

DOSSIER RESSOURCE

IMPRESSION 3D SUR MAKERBOT REPLICATOR 2

Contraintes techniques et utilisation de l'outil

Sommaire :

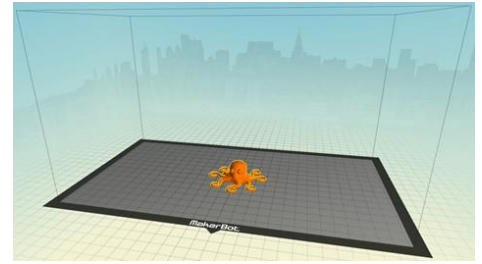
1-	Dimensionnement des pièces imprimables	2
1-1-	Dimensions maximum	2
1-2-	Pièces mobiles	2
1-3-	Précision des cotes de la pièce.....	2
1-4-	Mise à l'échelle de la pièce	2
2-	Précision d'impression des couches de matière	2
3-	Gestion des "porte à faux"	3
4-	Solidité de la pièce.....	4
4-1-	Déformation de la matière	4
4-2-	Résistance aux contraintes	4
4-3-	Stabilité de la pièce pendant l'impression	5
4-4-	Epaisseur de parois	5
5-	Finition de la pièce.....	5
6-	Logiciel MakerWare.....	5
6-1-	Format de fichier	6
6-2-	Interface	6
6-3-	Lancement de l'impression (boîte de dialogue "Make-it")	7

1- Dimensionnement des pièces imprimables

1-1- Dimensions maximum

Les pièces à imprimer doivent pouvoir entrer dans un bloc de 28,5 x 15,3 x 15,5 cm (bloc représenté sur l'interface du logiciel MakerWare : voir image ci-contre).

Cependant, si l'objet à imprimer est trop grand, il peut toujours être imprimé en plusieurs parties et rassemblé par la suite à l'aide de colle et d'un peu de finition.



1-2- Pièces mobiles

Lorsque vous créez un modèle 3D qui comporte des pièces mobiles, telles que des engrenages, des rouages ou des maillons de chaîne, pensez à prévoir suffisamment d'espace entre elles. S'il n'y en a pas assez, vous risquez en effet de vous retrouver avec un objet monobloc.

Éléments mobiles : interstice de 0,4 ou 0,5 mm sur chaque côté

Emboîtement parfait : espace de 0,1 à 0,25 mm préférable pour éviter la désolidarisation

1-3- Précision des cotes de la pièce

La REPLICATOR 2 est une machine d'une précision redoutable. Néanmoins, les ingénieurs et les designers qui souhaiteront des pièces de dimensions très précises devront se souvenir du pourcentage de contraction de la matière utilisée après refroidissement :

ABS : 2 %

PLA : 0,2 %

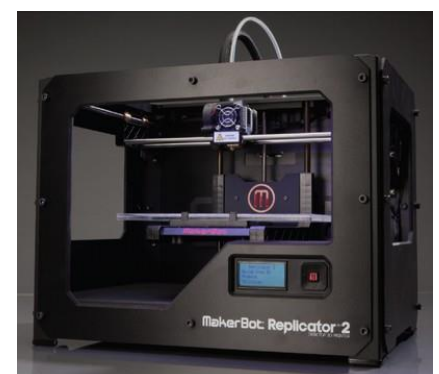
Le PLA est donc un matériau plus approprié pour un travail de précision.

1-4- Mise à l'échelle de la pièce

Pour fabriquer un objet avec des dimensions très précises, vous devrez le dessiner à l'échelle dans le logiciel de modélisation, en tenant compte de la contraction du plastique. Notez que la plupart de ces modélisateurs offrent également la possibilité de redimensionner une pièce. Sinon, vous pourrez facilement mettre votre modèle à l'échelle dans MakerWare (logiciel d'impression de la REPLICATOR 2).

2- Précision d'impression des couches de matière

L'épaisseur minimale d'impression dépend de plusieurs facteurs comme le niveau de résolution du système de positionnement, la taille de la buse ou le matériau d'impression.



En effet, même si la REPLICATOR 2 peut positionner la goutte de plastique qui sort de l'extrudeur avec une incroyable précision, le filament possédera toujours une certaine épaisseur.

