

REPRAP

Published : 2013-12-06
License : None

INTRODUCTION

1. QU'EST-CE QU'UNE REPRAP ?
2. HISTORIQUE DU PROJET REPRAP
3. POURQUOI FABRIQUER SA REPRAP ?
4. QUEL MODÈLE DE REPRAP CHOISIR ?

1. QU'EST-CE QU'UNE REPRAP ?

Une RepRap est une abréviation de langage pour dénommer une imprimante 3D dont le modèle a été conçu et documenté par le projet RepRap.org. C'est une machine de prototypage rapide à construire soi-même qui utilise la technologie du dépôt de fil fondu (FFF : *Fused Filament Fabrication*) pour réaliser des objets à partir de filament de plastique, le plus couramment en ABS ou en PLA.

A QUOI ÇA SERT ?

Une RepRap sert à réaliser des objets en plastique à partir de fichier 3D.

En partant de cette définition très large, c'est à chaque constructeur/ utilisateur d'en définir à son sens l'usage opportun. Elle est, par exemple, l'allié idéal d'un architecte dans ses réalisations de maquettes, d'un roboticien dans la conception d'éléments mécaniques, d'un designer ou artiste pour la création de nouveaux objets et plus ouvertement, elle est l'outil privilégié pour tout bricoleur en quête de nouvelles façons de réparer, bidouiller, d'inventer, de détourner de nombreux objets.

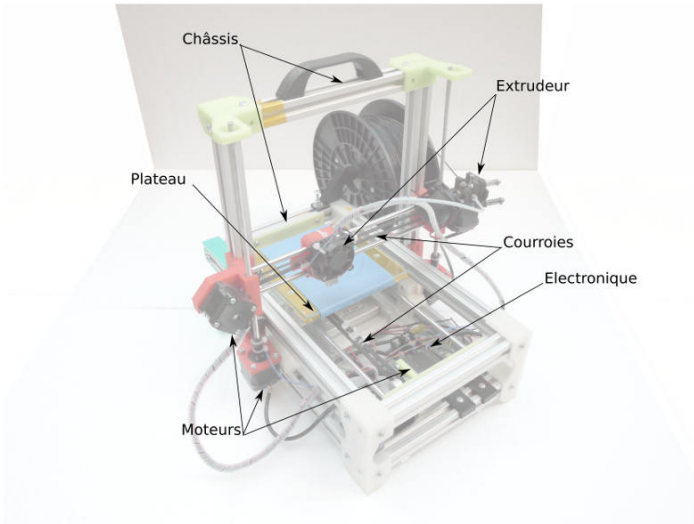
Que ce soit dans un but esthétique ou utilitaire, la RepRap ouvre des possibilités à de nombreux utilisateurs pour d'innombrables applications. Mais pourtant, elle ne fait tout de même pas tout.

À QUOI CELA NE SERT PAS ?

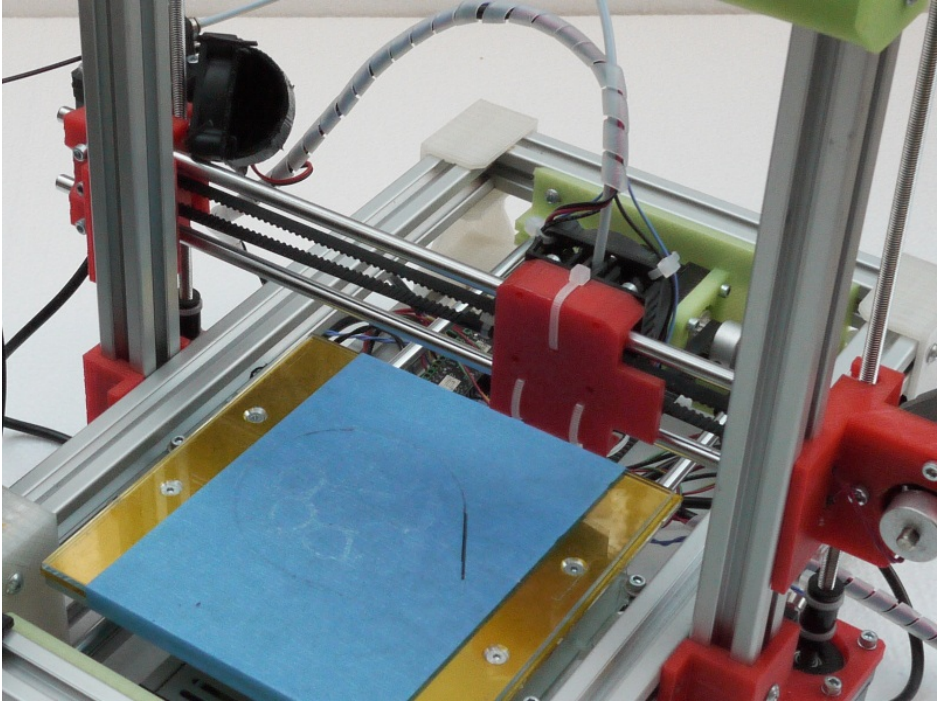
Plus que des limites dans les usages, elle possède certaines limites techniques. Ainsi, certains niveaux de finesse sont difficiles à atteindre, comme par exemple obtenir des figurines de petites dimensions très détaillées. Il ne faut pas non plus vous attendre à pouvoir réaliser des objets composés de multiples matériaux.

DESCRIPTION DES PIÈCES PRINCIPALES

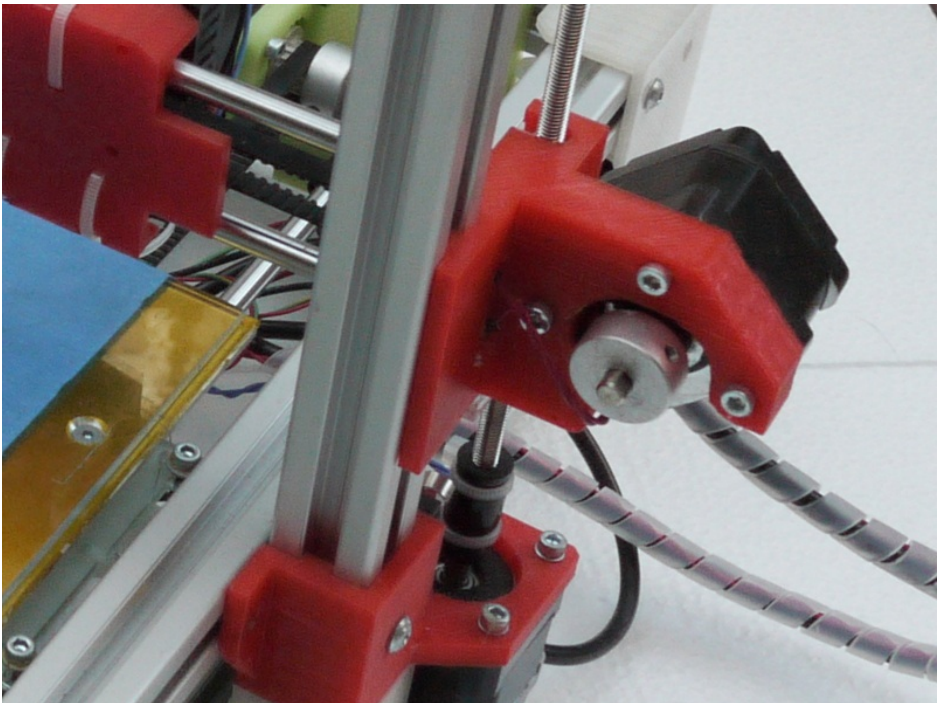
Il existe de nombreux modèles de RepRap qui seront décrits ultérieurement, mais hormis quelques spécificités propres à chaque modèle, elles sont toutes composées des mêmes éléments.



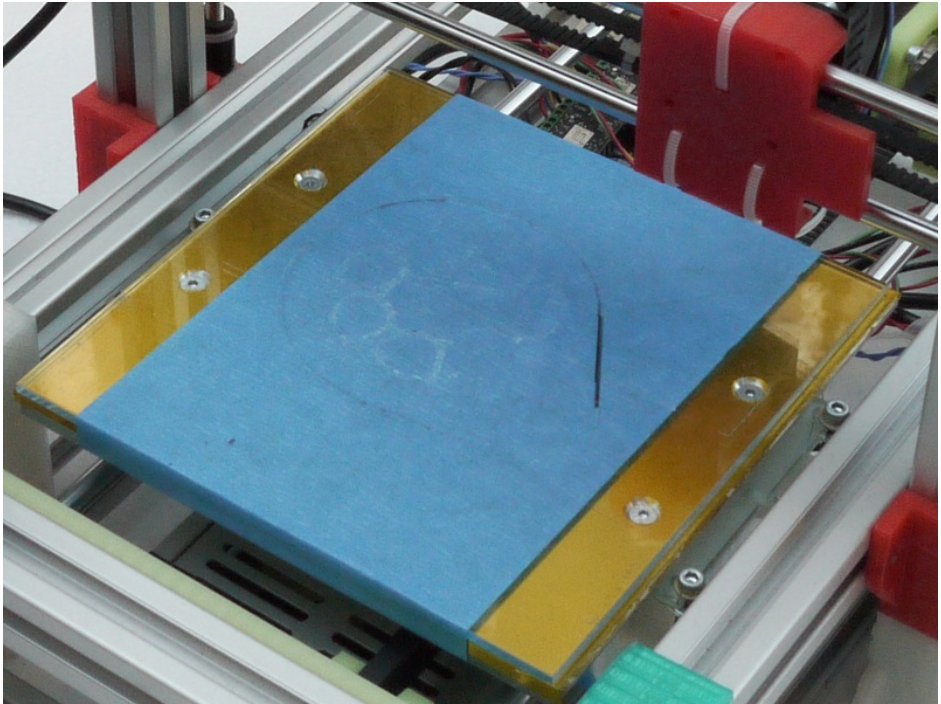
- un châssis fixe qui supporte les 3 axes orthogonaux (X,Y,Z)
- les axes X, Y, Z



- les courroies des axes
- les poulies et les moteurs pas-à-pas qui entraînent ces courroies et avec elles, le plateau et la buse de la machine



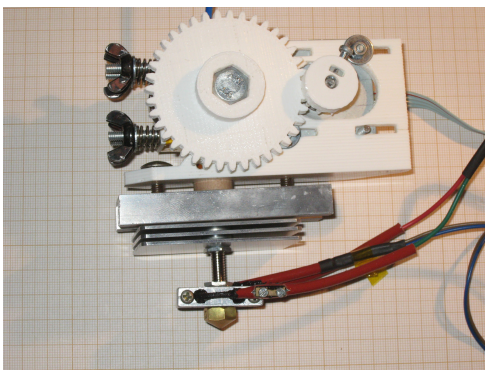
- un plateau d'impression équipé d'un lit chauffant où va s'imprimer couche par couche l'objet en plastique



- un extrudeur composé d'une partie entraînant le filament et une partie qui permet de faire fondre ce filament : la buse de la machine.



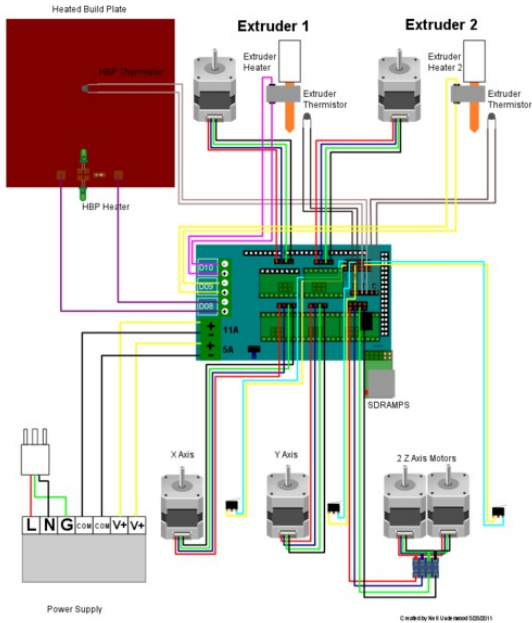
1. https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing



- une carte électronique : il en existe différents modèles dédiés au pilotage d'une imprimante 3D : Ramps, Sanguino, Gen 6, Gen7, Smoothie...

Voici un exemple de câblage d'une carte Ramps avec les différents éléments de la machine :

RepRap Arduino Mega Pololu Shield 1.4



<http://reprap.org/mediawiki/images/6/6d/Rampswire14.svg>

L'alimentation électrique de l'ensemble, comme une alimentation ATX utilisée pour alimenter un ordinateur de bureau ou alimentation 12 Volts ou 24 Volts, selon votre électronique et de 200 à 300 W de puissance. Faites attention de bien dimensionner votre alimentation pour qu'elle ait le meilleur rendement possible.

À PROPOS DE CE LIVRE

Ce livre est destiné à toute personne, du jeune technophile au retraité, du bidouilleur au g33k, animé par la curiosité autour de l'impression 3D et l'envie de monter ou de participer au montage d'une RepRap.



Cet ouvrage a été réalisé durant un libérathon* qui s'est tenu sur quatre jours à Rennes, du 3 décembre au 6 décembre 2013. Initié et soutenu par l'Organisation Internationale de la Francophonie (OIF*); ce libérathon a connu la participation des co-rédacteurs suivants :

- Cédric Doutriaux, chargé de projets à PiNG spécialisé sur la question des fablabs ;
- Alexandre Korber, fondateur d'Usinette ;
- Ursula Gastfall, fondateur d'Usinette ;
- John Lejeune, coordinateur du labfab de Rennes ;
- Arthur Wolf, membre du tyfab et fondateur du projet Smoothieware ;
- Guillaume Caressel, membre du petit fablab de Paris ;
- Kossigan Roland Assilevi, Ingénieur Informaticien et facilitateur ;
- Elisa de Castro Guerra, graphiste, formatrice et facilitatrice.
- Merci à Baptiste, relecteur présent sur place une journée.

Organisation du livre

Suite à cette succincte présentation, ce livre développera plus amplement :

- une première partie qui explique les origines de la RepRap et présente les différentes machines ;
- une deuxième partie qui explique le montage ;
- une troisième partie sur le procédé d'impression 3D ;
- une dernière partie sur l'utilisation courante de l'imprimante 3D ;
- en annexe vous trouverez un glossaire ainsi que quelques informations sur des lieux où trouver du matériel.

UN LIVRE VIVANT

N'hésitez pas à participer à cet ouvrage !

Faites-nous part de vos commentaires dans la liste de diffusion de Flossmanuals francophone. Si vous avez des talents de rédacteur et une bonne connaissance des sujets abordés, vous êtes les bienvenus en tant que contributeur. Inscrivez-vous pour enrichir les contenus et/ ou créer de nouveaux chapitres.

Ce livre libre est disponible sous plusieurs formats et supports : en ligne, en html, au format pdf ou epub et en livre imprimé.

Publié sous licence G.P.L., ce livre peut être lu, copié et distribué librement sous les mêmes conditions.

Vous consultez l'ouvrage publié le 6 décembre 2013.

Les mots suivis d'un astérisque (*) sont décrits dans le glossaire en fin d'ouvrage.

2. HISTORIQUE DU PROJET

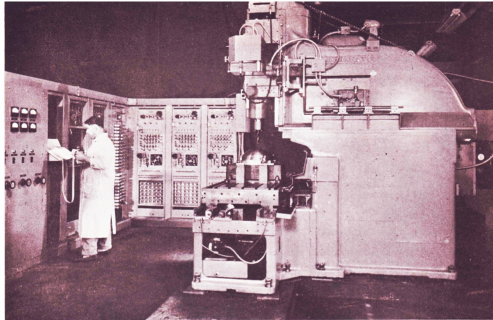
REPRAP

Ce chapitre explique l'origine de l'impression 3D. Contrairement à ce que l'on entend communément, l'impression 3D ne naît pas d'une envie récente, mais fait suite à une volonté bien plus ancienne, dès les années 1970.

L'ORIGINE DU PROTOTYPAGE RAPIDE



Popular Science
AUGUST, 1953



Too big yet for home shop, this MIT milling machine is run by computer-control at left.

Le prototypage rapide est une technique permettant de fabriquer des objets solides à partir d'un modèle numérique.

Les premières machines de fabrication à commande numérique (CNC)* sont nées dans les années 50. Il s'agissait alors principalement de tours et de fraiseuses, mais qui étaient destinées à la production, non au prototypage.

Au fil de l'évolution de ce type de machines est inventé le **G-Code*** dans les années 60 : un langage normalisé de pilotage de machines à commandes numériques. Ce langage sera plus tard utilisé avec les RepRaps.

C'est une équipe constituée d'Alain le Méhauté (Alcatel), Olivier de Witte (Cilas) et de Jean-Claude André¹ (CNRS) qui ont breveté le premier procédé d'impression 3D en 1984² : la **stéréolithographie***. Peu convaincu de l'intérêt de cette technique Alcatel et Cilas abandonnera rapidement ces brevets.

Dans la seconde moitié des années 80 apparaît la première machine de stéréolithographie commerciale, le procédé est breveté par Chuck Hull et diffusé par son entreprise 3D Systems.

Il s'agit d'un système de photo-polymérisation d'une résine à l'aide de lasers. Contrairement aux machines-outils traditionnelles, ce type de machine construit les objets par ajout de matière et non par retrait (c'est la fabrication additive*). On peut donc fabriquer directement un objet à partir d'un modèle 3D, sans préoccupation du parcours de l'outil, sans moule, et donc créer (relativement) rapidement des formes complexes et impossibles à fabriquer autrement.

Le format **STL*** est d'ailleurs créé à cette occasion dans cette entreprise. C'est un format de fichier 3D qui décrit la surface d'un objet, et qui est actuellement le standard utilisé en impression 3D.

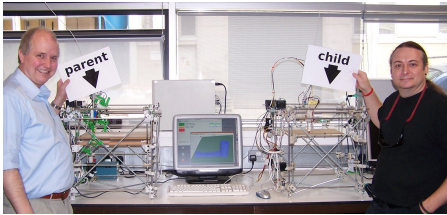
A la même époque, la société Stratasys dépose un brevet sur le procédé **FDM** *(Fused Deposition Modeling) qui consiste à construire un objet à partir de plastique fondu et extrudé en couches successives. C'est ce procédé qu'utilise une RepRap sous le nom de (**FFF*** : Fuse Filament Fabrication).

Depuis, différents autres procédés sont apparus, comme le **SLS*** (Selective Laser Sintering) qui consiste à polymériser une poudre, par couches successives avec un laser, ou le **SLA** (Stéréolithographie Apparatus) utilisant de la résine photo-polymérisante sensible aux ultraviolets.

Tous ces systèmes utilisés par les entreprises restent assez coûteux (en machines, comme en consommables), et sont donc de ce fait restés inaccessibles au commun des mortels. Il fallut attendre 2005 et le projet RepRap pour diffuser cette technologie au plus grand nombre.

Aujourd'hui l'impression 3D se diversifie et se répand dans tous les corps de métiers. De nouvelles techniques apparaissent presque chaque jour et il est impossible d'en faire une liste exhaustive. On imprime aujourd'hui des oreilles (<http://ppfr.it/hw1/>) ou des maisons (<http://ppfr.it/hw0>).

