour télécharger des modèles spécifiques.

Cependant, toutes les bases de données ne sont pas directement destinées à l'impression 3D, ce qui signifie que certains modèles peuvent ne pas être optimisés pour les processus d'impression. À l'inverse, certaines plateformes proposent, en plus des modèles eux-mêmes, **des ressources méthodologiques et didactiques** qui facilitent leur utilisation dans l'enseignement scolaire. Si la base de données est axée sur l'impression 3D, elle comprend souvent des instructions ou d'autres informations.

La présentation suivante propose une sélection de ressources en ligne accompagnée d'une brève description de leur contenu. La plupart de ces bases de données ne sont pas très spécialisées et comprennent des milliers de modèles de toutes sortes, allant des figurines, des pièces de rechange et des objets de design aux gadgets ménagers utiles et bien plus encore.

Thingiverse – www.thingiverse.com



Probablement la base de données la plus connue et la plus complète de modèles d'impression 3D gratuits disponibles. La base de données n'est pas spécialisée, on y trouve donc des objets issus de nombreuses catégories. Il s'agit d'une base de données communautaire, on y trouve donc non seulement des instructions pour l'impression 3D, mais aussi des discussions sur les modèles ou une galerie d'impressions du modèle. Thingiverse comprend également une **section dédiée à l'éducation**

<https://www.thingiverse.com/education>.

Printables - www.printables.com

Printables est la base de données directement fournie par les fabricants des imprimantes Prusa. On y trouve notamment une section Apprentissage divisée par domaines d'apprentissage et, bien sûr, de nombreux modèles classés par catégories.



MakerWorld – www.makerworld.com

La troisième grande base de données est MakerWorld. Elle se concentre principalement sur les imprimantes BambuLab et contient donc souvent des fichiers G-code prêts à l'emploi pour ces imprimantes, mais lorsque vous téléchargez le modèle, vous pouvez bien sûr l'utiliser et le découper pour n'importe quelle imprimante 3D.

BE3DAcademy - be3dacademy.ysoft.com

La base de données YSoft propose des modèles classés par leçons, en fonction de l'âge et du domaine pédagogique. Certaines sections et certains modèles sont disponibles gratuitement, tandis que d'autres sont accessibles dans la section payante (liée à l'achat d'une imprimante YSoft). Des leçons complètes sont disponibles pour les modèles, comprenant des présentations, des modèles et du matériel pédagogique.

Autres sources

Il existe de nombreuses autres sources de contenu de modèles 3D en ligne. Par exemple :

www.createeducation.com - Une plateforme dédiée à l'enseignement et à la technologie de l'impression 3D, proposant des modèles gratuits, du matériel pédagogique et des sources d'inspiration pour les enseignants.

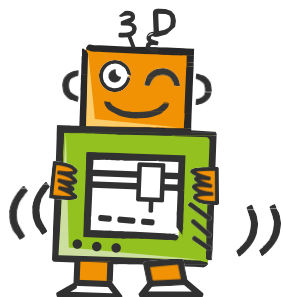
<https://grabcad.com/library> - Une base de données communautaire partageant des milliers de modèles 3D, principalement axée sur les applications techniques et industrielles.

<https://www.turbosquid.com/> - Base de données de modèles 3D haut de gamme destinés à un usage professionnel, comme la production cinématographique, la publicité ou les jeux vidéo, avec la possibilité d'acheter et de vendre.

<https://sketchfab.com/> - Plateforme en ligne pour présenter, partager et vendre des modèles 3D interactifs.

<https://www.myminifactory.com/> - Une communauté dédiée à l'impression 3D où les utilisateurs peuvent télécharger des milliers de modèles validés pour l'impression et partager leurs propres créations.

<https://3d.nih.gov/> - Base de données spécialisée dans les modèles 3D à usage médical et scientifique, axée sur l'enseignement, la recherche et les applications dans le domaine de la santé.



EMPOWER3D

Scanners 3D

Une autre façon d'obtenir des objets 3D à imprimer consiste à les extraire du monde réel, par numérisation. Le scanner 3D fonctionne de la même manière que le scanner fourni avec la plupart des imprimantes papier. Ce processus permet de convertir des objets physiques en format numérique. La taille des objets et le niveau de précision dépendent uniquement du prix et de la taille du scanner.

Types de scanners 3D

Il existe de nombreux types et classifications de scanners 3D, des petits scanners portables aux drones de numérisation industriels. Cependant, nous allons nous intéresser à ceux que l'on est le plus susceptible de rencontrer.

Scanners 3D portables

Les scanners portables (à main) permettent à l'utilisateur de déplacer librement l'appareil autour de l'objet. Ils sont parfaits pour scanner des objets difficiles à atteindre.



Scanner portable Crealty. (source : <https://muni.cz/go/1d49b8>)

Scanners fixes

Dans ce cas, vous devrez positionner l'objet de manière stable pendant la numérisation. Ils sont davantage utilisés pour la numérisation de précision ou la numérisation d'objets plus petits. En maintenant l'objet et le scanner immobiles, la numérisation est plus précise. Il convient d'ajouter que de nombreux scanners moins chers permettent à la fois la numérisation fixe et la numérisation à main levée.

Exemples pratiques

Créer un musée scolaire

Les enfants peuvent numériser et archiver numériquement des objets intéressants qu'ils trouvent, par exemple lors de sorties scolaires. Ils peuvent ensuite utiliser ces modèles 3D pour créer un musée scolaire virtuel qui peut être partagé avec d'autres.

Projets à vocation locale

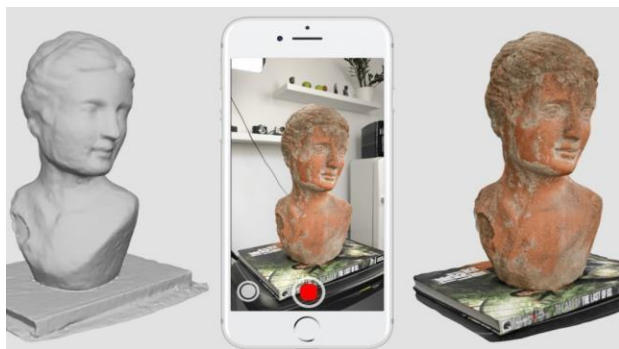
Dans le cadre de projets axés sur la communauté, les élèves peuvent scanner et conserver des copies numériques de sites historiques ou d'œuvres d'art intéressants dans leur région. Ces documents peuvent ensuite être modifiés et imprimés.



Scanner fixe EniScan - SE

Numérisation 3D mobile

De nos jours, les smartphones modernes peuvent effectuer une numérisation 3D basique avec l'application adéquate. C'est simple, abordable et relativement facile à utiliser, même à l'école. Cependant, la qualité variera considérablement en fonction des téléphones dont disposent les élèves et, bien sûr, la numérisation ne sera pas aussi précise qu'avec un scanner.



Exemple de numérisation via une application mobile (source : <https://www.sculpteo.com/>)



Démonstration de la conversion d'une sculpture en modèle d'impression 3D via l'application (source : <https://blog.prusa3d.com/>)

Projets personnels

Les enfants peuvent apporter leurs objets préférés et utiliser la numérisation pour en créer une copie numérique. Ils peuvent ensuite les modifier, les colorier et les imprimer pour en faire leur propre création unique.



Logiciel de création de modèles 3D

Si nous voulons créer un modèle 3D entièrement nouveau ou modifier un modèle existant, nous aurons besoin d'un logiciel de modélisation 3D. Il est important de noter que la modélisation 3D elle-même peut très bien s'intégrer dans la pratique pédagogique. Analysons les méthodes de modélisation et proposons des programmes spécifiques et adaptés à la fois à la création et à l'enseignement.

Modélisation solide

La modélisation solide utilise des solides comme éléments géométriques, y compris leur structure interne, de sorte qu'un modèle 3D présente un volume ou une épaisseur de paroi similaire à celle d'un objet réel. La modélisation est généralement réalisée selon les dimensions exactes de la pièce à fabriquer. On utilise le plus souvent une **approche paramétrique**, où la modification des paramètres (par exemple l'épaisseur de paroi) permet de modifier facilement le modèle.

La modélisation solide est principalement utilisée par les logiciels de CAO (conception assistée par ordinateur), qui servent à concevoir des objets en vue de leur traitement et de leur production ultérieurs. La CAO est suivie de la FAO (fabrication assistée par ordinateur), axée sur la fabrication et la simulation, qui inclut l'impression 3D. Un modèle volumique peut être facilement converti en modèle surfacique, mais le processus inverse est plus complexe.

TinkerCAD - www.tinkercad.com

TinkerCAD est un outil de modélisation 3D en ligne simple, spécialement conçu pour les débutants, qui permet de créer facilement des modèles destinés à l'impression 3D ou à des fins pédagogiques. Nous allons en parler plus en détail dans les chapitres suivants.

Fusion 360 est un outil CAO/FAO/IAO avancé qui permet la modélisation, la conception, la simulation et la fabrication 3D complexes, et qui est largement utilisé dans l'ingénierie, la mécanique et la conception de produits. Mais il dispose également d'une interface simple et intuitive, d'une multitude de tutoriels disponibles en ligne et, surtout, propose des licences gratuites pour un usage personnel et éducatif.

SketchUp est un logiciel de modélisation 3D intuitif principalement utilisé pour l'architecture, la construction et la décoration d'intérieur, permettant de créer et de modifier facilement des modèles 3D. Il utilise une approche de modélisation à la fois solide et polygonale.

OnShape est un logiciel de CAO basé sur le cloud qui permet la collaboration en équipe pour la modélisation 3D en temps réel, ce qui le rend idéal pour l'ingénierie et la conception de produits. Il est très populaire au sein de la communauté de l'impression 3D et est disponible gratuitement.

Modélisation polygonale

La modélisation polygonale (surface) crée des modèles en utilisant uniquement des surfaces composées de surfaces 2D – des polygones, le plus souvent des triangles. Des techniques telles que le dessin de

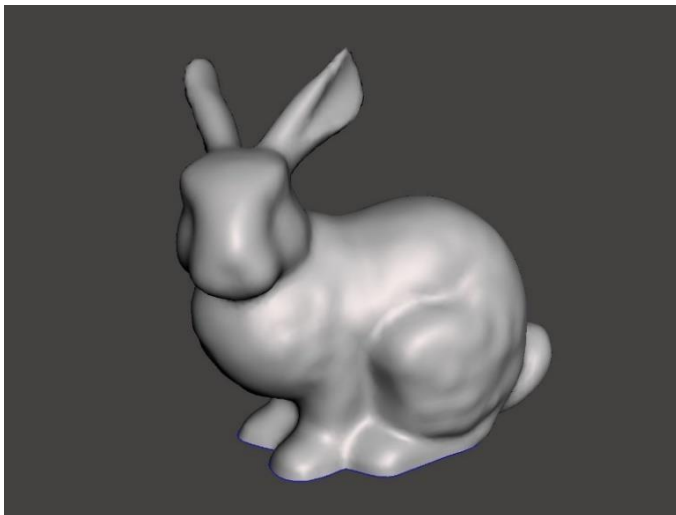
polygones à partir de primitives ou de courbes 3D sont utilisées pour créer des modèles. L'objet résultant n'a pas l'épaisseur d'un mur et n'est donc pas réalisable de manière réaliste, mais il décrit correctement la forme extérieure. La modélisation polygonale est utilisée, par exemple, dans les jeux vidéo et les effets spéciaux cinématographiques.