La véritable qualité d'une impression dépend donc de la résolution par couche, qui est fonction de la précision de l'axe Z, de la taille de la buse et des performances de l'extrudeur.

Pour la REPLICATOR 2 :

résolution minimale par couche = 100 microns = 0,1 mm

3- Gestion des "porte à faux"

Un porte-à-faux est une partie d'un objet située au-dessus du vide. Étant donné que la REPLICATOR 2 travaille couche par couche, il peut donc être difficile de fabriquer un objet comportant ce type d'élément, sans points d'appui suffisants.

Mais comme la goutte de plastique n'est pas de largeur nulle, il reste possible de fabriquer un porte-à-faux si on introduit un très léger décalage en déposant chaque couche de matériau sur la précédente.

Grâce à sa grande vitesse d'impression et à l'élasticité du matériau, il est en effet possible de créer de courtes passerelles de plastique entre deux points sans le moindre support. Si votre objet comporte deux zones séparées par un vide, l'extrudeur peut étirer entre elles une goutte de plastique, et une fois celle-ci solidifiée, imprimer par-dessus. Mais il s'agit d'une technique avancée dont le succès n'est pas garanti. Il dépendra du matériau utilisé, de la vitesse de déplacement, de la température et... de la phase de la lune.

Si votre objet comporte beaucoup de porte à faux, il risque parfois d'être un peu filandreux ou pelucheux au niveau de ces zones (voir figure 1). Cela dit, beaucoup de designers sur Thingiverse (site de téléchargement de modèles 3D pour l'impression) utilisent des porte-à-faux pour créer des objets incroyables.

L'imprimante n'aura aucun problème à imprimer jusqu'à environ 45° par rapport à une surface d'impression verticale. À partir de cet angle, les filaments déposés auront plus de difficulté à adhérer à la pièce et tomberont parfois dans le vide.

Pour les pièces problématiques, plusieurs solutions s'offrent à vous :

- ✓ **Couper** : On peut scinder le modèle de façon à pouvoir le rassembler par la suite à l'aide de colle ou d'assemblages mécaniques.
- ✓ **Réorienter** : Parfois, il suffit de changer l'angle d'impression pour passer d'un volume problématique à une pièce parfaite.
- ✓ **Fonction support** : On active la fonction dans le logiciel d'impression 3D qui permet de créer un support. Il faudra toutefois supprimer ce support en fin d'impression et nettoyer manuellement les parois supportées.
- ✓ **Repenser** : Si l'objet que vous tentez d'imprimer est encore en cours de conception, vous pouvez faire quelques légères modifications au design et ainsi le rendre propre à l'impression sans support.

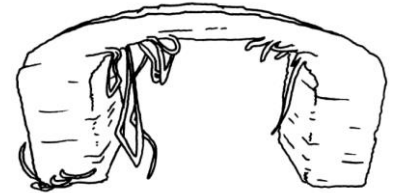


Figure 1 : affaissements de matière et couches filamenteuses sous un porte-à-faux

- ✓ **Autre technologie** : Comme dans l'industrie, il est parfois préférable de passer à un autre type de fabrication assistée par ordinateur : MJM (**M**odelage à **J**ets **M**ultiples) ou autres types d'impression 3D, moulage, découpe laser, fraisage numérique...

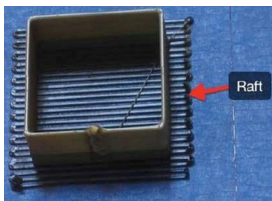
Dans certains cas, il vous suffira de faire pivoter l'objet sur la plateforme virtuelle de MakerWare, ainsi, une voûte ne nécessite aucun support si elle est tout simplement retournée.

Une autre solution pour s'affranchir de ces contraintes de fabrication consiste à créer manuellement une structure, qui soutiendra les zones non traitées par MakerWare. Par exemple, l'ajout de murs de 0,35 mm tous les 1 cm devrait être plus que suffisant pour créer un pont au-dessus d'un vide.

