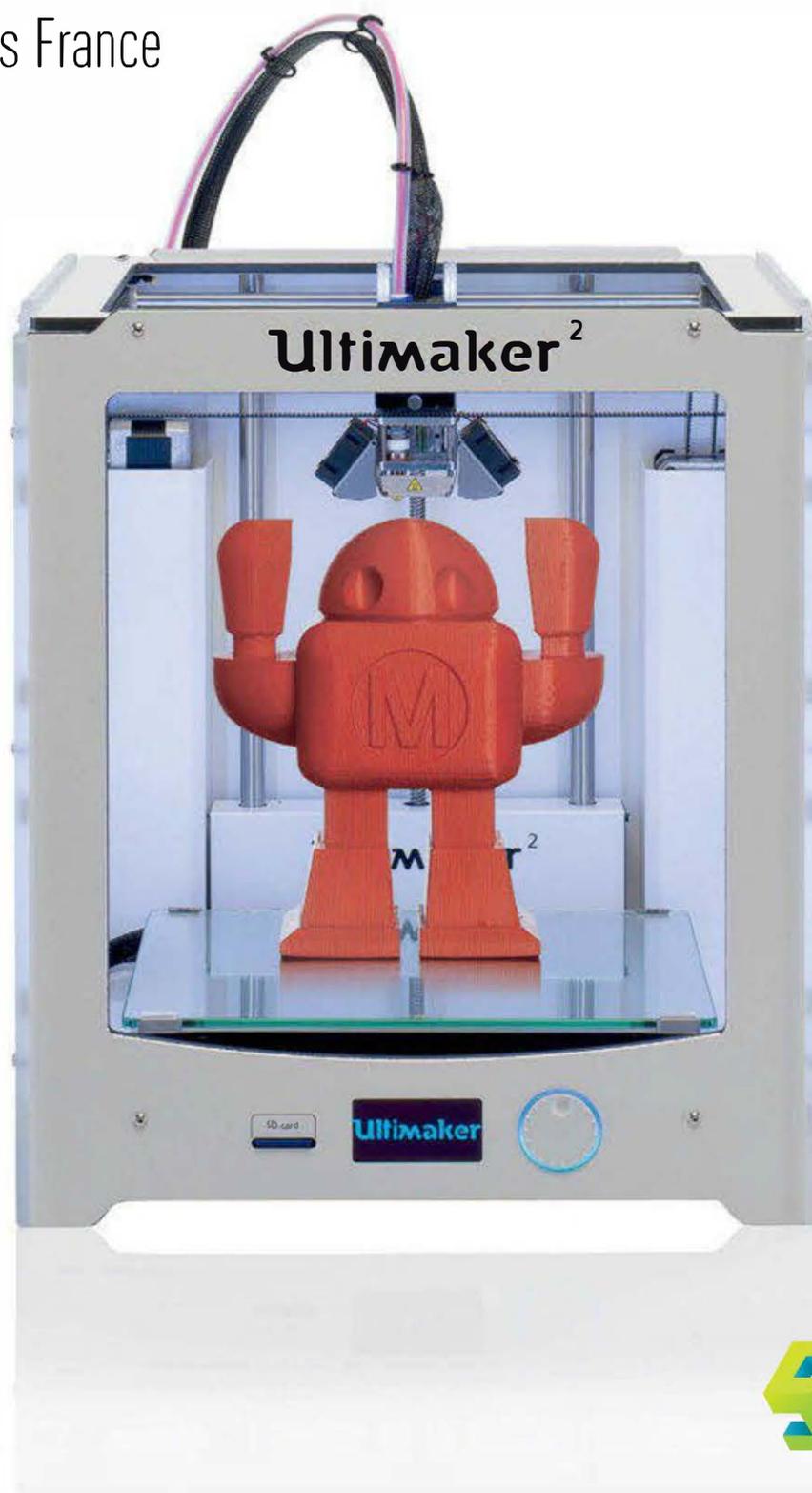


PRATIQUE DE L'IMPRESSION 3D

Compilé par
Anna Kaziunas France



Copyright © 2014 Eyrolles.

EYROLLES

**SERIAL
MAKERS**

Le guide essentiel pour imprimer en 3D

La révolution de la fabrication personnelle est en marche. Mais pour y prendre part, quelle imprimante 3D choisir et comment l'utiliser au mieux de ses possibilités ? Quels types d'objets peut-on modéliser et fabriquer ? Avec quels matériaux ? Destiné aux makers en devenir, cet ouvrage 100 % pratique répondra à toutes les questions que l'on est en droit de se poser devant sa machine.

Comparatif exclusif des principales imprimantes 3D disponibles en France, panorama des différents modélisateurs et *slicers*, méthodes de création et de réparation de scans 3D, techniques de finition... tous les aspects de l'impression 3D à la maison sont détaillés dans ce livre très illustré, qui se clôt par plusieurs tutoriels sur la fabrication d'objets divers, dont un appareil photo argentique.

À qui s'adresse ce livre ?

- Aux makers, designers, artistes, artisans, inventeurs, bidouilleurs, geeks...
- À tous les créateurs d'objets

Sur www.serialmakers.com

- Consultez les compléments (liens utiles, news, etc.)
- Téléchargez des fichiers 3D d'objets

Dans ce livre, vous apprendrez à :

- maîtriser le flux de l'impression 3D, de la modélisation à l'objet fini
 - créer et finaliser vos propres modèles 3D à partir de scans
 - fabriquer des moules à l'aide d'une imprimante 3D
 - peindre, teindre et vieillir vos créations
-

Cet ouvrage a été écrit par différents collaborateurs du magazine américain *Make*, tous experts dans leur domaine, qui apportent leur expérience en matière d'impression 3D. L'ensemble a été compilé par **Anna Kaziunas France**, qui anime un cours de prototypage rapide à la Fab Academy de Providence (États-Unis).

Make:
makezine.com

Pratique de l'impression 3D

Pratique de l'impression 3D

Anna Kaziunas France

ÉDITIONS EYROLLES
61, bld Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05
www.editions-eyrolles.com

Authorized French translation of the English edition of *Make: 3D Printing* ISBN 978-1-457-18293-8
© 2013 Helpful Corporation. This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to sell the same.

Traduction autorisée de l'ouvrage en langue anglaise intitulé *Make: 3D Printing* de Anna Kaziunas France (ISBN : 978-1-457-18293-8), publié par Maker Media, Inc.

Adapté de l'anglais par Mathilde Berchon



Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée notamment dans les établissements d'enseignement, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

© Anna Kaziunas France pour les photos et illustrations de la présente édition

© Groupe Eyrolles, 2014, pour la présente édition, ISBN : 978-2-212-13924-2

Avant-propos

PAR **ANNA KAZIUNAS FRANCE**

L'impression 3D personnelle

Les projets présentés ici ont été réalisés par des makers qui se passionnent pour la fabrication additive personnelle, à savoir l'impression 3D à la maison, au travail ou à l'école.

Certains se servent de l'impression 3D à des fins de DIY pour créer leur propre petite entreprise, proposant leurs services pour commercialiser de petites séries d'objets customisés. D'autres fabriquent seulement ce dont ils ont besoin, au moment où ils le désirent.

« Sans conteste, l'atout de la fabrication numérique, comme dans la programmation, est la personnalisation : fabriquer des produits pour un marché d'une seule personne. »

Neil Gershenfeld, novembre 2012

La fabrication additive fait l'objet d'un enthousiasme irrationnel de la part des médias, alors qu'elle s'avère n'être qu'une partie seulement du monde de la fabrication numérique. En tant qu'instructrice à la Fab Academy d'un cours international de prototypage rapide pour transformer le code en objets, j'ai enseigné une grande variété de techniques de fabrication numérique, utilisant souvent des méthodes soustractives pour arriver aux résultats souhaités.

Cela ne diminue en aucune façon les opportunités de création et d'expression rendues possibles par l'impression 3D. Grâce au scan et à l'impression 3D, j'ai ainsi été capable de modéliser et fabriquer rapidement une variété d'objets réalisés sur mesure (et souvent à la dernière minute) : costumes, projets artistiques, moules fonctionnels.

Une partie de la puissance de la fabrication additive est directement liée au fait qu'il est facile d'avoir accès aux machines personnelles. Si on combine cela à la créativité et à un temps limité d'impression, des choix intéressants de modélisation et de matériaux peuvent subvenir.

Lorsque je travaillais sur le chapitre consacré au scanner 3D du livre *Getting Started with MakerBot (Imprimer en 3D avec la MakerBot pour la version française, parue aux éditions Eyrolles)*, j'ai dû créer un scan d'un accessoire en forme de tête de mort. Plus tard, j'ai décidé de l'utiliser pour réaliser un collier traditionnel de crânes pour un costume d'Halloween, ou « collier de Kali ». Vu que j'avais deux imprimantes de bureau à la maison, j'ai pu le prototyper à ma taille en un week-end, en les faisant fonctionner simultanément. Ce scan du crâne m'a par ailleurs servi à créer une série de moules pour du chocolat (voir le pas à pas du chapitre 21).

Un mois plus tard, ce collier était complété d'une ceinture, et je l'incorporai sur une sculp-

ture à quatre bras intitulée *Self Portrait as Kali* (voir figure ci-dessous). Elle est réalisée à partir de plusieurs scans de mon propre buste que j'ai combinés de façon à créer deux paires de bras sur un corps unique. Celles-ci sont sectionnées à partir des avant-bras pour donner l'impression que le scan original a été endommagé par le temps. Le modèle 3D final a été découpé en 125 tranches individuelles de 1,27 cm de panneaux de fibres à densité moyenne (MDF) que j'ai réalisées avec une découpeuse CNC. J'ai ensuite assemblé et peint à la main les tranches, ainsi que la ceinture et le collier que j'ai ensuite attachés sur le corps assemblé. Cette sculpture a été présentée lors de plusieurs expositions, notamment lors de la « Bits to Its » où étaient

exposées des sculptures imprimées en 3D et au RIDS Museum de Providence.

De bien des façons, l'impression 3D est aujourd'hui la plus accessible de toutes les techniques de fabrication numérique. Les prix des machines ont suffisamment baissé pour que beaucoup puissent s'en procurer une et, parallèlement, leur qualité d'impression s'est radicalement améliorée. Pour ceux qui ne pourraient pas investir dans une imprimante 3D ou qui désire imprimer avec un autre matériau que du plastique, il existe aussi des services d'impression en ligne.

Le monde de la fabrication numérique évolue rapidement – et vous en faites désormais partie !



Self Portrait as Kali par Anna Kaziunas France

À qui s'adresse ce livre ?

Que vous ayez envie de créer avec l'impression 3D votre propre série d'objets customisés ou ne connaissiez rien de cette technologie, ce livre est fait pour vous. Dans ce second cas, je vous invite même à le lire de A à Z !

Pour ceux qui possèdent déjà une imprimante 3D et sont prêts à aller plus loin que simplement imprimer des designs téléchargés sur Internet, vous verrez comment modéliser en 3D grâce à Tinkercad et créer des scans 3D pour produire vos propres objets. Dans la partie 6, vous trouverez par ailleurs des conseils pour améliorer l'apparence de vos impressions 3D.

Pour ceux qui sont plus à l'aise avec les logiciels qu'avec les machines, pour les designers qui souhaitent prototyper dans des matériaux autres que le plastique extrudé ou si, simplement, une imprimante 3D de bureau coûte trop cher pour vous, un panorama sera dressé des entreprises qui impriment les designs dans une offre de matériaux toujours croissante.

Comment est-il structuré ?

- La **partie I** présente une vue d'ensemble du matériel d'impression 3D (les imprimantes, les fondamentaux de leur fonctionnement et ce qu'on doit attendre des premiers essais).
- Dans la **partie II**, vous découvrirez quels sont les logiciels nécessaires pour transformer vos modèles 3D en objets imprimés et comment modéliser vos propres designs.

- La **partie III** va plus loin dans la création de modèles 3D avec plusieurs pas à pas pour apprendre à capturer les objets physiques qui se trouvent autour de nous grâce à un scanner 3D. Vous verrez aussi comment nettoyer les modèles scannés.
- La **partie IV** aborde les types de filaments plastiques disponibles pour l'impression 3D personnelle. Les matériaux industriels de l'impression 3D (et leurs méthodes), des céramiques aux métaux disponibles dans les services d'impression, seront aussi détaillés.
- La **partie V** explique comment et pourquoi utiliser les services d'impression plutôt que la fabrication personnelle. Elle développe par ailleurs les diverses options offertes par ces services.
- Différentes méthodes de finition pour les objets imprimés en 3D sont abordées dans la **partie VI**. Vous apprendrez notamment à changer la couleur des impressions grâce au procédé de teinture, à réparer celles cassées et à leur donner un aspect vieilli.
- La **partie VII** explore la multitude de créations possibles avec la fabrication personnelle (robot humanoïde, scan d'œuvres d'art, création de prothèses entièrement personnalisées).
- Enfin, la **partie VIII** décrit d'autres façons de produire des objets 3D, du fraisage à la création de moules pour fabriquer des chocolats aux normes alimentaires.

Table des matières

Partie I. Le matériel

1. Débuter avec une imprimante 3D	3
Comment choisir une imprimante ?	3
Imprimante clés en main, en kit ou à fabriquer soi-même : laquelle acheter ?	4
Quels sont les logiciels liés à l'impression 3D ?	5
Pour générer les fichiers STL	5
Pour découper	6
Pour réparer	6
Votre première impression	6
L'anatomie d'une imprimante 3D	7
Le système de positionnement 3D	7
Les pièces d'une imprimante 3D	9
Le filament plastique	11
Quels objets imprimer ?	12
2. Guide d'achat	15
Les tests	16
Le serpent (de Zomboe)	16
La statue hibou (de Tom Cushwa)	16
Les rouages du Nautilus (de Misha T.)	16
Le test de torture de dimension (de Cliff L. Biffle)	17
Makey, le robot de MAKE (d'Eric Chu)	17
La H-Series	17
La Bukobot 8v2	18
La Cube 3	20
La Felix 2.0	21

La MakerGear M2	23
La Printrbot Simple	24
La Replicator 2	26
La Solidoodle 2	27
La Type A Machines Series 1	28
L'Ultimaker 2	29
L'OpenBeam Mini Kossel	31
La LulzBot TAZ	32
La Formlabs Form 1	34
La B9Creator	35

Partie II. Les logiciels

3. Les logiciels d'impression 3D	39
Les logiciels de modélisation (CAO)	39
Les modeleurs surfaciques	39
Les modeleurs volumiques	40
Les modeleurs paramétriques	40
Les modeleurs polygonaux	41
Réparer les erreurs	41
Les logiciels de découpe (CFAO)	42
Les logiciels client d'impression	43
Et maintenant ?	44
4. Premiers pas en modélisation 3D	45
Étape 1. Créer un compte Tinkercad	45
Étape 2. Creuser un trou	46
Étape 3. Former la tête du robot	46
Étape 4. Aligner la tête et le trou	47
Étape 5. Fusionner la tête et le trou en un seul objet	47
Étape 6. Creuser la tête	47
Étape 7. Créer la bouche du robot	48
Étape 8. Former les yeux du robot	50
5. Débuter avec Slic3r	53
Étape 1. Nommer son profil	54
Étape 2. Configurer l'impression	54
Les périmètres et couches solides	55
Le remplissage	56
La vitesse	57
La jupe d'impression	58
Le matériau de support	58

Les autres paramètres.....	59
Les paramètres avancés	60
Étape 3. Configurer le filament	60
Étape 4. Configurer l'imprimante.....	63
Le G-code customisé	63
L'extrudeur	64
La rétractation	64
Étape 5. Retourner au plateau d'impression.....	65
Travailler avec plusieurs fichiers STL.....	66

Partie III. Le scan 3D

6. Créer et réparer des scans 3D	69
Qu'est-ce que le scan 3D ?	69
Les limites d'un scanner 3D	71
123D Catch.....	71
Conseils et recommandations	71
Prendre des photos avec 123D Catch	72
Charger les photos sur le serveur	75
Télécharger le maillage	76
ReconstructMe	76
Installer ReconstructMe	77
Quelques conseils pour se scanner soi-même (or quelqu'un d'autre).....	77
Nettoyer et réparer les scans pour l'impression 3D	79
netfabb.....	79
Autodesk MeshMixer	79
MeshLab	80
Pleasant3D.....	80
Réparer la plupart des scans 3D.....	81
Réparer et nettoyer dans netfabb	81
Lisser la surface du maillage.....	84
Supprimer les bosses et les blobs avec MeshMixer	85
Un dernier nettoyage dans netfabb	86
Imprimer le modèle.....	86
Les réparations de scans 3D par fermeture de surface.....	86
Réparer les trous, les zones disjointes et les éléments déconnectés...87	
Refermer les grandes zones de vide	89
Scannez en 3D tout ce qui vous entoure !.....	93

7. Imprimez votre tête en 3D !	95
Étape 1. Inscrivez-vous sur Autodesk 123D	96
Étape 2. Photographiez votre tête.....	96
Étape 3. Créez une nouvelle capture	97
Étape 4. Visualisez le modèle.....	97
Étape 5. Éditez le modèle 3D.....	97
Étape 6. Rendez « étanche » le modèle.....	98
Étape 7. Améliorez le modèle (facultatif).....	99
Étape 8. Partagez votre modèle (facultatif)	99
Étape 9. Sauvegardez le modèle final en tant que fichier imprimable (facultatif).....	99
Étape 10. Imprimez !.....	100

Partie IV. Les matériaux

8. Les plastiques pour l'impression 3D	103
Le PLA	103
Le PLA souple/flexible.....	103
Le LayWoo-D3.....	103
Le LayBrick.....	104
L'ABS.....	104
Le HIPS.....	104
Le nylon.....	104
Le PET.....	104
Le PC.....	105
Le HDPE.....	105
Le PCL.....	105
Le PVA.....	105
9. Matériaux et méthodes dans l'industrie	107
Matériaux composites et céramiques	107
Les plastiques.....	108
La stéréolithographie.....	108
Le frittage laser sélectif.....	108
Le jet de photopolymères	109
Les métaux.....	109
Le frittage laser de métal	109
L'impression directe de métal	109
Méthodes d'impression indirecte.....	110

Partie V. Les services

10. L'impression 3D sans imprimante	113
11. Les services d'impression 3D	117
Les principales plates-formes en ligne	117
Shapeways	117
Ponoko	118
Sculpteo	118
i.materialise	118
Kraftwürx	118
Staples (en partenariat avec Mcor)	118
La mise en relation de particuliers	119
MakeXYZ	119
3D Hubs	119
Les services de qualité professionnelle	119
ZoomRP.com	119
RedEye	119
3D Factory	119
Les boutiques	120
3DPhacktory	120
Solid-Ideas	120
Impression-3D	120

Partie VI. Les techniques de finition

12. Comment teindre des impressions 3D ?	123
Étape 1. Préparer son matériel	124
Étape 2. Tremper les pièces	124
Étape 3. Colorer	125
Étape 4. Rincer	126
Étape 5. Sécher	126
Étape 6. Montrer ses pièces	126
13. Le post-traitement des impressions 3D	127
Outils et matériaux	128
Des solutions adaptées aux makers	129
Le soudage par friction	129
Le soudage par friction de surfaces inégales	130
Étape 1. Préparer l'outil rotatif	130
Étape 2. Préparer les deux pièces à souder	131

Étape 3. Souder par points espacés les pièces positionnées	132
Étape 4. Boucher les trous avec du filament.....	132
Étape 5. Souder la couture par friction	133
Le soudage par friction pour réparer un modèle en PLA.....	133
Le soudage par friction de rivets aveugles.....	135
Fabriquer des rivets solides et des charnières.....	138
Encoller et remplir	142
Ponçage des pièces imprimées en 3D en plastique	143
14. Éroder les impressions 3D.....	147
Le matériel.....	147
Étape 1. Choisir un apprêt	147
Étape 2. Choisir une peinture métallique	148
Étape 3. Peindre à sec la pièce	148
Étape 4. Peindre de plus grandes éraflures et des zones cassées	149
Étape 5. Peindre de la poussière et des salissures	149

Partie VII. Les applications

15. La promesse de l'impression 3D.....	153
16. Une galerie d'impressions 3D	155
Des objets pratiques.....	155
Un adaptateur de stylo traceur.....	155
Un clip pour boîte de rangement.....	156
Un plieur de languettes de cannettes.....	156
Un adaptateur de col de défonceuse.....	156
Un raccord de couverture du coffre à bagages	157
Une manivelle de vitre de voiture	157
Une attache pour la perceuse de la machine à glace.....	158
Une pièce de rechange pour la sonnette d'entrée	158
Des objets 3D déjà commercialisés	159
Nervous System	159
Tofty et les objets du quotidien	159
Continuum Fashion	160
ModiBot	160
Joaquin Baldwin.....	160
Protos Eyewear	161
Freakin' Sweet Knots	161
Polychemy.....	161
L'impression 3D dans le monde médical.....	162
Les prothèses révolutionnaires.....	162

Belle et le bec	162
Les bras magiques.....	163
L'ingénierie tissulaire	163
Les prothèses de designer.....	164
Les mâchoires de l'innovation	164
Un kit de chimie qui sort de l'ordinaire.....	165
Des impressions artistiques et innovantes.....	165
Le livre accordéon Orihon	165
Le robot humanoïde InMoov	166
Le Makerlele – MK1	166
La tête d'un cheval de Séléne	166
La série de lampes Orbicular	167
Un modèle de transmission automatique.....	167
Le circuit à billes.....	167
La robe de Dita Von Teese.....	168
La couverture de l'album <i>Unknown Pleasures</i> de Joy Division	168
La chambre Digital Grotesque.....	169

17. La machine à rêver **171**

18. Le fabricant du désert..... **173**

19. Comment j'ai imprimé un humanoïde **175**

Retour d'expérience.....	177
Alors, impression personnelle ou professionnelle ?	180
Et après ?.....	180

Partie VIII. D'autres manières de fabriquer des objets 3D

20. Le fraisage d'objets 3D..... **185**

Le fraisage CNC, l'équivalent soustractif de l'impression 3D	185
Que voulez-vous fabriquer ?.....	186
Construire sa machine CNC	186
Encore plus de fraiseuses.....	187
Othermill.....	188
Shapeoko 2	188
Les systèmes à mouvement linéaire	188
MakerSlide	188
OpenBeam	189
OpenBuilds	189

21. Crânes en chocolat dans des bacs en PLA	191
La liste du matériel	192
Étape 1. Imprimer le moule en 3D	193
Étape 2. Mélanger et verser le silicone	193
Étape 3. Démouler	194
Étape 4. Réaliser des entailles dans le moule	195
Étape 5. Extraire la lécithine de soja	196
Étape 6. Fondre le chocolat	196
Étape 7. Laisser refroidir le chocolat	197
Étape 8. Verser le chocolat dans le moule	197
Étape 9. Placer le moule au réfrigérateur	198
Étape 10. Imprimer les bacs	198
Étape 11. Démouler le chocolat	199
22. Délits d'impression	201
23. Imprimer son appareil photo argentique	203
Avant de commencer	203
Étape 1. L'OpenReflex (OR-01)	204
Étape 2. L'arrière	205
Étape 3. L'obturateur	206
Étape 4. Le viseur	207
Étape 5. Un boîtier hermétique à la lumière	209
Étape 6. Assembler le tout	210
Étape 7. Charger la pellicule	210
Étape 8. Photographier	210

Annexes

A Ressources utiles de l'impression 3D	213
Les logiciels pour makers	213
CAO 3D	213
OpenSCAD	214
FreeCAD	214
Sculptris	214
Cubify Invent	214
Cubify Sculpt	214
Trimble SketchUp	214
Pour réparer les modèles et les manipuler	214
MeshMixer	214
netfabb	215
Meshlab	215

Les logiciels de contrôle d'imprimante 3D	215
Repetier-Host	215
Printrun/Pronterface	215
MakerWare	215
Cura	216
ReplicatorG	216
Les logiciels de découpe	216
Slic3r	216
KISSlicer	216
CuraEngine	216
MakerBot Slicer	216
Skeinforge	217
SFACT	217
Les catalogues de modèles 3D à télécharger	217
Les modèles gratuits	217
Les modèles payants	218
Connaître l'histoire de l'impression 3D	218
Apprendre à construire son imprimante 3D	219
RepRap.org	219
MakerBot Operators Google Group	219
Jetty Firmware	219
Google Group des opérateurs de Deltabot	219
Les livres sur l'impression 3D	219
Des informations sur l'impression 3D	220
3D Natives	220
Les Imprimantes 3D	220
Les lieux de l'impression 3D	220
Les hackerspaces	220
Les Fab Labs	220
Le TechShop	220
Les points de vente	220
Les distributeurs d'imprimantes 3D	220
L'impression 3D dans les grandes surfaces	221
Les imprimantes, filaments et pièces	221
3D Printer Avenue	221
Machines 3D	221
MakerShop	221
Les conférences sur l'impression 3D	221
3D Print Show Paris	221
3D Print Lyon	221

B À propos des contributeurs **223**

Index **225**

PARTIE I

Le matériel

Débuter avec une imprimante 3D

1

Une introduction aux matériels et logiciels d'impression 3D.

PAR **BILL BUMGARNER**

Il y a quelque temps, j'ai récupéré une Ultimaker que j'ai assemblée. J'ai ainsi rejoint le rang grossissant des détenteurs d'imprimantes 3D. Cette aventure a été à la fois gratifiante et pleine de frustration. C'est pourquoi j'ai voulu partager avec vous mon expérience de l'impression 3D.

Dans ce chapitre, il sera question d'imprimantes à moins de 2 000 € qui produisent des objets en plastique. Ce matériau est parfait pour le prototypage : ainsi, vous pouvez imprimer en plastique une pièce de moteur, vérifier ensuite qu'elle s'adapte parfaitement, puis envoyer le modèle 3D à une entreprise comme Sculpteo, afin que ce prototype soit transformé en une pièce de production réalisée dans le métal de votre choix.

Notez que la plupart des imprimantes évoquées ici sont modifiables. Les designs sont en effet conçus pour être améliorés selon vos besoins. Quant aux logiciels servant à commander ces machines, ils sont pour la plupart open source, bien qu'il existe des logiciels propriétaires couramment employés par les communautés de l'impression 3D.

Comment choisir une imprimante ?

Les imprimantes mentionnées dans ce chapitre créent des objets par ajout de matière ; c'est ce qu'on appelle la fabrication

additive. Elles sont récemment devenues populaires dans le secteur de la fabrication, si bien que l'administration Obama a même créé l'Institut national de la fabrication additive (*National Additive Manufacturing Innovation*, NAMII) pour encourager l'innovation dans ce secteur.

Les procédés de fabrication additive pour créer la forme de son choix sont les suivants :

- la photopolymérisation : la lumière cure un matériau liquide et le solidifie ;
- le liage de poudre : des lasers, l'air chaud, ou d'autres sources d'énergie, fusionnent les couches de poudre ;
- le dépôt de filament fondu ou FDM (pour *Fused Deposition Modeling*) qui consiste à extruder de la matière fondue (plastique, métal, chocolat, ou tout autre matériau), couche par couche. Cette technique est aussi appelée MPD (*Molten Polymer Deposition*) ou FFF (*Fused Filament Fabrication*).

Ce dernier procédé est le plus couramment employé et aussi le plus accessible (bien que la CandyFab inventée par Evil Mad Scientist Laboratories devrait être évoquée ici... parce que toute machine qui sent la crème brûlée mérite d'être citée !). De nombreux modèles d'imprimantes 3D l'utilisent, se différenciant essentiellement par la manière dont se déplace l'extrudeur.

Imprimante clés en main, en kit ou à fabriquer soi-même : laquelle acheter ?

Il existe sur le marché des solutions clés en main pour tous les budgets. Par exemple, l'imprimante 3D UP! (l'équivalent de l' Afinia H-Series, présentée à la page 18) est une machine « prête à imprimer », qui requiert peu

de maintenance. La Replicator de MakerBot est un modèle similaire, mais offre des applications plus variées et peut demander plus de maintenance.

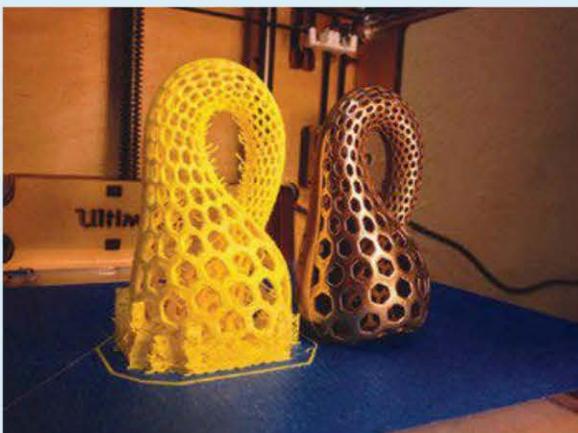
Attention, soyez vigilant lorsque vous achetez ce type d'imprimante, car certaines sont certes peu coûteuses mais nécessitent en contrepartie des cartouches de filament propriétaires qui sont deux à trois fois plus chères que les autres.

Prototypage en plastique

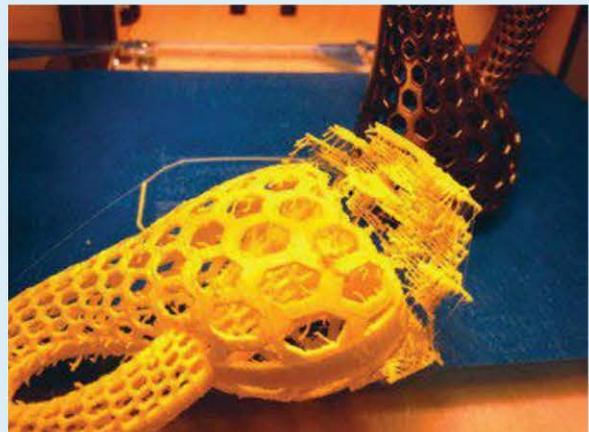
Le magnifique et très populaire ouvre-bouteille Klein de Bathsheba Grossman est un parfait exemple du procédé consistant à fabriquer un prototype en plastique peu onéreux avant de s'engager dans une impression finie en métal plus coûteuse.

On peut ainsi modifier puis imprimer le modèle en plastique autant de fois qu'on le souhaite pour moins d'un euro par pièce. Une fois entièrement satisfait de sa forme, ses fonctionnalités, etc., on peut passer à une version en métal.

1. À gauche, le prototype de l'ouvre-bouteille Klein est encore attaché au lit d'impression avec le matériel de support encore bien visible à sa base. À droite, la pièce finale, imprimée en acier inoxydable et cuivre par Shapeways.



2. La pièce est retirée de son support.



3. Voici le prototype à côté de la pièce finale.



Du côté des kits à assembler par l'utilisateur, on peut citer les imprimantes Printrbot et Ultimaker, proposées avec des instructions bien détaillées. L'assemblage concerne la partie mécanique puisque l'électronique est présoudée et donc prête à l'emploi.

Enfin, si vous êtes intéressé par une expérience DIY de A à Z, les imprimantes RepRap et Rostock sont celles qu'il vous faut. Elles se composent d'un ensemble de pièces imprimées en 3D et de différentes parties en métal et en bois, auxquelles s'ajoute l'électronique. Des kits de pièces pré-imprimées s'achètent sur de nombreux sites web dont eBay ; des packs contenant électronique et/ou pièces mécaniques sont aussi disponibles. Généralement, plus la version de l'imprimante est récente, plus vous aurez à trouver les pièces vous-même.

Quels sont les logiciels liés à l'impression 3D ?

Voici comment on peut résumer le processus d'impression 3D : modéliser (ou capturer), réparer, découper et imprimer. Pour chacune de ces étapes, vous aurez le choix entre de nombreux logiciels.

Pour générer les fichiers STL

Le fichier STL est à la base de l'impression 3D. Lorsqu'une application convertit un modèle 3D dans ce type de format, il peut alors être découpé et imprimé. Comment le génère-t-on ?

- À partir de logiciels :
 - de CAO tels que le populaire SketchUp (<http://sketchup.com>) et de modélisation 3D open source. Peu importe celui qu'on choisit, la courbe d'apprentissage est raide ! Le défi principal consiste à

identifier des groupes de formes et d'éléments de base pour dessiner l'objet souhaité, afin que le résultat obtenu soit imprimable. Par exemple, un porte-à-faux de plus de 45° ne pourra pas être imprimé sans matériau de support, car il s'affaisserait sinon. Le matériau de support, qui devra être supprimé ensuite, augmentera le temps d'impression et nécessitera un nettoyage conséquent de la pièce ;

- de CAO paramétriques tel OpenSCAD (www.openscad.org), le plus populaire. Avec ce type de logiciel, plutôt que de dessiner, vous écrivez du code dans un langage simple, qui indiquera au logiciel de CAO ce que vous souhaitez imprimer ;
- spécialisés en mathématiques comme Mathematica (www.wolfram.com/mathematica).
- À partir de photographies ou de vidéos. Par exemple, avec 123D Catch d'Autodesk (<http://123dapp.com/catch>), vous pourrez traiter une série d'images (jusqu'à 40), prises avec votre iPhone ou iPad, pour les transformer en modèle 3D après téléchargement sur un serveur (voir chapitre 6). Sachez qu'Autodesk a aussi lancé 123D Make (<http://123dapp.com/make>) qui découpe en tranches les modèles 3D pour les construire à partir de carton ou de papier.

Enfin, avant de créer un objet, vérifiez que son modèle n'a pas déjà été réalisé par quelqu'un qui l'aurait ensuite mis en ligne au sein d'un catalogue. Thingiverse (<http://thingiverse.com>), le plus populaire, propose des modèles mais aussi des projets complets. Vous pourrez y trouver des milliers d'objets du quotidien à imprimer (socles de téléphones, porte-écouteurs, bacs à ustensiles, quadrirotors, pièces d'appareils photo ou de jeux, imprimantes 3D...).

Pour découper

Un logiciel de découpe transforme le fichier STL en une série de commandes – typiquement du G-code –, qui indique à l'imprimante comment bouger la tête d'impression et extruder le plastique. Bien que la machine soit guidée par son logiciel de contrôle, celui qui sert à découper joue aussi un rôle primordial puisqu'il indique à l'imprimante la série de commandes qui va dicter ses mouvements et varier l'accélération des moteurs pour optimiser l'impression.

La découpe (ou *slicing*) est une phase critique de l'impression. Il est en effet nécessaire de trouver un équilibre entre qualité, vitesse et quantité de matière utilisée. Dans bien des cas, c'est le choix des paramètres de découpe qui distingue une impression réussie d'une pile de spaghettis.

Pour réparer

Pendant la phase de réparation, on vérifie les erreurs du fichier STL à imprimer. En effet, les logiciels de modélisation donnent des descriptions 3D qui semblent fonctionner mais qui, en réalité, ne peuvent pas être traduites directement par une imprimante, leur structure étant invalide.

Souvent, les phases de découpe et de réparation font partie d'un même programme, qui inclut parfois aussi le logiciel de contrôle de la machine. Par exemple, les imprimantes Cura (<http://wiki.ultimaker.com/cura>) et Slic3r (<http://slic3r.org>) gèrent la découpe et, dans une certaine mesure, la réparation, permettant de tourner, changer l'échelle et imprimer plusieurs fichiers STL au cours d'une seule impression. Quant à netfabb (<http://netfabb.com>), logiciel commercial, il propose une fonction complète de débogage du maillage et de réparation, ainsi que des outils de mise en pages basique et un outil de découpe puissant (voir page 79).

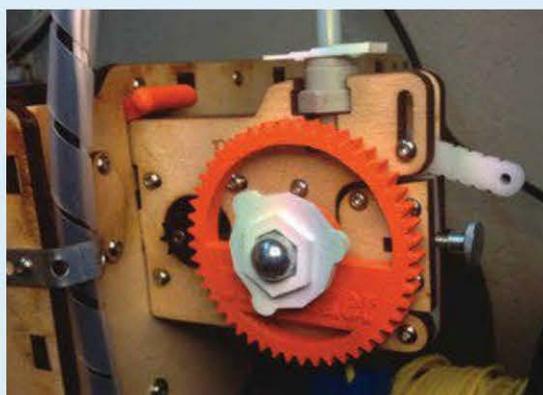
Votre première impression

Maintenant que vous en savez plus sur l'impression 3D et que vous avez acheté votre imprimante, comment s'y prendre pour créer des objets, qu'ils soient utiles ou non (mais toujours cools!) ?

Tout d'abord, il est primordial de bien connaître vos outils. Si possible, téléchargez et imprimez toutes les mises à jour et pièces de remplacement pour votre machine. C'est ce que j'ai fait pour mon Ultimaker (certains sont visibles dans l'encadré ci-dessous) !

Les pièces de remplacement pour mon Ultimaker

Voici cinq pièces de remplacement pour ma machine : une nouvelle roue dentée, le bouton de maintien de la roue, le sabot du tube Bowden (la pièce blanche au sommet de l'extrudeur assemblé), la pièce orange à gauche qui permet de garder en place l'extrudeur et un porte-bobine de filament (qui n'est pas visible).



Ensuite, commencez par télécharger et imprimer des petits objets, mais pas trop quand même, sur Thingiverse, par exemple un porte-écouteurs, un ouvre-bouteille ou une simple figurine. Choisissez un modèle connu

et fonctionnel, qui a été de nombreuses fois photographié par d'autres utilisateurs (dans l'onglet « Who's Made It? »). Vous pourrez ainsi comparer votre objet final avec ceux déjà imprimés pour améliorer votre travail (en particulier la découpe) ainsi que la qualité d'impression de votre machine. Et, en cas de problèmes, vous aurez de bien meilleures bases pour le réparer.

Sachez aussi que chaque machine émet un son bien à elle lorsqu'elle imprime avec succès. Vous devez le reconnaître afin de repérer les éventuels problèmes avant qu'ils ne deviennent sérieux. Même dans une autre pièce, je peux dire si mon Ultimaker est prête à rater une impression lorsqu'elle produit des bruits qui sortent de l'ordinaire !

Vous devez également réussir à trouver un équilibre entre la création de murs très fins ou, au contraire, très épais. Lorsqu'ils sont fins, l'objet est plus élégant mais, s'ils le sont trop, le filament plastique cassera rapidement. Bien évidemment, tout cela deviendra plus intuitif avec la pratique et l'expérience.

Par ailleurs, analysez comment les différents modèles sont construits. Quand on crée des modèles 3D, le défi principal consiste à savoir comment diviser l'objet en une série de commandes : « dessiner une ligne et une courbe », « extruder la surface », « découper le coin », « dessiner un trou ici »... Il peut être intéressant de trouver des modèles sur Thingiverse qui sont dans un format de fichier modifiable pour vous faire la main en les éditant, afin de voir s'il est possible de leur ajouter certaines fonctionnalités.

Il faut réussir à penser de la même façon que votre imprimante. Par exemple, comme on l'a vu précédemment, les objets avec des structures inclinées à plus de 45° ne peuvent être imprimés sans matériau de support si on ne veut pas que la pièce s'affaisse. Notez

que les ponts – des travées linéaires en plastique au-dessus d'un espace – fonctionnent particulièrement bien, mais prenez garde à les imprimer de telle façon que la première couche soit sur l'intérieur de l'objet pour ne pas qu'elle soit vue.

Une fois prêt à démarrer de zéro, vous aurez besoin d'un jeu de pieds à coulisse. Pour moins de 15 €, il en existe des numériques d'une précision de 0,01 mm. Essayez de créer des cintres ou des crochets qui nécessitent des mesures précises pour bien tenir sur un objet existant (comme sur le dessus d'une porte). Vous comprendrez ainsi l'utilité de ce type d'outil et vous pourrez aussi savoir si votre machine respecte les dimensions tout au long du processus d'impression.

Notez enfin que l'option « matériau de support » – on peut l'activer sur la plupart des logiciels de découpe – gaspille de la matière, en en utilisant plus que nécessaire. Il vous faudra alors beaucoup de post-traitement pour nettoyer correctement la pièce. Avec un double extrudeur – l'un permet d'imprimer en PLA ou ABS, l'autre en PVA soluble à l'eau –, le nettoyage s'avère plus simple. Il suffit juste de laisser tremper l'objet dans un bol d'eau le temps d'une nuit.

L'anatomie d'une imprimante 3D

Une imprimante 3D comporte beaucoup de pièces, mobiles ou non.

Le système de positionnement 3D

L'imprimante doit être capable de positionner la tête chauffante à n'importe quel point de la zone d'impression et d'extruder le matériau avec précision sur la couche imprimée.

Sachez que, dans une imprimante 3D, il n'y a pas que la tête qui est mobile. Le lit d'impression bouge également dans plusieurs directions.

Voici les trois systèmes principalement employés aujourd'hui.

La grue

Sur les machines FDM, l'extrudeur bouge sur les axes x et y, grâce à une grue pour l'Ultimaker et la Replicator, et le lit se déplace sur l'axe z. Les ressemblances entre ces deux machines s'arrêtent là !

- L'Ultimaker utilise un câble Bowden pour séparer extrudeur et tête d'impression. Celle-ci est également plus légère, ce qui lui permet d'être aussi beaucoup plus rapide (avec pour conséquence des problèmes de maintenance supplémentaires).

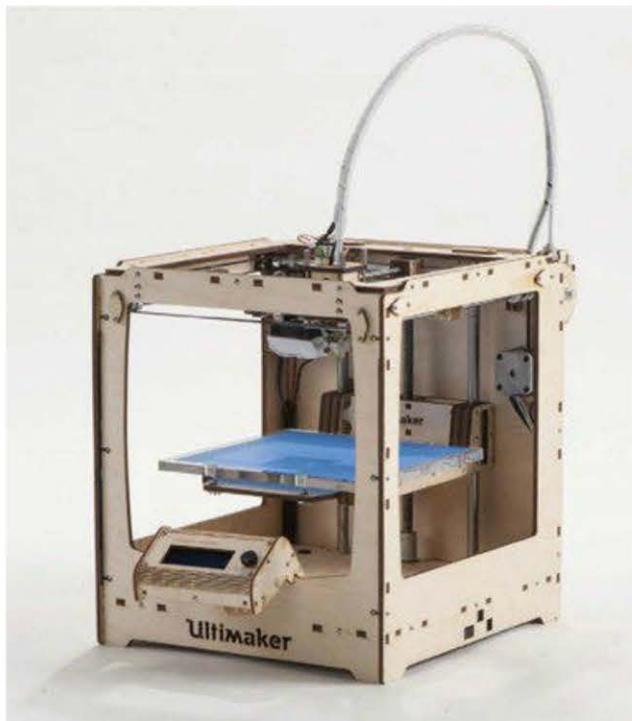


Figure 1-1. Une imprimante Ultimaker

- Sur la Replicator, extrudeur et tête d'impression sont intégrés. Son design est également plus simple.

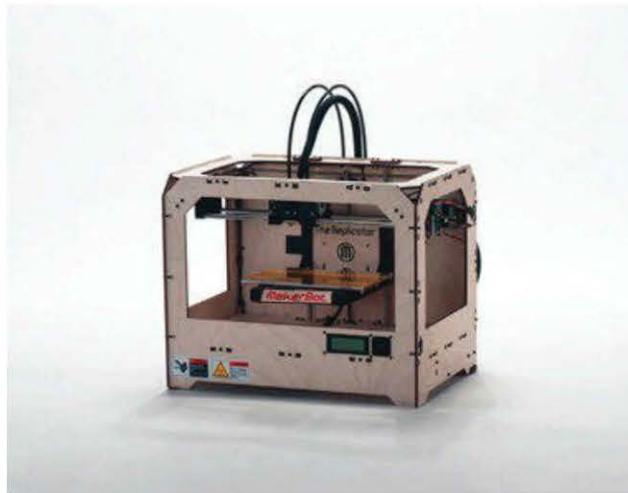


Figure 1-2. Une imprimante Replicator

Le lit mobile

Plutôt que d'avoir uniquement un déplacement de la tête d'impression sur les axes x et y, le lit d'impression se déplace lui-même sur un des axes.

Généralement, lorsque le lit est mobile, la tête d'impression bouge sur l'axe z. C'est mécaniquement plus simple puisque les axes x et y sont contrôlés indépendamment et utilisent des mouvements complètement linéaires. L'inconvénient de ce système est que l'imprimante doit déplacer un lit d'impression beaucoup plus lourd, ce qui peut porter un coup critique à la pièce imprimée. Le travail est donc aussi plus lent.

Les modèles Printrbot sont des exemples d'imprimantes 3D à lit mobile, dont la lenteur d'impression est contrebalancée par un faible coût et une facilité de maintenance.

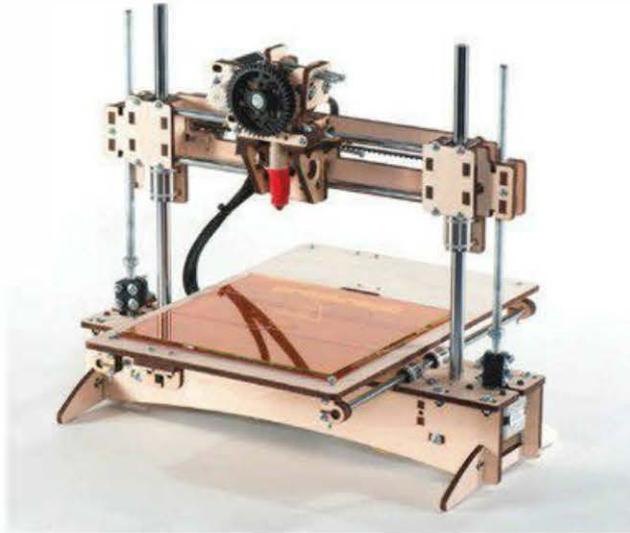


Figure 1-3. Une imprimante Printrbot

Le système Deltabot

Les robots industriels « pick-and-place » (robots de saisie-placement) utilisent traditionnellement le système Deltabot où trois tiges de commande mobiles contrôlent la tête d'impression, qui peuvent être ajustées pour déterminer sa position. Récemment, Johann Rocholl l'a adapté pour l'impression 3D avec la Rostock. C'est comme si une sonde extra-terrestre était en train d'imprimer notre modèle préféré !

Jusqu'à aujourd'hui, les imprimantes Rostock utilisent un système Bowden pour séparer la tête d'impression de l'extrudeur, autorisant ainsi un positionnement rapide et précis de la tête grâce à une mécanique relativement simple. L'inconvénient est que le driver est aussi plus complexe, car le placement de la tête d'impression ne suit pas un mouvement linéaire, l'axe vertical et le positionnement de la buse chauffante n'étant pas alignés.

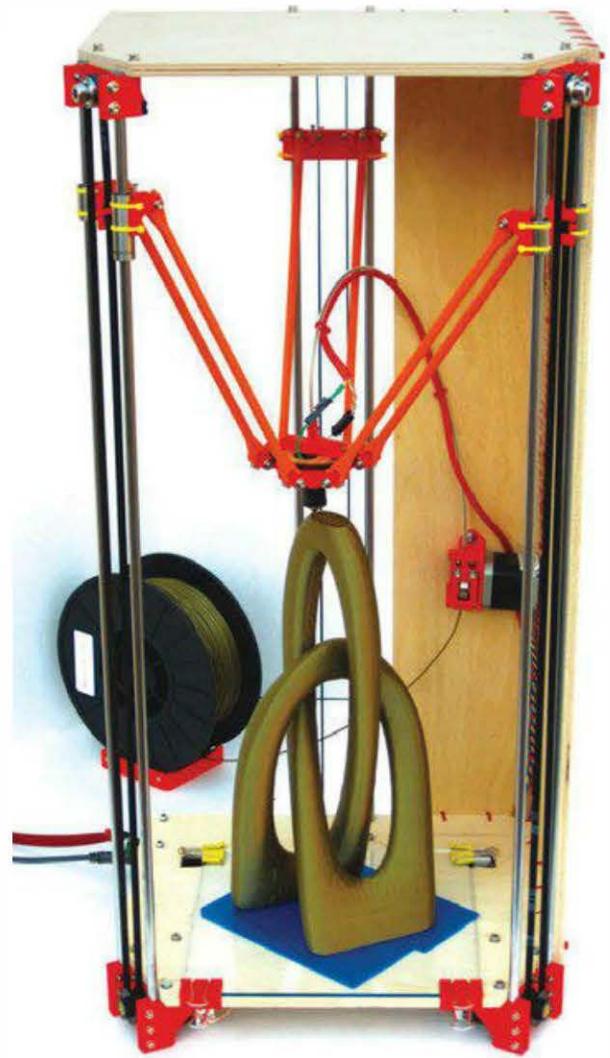


Figure 1-4. Une imprimante Rostock

Les pièces d'une imprimante 3D

Le lit d'impression

Durant sa fabrication, la pièce imprimée repose sur un lit, qui peut être :

- à température ambiante ;
- chauffant. En fonction du matériau, il maintient une température comprise entre 40 et 110 °C tout au long de l'impression, gardant la pièce chaude (comme sur la Printrbot, voir ci-dessus à gauche) et empêchant les déformations ;

- non chauffant. Dans ce cas, il est souvent recouvert d'un adhésif, comme sur l'Ultimaker (voir page 8), auquel adhère la matière imprimée.

L'extrudeur

L'extrudeur ne fait pas jaillir le plastique, mais c'est lui qui dirige le filament plastique dans la buse chauffante. Il est soit intégré à la tête d'impression, soit séparé, poussant alors le filament le long d'un tube en PTFE (Téflon) jusqu'à elle (c'est le câble Bowden).

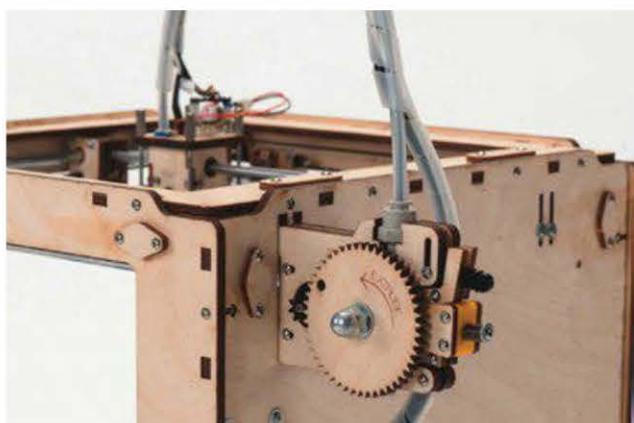


Figure 1-5. Un extrudeur Bowden

Avec un double extrudeur (voir figure 1-6), on peut imprimer simultanément deux matériaux différents ou deux couleurs. Mais attention, cette flexibilité va de pair avec davantage de complexité (et aussi un prix plus élevé) puisqu'un extrudeur supplémentaire est bien évidemment nécessaire, ainsi qu'une tête d'impression et tous les composants qui se trouvent entre les deux.

Sachez que certaines machines (pas toutes !), comme l'Ultimaker, peuvent être mises à jour pour imprimer avec un double extrudeur.

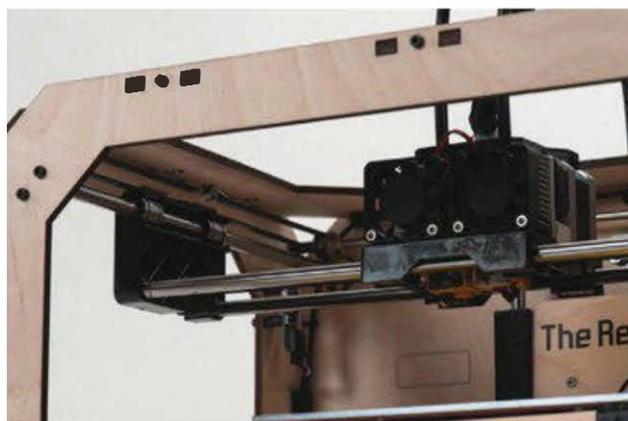


Figure 1-6. Imprimante Replicator équipée d'un double extrudeur

La tête chauffante

La buse chauffante se compose d'un radiateur, d'un capteur de température et d'une tête d'extrusion où passe le filament plastique pour déposer la matière fondue (voir figure ci-dessous). Les têtes d'impression sont souvent assemblées au sein d'un bloc en aluminium ou configurées dans un cylindre.

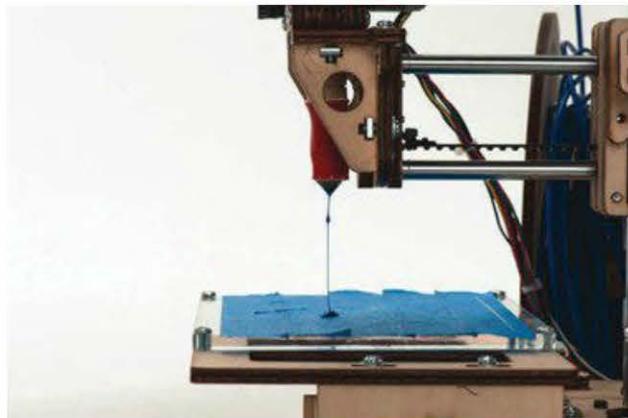


Figure 1-7. La tête chauffante de la Printrbot

Le diamètre du trou dans la tête d'impression est généralement compris entre 0,2 et 0,8 mm. Plus il est petit, plus l'impression est détaillée, mais aussi plus lente.

Notez que la zone entre la tête d'impression et l'extrudeur – qu'elle soit directement

intégrée ou qu'il y ait un câble Bowden entre les deux – pose parfois problème sur certaines imprimantes ou lorsqu'elles ne sont pas configurées correctement.

Le filament plastique

Il existe une poignée de plastiques compatibles avec les imprimantes à dépôt de filament fondu, chacun avec ses avantages et ses inconvénients. En ce qui me concerne, j'imprime exclusivement à partir de PLA, moins toxique et plus respectueux de l'environnement.

Attention, toutes les imprimantes ne sont pas compatibles avec tous les matériaux. Certaines les mettent vraiment à l'épreuve puisque la température de l'extrusion peut varier entre 160 et 305 °C. Par exemple, il arrive qu'une machine conçue pour le PLA et l'ABS avec une température maximale de 250 °C tombe complètement en panne à 300 °C.

Sachant cela, les trois matériaux les plus couramment employés sont le PLA, l'ABS et le PVA. (Pour en savoir plus sur comment choisir les matériaux, rendez-vous aux chapitres 8 et 9.)

L'ABS

L'ABS (*acrylonitrile butadiène styrène*) est le moins cher de ces trois matériaux. Il s'extrude généralement entre 215 et 250 °C et donne de meilleurs résultats sur un lit chauffant, pour éviter les déformations. Il s'utilise de bien des façons : on peut le poncer, le mélanger à de l'acétone, le coller ou l'adoucir pour une finition lisse comme du verre.

Attention, l'ABS émet des fumées certes légères et généralement acceptables, mais qui peuvent être dangereuses pour les personnes fragiles ou certains animaux domestiques – je vous recommande donc d'utiliser une hotte.

Le PLA

Le PLA (acide polylactique ou polylactide) est un plastique biodégradable généralement issu du maïs ou de la pomme de terre.

Le filament en PLA s'extrude à une température plus basse, comprise entre 160 et 220 °C, et ne nécessite pas de lit chauffant (l'adhésif est suffisant) – il peut tout de même se déformer en refroidissant. Lorsqu'il est chauffé, ce plastique a une odeur plutôt sucrée, proche du maïs grillé. Il a tendance à être plus dur que l'ABS.

Il existe une variante du PLA qui est flexible, plus difficile à manipuler mais qui permet d'obtenir des objets souples et spongieux.

Le PVA

Le PVA (alcool polyvinylique) est un plastique spécial employé dans les machines à extrusion multiple pour imprimer du matériau de support. Il s'extrude à 190 °C et se dissout à l'eau.

On peut s'en servir pour imprimer le matériau de support de modèles 3D complexes qui incluent beaucoup de zones en surplomb.

Notez que le PVA absorbe l'eau comme une éponge, ce qui peut poser des problèmes dans des environnements très humides.

Les matériaux alternatifs

Alors que les machines FDM sont généralement conçues pour l'impression de filament plastique, il n'est pas difficile de les adapter à d'autres matériaux. La tendance consiste à ajouter un extrudeur en forme de seringue pour imprimer, par exemple, avec du chocolat, du glaçage et différents types d'argile.

Quels objets imprimer ?

Une fois qu'on commence à saisir l'impression 3D, un monde de possibilités s'ouvre à nous !

J'ai moi-même offert beaucoup de mes objets imprimés en 3D. Pour un coût en matériaux très peu élevé, les gens sont surpris quand ils apprennent que c'est moi qui les ai réalisés ! Voici, figures 1-8 à 1-15, quelques pièces utilitaires que j'ai imprimées avec mon Ultimaker.



Figure 1-8. Nouveau bouchon à vis pour une grande bouteille de whisky (<http://thingiverse.com/thing:18194>)



Figure 1-9. Porte-outils pour Ultimaker (<http://thingiverse.com/thing:18098>)



Figure 1-10. Boîtier pour le Raspberry Pi (<http://thingiverse.com/thing:25363>)



Figure 1-11. Boucles d'oreilles Nautilus (<http://thingiverse.com/thing:13450>)



Figure 1-12. Bacs de pousses aéroponiques pour les herbes et les salades, pour un jardin d'hiver (<http://thingiverse.com/thing:32613>)



Figure 1-13. Ventilateur entouré d'une cale d'espacement (<http://thingiverse.com/thing:16530>)



Figure 1-14. Boîtier pour une machine à infrarouge basée sur Teensy (<http://thingiverse.com/thing:19315>)



Figure 1-15. Séparateur de tiroir pour encourager les efforts de mon fils à ranger les boulons ! (<http://thingiverse.com/thing:32614>)

Tests de 14 imprimantes 3D.

En septembre 2012, le magazine *Make* proposa à Matt Griffin de former une équipe de testeurs issus de la communauté de l'impression 3D afin de conseiller les lecteurs sur l'offre en imprimantes 3D. Cet événement a été renouvelé en 2014, donnant lieu à un nouveau guide mis à jour, *l'Ultimate Guide to 3D Printing*. Pour cet ouvrage, les deux séries de tests ont été compilées.

L'équipe a examiné douze des imprimantes à dépôt de filament fondu (ou FDM) les plus prometteuses du marché, qui fondent et extrudent le filament plastique pour former

des objets solides, couche par couche ; cette méthode d'impression 3D est la plus populaire.

Par ailleurs, deux imprimantes à résine liquide ont été analysées, la Form 1 de FormLabs et la B9Creator. Elles proposent des temps d'impression plus rapides et de plus hautes résolutions que celles à dépôt de filament fondu habituelles, mais leur prix est aussi en conséquence. Bien que la stéréolithographie (SLA) soit la première technologie d'impression 3D, née dans les années 1980, ces versions de bureau sont nouvelles sur le marché.



Figure 2-1. Pendant les tests, les bureaux de la revue *Make* sont une ruche où s'agitent des passionnés d'imprimantes 3D.

Les tests

Voici les objets qui ont servi à tester les imprimantes.

Le serpent (de Zomboe)

<http://thingiverse.com/thing:4743>

Cette réinterprétation d'un jouet en bois traditionnel a des côtes flexibles, qui font de lui un bon test de précision horizontale sur le plateau d'impression (les côtes sont-elles espacées de façon égale et formées jusqu'au bout ?) et aussi verticale (chaque couche est-elle exactement au même niveau que celle du dessous ?).



La statue hibou (de Tom Cushwa)

<http://thingiverse.com/thing:18218>

Pour réaliser les détails de ce hibou (comme les plumes), le designer Tom Cushwa a imité les techniques de la taille de pierres. Une fois modélisé, l'imprimante doit être bien configurée. Les machines qui se bloquent sur ces détails ne seront sans doute pas les meilleures pour effectuer un travail de sculpture et donc pour imprimer des figurines.

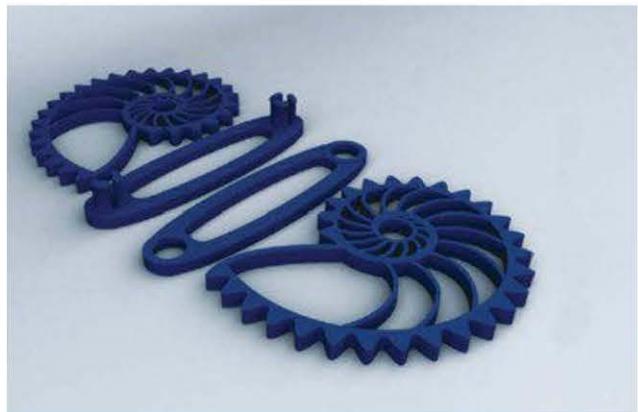


Les rouages du Nautilus (de Misha T.)

<http://thingiverse.com/thing:27551>

C'est un test très prisé par les utilisateurs, car il est rapide à imprimer. Ce modèle, à assembler, donne du style aux habitués rouages.

Grâce à lui, on sait instantanément si la machine reproduit correctement les pièces, à quel point les dents et les roues s'emboîtent parfaitement, et si les rouages réussissent à réaliser plus d'un tour sans se tordre.

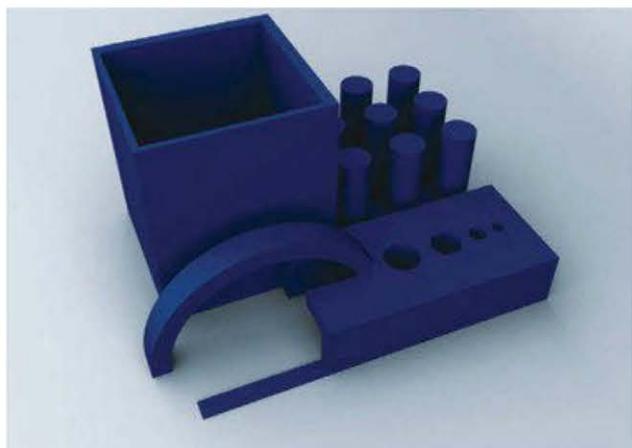


Le test de torture de dimension (de Cliff L. Biffle)

<http://thingiverse.com/thing:33902>

Ce modèle garantit de mettre à rude épreuve toutes les imprimantes FDM, afin de repousser leurs limites.

Imaginé par l'ingénieur Cliff L. Biffle, cet objet regroupe toutes les formes géométriques (zones fines et larges, inclinaisons et surplombs, trous de boulons avec des dimensions précises, arcs et tours séparés).



Makey, le robot de MAKE (d'Eric Chu)

<http://www.thingiverse.com/thing:40212>

Ce modèle est le « Hello world » idéal pour les testeurs d'imprimantes 3D. Nous l'avons utilisé sur un certain nombre de nos imprimantes, car il réunit toutes les difficultés qui peuvent être rencontrées lors d'une impression 3D.



La H-Series

<http://afinia.com>

Par Keith Ozar, testée par lui-même et Eric Weinhoffer



La H-Series compacte est une version de l'imprimante 3D UP! Plus de PP3DP, lancée comme une nouvelle marque pour le marché américain. Elle possède un extrudeur simple et utilise une entrée USB pour les ordinateurs sous Mac et Windows. Elle n'a pas d'interface de contrôle embarqué, à l'exception d'un bouton de démarrage et d'un indicateur de statut clignotant. Malgré ce matériel où rien n'est superflu, c'est une petite machine étonnamment performante, idéale pour les débutants.

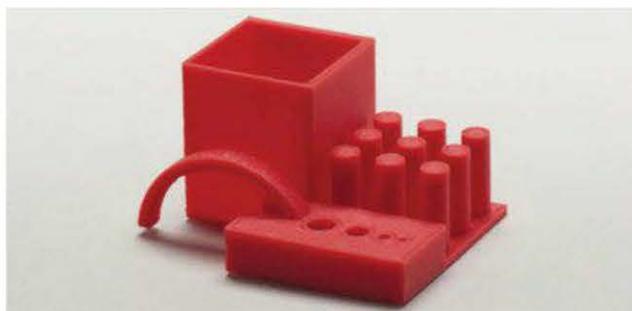
L'imprimante mesure 25 × 25 × 35 cm, pèse 5 kg et est assez robuste pour être transportée. Elle est livrée entièrement assemblée et prend seulement quelques minutes à installer. Aidé par une documentation efficace, il a été facile de charger le filament, mettre à niveau le plateau et calibrer la machine.

Le logiciel de découpe propriétaire d'Afinia génère les supports, les copies, et il peut aussi positionner plusieurs modèles pour l'impression – tout cela automatiquement. Une fois le design à votre goût, il est alors facile d'appuyer sur Impression.

Nous avons été surpris par la qualité d'impression du serpent, confirmée par celle du hibou (angles nets, surplombs propres et surfaces vraiment verticales et horizontales). Concernant le test de torture, la fidélité dimensionnelle était fautive de 1 % sur notre objet, avec des trous légèrement trop petits, mais cela pouvait être dû à une contraction du plastique ABS. Par ailleurs, la H-Series est une imprimante fiable : nul besoin de surveiller son travail.

Malheureusement, il n'est pas possible d'insérer de carte SD ou de lecteur flash USB. Cependant, vous pourrez imprimer à partir de votre ordinateur via un câble USB que vous déconnecterez une fois le travail commencé.

Par ailleurs, les indicateurs lumineux de statut peuvent être déroutants si vous n'avez pas le manuel sous les yeux, rappelant qu'il manque un panneau de contrôle sur la machine. Même si elle émet un bip sonore bruyant lorsqu'elle commence son travail (proche de celui d'un camion lorsqu'il recule !), elle imprime silencieusement.



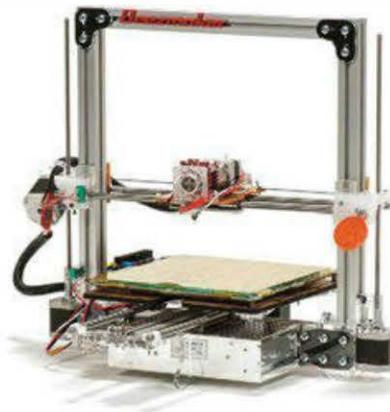
Bien qu'elle soit plus lente que de nombreuses autres machines que nous avons testées, la H-Series est une de nos préférées. Juste déballée de sa boîte et avec les configurations de résolution par défaut à 0,2 mm, nous

avons réalisé quelques-uns des objets les plus réussis de la compétition.

La Bukobot 8v2

<http://deezmaker.com>

Par John Abella



Portant le nom du chien du fondateur de l'entreprise, la Bukobot revient cette année avec un modèle mis à jour, la Bukobot 8v2. A-t-elle été bien éduquée ou est-elle de retour pour nous mordre ?! Innovante, précise et rapide, voici une imprimante pour les férus de technologie.

Dans cette nouvelle version, la surface d'impression reste la même, 20 × 20 × 20 cm pour un volume utilisable de 8 390 cm³. Le cadre, composé presque exclusivement d'aluminium extrudé, a désormais moins de pièces, certaines ayant été remplacées par de l'acrylique découpé au laser.

Sa taille est proche de la moyenne, avec une portabilité décente ; nous avons été capables de la déplacer sans en changer le calibrage. Attention néanmoins, les pièces essentielles ne sont pas protégées et pourraient s'accrocher lors des déplacements. Il est donc recommandé d'utiliser la mallette semi-rigide fournie pour le transport – notez que c'est la seule imprimante

du test, avec sa petite sœur la Bukito, à être proposée avec un tel accessoire.