Blender est un logiciel 3D open source qui permet de modéliser, d'animer, de texturer, de rendre et de créer des effets visuels. Grâce à une large gamme d'outils et au soutien de la communauté, Blender est populaire non seulement pour la création d'animations et de jeux, mais aussi pour l'impression 3D et la sculpture.

Cinema 4D est un logiciel professionnel de modélisation, d'animation, de rendu et de visualisation 3D, réputé pour son interface utilisateur intuitive. Il est particulièrement apprécié dans les domaines du motion design, des effets visuels et de l'animation, et est largement utilisé en post-production pour le cinéma, la télévision et la publicité. Il propose des licences à prix réduit pour le secteur de l'éducation.

Sculpture

Sculpture - la sculpture numérique est une troisième approche de la modélisation, axée sur les formes organiques et les détails. Les modèles sont créés par « gradual shaping », et l'utilisateur a l'impression de travailler avec un corps volumétrique même s'il s'agit en réalité d'un maillage polygonal modifié. Cette technique est utilisée, par exemple, pour les personnages ou les formations naturelles, et est courante dans l'industrie du jeu vidéo et les effets spéciaux cinématographiques. Les modèles obtenus nécessitent souvent une retopologie (refonte du maillage polygonal pour réduire le nombre de polygones) afin de les rendre adaptés à une utilisation ultérieure.



Modèle sculpté d'un lapin (source : fichier d'exemple Meshmixer)

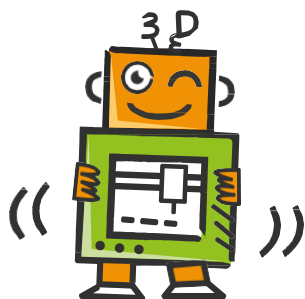
ZBrush - Logiciel professionnel de sculpture numérique considéré comme la référence dans le domaine de la modélisation et de la sculpture détaillées. Une version gratuite (aux fonctionnalités limitées) est disponible sur <https://www.maxon.net/en/zbrushcoremini> pour les débutants et l'apprentissage.

ZbrushCoreMini

<https://www.maxon.net/en/zbrushcoremini>

SculptGL est un outil de sculpture numérique en ligne gratuit qui vous permet de créer et de modifier des modèles 3D directement dans le navigateur à l'aide d'outils de sculpture simples. <https://stephaneginier.com/sculptgl/>

Meshmixer est un logiciel gratuit d'Autodesk destiné à l'édition et à la réparation de modèles 3D, proposant des outils de sculpture, de réparation de maillage et de préparation de modèles pour l'impression 3D.



TinkerCAD - introduction

Avez-vous déjà eu une idée qui pourrait être imprimée, mais que vous ne trouvez dans aucune base de données ? Ou aimeriez-vous modéliser cette idée vous-même, mais vous n'avez aucune expérience en modélisation 3D, vous avez du mal à vous y retrouver parmi les outils et vous ne savez pas quel programme choisir, de sorte que même des élèves de CP puissent s'en servir ? Alors essayez [TinkerCAD](#) : un logiciel universel pour les débutants et les modélisateurs expérimentés.

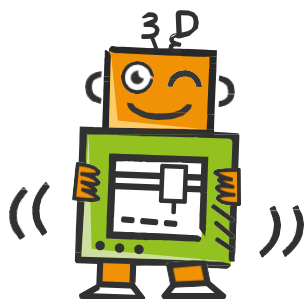
Il s'agit d'un outil en ligne gratuit accessible à tous les bricoleurs intéressés par la modélisation 3D ou qui découvrent tout juste les graphiques 3D. L'interface de TinkerCAD est très intuitive et peut être utilisée par les élèves de tous les niveaux de l'école primaire ou secondaire.

Pour travailler avec cet outil en ligne, vous devez créer un compte Autodesk, qui peut

être utilisé de manière universelle logiciel de la société, ou se connecter à un compte existant en utilisant vos identifiants Google, Apple, Microsoft ou Facebook.

Une fois inscrit et connecté, vous pouvez définir votre mode d'utilisation du logiciel dans les paramètres de votre compte. De plus, si le mode Enseignant est sélectionné, TinkerCAD propose diverses fonctionnalités qui simplifient l'organisation et le suivi des progrès des élèves grâce à la possibilité de créer [des classes](#), tout en offrant aux enseignants l'accès à une vaste gamme de [supports pédagogiques](#) et de ressources.

Outre la modélisation 3D, l'outil permet également de [créer des circuits électriques](#) et de [programmer](#) des modèles 3D [par blocs](#). Il propose également une [galerie](#) et [des projets](#) plus importants de modèles déjà créés par d'autres utilisateurs ainsi qu'un [laboratoire de simulation](#).



TinkerCAD - section enseignants

La section Enseignants de TinkerCAD est conçue pour aider les enseignants à gérer et à organiser leurs activités pédagogiques. Cet outil offre aux enseignants un accès privilégié à des fonctionnalités et des outils qui leur permettent de gérer efficacement leurs classes et d'accompagner les élèves dans leur apprentissage et leur développement. De plus, les enseignants peuvent utiliser cette interface pour créer des projets, les attribuer aux élèves et suivre leurs progrès.

Activation du mode Enseignant

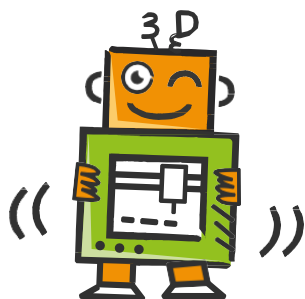
Dans TinkerCAD, les enseignants peuvent activer le mode Enseignant pour gérer et contrôler leurs classes. Pour configurer ce mode, vous devez d'abord créer un compte et vous connecter. Une fois connecté, rendez-vous dans les paramètres du

compte où vous trouverez l'option permettant de passer au profil Enseignant.

Cours - section supplémentaire pour les enseignants

Qu'est-ce qui s'affiche lorsque je passe en mode Enseignant ?

Lorsque vous activez le mode Enseignant, vous avez accès à un certain nombre de fonctionnalités et d'outils spécifiques qui ne sont pas disponibles dans l'interface utilisateur standard. Vous pouvez gérer vos propres classes, ajouter et supprimer des élèves, créer et attribuer des projets, et suivre les progrès des élèves.



Cours - section

Comment configurer des classes :

La configuration des classes en mode Enseignant s'effectue en plusieurs étapes :

1. Accédez à la section Classes dans le panneau supérieur, ou cliquez sur Classes dans la barre latérale gauche.
2. Cliquez sur le bouton « Créer une nouvelle classe ».
3. Remplissez les informations requises, telles que le nom de la classe, sélectionnez l'âge et la matière dans le menu déroulant, choisissez le mode « Classe sécurisée » (qui permet aux élèves de consulter et de supprimer les brouillons publiés et de travailler « en privé » sur leur projet), puis confirmez en cliquant sur le bouton « Créer une classe ».
4. Une fois la classe créée, vous pouvez ajouter des élèves manuellement ou

en les important directement depuis la liste des élèves.

5. Pour rejoindre la classe, vous pouvez partager un lien vers la classe avec le code de classe, grâce auquel les élèves rejoindront eux-mêmes la classe sous un pseudonyme ou une adresse e-mail donnés.

Grâce à Classrooms, l'enseignant peut également créer et gérer les projets assignés au sein de la classe en un seul endroit, suivre les progrès des élèves et vérifier leur activité pendant qu'ils travaillent sur le devoir via le tableau de bord, inviter des collègues à rejoindre la classe créée pour collaborer, ou partager et importer les projets des élèves simultanément via la connexion Google Classroom.

Plans de cours :

TinkerCAD offre aux enseignants, entre autres, la possibilité d'obtenir des plans de cours structurés qui facilitent la préparation et la mise en œuvre de cours de conception numérique et qui se trouvent dans la section « Matériel » du panneau supérieur. Dans ces plans de cours, on trouve des instructions détaillées sur les objectifs, les supports de cours et des liens vers des ressources ou du matériel supplémentaires. Parallèlement, les enseignants peuvent partager leurs plans de cours avec d'autres collègues et les adapter aux besoins spécifiques de leurs classes.

TinkerCAD propose des tutoriels détaillés pour tous ces outils, accessibles via les liens fournis et sur la [chaîne YouTube](#) officielle.

Liens utiles :

[Guide officiel de l'enseignant pour les cours TinkerCAD](#)

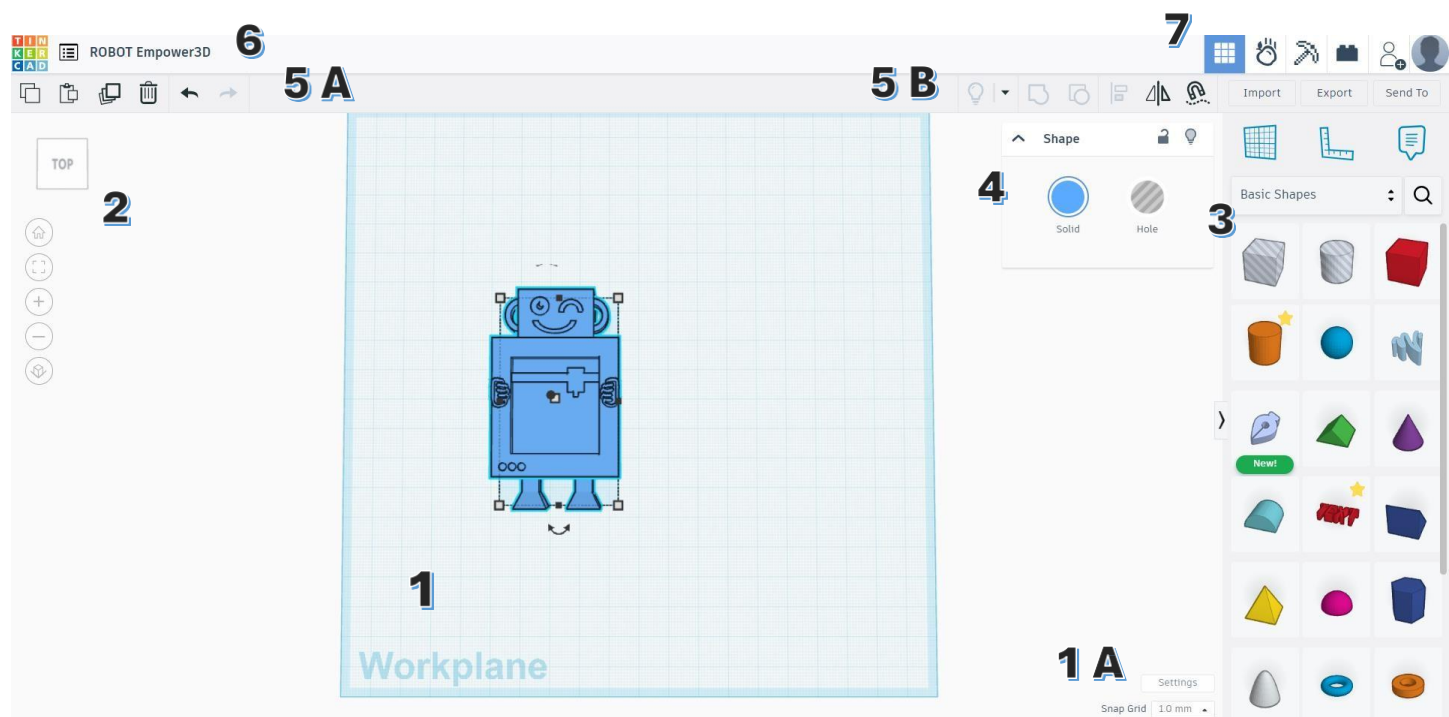
[Plans de cours TinkerCAD](#)