L'ORIGINE DU PROJET REPRAP



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/First_replication.jpg

Le projet RepRap.org est initié en 2005 (ouverture du blog.reprap.org en mars 2005) par Adrian Bowyer, docteur en Tribologie (la science du frottement) et professeur à l'université de Bath en Angleterre. Il travaille spécifiquement sur l'autoréplication en ingénierie, issue de la biomimétique*.

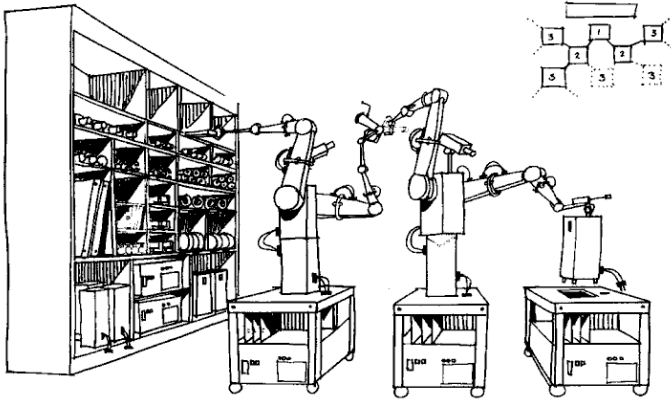
L'objectif du projet RepRap est de développer une machine de prototypage rapide capable d'imprimer des objets en plastique, financièrement et techniquement accessible à tous. On peut fabriquer soi-même cette machine grâce à une documentation internet dédiée qui se déploie via de nombreux sites, wikis*, blogs, forums.

Cette machine rend la technologie du prototypage rapide accessible à un plus large public, elle permet à des non-spécialistes de s'approprier cet outil, jusqu'alors réservé aux industriels, et de pouvoir ainsi la réparer, la modifier et l'adapter à de nouveaux usages. Elle engage dans ce domaine une autre manière d'envisager la fabrication numérique et initie une mutation au moins aussi vaste que celle apportée par les systèmes d'exploitation et les logiciels libres dans l'univers informatique.

OPEN HARDWARE, LES BASES D'UNE MACHINE OPEN SOURCE

Comme pour les logiciels libres, l'open hardware comprend ses modes de fonctionnement, des licences spécifiques, une documentation qui permet le partage et l'appropriation des connaissances. Une communauté relaie auprès de futurs constructeurs/utilisateurs les diverses avancées.

SPÉCIFICITÉS DE LA REPRAP, L'AUTORÉPLICATION



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Advanced_Automation_for_Space_Missions_figure_5-29.gif

RepRap s'appuie sur une approche autorépliquante selon le modèle de « Constructeur Universel » de John von Neumann, soit une machine théorique capable de construire tout, ou presque..., en l'occurrence, de se répliquer elle-même.

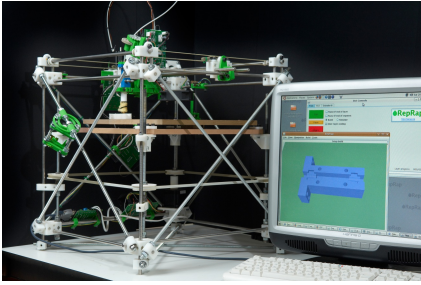
"Le constructeur universel de von Neumann est la démonstration de la possibilité logique de l'autoréplication (...). Le constructeur universel possède néanmoins, comme son nom l'indique, la propriété d'universalité : il lui est possible de créer non seulement des copies de lui-même, mais aussi des variantes." Source : Wikipedia (http://fr.wikipedia.org/wiki/Constructeur_universel).

Une RepRap peut en effet imprimer ses propres pièces de rechange et la majeure partie de ses pièces, sous forme de kit à assembler. Le principe d'autoréplication rejoint aussi une préoccupation économique et virale, puisqu'elle permet de descendre les coûts de production et de multiplier de façon exponentielle le nombre de machines. Une machine basée sur ce principe est en effet capable de produire 60 à 70 % de ses propres pièces, les autres parties étant constituées principalement d'éléments de quincaillerie courante.

DÉVELOPPEMENT ET DÉPLOIEMENT DE LA COMMUNAUTÉ REPRAP.ORG

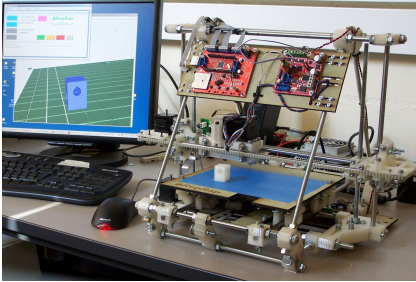
Le projet connaît des développements multiples, des modifications et améliorations donnant lieu à de nouvelles versions, ou des projets adjacents à buts commerciaux : Makerbot, Ultimaker, etc... Une brève généalogie des Imprimantes 3D RepRap est présentée ci-dessous en images.

- La Darwin: premier modèle



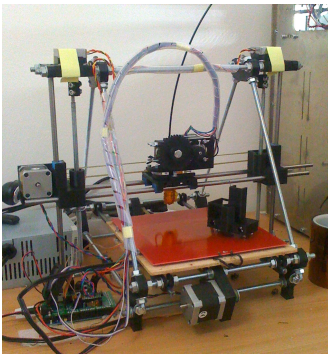
http://reprap.org/wiki/File:All_3_axes_fdm_sml.jpg

- La Mendel : la structure en trapèze réduit la taille globale de la machine en préservant les dimensions de la surface d'impression.



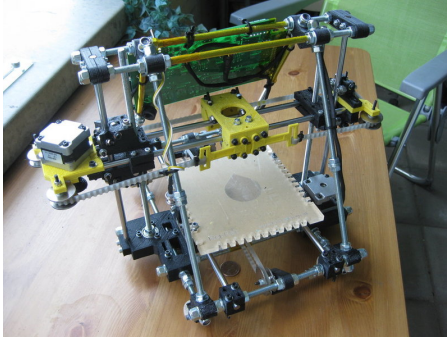
<http://reprap.org/wiki/File:Mendel.jpg>

- La Mendel Prusa : Cette version comprend moins de pièces plastiques à imprimer et utilise un moteur supplémentaire pour l'axe Z.



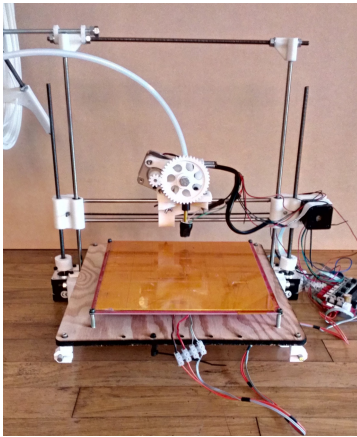
<http://reprap.org/wiki/File:Assembled-prusa-mendel.jpg>

- Modèle Huxley : C'est un peu la version "sac à main" de RepRap, c'est une mini Mendel dont la surface d'impression est d'environ 14 x14 cm.



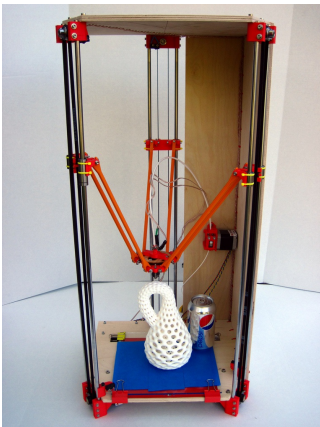
<http://reprap.org/wiki/File:Huxley.jpg>

- Modèle Wallace : Elle est basée sur le Modèle *Printrbot*, dont la structure a été retouchée pour plus de robustesse et disposant d'une plus large documentation. Sa forme de portique la rend paramétrique et peut-être plus évolutive....



<http://reprap.org/wiki/File:Wallace.jpg>

- Rostock : c'est un modèle plus singulier puisque c'est un robot delta* et non un robot cartésien* comme les précédentes machines évoquées. Le robot delta a théoriquement les avantages d'être léger, rapide et précis.



<http://reprap.org/wiki/File:Rostock.jpg>

Il en existe de nombreuses autres, étonnez-vous en visitant le site <http://www.reprap.org/wiki/RepRap>.

CONFRONTATIONS À VENIR

La diffusion à grande vitesse des RepRaps dans le monde entier et les pratiques de partages de modèles 3D, liées au modèle open source et libre du projet, inquiètent les ayants droits* du système économique du 20ème siècle basé sur la propriété intellectuelle.

Il va y avoir et il y a déjà des tensions entre ces deux logiques contradictoires.

En novembre 2010, un texte annonciateur de Michael Weinberg a été publié sur PublicKnowledge.org. « Le temps viendra, et il viendra vite où les industries en place qui seront touchées exigeront de nouvelles lois restrictives pour l'impression 3D. Si la communauté attend ce jour pour s'organiser, il sera trop tard. [Elle] doit plutôt s'efforcer d'éduquer les décideurs et le public sur le formidable potentiel de l'impression 3D. Ainsi, lorsque les industries en place décriront avec dédain l'impression 3D comme un passe-temps de pirates ou de hors-la-loi, leurs déclarations tomberont dans des oreilles trop avisées pour détruire cette toute nouvelle nouveauté.»

Ainsi en 2013, "en France, un parlementaire a tenu à interroger les services d'Arnaud Montebourg, ministre chargé du redressement productif. La question publiée ce jour au Journal officiel et repérée sur Twitter par Alexandre Archambault, a été posée par le député UMP François Cornut-Gentille, élu de la Haute-Marne. Il souhaite connaître les projets du gouvernement pour contrer les reproductions illégales. "La prolifération de sites de téléchargement de ce genre de fichier est à craindre dans les années à venir ; elle risquerait, à terme, d'engendrer des effets aussi néfastes pour l'industrie que ceux que connaissent actuellement les secteurs de la musique et du cinéma", expose le politique, soulignant que la reproduction se fait "sans aucun droit de propriété et à moindres frais" à partir du moment où les plans sont récupérés. Le député souhaite ainsi savoir si des "dispositifs" sont envisagés pour réguler le marché de l'impression tridimensionnelle et en particulier encadrer l'usage qui peut en être fait. Au regard des précédents cités ci-dessus, il semble que le verrouillage des usages - s'il a lieu - se fera par le déploiement de verrous numériques (DRM)." (source wikipedia)

En ce sens, le projet RepRap a une dimension révolutionnaire qui, s'il préoccupe les dominants du système en place, porte en germe des changements profonds dans les rapports à l'industrie et au commerce et plus largement nos rapports sociaux et économiques.

1. <http://www.arsmathematica.org/news/rapport-ft/cybersculpture.htm>
2. http://reindustrialisation.blogspot.fr/2012/08/impression-3d-meme-le-gouvernement_29.html

3. POURQUOI FABRIQUER SA REPRAP ?

Il devient de plus en plus facile d'acheter une imprimante 3D commerciale, complètement assemblée, prête à l'impression. Dans ce cas, pourquoi souhaiterions-nous construire sa RepRap soi-même ?

PARCE QUE C'EST MOINS SIMPLE QUE DE L'ACHETER

Décider de construire sa propre machine engage à passer du temps pour comprendre, trouver les pièces, tâtonner avant d'arriver à une machine parfaitement fonctionnelle. Ceci peut paraître beaucoup plus compliqué que d'acheter directement une imprimante 3D chez un marchand quelconque. En effet, une machine du commerce arrive (*souvent*) toute configurée, "prête à l'usage", (*presque*) fiable et (*normalement*) garantie contre les défauts et les pannes. Tout ce que n'offre pas une RepRap directement.

Cela dit, au fil de cet ouvrage, vous découvrirez tous les avantages qu'apportent la démarche d'autoconstruction, tant dans l'usage quotidien, les réparations et les évolutions de la machine, que dans l'initiation apportée, ouvrant votre esprit et votre expérience à d'autres créations et conceptions de machines. Construire sa machine montre aussi qu'il est possible de fabriquer soit même des outils au moins aussi bien que ceux du commerce, et ainsi de construire soit même son propre ego.

DANS UN BUT PÉDAGOGIQUE

Même si vous êtes complètement néophyte dans tous ces domaines, la construction d'une RepRap vous amènera à découvrir et commencer à maîtriser **la mécanique**, **l'électronique**, et le domaine des **logiciels informatiques**. Ces machines imprimant principalement avec du plastique, vous serez également amené à toucher un peu à la **plasturgie**. Enfin, certains détails touchent à la problématique de la **conductivité thermique**.

Bien sûr, vous ne deviendrez pas expert ou ingénieur, mais vous saurez vous débrouiller au fil du temps avec tous les petits écueils qui parsèment ces différents champs.

Une RepRap, en tant que **machine-outil CNC** (*computer numerical control* ou "commande numérique par ordinateur") vous fera découvrir le monde très vaste de ce type d'outil, qui va de l'imprimante 2D à la torche à plasma 5 axes mesurant plusieurs dizaines de mètres. Piloter des moteurs à partir d'ordres gérés informatiquement est aussi un aspect de la **robotique**. Après avoir réalisé une RepRap, construire un petit robot piloté par arduino* sera un jeu d'enfant pour vous.

Construire sa RepRap représente souvent un premier pas dans le monde de l'autoconstruction d'outils, de machines et de véhicules, en plein développement et dont de nombreux avatars émergent dans le monde entier.

POUR CONNAÎTRE ET MAÎTRISER SON OUTIL

« Si vous ne pouvez pas l'ouvrir, vous ne le possédez pas. » -- Mister Jalogy - Make Manifesto - <http://archive.makezine.com/04/ownyourown/>

Une fois que vous aurez construit de A à Z votre machine, elle n'aura plus aucun secret pour vous. Tous ses rouages (au sens propre comme au sens figuré) vous seront familiers. Non seulement vous serez capable (avec un peu d'expérience) de détecter et réparer n'importe quelle panne, mais aussi de mettre à jour votre machine au fil des évolutions de la technologie. En effet, les développements libres* et open source* sont directement accessibles sur internet et souvent fabricables directement avec une imprimante 3D.

Pour tous les procédés de fabrication, avoir la main sur le maximum d'aspects permet d'affiner et de "tordre" ce procédé à des besoins divers et variés. À la manière d'un photographe qui fait lui-même ses tirages et qui peut doser les contrastes et l'exposition ou masquer des parties d'images. En maîtrisant toutes les étapes, vous pourrez y intervenir pour affiner votre production.

Votre connaissance de la machine vous permettra aussi de la modifier pour l'adapter à vos besoins et vos envies, par exemple au niveau de la taille de travail ou des matériaux utilisés. Vous pourrez même imaginer des prolongements encore inexistantes, innover et participer ainsi à l'avancée collective du projet, notamment sur la plate-forme <http://reprap.org>.

PAR SOUCI D'ÉCONOMIE

Même si cela demande plus de temps, construire soi-même sa machine est souvent plus économique que d'acheter un produit fini. D'autant plus si vous choisissez de vous approvisionner en pièces de récupération.

En 2013, une machine toute montée du commerce coûte de 2000-3000 à 30000 euros alors que construire sa machine coûte entre 400€ (en achetant soi-même toutes les pièces, avec précaution) et 1500 € (en achetant un beau kit). Le plastique utilisé pour imprimer coûte environ 30€ le kilo (par comparaison les cartouches pour les grosses imprimantes professionnelles coûtent... le prix d'une RepRap). La RepRap étant par définition autorépliquante, de nombreuses de ses pièces peuvent être imprimées (ou réimprimées en cas de panne). Il est donc économique de l'entretenir.

PARCE QUE C'EST MIEUX D'UTILISER DU MATÉRIEL LIBRE

La RepRap est une machine faisant partie d'un vaste mouvement de matériel libre (ou *open source hardware*). La plupart des machines du commerce, fabriquées sous le paradigme de l'industrie du 20e siècle, sont de conception "propriétaire". C'est-à-dire que leurs plans, leurs modèles de fonctionnement et leurs informations techniques sont, soit brevetés, soit secrets, et en tous cas très souvent rendus illisibles et incompréhensibles par des gens extérieurs au fabricant. Le paradigme "propriétaire" base son modèle sur la rareté, le secret et l'appropriation de savoir et de savoirs faire. Il est donc très difficile (voire impossible) d'entretenir ou de réparer soi-même une telle machine. D'autant plus si le fabricant a cessé la production de ce modèle, et ne diffuse plus de pièces détachées.

Observez nos poubelles, elles regorgent de machines obsolètes impossibles à réparer faute de documentation et de pièces détachées. Des machines comportant des centaines de pièces sont jetées parce qu'une seule pièce est cassée. Ces déchets non seulement poussent une consommation vaine et inutile, mais polluent l'environnement avec leurs métaux rares et produits pétroliers.

Le matériel libre, inspiré du modèle des logiciels libres, base au contraire son fonctionnement sur le partage, la prolifération, la contamination et l'opulence (de savoirs). Utiliser une machine libre, c'est s'assurer qu'elle sera toujours réparable, modifiable ou réutilisable, car sa conception étant libre et transparente, il sera toujours possible de retrouver, voire de refabriquer des pièces.

Le matériel libre est également ouvert au détournement et à la redistribution : contrairement à une machine "propriétaire", vous pouvez l'ouvrir, la modifier, en diffuser les plans et même revendre votre machine modifiée.

4. QUEL MODÈLE DE REPRAP CHOISIR ?

De par la nature ouverte du projet RepRap, les utilisateurs sont encouragés à dériver les modèles existants et à créer leur propre modèle. Certains éléments (buse*, lit chauffant*, électronique) peuvent être utilisés dans de nombreux modèles différents, simplifiant et accélérant la création d'une nouvelle machine. Cela a engendré l'apparition de très nombreuses typologies et familles de machines. Cette diversité est une force pour le projet, mais peut également rendre le choix difficile pour le néophyte : quel modèle choisir, en fonction de vos besoins, et de votre niveau technique ? Ce chapitre propose différents éléments pour vous aider à sélectionner la RepRap adaptée à vos besoins.

POUR LES DÉBUTANTS

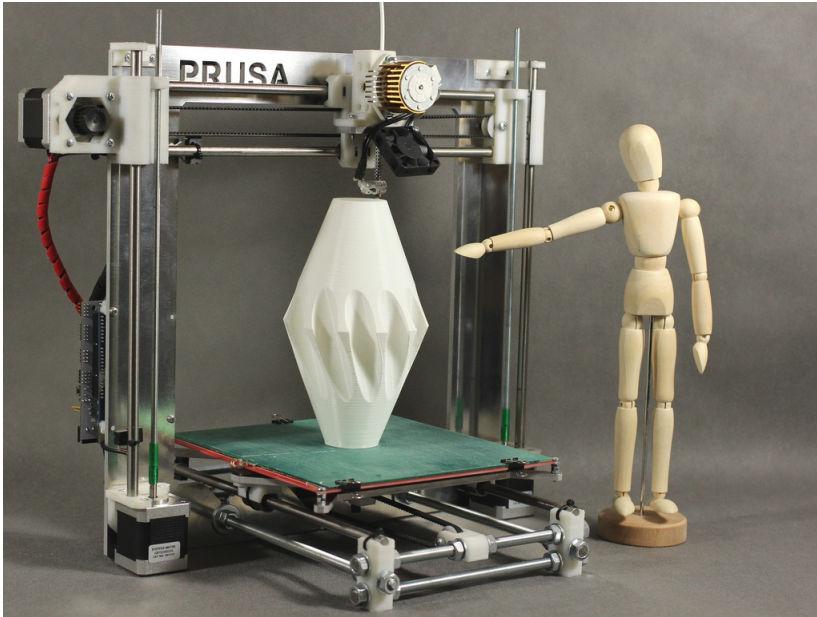
Un problème que rencontrent souvent les nouveaux venus est de choisir un modèle ; soit parce qu'ils ont un besoin très précis, soit parce que ce modèle est nouveau et comporte des innovations techniques, ou tout simplement parce que c'est le premier dont ils ont entendu parler.