Quant à son design, les testeurs étaient partagés. Certains l'ont qualifié de « futur industriel », d'autres d'« œuvre d'un scientifique fou ». Il faut dire que l'électronique et l'alimentation sont apparentes ainsi que la plupart des câbles, donnant à la machine un look futuriste – même si tout cela est parfaitement maintenu. Malgré tout, elle a reçu une excellente note pour ses qualités de conception mécanique, souvent uniques en comparaison des autres imprimantes de la compétition.

L'imprimante de Deezmaker se sert de câbles synchronisés pour les transferts de mouvements – à la place des courroies habituelles des autres constructeurs – qui ne s'usent pas et ne saccadent pas. Nous avons aussi apprécié les parties coulissantes de l'axe z qui s'intègrent dans l'aluminium extrudé. Pour autant, n'oublions pas que la performance et la durabilité de ces méthodes innovantes ne sont pas encore bien connues sur le long terme.

Sa documentation, sous forme de wiki (sur www.bukobot.com), semble à jour. Le site propose également des fichiers de configuration précréés pour Slic3r et Repetier-Host, deux des logiciels open source les plus populaires ; malheureusement, il ne détaille pas comment utiliser ces outils. Les configurations possèdent des réglages pour différentes hauteurs de couche, les pourcentages de remplissage et les plastiques recommandés. Cependant, les profils ne sont pas tous exempts de problèmes. Par exemple, celui que nous avons téléchargé pour un plastique de 3 mm avait un diamètre de filament enregistré de 1,70 mm, une erreur qui pourrait générer des complications lorsque l'utilisateur est inexpérimenté. Point positif : nous avons appelé le support technique pendant le week-end et ils nous ont répondu rapidement.

La Bukobot a été testée avec succès avec l'ABS et le PLA. D'après la communauté enthousiaste d'utilisateurs, elle fonctionne aussi avec du polycarbonate (PC) et du nylon. Elle imprime exclusivement du filament de 3 mm.

Nous aurions aimé qu'elle soit équipée d'un ventilateur de refroidissement pour souffler sur les impressions pendant l'utilisation du PLA, car placer un ventilateur de bureau à côté de l'unité a eu un immense impact sur la qualité.

À la différence de la Bukito, notre Bukobot n'avait pas de port de cartes SD. Nous avons donc été contraints d'imprimer via un câble USB. Cependant, une mise à jour pour carte SD est disponible, qui s'avère être un bon investissement si vous comptez faire des impressions plus longues.

Les vitesses d'impression par défaut étaient plus hautes que la moyenne. Nous les avons donc réduites significativement, avec quasiment aucun impact sur la qualité. La machine manque d'une bobine de filament. L'entreprise recommande un plateau tournant spécifique, qui a bien fonctionné pendant notre test.

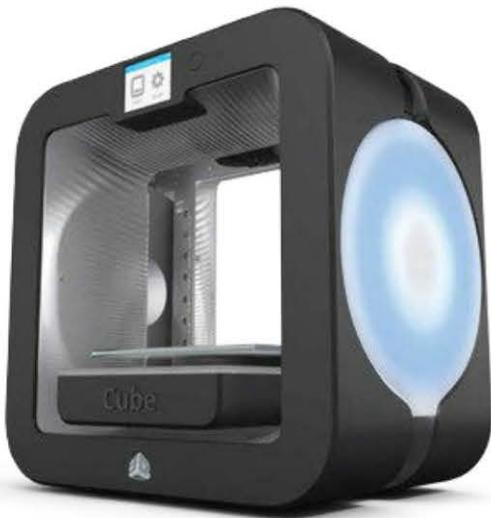
Cette imprimante n'est pas faite pour les débutants. Et elle ne se destine pas non plus à quelqu'un qui serait en contact avec des enfants en bas âge, car ils pourraient en effet facilement poser leurs mains sur les câbles et les pièces exposées. En revanche, elle peut très bien avoir sa place au sein d'un lieu de fabrication ou d'un groupe d'utilisateurs intéressés par les technologies.

Deezmaker est en quête perpétuelle d'innovations, qu'il intègre dans ses imprimantes, et la Bukobot 8v2 ne fait pas exception à la règle.

Vu que les câbles et l'électronique ne sont pas protégés, la Bukobot 8v2 n'est pas adaptée à tous les publics. Mais si vous recherchez une machine rapide, silencieuse et avec un design un peu excentrique, c'est celle qu'il vous faut !



La Cube 3



<http://www.cubify.com>

Par Blake Maloof et Matt Stultz

Il y a deux ans, nous avons noté la Cube, qui signait l'entrée de 3D Systems sur le marché des imprimantes 3D de bureau. C'était une machine assez abordable, compacte et facile à maîtriser. Elle utilisait par ailleurs un logiciel et des cartouches de filament propriétaires.

L'année dernière, 3D Systems a sorti la Cube 2, ajoutant quelques modifications à la version originale afin de la rendre plus sécurisée, silencieuse et adaptée aux enfants, dans l'espoir d'être ainsi plus en phase avec les besoins du monde de l'éducation. Malheureusement,

le prix à payer pour ces changements est une qualité moindre d'impression.

La machine est très facile à installer, grâce à son logiciel qui peut être téléchargé sur www.cubify.com, compatible avec Mac et Windows (dommage pour les utilisateurs Linux...). Son interface graphique simple vous guide pas à pas pour préparer le modèle 3D en vue de son impression. Le logiciel inclut aussi une option de « guérison » qui réparera les éventuels problèmes.

Le logiciel permet également de réaliser des changements sommaires, comme la mise à l'échelle ou l'orientation du modèle, avant son exportation sur la clé fournie. Grâce à cette dernière, on peut imprimer sans avoir à connecter son ordinateur, directement depuis l'écran tactile de la machine. La Cube 2 intègre aussi un réseau sans fil embarqué pour envoyer le modèle à la machine via le Wi-Fi.

L'interface tactile offre un accès rapide à des fonctionnalités utiles telles que la mise à niveau du plateau, le calibrage de la tête d'impression et le chargement/déchargement du filament. Notez que la Cube 2 utilise des cartouches propriétaires, rendant ses filaments plus chers.

Le premier constat au lancement est que, dans cette version, les moteurs sont nettement plus silencieux. Par ailleurs, le butoir en silicone autour de la tête d'extrusion aide à protéger les doigts curieux qui s'aventureraient sur la tête chauffante, évitant ainsi de se brûler. Il évite aussi au filament égaré de s'enrouler et de coller au nez, problème courant dans les autres imprimantes.

3D Systems a intégré un plateau d'impression en verre attaché par des aimants. Certes, le fait qu'il ne soit pas chauffant améliore la sécurité, mais la Cube 2 a alors besoin de la colle CubeStick pour que les impressions adhèrent parfaitement. Elle s'applique sur le plateau

de verre grâce à la bouteille équipée d'une raclette. De toutes les impressions testées sur un plateau, c'est de loin la plus adhérente. Lorsque le travail est terminé, la colle se dissout à l'eau, permettant de retirer l'objet de la surface du plateau.

La qualité finale est cependant bien moindre, si on la compare avec celle des autres machines de la même gamme de prix. Les surplombs et les plafonds s'affaissent considérablement, les petits détails sont perdus, et les impressions présentent souvent un petit amas de plastique au sommet du modèle, là où l'extrudeur a débuté l'impression et revient à chaque couche.

La plupart des problèmes rencontrés étaient toutefois dus au logiciel de découpe et non au matériel. Cela signifie qu'avec un petit peu de travail et une mise à jour du logiciel, cette machine pourrait produire des pièces de qualité en quantité industrielle. Malheureusement, puisque le logiciel est propriétaire, les utilisateurs ne peuvent pas faire ces changements eux-mêmes.

3D Systems a accordé beaucoup d'attention au design de son imprimante qui peut être employée dans un cadre éducatif, sans les craintes habituelles de sécurité. Les parents qui souhaitent acquérir cette machine pour un jeune maker seront également satisfaits par sa simplicité d'emploi. Quant aux utilisateurs plus avancés, ils seront, eux, déçus par la nature fermée de la Cube 2 et sa qualité d'impression. Elle n'est tout simplement pas faite pour eux !

Aujourd'hui, ce modèle en est à sa troisième génération, la Cube 3. Fournie prête à l'emploi pour un peu moins de 1 000 €, cette machine dotée d'une interface tactile répond aux normes d'utilisation pour un enfant de 7 ans. L'une de ses spécificités est de fonctionner en Wi-Fi, ce qui permet de lancer des travaux d'im-

pression à distance, par exemple à partir de son smartphone via une application dédiée. Il est aussi possible d'y brancher une clé USB.

Le volume d'impression de cette imprimante est de 15,25 × 15,25 × 15,25 cm, pour une épaisseur de couche de 75 µm. Le système permet une installation facile du filament grâce à des cartouches conçues pour la Cube. Dix couleurs sont disponibles, et la Cube 3 accepte aussi bien l'ABS que le PLA. La machine offre de bonnes performances pour une utilisation familiale, mais s'avère en revanche peu adaptée à un usage professionnel.



La Felix 2.0



<http://shop.felixprinters.com>

Par Kacie Hultgren et Matt Stultz

Succès surprenant de notre test, la seconde génération d'imprimantes 3D de l'entreprise hollandaise Felix Printers tient les promesses dévoilées l'an dernier, avec des mises à jour matériel impressionnantes et des performances largement améliorées. Le cadre en aluminium extrudé, accompagné de pièces imprimées en 3D, fournit un design ouvert et simple, et son plateau d'impression en aluminium chauffé peut contenir de grandes impressions.

Le manuel d'instructions PDF à télécharger aborde l'assemblage, le calibrage et les logiciels, avec des photos claires et des indications pas à pas. Felix Printers utilise les contrôleurs open source habituels Repetier-Host et Pronterface, et propose également une version du logiciel Repetier-Host habilement associé à des profils de découpe SFACT. Ce dernier utilise une version modifiée de Skeinforge, un logiciel de découpe plus lent que ses concurrents, particulièrement dans le cadre d'impressions grandes et complexes.

Les profils à disposition et la machine elle-même sont optimisés pour le PLA de 1,75 mm, mais le plateau chauffant et l'extrudeur à haute température (évaluée à 275 °C) permettent d'imprimer en ABS et en d'autres plastiques compatibles sans mises à jour du matériel.

L'installation a été rapide et facile dans Windows. Pour les utilisateurs de Mac, Felix Printers a récemment ajouté un téléchargement de Repetier et des instructions pour installer les profils SFACT séparément ; nous n'avons pas pu les tester.

La qualité du rendu est parfaite. La Felix 2.0 se distingue surtout sur les petits diamètres en surplomb. Les tolérances des impressions de test étaient exactes – dès la sortie du plateau, les pièces ont pu fonctionner sans être nettoyées.

L'imprimante est livrée avec une tête de 0,35 mm, légèrement plus petite que le standard de 0,4 mm, qu'on trouve la plupart du temps. Cela pourrait en partie expliquer son succès lors d'impressions délicates, mais aussi l'allongement du temps de travail pour les couches au remplissage plein. Felix Printers fait tourner ses machines de production à 80 mm/s et recommande 30-40 mm/s pour ses impressions haute qualité, le maximum étant 200 mm/s. À ces vitesses, la Felix 2.0 n'est pas la plus rapide du test, mais elle a semblé réactive et a tourné silencieusement. Sachez qu'un utilisateur professionnel arriverait à la faire aller plus vite.

Le grand lit d'impression en aluminium chauffé a besoin d'être patiemment ajusté, mais le système embarqué de mise à niveau en trois points a été à la hauteur de la tâche. Vu qu'il n'y a pas de porte-bobine, nous avons utilisé le moulin fourni, ingénieusement simple. Mais il a tout de même nécessité une attention fréquente pour éviter tout problème. Le cadre en aluminium et le design ouvert assurent une grande solidité et rigidité sans matériel superflu. Une poignée est aussi intégrée pour faciliter le transport. La Felix 2.0 a par ailleurs mis à jour tout le système de déplacement linéaire avec des coulisses à bille haut de gamme qui maintiennent les choses parfaitement alignées et lisses. Enfin, une mini-carte SD et un écran LCD intégré – dont l'installation est assez aisée – sont en option afin d'imprimer de façon autonome.

Il est important de noter que Felix Printers vend des kits pour transformer la Felix 1.0 et 1.5 en 2.0. Ils sont customisables afin que vous puissiez choisir quelles modifications sont les plus importantes (pièces imprimées, nouveaux moteurs, lit chauffant, LCD, et plus encore). Sachez aussi que l'entreprise offre un suivi à ses premiers utilisateurs.

Les impressions de cette machine sont parmi les meilleures du test même s'il vous faudra accepter des compromis de temps dus aux profils de découpe. Par ailleurs, le matériel a rencontré peu de problèmes, et la mise à jour LCD a permis des impressions autonomes, ce qui est pratique pour imprimer de gros objets sans ordinateur dédié. Si vous recherchez une imprimante avec des mises à jour, la Felix 2.0 est parfaite.

Désormais, la Felix est disponible dans sa version 3.0, avec une extrusion double, un lit chauffant plus plat, une nouvelle tête chauffante avec des embouts en laiton interchangeables pour un nettoyage facilité...



La MakerGear M2

<http://makergear.com>

Par Paul Leonard et testée par lui-même

Le cadre de la MakerGear M2 est en acier inoxydable ; les autres éléments de sa structure sont en aluminium inoxydable et anodisé. Le volume d'impression est de 20 x 25 x 20 cm, un des plus gros dans sa gamme de prix. Les autres pièces sont de haute qualité et ses déplacements sont fluides.

L'extrudeur à roue dentée et moteur pas-à-pas de MakerGear vient avec sa buse chauffante montée dans la structure. Le plateau d'impression chauffant est un sandwich composé

de liège isolant, d'un matériau en polyamide chauffant et d'aluminium gravé au laser, surmonté d'une feuille de verre borosilicate.



La carte électronique RAMBo UltiMachine, un dérivé amélioré de la populaire RAMPS, contrôle l'imprimante et supporte les doubles extrudeurs. Ainsi, nul besoin de changer l'électronique pour mettre à jour vers des doubles extrudeurs.

Le kit est très bien organisé et inclut tous les outils dont vous avez besoin, à l'exception d'une clé à molette. Sa documentation est aussi dans son ensemble très claire (vidéos animées, dessins des sous-assemblages, instructions claires pour les étapes critiques). Notons que le support technique de MakerGear a répondu aux questions sur IRC.

L'installation est simple : en moins d'une heure, vous pouvez déballer la machine, régler les stops, charger le logiciel et commencer à imprimer les échantillons inclus. Seule précaution : vous devez trouver une table solide pour la poser, car sa construction en métal l'alourdit – ce qui est plutôt rassurant. Notez

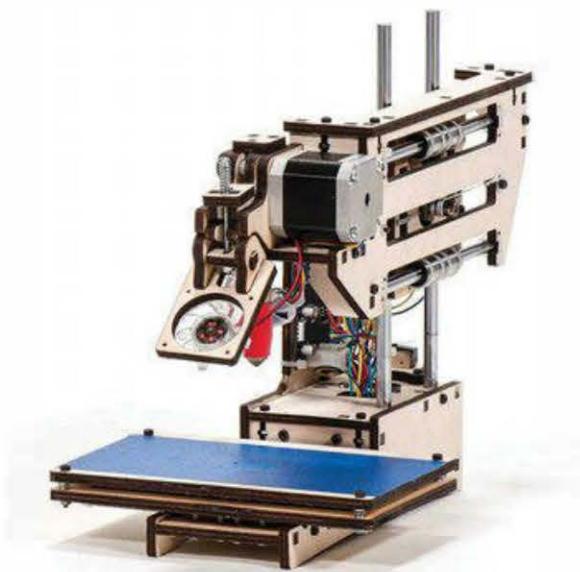
qu'elle vibre un peu lorsqu'elle est utilisée à haute vitesse.

La M2 est livrée avec un lecteur de cartes SD et une carte contenant des fichiers d'exemples de G-code pour vérifier qu'elle fonctionne parfaitement. Elle dispose aussi d'une bobine de PLA de 1 kg. Bien qu'elle soit livrée bien calibrée, il vous faudra un peu d'expérience pour la configurer parfaitement. Avant d'imprimer, je vous conseille de consulter le groupe Google MakerGear pour apprendre comment la configurer et savoir quelles sont les options disponibles (surtout celles concernant les différents matériaux et les surfaces d'impression).

Après avoir positionné le butoir de l'axe z et mis à niveau le plateau, la M2 a très bien imprimé. J'ai expérimenté avec des hauteurs de couche, des vitesses et des températures différentes, et il me reste malgré tout de la marge pour expérimenter avec toutes les caractéristiques de la machine. Il est possible de modifier les configurations logicielles pour obtenir des résultats encore meilleurs, et je peux encore réaliser des mises à jour matérielles pour améliorer l'extrusion. Cette machine va me permettre d'installer de nouveaux composants.



La Printrbot Simple



<http://printrbot.com>

Par Tom Burtonwood

Difficile de ne pas avoir le coup de foudre pour la Printrbot Simple ! C'est une des plus petites, des moins chères et des plus efficaces des imprimantes 3D disponibles sur le marché. Cette machine est vraiment surprenante. Pour un maker débutant ou passionné, un éducateur avec un petit budget ou encore un étudiant, elle sera idéale en termes de coût, de facilité d'utilisation et de résultats.

Nous l'apprécions tout particulièrement pour sa légèreté et sa petite taille, qui la rendent facile à transporter dans des classes, pour des démonstrations ou lors d'événements. Alors que la plupart des constructeurs souhaitent ajouter de nouvelles fonctionnalités à leurs produits au risque qu'ils grossissent, Printrbot a préféré en retirer autant que possible pour sa Simple.

Son volume d'impression est approximativement de 10 cm de côté, ce qui est parfait pour

les étudiants qui apprennent l'impression. Elle offre en effet bien assez de volume pour réaliser de petites pièces, des figurines, et bien plus encore.

Disponible en kit à 220 € avec toutes les pièces dont vous aurez besoin, nous avons choisi de tester le modèle assemblé à 294 €. Pour les makers qui ont possibilité de se munir d'une découpeuse laser, il existe une option comportant seulement les composants intérieurs pour 190 €.

Tous les designs étant partagés en ligne sous licence Creative Commons Attribution-Noncommercial ShareAlike, vous pouvez créer votre propre Pintrbot à partir de zéro. Mais attention, vous n'avez alors pas le droit de la vendre !

Grâce au manuel d'impression fourni ou au PDF disponible sur le site Internet de Pintrbot – avec des captures d'écran pour les systèmes d'exploitation Mac et Windows –, il est assez facile d'installer la Simple et d'obtenir votre première impression. Pour le débutant, le guide de dépannage manque un peu de détails ; il serait utile d'avoir davantage d'explications sur comment ajuster la hauteur Z, mettre à niveau le lit et charger le filament.

Nous étions très contents d'apprendre que la Simple est capable d'imprimer à partir d'une carte SD et ne nécessite donc pas un ordinateur connecté tout au long du travail. Malheureusement, le manque de documentation sur le sujet est un problème, ainsi que la façon dont Repetier-Host a semblé gérer nos essais (un bogue de l'application, non de Pintrbot). Nous avons donc décidé d'écrire nos propres instructions pour que les nouveaux utilisateurs sachent comment utiliser la carte SD pour imprimer de façon autonome.

Autres remarques pour ceux qui débutent avec cette machine : lorsque la Simple

commence une impression, elle émet une quantité de clics et de bruits, mais ne vous inquiétez pas, cela ne signifie pas que quelque chose va mal. Pour les supprimer, il suffit d'appliquer un poids supplémentaire grâce à une pince en C accrochée à l'arrière de la machine, ou grâce à un étau afin de la sécuriser et si vous ne comptez pas la transporter souvent. L'extrudeur semble aussi s'affaisser légèrement – prenez-y garde lorsque vous mettez à niveau le plateau d'impression, et compensez si besoin.

Le lit n'est pas chauffant et accepte seulement le PLA ou les filaments de nylon. Notez que les versions précédentes de la Simple ne venaient ni avec un ventilateur pour l'extrudeur, ni les butoirs ; cela est désormais corrigé et toutes les imprimantes sont maintenant livrées avec ces pièces par défaut.

Le plus grand inconvénient de cette machine est la lenteur à laquelle elle opère, mais ses résultats sont néanmoins satisfaisants. En termes de qualité d'impression et de détails, elle fait en effet définitivement aussi bien que ses concurrentes.

Sachez enfin que nombre de membres de l'équipe se sont extasiés en la voyant ! D'ailleurs, je l'ai tellement appréciée que j'en ai acheté une en ligne...

Pour conclure, disons que la Simple est parfaite pour un enseignant. De nombreux étudiants peuvent acheter le kit pour apprendre par eux-mêmes, libérant ainsi de la place pendant les ateliers de démonstration dans les écoles, souvent en surnombre. Réussir à construire et à faire fonctionner une imprimante 3D est une compétence importante pour le monde de demain, et la Pintrbot Simple est la bonne machine pour commencer.



La Replicator 2



<http://makerbot.com>

Par Emmanuel Mota, testée par lui-même et Eric Weinoffer

Plus rapide, plus silencieuse et avec une hauteur de couche minimale fine comme du papier de 100 μ , la Replicator 2 vaut bien son « 2 » !

Son look est résolument moderne et élégant avec son nouveau cadre en acier entièrement noir en revêtement poudre, des roulements linéaires en bronze imprégné d'huile. Son volume d'impression est aussi plus grand de 37 %, tout en conservant la même taille ainsi

qu'un design simple. Désormais, elle est optimisée pour le PLA. À l'avant, sur le coin droit, un écran LCD plus large et plus réactif avec un clavier facilite le contrôle et le suivi de la machine.

Une grande nouveauté est l'option Cold Pause qui suspend l'impression et refroidit l'extrudeur. À n'importe quel moment, vous pourrez ainsi reprendre le travail là où vous l'avez laissé, ce qui peut être utile. Une autre fonctionnalité intéressante du clavier est la possibilité de sélectionner la couleur de la diode lumineuse à l'intérieur, selon votre humeur.

Par ailleurs, le temps de chauffe pour que la machine soit prête est beaucoup plus court que pour les modèles précédents de MakerBot qui imprimaient en ABS.

La zone d'impression de la Replicator 2 est maintenant occupée par un lit en acrylique dépoli facile à enlever, conçu spécifiquement pour le PLA. Sa mise à niveau est aussi plus facile, grâce au nouveau système en trois points. Plutôt qu'une vis d'ajustement dans chacun des quatre coins, trois vis sont placées en triangle, élargissant ainsi la zone centrale. Il suffit d'un tour de deux vis pour que le lit soit à niveau.

Tout cela est complété par un nouveau logiciel, le MakerWare de MakerBot, qui remplace ReplicatorG, dont l'interface utilisateur est plus propre et plus intuitive. On peut ainsi mettre à l'échelle, tourner et positionner plusieurs modèles sur le plateau d'impression. La découpe est désormais effectuée par l'engin Miracle-Grue dans MakerWare qui est nettement plus rapide que Skeinforge.

L'installation initiale de la Replicator 2, du déballage à la première impression, a été simple et rapide – moins de quinze minutes, en incluant le montage de l'extrudeur et le chargement du filament.



La Solidoodle 2



<http://solidoodle.com>

Par Ethan Hartman, testée par lui-même et Eric Chu

L'entreprise Solidoodle a été lancée par Sam Cervantes, un des premiers employés de MakerBot. Elle a adopté ce qui est devenu un standard populaire : l'électronique Sanguinololu (<http://reprap.org/wiki/Sanguinololu>) et Repetier Host.

Pour maintenir un prix bas, Solidoodle a réduit certains aspects qui sont, pour la plupart, les bons ! Par exemple, le cadre est une boîte soudée basique et les tiges sont sécurisées

par des colliers de serrage. Un certain nombre de pièces et d'équerres sont imprimées et peu esthétiques, ce qui est une pratique courante pour les RepRap. Certes, cette machine n'est pas la plus belle, mais cela ne doit avoir aucune conséquence fonctionnelle.

Bien que le déballage d'une machine ne devrait pas faire naître le même amour que celui provoqué par un produit Apple, les bases sont là : imprimante assemblée, câble USB, guide de démarrage d'impression, adhésif Kapton de remplacement pour la surface d'impression, et un petit peu de filament d'ABS de 1,75 mm (la Solidoodle accepte aussi le PLA, mais l'ABS est recommandé).

Niveau inconvénients, vous ne pourrez pas charger ou changer le filament lorsque la structure en métal est installée. Attrapez donc votre tournevis, mais méfiez-vous : trop de tours lorsque vous retirez le dessus peut modifier le connecteur USB sur l'électronique exposée au sommet de la machine.

Concernant l'impression, ce n'est pas trop mal même si un peu de configuration est nécessaire. En effet, le profil simple par défaut génère des impressions en dessous de la moyenne. Par ailleurs, la température de l'extrudeur nous a semblé très haute, bien que nous l'ayons réglée sur un 190 °C bas. Le filament s'entortillait et les surplombs du modèle se sont un peu affaissés – le hibou a été l'impression la moins réussie.

Baisser la température a amélioré les choses, mais nous aurions pu encore passer beaucoup plus de temps à l'ajuster. Point positif, la machine était rapide et fiable. En effet, une fois compris que la température du plateau d'impression devait être indiquée manuellement, nous n'avons pas rencontré de problèmes. Notez que le plateau d'impression a été correctement mis à niveau à l'usine.

Si vous vous rendez sur les sites Internet associés à cette imprimante, par exemple <http://solidoodletips.wordpress.com>, vous verrez que la communauté travaille dur pour améliorer les profils par défaut.



La Type A Machines Series 1



<http://typeamachines.com>

Par Matt Griffin et Chris McCoy

Design ambitieux et impression progressive sans fil, cette imprimante pourrait être une des gagnantes de 2014. Type A Machines est

née du fameux hackerspace de San Francisco, Noisebridge. Andrew Rutter a fondé l'entreprise en décembre 2011 et lancé l'imprimante Series 1 au printemps suivant. Type A décrit sa philosophie comme étant en « sources accessibles », c'est-à-dire qu'elle déposera des brevets, mais toutes les spécifications matérielles sont publiquement disponibles pour être modifiées par les utilisateurs (avec des restrictions commerciales).

La plupart de nos tests ont été faits sur le modèle 2013 Series 1. Un nouveau modèle 2014 a été lancé ; nous avons pu tester son prototype en version bêta, mais seulement pendant quelques heures.

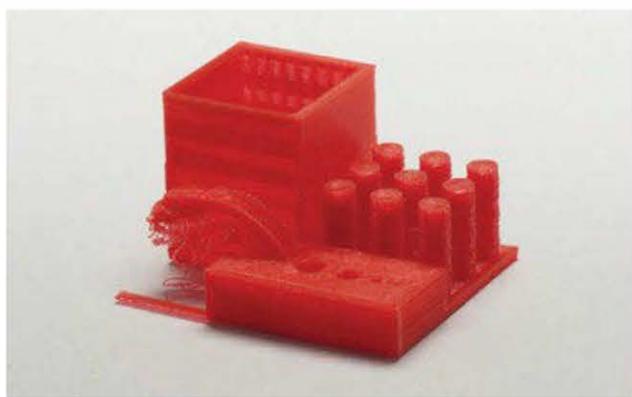
Comparée au modèle 2013, la 2014 Series 1 (à 1 680 €) arbore un design industriel propre, un gros volume (le plus important de notre test), une mécanique de grue améliorée, un plateau d'impression en verre et un nouveau revêtement en vinyle qui pourrait bien détrôner l'adhésif bleu de peintre pour l'impression en PLA. Une nouvelle fonctionnalité particulièrement intéressante, développée suite aux retours des utilisateurs, est sa tête d'extrusion à bas coût facile à retirer et qui, vu son prix, pourrait être considérée comme « jetable » si elle se bouche. Type A a aussi promis une nouvelle garantie favorable aux hackers qu'elle honorerait même si vous avez modifié la machine.

La version bêta du prototype que nous avons testée n'a pas d'écran embarqué, mais elle propose le contrôle Wi-Fi par défaut via Octoprint. C'est un client d'impression open source, basé sur le Web, qui envoie le G-code et contrôle l'imprimante via une plate-forme Linux embarquée. Installer Octoprint requiert en général l'utilisation de ligne de commande Linux, mais la Series 1 s'en occupe pour vous grâce à un processeur BeagleBone Black.

Notre unique test a montré des problèmes mineurs de rétractation, liant entre elles des

parties du modèle qui ne devaient pas l'être. Vu que nous avons eu la machine en version bêta pour quelques heures seulement, nous ne pouvons donc pas juger réellement de sa qualité d'impression. Rappelons cependant que les Type A 2012 et 2013 imprimaient très bien.

Les machines Type A 2014 Series 1 se distinguent grâce à l'impression sans fil intégrée, un design industriel élégant et une garantie favorable aux hackers. La compatibilité avec l'impression directe à partir de Windows 8.1 est aussi à prévoir.



L'Ultimaker 2



<http://ultimaker.com>

Par Eric Chu

Ultimaker a été fondée en mai 2011 par Erik de Bruijn, membre pionnier et passionné de RepRap et gourou de l'impression de bureau, le designer Martjin Elserman et Siert Wijnia, manager du FabLab ProtoSpace. L'entreprise vend des kits et des imprimantes assemblées, ainsi que des accessoires et du filament. Récemment, elle a par ailleurs lancé YouMagine, un site de partage de fichiers 3D qui propose UltiShaper, leur nouvel outil de modélisation 3D.

L'Ultimaker 2 est une imprimante dernière génération qui convient à tous, que vous soyez débutant ou professionnel. Avec elle, Ultimaker a amélioré une machine déjà excellente pour créer une des meilleures imprimantes 3D pour les particuliers que nous ayons testées.

Elle propose un plus grand volume d'impression et de nombreuses mises à jour matérielles. Grâce au logiciel open source Cura, développé par l'entreprise, elle est aussi facile d'emploi. C'est une machine de haute tenue pour celui qui souhaite simplement appuyer sur Imprimer, mais elle est aussi entièrement ouverte pour celui qui aime bricoler son imprimante afin d'obtenir le meilleur d'elle.

C'est une des plus belles du marché, avec un cadre constitué de panneaux élégants de polymère, d'aluminium et d'acrylique dépoli. Des bandeaux de diodes éclairent l'intérieur et une lumière d'ambiance se diffuse à travers les parois lorsqu'on imprime de nuit ; c'est très réussi. Par ailleurs, les pièces simples et les couvertures en métal fin lui confèrent un aspect propre.

Le nouveau lit chauffant en verre, plus grand que précédemment, s'adapte à l'ABS. Il est aussi possible d'imprimer en PLA directement

dessus sans adhésif ou autre traitement de surface. Une fois que le lit refroidit, la pièce se détache facilement (ce qui devrait être le cas pour toutes les machines haut de gamme !).

Avec son nouveau design, l'extrudeur est maintenant contrôlé directement, permettant une rétractation plus rapide et plus silencieuse. La tête d'impression, constituée de métal avec un isolant en Teflon, chauffe rapidement (pour atteindre 220 °C en une minute) et propose un capteur de température PT-100 plus précis qu'un thermocouple. Deux ventilateurs refroidissent les pièces de façon plus uniforme, ce qui a aidé à réaliser deux des meilleurs modèles réalisés pendant le test.

La nouvelle électronique contrôle numériquement le courant du moteur via un firmware plutôt qu'un potentiomètre physique. Moins de courant étant utilisé, les moteurs produisent en contrepartie moins de bruit.

L'interface de contrôle embarqué, bien pratique, est désormais intégrée dans l'imprimante et plus facile d'emploi grâce à un écran graphique OLED et un ensemble de gros boutons. De nouveaux messages guident également l'utilisateur dans la mise à niveau du lit et le changement de filament. Les configurations d'impression peuvent enfin être ajustées à la volée pendant l'impression.

Le logiciel a été lui aussi amélioré. Cura a été mis à jour pour découper plus rapidement que ses concurrents, et Ultimaker a développé UltiGCode, un type de G-code, qui permet de régler rétractation et matériel et de changer les configurations dans l'imprimante (plutôt que dans le logiciel de découpe) sans avoir à redécouper.

L'Ultimaker 2 est encore plus précise que l'originale. L'objet de test a été bien imprimé : les gonds s'articulent parfaitement, la finition de l'extérieur a belle allure, et les petits détails sont nets et précis. Nous avons aussi

constaté quelques bruits pendant l'impression des petites pièces sur la configuration Haute Qualité par défaut, qui augmente trop la vitesse. Vu qu'Ultimaker améliore constamment ses logiciels, nous ne serions pas surpris de voir ce problème réglé au moment de la publication de ce livre.

Sachez que cette machine restera open source, comme l'a indiqué De Bruijn : « Aussitôt que nous commençons à livrer, nous mettrons à disposition la première majeure partie du système : l'électronique complètement "re-designée" (sous Creative Commons Attribution-ShareAlike)... Nous avons en projet de mettre tout à disposition dans six mois tout au plus. »

Avec l'Ultimaker 2, Ultimaker distribue une machine dernière génération aux particuliers, à la fois belle et solide. Son lit chauffant fonctionne à merveille, et c'est un avantage énorme de ne pas avoir à appliquer une force extrême pour retirer les grandes impressions. Bien qu'elle soit un peu en retard en termes de qualité, les mises à jour matérielles et logicielles la mettent en bonne place sur le marché professionnel.



L'OpenBeam Mini Kossel

<http://store.openbeamusa.com>

Par Anna Kaziunas France

La première Deltabot de nos tests reste une machine pour makers avertis. Son design est unique en son genre, avec ses trois bras, chacun attaché à un axe vertical indépendant commandé grâce à un moteur pas-à-pas. Il en résulte une imprimante très simple, de taille réduite et un positionnement plus rapide que les autres.



La Mini Kossel est une machine open source paramétrique, construite initialement à Seattle en 2012 par Johann C. Rocholl, le père des imprimantes Deltabot. Leur mouvement linéaire est généré par trois tours de

contrôle. La tête d'impression peut donc se déplacer aussi rapidement sur l'axe x, y que z, avec moins de pièces en action. L'extrudeur Bowden permet de conserver une tête légère et équilibrée.

La famille d'imprimantes OpenBeam Kossel a été développée par Metrix Create:Space à Seattle, un hackerspace mené par Terence Tam, le créateur des extrusions en aluminium OpenBeam. (OpenBeam vient de terminer une campagne de financement participatif réussie sur Kickstarter pour financer le grand frère de la Mini Kossel, l'OpenBeam Kossel Pro, qui avait gagné un prix du jury à la Maker Faire Bay Area en mai 2013.)

Dans la vie, Terence Tam est ingénieur en design mécanique pour une entreprise de microscopes et cela ressort dans la fabrication de la Mini Kossel. Pour faire rouler les billes, il utilise des copies bon marché de rails linéaires haut de gamme (comme ceux utilisés dans les instruments d'optique de haute précision). Le mouvement obtenu est plus fluide mais aussi plus stable.

L'OpenBeam Mini Kossel que nous avons testée était un prototype, et seulement la seconde de son type. Il est prévu qu'elle soit vendue comme un kit mécanique complet sans les pièces imprimées en 3D, l'électronique, les moteurs, le plateau d'impression et la tête chauffante. Ces pièces non mécaniques seront disponibles comme options configurables. Selon l'électronique choisie, le kit complet Deltabot sera vendu entre 600 et 660 €.

À notre demande, la machine nous a été envoyée préassemblée et sans instructions (notez que ces dernières sont en progrès). Nous n'avons donc pas pu juger de la documentation du kit ou de la facilité d'assemblage. Sachez qu'une documentation générale et une nomenclature complète de la Mini Kossel

sont disponibles sur le wiki RepRap (www.reprap.org/wiki/Kossel).

La famille OpenBeam Kossel est unique dans le monde RepRap puisque ses pièces sont compatibles à 100 % avec les modèles professionnels (avec des pièces moulées par injection) et RepRap (avec des pièces imprimées en 3D). Les deux branches sont open source.

L'OpenBeam Mini Kossel propose des améliorations telles qu'une sonde de mise à niveau automatique du lit, qui compense l'inclinaison de ce dernier et le calibrage de sa hauteur. Elle est fantastique !

Dans l'ensemble, nous avons obtenu de très belles impressions. Pour la pièce de test, il n'y a pas eu de problème de bourdonnement, et elle s'est aussi bien débrouillée avec le modèle difficile.

Avec les configurations de découpe fournies, on a constaté des problèmes de rétractation, créant de petits amas d'extrusion en trop sur certaines impressions. Après avoir consulté Terence Tam et Johann C. Rocholl, nous avons réussi à augmenter les configurations de rétractation et à réduire massivement ce problème.

Par ailleurs, nous avons rencontré des soucis avec l'écran LCD Vici. Nous n'avons pas été capables d'imprimer de façon autonome en utilisant les contrôles embarqués ou la carte SD à cause d'incompatibilités avec le firmware. Interrogé à ce sujet, Terence Tam affirme que résoudre ce problème de carte SD est une de leurs priorités. Il ajoute qu'ils développent actuellement leur propre électronique afin de permettre l'impression à partir d'une carte SD.

L'OpenBeam Mini Kossel n'est pas destinée aux débutants. Mais si vous êtes un maker à la recherche de quelque chose de différent et de votre prochain kit à construire, nous vous la recommandons chaudement. Pour tout vous

dire, je pense sérieusement à en construire une moi-même !



La LulzBot TAZ



<http://lulzbot.com>

Par John Abella

La TAZ est une machine puissante pour utilisateurs expérimentés. Pour celui qui désire bricoler, elle permet des impressions très grandes et rapides.

Sa surface d'impression est de 29,7 × 27,4 × 24,8 cm pour un volume très large de 20 287 cm³, le deuxième plus grand de notre test. Par exemple, vous pourrez imprimer une

balle de basket à taille réelle avec cet espace disponible. Bien évidemment, les dimensions de la machine sont en conséquence – elle tiendra certes sur votre bureau mais avec rien d'autre autour !

La TAZ contient plus de pièces imprimées que la plupart des autres machines testées (équerres, boutons, boîtiers, et même les logos à deux couleurs de l'entreprise). Vu que LulzBot maintient une armée d'imprimantes pour pouvoir produire ces pièces, elle sait donc ce que cela demande de réaliser des pièces fonctionnelles en quantité.

Le cadre est en extrusion d'aluminium noir anodisé avec des connecteurs imprimés en 3D. La mécanique est visible, mais l'électronique est sous contrôle : les câbles ne pendent pas et on ne distingue pas les connexions. L'électronique principale est par ailleurs dans une boîte imprimée en 3D et aérée.

Dans le dernier *Ultimate Guide to 3D Printing*, un des grands constats était que les imprimantes 3D avaient besoin d'une meilleure documentation, ce qu'a bien compris LulzBot. Le manuel de la TAZ n'est pas seulement le plus riche, complet et bien conçu de tous, il est aussi une ressource concernant l'impression 3D, la création de tracés, proposant astuces, conseils et réglages. Il est utile pour quiconque souhaiterait utiliser une imprimante 3D. Si l'entreprise le commercialise, j'en achèterais même un !

LulzBot fournit aussi le meilleur ensemble d'outils. Vous aurez en effet tout le nécessaire pour modifier, ajuster, resserrer, retirer les impressions et effectuer le suivi de routine.

Notre machine de test a requis des ajustements, car elle n'imprimait pas correctement avec les profils par défaut du site Internet. Malgré tout, le service client nous a guidés parmi les outils et les configurations. L'imprimante a été testée avec du filament ABS

en 3 mm fourni par le vendeur. Normalement, elle devrait imprimer en PLA tout aussi bien.

Nous avons remarqué que le lit d'impression était nettement plus chaud au centre que sur ses zones extérieures. Ce dégradé de températures ne nous a pas posé de problèmes, mais il doit être pris en compte pour les plus grandes impressions en ABS puisqu'il pourrait causer des problèmes d'adhérence de la première couche.

La TAZ a imprimé rapidement et silencieusement. Les configurations par défaut étaient plus rapides que la moyenne et elle ira encore plus vite si vous acceptez de faire quelques ajustements. Les outils employés sont ceux open source du monde RepRap, avec une combinaison de Slic3r et Printron.

La TAZ 1.0 n'a pas d'entrée pour cartes SD, obligeant à réaliser les impressions via USB. Avec un plateau si grand, certains modèles pourraient dépasser les 30 heures de travail. Pour celui qui possède un ordinateur portable, cela voudrait dire le laisser brancher tout au long de l'impression. Nous sommes donc ravis de voir que LulzBot a remédié à ce problème avec le modèle 2.0.

Depuis notre test, Aleph Objects a réalisé une mise à jour vers la TAZ 2, avec une tête chauffante améliorée, un nouvel écran LCD et un contrôleur avec une entrée de cartes SD pour un travail autonome. Elle est désormais commercialisée.

LulzBot se dépasse pour soutenir les initiatives en logiciels et matériels libres. Elle aide même à financer le développement de Slic3r, logiciel de tracés employé par la plupart des imprimantes. Les plans pour construire une TAZ sont disponibles librement, et des versions construites à partir de zéro sont visibles en ligne, proposés par des hackers actifs. Cependant, nous pensons qu'il est plus rentable d'acheter la TAZ officielle, le pack

complet LulzBot étant en effet plus qu'une simple addition de pièces matérielles.



La Formlabs Form 1



<http://formlabs.com>

Par Anderson Ta, Anna Kaziunas France et Eric Chu

La Form 1 est la première à entrer sur le marché de l'impression 3D à stéréolithographie (SLA) pour les particuliers.

Lancée par Formlabs à Cambridge (aux États-Unis), elle utilise un rayon laser UV pointé sur un système de miroirs montés sur un galvano-

mètre pour sélectivement solidifier un film de photopolymère liquide afin de former chaque couche.

C'est une machine magnifique – élégante et minimaliste avec un châssis en aluminium mat, un écran OLED, un boîtier orange vif et une interface avec un bouton unique. Elle a deux connecteurs de câbles, l'un d'alimentation et l'autre USB.

La Form 1 est autant performante qu'elle est belle. L'interface logicielle est développée pour s'associer au matériel. Le procédé est aussi simple que de charger le fichier et d'appuyer sur Imprimer (ou Former, comme ils l'appellent). Le logiciel PreForm a aussi une option embarquée unique qui vous indique si le modèle possède des erreurs et vous aide à l'orienter correctement pour l'impression. Les utilisateurs les plus expérimentés peuvent modifier les options, de la résolution des couches aux paramètres de structure de support.

Les instructions sont simples et claires. Combinées à l'interface intuitive, nous avons réussi à obtenir notre premier objet imprimé en moins de trente minutes après le déballage.

Nous l'avons testée avec la résine claire fournie (un gris opaque est aussi disponible). Le logiciel offre trois résolutions différentes : 100, 50 et 25 μ . Sachez que les options fines augmentent nettement les temps d'impression. Nous avons donc opté pour la résolution la plus basse (100 μ) pour pouvoir tester autant d'impressions que possible.

Nous avons lancé des impressions de différentes tailles et durées. Certaines ont entièrement rempli le volume d'impression, d'autres ont duré plus de vingt heures. La Form 1 n'a jamais rencontré de problèmes. Les pièces étaient absolument superbes ; même avec une résolution basse, les couches étaient à peine visibles.

Les impressions collent vraiment au plateau et demandent une force considérable pour les retirer. Le processus de nettoyage nécessite donc un peu de travail. Avec les configurations par défaut, les structures de support étaient aussi un peu difficiles à enlever. C'est pourquoi une petite boîte à outils est fournie avec la machine.

Dans l'ensemble, Formlabs a créé une merveille moderne avec sa première imprimante 3D, proposant une expérience utilisateur extrêmement agréable et des impressions rapides de grande qualité.



Le matériel et le logiciel sont très claires et guident pas à pas. Vous aurez besoin de mettre à niveau le plateau d'impression pour la couche de silicone du bac de résine et de fixer le projecteur à la résolution souhaitée ; vous serez alors guidé par le logiciel de mise à jour du plateau et l'assistant de calibrage du projecteur. Il nous aura fallu environ quinze jours pour la calibrer à 50 μ , résolution la plus fine sur les axes x et y.



La B9Creator

<http://b9creator.com>

Par Eric Chu

Avec plus de 586 000 euros réunis lors de deux campagnes Kickstarter, Michael Joyce de l'entreprise B9 a créé une imprimante bien faite à base de résine, qui utilise des pièces en aluminium anodisé et un projecteur DLP à acheter en magasin. Offrant des capacités de détails impressionnantes, cette machine open source a été adoptée largement par les bijoutiers pour imprimer des bagues et des moulages à cire perdue.

L'installation de la B9Creator nécessite un calibrage manuel, mais les vidéos concer-

nant le matériel et le logiciel sont très claires et guident pas à pas. Vous aurez besoin de mettre à niveau le plateau d'impression pour la couche de silicone du bac de résine et de fixer le projecteur à la résolution souhaitée ; vous serez alors guidé par le logiciel de mise à jour du plateau et l'assistant de calibrage du projecteur. Il nous aura fallu environ quinze jours pour la calibrer à 50 μ , résolution la plus fine sur les axes x et y.

Le logiciel offre de nombreuses options d'impression. Vous pouvez attacher manuellement les structures de support n'importe où sur la pièce, ajuster les temps d'exposition des couches, et modifier les configurations du firmware pour assurer la compatibilité avec des projecteurs de différentes tailles. La zone d'impression sur les axes x et y varie en fonction de la résolution des couches que vous avez choisies : 5 \times 3,8 cm pour 50 μ , 7,6 \times 5,7 cm pour 75 μ ou 10 \times 7,6 cm pour 100 μ . L'absence de génération automatique du support est un inconvénient, surtout si vous imprimez des formes complexes ou en surplomb.

La B9Creator vient sans outils de finition, mais il existe cependant une liste de pièces à

acheter. Nous vous recommandons de vous procurer une boîte hermétique pour baigner vos impressions, comme celle qui vient avec la Form 1, de préférence assez large pour contenir tout le plateau.

Pendant le test, la couche a été réglée sur 50,8 μ . Globalement, les couches d'impression étaient plutôt visibles sur les zones courbes, mais les côtés plats, aussi bien verticaux qu'horizontaux, avaient une apparence complètement lisse. Les détails de la pièce testée étaient très nets, avec seulement des petits pas sur les surfaces effilées – mais le résultat était toujours bien meilleur qu'avec une machine FDM. Pour tester davantage les détails fins, nous avons imprimé une série de pièces à une échelle 0,35 ; à cette taille, les détails étaient très fins, mais toujours visibles.

La B9Creator a ainsi produit les impressions les plus fines de toutes les imprimantes testées. Le logiciel est fluide et réactif, avec des options puissantes de configuration. Si vous avez besoin d'impression d'un niveau professionnel et que vous voulez passer du temps à calibrer et expérimenter, cette machine sera parfaite !



PARTIE II

Les logiciels

Les logiciels d'impression 3D



Une vue d'ensemble des logiciels indispensables de modélisation, découpe et client d'impression.

PAR **MATT METS ET MATT GRIFFIN**

Vous avez une nouvelle imprimante 3D et une brillante idée pour votre premier design original, et maintenant ?

Créer et imprimer son propre modèle 3D nécessite trois types de logiciels :

- pour la modélisation 3D, afin de réaliser la forme de votre design. Pour prototyper des objets physiques, on utilise généralement les logiciels dits de conception assistée par ordinateur (CAO) ;
- pour la conception et fabrication assistées par ordinateur. Ce sont des logiciels de découpe, qui convertissent votre modèle en une série d'instructions mécaniques spécifiques pour le robot d'impression ;
- pour le contrôle d'impression, ou « client d'impression ». Ces logiciels envoient des instructions à l'imprimante 3D et met à disposition une interface en temps réel pour contrôler les options et les configurations de la machine.

Les logiciels de modélisation (CAO)

Bien choisir le logiciel de modélisation est le plus important. Sachez qu'il en existe beau-

coup, qu'on classe en quatre catégories principales : les modeleurs surfaciques, volumiques, paramétriques et polygonaux. Même si chacun vous aidera à transformer votre idée en une réalité, certains sont plus pratiques que d'autres selon ce que vous souhaitez concevoir, par exemple une pièce mécanique ou une figurine.

Les modeleurs surfaciques

Pour définir des formes 3D complexes, ces logiciels se servent principalement de la méthode appelée géométrie de construction de solides (*Constructive Solid Geometry* ou CSG), ou de techniques similaires. Parmi les programmes gratuits, on retrouve SketchUp, Autodesk 123D et Tinkercad. Ce dernier fonctionne entièrement dans votre navigateur web (voir figure 3-1 ; vous trouverez par ailleurs un tutoriel au chapitre 4).

Des formes simples dites primitives (boîtes, cylindres, pyramides) sont ainsi manipulées pour en créer d'autres plus complexes, utilisant souvent des opérations booléennes. Par exemple, une boîte creuse peut être modélisée en dessinant deux cubes s'imbriquant – l'un est légèrement plus petit que l'autre – et en soustrayant le plus petit du plus grand.

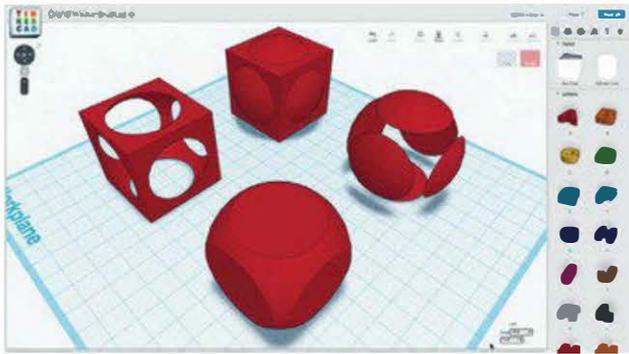


Figure 3-1. Opérations booléennes basiques dans Tinkercad. Du plus loin au plus proche : union des formes, deux transformations possibles, et croisement d'un cube concentrique et d'une sphère

Enfin, ces logiciels présentent trois grands avantages. Tout d'abord, ce procédé de design tend à être le plus intuitif. Très souvent, il est d'ailleurs la meilleure façon de débiter. Ensuite, l'interface facilite généralement les mesures entre les objets, ce qui peut être pratique pour la création de pièces mécaniques. Enfin, ils gèrent automatiquement la plupart des problèmes de continuité du maillage (à savoir, son « étanchéité ») pour l'utilisateur, malgré le très grand nombre d'opérations qui peuvent intervenir dans la création d'une forme complexe.

Les modeleurs volumiques

Les logiciels de modélisation volumique, comme ZBrush, Sculptris et Mudbox, présentent une interface plus libre de formes pour découper, étirer, tordre et compresser la surface d'un blob (à savoir un petit amas/tas) dans la forme voulue. Ils sont ainsi bien adaptés à la création de surfaces organiques, par exemple des visages ou des illustrations, mais ils le sont un peu moins si on souhaite réaliser des pièces précises ou des surfaces planes.

Sculptris, le petit frère de ZBrush (qui est plus cher), est un bon outil pour débiter.



Figure 3-2. Sculptris par Pixologic permet de sculpter des modèles 3D tels que des boules d'argile. Les outils se nomment plier, gonfler, adoucir, pincer et aplatisir.

Notez que plusieurs logiciels de modélisation polygonale, comme Blender, Modo et Maya, commencent aussi à offrir par défaut des outils de sculpture.

Les modeleurs paramétriques

Les logiciels de modélisation paramétrique tels qu'OpenSCAD sont assez uniques. Plutôt que de dessiner des formes grâce à une souris, les objets sont modélisés via des programmes simples qui décrivent comment les différentes formes se combinent entre elles. Vu que chaque dimension peut être indiquée précisément, ce type d'outil est parfaitement adapté pour créer rapidement des objets, des pièces techniques comme des boîtiers, des roues ou tout autre objet mécanique.

On s'en sert par ailleurs pour réaliser des œuvres d'art génératives. Par exemple, ModelBuilder de Marius Watz et l'outil d'édition Grasshopper pour Rhino sont conçus pour générer des formes inattendues, abstraites, en combinant d'autres objets ou des données, voire des mathématiques. Des designers comme Nervous System les emploient pour produire des formes organiques complexes

qui seraient presque impossibles à modéliser manuellement (voir ci-dessous).



Figure 3-3. Bracelet Convolution de Nervous System, en acier inoxydable, basé sur des formes empruntées à un réseau cellulaire

Les modeleurs polygonaux

Ils représentent des objets composés de milliers de petits triangles arrangés ensemble dans un maillage qui définit les surfaces du modèle. Parmi les logiciels de modélisation polygonale les plus courants figurent Blender, 3ds Max, Maya et Modo.

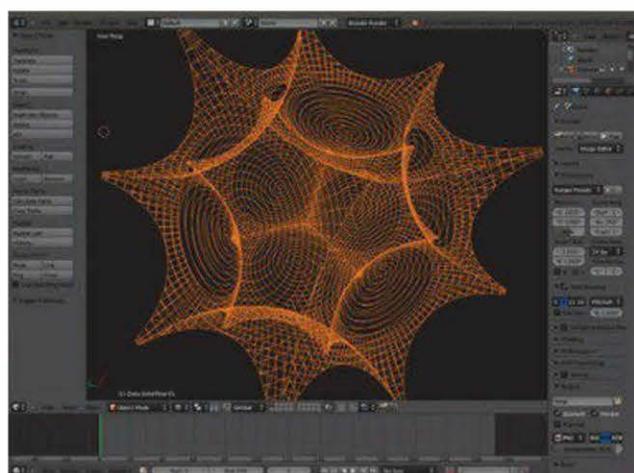


Figure 3-4. Blender est gratuit et open source. Très puissant, il est par ailleurs complexe à maîtriser.

Très bien adaptés pour le graphisme 3D et l'animation, ils requièrent quelques précautions. En effet, il convient de bien vérifier que les maillages sont étanches (pas exemple, sans polygones manquants ou sommets disjoints). Si ce n'est pas le cas, le logiciel de découpe pourrait ne pas différencier une partie intérieure d'une autre extérieure et refuser de traiter entièrement le modèle, ou bien produire du G-code contenant de sérieuses erreurs.

Certes, ces logiciels autorisent un très grand contrôle, mais sachez qu'ils sont aussi souvent difficiles à maîtriser. Bien modéliser un maillage implique de connaître un certain nombre de principes contre-intuitifs, par exemple travailler avec des « quadruples » (plutôt que des triangles ou « n-gones »), de développer des « edge-flow » pour manipuler rapidement des modèles avec des opérations telles que le edge-cutting (la découpe des angles) et le loop-cutting (la découpe de boucles), ou d'employer des outils de sous-divisions pour adoucir automatiquement des surfaces déchiquetées et en faire des formes organiques complexes.

Heureusement, des tutoriels complets sont disponibles en ligne pour la plupart des principaux logiciels. Un conseil : visionnez avant de vous lancer quelques vidéos montrant les bonnes pratiques pour vous épargner beaucoup de problèmes pendant votre apprentissage.

Réparer les erreurs

Votre logiciel de CAO génère un modèle 3D dans plusieurs formats, généralement du STL. Selon le modeleur utilisé et sa complexité, ce fichier STL peut contenir des erreurs, comme des trous ou des normales inversées, qui auront besoin d'être modifiées avant que le modèle s'imprime correctement.

Les logiciels de CFAO (voir section suivante) peuvent repérer ces erreurs automatiquement. Certains, tels que Slic3r, intègrent même des routines de réparation qui tenteront de corriger automatiquement les erreurs simples. Cependant, ne vous reposez pas toujours sur eux pour produire les bons tracés.

Les modèles peuvent aussi être réparés manuellement grâce à un modéleur polygonal. Il existe par ailleurs l'option MeshLab, un outil open source avancé de gestion et d'édition des STL. Très puissant, il peut néanmoins intimider les plus débutants.

Par la suite, une fois que vous serez plus expérimenté en impression 3D, vous pourrez envisager d'investir dans un outil professionnel d'analyse et de réparation des STL, comme netfabb Studio. Sa suite Basic fonctionne parfaitement pour résoudre des problèmes d'étanchéité de façon rapide et effective. Et sa version professionnelle permet de viser des éléments spécifiques du modèle pour manipuler, supprimer et remailler, et propose aussi des opérations booléennes stables pour le découper en plusieurs pièces. Elle offre également des utilitaires de découpe pré-intégrés et des drivers pour contrôler directement certaines imprimantes, remplaçant dans certains cas entièrement la chaîne CFAO/client d'impression.

Les logiciels de découpe (CFAO)

Une fois que vous avez obtenu un modèle 3D étanche et sans erreurs, il doit être converti en un ensemble d'instructions spécifiques qui indiquent à l'imprimante où et comment bouger la tête d'impression, et si oui ou non elle doit extruder le plastique pendant le trajet. Ce procédé de découpe est appelé *slicing*, parfois *skeining*. Le format standard

de ces instructions est un langage simple de programmation, le G-code.

Historiquement, la plupart des imprimantes utilisaient le logiciel open source Skeinforge pour préparer le G-code à partir des fichiers de modèles. Dernièrement, des logiciels alternatifs de découpe ont commencé à apparaître, comme Slic3r (pour en savoir plus, rendez-vous au chapitre 5) qui a doucement dépassé Skeinforge.

Un utilitaire propriétaire assez récent, KISSlicer (disponible en versions gratuite et pro), se vante de caractéristiques uniques telles que le remplissage clairsemé adaptatif (par exemple, mettre plus de matière près des bords du modèle et moins au centre) et la compatibilité multiextrudeur (différents matériaux pour des modèles séparés, réglage de la structure et du remplissage).

Bien que la plupart des logiciels de découpe puissent tourner de façon autonome, ils sont souvent fournis avec des clients d'impression, comme ReplicatorG (voir figure 3-5) et Pronterface. Ainsi, l'interface qui contrôle l'imprimante permet aussi de charger et de découper directement les modèles 3D.

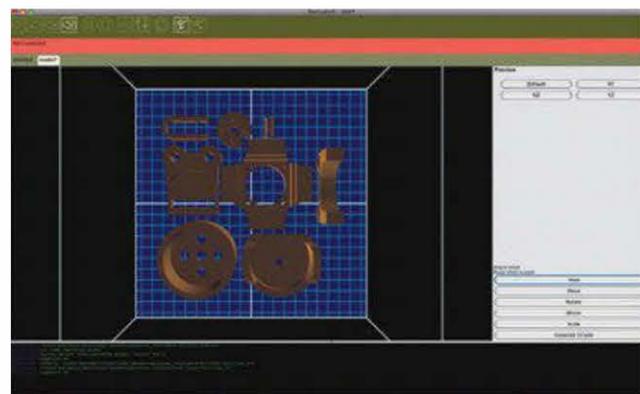


Figure 3-5. Disposition d'un plateau d'impression dans ReplicatorG. Toutes ces pièces seront imprimées simultanément.

Vu que l'impression 3D procède couche par couche, sachez que le G-code qui imprime un seul exemplaire d'un modèle est très différent de celui qui génère, par exemple, quatre copies côte à côte. Pour réaliser plusieurs pièces, une des solutions consiste à simplement disposer les couches d'impression dans votre logiciel de modélisation 3D. Sinon, faites-le lors de l'étape de découpe ; cette option est souvent considérée comme plus pratique. Sachez que de nombreux logiciels de découpe ainsi que les environnements intégrés d'impression (par exemple, ReplicatorG) offrent désormais des outils pour facilement changer d'échelle, repositionner et dupliquer les modèles CAO avant la découpe. Par ailleurs, ils incluent généralement un environnement virtuel qui présente comment tout tiendra dans la chambre d'impression.

Les logiciels de découpe mettent à disposition une interface pour ajuster un certain nombre de variables liées à la vitesse d'impression et à la qualité, comme la hauteur de couche, la vitesse maximale de la tête d'impression, la densité du remplissage, et le nombre de « coquilles » (*shells*) autour du remplissage (*infill*) à chaque couche. Ils offrent en outre la possibilité d'imprimer des structures de support ou « radeaux ». Ils proposent également souvent des profils par défaut pour démarrer, et la plupart fonctionnent parfaitement dès le début.

Au moment de vous familiariser avec les configurations de découpe, je vous conseille de prendre l'habitude d'utiliser l'outil d'affichage de G-code pour avoir un aperçu de l'impression. Les commandes G-code sont présentées comme une série de lignes qui figurent les passages de la tête d'impression. Visualiser chaque couche vous aidera sûrement à comprendre comment le logiciel de découpe gère la géométrie de l'objet original, en révélant aussi les erreurs sans utiliser de

matériau. Par ailleurs, afin d'estimer l'effet des ajustements des différentes configurations de découpe, vous pouvez sauvegarder une série de « brouillons » de G-code d'une même figure avant de lancer l'impression. Avec une imprimante ReplicatorG, utilisez Pleasant 3D (pour Mac, voir ci-dessous) ou l'outil d'affichage de G-Code pour Blender (multimachine). Par défaut, Pronterface et Repetier-Host possèdent des utilitaires de visualisation de G-code.

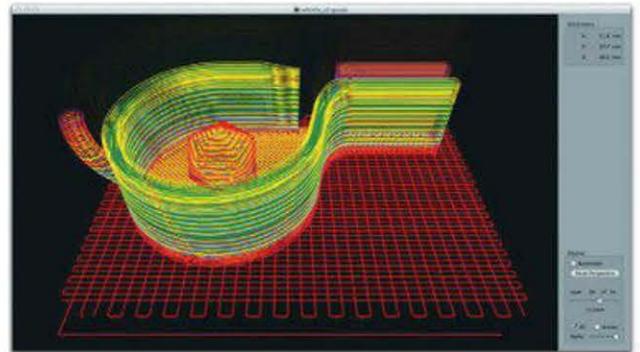


Figure 3-6. L'interface de Pleasant3D permet de naviguer à travers les chemins d'impression, couche par couche.

Les logiciels client d'impression

Il s'agit essentiellement d'un panneau de contrôle en temps réel de l'imprimante, qui fournit une interface logicielle à partir de laquelle vous pourrez démarrer, stopper ou interrompre le processus d'impression à votre guise, ou bien régler la température de la tête d'extrusion et du lit chauffant (s'il y en a un).

Habituellement, le client d'impression propose également un ensemble de boutons directionnels afin de bouger progressivement la tête d'impression, et ce, dans toutes les directions ; cela s'avère utile pour mettre à niveau le lit, calibrer la machine et retourner manuellement au point zéro.

Historiquement, de nombreuses machines étaient contrôlées par ReplicatorG. Mais, depuis peu, plusieurs alternatives ont vu le jour, accompagnées d'innovations impressionnantes. Actuellement, ce sont Printron (intégrant Pronterface) et Repetier-Host qui sont les plus développés et utilisés. Quant à Ultimaker, elle a développé le logiciel open source Cura, riche en options et facile d'emploi. Par ailleurs, certaines imprimantes propriétaires, comme la UP! de PP3DP ou la MakerBot, sont envoyées avec un logiciel client customisé, qui inclut un ensemble similaire d'options.

Dans les faits, la fonction essentielle de ce type de logiciel est d'envoyer les instructions de déplacement à l'imprimante via Wi-Fi ou câble USB. Quand une imprimante fonctionne en mode « autonome » (elles sont nombreuses dans ce cas !), c'est-à-dire qu'elle ne requiert pas une connexion à un ordinateur, le logiciel client n'est pas nécessaire. En effet, l'imprimante lit et suit automatiquement les instructions CFAO à partir d'une carte SD ou d'une clé USB, insérée directement dans la machine.

Une machine autonome s'avère utile dans le cadre d'impressions longues pendant

lesquelles vous auriez besoin de votre ordinateur pour effectuer une autre tâche, ou si vous possédez plus d'imprimantes que d'ordinateurs pour les contrôler !

Pour un point complet sur l'ensemble des logiciels de contrôle et de découpe, référez-vous aux pages 215 et 216.

Et maintenant ?

Le processus créatif suit un cercle vertueux, chaque nouvelle impression faisant naître en vous de nouvelles idées et des améliorations.

Maintenant que vous avez saisi les bases du *workflow* de l'impression 3D, vous êtes fin prêt pour tout fabriquer ! Mais souvenez-vous que le design et l'impression 3D sont un processus itératif et que les résultats sont rarement parfaits dès la première fois.

Si vous n'êtes pas à l'aise avec les outils que vous avez essayés, n'hésitez pas à en tester d'autres. À vous d'expérimenter, modifier, observer et répéter ! Apprenez de vos erreurs et, surtout, amusez-vous !

Premiers pas en modélisation 3D

4

Utiliser Tinkercad pour designer en quelques minutes un embout pour crayon de papier en forme de tête de robot.

PAR **BLAKE MALOOF**

L'impression 3D offre des applications passionnantes, de l'art au design produit, en passant par la création de vos propres pièces de remplacement. Toutefois, lorsqu'on est débutant, logiciel de modélisation et imprimante 3D s'avèrent parfois intimidants. Comme on l'a déjà dit, n'oubliez pas que la courbe d'apprentissage est raide, du concept au modèle 3D jusqu'à l'objet imprimé. Mais, oui, vous pouvez créer un simple design depuis votre bureau, le faire imprimer sur une imprimante 3D haute définition et le recevoir directement dans votre boîte aux lettres !

On l'a évoqué dans le chapitre précédent, Tinkercad est une application de modélisation CAO directement accessible depuis le navigateur web, permettant de créer rapidement un design avec très peu, voire pas du tout d'expérience en conception 3D.

Pour commencer et vous prouver qu'il est facile de réaliser quelque chose d'amusant et d'unique, je vais vous guider tout au long de la création d'un embout de crayon de papier en forme de tête de robot. Vous n'aurez besoin que d'un ordinateur et d'une connexion Internet.

Comprendre l'espace positif et négatif

Pour utiliser pleinement Tinkercad, vous devez comprendre les concepts d'espace positif et négatif. Par exemple, vous pouvez positionner une boîte, à savoir un solide de forme positive, et un trou, de forme négative. Ce dernier enlève toute matière solide à l'intérieur de sa forme.

Attention, ce point est très important lorsque vous envoyez votre design à l'impression. En effet, son coût dépend de son volume solide. Il vous faut donc rendre l'objet aussi creux que possible.

Étape 1. Créer un compte Tinkercad

Commencez par ouvrir un compte Tinkercad (<http://tinkercad.com>) via le bouton Sign up for free account.

Puis cliquez sur Design a New Thing. Tinkercad nomme alors votre nouveau modèle ; pour

changer son nom, cliquez sur l'icône en forme de roue dentée.

Étape 2. Creuser un trou

Pour réaliser le trou dans lequel le crayon s'insérera, mesurez la largeur et la hauteur de la gomme. Dans notre exemple, elle est d'environ 8 mm à son point le plus large.

Ensuite, dans Tinkercad, cliquez et tirez un cylindre sur le plan de travail (à savoir, la grille bleue). Mettez-le à une échelle de 10 mm de diamètre. Il y aura ainsi un espace libre d'1 mm tout autour du crayon.

Pour dimensionner un objet dans ce logiciel, cliquez dessus pour le sélectionner, puis sur un des petits rectangles blancs situés tout autour – ce sont les poignées – et étirez. Pour changer la dimension d'une forme de façon uniforme et dans toutes les directions, vous devez maintenir la touche Maj enfoncée pendant que vous étirez.

Vu que la hauteur de la gomme est d'environ 20 mm, il faut agrandir le cylindre d'autant via la poignée supérieure. Attention, nul besoin ici d'enfoncer la touche Maj, car on désire seulement étirer la hauteur, et non le diamètre.

