

Impression 3D

Christophe Brun jchristophe@cbrun.fr

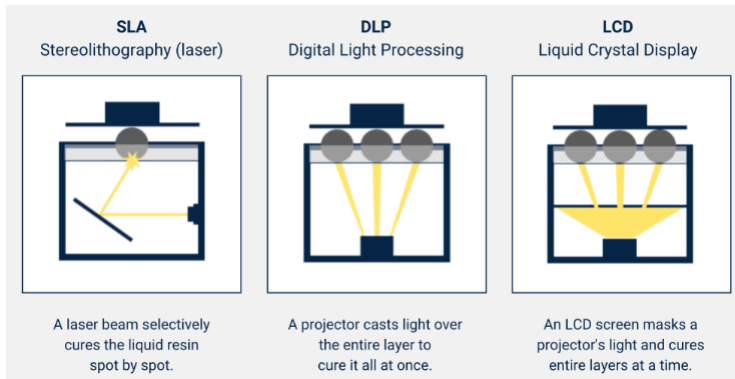
01 Décembre 2023

Sommaire

- Les procédés "Grand Public" : LCD (variante SLA), FDM
- FDM : les matériaux
- Workflow : Modélisation, Découpage (slicage), Impression, Post-traitement
- Les techniques
 - Le positionnement
 - Supports
 - Remplissage
 - Assemblage
 - Reprise
 - Print In Place
- Quoi faire avec une imprimante ?
- Ressources

L'impression "Grand Public"

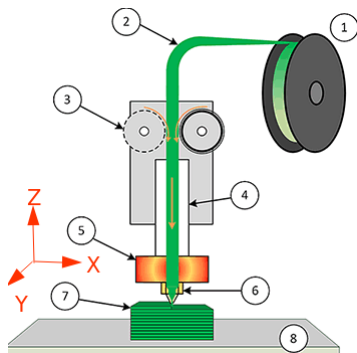
- SLA : la stéréolithographie



L'impression "Grand Public"

- FDM : Fuse Deposition Modeling

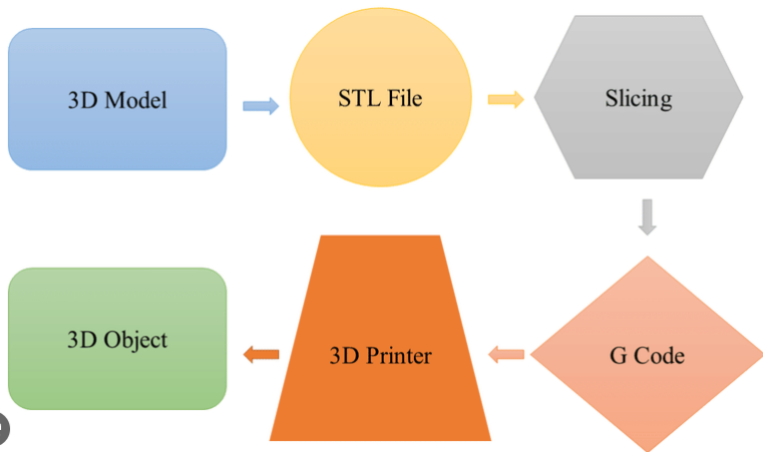
- 1 - bobine
- 2 - filament
- 3 - extrudeur
- 4 - tête d'impression
- 5 - corps de chauffe
- 6 - buse
- 7 - couches superposées
- 8 - plateau