Apprendre à assembler et à utiliser une imprimante 3D n'est pas trivial. **Cumuler** la difficulté de cet apprentissage avec la difficulté d'assembler et d'utiliser un modèle peu testé ou peu documenté, ou celle d'un cahier des charges très particulier (typiquement une demande réunissant l'utilisation de matériaux d'impression nouveaux, corrélée à une haute précision de l'imprimante) peut finir par rendre la tâche insurmontable.

Il arrive fréquemment que des néophytes n'arrivent pas à obtenir des résultats même basiques (comme une impression propre) parce que leur machine comprend trop d'éléments qu'ils ne maîtrisent pas ou qui ne sont pas suffisamment documentés. L'accumulation de ces inconnues rend difficile le diagnostic des problèmes rencontrés.

Il est fortement recommandé de commencer son aventure dans l'univers RepRap par un modèle courant. La beauté du projet RepRap est que, une fois cette machine maîtrisée, elle peut encore être modifiée pour correspondre aux mieux à vos besoins. Sans oublier qu'une fois entièrement démontés, les composants peuvent être réutilisés dans un autre modèle plus exotique, et plus facile à prendre en main grâce à votre expérience.

En ce début 2014, le modèle le plus courant, le mieux documenté, testé et supporté par la communauté est la Prusa I3 : reprap.org/wiki/Prusa_I3/fr.



Source de l'image sur le site : reprap.org/wiki/File:Prusai3-metalframe.jpg par Bitflusher (sous licence [GNU Free Documentation License 1.2](https://www.gnu.org/licenses/old-licenses/fdl.html)).

Issu de la Prusa I2 (le modèle le plus reproduit du projet) créée par Josef Prusa, cette imprimante est dérivée de la RepRap Mendel et elle est généralement considérée comme simple à assembler, facile à ajuster. De plus, il vous sera plus facile d'obtenir de l'aide sur ce modèle plutôt qu'un autre. Il existe d'autres modèles assez populaires, comme la Mendelmax (elle a une structure en profilés d'aluminium, mais son assemblage est plus complexe) ou la Rostock (son architecture est en delta, poursuivre la lecture pour en savoir plus). L'intérêt de maîtriser une machine "simple" est d'accéder ensuite avec plus de facilité aux autres modèles et d'explorer de nouvelles possibilités.

POUR LA QUALITÉ D'IMPRESSION

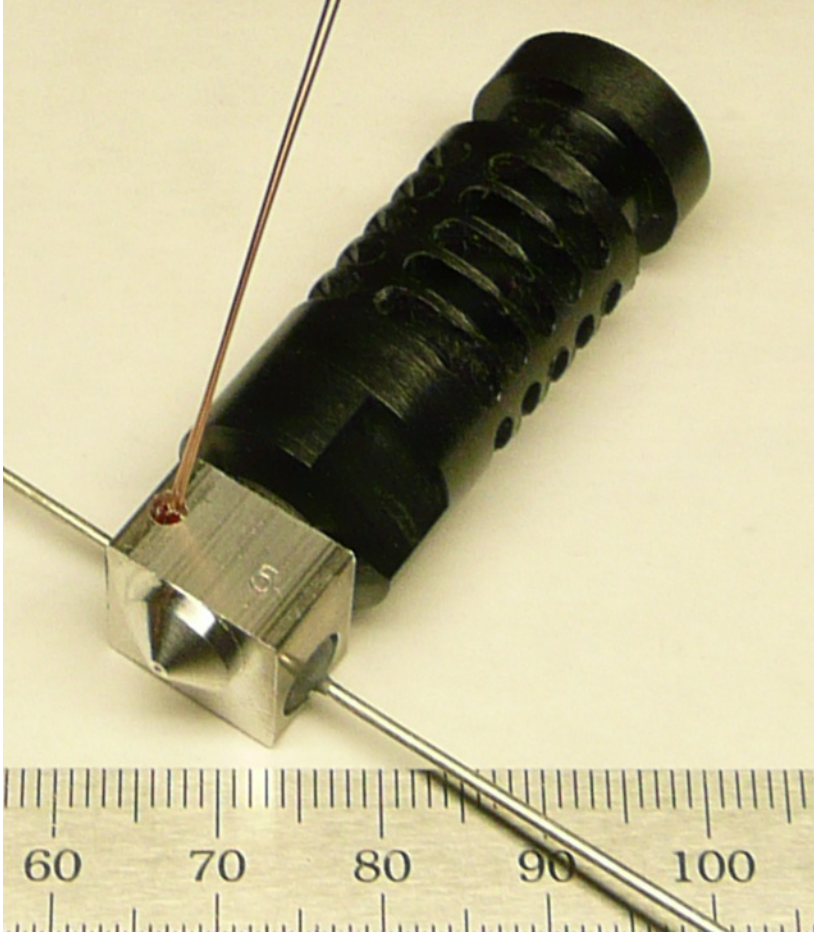
De nombreux paramètres définissent la qualité d'impression d'une machine donnée. Bien ajuster l'alignement des éléments structurels et le serrage des courroies peuvent changer le résultat du tout au tout sur votre machine.

La vitesse d'impression est également très importante, la réussite esthétique est en général directement proportionnelle à la vitesse à laquelle la pièce a été imprimée. Plus l'impression est lente, plus le positionnement sera précis et meilleur sera le résultat. Utiliser une machine fondée sur une structure en profilés d'aluminium (plus rigide) permettra en général d'augmenter la vitesse en gardant une finition équivalente.

Hors des considérations de rigidité, d'alignement et de serrage, une autre limite va être le diamètre de la buse. La sortie de la buse est le point duquel le plastique fondu sort pour être déposé sur la pièce. Plus la sortie de la buse sera étroite, plus le "chemin" de plastique extrudé sera fin, et plus il sera possible d'imprimer des détails de petite taille. Ce n'est pas toujours important pour des pièces techniques ou mécaniques, mais il peut l'être énormément pour des pièces artistiques (comme les figurines). Le diamètre le plus courant d'une buse est de 0.5mm.

Il est fortement conseillé de commencer par apprendre avec une buse de cette dimension. En effet plus le diamètre est faible, plus il va être difficile de trouver les bons paramètres d'impression. Utiliser une buse fine sur une première machine est bien souvent la cause de nombreux casse-têtes pour les nouveaux utilisateurs.

Les buses de 0.4mm sont généralement considérées raisonnablement abordables avec un peu d'expérience et les buses plus petites (0.25mm) devraient être réservées aux utilisateurs experts.



J-Head MKV-B par Reifsnnyderb, le modèle le plus utilisé.

VITESSE D'IMPRESSION

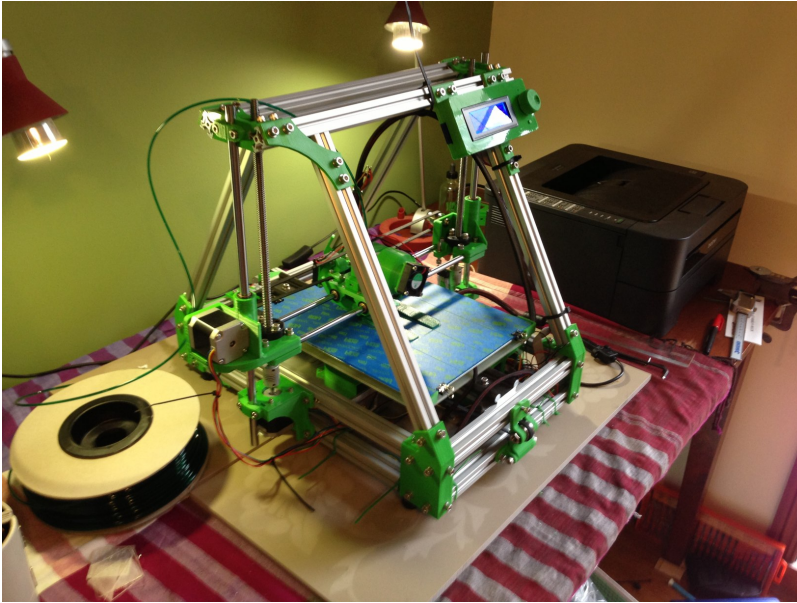
Comme mentionnée ci-dessus, plus une machine va vite, moins elle sera capable de maintenir une bonne qualité d'impression. Dans les RepRaps actuelles, atteindre une haute vitesse de déplacement est facile. Ce qui est difficile c'est de maintenir la qualité lorsque cette vitesse augmente.

Il y a deux façons d'augmenter la vitesse sans perdre la qualité.

Augmenter la rigidité

En choisissant une machine plus rigide, typiquement avec une structure en métal épais (plaques d'aluminium, profilés d'aluminium), on peut atteindre de bons résultats à des vitesses plus élevées que la normale. Les problèmes principaux sont que ces machines sont plus lourdes et plus chères.

La figure de proue de cette famille de machines est la Mendelmax.



Source de la photo sur le site Flickr :

<http://www.flickr.com/photos/greyleaves/9353741943/sizes/o/in/photostream/>

Réduire l'inertie

Pour remplir sa tâche, l'imprimante 3D déplace des éléments les uns par rapport aux autres (la buse se déplace par rapport au lit). Plus ces éléments sont lourds et plus ils vont vite, plus leur inertie sera transférée dans la structure de la machine lorsque leur direction s'inverse. C'est ce qui cause une réduction de qualité lorsque la vitesse augmente (la machine est "secouée"). Hormis la solution d'augmenter la rigidité de la machine, une autre est de réduire le poids des éléments en mouvement.

Ne pas déplacer le lit

Dans de nombreux modèles, le lit se déplace sur l'axe Y. Composé typiquement de pièces imprimées, d'un plateau, d'un élément chauffant et d'une plaque de verre, c'est un élément très lourd à déplacer, "secouant" beaucoup l'imprimante lorsqu'il change sa direction. Certains designs prennent la décision de ne pas déplacer le lit. Celui-ci est alors statique.

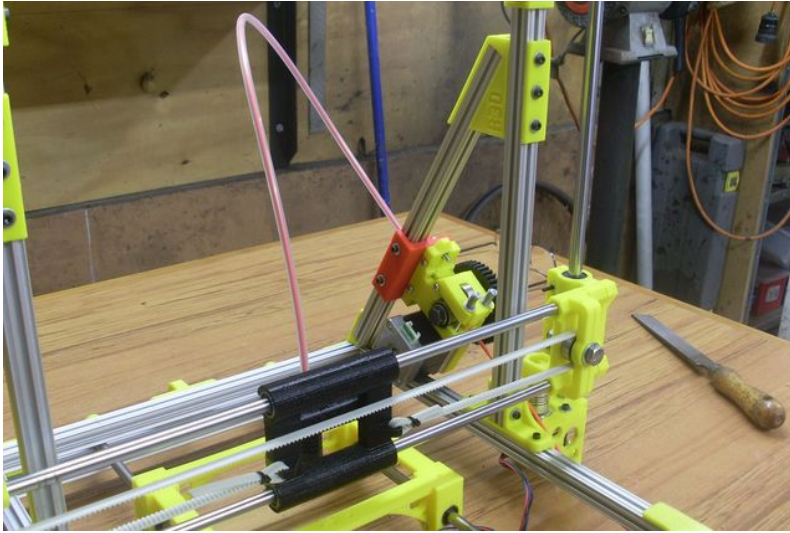
Il y a un prix toutefois, le mouvement en Y devant alors être effectué par l'extrudeur, ce qui augmente le poids de cette partie (souvent d'un poids moindre que celui du lit, d'où l'avantage). Cela peut également rendre l'ensemble X/Y plus complexe, c'est le cas par exemple des systèmes dits H-Bot ou CoreXY.

Un extrudeur plus léger

Une autre option pour limiter la masse déplacée est de limiter le poids de l'ensemble extrudeur (moteur de l'extrudeur, réduction de ratio, buse).

L'utilisation des moteurs de plus petite taille est possible mais ils seront capables de pousser uniquement un filament de 1,75mm (et non de 3mm) à une vitesse plus élevée. Une autre solution existe : celle d'utiliser des moteurs à moto-réducteurs intégrés. Ceux-ci sont plus compacts et légers qu'un réducteur imprimé.

A l'extrême, il existe la possibilité de ne pas déplacer le moteur de l'extrudeur. Comme le système Bowden où le moteur reste fixe, et pousse le filament dans un tube de PTFE*, jusqu'à l'extrudeur lui-même.

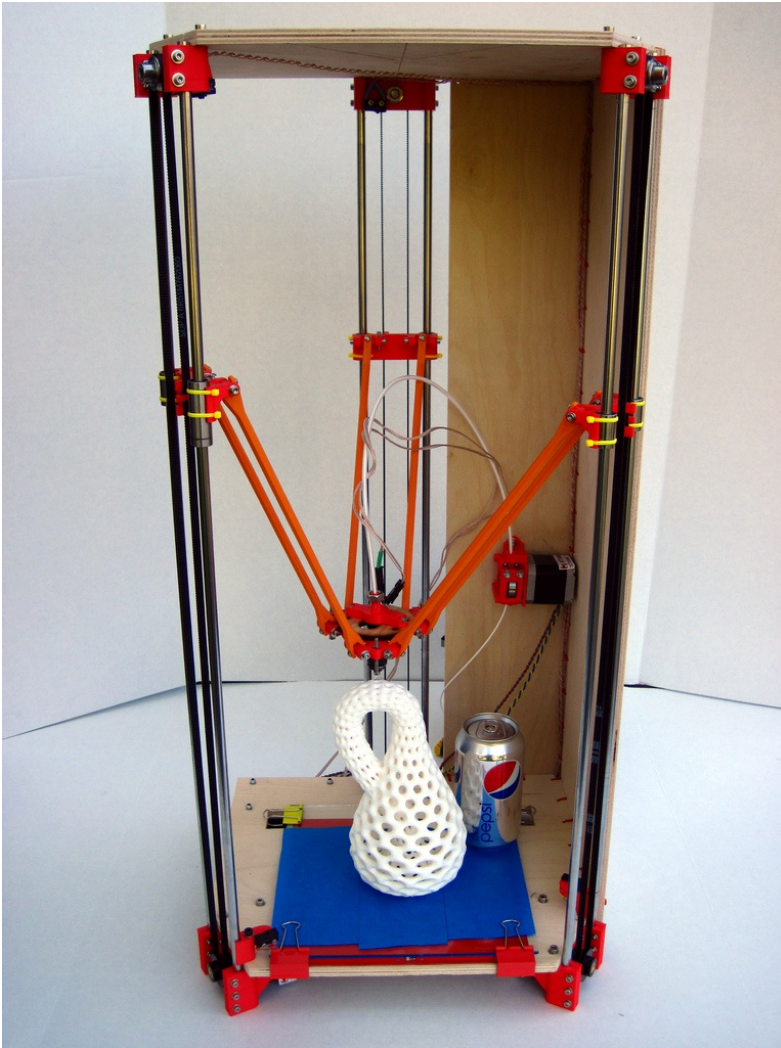


Ce système réduit énormément la masse déplacée. Il introduit toutefois un nouveau problème, l'hystérésis*.

Lorsqu'il est poussé au moteur, le filament n'est pas poussé immédiatement à la buse, ce délai est causé par la longueur et la plasticité du tube. Cela cause des problèmes d'impression : bulles, artefacts, morceaux manquants, rétractation du filament non fonctionnel causant des filins entre les pièces.

Toutefois, lorsque l'épaisseur des couches est réduite (0.1mm et alentours), ces problèmes sont moins notables. Le Bowden peut donc être une bonne solution lorsque l'on cherche à imprimer des pièces avec des couches très fines, à des vitesses hautes.

Le type de machine sur lequel le Bowden est le plus utilisé est appelé Delta ou Rostock. Ces machines à trois bras, non-cartésiennes, demandent plus de puissance de calcul, et ont en général moins de rigidité, mais jointe à un système Bowden, ont une masse en déplacement extrêmement faible qui rend le manque de rigidité acceptable et permet des vitesses très élevées. Ce type de machine fonctionne de façon optimale que pour des épaisseurs de couches fines.



Un mot sur l'accélération

De nombreux vendeurs d'imprimantes 3D vantent des vitesses très élevées pour leur modèle d'imprimante 3D, il n'est pas rare d'entendre que tel ou tel modèle peut imprimer à 250mm/s.

Cette valeur prise seule ne veut toutefois pas dire grand-chose, il s'agit d'une vitesse maximale que la plupart des imprimantes sont capables d'atteindre. La valeur plus importante est l'accélération que l'imprimante utilise pour atteindre cette vitesse, en réduisant l'accélération, la machine n'atteindra cette vitesse que très rarement, imprimant très lentement malgré une bonne vitesse maximale.

À l'heure actuelle, il n'y a donc pas de bonne méthode pour estimer la vitesse d'impression d'une machine, celle-ci dépend de trop de paramètres et ignorera, de toute façon, la qualité d'impression obtenue.

MONTER SA REPRAP

5. SE PRÉPARER À MONTER SA REPRAP
6. ASSEMBLER SA REPRAP
7. CONFIGURER ET ÉTALONNER SA REPRAP

5. SE PRÉPARER À MONTER SA REPRAP

Une fois arrêté le choix du modèle de machine que vous désirez construire, il vous faudra préparer la construction, en rassemblant un certain nombre d'éléments nécessaires.

L'ATELIER ET L'OUTILLAGE

Le montage d'une RepRap impose un endroit où la construire et la stocker ainsi que l'utilisation d'un certain nombre d'outils.

L'atelier

Même s'il est *a priori* possible de monter une imprimante 3D sur la banquette d'un tramway, ça ne sera pas forcément pratique du fait des arrêts intempestifs, voire de l'arrivée régulière au terminus.

Il est donc très fortement conseillé de consacrer un espace à la fabrication. Cet espace n'a pas besoin d'être très grand. Une table suffira. Prévoyez évidemment une place assez grande pour contenir la machine une fois construite, et idéalement le double, pour pouvoir tourner autour et poser les pièces à assembler.

Quelques boîtes de rangement seront également utiles pour stocker les ingrédients ou les outils, voire la machine en cours de montage, lors des repas dominicaux avec la belle famille. Ayez bien à l'esprit que les pièces d'une RepRap sont pour certaines très petites, parfois rares, et qu'elles ont une tendance à se jeter sous les commodes ou les armoires normandes.

