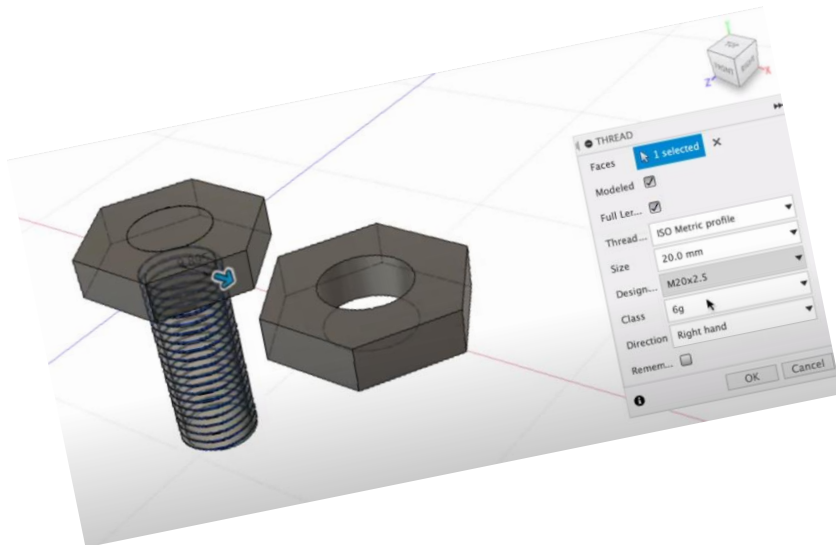


# TI332 – DAO

## Cours de Dessin Assisté par Ordinateur



Melvyn DERLEYN  
Jean-Pol PETEN

Tl331	<i>Services d'infrastructure informatique 2</i>	3	40
	Administrateur Cloud		26
	Automatisation		14
Tl332	<i>Systèmes embarqués 4</i>	5	58
	DAO		18
	Internet des objets		40
Tl333	<i>Sécurité des infrastructures</i>	5	58
	Sécurité des infrastructures		58
Tl334	<i>Techniques Web et mobile</i>	6	70
	Programmation Web et mobile		46

## 2 Activités d'Apprentissage:

- DAO (DAO)  
18 heures (pondération 30 %)  
→ Mr Derleyn
- Internet des Objets (IOT)  
40 heures (pondération 70%)  
→ Mr LOSERO
- UE Non Intégrée

# Acquis d'apprentissage de l'Activité d'Enseignement:

## DAO

Au terme de cette apprentissage, l'étudiant sera capable de:

Comprendre les principes fondamentaux de la conception et du dessin assisté par ordinateur

Comprendre les principes de la fabrication soustractive et additive

Modéliser une pièce 3D en tenant compte des différentes contraintes de fabrication de celle-ci

# Modalités d'évaluation:

- Evaluation non intégrée
- Evaluation continue ou supervision (20%)
  - motivation/implication/sérieux de l'étudiant
- Les modalités du projet seront données après les congés d'automne (Toussaint)
- Evaluation de votre projet au dernier cours (80%)
  - Evaluation du projet et du travail de chaque étudiant
  - Pas d'examen en session de janvier.

# Contenu du cours:

## Contenu du cours:

1. Historique
2. Fabrication additive VS soustractive
3. Les procédés de l'impression 3D
4. Focus sur la méthode d'impression par extrusion de filament
5. Les principaux problèmes
6. Le format STL
7. Le format 3MF
8. La modélisation 3D

# 1. Historique

2. Fabrication additive VS soustractive
3. Les procédés de l'impression 3D
4. Focus sur la méthode d'impression par extrusion de filament
5. Les principaux problèmes
6. Le format STL
7. Le format 3MF
8. La modélisation 3D

# Historique

## Un peu d'histoire:

- L'impression 3D ne date pas d'hier
- 1950-1960: une entreprise américaine spécialisée dans la chimie des matériaux invente un polymère liquide qui se solidifie au contact de la lumière.
- 1970: des chercheurs parviennent à solidifier la photo résine au point d'intersection de 2 rayons laser
- 1980: dépôt d'un premier brevet concernant un procédé de solidification de résine liquide par rayon laser.
- 1982-1986 dépôt de plusieurs brevets



# Historique

- Fin 1988: la 1<sup>o</sup> imprimante 3D est mise sur le marché (3D Systems)

Origine du format de fichiers STL



SLA-250 de 3D Systems, le premier système de fabrication additive

# Historique

- Dans les années 1990:
  - dépôt d'un brevet sous le nom de « Fused Deposition Modeling » (FDM)
  - Dépôt d'un brevet concernant le procédé « Selective Laser Sintering » (SLS): fusion de poudre à partir d'un laser
- 1996: année charnière. 3 machines apparaissent sur le marché.