Les Matériaux

													
	Learn More	Learn More	Learn More	Learn More	Learn More	Learn More	Learn More	Learn More	Learn More	Learn More	Learn More	Learn More	Learn More
Compare Selected	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Ultimate Strength	40 MPa	26 - 43 MPa	65 MPa	32 MPa	53 MPa	40 - 85 MPa	45 - 48 MPa	55 MPa	72 MPa	32 MPa	20 - 30 MPa	46 MPa	78 MPa
Stiffness	5 / 10	1 / 10	7.5 / 10	10 / 10	5 / 10	5 / 10	10 / 10	5 / 10	6 / 10	4 / 10	10 / 10	8 / 10	3 / 10
Durability	8 / 10	9 / 10	4 / 10	7 / 10	8 / 10	10 / 10	3 / 10	10 / 10	10 / 10	9 / 10	4 / 10	3 / 10	7 / 10
Maximum Service Temperature	98 °C	60 - 74 °C	52 °C	100 °C	73 °C	80 - 95 °C	52 °C	95 °C	121 °C	100 °C	52 °C	52 °C	75 °C
Coefficient of Thermal Expansion	90 µm/m°C	157 µm/m°C	68 µm/m°C	80 µm/m°C	60 µm/m°C	95 µm/m°C	57.5 µm/m°C	98 µm/m°C	69 µm/m°C	150 µm/m°C	33.75 µm/m°C	30.5 µm/m°C	85 µm/m°C
Density	1.04 g/cm³	1.19 - 1.23 g/cm³	1.24 g/cm³	1.03 - 1.04 g/cm³	1.23 g/cm³	1.06 - 1.14 g/cm³	1.3 g/cm³	1.07 g/cm³	1.2 g/cm³	0.9 g/cm³	2 - 4 g/cm³	1.15 - 1.25 g/cm³	1.23 g/cm³
Price (per kg)	€10 - €40	€30 - €70	€10 - €40	€24 - €32	€20 - €60	€25 - €65	€30 - €80	€38 - €40	€40 - €75	€60 - €120	€50 - €120	€25 - €55	€40 - €110
Printability	8 / 10	6 / 10	9 / 10	6 / 10	9 / 10	8 / 10	8 / 10	7 / 10	6 / 10	4 / 10	7 / 10	8 / 10	5 / 10
Extruder Temperature	220 - 250 °C	225 - 245 °C	190 - 220 °C	230 - 245 °C	230 - 250 °C	220 - 270 °C	200 - 230 °C	235 - 255 °C	260 - 310 °C	220 - 250 °C	190 - 220 °C	190 - 220 °C	185 - 200 °C
Bed temperature	95 - 110 °C	45 - 60 °C	45 - 60 °C	100 - 115 °C	75 - 90 °C	70 - 90 °C	45 - 60 °C	90 - 110 °C	80 - 120 °C	85 - 100 °C	45 - 60 °C	45 - 60 °C	45 - 60 °C
Heated Bed	Required	Optional	Optional	Required	Required	Required	Optional	Required	Required	Required	Optional	Optional	Required
Recommended Build Surfaces	Kapton Tape, ABS Slurry	PEI, Painter's Tape	Painter's Tape, Glue Stick, Glass Plate, PEI	Glass Plate, Glue Stick, Kapton Tape	Glue Stick, Painter's Tape	Glue Stick, PEI	Painter's Tape, Glue Stick, Glass Plate, PEI	Glue Stick, PEI	PEI Commercial Adhesive, Glue Stick	Packing Tape, Polypropylene Sheet	Painter's Tape, Glue Stick, PEI	Painter's Tape, Glue Stick, PEI	PEI, Painter's Tape
Other Hardware Requirements	Heated Bed, Enclosure Recommended	Part Cooling Fan	Part Cooling Fan	Heated Bed, Enclosure Recommended	Heated Bed, Part Cooling Fan	Heated Bed, Enclosure Recommended, Max Require All	Part Cooling Fan	Heated Bed	Heated Bed, Enclosure Recommended, All Metal	Heated Bed, Enclosure Recommended, Part Online	Wear Resistant or Stainless Steel Nozzle Part	Part Cooling Fan	Heated Bed, Part Cooling Fan

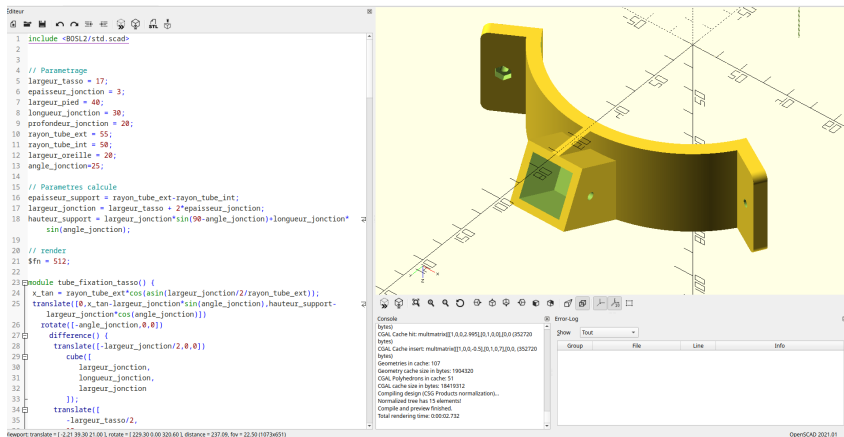
Workflow



Workflow - Etape 1 : Modélisation

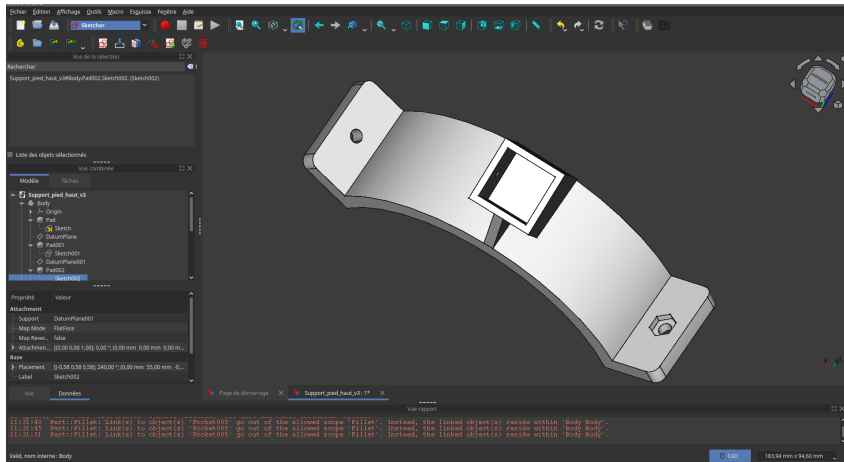
- Les outils : Blender, Freecad, Openscad ou tout outils payant comme Fusion 360, AutoDesk Suite
- utiliser le bon en fonction des besoins
 - Blender : organiques, figurines, ... ou utilisation de rig
 - Openscad : math, "Variabilisable", ...
 - Freecad : Une solutions complète, et parfois difficile à prendre en main, mais hyper puissant

Openscad



1

¹Pièce modélisée uniquement par opérations sur des primitives : cylindre, différence, union. Gros avantage : on change les valeurs de variables et on a une pièce qui s'adapte