4- Solidité de la pièce

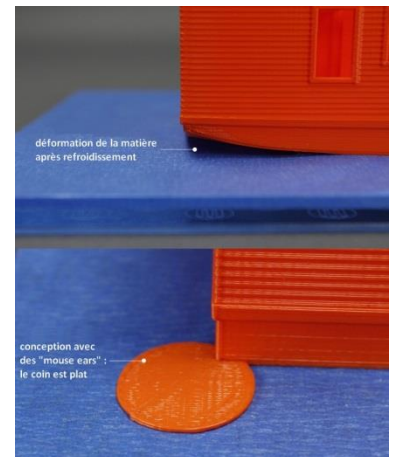
4-1- Déformation de la matière

Si vous avez dessiné un objet très long, large et plat, les coins risquent de se courber pendant l'impression. En effet, quand le plastique extrudé refroidit, il se contracte légèrement. Ce problème affecte plus fortement l'ABS, mais le PLA est également concerné.



La solution la plus simple pour éviter ce problème est de prévoir un "raft", autrement dit un large treillis imprimé sous la première couche de la pièce, pour permettre à cette dernière d'adhérer à la plate-forme (voir image ci-contre).

Pour pallier ce défaut, certains utilisateurs impriment des cloisons ou des enceintes de protection qui entourent le plateau d'impression. Le but de ces parois est d'empêcher l'arrivée d'air froid sur la base du modèle et de maintenir l'objet à une température relativement constante. Les designers qui travaillent chez MakerBot tiennent souvent compte de ce problème dès la conception de leurs objets, en y ajoutant dans les coins des "mouse ears" (littéralement, oreilles de souris : voir image ci-contre). Il s'agit de petites structures circulaires et planes qui jouent le rôle de mini-rafts, en permettant à l'objet de mieux adhérer à la plate-forme et de refroidir de façon plus uniforme.



Même si vous imprimez avec du PLA, vous partagerez probablement votre modèle avec des makers qui utiliseront de l'ABS ou une imprimante 3D moins récente et plus contraignante. Il vaut donc mieux connaître ces contraintes, même si vous imprimez en PLA sur une REPLICATOR 2 sans rencontrer le moindre problème.

4-2- Résistance aux contraintes

Bien que le matériau d'impression soit assez résistant en lui-même, un objet imprimé en 3D ne sera pas aussi robuste qu'une pièce moulée ou usinée, puisqu'il est composé d'une série de couches.

Plus précisément, sa résistance ne sera pas la même dans toutes les directions : il sera plus fragile entre les couches (sur l'axe vertical Z) que sur les axes X ou Y. Soumises à des contraintes extrêmes, les couches sont d'ailleurs connues pour se délaminer. Il faut s'en souvenir si l'on souhaite concevoir des pièces résistantes.

4-3- Stabilité de la pièce pendant l'impression

Il est préférable d'avoir, sur votre modèle 3D, une surface plane suffisamment grande pour adhérer à la surface d'impression pour éviter toute instabilité de la pièce lors de l'impression.

4-4- Epaisseur de parois

Afin de pouvoir être imprimées, vos parois doivent avoir une épaisseur minimale de 0,5 mm. Si votre fichier doit être mis à l'échelle avant d'être imprimé, n'oubliez pas que les parois aussi seront redimensionnées. Si votre fenêtre de maison fait 10 mm sur votre modèle à échelle 1 :1, elle ne fera plus que 0,01 mm à l'échelle 1 :100.

Si votre modèle forme un volume fermé mais creux, il n'est pas nécessaire de mettre une épaisseur, car le logiciel MakerWare générera automatiquement le remplissage.

5- Finition de la pièce

Pour obtenir une surface bien lisse, voici quelques principes à retenir. Il faut déjà savoir que les surfaces courbes possèdent généralement un aspect plus doux que les planes, car pour les imprimer, l'extrudeur suit un chemin fermé, sans discontinuités. Par conséquent, si vous dessinez un mur très fin, d'une épaisseur égale à celle de l'extrudeur, il devra constituer une courbe fermée ou être relativement long, sinon le résultat ne sera pas satisfaisant.

Les objets correspondant à de courts trajets de l'extrudeur demeurent généralement problématiques, même si ces chemins sont des courbes fermées, car le matériau n'a pas suffisamment de temps pour refroidir (malgré l'aide active du ventilateur de la Replicator 2).