# Historique

- 2007: Premiers services d'impression 3D à distances, ouverts aux particuliers
- 2009: le brevet du procédé FDM expire  
→ démocratisation de l'accès à ces technologies.
- 2011-2015: explosion de PME's qui développent leurs propres imprimantes 3D à dépôt de filament fondu  
Arrivée de groupes de « makers »

1. Historique

## **2. Fabrication additive VS soustractive**

3. Les procédés de l'impression 3D

4. Focus sur la méthode d'impression  
par extrusion de filament

5. Les principaux problèmes

6. Le format STL

7. Le format 3MF

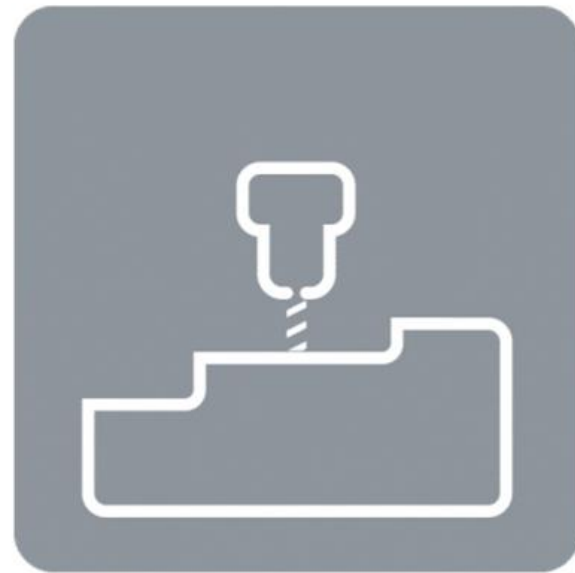
8. La modélisation 3D

# Fabrication additive VS soustractive

Fabrication additive vs soustractive:



**ADDITIVE MANUFACTURING**



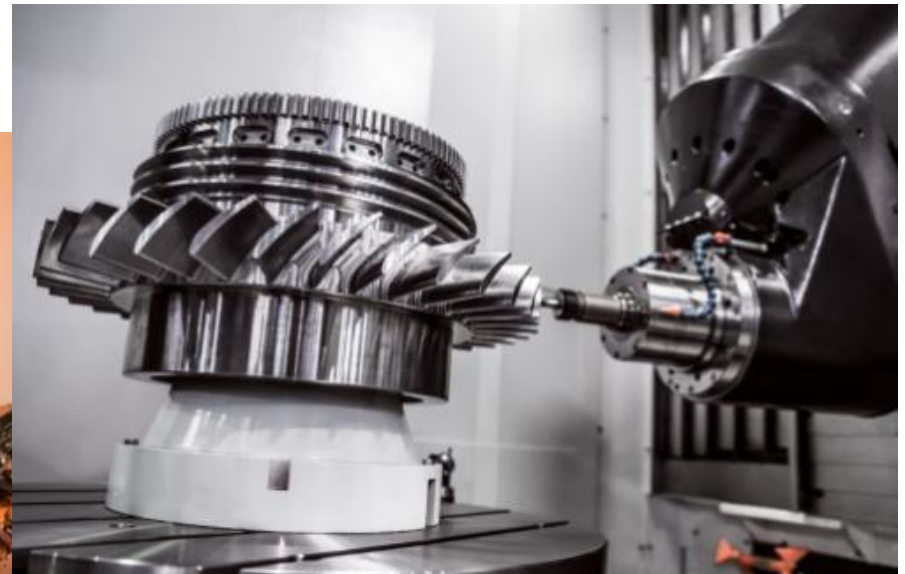
**SUBTRACTIVE MANUFACTURING**

# Fabrication additive VS soustractive

## La fabrication soustractive:

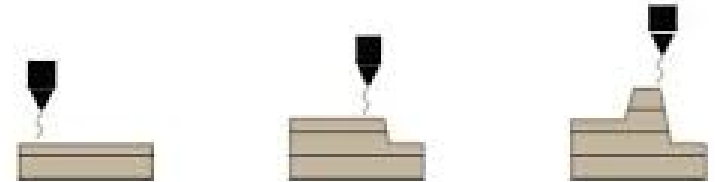


la fabrication **soustractive** enlève ou coupe le matériau pour créer les pièces