2

²La même pièce avec une autre approche de modélisation : extrusion, perçage ...
Modélisation plus rapide, et variabilisation possible. Prise en main parfois complexe et encore quelques bugs

Blender



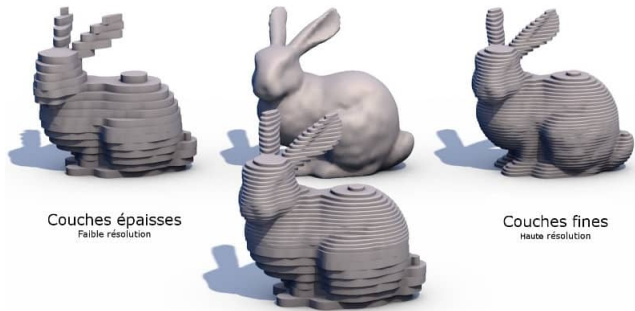
3

³Prise en main complexe, mais le système de rig permet de modifier la posture du dragon par exemple

Workflow - Etape 2 : Découpage

- Transformation du STL en code GCode
- Fonction de :
 - l'imprimante
 - du matériau
 - caractéristiques de la pièce
- outils : Cura, Prusa Slicer, Simplify3D (payant)
- slicer liés au matos : attention (certains passe par le cloud, et parfois qualité impression moins bonne)
- Outils ont des avantages (ou pas)

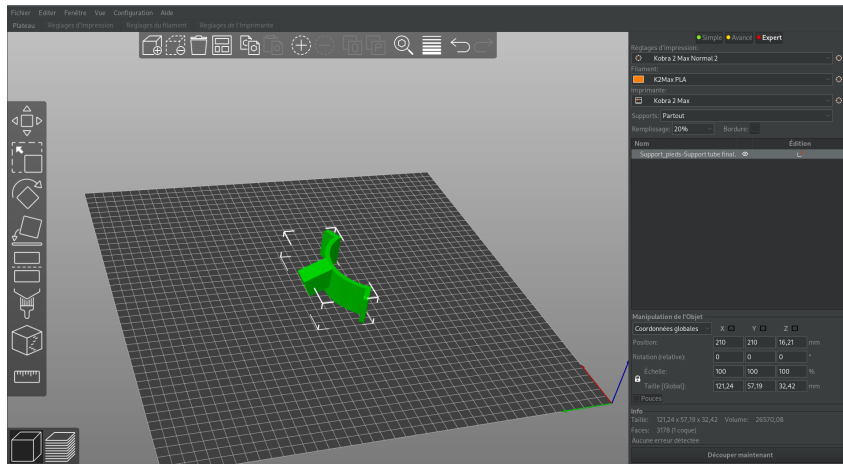
Resolution



4

⁴On peut jouer sur les tailles de couches et la taille de buse. Attention aux limites physique : le 0.6 avec une buse de 0.4 pas possible

Slicer 1



5

⁵On positionne la pièce sur le plateau

Slicer 2

Legend

Type d'élément	Durée	Pourcentage	Filament utilisé
Périmètre	25m	24.1%	3.78 m 11.26 g
Périmètre externe	15m	18.2%	1.96 m 5.84 g
Périmètre en surplomb	24s	0.5%	5.08 m 0.23 g
Remplissage interne	17m	20.5%	1.56 m 4.64 g
Remplissage solide	7m	7.8%	0.49 m 1.47 g
Remplissage solide supérieur	33s	0.7%	0.03 m 0.10 g
Remplissage du pont	32s	0.6%	0.06 m 0.19 g
Supports	11m	13.3%	0.50 m 1.48 g
Interface des supports	16s	0.3%	0.01 m 0.03 g

Temps d'impression estimés (Mode normal):
Première couche: 3m
Local: 1h24m
Afficher le mode turbo

Réglages d'impression

- Simple ☒ Avance ☐ Expert ☐
- Réglages d'impression: ☐ Kobra 2 Max Normal 2
- Filament: ☐ K2Max PLA
- Imprimante: ☐ Kobra 2 Max
- Supports: ☐ Partout
- Remplissage: 20% Bordure:

Manipulation de l'Objet

Coordonnées globales	X	Y	Z	Unité
Position:	210	210	16,21	mm
Rotation (relative):	0	0	0	°
Echelle:	100	100	100	%
Taille [Global]:	121,24	57,19	32,42	mm
Pouces				

Info

Taille: 121,24 x 57,19 x 32,42. Volume: 26570,08
Faces: 3178 (1 coque)
Aucune erreur détectée

Informations de découpage

Filament Utilisé (g)	25.26
Filament Utilisé (m)	8.47
Filament Utilisé (mm³)	20369.96
Coût	0.64

Temps d'impression estimés:
- mode normal: 1h24m
- mode silencieux: 1h30m

Exporter le G-code

6

⁶Les supports (en vert) permettent l'impression dans le vide

Slicer 3

Menu: Fichier, Editor, Fenêtre, Vue, Configuration, Aide
 Plateau, Réglages d'impression, Réglages du filament, Réglages de l'imprimante