[Co-enseignement dans une classe TinkerCAD](#)





TinkerCAD - Interface de l'espace de travail



Vue générale de l'interface de modélisation de TinkerCAD. 1 - Espace de travail ; 2 - Commandes d'orientation dans l'espace et sur le bureau ; 3 - Barre latérale avec les objets ; 4 - Boîte de dialogue des objets actuellement sélectionnés ; 5AB - Panneau contenant les fonctions et les outils ; 6 - Nom du projet ; 7 - Options supplémentaires pour l'affichage de l'espace de travail (Conception 3D, Sim Lab, Blocs, Briques) et possibilité de partage pour collaborer sur le modèle.

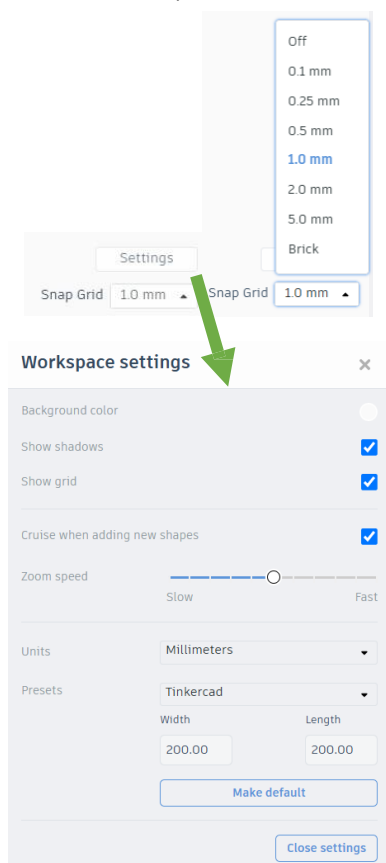
Dans ce chapitre, nous allons examiner ensemble la disposition de base de l'interface de modélisation de TinkerCAD*, qui facilite la gestion des projets et la navigation, rendant la modélisation intuitive et efficace.

1 - Espace de travail

L'espace de travail de TinkerCAD est la partie centrale de l'interface où vous pouvez créer et modifier vos propres modèles 3D. Tous les objets peuvent être placés, manipulés et combinés

les uns aux autres et modifiés à l'aide d'outils. L'espace de travail peut être personnalisé pour répondre à vos besoins de modélisation, à l'aide *des paramètres de l'espace de travail* (1A - situés dans le coin inférieur droit de l'espace de travail), où vous pouvez modifier la forme de l'espace de travail, la vitesse de déplacement lors de la manipulation des formes, ainsi que la taille et le type de l'espace de travail (l'espace de travail TinkerCAD par défaut, ou l'espace de travail d'une imprimante 3D ou d'une machine CNC spécifique). Vous pouvez également ajuster la taille du pas, ce qui peut être utile pour mesurer avec précision la distance par rapport à un objet ou pour aligner des objets sur un bord.

Paramètres de l'espace de travail et taille du pas.



2 – Commandes

Sur le côté gauche de l'espace de travail, on trouve des commandes de base qui permettent de faire pivoter librement l'objet dans l'espace à l'aide du cube de rotation et de basculer entre les vues 2D et 3D en cliquant sur la zone marquée du cube. Il y a également un bouton « Vue par défaut » qui centre la vue sur l'ensemble de l'espace de travail, une option « Ajuster la vue aux formes sélectionnées (F) » qui effectue un zoom avant sur l'objet sélectionné, des boutons « Zoom avant (+) » et « Zoom arrière (-) », ainsi que la possibilité de basculer entre les vues 2D et 3D lors de la modélisation.

3– Panneau Objet

Sur le côté droit de l'espace de travail, vous trouverez un panneau contenant les objets 3D par défaut. Vous pouvez choisir entre des formes de base (telles que cube, cylindre, sphère et autres) ou sélectionner des objets spéciaux dans un menu – par exemple, parmi les éléments de construction et les scènes, l'électronique, les créatures et les personnages, ou encore le générateur de formes, où vous pouvez générer ou personnaliser des modèles prêts à l'emploi, y compris la création d'une forme spécifique pour un modèle de pays ou un code QR en 3D. Les formes de base et

certaines formes spéciales peuvent être modifiées sans aucun problème, les autres, en particulier les objets plus complexes (par exemple certains modèles comme les ordinateurs portables ou les photos Instax dans la section « Objets du quotidien »), ne peuvent pas être redimensionnés (cela peut être fait dans d'autres logiciels ou après les avoir exportés directement avant l'impression dans Slicer). L'outil Loupe permet d'effectuer des recherches rapides parmi les formes. Pour des résultats optimaux, il est conseillé de saisir des mots-clés en anglais.

Au-dessus de ces formes, on trouve également trois icônes représentant des outils tels que l'espace de travail, la règle et les notes.

4 – Type d'objet

Lorsque vous sélectionnez un objet et que vous le placez sur l'espace de travail, vous pouvez choisir si l'objet se comportera comme un solide (objet plein) ou comme un trou (objet creux permettant de créer une découpe). Cette façon de travailler avec les objets est expliquée plus en détail dans un chapitre séparé. Dans la boîte de dialogue, vous pouvez sélectionner et modifier d'autres options de propriétés en fonction du type d'objet sélectionné : ajout de texte, ajustement de l'épaisseur, espacement des pièces, nombre de segments dans l'objet, etc. Vous pouvez également choisir la couleur de l'objet, ce qui est souvent utile lorsque vous travaillez sur plusieurs parties du modèle en même temps. Cela améliore l'orientation entre elles, tout en nous indiquant quelles parties sont encore séparées et lesquelles, en revanche, ont été unifiées en couleur lors de leur fusion**. Il est également possible de verrouiller des objets pour empêcher toute modification ultérieure (et indésirable) ou de masquer complètement l'objet.

5 – Barre supérieure avec fonctions

Dans la barre supérieure, vous trouverez diverses fonctions et outils permettant de modifier le modèle

- Sur le côté gauche de la barre supérieure, vous pouvez utiliser des fonctions telles que Copier (CTRL+C), Coller (CTRL+V), Dupliquer et Répéter (CTRL+D), Supprimer, ainsi que les boutons Annuler (CTRL+Z) et Rétablir (CTRL+Y).

À droite de la barre supérieure, vous trouverez des outils tels que la possibilité de fusionner des objets à l'aide de Tout afficher (CTRL+Maj+H) (affiche les annotations et les formes masquées), Regrouper (CTRL+G), de dissocier des objets à l'aide de Dissocier (CTRL+Maj+G), ainsi que la possibilité d'Aligner (L), Miroir (M) ou d'aligner des objets sur une partie donnée de la surface d'un autre objet à l'aide de Caler (C). En plus de ces fonctions, les boutons Importer, Exporter et Envoyer vers se trouvent également à droite de ces fonctions pour importer et exporter le modèle, avec la possibilité de partager et de collaborer sur le projet avec un autre utilisateur, même en temps réel.

6 – Nom du projet

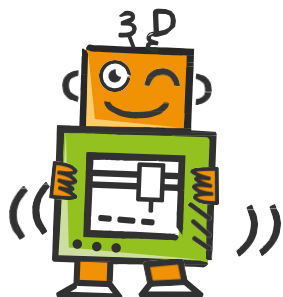
Au-dessus de ces fonctions, vous trouverez un bouton avec le logo TinkerCAD dans le coin supérieur gauche pour revenir au panneau de configuration, un bouton avec les dernières conceptions vers lesquelles vous pouvez basculer, et un nom de projet généré automatiquement – il s'agit d'une désignation générale par TinkerCAD que vous pouvez modifier si besoin.

7– Vue de conception et options de partage

Dans la dernière section, située dans le coin supérieur droit au-dessus de la barre de fonctions, vous trouverez des boutons permettant de basculer entre les différentes vues de conception 3D : il y a un bouton de conception 3D avec l'espace de travail par défaut, puis Sim Lab, Blocks, Bricks, un bouton permettant d'inviter des utilisateurs à concevoir avec vous et une icône avec l'avatar de votre propre profil.

* Pour une meilleure orientation, les différentes parties de la zone de modélisation sont numérotées sur l'image.

** L'unification des couleurs de plusieurs objets ne fonctionne pas toujours ; c'est particulièrement vrai pour les formes complexes spéciales, qui conservent généralement leurs couleurs d'origine même après avoir été regroupées.



TinkerCAD - Description et utilisation des objets et des outils

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents outils et expliquerons comment travailler avec les objets dans le cadre de la modélisation 3D dans l'environnement TinkerCAD. Nous expliquerons leur utilisation concrète dans le chapitre suivant, ainsi que séparément sur un modèle dans le tutoriel vidéo consacré à la création du robot EMPOWER3D et dans la fiche de travail correspondante.

Début de la conception 3D

Pour commencer la modélisation directe, vous devez vous connecter (ou vous inscrire) à l'environnement TinkerCAD. Une fois connecté, vous serez redirigé vers l'interface par défaut, appelée « Panneau de configuration », où vous trouverez non seulement la conception 3D, mais aussi « Conception » (avec tous les projets 3D), « Collections », « Tutoriels » et « Défis ».

Objets et outils dans TinkerCAD

Pour commencer à modéliser, il est conseillé de vous familiariser avec les options par défaut proposées par TinkerCAD : celles-ci comprennent divers outils et une barre latérale contenant une bibliothèque d'objets individuels.

Formes et outils de base

La conception peut s'appuyer sur des formes de base telles que le bloc (cube), la sphère, le cylindre, le cône, divers types de prismes, l'hémisphère, le demi-cylindre, le tube, l'étoile, le cœur et d'autres formes géométriques de base pouvant être combinées et modifiées. Vous trouverez également une forme permettant de créer du texte et un outil de griffonnage pour dessiner librement.