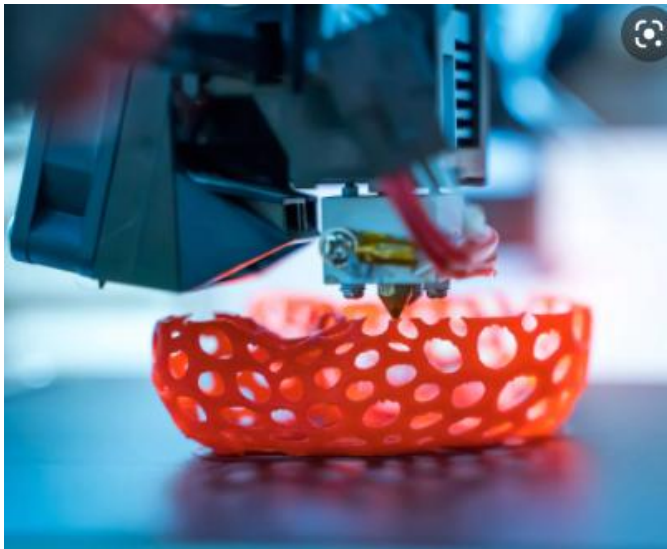
# Fabrication additive VS soustractive

## La fabrication additive:



la fabrication **additive** est principalement utilisée dans le monde de l'impression 3D.

Les objets sont construits en ajoutant des matériaux couche par couche, jusqu'à ce qu'un objet ou une pièce soit créé.



# Fabrication additive VS soustractive

## La fabrication **additive**



**ADDITIVE MANUFACTURING**





# Fabrication additive VS soustractive

La Fabrication **additive**, ou la fabrication **par ajout de matière**:

les pièces en 3D sont construites par addition de couches successives de matière sous contrôle d'un ordinateur.

La fabrication additive regroupe tout processus qui ne fonctionne pas par fabrication soustractive, mais dans lequel les objets sont produits à partir de modèles 3D, généralement couche après couche.

1. Historique
2. Fabrication additive VS soustractive
- 3. Les procédés de l'impression 3D**
4. Focus sur la méthode d'impression par extrusion de filament
5. Les principaux problèmes
6. Le format STL
7. Le format 3MF
8. La modélisation 3D

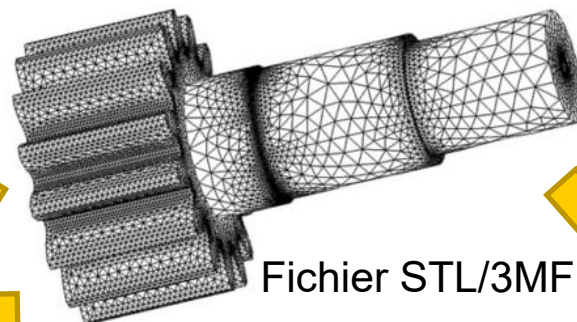
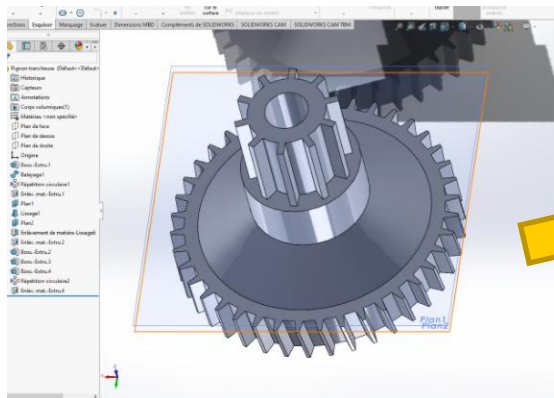
# Les procédés de l'impression 3D

## Applications les plus courantes:

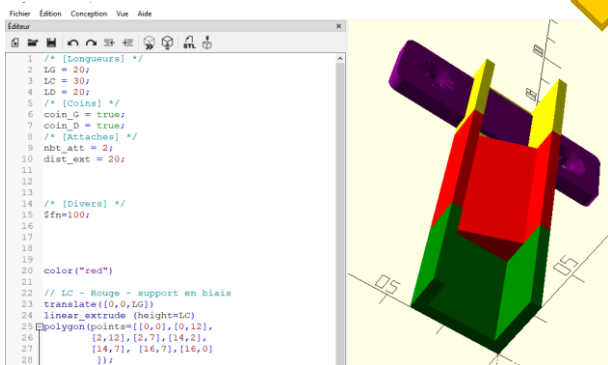
- Visualisation et la validation expérimentale de la conception de produits (prototypage).
- Fabrication d'outillage industriel.
- Création de produits hautement personnalisés au client
- Production de composants en petites séries.
- Création d'organes et de tissus humains.
- Construction de bâtiments
- Confection de vêtements
- Préparation de produits alimentaires

# Les procédés de l'impression 3D

## Les procédés de la fabrication additive:



Fichier STL/3MF



Machine de Fabrication Additive

# Les procédés de l'impression 3D

Les différentes méthodes de fabrication additive:

Ces procédés sont classés dans des catégories:

- Fusion sur lit de poudre
- Extrusion de matériaux
- Dépôt de matériaux
- Stratification de matériau en feuille
- Photopolymérisation en cuve
- Dépôt de matériau et fusion (DED)

# Les procédés de l'impression 3D

## La fusion sur lit de poudre: ou « *Powder Bed Fusion (PBF)* »

Poudre: polymères ou métaux (Titanium, Chrome-Cobalt, Aluminium)

on utilise l'énergie thermique (laser ou faisceau d'électrons) pour faire fondre et fusionner les particules des régions bien déterminées d'un lit de poudre.