Legend

Type d'élément	Durée	Pourcentage	Filament utilisé
Paroi interne	20m	24,1%	3,78 m 11,26 g
Paroi externe	15m	18,2%	1,96 m 5,84 g
Paroi externe surplomb	24s	0,5%	0,08 m 0,25 g
Remplissage interne	17m	20,5%	1,56 m 4,64 g
Remplissage solide	7m	7,8%	0,49 m 1,47 g
Remplissage solide supérieur	33s	0,7%	0,03 m 0,10 g
Remplissage du pont	32s	0,6%	0,06 m 0,19 g
Supports	11m	13,3%	0,50 m 1,48 g
Interface des supports	16s	0,3%	0,01 m 0,03 g

Temps d'impression estimés (Mode normal):
 Première couche: 3m
 Total: 1h24m
 Afficher le mode tutoriel

Right Panel:

Restes de l'impression: Simple Avancé Expert

Kobra 2 Max Normal 2

Filament: K2Max PLA

Imprimante: Kobra 2 Max

Supports: Partout

Remplissage: 20% Bordure:

Nom: Support_pieds-Support tube final

Manipulation de l'Objet

Coordonnées globales

	X	Y	Z
Position:	210	210	16,21 mm
Rotation (relative):	0	0	0 °
Echelle:	100	100	100 %
Taille (Global):	121,24	57,19	32,42 mm

Pouces

Info

Taille: 121,24 x 57,19 x 32,42 Volume: 26570,08

Faces: 3178 (1 coque)

Aucune erreur détectée

Informations de découpage

Filament Utilisé (g)	25,26
Filament Utilisé (mm)	8,47
Filament Utilisé (mm³)	20369,96
Coût	0,64

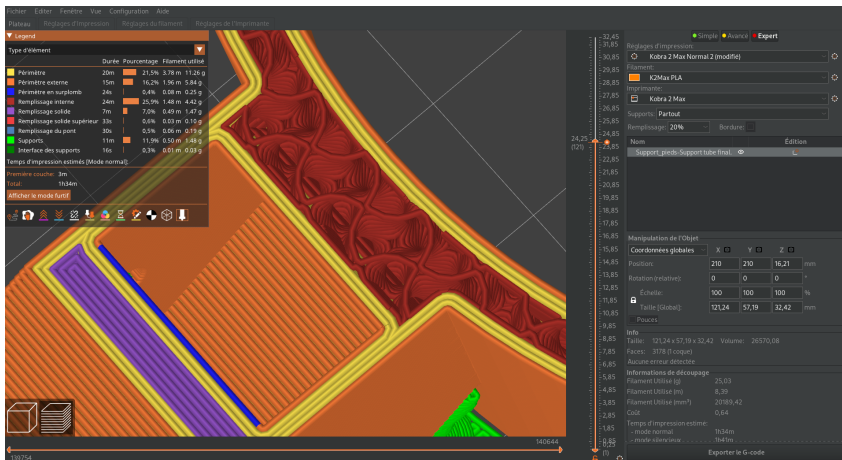
Temps d'impression estimé

- mode normal: 1h24m
- mode silencieux: 1h30m

Exporter le G-code

⁷Les outils permettent de simuler couche par couche pour vérifier les épaisseurs par exemple ou le remplissage

Slicer 4



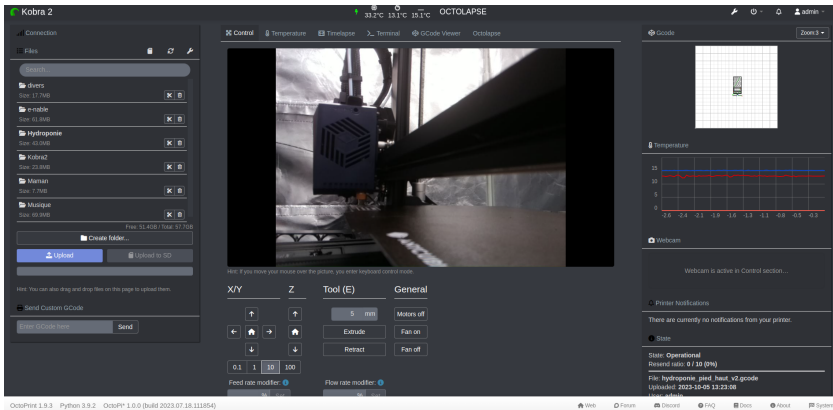
8

⁸Exemple de remplissage gyroïde et contrôle de les parois : 6 passage à 0.2 : 1mm2. Permet aussi de voir les temps d'impression et la conso de matière

Workflow - Etape 3 : Impression

- on balance le gcode :
 - liaison USB
 - carte SD
 - cloud : Attention sécurité, ...
 - Octoprint

Octoprint



9

⁹Une anycubic pilotée par octoprint sur un raspberry

Workflow - Etape 4 : Post-traitement

- FDM
 - Décollage
 - Suppression des supports
 - Ponçage
 - Ebavurage
- SLA
 - nettoyage alcool isopropylique ou eau (fonction de la résine)
 - Suppression des supports
 - Polymérisation UV