Avec le cylindre sélectionné, cliquez sur l'icône Hole (à côté de Color en haut à droite de la fenêtre de travail) pour le transformer en espace négatif (indiqué par des rayures grises).

En cas d'erreur, il sera toujours possible de revenir en arrière via l'icône Undo ou le raccourci clavier Ctrl+Z (Cmd+Z avec un Mac). Par ailleurs, il peut être utile de visualiser son design sous un autre angle. Pour ce faire, cliquez sur les flèches, en haut à gauche de la fenêtre. Les + et - servent à zoomer et dézoomer.

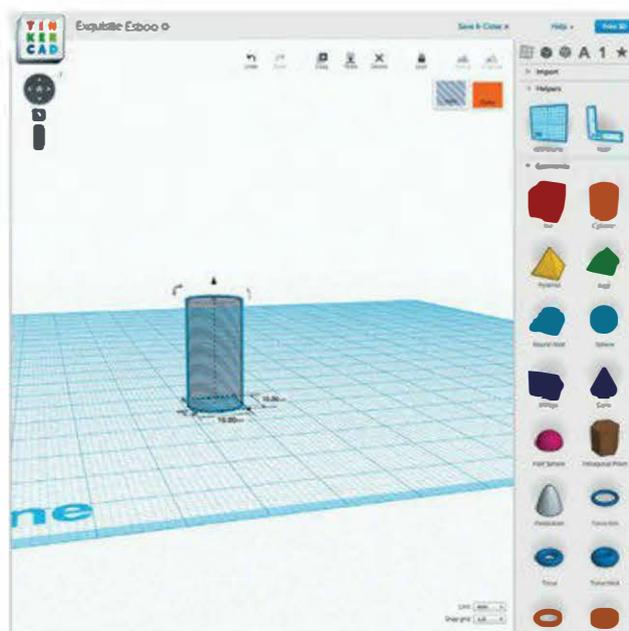


Figure 4-1. Voici un objet avec un espace négatif

Étape 3. Former la tête du robot

Créez ensuite une boîte pour réaliser la tête du robot.

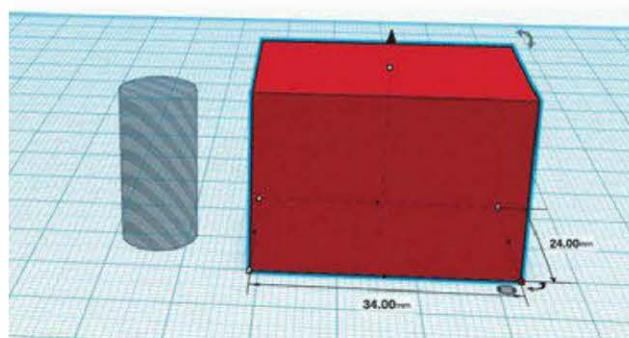


Figure 4-2. Il faut créer une boîte pour réaliser la tête du robot.

Du moment que la largeur et la longueur dépassent celles du cylindre négatif d'au moins 1 ou 2 mm de chaque côté, elle peut être de n'importe quelle taille. Voici les dimensions de la boîte dans notre exemple : 34 × 24 × 24 mm (L × l × h). Elle est positionnée le long du trou.

Étape 4. Aligner la tête et le trou

Pour être sûr que le trou soit au centre de la boîte, utilisez l'outil d'alignement, très pratique.

Tout d'abord, sélectionnez simultanément chaque objet (la boîte et le trou cylindrique) via le raccourci clavier Maj+clic gauche. Ou vous pouvez cliquer puis déplacer votre curseur pour créer une boîte de sélection autour d'eux. Sinon, sélectionnez l'ensemble via Ctrl+A (Cmd+A sous Mac).

Cherchez ensuite le petit cercle gris avec trois lignes blanches, près de votre sélection. Cliquez dessus et choisissez Align. Tinkercad surligne alors les objets et les points d'alignement.

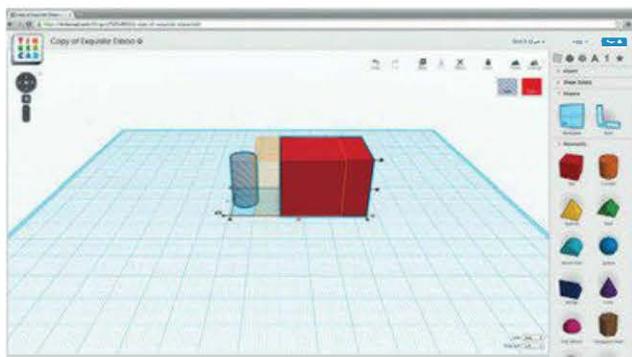


Figure 4-3. Trou et tête doivent être alignés.

Cliquez sur les deux points au milieu de la partie horizontale pour positionner le trou au centre de la boîte. Attention, ne centrez pas le trou sur l'axe vertical car, sinon, il sera enfermé à l'intérieur de la boîte, impossible alors d'insérer le crayon.

Étape 5. Fusionner la tête et le trou en un seul objet

Sélectionnez les deux pièces et combinez-les en cliquant sur l'icône Group.

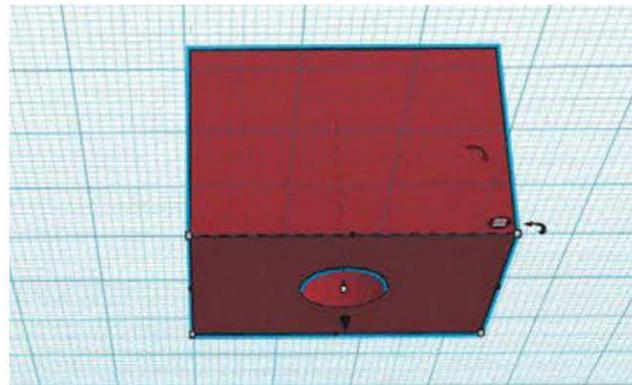


Figure 4-4. Les deux objets ne forment plus qu'un.

Étape 6. Creuser la tête

Maintenant, créez une boîte creuse à placer à l'intérieur de la tête du robot. Sa taille doit être 4 mm plus petite que la tête, en longueur comme en largeur. La tête possédera ainsi des murs de 2 mm d'épaisseur.

Attention, l'intérieur ne doit pas être complètement creux puisqu'on a besoin de matière à la base pour maintenir en place le crayon.

Créez une boîte creuse de 10 mm plus courte que la tête afin de laisser environ 10 mm de matière à la base. Dans cet exemple, le trou intérieur mesure $30 \times 20 \times 14$ mm.

Alignez ensuite la boîte creuse au sommet de la tête du robot, via l'outil Align, en cliquant sur le point le plus haut verticalement.

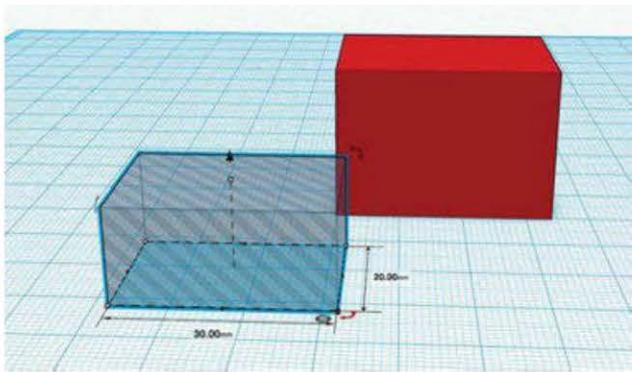


Figure 4-5. Pour réaliser un trou intérieur, une boîte creuse est nécessaire.

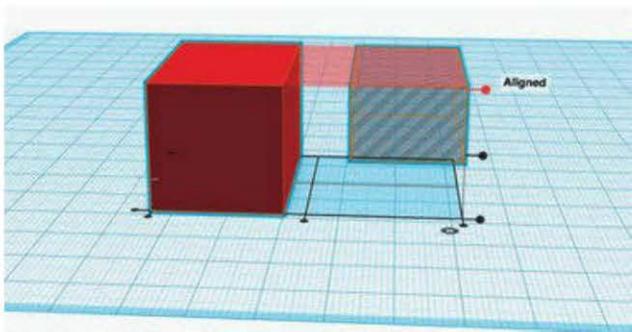


Figure 4-6. Le point le plus haut doit être sélectionné.

Maintenant, sélectionnez seulement la boîte creuse et utilisez les flèches des poignées pour la déplacer de 2 mm vers le bas.

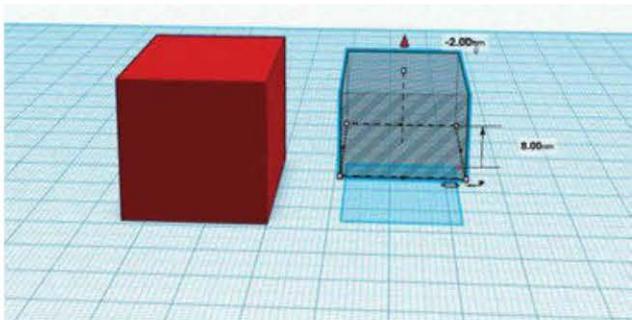


Figure 4-7. Abaissez la boîte creuse via ses poignées.

Sélectionnez une nouvelle fois la boîte creuse et la boîte de la tête. Alignez-les sur le plan horizontal. Ne cliquez pas sur les boutons

d'alignement verticaux, sinon la boîte creuse se déplacera sur ou sous celle de la tête.

Sélectionnez toutes les pièces et combinez-les en un seul objet en cliquant sur l'icône Group. Vous obtenez ainsi une jolie bordure de 2 mm au sommet et sur les côtés de la boîte creuse de la tête du robot.

Par défaut, le plan de travail possède une grille magnétique de 1 mm. Ainsi, quand vous ajustez l'espace entre deux objets, les flèches permettent de déplacer la forme sélectionnée par pas de 1 mm.

Notez qu'une forme sélectionnée projette une ombre sur la grille bleue du plan de travail. Servez-vous-en pour vous aider à bien caler les pièces à l'endroit désiré.

Étape 7. Créer la bouche du robot

Commencez par réaliser la bouche du robot grâce à une boîte plus petite que sa tête.

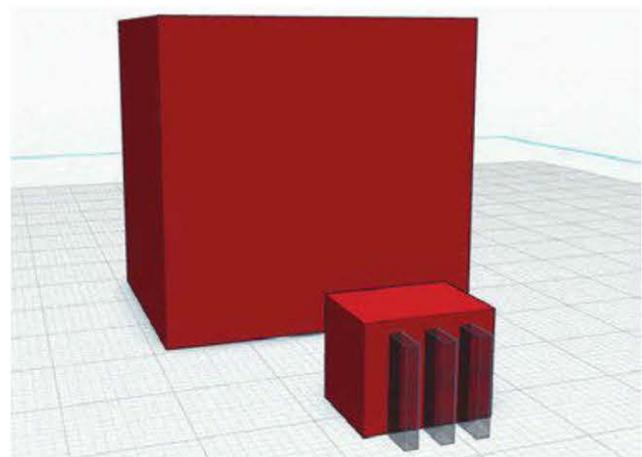


Figure 4-8. La bouche est constituée de stries.

Pour former les stries en forme d'enceintes, il faut une série de boîtes encore plus petites. Pour cela, il suffit d'en créer une, puis de la copier en cliquant sur Copy ou en effectuant un copier-collé via le raccourci clavier `Ctrl+V`. Sinon, cliquez sur la boîte originale et, tout en maintenant la touche Alt/Option enfoncée, tirez une copie à partir d'elle. Espacez-les de façon uniforme et glissez-les dans la boîte de la bouche.

Sélectionnez seulement les boîtes creuses et la boîte de la bouche. Cliquez ensuite sur Group afin d'appliquer les objets creux à la boîte. Cela supprime les espaces négatifs en les transformant en trous.

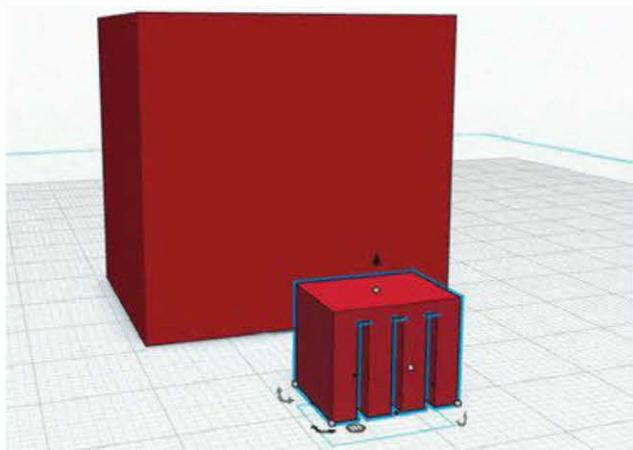


Figure 4-9. Les stries de la bouche sont creusées.

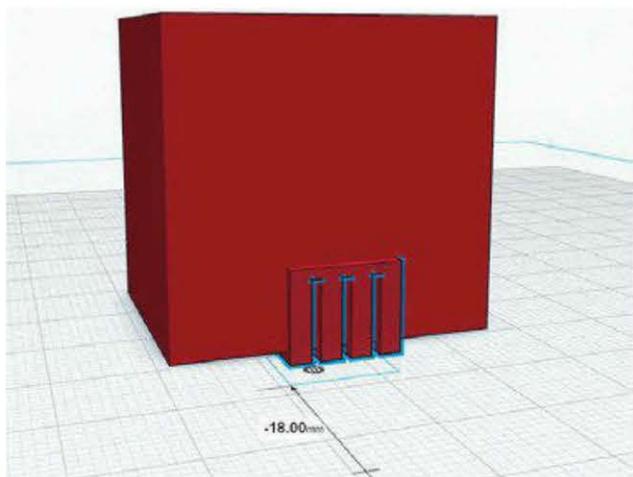
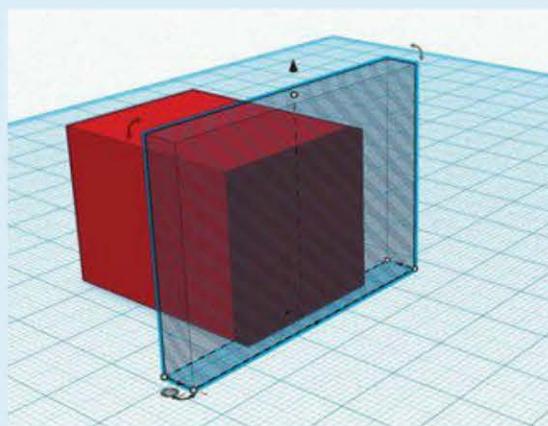


Figure 4-10. La tête et la bouche sont groupées.

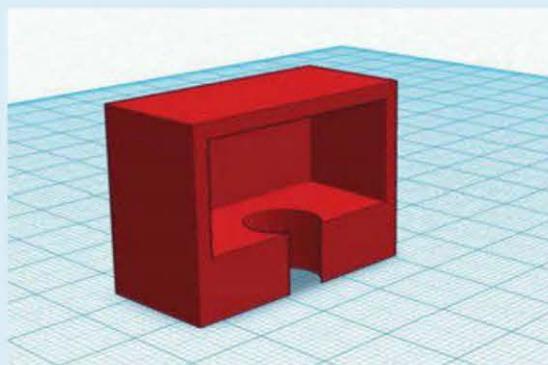
Vision X-Ray

Comment vérifier que le trou de la boîte est correctement positionné dans la tête ? Un petit *hack* existe qui vous donnera une vision claire de l'intérieur de votre travail.

1. Créez une boîte sur le plan de travail, puis creusez-la.
2. Changez sa dimension jusqu'à ce que la boîte soit plus large qu'un côté de votre design
3. Déplacez la boîte creuse jusqu'à ce qu'elle touche votre design.



4. Sélectionnez tous les objets, puis cliquez sur Group. Vous avez ainsi une vue intérieure de votre boîte !



5. Enfin, retournez là où vous en étiez en cliquant sur Undo.

Placez la bouche de façon à ce qu'elle dépasse à l'avant et à la base de la boîte de la tête. Attention, ne la poussez pas trop profondément, car elle risquerait de rencontrer le trou percé pour le crayon. Groupez la tête et la bouche.

Étape 8. Former les yeux du robot

Tirez deux cylindres sur le plan de travail et creusez-les. Élevez les cylindres au-dessus de la grille du plan de travail afin de les placer au-dessus de la bouche du robot. Pour ce faire, utilisez la flèche noire des poignées au-dessus du cylindre.

Pour ajouter de la personnalité, vous pouvez décider que les deux cylindres seront de taille différente. Surtout, vérifiez qu'ils s'entrecoupent avec la tête de 1 mm.

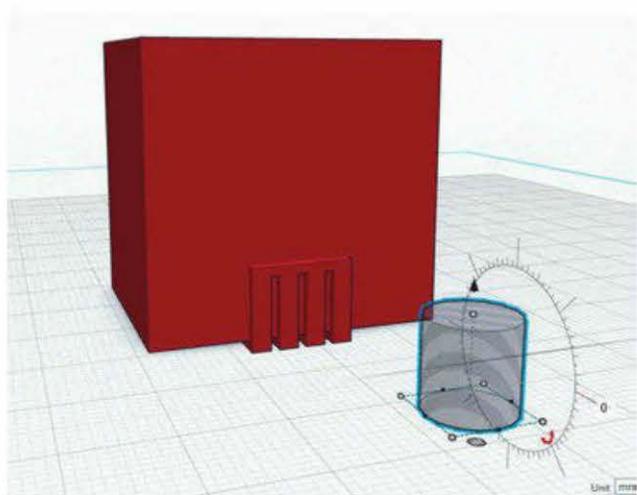


Figure 4-11. Un cylindre est tiré pour chacun des yeux.

Des flèches courbes apparaissent alors près de chaque cylindre. Tirez-les pour les pivoter dans la bonne direction.

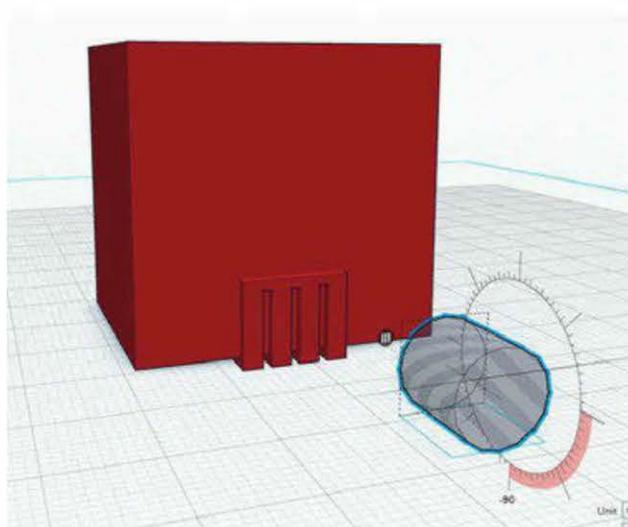


Figure 4-12. Chaque cylindre doit être placé dans le bon sens.

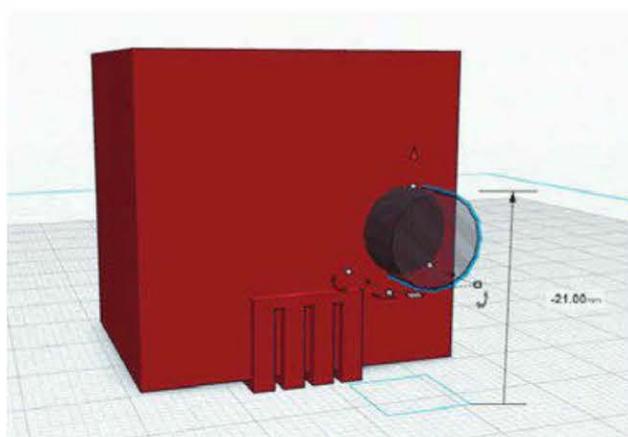


Figure 4-13. Les cylindres et la tête doivent s'entrecouper de 1 mm.

Sélectionnez les cylindres et la tête, puis groupez-les.

C'est terminé ! Votre modèle est prêt à être imprimé. Appuyez simplement sur le bouton d'impression et sélectionnez le service de votre choix.

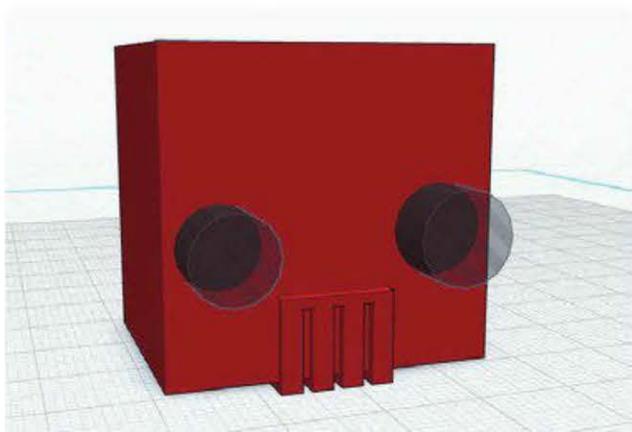


Figure 4-14. Il faut grouper les cylindres.

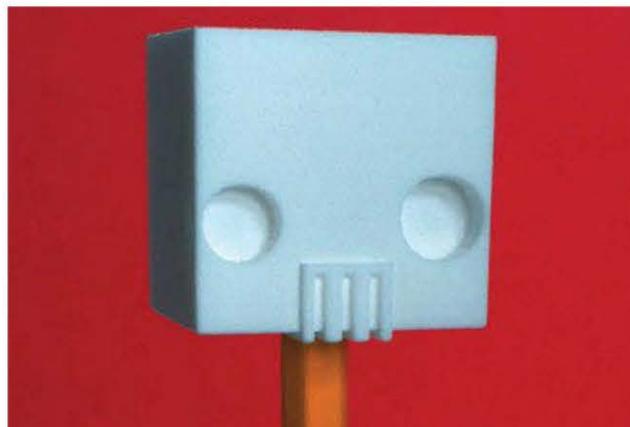
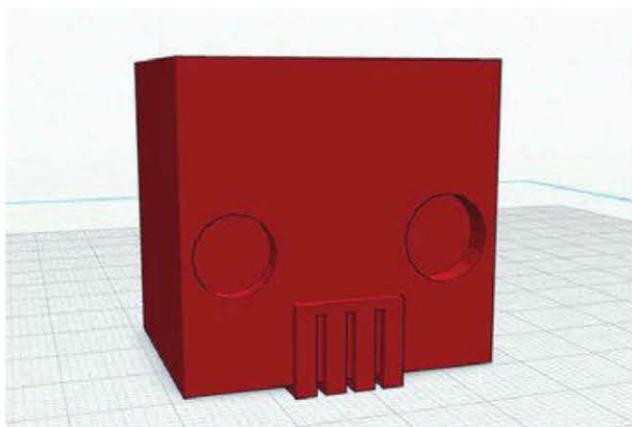


Figure 4-15. À gauche, le modèle 3D finalisé ; à droite, l'objet une fois imprimé

Pour visualiser le modèle 3D, rendez-vous sur <http://makezine.com/go/topperbot>.

Débuter avec Slic3r

5

Slic3r est un programme gratuit qui prépare les fichiers STL pour l'impression.

PAR **ERIC WEINHOFFER**

Sauf mention contraire, toutes les photos et impressions sont de John Abella.

Une fois que le fichier 3D est prêt, il faut le découper en tranches afin de créer un fichier G-code qui sera envoyé à l'imprimante. Pour cela, il existe de nombreux logiciels, notamment : Slic3r, KISSlicer, CuraEngine, MakerBot Slicer et Skeinforge (pour en savoir plus sur chacun, voir page 216). Certains intègrent un logiciel de contrôle d'impression et d'autres, comme Slic3r et KISSlicer, peuvent être indépendants de celui-ci.

Aujourd'hui, Slic3r est devenu très populaire, car il est open source, multi-plate-forme, gratuit, assez rapide et customisable.

Dans ce chapitre, je vous présente comment chaque configuration affecte l'imprimante 3D, et la manière de les ajuster correctement afin d'optimiser votre machine pour qu'elle réponde à vos besoins. Même si je n'ai pas testé toutes les configurations possibles (il faut dire qu'il en existe beaucoup), je vais faire de mon mieux pour décrire leurs actions.

Je vous recommande vivement la lecture du très bon guide de RichRap *Slic3r is Nicer* (<http://richrap.blogspot.com/2012/01/slic3r-is-nicer-part-1-settings-and.html>). Richement illustré et expliqué, ce tutoriel date malheureusement de plus d'un an, et ne prend pas en compte beaucoup d'options ajoutées depuis. Mais il aborde le calibrage de l'extrudeur, option très utile qui ne sera pas traitée dans ce chapitre.

Normalement, le fabricant de votre imprimante 3D fournit les configurations de découpe par défaut. Ce peut être sous la forme d'une liste de chiffres à entrer manuellement dans Slic3r ou, avec un peu de chance, d'un fichier d'export .ini que vous pourrez importer. Si tel est le cas, je vous conseille de l'utiliser pour commencer afin de modifier les configurations à partir de lui – un profil dans Slic3r peut être importé dans File>Import Config.

Dans ce chapitre, je vais vous donner les bonnes configurations pour débiter. Malgré tout, sachez qu'il n'existe pas de formule magique qui fonctionnerait pour toutes les machines. C'est donc à vous d'expérimenter afin d'optimiser au mieux vos impressions.

Commencez par télécharger, gratuitement, Slic3r à partir du site <http://slic3r.org>. Lorsque c'est fait, ouvrez-le. Et c'est parti !

Étape 1. Nommer son profil

L'application se divise en quatre onglets : Plater (à savoir le plateau d'impression ; c'est généralement le dernier endroit où aller avant la découpe), Print Settings (les réglages de l'impression), Filament Settings (les réglages du filament) et Printer Settings (les réglages de l'imprimante).

Une des bonnes choses avec Slic3r, c'est qu'il est facile de créer puis de réutiliser un groupe de profils différents (voir figure 5-1).

Lorsque vous modifiez n'importe quelle configuration, cliquez sur l'icône de sauvegarde. Une boîte de dialogue s'affiche alors à partir de laquelle vous pouvez renommer le profil (voir figure 5-2).

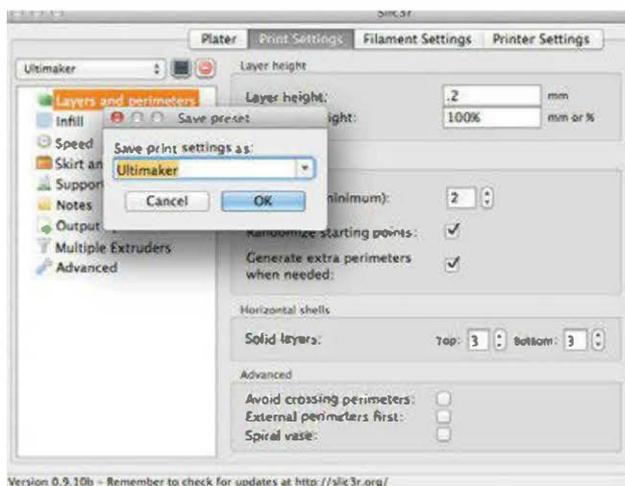


Figure 5-2. Sauvegarder un profil

Étape 2. Configurer l'impression

Dans l'onglet Print Settings, le premier paramètre est Layers and perimeters. Le réglage Layer height représente la hauteur de couche (voir figure 5-3), à savoir la distance parcourue

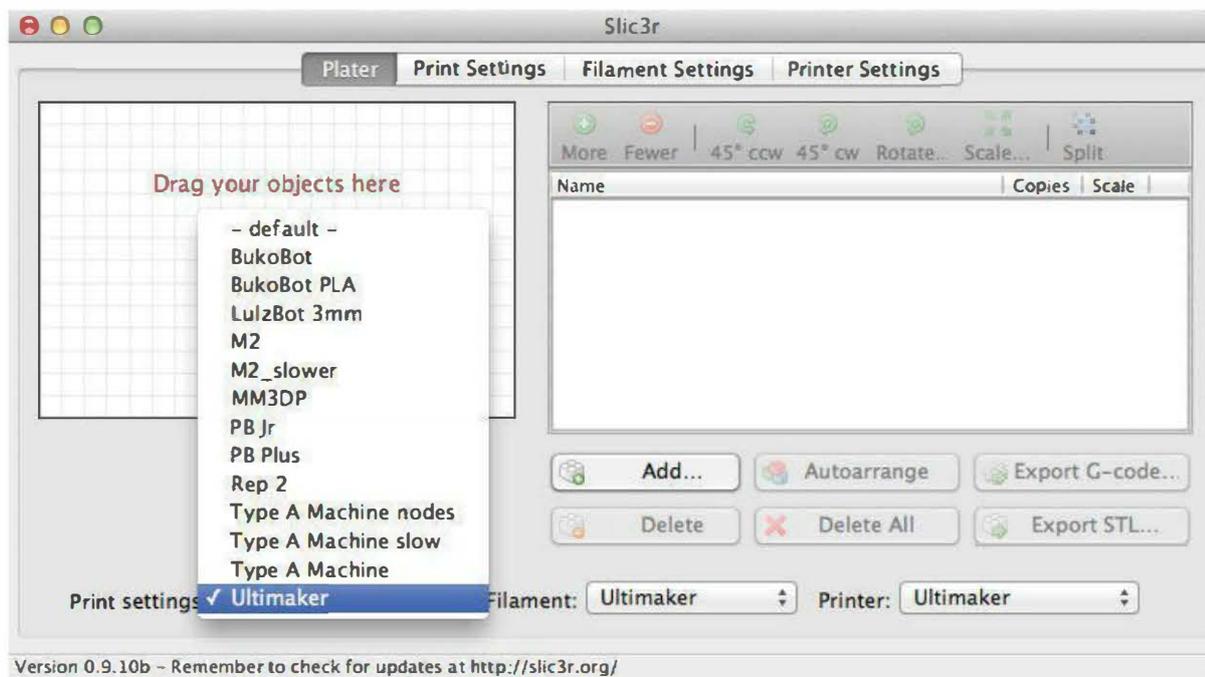


Figure 5-1. Choisir un profil sauvegardé

par l'axe z (ou l'extrudeur) entre chaque couche. Une petite hauteur génère une pièce plus douce et d'un meilleur aspect, mais celle-ci mettra aussi plus de temps à s'imprimer. Pour commencer, je vous conseille un chiffre compris entre 0,2 et 0,3 mm.

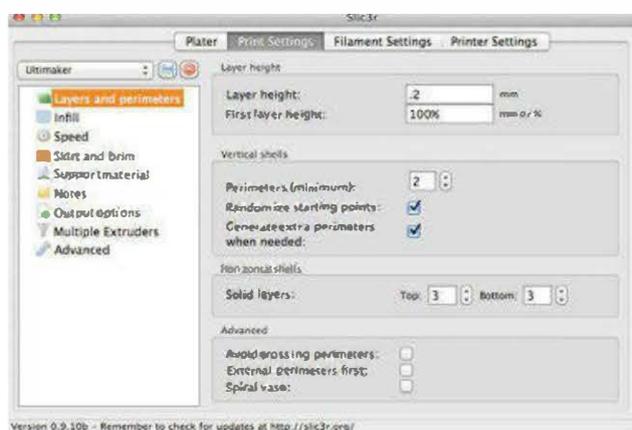


Figure 5-3. Options de hauteur de couche

À l'heure actuelle, de nombreuses machines sur le marché permettent d'obtenir facilement une hauteur de couche de 100 μ (0,1 mm).

Une impression avec une hauteur de couche de 0,1 mm présente deux fois plus de couches qu'une impression à 0,2 mm. Par conséquent, son temps de découpe et d'impression est doublé.

Le réglage First layer height définit la hauteur de la première couche imprimée, en millimètres (mm) ou en pourcentage (%) – une hauteur de 200 % est deux fois plus grande que la hauteur de couche standard. Choisir une première couche plus épaisse assure une base solide, qui pourra recevoir toutes les couches à venir.

Les périmètres et couches solides

Les périmètres (aussi appelés enveloppes) sont très importants parce qu'ils renforcent l'impression (voir figure 5-4).

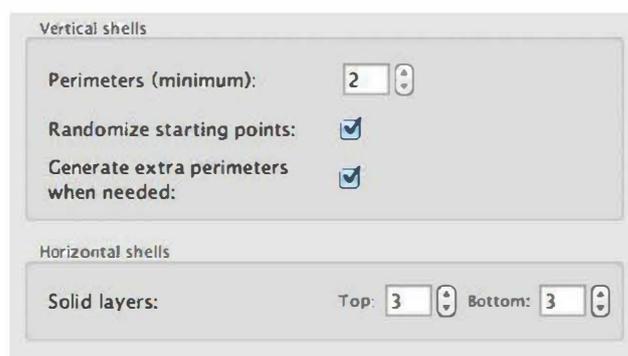


Figure 5-4. Options des périmètres

Une valeur de périmètre de 2 est un bon point de départ – il est aussi fréquent qu'elle soit de 3. On indique ainsi à l'imprimante qu'elle doit tracer deux contours solides sur les bords de la pièce, et ce, pour chaque couche (voir figure ci-dessous).

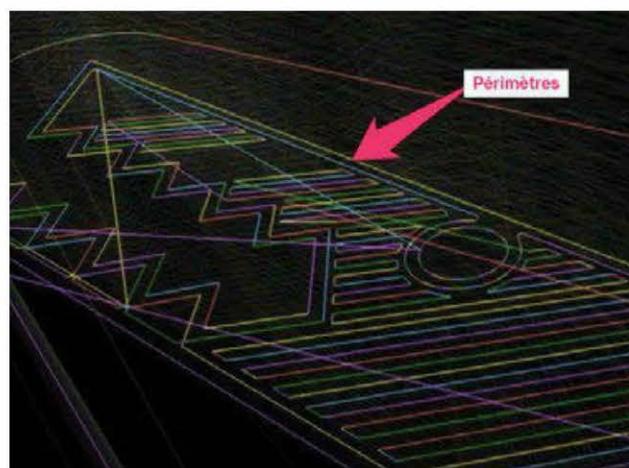


Figure 5-5. L'effet des périmètres

Laissez cochée la case Randomize starting points. Rendre aléatoire le point de départ des périmètres évite en effet l'apparition d'un crénelage visuel sur le bord de la pièce. Faites de même avec la case Generate extra perimeters when needed, car c'est une bonne idée d'autoriser Slic3r à générer si besoin des périmètres supplémentaires.

Les couches solides (Solid layers) sont entièrement remplies de plastique (voir

figure ci-dessous). Vous comprendrez ainsi qu'il est en général malin d'en placer quelques-unes à la base (au moins deux) et au sommet de la pièce (au moins une).

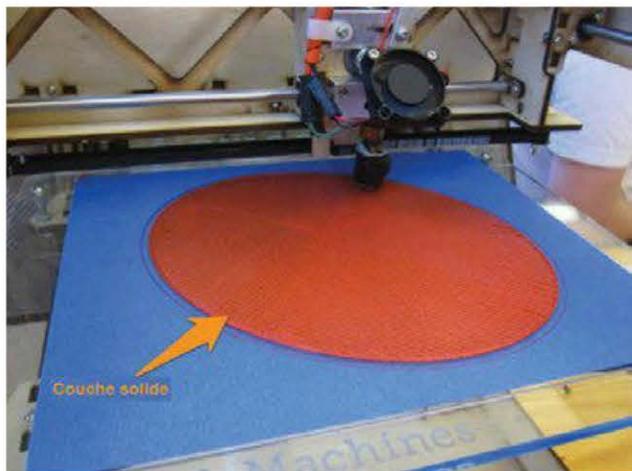


Figure 5-6. Couches solides

Gardez en tête que, pour une pièce très large, le temps d'impression de chaque couche solide est plus long. Pensez donc à diminuer leur nombre si vous attachez plus d'importance à la rapidité d'impression qu'à la solidité de la pièce.

Le remplissage

Dans le réglage Fill density du paramètre Infill (voir figure 5-7), il faut indiquer le pourcentage de chaque couche qui sera rempli par du plastique (0,2 = 20 %).

Sauf si vous souhaitez une pièce extrêmement dense, n'allez pas au-delà de 60 %. Un remplissage de 20 % convient déjà parfaitement pour la plupart des impressions de tous les jours. Touchez et testez vos pièces pour sentir les différences structurelles et ajuster cette option en conséquence.

Une densité fixée à 0 imprime seulement le ou les périmètre(s) de votre pièce, qui sera donc entièrement creuse.

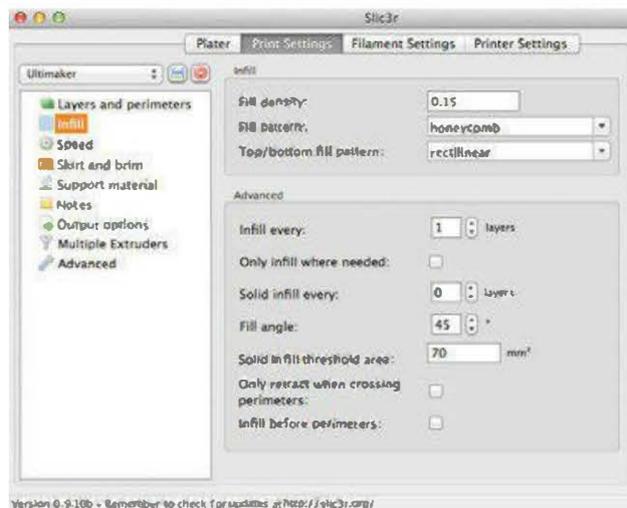


Figure 5-7. Options de remplissage

Le réglage, Fill pattern figure le chemin pris par l'extrudeur lorsqu'il réalise le remplissage (voir figure ci-dessous). Il n'a pas d'impact important sur la stabilité structurelle de la pièce. Quant à Top/bottom fill pattern, il s'agit du motif utilisé sur les couches solides au sommet et à la base.

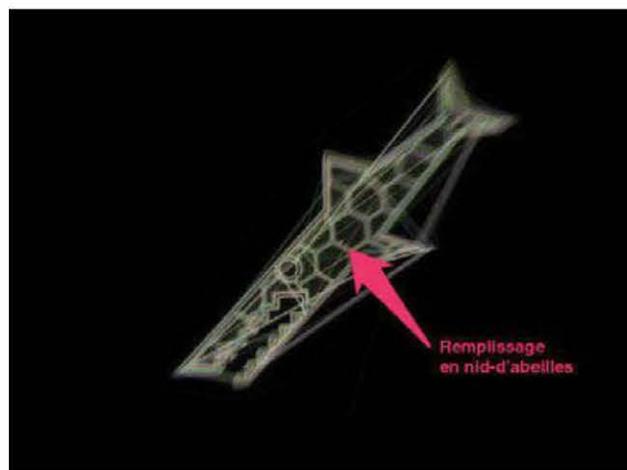


Figure 5-8. Le motif de remplissage à l'intérieur d'un objet

Les options avancées (Advanced) permettent un contrôle plus poussé du remplissage, mais je crois n'y avoir jamais touché ! Le réglage Infill every 2 layers sert à alterner des couches remplies (avec la densité de remplissage

choisie) et creuses. Si on opte pour « 3 layers », deux couches creuses s'intercalent entre chaque couche remplie, et ainsi de suite. Pour ma part, j'ai toujours laissé la configuration à 1, par défaut.

Pour davantage de stabilité, il est possible de choisir d'insérer une couche solide à chaque nombre n de couches (Solid infill every). Fill angle est l'angle de l'extrudeur lorsqu'il effectue le remplissage ; son orientation est basée sur les axes de votre machine. Je ne vois pas comment changer l'angle peut vraiment modifier votre pièce, mais cela peut avoir des conséquences sur les motifs de remplissage sélectionnés.

Généralement, je laisse la case Only retract when crossing perimeters décochée. Nous verrons plus loin ce qu'est la rétractation.

La vitesse

Dans le paramètre Speed (voir figure ci-contre), le réglage Perimeters détermine la vitesse d'impression des périmètres ; 50 mm/s est un bon point de départ. Mais vérifiez la documentation de votre imprimante vu que certaines machines peuvent aller beaucoup plus vite que d'autres.

Avec le réglage Small perimeters, on fixe la vitesse d'impression des petites pièces. Elle est en général plus lente que celle du périmètre normal, pour que le plastique puisse avoir plus de temps pour refroidir.

Les External perimeters sont les périmètres des parois extérieures de la pièce – ce sont les plus importants. Tout d'abord, débutez avec une vitesse proche ou égale à celle du périmètre standard, avant d'aller au-delà.

La vitesse de remplissage (Infill speed) détermine la rapidité à laquelle votre machine imprime pendant la phase de remplissage. La vitesse employée ici (80 mm/s) est assez

prudente, surtout pour une Ultimaker, mais c'est aussi un bon chiffre pour commencer quelle que soit l'imprimante. Si des lignes propres et une précision extrême ne vous sont pas indispensables, augmentez-la !

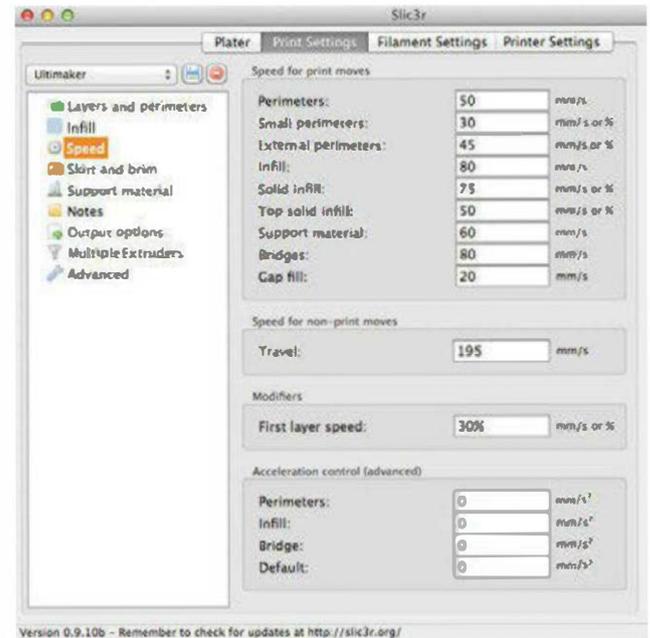


Figure 5-9. Options de vitesse

Le réglage de Solid infill speed fixe, quant à lui, la vitesse d'impression des couches de remplissage solide, qui sont plus importantes que les remplissages habituels. Choisissez-la plus lente que la vitesse de remplissage standard. Mais attention, ne la diminuez pas trop, car à 100 %, ces couches mettent du temps à s'imprimer.

Avec Top solid infill speed, il est question de la vitesse de la ou les couche(s) du sommet remplie(s) à 100 %. Vu qu'il est primordial qu'elles aient une belle apparence, elle doit être plus lente que les deux autres vitesses de remplissage.

L'option Bridges s'utilise afin de remplir un fossé, lorsque l'extrudeur étire le filament entre deux murs au-dessus du vide. Attention, si le fossé est plus grand que 12,7 mm environ,

un affaissement va apparaître, quelle que soit la vitesse. Ainsi, opter pour une vitesse rapide permet d'éviter les problèmes majeurs. Sachez aussi que le matériau d'impression et la température de la tête jouent un rôle dans l'affaissement du plastique pendant la réalisation du pont.

Le réglage Travel speed correspond à la vitesse de déplacement de la machine entre deux points d'extrusion. Puisque, à ce moment-là, il n'y a pas d'extrusion, il est possible d'augmenter cette vitesse, en commençant à 175 mm/s. Sachez que les machines avec un extrudeur Bowden léger (comme l'Ultimaker) peuvent se déplacer aussi vite que 300 mm/s.

Avec l'option First layer speed, vous pourrez modifier la vitesse d'impression de la première couche. Débutez par 50 % avant d'augmenter.

Pour savoir comment obtenir une première couche collante, lisez la seconde partie du tutoriel de RichRap (<http://richrap.blogspot.com/2012/01/slic3r-is-nicer-part-2-filament-and.html>).

La jupe d'impression

La jupe d'impression, ou contour d'impression, est le tracé autour du périmètre de votre pièce (voir figure 5-11) ; elle est imprimée en premier. C'est un bon moyen de préparer votre extrudeur et de vérifier que la tête est à la bonne hauteur. Si des ajustements sont nécessaires, vous pourrez ainsi stopper l'impression avant qu'elle n'aille trop loin.

Si votre extrudeur met quelques secondes avant que le plastique apparaisse, augmentez le nombre de tours via l'option Loops pour qu'il tourne autour de la pièce plus d'une fois. Généralement, la jupe d'impression possède une hauteur de 1 (Skirt height) et se situe entre 3 et 10 mm de l'objet (Distance from object).

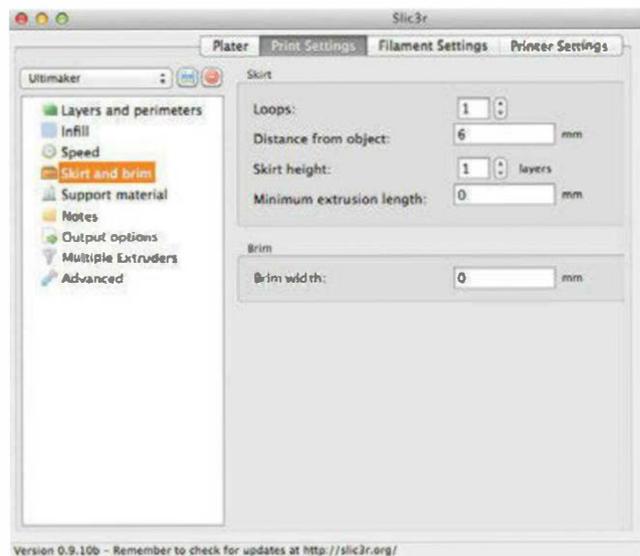


Figure 5-10. Options de la jupe d'impression

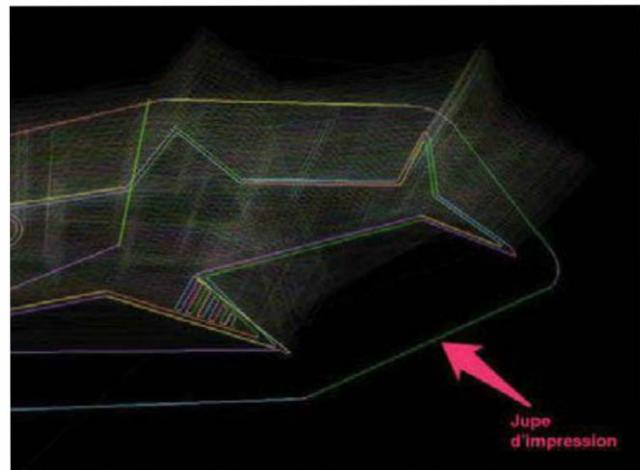


Figure 5-11. La jupe d'impression

Le matériau de support

Dans le paramètre Support material, le réglage Generate support material permet d'imprimer, pendant la découpe, un échafaudage sous les parties en surplomb et les angles complexes (voir figure 5-12). Une fois le matériau de support retiré, les résultats sont ainsi plus satisfaisants. Cochez simplement la case et Slic3r travaillera pour vous.

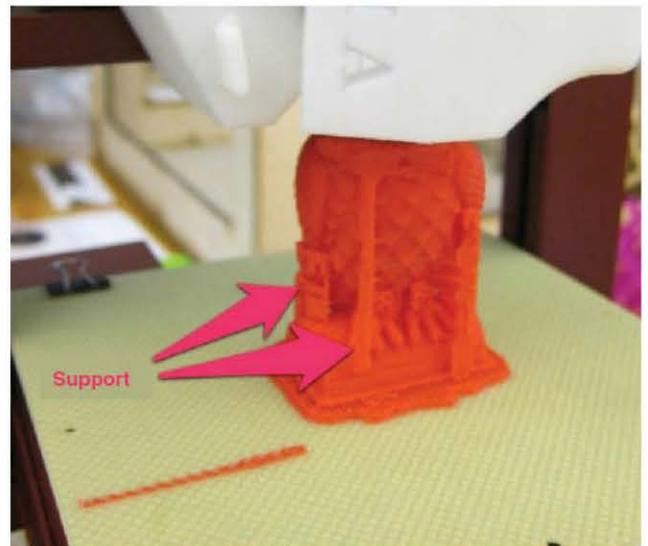
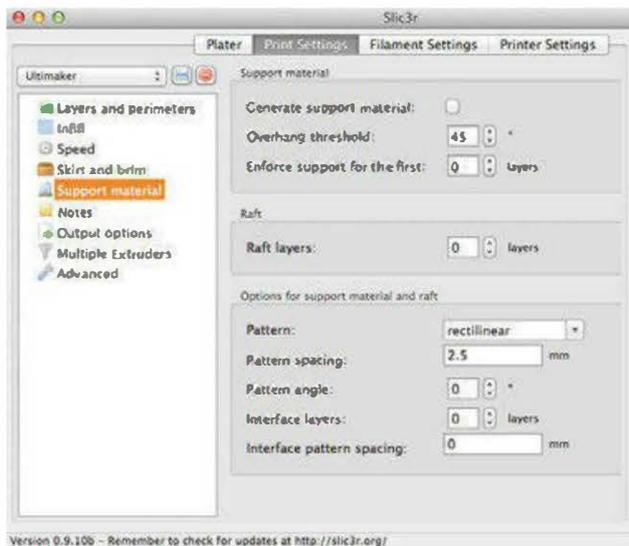


Figure 5-12. À gauche, la fenêtre pour configurer le matériau de support ; à droite, le matériau de support

Le seuil de surplomb (Overhang threshold) est l'angle à partir duquel le support est généré. Pour que la machine ne crée pas de support pour de petites protubérances qui n'en ont pas besoin, débutez à 45°.

Comme pour le remplissage, il est possible de sélectionner un motif de support (Pattern). Dans ce cas, c'est plus important, puisque certains motifs sont plus faciles à casser après l'impression que d'autres. Commencez avec Rectilinear.

Le réglage Pattern spacing a un impact majeur sur la structure du support. En effet, plus sa valeur est grande, plus le support se retire facilement. À l'inverse, plus elle est basse, plus le support est similaire à la pièce elle-même, et plus celle-ci sera difficile à retirer. Attention, une valeur trop élevée n'apporte pas le support nécessaire pour les parties en surplomb. Pattern angle est l'angle auquel le support sera imprimé, respectant les axes x et y de la machine.

Les autres paramètres

Le paramètre Notes vous sera utile à titre personnel (voir figure 5-13). Sachez que ces

notes sont facultatives et n'ont aucun impact sur l'impression. Comment les utiliser ? Imaginons que vous avez imprimé une pièce et observé comment les configurations ont influencé le résultat. Vous pouvez alors rédiger un pense-bête pour vous rappeler quoi changer par la suite.

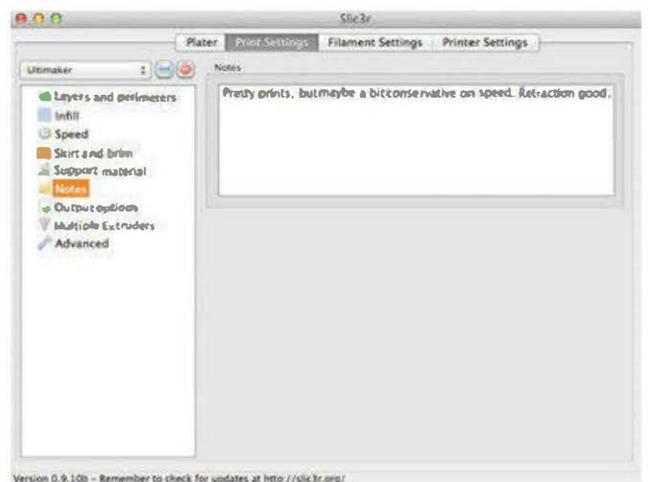


Figure 5-13. Prendre des notes

Vous n'aurez besoin de modifier l'impression en série que si vous retirez les pièces du lit d'impression de façon automatisée et si voulez imprimer plusieurs pièces à la fois.

Pour ma part, je n'ai jamais eu besoin de modifier le paramètre Output options (voir figure ci-dessous). Mais, par exemple, il pourra vous servir pour nommer vos G-code si vous souhaitez créer un format standard.

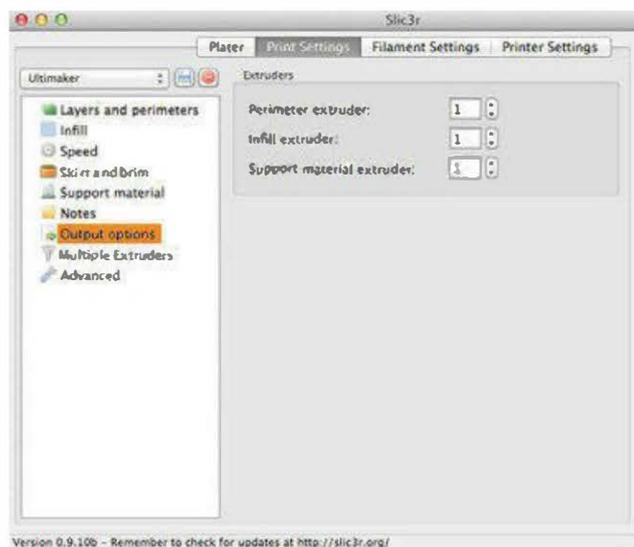


Figure 5-14. Options de sortie

Le paramètre Multiple Extruders ne concerne que les imprimantes qui sont munies de plus d'un extrudeur (voir figure ci-dessous).

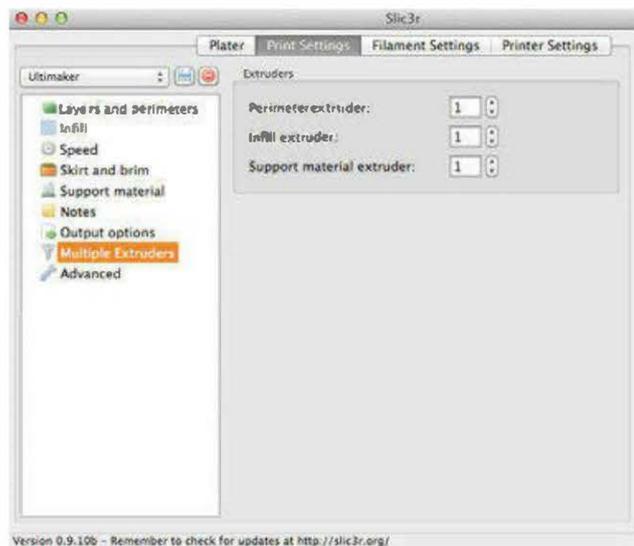


Figure 5-15. Options des extrudeurs multiples

Vous y spécifierez les tâches pour chacun des extrudeurs, ainsi que le support et le remplissage.

Les paramètres avancés

Je ne touche pas aux paramètres avancés (Advanced, voir figure ci-dessous), à l'exception de la largeur de l'extrusion (Extruder width). Sachez que Slic3r ajuste lui-même la hauteur de l'extrusion et l'élargit si vous avez entré les informations exactes concernant votre filament et votre tête d'impression (voir plus loin).

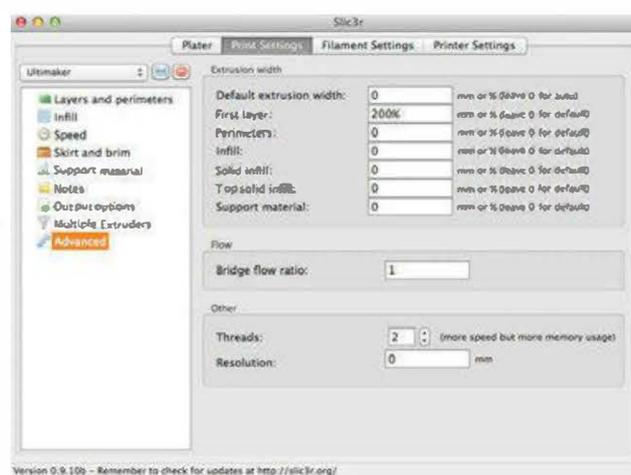


Figure 5-16. Options avancées

Afin que le plastique colle mieux au lit d'impression, augmentez la largeur de la première couche à plus de 100 % (First layer). Pour ma part, je n'ai jamais eu besoin d'ajuster d'autres largeurs.

Étape 3. Configurer le filament

Dans l'onglet Filament Settings, il est question du filament (voir figure 5-17).

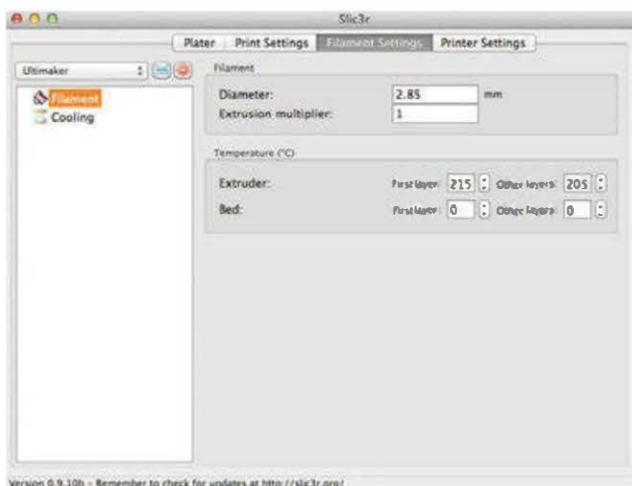


Figure 5-17. Options du filament

Votre machine a sûrement été fournie avec du plastique, ou vous avez peut-être acheté quelques bobines dans différents matériaux et couleurs. Même si votre filament est vendu comme mesurant 3 ou 1,75 mm, ce n'est jamais vraiment exact. Pour être sûr de sa taille, munissez-vous d'un compas ou d'un micromètre pour le mesurer en plusieurs points afin de réaliser une moyenne (voir figure ci-dessous). Entrez le résultat dans Slic3r.



Figure 5-18. Réaliser des mesures au compas

Le réglage Extrusion multiplier modifie la valeur que vous venez d'entrer dans la boîte

de diamètre. S'il n'y a aucune raison de la changer, laissez la valeur à 1.

La température de l'extrudeur et du lit est aussi importante. Il est possible de fixer une température différente pour la première couche. Si besoin, faites fonctionner votre extrudeur à plus haute température que d'ordinaire afin de donner plus de gluant et de collant. Pour le PLA, elle ne doit pas descendre en dessous de 185° – le profil de l'Ultimaker est défini pour une impression au PLA. Pour l'ABS, débutez à 220°.

Avec un lit chauffant, préférez une température avec laquelle vous vous sentez à l'aise. Comme point de départ, je vous conseille 60° pour le PLA et 110° pour l'ABS. Mais si votre lit d'impression prend un temps fou à chauffer, diminuez ces chiffres pour éviter une attente trop longue avant de pouvoir imprimer.

Sans lit chauffant, gardez la température du lit à 0. Sinon, l'impression ne se lancera jamais.

Le second paramètre à configurer est le refroidissement (Cooling, voir figure ci-dessous).

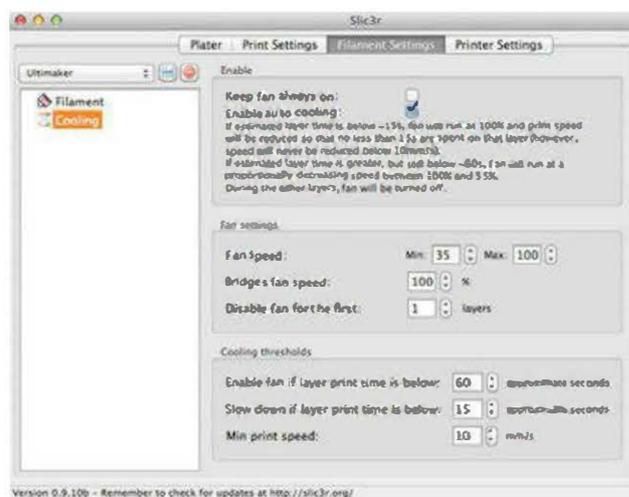


Figure 5-19. Options de refroidissement

Si votre machine n'a pas de ventilateur dirigé vers l'extrudeur ou la plate-forme d'impression (voir figure ci-dessous), passez cette étape. Sinon, cochez Enable auto cooling, qui autorise le refroidissement automatique. Lisez la description qui s'affiche lorsque vous passez votre curseur sur la case. Cette configuration lance le refroidissement seulement lorsque c'est nécessaire, et le ventilateur reste éteint le reste du temps.

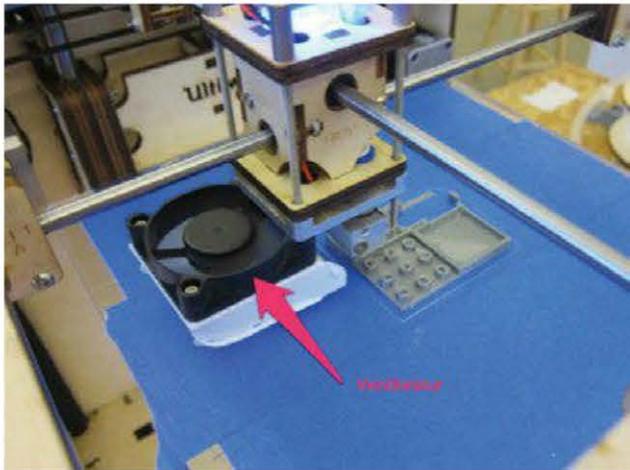


Figure 5-20. Le ventilateur de l'Ultimaker

Lorsque vous ajustez les configurations suivantes, référez-vous toujours à cette description placée sous la case de refroidissement automatique. Vous saurez ainsi comment vos modifications influencent le refroidissement pendant l'impression.

Le réglage Fan speed détermine la vitesse du ventilateur en pourcentage. C'est comme vous voulez ! Je vous conseille de réaliser plusieurs impressions avec le refroidissement activé et d'augmenter la vitesse minimale si vous remarquez que le plastique s'affaisse ou colle trop à la tête d'impression. Quant au réglage Bridges fan speed, il s'agit de la vitesse du ventilateur pendant la réalisation d'un pont d'impression. Préférez une valeur élevée afin d'augmenter le refroidissement et limiter les affaissements.

Pour ma part, je désactive le ventilateur de la première couche (Disable fan for the first) pour que le plastique reste gluant et coulant et qu'il colle au lit (c'est surtout valable pour le PLA). Mais vous pouvez tout aussi bien cocher la case Keep fan always on pour que le ventilateur reste allumé en permanence, du début à la fin de l'impression.

Le réglage Cooling thresholds (à savoir les seuils de refroidissement) permet un contrôle plus avancé lorsque le ventilateur démarre. En général, les couches avec des temps d'impression plus courts (comme le sommet d'un cône) sont plus difficiles à finaliser avec succès. Une circulation d'air supplémentaire est alors bénéfique.

Avec l'expérience, vous réussirez à calibrer les seuils pour une vitesse d'impression décroissante. Voici des temps de base qui devraient vous aider pour commencer :

- Enable fan if layer print time is below : 60 s ;
- Slow down if layer print is below : 15 s ;
- Min print speed : 10 mm/s.

Vous pouvez choisir une vitesse minimale d'impression assez basse. Mais sachez que, dans ce cas, le temps de travail sera plus long pour les impressions complexes.

Vous allez peut-être constater que des seuils de refroidissement séparés sont nécessaires selon les pièces. Dans ce cas, créer un profil de découpe différent pour chacune s'avère être la solution la plus rapide (par exemple : un pour les objets avec de nombreuses colonnes étroites, un autre pour les pièces creuses et un dernier pour les portraits avec des détails importants).

Étape 4. Configurer l'imprimante

Intéressons-nous maintenant à l'onglet Printer Settings (voir figure ci-dessous). Mais avant toute chose, sortez votre règle pour mesurer la longueur et la largeur de votre zone d'impression. Entrez ensuite le résultat dans les cases Bed size x et y. Le Print center (à savoir le centre de l'impression) devrait se situer à la moitié de la longueur et de la largeur du lit, afin que le travail débute exactement au milieu du plateau d'impression.

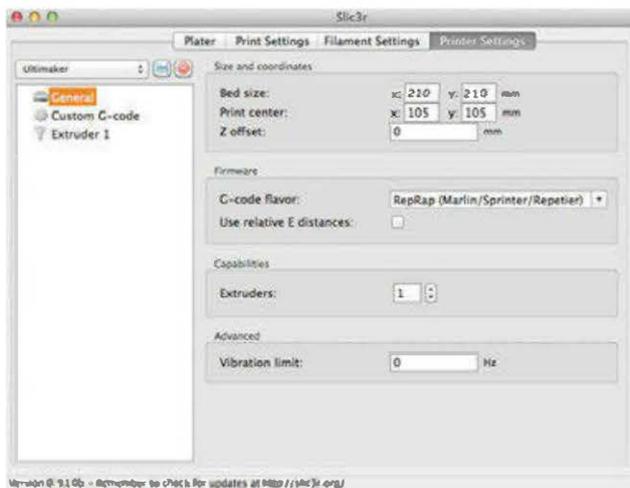


Figure 5-21. Options de l'imprimante

L'écart Z (Z offset) est fixé à 0 mm par défaut. Laissez-le tel quel à moins que vous changiez souvent de plateau d'impression avec des épaisseurs différentes. Par exemple, en calibrant votre écart Z en fonction de l'épaisseur de votre plateau amovible en verre chauffant, votre machine s'ajuste automatiquement si vous choisissez ce profil.

Le réglage G-code flavor (le type de G-code) doit être normalement sur RepRap (Marlin/Sprinter/Repetier). Déroulez le menu pour sélectionner celui qui décrit le mieux votre machine.

Laissez la case Use relative E distances décochée sauf si vous êtes certain que votre machine utilise le positionnement relatif. Dans la majorité des cas, il est absolu, c'est-à-dire qu'il définit le dernier point de déplacement du G-code, peu importe où on se trouve.

C'est seulement dans le cas où votre imprimante possède plus d'un extrudeur que vous devez changer la valeur 1. Mais attention, il vous faut alors retourner dans l'onglet Print Settings>Multiple Extruders pour modifier les options.

Le G-code customisé

Le Custom G-code (voir figure ci-dessous) permet d'outrepasser les configurations de calibrage par défaut (nombre de pas par millimètre) ou de choisir la position de l'extrudeur à un endroit précis au début d'impression, entre autres. Sachez qu'il est presque toujours spécifique au modèle de votre machine. Avant de choisir ces configurations, vous devez donc vérifier la documentation du fabricant.

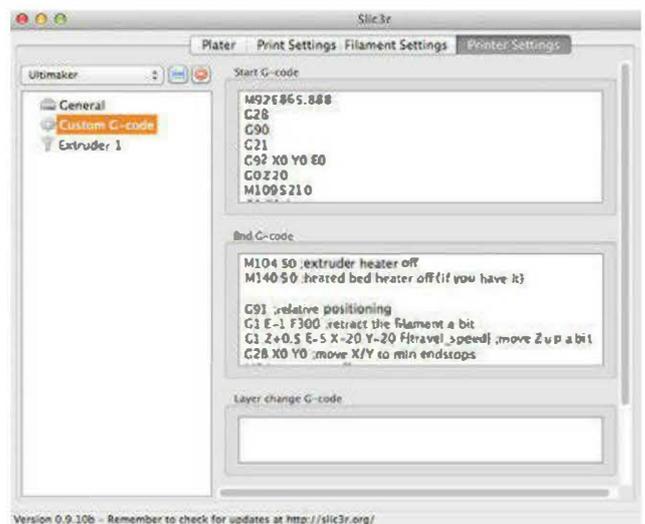


Figure 5-22. Options de G-code customisé

Souvent, le G-code de départ inclut des commandes pour mettre à zéro les trois axes (le point de départ de toute impression),

chauffer l'extrudeur et le lit, réaliser des tests d'extrusion et commencer à imprimer.