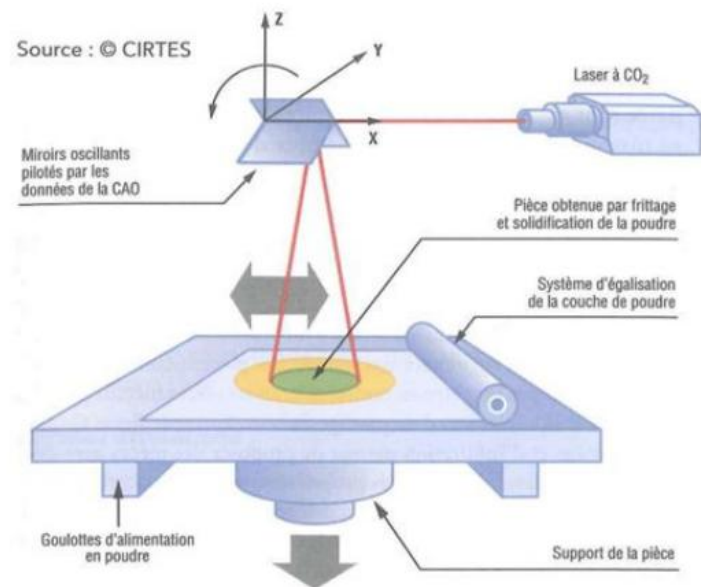


Figure 2 : Schéma de principe de solidification de poudre sous l'action d'un laser, image [2]

# Les procédés de l'impression 3D

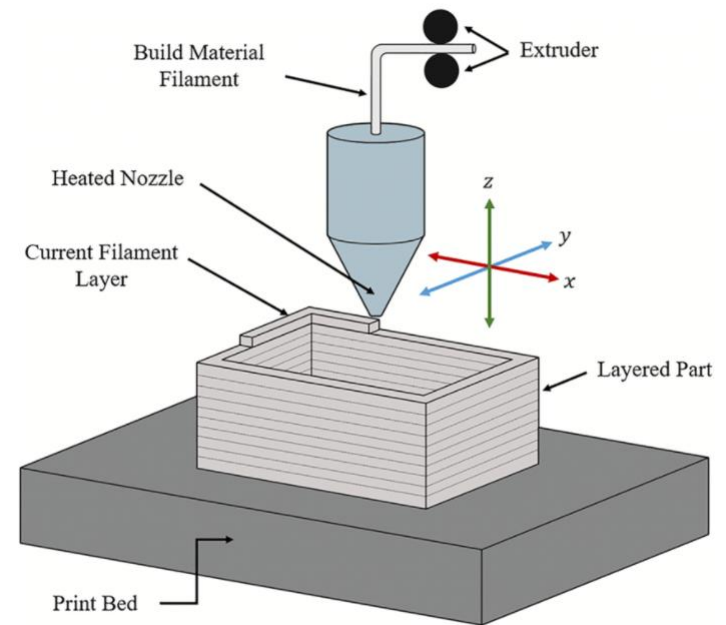
## La fusion sur lit de poudre:



# Les procédés de l'impression 3D

## Extrusion de matériaux: ou « *Fused Deposition Modeling (FDM)* »

Des perles de filament thermoplastique sont fondues pour être extrudées et distribuées sélectivement à travers une buse  
Procédé relativement peu coûteux