Technique : le positionnement

▼ Legend

Type d'élément

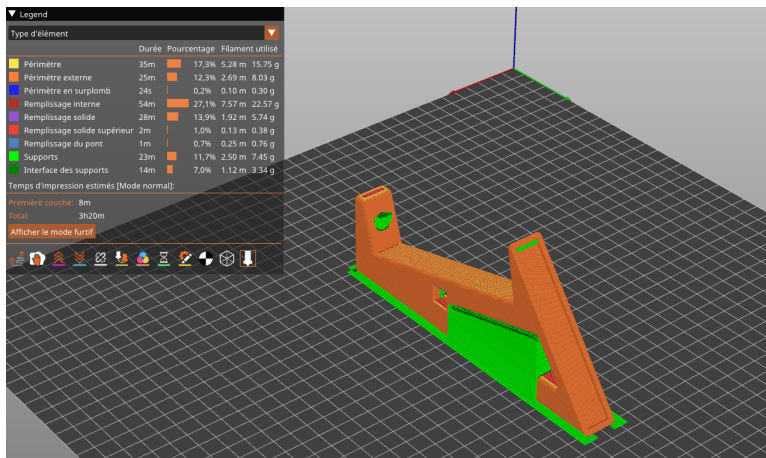
	Durée	Pourcentage	Filament utilisé
Périmètre	35m	17,3%	5.28 m 15.75 g
Périmètre externe	25m	12,3%	2.69 m 8.03 g
Périmètre en surplomb	24s	0,2%	0.10 m 0.30 g
Remplissage interne	54m	27,1%	7.57 m 22.57 g
Remplissage solide	28m	13,9%	1.92 m 5.74 g
Remplissage solide supérieur	2m	1,0%	0.13 m 0.38 g
Remplissage du pont	1m	0,7%	0.25 m 0.76 g
Supports	23m	11,7%	2.50 m 7.45 g
Interface des supports	14m	7,0%	1.12 m 3.34 g

Temps d'impression estimés [Mode normal]:

Première couche: 8m

Total: 3h20m

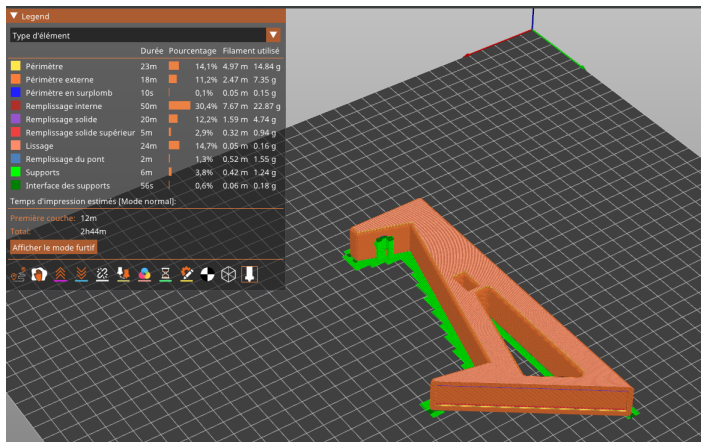
Afficher le mode furtif



10

¹⁰Le positionnement est important, il influence : la solidité de la pièce, le temps d'impression, la consommation en matière. Ici par défaut 3h20