Outre les formes de base, la bibliothèque comprend des modèles prêts à l'emploi qui peuvent être insérés dans la conception et modifiés ultérieurement selon vos besoins. Il est également possible d'effectuer une recherche parmi ces formes pour trouver rapidement un modèle spécifique adapté aux besoins d'une conception donnée.

Les propriétés de chaque forme peuvent être modifiées avant le début de la modélisation. Cela permet, par exemple, de modifier le nombre de parois et donc la forme, d'ajuster les dimensions, de changer la couleur ou de choisir s'il s'agit d'un solide ou d'un trou, ce qui permet de découper la forme dans un autre objet sans avoir à utiliser d'outils spécifiques pour la modifier.

Outre la modification des propriétés, plusieurs fonctions et outils de base peuvent être utilisés pour travailler avec les objets, notamment le déplacement d'objet (gauche, droite, haut, bas) et la rotation d'objet (rotation) autour des axes, la mise à l'échelle (modification des dimensions de l'objet) à l'aide de barres, et l'utilisation de cotes pour un dimensionnement précis lors de la modélisation.

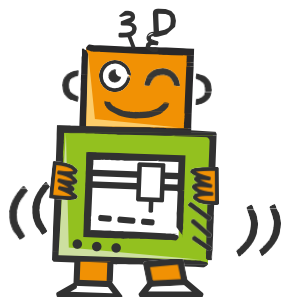
Les objets peuvent également être regroupés à l'aide de l'outil « Group » et séparés les uns des autres à l'aide de « Ungroup ». Ils peuvent être alignés les uns par rapport aux autres selon le bord de l'un des objets, « Mirrored » sur tous les axes, par exemple lors de la création de formes appariées, « Copied » pour insérer une ou plusieurs copies de l'objet n'importe où dans l'espace sur le même moment, Dupliquer pour placer la copie à côté de l'original, etc.

Fonctionnalités supplémentaires

Des formes spéciales avec accès à une large gamme de composants préformés tels que des articulations, des engrenages, des composants électroniques et bien plus encore. De plus, elle propose des générateurs de formes avancés qui vous permettent de créer des objets personnalisés à l'aide de scripts ou en sélectionnant des formes dans une bibliothèque de formes prédéfinies.

Outre cette fonctionnalité, la bibliothèque propose également des éléments pour Sim Lab, conçus pour simuler le mouvement et les propriétés physiques des objets afin de vérifier leur fonctionnalité.

Il est possible d'importer un modèle depuis un fichier ou une base de données dans la conception, et de le modifier directement.



EMPOWER3D

TinkerCAD - Créer un modèle à partir d'une primitive

Dans le chapitre suivant, nous explorerons la modélisation à partir de primitives, c'est-à-dire de formes géométriques de base telles que des cubes, des sphères, des cylindres ou des cônes, qui servent de blocs de construction pour des modèles plus complexes. Dans TinkerCAD, ces formes simples servent de points de départ et peuvent être librement combinées, modifiées et éditées à l'aide des outils disponibles dans le programme. Lors de la création d'un modèle à partir des objets par défaut, il est utile de travailler avec les différentes propriétés des objets, qui peuvent être exploitées davantage lors de leur modification à l'aide de divers outils. De cette manière, des formes simples peuvent être utilisées pour créer des modèles complexes et sophistiqués, que même des élèves du primaire peuvent modéliser.

Objet plein vs. trou

Dans TinkerCAD, les solides sont des objets de base qui possèdent une forme et un volume spécifiques, comme un bloc ou une sphère. Ces objets peuvent être modifiés et combinés pour créer des

structures complexes. Un solide est un objet utilisé comme élément de base pour les modèles.

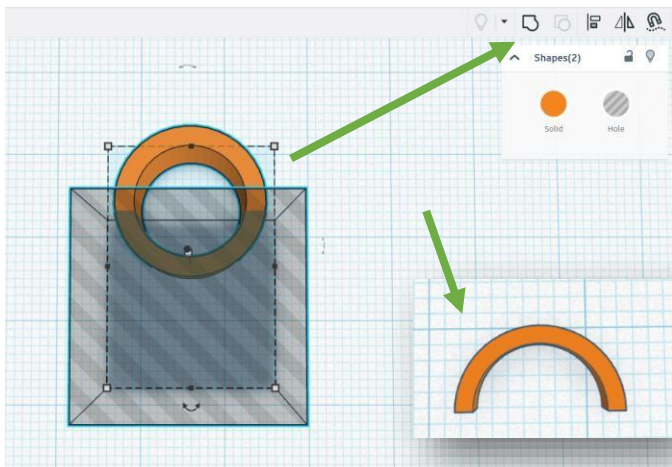
Un trou est une désignation de propriété TinkerCAD pour un type d'objet spécial utilisé pour créer des espaces vides ou des trous à l'intérieur d'autres solides ; il peut être appliqué lors de l'utilisation de l'outil Groupe en conjonction avec un autre solide. Un trou n'a pas de volume propre, mais lorsqu'il est combiné avec un solide, il crée une cavité ou une découpe à l'intérieur de ce dernier. Les trous peuvent prendre de nombreuses formes différentes, tout comme les solides, et lorsqu'ils sont utilisés correctement, ils permettent de créer des modèles détaillés et fonctionnels tels que des porte-clés, des roues, des figurines, des jouets, etc.

Groupe

L'outil Groupe permet de combiner plusieurs objets en une seule unité. Dans TinkerCAD, ce processus est très simple et intuitif. Il suffit de sélectionner les objets que vous souhaitez regrouper et d'utiliser la fonction appropriée dans la barre d'outils.

Le regroupement est utile pour créer des modèles complexes, car il vous permet de manipuler plusieurs objets comme une seule unité. Cela signifie que vous pouvez facilement déplacer, faire pivoter ou redimensionner un groupe d'objets sans avoir à modifier chaque objet individuellement. De plus, le regroupement facilite l'organisation et la gestion des modèles, ce qui est particulièrement utile lorsque vous travaillez sur des projets de grande envergure comportant de nombreux composants.

pour garantir la précision et la cohérence lors de la création de modèles, en particulier lorsque les pièces doivent s'emboîter les unes dans les autres exactement ou respecter certaines spécifications. Dans TinkerCAD, vous pouvez facilement ajouter et modifier des cotes à l'aide de la souris et des outils disponibles dans l'interface utilisateur.



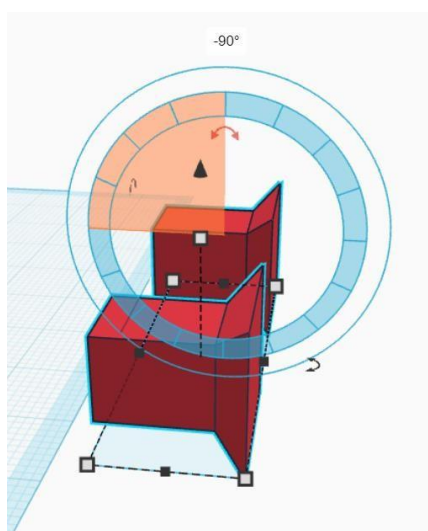
Cotation et rotation du modèle

Cotation

Le cotage est un processus qui permet de déterminer avec précision les dimensions des objets dans TinkerCAD. À l'aide des outils de cotage, vous pouvez mesurer et ajuster les longueurs, largeurs, hauteurs et autres dimensions d'objets individuels ou de groupes d'objets. Le cotage est essentiel

Rotation du modèle

La rotation du modèle est un autre outil essentiel lorsque vous travaillez dans TinkerCAD. Elle vous permet de faire pivoter des objets autour de différents axes (X, Y, Z), ce qui est nécessaire pour obtenir la forme et l'orientation souhaitées du modèle. La rotation est utile, par exemple, pour placer des pièces dans la bonne position ou pour créer des structures symétriques. Dans TinkerCAD, la rotation peut être effectuée à l'aide de poignées interactives qui apparaissent autour de l'objet sélectionné ou en spécifiant des angles de rotation précis dans les champs correspondants. La rotation des objets est intuitive et permet d'ajuster rapidement et facilement les modèles selon les besoins.



Rotation de la jambe du robot pour la positionner sous le torse.

Texte

L'outil Texte de TinkerCAD permet d'ajouter des éléments textuels à vos modèles. Vous pouvez créer des inscriptions, des repères, des étiquettes ou tout autre objet textuel dont vous avez besoin pour votre projet. Le texte peut être affiché dans une grande variété de polices, de tailles et de styles, ce qui vous permet de personnaliser l'apparence de vos modèles. De plus, vous pouvez combiner du texte avec d'autres objets, par exemple en ajoutant un lettrage à la surface d'un cube ou en créant une police en relief. L'outil Texte est intuitif et facile à utiliser : il suffit de saisir le texte souhaité, de modifier ses paramètres et de le placer au bon endroit dans le modèle.

Propriétés des formes

Lorsque vous travaillez avec ces formes, il est important de connaître leurs propriétés et de savoir comment les configurer pour obtenir le résultat souhaité. Dans TinkerCAD, nous pouvons ajuster la taille, la forme, la couleur ou la transparence des objets. Chaque forme possède des paramètres spécifiques qui peuvent être facilement modifiés à l'aide des outils d'édition : par exemple, un cube peut être transformé en un autre cube en modifiant ses dimensions,

tandis qu'une sphère peut être agrandie ou réduite tout en conservant sa forme sphérique. Les outils de TinkerCAD vous permettent également d'ajouter diverses textures et traitements de surface pour donner un aspect plus réaliste à un objet.

Autres options d'édition

Alignement précis

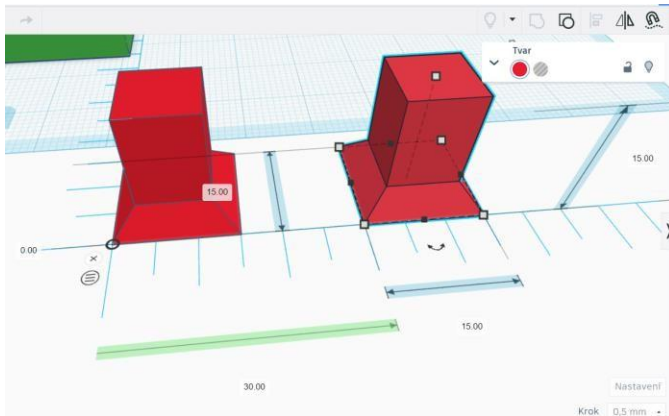
Outre ces méthodes de modélisation, il est également possible de positionner les objets avec précision les uns par rapport aux autres ; c'est à cette fin que l'outil Aligner est utilisé.