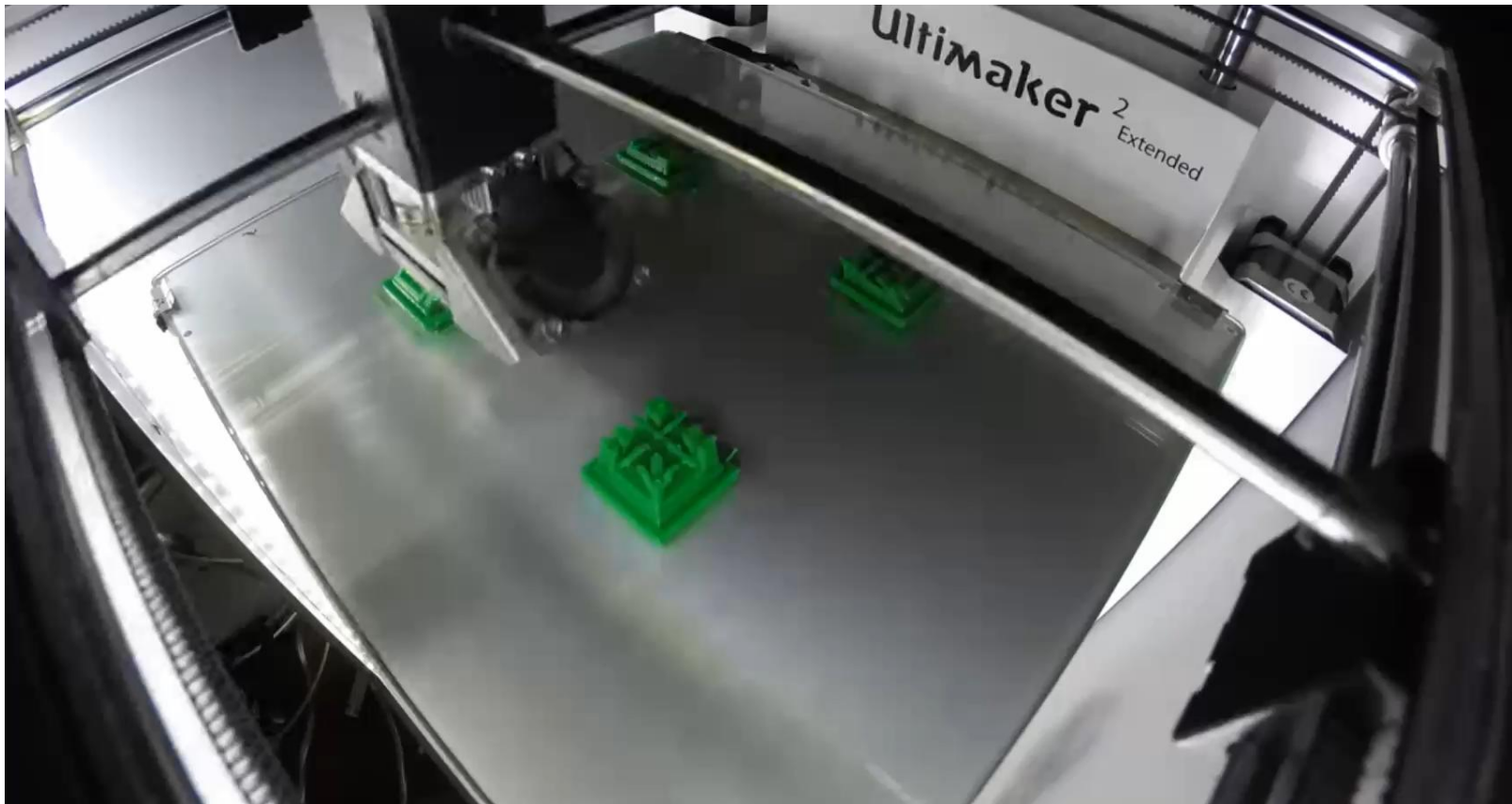


Basic working principle of material extrusion printing



# Les procédés de l'impression 3D

## Extrusion de matériaux:



# Les procédés de l'impression 3D

## Dépôt de matériaux:

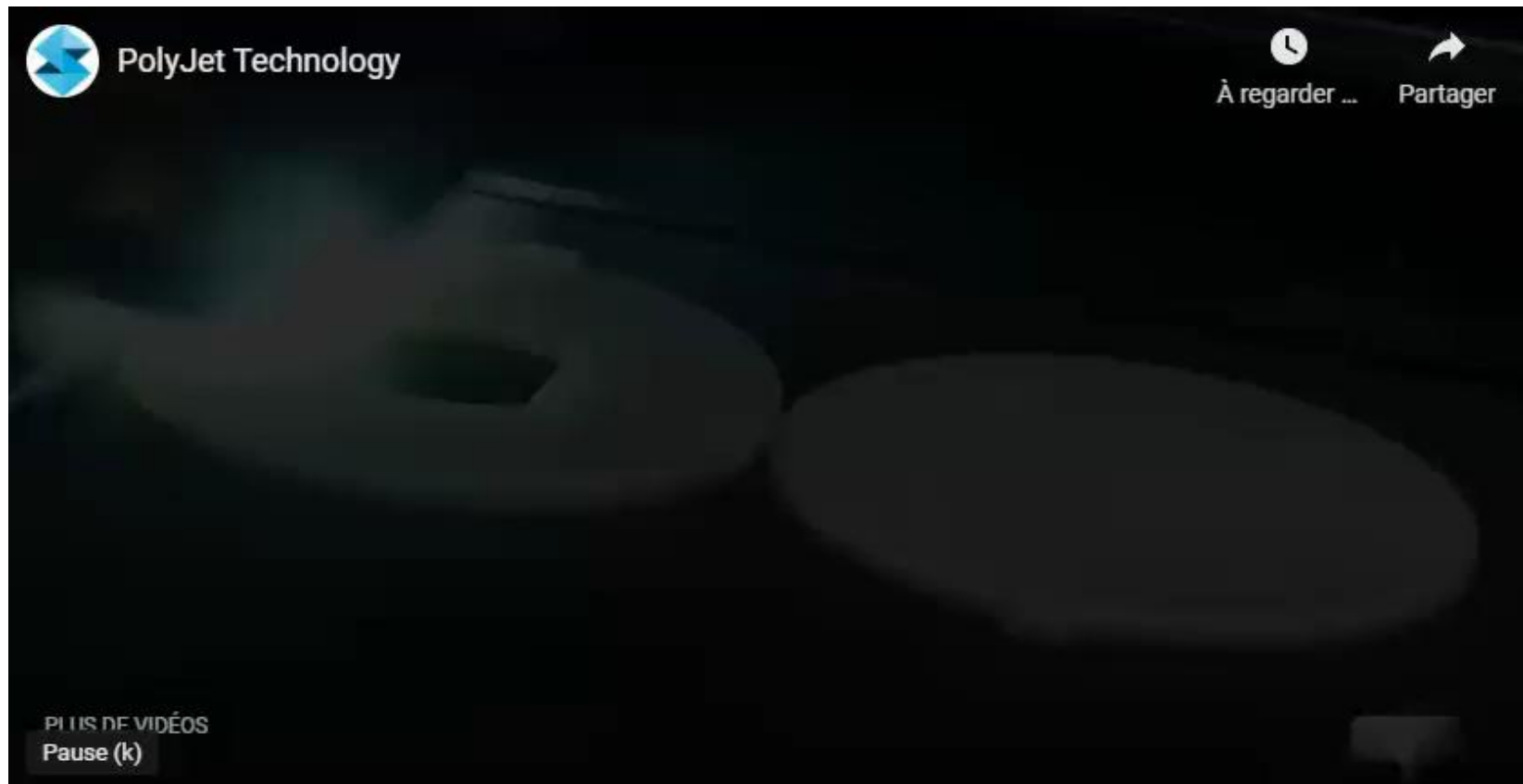
ou « *Material jetting / Binder Jetting* »

De fines gouttelettes d'un matériau sont déposées sélectivement par des têtes d'impression semblables à celles d'imprimantes à papier.