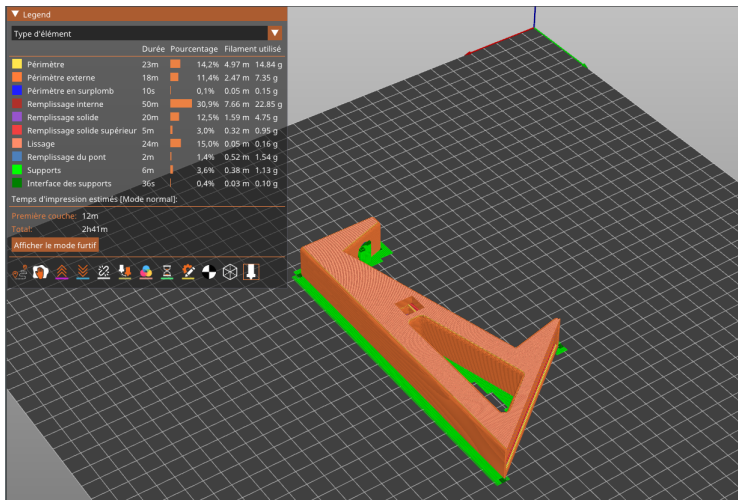
Technique : le positionnement



11

¹¹On couche la pièce : 2h44 et 1,24g de support

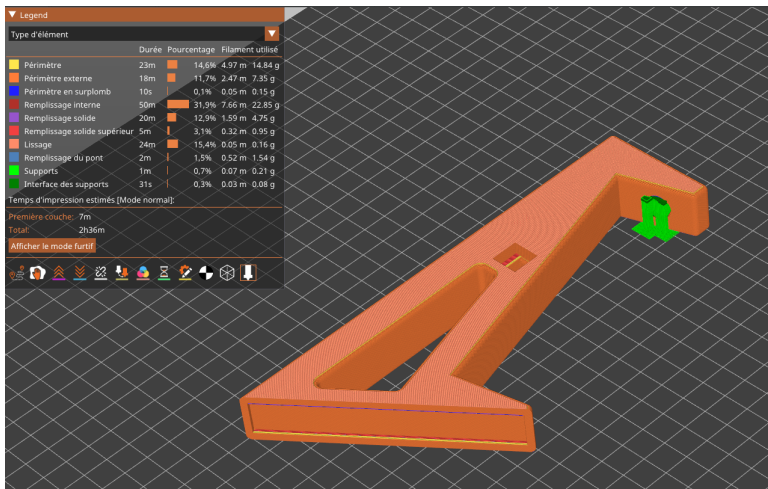
Technique : le positionnement



12

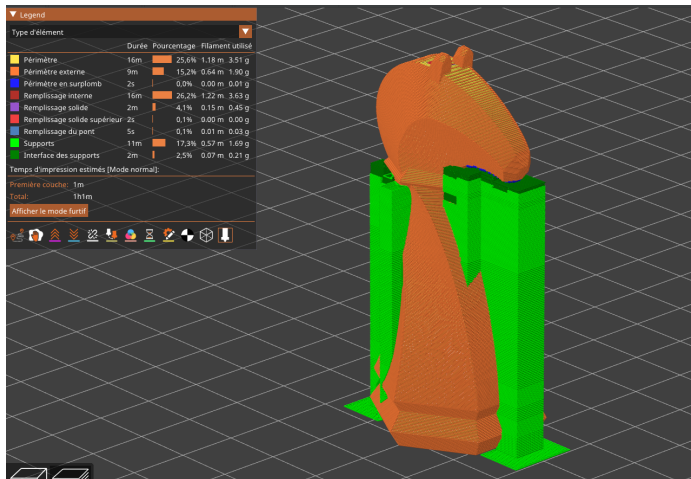
¹²on retourne : 2h41 et 1,13g de support (gain au niveau du trou), mais encore trop de support à cause des chanfreins

Technique : le positionnement



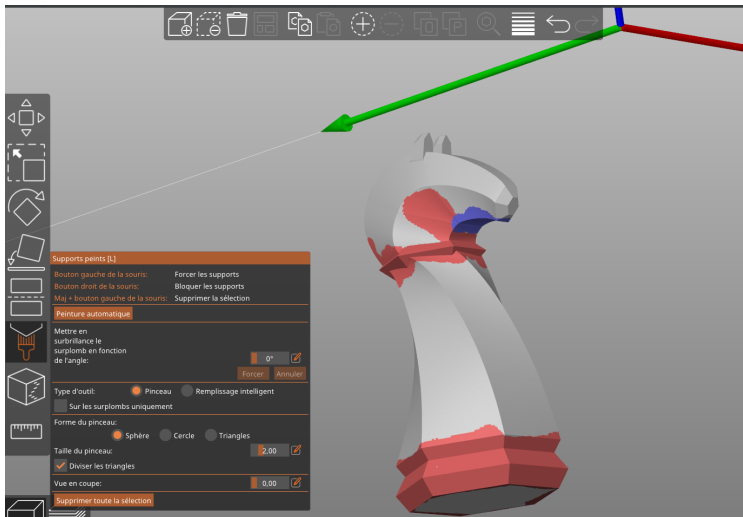
¹³Changement du mode de support : mur λ organique : 2h36 et 0,21g de support

Technique : les supports



¹⁴ Comme la position la gestion du support est importante. Ici supports par défaut.
1h01mn d'impression et 1.69g de support

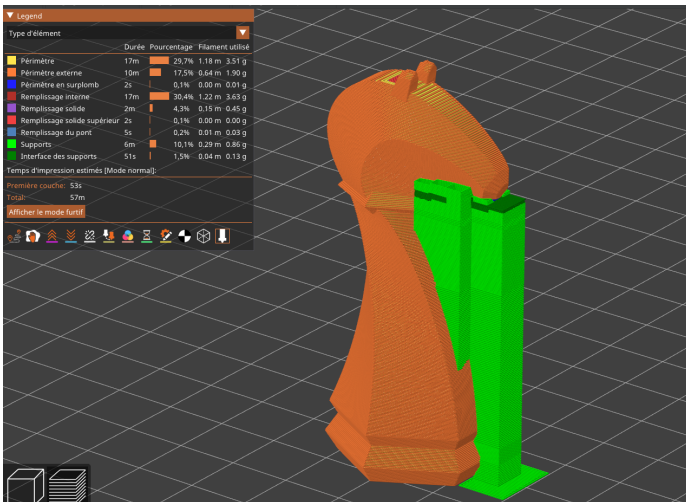
Technique : les supports



15

¹⁵ Les slices proposent des outils pour définir les zones où on souhaite mettre des supports

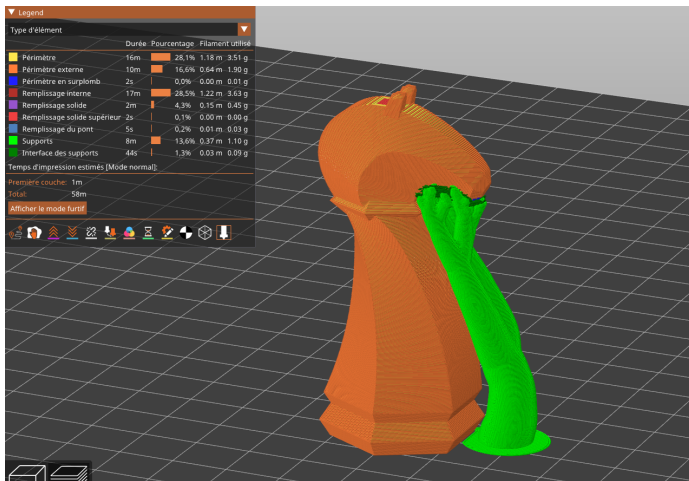
Technique : les supports



16

¹⁶Si on connaît bien son imprimante, l'arrière n'a pas besoin de support : 57mn d'impression et 0.86g de support

Technique : les supports

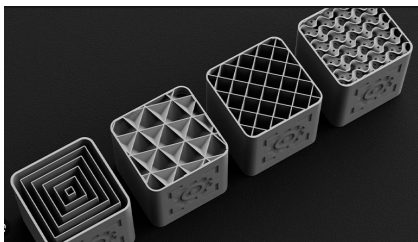


17

¹⁷On change le type de support en organique et :58mm pour 1.10g et en vrai le support ne passe pas car trop fragile risque de cassure.