Votre espace de travail gagnera aussi à être bien éclairé, car certaines étapes requièrent un travail minutieux.

L'outillage

Le montage d'une RepRap en kit ne nécessite en général pas beaucoup d'outils. L'essentiel se résume à :

- un jeu de clé Allen ;
- un jeu de clé plates ;
- quelques pinces de petite taille ;
- un nécessaire à souder l'électronique (fer, étain, troisième main) en cas d'électronique autoconstruite ;
- une pince à sertir (on peut se débrouiller sans mais c'est quand même plus pratique) ;
- un petit étau ;
- des ciseaux ;
- un pied à coulisse pour différentes mesures ;
- un multimètre.

Pour certains modèles et en fonction du kit que vous achèterez :

- des tarreaux (2 & 3mm) et un ensemble de filières ;
- une scie à métaux (pour couper des tiges filetées pour la Prusa par exemple) ;

Évidemment, comme les RepRaps sont autorépliquantes, une autre RepRap peut aider pour imprimer directement les pièces nécessaires, si on ne veut pas les acheter.

PLANS ET DOCUMENTATIONS

Le projet RepRap se rassemble autour d'un wiki (site collaboratif) qui répertorie la plupart des différents types de machines et leur description : il s'agit de <http://reprap.org>. Même si l'essentiel de ce site est en anglais, un certain nombre de pages sont traduites en différentes langues, dont le français. Sur ce site vous trouverez beaucoup d'informations utiles.

Liste du matériel nécessaire

En Anglais vous trouverez cela sous le terme de *bill of materials*. Cette liste est évidemment très importante. Elle est souvent découpée en deux ou trois parties :

- pièces imprimées (printed parts) ;
- "vitamines" (vitamins) : les autres pièces mécaniques, comme les écrous ou les courroies ;
- l'électronique : les moteurs, contrôleurs, câblages et carte de contrôle.

La documentation de montage

En Anglais vous trouverez cela sous le terme de *assembly guide*. Elle est parfois découpée suivant les différentes parties de la machine. Elle est souvent illustrée par de nombreuses photos qu'il est utile de parcourir complètement pour avoir une idée de l'ensemble du processus. Ne soyez pas effrayé en voyant des étapes avancées qui vous paraissent incompréhensibles. En avançant pas à pas, vous comprendrez progressivement l'ensemble du processus.

Au fil de la construction, et même après, vous vous poserez sans doute des questions sans réponses sur le site. N'hésitez pas à fouiller et interroger le forum situé à l'adresse <http://forums.reprap.org/>. Si l'anglais vous rebute, il existe un groupe d'utilisateurs francophones situé à <http://forums.reprap.org/list.php?110>. Des informations plus complètes à ce sujet sont disponibles dans le chapitre "Où trouver de l'aide ?", plus loin dans cet ouvrage.

PIÈCES POUR LA MACHINE

Plusieurs solutions s'offrent à vous pour vous approvisionner en pièces. Le choix d'une ou l'autre dépendra de votre ambition d'autoconstruction, de votre temps disponible et de vos possibilités financières.

Pièce par pièce

Si vous disposez de peu d'argent et de beaucoup de temps, cette solution est la plus adaptée. Le jeu sera pour vous de chiner, de fouiller pour trouver les différents composants chez des fournisseurs divers, parfois locaux. Cette solution est la moins rapide mais elle donne plus la sensation de s'approprier le matériel et la machine. Certaines pièces spécifiques sont parfois dures à trouver et vous serez peut-être amené à les fabriquer vous-même. Cette voie réclame donc plus d'engagements et de motivation que l'autre.

Récupération

Certaines pièces peuvent être récupérées, notamment dans des imprimantes 2D (le chapitre "Pourquoi construire son imprimante?" en fait état) qui regorgent de poulies, de courroies, de tiges lisses et parfois de moteurs pas-à-pas. Il s'agit précisément des ingrédients les plus spécifiques et pointus. Il faut néanmoins être assez à l'aise avec le bricolage car vous serez peut-être amené à modifier quelques détails de la conception de la machine pour adapter vos pièces récupérées.

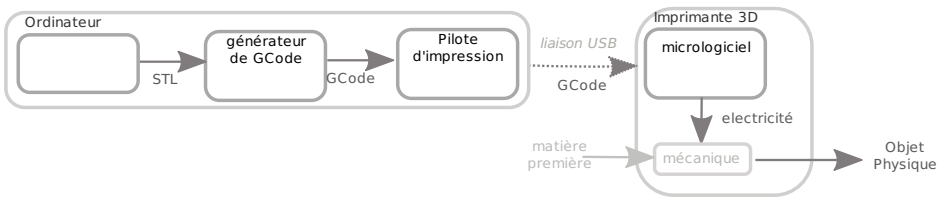
Cette démarche, même si elle est plus difficile est aussi plus gratifiante car elle vous fait participer au recyclage de rebuts électroniques et vous emmène plus loin dans la réappropriation de la technologie.

Kits complets

Cette solution est la plus simple, la plus rapide et souvent celle choisie par les débutants, car un kit complet contient toutes les pièces nécessaires à la construction de la machine. Par contre il vous empêche parfois de choisir certains détails, comme la taille de la buse ou le type d'électronique de contrôle et vous rend plus dépendant de votre fournisseur.

LES LOGICIELS

Comme l'imprimante 3D fait le pont entre le monde numérique (informatique) et réel (celui des objets et des créatures), elle utilise à diverses étapes des logiciels.



Ce schéma synthétise les différentes sortes de logiciels nécessaires pour monter sa RepRap. Évidemment l'ensemble de ces logiciels est libre.

Visualisation et modélisation 3D

Il sera intéressant de se munir d'un logiciel 3D, comme **Blender** pour vous permettre de visualiser des pièces 3D. Blender (<http://www.blender.org>) servira surtout pour modéliser des objets ou consulter des objets téléchargés. Vous pouvez vous familiariser avec ce logiciel à travers le livre "Blender pour l'impression 3D" de flossmanuals (<http://fr.flossmanuals.net/blender-pour-limpression-3d/>).

Pour la conception de pièces mécaniques et pour les usagers plus à l'aise avec la logique de construction par solides, **Openscad** est facile d'abord et très puissant (<http://www.openscad.org/>).

Freecad est également un logiciel très complet, encore en cours de développement, mais qui a l'ambition d'offrir une chaîne d'outils particulièrement complète et pointue en matière de CAD* (<http://www.freecadweb.org/index-fr.html>).

Générateur de G-Code

Pour passer du modèle 3D à une suite d'instructions de construction destinées à la machine, le générateur de G-Code* est indispensable. Vous découvrirez d'ailleurs plus loin qu'il constitue une des étapes clés de l'impression. Dans les ressources que vous trouverez en anglais, cette étape est nommée *slicing* (ou saucissonnage). Elle constitue la découpe de l'objet en fins étages, les calques (ou *layers*) correspondent chacun à une couche de plastique déposée par la buse. Cette opération n'est pas triviale et implique de nombreux calculs mathématiques assez poussés (pas pour l'utilisateur mais pour l'ordinateur). C'est pourquoi ces logiciels sont plus ou moins rapides et plus ou moins conviviaux à utiliser.

Ce type de logiciel produit donc du G-Code, directement interprétable par le micrologiciel de la RepRap. Certains générateurs de G-Code sont directement intégrés dans le pilote d'impression (voir plus loin). Les principaux sont :

- **Slic3r** : en cours de développement très actif, il a le double avantage de proposer une approche intuitive et des réglages pointus. Il est recommandé par de nombreux membres de la communauté (<http://slic3r.org/>).
- **Cura** : développé par l'entreprise *Ultimaker* (et néanmoins opensource), ce logiciel intègre le générateur de G-code dans le pilote d'impression. (<http://software.ultimaker.com/>).

Vous pouvez consulter une liste exhaustive des générateurs de GCode sur : http://reprap.org/wiki/CAM_Toolchains#G-code_2C_Etc_Compilers

Pilote d'impression

Le pilote d'impression (ou *RepRap Driver*) sert à piloter l'imprimante depuis l'ordinateur à l'aide d'une interface graphique. Ce logiciel offre souvent la possibilité d'actionner les différents organes de la machine "manuellement" (déplacement des axes, extrusion, mise en chauffe de la buse et du lit chauffant). Par ailleurs il est utilisé pour visualiser puis envoyer à l'imprimante des fichiers que l'on veut lui faire imprimer.

Il existe un grand nombre de pilotes de RepRap mais les plus utilisés sont :

- **Cura** : comme expliqué dans la section suivante, il intègre un générateur de GCode et un pilote d'impression. Assez simple d'abord, il n'offre néanmoins pas de pilotage manuel de la machine.
- **Repetier** existe aussi, mais il vaut mieux que vous ne le répétiez pas... <http://www.repetier.com>
- **PrintRun**, appelé aussi **Pronterface** est le pilote le plus pratique et le plus développé du moment. Il offre un contrôle manuel total de la machine, une possibilité d'envoyer du G-code manuellement et une intégration avec Slic3r. Il est aussi possible d'utiliser ses modules pour piloter la machine en ligne de commande ou via des scripts. <http://reprap.org/wiki/Printrun/fr>.

Micrologiciel (*firmware*)

Pour certaines électroniques de contrôle, le logiciel **Arduino** sera nécessaire pour téléverser le micrologiciel de pilotage (ou *firmware*) sur la carte de contrôle (se référer au chapitre "Configurer"). Le firmware en lui-même est souvent associé au type de carte électronique utilisé. Vous trouverez plus d'infos dans le chapitre suivant.

LA PRÉPARATION PSYCHOLOGIQUE

Vous vous engagez dans un processus initiatique qui réclame du temps, au cours duquel vous rencontrerez des déceptions et des découragements, mais au terme duquel vous ressortirez grandi, en pouvant dire à votre voisin "oui j'ai fabriqué ma propre petite usine". Faites du sport car vous n'en ferez pas beaucoup pendant la construction. Profitez de vos enfants, de votre compagn(on), faites donc un petit voyage. Vous allez rentrer dans un tunnel duquel vous ressortirez transformé.

6. ASSEMBLER SA REPRAP

Il existe de nombreux modèles de RepRaps et chacun a sa propre documentation. Très souvent en anglais, elles sont toutefois riches en illustrations. Il est en général possible de suivre ces guides pour arriver à un assemblage fini, mais de nombreux points restent souvent obscurs pour le néophyte et ne sont pas forcément détaillés dans ces guides, trop généraux, qui présupposent une certaine familiarité de la part de l'assembleur.

Ce livre va vous présenter les différentes étapes d'assemblage d'une RepRap, sans rentrer dans les éléments spécifiques à certains modèles, mais en les mentionnant toutefois. Il se concentrera plus souvent sur tous les petits détails sur lesquels vous risquez d'avoir à vous attarder par manque d'informations et vous donnera des astuces pour résoudre certaines difficultés.

STRUCTURE

La forme la plus courante de RepRap (dérivée de la Mendel originale, Prusa I2 et I3 par exemple) a un châssis en forme T, ou de triangle. Le plateau chauffant se déplace en Y, la buse se déplace en X et l'axe Z déplace l'axe X de haut en bas dans son ensemble. La structure T ou triangle a pour principal objectif de solidariser l'axe Y à l'axe Z à 90° l'un de l'autre.

La seconde forme la plus courante est la *Delta* (par exemple la RepRap Rostock¹), en triangle avec trois bras, chacun se déplace de haut en bas le long de trois colonnes. Cette machine possède un lit fixe.

Les autres formes (H-Bot, Scara et autres encore plus exotiques) sont trop nombreuses pour être toutes citées et ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients.

Toutefois, l'immense majorité de ces formes sont construites sur la base de l'un ou l'autre de ces deux éléments : des tiges filetées ou des profilés d'aluminium.

Tiges filetées

Les tiges filetées sont des barres d'acier, entourées d'un filetage qui permet de les fixer à l'aide d'écrous. Leur principal avantage est leur coût. Elles sont extrêmement économiques. Cela explique leur grande popularité dans la famille RepRap depuis son origine. Elles ont un inconvénient toutefois, elles peuvent manquer de rigidité pour certains diamètres utilisés.



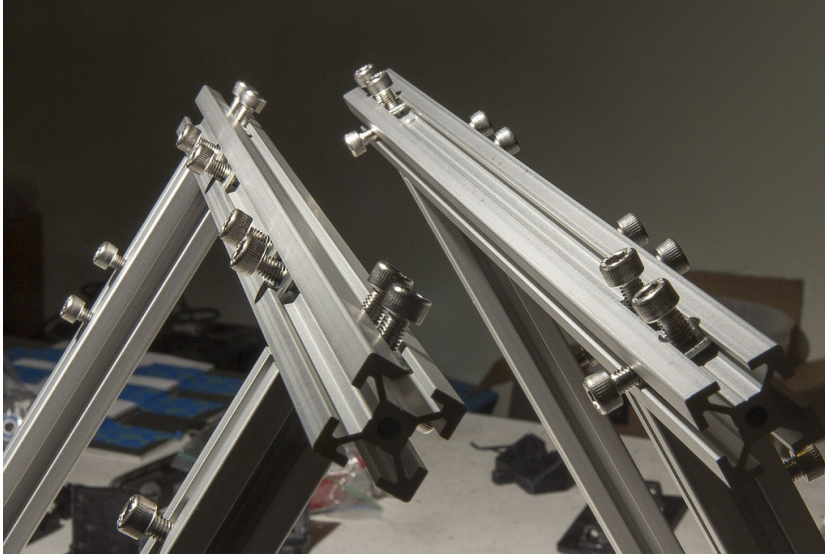
Lors de l'assemblage d'une imprimante 3D ayant une structure en tiges filetées, il faudra s'assurer que les tiges sont découpées **exactement** à la longueur indiquée. Cela simplifie énormément l'assemblage et rend la machine plus juste mécaniquement.

De nombreux écrous sont placés le long des tiges, pour y fixer des pièces imprimées ou d'autres éléments. Ces écrous et éléments doivent être positionnés avec précision ou la machine sera mal alignée. Un pied à coulisse, à défaut une règle, vous sera très utile ici. Les documentations contiennent des mesures très précises à suivre.

Au bout de chaque tige, on doit placer un "écrou à frein". Il s'agit d'un écrou avec une petite pièce de caoutchouc qui est serré assez fort et ne risque pas de s'en aller. Un écrou normal en bout de tige risquerait de se détacher. Pour les autres écrous, une bonne pratique est d'appliquer, une fois toute la machine finie et calibrée, une goutte de colle forte (de type cyanoacrylate ou de type "super glue") ou encore du vernis à ongles sur chaque écrou. La colle les gardera en place, mais est toutefois délogeable (certes avec un peu d'effort) si l'on souhaite démonter l'imprimante.

Profils d'aluminium

Pour pallier aux limitations structurelles des tiges filetées, des modèles plus récents se sont développés qui utilisent des profilés d'aluminium. Le premier et le plus populaire a été la RepRap Mendelmax². Plus chers, ils sont également plus pratiques à assembler.

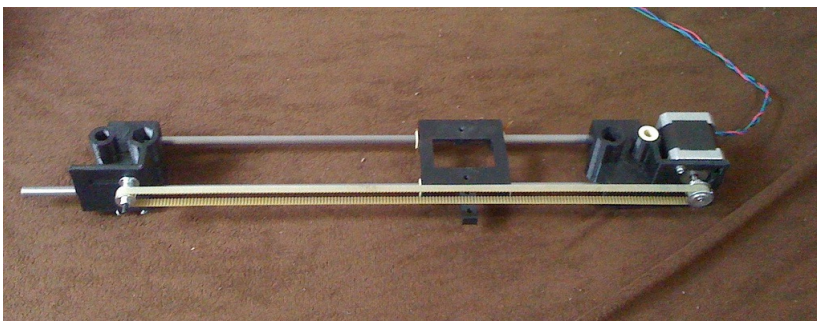


Les profilés d'aluminium sont extrudés avec une forme spécifique, avec des canaux qui permettent d'accueillir des écrous. Cela rend la fixation particulièrement aisée et rigide. De même que pour les tiges filetées, les barres doivent être découpées exactement à la bonne longueur et les éléments assemblés les uns aux autres aux bonnes distances. L'ordre d'assemblage est en général très important pour les structures en profilé d'aluminium et est indiqué dans la documentation.

AXES À BASE DE COURROIES

Une fois la structure assemblée, il est temps de commencer à mettre en place les moteurs et les poulies de votre machine. Il existe de nombreuses méthodes pour transformer un mouvement rotatif du moteur en mouvement linéaire de l'axe de déplacement. Les poulies et courroies sont un moyen relativement simple et économique pour générer des déplacements rapides. Cette rapidité est un paramètre important à prendre en compte dans le cas d'une imprimante 3D.

Les moteurs sont tout d'abord attachés à une pièce imprimée à un bout de l'axe, un roulement à billes de l'autre. La poulie se place sur l'axe (arbre) du moteur et est fixée avec une petite vis. La courroie est ensuite passée autour de la poulie, du roulement à billes, et accrochée à l'élément mobile.

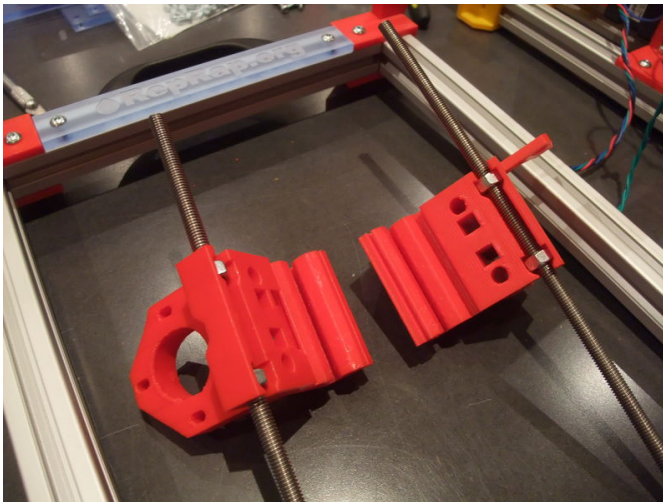


Cet élément mobile peut être, selon les modèles, la partie qui supporte le lit chauffant, celle à laquelle l'extrudeur est attaché, ou une pièce intermédiaire comme celle à laquelle les bras sont attachés dans le cas d'une RepRap Rostock par exemple.

Les courroies doivent être bien tendues, mais pas trop. Elles doivent produire un bruit grave lorsqu'elles sont "pincées" mais ne pas avoir de jeu. Un tendeur peut être utilisé sur la courroie, par exemple la pièce métallique d'une pince à linge, retournée et placée le long de la courroie.

AXES À BASE DE VIS SANS FIN

Un boulon, vissé sur une tige filetée et contraint dans l'axe de rotation, va se déplacer de façon linéaire lorsque la vis est tournée. On utilise cette technique lorsque l'on a besoin de beaucoup de force, par exemple sur l'axe Z d'une RepRap Prusa, où l'axe Z soulève l'axe X, relativement lourd. Cette méthode a l'inconvénient d'être plus lente, c'est pourquoi elle n'est utilisée que dans ce cas.