Variante: Projection de liant, pour lier les particules d'un lit de poudre

# Les procédés de l'impression 3D

## Dépôt de matériaux:



# Les procédés de l'impression 3D

## Stratification de matériau en feuille: ou « *Sheet Lamination (SL)* »

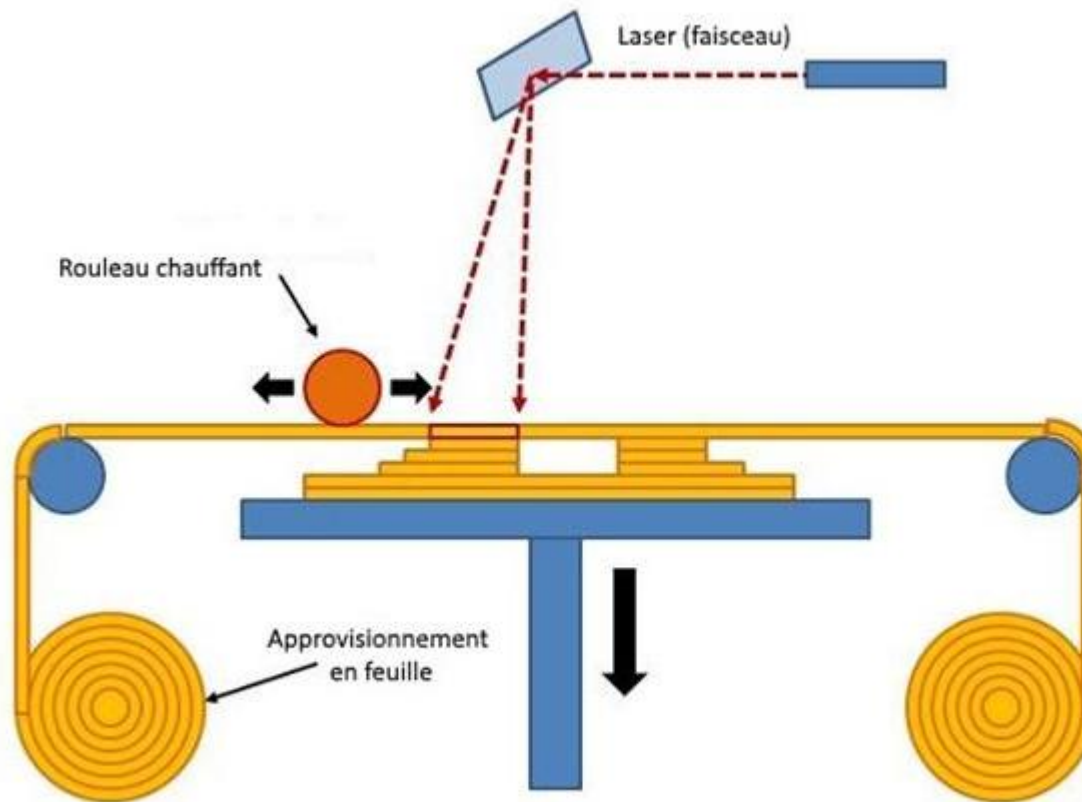
Des feuilles de matière sont liées entre elles pour former un objet complet.