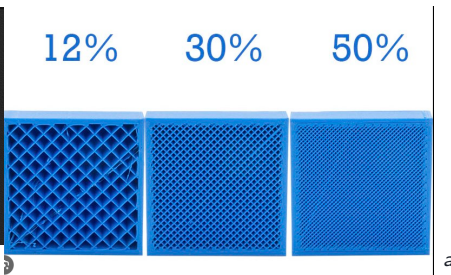
Technique : remplissage

- le motif influence les caractéristique technique
- la densité peut jouer aussi
- A noter qu'au delà de 50% de remplissage on ne gagne pas en solidité (ou très rarement)



^a

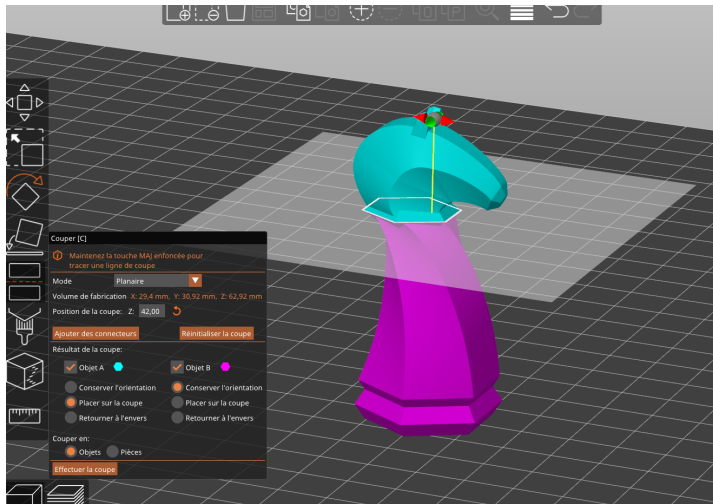
^aDifférents types de remplissage



^a

^aDensité de remplissage

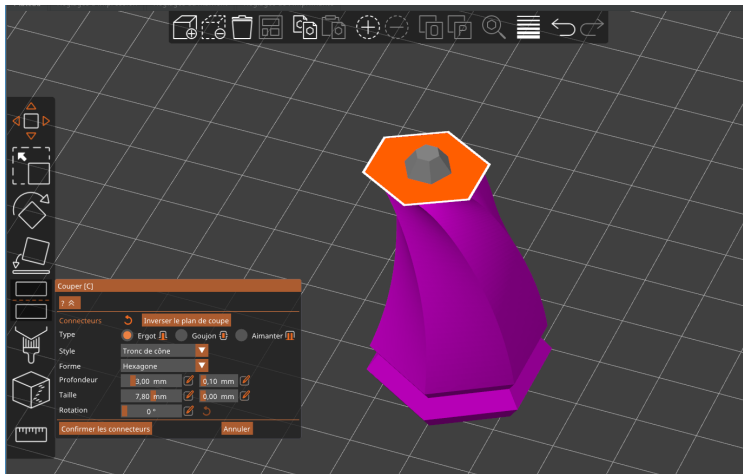
Technique : assemblage



18

¹⁸le slicer propose parfois un outils pour faire une coupe de la pièce

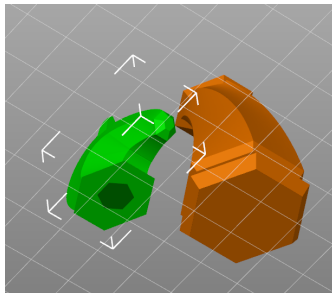
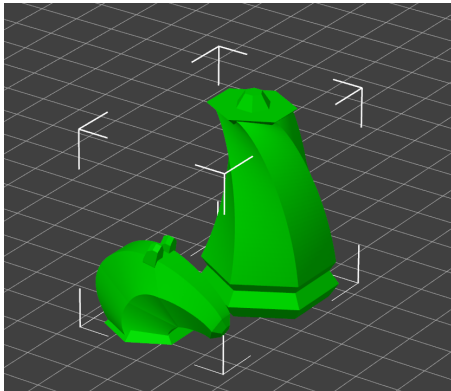
Technique : assemblage



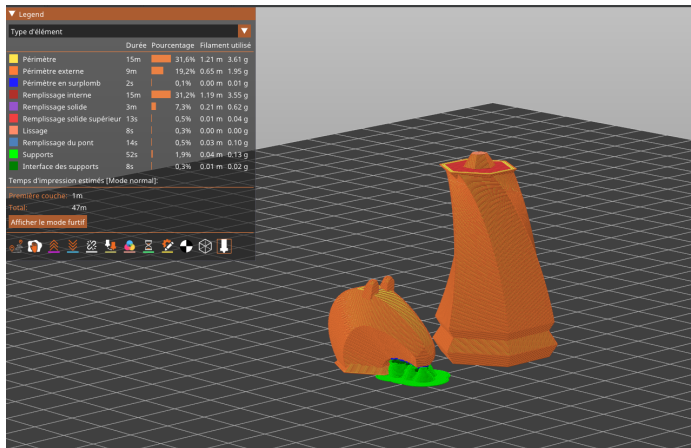
19

¹⁹Le slicer modélise automatiquement ce qu'il faut pour assembler et positionner les pièces