Align vous permet de positionner et d'aligner avec précision des objets selon certains critères, soit les uns par rapport aux autres, soit par rapport à un axe spécifique, tel qu'un bord ou un centre. Cet outil peut être utilisé lorsque vous sélectionnez des objets à aligner qui sont placés sur ou près de la surface ; après avoir appliqué la fonction, la position souhaitée est définie.

Règle, plan de travail et notes

Règle

Une règle est un outil qui vous permet de mesurer et de placer avec précision des objets dans la conception d'un modèle. À l'aide de la règle, vous pouvez facilement déterminer les distances entre les objets, définir leur taille et vérifier leur position. La règle est idéale pour créer des modèles détaillés et précis où la précision des dimensions individuelles et le positionnement correct sont importants.



Positionnement précis des pattes du robot avec leur espacement mutuel

Plan de travail

Le plan de travail sert à définir le plan sur lequel vous travaillez. Il vous permet de placer des objets à un niveau ou sur une surface spécifique du modèle. Cet outil est particulièrement utile lors de la création de conceptions plus complexes où vous devez travailler avec différents niveaux et formes de surface du modèle.

Notes

Les notes sont un outil permettant d'ajouter des commentaires textuels directement sur le modèle. Elles vous permettent de marquer les parties importantes du modèle, d'expliquer certaines fonctionnalités ou de fournir des instructions pour la suite du travail. Les notes constituent un moyen pratique de communiquer entre camarades de classe ou de garder une trace des étapes impliquées dans la création d'un modèle.



TinkerCAD - Options gratuites de dessin et de modélisation collaborative

Lors de la modélisation dans TinkerCAD, il est possible de découvrir quelques astuces intéressantes qui peuvent aider les élèves et rendre la modélisation de formes plus complexes plus efficace. Qu'il s'agisse d'une forme spécifique ou que plusieurs mains soient nécessaires, TinkerCAD offre les deux solutions.

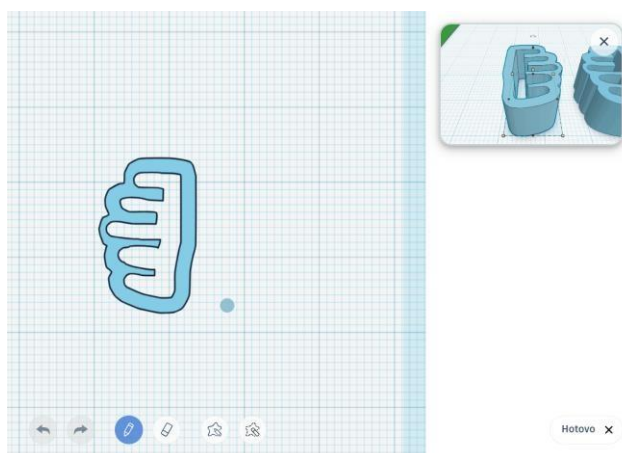
Outil Scribble

Cet outil vous permet de dessiner librement et de créer vos propres formes directement sur le bureau. Utilisez la souris ou le stylet pour tracer des lignes et des formes arbitraires qui sont automatiquement converties en objets 3D.

L'outil peut être activé en sélectionnant une forme « Scribble » dans le menu des formes de base. Cela active la fonction de dessin libre. À l'aide de la souris ou du stylet, vous pouvez commencer à dessiner sur la surface de dessin désignée et créer des courbes à votre guise.

Pendant le dessin, les traits individuels s'affichent immédiatement dans l'aperçu situé dans le coin supérieur droit, à côté de la zone de dessin (l'aperçu peut être masqué et réaffiché à tout moment). En cas de trait erroné, le point ou une partie plus grande peut être supprimé, ou le dessin entier peut être effacé.

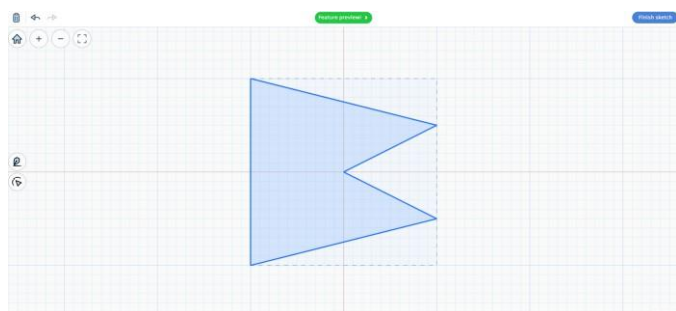
Une fois l'esquisse terminée, le bouton Terminé permet de revenir à la zone de projet où le dessin peut être manipulé comme un objet 3D. Vous pouvez toujours revenir à l'édition de l'esquisse en cliquant sur la forme 3D. Ces dessins 3D peuvent être enregistrés dans la bibliothèque de formes personnalisées et utilisés comme objets finis dans la modélisation.



Travailler dans Scribble - créer une main de robot.

Outil Esquisse

Alors qu'il est possible de créer des dessins entièrement à main levée dans Scribble, Sketch permet de réaliser des croquis précis à l'aide de courbes vectorielles grâce à des outils prédéfinis tels que la ligne, la courbe de Bézier et la grille. Il peut être utilisé pour créer des objets géométriques et techniques nécessitant une grande précision. La fonctionnalité Sketch permet aux utilisateurs de commencer par de simples dessins en 2D qui peuvent ensuite être extrudés en formes 3D, ce qui facilite le travail sur des conceptions complexes.

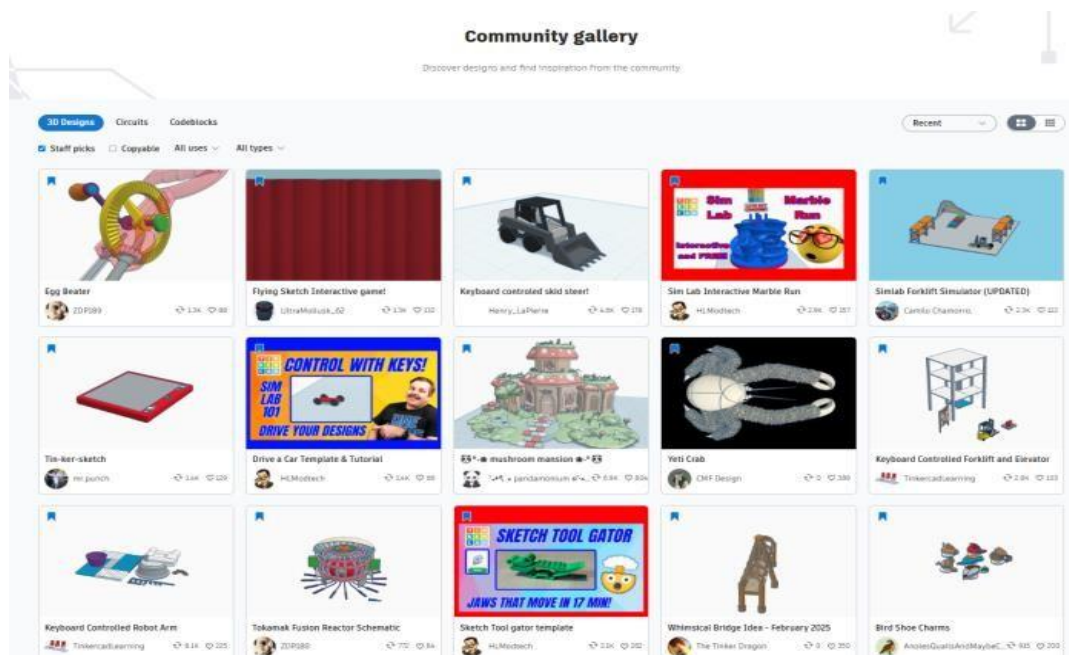


Collaboration directe sur le modèle et options de partage

La collaboration sur un modèle dans TinkerCAD est très intuitive et permet aux utilisateurs de partager leurs projets avec d'autres membres de l'équipe. Si les élèves travaillent sur une conception complexe, il est possible d'inviter d'autres camarades de classe à rejoindre leur projet et à y collaborer en temps réel. Cette fonctionnalité est particulièrement utile lors de la réalisation collective de modèles à grande échelle, où chacun peut apporter ses connaissances et ses compétences.

En plus de partager un projet avec des camarades de classe en temps réel, TinkerCAD offre également la possibilité de partager vos créations via une galerie de projets ouverte où vous pouvez télécharger vos créations et les mettre à la disposition de toute la communauté TinkerCAD.

Il est également possible de trouver l'inspiration dans les travaux d'autres utilisateurs et de modifier ces créations en fonction de vos besoins. Grâce à ces possibilités, le travail en classe peut être enrichi d'un élément de collaboration dynamique, où les élèves peuvent librement partager leurs idées entre eux et ainsi s'influencer mutuellement.



La galerie des créations des utilisateurs de Tinkercad regorge d'idées que vous pouvez adapter à vos propres besoins et développer davantage.





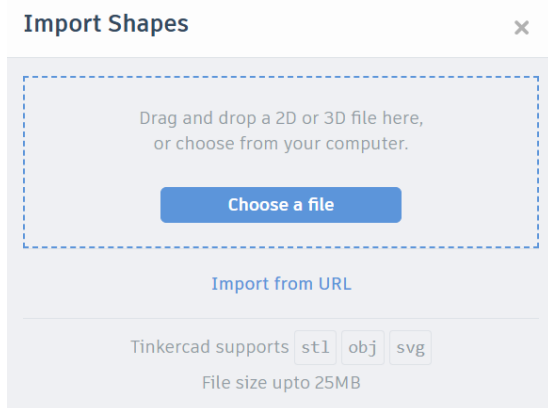
EMPOWER3D

TinkerCAD – Importation et exportation de modèles

Dans ce chapitre, nous allons examiner ensemble les possibilités d'importation d'un modèle dans TinkerCAD ainsi que les possibilités d'exportation du projet obtenu.

Importation de modèles

Si vous disposez déjà d'un modèle fini et que vous souhaitez le modifier dans TinkerCAD ou l'ajouter à l'objet que vous êtes en train de modéliser, vous pouvez utiliser la fonction Importer pour ce faire.



Vous pouvez importer de deux façons : à partir d'un fichier sur votre ordinateur ou en téléchargeant le modèle depuis un site web, par exemple une base de données.

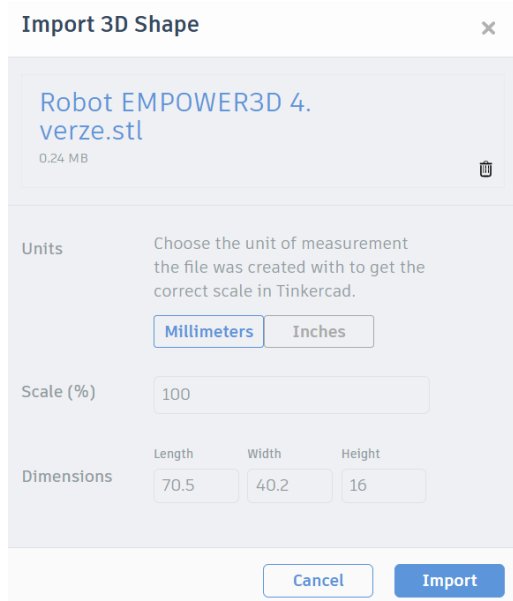
En cliquant sur le bouton Importer situé dans le coin supérieur droit de l'écran, vous ouvrirez une boîte de dialogue proposant l'option d'insertion du fichier. Il existe alors deux façons d'insérer des objets :

1. Insérer un modèle directement à partir d'un fichier sur l'ordinateur : il suffit de sélectionner le modèle au format STL dans le dossier (vous pouvez également sélectionner un modèle au format OBJ et SVG), puis de confirmer la sélection, de définir les paramètres et de laisser le modèle s'importer dans l'espace de travail TinkerCAD.