L'attache de la tige filetée à l'axe du moteur se fait en général par une pièce en métal ou imprimée, avec une fixation par vis. Une autre possibilité est d'utiliser un morceau de tube, plus fin que les deux éléments, mais il est alors relativement ardu de les accrocher.

Il est recommandé de lubrifier l'écrou. Cela peut se faire une fois toute la machine assemblée, dans un souci de propreté.

GUIDAGES LINÉAIRES

Lors d'un déplacement linéaire, on souhaite que l'objet en mouvement ne se déplace que dans un seul axe. Par exemple, un axe X ne doit pas se déplacer en Y et en Z, ou il fausserait le mouvement de ces autres axes. On utilise pour ce faire un guide (une tige de métal ou un rail) et un roulement linéaire. Ce roulement doit également avoir aussi peu de friction que possible, afin d'être aussi efficace et aussi silencieux que possible. On utilise pour cela soit des roulements à billes, soit des roulements en plastique (teflon).

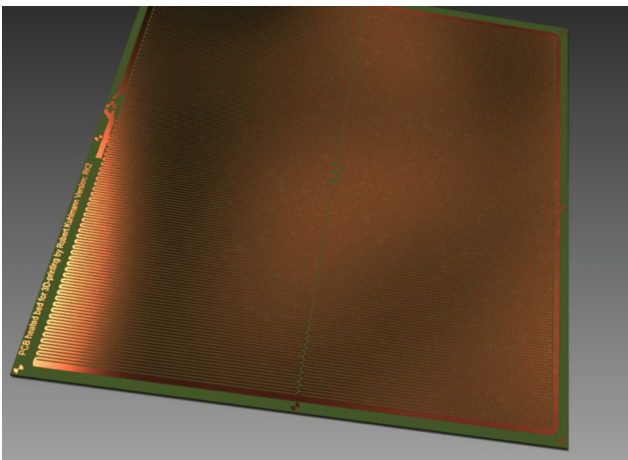


Ces roulements doivent ensuite être attachés à l'élément en mouvement, soit en utilisant une pièce imprimée et des vis ou tout simplement des colliers de serrage pour les serrer à une encoche sur une plaque. Dans le cas des colliers de serrage, elles doivent être aussi serrées que possible. Les roulements doivent être lubrifiés régulièrement.

PLATEAU CHAUFFANT

Les pièces s'impriment sur une plaque, typiquement en verre (pour sa très grande planéité), ou parfois en métal ou en acrylique. La plaque est souvent chauffée (bien que ce ne soit pas forcément nécessaire mais bien pratique pour le PLA, cela reste indispensable pour l'ABS).

Une plaque chauffante, dans laquelle un courant circule, est placée sous la plaque de verre, lui fournissant la chaleur. Il y a deux types principaux de plaques chauffantes : soit celles faites à base de plaque PCB, soit à partir de film de kapton (scotch haute température). Les deux sont simplement un "chemin" de cuivre, isolé sur ses deux faces.



Le courant est fourni par l'électronique. Une thermistance est également attachée au plateau pour capter sa température et est connectée elle aussi à l'électronique. La température est lue, si elle est inférieure à la température désirée, l'élément chauffant s'allume pour atteindre la bonne température.

EXTRUDEUR

On entend deux choses par "extrudeur", soit uniquement la roue dentée motorisée qui entraîne le filament vers la buse. Soit l'ensemble composé de cette roue dentée motorisée et de la buse chauffante qui fond le filament.

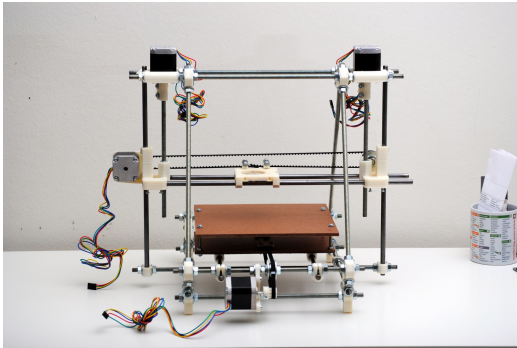
Il existe différents types d'extrudeurs. Les principales familles sont caractérisées par le type de moto-réduction utilisé :

- en pièces imprimées (Gregs, Wades) ;
- en métal (moteur pas-à-pas à réduction intégrée) ;
- en plastique (encore intégrée, non-recommandée car se dégradant rapidement...) ;
- aucune réduction ("Direct-drive", ne fonctionne que lorsque peu de force est nécessaire) ;

Les modèles et leurs dérivés sont légion et pour chaque machine de nombreux modèles sont compatibles. Il y a une seule incompatibilité majeure, les extrudeurs coulissants sur l'axe X ont une attache soit horizontale, soit verticale et les deux ne sont pas interchangeables.

http://reprap.org/wiki/File:VertX_assembling_belt3.jpg

Attache verticale du chariot de l'extrudeur.

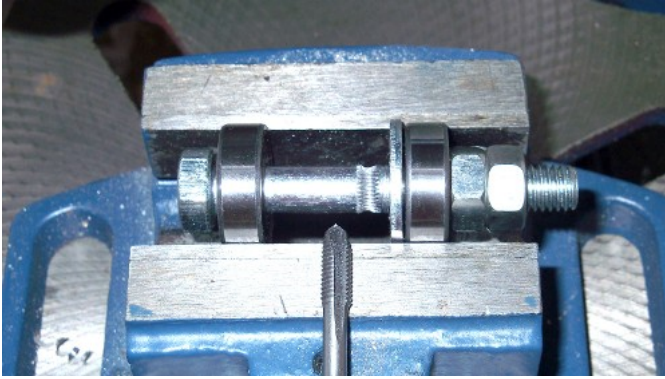


<http://bit.ly/lcqmmBn>

Attache horizontale du chariot de l'extrudeur.

En fonction des pièces que vous vous êtes procurées, le montage de l'extrudeur sera plus ou moins compliqué.

Pour le modèle Wade³ par exemple, il vous sera peut-être nécessaire d'usiner le galet (qui entraîne le filament) dans une vis. Cette opération se réalise en utilisant un tarot avec une perceuse.

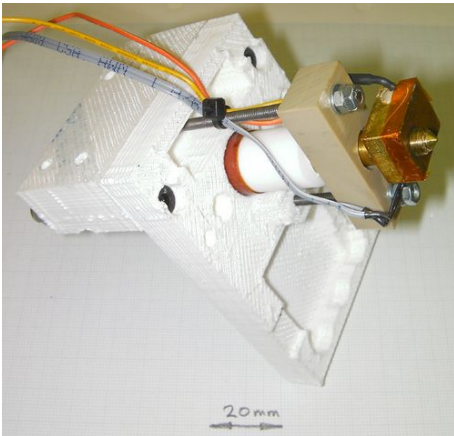


L'extrudeur en lui-même est souvent relativement simple à monter.

Par contre il faut prendre un soin particulier pour le relier à la buse.

BUSE

La buse est l'élément chauffant qui permet de fondre le plastique pour imprimer.



Comme elle atteint des températures élevées (180 à 200° environ), il faut tout mettre en œuvre pour empêcher cette chaleur de remonter vers l'extrudeur, car si le filament se ramollit à ce niveau, le galet risque de patiner et l'extrusion de bloquer. Cette barrière thermique doit en plus être assez résistante mécaniquement car l'extrusion met en jeu des forces très importantes : pour extruder du PLA, le galet pousse dans la buse avec une force équivalente à 10Kg.

Il y a deux parties principales à la buse :

- En bas, souvent en laiton ou en bronze, l'élément métallique chauffé dans lequel le plastique est fondu.
- Au-dessus, la barrière thermique : un tube, soit en plastique haute température (PEEK, noir dans l'image) soit en métal (avec un radiateur), qui sépare la partie chauffante du reste de la machine, et sert à évacuer la chaleur qui pourrait remonter dans le filament et empêcher le tout de fonctionner.

La buse chauffante est l'outil primordial de votre imprimante 3D, le filament de plastique y est poussé, et du plastique fondu en ressort pour être ensuite déposé sur la surface d'impression. L'analogie du pistolet à colle est souvent utilisée. Toutefois, cette pièce n'est pas aussi simple que l'on pourrait le croire. Génération après génération, les modèles actuels ont évolué vers des dimensions et une structure très précises qui assurent une température régulière, un débit constant et évitent les accidents tels que les buses bouchées.

Comme pour le lit, deux éléments importants, un élément chauffant (souvent une résistance ou une cartouche chauffante) et un élément de lecture de température (couramment une thermistance). L'électronique utilise ensuite les deux pour lire et maintenir la buse à la température désirée.

La résistance chauffante est souvent attachée à la buse, soit par un vis de fixation, soit par du ciment thermique. La thermistance est soit passée dans un trou, soit fixée à l'aide de scotch de kapton*.



Lorsque l'on imprime de l'ABS, il est recommandé d'ajouter un ventilateur pour refroidir la partie haute de la buse (le tube de PEEK ou de métal). À noter également que cette partie contient souvent, afin de faciliter le glissement du filament, un tube intérieur de PTFE (Teflon). Ce tube commence à se déformer à 245°C environ. Une fois déformé, il doit être remplacé et les gaz dégagés sont très nocifs. Attention donc à la température de votre buse et à bien refroidir ce tube.

ÉLECTRONIQUE

La carte électronique est le cerveau de votre RepRap. Elle reçoit des instructions (G-code) de votre ordinateur, le firmware (micrologiciel) présent sur le micro-contrôleur les interprète, puis utilise des drivers de moteurs pas-à-pas pour déplacer les éléments de la machine, ainsi que des transistors de puissance (MOSFETs) et des éléments de lecture de température (thermistances) pour contrôler la température des différents éléments (le lit, la buse).

Voici quelques modèles mais toute électronique peut contrôler tous les types de RepRaps.

Famille des micro-contrôleurs 8-bits, basés sur Arduino :

- RAMPS, composé d'un Arduino Mega et d'un "Shield" pour celui-ci. C'est la plus utilisée.
- Sanguinololu. Souvent à souder soi-même en entier, c'est l'option la moins chère.
- Melzi, Printboard, Rumba/Rambo sont toutes des dérivées des deux ci-dessus.

Famille des microcontrôleurs 32-bits, plus puissants et faciles à utiliser mais encore peu adoptés :

- 4PI, très compacte, avec un design très performant.
- Smoothieboard, moins cher, se concentrant sur les fonctionnalités et la facilité d'utilisation.

Si vous ne savez pas quoi choisir, n'hésitez pas à contacter la communauté pour savoir quel modèle vous correspondra le mieux.

CÂBLAGE

L'ensemble des composants électroniques de la RepRap vont devoir être relié à la carte électronique de commande.

Pour les moteurs pas-à-pas, qui utilisent généralement quatre fils et qui peuvent générer d'éventuelles perturbations électromagnétiques, il est conseillé de torsader ou de tresser les fils et les glisser dans des gaines pour éviter de les arracher lors de la manipulation de la machine.

En isolant ainsi les câbles, vous éviterez aussi d'entraver les parties mobiles. Prenez garde de toujours laisser un peu de marge sur les zones critiques où se produisent les déplacements d'axes pour ces mêmes raisons.

Les moteurs pas-à-pas doivent tous respecter l'ordre de câblage indiqué dans la documentation de l'électronique. Si vous constatez que les codes couleur des câbles sont différents de ceux documentés, il existe des astuces simples pour déterminer quels câbles appartiennent à la même bobine. Si vous avez un multimètre, faites un test de continuité : mesurez la résistance entre les deux câbles : si vous obtenez une valeur c'est qu'il s'agit de la même bobine. Plus simplement, si vous connectez deux câbles et que vous ressentez une résistance mécanique quand vous tournez le moteur à la main, cela signifie que ces câbles appartiennent à la même bobine.

Les fabricants de cartes électroniques de contrôle utilisent des contacteurs de type standard Molex pour brancher les moteurs, la buse et le plateau chauffant.

Du fait de la plus grande intensité passant dans les câbles des résistances chauffantes utilisées pour la buse et le plateau, il est aussi conseillé d'utiliser une section plus grosse pour éviter leur surchauffe. Une section de 0.75mm² rencontrée sur les alimentations de PC est généralement suffisante.

ALIMENTATION

Pour offrir l'énergie suffisante à l'électronique de la RepRap, vous pouvez choisir d'utiliser le type d'alimentation préconisée pour le modèle en question ou, si cela s'avère plus économique, utiliser une alimentation ATX de PC générique. Prenez garde à toujours utiliser des alimentations stabilisées et à choisir une puissance suffisante.

DERNIÈRES VÉRIFICATIONS AVANT D'ALLUMER

A ce stade votre machine est physiquement complète.

Avant de lui enseigner les rudiments de la vie et **avant toute mise sous tension**, il est bon d'effectuer un contrôle global de l'ensemble des composants.

Il vous sera nécessaire de contrôler :

- L'aspect général du châssis et de la partie mécanique : la structure n'a pas de jeu apparent, évidemment, aucune vis ou écrou ne tombe quand on l'agite un peu.
- Les moteurs, courroies et transmissions : elles sont bien en place et correctement tendues. Les éléments mobiles glissent normalement sur leur trajectoire quand on les déplace à la main.
- Les câblages : ils sont corrects. Aucune fiche de connexion ni aucun fil ne flottent sans être connectés. Il est possible de contrôler avec un multimètre la conductivité des différentes bornes sensées être à la masse. Notez qu'il **est très facile de se tromper** sur un câblage et qu'une erreur peut provoquer la destruction de certains éléments du circuit. L'idéal est de faire contrôler le câblage par une autre personne que celle qui a fait le montage.

Une fois ces vérifications effectuées, touchez du bois, croisez les doigts, respirez un grand coup, puis :

- branchez le câble USB à votre ordinateur ;
- mettez la machine sous tension ;

Vérifiez alors qu'aucun bruit violent ne se fait entendre.

- les ventilateurs sensés être actifs le sont-ils ?
- la carte électronique n'émet pas de signaux inquiétants avec ses leds (se référer pour ça à la documentation de la carte de contrôle dont vous disposez)

Alors il semblerait que votre machine réagit bien.

Il est temps de passer à la configuration de l'électronique pour la rendre complètement opérationnelle.

1. <http://reprap.org/wiki/Rostock>
2. <http://reprap.org/wiki/Mendelmax>
3. http://reprap.org/wiki/Wade%27s_Geared_Extruder

7. CONFIGURER ET ÉTALONNER SA REPRAP

Pour pouvoir utiliser sa machine, il faudra installer un firmware dans l'électronique de commande et le configurer en fonction des différentes caractéristiques mécaniques du système.

GÉOMÉTRIE ET MÉCANIQUE

Les modèles RepRap les plus courants sont des robots cartésiens*: les axes sont perpendiculaires les uns aux autres. La tête extrudeuse se déplace par rapport à trois axes.

- l'axe X (gauche et droite) ;
- l'axe Y (avant et arrière) ;
- l'axe Z (haut et bas).

En général, le déplacement de l'axe Z se fait grâce à des tiges filetées, tandis que des courroies permettent le déplacement sur les axes X et Y.

Les caractéristiques de votre RepRap

La RepRap possède aussi un volume utile défini par la **surface de la plaque d'impression** et par le **débattement de l'axe Z**.

Il sera donc utile de connaître les données suivantes pour commencer à configurer le firmware et calibrer votre machine :

- Pas des tiges filetées pour l'axe Z ;
- Pas des courroies des axes X Y ;
- Surface de la plaque d'impression ;
- Débattements des axes X, Y, et Z une fois l'extrudeur monté et les stops fixés.

Tension des courroies

Les courroies doivent être juste suffisamment tendues pour qu'une rotation d'un pas du moteur pas-à-pas déplace effectivement l'axe en question. Ce test peut être effectué à la main et visuellement sur les axes X et Y.

FIRMWARE

L'électronique qui pilotera les trois axes de la RepRap, le moteur qui entraîne le fil de plastique et la boucle de régulation thermique de la buse (et du lit chauffant si présent) vont utiliser des outils mathématiques complexes qui ont besoin de connaître les caractéristiques de la machine pour fonctionner.

Pour configurer correctement le firmware, il est utile d'avoir sous la main des informations à propos :

- du type de carte électronique utilisée ;
- du type de thermistance utilisée pour l'extrudeur et pour le lit chauffant ;
- de la valeur de calibration en pas/ unité (step/unit) pour X, Y, Z, E (extrudeur) ;
- des valeurs limites minimum et maximum des axes ;
- les caractéristiques des moteurs pas à pas ;
- savoir s'il y a présence d'interrupteurs de fin de course ou non.

Le *firmware* est le logiciel de contrôle qui tourne sur le microcontrôleur de l'électronique de votre Reprap. Il y a deux principaux modes d'opération pour configurer le firmware, les plus classiques firmwares en 8bits (Arduino) et les firmwares plus récents en 32bits (ARM).

Vous trouverez sur cette page une liste exhaustive des firmwares utilisables : <http://reprap.org/wiki/Firmware>

Prenez garde à bien vérifier la compatibilité d'un firmware avec la carte électronique de commande que achèterez.

Firmwares Arduino

Ces firmwares tournent sur des électroniques dérivées de la plateforme Arduino : RAMPs, Sanguinololu, Melzi et autres.

Vous devrez modifier la configuration directement dans un fichier du code source du firmware (*configuration.h*), compiler le firmware, puis le téléverser sur la carte de contrôle. Le processus se fait à travers l'interface Arduino et est relativement aisé une fois l'outil maîtrisé.

Voici des exemples de firmware basés sur Arduino :

- Celui de Marlin (le plus utilisé et développé) : reprap.org/wiki/Marlin
- Celui de Sprinter (considéré le plus stable) : reprap.org/wiki/Sprinter
- Celui de Teacup (utilisé sur Gen7*) : github.com/Traumflug/Teacup_Firmware

Prenez garde pour certaines cartes comme Gen6 et Sanguinololu, d'utiliser la version du logiciel Arduino conseillée et comportant les ajouts requis.

Firmwares ARM

Dans le cas des firmwares ARM (utilisé dans les projets comme 4pi, Smoothieboard et autres), il n'y a pas de compilation à faire, il suffit de brancher le câble USB dans l'ordinateur, le fichier de configuration apparaît comme un fichier texte sur une clef USB, et est édité directement. N'hésitez pas à consulter la documentation sur le site de smoothieware.org.

Résolution des axes

Chaque axe est contrôlé par un moteur pas à pas. Ce genre de moteur se déplace d'un pas à la fois. De façon générale, ils ont 200 pas par tour. Les pilotes sont ensuite capables d'ajouter plus de finesse en faisant des micropas, ils séparent chaque pas en 16 micropas. Le driver peut donc positionner le moteur avec une précision de $16 \times 200 = 3200$ pas pour chaque tour. Cependant, la valeur par tour n'est pas intéressante en soi, le firmware souhaite savoir de combien de micropas il doit faire tourner le moteur pour avancer d'un millimètre. Par exemple pour une tige filetée qui déplace l'axe de deux millimètres pour chaque rotation, il y aura $16 \times 200 \times (1 / 2)$ micropas par millimètre. Cette valeur doit être fournie par le firmware pour qu'il puisse faire les mouvements aux bonnes côtes.