Technique : assemblage



Technique : assemblage



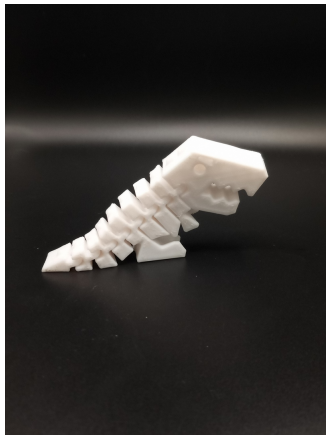
20

²⁰ Comme ceci, on tombe à 47mn d'impression et 0.13g de support. Attention par contre on perd en qualité au niveau de la jointure des pièces (dans ce cas c'était pour faire un moule, donc ça passe)

Technique : Reprise

- Mettre en pause en cours d'impression (gcode à modifier)
- pourquoi :
 - Remplir les espaces : sable pour lester, Resine, ...
 - Insérer une pièce : Ecrou, ...
 - Support custom : economie si série de pièce

Print In Place



21

²¹Modélisation plus complexe, dino imprimé couché et des petits supports se cassent pour à la fin pour permettre l'articulation (modèle d'internet)

Quoi faire avec une imprimante ?

- de la déco
- pièces techniques : prototypage, ..
- pièces fun
- jouets, figurines
- prothèses
- La seule limite votre imagination



a

^amodèle internet





a

^asupport de casque multicolore

par collage de pièces de couleurs



a

^aStand de couleur photo

Technique



^a

^aCommande pour une société

pour prototyper un cache

Christophe Brun | christophe@cbrun.fr |



^a

^asupport tringle à rideau non standard à cause de la courbure des cadres de fenêtre

Technique



^a

^aLe piège à moustique (plans de la société LAMI)

Christophe Brun | christophe@cbrun.fr |



^a

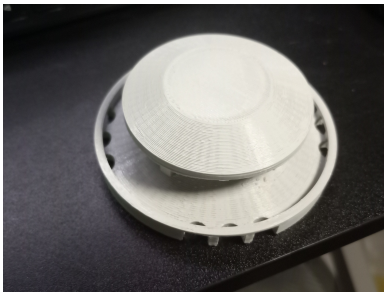
^aSupport d'une de mes colonnes d'hydroponie

Technique



^a

^aTableau déport USB.RJ45 de
ma borne d'arcade



^a

^aDéflecteur d'eau de la colonne
d'hydroponie

Prototypage



a

^aPrototype pour une startup

Lyonnaise

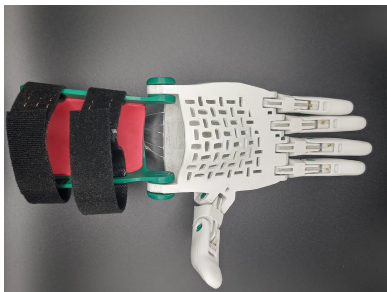
Christophe Brun | christophe@cbrun.fr |



a

^aModélisation faite par une designeuse

Prothèse : e-nable



^a

^aProthèse de validation pour
l'asso e-nable



Litophanie



^a

^aPrincipe : les épaisseurs en
fonction des niveaux de gris



^a

^aEclairage arrière

Litophanie



a

^aUne lampe pour ma nièce



Figurines/Jouets



^a

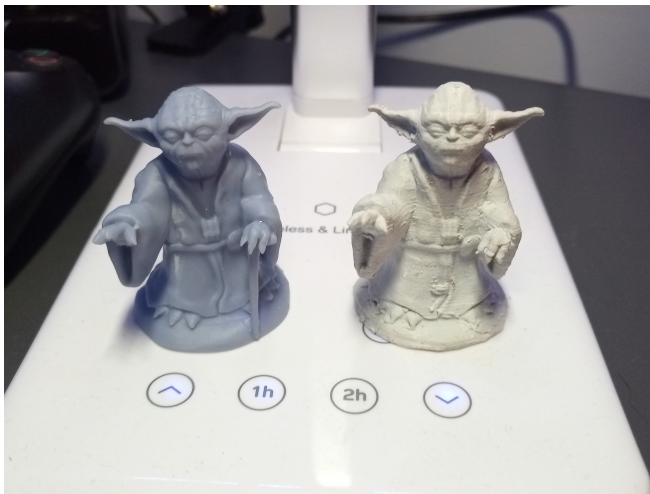
^aCommande pour faire des moulages



^a

^aModèle internet

Figurines/Jouets



22

²²Impression résine à gauche et FDM à droite. Modèle internet

Ressources

- comparatif matériaux :
<https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/properties-table>
- Modèles
 - Thingiverse : <https://www.thingiverse.com/>
 - Cults 3D : <https://cults3d.com/fr>
- E-nable : <https://e-nable.fr/fr/>
- Abrège : <https://www.youtube.com/@Abrege>
- cncFab : <https://www.youtube.com/@CncFab>
- Barbatronic (robotique) : <https://www.youtube.com/@Barbatronic> (live twitch dimanche soir)