Ou :

2. Insérer un modèle directement depuis une page web (par exemple depuis des bases de données comme [Thingiverse](#), [Printables](#), etc.) : il est ici possible de choisir d'importer un modèle déjà fini directement depuis le site web en insérant l'adresse URL copiée du modèle, qui est ensuite téléchargée dans TinkerCAD.

Lors de l'insertion de modèles, vous pouvez définir simultanément l'échelle en %, les unités (mm ou pouces) et la taille du modèle.



Lors de l'insertion d'un modèle, il est également possible de définir des paramètres.

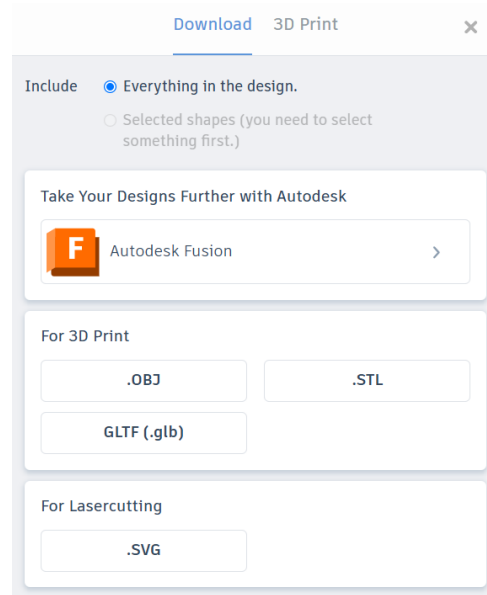
Exportation du modèle

Une fois le modèle terminé, il est possible de l'exporter depuis Tinkercad vers un autre logiciel pour continuer à le travailler, ou de le préparer dans Slicer pour l'impression 3D. Le modèle peut être téléchargé à l'aide du bouton Exporter situé à côté d'Importer, dans le coin supérieur droit de l'espace de travail.

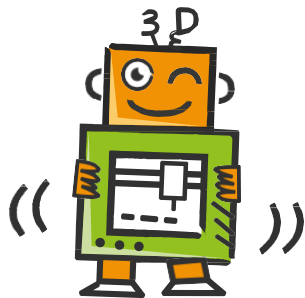
Après avoir cliqué, une boîte de dialogue s'affiche, dans laquelle il est possible de choisir ce que l'on souhaite télécharger à partir de la conception (soit tout, soit la forme sélectionnée), ainsi que le format de sortie (le plus courant est le STL, mais vous

pouvez également choisir les formats OBJ et GLTF, ou encore le format SVG pour un traitement ultérieur au laser). Le choix est ensuite confirmé et le fichier préparé peut être enregistré sur l'ordinateur et utilisé pour des applications d'impression 3D.

Tinkercad offre également la possibilité d'envoyer le modèle finalisé directement vers le cloud de l'une des imprimantes 3D proposées ou vers le logiciel Fusion 360. À l'aide du bouton « Envoyer vers », situé à côté de « Exporter », il est possible de télécharger un aperçu du modèle en cours, de le partager via [Google Classroom](#) ou de l'envoyer directement vers l'une des bases de données et portails proposés, tels que [MyMiniFactory](#), Thingiverse, etc.



Lors du téléchargement, vous pouvez choisir le format de sortie et télécharger le modèle sur votre ordinateur, ou le faire envoyer vers votre imprimante 3D dans le cloud, une base de données, Google Classroom ou le logiciel Fusion 360.



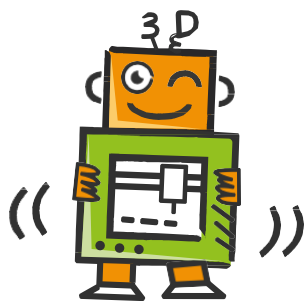
Slicer - préparation du modèle pour l'impression 3D

Avant l'impression, le modèle 3D doit être « découpé » en couches à l'aide d'un processus appelé « slicing », qui génère des instructions (**code G**) - pour l'imprimante. Ce processus s'effectue dans un programme appelé « **slicer** » (par exemple Cura, PrusaSlicer, Simplify3D). Dans le slicer, le modèle peut être modifié, pivoté, redimensionné ou divisé en plusieurs parties pour faciliter l'impression. Les paramètres clés comprennent **la hauteur de couche**, le remplissage, le matériau, ainsi que les températures de la tête d'impression et du plateau. Le slicer vous permet également de définir **des supports** pour l'impression des parties en surplomb du modèle. La plupart des slicers proposent **des profils** prédéfinis pour les imprimantes et les matériaux, ce qui optimise les paramètres d'impression.

Le G-code est le fichier dans lequel le modèle 3D est converti par le logiciel de découpage ; il contient les instructions permettant de déplacer l'extrudeuse et le plateau d'impression. Ces instructions précisent les mouvements de la tête d'impression sur les axes X, Y et Z, couche par couche, au fur et à mesure de l'impression. Le G-code comprend également des paramètres tels que la vitesse d'impression, la vitesse du ventilateur ou les paramètres de la première couche.

Alors que le modèle 3D STL peut être utilisé librement, le G-code est généré pour une imprimante spécifique et n'est donc généralement pas portable.

Il existe divers logiciels de découpage utilisés dans la communauté de l'impression 3D, qui varient en termes de fonctionnalités et de compatibilité avec un large éventail d'imprimantes.



Logiciel de découpage – importation et navigation de base dans l'interface

Lors de la première utilisation du logiciel de découpage, il est nécessaire de sélectionner l'imprimante (ou les imprimantes) avec laquelle (lesquelles) vous souhaitez travailler afin que le code G généré soit compatible (les captures d'écran présentées ci-dessous proviennent de PrusaSlicer 2-9-0-rc1 et peuvent légèrement différer selon les versions ; nous vous recommandons de toujours utiliser la version la plus récente du logiciel).

MINI Family



Original Prusa MINI & MINI+ Input Shaper

- ☒ 0.4 mm nozzle
- Alternate nozzles:
- ☐ 0.25 mm nozzle
- ☐ 0.6 mm nozzle
- ☐ 0.8 mm nozzle

Sélection de l'imprimante dans le slicer

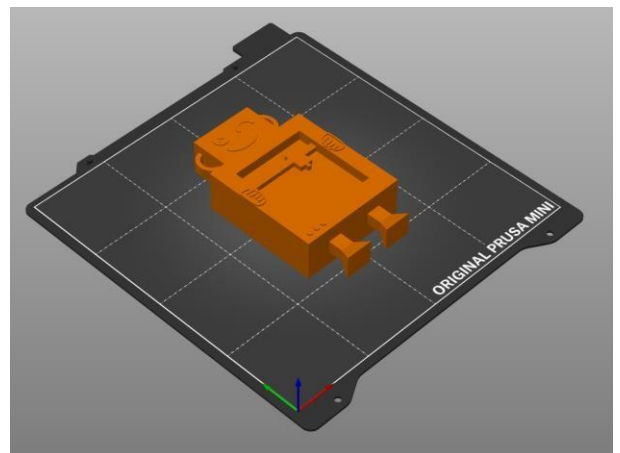
Importation du modèle

Pour insérer un modèle, utilisez la première option du menu supérieur (Ctrl+I) :



Menu principal du slicer

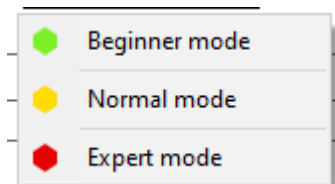
Le modèle apparaît dans l'espace de travail, affichant le plateau d'impression de l'imprimante prédéfinie, et nous pouvons alors manipuler et configurer l'impression.



Modèle importé dans le slicer

Aperçu de l'environnement du slicer

L'interface du slicer varie en fonction du mode que vous avez sélectionné (coin supérieur droit de l'application). Sélectionnez le mode avancé ou expert pour afficher les commandes masquées (dans le texte suivant, nous utilisons le mode expert).



Sélection du mode du slicer

Les autres éléments de ce menu concernent les opérations de base sur le modèle, les principaux étant :

- Supprimer le modèle et Tout supprimer
- Disposer sur le plateau, qui place automatiquement un ou plusieurs modèles sur le plateau d'impression
- Copier et Coller
- Ajouter une instance - insère une autre instance du modèle pour imprimer plusieurs copies en même temps
- Divisez le modèle en plusieurs parties (si possible)

Le deuxième menu principal se trouve à gauche :



Menu principal gauche du slicer

Il contient un certain nombre d'outils utilisés pour manipuler davantage le modèle, principalement :

- Des outils pour déplacer, redimensionner et faire pivoter
 - chaque fois que vous sélectionnez un outil, les axes de cette manipulation s'affichent sur le modèle
- Placer une surface sur le plateau - vous permet de sélectionner n'importe quelle surface du modèle et d'utiliser cette surface pour placer le modèle sur le plateau d'impression
- Découpe du modèle pour le diviser en plusieurs parties
- Outils avancés pour peindre les supports et plus encore.

La dernière commande de la fenêtre principale se trouve dans le coin inférieur gauche et permet de basculer entre l'éditeur 3D et la vue du slicer.



Changer de vue dans le découpeur

Lorsque vous passez en mode Aperçu, le modèle est découpé en tranches et les couches s'affichent selon les paramètres de découpage.

Manipulation de l'objet

En plus des outils du menu de gauche, il est pratique d'utiliser la saisie numérique située dans la partie inférieure droite du découpeur pour manipuler l'objet :

Object manipulation

World coordinates ▾

	X	Y	Z	
Position:	90	90	8	mm
Rotate (relative):	0	0	0	°
Scale factors:	100	100	100	%
Size [World]:	40.2	70.5	16	mm

☐ Inches

Info
Size: 40.20 x 70.50 x 16.00 Volume: 30073.24
Facets: 5076 (1 shell)
No errors detected

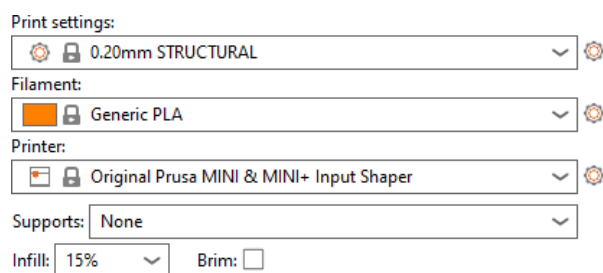
Manipulation de l'objet

Nous pouvons ajuster la position du modèle, sa rotation ainsi que son échelle. La taille est l'un des paramètres les plus fréquemment ajustés avant l'impression et nous pouvons la régler non seulement en mm mais aussi en pourcentage. Sous ce menu, on trouve des informations de base sur l'objet en tant que tel. Au-dessus de ce menu se trouve une liste des objets insérés dans le slicer. Les objets individuels peuvent être masqués ou modifiés davantage à l'aide du bouton droit de la souris.