Premier calcul

Ce réglage est à effectuer une seule fois pour votre machine. Ce réglage est fonction des données collectées précédemment et des outils pour faciliter le calcul des valeurs de calibrations existent (comme <http://calculator.josefprusa.cz/>).

Affiner les réglages

En fonction de la rigueur du montage de votre machine, cette première étape peut suffire pour obtenir des objets à la côte mais pour pallier quelques différences, vous pouvez jouer sur les valeurs obtenues précédemment.

Choisissez un objet simple et rapide à imprimer comme un rectangle vide de seulement une ou deux couches et couvrant la plus grande surface possible de votre plaque d'impression. Mesurez-le et comparez avec sa taille souhaitée puis faites une règle de 3 pour obtenir la nouvelle valeur en X et Y à saisir dans le programme du firmware.

$$\text{Nouvelle valeur} = \frac{(\text{Ancienne valeur}) \times (\text{Déplacement constaté})}{(\text{Déplacement demandé})}$$

De la même manière, vous pouvez imprimer un objet simple le plus haut possible (axe Z) et comparer sa côte avec la valeur souhaitée. En reproduisant le processus, vous obtiendrez une machine qui imprimera des objets parfaitement aux côtes même si sa géométrie globale laisse un peu à désirer.

PUISSANCE DES MOTEURS

Une fois votre RepRap montée, câblée, il faut régler la puissance des pilotes de moteurs pas à pas pour ne pas les endommager. Une méthode simple est d'utiliser une interface de pilotage type Pronterface* pour tester le déplacement de chaque axe:

- Positionnez le potentiomètre (avec un tournevis isolé) du pilote à régler au minimum;
- Lancez un déplacement de l'axe via l'interface ;
- Vissez le réglage pour augmenter la puissance jusqu'à l'obtention d'un mouvement sans à coups.

Il est important de ne pas trop monter la puissance pour préserver l'électronique des surchauffes. Le bon réglage est la valeur minimale à laquelle l'axe avance.

Sur les électroniques plus modernes (comme les 4pi ou les Smoothieboard), ce réglage se fait numériquement, il n'y a pas de potentiomètre à régler manuellement, il faut simplement changer la valeur dans le fichier de configuration pour qu'elle corresponde à la valeur nominale du moteur pas à pas. Par exemple pour un moteur de 1.68 Ampères, la valeur est de 1.68.

EXTRUDEUR

Si vous avez un système d'entraînement du filament de type Wade, veillez à serrer suffisamment les vis à ressorts pour que le filament soit fermement entraîné pour utiliser la température la plus basse possible. Cela évitera à la fois une surconsommation électrique et des émanations venant de la fusion du plastique utilisé. Un bon test est de régler votre buse à une température minimale et de faire tourner à la main l'engrenage de la partie motrice et d'augmenter progressivement la température jusqu'à obtenir une extrusion fluide mais sans bulles et sans fumées.

PLANÉITÉ DU PLATEAU D'IMPRESSION

Le plateau d'impression est généralement réglable à l'aide de 4 vis (ou trois sur certains modèles). Pour s'assurer de sa planéité relative à l'extrudeur, positionnez la buse à une hauteur Z arbitraire en vous aidant d'une jauge, puis déplacez manuellement la buse en X et Y aux quatre coins du plateau en surveillant la constance de cette hauteur. Pour plus de précision, un palpeur mécanique* gradué fixé sur le chariot de l'extrudeur peut être utilisé. Le plus simple, si vous n'avez pas ces outils à disposition, munissez-vous d'une simple feuille de papier et utilisez-la comme cale de réglage.

FINS DE COURSE

Le seul interrupteur de fin de course dont la position est critique est celui de l'axe Z. Son positionnement correct est nécessaire pour que l'épaisseur de la première couche soit correcte. Il est aussi utile pour éviter de voir la buse descendre trop bas et abîmer le plateau.

IMPRIMER AVEC SA REPRAP

8. LES CONSOMMABLES

9. UTILISER SON IMPRIMANTE

10. RENCONTRER DES PIÈGES

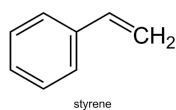
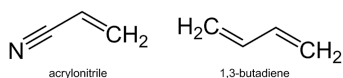
8. LES CONSOMMABLES

Les consommables désignent les divers matériaux servant à nourrir l'imprimante 3D. Le plus souvent, il s'agit de plastique, mais l'inventivité a gagné du terrain et de nouveaux matériaux sont rapidement apparus. Ce chapitre détaille plus précisément les matériaux les plus courants à l'heure actuelle.



Les filaments plastiques les plus utilisés sont l'ABS et la PLA. Ils sont vendus le plus fréquemment sous forme de rouleaux de 0,75kg, 1kg, 2,5kg, 5kg entre autres, et sont disponibles en de nombreux coloris, avec des diamètres de 1,75mm ou 3mm.

ABS

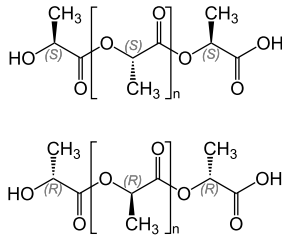


L'ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) fond en moyenne à partir de 230°C. Cette donnée est variable et dépend du diamètre du filament ainsi que de la conformation de la buse comportant la thermistance et la résistance chauffante. Il est recommandé d'utiliser un plateau chauffant pour imprimer des pièces en ABS.

C'est un polymère thermoplastique rigide et léger, avec une bonne résistance aux chocs. Il rentre souvent dans la composition de structures légères thermoformées ou injectées comme certaines carrosseries de voiture. Il est fréquemment utilisé pour la fabrication des appareils électroménagers, les pare-chocs de voiture, les coques de cafetières, coques d'ordinateurs ainsi que les fameuses briques de construction LEGO ou la carrosserie de la Citroën Mehari.

L'ABS a un aspect brut, un rendu mat et peut être assez facilement retravaillé, limé ou poli. Il a comme inconvénients d'être fragile aux ultra-violets, il jaunit à la lumière, et de devenir cassant à très basse température. En fondant, l'ABS dégage des vapeurs assez irritantes.

PLA



Le PLA (Polylactide acid) fond en moyenne à partir de 180°C. De même que pour l'ABS, cette donnée est variable et dépend du diamètre du filament ainsi que de la conformation de la buse. C'est un polymère thermoplastique rigide, biodégradable à base d'amidon de maïs.

Il provient de la fermentation des sucres ou de l'amidon sous l'effet de bactéries. Il est utilisé pour les emballages alimentaires, les sacs plastiques des grands centres commerciaux dans le but de remplacer les sacs en polyéthylène non-biodégradables.

Le PLA a un aspect brillant, transparent et lisse (mais on peut le trouver dans différentes couleurs). Il est plus difficile à usiner et à retravailler que l'ABS. Le PLA est déconseillé pour la fabrication de pièces trop proches de l'extrudeur, compte tenu de son point de fusion plus bas que l'ABS.

Il se dégrade sous l'action de l'eau, de la chaleur et de certaines enzymes et reste globalement plus sensible à la température. Bien que biodégradable, il contient des additifs chimiques, mais il dégage beaucoup moins d'émanations toxiques que l'ABS et que la plupart des plastiques disponibles.

AUTRES PLASTIQUES

Outre l'ABS et le PLA, qui sont les deux plus courants, d'autres sortes de plastiques sont utilisés dans les imprimantes 3D. Ces matériaux sont proches ou dérivés de produits utilisés dans l'industrie classique.

- ABS "conductif" : Il est fait d'ABS mélangé à des fibres de carbone pour en faire un conducteur électrique permanent.
- HIPS (High Impact Polystyrene) : ses propriétés sont proches de l'ABS, mais son dissolvant est le limonène (acide naturellement présent dans les agrumes) plus écologique que l'acétone (utilisé pour l'ABS).
- PVA (Polyvinyl alcohol (PVOH, PVA, or PVAL)) : polymère synthétique soluble dans l'eau, issu de l'acétate de Polyvinyle, il est biodégradable.
- HDPE (High Density Polyéthylène) : plastique peu cher, résistant, durable, imprimable à basse température, mais difficile à calibrer pour les débutants.
- PET (Polytéréphtalate d'éthylène) : thermoplastique courant (bouteille et emballage) utilisé sur des projets visant à recycler les plastiques du quotidien.
- PE (Polyéthylène) : plastique peu cher très utilisé par l'industrie recyclable en filament, difficile à coller.
- PP (Polypropylène) : plastique peu cher très utilisé par l'industrie, mais plus rare à trouver en consommable pour les imprimantes. Matière recyclable en filament.
- PVC : Polychlorure de vinyle. Ses fumées dégagent de l'acide chlorhydrique et il contient souvent des plastifiants polluants comme le Phtalate.
- TPE : élastomère thermoplastique, permet de faire des pièces souples.
- Nylon (ou polyamide) : très utilisé dans l'industrie textile. Il est très résistant, avec une bonne finition. Attention, il est particulièrement polluant...
- PC (Polycarbonate) : matière transparente très résistante au choc.

Matériaux composites

Certains matériaux ne pouvant pas être utilisés tels quels (bois, sable,...) en filament, des produits composites à base de PLA ont été développés.

- LAYWOO-D3, PLA chargé en copeaux de bois
- LAYbrick : filament composite contenant du sable brut et utilisé pour la confection de formes et de modèles pour l'industrie et l'architecture. Mais ce matériau reste très fragile...

AUTRES MATÉRIAUX ET EXPÉRIMENTATIONS DIVERSES

D'autres projets de machines à ajout de matière dérivé de la RepRap permettent de produire des objets ou sculptures en argile, céramique, béton, colle, chocolat, pâte à gâteaux, sucre ...

FOURNISSEURS

La principale source d'approvisionnement de consommables est disponible sur internet via les sites des constructeurs d'imprimante, et certains distributeurs de matériaux et composants électroniques.

Les distributeurs de matériel électronique vendent aussi des bobines de PLA ou d'ABS adaptées depuis qu'ils vendent des kits de montage et des imprimantes. Certains de ces revendeurs ont des boutiques et peuvent donc distribuer des bobines directement.

Vous pourrez trouver sur cette page du Wiki de la RepRap, une liste de fournisseurs de machines et de consommables : http://reprap.org/wiki/Printing_Material_Suppliers.

La qualité et le comportement de la matière varient d'un fournisseur à un autre, mais aussi entre deux bobines de même provenance. Il peut y avoir des variations aussi entre deux fils de même origine, mais de couleur différente, il est donc indispensable de tester un nouveau fil voir de réétalonner sa machine pour être sûr des résultats.

STOCKAGE

La plupart des fils sont livrés sur des bobines qui peuvent permettre l'alimentation directement de l'imprimante et sont emballés dans des sachets antistatiques étanches. Le PLA et surtout l'ABS sont sensibles aux UV et à l'humidité, il convient de les conserver au maximum dans leur sachet d'origine si possible fermé pour éviter que le fil devienne cassant et inutilisable.

Si la RepRap n'est pas utilisée pour une longue durée, il vaut mieux retirer la bobine de la machine et la conserver à l'abri de la lumière et au sec. Le fil peut avoir tendance à s'emmêler et faire des noeuds ce qui peut bloquer la machine pendant l'impression. Il faut donc régulièrement vérifier que le fil peut se dérouler correctement au cours de la production.

9. UTILISER SON IMPRIMANTE

Après avoir assemblé correctement sa RepRap, vient le temps de l'impression des pièces. Il y a 3 grandes étapes :

- obtenir un fichier 3D ;
- générer le fichier G-Code ;
- lancer l'impression.

OBTENIR UN FICHER 3D

Pour imprimer un volume il faut un fichier numérique 3D, le plus souvent au format .STL ou .OBJ. En fonction de ses objectifs et de ses compétences, on peut le concevoir soit même ou chercher un fichier existant sur internet.

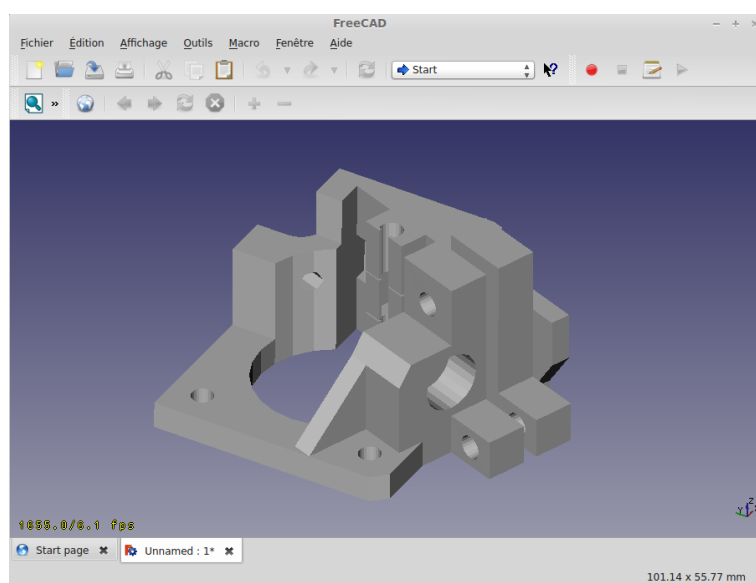
CONCEVOIR UN OBJET

En fonction du type d'objet que vous souhaitez imprimer, vous pouvez utiliser plusieurs logiciels de conception 3D.

Par exemple, un grand nombre de pièces de la RepRap que les membres de la communauté conçoivent sont faites à l'aide du logiciel OpenSCAD. Ce logiciel libre utilise le texte et une syntaxe simple pour décrire des géométries complexes. Il fait appel aussi à des paramètres pour personnaliser les objets. Cela fait d'OpenSCAD un outil simple d'approche pour un non-spécialiste pour produire un fichier au format STL.

Si vous êtes déjà un concepteur 3D expérimenté, vous pouvez parcourir le livre "Blender pour l'impression 3D" de flossmanuals (<http://fr.flossmanuals.net/blender-pour-limpression-3d/>) ; ce logiciel libre permet de créer des formes 3D très complexes, organiques. C'est l'outil idéal pour des pièces originales de design. Il existe d'autres éditeurs 3D, voir le chapitre "Se préparer à monter sa RepRap".

Cet objet par exemple est visualisé dans Freeca.



TROUVER UN OBJET

Au cas où vous ne souhaitez pas concevoir votre objet ou vous ne savez pas le faire pour l'instant, la communauté met à votre disposition plusieurs sites web de partage d'objets (comme Thingiverse <http://thingiverse.com>, The Pirate Bay <http://thepiratebay.sx/browse/605>, You Imagine.com <https://www.youmagine.com/>)

GÉNÉRER LE FICHER D'IMPRESSION EN G-CODE

Une fois que vous êtes en possession d'un fichier au format STL, une étape de transformation est nécessaire pour que le firmware de l'électronique puisse l'interpréter puis produire les déplacements et l'extrusion.

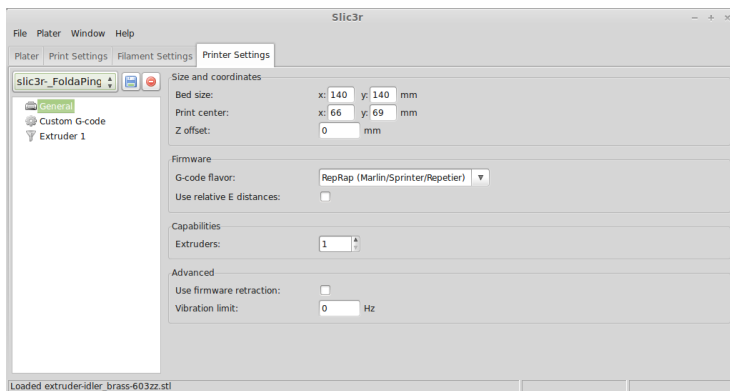
Cette étape est cruciale dans le processus d'impression 3D. C'est à cette étape-là que s'affinent les réglages en fonction des différentes caractéristiques de la pièce que vous désirez imprimer.

Un logiciel libre simple à utiliser est Slic3r¹. Il fonctionne sur Linux, Mac OSx et Windows, c'est ce logiciel qui illustre cette partie. D'autres logiciels existent et/ou existeront, mais même si l'interface changera, le principe de ces réglages restera le même.

Slic3r sépare les réglages en trois grandes rubriques, organisées en fonction de la fréquence de modification et consultables par des onglets. Dans chaque rubrique on peut enregistrer plusieurs réglages particuliers (en haut à gauche de l'interface).

Imprimante

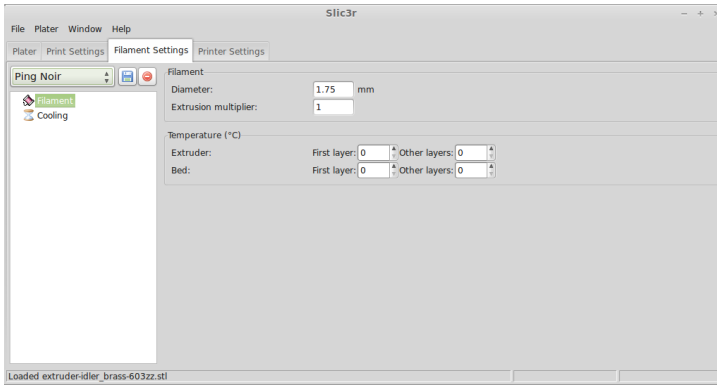
En anglais vous trouverez ce terme intitulé *Printer settings*. Ces réglages sont changés très rarement (en cas de modification ou de changement de votre machine). Le logiciel démarre la première fois en vous demandant les caractéristiques de votre machine. Ces réglages se retrouvent dans l'onglet "printer settings" :



Il s'agit principalement de la taille du plateau, les types de firmware utilisés et le nombre d'extrudeurs. On peut y ajouter du G-Code additionnel qui s'insérera au début et à la fin de l'impression, comme repérer le point zéro au début et éteindre la chauffe de la buse au début et à la fin. Une fois ces réglages effectués vous n'aurez en principe pas à y revenir.

Filament

Ici sont rassemblés les réglages ayant trait au filament de plastique utilisé.

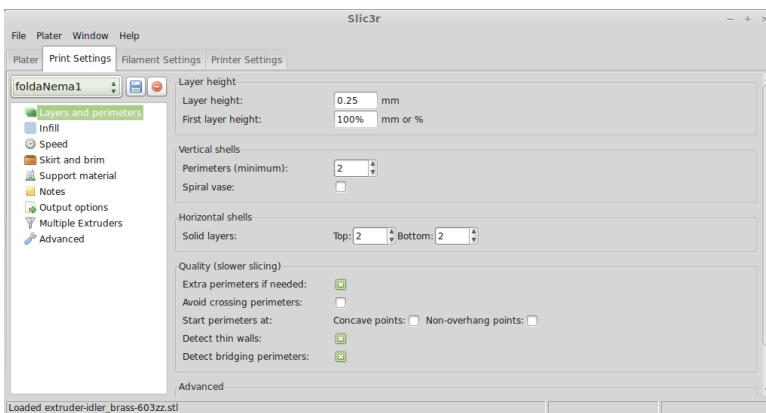


Y figure évidemment le diamètre du fil, mais aussi la température de chauffage de la buse et du plateau. Ils diffèrent en fonction du matériau et de la couleur du filament. La première couche est critique, car dans le procédé de dépôt de fil, il s'agit de la fondation de l'objet dans son ensemble. Il est donc conseillé de la réaliser à une température plus élevée de 5°C que la température nominale.