Le G-code de fin, lui, éteint normalement l'extrudeur et le lit chauffant, remet à zéro les trois axes et abaisse la plate-forme Z pour faciliter le retrait de la pièce.

L'extrudeur

Regardons maintenant les paramètres Extruder 1 (voir figure ci-dessous).

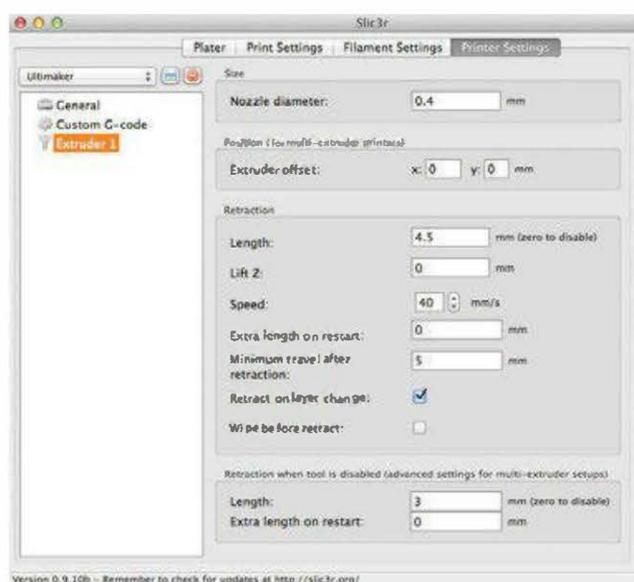


Figure 5-23. Options de l'extrudeur

Le diamètre de la tête est normalement indiqué par le fabricant. Si ce n'est pas le cas, mesurez-le à l'aide d'un compas. Il est généralement compris en 0,35 et 0,5 mm.

Ne vous préoccupez pas du réglage Extruder offset, sauf si la machine présente plusieurs extrudeurs. Il s'agit de la distance horizontale et verticale entre vos différents extrudeurs.

La rétractation

Le paramètre Retraction est un des meilleurs de Slic3r (voir figure 5-24), car il améliore nettement la qualité des impressions.

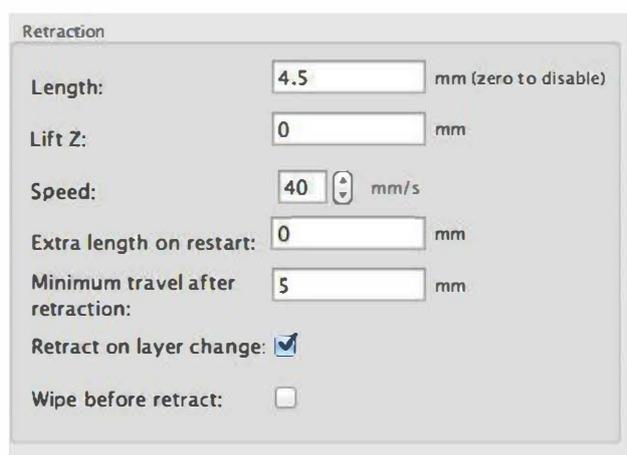


Figure 5-24. Options de rétractation

Le moteur de l'extrudeur est utilisé pour rétracter le filament chaud pendant les déplacements, ce qui évite au plastique de couler. La longueur du filament à rétracter avant d'aller au prochain point d'extrusion dépend largement du moteur et des roues dentées.

Si vous n'avez aucune idée du chiffre à entrer pour l'option Length, je recommande 0,75 mm, quitte à l'augmenter en cas d'écoulements entre les déplacements. La valeur utilisée ici est très élevée à cause des roues dentées de l'extrudeur de l'Ultimaker.

Le réglage Lift Z élève l'extrudeur (ou diminue le lit) pendant la rétractation et avant le prochain point d'extrusion, où il se rabaisse alors. Ainsi, on évite que la pièce soit poussée hors du plateau ou que celui-ci entraîne du plastique avec lui. Avec des grandes pièces qui peuvent facilement tomber du plateau, préférez une hauteur de couche de 1. Sinon, laissez-la à 0.

Le réglage Speed correspond à la vitesse à laquelle le moteur de l'extrudeur se retourne pour rétracter le filament. Vu qu'on le veut rapide, effectuez des tests avec votre extrudeur afin de savoir à quelle vitesse il se rétracte. 15 mm/s est un bon début ; augmentez ensuite progressivement, car les extrudeurs diffèrent largement, tant au niveau de la roue dentée que de la vitesse du moteur.

Extra length on restart correspond à la longueur de plastique que vous voulez extruder entre la couche qui vient d'être tracée et le début d'une nouvelle couche. Je n'utilise pas ce réglage puisqu'il implique l'emploi de plastique supplémentaire là où ce n'est pas vraiment nécessaire. En revanche, il vous sera utile lorsque votre extrudeur a un problème pour redémarrer après une rétractation. Mais, même dans ce cas, il vaut mieux simplement diminuer la longueur de la rétractation et/ou la vitesse plutôt que de modifier la valeur de cette option.

Avec le réglage Minimum travel after retraction, on fixe la distance minimale requise par l'imprimante pour rétracter entre les tracés. Par exemple, avec une valeur de 3 mm, l'extrudeur ne se rétracte pas si les deux tracés sont plus proches que 3 mm. On évite ainsi au moteur un travail inutile lors d'une impression très complexe. Je vous conseille d'opter pour 2 mm.

Les deux derniers réglages visibles sur la figure précédente (Retract on layer change et Wipe before retract) concernent les extrudeurs multiples. Lorsqu'un d'eux est désactivé, il est possible de le rétracter afin qu'il ne coule pas pendant que l'autre fonctionne. Vous pouvez aussi ajouter ici une longueur supplémentaire au redémarrage puisque les extrudeurs dans une configuration multiple sont souvent inactifs plus longtemps et peuvent donc demander un temps de préparation supplémentaire.

Étape 5. Retourner au plateau d'impression

C'est maintenant le moment de retourner au premier onglet, Plater, pour les configurations du plateau d'impression.

Chargez une pièce en cliquant sur Add ou effectuez un glisser-déposer sur la grille de

gauche. La pièce est alors automatiquement placée au centre du plateau d'impression (voir figure 5-25).

De la même façon, ajoutez des pièces supplémentaires, puis dupliquez-les en cliquant sur More après les avoir sélectionnées (elles apparaissent en rouge). Au fur et à mesure, elles s'organisent alors automatiquement sur le plateau (voir figure 5-26).

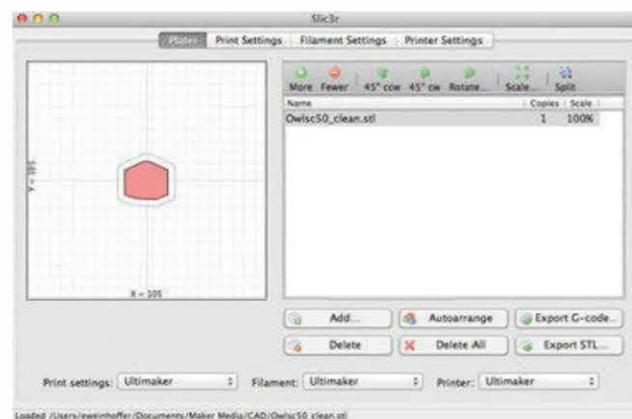


Figure 5-25. Objet centré sur le plateau

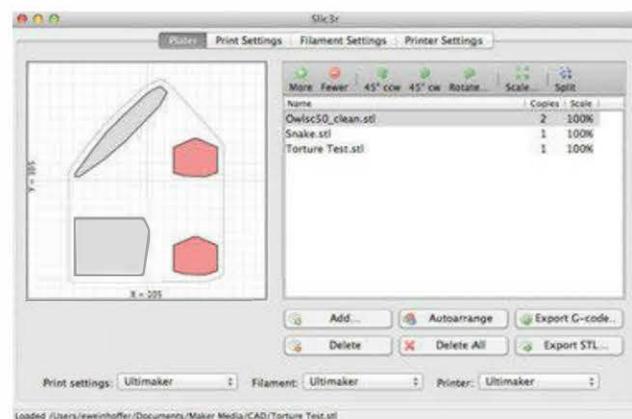


Figure 5-26. Plusieurs pièces sont ajoutées.

Grâce aux flèches de rotation à 45°, pivotez-les dans le sens des aiguilles d'une montre (45° cw) ou dans le sens contraire (45° ccw). En cliquant sur Rotate, une boîte de dialogue s'affiche afin de saisir un angle précis de rotation. Changez aussi l'échelle des objets via Scale (voir figure ci-après).

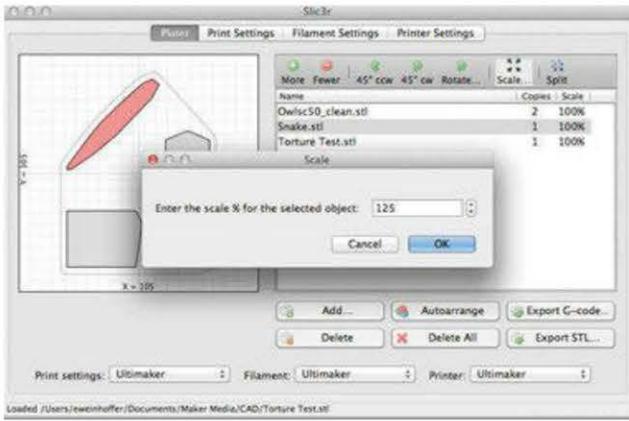


Figure 5-27. Pivoter les pièces

Travailler avec plusieurs fichiers STL

Si vous importez plusieurs fichiers STL, séparez-les en cliquant sur Split (voir les figures ci-dessous).

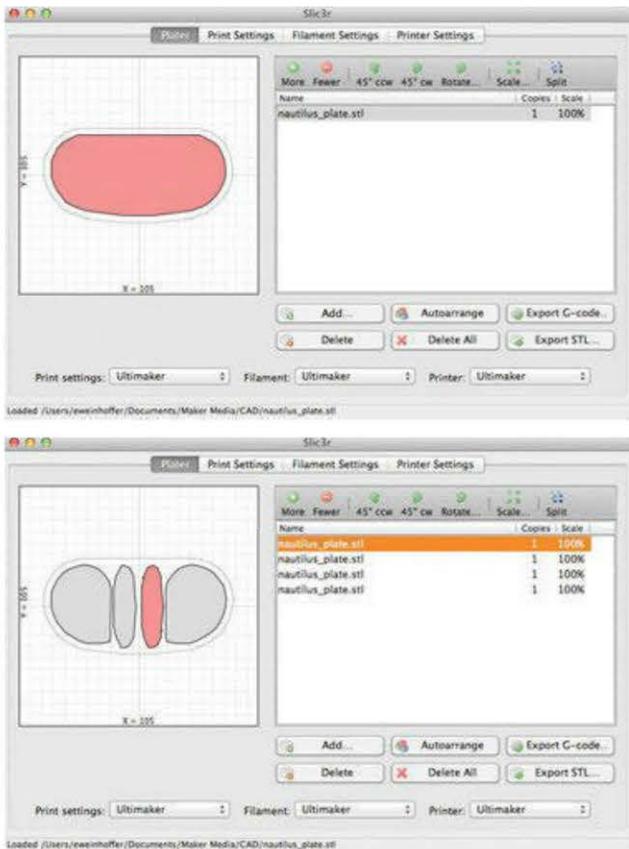


Figure 5-28. En haut, Nautilus sur le plateau d'impression avant séparation ; en bas, après séparation

Cela s'avère utile pour imprimer quelques pièces supplémentaires ou une seule pièce séparée des autres (voir figure ci-dessous).

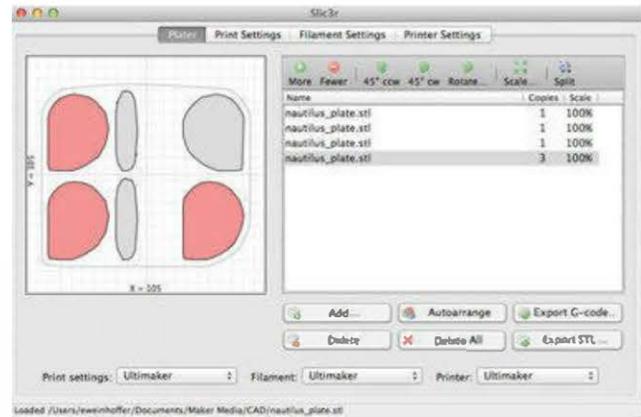


Figure 5-29. Séparer les STL

Le visualiseur de G-code utilisé pour quelques photos est de Jeremy Herrman (<http://jherrm.github.io/gcode-viewer/>). Il est disponible en ligne et gratuit.

PARTIE III

Le scan 3D

Créer et réparer des scans 3D



Utiliser la Kinect, ReconstructMe et 123D Catch pour capturer des modèles 3D d'objets du quotidien et les préparer pour l'impression 3D.

PAR **ANNA KAZIUNAS FRANCE**

C'est totalement expérimental. Il n'y a pas de voie toute tracée.

Bre Pettis

Extrait d'Imprimer en 3D avec la MakerBot par Bre Pettis, Anna Kazianus France et Jay Shergill (aux éditions Eyrolles).

Les scans et les modèles de ce chapitre sont disponibles sur Thingiverse (www.thingiverse.com/akaziuna) et dans la galerie de 123D (www.123dapp.com/Search/Index.cfm?keyword=anna+kaziunas+france).

vous pouvez tout aussi bien utiliser votre téléphone portable ou une caméra numérique pour capturer des images, qui seront ensuite converties en modèles 3D, corrigés avec un logiciel de réparation de maillage et imprimés en 3D.



Figure 6-1. La Kinect de Microsoft et la Xtion d'ASUS

Plus besoin d'un scanner 3D hors de prix pour réaliser des scans de bonne qualité convenant à l'impression 3D. Il existe désormais de nombreux outils abordables pour numériser les objets physiques. Certains nécessitent du matériel spécifique avec caméra RGB et capteurs de profondeur, comme la Kinect de Microsoft ou la Xtion d'ASUS (voir figure 6-1) – lisez l'encadré « Kinect vs ASUS Xtion », page 70, qui en dresse un comparatif. Mais

Qu'est-ce que le scan 3D ?

Un scanner 3D collecte des données sur la surface d'un objet pour en créer une représentation tridimensionnelle. Pour ce faire, la Kinect et la Xtion font passer de la lumière infrarouge sur l'objet et mesurent la distance parcourue par chaque point lumineux

réfléchi. Ces mesures permettent d'obtenir ce qu'on appelle un nuage de points (voir figure ci-dessous), où chacun d'eux est représenté par un triplet de coordonnées X, Y et Z.

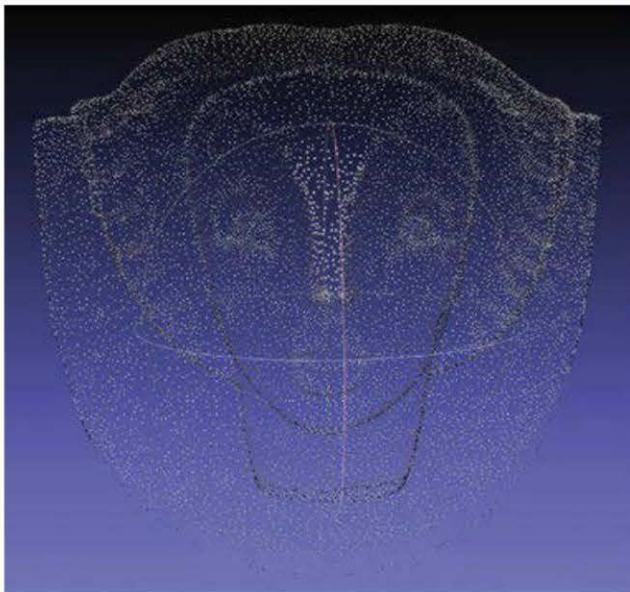


Figure 6-2. Un nuage de points

Ce nuage de points est extrapolé (ou reconstruit) par le scanner sous forme d'une représentation numérique de l'objet appelée maillage (voir figure ci-dessous).



Figure 6-3. Un maillage

Un maillage est similaire à un nuage de points, mais au lieu de représenter une collection de points sans liens, il les regroupe par faces, composées de sommets et d'arêtes, qui décrivent la forme de l'objet 3D.

Kinect vs ASUS Xtion

Dès que la communauté est parvenue à craquer la Kinect pour la détourner de son usage initial, le scan 3D est devenu une de ses premières applications. Mais aussi fantastique que soit cet outil, il n'est pas le seul dans son genre. En réalité, d'autres dispositifs utilisent exactement la même technologie. Scanner en 3D avec la Kinect est possible grâce au matériel développé par la compagnie israélienne PrimeSense, qui a sorti un kit de développement logiciel (SDK) appelé OpenNI (*Open Natural Interaction*) que d'autres, comme les développeurs de ReconstructMe (PROFACTOR GmbH), ont utilisé pour mettre au point de fabuleux outils pour la Kinect. Et ce qui est encore plus fort, c'est que ces outils sont compatibles avec tout matériel qui exploite la technologie PrimeSense.

Un de ces outils est la Xtion d'ASUS (aux alentours de 120 €), qui possède quelques avantages par rapport à la Kinect.

- Elle est deux fois plus petite.
- Elle est plus légère (400 g environ).
- Elle n'a pas besoin d'être alimentée par le secteur (une prise USB suffit).

Mais elle présente aussi quelques inconvénients.

- Elle ne fonctionne pas avec tous les logiciels développés pour la Kinect.
- Elle ne dispose pas de moteur commandé par logiciel (en revanche, la Kinect possède un moteur dédié qui permet d'orienter la caméra).

Malgré tout, si vous recherchez une caméra portable de profondeur pour réaliser des scans 3D, la Xtion est un choix à considérer.

Les fichiers STL sont constitués de ces maillages de triangles.

Quant à l'outil 123D Catch, il est capable de générer le maillage 3D d'un objet à partir de différentes photographies (de 20 à 40, généralement) le représentant sous différents angles.

Les limites d'un scanner 3D

Les limites des scanners 3D dépendent de la technologie utilisée. Par exemple, les scanners optiques ne parviennent pas à analyser correctement un objet trop transparent ou trop brillant, et la numérisation ne se fait qu'en surface de l'objet. Tous les logiciels présentés dans ce chapitre ont aussi des forces et des faiblesses.

Si vous souhaitez réaliser le scan 3D d'un objet à l'aide d'un logiciel, plusieurs applications s'offrent à vous, selon la taille de votre modèle et la configuration de votre ordinateur. Dans ce chapitre, nous allons vous apprendre à vous servir de deux outils particulièrement populaires : 123D Catch et ReconstructMe. Mais comme vous le constaterez, eux aussi ont leurs avantages et leurs inconvénients.

Alors qu'il n'y a pas si longtemps, vous deviez utiliser des appareils et des logiciels coûteux pour scanner un objet, vous pouvez désormais facilement obtenir des scans 3D imprimables grâce à ces deux outils gratuits.

123D Catch

123D Catch est un outil gratuit de la société Autodesk qui, à partir de photos d'un objet, permet d'en obtenir un modèle 3D. Il est disponible sous forme d'application web, iPad et iPhone, ainsi que pour Windows. Pour utiliser cet outil, vous devez d'abord réaliser différentes prises de vue en numérique d'un objet fixe. Vous les envoyez ensuite au logiciel

qui les transmet à un serveur dédié (hébergé dans le cloud). À partir de ces images, le serveur génère alors un modèle 3D qu'il vous renvoie.

Vous pouvez télécharger ou accéder à l'application 123D Catch via le lien www.123dapp.com/catch.

Conseils et recommandations

La réussite de vos scans 3D réalisés avec 123D Catch dépendra bien évidemment de la qualité et de la pertinence des photos que vous aurez prises. Voici quelques conseils et méthodes pour obtenir les meilleurs résultats possible.

Les objets à éviter

Évitez les objets brillants, ainsi que les surfaces réfléchissantes et transparentes (voir figure ci-dessous), car ils ne permettront pas d'obtenir de bons modèles 3D. Ainsi, des fenêtres qui réfléchissent la lumière paraîtront courbées ou tordues sur le scan, comme des miroirs déformants. Autre exemple, des objets transparents comme des lunettes créeront des trous dans votre modèle.



Figure 6-4. Évitez les objets brillants, car ils ne pourront pas être correctement capturés.

Le plan d'attaque

Avant de commencer la prise de vue d'un objet, anticipez l'ordre dans lequel vous prendrez les photos. Il est aussi important de décider à quelle distance vous

le photographiez. Si possible, placez-le sur une table autour de laquelle vous pourrez tourner facilement, tout en restant à la même distance quel que soit l'angle. En préparant la prise de vue de du sujet, vous serez plus à même de réussir votre scan 3D avec 123D Catch.

Marquer son territoire

Lorsque l'objet à scanner présente une grande symétrie ou manque de caractéristiques facilement repérables, ajoutez-lui un marquage. En effet, le logiciel 123D Catch n'est pas très à l'aise avec ce genre de pièce et des marques l'aideront à mieux distinguer ses différentes faces. Il faut savoir que quatre points sont nécessaires pour différencier une image de deux autres au sein de la même collection. Des petits morceaux d'adhésif bien voyants ou des Post-it pour les grands objets feront l'affaire. Placez suffisamment de marques pour qu'au moins quatre soient toujours visibles quel que soit l'angle de prise de vue.

Placer des objets en arrière-plan

Quand cela vous est possible, prévoyez des objets en arrière-plan lorsque vous photographiez votre objet, car cela aidera le logiciel à déterminer la profondeur. En effet, 123D Catch n'aime pas les fonds blancs. Évitez également de prendre des objets placés sur une surface colorée unie. Le résultat sera meilleur si le fond présente des motifs (voir figure 6-5). De cette façon, le logiciel pourra faire clairement la différence entre l'objet et l'arrière-plan.



Figure 6-5. Utilisez un fond contrasté.

Quel type d'appareil photo ?

Les compacts numériques, les appareils photo de smartphones et les iPad sont connus pour produire les meilleures photos. Nous avons ainsi obtenu d'excellents résultats avec un iPhone 5. Attention à bien choisir la résolution de votre modèle au moment de charger vos captures. Une résolution d'au moins 3 Mpix est suffisante. Des photos en haute résolution ne sont pas utiles puisqu'elles seront de toute façon compressées à 3 Mpix par le serveur d'123D Catch.

Visionner les tutoriels de 123D Catch

Ils regorgent de conseils qui pourront vous aider à utiliser ce logiciel. Ils sont disponibles à l'adresse :

www.123dapp.com/howto/catch.

Prendre des photos avec 123D Catch

La première étape consiste à prendre méthodiquement des photos de l'objet à scanner.

Fournir suffisamment d'informations sur les photos

Pour que le logiciel puisse construire avec succès le modèle 3D de votre objet, il lui faut suffisamment d'informations sur les photos que vous allez lui transmettre. Tournez autour de la pièce à scanner, en prenant une photo tous les 5 à 10° (voir figure ci-dessous), pour qu'il y ait à chaque fois 50 % de chevauchement entre deux images. Déplacez-vous en utilisant un parcours simple (de gauche à droite et de haut en bas, par exemple). Assurez-vous en outre que chaque point de l'objet apparaît dans au moins quatre autres photos. Si vos clichés ne contiennent pas suffisamment de données, votre scan 3D en pâtira, risquant de comporter des blocs de matière là où il devrait y avoir du vide et des trous là où il devrait y avoir un maillage.

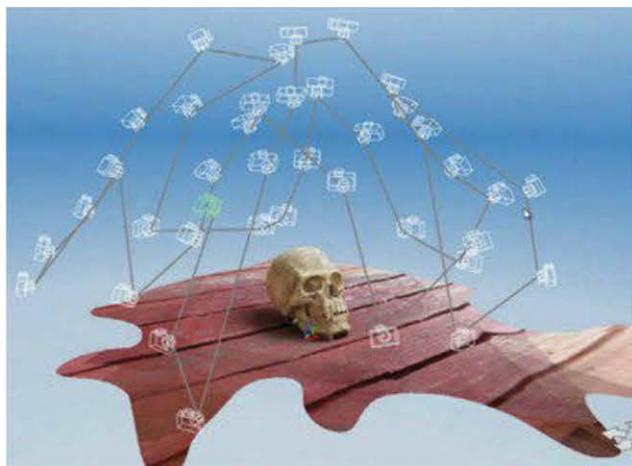


Figure 6-6. Prenez des photos tous les 5-10° autour de votre objet.

Remplir le cadre

Essayez de contenir très exactement l'objet sur vos clichés (voir figure 6-7). Cela vous aidera à tourner plus rapidement autour, à moins dévier et à identifier

les erreurs (s'il y en a), une fois le modèle créé. Par ailleurs, ne touchez plus au zoom pendant la prise de vue : cela déformerait vos photos et pourrait empêcher le logiciel de les aligner.



Figure 6-7. L'objet doit remplir le cadre.

Prévoir un éclairage uniforme

Faites en sorte que l'objet à photographier soit bien éclairé de manière uniforme. Évitez de le surexposer ou de le sous-exposer durant la prise de vue.

La lumière directe altère l'exposition d'une photo en créant des ombres et des reflets. Or votre modèle 3D sera plus réussi si l'éclairage de l'objet est uniforme. Nous avons constaté que les meilleurs clichés pour 123D Catch avaient été pris par temps couvert ou au crépuscule. Il n'est donc pas absurde de tenter des prises de vue en extérieur dans de telles conditions.

Garder constantes la profondeur de champ, la mise au point et l'orientation

Des images floues ne donneront pas de bons résultats pour 123D Catch. Aussi, remplacez toute photo ratée avant de l'envoyer à l'application. Sur iPhone et iPad, vous pourrez visionner les différents clichés et en reprendre éventuellement, avant d'effectuer le chargement. Si vous

utilisez un appareil numérique, procédez à cette vérification par vous-même.

Veillez par ailleurs à ce que vos images aient une profondeur de champ constante. Si vous faites votre mise au point sur l'objet et que l'arrière-plan est flou, conservez également ce réglage durant toute la prise de vue. Enfin, gardez toujours la même orientation pour vos photos : optez pour le mode portrait ou paysage et tenez-vous à ce choix pour l'ensemble des prises de vue.

Combien de photos ?

Plus de photos n'est pas forcément mieux. Ce qui compte, c'est qu'elles soient effectuées à intervalle angulaire régulier et qu'elles illustrent bien toutes les zones de l'objet. Si vous réalisez beaucoup d'images, elles prendront plus de temps à être traitées, et si elles ne capturent pas correctement l'objet, elles produiront des résultats médiocres. Le nombre optimal de photos semble se situer entre 20 et 55, selon la nature de l'objet. Si vous utilisez un iPad ou un iPhone, ce nombre sera limité à 40.

Les photos de détails

Si vous avez besoin de photos de détails, photographiez d'abord l'objet en entier. Puis rapprochez-vous progressivement, en prenant des clichés à des distances intermédiaires fixes. Ne zoomez pas soudainement sur un détail, sinon le logiciel produit un scan de mauvaise qualité, voire pas de scan du tout. Gardez 50 % de recouvrement entre chaque image, afin que le logiciel puisse les recoller.

En prenant un grand nombre de photos de près, j'obtiens de très bons détails 3D et une très bonne reproduction des très légers reliefs.

Michael Curry (skimbal)

Pour les objets de très grande taille comme les statues, il peut s'avérer impossible d'avoir sur le même scan l'intégralité de la pièce et ses petits détails. Vous aurez alors peut-être besoin de capturer ces derniers dans un modèle 3D à part.

Dans certains cas, il nous est arrivé de vouloir capturer l'ensemble de l'objet avec ses détails, mais d'échouer dans la création du modèle 3D avec l'application iPhone : une grande croix blanche est apparue après traitement des images. Comme il peut s'écouler un certain temps avant de connaître le résultat de ce traitement, réalisez toujours deux scans par sécurité (en particulier si vous êtes en voyage et risquez de ne pas revoir l'objet), juste au cas où l'un d'eux n'aboutisse pas. Si le scan échoue, recommencez l'opération en photographiant l'objet de loin, puis procédez à un scan séparé pour les détails.

Ne vous découragez pas si vos premiers scans ne se passent pas comme prévu. Continuez de vous entraîner : vous vous améliorerez rapidement et serez à même de comprendre comment résoudre certains problèmes.



N'éдитеz surtout pas les photos avant leur chargement ! Le moindre changement de couleur, de taille ou de contraste perturbera le logiciel de reconstruction et dégradera le résultat. Chargez-les telles que vous les avez prises.

Charger les photos sur le serveur

Une fois que vous avez pris vos photos en suivant les conseils énoncés précédemment, chargez-les sur 123D Catch via l'application de votre choix.

Si vous avez pris vos photos avec un iPhone ou un iPad

Envoyez alors les photos en passant par l'application iPhone ou iPad (voir figure ci-dessous). Elle vous informera quand 123D Catch aura terminé la numérisation, ce qui donnera une photoscène.

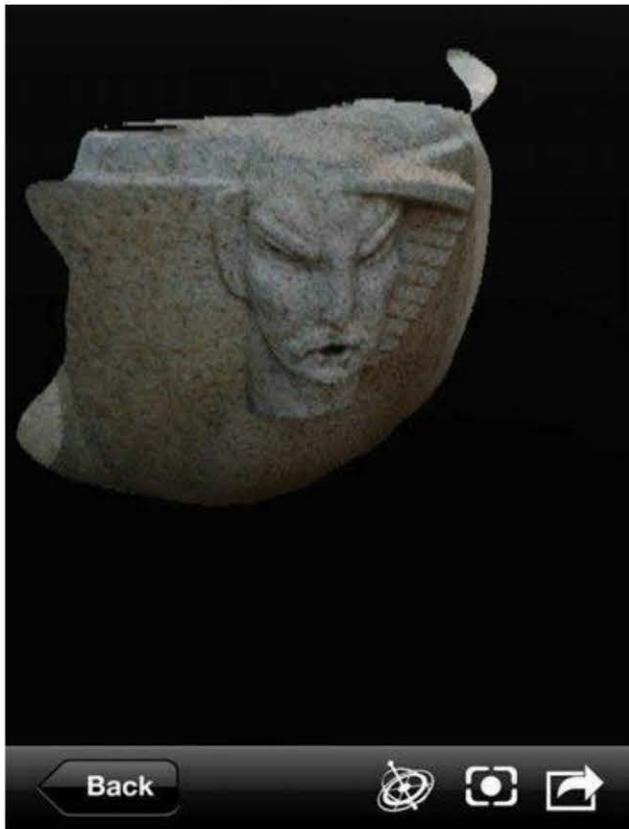


Figure 6-8. La photoscène complète sur iPhone

Si vous utilisez l'application Windows

Téléchargez les photos sur votre ordinateur, puis ouvrez 123D Catch et sélectionnez Create a New Capture. Une

fenêtre apparaît alors, dans laquelle vous devez vous connecter avec votre compte Autodesk (à créer si ce n'est pas déjà fait) pour poursuivre.

Une nouvelle fenêtre s'ouvrira ensuite, vous permettant de charger les photos depuis votre ordinateur sur le serveur de 123D Catch.

Une fois que les photos ont été chargées, cliquez sur Create Project. Une boîte de dialogue vous demande alors de nommer, taguer et décrire votre capture. Complétez le formulaire et cliquez sur Email Me (vous pouvez aussi choisir Wait, mais cela peut prendre un certain temps, selon le nombre de photos et la disponibilité du serveur).

Si vous avez utilisé votre appareil photo et que vous n'avez pas Windows

Téléchargez les photos sur votre ordinateur, puis allez sur <http://apps.123dapp.com/catch> pour les charger. Après avoir parcouru l'introduction, cliquez sur Create New dans le menu, puis sur Add Images pour les charger sur le serveur, comme sur la figure ci-dessous.

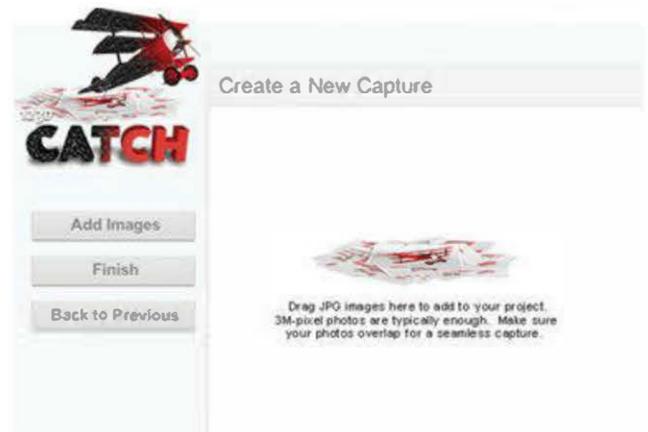


Figure 6-9. Chargement en ligne sur le serveur

Une fois les photos chargées, cliquez sur Finish. 123D Catch vous demande de

vous connecter (ou de créer un compte si vous n'en avez pas). Commencera alors le chargement.

Une fois terminé, vous devez attribuer un titre, des tags, une description et une catégorie à votre capture. Cliquez enfin sur Create Model pour démarrer le traitement.

Quand vous chargez des photos depuis l'application Windows ou web de 123D Catch, vous pouvez sélectionner toutes vos images pour les charger en une seule fois. Pas besoin de les charger une par une.

Ce traitement peut prendre un certain temps, mais vous n'avez pas besoin d'attendre anxieusement devant votre ordinateur. Quand le scan sera prêt, un e-mail vous en informe.

Télécharger le maillage

Une fois que votre photoscène est disponible, vous aurez besoin de récupérer le fichier dans un format éditable.

Allez à l'adresse <http://www.123dapp.com/MyCorner> et connectez-vous. Quelle que soit la méthode utilisée pour charger des photos, vos scans 3D se trouveront toujours dans le dossier Models and Projects.

Cliquez sur un projet pour l'ouvrir, puis téléchargez un fichier STL pour imprimer à la maison, ou éditez votre modèle en ligne en utilisant les applications 123D.

Il existe des outils d'édition en ligne et des versions de bureau d'123D Catch que vous pouvez utiliser pour découper et préparer les modèles pour l'impression, que ce soit en ligne ou sur votre propre machine. La version en ligne est cependant plus à jour et comporte de meilleurs outils.

ReconstructMe

ReconstructMe est un logiciel de reconstruction qui vous donne une visualisation en temps réel de votre scan pendant que le modèle 3D est créé. Il fonctionne avec la Kinect de Microsoft (versions Xbox et PC) et la Xtion Pro d'ASUS. Ne tournant que sous Windows, il nécessite une carte graphique de très bonne qualité. Deux versions sont disponibles à l'heure actuelle : une version gratuite/non commerciale et une version payante/commerciale. Cet outil est excellent pour scanner de grands objets, comme des personnes, mais ne convient pas pour de petites pièces comportant beaucoup de détails.

ReconstructMe est actuellement le moyen le plus simple et le plus rapide d'obtenir des scans 3D, mais il présente quelques limitations techniques inévitables inhérentes à ce type de logiciel. Tout d'abord, il ne fonctionne que sous Windows, bien qu'il puisse également être exécuté sous Mac via une machine virtuelle ou BootCamp. Ensuite, il requiert une carte graphique très puissante. Enfin, il est très sensible à la version d'OpenCL (une librairie graphique qui peut exécuter des instructions sur votre carte graphique) installée sur votre ordinateur. ReconstructMe évoluant constamment, référez-vous à sa documentation officielle pour connaître les cartes graphiques supportées : <http://reconstructme.net/projects/reconstructme-console/installation>.

ReconstructMe QT (<http://reconstructme.net/projects/reconstructmeqt>) est une interface utilisateur graphique qui est une alternative à la version console de ReconstructMe. Utilisant le SDK de ReconstructMe, elle est disponible en version gratuite ou payante. Nous n'avons pas réussi à faire fonctionner la ver-

sion gratuite correctement : la caméra perdait le focus et il était impossible de créer un scan complet.

Installer ReconstructMe

Allez sur <http://reconstructme.net/projects/reconstructme-console> et téléchargez au choix la version Lite gratuite (<http://reconstructme.net/pricing>) ou la version gratuite pour développeurs (<http://reconstructme.net/projects/sdk>).

L'installation de ReconstructMe sur des machines virtuelles est expérimentale et vos résultats peuvent varier.

Installer ReconstructMe sur un Mac via une machine virtuelle

Vous pouvez installer ReconstructMe sur un Mac sans passer par BootCamp, en faisant tourner Windows sur une machine virtuelle Parallels ou VMware Fusion. Tout se passera exactement comme sur un PC, à une exception près : vous ne pourrez pas installer les mises à jour des drivers graphiques de la machine virtuelle en les téléchargeant sur le site du constructeur. Vous devrez installer OpenCL séparément. Vous trouverez à cette adresse l'exécutable pour Windows du driver Intel : <http://software.intel.com/en-us/vcsourcetools/opencl-sdk>.

Si vous choisissez d'utiliser ReconstructMe sur une machine virtuelle, vous ne pourrez pas scanner en temps réel. Il vous faudra d'abord enregistrer votre objet avec l'outil ReconstructMe Record, puis compléter le scan avec ReconstructMe Replay.

Quelques conseils pour se scanner soi-même (ou quelqu'un d'autre)

Une fois ReconstructMe installé, reportez-vous à l'adresse <http://reconstructme.net/projects/reconstructme-console/usage> pour apprendre à l'utiliser. Il existe différents modes de numérisation et plusieurs résolutions sont possibles. Par ailleurs, de nouvelles fonctionnalités sont ajoutées régulièrement.

Si vous constatez des crashes en modes standard et haute résolution, vous pourriez avoir besoin de l'outil ReconstructMe Record. Après avoir enregistré votre scan, rejouez l'enregistrement avec ReconstructMe Replay et sauvegardez votre fichier au format STL.

Lorsque vous aurez réussi à installer ReconstructMe et à le faire fonctionner, voici quelques astuces pour vous scanner (ou scanner quelqu'un).

1. Asseyez-vous sur un fauteuil de bureau pivotant.
2. Placez votre Kinect ou votre Xtion de façon à ce que le haut du corps soit visible dans la zone de scan.
3. Tournez lentement sur vous-même en gardant le haut du corps dans la même position.
4. Enregistrez le fichier au format STL (attendez bien que la capture soit finie, pendant que le terminal est ouvert, ou vous perdrez votre travail).
5. Si le programme se termine inopinément, à cause de votre carte graphique ou d'une saturation de la mémoire, essayez d'utiliser l'outil ReconstructMe Record pour enregistrer votre scan et le rejouer ensuite pour reconstruire le maillage.

Quand vous vous scannez, commencez la numérisation dos à votre Kinect et face à votre ordinateur. De cette façon, les mouvements de vos bras ne seront pas capturés quand vous tapoterez votre clavier pour lancer ou stopper l'opération de scan.

Après avoir sauvegardé le fichier STL, ouvrez-le dans MeshLab ou Pleasant3D et inspectez-le.



Figure 6-10. Un scan d'Anna Kaziunas France

Dans ce chapitre, tous les scans assurés par ReconstructMe ont été réalisés via BootCamp sur un Mac-Book Pro de mi-2010 15 pouces, doté d'un processeur Intel Core i7 à 2.66 GHz, de 8 Go de RAM et d'OS X 10.8.1 (Mountain Lion). La carte graphique était une NVID-

IA GeForce GT 330M de 512 Mo. Cette configuration nous a permis d'utiliser le mode de reconstruction en temps réel, mais nous n'avons pas réussi à utiliser la haute résolution de ReconstructMe, ce qui explique le faible niveau de détail au niveau du visage de la figure 6-10. Cela dit, ReconstructMe capture très bien les plis dans un tissu, aussi Anna a porté un chapeau et une écharpe pour compenser le manque de finesse du scan. Les cols de chemises, les cravates et les cheveux lisses sont aussi très bien rendus.

Une poignée pour votre Kinect !

Si vous avez l'intention de scanner d'autres personnes ou objets, une poignée (<http://www.thingiverse.com/thing:18125>) ou un trépied (<http://www.thingiverse.com/thing:6930>) rendra votre Kinect plus maniable (voir ci-dessous).



Figure 6-11. Une Kinect avec sa poignée

Nettoyer et réparer les scans pour l'impression 3D

Alors qu'il devient de plus en plus facile de créer des scans 3D de qualité, la production de fichiers imprimables reste encore parfois délicate. Avant d'imprimer vos scans 3D, vous devez en effet les nettoyer, les éditer et les réparer.

Les problèmes les plus courants sur un scan 3D sont :

- les trous ;
- les parties disjointes ;
- les résidus présents autour de l'objet mais n'en faisant pas partie ;
- les objets non fermés.

Heureusement, l'analyse des erreurs dans un fichier STL n'a jamais été aussi facile. Chacun des logiciels présentés ci-après a ses qualités propres, si bien qu'en les combinant, on peut éditer et imprimer des scans d'excellente qualité.

Tony Buser a créé un tutoriel vidéo essentiel sur le nettoyage et la réparation des scans 3D, dont nous nous sommes largement inspirés pour la suite de ce chapitre : www.vimeo.com/38764290 (en anglais).

netfabb

Le logiciel netfabb (voir figure 6-12) vous permet de visualiser et d'éditer vos maillages. Disposant d'outils performants d'analyse et de réparation de fichiers STL, il offre la possibilité de découper facilement des morceaux de scans pour les corriger. Vous pourrez notam-

ment l'utiliser pour sectionner la base de votre objet, afin de la rendre plane pour le plateau d'impression.

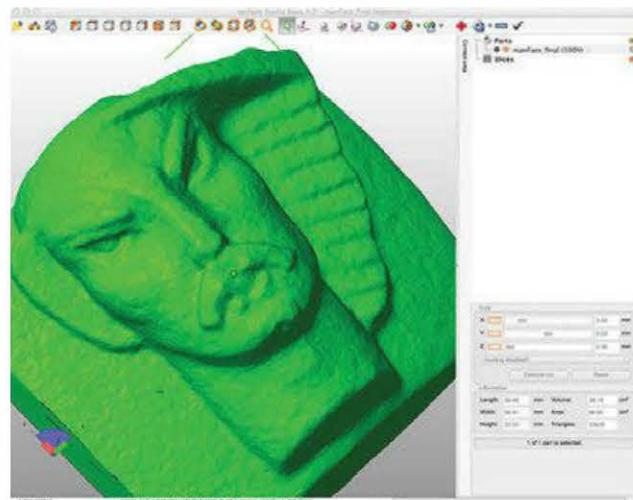


Figure 6-12. Le scan 3D d'un visage sculpté, réalisé par 123D Catch et ouvert dans netfabb

Ce logiciel existe en tant qu'application de bureau ou service cloud. Il est aussi disponible sous forme de visualiseur de fichiers STL sur iPhone, avec connexion aux services cloud. netfabb Studio est proposé en version Professional ou Basic (gratuite). Il fonctionne sous Windows, Linux et Mac.

Autodesk MeshMixer

MeshMixer (www.meshmixer.com) est un outil idéal pour combiner plusieurs modèles 3D en un seul (voir figure ci-après). Il traite très bien les bosses, les *blobs* (erreurs générées par le système, similaires au bruit en photographie) et autres étranges artefacts qui peuvent apparaître dans les fichiers de scan. C'est aussi une excellente application pour réparer les modèles auxquels il manque une face, un dessus ou une base, et les rendre imprimables.

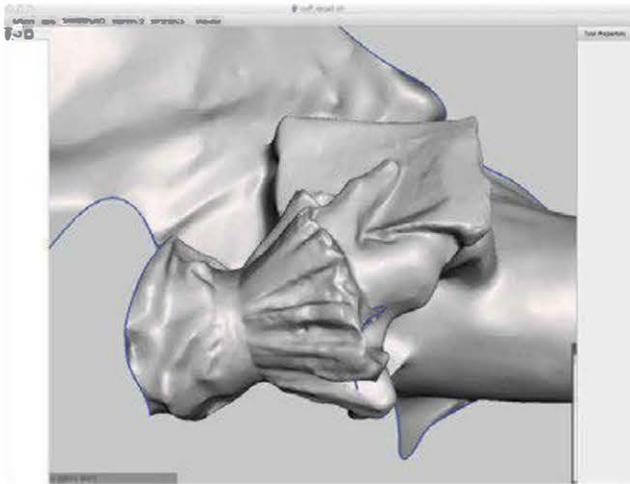


Figure 6-13. Le scan 3D d'une statue, réalisé par 123D Catch et ouvert dans MeshMixer

MeshLab

Le logiciel MeshLab (<http://meshlab.sourceforge.net>) permet de réparer et d'éditer les maillages, mais il est surtout connu pour son filtre Poisson, qui lisse et adoucit les surfaces d'un modèle 3D avant impression (voir figure ci-dessous).

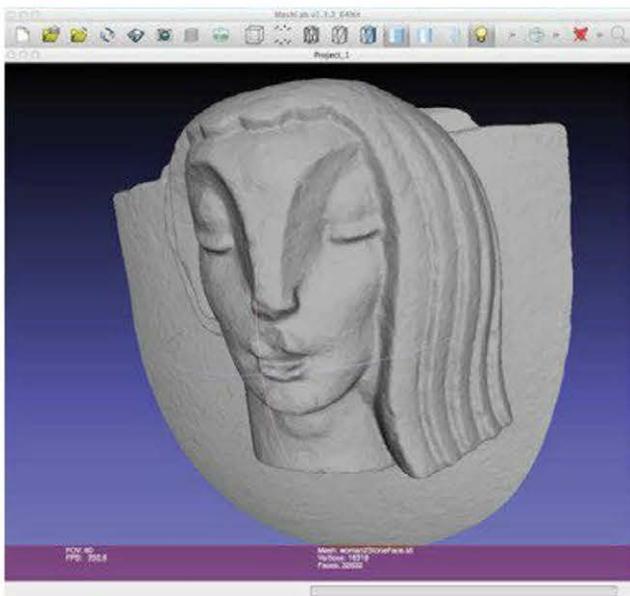


Figure 6-14. Le scan 3D d'un visage sculpté, visualisé dans MeshLab

Avec cet outil, il est très facile de faire pivoter le modèle avec la souris, ce qui en fait aussi un excellent visualiseur STL. Il est disponible en tant qu'application de bureau pour différents systèmes d'exploitation, et comme visualiseur pour iOS et Android. Voir aussi la section « Lisser la surface du maillage », page 84.

Pleasant3D

Disponible uniquement sous Mac, Pleasant3D (<http://www.pleasantsoftware.com/developer/pleasant3d>), montré sur la figure ci-dessous, est un logiciel formidable qui permet de visualiser et de redimensionner un fichier STL en utilisant des unités spécifiques (au contraire de MakerWare). Il est également capable de convertir les fichiers STL ASCII en binaire STL. Il propose la visualisation du G-code, ce qui vous donne un aperçu en 3D de la future impression de votre modèle.

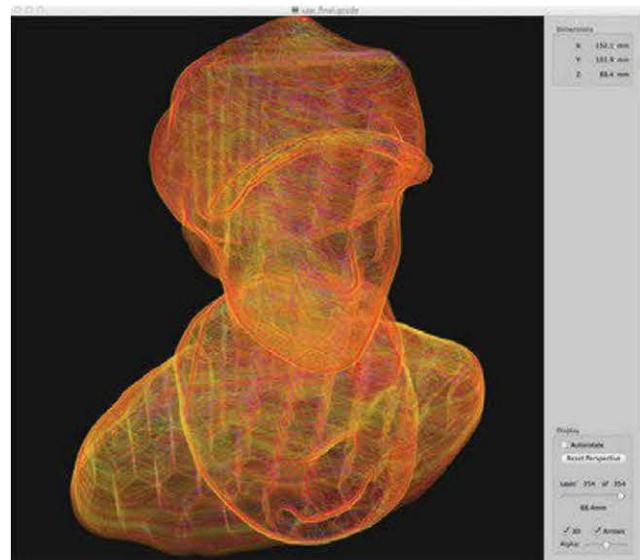


Figure 6-15. Prévisualisation du G-code dans Pleasant3D

Réparer la plupart des scans 3D

La plupart des scans 3D que vous obtiendrez seront globalement satisfaisants, mais comporteront souvent des trous, des éléments en trop et autres petits défauts que vous devrez corriger à l'aide des logiciels présentés précédemment. Cette section va vous montrer comment procéder. En revanche, si vos scans possèdent d'énormes trous, s'ils se résument à la façade d'un bâtiment ou au relief d'une sculpture, ou encore si des zones entières du maillage sont manquantes, reportez-vous à la section « Réparations de scans 3D par fermeture de surface », page 86.

Réparer et nettoyer dans netfabb

Lancez netfabb Studio Basic et ouvrez le fichier STL de votre modèle via le menu Project>Open (voir figure ci-dessous).

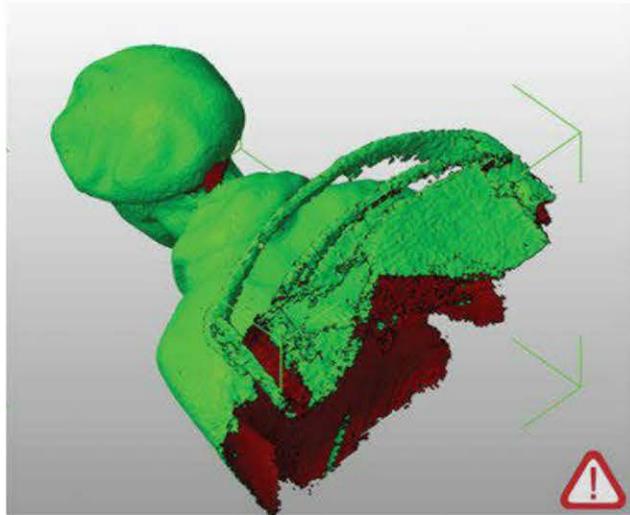


Figure 6-16. Un scan 3D réalisé par ReconstructMe et ouvert dans netfabb

Pour réparer et nettoyer le modèle, suivez les étapes suivantes.

Afficher la plate-forme

Pour vous aider à voir l'orientation du modèle, allez dans le menu View>Show Platform. Si vous ne voyez toujours pas la plate-forme jaune, dézoomez un peu.

Réorienter le modèle

Pour positionner l'objet sur l'origine de la plate-forme, allez dans le menu Part>Move. Dans la boîte de dialogue, sélectionnez alors le bouton Origin et cliquez sur Move.

À présent, zoomez dans votre modèle en allant dans View>Zoom To>All Parts.

Cliquez sur l'outil de sélection (la flèche), puis sur le modèle pour le sélectionner. Déplacez ensuite l'outil de sélection sur le coin vert qui apparaît autour du modèle sélectionné.

L'outil de sélection se transforme alors en un symbole de rotation. Avec la souris, pivotez le modèle, en l'inclinant de sorte que la tête soit dirigée vers le haut et le corps vers le bas en direction de la plate-forme, comme illustré ci-après.

Pour vous déplacer sur l'écran dans netfabb, cliquez-glissez avec la souris tout en maintenant la touche Alt enfoncée.

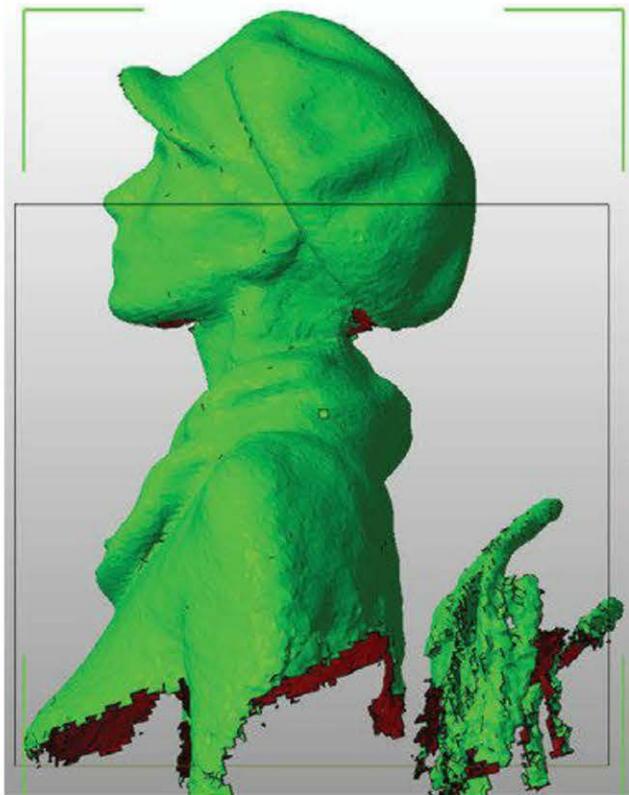


Figure 6-17. Le scan 3D réorienté

Ajuster l'orientation du modèle

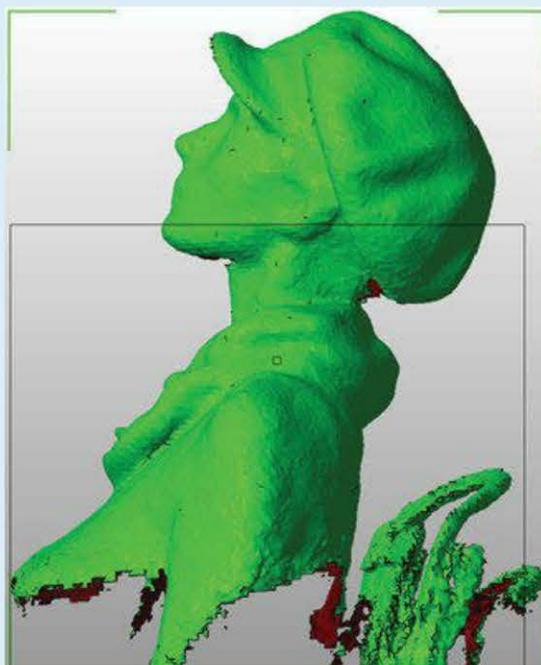
Vous devrez changer de point de vue et tourner votre modèle plusieurs fois pour bien l'orienter sur la plate-forme. Essayez de le positionner de telle sorte que les épaules soient à la même hauteur.

Pour changer de point de vue, allez dans le menu View ou cliquez sur les faces du cube situé dans la barre d'outils principale, en haut de l'écran. Orientez le modèle par rapport au volume d'impression.

Avec les outils de rotation, inclinez légèrement la tête du modèle en arrière pour aider l'imprimante à gérer le porte-à-faux du menton (souvenez-vous de la règle des 45°, voir page 5).

Vérifier les porte-à-faux

Le modèle de la figure ci-dessous comporte un important porte-à-faux au niveau du menton et un autre derrière la tête. Essayez de les minimiser lors de la création du scan. Nous avons ajouté des supports externes pour l'impression de l'arrière de la tête. Il n'y en a pas eu sous le menton, mais ça s'est bien imprimé malgré tout !



Donner à l'objet une base plane

Utilisez les outils de découpe, à droite de l'écran, pour enlever les éléments en trop à la base de l'objet afin qu'elle soit parfaitement plane. Pour cela, déplacez le curseur Z jusqu'à ce que la ligne de découpe bleue supprime bien tous les résidus de numérisation. Puis cliquez sur le bouton Execute Cut et validez en appuyant sur Cut.

Cliquez alors sur la partie découpée du modèle, qui va prendre une couleur verte (voir figure 6-18).

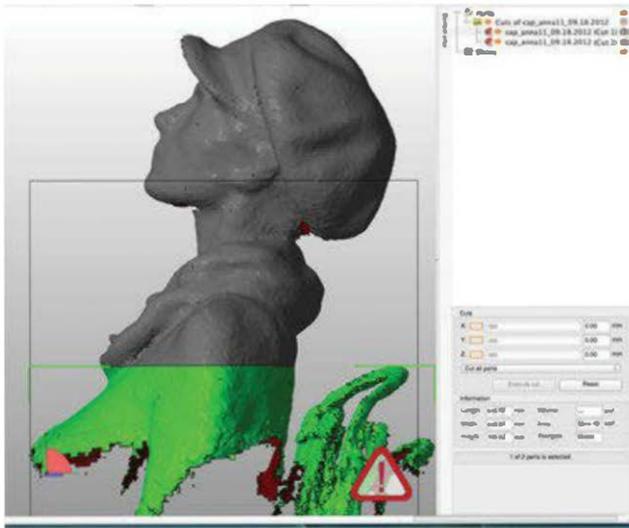


Figure 6-18. L'élément découpé du modèle, une fois sélectionné

Supprimer l'élément découpé

Allez dans la rubrique Parts, qui est maintenant visible en haut à droite de l'écran. Cliquez sur la croix située en regard de l'élément que vous voulez supprimer : netfabb vous demandera alors si vous souhaitez *vraiment* le faire. Cliquez sur OK.

Votre modèle possède désormais une base parfaitement plane.

Positionner le modèle

Positionnez le modèle sur la plate-forme en allant dans le menu Part>Move, en sélectionnant le bouton To Origin dans la boîte de dialogue et en cliquant sur Move (voir figure 6-19).

Réparer les trous

Nous devons à présent nous occuper de réparer les trous figurant dans le modèle. Il y en aura probablement un gros sous le menton, puisque le scanner n'a pas obtenu suffisamment d'informations dans cette zone. Il pourra également y avoir un second au sommet de la tête.

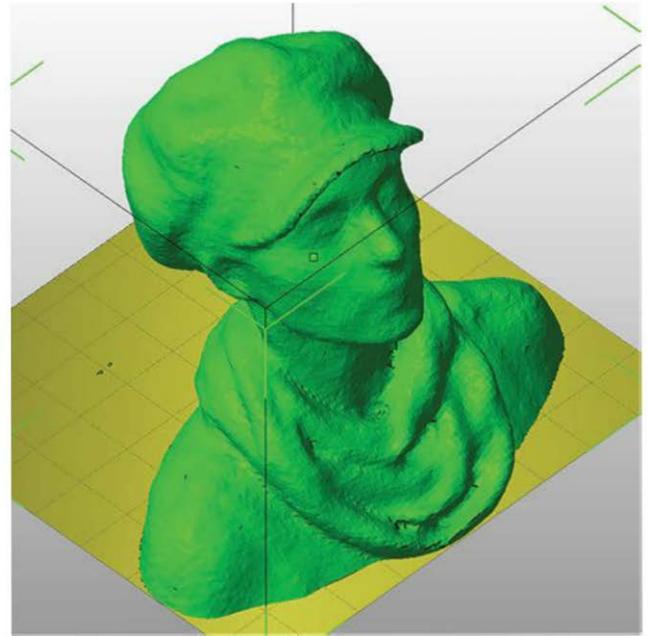


Figure 6-19. Le modèle déplacé sur la plate-forme

Sélectionnez l'outil Repair (la petite croix rouge). En conséquence, le modèle devient bleu et les triangles du maillage apparaissent. Les zones jaunes sont celles qui nécessitent une réparation. Pour réparer le modèle, cliquez sur le bouton Automatic Repair.

Sélectionnez ensuite l'option Default Repair dans la boîte de dialogue qui apparaît et cliquez sur Execute. netfabb vous demande alors si vous souhaitez supprimer l'ancien modèle : confirmez la suppression en cliquant sur Yes.

Appuyez enfin sur le bouton Apply Repair, en bas à droite de l'écran. Dans la boîte de dialogue qui apparaît, sélectionnez Yes pour confirmer que vous souhaitez supprimer l'ancien modèle. La figure suivante vous montre le nouveau modèle, une fois réparé.

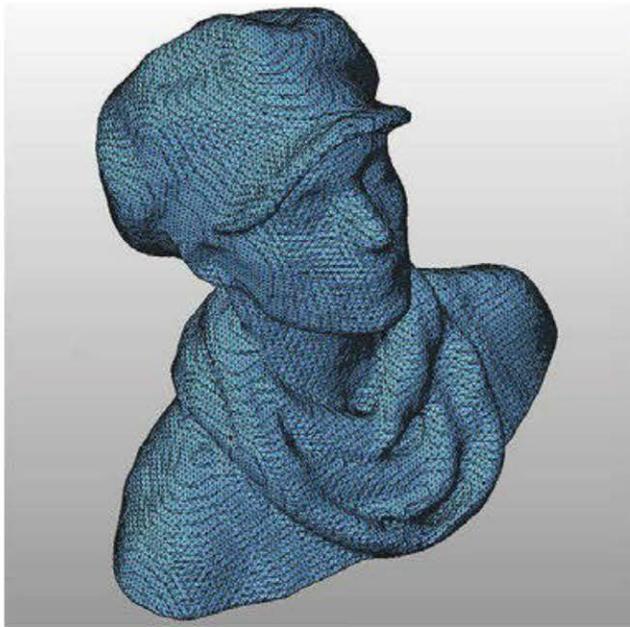


Figure 6-20. Regardez tous ces triangles !

Enregistrer dans le format de fichier netfabb

Pour pouvoir l'éditer ultérieurement, enregistrez votre projet netfabb en allant dans le menu Project>Save As.

Exporter en STL

Exportez le fichier en STL en allant dans le menu Part>Export Part>STL.

netfabb vous avertira si des problèmes subsistent dans le fichier. Si vous voyez une grande croix rouge apparaître quand vous essayez d'exporter le modèle, c'est qu'il demeure des réparations à effectuer. Cliquez alors sur le bouton Repair dans la boîte de dialogue et la croix devrait se transformer en une grande coche verte.

Cliquez enfin sur Export pour enregistrer le fichier STL.

Lisser la surface du maillage

Dans certains cas, vous souhaitez lisser la surface de votre modèle afin que son impres-

sion 3D soit douce et brillante. Le filtre Poisson de MeshLab vous y aidera.

Si vous avez réussi à créer un scan en haute résolution avec ReconstructMe, un léger adoucissement pourra être salutaire avant impression. Pour les scans de résolution moyenne réalisés avec ce logiciel, ignorez la section de cet ouvrage afin de conserver un bon niveau de détail sur votre modèle.

Ouvrir MeshLab

Créez un nouveau projet en allant dans le menu File>New Empty Project.

Rendez-vous ensuite dans le menu File>Import Mesh pour ouvrir votre fichier STL dans MeshLab.

Une boîte de dialogue apparaît, vous demandant si vous souhaitez unifier les vertex dupliqués : cliquez sur OK.

Activer les calques

Dans la barre d'outils supérieure, allez dans le menu View>Show Layer Dialog.

Appliquer le filtre Poisson

Allez dans le menu Filters>Point Set>Poisson Filter>Surface Reconstruction Poisson. Dans la boîte de dialogue, réglez le paramètre Octree Depth à 11 (c'est la meilleure valeur possible, au-delà, MeshLab risque de planter).

Cliquez ensuite sur Apply.

Masquer le maillage d'origine

Une fois le filtre Poisson appliqué, il devrait maintenant y avoir deux maillages : celui d'origine et celui nommé Poisson Mesh.



Figure 6-21. Le maillage initial

Cliquez sur le petit œil vert du nom du fichier pour masquer le maillage initial. Vous devriez constater un bel adoucissement de la surface du modèle, voir ci-dessous.

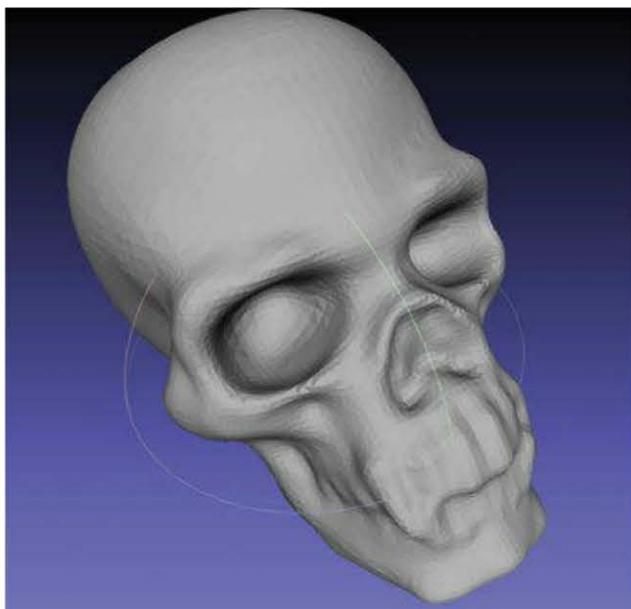


Figure 6-22. Le maillage après application du filtre Poisson. Le maillage d'origine a été masqué.

Enregistrer le fichier au format STL

Pour enregistrer le fichier au format STL, allez dans le menu File>Export Mesh As, en conservant les options d'export par défaut.

Vous pouvez voir une impression d'un crâne sur la figure suivante.



Figure 6-23. Impression d'un crâne scanné à la World Maker Faire de New York

Supprimer les bosses et les blobs avec MeshMixer

Selon l'état de votre scan 3D une fois qu'il aura été réparé (et peut-être lissé), vous souhaitez sûrement en supprimer les petites défauts comme les bosses et les blobs. Dans le cas contraire, ignorez la section de ce livre.

Importer le fichier STL

Ouvrez MeshMixer et importez votre fichier STL en cliquant sur Import dans la barre d'outils supérieure.

Aplanir les défauts

Sélectionnez la brosse Smooth dans le haut de l'écran. Pour ajuster sa taille,

utilisez la molette de la souris ou bien passez par le menu de droite.

Cliquez-glissez sur les zones cabossées pour les aplanir. Lorsque le résultat vous satisfait, exportez le fichier au format STL.

Un dernier nettoyage dans netfabb

Réouvrez le fichier STL dans netfabb.

Si vous avez utilisé le filtre Poisson dans MeshLab, le dessous de votre objet sera certainement bosselé. Pour l'aplanir à nouveau, il vous faudra le redécouper.

Réparez ensuite le modèle et exportez-le au format STL.

Imprimer le modèle

Votre modèle est maintenant nettoyé, réparé et prêt à être imprimé ! Ouvrez-le dans MakerWare, redimensionnez-le et réorientez-le si besoin sur le plateau d'impression, puis lancez son impression.



Figure 6-24. L'impression finale du scan ReconstructMe

Les réparations de scans 3D par fermeture de surface

Il peut arriver que votre maillage de bâtiment ou de sculpture comporte des vides importants (dessus, côté ou arrière manquant). Ainsi, le cas se présente souvent avec 123D Catch lorsque vous n'avez pas pu scanner complètement un objet de grande taille. Pour y remédier, il vous faudra créer un modèle fermé en « bouchant » la pièce que vous souhaitez imprimer. Les logiciels MeshMixer et netfabb y parviennent très bien.

Si votre modèle contient beaucoup de résidus, mieux vaut d'abord les supprimer dans netfabb avant de l'éditer dans MeshMixer. Si certains ne peuvent pas l'être avec cette méthode, utilisez l'outil Lasso de MeshMixer pour les sélectionner et les enlever un à un.

MeshMixer ne possède pas de boutons pour zoomer et se déplacer autour d'un modèle. Pour ce faire, vous devrez utiliser les raccourcis clavier tout en glissant la souris, (voir aussi www.meshmixer.com/help/index.html).