Slicer – configuration des paramètres d'impression dans le slicer

Slicer propose de nombreux paramètres et options. Cependant, pour une impression normale, quelques réglages de base mais importants suffisent, que nous aborderons plus en détail dans ce chapitre. Tous les paramètres clés se trouvent en haut à droite de Slicer.



Paramètres d'impression

Vous pouvez accéder à des paramètres plus détaillés en cliquant sur l'icône en forme de roue dentée située à droite de chaque option ; nous aborderons certains de ces paramètres détaillés et avancés plus tard.

Hauteur de couche

L'un des principaux paramètres se trouve dans les paramètres d'impression : il s'agit de la hauteur de la

couche d'impression. Selon l'imprimante, il est généralement possible de régler cette valeur entre 0,1 et 0,2 mm, mais ces options peuvent être ajustées pour obtenir des hauteurs plus petites ou plus grandes.



Hauteur de couche

Avec une hauteur de 0,1 mm par rapport à 0,2 mm, le temps d'impression sera environ deux fois plus long, car il faudra deux fois plus de couches pour un modèle de même taille. Cependant, des couches plus fines pour les objets aux contours irréguliers amélioreront la qualité de l'impression elle-même.

Filament

Lors du découpage, le filament est important principalement en termes de réglage des

températures de fonctionnement. Dans le menu, on trouve des filaments sélectionnés, mais aussi du PLA « générique », du PETG, etc., avec des réglages de température de base (et généralement universellement applicables). En cas de problèmes d'impression, on peut toutefois ajuster les valeurs dans le slicer ou directement sur l'imprimante.

Imprimante

Il est essentiel de configurer la bonne imprimante pour tous les paramètres d'impression. Un code G préparé pour une imprimante différente de celle sur laquelle vous allez imprimer ne fonctionnera pas de manière optimale (voire pas du tout). Dans le menu, vous pouvez choisir parmi les imprimantes prédéfinies ou ajouter une autre imprimante.

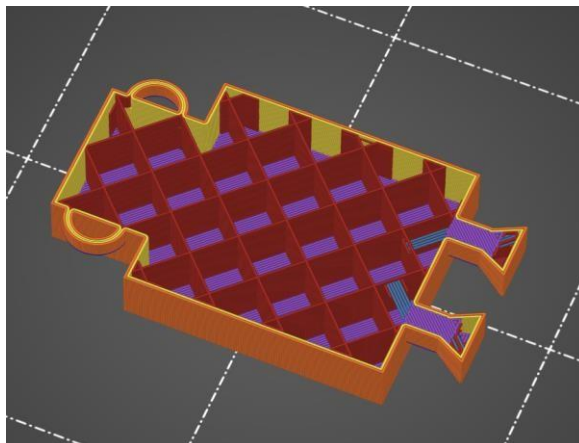
Supports

Comme l'imprimante superpose les couches les unes sur les autres, il est souvent nécessaire d'activer les supports en cas de surplombs ou de ponts. Les supports sont des structures d'impression auxiliaires qui soutiennent certaines parties du modèle (les pattes du robot sur l'illustration ci-dessous).

Si elles sont activées uniquement sur le plateau d'impression, elles ne sont générées qu'entre le plateau et l'objet ; si l'option « partout » est sélectionnée, elles seront également générées entre deux parties du modèle. La dernière option correspond simplement à des supports forcés, qui peuvent être définis spécifiquement à l'aide de l'outil de support dans le menu des outils à gauche. Les supports sont générés en fonction du paramètre d'angle limite. Ce paramètre et d'autres peuvent être ajustés plus en détail dans les options avancées via l'icône en forme d'engrenage.

Remplissage

0 % - 100 % sont les options de remplissage disponibles. En général, il n'est pas nécessaire de remplir entièrement l'impression de matière. Pour une impression plus rapide et une consommation de matière réduite, un réglage d'environ 10 à 20 % est généralement suffisant. Cependant, lors de l'impression de pièces soumises à des contraintes, il est conseillé d'augmenter le remplissage.

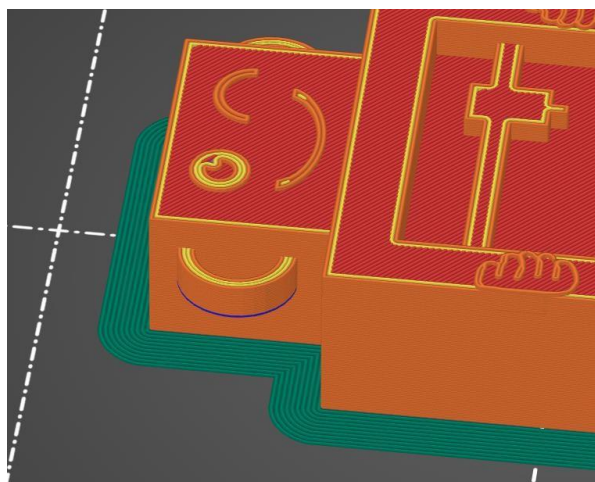


Remplissage à 10 %

Dans les paramètres avancés de remplissage (icône en forme d'engrenage), nous pouvons également sélectionner différents motifs de remplissage.

Rebord

Le dernier des paramètres de base est le rebord. L'activation de cette option permet d'imprimer plusieurs couches périphériques supplémentaires du modèle sur la première couche. Cela permet d'améliorer l'adhérence au plateau et d'augmenter la surface de contact entre l'objet et le substrat. Ces parties peuvent ensuite être facilement séparées du modèle après l'impression. Le rebord est particulièrement utile lorsque la surface de contact avec le plateau est réduite.



Bordure activée autour du modèle

Découpage et exportation du code G

Une fois tous les paramètres définis, vous devez lancer le découpage proprement dit. Pour ce faire, utilisez le bouton situé en bas à droite. En fonction de la complexité du modèle et des paramètres, le processus de découpage peut prendre un certain temps et peut également générer des messages d'avertissement ou d'erreur (par exemple, le modèle ne touche pas le plateau, etc.). Dans ce cas, il faut modifier le modèle ou les paramètres.

Slice now

Une fois le découpage effectué correctement, en bas à droite, vous pouvez voir un récapitulatif des informations concernant la consommation de filament et la durée d'impression.

Sliced Info

Used Filament (g)	13.77
Used Filament (m)	4.62
Used Filament (mm ³)	11103.44
Cost	0.35
Estimated printing time:	
- normal mode	39m
- stealth mode	41m

La dernière étape du découpage consiste à exporter le code G.

Export G-code

Le code G est enregistré (par exemple sur une clé USB) et peut ensuite être lancé sur l'imprimante.



Slicer – paramètres avancés sélectionnés

Même si, pour la plupart des impressions courantes, les paramètres de base décrits dans la section précédente suffisent, le logiciel de découpage propose un grand nombre d'options avancées et détaillées (notamment en mode expert, accessible via le bouton situé dans le coin supérieur droit). L'accès aux paramètres avancés se trouve en haut de l'application, via les onglets « Paramètres d'impression », « Filaments » et « Imprimantes ».

Plater

Print Settings

Filaments

Printers

Vous trouverez ci-dessous une **sélection des paramètres** pour les options les plus couramment utilisées. Un aperçu complet de PrusaSlicer est disponible sur le site web du fabricant :

<https://help.prusa3d.com/article/general-info 1910>

<https://help.prusa3d.com/category/prusaslicer 204>

Paramètres d'impression

Le menu des paramètres d'impression se compose de plusieurs sous-menus dans la colonne de gauche :

Couches et périmètres

- Hauteur de couche - hauteur réglable en détail d'une couche d'impression
- Parois verticales - réglage du nombre de périmètres, c'est-à-dire de l'épaisseur de la paroi de l'objet avant la formation du remplissage. En combinaison avec le remplissage, cela détermine la résistance de l'objet
- Parois horizontales - détermine le nombre de couches pleines au bas et au sommet de l'objet

Remplissage

- Remplissage : la densité du remplissage et le réglage de son motif auront une incidence sur la résistance

de l'objet, mais aussi la vitesse d'impression et la consommation de filament.

- Lissage - lissage de la surface de l'objet pour améliorer l'aspect des couches supérieures de l'objet.

Scirt et Brim

- Brim - création de boucles d'impression auxiliaires autour de l'objet ; contrairement à la jupe, ces boucles sont généralement situées à une certaine distance de l'objet afin de protéger les premières couches, mais le brim peut également avoir une certaine hauteur et former un bouclier protecteur autour de l'ensemble de l'objet, par exemple contre les courants d'air et le décollement ou la torsion des couches.
- Jupe - emplacement et taille de la jupe autour de l'objet sur la première couche afin d'améliorer l'adhérence au plateau.

Supports

- Supports - outre l'activation ou la désactivation des supports, le paramètre de base est l'angle limite pour la création de supports, qui détermine à partir de quelle pente les supports pour les surplombs sont encore générés ou non.

- Raft - imprime une plate-forme de support supplémentaire de la hauteur de couche définie sous l'ensemble de l'objet, y compris les supports.
- Options pour les supports et le raft : en ajustant le style, l'espacement sur l'axe Z, le motif, l'espacement etc., nous pouvons influencer considérablement la qualité des supports, leur adhérence à l'objet, et donc la facilité de retrait des supports une fois l'impression terminée, ainsi que la vitesse d'impression des supports.
- Supports organiques - lorsque le style est défini sur « Organique », les supports sont générés sous forme de fines « branches » qui se divisent. Ils sont utiles pour une impression plus rapide, un retrait plus facile, et peuvent soutenir des parties où des supports normaux devraient s'accrocher à d'autres parties de l'objet imprimé.

Vitesse

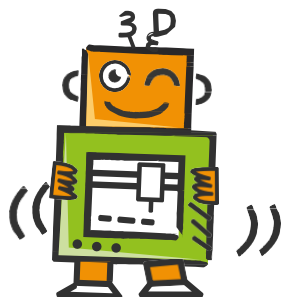
- Vitesses de déplacement de l'imprimante : lors de l'impression de différentes pièces, la vitesse de déplacement est très importante pour la rapidité globale de l'impression. Ici, nous pouvons régler toutes les options de manière très détaillée. En général, cependant, des déplacements plus lents permettent d'obtenir une impression de meilleure qualité.