Il est judicieux d'enregistrer un réglage pour chaque filament utilisé, car même avec le même matériau, le filament de couleur différente peut avoir une température de travail un peu différente.

Impression

En anglais vous trouverez le terme de *printer settings*. Il s'agit de la partie la plus importante que vous serez amené à ajuster souvent, en fonction de vos besoins, ou du type d'objet à imprimer.



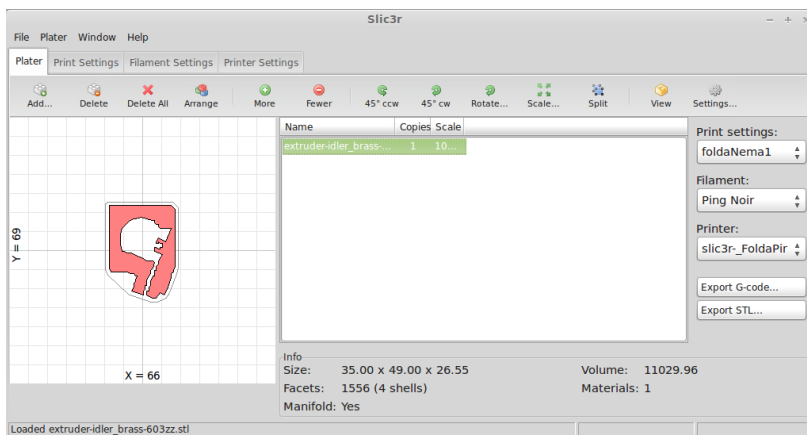
Les réglages principaux sont :

- hauteur d'une couche (*layer height*) : avec une buse de 0,5mm, une hauteur de 0,25 est un bon début. Des couches plus fines (jusqu'à 0,1) produiront un objet d'un meilleur fini, mais plus long à imprimer.
- nombre de couches pour les périmètres de l'objet et pour ses surfaces basses et hautes.
- taux de remplissage (*infill>fill density*) : pour économiser de la matière, on peut imprimer un objet complètement creux, mais si on veut plus de solidité, on choisira un remplissage plus élevé. 0=objet vide; 1=objet plein; 0.6=objet rempli à 60%. Différents motifs de remplissage sont disponibles, comme le nid d'abeille (*honeycomb*) ou des lignes. Ceux-ci sont plus ou moins rapides à imprimer et plus ou moins solides.
- vitesse pour diverses parties de l'objet : une vitesse plus élevée produira une impression de moins bonne précision.
- présence de supports pour les porte-à-faux (*support material*) : Cet ensemble de réglage permet de demander au programme de construire des supports là où la pièce à imprimer ne commence pas au sol (par exemple un pont)

Une astuce est d'activer aussi l'option "Skirt" qui va tracer un pourtour à distance constante du périmètre de l'objet. Cela permet d'amorcer l'extrusion un peu avant de tracer l'objet. Cette option montre aussi si l'objet ne dépassera pas de la surface utile.

Générer le G-Code

Une fois ces réglages faits, chargez un fichier .stl généré précédemment et lancez la compilation vers un fichier .gcode.

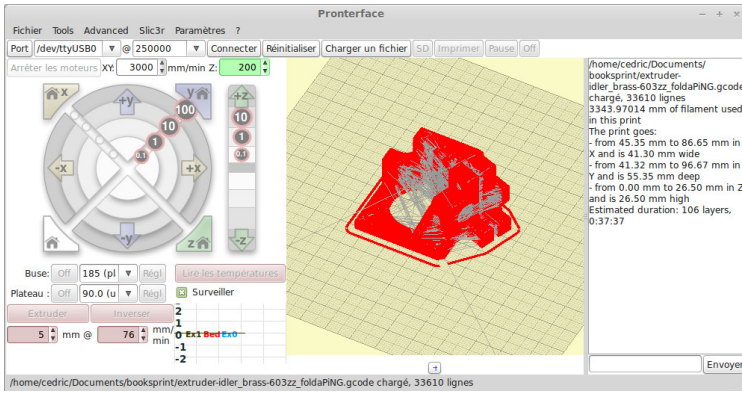


L'onglet plateau (ou *plater*) permet de positionner le ou les objets à imprimer sur le plateau. Sur la droite de l'interface figure un résumé des réglages que vous avez choisi pour cette impression.

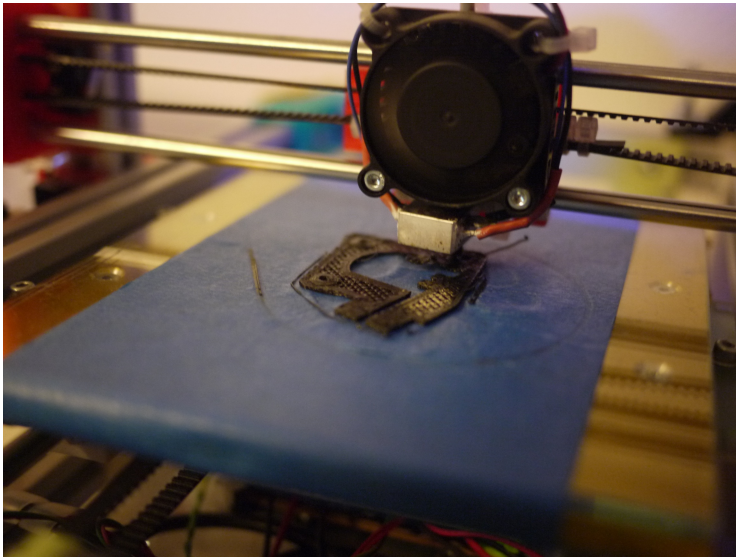
La compilation se lance en choisissant "export G-code...". Notez que le format .gcode est un simple fichier texte que le firmware de la RepRap va lire ligne par ligne pour décrire les déplacements, les vitesses et accélérations et la température de la buse et de la plaque.

LANCER L'IMPRESSION

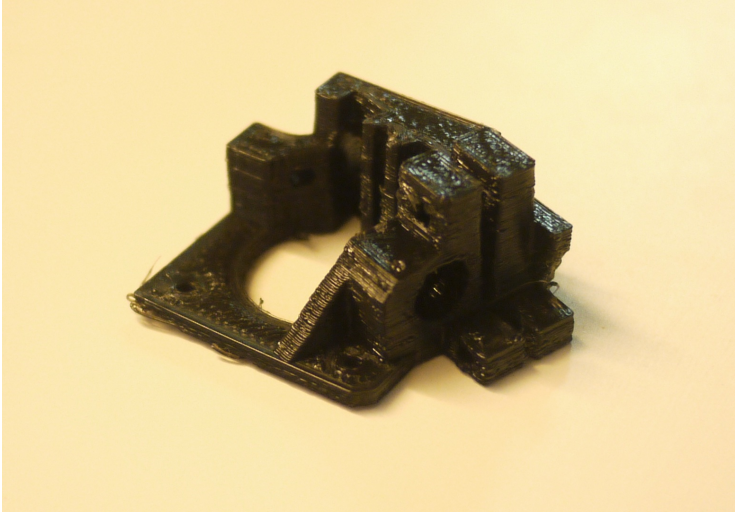
Pour envoyer le .gcode généré par Slic3r à l'électronique, il faut utiliser un second logiciel de commande. On peut conseiller l'usage du logiciel libre Pronterface appelé aussi printron .



Ce logiciel vous permet de commander chaque axe et l'extrudeur pour vérifier le bon fonctionnement général de votre RepRap. Il va vous permettre de charger un fichier .gcode et l'envoyer au firmware de l'électronique pour imprimer l'objet. Pronterface possède aussi une option d'affichage 3D du tracé G-code, qui permet de vérifier que le G-code généré correspond bien à vos desiderata.



Si l'impression se passe mal, arrêtez-la et analysez le problème en vous référant au chapitre "Rencontrer des pièges".



Si l'impression donne un résultat acceptable, vous pouvez vous féliciter et éventuellement sauter au plafond en faisant des moulinets avec les bras. Un peu plus tard, à tête reposée, évaluez les manques ou les inconsistances et comparez avec l'objet précédent. Vous pouvez vous référer à la documentation de Slic3r (en anglais). D'une manière générale, il est bon d'utiliser les valeurs par défaut pour des premiers tests et faire varier un seul paramètre à la fois.

Lorsque vous obtenez des résultats satisfaisants, faites un profil avec un nom explicite faisant éventuellement référence au type d'objet et sauvegardez-le. Cette configuration est spécifique à votre machine puisqu'elle dépend de ses caractéristiques donc si vous souhaitez partager un objet, partagez le fichier .stl source et non le .gcode

1. <https://github.com/kliment/Printrun>

10. RENCONTRER DES PIÈGES

Au cours de la mise au point ou de l'usage de votre machine, vous allez rencontrer des petits problèmes qui peuvent paraître insolubles si vous ne les abordez pas avec du bon sens. Pour le reste, ce chapitre répond aux différents problèmes courants rencontrés.

REMONTER LA CHAÎNE

Même si l'imprimante 3D, une fois en service, apparaît comme un simple périphérique informatique, elle peut être sujette à des problèmes qui viennent d'autres plans.

Une RepRap a des composants **mécaniques**, guidés **électriquement** par une carte **électronique**, elle-même pilotée par un **logiciel**. C'est dans cet ordre et toujours dans cet ordre qu'il faut remonter le fil des incidents. Cette méthode vous permettra d'économiser un temps précieux.

QUELQUES DIFFICULTÉS LES PLUS FRÉQUEMMENT RENCONTRÉES

Problème : l'extrudeur patine et le filament n'avance pas

Du côté mécanique

- la bobine de filament est-elle libre et non emmêlée ?
- la roue d'entraînement est-elle propre ?
- un obstacle (comme le plateau par exemple) n'obstrue-t-il pas la sortie de la buse ?
- la buse est-elle bouchée ? (si c'est le cas, retirer et remettre le filament, à chaud)

Du côté électrique

- vérifier dans le logiciel que la buse a bien atteint la température requise ?
- si ce n'est pas le cas :
 - vérifier le câblage de la résistance de chauffe.
 - **hors tension**, décâbler la résistance et vérifier sa valeur au multimètre pour s'assurer de son état.

Du côté électronique

- sous tension, en mettant une consigne de température, vérifier au multimètre la tension qui sort de la carte de contrôle au niveau de la résistance de chauffe.

Du côté logiciel

- vérifier la communication USB.
- transférer à nouveau le firmware sur la carte.

Le point de non-retour, si vous ne trouvez toujours pas l'origine du problème, il vous reste à :

- passer dans un lab pour demander de l'aide (lisez le chapitre *Où trouver de l'aide ?*).
- demander de l'aide sur IRC ou un forum.
- ouvrir la fenêtre et y jeter au choix, l'ordinateur, l'imprimante ou quelques briques en mousse bleue (ça défoule bien).

Problème : la machine "saute des pas", les couches sont décalées les unes par rapport aux autres

Du côté mécanique

- la courroie est-elle bien fixée aux éléments mobiles ?
- la courroie est-elle bien tendue ?
- la structure est-elle bien rigide ?
- la plaque de verre est-elle bien attachée ?

Du côté électrique

- Le réglage du courant des drivers de moteurs pas-à-pas est-il correct (il doit être au minimum possible) ?
- L'alimentation est-elle suffisamment puissante pour la machine ?
- Tous les câbles sont-ils bien connectés ? Vérifier les connecteurs, les faux contacts sont parfois cachés.

Du côté électronique

- L'accélération n'est-elle pas trop haute ?
- La vitesse n'est-elle pas trop haute ?
- Les drivers de moteurs pas-à-pas sont-ils trop chauds ?

Du côté logiciel

- Le fichier STL contient-il trop de détails (il en résulte un fichier G-code trop dense) ?
- Le baud-rate du port série est-il trop lent ?
- L'ordinateur se met-il en veille ?

Comme vous pouvez le constater, la démarche consiste à aller du plus simple au plus compliqué. Normalement vous trouverez la solution au problème avant d'avoir remonté toute la chaîne (et d'avoir atteint le point de non-retour).

PROBLÈMES DE QUALITÉ D'IMPRESSION

Imprimer en 3D s'apprend. La réussite d'une impression dépend de nombreux paramètres. Avec un peu d'expérience, vous apprendrez à les maîtriser, mais à vos débuts vous rencontrerez forcément des problèmes mineurs qui impacteront la qualité de vos pièces.

Voici quelques-uns des problèmes les plus courants :

- La pièce n'adhère pas au lit chauffant. Pour le PLA, si vous imprimez sur un plateau en verre directement, nettoyez-le, et augmentez la température du lit. Vous pouvez également essayer du scotch de peintre bleu collé sur le plateau, ou du scotch de PET passé au papier de verre fin. Pour l'ABS, augmentez la température du lit, et appliquez un mélange assez dilué d'acétone et de chutes d'ABS (attention aux vapeurs).
- La pièce se déforme après quelques couches et finit par se décoller. Cela est dû à un refroidissement de la pièce en cours d'impression. Vérifiez que vous ne refroidissez pas la pièce trop agressivement avec les ventilateurs. Vérifiez également qu'il n'y a pas de courant d'air et que la pièce dans laquelle vous vous trouvez n'est pas trop froide.
- Il manque du filament dans les chemins de plastique déposés. Vérifiez que le filament avance bien, voir l'aide à ce sujet ci-dessus. Vérifiez également que les réglages de pas par millimètre de l'extrudeur sont corrects. Dans Slic3r*, lorsque vous configurez le diamètre du filament, ne vous fiez pas au fabricant, mesurez-le, souvent le filament de 3mm fait plutôt 2.8mm.
- Les pièces sont cassantes, se séparant entre deux couches. Augmentez la température de la buse.
- Les pièces présentent des "coulures" sur leurs parois, diminuez la température de la buse.
- Vous voyez de petites "vagues" sur les parois, resserrez les courroies.

Si vous avez un problème non listé ici, n'hésitez pas à contacter la communauté (avec une photo de votre problème), et pensez à consulter également cette page provenant du wiki RepRap (http://reprap.org/wiki/Print_Troubleshooting_Pictorial_Guide).

PERTURBATIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ET AUTRES ÉSOTÉRISMES

Les systèmes électroniques sont en général assez sensibles aux perturbations électromagnétiques et aux décharges d'électricité statique.

Il est bon de savoir qu'en changeant d'étage dans un bâtiment, le corps humain peut se charger de plusieurs centaines de volts en électricité statique (avec une très petite puissance, évidemment). Cette charge, si elle est transmise directement à des composants électroniques, par contact, peut les détruire instantanément. Pour éviter ce genre de désagrément, il est bon de prendre l'habitude de toucher préalablement la masse de la machine (une partie métallique, par exemple celle qui entoure la prise USB) avant toute intervention sur l'électronique.

Les perturbations électromagnétiques, quant à elles, sont des courants résiduels et violents, provoqués par des alimentations à découpage ou autres composants de puissance, qui se propagent dans le réseau électrique d'une machine, ou même d'une maison. Ce type de perturbation peut provoquer différents phénomènes étranges qui peuvent paraître à la limite de la magie. Par exemple, la liaison USB se déconnecte intempestivement en cours d'impression, un moteur perd des pas (et ne se retrouve pas à l'endroit où il devrait être).

Rassurez-vous, ce type de problème apparaît très rarement, les cartes électroniques étant en général protégées contre ce type d'agressions. Cela dit, ces indications peuvent tout de même servir de piste, en dernier ressort (avant l'étape de la fenêtre).

PIÈCES DE RECHANGE

Imaginez-vous dans quelques semaines, avec devant vous une imprimante 3D qui peut imprimer ses propres pièces. Et une de ces pièces casse ! Il vous faudrait une imprimante 3D pour imprimer cette pièce, mais la vôtre ne peut plus le faire ...

Pour éviter ce genre de situation, une solution toute simple : dès que votre imprimante 3D fonctionne correctement, utilisez-la pour imprimer un jeu de pièces d'avance. Les fichiers STL pour chaque modèle sont en général référencés sur la page du wiki <http://reprap.org> de votre machine.

VIVRE AVEC SA REPRAP

11. ÉVOLUTIVITÉ DE LA REPRAP
12. LES DANGERS
13. OÙ TROUVER DE L'AIDE

11. ÉVOLUTIVITÉ DE LA REPRAP

RepRap étant un projet de matériel libre, le contour formel de ce type de machine peut être extrêmement changeant. De la même manière qu'un projet de logiciel libre rencontrant du succès, d'autres développeurs et utilisateurs forment des "forks" (branches alternatives) pour modifier un aspect du projet ou le restructurer radicalement. ◻

Vous en avez déjà une illustration dans le chapitre Quel modèle choisir ? qui rend compte des multiples variantes. Dans le chapitre "Historique", vous avez pu aussi apprécier les différentes architectures d'imprimantes pendant l'évolution du projet RepRap pour corriger des défauts, mettre en exergue une fonctionnalité, simplifier son usage.

Maintenant, en tant que lecteur de ce livre et considérant votre intérêt naissant pour le projet RepRap, VOUS faites partie intégrante de la communauté RepRap et vous avez le droit (licence libre) et les moyens (les sources et l'aide des membres) de modifier le projet pour intégrer vos envies.

LE FORMAT

Comme disent certains "*Size matters !*". Lorsque votre RepRap sera opérationnelle et qu'un ami vous sollicitera pour fabriquer LA tasse à café au design innovant MAIS qui dépasse de quelques centimètres de votre hauteur de fabrication (z) maximale, vous lui direz avec assurance qu'il peut se fabriquer une RepRap adaptée à ses besoins en augmentant la taille de son axe z.

D'autres, plus radicaux, entreprennent la fabrication d'habitations en utilisant un extrudeur de béton monté sur un robot cartésien* dont les axes font quelques mètres de long.

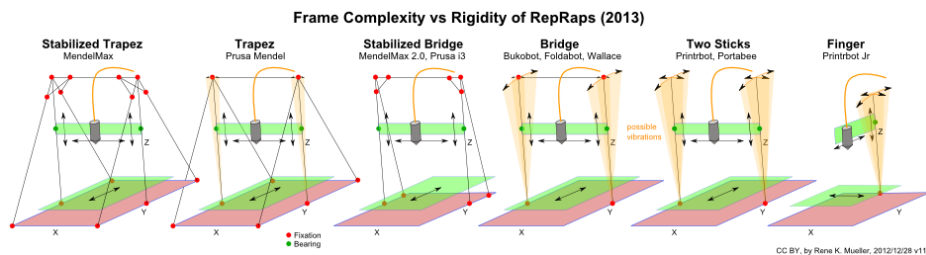
En synergie avec les idées d'autoréplication et de production de masse décrites plus bas, on peut imaginer des usages lointains et reculés, sur terre ou ailleurs pour fabriquer des refuges sans l'aide de l'homme.