Les contrôles basiques de vues dans MeshMixer incluent :

- Alt+clic gauche : tourner autour de l'objet ;
- Alt+clic droit : zoomer ;
- Alt+Maj+clic gauche : se déplacer sur l'écran.

Réparer les trous, les zones disjointes et les éléments déconnectés

Quand votre scan comporte d'importantes zones manquantes, vous devez d'abord réparer les trous, les zones disjointes et les éléments déconnectés. Nous allons traiter ces problèmes dans cet ordre.

Commencez par ouvrir MeshMixer et importez votre fichier STL ou OBJ (voir figure ci-dessous).

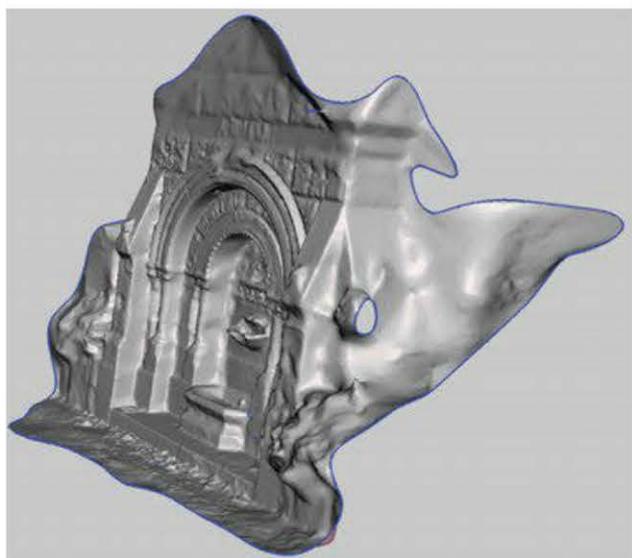


Figure 6-25. Scan ouvert dans MeshMixer

Dans la barre de navigation, cliquez sur Analysis. Votre modèle aura maintenant un certain nombre de sphères colorées autour de l'objet, comme sur la figure suivante.

Les sphères rouges représentent les zones disjointes.

Les sphères magenta représentent les éléments complètement déconnectés.

Les sphères bleues représentent les trous.

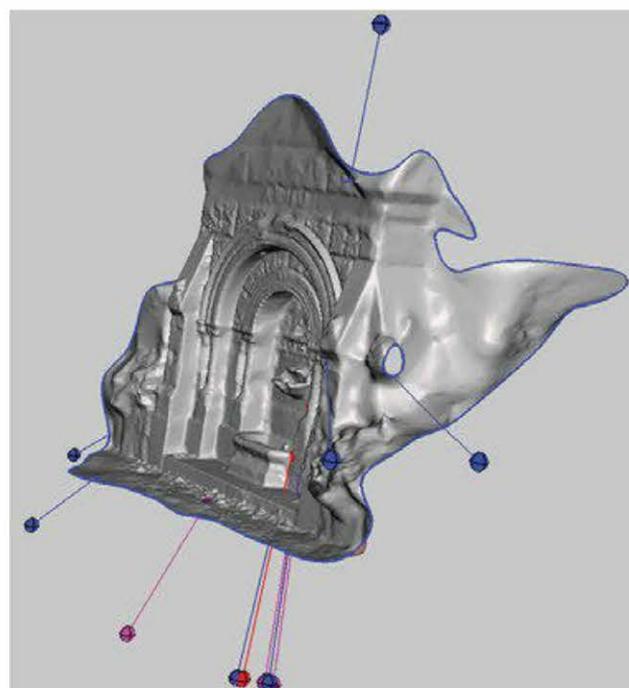


Figure 6-26. Les problèmes de maillage de l'objet sont repérés par des sphères.

Localiser la sphère qui pointe sur un gros trou

Avec la souris, tournez autour de l'objet (Alt+clic gauche) et repérez la sphère bleue pointant sur le gros trou qu'on cherche à supprimer. Dans cet exemple, il se trouve à l'arrière de la fontaine. Notez bien cet emplacement, nous y reviendrons après avoir traité tous les autres problèmes. Il est entouré dans la figure suivante par un cercle rouge.



Quand vous traitez un maillage comportant de gros trous ou des zones vides, ne lancez pas d'auto-réparation en cliquant sur AutoRepair All, car le logiciel planterait immédiatement. Il est nécessaire de contrôler parfaitement l'opération de correction. Sinon, vous vous retrouverez avec un gros blob en guise de réparation alors que vous souhaitez obtenir une belle surface lisse.

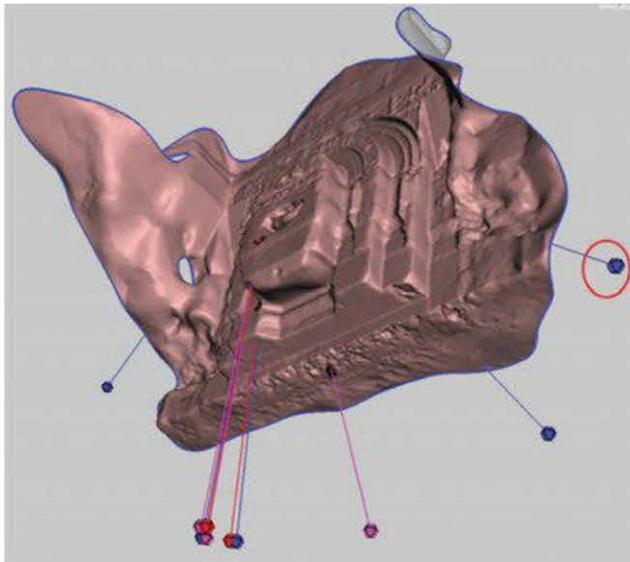


Figure 6-27. La sphère pointant sur le plus gros problème de maillage est entourée en rouge.

Réparer les défauts

Pour corriger un défaut, il suffit de cliquer sur sa sphère. Un clic droit sélectionne la zone concernée et permet d'éditer la partie sélectionnée du maillage, grâce aux options d'édition apparues sur le côté de l'écran.

Effectuez d'abord un clic gauche sur chaque sphère rouge ou magenta pour fermer les zones disjointes et reconnecter les éléments. Chaque sphère et son filet de conduite disparaîtront dès que le défaut correspondant aura été réparé.

Ensuite, cliquez sur les sphères bleues pour réparer les trous, à l'exception de celle mentionnée plus haut. Tournez autour de l'objet pour être certain de les avoir toutes traitées.

Sélectionner la dernière sphère

À présent, cliquez droit sur la dernière sphère bleue pour la sélectionner (voir figure 6-28).

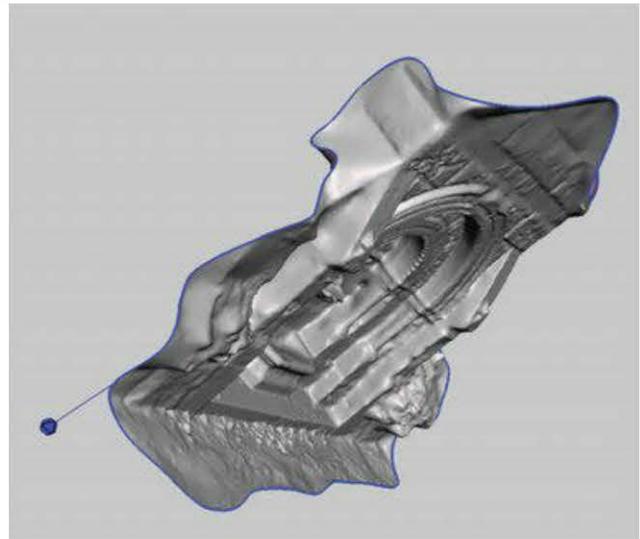


Figure 6-28. Il ne reste plus qu'une sphère : c'est le moment de fermer le trou.

Les bords bleus de l'objet prennent alors une teinte orange foncé là où le maillage est sélectionné, voir ci-dessous.

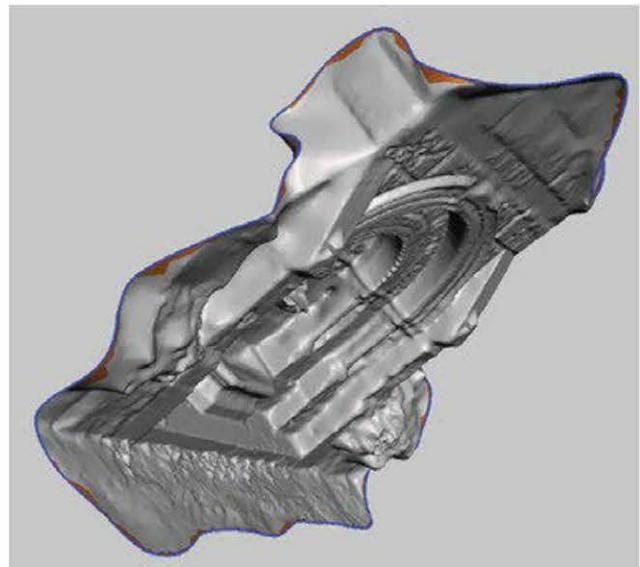


Figure 6-29. Les bords sélectionnés

Lisser les bords

À partir du menu figurant en haut de l'écran, choisissez Analysis, puis Smooth Boundary (voir figure 6-30).

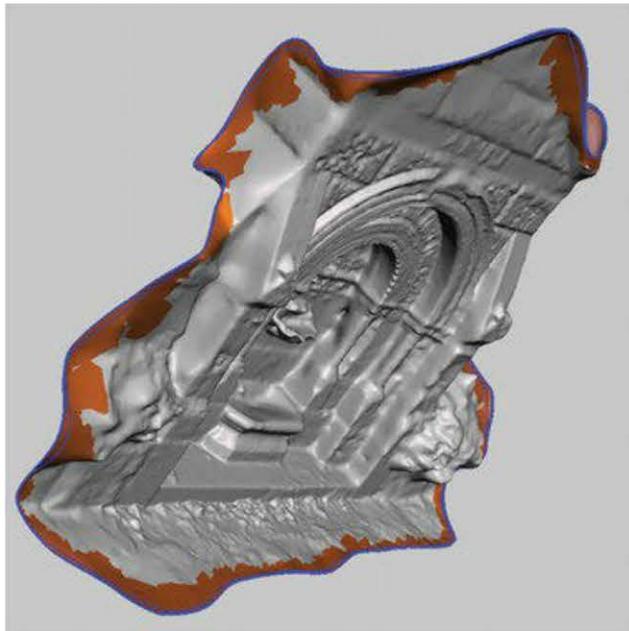


Figure 6-30. Les bords à lisser

Cliquez alors sur Accept. La figure suivante présente le résultat.

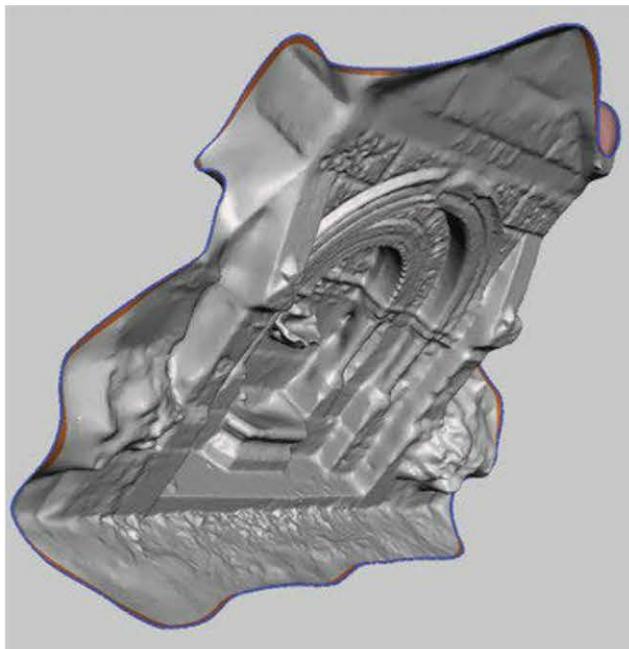


Figure 6-31. Le lissage achevé

Refermer les grandes zones de vide

Tout d'abord, assurez-vous d'avoir bien suivi les étapes précédentes permettant de réparer le modèle et de lisser les bords.

Pivoter le modèle si nécessaire

Dans cet exemple, le modèle nécessite d'être tourné afin d'accéder aux zones à extruder. Il se peut en effet que vous deviez changer de vue pour mieux visualiser les zones vides sur l'objet.

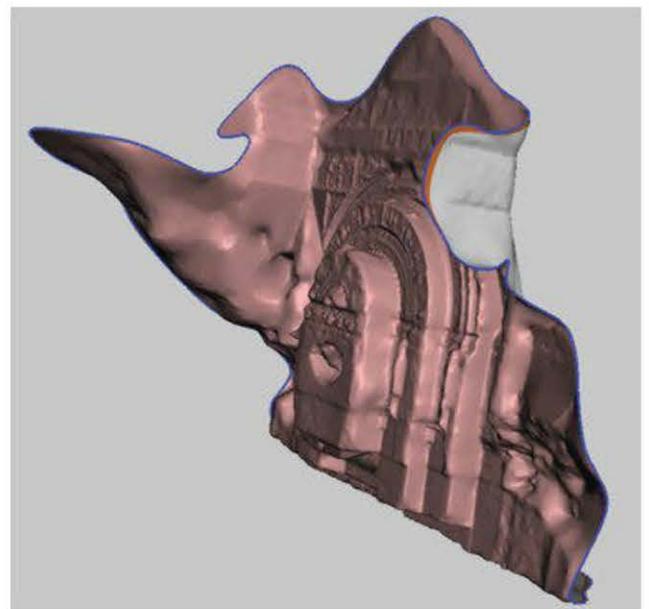


Figure 6-32. Le modèle correctement orienté

Sélectionner Extrude

En vérifiant que le modèle est toujours bien sélectionné, cliquez sur Edits dans la barre de menus supérieure, puis sur Extrude.

Dans MeshMixer, les maillages resteront normalement sélectionnés jusqu'à ce que vous cliquiez sur Clear Selection dans la barre de menus supérieure.

Extruder le modèle

Dans le panneau des options d'extrusion qui s'est ouvert sur la droite, sélectionnez Flat dans la liste déroulante EndType.

Choisissez une valeur négative pour le paramètre Offset. Pour cela, il suffit d'agir avec la souris sur la barre grisée correspondante, en l'allongeant ou en la raccourcissant.

Il se peut que vous deviez aussi modifier le paramètre Direction, afin d'obtenir une extrusion bien droite. Dans cet exemple, nous avons choisi une extrusion selon l'axe y.

Lorsque le résultat vous satisfait, cliquez sur Accept dans la barre de menus supérieure. Notre modèle ressemble désormais à la figure suivante.

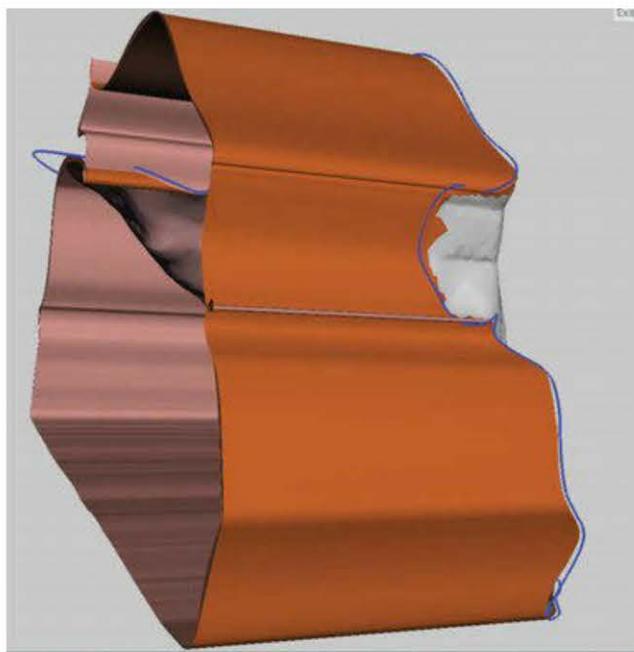


Figure 6-33. Les côtés extrudés

Lisser, puis pivoter

Dans la barre de menus supérieure, cliquez sur Modify Selection et sélectionnez Smooth Boundary.

Cliquez ensuite sur Accept.

Faites pivoter votre modèle de façon à visualiser toute la zone vide.

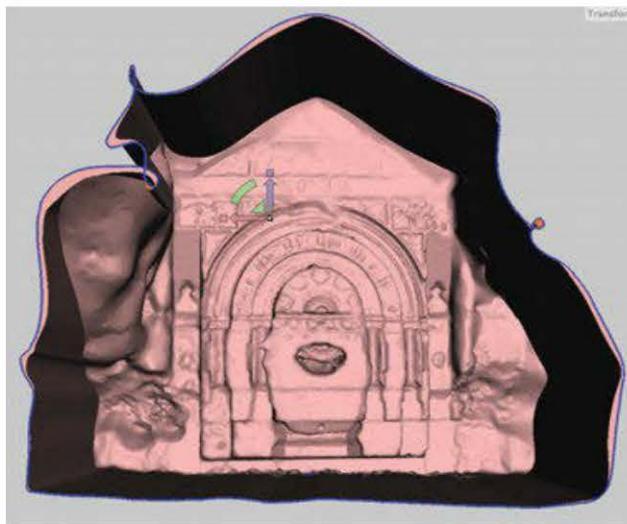


Figure 6-34. Le modèle réorienté



À ce stade, MeshMixer risque parfois de planter, mais vous aurez généralement la possibilité de réouvrir votre modèle. Néanmoins, veillez à enregistrer régulièrement votre fichier au format .mix (celui par défaut de MeshMixer), afin de ne perdre aucune modification.

Transformer les faces

Allez dans le menu Deformations et sélectionnez Transform Faces.

Des flèches correspondant aux axes x, y et z apparaîtront. Procédez alors à l'extrusion en agissant sur le petit rectangle blanc situé entre les flèches. Ne cherchez pas encore à fermer complètement le trou (voir figure suivante).



Figure 6-35. Les faces en cours de remplissage

Cliquez ensuite sur Accept.

Effacer et remplir

À présent, vous pouvez fermer le trou, en sélectionnant Erase & Fill dans le menu Edit. Cliquez enfin sur Accept (voir figure ci-dessous).

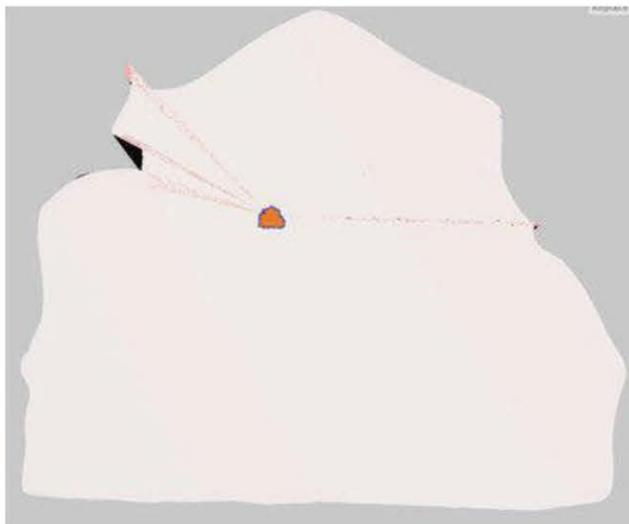


Figure 6-36. Effacement et remplissage

Le modèle final sera ainsi fermé, avec l'arrière « bouché » par une surface plane.

Désélectionner

Sur ce modèle, l'extrusion a créé des arêtes au niveau du toit, qui doivent être lissées et réparées.

Dans la barre de menus supérieure, allez dans le menu Select et choisissez Clear Selection pour annuler la sélection précédente (voir figure ci-dessous).

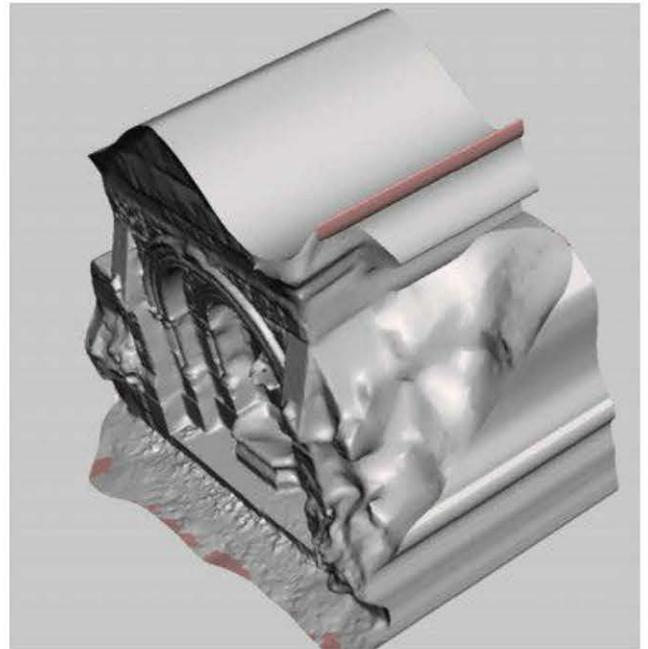


Figure 6-37. Préparer la réduction d'une arête

Lisser avec VolBrush

La brosse standard (Smooth Brush) ne permettant pas de lisser directement ces arêtes, nous devons donc utiliser les outils de brosse additionnels.

Sélectionnez et utilisez les brosses d'aplatissement et de réduction (voir figure 6-38) pour aplanir les arêtes.

Utilisez ensuite la brosse pour adoucir. La figure 6-39 montre les résultats.

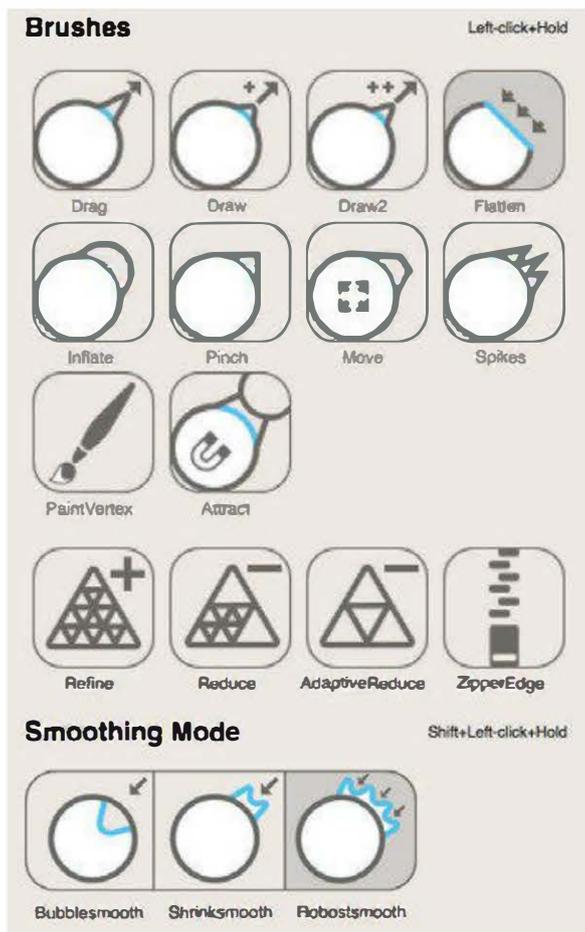


Figure 6-38. Les brosses MeshMixer

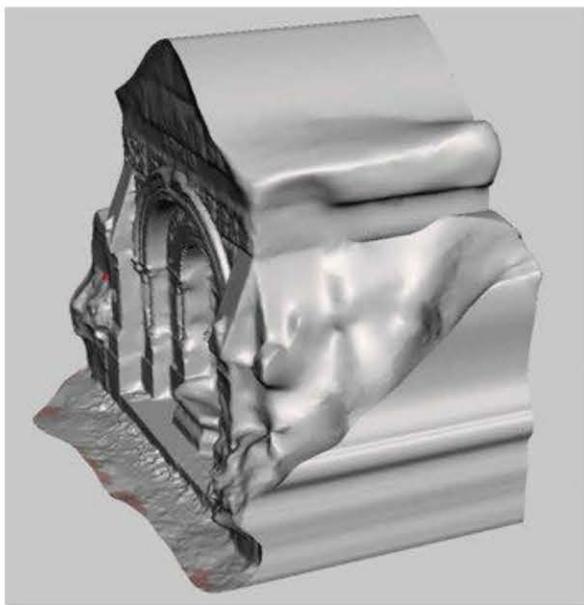


Figure 6-39. Les résultats avec la brosse de réduction

Exportez votre fichier au format STL, puis ouvrez-le dans netfabb.

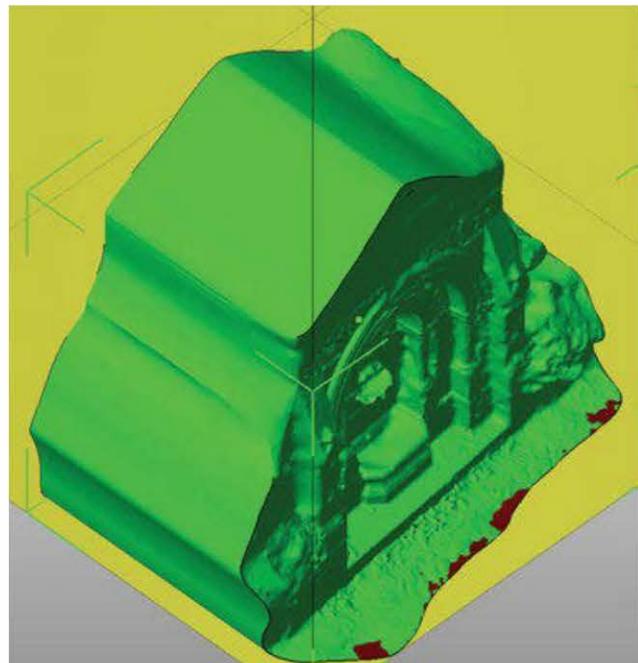


Figure 6-40. Le modèle dans netfabb

Découper et réparer dans netfabb

Utilisez la même méthode déjà décrite dans la section « Réparer et nettoyer dans netfabb » en page 81 pour découper les parties indésirables du modèle, réparer le maillage et exporter le tout en STL binaire. Votre modèle devrait maintenant être fermé, lisse et prêt pour l'impression 3D ! La figure suivante est une photo de l'objet final imprimé.

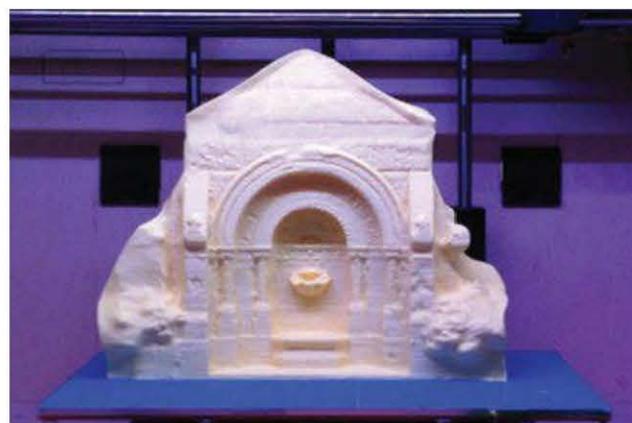
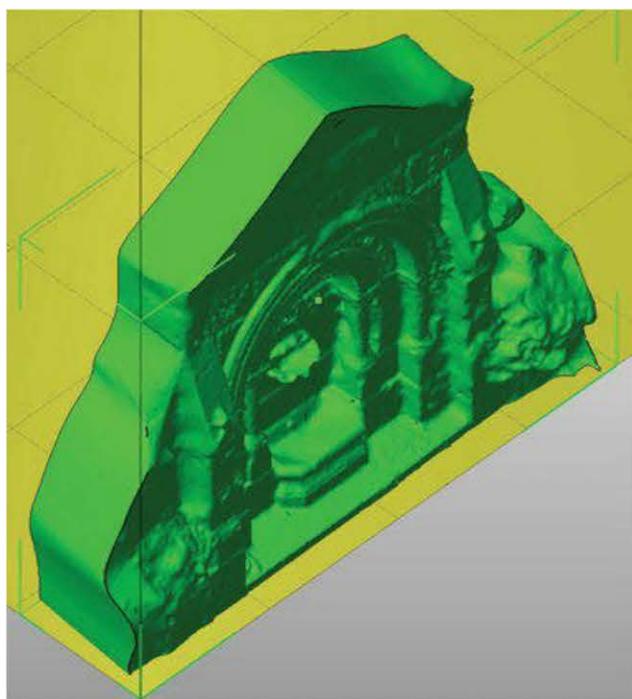


Figure 6-41. À gauche, le modèle prêt à être imprimé ; à droite, le scan imprimé de la fontaine gothique à la sortie du Providence Athenaeum

Scannez en 3D tout ce qui vous entoure !

Avec les outils et les techniques présentés dans ce chapitre, vous voici maintenant paré pour scanner en 3D tout ce qui peut être rendu immobile pendant un petit moment.

Et même si vous n'obtenez que des maillages imparfaits, vous serez toujours en mesure de les nettoyer. C'est le moment de digitaliser le monde qui vous entoure.

Imprimez votre tête en 3D !

7

Utiliser des photos numériques et une imprimante 3D pour réaliser une mini-réplique en plastique de sa tête.

PAR **KEITH HAMMOND**

Voici un projet pour vous aider à débiter en impression 3D. Je vous propose de créer un modèle 3D de votre propre tête, puis de l'imprimer dans un plastique solide (voir figure ci-dessous).



Figure 7-1 Un plateau d'impression couvert de têtes

Une imprimante 3D fabrique un objet en extrudant un mince filament de plastique chaud, couche après couche. Parce qu'elle ajoute de la matière plutôt qu'elle en enlève, l'impression 3D est aussi appelée fabrication additive. Le fichier du modèle 3D (une coque d'iPhone, une pièce de vélo, sa propre tête...) est ensuite envoyé à l'imprimante. Ces machines sont désormais accessibles aux

écoles, laboratoires, bibliothèques et aussi aux particuliers.

On trouve de nombreux logiciels pour créer des fichiers 3D. J'ai choisi 123D d'Autodesk parce qu'il est gratuit et disponible en ligne ; il peut donc être utilisé depuis n'importe quel ordinateur. Il permet également de générer un modèle 3D directement à partir de photos numériques. Vous pouvez ainsi tout faire de chez vous ; inutile donc de vous scanner ou de bidouiller une Kinect.

Une fois le modèle 3D prêt, il n'est pas obligatoire de posséder une imprimante 3D pour l'imprimer. Il existe en effet des lieux de fabrication équipés de ce type de machine, ou vous pourrez le transmettre à un service qui l'imprimera à votre place avant de l'envoyer directement chez vous. De notre côté, nous avons imprimé nos têtes sur une Ultimaker, avec Cura comme logiciel d'impression. Facile !

Imaginez toutes les possibilités qui s'offrent à vous avec ces outils ! Rien ne vous empêche de reproduire des monuments ou les sculptures d'un musée, ou d'imprimer des modèles de vos animaux domestiques, de votre voiture... Presque tout peut être photographié.

Les outils nécessaires

- Un ordinateur équipé d'une connexion Internet et d'un navigateur web.
- Le logiciel MeshMixer (facultatif), gratuit (www.meshmixer.com).
- Une imprimante 3D et un ordinateur muni du logiciel d'impression (facultatif).

Si vous n'avez pas d'imprimante 3D, il vous suffit de transmettre le modèle à un service qui l'imprimera à votre place, puis vous l'enverra (voir Étape 10).

Étape 1. Inscrivez-vous sur Autodesk 123D

Allez sur <http://123dapp.com> et créez un compte gratuit. Pour ce projet, nous allons nous servir de l'application web 123D Catch. Elle assemble plusieurs photos numériques pour créer un modèle 3D.

Autodesk a récemment mis à jour cette application. Désormais, il existe donc deux façons d'imprimer sa tête en 3D :

- soit vous envoyez le modèle pour qu'on l'imprime pour vous ;
- soit vous le téléchargez pour l'imprimer vous-même.



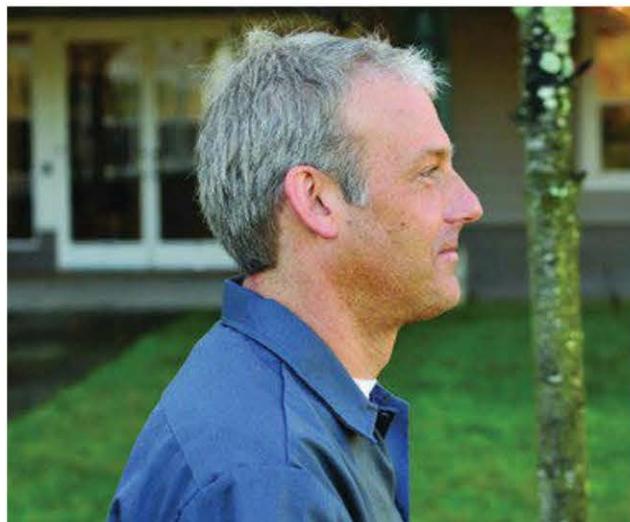
Notez qu'il existe une puissante version PC de 123D Catch, mais vous n'en aurez pas besoin pour ce projet.

Étape 2. Photographiez votre tête

Cette étape nécessite d'être aidé par quelqu'un. N'importe quel appareil photo fera l'affaire (téléphone portable, reflex...), mais sachez tout de même que plus il est de bonne qualité, mieux 123D Catch fonctionnera. Autre conseil : préférez être pris en photo à l'ombre plutôt qu'en pleine lumière.

Restez immobile le temps qu'on réalise 30 à 40 clichés de votre tête. Pour éviter que des trous apparaissent sur le modèle 3D, le photographe doit effectuer deux tours complets autour de vous (un vers le bas et un autre vers le haut, afin de voir clairement le dessus de la tête). Vous éviterez ainsi l'apparition de trous non désirés, là où le logiciel n'avait pas d'image. Pour de meilleurs résultats, assurez-vous que votre tête occupe la majeure partie du cadre.

Si vous souhaitez avoir une expression particulière (comme tirer la langue), demandez au photographe de travailler rapidement pour que vous puissiez garder la pose. L'appareil doit être maintenu bien droit et concentrez-vous à chaque photo. Les images floues





perturbent en effet le logiciel et des cornes étranges pourraient apparaître sur votre tête.

Étape 3. Créez une nouvelle capture

Dans 123D Catch, téléchargez toutes les photos réalisées. Dans le menu déroulant Model Resolution, sélectionnez High (For Fabrication). Nommez le modèle et cliquez sur Create Model.

Les serveurs d'Autodesk assemblent ensuite automatiquement les clichés pour générer le modèle 3D. Vous le retrouverez dans la section My Projects.

Étape 4. Visualisez le modèle

Ouvrez le fichier du modèle 3D. Il présente une texture réaliste, similaire aux photos originales.

Pour le regarder sous tous les angles, utilisez les options Dolly, Pan et Orbit dans la barre de navigation à droite.

Au même endroit, sélectionnez Material & Outlines pour visualiser la grille en 3D sous la texture.



Étape 5. Éditez le modèle 3D

Mon modèle 3D présentait d'étranges cornes sur l'arrière de ma tête – comme je vous l'ai dit précédemment, certains clichés étaient peut-être flous ou réalisés de trop loin – et des éléments de l'arrière-plan (voir figure 7-3) que je ne souhaitais pas imprimer.

Pour les effacer, activez l'outil Select Faces afin de les sélectionner, puis cliquez sur Delete. Sinon, sélectionnez votre modèle et cliquez sur Invert Selection afin de supprimer tout sauf votre modèle.

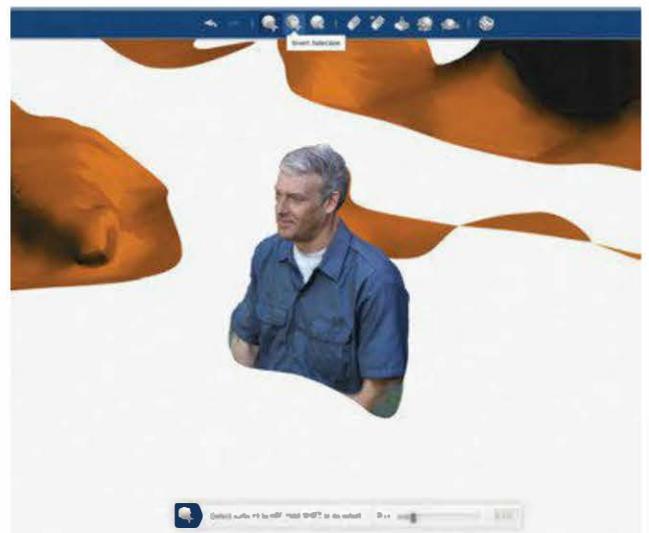


Figure 7-2. Éléments de l'arrière-plan à effacer

Pour couper une corne sur votre tête (voir figure ci-dessous), utilisez l'outil Delete & Fill, puis la Smooth Brush pour arrondir. Choisissez

ensuite la taille du modèle et sauvegardez-le sous un nouveau nom.



Figure 7-3. À gauche, la corne ; à droite, la corne une fois coupée

Étape 6. Rendez « étanche » le modèle

Cliquez sur Inspect Model et Cap All pour réparer automatiquement tous les trous.

La base de votre modèle est fermée, mais c'est peut être désormais une masse sans forme. Pour obtenir de meilleurs résultats sur l'imprimante 3D, veillez à ce que le modèle soit plat à sa base.



Figure 7-4. La base vue du dessous

Cliquez sur Plane Cut Model, puis glissez et/ou pivotez le plan jusqu'à l'endroit où vous souhaitez découper votre modèle (voir figure 7-5). Cliquez alors sur Apply pour obtenir une base plate. Sauvegardez à nouveau votre modèle dans My Projects.

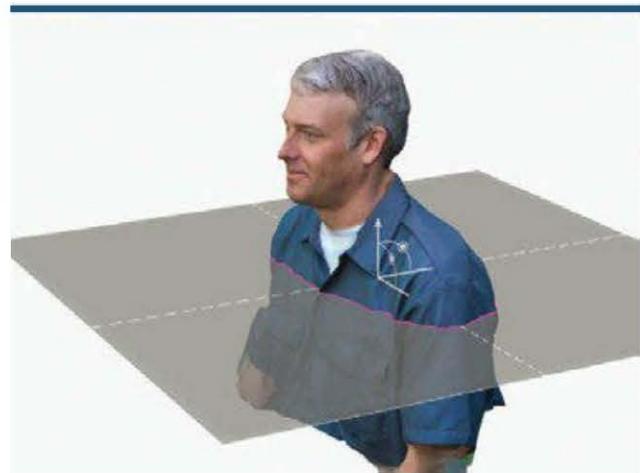


Figure 7-5. Découper la base

Maintenant, soit vous exportez votre modèle en tant que fichier STL pour l'imprimer, soit vous vous amusez un peu plus grâce au logiciel MeshMixer (voir étape suivante).

Étape 7. Améliorez le modèle (facultatif)

MeshMixer (logiciel gratuit sur <http://meshmixer.com>) est un outil puissant pour modifier et fusionner les modèles 3D. Récemment acquis par Autodesk, il est fréquemment mis à jour. Avant de vous lancer, je vous recommande de visionner des tutoriels vidéo sur <http://youtube.com/user/meshmixer>.

Pour un socle vite fait bien fait, ouvrez le fichier STL. Avec Select, sélectionnez l'ensemble de la grille (Ctrl/Cmd+A), puis sélectionnez Edits>Plane Cut pour découper la base. Sélectionnez ensuite le dessous du modèle et cliquez sur Edits>Extrude. Puis, dans la barre d'outils Tool Properties à droite, fixez EndType sur Flat. Glissez-déposez la barre Offset pour élargir le modèle, afin de créer un socle simple et parfaitement plat. Cliquez sur Accept et sauvegardez le nouveau fichier STL.

Pour fusionner la tête avec un socle fantaisiste, démarrez avec un modèle 123D dont la base est encore ouverte. Sélectionnez-le entièrement, puis choisissez Edit>Convert to Part et cliquez sur Accept. Regardez dans la barre Parts, située à gauche : désormais, votre tête est une « pièce » que vous pouvez fusionner avec d'autres. Importez le fichier STL du socle— j'aime, par exemple, les pions de Mark Durbin (*Column Chess Set*, <http://thingiverse.com/thing:19659>). Ouvrez-le dans MeshMixer, mettez-le à l'échelle pour qu'il s'ajuste parfaitement à la tête. Puis glissez-y la tête pour les fusionner. Si cela ne marche pas, essayez Edit>Remesh. Sauvegardez le résultat comme nouveau fichier STL.

Avec MeshMixer, vous pourrez même aller plus loin. Regardez la figure 7-6 sur laquelle j'ai ajouté des tentacules de pieuvre et des oreilles de lapin. Pourquoi ne pas fixer votre tête sur un distributeur de bonbons Pez ou vous transformer en un monstre à deux têtes ?

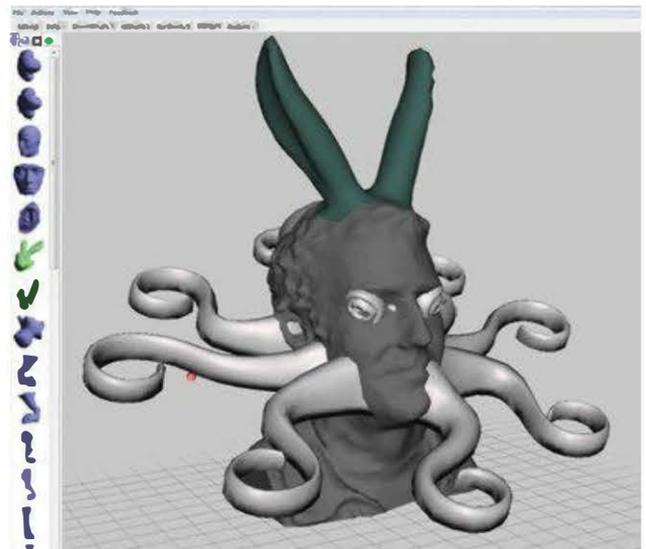


Figure 7-6. Keithtopus !

Étape 8. Partagez votre modèle (facultatif)

Une fois votre modèle prêt, cliquez sur Publish to Gallery pour le partager. N'importe qui peut désormais l'ouvrir dans son navigateur et s'amuser avec.

Si vous utilisez la version de bureau d'123D Catch, vous pouvez même réaliser une animation vidéo et l'envoyer directement sur YouTube.

Étape 9. Sauvegardez le modèle final en tant que fichier imprimable (facultatif)

Pour réussir à imprimer votre modèle, vous avez besoin d'en réaliser une copie dans un format que les imprimantes 3D peuvent comprendre. Exportez votre modèle d'123D Catch (ou MeshMixer) en tant que fichier STL.

Si vous envoyez votre tête pour être imprimée via Autodesk, passez cette étape.

Étape 10. Imprimez !

Nous avons imprimé nos têtes sur une Ultimaker dans le laboratoire de *Make*. Nous apprécions cette machine parce qu'elle est rapide et précise – on peut aussi l'acheter en kit et la construire soi-même. Ci-dessous, la tête s'imprime avec une MakerBot Thing-O-Matic.

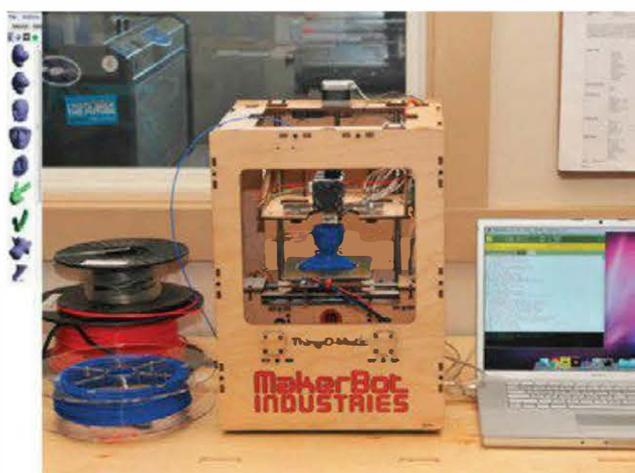


Figure 7-7. Tête en train de s'imprimer

Ouvrez tout d'abord votre fichier STL dans le logiciel de l'imprimante 3D ; il lui dictera préci-

sément où réaliser les tracés avec le plastique chaud pour construire l'objet. Par exemple, avec une MakerBot et le logiciel ReplicatorG, importez votre fichier STL, centrez le modèle et positionnez-le sur le plateau, puis mettez-le à la taille désirée. Choisissez ensuite Generate G-code, sélectionnez le profil d'impression par défaut et cochez la case Use Print-O-Matic. Appuyez enfin sur Print. Il ne vous reste plus qu'à admirer votre tête !

Sans machine 3D à portée de main, faites appel à un service d'impression 3D qui se charge pour vous de l'imprimer. Sur <http://123dapp.com>, sélectionnez votre projet et cliquez sur Fabricate>3D Print pour envoyer votre fichier à un service de fabrication numérique lié à Autodesk. Pour moins de 10 €, vous recevrez dans votre boîte aux lettres votre tête en plastique de 7,5 cm de hauteur environ.

Sinon, il est également possible d'envoyer le fichier à Sculpteo (<http://sculpteo.com>), Shapeways (<http://shapeways.com>) ou i.materialise (<http://i.materialise.com>). Certains imprimeront même votre tête en céramique, verre, acier, argent, or ou titane !

PARTIE IV

Les matériaux

Les plastiques pour l'impression 3D



Un panorama des filaments d'impression 3D, des rigides aux caoutchouteux en passant par les solubles.

PAR **SEAN RAGAN ET MATT STULTZ**

Pendant longtemps, les filaments destinés à l'impression 3D personnelle se limitaient à l'ABS et au PLA. Désormais, il existe bien d'autres matériaux sur le marché.

Dans ce chapitre, nous vous indiquons les températures de base pour l'impression. Gardez en tête que, selon les fabricants de filaments et les imprimantes, elles varient pour la tête et le lit d'impression. Les températures maximales sont recommandées lorsque vous imprimez à vitesse plus rapide, afin d'éviter les coulures ou les amas de filament dans la tête d'impression.

Pour connaître la liste des vendeurs de filaments 3D, reportez-vous à l'annexe A, section « Les imprimantes, filaments et pièces » (page 221).

Le PLA

Le PLA (*polylactic acid*, acide polylactique) est opaque ou transparent, et disponible dans plusieurs coloris. Matériau populaire de l'impression 3D, il dérive d'une plante (le maïs ou la pomme de terre) et est biodégradable. LayWoo-D3, LayBrick et FlexPLA en sont des variantes.

Toutes les variétés de PLA adhèrent parfaitement sur du ruban adhésif Kapton chauffé ou

du verre à 60°, ce qui permet un fini lisse à la base de la pièce imprimée.

Température de la tête	185-235 °C
Température du lit	Ambiante jusqu'à 60 °C
Surface d'impression	Ruban adhésif de masquage, verre chauffé, ruban adhésif Kapton, vinyle découpé

Le PLA souple/flexible

Une fois imprimé, le PLA souple est caoutchouteux et flexible. Il existe seulement dans un nombre limité de couleurs.

Pour de meilleurs résultats, préférez une vitesse d'impression plus lente que pour le PLA classique.

Température de la tête	210-240 °C
Température du lit	Ambiante
Surface d'impression	Ruban adhésif de masquage, verre chauffé

Le LayWoo-D3

Ce filament est semblable à du bois et son odeur s'en approche. Il est constitué d'un

polymère de liaison et de 40 % de bois recyclé. On le trouve en une variété de nuances.

Jouez sur la température pour obtenir des effets intéressants. Plus elle est basse, plus le rendu est clair, et inversement.

Sachez que ce plastique laisse parfois des traînées pendant les déplacements sans extrusion de la tête d'impression.

Température de la tête	175-250 °C
Température du lit	Ambiante
Surface d'impression	Ruban adhésif de masquage

Le LayBrick

Ce filament a une texture rugueuse, semblable à du grès lorsqu'il est imprimé. Attention, il peut s'effriter.

Pour un fini lisse, préférez une température de 165-190 °C ; pour un rendu rugueux, elle doit être de 210-230 °C.

Température de la tête	165-230 °C
Température du lit	Ambiante
Surface d'impression	Ruban adhésif de masquage

L'ABS

L'ABS (acrylonitrile butadiène styrène) est le plastique des briques LEGO. Disponible dans un arc-en-ciel de couleurs, on s'en sert couramment en impression 3D.

Il nécessite un lit chauffant pour adhérer convenablement.

Température de la tête	215-250 °C
Température du lit	90-115 °C
Surface d'impression	Ruban adhésif Kapton

Le HIPS

Le HIPS (*high-impact polystyren*, polystyrène à résistance élevée aux chocs) peut être utilisé pour la réalisation de pièces finies d'impression ou comme matériau de support soluble à base de limonène. Moins cher que le PVA, son impression est aussi meilleure. Les rendus de surface sont beaux et permettent de cacher les lignes d'impression.

Pour en savoir plus sur comment utiliser le HIPS comme matériau de support, lisez l'article de Matt Stultz (www.3dppvd.org/wp/2013/02/soluble-support-material/).

Température de la tête	220-235 °C
Température du lit	115 °C
Surface d'impression	Ruban adhésif Kapton

Le nylon

Le nylon peut s'enrouler, se déformer ou frisotter, ce qui le rend difficile d'emploi. En revanche, il est bien adapté à la réalisation de pièces à la fois solides et sans friction.

Flexible quand on l'imprime en couches fines, il est aussi facile à teindre (voir chapitre 12).

Température de la tête	235-260 °C. Les liaisons sont de meilleure qualité à 245 °C.
Température du lit	Ambiante
Surface d'impression	Feuille de nylon rayée, feuille de Garolite

Le PET

Le PET (polytéréphtalate d'éthylène) est un filament clair comme le cristal, solide et résistant aux impacts.

Pour un meilleur effet de transparence, imprimez-le en couches épaisses.

Température de la tête	210-220 °C
Température du lit	Ambiante jusqu'à 65 °C
Surface d'impression	Ruban adhésif de masquage, ruban adhésif Kapton, verre

Le PC

Pour imprimer avec du polycarbonate, une tête d'impression adaptée à des températures élevées est nécessaire, comme la Prusa Nozzle.

Sachez que ce filament est encore considéré comme expérimental.

Température de la tête	280-305 °C
Température du lit	85-95 °C
Surface d'impression	Ruban adhésif Kapton

Le HDPE

Le HDPE (*high-density polyethylene*, polyéthylène à haute densité) est difficile à maîtriser, car il risque de s'enrouler, se déformer ou frissonner. On l'utilise donc rarement.

Température de la tête	225-230 °C
Température du lit	Ambiante
Surface d'impression	Feuilles de polypropylène

Le PCL

Distribué par MakerBot sous le nom de Filament flexible, le polycaprolactone est en polyester biodégradable. Il fond à une température très basse (58-60 °C) et peut être réchauffé dans de l'eau chaude pour ensuite

être réutilisé. On le retrouve sous les appellations InstaMorph et Polymorph.

Température de la tête	100 °C
Température du lit	Ambiante
Surface d'impression	Acrylique

Le PVA

L'alcool polyvinylique, qui se dissout dans l'eau, peut s'employer comme matériau de support. Cher, il est aussi parfois difficile à manipuler.

Température de la tête	180-200 °C
Température du lit	50 °C
Surface d'impression	Ruban adhésif de masquage

Les températures listées ici sont variables uniquement pour le PVA actuellement en vente sur le marché au moment de la rédaction de cet ouvrage. De nouveaux types de PVA seront bientôt disponibles, nécessitant d'autres températures d'extrusion.

Matériaux et méthodes dans l'industrie

9

Un guide des matériaux utilisés par les services d'impression 3D.

PAR STUART DEUTSCH

Il n'y a jamais eu meilleur moment pour acquérir une imprimante 3D. Malheureusement, pour bon nombre de personnes, ce type de machine est encore trop cher. Mais peut-être existe-t-il un hackerspace près de chez vous ? Sinon, il reste la solution des services d'impression 3D, tels que Sculpteo, Shapeways ou i.materialise. Grâce à des technologies d'impression variées, ces sociétés créent des objets physiques à partir de designs numériques. Les thermoplastiques extrudés ne sont pas les seuls matériaux qu'elles emploient ; il en existe bien d'autres.

Matériaux composites et céramiques

Les machines à lit de poudre et à jet d'encre possèdent des têtes d'impression de type jet d'encre qui déposent de minuscules gouttes de liant liquide au sommet d'une fine couche de poudre. Une fois le plateau d'impression abaissé, un rouleau étale et tasse une nouvelle couche de poudre sur la surface. L'objet final se compose alors essentiellement d'un monticule de couches de poudre finement collées les unes aux autres. Pour certaines imprimantes seulement, il existe des liants teintés afin de réaliser des modèles multicolores (voir

figure ci-dessous). Un traitement à la superglu et contre les rayons UV améliore la solidité du modèle et évite que la couleur ne s'affadisse trop.



Figure 9-1. Grâce à un procédé de lit de poudre/jet d'encre, Bowie le lapin est réalisé à partir de poudre minérale fine, avec des liants colorés.

Le procédé de lit de poudre/jet d'encre s'utilise également pour créer des modèles en céramique qui respectent les normes alimentaires (voir figure 9-2). Aujourd'hui, l'usage de la poudre de céramique s'est popularisé et les offres d'impression 3D en ligne proposent désormais un arc-en-ciel de couleurs. Une fois retirée du lit de poudre, la pièce en céramique brute subit une série de traitements à la

chaleur afin de sécher, cuire et vernir, améliorant ainsi sa solidité et son apparence.



Figure 9-2. Céramique respectant les normes alimentaires. Ici, le procédé de lit de poudre/jet d'encre est suivi par un traitement à la chaleur.

Les plastiques

La stéréolithographie

La stéréolithographie (ou SLA) est le premier procédé d'impression 3D à avoir vu le jour. Une résine en plastique liquide est peu à peu durcie par exposition à une lumière de haute intensité, généralement un laser. Une fois que celui-ci a dessiné un chemin 2D sur la surface, la couche du modèle qui vient juste d'être polymérisée est abaissée dans le bain de résine. Ensuite, le laser effectue un tracé sur la nouvelle surface, curant et liant la résine à la couche précédente.

Les impressions par SLA sont d'une très grande régularité.

Le frittage laser sélectif

Grâce à un laser à haute densité, la technologie SLS (*Selective Laser Sintering*) fond et fusionne des particules très fines de poudre plastique, généralement de nylon (voir figure 9-3). Le laser passe son rayon au-dessus de

la surface de poudre mise à niveau et tassée. Lorsque la couche est terminée, le lit entier est abaissé et une nouvelle couche de poudre est déposée au sommet. Au fur et à mesure que le laser trace son chemin sur cette dernière, les particules de poudre fondent sur la surface, fusionnent les unes aux autres et avec la couche du dessous. La poudre non fusionnée agit alors comme un matériau de support. Ce procédé est donc parfaitement adapté pour réaliser des modèles avec des parties fines, en surplomb ou des formes complexes.



Figure 9-3. Poudre de nylon fusionnée par frittage laser sélectif

C'est une des méthodes d'impression 3D les plus économiques et elle autorise plus de libertés en termes de design. Vu que la plupart des services facturent au volume de poudre utilisé, vous pouvez donc réaliser des économies en creusant vos modèles solides et en les imprimant comme des coquilles vides. Beaucoup facturent cependant les modèles creux fermés, desquels la poudre ne peut s'échapper. Ces derniers doivent donc posséder au moins un petit trou pour que la poudre puisse être libérée une fois l'impression terminée.

Le jet de photopolymères

À la manière d'une imprimante à jet d'encre, ce procédé fonctionne grâce aux déplacements de têtes d'impression, qui déposent des gouttes de résine sur le plateau par une série de très petits jets. Ensuite, une lampe à rayons UV se déplace sur le plateau pour solidifier la résine. Du matériau de support peut être imprimé autour des gouttes puis retiré une fois le travail terminé, à la main ou par lavage.

Le jet de photopolymères crée des modèles aux détails très fins, avec des surfaces lisses et dans de multiples matériaux (teintés, clairs, rigides, flexibles...) lors d'une seule et même impression (voir figure ci-dessous).

Notez que cette technique n'est pas encore disponible dans tous les services d'impression 3D.



Figure 9-4. Acrylique solidifié par UV grâce à la technique de jet de photopolymères

Les métaux

Le frittage laser de métal

Grâce à un laser, le procédé DMLS (*Direct Metal Laser Sintering*) fusionne directement certaines poudres de métal comme le titane,

d'une façon très similaire au frittage de poudre. D'autres alliages peuvent être imprimés.

Les coûts élevés et les règles strictes de design en font un procédé peu accessible aux débutants.

L'impression directe de métal

L'impression directe de métal (*Direct Metal Printing*) comporte plusieurs étapes afin de créer des modèles à partir de poudre de métal, principalement de l'acier inoxydable.

Tout d'abord, l'objet est imprimé sur un lit de poudre très fine d'acier inoxydable grâce au procédé de liant et jet d'encre. Ensuite, un traitement à la chaleur, attentivement contrôlé, brûle le matériel de liaison en plastique et fusionne les particules d'acier. Enfin, le modèle poreux obtenu est trempé dans du bronze fondu qui s'immisce dans les espaces vides pour les remplir (voir figure ci-dessous). Le modèle terminé ressemble à une sorte d'éponge d'acier inoxydable garnie de bronze. On peut y appliquer une variété de traitements, comme le plaquage à l'or ou à d'autres métaux.



Figure 9-5. Acier inoxydable imprégné de bronze par impression directe de métal

Méthodes d'impression indirecte

Les méthodes indirectes d'impression produisent des moules positifs et négatifs qui serviront dans les procédés de moulage conventionnels pour réaliser des pièces en métal.

Par exemple, un prototype de pièce est imprimé en 3D dans une résine similaire à la

cire grâce à la stéréolithographie. Il est ensuite dupliqué en métal via la technique traditionnelle à cire perdue. Alternativement, le procédé de liant et jet d'encre imprime des modèles en sable de silicium ou dans d'autres matériaux traditionnels de fonderie, qu'on utilisera pour mouler des pièces en métal.

PARTIE V

Les services

L'impression 3D sans imprimante

10

Pourquoi et comment utiliser les services d'impression 3D plutôt qu'une imprimante personnelle.

PAR COLLEEN JORDAN

Je suis incroyablement chanceuse. J'ai en effet un travail que je n'aurais jamais imaginé pouvoir exister il y a encore deux ans. Grâce à des outils et des techniques disponibles depuis seulement quelques années, je crée des bijoux imprimés en 3D et dirige ma propre entreprise, Wearable Planter.

Entre 2006 et 2010, lorsque j'étais encore étudiante en design industriel à l'université Georgia Tech (à Atlanta, aux États-Unis), l'impression 3D n'était pas un procédé très courant. Certes les logiciels de modélisation 3D étaient enseignés pour concevoir des projets, mais les fichiers 3D obtenus servaient seulement à montrer le rendu. Même si nous possédions une imprimante 3D, très peu de personnes savaient la faire fonctionner. Par ailleurs, les modèles imprimés étaient fragiles et coûteux.

C'est seulement lors de mon dernier semestre à l'université que j'ai travaillé sur un projet qui nécessitait l'impression 3D. J'ai tendu ma clé USB avec mes fichiers à l'assistant du labo, pensant que cela ne marcherait jamais. Avec étonnement, j'ai regardé mes bijoux s'imprimer couche après couche, exactement comme je les avais dessinés.

Malheureusement, aujourd'hui encore, la plupart de ceux qui aiment imaginer et souhaitent prototyper de nouveaux produits n'ont pas accès à une imprimante 3D de qualité professionnelle. Mais bonne nouvelle, cette technologie se démocratise à un rythme sans précédent !

Lorsque je conçois un nouveau produit ou un bijou, je commence par réaliser des croquis. Cette étape est souvent la plus longue, puisque c'est à ce moment-là que je décide de la forme de l'objet. Ensuite, je crée le modèle 3D dans SolidWorks ou Rhino, ou n'importe quel autre logiciel qui m'offre le maximum de possibilités créatives en fonction de ma maîtrise du programme. Une fois cette phase de création terminée, j'exporte le fichier dans netfabb Studio pour être sûre que le modèle soit imprimable en 3D. J'utilise ensuite un service d'impression 3D, comme Shapeways ou Ponoko, pour prototyper et fabriquer les produits finis.

Ensuite, il faut que j'attende environ deux semaines au minimum avant de voir le résultat final. Cela peut sembler long, mais prendre de la distance aide aussi à ouvrir de nouvelles perspectives. Parfois, la première impression est la copie exacte de ce que j'attendais mais, souvent, je me rends compte qu'il faut que je

réalise des ajustements, que ce soit dans le choix du matériau, de la largeur des murs...

Par le passé, créer un prototype revenait souvent cher, et la production d'un nombre même limité de pièces pouvait coûter des milliers d'euros. Aujourd'hui, ce qui est génial avec les services d'impression 3D, c'est que je peux diriger mon entreprise sans avoir besoin d'investir dans des machines. J'expérimente ainsi différents matériaux et des nouveaux produits à moindres frais et avec une faible avance de fonds. Je suis par ailleurs capable de contrôler mon stock et rien ne m'empêche d'augmenter rapidement ma production. C'est un modèle économique bien plus facile que si je devais commander une cargaison de containers par-delà l'océan !

Il y a beaucoup d'avantages à travailler avec des services d'impression 3D, et pas seulement

lorsqu'on dirige une entreprise. En effet, leurs possibilités dépassent largement ce qu'on peut réaliser avec sa propre imprimante 3D.

Nous entrons dans une nouvelle ère où la customisation de masse permet la production de nouveaux objets. L'accès à ces technologies est désormais ouvert à tous, du débutant réalisant des figurines Minecraft aux docteurs créant des prothèses personnalisées. Par exemple, si vous désirez produire votre propre coque d'iPhone ou de la vaisselle, sans expérience en modélisation 3D, il existe de nombreux programmes pour personnaliser l'objet à un coût raisonnable. C'est le cas des sociétés Sculpteo et The Society for Printable Geography, qui ont récemment lancé une application pour créer des coques d'iPhone à partir du relief de terrain de vos lieux préférés.



Figure 10-1. Pots de verdure portatifs imprimés en 3D par Wearable Planter

Avec Shapeways, vous pourrez aussi réaliser un ensemble de verres à saké en jouant avec la forme des courbes.

Ces entreprises commencent aussi à proposer des formations pour apprendre à utiliser les outils de l'impression 3D. C'est le cas de Ponoko et ses cours en ligne pour débutants, ou de Shapeways qui, via le site Skillshare, souhaite enseigner les compétences de base et aussi celles plus avancées (par exemple, les logiciels génératifs).

Par ailleurs, avec ces services d'impression, nul besoin d'investir entre 200 et 2 000 €, ni de passer du temps à bidouiller le matériel et les logiciels. Vous pouvez aussi créer des objets plus complexes et de meilleure résolution, puisque les imprimantes 3D personnelles n'égalent pas la qualité des machines professionnelles.

Mais comme toute technologie, celle-ci a aussi ses inconvénients. Vu que ce domaine est en croissance rapide, la demande excède parfois les capacités de ces entreprises, et des délais d'attente inattendus peuvent survenir. De plus, la qualité des matériaux n'est pas toujours aussi bonne que celle des pièces produites en masse. Par exemple, les objets en plastique imprimés en 3D peuvent être plus fragiles que ceux par injection plastique. Enfin, il est important de le préciser, tous les matériaux ne sont pas aux normes alimentaires ou adaptés à la réalisation de jouets.

Malgré tout, n'oubliez pas que cette technologie épatante n'était pas disponible pour le grand public il y a encore cinq ans et qu'elle se développe très rapidement. Si vous avez une idée en tête et que vous voulez qu'elle prenne forme, il n'y a pas de meilleur moment pour vous lancer !

Les services d'impression 3D

11

Ces entreprises impriment les modèles dans une variété de matériaux originaux.

COMPILÉ PAR **COLLEEN JORDAN, STETT HOLBROOK**
ET **ANNA KAZIUNAS FRANCE**

Même sans imprimante, vous pouvez bénéficier des attraits et du fun de l'impression 3D. En effet, peut-être aimeriez-vous transformer une œuvre d'art ou une pièce que vous avez prototypée en plastique en un matériau résistant comme le titane ou l'acier inoxydable ? C'est tout à fait possible grâce aux services d'impression 3D qui créent un objet physique à partir d'un fichier CAO. Les possibilités en termes de matériaux sont par ailleurs bien plus nombreuses qu'avec une imprimante 3D personnelle.

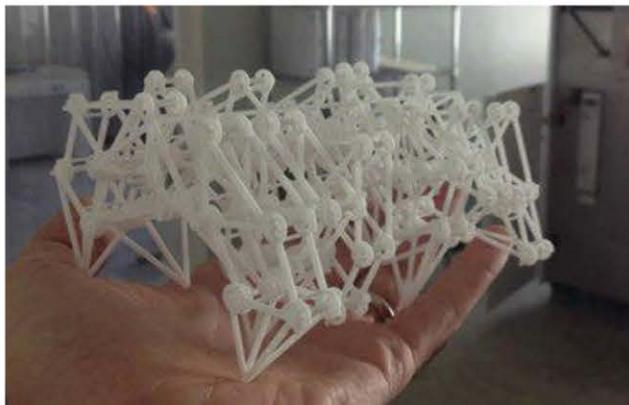


Figure 11-1. Mécanisme Strandbeest par Theo Jansen, imprimé en nylon sur une machine à frittage de poudre EOS par Shapeways (à New York). Il suffit juste de le dépoussiérer et il est prêt à l'emploi !

Les principales plates-formes en ligne

Shapeways

<http://shapeways.com>

Shapeways cible autant les amateurs que les designers. Cette société offre des impressions de haute qualité dans une grande variété de matériaux, tels que l'argent, l'acier inoxydable, le cuivre et la céramique.

Leurs tarifs sont souvent plus bas que ceux pratiqués par ses concurrents. Mais attention, la production étant basée aux Pays-Bas, les délais de livraison de deux à trois semaines ne sont pas toujours respectés. C'est pourquoi, pour mieux répondre à la demande, une usine a été déménagée à New York.

Shapeways est aussi une place de marché où les utilisateurs peuvent ouvrir leur propre boutique. Il y a peu de fonds à avancer et pas d'engagement. Ce service étant le plus connu, il est presque indispensable d'avoir une boutique sur ce site si vous souhaitez commercialiser vos pièces.

Ponoko

<http://ponoko.com>

Ponoko imprime les produits dans une grande variété de matériaux, du plastique à la céramique en passant par l'acier inoxydable, le plaquage or et la poudre Z Corp. La découpe et le fraisage CNC sont aussi disponibles dans de nombreux matériaux. Vous pouvez donc compléter votre projet d'impression 3D avec d'autres pièces réalisées sur mesure.

Les impressions sont généralement de très bonne qualité et à des coûts raisonnables. Petit bémol : leur grille de prix et leur système de chargement des modèles sont confus. Heureusement, le service client répondra à toutes vos questions.

Selon les usines, les temps d'impression et les délais de livraison sont variables.

Sculpteo

<http://sculpteo.com>

Service d'impression 3D français, Sculpteo propose plus de 40 matériaux, dont le plastique multicolore, la résine, la céramique, la cire, l'alumide et l'argent. Sachez que l'entreprise vend un kit d'échantillons de matériaux et vous offre en contrepartie un bon d'achat de 25 €.