Quel que soit le modèle 3D, une petite finition est toujours la bienvenue. Les objets peuvent ainsi être poncés et peaufinés. Dans le cas de pièces en ABS, un peu d'acétone permettra d'atténuer les petits défauts. Certains utilisent un vernis, de la peinture à base d'email, de la résine époxy ou de la peinture en aérosol pour lisser la surface.

Des finitions d'aspect métallique ont été également mises au point.

6- Logiciel MakerWare

Ce logiciel va vous permettre de visualiser votre modèle dans les conditions d'impression (placement, taille, orientation, ...). Il est possible de se passer de MakerWare et d'utiliser l'imprimante en direct grâce à la carte SD.



6-1- Format de fichier

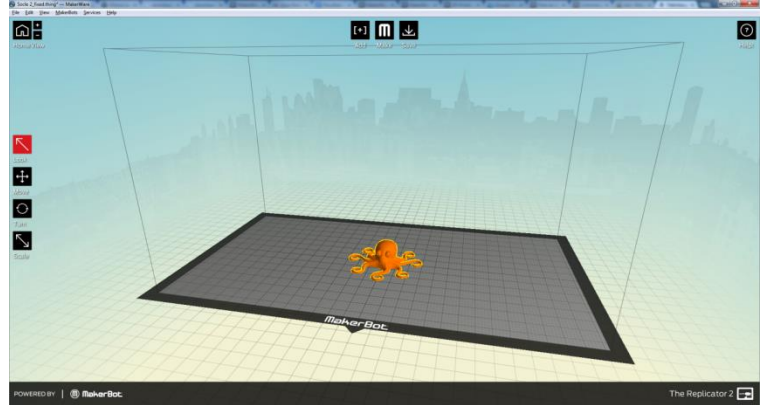
2 formats possibles : **STL** ou **OBJ**.

La plupart des logiciels 3D peuvent exporter ce type de fichier. Ce format transforme vos surfaces et volumes en un maillage triangulaire appelé « mesh ». Il peut être plus ou moins dense en fonction de la résolution que vous lui avez donné au moment de l'exportation.



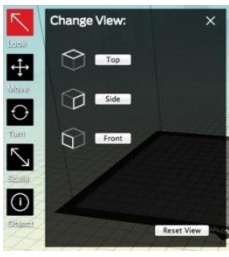
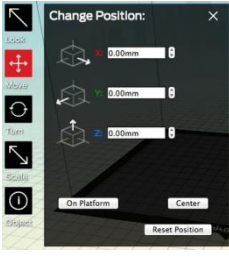
6-2- Interface

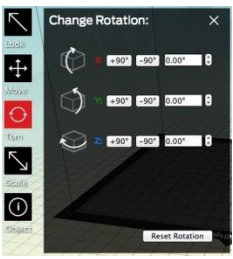





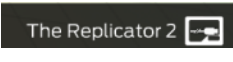
A l'ouverture du fichier, le modèle figure au centre de la zone grise quadrillée. C'est la représentation par MakerWare de la plaque de construction de la REPLICATOR 2.

Les lignes qui partent des coins de la plaque de construction représentent l'espace maximal que peut atteindre votre objet.



Commandes (enregistrement des fichiers ou visualisation et manipulation des objets) :

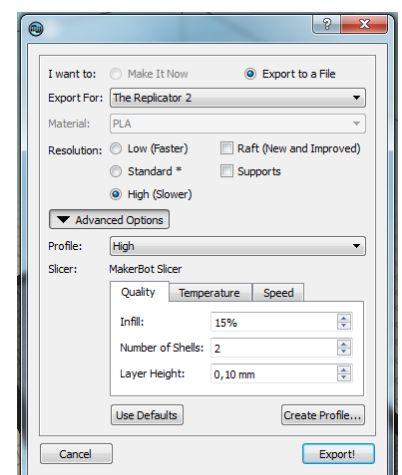
Icône / fenêtre	Nom de l'outil	Fonction
	Caméra d'accueil	Remet la vue par défaut de l'objet
	Zoom avant et arrière	Zoomer et dézoomer (possibilité d'utiliser la molette de défilement de la souris)
	Look	Mode « regarder » (possibilité appui sur la touche L) : <ul style="list-style-type: none"> ✓ pivotement de la plaque et de l'objet ✓ accès au sous-menu « Modification de la Vue » (choix vue de dessus, de côté ou de face) ✓ réinitialisation de la vue.
	Move	Mode "déplacer" (possibilité appui sur la touche L) : <ul style="list-style-type: none"> ✓ déplacement de l'objet autour de la plaque ✓ accès au sous-menu « Changement de position » (déplacement de l'objet selon l'axe x, y ou z) ✓ pose de l'objet sur la plateforme ✓ centrage de l'objet ✓ réinitialisation de la position