Cette technique est associée à un dispositif de découpe contrôlé par ordinateur afin de délimiter les frontières de chaque couche.

Dans le cas de feuilles métalliques, on peut utiliser le procédé de soudage par ultrasons

# Les procédés de l'impression 3D

## Stratification de matériau en feuille:



# Les procédés de l'impression 3D

## Photopolymérisation en cuve:

Une résine liquide durcissable présente dans une cuve est sélectivement durcie lorsque la polymérisation de ses chaînes moléculaires est déclenchée par la lumière ultraviolette

# Les procédés de l'impression 3D

## Photopolymérisation en cuve:



re (k)

# Les procédés de l'impression 3D

## Dépôt de matériau et fusion (DED):

De l'énergie thermique focalisée fusionne le matériau en le faisant fondre au fur et à mesure qu'il est déposé

Matériaux, sous forme de poudre ou de fil, tels que

- Alliages à base de nickel
- Aluminium
- ...

L'énergie thermique focalisée est générée par

- Laser
- Faisceau d'électrons
- Gaz ionisé (torche de soudage à plasma).

Utilisent un système de mouvement à 4 ou 5 axes ou un bras robotisé pour positionner la tête de dépôt



# Les procédés de l'impression 3D

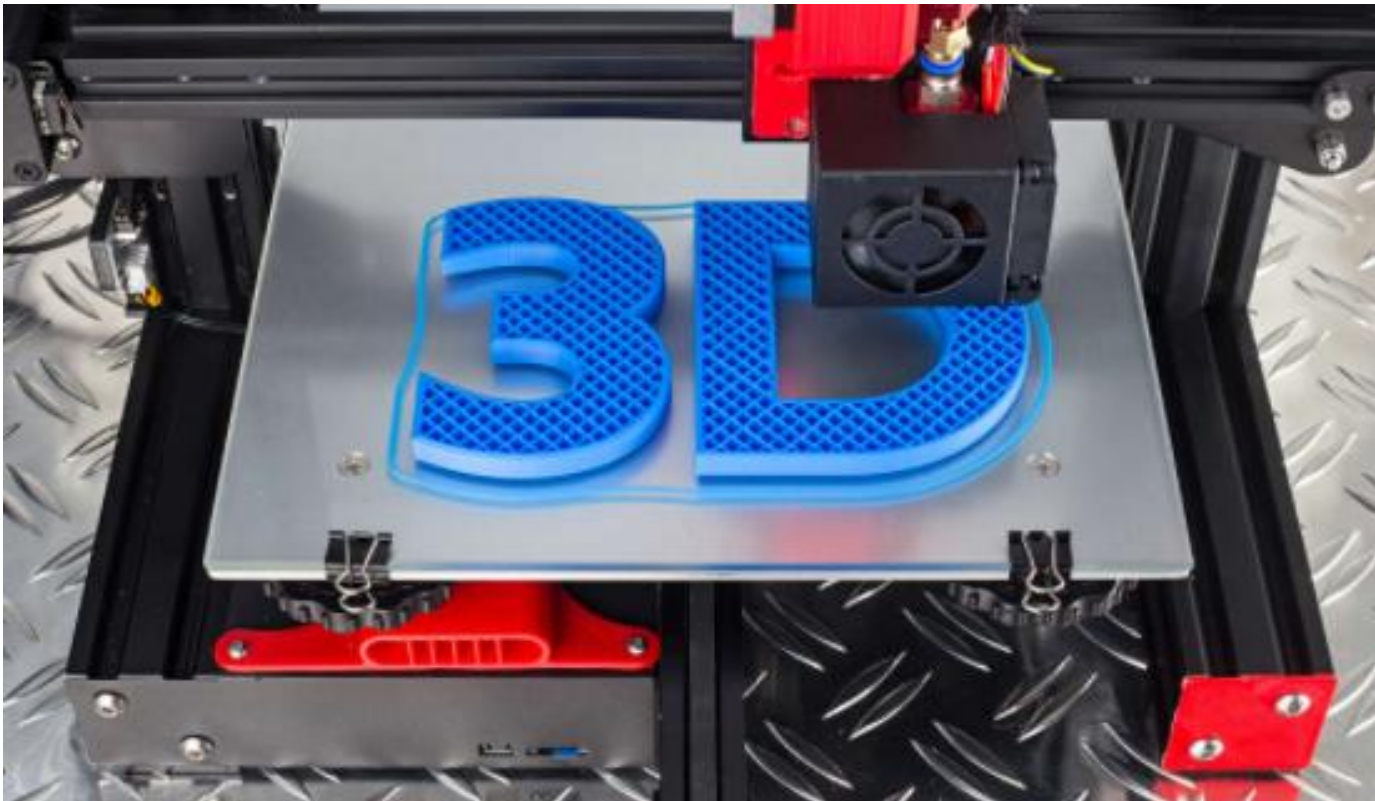
## Dépôt de matériau et fusion (DED):