Sculpteo permet de prévisualiser les modèles, et un outil automatique de vérification contrôle qu'ils sont bien imprimables. Une réparation automatique est aussi possible. Des outils de customisation sont par ailleurs disponibles directement en ligne afin de modéliser rapidement.

Les temps de livraison varient de un à trente jours selon le matériau – pour une estimation en temps réel, chargez vos fichiers.

Les utilisateurs peuvent vendre leurs objets sur le site. Notez qu'il propose également un

service de production de petites séries, à destination des petites et moyennes entreprises.

i.materialise

<http://i.materialise.com>

Service d'impression 3D situé en Belgique, i.materialise a une interface très claire et facile d'emploi. On a le choix entre plus de 16 matériaux (titane inclus) et 70 couleurs, et on peut imprimer des objets allant jusqu'à 1,8 mètres. Selon votre localisation, ils sont livrés entre un et cinq jours.

i.materialise propose aux designers de mettre en vente leurs modèles directement sur le site.

Kraftwürx

<http://kraftwurx.com/fr>

Le siège de Kraftwürx est situé à Houston, aux États-Unis. Grâce à cette plate-forme, les particuliers créent, achètent, vendent et présentent leurs produits imprimés en 3D.

Kraftwürx ne possède pas d'usine mais utilise un réseau de plus de 120 fabricants pour une production locale à la demande. Ce modèle de production leur permet de proposer plus de 85 matériaux, dont l'or, l'argent, le titane, l'Inconel, l'acier inoxydable, le platine, les plastiques et le papier.

Staples (en partenariat avec Mcor)

<http://staples.myeasy3d.com>

La plate-forme Myeasy3D est le fruit d'une collaboration entre Staples et Mcor, le constructeur de l'imprimante 3D couleur à papier. Pour l'instant, ce service est uniquement disponible en Europe, avec un magasin situé à Almere aux Pays-Bas.

La mise en relation de particuliers

MakeXYZ

www.makexyz.com

MakeXYZ connecte les détenteurs d'imprimantes 3D et les particuliers qui désirent imprimer une pièce. Les premiers s'inscrivent gratuitement afin de communiquer sur les services qu'ils fournissent ; les seconds choisissent parmi une liste d'utilisateurs qui possèdent des machines, situés près de chez eux. Il suffit ensuite de charger le fichier, configurer les options et payer via MakeXYZ. Sachez que celui qui offre ses services peut accepter ou décliner votre commande.

L'impression est soit livrée directement chez vous, soit à retirer au domicile de l'utilisateur.

3D Hubs

www.3Dhubs.com

Le fonctionnement de 3D Hubs est similaire à celui de MakeXYZ. Ce service cherche à faciliter les échanges entre les particuliers qui possèdent une imprimante 3D et ceux qui ont besoin d'imprimer un modèle.

3D Hubs tend à constituer une communauté grâce à la mise en place de « hubs » locaux d'impression 3D, dans le monde entier. Pour savoir s'il existe un hub près de chez vous, rendez-vous sur leur site web.

Les services de qualité professionnelle

ZoomRP.com

<http://zoomrp.com>

ZoomRP.com, qui dépend de Solid Concepts, est un libre-service à destination de ceux qui ont besoin en urgence d'un prototypage plastique.

Ce site se spécialise dans l'impression et la livraison dans la journée, avec des options pour un envoi le lendemain ou la semaine suivante. Il vise tout particulièrement les professionnels de la CAO. Rapide mais plus coûteux.

RedEye

<http://redeyeondemand.com>

RedEye, qui dépend du géant de l'impression 3D Stratasys, s'adresse aux architectes, ingénieurs, industriels du secteur médical ou aérospatial.

L'entreprise imprime des objets dans un grand nombre de thermoplastiques, photopolymères et résines. Qui dit services professionnels, dit aussi tarifs professionnels. Pour une livraison, il faut compter une à deux semaines de délai.

3D Factory

www.3Dfactoryusa.com

La société 3D Factory, basée à New York, travaille avec des industriels de la bijouterie.

Elle propose l'impression 3D, le moulage, la finition et le scan 3D. Il existe aussi des services de conseil et design.

Les boutiques

3DPhacktory

<http://3Dphacktory.com>

La boutique 3DPhacktory, située à Toronto au Canada, propose ses services en impression 3D et modélisation pour des modèles qui peuvent être livrés en moins de 48 heures. Via Industrial Pixel, elle offre des délais raccourcis à 24 heures, un service de customisation de fichiers et de scan 3D.

Les clients sont invités à se rendre sur place pour discuter avec les designers ou louer des machines afin de réaliser eux-mêmes les designs. Des services de post-production sont aussi proposés.

Solid-Ideas

www.solid-ideas.com

Solid-Ideas est une boutique en Californie du Nord qui réalise des modèles 3D. C'est aussi

une agence de design qui effectue du prototypage et offre des services de fabrication customisée. Elle vise un public de professionnels issus de l'architecture, du marketing et d'autres domaines.

Impression-3D

www.impression-3d.com

Impression-3D est une boutique parisienne spécialisée dans la réalisation de modèles et l'impression 3D. Designers, architectes, entreprises de biens de consommation, ingénieurs font appel à elle pour modéliser (expertise SolidWorks) et fabriquer des prototypes et des objets finis. Les délais sont de trois jours.

PARTIE VI

Les techniques de finition

Comment teindre des impressions 3D ?

12

Colorer des impressions en nylon (ou polyamide) grâce à de la teinture textile.

PAR COLLEEN JORDAN

Ce chapitre a été publié initialement sur le blog de Wearable Planter (www.wearableplanter.com/blogs/news).

Le polyamide est poreux et accepte bien la couleur. Ainsi, les objets imprimés dans ce matériau peuvent ensuite être teints chez soi, dans la couleur de son choix. Bien évidemment, il existe des entreprises proposant ce service mais, dans ce cas, il faut compter un délai supplémentaire et le choix de couleurs est restreint.

Ce matériau est connu sous différentes appellations selon les services d'impression 3D : White, Strong and Flexible (Shapeways), Durable Plastic (Ponoko), White Plastic (Sculpteo) ou Polyamide (i.materialise).

Si vous êtes lassé du blanc de la plupart des impressions 3D, ce chapitre est donc fait pour vous ! Ce pas à pas vous apprend à colorer vos objets réalisés en nylon (ou polyamide) grâce à de la teinture textile. J'utilise la marque Rit, mais les teintures pour nylon Dylon ou Ideal sont équivalentes – à se procurer sur Internet ou en magasin. Si vous optez pour de la tein-

ture Jacquard, le procédé est similaire, mais vous devrez mesurer avec précision le vinaigre pour changer l'acidité de la solution, tout en la maintenant à température constante.



Figure 12-1. Les Wearable Planter teints par la designer

Le procédé qu'on va employer est semblable à la teinture textile. Pour en savoir plus sur les techniques et astuces de teinture, rendez-vous sur le blog d'ideal (<http://ideal.fr/blog>).

Avec une imprimante 3D de bureau, il est possible de teindre le filament (voir la section « Le nylon » en page 104) pour obtenir un effet

de « *tie and dye* » (teinture avec des nœuds). Jetez un œil aux expériences de Mulpy (<http://mulpy.net/second-test-de-teinture-avec-le-nylon-taulman-618>), ainsi qu'au tutoriel très complet de RichRap (en anglais cette fois, mais très illustré, <http://richrap.blogspot.co.uk/2013/04/3d-printing-with-nylon-618-filament-in.html>).

Étape 1. Préparer son matériel

La première chose à faire est de rassembler son matériel – on en voit un aperçu sur la figure ci-dessous. Munissez-vous de vos impressions 3D en nylon, de votre teinture pour tissu dans la couleur de votre choix, d'un récipient (par exemple, un bol), de cuillères à mesurer et d'eau bouillante (elle n'est pas visible sur l'image). Je vous conseille d'être à proximité d'un micro-ondes, dans le cas où vous auriez besoin de réchauffer la solution pendant la teinture.



Figure 12-2. Le matériel nécessaire pour teindre

Pour choisir la couleur dans laquelle vous voulez teindre vos impressions, les marques mettent à disposition des nuanciers, très pratiques pour visualiser les teintes disponibles, comme Ideal (www.ideal.fr/24-nuancier-couleurs) ou Rit (www.ritdye.com/colorit_color_formula_guide, en anglais).

Sachez que le nylon absorbe très rapidement la teinture. C'est pourquoi il est généralement conseillé d'en utiliser moins que ce qui est préconisé dans les recommandations. Pour cette série de vases pour vélo, j'ai opté pour la teinture Sunshine Orange de Rit (l'équivalent de la 39 Orange d'Ideal), dans ces proportions : 22 g de teinture en poudre pour 240 ml d'eau bouillante.

N'oubliez pas que vous travaillez avec de la teinture textile qui tache. Si vous craignez pour vos vêtements et vos chaussures, portez un tablier ou une tenue à laquelle vous ne tenez pas. Pour protéger votre peau, prévoyez des gants en latex. Pour info, la teinture Rit s'enlève facilement en frottant ; si vous en avez sur les mains, elle partira donc bel et bien.

Étape 2. Tremper les pièces

Avant de débiter la teinture à proprement parler, commencez par plonger votre pièce dans de l'eau pendant au moins trente minutes (voir figure suivante). Si vous avez le temps, je vous recommande même de la laisser une nuit entière car, lorsque les pièces sont gonflées, la teinture les colore de façon plus uniforme. Cela permet également d'enlever les poussières et la poudre qui resteraient en surface, affectant la couleur finale. Une fois teintée, cette dernière part facilement lorsque la pièce est sèche, laissant un point blanc à la surface.



Figure 12-3. La phase de trempage

Par exemple, on remarque que l'objet ci-dessous présente quelques résidus de poudre restés coincés lorsqu'il a été teinté. Une fois la poudre retirée, des grandes zones blanches sont visibles.



Figure 12-4. Une pièce marbrée

Étape 3. Colorer

Mesurez avec précision la quantité de teinture et ajoutez l'eau bouillante. Mélangez ensuite

Figure 12-5. La phase de coloration. Placez la teinture dans le récipient et mélangez. Puis trempez les pièces dans la solution.

parfaitement pour dissoudre complètement la poudre dans la solution. Puis ajoutez vos pièces et remuez de nouveau. Secouez la solution fréquemment pour vous assurer qu'elles se colorent de façon uniforme.

Sachez que plus vous laissez tremper vos impressions dans la solution, plus la couleur est saturée. Par exemple, pour obtenir la teinte ci-dessous, les pièces y sont restées environ six minutes.



Si vous avez besoin de laisser vos impressions plus longtemps, passez au micro-ondes la solution par phase de quinze à trente secondes, pour que l'eau soit quasiment bouillante. D'expérience, les teintures roses et bleues demandent des températures plus élevées et des temps plus longs pour obtenir les couleurs désirées

Étape 4. Rincer

Le rinçage est primordial. Il peut s'effectuer à l'eau froide pour enlever les excédents de teinture. Mais, pour qu'ils se dispersent complètement, laissez les pièces dans l'eau bouillante pendant quelques minutes.

Cette étape est d'autant plus importante pour les bijoux ou n'importe quelle autre pièce portée à même la peau, car les excédents de teinture peuvent colorer la peau ou les vêtements.



Figure 12-6. La phase de rinçage

Étape 5. Sécher

Pour finir, séchez les pièces, comme ici grâce à du papier absorbant.



Figure 12-7. La phase de séchage

Étape facultative : le revêtement étanche

Le nylon est un matériau poreux qui absorbe les particules et la poussière auxquelles il est exposé. Nous recommandons donc de recouvrir vos objets d'un vernis polymère (par exemple, de la marque Liquitex) ou d'une peinture acrylique claire pour protéger leur couleur et éviter qu'ils ne se salissent.

Étape 6. Montrer ses pièces

La création de votre objet imprimé en 3D a demandé beaucoup de travail et d'énergie, n'hésitez donc pas à le montrer et à en parler autour de vous !



Figure 12-8. L'un des vases à vélo en situation

Le post-traitement des impressions 3D

13

Soudage par friction, rivetage, ponçage, peinture : dotez-vous d'outils simples et apprenez les techniques de finition pour améliorer vos impressions 3D.

PAR **MATTHEW GRIFFIN**

Toutes les photographies sont d'Andrew Baker.

Souvent, on entend dire que les imprimantes fabriquent tout ce qu'on peut imaginer. Il suffit de créer le modèle de son choix, d'appuyer sur Imprimer, et la machine se met au travail pour réaliser l'objet avec précision. Malheureusement, les résultats ne sont pas toujours à la hauteur des ambitions, comme me l'a fait remarquer une fillette astucieuse de huit ans, lors de la Maker Faire Bay Area de l'an dernier. Lorsque je lui ai tendu deux de mes modèles préférés, elle a réagi et me hurla : « Cette pieuvre est rouge ! Un TARDIS (*NdT : machine à voyager dans le temps dans la série Doctor Who*) n'est pas supposé être jaune ! » Elle refusa mes cadeaux...

Il est vrai qu'avec les imprimantes 3D personnelles actuelles, la forme d'ensemble et l'intégrité mécanique des objets sont considérées comme plus importantes que le traitement de surface. Pourtant, il est parfois préférable de se fier aux apparences... Lorsque j'étais à Pratt, voici le conseil que j'ai reçu de plusieurs professeurs en design industriel après leur

avoir montré mon impression fluorescente verte d'un rouage d'horloge : « Réaliser des prototypes qui semblent avoir été faits avec des matériaux de la vie courante vaut tous les efforts du monde. » En effet, même les plus créatifs des ingénieurs et des hommes d'affaires auront du mal à voir votre prototype comme une machine s'il ressemble à un jouet.

Lorsqu'on parle des techniques de finition (à savoir l'étape de post-traitement des pièces imprimées), on entre dans un monde d'artisans où patience, outils, compétences et expérience transforment les produits bruts sortis des imprimantes 3D en modèles réellement aboutis. Tout comme les créateurs de maisons de poupées ou de modèles réduits, nombreux sont les utilisateurs d'imprimantes 3D qui aiment que le rendu soit précis. Certes les résultats sont impressionnants, mais pourquoi devrions-nous maîtriser ces compétences alors qu'on pourrait passer du temps à imprimer plus d'objets en plastique ?

Les makers qui maîtrisent ces techniques de finition sont souvent considérés par leurs pairs comme de véritables magiciens. Prenons, par exemple, l'artiste Cosmo Wenman et le sculpteur Jason Bakutis. Le premier crée des pièces qui reproduisent avec précision les métaux

usés et la pierre ; le second ponce, peint et polit des impressions en faux marbre et en jade d'un réalisme confondant. Grâce à un travail attentif, les pièces imprimées en filament rose, vert et transparent sont transformées pour ressembler à de la céramique, de la pierre, du métal et du bois. Mais comment font-ils ?

La communauté des utilisateurs d'imprimantes 3D personnelles a beaucoup à apprendre des sculpteurs, modélistes et joueurs de jeux de plateaux qui rejoignent maintenant ses rangs – tous ont une longue expérience en post-traitement de petites pièces. Comme mes professeurs le soulignaient, ces étapes supplémentaires ne sont pas seulement cosmétiques, mais aussi une manière essentielle pour mieux communiquer sur nos inventions.

Outils et matériaux

- Étau d'établi, de marque Stanley ou Wolfcraft.
- Pince universelle.
- Pince à bec.
- Outil multi-usage.
- Masque de protection, par exemple le modèle DPG82-11C de DeWalt, clair et antibrouillard.
- Masque antipoussière. En ce qui me concerne, je me sers du masque 8511 de 3M.

Pour souder par friction

- Outil rotatif à grande vitesse avec pinces de 2,4 et 3,2 mm, de Dremel par exemple.
- Filament d'impression 3D, en ABS ou PLA.

Pour chauffer et retravailler

- Station de travail à air chaud pour soudage-déssoudage SMT ou petit pistolet à air chaud (voir figure 13-1).

- Fer à souder et fil à souder.
- Tube de laiton à caler à la pointe du fer à souder.
- Plaque de métal ou miroir pour accélérer le refroidissement (facultatif).
- Grand clou en acier (pour refroidissement/pressage).



Figure 13-1. Station de travail à air chaud

Pour couper/moudre

- Outil d'ébavurage, comme le Draper Am-Tech ou le Noga NG-1.
- Pinces diagonales ou coupantes.
- Lime aiguille diamantée.
- Machine à moulin à café ou les épices (pour broyer le filament).

Pour poncer/polir

- Papier de verre : 80/100, 150, 220, 320 et 500.
- Feuille abrasive 3M.
- Éponges abrasives et accessoires abrasifs, de type Dexter ou Norton.
- Disques à poncer/polir pour outil rotatif.
- Kit à polir le plastique Novus (à acheter sur Internet).

Pour remplir/coller/peindre/sceller

- Acétone pour les objets en ABS (mais pas le PLA).
- Récipient refermable, résistant à l'acétone.
- Peinture laque, par exemple de marque Luxor.
- Peintures acryliques.
- Vernis incolore en aérosol, mat ou brillant, par exemple Marabu.

Des solutions adaptées aux makers

Aujourd'hui, les services de finition pour l'impression 3D personnelle doivent encore se frayer un chemin parmi les prestataires de services en ligne – comme ce fut le cas pour les services d'impression 3D il y a une décennie de cela.

Ainsi, ne pouvant accéder à des chambres d'acétone en ligne, des robots multiaxes projetant de la laque, des bains chimiques mouvants et des machines industrielles à polir, les makers ont dû retrousser leurs manches pour mettre au point un ensemble de solutions de finition nécessitant des outils et des matériaux peu coûteux. Attention, ces méthodes n'affectent pas seulement la post-production d'une pièce ; elles peuvent aussi modifier la façon de concevoir un modèle numérique dès les premières étapes de design.

En effectuant des recherches pour mon livre sur la modélisation pour l'impression 3D (*Design and Modeling for 3D Printing*, à paraître chez Maker Media), j'ai interviewé un grand nombre de membres de cette communauté. J'ai donc décidé de vous livrer quelques-unes de leurs techniques prometteuses. En échange, j'espère que si vous améliorez ces méthodes ou repérez des nouveaux produits ou techniques vous les partagerez également!

Le soudage par friction

Le monde d'aujourd'hui a peut-être oublié le jouet Spinwelder vendu par Mattel au milieu des années 1970. Avec lui, les enfants assemblaient des pales d'hélicoptères, des motos, etc., en fusionnant ensemble poutres et entretoises, puis en utilisant des rivets en plastique pour attacher l'enveloppe extérieure. En 2012, Fran Blanche de Frantone Electronics a réalisé un travail de recreation de l'expérience dans sa vidéo « Build your Own Friction Welder ». Grâce à un outil rotatif peu cher, elle a été capable de faire tourner un cylindre en styrène suffisamment rapidement pour créer une soudure solide entre deux pièces de plastique, difficile à casser manuellement.

Spinwelder était potentiellement un des objets les plus dangereux de tous les temps, mais je suis d'accord avec les conclusions de Fran Blanche : pourquoi n'avons-nous pas des jouets comme celui-ci dans notre boîte à outils ?!

À la différence de l'adhésif ou du soudage traditionnel, le soudage par friction fusionne des objets en métal et en thermoplastique en faisant tourner ou vibrer rapidement les pièces les unes contre les autres. La friction mécanique crée alors une zone fondue sur les deux pièces, les fusionnant en une seule, plus solide. Une variante de ce procédé est la friction de surface. Une pièce tourne à grande vitesse et se déplace autour d'un angle ou sur une surface grâce à une petite pression, permettant ainsi de souder les bords, boucher les trous ou adoucir les surfaces.

Dans l'industrie automobile et aérospatiale, ces techniques sont courantes pour les plastiques et l'aluminium, mais les outils coûtent cher. Sachez que des outils sophistiqués de soudage peuvent tourner des pièces à plusieurs centaines de milliers de tours par minute, et ce, dès les premières rotations

permettant de stopper la pièce fusionnée à un angle précis. Quels équivalents manuels existent à bas prix ?

Il s'avère que nombre d'entre nous possèdent déjà l'équipement nécessaire pour tester le soudage par friction. Les Dremel et autres outils rotatifs à grande vitesse tournent suffisamment rapidement pour fondre des pièces imprimées en plastique, et le filament d'imprimante peut alors servir de « tige » de soudage pour solidifier des pièces fondues ou fermer des coutures. Grâce à eux, il est aussi possible de souder en tournant des rivets imprimés en 3D. Certes ces outils mettent plus de temps à s'arrêter, mais ils fusionnent aussi les pièces à basse température. Ainsi, vous pourrez les repositionner manuellement après coup si besoin ; ces pièces sont plus faciles à manipuler.

Selon moi, le soudage et le rivetage sont des techniques indispensables pour la finition d'impressions 3D, tout particulièrement pour « riveter à l'aveugle » le côté d'un objet ou joindre des pièces réalisées en PLA, qui sont en général beaucoup plus dures à coller que l'ABS.

Le soudage par friction de surfaces inégales

Avec Chris Hackett de l'Institut de Madagascar, j'ai su comment les idées venant du soudage traditionnel du métal pouvaient s'appliquer au soudage par friction de pièces imprimées en 3D. Dans son atelier, nous avons réalisé des expériences avec des outils rotatifs qui ont abouti à l'approche suivante pour créer une belle couture soudée en plastique, proche du soudage traditionnel du métal.

Lorsque deux pièces imprimées ne s'assemblent pas facilement, à cause d'une déformation ou d'un design mal pensé, vous

pouvez les souder par friction aussi bien que si elles étaient en réalité une seule et même pièce. La démonstration suivante est réalisée avec des pièces et du filament en ABS, mais le PLA fonctionne tout aussi bien.

Étape 1. Préparer l'outil rotatif

Sélectionnez l'écrou de blocage dont vous avez besoin pour enserrer le filament. S'il mesure 1,8 mm, prenez une pince de 2,4 mm comme ici (3 bagues) ; s'il est de 3 mm, l'embout doit être de 3,2 mm (0 bague) – voir figure ci-dessous.



Figure 13-2. La préparation de l'outil rotatif

Insérez une petite longueur de filament dans les dents de l'écrou et resserrez la vis de l'écrou de blocage pour le maintenir en place (voir figure ci-dessous).



Figure 13-3. Le filament doit être inséré dans l'outil.

Coupez le filament à environ 12 mm de l'écrou. Sachez que les petites longueurs sont plus faciles à contrôler et tournent sur un axe plus serré. Bien évidemment, avec l'expérience, vous pourrez utiliser des bouts plus grands, en les pressant doucement sur un angle, afin de réaliser des soudures plus longues. Dans ce cas, vous pourriez avoir besoin de les redresser en repassant dessus avec un pistolet à air chaud.

Étape 2. Préparer les deux pièces à souder

Après décapage et ponçage, les deux boîtiers du corps de la montre (voir figure ci-dessous) possèdent un écart qui varie entre 0,1 et 2 mm sur les bords. Vu que c'est trop large pour coller, il est nécessaire de souder.



Figure 13-4. Voici les deux pièces qui seront soudées.

Avec un outil d'ébarbage ou une lame de rasoir, biseautez les parties supérieures de la couture, là où elles se rencontrent et forment un étroit sillon en forme de V (voir figure 13-5). L'objectif est de créer assez d'espace pour accueillir trois niveaux de soudure, de la base du biseau jusqu'à avant la surface des deux pièces. Vous obtiendrez ainsi un assemblage plus solide qu'une soudure en surface.



Figure 13-5. Biseautez les angles supérieurs de la couture pour former un sillon étroit en forme de V.

Grâce à un pistolet à air chaud, chauffez les deux pièces à basse température (voir figure ci-dessous) pour qu'elles soient soudées à la même profondeur. Si une d'elles est plus grande, veillez à la chauffer avec une plus grande attention.

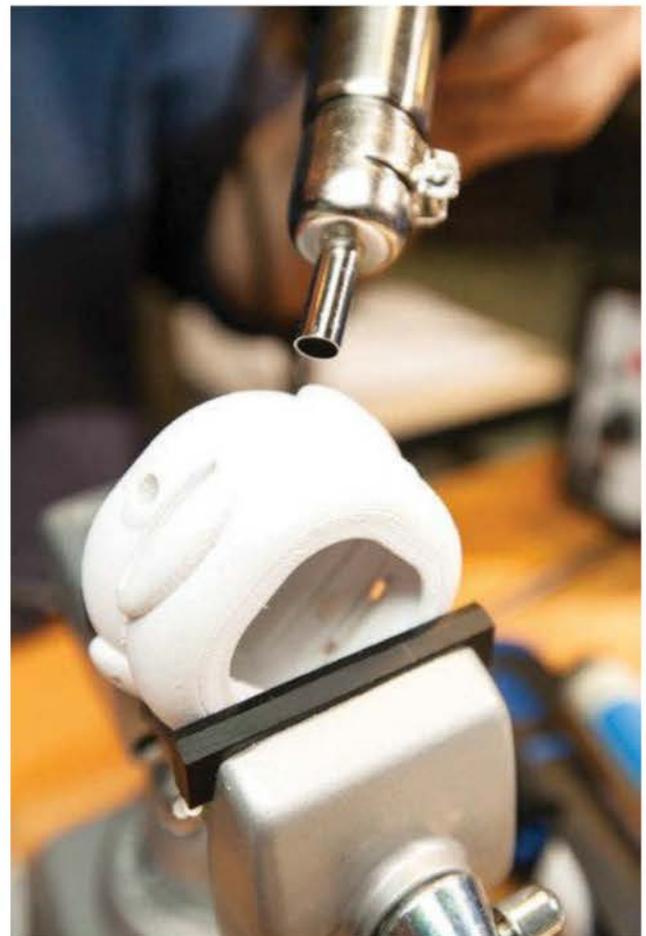


Figure 13-6. Les pièces sont chauffées grâce à un pistolet à air chaud

Étape 3. Souder par points espacés les pièces positionnées

Maintenant, liez les pièces grâce à une série de petits points de soudure, en vous déplaçant le long de la jointure et tout en maintenant fermement les pièces.

Allumez l'outil rotatif et abaissez-le jusqu'à ce que le filament qui tourne effleure les deux surfaces de la couture. Lorsque le bout du filament commence à se déformer, appliquez une petite pression (voir figure ci-dessous).

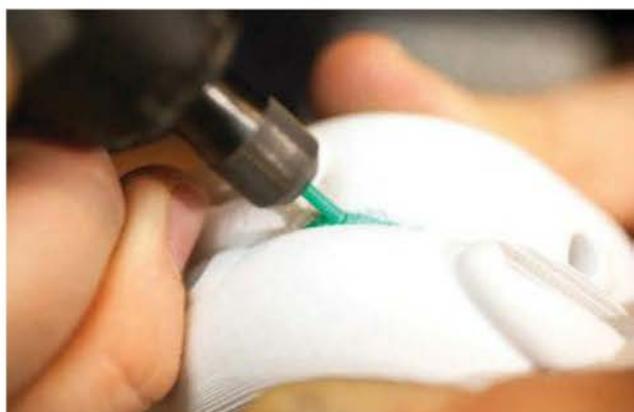


Figure 13-7. Le filament effleure la surface ; il faut alors appliquer une pression.

Bougez le filament, qui tourne toujours en petits cercles serrés, en élargissant la zone de fusion légèrement vers les bords des deux pièces. À chaque tour, effectuez un léger mouvement en avant jusqu'à créer un petit point de soudure (voir figure ci-dessous).

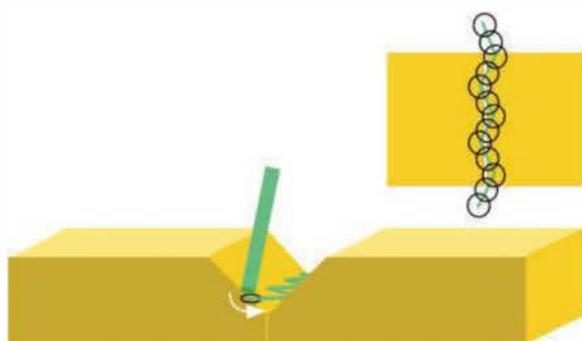


Figure 13-8. Schéma d'un point de soudure

Collez à au moins trois endroits le long de la couture, puis laissez les pièces refroidir. Elles devraient être soudées étroitement et difficiles à séparer manuellement (voir figure ci-dessous).



Figure 13-9. Collez la couture et laissez-la refroidir

Étape 4. Boucher les trous avec du filament

Avant d'être soudés par une couture propre, les interstices qui sont plus grands que la moitié de la largeur du filament de soudage doivent être remplis. Pour cela, ramollissez un petit morceau de filament qui servira de bouche-trou. Dans ce cas, privilégiez la configuration basse du pistolet à air chaud ou chauffez le filament à 100 °C sur le plateau d'impression chauffant de votre imprimante (voir figure suivante).

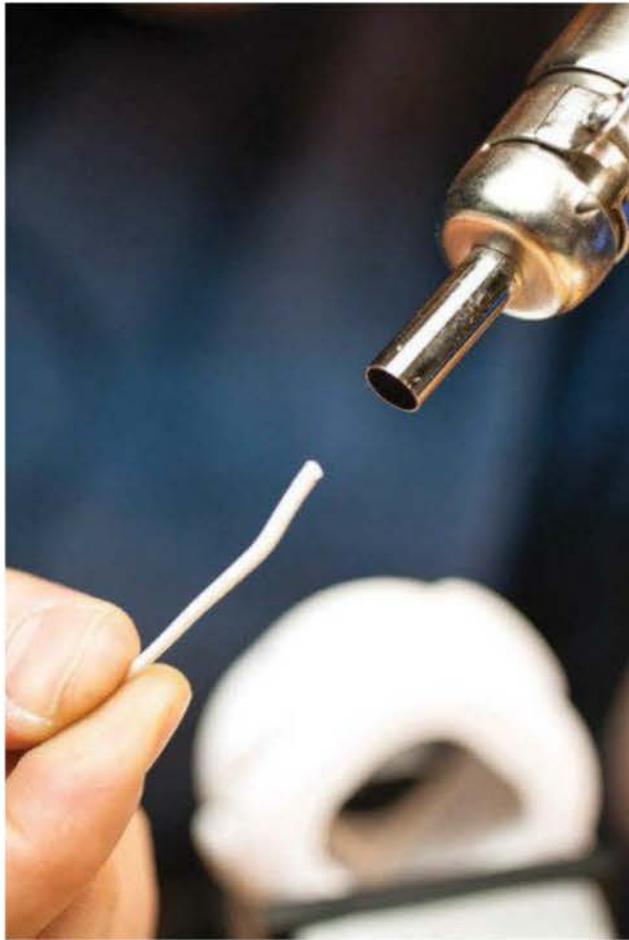


Figure 13-10. Les grands interstices sont bouchés grâce à un petit morceau de filament ramolli.

Pressez le filament ramolli dans l'espace le plus large entre les deux pièces. Si nécessaire, effectuez des petits points de soudure rapide pour le maintenir en place.

Étape 5. Souder la couture par friction

Soudez ensuite toute la couture en deux ou trois couches, comme montré ci-dessous. Attention, une soudure simple lie seulement les pièces en surface, entraînant un risque de cassure lors de manipulations.

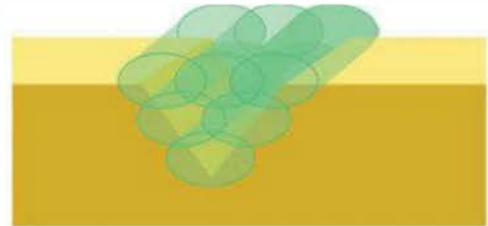


Figure 13-11. Soudage par friction des coutures, grâce à plusieurs couches

Ce schéma idéal montre que nous soudons une perle à la base de la couture, deux autres sur la deuxième couche et enfin trois sur la troisième (au sommet), fusionnant les pièces dans toute leur épaisseur.

Pour cacher la soudure, vous pouvez la poncer après coup, puis la peindre ou fermer la surface.

Le soudage par friction pour réparer un modèle en PLA

Lors d'un passage de sécurité à l'aéroport, une des pièces de la sculpture *Industrial Ring Habitat* de Micah Ganske a été mystérieusement perforée et doit donc être réparée (voir figures suivantes). Pour ce faire, un filament rouge rendra visible le soudage par friction.



Figure 13-12. À gauche, la sculpture *Industrial Ring Habitat* par Micah Ganske ; à droite, une des pièces perforées

Difficile à réparer, sachez que le PLA tend à craquer et à se séparer. Les solvants comme l'acétone ont par ailleurs peu d'effets sur lui. En outre, la glu d'ABS et la superglu cimentent les pièces de PLA par tension de surface au lieu de faire office de véritable soudure chimique, ce qui signifie que la couture peut se casser facilement.

Avec le soudage par friction, il est possible de créer des joints solides, difficiles à casser. Voici la marche à suivre.

1. Positionnez la rustine ou la pièce cassée et maintenez-la fermement.



2. Soudez la rustine (ou la pièce) à l'aide de petits points espacés à différents endroits.



3. Le PLA peut se travailler à plus basse température que l'ABS. Veillez à être doux lorsque vous fondez et soudez les deux pièces, car trop de pression pourrait créer un trou. Cela demande un peu de pratique.



- Déplacez-vous autour de la couture, en changeant de direction si nécessaire pour une meilleure prise en main et un meilleur contrôle. Pour des soudures plus jolies, effectuez des pauses afin que les pièces refroidissent.



- Lorsque c'est fini, laissez la couture refroidir à température ambiante avant de la poncer et de la sceller.



Le soudage par friction de rivets aveugles

L'outil rotatif peut aussi fusionner de façon permanente une pièce mobile à une autre fixe à l'aide d'un « rivet aveugle » placé d'un seul côté. Contrairement aux rivets solides habituels, nul besoin d'avoir accès aux deux côtés pour assembler les deux pièces.

Cette méthode fonctionne bien pour attacher des pièces en plastique à l'extérieur d'un objet lorsqu'il est difficile, voire impossible, d'accéder au dos. Grâce à elle, vous pourrez construire de gros objets à partir de multiples pièces. Pour un rendu optimal, celles-ci doivent alors être imprimées le plus à plat possible sur le plateau d'impression.



Figure 13-13. De gauche à droite : deux rivets aveugles imprimés en 3D, un rivet solide en laiton et trois rivets aveugles en aluminium

Notez que les rivets imprimés, comme ceux en aluminium, ont une collerette qui dépasse de beaucoup leur tête ; c'est la partie qui s'accroche à l'outil rotatif, que vous couperez une fois le rivet fermement en place.

J'ai conçu les rivets imprimés pour qu'ils s'attachent à la pince de 2,4 mm ; c'est la taille standard pour la plupart des accessoires Dremel. Vu que ceux en plastique n'ont pas besoin d'être parfaitement cylindriques pour le soudage par friction, je les ai donc conçus en rond de « trois-quarts » pour les imprimer à plat sur le plateau (voir figure suivante). Le rivet est ainsi aussi plus solide.



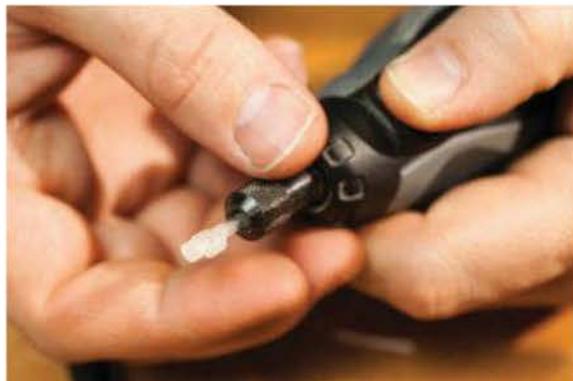
Figure 13-14. Rivets ronds de trois quarts

Voici une démonstration où je vais riveter un petit panneau à la partie extérieure d'une autre pièce. Pour imprimer vos propres rivets, téléchargez les fichiers 3D à l'adresse suivante : www.thingiverse.com/thing:61510.



Le soudage par friction implique l'utilisation d'outils rotatifs à grande vitesse. Veillez donc à toujours vous munir de lunettes de sécurité approuvées Ansi. Par ailleurs, le soudage et autres opérations qui chauffent, ramolissent et fondent le plastique peuvent dégager des vapeurs chimiques dangereuses : prévoyez donc une ventilation adaptée. Pour le ponçage et les autres opérations qui produisent de la poussière, utilisez un respirateur contre les particules, de niveau P2 ou P3. Enfin, manipulez l'acétone et autres solvants volatiles avec une ventilation adaptée, des lunettes de sécurité, des vêtements de protection et des gants en latex ou en nitrile.

1. Une fois le capuchon en place, desserrez l'écrou de blocage et insérez le rivet en plastique.



2. Percez ou découpez des trous de fixation dans la pièce pour libérer du jeu afin de passer la tige du rivet à travers la base de la pièce où il sera fixé. Le trou devrait être assez étroit pour que la tête du rivet maintienne en place le panneau.

Petit conseil : prépercer (ou découper) un trou de test à la base de la pièce peut éviter que le rivet ne sorte de sa cible.



3. Allumez l'outil rotatif et insérez prudemment la tige du rivet à travers le trou de fixation afin qu'elle touche la position de fixation. Continuez à tourner jusqu'à ce qu'elle commence à fondre et à se déformer. Ensuite, appuyez doucement dessus pour qu'elle soit en place.



4. Arrêtez l'outil rotatif. Maintenez-le en place fixement et au bon angle, tout en appliquant une petite pression vers l'arrière. Il peut être utile d'utiliser une pièce de carton ou de mousse pour arrêter la friction en stoppant rapidement la rotation. Notez qu'à la différence d'un outil professionnel de rotation-soudage, la plupart des outils rotatifs ont besoin d'une ou deux secondes pour arrêter de tourner.



5. Desserrez la vis de l'embout et libérez le rivet aveugle hors du capuchon de l'outil rotatif. Si le rivet continue de refroidir, gardez-le en position jusqu'à ce qu'il ne soit plus chaud. À ce moment-là, il devrait être entièrement fusionné à son point de fixation.



6. Coupez le rivet à l'aide d'une pince coupante. La tête doit rester intacte.



7. Si elle dépasse trop, possède comme une crête pointue ou semble trop étroite pour maintenir le panneau, chauffez-la avec un pistolet à air chaud. Puis, à l'aide de la tête d'un clou en acier, aplatissez-la.



Il est possible de fusionner les rivets en ABS sur du PLA, et vice versa. Mais attention, vous devez « sentir » le niveau de friction initial avant de presser le corps du rivet. Avant de fixer des pièces délicates,

je vous conseille de tester avec des rivets les matériaux que vous allez employer.

Fabriquer des rivets solides et des charnières

Depuis l'âge de bronze, les êtres humains se servent de rivets pour attacher des outils, des œuvres d'art, des ponts, des bâtiments, etc. Il n'est donc pas surprenant que les utilisateurs d'imprimantes 3D expérimentent eux aussi les techniques de rivetage. Pour certains projets, des morceaux de filament maintiennent ensemble de grands assemblages.

Jason Welsh, artiste 3D et professeur, a récemment partagé une méthode pour construire soi-même des boîtiers électroniques, qui pourrait devenir une puissante nouvelle technique. Son *Folding Arduino Lab* (www.thingiverse.com/thing:32839, voir figure ci-dessous) et son *Pi Command Center* (www.thingiverse.com/thing:38965) se servent de « pointes » de filament pour créer des rivets et des charnières.

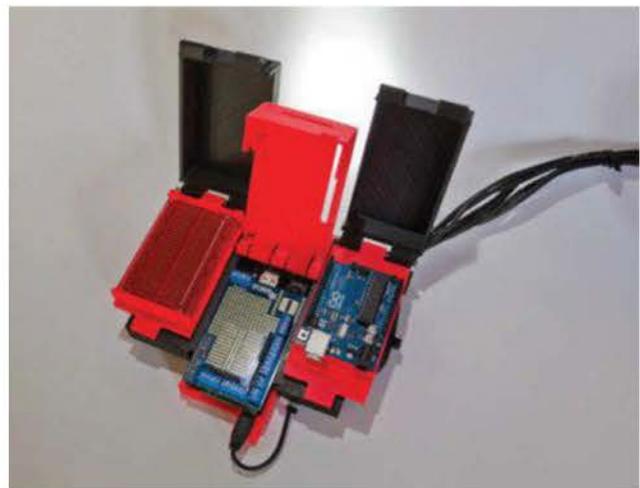


Figure 13-15. Centre de commande Pi

Essentiellement grâce à la chaleur, Jason Welsh transforme des pièces de filament en rivets droits. Il aplatit une tête avant d'insérer le rivet, puis l'autre tête une fois que celui-ci est fermement en place. Comme pour n'importe quel rivet solide, il est possible d'accéder aux deux côtés de l'assemblage, mais l'avantage de cette méthode est la création de visseries solides qui peuvent être complètement retirées avec une pince coupante.

Même si les rivets peuvent être réalisés avec n'importe quel filament, je vous recommande le PLA de 3 mm, plus facile à ramollir et à travailler avec un pistolet à air chaud. Ainsi, les rivets de 3 mm sont droits et plus solides une fois refroidis que ceux de 1,75 mm. Sans filament de 3 mm, pour obtenir le même résultat avec un de 1,75 mm, il faut davantage de rivets pour redistribuer la charge.

1. Avec un pistolet à air chaud réglé au minimum, chauffez de façon uniforme une longueur de filament de 10 à 15 cm jusqu'à ce qu'il devienne mou. Sinon, plusieurs minutes sur un plateau d'impression chauffant fonctionne aussi.



2. Pendant que le filament est encore chaud, étirez-le en le roulant sur une table ou, encore mieux, sur une plaque de verre qui le refroidira plus rapidement. Éloignez doucement vos deux mains l'une de l'autre pendant que vous roulez, afin de le maintenir droit.



3. Ramollissez un des côtés grâce au pistolet à air chaud réglé sur une température basse – sinon, utilisez éventuellement un fer à souder, une tête en laiton chauffé ou un plateau d'impression chauffé.



4. Arrêtez l'outil rotatif et tenez-le fermement dans une position fixe au bon angle de travail. Appliquez une petite pression vers l'arrière.

Comme on l'a vu avant, une pièce de carton ou de mousse permettra d'arrêter la friction en stoppant rapidement la rotation. Rappelez-vous également qu'à l'inverse d'un outil professionnel de rotation-soudage, il lui faudra une ou deux secondes pour s'arrêter.

5. Tapez la partie souple du clou sur une surface plane et froide afin qu'elle prenne la forme d'une tête de rivet plate. Je me sers généralement d'une tête de clou en acier, mais n'importe quelle surface qui peut rapidement refroidir le filament fera l'affaire.



6. Votre rivet devrait avoir une belle tête plate, assez large pour qu'il repose fermement sur les bords du trou de fixation. On parle alors de tête d'usine, par opposition à la seconde tête (ou tête de magasin) qui est créée à l'autre bout lorsque vous installez le rivet.



7. Insérez le rivet dans le point de fixation jusqu'à ce que la tête d'usine soit alignée. Coupez ensuite la tige un petit peu après, là où vous aurez la seconde tête du rivet.



8. Avec un pistolet à air chaud, ramollissez la tige du rivet qui dépasse jusqu'à ce qu'elle commence à se déformer.



9. Utilisez une surface plane et douce pour la presser et la déformer afin de créer la tête de magasin du rivet. J'ai constaté

qu'une tête de clou large en acier fonctionne mieux – elle est plus facile à manipuler et refroidit rapidement la tête de magasin.



10. Continuez à presser fermement la tête de magasin pendant qu'elle refroidit afin qu'elle ne se détache pas du point de fixation.

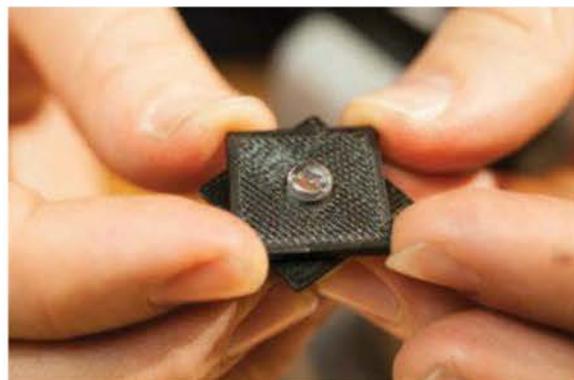


Attention, ne forcez pas sur l'assemblage avant que le rivet et les pièces assemblées aient refroidies à température ambiante. Regardez la figure ci-dessus pour savoir comment maintenir l'ensemble.

Astuce : scotez la tête d'usine du rivet lorsque vous avez besoin de vos deux mains pour ramollir et aplatir la tête de magasin.

11. L'installation d'un rivet de charnière suit la même procédure, sauf à la toute fin.

Après avoir pressé la tête de magasin, bougez les pièces avec précaution pendant qu'elles refroidissent pour vous assurer que le joint a assez de jeu pour que la charnière puisse s'ouvrir et se fermer facilement. Lorsque l'assemblage est terminé, les deux pièces en ABS noires tournent facilement sur la charnière, sans être libérées.



Deux matériaux, deux approches de finition

Les plastiques ABS et PLA ont des propriétés physiques très différentes. Le premier est imprimé à une température élevée (en général 215-235 °C). Plus durable et flexible, il se dissout dans des solvants industriels comme l'acétone. Le second peut être imprimé à des températures plus basses (dès 180 °C). Il s'abîme plus rapidement, s'effrite ou se brise ; par ailleurs, il ne se dissout pas dans l'acétone. Attention, les produits chimiques pour dissoudre le PLA sont très toxiques.

Si vous préférez manier un fer à souder plutôt qu'un pistolet à air chaud, munissez-vous d'un tube en cuivre (voir figure ci-dessous) qui glissera parfaitement sur le fer. Il vous permettra de travailler le plastique, tout en gardant propre le bout de votre fer. N'oubliez pas de nettoyer abondamment le tube pour que le plastique ne colle pas au cuivre.



Figure 13-16. Protégez le bout du fer avec un tube en cuivre.

Encoller et remplir

Alors que la superglu (ou colle cyanoacrylate) et les colles pour modèles en plastique sont parfaites pour lier des pièces en ABS, de nombreux constructeurs de modèles imprimés en 3D se sont tournés vers la « barbotine d'ABS » comme colle et matériau de remplissage, car elle soude les pièces de façon plus permanente et dans l'exacte couleur. Il s'agit simplement de filament d'ABS broyé et dissout dans l'acétone.

Appliquée à l'air libre, l'acétone fonde la surface du plastique ABS (et de nombreux plastiques styrènes similaires), créant une substance visqueuse. Après quelque temps, elle s'évapore, ne laissant derrière elle que le plastique ABS nouvellement formé. En plaçant l'ensemble dans une boîte hermétiquement fermée où l'acétone ne pourra pas facilement s'échapper, vous préparerez un mélange épais d'acétone/ABS à parts égales proche d'un gel à l'acrylique.

De nombreuses méthodes existent pour préparer une pâte d'acétone. J'aime particulièrement la « recette » de ProtoParadigm (www.thingiverse.com/thing:14490) : une dose d'ABS pour deux d'acétone, mélangées dans des flacons de vernis à ongles par exemple. Utilisez une machine à moulin à café ou les épices pour déchiqeter le filament d'ABS et les chutes si besoin. Les pièces plus petites se dissolvent plus vite et facilitent l'estimation du ratio du mélange.

Appliquez la pâte d'ABS à l'aide d'un pinceau de peintre à poils naturels – les brosses synthétiques se dissolvent dans l'acétone ! – pour remplir les petites craquelures ou coller deux pièces. Laissez-la sécher à l'air libre jusqu'à temps que l'acétone soit complètement évaporée. Vous obtiendrez une pièce finie avec un joint d'ABS.



Attention, respectez bien les précautions d'utilisation lorsque vous travaillez avec la pâte d'acétone et d'ABS. Portez des gants et des lunettes. Ne travaillez pas sans une ventilation adaptée ou en présence de flammes. En plus d'être hautement inflammable, cette pâte colle à tout et brûle avec une odeur très désagréable qui est aussi très toxique. Méfiez-vous, car vous risquez de créer un petit tas de « napalm » qui nécessitera d'être traité comme un feu chimique.

Lorsque vous appliquez la colle d'ABS et aussi immédiatement après, l'exposition à l'acétone est forte. Je vous conseille donc de punaiser vos pièces à un morceau de carton ou à un plateau que vous déplacerez immédiatement dans une pièce aérée en dehors de votre lieu de travail. Si vous les déplacez à l'extérieur, protégez-les avec une boîte en carton pour éviter que les feuilles, la poussière ou la saleté ne se déposent sur le mélange encore gélatineux.

Bien que l'acétone puisse « souder » les bords de pièces en ABS, ce type de joint n'a pas autant de résistance que des pièces imprimées ensemble. En effet, la zone « fondue » ne s'étend pas assez profondément dans la surface. Si un assemblage a besoin de force mécanique, dessinez un joint avec emboîtement qui comprend une grande zone de surface, ou utilisez des vis.

Industrial Ring Habitat

Grâce à une pâte de colle d'ABS, l'artiste Micah Ganske a assemblé son exceptionnelle sculpture *Industrial Ring Habitat*, qui comprend 1 000 pièces imprimées en 3D en ABS. Elle a également servi à coller les pièces de PLA à l'ABS – même si l'acétone ne dissout pas le PLA, la pâte se dépose dans les craquelures et les crevasses, liant de façon mécanique les pièces de PLA à la base d'ABS.



Ponçage des pièces imprimées en 3D en plastique

Pour l'ABS et le PLA, vous pouvez utiliser des papiers très fins, comme ceux qui servent à polir des pierres précieuses, ou des outils de ponçage Micro-Mesh avec des grains d'un seul micron qui permettent d'obtenir des motifs invisibles à l'œil nu.



Figure 13-17. Ponçage d'une impression 3D

Et pourtant, les projets imprimés en 3D et bien poncés sont rares. Deux raisons à cela :

- l'ABS et le PLA sont plus doux que le bois poncé habituellement ;
- le grain horizontal délicat créé par l'impression 3D réfléchit la lumière différemment des surfaces poncées ou de la base brillante de la pièce (en impression ABS). Ce grain ne s'ouvrage pas facilement en surface.

La règle est de poncer les pièces imprimées en 3D comme une pièce de bois résineux. Concentrez-vous sur le ponçage et ne vous pressez pas pour terminer votre pièce : commencez avec des papiers à grain de 100/150 ou des roues de polissage pour la Dremel, puis 220, puis fin à 320, puis très fin à

500, et attaquez-vous ensuite à des grains de l'ordre du micron pour éliminer les marques de ponçage.



Figure 13-18. Kit Dremel de ponçage et polissage

De nombreux créateurs d'impressions 3D ont tendance à lésiner sur les premiers papiers, ce qui les désavantage. En effet, ces grains plus gros sont capables d'enlever les crêtes des principales lignes de couches. En vous dirigeant trop rapidement vers le papier trop fin, vous ne feriez qu'arrondir les crêtes sans les aplatir (voir figure 13-19).



Figure 13-19. Exemple de crêtes arrondies

Après avoir poncé une surface, vous pouvez utiliser un pistolet à air chaud pour chauffer la surface avec précaution (voir figure suivante) jusqu'à ce qu'elle fonde un petit peu ; cela

effacera la plupart des éraflures et restaurera la couleur d'origine de la pièce. Entraînez-vous sur des chutes.



Figure 13-20. Un pistolet à air chaud permet de supprimer les petites éraflures.

Sinon, pour une surface d'impression à l'ABS extrêmement lisse ou polie, il existe le système de polissage à plastique Novus. Généralement, la plupart des modelers 3D préfèrent plutôt peindre leurs impressions 3D.

Éroder les impressions 3D

14

Vieillir les objets imprimés en 3D pour qu'ils ressemblent à du métal usé.

PAR **JASON BABLER**

Contrairement à ce qu'on pense souvent, il est rapide d'utiliser le plastique ou le bois pour obtenir un effet similaire à du métal ancien (voir figure ci-dessous). Pour une érosion basique, deux peintures suffisent.



Figure 14-1. Le robot à l'aspect métal usé

Dans ce chapitre, je vais vous montrer la technique pour éroder et vieillir une pièce à l'aide de trois peintures. C'est celle que j'ai employée, en moins de dix minutes, sur ce robot imprimé en 3D fabriqué dans les bureaux de *Make*.

Le robot Mega Make, conçu par le stagiaire à Make:Labs, Dan Spangler, est un projet imprimable en 3D sur une imprimante personnelle, qui sera bientôt disponible en

téléchargement (<http://makezine.com/go/megamake>).

Le matériel

- Une peinture d'apprêt en aérosol.
- Une peinture métallique.
- Une peinture acrylique noire.
- Des brosses à sec.
- Un pinceau fin pour les détails.

Étape 1. Choisir un apprêt

La pièce blanche ci-après représente l'arrière du robot.

La peinture d'apprêt utilisée est la Fusion de Krylon – la marque Humbol fera aussi l'affaire – qui sèche assez rapidement et adhère parfaitement au plastique. J'ai choisi une couleur rouge vif pour imiter la mascotte de la Maker Faire.



Figure 14-2. Pièce arrière du robot, imprimée en 3D

Pour ma part, j'ai sauté la phase d'apprêt, mais sachez que vous pouvez appliquer cette peinture sur l'apprêt avec succès.

Étape 2. Choisir une peinture métallique

Pour avoir l'impression que les bords sont usés, j'aime travailler avec les peintures métalliques de la marque Citadel, et particulièrement la Ironbreaker qui est assez brillante (www.games-workshop.com/gws/catalog/product-Detail.jsp?prodId=prod1500186a). Cependant, n'importe quelle peinture métallique pour amateurs convient.



Figure 14-3. Les peintures Citadel

Étape 3. Peindre à sec la pièce

Pour obtenir les résultats de peinture à sec souhaités, il est nécessaire de s'équiper du bon type de pinceau.

Optez pour un vieux pinceau qui possède beaucoup de poils et coupez leur extrémité pour qu'il soit plat. Sinon, achetez un pinceau spécifiquement prévu pour ce type de travail, comme ceux en martre de la marque Raphael (Kolinsky 8400, www.rafael.fr, voir figure ci-dessous).



Figure 14-4. Pinceaux à sec Raphael Kolinsky en martre

« Peindre à sec » signifie que le pinceau ne doit quasiment pas être imbibé de peinture. Pour ce faire, trempez-le dans la peinture puis, à l'aide d'un papier absorbant, retirez-en un maximum. Pour vous faire la main, entraînez-vous sur autre chose que votre pièce. Et, surtout, n'oubliez pas d'avoir la main légère et d'avancer doucement.

Sachez que cette technique, si elle est parfaitement réalisée, ne laisse de la peinture que sur les parties de la pièce qui dépassent.



Figure 14-5. Pièce peinte à sec

J'ajoute un peu plus de peinture sur les principaux bords du modèle pour créer un effet d'usure. Il faut imaginer que ce sont ceux qui sont le plus en contact avec d'autres pièces ; c'est pour cela qu'ils semblent plus usés.



Figure 14-6. On insiste sur les bords qui sont censés être usés.

Étape 4. Peindre de plus grandes éraflures et des zones cassées

Grâce à un pinceau de calligraphie très fin et qui possède beaucoup de poils, ajoutez des points plus larges avec la même peinture, là où le métal a été encore plus « attaqué ».

Attention, cette technique doit être utilisée avec parcimonie si vous ne voulez pas en ruiner l'effet.



Figure 14-7. Peignez des points plus larges. Ayez la main légère !

Étape 5. Peindre de la poussière et des salissures

Pour qu'on ait l'impression que l'objet a vécu, ajoutez de la poussière et de la saleté.



Figure 14-8. Appliquez de la peinture diluée pour ajouter de la saleté.

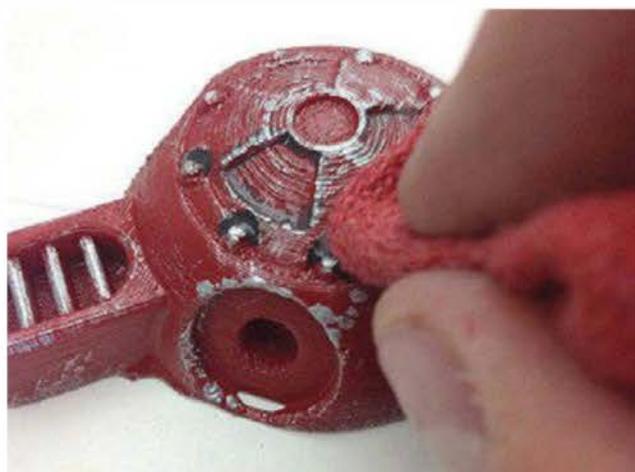
Il faut débiter par un délavé, facile à effectuer. Il suffit simplement de diluer la pein-

ture acrylique noire (peu importe la marque). Faites le test sur du papier journal : si, après l'avoir peint, vous pouvez encore le lire, c'est que vous avez suffisamment dilué la peinture.

Nul besoin d'acheter en magasin un produit de dilution. Du liquide pour laver les vitres ajouté à de la peinture acrylique noire, et le tour est joué ! Elle séchera rapidement et durera des années.

Appliquez généreusement la peinture dans tous les recoins et les fentes, là où la poussière se logerait normalement. Si la dilution est suffisante, la peinture devrait y couler rapidement.

Selon l'effet souhaité, tamponnez immédiatement la peinture pour ne laisser qu'un petit peu de taches sombres ou peignez généreusement le modèle puis laissez sécher pour un effet plus spectaculaire.



Ne négligez aucun recoin et tamponnez la peinture si nécessaire. Vous le voyez, il est assez facile de vieillir une pièce.



Figure 14-9. Pièce érodée une fois le travail terminé

Sachez qu'il est possible d'obtenir plusieurs degrés d'usure, par exemple grâce à des pigments, des agents de rouille, etc. D'autres techniques extraordinaires existent que vous pourrez essayer, et d'autres encore sont sûrement à inventer !

PARTIE VII

Les applications

La promesse de l'impression 3D

15

Imprimer le monde depuis son bureau.

PAR **STETT HOLBROOK**

C'est une vision venant de l'univers futuriste de *Star Trek* : créer, depuis chez soi (ou son vaisseau spatial !) et sans effort, des objets tridimensionnels grâce à une machine. Et c'est possible aujourd'hui grâce à l'impression 3D. Cette technologie, d'abord hors d'atteinte pour les particuliers, est maintenant disponible pour tous, pour moins de 800 €. Mais est-ce une raison suffisante pour affirmer qu'imprimer des objets en 3D depuis son bureau changera le monde ?

Passez quelques minutes à discuter avec les constructeurs d'imprimantes 3D ou avec les premiers utilisateurs et vous les entendrez rapidement employer des termes comme « nouvelle donne », « disruptif » et « révolutionnaire ». De la même manière, un article de Paul Markillie dans *The Economist*, daté d'avril 2012, qualifie l'impression 3D et ses technologies associées de « troisième révolution industrielle ». Il écrit tout d'abord : « Alors que la fabrication devient numérique, un troisième grand changement gagne maintenant du terrain. » Puis il ajoute que « la roue effectue presque un tour complet, s'éloignant de la production de masse pour aller désormais vers la production individualisée. Et cela pourrait en échange faire revenir vers les pays riches les emplois perdus depuis longtemps vers les pays en émergence ».

Comme l'ordinateur personnel, l'imprimante et Internet qui, en leur temps, nous ont tous transformés en éditeurs, les imprimantes 3D, les scanners 3D et les logiciels de modélisation 3D nous permettent d'être aussi fabricants.

Les entreprises l'ont bien compris et elles manœuvrent déjà pour bien se positionner. 3D Systems, le pionnier de l'impression 3D haut de gamme, a acheté Z Corporation. Deux autres grands acteurs – Objet et Stratasys – ont fusionné. La coqueluche de l'industrie, MakerBot, a été nommée une des vingt meilleures start-up de New York et rachetée par le département « desktop » de Stratasys en 2013.

En réalité, les imprimantes 3D – ces machines qui impriment des objets tridimensionnels, préalablement modélisés grâce à la CAO, en extrudant avec précision, couche après couche, des petits morceaux de plastique fondu (ou d'autres matériaux, comme la résine, le métal...) – existent depuis environ 1985. Ironiquement, c'est aussi l'année où l'imprimante de référence HP, la LaserJet, a vu le jour. Le destin de l'impression 3D est tout autre, mais cela pourrait changer !

Jusqu'à récemment, les imprimantes 3D restaient coûteuses et peu faciles d'emploi. Par ailleurs, ces machines étaient généralement cachées derrière les portes des usines et des laboratoires de recherche et dévelop-

pement. Mais, grâce aux efforts d'innovation des makers et du mouvement open source (qui encourage le libre partage des designs et des logiciels), leur prix est désormais accessible aux particuliers. Aujourd'hui, une communauté de makers, designers et artistes adoptent ce procédé pour l'amener dans de nouvelles directions. Même sans imprimante 3D, vous pouvez aussi profiter de cette technologie grâce aux services d'impression 3D.

La fabrication de bureau est puissante, mais ce que vous en faites dépend de vous. Pour emprunter une citation (paraphrasée de Karl Marx) tirée du livre de Chris Anderson, ex-rédacteur en chef de *Wired*, intitulé *Makers : la nouvelle révolution industrielle* (aux éditions Pearson), « le pouvoir appartient à ceux qui contrôlent les moyens de production ». Aujourd'hui, le pouvoir de fabriquer des objets dont la liste n'a de cesse de s'allonger (jouets, bijoux, pièces détachées et même prothèses) est à la portée de tous – et la technologie employée tient sur un simple bureau.

Chris Anderson déclare par ailleurs que « la fabrication globale fonctionne maintenant à n'importe quelle échelle » et que « de un à des millions. La customisation et les petites séries ne sont plus impossibles – elles sont même le futur ». Il fait aussi partie de ceux qui sentent une révolution poindre son nez : « La troisième révolution industrielle est vue comme la rencontre entre la fabrication numérique et la fabrication personnelle : l'industrialisation du mouvement maker. »

Lorsqu'il regarde le nombre croissant d'imprimantes 3D à destination des particuliers qui arrivent sur le marché, Chris Anderson a également le sentiment qu'on va revivre un « nouveau 1983 » (le bien nommé « moment

Mac »), année où Apple permet au plus grand nombre d'acquérir un ordinateur rien que pour eux, l'Apple II. Comme il le note, Apple n'a pas inventé l'ordinateur ; il l'a seulement démocratisé. La même chose est vraie pour RepRap et MakerBot, deux pionniers du marché de l'impression 3D personnelle à prix abordable. Selon lui, le moment est historique, car « une nouvelle catégorie d'utilisateurs va produire une nouvelle catégorie d'usages ».

Les imprimantes 3D vont-elles se démocratiser au point d'investir tous les foyers, à la manière des lecteurs DVD et des ordinateurs ? Pour l'instant, logiciels et documentation peu pratiques sont un frein, mais cela devrait changer.

En revanche, Dale Dougherty, fondateur et éditeur de *Make*, n'est pas du même avis. Il n'est en effet pas prêt à déclarer que l'impression 3D est une révolution. Selon lui, « nous sommes à des stades très jeunes, hackers et utilisateurs pionniers sont en train de voir ce qu'ils peuvent faire avec ». Il ajoute toutefois que « cela ouvre de nouvelles voies à tous ceux qui sont créatifs et font des choses ». Il pense aussi que le potentiel de transformation reste encore à trouver : « C'est un grand magasin dans la paume de votre main. C'est la folle promesse de l'impression 3D. »

Une partie de l'excitation qui entoure l'impression 3D tient dans la croyance que la barrière à l'entrée a chuté. Le génie est sorti de la bouteille ! Mais nul ne sait où cela va nous mener... « Nous vivons dans un monde 3D, mais nous créons pour l'instant des choses en 2D », constate Dale Dougherty. Qu'est-ce que cela signifie de vivre et créer en trois dimensions ? Pour lui, nous pourrions entrer dans un monde très différent.

Une galerie d'impressions 3D

16

L'impression 3D est utilisée pour un large spectre d'applications personnalisées, des objets pratiques au monde médical en passant par l'art. Voici un échantillon de ce qui s'imprime actuellement.

COMPILÉ PAR ERIC CHU, ANNA KAZIUNAS FRANCE,
GOLI MOHAMMADI, CRAIG COUDEN ET LES ÉDITEURS DE **MAKE**

Des objets pratiques

Grâce à leur imprimante 3D de bureau, ces ingénieurs makers ont surmonté des problèmes du quotidien en créant des solutions personnalisées originales. Ainsi, ils impriment juste ce dont ils avaient besoin.

Un adaptateur de stylo traceur

Par Miles Lightwood (Californie)

<http://thingiverse.com/thing:7412>

Un ami passionné d'anciens ordinateurs a récemment acquis une imprimante/traceuse pour son ordinateur de poche Sharp PC-1500A. L'imprimante fonctionne, mais ce n'est pas le cas des stylos de la traceuse, qui ont presque 30 ans d'âge. Par ailleurs, ils ne sont plus disponibles. J'ai donc pris un compas, ouvert OpenSCAD, lancé la MakerBot pour en imprimer un.



Figure 16-1. Un adaptateur de stylo traceur

Un clip pour boîte de rangement

Par Chris Krueger (Illinois)

<http://thingiverse.com/thing:9419>

J'ai acheté une boîte de rangement pour m'aider à organiser tous mes composants électriques. Malheureusement, il lui manquait un clip de fermeture. J'ai résolu le problème en en modélisant un à partir de la photo d'un clip existant et en le mesurant au compas. Finalement, cet ersatz ferme mieux que l'original ; je les ai donc remplacés tous les deux !

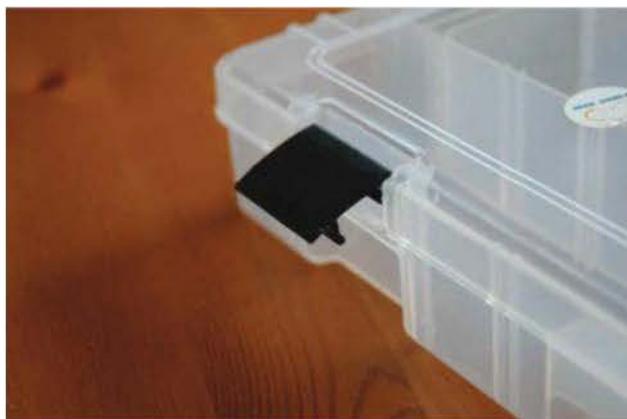


Figure 16-2. Une boîte de rangement avec son nouveau clip

Un plieur de languettes de cannettes

Par Sean Michael Ragan (Texas)

<http://thingiverse.com/thing:31635>

J'aime réaliser des cottes de maille à partir de languettes de cannettes. Elles doivent d'abord être pliées et, pour que la maille ait meilleure allure, elles doivent l'être exactement au même angle. C'est pourquoi j'ai conçu et imprimé une mâchoire d'insert customisée pour des pinces à bijoux faites maison qui plient les languettes toujours de la même façon.



Figure 16-3. Une pince pour plier les languettes de cannettes

Un adaptateur de col de défonceuse

Par Bozo Cardozo (Idaho)

<http://thingiverse.com/thing:12648>

Mon ancien Bosch 1611 est une défonceuse géniale. Malheureusement, vieux de 20 ans, il est presque impossible de lui trouver des pièces de rechange. Vu que je n'ai pas pu acheter un stock d'adaptateurs de col, j'ai donc dû le designer pour l'imprimer moi-même.