	Turn	<p>Mode "rotation" (possibilité appui sur la touche T) :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ pivotement de l'objet par rapport à la plaque ✓ accès au sous-menu « Changement de rotation » (pivotement de l'objet selon l'axe x, y ou z) ✓ réinitialisation de la rotation
	Scale	<p>Mode "échelle" (possibilité appui sur la touche S) :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ agrandissement ou rétrécissement de l'objet ✓ accès au sous-menu « Changement de dimensions » (redimensionnement de l'objet selon l'axe x, y ou z) ✓ redimensionnement uniforme ou non ✓ agrandissement d'un objet à la taille maximale ✓ réinitialisation du redimensionnement
	Add	<p>Ajout d'un objet sur la plaque de construction (possibilité d'ajouter plusieurs objets à condition qu'ils puissent tenir sur la plaque)</p>
	Make	<p>Ouverture de la boîte de dialogue Make-it (voir paragraphe suivant), où vous pouvez spécifier la résolution d'impression et d'autres options d'impression et envoyer votre objet à votre MakerBot pour la construction.</p>
	Save	<p>Sauvegarde de la plaque actuelle dans un fichier pour un usage ultérieur :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ .stl (binaire ou ASCII) : les éventuels multiples objets sont fusionnés en un seul objet. Équivalent à des calques aplatis dans Photoshop. Privilégiez binaire. ✓ .thing : un .stl dont chaque sous-ensemble est libre. Équivalent aux calques Photoshop dans un .psd
	Help	<p>Ouverture d'un guide des fonctions de base de MakerWare</p>
	Barre d'état	<p>Affichage de l'état de votre connexion à votre imprimante et le statut d'une impression en cours (barre en bas de la fenêtre MakerWare)</p>

6-3- Lancement de l'impression (boîte de dialogue "Make-it")

- ✓ **Export For** : Sélection du type MakerBot dans le menu déroulant. Si votre MakerBot est connectée à votre ordinateur, elle devrait être sélectionnée automatiquement.

Astuce : Si vous envisagez d'imprimer à partir d'une carte SD et pas directement à partir de MakerWare, sélectionner "Export to a file" en haut de la boîte de dialogue au lieu de

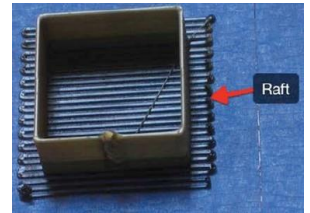


"Make it now". Si votre MakerBot n'est pas connecté à votre ordinateur, "Export to a file" sera sélectionné automatiquement.

- ✓ **Material** : Choix du type de filament plastique utilisé.
- ✓ **Resolution** : Choix de la qualité d'impression.

"High resolution" donne un résultat plus détaillé mais une impression plus longue.

- ✓ **Raft** : Case à cocher si vous voulez que votre objet soit construit sur un ratier. C'est une grille imprimée à la base de l'objet permettant d'assurer un bonne accroche sur le plateau. Le raft prodigue une meilleure accroche de la pièce sur le plateau mais cette méthode a des défauts puisqu'elle laisse des marques à la base de l'objet.



- ✓ **Supports** : Case à cocher si vous voulez que votre objet soit aidé par des structures de soutien. Les supports sont à activer chaque fois qu'une pièce comporte des "portes-à-faux". Les supports augmentent considérablement le temps d'impression, la consommation de matière et surtout, marquent la pièce.
- ✓ **Advanced Options** : Cela ouvre un menu avec des options supplémentaires (sur l'image de la page précédente, les options avancées ont déjà été ouvertes).
- ✓ **Profile** : Choix du profil d'impression (High, Standard ou Low). Les paramètres par défaut du profil sélectionné apparaissent dans la zone située en dessous.
- ✓ **Onglet "Quality"** : modification de la qualité d'impression.