LES MATÉRIAUX

Lassés par l'extrusion de plastique, d'autres utilisateurs font usage des seringues, pilotées pour extruder toutes sortes de matériaux à froid : chocolat, ciment, céramique, etc. D'autres se concentrent sur l'usage des polymères en décrivant leurs caractéristiques, leurs toxicités et entreprennent d'utiliser des sources de plastiques recyclés en créant des dispositifs de production de filaments de plastiques à partir des déchets ménagers, vers une plus grande autonomie en ressources.

OPTIMISATIONS

La plupart des branches variantes du projet RepRap s'attachent à la correction des bugs et l'amélioration de la qualité. Les améliorations sont visibles du côté de la structure de la mécanique, pour que les soucis d'inertie, de phénomènes vibratoires ou de stabilité s'amenuisent.



Utiliser des structures en profilés d'aluminium plutôt que des tiges filetées pour la stabilité et la robustesse, éviter d'alourdir la plaque et le chariot de l'extrudeur pour diminuer l'inertie lorsqu'ils se déplacent rapidement dans un sens puis dans l'autre. Diminuer les points de contact sur les glissières des axes en utilisant des roulements à billes linéaires* plutôt que plusieurs roulements à billes simples.

Au niveau du firmware (micrologiciel) embarqué dans la RepRap, les améliorations se font vers l'intégration de meilleurs algorithmes de déplacements ou l'affinage de l'implémentation des algorithmes utilisés. Produire des tracés en courbes de Bézier sans à-coups, diminuer les déplacements inutiles de la buse, anticiper les mouvements à venir sont les améliorations souvent observées.

Globalement, à la fois au niveau du firmware, des logiciels de pilotage, de génération de G-code et au niveau du montage de la machine, les membres actifs de la communauté RepRap s'attachent à rendre plus accessible son usage.

PRODUCTION

Pour contredire la description de la RepRap comme machine de prototypage, certains l'utilisent et l'envisagent comme un outil de production en masse. Des "jeunes pousses" montent des "cluster" grappes de RepRap un peu comme dans une salle de serveurs pour multiplier les capacités de production. Dans une moindre mesure, d'autres ajoutent des buses à leur RepRap et augmentent la surface utile d'impression, un peu à la manière d'un processeur à plusieurs cœurs capable de traiter en parallèle plusieurs tâches en même temps.

Vous trouverez l'exemple d'un projet réalisé avec des composants imprimés en série avec un groupe de Reprap.
<http://www.3ders.org/articles/20130526-creative-3d-printed-interactive-sculpture-adds-a-very-human-touch-to-the-workplace.html>.

POUSSER L'AUTORÉPLICATION

Par essence, le projet RepRap décrit une machine qui doit pouvoir fabriquer un maximum de ses composants. On rencontre certains designs de forks du projet qui se concentrent sur cet objectif en augmentant la quantité de pièces imprimables par une RepRap mais aussi en repensant le câblage électrique des composants, pour remplacer les câbles habituels. D'autres encore se tournent vers l'utilisation d'une seconde buse faisant couler un métal à basse température de fusion dans les pièces de structures.

Certains projets s'attachent aussi à produire une électronique de commande susceptible d'être elle-même montée par une RepRap, dont le routage électronique (la plaque de cuivre) serait percé puis fraisé aussi par un outil intégré et dont les composants seraient déposés toujours par la même machine RepRap.

Pourquoi ne pas envisager un jour de voir des machines de ce type nous aider dans la conception de nos propres microcontrôleurs et ordinateurs ?

12. LES DANGERS

Comme pour toutes les machines, l'utilisation d'une imprimante 3D présente certains dangers, et nécessite certaines précautions. Un peu d'attention et de bon sens permettent de minimiser les risques.

BRÛLURES

La buse d'une imprimante 3D chauffe à 190°C pour l'impression en PLA, 220°C pour de l'ABS, et jusque 300°C pour certains matériaux exotiques. Ce sont des températures suffisantes pour causer des brûlures au second degré, mais dues à la petite taille de la buse, leur gravité est en général très limitée. Le plateau chauffe jusque 110°C, ce qui le rend en général beaucoup moins dangereux; vous avez donc le temps de retirer votre doigt.

Pour éviter les brûlures, n'approchez jamais vos mains ou votre visage de la buse pendant l'impression, ou lorsqu'elle est chaude (attention, la température descend lentement après une impression). L'interface utilisateur donne l'information et permet de s'assurer de la sûreté de la buse. Ne laissez pas les jeunes enfants s'approcher de la machine, et gardez moins jeunes enfants sous surveillance lorsqu'ils utilisent la machine.

En cas de brûlure, refroidissez immédiatement à l'eau froide, jusqu'à disparition de la douleur.

CHOCS ÉLECTRIQUES

Deux types de tensions circulent dans une imprimante 3D typique : un câble secteur apporte du 220V à une alimentation, qui transforme ensuite en 12V ou 24V (basse tension) pour une utilisation par les différents éléments de la machine. Tout le câblage en basse tension présente un risque très réduit.

Le câblage en 220V (prise secteur, voir le chapitre "Assembler") présente un risque d'électrocution. Il doit être complètement isolé de bout en bout. Si vous avez un doute, demandez de l'aide à un professionnel.

Lorsque vous assemblez, ou réparez votre machine, **assurez-vous toujours que la machine n'est pas sous tension.**

INCENDIE

Lorsque vous assemblez une imprimante 3D vous-même, il sera difficile d'atteindre le même niveau d'exigence de sécurité que sur un équipement professionnel/ grande consommation. Une plus grande attention doit être portée à éviter les problèmes suivants :

- **Courts circuits.** Assurez-vous que vos câbles (même ceux à basse tension) soient bien isolés. Lorsque deux câbles qui ne devraient pas se toucher sont mis en contact par accident, un court-circuit peut se produire, les câbles montent en température et peuvent enflammer leur isolant ou des composants proches de la machine.
- **Montée en température incontrôlée.** La buse comporte deux éléments électriques : un élément chauffant, qui fait monter la température de la buse pour faire fondre le filament, et une thermistance (ou thermocouple) qui lit la température de la buse. L'électronique de contrôle lit cette température, et si elle est trop faible, allume l'élément chauffant. Si la thermistance est déconnectée par accident, ou se décroche de la buse, l'électronique allumera l'élément chauffant en permanence sans jamais se rendre compte que la buse chauffe. Cela peut causer un détachement de la buse et potentiellement un départ d'incendie. Assurez-vous que la thermistance est parfaitement attachée à la buse, et que son câblage ne risque pas de se débrancher. Les mêmes remarques sont également valables pour le lit chauffant.

MICROPARTICULES ET VAPEURS

Lorsque le filament est chauffé dans la buse, le thermoplastique peut dégager des vapeurs et des microparticules. Peu d'études ont été effectuées sur leur nocivité. Le PLA, fabriqué à partir d'amidon de maïs, est généralement considéré comme le plus sûr.

L'ABS, et *a fortiori* le nylon, sont considérés moins sûr. La combustion de l'ABS dégage de nombreux gaz nocifs, tels que le monoxyde de carbone (en particulier en cas d'accident, tel qu'une montée en température incontrôlée de la buse), ainsi que d'autres microparticules considérées comme cancérigènes. Afin de limiter votre exposition, il est fortement conseillé d'aérer la pièce dans laquelle vous imprimez ces matériaux. Idéalement, la machine doit être placée dans une boîte étanche, et ventilée vers l'extérieur du bâtiment.

13. OÙ TROUVER DE L'AIDE

La communauté RepRap est très active, de nombreux utilisateurs expérimentés sont disponibles pour vous aider dans vos recherches, et pour résoudre les problèmes. La communauté est aussi un passage recommandé pour avoir des conseils sur de nouveaux développements et idées. La communauté utilise plusieurs moyens de communications, le plus populaire étant l'IRC*.

LE WIKI

Le Wiki Reprap, situé à l'adresse reprap.org/wiki/RepRap est le point central pour la documentation de tous les modèles de machines, et pour suivre les développements du projet. L'essentiel de la documentation est en anglais, mais de nombreuses traductions sont en cours, et disponibles sur reprap.org/wiki/RepRap/fr.

Comme sur la plupart des Wikis, il est fortement encouragé de corriger, participer, et ajouter de nouvelles informations.

L'IRC

Système de dialogue en direct (*Internet Relay Chat*), c'est le cœur du projet, et le meilleur moyen de trouver de l'aide immédiatement auprès de la communauté. De nombreux utilisateurs (plus de 500 sur le salon anglophone) sont présents jours et nuit. N'hésitez pas à poser votre question directement.

On peut se connecter au salon francophone par `webchat.freenode.net/?channels=reprap-fr`

Et au salon anglophone par `webchat.freenode.net/?channels=reprap`

Pour les habitués de l'IRC : #reprap-fr @ irc.freenode.net avec votre client favori.

Vous trouverez sur Floss Manuals Francophone un manuel en cours sur un logiciel IRC en ligne de commande

VOTRE FABLAB

De plus en plus nombreux en France, il y a peut être un FabLab près de chez vous. Vous pourrez très probablement y trouver une imprimante 3D pour vous familiariser, ou imprimer les pièces en plastique de votre future machine. Les reprapiens sont des créatures grégaires, et un FabLab est également un très bon endroit pour en trouver un rassemblement, et leur demander de l'aide.

Plusieurs listes de FabLabs et Hackerspaces :

- fablabo.net/wiki/Fablab_F_aire (en France)
- wiki.fablab.is/wiki/Portal:Labs
- fab.cba.mit.edu/about/labs/
- hackerspaces.org/wiki/List_of_ALL_Hacker_Spaces

LES FORUMS

Les forums permettent non seulement de demander de l'aide, mais aussi de rechercher parmi les nombreuses questions et réponses accumulées au fil des années. Moins utilisés, ils permettent toutefois des discussions dans la durée.

Forum francophone : forums.reprap.org/list.php?110

Forum anglophone : forums.reprap.org

AUTRES

Sur les réseaux sociaux, la communauté "Impression 3D" sur Google+ est à tinyurl.com/impression3D

Les listes de diffusions, exclusivement en anglais, et peu utilisées, sont a reprap.org/mailman/listinfo.

ANNEXES

14. GLOSSAIRE

15. OÙ TROUVER DU MATÉRIEL ?

14. GLOSSAIRE

ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrène)

Thermoplastique un des deux principaux matériaux utilisés pour imprimer avec une Reprap.

Arduino

Micro-contrôleur libre avec une interface de programmation simplifiée. Il interprète des informations (issues du code) et pilote des composants (moteurs, extrudeurs,...). <http://arduino.cc> Vous pouvez consulter le flossmanual sur le sujet: <http://flossmanualsfr.net/home/14-arduino-9791090791497.html>

CAD

Computer Aided Design CAD est le sigle anglais pour la Conception Assistée par Ordinateur CAO. De fait, les noms des logiciels de CAO sont souvent anglais et incorporent le sigle anglais dans leur nom: FreeCAD, QCAD, OpenSCAD, HeeksCAD ...

Libre (licence)

Format juridique de propriété intellectuelle qui permet à quiconque d'utiliser, d'étudier, de diffuser, de modifier une œuvre ou une création.

Open source (hardware)

Création ou Logiciel dont le code ou les plans de fabrications sont ouverts à la consultation et à l'utilisation à titre privé. Dans le monde du logiciel l'open source n'est pas nécessairement libre, par contre la fondation pour l'open source hardware (le matériel open source) stipule que les projets open source hardware doivent être libres. http://linuxfr.org/users/j_kerviel/journaux/libre-vs-open-source-faisons-le-point, <http://www.oshwa.org/definition/french/>

Fabrication additive

Procédé de fabrication où de la matière est ajouté pour obtenir un volume par opposition à l'usinage classique où on enlève de la matière dans un bloc (gravure, perçage,...).

STL

Abréviation de Stéréolithographie, format de fichier 3D utilisé pour l'impression et ouvrable avec la plupart des logiciels de modélisation ou d'impression 3D.

FDM (Fused Deposition Modeling)

Procédé d'impression 3D où un composant (généralement plastique) est fondu et déposé couche par couche pour obtenir un objet, nom déposé par Stratasys.

FFF (Fuse Filament Fabrication)

Procédé d'impression 3D où un filament (généralement plastique) est fondu et déposé couche par couche pour obtenir un objet. Utilisé dans les RepRaps.

PLA

Un des deux principaux matériaux utilisés pour imprimer avec une Reprap.

SLS (Selective Laser Sintering)

Procédé de prototypage rapide, où de la poudre (qui peut être céramique, polyamide, métallique,...) est solidifiée par un laser.

SLA (Stereolithography Apparatus) /Stéréolithographie

Procédé de prototypage rapide, où de la résine photosensible est solidifiée par un laser.

Lit chauffant, plateau chauffant

Dans une RepRap, plaque qui dispose d'un composant chauffant et sur laquelle la pièce est imprimée.

Tube PTFE (Polytétrafluoroéthylène)

Tube en téflon® qui guide le filament vers l'extrudeur. Ce matériau est résistant à la chaleur et isolant thermique. ATTENTION: porté à une température supérieure à 245°, il est susceptible de dégager du fluor, principal composant du gaz

moutarde(!)

Tiges filetées

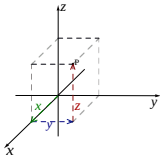
Tige avec un pas-de-vis

Tête extrudeuse

Dans une RepRap, bloc composés des éléments qui entraîne le filament, le chauffe et le transforme en fil plus fin pour le déposer couche par couche.

Robot cartésien

Robot déplaçant un outil dans un repère orthonormé cartésien, c'est à dire décrit par trois axes (souvent nommés X Y et Z) formant ensemble des angles droits.



Robot delta

Robot avec un bras composé par des parallélogrammes. Cette structure étant légère augmente la rapidité des mouvements.

Firmware ou micrologiciel

Mini programme informatique exécuté par un micro-contrôleur. Dans le projet ReRap, le micro-contrôleur est souvent basé sur Arduino. Le firmware traduit le G-Code envoyé par l'ordinateur en ordres électriques de mouvements et d'actions pour les différents composants de l'imprimante (résistances, moteurs, etc...).

Pronterface (aussi appelé Printron)

Logiciel libre qui permet de contrôler la RepRap et de lancer l'impression. <https://github.com/kliment/Printrun>

Wade

Modèle d'extrudeur inventé par l'utilisateur Wade sur reprap.org. Cet extrudeur est basé sur un engrenage permettant de démultiplier la rotation du moteur et d'accroître le couple disponible au niveau du galet. Il est devenu très populaire et de nombreuses de ses variantes équipent la plupart des RepRaps. http://reprap.org/wiki/Wade%27s_Geared_Extruder

Moteur à pas-à-pas

Moteurs qui transforme des impulsions électriques en mouvement par palier angulaire.

A la côte

Expression qui signifie que l'on respecte une dimension précise.

Buse

Pièce à travers laquelle passe le filament fondu, souvent percée au diamètre de 0,5mm et d'où sort le filament en fusion qui va être directement déposé sur la pièce à imprimer.

G-Code

Code utilisé par la plupart des machines numériques qui donne les instructions qu'elles doivent utiliser (coordonnées, vitesses de déplacements, paramètres des outils,...).

Slic3r

Logiciel libre qui transforme le fichier 3D (STL ou OBJ) dans un langage (G-code) que peut comprendre la machine et qui intègre les paramètres d'impression.

Ayants-droits

Population caractérisée par la possession de certains droits, particulièrement sur des créations des idées et des concepts. à opposer avec le reste de la population, que l'on peut caractériser comme n'ayant *pas* droit.

Palpeur mécanique

Instrument de mesure de précision.

Roulement à billes linéaire ou palier linéaire

Pièce pouvant se déplacer le long d'un axe avec un minimum de

frottements, par opposition au roulement à billes classique qui ne peut que tourner autour d'un axe.

IRC

Système de dialogue textuel en direct (*chat*) avec des espaces (*salons*) de discussions par thématique. Un des principaux serveurs est <http://freenode.net/>

Fin de course (capteur de..., interrupteur de...)

Extrémité des axes de déplacement des machines.

Hystérésis

Effet similaire à l'inertie qui crée un décalage entre la cause et l'effet ici entre le moment où l'extrudeur tire le filament et où il rentre dans la buse.

Libérathon

Séance d'écriture d'une oeuvre en licence libre sur une période très courte avec plusieurs auteurs de niveaux d'expertises différentes.

OIF (Organisation Internationale de la Francophonie)

Organisation favorisant le coopération et la solidarité entre des membres.

CNC (Computer Numerical Control)

Centre d'usinage à commande numérique, désigne les machines pilotés par un ordinateur, dans un fablab, abréviation utilisée pour les fraiseuses.

Wiki

Page web dédiée à la documentation participative.

Biomimétisme

Utilisation ou réappropriation de processus et de formes inspirées de la nature.

Hardware

Objet physique

15. OÙ TROUVER DU MATÉRIEL ?

Cette section présente quelques solutions pour trouver les composants et pièces nécessaires au montage d'une reprop.

LES PIÈCES MÉCANIQUES

Toutes les pièces métalliques (tiges, tiges filetées, boulons) peuvent être trouvées dans la plupart des magasins de bricolage traditionnel.

Les pièces d'assemblages sont réalisées en impression 3D, on peut se les procurer via certains sites webs marchands qui proposent la vente de pièces, de kits (**pouvant être montés**) ou de machines déjà **construites**.

Sur ebay www.ebay.fr ou le Bon coin www.leboncoin.fr, vous trouverez des annonces de vente ou de fabrication à la demande de pièces imprimées ainsi que des kits complets.

Il existe également la possibilité de télécharger les fichiers 3D sur des plateformes comme thingiverse : www.thingiverse.com ou Instructables www.instructables.com pour les imprimer.

Le Wiki dédié à la reprop recense la plupart des sites proposant des pièces (http://reprap.org/wiki/Printable_part_sources).

Les sites de financements type Ulule, <http://fr.ulule.com/> sont l'occasion d'acheter des composants ou des machines et aussi de soutenir les concepteurs de nouvelles versions d'imprimantes.

Attention, certains vendeurs ont la confiance de la communauté, mais d'autres sont **fortement déconseillés** par celle-ci ! Il n'y a pas de liste officielle et celle-ci serait de toute façon très difficile à maintenir : certains s'améliorent, d'autres empirent. Les problèmes vont de ceux qui ne livrent pas, à ceux qui mentent sur la nature des produits, ou ont une qualité bien en dessous de la norme. Les pires cas sont bien connus dans la communauté, il est **fortement recommandé** de la contacter par IRC avant de faire un achat quelque-part. Voir la section sur ou trouver de l'aide.

Quelques liens utiles pour trouver des vendeurs :

- reprap.org/wiki/Prusa_i3_Buyers_Guide
- reprap.org/wiki/RepRap_Buyers%27_Guide
- reprap.org/wiki/Printing_Material_Suppliers
- reprap.org/wiki/FoldaRap_Buyers_Guide

LES PIÈCES ÉLECTRONIQUES

Il existe de nombreuses options, les plus utilisées et supportées par la communauté sont RAMPS et Sanguinololu. Quelques liens à ce sujet :

- reprap.org/wiki/Comparison_of_Electronics
- reprap.org/wiki/List_of_electronics