Figure 16-4. Adaptateur de vieux outils

Un raccord de couverture du coffre à bagages

Par Miguel Angelo de Oliveira (New York)

<http://thingiverse.com/thing:10043>

Lorsqu'une pièce en plastique casse dans la voiture, les chances d'en trouver une de rechange et de l'acheter sans avoir à prendre un second crédit sont minces ! Ma Thing-O-Matic m'a permis de remplacer une pièce en plastique au niveau de la couverture de mon coffre à bagages. J'ai ainsi économisé l'achat d'un nouveau compartiment, qui coûte la moitié du prix de mon imprimante en kit.

J'ai par ailleurs aidé plusieurs personnes à fabriquer des clips de couverture d'aspirateur, des fixations pour des pommeaux de douches et beaucoup d'autres pièces de rechange difficiles à trouver.

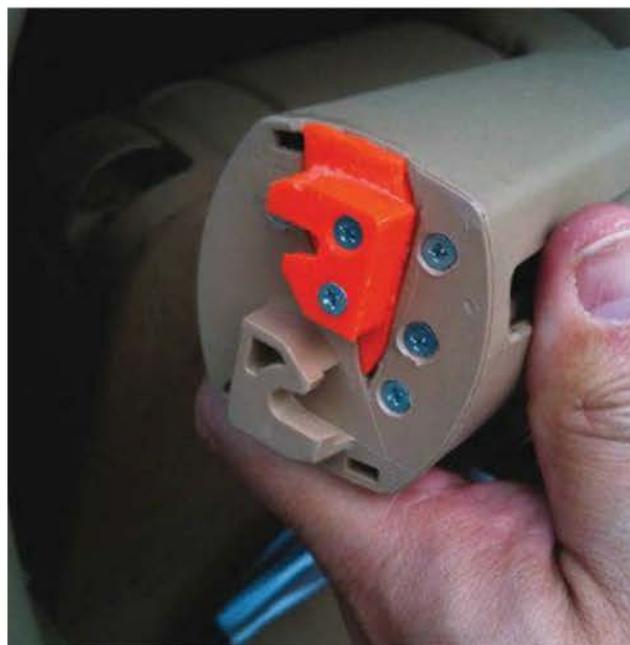


Figure 16-5. Solution de réparation de la couverture du coffre à bagages

Une manivelle de vitre de voiture

Par Michael Gregg (Californie)

<http://thingiverse.com/thing:20028>

Un bon ami à moi intéressé par l'impression 3D cassa un dimanche la manivelle de la vitre de sa Miata. Le magasin de pièces détachées n'étant pas ouvert avant lundi, j'ai résolu le problème grâce à SolidWorks et ma MakerBot.

Un support d'éclairage à vélo

Par Gian Pablo (Californie)

<http://thingiverse.com/thing:8947>

Je voulais attacher un éclairage à l'arrière de mon vélo mais, vu qu'un porte-bagages était déjà installé, je ne pouvais donc pas le mettre sur la selle.

Le porte-bagages ayant déjà des trous pour la plaque d'immatriculation, j'ai simplement créé un support qui s'adapte dessus. Il possède également une fermeture flexible qui se fixe directement sur l'éclairage du vélo et peut donc être rapidement attaché ou retiré.



Figure 16-6. Pièce de rechange de la manivelle de vitre



Figure 16-7. Attache de l'éclairage arrière

Une attache pour la perceuse de la machine à glace

Lee Holmes (Washington)

<http://thingiverse.com/thing:26835>

J'ai commandé un mixeur et son accessoire pour réaliser des glaces. Ce dernier est arrivé avant même que je ne reçoive l'appareil. Souhaitant manger de la glace, j'ai dû trouver une solution. J'ai donc imprimé un adaptateur pour contrôler la sorbetière grâce à un adaptateur de douille de fraiseuse standard 25,4 mm (et une perceuse puissante).



Figure 16-8. De la glace quand on veut !

Une pièce de rechange pour la sonnette d'entrée

George Banovac (Ontario)

<http://thingiverse.com/thing:10697>

En appuyant trop sur la sonnette de la porte d'entrée de ma mère, des petits malins l'ont cassée. Et plus d'une fois... Plutôt que de dépenser de l'argent pour en acheter une nouvelle, j'ai décidé d'en fabriquer une plus solide.

J'ai imprimé la nouvelle sonnette en ABS naturel. Difficile de la différencier de l'ancienne ! C'est la même mais en plus solide ; ce n'est plus une enveloppe creuse mais une mini-brique solide. Bien fait pour vous, tueurs de sonnettes !



Figure 16-9. La sonnette réparée

Des objets 3D déjà commercialisés

De nombreux makers, artistes, designers et autres start-up saisissent les opportunités offertes par l'explosion des services d'impression 3D pour vendre une grande variété d'objets customisés réalisés à la demande.

Nervous System

<http://n-e-r-v-o-u-s.com>

Nervous System est un studio expérimental dont la spécialité est d'explorer le design algorithmique. S'inspirant de la nature, l'entreprise développe des outils interactifs qui peuvent être utilisés pour générer une infinité de formes.

À l'heure actuelle, les produits disponibles incluent de la vaisselle, des lampes, des puzzles et des bijoux prédesignés. Les clients ont la possibilité de participer au processus créatif en réalisant leurs propres designs imprimés à la demande, grâce aux applications web de création de bijoux Radiolaria et Cell Cycle.

Tofty et les objets du quotidien

www.shapeways.com/shops/tofty

Spécialisé dans les objets de la vie courante, les outils multifonctions de Tofty ont de nombreuses fonctionnalités. Ils intègrent des leviers, tournevis à embouts, arrache-clous, ouvre-bouteilles et clés hexagonales métriques. Il vend aussi des lampes torches et un bijou lanterne fonctionnel en tritium.



Figure 16-10. Bracelet Morph réalisé avec l'application Cell Cycle et imprimé en argent massif – chez Shapeways (<http://shpws.me/pjLL>)



Figure 16-11. Barre à outils d'une seule pièce – chez Shapeways (<http://shpws.me/llzP>)

Continuum Fashion

<http://continuumfashion.com>

Les chaussures en nylon Strvct de Continuum Fashion sont solides, légères et fabriquées à la demande. Après impression, elles sont adaptées avec une semelle intérieure en cuir brevetée, recouverte d'un caoutchouc pour l'adhérence.

Ce label de mode a fait la une avec son bikini imprimé en 3D. Il propose aussi des applications de création pour leurs autres lignes de vêtements customisés en tissu et fabriqués à la demande, CONSTRVCT et D.dress.

ModiBot

www.modibot.com

ModiBot est un système de construction de figurines pour créer ses propres jouets. Commandez les pièces via Shapeways ou téléchargez-les pour les imprimer vous-même.

Joaquin Baldwin

<http://shpws.me/op71>

Joaquin Baldwin, le créateur de courts-métrages d'animation aux multiples récompenses, travaille le jour aux studios Disney et dessine sur son temps libre des objets en 3D (gadgets, figurines de jeux vidéo et autres modèles au concept étrange, tel que son ruban de Möbius au bacon ou sa tasse molécule de café.



Figure 16-12. Chaussure imprimée en 3D de la collection Strvct



Figure 16-13. Ange ModiBot à la World Maker Faire



Figure 16-14. Tasse molécule de café – disponible sur Shapeways (<http://shpws.me/op71>)

Protos Eyewear

<http://protoseyewear.com>

Basé à San Francisco, Protos Eyewear, créateur des lunettes de soleil 8-Bit, a récemment terminé avec succès une campagne de crowdfunding pour des lunettes personnalisées imprimées en 3D. L'entreprise a développé un logiciel interactif grâce auquel l'utilisateur modifie la forme des lunettes pour qu'elles s'adaptent à son visage, en utilisant des images téléchargées.



Figure 16-15. Lunettes, 28-Bit

Freakin' Sweet Knots

<https://www.shapeways.com/shops/freakinsweetknots>

Freakin' Sweet Knots est né du procédé expérimental de John Allwine, programmeur qui aime les nœuds de cravates, pour concevoir une bague de fiançailles pour sa femme. Il lui est apparu qu'il pourrait écrire une application afin de générer des modèles 3D similaires à cette bague qui seraient imprimés en 3D.

L'application Freakin' Sweet Knots (<http://knots.freakinsweetapps.com>) permet de créer votre propre bague nœud. L'application envoie ensuite directement le fichier à Shapeways.



Figure 16-16. La bague de Joyce, disponible sur Shapeways

Polychemy

<http://polychemy.com>

Basée à Singapour, Polychemy est une boutique en ligne de designers qui propose une variété de produits imprimés en 3D (bijoux, coques de smartphones). Elle collabore avec des artistes 3D de renom pour aider à vendre leur travail.

Les coques d'iPhone sont imprimées en plastique nylon solide et flexible appelé polyamide. Il est possible de les personnaliser, avec son nom par exemple.



Figure 16-17. Coque d'iPhone imprimée en plastique polyamide rouge

L'impression 3D dans le monde médical

De la bio-impression aux prothèses, la communauté médicale s'empare de ce procédé pour réaliser de nombreuses innovations.

Les prothèses révolutionnaires

<http://makezine.com/go/wakeforest>

Les chercheurs de l'Institut de médecine régénérative de l'université Wake Forest en Caroline du Nord ont créé une imprimante 3D unique conçue pour produire des prothèses de tissus et d'organes.

Les données de scans CT et IRM sont utilisées pour réaliser des modèles 3D. Des cellules vivantes et des biomatériaux qui maintiennent ensemble les cellules sont alors imprimés en 3D, puis implantés dans le corps où ils continuent de se développer en utilisant les procédés régénératifs naturels de celui-ci. L'équipe a construit un rein miniature implanté dans un bœuf et a pour objectif d'imprimer en 3D des versions similaires pour les humains.



Figure 16-18. Tissus et organes de remplacement imprimés en 3D

Belle et le bec

<http://makezine.com/go/beauty>

Après qu'un braconnier en Alaska désintégra la partie supérieure de son bec, l'aigle à tête blanche Belle a été amputée, incapable de manger, boire ou lisser ses plumes, sa langue et ses sinus ayant explosé.

En dépit des conseils de la faire euthanasier, la spécialiste des rapaces Jane Cantwell de Birds of Prey Northwest a refusé d'abandonner. Elle s'est alors associée avec Nate Calvin, fondateur du Kinetic Engineering Group. Sans aucune expérience avec des prothèses, ce dernier en a conçu une en réalisant un moule du bec restant. Après l'avoir scanné, puis modifié dans SolidWorks, il a imprimé un bec temporaire en 3D dans un composite de nylon. Un châssis en titane a été fixé à la partie supérieure restante du bec de Belle, agissant comme guide pour l'impression finale de la prothèse en titane.



Figure 16-19. Belle, l'aigle à tête blanche avant et après l'implant de son bec en titane imprimé en 3D

Les bras magiques

<http://makezine.com/go/stratasys>

Grâce à des charnières en métal et des élastiques résistants, le WREX (*Wilmington Robotic Exoskeleton*) offre aux patients ayant des bras sous-développés de nouvelles capacités de motricité.

Le WREX original réalisé avec des pièces usinées s'adapte à des enfants dès six ans. Pour Emma Lavelle, deux ans, les chercheurs ont découvert qu'il était possible d'imprimer en 3D des pièces plus petites, et aussi plus légères.

Imprimé grâce à l'imprimante 3D Dimension de Stratasys, l'exosquelette en plastique ABS se costume. Il est parfaitement optimisé pour les quinze enfants qui en bénéficient désormais.

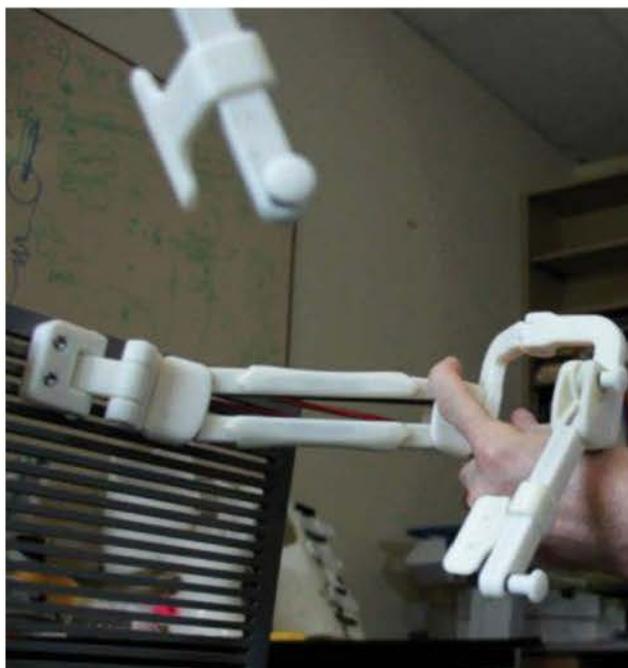


Figure 16-20. Les bras magiques WREX

L'ingénierie tissulaire

<http://organovo.com>

Basés à San Diego, les innovateurs d'Organovo ont conçu plusieurs bio-imprimantes NovoGen MMX customisées et commercialisées, capables d'imprimer des structures tissulaires.

Les machines sont équipées d'extrudeurs doubles : l'un imprime un gel soluble à l'eau qui sert de support de structure, et l'autre remplit la structure d'une bio-encre de cellules vivantes (chaque goutte contient entre 10 000 et 30 000 cellules) qui coulent ensemble naturellement et fusionnent. La nature fondamentale des matériaux biologiques est de s'auto-organiser et, après un temps d'incubation, les cellules continuent de se développer et de grossir sans le matériau en gel.

L'équipe a été capable d'imprimer des vaisseaux sanguins d'1 mm de diamètre et 5 cm de long en trente minutes.



Figure 16-21. La bio-imprimante NovoGen MMX d'Organovo

Les prothèses de designer

<http://bespokeinnovations.com>

À contre-courant des modèles traditionnels de prothèses qui sont toutes similaires, l'entreprise Bespoke Innovations, située à San Francisco, réalise des enveloppes personnalisées (les Fairings) qui entourent une prothèse de jambe déjà existante. Elles recréent la forme naturelle de la jambe du patient grâce au scan 3D, au design et à l'impression.

Conçues par le designer industriel Scott Summit et le chirurgien orthopédique Kenneth Trauner, les Fairings sont réalisées en collaboration avec les patients, afin qu'elles reflètent leur personnalité. Un certains nombres d'options de matériaux sont proposées telles que le cuir ou le chrome. On peut aussi les tatouer.



Figure 16-22. Enveloppe de prothèse de jambe Bespoke Fairings

Les mâchoires de l'innovation

<http://makezine.com/go/jaw>

Une mâchoire imprimée en 3D a été installée dans la bouche d'une Hollandaise de 80 ans à qui on avait retiré sa mandibule après une infection. L'entreprise belge LayerWise a modelé l'implant à partir d'un scan CT de l'os original.

Utilisant le frittage laser, l'implant est constitué de titane et recouvert d'une pellicule de biocéramique. Il pèse juste 30 g de plus que la mâchoire originale. La femme a pu parler quelques heures après la chirurgie.



Figure 16-23. Mâchoire imprimée en 3D

Un kit de chimie qui sort de l'ordinaire

<http://makezine.com/go/reactionware>

Des chercheurs de l'université de Glasgow ont développé un moyen de synthétiser du matériel de laboratoire customisé à très petite échelle.

Grâce à une imprimante 3D à bas prix et des logiciels de CAO open source, les chercheurs ont imprimé des vaisseaux customisés, appelés produits de réaction (*reactionware*), à partir d'un gel de polymère mêlé à des agents chimiques – ils entraînent des réactions chimiques. Ainsi, les pharmaciens pourraient créer des petites séries personnalisées de médicaments pour chacun de leurs patients.



Figure 16-24. Impression de reactionware

Des impressions artistiques et innovantes

Ces makers créatifs ont réalisé quelques-uns des objets imprimés en 3D les plus mémorables et originaux vus à ce jour, la plupart à partir d'une simple imprimante 3D de bureau.



Figure 16-25. Orihon

Le livre accordéon Orihon

Tom Burtonwood

www.thingiverse.com/thing:110411

C'est un livre de textures et de reliefs imprimé à partir de six scans 3D de livres provenant du MET, de l'American Museum of Natural History, de l'Art Institute of Chicago et du Field Museum of Natural History. Il s'inspire d'un appel à participation du Center for Book and Paper Arts de l'université de Columbia qui récompensait les livres photo et imprimés à la demande et photographiques.

Le robot humanoïde InMoov

Gaël Langevin « hairygael »

<http://thingiverse.com/hairygael>

InMoov est un robot humanoïde open source à taille humaine que vous pouvez imprimer sur une imprimante 3D de bureau et animer. En plus des fichiers imprimables, Gaël Langevin fournit aussi les instructions d'assemblage et des schémas pour vous aider à démarrer : www.inmoov.fr

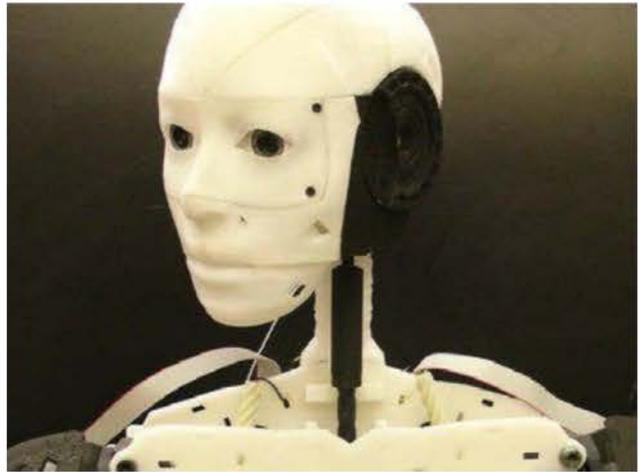


Figure 16-26. Robot humanoïde à taille humaine

Le Makerlele – MK1

Brent J. Rosenburgh « ErikJDurwoodII »

www.thingiverse.com/thing:34363

Ce ukuléle entièrement imprimable depuis son bureau (et qui joue !) utilise un transducteur et projette le son à travers le corps pour créer une tonalité plus pleine. Fraîchement imprimé, ajoutez des vis et des cordes, accordez-le et testez-le.



Figure 16-27. Makerlele

La tête d'un cheval de Séléne

Cosmo Wenman

www.thingiverse.com/thing:32228

<http://cosmowenman.com>

Cette pièce est une reproduction scannée de la fameuse sculpture du cheval de Séléne, déesse de la lune, venant du Parthénon. Elle a été imprimée en PLA sur une MakerBot Replicator, à la même taille et la même échelle que la sculpture originale.

Traitée avec un « bronze antique » grâce à la technique de patines de réalité alternée (« Alternate Reality Patinas »), créée par Cosmo Wenman, c'est une nouvelle version d'une sculpture antique bien connue.



Figure 16-28. Reproduction de la tête de cheval de Séléne

La série de lampes Orbicular

Nervous System

<http://n-e-r-v-o-u-s.com>

Appartenant à la collection de luminaires Hyphae de Nervous System, la lampe Orbicular est basée sur les nervures des feuilles. Ces géométries complexes et peu conventionnelles sont créées via un nouveau procédé de simulation par ordinateur. Chaque lampe de la collection est un design original imprimé en 3D en nylon. Grâce à des diodes respectant l'environnement, elle projette des ombres spectaculaires sur les murs et le plafond.



Figure 16-29. Lampe Orbicular

Un modèle de transmission automatique

Emmett Lalish « emmett »

www.thingiverse.com/thing:34778

Emmett Lalish s'est demandé comment fonctionnait un système de transmission. Il a donc trouvé et designé ce modèle de bureau fonctionnel. Avec six vitesses vers l'avant (et une vers l'arrière), il est un très bon outil d'apprentissage.



Figure 16-30. Modèle fonctionnel de transmission automatique

Le circuit à billes

Adam Fontenault et Chris Boynton

<http://little-badger.com/portfolio/makerbot-marble-run>

Ce circuit à billes possède plus de 2 000 pièces individuelles imprimées en ABS et assemblées. Il comprend cinq voies de bifurcation transportant chaque bille sur son chemin.

On le trouve en démonstration au magasin MakerBot à New York et dans les bureaux de l'entreprise MakerBot.

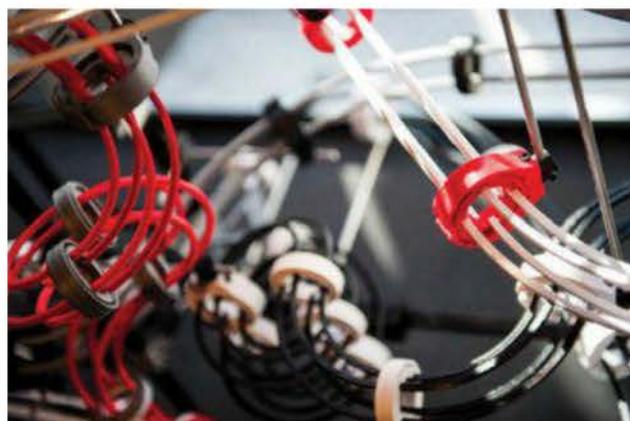


Figure 16-31. Circuit à billes MakerBot

La robe de Dita Von Teese

Michael Schmidt et Francis Bitonti

www.michaelschmidtstudios.com/dita-von-teese.html

<http://francisbitonti.com/Dita-s-Gown>

Cette robe imprimée en 3D est entièrement articulée et customisée. Conçue pour être portée par Dita Von Teese, reine du burlesque, elle est basée sur la suite de Fibonacci.

Elle a été dessinée par Michael Schmidt, puis modélisée en 3D par l'architecte Francis Bitonti et imprimée en nylon par Shapeways. Une fois imprimé, le vêtement a été assemblé à partir de dix-sept pièces différentes, teint en noir et laqué. Plus de 13 000 cristaux Swarovski ont aussi été attachés pour créer un effet « lumineux ».



Figure 16-32. La robe de Dita Von Teese (photographie : Albert Sanchez)

La couverture de l'album *Unknown Pleasures* de Joy Division

Michael Zoellner « emnullfuenf »

www.thingiverse.com/thing:92971

Ce modèle imprimable de l'iconique couverture d'*Unknown Pleasures* de Joy Division représente les courbes pulsar PSR B1919+21. Ne trouvant pas de graphique vectoriel ou de modèle 3D de la couverture, Michael Zoellner a fini par tracer les courbes à la main, pour ensuite les exporter en DXF et les extruder dans OpenSCAD.

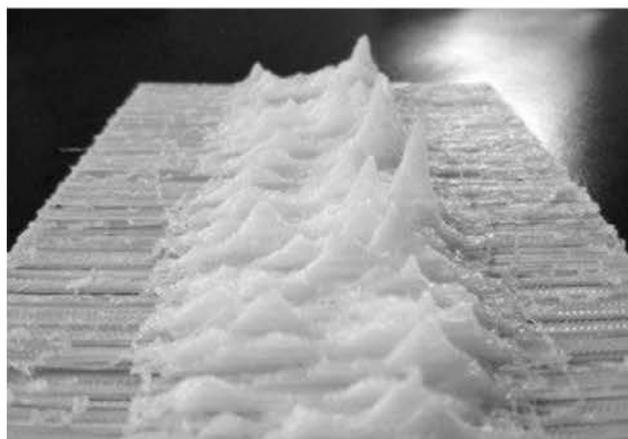


Figure 16-33. Couverture imprimée en 3D d'*Unknown Pleasures*

La chambre Digital Grottesque

Michael Hansmeyer et Benjamin Dillenburger

www.digital-grotesque.com

www.michael-hansmeyer.com

<http://benjamin-dillenburger.com>

Digital Grottesque est une chambre complexe conçue grâce à des algorithmes customisés, entièrement imprimée en 3D et en grès. Ce dernier est infiltré d'une résine qui augmente sa stabilité structurelle et ferme les pores. Il est ensuite couvert de pigment, d'alcool et de laque.



Figure 16-34. *Digital Grottesque*

La machine à rêver

17

Brouiller la frontière entre imagination et réalité physique.

PAR **KEVIN MACK**

Les photographies sont de Kevin Mack.

En tant qu'artiste, j'ai toujours voulu créer de l'art que personne n'avait vu auparavant. Au début des années 1980, ma quête de l'innovation m'a conduit aux ordinateurs. C'est alors que j'ai identifié le potentiel de la technologie numérique dans le domaine de l'art et m'y suis immergé.



Une carrière dans les effets spéciaux m'a placé sur le devant de la scène. J'ai ainsi pu explorer et expérimenter cette technologie avec des

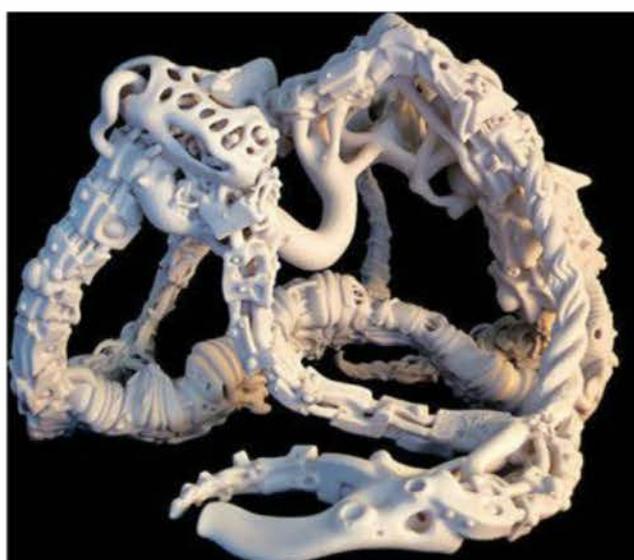
outils 3D numériques, comme la modélisation procédurale et la sculpture volumique, afin de les utiliser de façon inattendue. J'ai appris à construire de nouveaux outils et des procédés qui n'essayaient pas d'imiter les méthodes traditionnelles, avec pour résultat des artefacts virtuels uniques. Mes objets numériques étaient alors imprégnés de qualités mystérieuses et surnaturelles. Ils étaient nouveaux.

De la même façon que ces nouvelles capacités m'ont permis de donner naissance à mes plus folles ambitions, j'ai pu, grâce à l'impression 3D, réaliser ces créations numériques dans le monde physique. C'était comme un rêve de science-fiction devenu réalité.

Une des raisons pour lesquelles je trouve l'impression 3D si convaincante est qu'elle permet la production de pièces qui n'auraient pas pu être réalisées d'une autre façon. En effet, le prototypage rapide ne connaît pas les nombreuses limites des méthodes traditionnelles de création d'objets. En exploitant ses capacités, je suis capable d'ajouter une puissante dimension à mes sculptures : elles ne sont pas seulement nouvelles, elles semblent même impossibles.

Les êtres humains sont immergés dans un monde d'objets fabriqués dans les usines,

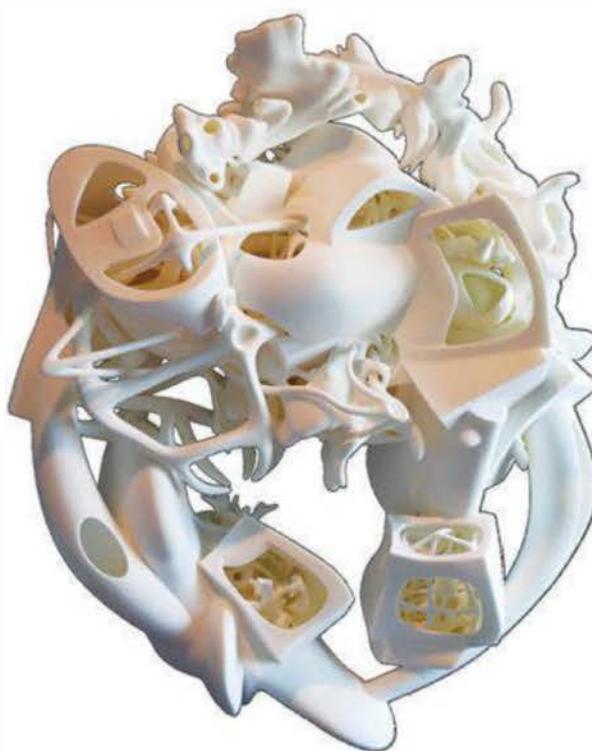
et nos cerveaux ont donc une compréhension intuitive de la façon dont les choses sont faites. Nous attendons même certaines caractéristiques des procédés de fabrication, comme des coutures, une complexité limitée des pièces et une quasi-absence de courbes. L'impression 3D permet la création d'objets qui défient de façon évidente ces attentes. Lorsque vous tenez ces pièces entre vos mains, vous sentez immédiatement que vous êtes en présence de quelque chose qui n'aurait pas été possible auparavant. Cela peut être une expérience profondément surréaliste.



Mon rêve de créer de l'art qui n'a jamais été vu auparavant est devenu une réalité, grâce à la technologie numérique et l'impression 3D.

Elles ont ouvert un vaste champ d'esthétiques possibles et entièrement nouvelles. Je crée et découvre en effet des formes inimaginables et des sculptures qui n'auraient pas pu exister avant.

Et ce n'est que le début ! Le procédé progresse constamment. Dans le futur, je prédis que les technologies créatives brouilleront complètement les frontières entre imagination et réalité physique. Je ne sais pas si le monde est prêt, mais j'ai hâte !



Le fabricant du désert

18

L'imprimante 3D de Markus Kayser qui utilise sable et soleil.

PAR LAURA KINIRY

Vous pensez que le désert manque de ressources ? Ce n'est pas le cas de Markus Kayser ! Diplômé en design produit, cet assistant de recherche au MIT a créé une imprimante 3D qui peut fabriquer des objets en verre grâce à deux des ressources les plus abondantes d'un désert : le soleil et le sable.

Il a commencé par se demander ce qu'il se passerait s'il construisait une machine qui pourrait agir comme un transistor entre les deux. Son dispositif de frittage solaire (<http://markuskayser.com/work/solarsinter>) en est le résultat direct (voir figure ci-dessous).



Figure 18-1. La Solar Sinter

Basée sur la technologie de frittage laser sélectif, la *Solar Sinter* de Kayser se sert du soleil comme d'un laser et du sable à la place de la résine, pour créer des répliques physiques exactes des designs numériques.

L'imprimante inclut une large lentille de Fresnel qui fait face au soleil en permanence (grâce à une machine qui le traque électroniquement), des moteurs pas-à-pas pour déplacer et charger le bac à sable et deux panneaux photovoltaïques de 60W qui produisent l'électricité afin de charger la batterie qui actionne les moteurs et l'électronique.

Lors de sa première expérience en extérieur, Markus Kayser a fabriqué un bol, un carreau ainsi qu'une sculpture. « Une fois que je lance le design que j'essaie de produire via une carte SD », déclare-t-il, « la machine lit le code et déplace le bac à sable sur les bons axes x et y à 1 mm par seconde pendant que la lentille dirige un rayon de lumière qui génère une température entre 1 400 et 1 600 °C, plus qu'assez pour faire fondre le sable ». Les objets (voir figure suivante) sont construits couche après couche en plusieurs heures.



Figure 18-2. *Objets frittés*

« [Dans le futur] imprimer directement sur le sol du désert avec plusieurs lentilles faisant fondre le sable et peut-être construire des architectures dans des environnements désertiques pourrait devenir une réalité », songe Markus Kayser.

Comment j'ai imprimé un humanoïde

19

PAR **MICHAEL OVERSTREET**

Ces dernières années j'ai expérimenté avec l'impression 3D pour les structures de support de mon robot humanoïde Boomer (voir figure ci-dessous). Avec lui, j'ai participé aux RoboGames et réalisé des démonstrations aux Maker Faire. À chaque fois, les gens m'interpellent et me demandent ce qu'est l'impression 3D et pourquoi je n'imprime pas comme tout le monde des supports en métal.

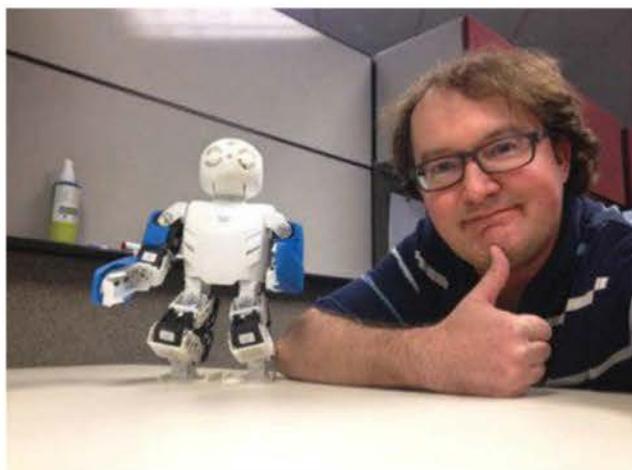


Figure 19-1. Michael Overstreet et Boomer

Je l'ai fait simplement parce que je le pouvais. L'arrivée des imprimantes 3D DIY (à fabriquer soi-même) à bas coût a offert aux makers une nouvelle façon de fabriquer et de customiser les objets. J'ai donc simplement exploré ce nouveau procédé. Au fur et à mesure que j'imprimais plus de pièces pour mon robot, j'ai réalisé que c'était possible, et ce, à bas prix.

Lors de la conférence internationale de robots humanoïdes en 2010, j'ai découvert le DARwIn-OP de Robotis (voir encadré). Après avoir constaté à quel point ce robot était habile et innovant, j'en ai voulu un. Mais comment se l'offrir quand son prix est de 8 600 € ?

Évolution humanoïde

DARwIn-OP (*Dynamic Anthropomorphic Robot with Intelligence-Open Platform*) est un robot humanoïde à la pointe de la recherche et du développement, créé par le laboratoire de robotique et mécanique de Virginia Tech (RoMeLa, *Robotics and Mechanisms Laboratory*). Le projet a été mené par le professeur Dennis Hong en collaboration avec les universités de Pennsylvanie et Purdue, ainsi qu'avec l'entreprise sud-coréenne Robotis, avec le soutien de la National Science Foundation.

D'un poids de 2,9 kg et d'une hauteur de 45,5 cm, DARwIn-OP a gagné la médaille d'or de la catégorie « taille enfant » de la RoboCup Soccer Humanoid League en 2011 et 2012.

C'est la manière dont ce projet a commencé. Ma mission était d'imprimer autant de robots que possible en utilisant une imprimante 3D DIY coûtant tout au plus 1 500 €. DARwIn-OP

est un projet open hardware et software, tous les fichiers 3D et plans étant libres et disponibles en ligne. J'ai acheté 20 servomoteurs Dynamixel MX-28T et le kit complet d'électronique de Robotis.

Aujourd'hui, mon clone DARwIn-OP (voir figure ci-dessous) est entièrement assemblé. J'ai dépensé environ 4 400 €, sans compter les coûts des imprimantes 3D utilisées. Certes, le prix est encore élevé, mais il est quasiment réduit de moitié en comparaison de celui d'usine.



Figure 19-2. Mon clone DARwIn-OP

Voici le matériel que j'ai utilisé :

- j'imprime mes pièces en plastique ABS vu que le PLA est plus fragile et s'effrite. Je suis entièrement d'accord avec la revue *Make* qui préconise l'imprimante UP! Plus/Afinia dans l'édition 2012 de son *Ultimate*

Guide to 3D Printing ; c'est une des meilleures du marché. Elle a imprimé 90 % de mon clone (attaches des moteurs, ossature structurelle et couvertures du corps) ;

- les servomoteurs numériques Robotis Dynamixel sont à la pointe et de qualité supérieure (rapides, couple élevé et très haute résolution) ;
- écrous et boulons ne sont pas idéaux pour le plastique. Je soude donc mes supports imprimés en 3D grâce à une colle liquide adaptée au plastique, de type Super Glue 3 Précision Méga de Loctite, ou une pâte d'ABS-acétone ;



Figure 19-3. Colle liquide pour souder le plastique

- DARwIn-OP est contrôlé par un ordinateur compact et abordable Fit-PC2 et un servorégulateur CM-730.



Figure 19-4. Les cerveaux du robot

J'ai dû aussi relever des défis :

- certaines pièces, conçues pour l'aluminium ou le plastique moulé par injection, sont presque impossibles à réaliser avec une imprimante DIY. Il faut imprimer l'enveloppe à l'avant du corps à la plus haute résolution – cela revient à seize heures de travail sur mon imprimante, et beaucoup de choses peuvent aller de travers pendant tout ce temps ! J'ai donc décidé de faire imprimer les enveloppes de la tête et du corps par Shapeways (<http://shapeways.com>) via leur procédé de frittage laser. Par la suite, j'espère pouvoir modifier ces pièces avec une imprimante DIY, ou en trouver une qui peut les réaliser ;
- certaines pièces sont une fois et demie (ou deux et demie) la largeur de l'ex-

trudeur plutôt que deux ou trois. De nombreuses imprimantes 3D et logiciels de découpe ne peuvent pas surmonter cette difficulté, causant la création de passages creux dans les parois qui fragilisent la pièce. L'autre problème est que les enveloppes du corps sont à peine de l'épaisseur d'un tracé.

Retour d'expérience

Voici ce qui m'a aidé tout au long du projet.

- J'ai optimisé certaines pièces grâce au logiciel de design 123D d'Autodesk pour créer mes fichiers STL. Il est gratuit et facile d'emploi.



Figure 19-5. Support imprimé en 3D

- J'aime la précision de l'imprimante 3D UP! Plus. Elle permet aussi la création automatique de radeaux (supports temporaires qui évitent l'entortillage) et de matériau de support pour caler les surplombs, ponts et trous de vis. J'ai dû jouer avec l'orientation des pièces sur le plateau parce qu'elle peut affecter l'impression des surplombs et des supports.

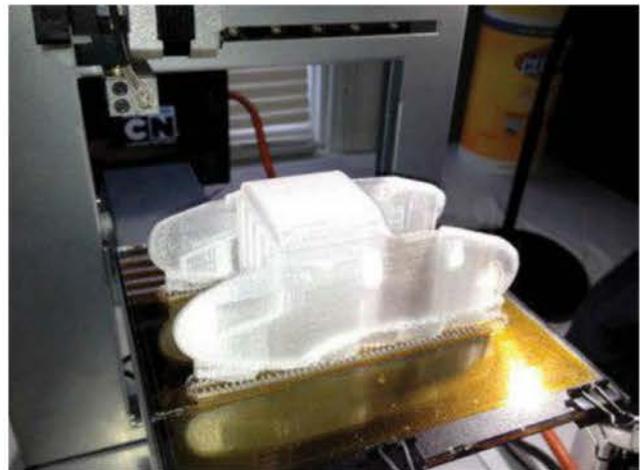
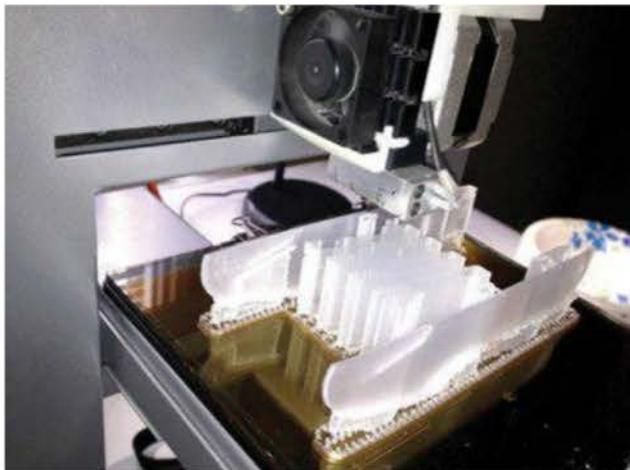
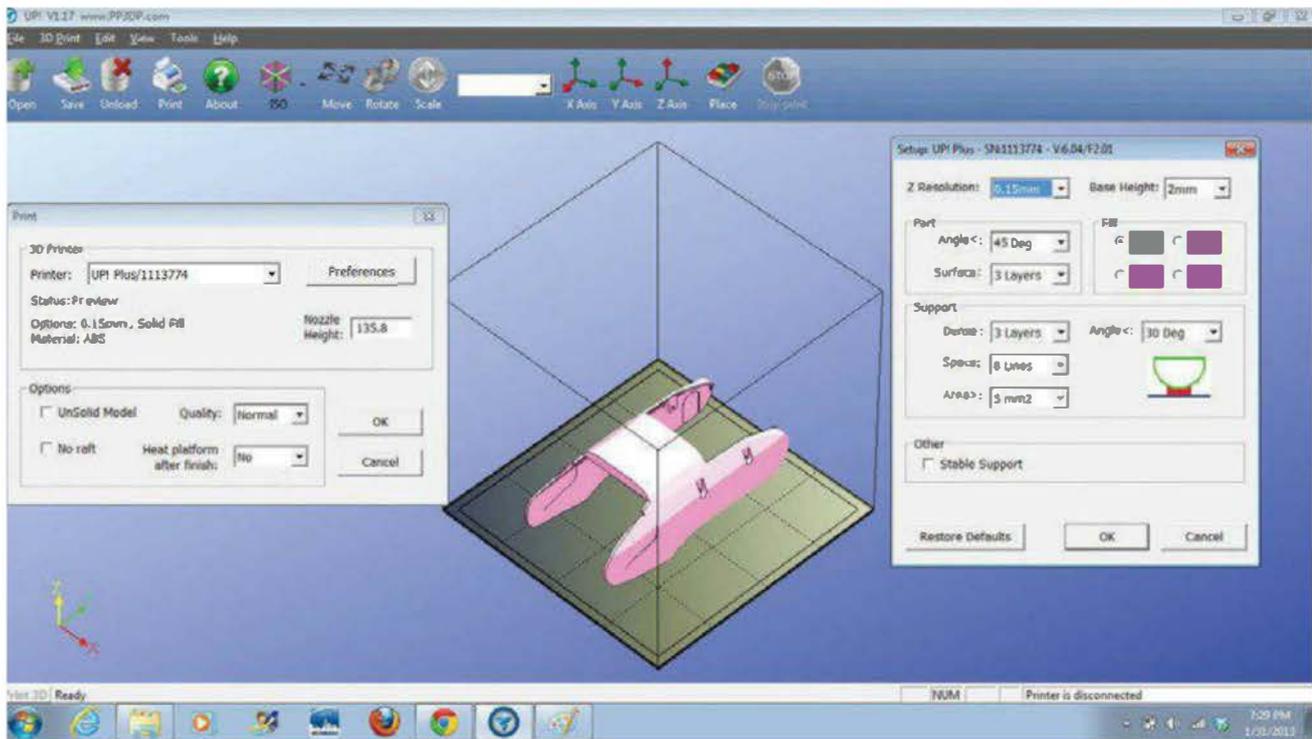


Figure 19-6. En haut, le logiciel de la UP! ; en bas à gauche, le matériau de support en train de s'imprimer sur la UP! Plus ; en bas à droite, la pièce humanoïde s'imprime.

- L'impression en ABS requiert un plateau chauffé à environ 45 °C. Pour améliorer la performance, je lui ai ajouté du verre couvert d'adhésif Kapton.
- Voici une astuce pour mettre à niveau le plateau : si une feuille de papier peut bouger librement entre la tête de l'extrudeur et le plateau d'impression, le positionnement est bon. Sinon, la tête de

l'extrudeur est trop près. En revanche, si le papier bouge trop facilement ou si vous voyez un espace, elle est trop éloignée.

- Les manuels open source DARwIn-OP sont les plus complets et détaillés avec lesquels j'ai travaillé, détaillant toutes les étapes de l'assemblage. Je remercie Dr J.K. Han de Robotis pour le travail acharné effectué pour les créer !

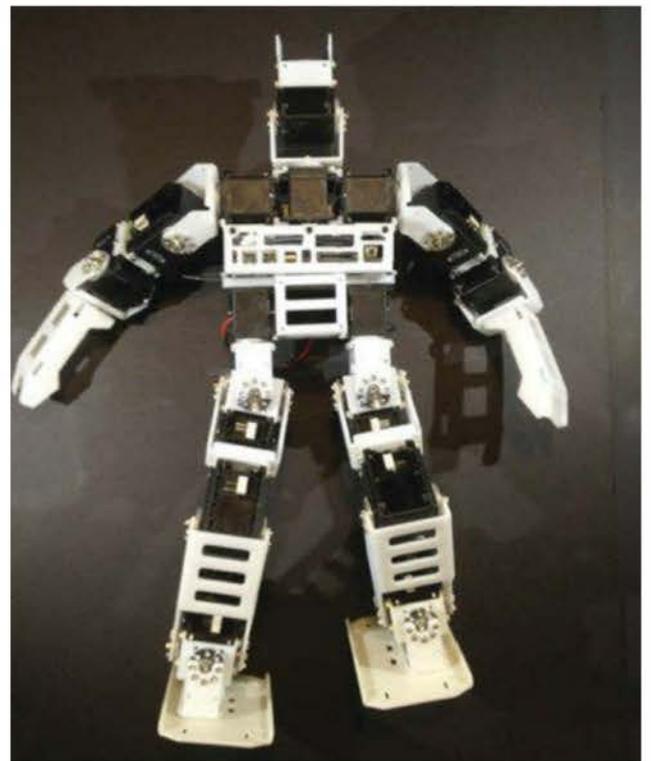


Figure 19-7. En haut, documentation humanoïde étape par étape ; en bas, designs de robot humanoïde provenant du manuel d'assemblage Robotis.

Alors, impression personnelle ou professionnelle ?

L'impression du robot complet a nécessité deux bobines de plastique pour un total de 65 € alors qu'une impression via le service Shapeways revient à quasiment 730 €. Mais la performance de la UP! n'est pas un cas isolé : aujourd'hui, beaucoup d'imprimantes personnelles sont capables de rivaliser avec ce faible prix de revient, en offrant une qualité d'impression qui vaut selon moi 70 à 80 % celle des machines professionnelles.

Toutefois, je pense faire imprimer toutes les enveloppes par Shapeways pour environ 290 €, car ce sont les pièces les plus difficiles à réussir par soi-même.

Et après ?

Je vais ensuite télécharger le logiciel de contrôle sur le Fit-PC2 pour que le robot puisse marcher, parler et voir, avec aussi peu de modifications logicielles et matérielles que possible.

Par exemple, je pourrais avoir besoin de redessiner quelques-uns des supports et ossatures parce qu'ils ont été conçus pour l'aluminium. Avec mon ami Yoshihiro Shibata, j'ai analysé la structure de DARwIn-OP pour trouver ses points faibles lorsqu'il est imprimé en plastique (voir figures ci-dessous). J'ai en effet pour projet de redessiner seulement les pièces qui cassent pour qu'elles soient plus solides, vu que je ne souhaite pas ajouter de poids superflu.

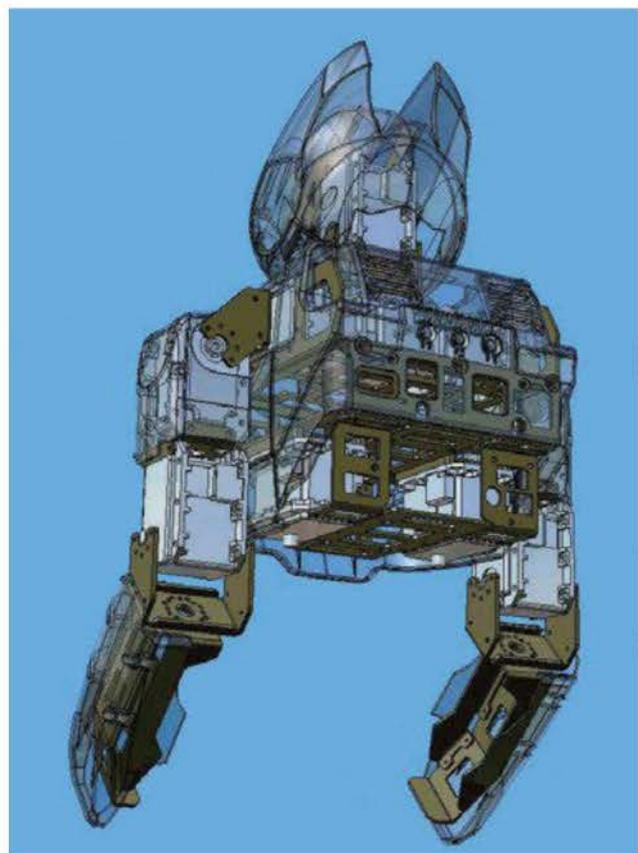


Figure 19-8. À gauche, analyse de la structure de DARwIn-OP ; à droite, il faut trouver les points faibles pour imprimer en plastique.

C'est un des grands avantages de la fabrication personnelle : si quelque chose ne fonctionne pas, redessinez-le et imprimez-le. Ce procédé est appelé design d'itération et d'expérimentation. Pour seulement quelques euros, vous pourrez imprimer une pièce aussi souvent que nécessaire.

Lorsque le robot sera entièrement fonctionnel, je modifierai son enveloppe pour qu'il ressemble à mes humanoïdes de fiction préférés, Robby, Gort, Atom et C-3PO, et je lui ajouterai peut-être une main complètement articulée avec des doigts.

Je me rends compte que je n'en aurai jamais fini avec ce projet. Je pense que la seule limite sera celle de mon imagination. C'est à mon sens la plus grande avancée du mouvement de la fabrication personnelle. Elle a ouvert des possibilités sans fin pour les particuliers afin qu'ils explorent, dans le monde physique, leurs rêves et leurs idées.

Pour finir, je tiens à remercier tout particulièrement Luis Rodriguez, Rob Giseburt, Paul Piong, Roc Terrell, James Rao et Kayla Kim pour leurs imprimantes et leur savoir.

D'autres manières de fabriquer des objets 3D

Le fraisage d'objets 3D

20

Voici ce qu'il faut retenir des différences entre fabrication soustractive et additive.

PAR **TOM OWAD ET ANNA KAZIUNAS FRANCE**

Il y a beaucoup d'excitation (bien méritée !) autour des imprimantes 3D. Pour le maker averse qui fabrique ses propres pièces, c'est surtout dû à sa capacité d'autoréplication. Malgré tout, cette machine est-elle l'outil idéal ?

Les imprimantes 3D – la plupart possèdent un extrudeur de plastique chaud pour produire des modèles en plastique – s'appuient sur le procédé de fabrication additive. Elles s'opposent aux outils de fabrication soustractive, qui travaillent un bloc solide et enlèvent de la matière grâce à un outil de découpe. Ce procédé est plus courant, surtout avec du bois et du métal. Tours, fraiseuses, scies et autres machines CNC (les découpeuses laser ou vinyle) sont des exemples d'outils soustractifs.



Le fraisage CNC, l'équivalent soustractif de l'impression 3D

Même si une fraiseuse CNC, ou une découpeuse, est l'équivalent soustractif de l'imprimante 3D, le fraisage possède plus d'inconvénients pour l'amateur.

- Sans un système pour contrôler la poussière, des déchets s'éparpillent partout dans la pièce où vous travaillez.
- Un extrudeur en plastique peut certes surchauffer et prendre feu, mais fraiser reste plus risqué. Changer une lame tournant à 20 000 tours/min est dangereux, projetant des petits morceaux voire la pièce en entier. J'ai par ailleurs été victime d'un départ de feu mineur avec ma découpeuse CNC.
- Fraiseuse et découpeuse sont nécessairement plus grandes et plus lourdes qu'une machine 3D. Elles sont en conséquence aussi plus chères et plus difficiles à déplacer. Elles requièrent un système de positionnement qui permet de conserver la précision lorsqu'elles rencontrent une résistance et avec des moteurs assez puissants pour les contrôler.

- Le fraisage demande une préparation logicielle plus complexe. Après avoir dessiné l'objet dans un programme de CAO ou de modélisation 3D, il faut générer les tracés avec un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO). Cela implique de spécifier les dimensions et l'endroit où se trouve le matériau, les dimensions et caractéristiques de la fraise ainsi que les vitesses des axes et de la broche. Cette complexité peut intimider le débutant.

Le fraisage possède tout de même un avantage incontestable : cette technologie est mature. Même si les imprimantes 3D personnelles s'améliorent à un rythme effréné, elles nécessitent encore beaucoup de bricolage et d'expérimentation pour obtenir des impressions satisfaisantes.

Que voulez-vous fabriquer ?

Pour la création de très grandes pièces et de structures, préférez le fraisage, qui utilise surtout le bois, pour être certain d'obtenir des résultats satisfaisants. Par ailleurs, rappelez-vous qu'il est moins cher de travailler le bois que le plastique.

Il est cependant plus compliqué de fabriquer des objets 3D complexes avec une fraiseuse CNC qu'avec une imprimante 3D. Certes, il existe des outils gratuits pour le fraisage 2.5D, mais les logiciels de FAO pour le fraisage 3D sont souvent très chers et difficiles d'emploi.

Avec l'impression 3D, il suffit de concevoir un modèle dans un logiciel gratuit, comme SketchUp ou Inventor Fusion, et d'exporter le fichier STL. Le logiciel de découpe le convertit ensuite automatiquement en tracés G-code, qui seront envoyés directement vers votre imprimante 3D. Avec l'impression 3D, nul

besoin de modifier les tracés de découpe et aucun risque de voir l'outil s'écraser sur votre travail. Pour des petits objets 3D, l'impression 3D reste la bonne solution.

Construire sa machine CNC

Choisir le fraisage ne signifie pas pour autant que vous abandonnez l'autoréplication ou la fabrication de votre propre machine.

Patrick Hood-Daniel, auteur de *Build Your Own CNC Machine*, construit à partir de zéro un kit CNC, capable de réaliser toutes ses pièces customisées, à la manière d'une imprimante 3D RepRap par exemple.

Le cadre est réalisé à partir de contreplaqué coupé sur mesure. Tout le reste est standard. L'équerre, les boulons et les vis en aluminium sont disponibles dans n'importe quel magasin de bricolage. La vis axiale et les écrous de récupération devront probablement être commandés chez McMaster-Carr et DumpsterCNC, mais vous pourrez à la rigueur vous en sortir avec moins de pièces. Les moteurs pas-à-pas et les pilotes de moteurs sont complètement standards et disponibles dans un grand nombre de magasins. La broche est une découpeuse en bois classique – la mienne est une Porter-Cable 892.

Comme pour la RepRap, il faut avant tout dénicher la découpeuse d'origine qui coupera le contreplaqué permettant de fabriquer sa propre découpeuse. Heureusement, n'importe quelle découpeuse CNC qui prend en charge une feuille de contreplaqué de 50 x 100 mm est capable de fabriquer ces pièces. Rendez-vous dans le hackerspace le plus proche de chez vous, dans un Fab Lab ou un lieu de fabrication. Ou consultez les forums sur www.systemed.fr et www.usinages.com pour trouver quelqu'un qui possède cet équipement. Sinon, sachez que Patrick Hood-Daniel

vend également des kits complets sur www.buildyourcnc.com.

Pour obtenir les fichiers CAO et FAO pour les pièces, allez sur <http://buildyourcnc.com/cnckit2.aspx> (en anglais) et téléchargez les plans du kit de machine à fraiser CNC version 1.3. Des vidéos expliquent comment monter l'ensemble. Les fichiers sont sous licence Creative Commons Attribution-NonCommercial, signifiant que vous pouvez construire vous-même les machines et les offrir à vos amis mais il ne vous sera pas possible de les vendre.

Ressources utiles pour construire sa fraiseuse CNC

- *Build Your Own CNC Machine*, de James Floyd Kelly et Patrick Hood-Daniel (en anglais) : <http://amzn.com/1430224894>.
- www.dumpstercnc.com (en anglais).
- <http://buildyourcnc.com> (en anglais).
- Sur www.roboticus.org/cnc, vous trouverez un article, en français, qui explique comment construire sa propre fraiseuse numérique.

Les fichiers CAO sont au format propriétaire CamBam, mais une version gratuite est disponible. La plupart des logiciels CAO étant très chers, je vous conseille d'utiliser ce format. Notez qu'il peut lire et écrire les fichiers DXF (*Drawing eXchange Format*), servir en CAO et FAO. Par ailleurs, la version gratuite contient un nombre impressionnant d'options.

Notez que la plus grande faiblesse du kit BuildYourCNC est son manque de solidité et de précision du à son design bois.

Il existe une autre solution intéressante : le système MakerSlide, disponible chez Inventables (<http://inventables.com>). Il intègre des rails en V dans un système d'extrusion en aluminium (disponible, par exemple, sur Inventables.com). Grâce à cette combinaison, il est possible de créer une machine précise et plus rigide qu'avec du bois.



Encore plus de fraiseuses

La section précédente a été originellement publiée en 2012 dans *Make: Ultimate Guide to 3D Printing* (<http://makezine.com/volume/make-ultimate-guide-to-3d-printing>). Depuis, de nouvelles CNC de bureau et autres systèmes de déplacement linéaire ont vu le jour, à des prix accessibles.

Il faut également noter qu'il existe de nombreux types de fabrication soustractive en plus du fraisage (comme la découpe laser et vinyle) et de nombreux systèmes d'attaches de lames CNC.

Othermill

<http://otherfab.com>

De petit format et de haute précision, Othermill est une fraiseuse CNC d'Otherfab. Elle a émergé du projet MTM Snap (*Machines That Make*) créé par Jonathan Ward – qui travaille aujourd'hui pour Otherfab – au Center of Bits and Atoms du MIT (<http://mtm.cba.mit.edu/>). Son coût est d'environ 1 600 €, vendue préassemblée et prête à fonctionner.

Cette machine a une zone de travail de 14 × 11,4 × 3,2 cm. Elle est optimisée pour le fraisage de circuits électroniques de revêtements en cuivre FR-1 utilisant un axe silencieux et à grande vitesse. Elle peut aussi usiner des bois tendres, de la cire, des plastiques et des métaux non ferreux.

À la différence des CNC créées à partir de contreplaqué, MDF et autres matériaux qui ont tendance à se déformer, l'Othermill est constituée d'HDPE chimiquement résistant et antimoisissure.

Par ailleurs, l'équipe Othermill essaie de simplifier et d'embellir le procédé FAO de fraisage en concevant son propre logiciel de FAO customisé pour cet outil, appelé Otherplan.

Shapeoko 2

www.shapeoko.com

Shapeoko est une fraiseuse CNC open source conçue par Edward Ford. Selon votre niveau d'expertise, elle peut être assemblée en un week-end. Sur Inventables.com (<https://www.inventables.com/technologies/desktop-cnc-mill-kits-shapeoko>), vous la trouverez en kit mécanique (à 220 €) ou complet (480 € pour 110 V/500 € pour 220 V).

La Shapeoko open source et fournit toute la documentation pour l'ensemble des pièces,

incluant les fichiers CAO. Elle utilise aussi le système MakerSlide évoqué précédemment.

La machine est contrôlée pour un empilement de matériel open source. Son interpréteur et transmetteur de G-code est, pour le moment, grbl (Windows) ou gctrl (Mac et Linux).

Les matériaux de fraisage incluent les plastiques, les bois et les métaux non ferreux (comme l'aluminium et le cuivre). Cependant, il est important de noter que Shapeoko recommande fortement une mise à jour de la broche (plutôt que d'utiliser un outil rotatif) si vous avez en projet d'usiner les métaux.

Les systèmes à mouvement linéaire

En plus des fraiseuses CNC complètes ou en kit, il existe plusieurs entreprises qui proposent de l'extrusion d'aluminium open source combinée à des systèmes de déplacement linéaire transformables en CNC customisées.

MakerSlide

www.makerslide.com

MakerSlide a été créé par Bart Dring. Il intègre la traditionnelle roue en V sur un mécanisme de rails en V de déplacement linéaire employé couramment par les fraiseuses CNC. Il s'agit du premier système populaire, accessible et open source de ce type. Par exemple, la Shapeoko 2 utilise MakerSlide.

Il est commercialisé sur Inventables.com (<https://www.inventables.com/technologies/makerslide>).

OpenBeam

<http://blog.openbeamusa.com> et <http://store.openbeamusa.com>

Les extrusions d'aluminium open source OpenBeam se retrouvent dans deux machines 3D : la Mini Kossel et la Kossel Pro. Ces deux imprimantes open source RepRap et commerciales (RepStrap) sont issues d'un partenariat entre Johann Rocholl, le créateur de la Rostock et de la Mini Kossel, et Terence Tam d'OpenBeam.

OpenBuilds

www.openbuilds.com et <http://openbuilds-partstore.com>

Le magasin de pièces OpenBuilds vend des extrusions d'aluminium open source en V Open Rail et d'autres éléments de déplacement linéaire. L'imprimante 3D Bukito de Deezmaker contient des V-Slots OpenBuilds.

Crânes en chocolat dans des bacs en PLA

21

Réaliser des moules pour des chocolats grâce à l'impression 3D.

PAR ANNA KAZIUNAS FRANCE

Tous les ans, à Halloween, je prépare des sucreries. J'enfile un costume et je les distribue à tout le monde pendant mes vacances. C'est ce que j'appelle un « trick-or-treating inversé » (NdT : le « trick or treat » est une tradition américaine où les enfants font du porte-à-porte pour collecter des bonbons).

En octobre 2012, j'ai imprimé en 3D un moule pour réaliser des chocolats et des bacs individuels pour stocker ces friandises avant de les mettre dans des sachets pour les distribuer.



Figure 21-1. Les crânes en chocolat blanc sur les bacs en silicone aux normes alimentaires

Quelques mois plus tôt, j'avais scanné le crâne avec 123D Catch afin d'imprimer en 3D le collier de mon costume de la déesse Kali que je portais durant Halloween (voir figure 21-2).



Figure 21-2. Joyeux Halloween 2012 de la part de Kali et de Finn & Jake !

Le moule initial a été créé à partir d'un script OpenSCAD (<http://openscad.org>) pour obtenir un modèle combinant une boîte paramétrique (créée par l'utilisateur de Thingiverse acker) et le crâne. Le même script a été utilisé pour les bacs pour les chocolats. Imprimés en PLA, ils n'ont servi qu'à présenter (et non mouler) la nourriture.

Voici les fichiers à télécharger :

- le moule initial pour fabriquer les moules en forme de crâne : www.thingiverse.com/thing:33432 ;

- le crâne avec des dents pointus (scan propre et réparé) : www.thingiverse.com/thing:31998 ;
- le scan du crâne original (avant nettoyage) : www.123Dapp.com/obj-Catch/Skull-with-Pointed-Teeth/859975.

La liste du matériel

Afin de réaliser ces crânes en chocolat, vous aurez absolument besoin :

- d'un accès à une imprimante 3D. Pour ma part, j'ai utilisé une MakerBot Replicator. Sinon, faites appel à un service d'impression 3D (comme Sculpteo ou Shapeways) ;
- d'un filament PLA pour l'imprimante ;
- d'un plastique de silicone aux normes alimentaires, de type Smooth-On Smooth-Sil 940 (www.smooth-on.com/a25/Smooth-Sil%3D-940-Suitable-For-Food-Related-Applications/article_info.html) ;
- d'un chocolat à fondre (pas de température requise), comme le Nestlé Dessert ou le Noir de Noir de Côte d'Or ;
- de la lécithine de soja en gel. Vous en trouverez au rayon des compléments alimentaires dans les grandes surfaces ;

- d'un thermomètre alimentaire. Je trouve que ceux électroniques avec un grand affichage sont plus faciles à lire. Achetez-le dans un magasin d'électroménager ;
- d'une casserole à double fond (ou une grande soupière et un petit bol en verre pour mélanger) ;
- d'un couteau tranchant ;
- d'une petite spatule.

En option :

- de la poudre de chocolat, de la marque Nestlé par exemple ;
- des gants en coton qui éviteront que vos doigts laissent des traces sur le chocolat au moment du démoulage ;
- des bouteilles ou flacons souples aux normes alimentaires, ou un entonnoir à chocolat (pour éviter de salir la maison) ;
- un cuiseur vapeur en bambou. Il peut remplacer la casserole à double fond ou la grande soupière et le bol en verre ;
- des sachets de bonbons en plastique avec des attaches torsadées, à acheter par exemple sur le site Féerie Cake (www.feeriecake.fr).

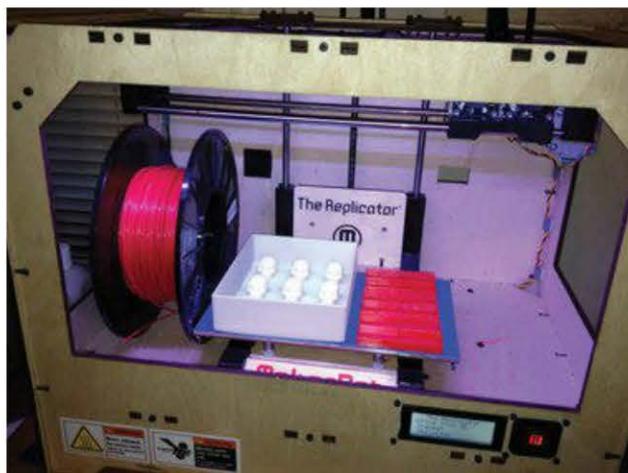


Figure 21-3. À gauche, les fournitures nécessaires pour le moulage ; à droite, le matériel pour l'imprimante 3D

Étape 1. Imprimer le moule en 3D

Le travail commence par l'impression 3D du moule (voir figure ci-dessous).



Figure 21-4. Moule fraîchement imprimé en 3D

Pour ceux qui utilisent une imprimante 3D personnelle, je recommande d'imprimer le moule avec un taux de remplissage de 13 % et trois enveloppes. J'ai mis à disposition deux

versions du fichier STL du moule, l'une avec des parois fines (1,3 mm) et l'autre avec des parois épaisses (2,3 mm). Le premier moule n'est pas complètement étanche si vous l'imprimez avec un radeau. Pour y remédier, je me suis servi d'une colle liquide à la base du moule. Mais, finalement, je ne pense pas que cela soit nécessaire, car le mélange en caoutchouc s'est avéré très épais. Le second, lui, mettra un peu plus de temps à s'imprimer. Au final, je vous conseille le moule aux parois fines pour y verser le caoutchouc de silicone.

Étape 2. Mélanger et verser le silicone

Mélangez le caoutchouc de silicone Smooth-On Smooth-Sil 940 en suivant les proportions indiquées sur le paquet. Versez-le dans le moule imprimé en 3D, de telle façon qu'il recouvre les crânes d'environ 1,30 cm ou vienne quasiment à ras du sommet du moule.

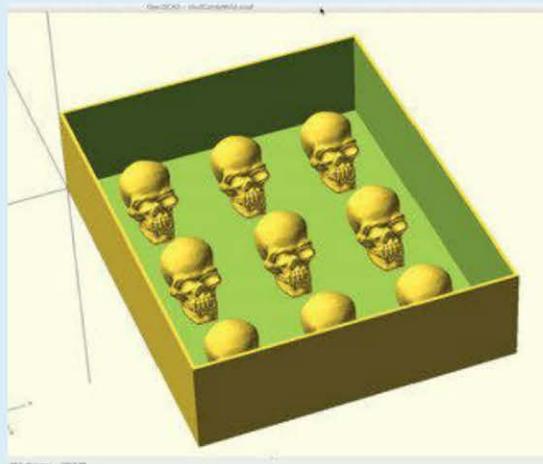
Concevoir son propre moule dans OpenSCAD

Il est possible de réaliser son propre moule. Pour cela, éditez le fichier `skullCandyMold.scad`.