1. Le **remplissage** ou **Infill** correspond à la structure interne de votre objet (structure en nid d'abeille). Un pourcentage plus élevé se traduira par un objet plus solide, donc 100% de remplissage rendra votre objet complètement solide, tandis que 0% de remplissage vous donnera quelque chose de complètement creux. Les valeurs suggérées sont :

03% : pièce relativement fragile, très légère et rapide à imprimer

05% : une pièce déjà plus solide mais encore rapide à imprimer

10% : le compromis standard entre solidité et durée d'impression

15~20% : la durée d'impression augmente, le poids de la pièce également et la sensation de qualité suit

≥25% : pièce très solide

≥35% : inutile

2. Le **nombre d'épaisseurs** ou **Number of Shells** correspond aux lignes extérieures imprimées sur chaque couche de votre objet. Plus d'épaisseurs aboutit à un objet plus solide. Sur une pièce qui n'est pas amenée à supporter des pressions mécaniques trop importantes, on peut abaisser le taux de remplissage et augmenter le nombre de parois. Les valeurs suggérées sont :

1 paroi : pièce fragile

2 parois : valeur par défaut

3 parois : solidité sensiblement accrue

4 parois : pièce très rigide

≥5 parois : a priori inutile

3. La hauteur des couches ou **Layer Height** définit l'épaisseur de chaque couche. Plus la hauteur de la couche est petite, plus la résolution verticale de votre objet est fine. Les hauteurs de couches plus petites rendent mieux, mais elles augmentent aussi considérablement le temps d'impression : pour chaque couche que vous souhaitez imprimer à 0,3 mm, vous devrez imprimer trois couches à 0,1 mm. La consommation de plastique ne sera pas augmentée.

100 µm : le plus haut niveau de finition, environ 3 fois plus long que le 270 µm, les couches sont parfois quasi-invisibles

150 µm : valeur intermédiaire, priorité qualité

200 µm : valeur intermédiaire, priorité vitesse

250 µm : pour impression rapide de brouillon

> 250 µm : non pertinent

- ✓ **Onglet "Temperature"** : réglage de la température de l'extrudeuse.

Vous pouvez par exemple réduire la température de l'extrudeuse d'une dizaine de degrés si vous imprimez très lentement. Néanmoins les températures conseillées sont :

230°C : température standard (PLA de provenance américaine)

220°C : si le plastique est trop liquide à 230°C (PLA d'origine chinoise)

Il faut savoir que le **PLA** d'origine chinoise est moins cher mais est surtout de moins bonne qualité que celui d'origine américaine. Il est souvent plus cassant montre parfois des marques de brûlure.

- ✓ **Onglet "Speed"** : L'onglet de **vitesse** couvre deux paramètres. La vitesse lors de l'extrusion (Speed while Extruding) est à la fois la vitesse à laquelle votre extrudeuse se déplace lorsqu'il y a extrusion de plastique et la vitesse à laquelle le plastique sort de l'extrudeuse. Cette vitesse doit être suffisamment lente pour que la couche extrudée se lie avec la couche en dessous. L'extrudeuse peut aller plus vite quand elle n'extrude pas de plastique, nous avons donc un réglage séparé pour cela: la vitesse lors du déplacement (Speed while Traveling). On peut se positionner à 120 mm/s la plupart du temps et monter à 200 mm/s en vitesse d'extrusion sur des pièces simples.

Vous pouvez toujours revenir aux paramètres d'origine du profil sur lequel vous travaillez en cliquant sur le bouton Use Defaults en bas à gauche de la boîte de dialogue.

- ✓ **Cancel** : Annulation de l'impression.
- ✓ **Export!** (si "Export to a File" sélectionné en haut de la fenêtre) : Créer un fichier (extension ".thing") pour imprimer ultérieurement
- ✓ **Make-it !** (si "Make it Now" sélectionné en haut de la fenêtre): Envoyer le fichier à la Replicator 2 pour impression immédiate.