Filaments

Utilisez les paramètres du sous-menu **Filaments** pour configurer en détail les filaments utilisés pour l'impression. Le paramètre principal est la température de la buse et du plateau pour l'impression proprement dite. Il est également possible de régler le **refroidissement**, c'est-à-dire l'activation, la désactivation et la vitesse du ventilateur d'impression. Nous pouvons également indiquer le coût du filament, afin que le prix de l'impression soit calculé correctement lors du découpage.

Imprimantes

Le dernier menu de paramètres est étroitement lié aux préréglages de l'imprimante. On peut y modifier le type de micrologiciel de l'imprimante, les dimensions d'impression et le type de G-code, y compris en saisissant son propre G-code pour l'impression. En général, il n'est pas nécessaire de trop modifier ces options. Si l'imprimante le prend en charge, il est conseillé d'activer le G-code binaire pour une génération plus rapide et des fichiers moins volumineux.



EMPOWER3D

Préparation et impression avec une imprimante 3D

Une fois le code G généré dans le slicer, nous pouvons lancer l'impression. En général (selon le type d'imprimante et sa connexion), nous enregistrons le code G du slicer sur une clé USB (ou une carte SD) et la connectons à l'imprimante lorsqu'elle est allumée. Dans ce qui suit, nous allons passer brièvement en revue les étapes avant et pendant l'impression.

Filament

L'insertion ou le remplacement du filament est l'une des principales étapes avant de commencer à imprimer. L'imprimante doit disposer du type de filament correspondant aux paramètres du logiciel de découpage. Pour retirer/insérer ou remplacer le filament, suivez les instructions du menu de l'imprimante. Avant d'insérer et d'alimenter le filament, il est conseillé de vérifier la quantité de filament (en particulier si l'imprimante ne dispose pas d'un capteur de filament) afin de s'assurer qu'elle est suffisante pour l'ensemble de l'impression souhaitée.

Coupez l'extrémité du filament en biais à l'aide d'une pince afin de faciliter son insertion dans l'imprimante. De plus, lors de l'insertion, assurez-vous que le filament ne se croise pas à aucun endroit, qu'il ne risque pas de s'emmêler pendant l'impression et qu'il se déroule correctement depuis la bobine.

Plateau d'impression

Tout d'abord, bien sûr, nous retirons toutes les impressions précédentes, y compris leurs résidus, du plateau d'impression. Le plateau d'impression doit être correctement positionné. Il est conseillé de dégraisser le plateau d'impression à l'aide d'alcool isopropylique avant de lancer l'impression afin que celle-ci adhère bien au support. Si nous anticipons des problèmes d'adhérence au plateau, nous pouvons appliquer une fine couche de colle de bureau sur le plateau.

Lancement de l'impression

Si le filament et le plateau d'impression sont prêts, nous pouvons lancer l'impression en sélectionnant le fichier G-code. Avant de lancer l'impression, vérifiez que le nom du fichier (ou l'aperçu) est correct, puis lancez l'impression. L'imprimante effectuera un pré-étalonnage et un préchauffage de la tête d'impression et du plateau, puis commencera l'impression.

Première couche

L'adhérence de la première couche au plateau d'impression est cruciale pour l'ensemble de l'impression ; il est donc conseillé de surveiller la première couche pendant un certain temps et de résoudre rapidement les problèmes d'adhérence. Nous pouvons interrompre l'impression avec un minimum de perte de temps et de matière, recalibrer la hauteur de la première couche sur l'imprimante et recommencer l'impression, appliquer un adhésif, etc.

Déroulement de l'impression

Comme les temps d'impression peuvent généralement s'étendre sur plusieurs heures, voire plus, il n'est pas possible de surveiller l'impression en permanence ; il est toutefois conseillé de la vérifier de temps à autre si possible. Plus tôt nous arrêtons une impression défectueuse, moins nous perdons de temps et de

matière, mais surtout, nous évitons d'autres problèmes.

Par exemple, si l'impression se détache du plateau et que l'imprimante continue d'imprimer dans le vide, il y a un risque que le filament colle à l'extrudeuse, à la buse et aux composants électroniques, endommageant des pièces ou nécessitant le retrait fastidieux du filament et le nettoyage de l'extrudeuse. L'impression elle-même doit avoir lieu dans une pièce sans courant d'air et à faible taux d'humidité. De manière générale, une température ambiante plus élevée est préférable. Si l'imprimante n'est pas équipée d'un boîtier de protection, toute variation de température ou de courant d'air peut entraîner des problèmes d'impression.

Fin de l'impression

L'impression s'arrête automatiquement une fois les instructions du code G exécutées. Il est conseillé d'attendre que l'impression refroidisse avant de la retirer du plateau, afin d'éviter qu'elle ne se déforme lors du retrait et de faciliter son retrait du plateau. Si le plateau d'impression est flexible, le plier légèrement d'un côté ou de l'autre facilitera le décollage de l'impression du support. Vous pouvez également utiliser une spatule (de préférence en plastique pour éviter de rayer le plateau).



Post-traitement de l'impression 3D

Dans certains cas, une impression réussie constitue le résultat final, mais dans d'autres, nous pouvons (ou devons) procéder à un traitement supplémentaire de l'impression. Les raisons peuvent varier, allant de considérations purement esthétiques à des considérations purement fonctionnelles. Examinons maintenant brièvement les options de base pour le traitement supplémentaire.

Assemblage des parties de l'impression

Il existe plusieurs raisons d'assembler un modèle (ou ses pièces) :

- Imprimer des pièces de couleurs (matériaux) différentes
- Imprimer un modèle trop grand, divisé en plusieurs parties
- Imprimer des modèles destinés à être « démontés » (par exemple, vis-écrou)

Pour les assemblages non démontables, on utilise le plus souvent la colle. Il existe toute une gamme d'adhésifs pouvant être utilisés pour coller des impressions en plastique, allant des colles instantanées, époxy et à deux composants aux adhésifs spéciaux pour plastiques. Il convient de toujours consulter les informations relatives à l'adhésif spécifique pour vérifier s'il est adapté au matériau. Les adhésifs sont relativement faciles à utiliser, mais il est essentiel de veiller à la sécurité, en particulier avec les adhésifs instantanés.

- Nettoyez, dépoussiérez et dégraissez les surfaces de contact.
- Appliquez la colle sur l'une des surfaces de contact (ou selon les instructions de la colle).
- À l'aide d'une brochette ou d'un autre outil, étalez la colle sur toute la surface de contact.
- Rapprochez les surfaces de contact et serrez jusqu'à durcissement complet.

Outre le collage, d'autres principes de liaison peuvent être utilisés, tels que la liaison chimique par attaque chimique d'une partie du plastique (acétone, chloroforme).

Lissage de surface

Une autre pratique courante utilisée pour traiter les impressions consiste à lisser leur surface. L'impression est composée de couches individuelles qui sont (plus ou moins) non seulement visibles, mais aussi en relief. En ce qui concerne l'aspect, la surface peut être retravaillée et lissée à l'aide de diverses méthodes ou combinaisons de celles-ci. De plus, après avoir retiré les supports, le brim ou le raft, des parties irrégulières peuvent également apparaître sur l'impression ; la surface doit souvent être lissée également. En raison des techniques utilisées pour le lissage, des détails sont souvent perdus, tant lors du ponçage que lors d'autres méthodes de lissage. De plus, il existe un risque de perte de matière en ponçant les contours extérieurs de l'impression. Il est donc conseillé d'imprimer le modèle que l'on prévoit de poncer de manière à ce qu'il présente des parois plus épaisses.

Le ponçage est la méthode la plus simple, mais aussi la plus laborieuse, pour lisser les impressions. On utilise du papier de verre et on ponce mécaniquement la surface. L'utilisation d'une ponceuse électrique est possible, mais à grande vitesse, il y a un risque élevé que le matériau fonde sous l'effet de la chaleur au lieu d'être poncé. Il est donc nécessaire de poncer soit à la main, soit avec beaucoup de précaution, à faible vitesse. Le ponçage convient très bien aux grandes surfaces, tandis que les très petits détails sont difficiles à poncer en raison de leur accessibilité ou, au contraire, risquent d'être complètement éliminés par le ponçage.

Des vapeurs ou des bains chimiques (acétone, chloroforme) peuvent également être utilisés pour le lissage, mais l'utilisation de produits chimiques n'est pas sans danger dans un environnement scolaire.

Colmatage et apprêt

On utilise l'**enduisage** pour combler les trous ou les interstices dans le matériau. Dans ce cas, on ajoute du matériau (mastic). Il faut toutefois travailler avec précaution pour ne pas altérer les détails de l'impression. Dans le cas de détails fins, l'enduisage est pratiquement impossible. On peut appliquer du mastic acrylique, mais aussi du mastic silicone. Il est conseillé de combiner l'application du mastic avec **un ponçage** ultérieur. L'**apprêt** consiste à appliquer une couleur de base qui sert non seulement de couche intermédiaire pour la finition finale, mais comble également les irrégularités mineures, par exemple la visibilité des couches. Pour l'apprêt également, nous pouvons combiner le processus avec **un ponçage**. Il est également nécessaire de choisir des peintures qui adhèrent bien au matériau et de ne pas appliquer une couche trop épaisse.

Finition finale de la surface

Si l'aspect de l'impression nous tient à cœur, nous procédons souvent à une retouche finale. Nous pouvons adopter une approche pratique pour la finition de la surface – par exemple, en appliquant un vernis protecteur – ou une approche créative – en colorant l'impression à notre goût avec toute une gamme de couleurs.

La peinture est sans doute la méthode la plus classique de traitement de surface. Vous pouvez peindre l'ensemble du modèle d'une seule couleur, mais vous pouvez également le peindre selon vos envies. Si nous ne disposons pas d'une imprimante multicolore (et même avec celle-ci, nous sommes limités dans le nombre de couleurs), nous pouvons obtenir un produit en couleur. Avant de colorer, il est conseillé d'appliquer une couleur de base (et éventuellement de poncer et de sceller) pour une meilleure tenue de la couleur. La peinture peut être appliquée au pinceau, au pistolet ou à l'aérographe.

Par **vernissage**, on entend l'application d'un vernis transparent (mat ou brillant) sur la surface finale. Ce vernis peut être appliqué directement sur le modèle imprimé brut (par exemple, simplement pour protéger la surface) ou en couche sur une surface déjà traitée (poncée, peinte, etc.). Le vernis s'applique là encore au pinceau, au pistolet ou à l'aérographe.

Le polissage a déjà été évoqué dans la section consacrée au ponçage ; il s'agit « simplement » d'un raffinement supplémentaire lors du ponçage de la surface à l'aide de pâtes à polir (de préférence pour les plastiques). De cette manière, on peut obtenir une surface fine, lisse et brillante, même sans peinture ni vernis. Cependant, il n'est pas possible de polir une impression rugueuse ; il est toujours nécessaire de poncer d'abord la surface jusqu'à un grain relativement fin (par exemple 3000).