Avant d'effectuer des changements, je vous suggère de jouer avec le code du moule tel qu'il est. Assurez-vous que le fichier `vampireSkull_0.2.stl` est placé dans le même répertoire que le fichier OpenSCAD.

Une fois que vous êtes sûr que tout fonctionne, remplacez le fichier `skullCandyMold.scad` par le nouveau fichier STL du moule : il suffit de changer la variable « nom de fichier » par le nom de votre STL. Veillez à ce que celui-ci soit dans le même répertoire que le fichier `.scad`.

Voici le rendu du moule dans OpenSCAD.



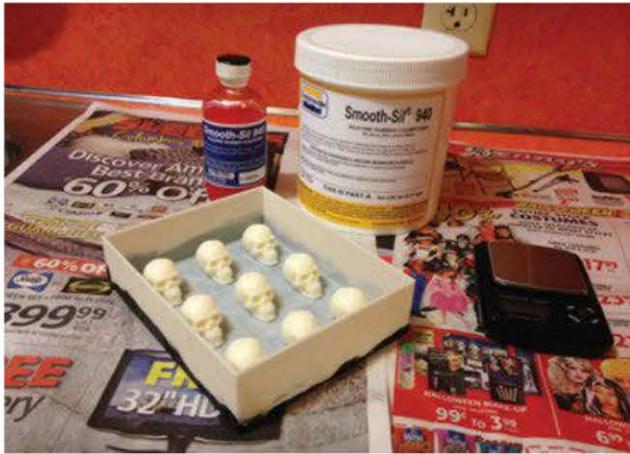


Figure 21-5. Le silicone est prêt à être versé.

Ne possédant pas, pour l'instant, un dégazeur qui empêcherait la formation de bulles dans le moule, j'ai donc placé ce dernier sur un caisson de basses pendant que de la musique avec des basses lourdes était diffusée (voir figure ci-dessous). J'ai par ailleurs utilisé le manche d'une brosse à dents électrique pour faire vibrer la base et les côtés extérieurs du moule afin que les bulles remontent.

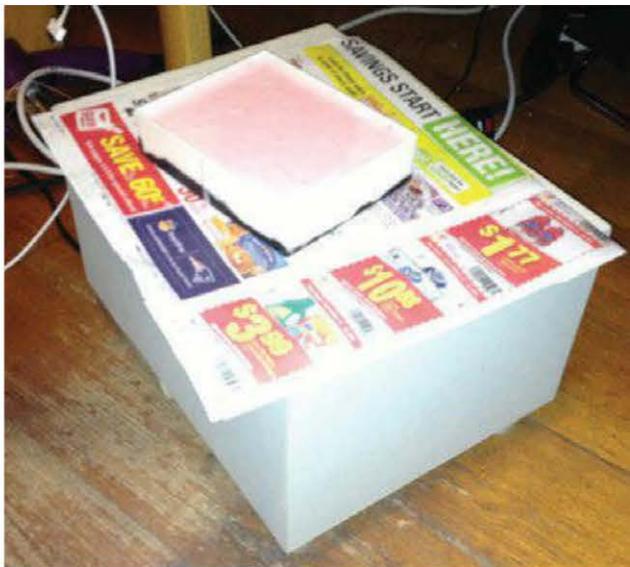


Figure 21-6. Faire remonter les bulles grâce à un caisson de basse

Avec cette technique, je n'ai eu aucun problème de bulles ou de perte de détails du moule.

Enfin, laissez reposer le moule pendant 24 heures et suivez les instructions de curetage à la chaleur. Lisez aussi le document suivant : www.smooth-on.com/tb/files/Food_Grade_SS940.pdf.

J'ai recouvert de colle liquide noire (du caoutchouc liquide) la base du moule aux bords les plus fins (voir figure ci-dessous). J'avais peur qu'il ne soit pas complètement étanche. Avec du recul, je ne pense pas que cela soit en fait nécessaire. Le Smooth-On Smooth-Sil 940 est si épais qu'il n'y aurait pas eu de fuites.

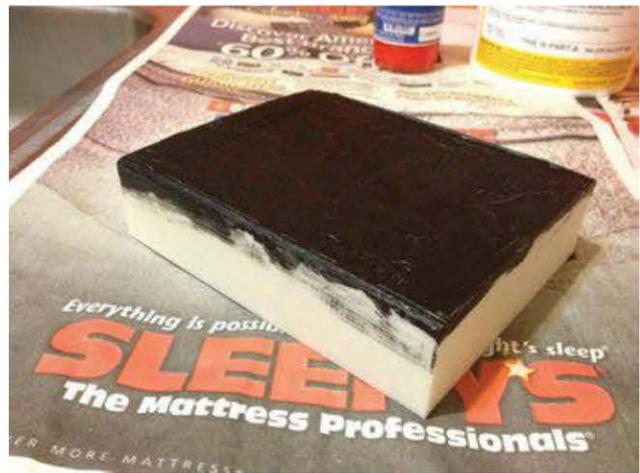


Figure 21-7. Forme de moule recouverte de « colle liquide »

Étape 3. Démouler

Pour retirer le moule de silicone de la forme de moule imprimée en 3D, il vous faudra probablement mettre en pièces cette dernière. C'est ce que j'ai été obligée de faire. Par ailleurs, certains crânes ont dû être retirés un par un. Dans l'ensemble, le démoulage a ensuite été assez facile.

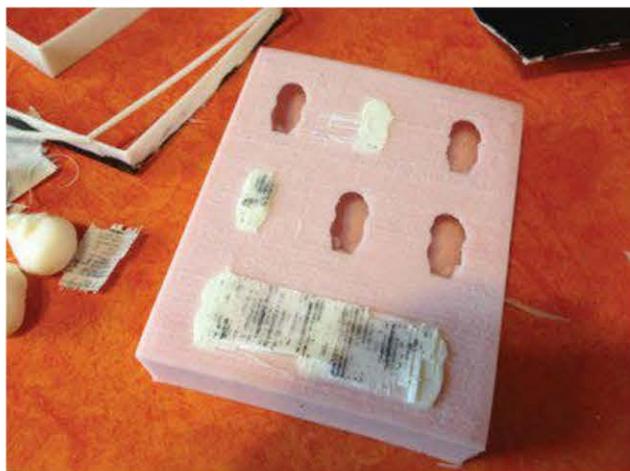


Figure 21-8. À gauche, j'ai détruit la forme de moule imprimée en 3D avant de retirer les crânes du moule en silicone (à droite).

Rincez ensuite le moule avec de l'eau et du savon. Attention, laissez-le sécher complètement avant d'y verser le chocolat, car celui-ci ne fait pas bon ménage avec l'eau au moment du moulage.

des crânes (voir figure ci-dessous). Cela n'aura aucune incidence sur la qualité des chocolats. J'ai découvert cette petite astuce par hasard alors que je démoulais de nombreuses fournées de chocolats. Je me suis rendu compte que le sommet d'un des crânes commençait légèrement à se fendre, à force de plier le moule.



Figure 21-9. Le moule en silicone terminé

Étape 4. Réaliser des entailles dans le moule

Afin de faciliter le démoulage des chocolats, réalisez, avec une lame de rasoir, des entailles perpendiculaires dans le moule au sommet



Figure 21-10. Des encoches (seulement visibles lorsqu'on plie le moule) sont ajoutées au sommet des crânes.

Étape 5. Extraire la lécithine de soja

La lécithine de soja aide au démoulage, mais elle a aussi d'autres propriétés. Elle agit, par exemple, comme un émulsifiant.

Pour extraire l'huile, j'ai coupé quatre pilules de lécithine en gel (pour environ deux poignées de chocolat) – jetez-les lorsque c'est terminé.



Figure 21-11. Les pilules de lécithine de soja en gel

Étape 6. Fondre le chocolat

J'ai choisi du chocolat blanc qui ne nécessite pas d'être tempéré. Si vous décidez de tempérer le chocolat, sachez que cela implique un procédé complexe qui ne sera pas abordé ici.

Pour ce faire, j'ai utilisé une casserole à double fond, en suivant les instructions sur l'emballage – si vous n'en possédez pas, consultez les solutions alternatives à la fin de cette section.

N'oubliez pas que la température, à mesurer à l'aide d'un thermomètre, est importante. Elle doit idéalement se situer entre 37 et 40 °C. Attention, si vous chauffez trop le chocolat, vous risquez de détruire le moule.

Pendant que le chocolat chauffe, ajoutez-y une petite quantité de lécithine (voir étape 5), puis mélangez doucement jusqu'à ce qu'il fonde entièrement. Si vous le désirez, incorporez au mélange une pincée de poudre de chocolat pour un goût plus fin.

Si vous n'avez pas de casserole à double fond, voici d'autres techniques alternatives.

- **Avec un cuiseur vapeur en bambou et un bol en verre.** Remplissez à moitié une grande casserole d'eau dans laquelle vous placerez un panier à vapeur en bambou. Un petit bol en verre permettra de fondre le chocolat. Selon moi, mieux vaut réaliser de petites fournées. Pour éviter que la vapeur ne se mêle au chocolat, insérez du papier absorbant entre le panier en bambou et le bol en verre.

Faites attention à ne pas mélanger de l'eau au chocolat fondu, car il risque alors de se diluer et d'être difficile à mouler.



Figure 21-12. Une alternative consiste à fondre le chocolat dans un bol en verre placé dans un panier vapeur en bambou.

- **Avec un cuiseur vapeur en bambou et une bouteille souple** (conseillé). J'ai gardé l'installation de la grande casserole et du panier vapeur en bambou, mais j'ai remplacé le bol en verre par une bouteille

souple de chocolat. Je l'ai entourée d'un torchon pour éviter les risques liés à la vapeur.

Cette méthode est pour moi la plus efficace. Il a été facile de remplir chaque crâne dans le moule et le procédé est moins salissant.



Figure 21-13. Ici, le chocolat est fondu dans une bouteille souple.

Une fois le premier moule rempli, j'ai pu mettre la bouteille de côté, avant de la réchauffer par la suite au-dessus du panier vapeur. Ainsi, je n'ai pas perdu de chocolat pendant les transferts d'un récipient à l'autre, et la quantité de vaisselle à nettoyer a été limitée.

Étape 7. Laisser refroidir le chocolat

Avant de verser le chocolat dans le moule, vous devez le laisser refroidir (voir figure 21-14) à une température de 35-36 °C. Cela peut prendre plus de temps que ce que vous imaginez.

Tout en gardant un œil sur votre thermomètre, préparez votre moule et votre matériel. Il est préférable de rester près du chocolat pour ne

pas rater le coche. Le risque est qu'il soit trop refroidi pour pouvoir le verser dans le moule.

Pour verser le chocolat dans une bouteille souple ou un entonnoir à chocolat, il vaut mieux le faire pendant qu'il refroidit.

Avant d'opter pour cette bouteille souple, j'avais testé l'entonnoir à chocolat.



Figure 21-14. Laissez le chocolat refroidir, tout en gardant un œil sur le thermomètre !

Étape 8. Verser le chocolat dans le moule

Une fois le chocolat refroidi, vous devez le verser dans le moule. Comme vu précédemment, préférez la méthode de la bouteille souple. Bien évidemment, rien ne vous empêche d'opter pour une autre technique.

Lorsque le chocolat est versé, lissez-le à l'aide d'une spatule ou d'un couteau à beurre pour enlever tout excès.



Figure 21-15. J'ai utilisé une bouteille souple pour verser le chocolat dans le moule (à gauche). J'ai ensuite lissé la surface avec un couteau (à droite).

Étape 9. Placer le moule au réfrigérateur

Le moule doit ensuite être stocké dans le réfrigérateur jusqu'à ce que le chocolat se solidifie. Il faut compter environ vingt minutes pour de petites pièces, et plus longtemps pour les plus grandes.



Figure 21-16. Le moule est placé au réfrigérateur pendant vingt minutes.

Étape 10. Imprimer les bacs

Pendant ce temps-là, imprimez les bacs à bonbons avec du filament de PLA. Si vous n'imprimez pas chez vous, n'oubliez pas de les prévoir ; sinon, faites sans.

Si vous avez des inquiétudes concernant l'utilisation du PLA pour conserver des aliments, placez une petite feuille de papier sulfurisé ou de papier-parchemin sous chaque crâne.



Figure 21-17. Impression des bacs à bonbons en PLA

Voici le lien vers les fichiers de mes bacs à bonbons avec quatre séparateurs : www.thingiverse.com/thing:33432.

Ce code de bac paramétrique a été écrit par acker, qui l'a modifié de hippie-gunnut. De mon côté, j'ai modifié le script paramétrique pour que les bacs s'adaptent parfaitement à mes chocolats.

Étape 11. Démouler le chocolat

Cette étape doit être réalisée avec précaution, surtout que ces chocolats sont difficiles à démouler. Pour éviter de laisser ses empreintes, portez des gants en coton comme ceux utilisés par les fabricants de bonbons.



Figure 21-18. Démoulez le chocolat avec des gants.

Pour ce faire, tordez le moule en caoutchouc. Ce travail est plus facile à réaliser quand on a de petites mains, ce qui est mon cas ! J'ai donc réussi à sortir les chocolats sans les détruire.

J'ai découvert qu'après avoir libéré le chocolat en tordant le moule, il est plus facile de dégager la tête pour la sortir en la tirant. Il est possible d'abîmer un peu les dents mais, dans l'ensemble, tout se passe sans complications.

Sachez que j'ai réalisé plusieurs fournées sans détruire aucun chocolat !

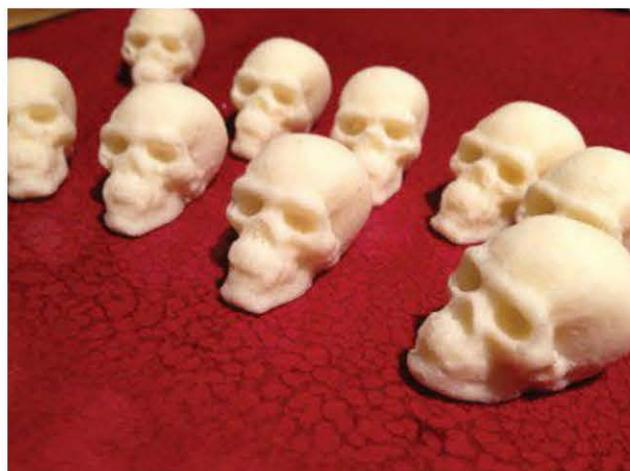


Figure 21-19. Les chocolats une fois démoulés

Positionnez enfin les crânes dans les bacs que vous placerez ensuite dans les sachets à bonbons. Il ne vous reste plus qu'à les offrir !



Figure 21-20. Les chocolats ont pris place dans les bacs.

Délits d'impression

22

Un extrait futuriste d'*Overclocked : stories of the future present*.

PAR **CORY DOCTOROW**

Les policiers détruisirent l'imprimante de mon père quand j'avais huit ans. Je me souviens de son odeur chaude de film transparent passé au micro-ondes, de la féroce concentration de papa quand il la remplissait de mélasse fraîche et de cette sensation de chaleur émanant des objets créés, comme tout droit sortis du four.

Les policiers passèrent la porte en faisant tourner leurs matraques ; l'un d'eux récitait les termes du mandat d'arrêt dans un porte-voix. L'un des clients de papa l'avait vendu. L'ipolice l'avait payé en médicaments haut de gamme – boosters de performances et de métabolisme, compléments pour la mémoire. Le genre de choses qui coûte une fortune en magasin, le genre de choses que vous pouvez imprimer à la maison, si vous n'êtes pas inquiet de voir votre cuisine soudainement envahie de corps imposants, épais, de matraques volant dans les airs qui détruisent tout et n'importe quoi sur leur passage.

Ils fracassèrent le coffre de mamie, celui qu'elle avait rapportée du Vieux Monde. Ils cassèrent notre petit réfrigérateur et le purificateur d'air au-dessus de la fenêtre. Mon oiseau gazouilleur échappa à la mort en se cachant dans un coin de sa cage alors qu'un gros pied botté l'écrabouillait en grande partie, la rédui-

sant à un triste enchevêtrement de barreaux imprimés.

Papa. Ce qu'ils lui ont fait... Quand c'eut été fini, il donnait l'impression qu'il s'était battu avec une équipe entière de rugby. Ils l'emmenèrent par la porte et laissèrent les journalistes l'observer pendant qu'ils le faisaient entrer violemment dans la voiture. Pendant tout ce temps, un porte-parole racontait à la foule que l'organisation du crime organisé pour la contrefaçon avait été responsable d'au moins 20 millions de contrebande, et que mon papa, le malfaiteur désespéré, avait résisté à son arrestation.

J'ai tout vu depuis mon téléphone, dans ce qu'il restait du salon, regardant sur l'écran et me demandant comment on pouvait croire, en regardant notre petit appartement et nos affaires, que cette maison était celle d'un gros bonnet du crime organisé. Ils confisquèrent l'imprimante, bien sûr, et la brandirent comme un trophée pour les journalistes. Son petit autel dans la cuisinette semblait horriblement vide. Quand je me réveillai, rangeai l'appartement et sauvai mon pauvre petit oiseau pépant, j'installai un mixeur à la place vacante de l'imprimante. Il était constitué de pièces imprimées, qui prendraient moins d'un mois avant de nécessiter la création de nouveaux roule-

ments à billes et autres pièces mécaniques. En ce temps-là, je pouvais démonter et assembler tout ce qui pouvait être imprimé.

Quand j'eus 18 ans, ils furent prêts à laisser papa sortir de prison. Je lui avais rendu visite trois fois – à mon dixième anniversaire, à son cinquantième et lorsque maman est morte. Cela faisait deux ans que je ne l'avais pas vu et il était dans un triste état. Un combat en prison l'avait laissé avec un membre handicapé, et il regardait par-dessus son épaule si souvent que c'était comme s'il avait un toc. Je fus embarrassée quand le mini-taxi nous laissa devant la maison, et j'essayai de garder mes distances avec ce squelette en lambeaux, traînant la jambe pendant que nous entrions et montions les escaliers.

« Lanie », dit-il lorsque je m'assis. « Tu es une fille intelligente, je le sais. Tu ne saurais pas où ton vieux papa pourrait avoir une imprimante et un peu de mélasse ? »

Je serrai mes poings si forts que mes ongles coupèrent mes paumes. Je fermai les yeux. « Tu as été en prison pour dix ans, papa. Dix ans. Tu voudrais risquer dix années de plus pour imprimer des mixeurs et des médica-

ments, des ordinateurs et des chapeaux de créateurs ? »

Il grimaça. « Je ne suis pas stupide, Lanie. J'ai appris la leçon. Il n'y a pas de chapeau ou d'ordinateur qui valent d'aller en prison. Je n'imprimerai plus ces âneries, jamais plus. » Il avait une tasse de thé qu'il but comme si c'était du whisky, une gorgée suivie d'une longue expiration de satisfaction. Il ferma les yeux et s'allongea sur sa chaise.

« Viens ici, Lanie. Laisse-moi te dire quelque chose à l'oreille. Laisse-moi te dire ce que j'ai décidé pendant que je passais dix ans derrière les barreaux. Viens ici et écoute ton stupide papa. »

Je sentis une pointe de culpabilité pour m'être énervée. Il était vraiment fou, c'était une certitude. Dieu seul sait ce par quoi il était passé en prison. « Quoi, papa ? » dis-je, m'approchant tout près de lui.

« Lanie, je vais imprimer plus d'imprimantes. Beaucoup plus d'imprimantes. Une pour tout le monde. Ça mérite la prison. Ça mérite tout. »

N'hésitez pas à copier cette histoire :
<http://craphound.com/?p=573>

Imprimer son appareil photo argentique

23

PAR **LÉO MARIUS**

Cet article reprend les instructions pas à pas partagées par Léo Marius (<http://leomarius.com>) sur sa page Instructables (www.instructables.com/id/3D-Printed-Camera-OpenReflex). Le texte a été traduit et adapté par Mathilde Berchon. Toutes les photographies sont de Léo Marius.

À l'été 2013, le jeune designer français Léo Marius a mis en ligne son projet de fin d'études de l'École supérieure d'art et design de Saint-Étienne (ESADSE) : l'OpenReflex, réalisé avec l'imprimante 3D de son école. Il s'agit d'un appareil photo argentique entièrement conçu pour être fabriqué à la maison. C'est un projet de recherche autour de l'impression 3D de bureau, du design ouvert et du hacking. Il est 100 % open source et placé sous licence Creative Commons Attribution-ShareAlike. Tout le monde peut donc le reproduire, le modifier et même le vendre à condition de choisir la même licence et d'indiquer clairement l'auteur originel. N'hésitez donc pas à le copier, le comprendre, l'améliorer et à partager vos découvertes ; l'OpenReflex n'attend que ça !

Dès sa mise en ligne, l'OpenReflex a attiré l'attention de centaines de passionnés d'im-

pression 3D, de DIY et de matériel libre. Le projet de Léo Marius a reçu de nombreuses attentions, faisant la une de Thingiverse et Instructables.

Léo Marius travaille désormais à une deuxième version de son appareil et à la création d'un site pour mettre en commun tous les projets OpenReflex réalisés à travers le monde.

Avant de commencer

L'OpenReflex est un appareil photo argentique, avec un viseur à miroir et un obturateur mécanique manuel (à environ 1/60^s). Il est par ailleurs compatible avec n'importe quelle lentille photo grâce à un anneau de support customisé.



Figure 23-1. L'appareil photo OpenReflex imprimé en 3D, de Léo Marius

Toutes les pièces sont facilement imprimables sur une imprimante 3D ABS de type RepRap, sans utiliser de matériau de support. L'ensemble s'imprime normalement en moins de quinze heures et s'assemble en moins d'une heure.

Toutes les pièces sont séparées (récepteur de film, obturateur et viseur) pour faciliter le montage et les modifications.

Les fichiers sources sont disponibles sous licence Creative Commons By-Sa. N'hésitez pas à les modifier si vous souhaitez une nouvelle fonctionnalité et n'oubliez pas de partager vos améliorations sur Internet.

Tous les fichiers nécessaires à la création de l'OpenReflex sont disponibles sur la page Instructables du projet : www.instructables.com/id/3D-Printed-Camera-OpenReflex.

Ce projet est dans la continuité de la boîte à sténopé que j'ai réalisée il y a deux ans avec une MakerBot première génération.

Étape 1. L'OpenReflex (OR-01)

L'appareil se constitue de trois parties distinctes qui ont chacune une fonction précise :

- le réceptacle qui sert à maintenir le film (35 mm) et à le dérouler ;
- l'obturateur rapide expose le film à environ 1/60^s ;
- le viseur permet d'installer une lentille et de prévisualiser le cadrage et la mise au point.

J'ai fait attention à ne me servir que des outils que tout le monde peut trouver dans le FabLab le plus proche :

- une imprimante 3D récente de type RepRap, qui imprime de préférence en ABS. Pour ma part, j'ai utilisé une MakerBot Replicator 2X ;
- un outil de découpe CNC (découpeuse vinyle ou laser). Je me suis servi d'un traceur Silhouette Cameo et d'une découpeuse laser Epilog ;
- un coupe-verre ;
- une clé Allen ;
- du papier de verre.

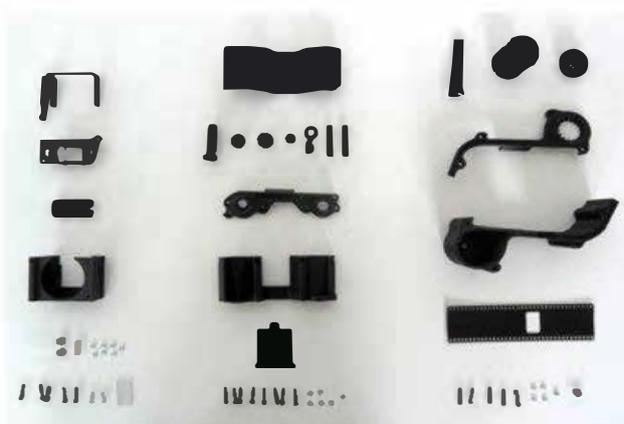


Figure 23-2. Toutes les pièces de l'OpenReflex

Il vous faudra aussi acheter – le tout devrait vous coûter moins de 25 € :

- 250 g d'ABS noir (environ 7 €) ;
- 3 roulements à billes M3 (environ 3 €) ;
- des vis et des boulons M3 ;
- une feuille de PET noir 0,3 mm (pour espacer le plastique) ;
- une feuille de plastique transparent clair ;
- un petit miroir d'une épaisseur de 1,5 mm ;
- 16 aimants carrés de 3 mm (environ 3 €) ;
- 1 « finger skate truck » (environ 5 €) ;

- 1 sachet de pâte Sugru noire (environ 3 €) ou de Patafix.

Tous les fichiers STL des pièces imprimées en 3D de l'OpenReflex sont à télécharger à l'adresse suivante : www.instructables.com/files/orig/FAI/BP6M/HIPISNJ7/FAIBP6MHIPIISNJ7.rar. Ils sont listés sur la page Instructables du projet (en anglais) : www.instructables.com/id/3D-Printed-Camera-OpenReflex.

Étape 2. L'arrière

Imprimez toutes les pièces de l'appareil :

- le corps de l'appareil (Body) – 2 h 50 environ ;
- l'enveloppe (Cover) – 50 min environ ;
- l'arrière de l'enveloppe (BackCover) – 1 h 30 environ ;
- tout le reste : FilmGuide en deux exemplaires, Rewinder, RewinderCover, Unwinder, UnwinderP2, UnwinderButton – environ 1 h.

Coupez l'arrière de l'obturateur (BackShutter, faisant partie de BackCover).

Pour mes configurations d'impression, j'ai découpé mon modèle avec MakerWare (c'est le seul logiciel non open source que j'ai utilisé...) avec les réglages de base suivants : remplissage 15 % avec trois enveloppes avec des épaisseurs de couche de 0,27 mm. Mon imprimante a fabriqué des pièces très propres. Je n'ai donc pas eu besoin de beaucoup d'enveloppes, ni d'un remplissage élevé pour obtenir des pièces à la légèreté souhaitée.

Selon l'imprimante, il vous faudra donc peut-être modifier ces réglages. Ce qui importe le plus, c'est d'obtenir des pièces très légères. Il n'est pas nécessaire d'avoir une impression irréprochable à haute résolution.

Une fois que tout est imprimé, nettoyez, si nécessaire, les pièces. On bouchera plus tard les trous avec de la Sugru pour que les pièces ne laissent pas passer la lumière. Notez que les trous pour les vis s'impriment souvent mal, mais ce n'est pas très gênant, car la vis trouvera sa place dans le plastique.

Maintenant, assemblez l'ensemble en suivant ce pas à pas.

1. Commencez par mettre les deux écrous hexagonaux M3 dans les trous prévus sur le corps de l'appareil. Ils sont serrés ; il faudra donc forcer un peu. Vous pouvez passer une vis de l'autre côté pour tirer l'écrou.



2. Installez l'enveloppe arrière (BackCover) sur son axe et insérez l'écrou et la vis. L'enveloppe arrière devrait bien s'assembler et tourner librement sur son axe. Placez aussi l'arrière de l'obturateur (BackShutter) sur sa rainure sur le corps.



3. Positionnez le dérouleur (UnwinderP2) et son bouton (UnwinderButton) sur le corps. Ils devraient tourner, mais pas trop.
4. Insérez le dérouleur (Unwinder) et les deux guides de film (FilmGuide) dans le corps de l'appareil (Body). Placez l'enveloppe (Cover) au-dessus de l'ensemble. Tournez le bouton du dérouleur (UnwinderButton) pour l'aligner avec le dérouleur (Unwinder). Si les guides de film (FilmGuide) ne tournent pas sur leurs axes, ce n'est pas un problème.
5. Une fois les écrous carrés dans les colonnes, vissez-les à travers l'enveloppe de l'appareil (Cover).
6. Alignez l'enveloppe arrière (BackCover) avec l'enveloppe (Cover) et vissez-les ensemble. Tout devrait être parfaitement en place. Normalement, le bouton du dérouleur (UnwinderButton) actionne le dérouleur (Unwinder) avec un peu de frottement, et l'obturateur arrière (BackShutter) coulisse sur sa rainure.



Étape 3. L'obturateur

Imprimez toutes les pièces :

- le corps de l'appareil (Body) – environ 5 h 30 ;

- l'enveloppe de l'appareil (Cover) – environ 1 h 50 ;
- la roue (Wheel) – environ 3 h 20, à imprimer avec un profil haute résolution, avec des couches aussi fines que possible ;
- le viseur (Actuator) – moins d'une heure, à imprimer avec du support ;
- l'enveloppe du viseur (ActuatorCover) – environ 40 min.

Coupez Shutter.svg.

1. Nettoyez toutes les pièces, tout particulièrement le corps de l'appareil (Body). Il se peut que du filament soit mal imprimé et bloque le passage de l'obturateur (Shutter). N'hésitez pas à utiliser du papier de verre.



2. Préparez les pièces et placez le roulement sous la roue (Wheel). Il s'encastre précisément. Alignez le roulement sur la rainure, puis poussez. Si du plastique mal imprimé obstrue la rainure, retirez le roulement, nettoyez le trou de la roue et réessayez.



3. Positionnez l'écrou hexagonal à la base du corps de l'appareil (Body). Là encore, c'est très ajusté ; vous devez donc forcer un peu.
4. Insérez la roue dans le corps. Vissez-la sur le dessus, puis mettez un écrou de l'autre côté. Normalement, la roue tourne facilement sans trop de frottement. Si elle n'est pas dans l'axe, retirez-la, et vérifiez l'écrou et le roulement. Un alignement légèrement décalé n'est pas grave et sera normalement corrigé par l'obturateur.
5. Placez l'obturateur. La partie longue doit être dans la direction de la roue. Ce n'est pas très évident et il vous faudra la tordre et la pousser un peu dans la roue. Une fois que les perforations sont toutes positionnées sur la roue, tout devrait fonctionner.



6. Construisez votre « finger skate truck » et fixez-le au déclencheur. Ne forcez pas trop.
7. Placez le déclencheur sur la roue, puis l'enveloppe. Vissez-la comme celle de l'arrière.
8. Tournez la roue jusqu'à ce qu'elle bute sur l'obturateur. Fixez ensuite l'enveloppe du déclencheur pour maintenir ce dernier. Utilisez pour cela de la Patafix au cas où la roue tournerait et que vous auriez besoin de la repositionner.

Étape 4. Le viseur

Pour cette étape, il vous faut :

- 12 aimants carrés ;
- un miroir d'une épaisseur de 1,5 mm. Notez que le fichier s'adapte à d'autres épaisseurs ;
- un plastique transparent clair ou du verre poli fin à couper ;
- 5 écrous carrés M3 ;
- 4 écrous M3 ;
- 2 roulements M3 ;
- 2 vis M3X10 ;
- 2 vis MS (X10 ou X16).

Commencez par imprimer toutes les pièces :

- le corps (Body) – environ 1 h 25 ;
- le sommet (Top) ;
- le support du miroir (SuppMirror) ;
- le miroir du déclencheur (MirrorActuator) – environ 45 min ;
- l’anneau pour lentille Nikon (NikonRing) – environ 40 min.

Coupez le miroir et une pièce de plastique clair transparent aux bonnes dimensions.

1. Placez tous les aimants. Commencez avec le support du miroir (SuppMirror), puis le corps (Body) et la partie supérieure (Top). Forcez un peu sur le support du miroir et la partie supérieure – j’ai utilisé une pince pliante pour cette dernière.

Attention, vérifiez toujours la polarité des aimants avant de les installer. Le support du miroir doit être attiré par le corps avec le miroir au sommet. Si vous vous trompez dans la polarité de l’aimant, vous aurez du mal à les récupérer.



2. Préparez les roulements. Bloquez-les avec une vis et un écrou M3X10. Insérez-les ensuite dans le support du miroir, la tête de la vis orientée vers l’intérieur. Notez que le pont du support du miroir craque parfois ; ce n’est pas grave.

3. Insérez les écrous carrés dans les trous dans l’espace de montage autour de la lentille. Poussez-les au sommet, puis bloquez-les avec de la Patafix ou de la Sugru.



4. Collez le miroir à son support.
5. Positionnez le miroir du déclencheur vers le sommet, puis placez-y son support. Normalement, le miroir doit pouvoir se tordre un peu. Faites-le pour glisser la vis du support dans les trous du déclencheur, puis ajoutez les écrous et les vis pour maintenir le miroir et le déclencheur.



6. Tout devrait fonctionner. Posez la partie supérieure sur le corps et vissez-les ensemble, comme les autres pièces. Vu

que l'enveloppe n'est pas encore parfaite, vous devrez forcer un peu.

7. Pour finir, ajoutez l'écran de visualisation (à savoir le plastique transparent clair). Il devrait tenir dans le trou de la couverture, grâce à un peu de colle, de la Sugru ou de la Patafix.
8. Fixez maintenant votre anneau préféré et vissez-le devant le viseur pour vous permettre de positionner la lentille.

Normalement, le miroir doit monter et descendre lorsque vous actionnez le déclencheur (ce n'est pas parfait, mais cela fonctionne). Notez que, si vous y allez un peu fort, le miroir peut tourner sur son axe. Pour le remettre en place, il suffit de forcer un peu (mais pas trop !). Sinon, retirez simplement la lentille et déplacez-le manuellement.

Étape 5. Un boîtier hermétique à la lumière

Maintenant que toutes les pièces sont construites, assurez-vous que rien ne laisse passer la lumière. C'est le moment de vous munir de la Sugru ou de la Patafix noire. Sachez que si vous n'avez pas trouvé cette dernière, il est possible de la fabriquer. Pour cela, il suffit de mélanger de la Patafix classique avec de l'encre (l'inconvénient est que vous aurez de l'encre sous les ongles pendant deux jours au minimum...).

Commencez par remplir tous les trous des vis, même celles du viseur. Couvrez aussi les aimants.

La partie la plus sensible à la lumière est située à l'arrière, spécialement la bordure de l'enveloppe arrière et autour des colonnes de vis.

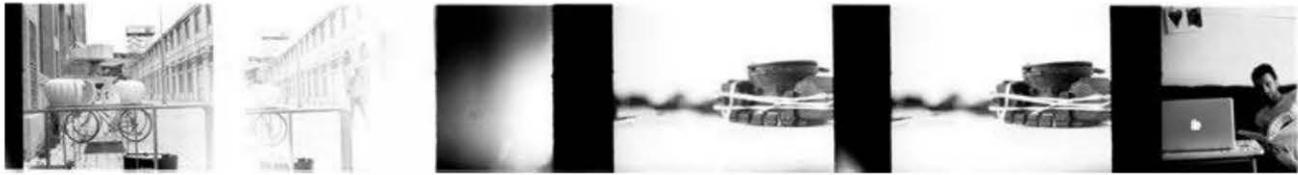
Attention, ne bloquez pas les pièces lorsque vous déposez la Sugru. Elles doivent toujours pouvoir bouger. Regardez l'image ci-dessous pour voir la manière de procéder. Vous pouvez en déposer un petit peu plus sous l'arrière du corps, sous les colonnes de vis et sous les jonctions avec l'arrière de l'enveloppe. C'est de là qu'est venue la lumière pendant mes tests.

Lorsque le temps est écoulé, avancez suffisamment la pellicule pour avoir une nouvelle pose qui n'a pas été exposée pendant que le boîtier était au soleil. Quand c'est fait, continuez à utiliser votre appareil normalement jusqu'à épuisement de la pellicule. Puis développez-la pour identifier les fuites de lumière.



Si la pellicule est entièrement noire à l'exception de vos images, c'est parfait ! Les zones où il y a un peu de blanc sont celles par où pénètre la lumière. Vous pouvez remettre votre film développé dans l'appareil pour voir précisément d'où la lumière est venue. Sur mon test page suivante, la lumière arrivait principalement de la base de la boîte du film (le gros point blanc) et aussi non loin de la colonne de vis de l'autre côté.

Une fois que votre boîtier est parfaitement hermétique à la lumière, c'est bientôt terminé.



Étape 6. Assembler le tout

Cette étape est très facile. Normalement, toutes les pièces s'alignent à la base, et le frottement doit être suffisant pour les maintenir en place.

Parfois, les couvertures bloquent un peu. Dans ce cas, forcez légèrement ou retirez-les pour les remettre ultérieurement.

Vous pouvez aussi ajouter un peu de Patafix noire entre l'arrière et l'obturateur près de la zone de film exposé, s'il reste quelques problèmes d'étanchéité.

Voyons maintenant comment l'appareil photo fonctionne.

Étape 7. Charger la pellicule

1. Ouvrez l'arrière du boîtier en dévissant l'enveloppe arrière.
2. Insérez la pellicule, détachez la bobine du film et glissez-la sous les deux guides de film (FilmGuide).
3. Une fois la bobine en place, vous pouvez rembobiner en vous laissant guider par elle.
4. Faites passer le film au-dessus du rembobineur – pour ce faire, aidez-vous d'un stylo ou tout autre objet pour tirer le film, puis faites-le passer à travers le rembobineur. Assurez-vous que deux trous du film au moins sont dans les dents du rembobineur.

5. Tournez un peu le bouton du rembobineur pour vérifier que le film circule correctement.
6. Vous pouvez maintenant fermer l'enveloppe arrière. Placez la couverture de l'enrouleur et vissez-la. L'enrouleur et l'enveloppe arrière devraient être fixés.



Étape 8. Photographier

Maintenant que le film est chargé et la lentille en place, tout devrait parfaitement fonctionner.

Pour que l'exposition soit précise, vous aurez besoin d'un exposimètre. Choisissez les ISO en fonction de votre pellicule et un temps de pose de 1/60 s. Sans exposimètre, vous pouvez vous référer aux réglages d'un appareil photo reflex numérique : regardez pour ce dernier ce

qui est conseillé pour l'ouverture et effectuez le même réglage sur votre lentille.

Sachez que selon votre obturateur, les roues utilisées, la force de votre doigt, etc., le temps de pose peut être différent.

Si votre film est surexposé, diminuez la valeur (à 1/40^{es}, voire moins). À l'inverse, en cas de sous-exposition, augmentez-la. Ne faites pas la même erreur que moi : n'augmentez pas le temps de pose si votre premier film est déjà surexposé.

Lorsque les réglages du boîtier sont terminés, suivez ces étapes.

1. Avec votre lentille en ouverture complète, regardez dans le viseur pour définir le cadre de l'image et effectuer la mise au point.
2. Mesurez la lumière et changez, si nécessaire, l'ouverture de votre lentille pour qu'elle soit optimale.
3. Amorcez l'obturateur, appuyez sur le déclencheur et mettez-le en position haute.

4. Levez le miroir via le déclencheur du miroir.
5. Ouvrez l'obturateur arrière en le soulevant.
6. Retenez votre respiration et appuyez rapidement sur le déclencheur de l'obturateur, sans faire trembler le boîtier.
7. Fermez l'enveloppe arrière
8. Tournez un peu le bouton de rembobinage pour réaliser la photo suivante.

Recommencez ces huit étapes pour réaliser une nouvelle photo ! Pour les premiers films, il vous faudra sûrement ajuster l'exposition avant d'obtenir les réglages parfaits. Je vous conseille de prendre une première photo en suivant les réglages recommandés par l'exposimètre, puis deux autres (une avec l'ouverture haute, l'autre avec l'ouverture basse).

Voilà, c'est fini ! Il ne vous reste plus qu'à vous amuser avec votre nouvel appareil.

Ressources utiles de l'impression 3D



PAR COLLEEN JORDAN, ERIC WEINHOFFER ET LES ÉDITEURS DE MAKE

Les logiciels pour makers

Créer des choses pour les atomes c'est mieux avec des bits !

Badge d'honneur en impression 3D par Adafruit

Affichez haut et fort vos compétences en impression 3D avec ce badge d'honneur brodé par Adafruit (<http://adafruit.com/products/490>).



CAO 3D

Il existe de nombreux logiciels utiles et peu chers pour concevoir des modèles 3D.

123D Design

<http://123Dapp.com>

Ce logiciel fait partie de la suite gratuite 123D d'Autodesk. Grâce à son interface facile à maîtriser, modélisez les objets et préparez les modèles pour l'impression, puis exportez-les en tant que fichiers STL ou envoyez-les directement à de nombreuses entreprises de fabrication bien connues.

La suite inclut une variété d'applications populaires pour la création, le scan et la sculpture de modèles 3D, notamment les appréciés 123D Catch et 123D Design.

TinkerCAD

<http://tinkercad.com>

Récemment sauvé par Autodesk, Tinkercad est un programme de modélisation en ligne. À l'aide d'un navigateur compatible WebGL, vous pouvez faire tourner son interface utilisateur en 3D directement dans votre navigateur. Construisez votre design, sauvegardez-le en ligne et partagez-le avec d'autres. Il est aussi possible d'envoyer directement

les fichiers à des services d'impression 3D ou de télécharger les fichiers STL pour imprimer vous-même.

3DTin

www.3Dtin.com

Cet outil en ligne était au départ un simple éditeur de formes, avec des blocs spécifiques à dupliquer et à manipuler pour réaliser des modèles. Aujourd'hui, il est beaucoup plus robuste, avec une multitude d'options de modélisation.

OpenSCAD

<http://openscad.org>

Si vous préférez les langages de programmation que le glisser-déposer, OpenSCAD vous conviendra peut-être mieux que les autres outils de modélisation disponibles.

Plutôt que de déplacer des objets avec votre souris, vous programmez les formes en manipulant les lignes de code. Par exemple, `cub([10,10,10])` fait apparaître un cube de 10 mm sur l'écran. À l'aide d'opérations booléennes, vous pouvez combiner, soustraire et fusionner des objets pour créer des modèles aux formes beaucoup plus complexes utilisant la géométrie de construction solide.

OpenSCAD peut exporter vos scripts en tant que modèles STL pour l'impression 3D.

FreeCAD

<http://free-cad.sourceforge.net>

FreeCAD est un programme de CAO open source pour Mac, Linux et PC, conçu pour le design produit et l'ingénierie. Nécessitant un fort apprentissage, il est aussi riche en fonctionnalités. Essayez-le si vous souhaitez passer à l'étape supérieure.

Sculptris

<http://pixologic.com/sculptris>

Sculptris est un outil de sculpture numérique gratuit dans lequel vous créez des modèles 3D en manipulant de l'« argile numérique ».

Cubify Invent

http://cubify.com/products/cubify_invent

Cet outil de design 3D est facile à maîtriser. Il est optimisé pour l'impression 3D.

Cubify Sculpt

<http://cubify.com/sculpt>

Sculpt est un outil de modélisation organique pour réaliser de la sculpture numérique et éditer les STL avec des possibilités de fusion de formes (*mashup*).

Trimble SketchUp

<http://sketchup.com>

Ancien projet Google, SketchUp est maintenant propriété de Trimble. Telle quelle, la version gratuite ne permet pas de générer des modèles pour les imprimantes 3D mais, grâce aux pas à pas en ligne pour installer des plug-ins, vous pourrez exporter vos designs dans le format STL requis.

Pour réparer les modèles et les manipuler

MeshMixer

www.meshmixer.com

Acheté par Autodesk et récemment intégré à la suite d'applications expérimentales 123D, MeshMixer est un bon outil pour lisser, combiner, réparer ou encapsuler les scans 3D et les modèles.

netfabb

www.netfabb.com

Grâce à netfabb, on visualise et édite des modèles. Il possède d'excellentes capacités de réparation et d'analyse pour les fichiers STL. Il est disponible en versions gratuite (basique) et payante.

Meshlab

<http://meshlab.sourceforge.net>

Meshlab répare et édite des modèles. Attention, son apprentissage peut freiner certains. Son filtre « poisson » est parfait pour lisser les surfaces lorsqu'on nettoie les scans 3D pour l'impression. C'est aussi un bon visualiseur de modèles et les vues sont faciles à manipuler.

Les logiciels de contrôle d'imprimante 3D

Ces utilitaires servent à contrôler votre imprimante 3D. Vous pourrez charger des fichiers STL, les positionner sur le plateau d'impression, découper le modèle et envoyer les fichiers à l'imprimante en tant que G-code.

Tous ces programmes ont un logiciel de découpe intégré qui divise le modèle en couches pour produire le G-code. Ils peuvent par ailleurs utiliser le code généré par un logiciel de découpe extérieur.

Repetier-Host

<http://repetier.com>

À la différence des autres logiciels de contrôle, Repetier-Host fournit trois vues du modèle : une du fichier STL, une autre couche par couche des instructions de G-code qui décrivent le modèle découpé, et une dernière de la fabrication en temps réel pour chaque couche

de matériel déposée. Slic3r est employé par défaut, mais Skeinforge est aussi disponible.

Repetier-Host peut tourner sur de multiples systèmes mais, au moment de l'écriture de ce livre, les versions Windows et Linux ont des fonctionnalités qui ne sont pas encore intégrées à celle Mac.

Printrun/Pronterface

<http://reprap.org/wiki/printrun>

Printrun se compose d'une suite d'outils qui emploient Pronterface comme logiciel de contrôle, sans les fonctionnalités de visualisation des données de Repetier-Host.

Avec Printrun, découpez votre modèle (en faisant appel à Slic3r) et envoyez-le à l'imprimante 3D. En plus de l'interface graphique utilisateur, il inclut des outils en ligne de commande pour modifier les impressions.

MakerWare

<http://makerbot.com/makerware>

MakerWare est le dernier logiciel de contrôle d'impression de MakerBot, spécifiquement conçu pour les imprimantes 3D de la marque.

Avec une interface facile d'emploi, élégante et intuitive, MakerWare n'est pas open source bien qu'il soit possible d'utiliser Skeinforge pour la découpe. Il peut charger et découper plus d'un STL à la fois, et il existe une option de positionnement automatique « auto layout » pour arranger automatiquement les modèles sur le plateau d'impression.

Les profils de découpe pour les deux logiciels de découpe intégrés (celui par défaut de MakerBot et Skeinforge) sont entièrement modifiables.

Cura

<http://software.ultimaker.com>

Le logiciel de contrôle d'impression open source Cura a été développé pour fonctionner avec les imprimantes 3D Ultimaker, mais il s'adapte à d'autres machines. Son interface est esthétique et extrêmement simple d'emploi pour les débutants, ce qui est assez inhabituel pour un logiciel open source.

Les dernières versions se sont orientées vers un logiciel de découpe complètement nouveau, CuraEngine, et sont extrêmement rapides.

ReplicatorG

<http://replicat.org>

ReplicatorG est un logiciel de contrôle open source d'imprimante 3D. Créé au départ pour les machines MakerBot, il fonctionne aussi avec d'autres imprimantes de type RepRap. De nombreux constructeurs recommandant Printron ou Repetier-Host, on s'en sert de moins en moins.

Cependant, un exemple notable d'utilisation de ReplicatorG est le firmware accéléré open source Sailfish (<http://www.thingiverse.com/thing:32084>) par Jetty et Dan Newman pour les imprimantes MakerBot.

Les logiciels de découpe

Avant d'imprimer un modèle 3D, il faut d'abord générer du G-code grâce à un logiciel de découpe. On le retrouve parfois intégré au logiciel de contrôle de l'imprimante 3D ou il peut être indépendant, comme c'est le cas de Slic3r et KISSlicer.

Slic3r

<http://slic3r.org>

Rapide et populaire, Slic3r est open source et compatible avec de multiples systèmes. Il permet de sauvegarder des réglages pour différentes imprimantes et matériaux d'impression, rendant la préparation multima-
chine plus facile.

KISSlicer

<http://kisslicer.com>

KISSlicer est un générateur de G-code disponible sur de nombreux systèmes pour les imprimantes 3D de bureau. Il a récemment gagné en popularité. Il existe en versions gratuite (pour extrudeur simple) et pro (autorisant les matériaux multiples et le positionnement de plusieurs objets).

CuraEngine

<http://software.ultimaker.com>

CuraEngine est un logiciel de découpe open source développé spécifiquement pour Ultimaker. Il peut aussi être utilisé avec d'autres imprimantes utilisant le G-code.

Il est solide, puissant et extrêmement rapide, à tel point qu'il découpe automatiquement à chaque fois que vous effectuez un changement dans votre modèle ou modifiez les réglages dans Cura.

MakerBot Slicer

www.makerbot.com/makerware

Connu précédemment sous le nom de Miracle Grue, MakerBot Slicer est désormais l'option de découpe par défaut dans MakerWare. Il est rapide, précis et offre de belles solutions de finition d'impression.

Pour en savoir plus sur comment améliorer vos résultats avec MakerBot Slicer, rendez-vous ici : www.makerbot.com/support/makerware/documentation/slicer.

Skeinforge

<http://reprap.org/wiki/Skeinforge>

Durant des années, Skeinforge a été le logiciel de découpe standard. Il est écrit en Python et contient de très nombreux réglages (avec des noms compliqués !). Parfois lent, il a commencé à perdre en popularité auprès des utilisateurs d'imprimantes 3D. C'est encore une option possible dans MakerWare et il est toujours intégré à ReplicatorG et quelques autres applications de logiciels d'impression.

MakerBot a créé une documentation introductive à Skeinforge sur : www.makerbot.com/support/replicatorg/documentation/skeinforge.

SFACT

<http://reprap.org/wiki/Sfact>

Cette version de Skeinforge est plus facile à manipuler et contient de nombreuses améliorations.

Les catalogues de modèles 3D à télécharger

Les modèles gratuits

Thingiverse

<http://thingiverse.com>

Thingiverse est comme le grand bazar du monde de l'impression 3D. C'est l'endroit où la communauté DIY partage ses modèles 3D, fichiers de découpe laser et schémas de PCB de ses projets et imprimantes.

Bien qu'elle soit la propriété de MakerBot, cette plate-forme reste une ressource importante pour héberger et distribuer les fichiers de nombreux concurrents de MakerBot. Les utilisateurs sélectionnent parmi un choix de licences Creative Commons, notamment celle du domaine public.

MyMiniFactory

www.myminifactory.com

Ce site propose des modèles imprimables en 3D, préalablement sélectionnés par l'équipe de My Mini Factory.

YouMagine

<https://www.youmagine.com>

Communauté en ligne d'Ultimaker et site de partage de fichiers imprimables en 3D.

CubeHero

<https://cubehero.com>

Un site gratuit de partage de modèles 3D ciblé sur l'impression 3D, qui offre désormais des prévisualisations OpenSCAD. Plusieurs pièces du robot InMoov y sont hébergées.

Blender 3D Model Repository

<http://blender-models.com>

Ce site gratuit héberge et partage des fichiers de modèles 3D. C'est une ressource pour les utilisateurs du logiciel de modélisation 3D Blender, qui peuvent télécharger, soumettre et partager leurs connaissances. En plus des modèles, le site propose des pas à pas Blender réalisés par les utilisateurs.

Blend Swap

www.blendswap.com

Blend Swap est une communauté d'artistes 3D qui partagent leur travail et construisent la meilleure bibliothèque de projets 3D effectués sur Blender. L'ensemble est gratuit pour un usage personnel et commercial.

GrabCAD

<http://grabcad.com>

GrabCAD est une plate-forme d'ingénierie ouverte qui fournit les outils, la connaissance et les contacts dont vous avez besoin pour fabriquer rapidement de beaux produits.

Trimble 3D Warehouse

www.sketchup.com/products/3D-warehouse

3D Content Central

www.3Dcontentcentral.com

Ce site de Dassault Systèmes présente des modèles 2D et 3D de pièces mécaniques et offre un service gratuit pour les localiser, configurer et télécharger.

McMaster-Carr

www.mcmaster.com/help/drawingsand-models.asp

McMaster-Carr propose les fichiers 2D et 3D de nombreux produits qu'ils vendent.

Les modèles payants

TurboSquid

<http://turbosquid.com>

TurboSquid est le premier catalogue de modèles 3D payants, avec plus de 200 000 modèles à télécharger. Il n'est pas spécialisé en impression 3D.

3D Burrito

<http://3dburrito.com>

Sur ce site, vous trouverez des téléchargements à prix abordable de modèles imprimables en 3D de designers tels que Bathsheba (*Klein Bottle Opener*) et *Kid Mechanico* de Modibot.

3DLT

<http://3dlt.com>

Cette place de marché de modèles d'impression 3D s'associe à des designers indépendants pour créer des fichiers offerts sur le site. Il est possible de payer pour télécharger le fichier ou d'accéder au réseau du partenaire pour que le fichier soit imprimé et envoyé directement chez vous.

3docean

<http://3docean.net>

3docean propose beaucoup de modèles à des prix raisonnables, mais ils ne sont pas optimisés pour l'impression 3D.

Connaître l'histoire de l'impression 3D

L'arbre généalogique RepRap (<http://makezine.com/go/repraptree>) montre le développement de l'imprimante 3D RepRap et de sa « progéniture ».

Apprendre à construire son imprimante 3D

Si vous construisez votre propre imprimante 3D, vous aurez sûrement besoin, à un moment donné, d'aide, ou peut-être souhaitez-vous essayer quelque chose d'inhabituel ou améliorer vos impressions. Selon votre modèle d'imprimante, des forums dédiés existent, proposés par le constructeur. Sinon, rendez-vous sur les sites créés par la communauté.

RepRap.org

<http://reprap.org>

C'est une source d'information complète sur les imprimantes 3D RepRap. Vous y trouverez les ressources de la communauté, des forums et des détails sur un très grand nombre de designs d'imprimantes 3D open source.

MakerBot Operators Google Group

<https://groups.google.com/forum/#!forum/makerbot>

Pour s'informer sur les dernières informations sur comment construire et maintenir son imprimante MakerBot.

Jetty Firmware

www.thingiverse.com/thing:32084

<https://groups.google.com/forum/#!forum/jetty-firmware>

Pour connaître les discussions relatives au firmware accéléré Sailfish de Jetty et Dan Newman pour les MakerBot. C'est un dérivé du firmware de MakerBot Industries qui évolue rapidement et qui comprend des options additionnelles de contrôle embarqué.

Google Group des opérateurs de Deltabot

<https://groups.google.com/forum/#!forum/deltabot>

Pour s'informer sur les dernières informations sur comment construire et maintenir son imprimante Deltabot.

Les livres sur l'impression 3D

- *L'impression 3D (2^e édition)*, de Mathilde Berchon et Bertier Luyt (éditions Eyrolles). Premier ouvrage français sur le sujet, il dresse un panorama complet de l'impression 3D, des différents procédés aux types de machines en passant par les multiples champs d'application (design, architecture, médecine, agroalimentaire...). Il fournit par ailleurs des conseils pratiques pour les particuliers. Il explique pourquoi ce nouveau mode de fabrication risque d'avoir un formidable impact sur notre société, en remettant en cause toute la chaîne de production traditionnelle.
- *Imprimer en 3D avec la MakerBot*, de Bre Pettis, Anna Kaziunas France et Jay Shergill (édition originale par Make, traduit de l'anglais et publié en France aux éditions Eyrolles). Truffé d'astuces et de conseils pratiques, cet ouvrage embarque le lecteur à la découverte de cette imprimante très populaire, qui séduit par sa simplicité d'emploi et ses résultats. De son installation à son paramétrage, en passant par l'optimisation de son rendu, il explore le potentiel quasi infini de cette machine, qui fera de son utilisateur un serial maker
- *Makers : la nouvelle révolution industrielle*, de Chris Anderson (Pearson)

Visionnaire, tout en restant pragmatique, Chris Anderson s'appuie sur de nombreux exemples comme les imprimantes 3D MakerBot, les cartes informatiques open source Arduino ou les boutiques d'autofabrication TechLab. Poursuivant sa réflexion engagée sur l'économie numérique, il décrypte ce phénomène qu'il appelle lui-même « le passage des bits aux atomes » ou encore « la longue traîne des objets ».

Des informations sur l'impression 3D

3D Natives

www.3Dnatives.com

Les Imprimantes 3D

www.lesimprimantes3D.fr

Les lieux de l'impression 3D

Les hackerspaces

http://hackerspaces.org/wiki/List_of_Hacker_Spaces

De nombreux hackerspaces possèdent des imprimantes 3D qu'il est possible d'essayer. Pour en savoir plus sur l'équipement du hackerspace proche de chez vous, le mieux est de vous rendre sur place.

Les Fab Labs

<http://wiki.fablab.is/wiki/Portal:Labs>

Les Fab Labs sont nés au Center for Bits and Atoms (CBA) du MIT. Ce sont une extension du programme de recherche sur la fabrication numérique. Fonctionnant souvent comme

des lieux de fabrication indépendants, ils partagent un ensemble commun d'outils de fabrication numérique, incluant des imprimantes 3D.

Le TechShop

<http://techshop.org>

C'est un lieu de fabrication sur abonnement situé principalement aux États-Unis, mais en passe de se déployer en Europe. Le lieu propose des imprimantes 3D et d'autres outils pour les membres, pouvant être utilisés au mois ou à l'année. En France, un lieu similaire, L'Usine, devrait ouvrir ses portes fin 2014 à Paris.

Les points de vente

Quelques magasins d'imprimantes 3D se sont ouverts en France. Si vous passez à côté, n'hésitez pas à entrer !

Les distributeurs d'imprimantes 3D

CKAB

www.ckab.com

01 70 61 20 53

19 galerie Feydeau 75002 Paris

Cubeek3D

<http://cubeek3d.com>

01 84 17 42 52

33 rue du Docteur Roux 75015 Paris

Le FabShop

www.lefabshop.fr

ICI Montreuil 135 boulevard Chanzy
93100 Montreuil

Proto3Dshop

<http://proto3dshop.multistation.com>

02 99 16 35 35

14 rue de l'Armorique 75015 Paris

L'impression 3D dans les grandes surfaces

Top Office

À Besançon, Chambray-lès-Tours, Orvault,
Bayonne et Villeneuve d'Ascq.

Auchan

À Aéroville (Roissy-en-France).

Les imprimantes, filaments et pièces

3D Printer Avenue

www.3Dprinteravenue.com

Pour l'instant deux imprimantes en vente, la SpiderBot et la Witbox, ainsi que le filament dédié. L'équipe assure aussi des formations.

Machines 3D

www.machines-3D.com

Imprimantes 3D (MakerBot, PP3D, ChocEdge), filaments (ABS, PLA), scanners 3D (MakerBot, Cubify) de bureau. Vente à venir de machines d'occasion.

MakerShop

www.makershop.fr

Nombreuses imprimantes 3D de bureau disponibles (Ultimaker, LeapFrog, Tobeca ou MakerBot). De nombreux types de filaments : PVA, HIPS, nylon, bois, flexible, PC en plus des classiques ABS et PLA, et dans toutes les tailles. Notez que le stylo 3D Doodler est disponible sur le site. L'équipe organise aussi des formations.

Les conférences sur l'impression 3D

3D Print Show Paris

www.3Dprintshow.com

3D Print Lyon

www.3dprint-exhibition.com

À propos des contributeurs



Jason Babler aime la sculpture. Il est aussi directeur artistique au magazine *Make*.

Bill Bumgarner (<http://friday.com/bbum>) joue avec la grande tension, cuisine avec le feu et l'eau, incube les microbes, hacke du code, attrape les insectes avec son fils et essaie de faire faire aux objets des choses pour lesquelles ils n'ont pas été conçus !

Ancien de Make Labs, **Eric Chu** est un étudiant en ingénierie, un hacker de Yo-Yo, un constructeur de robots et un amateur de riz cantonais.

Craig Couden est assistant éditorial à Maker Media.

Stuart Deutsch est consultant en matériaux dans la région de New York et éditeur en chef de ToolGuyd.com.

Cory Doctorow (<http://craphound.com>) est un auteur de science-fiction, activiste, journaliste, blogueur, coéditeur du webzine Boing Boing (<http://boingboing.net>). Il est l'auteur du best-seller *Little Brother* (traduit en français aux éditions Pocket Jeunesse). Il a écrit récemment *Homeland* et *Rapture of the Nerds*.

Matt Griffin est Director of Community & Support chez Adafruit Industries et ancien Community Manager au sein de MakerBot. Il est auteur du livre à paraître chez Maker Media, intitulé *Design and Modeling for 3D Printing*.

Keith Hammond est Projects Editor au magazine *Make*. Dans les années 1980, il a grandi en lisant *Scientific American*, *National Geographic* et *Spy*. Il a coédité *The Nose* et *Mother Jones Online* dans les années 1990, a fait du lobbying au Congrès pour la protection de la nature dans les années 2000. Il rejoint enfin Maker Media en 2007.

Stett Holbrook est éditeur senior à Maker Media.

Designer et maker, **Colleen Jordan** est fondatrice de Wearable Planter (<http://wearable-planter.com>). Elle aime créer des objets qui rendent la vie plus intéressante et rêve d'avoir un jour un dinosaure domestique !

Anna Kaziunas France est Digital Fabrication Editor à Maker Media. Elle est doyenne des étudiants de la Fab Academy et coauteur du livre *Imprimer avec la Makerbot* (aux éditions Eyrolles). Auparavant, elle a enseigné le prototypage rapide à la Fab Academy de Providence. Pour en savoir plus sur elle, rendez-vous sur son site Internet (<http://kaziunas.com>) et découvrez ses réalisations sur sa page Thingiverse (<http://thingiverse.com/akaziuna>).

Basée à San Francisco, **Laura Kiniry** est auteur indépendant. Elle contribue aussi régulièrement au magazine *Make*.

Kevin Mack (<http://kevinmackart.com>) est un artiste pionnier du numérique. Ce designer d'effets visuels a reçu l'Academy Award. Il utilise la science et la technologie pour faire un art qui décrit et inspire la transcendance.

Blake Maloof est développeur de jeux à Toys for Bob (créateurs de Skylanders). Il écrit parfois sur ce sujet pour le magazine *Make*.

Léo Marius est un jeune designer diplômé de l'École supérieure d'art et design de Saint-Étienne. Amateur de photographie et passionné de fabrication numérique, d'open source et d'open knowledge, il aime démonter les objets pour comprendre comment ils fonctionnent.

Matt Mets est un maker qui se sert de l'électronique pour créer des objets amusants qui enseignent et inspirent.

Goli Mohammadi est un éditeur senior à *Make* qui a travaillé au sein du magazine depuis son premier numéro.

Michael Overstreet (<http://mike-ibioid.blogspot.com>) est programmeur le jour et amateur de robot la nuit. Lui et son robot humanoïde Boomer ont gagné des médailles d'or aux six derniers RoboGames. Il est membre fondateur de l'hackerspace Cowtown Computer Congress à Kansas City. Il a participé à toutes les Maker Faire nationales.

Matt Stultz est à la tête du groupe d'impression 3D de Providence, fondateur du hackerspace HackPittsburgh et ancien de MakerBot. Il a acquis de l'expérience dans l'impression multimatériau et les matériaux avancés.

Eric Weinhoffer est ingénieur en développement produit chez Maker Media. Il crée des kits et repère des produits qui sont ensuite vendus sur Maker Shed (www.makershed.com). Il écrit aussi parfois pour le blog et le magazine

Symboles

123D Catch [5, 71, 96](#)
123D Design [213](#)
123D Make [5](#)
3D Burrito [218](#)
3D Content Central [218](#)
3D Factory [119](#)
3D Hubs [119](#)
3DLT [218](#)
3D Natives [220](#)
3docean [218](#)
3DPhacktory [120](#)
3D Printer Avenue [221](#)
3D Print Lyon [221](#)
3D Print Show Paris [221](#)
3ds Max [41](#)
3DTin [214](#)

A

ABS [11, 104](#)
acétone [142](#)
adaptateur de col de défonceuse [156](#)
adaptateur de stylo traceur [155](#)
ASUS Xtion [70](#)
attache pour la perceuse de la machine à
glace [158](#)
Auchan [221](#)

B

B9Creator [35](#)
Blender 3D Model Repository [217](#)
Blend Swap [218](#)
blob [85](#)
bosse [85](#)
Bukobot 8v2 [18](#)

C

charnière [138](#)
CKAB [220](#)
clip pour boîte de rangement [156](#)
Continuum Fashion [160](#)
Cube 3 [20](#)
Cubeek3D [220](#)
CubeHero [217](#)
Cubify Invent [214](#)
Cubify Sculpt [214](#)
Cura [6, 216](#)
CuraEngine [216](#)

D

découpe [6](#)
découpeuse [185](#)
dépôt de filament fondu [3](#)

E

élément déconnecté 87
extrudeur 10

F

FDM 3
Felix 2.0 21
fermeture de surface 86
fichier STL 5
filament plastique 11
Formlabs Form 1 34
fraisage CNC 185
fraiseuse 185
Freakin' Sweet Knots 161
FreeCAD 214
frittage laser de métal 109
frittage laser sélectif 108

G

G-code 6
Google Group des opérateurs de
Deltabot 219
GrabCAD 218
grue 8

H

HDPE 105
HIPS 104
H-Series 17

I

i.materialise 118
Impression-3D 120
impression directe de métal 109
impression d'un appareil photo 203
ingénierie tissulaire 163

J

jet de photopolymère 109
Jetty Firmware 219
Joaquin Baldwin 160

K

Kinect 70
KISSlicer 216
Kraftwürx 118

L

LayBrick 104
LayWoo-D3 103
Le FabShop 220
Les Imprimantes 3D 220
lit d'impression 9
lit mobile 8
logiciel client d'impression 43
logiciel de découpe 42
LulzBot TAZ 32

M

Machines 3D 221
mâchoire 164
MakerBot Operators Google Group 219
MakerBot Slicer 216
MakerGear M2 23
MakerShop 221
MakerWare 215
MakeXYZ 119
manivelle de vitre de voiture 157
matériau céramique 107
matériau composite 107
Mathematica 5
Maya 41
McMaster-Carr 218
Meshlab 215

MeshLab [42,80](#)
MeshMixer [79,214](#)
modeleur paramétrique [40](#)
modeleur polygonal [41](#)
modeleur surfacique [39](#)
modeleur volumique [40](#)
ModiBot [160](#)
Modo [41](#)
My Mini Factory [217](#)

N

Nervous System [159](#)
netfabb [6,79,215](#)
nylon [104](#)

O

OpenBeam Mini Kossel [31](#)
OpenReflex [203](#)
OpenSCAD [5,214](#)

P

PC [105](#)
PCL [105](#)
PET [104](#)
pièce de rechange pour la sonnette
d'entrée [158](#)
PLA [11,103](#)
PLA souple/flexible [103](#)
Pleasant3D [80](#)
plier de languettes de
cannettes [156](#)
polyamide [123](#)
Polychemy [161](#)
ponçage [143](#)
Ponoko [118](#)
porte-à-faux [82](#)
post-traitement [127](#)
Printrbot Simple [24](#)

Printrun/Pronterface [215](#)
Pronterface [42](#)
prothèse [162](#)
Proto3Dshop [221](#)
Protos Eyewear [161](#)
prototype [4](#)
PVA [11,105](#)

R

raccord de couverture du coffre à
bagages [157](#)
ReconstructMe [76](#)
RedEye [119](#)
Réparation de scan 3D [81](#)
Repetier-Host [215](#)
Replicator 2 [26](#)
ReplicatorG [42,216](#)
RepRap.org [219](#)
rivet solide [138](#)

S

scan 3D [69](#)
scanner 3D [69,71](#)
Sculpteo [118](#)
Sculptris [214](#)
service d'impression 3D [113](#)
SFACT [217](#)
Shapeways [117](#)
Skeinforge [217](#)
SketchUp [5](#)
Slic3r [6,53,216](#)
Solid-Ideas [120](#)
Solidoodle 2 [27](#)
soudage par friction [129,136](#)
Staples [118](#)
stéréolithographie [108](#)
surface du maillage [84](#)
système Deltabot [9](#)