1. Historique
2. Fabrication additive VS soustractive
3. Les procédés de l'impression 3D
- 4. Focus sur la méthode d'impression par extrusion de filament**
5. Les principaux problèmes
6. Le format STL
7. Le format 3MF
8. La modélisation 3D

# L'impression par extrusion de filament

Focus sur la méthode d'impression par extrusion de filament:



# L'impression par extrusion de filament

## La matière première:

- Se présente sous forme de bobines de filament.
- Bobines de 1 à 3 kg
- Diamètres les plus courants: 1.75 ou 2.85 mm
- Tolérance sur un diamètre de 1.75: → 0.05 mm (Prusa: 0.02 mm)



# L'impression par extrusion de filament

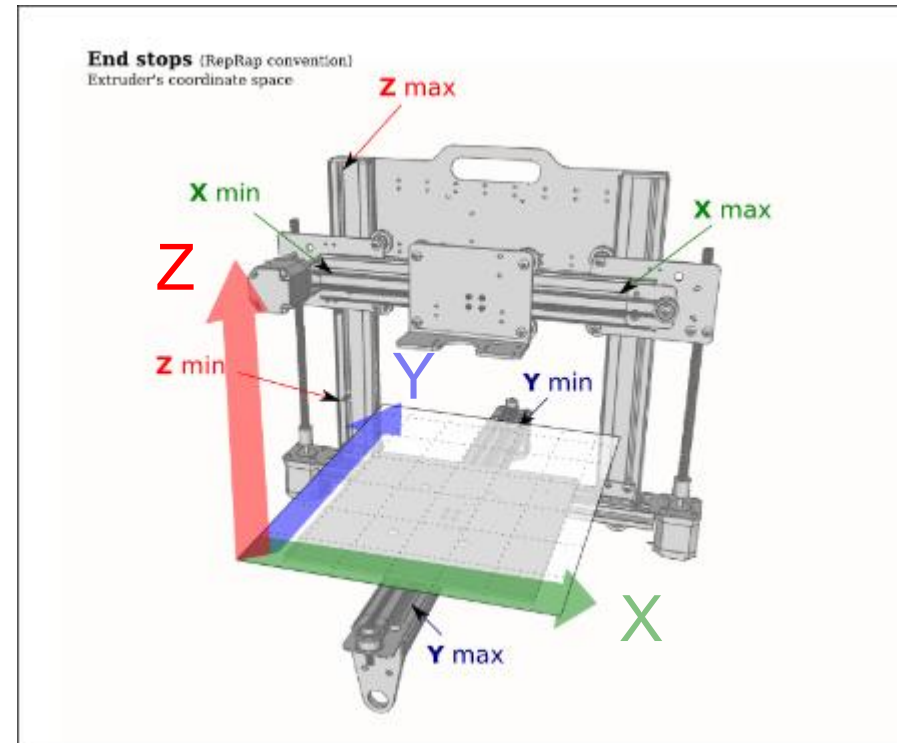
## Les matériaux disponibles:

- PLA
- PETG
- ABS
- Nylon
- TPE / TPU
- PC
- HIPS / PVA



# L'impression par extrusion de filament

## Les machines et leurs composants:





# L'impression par extrusion de filament

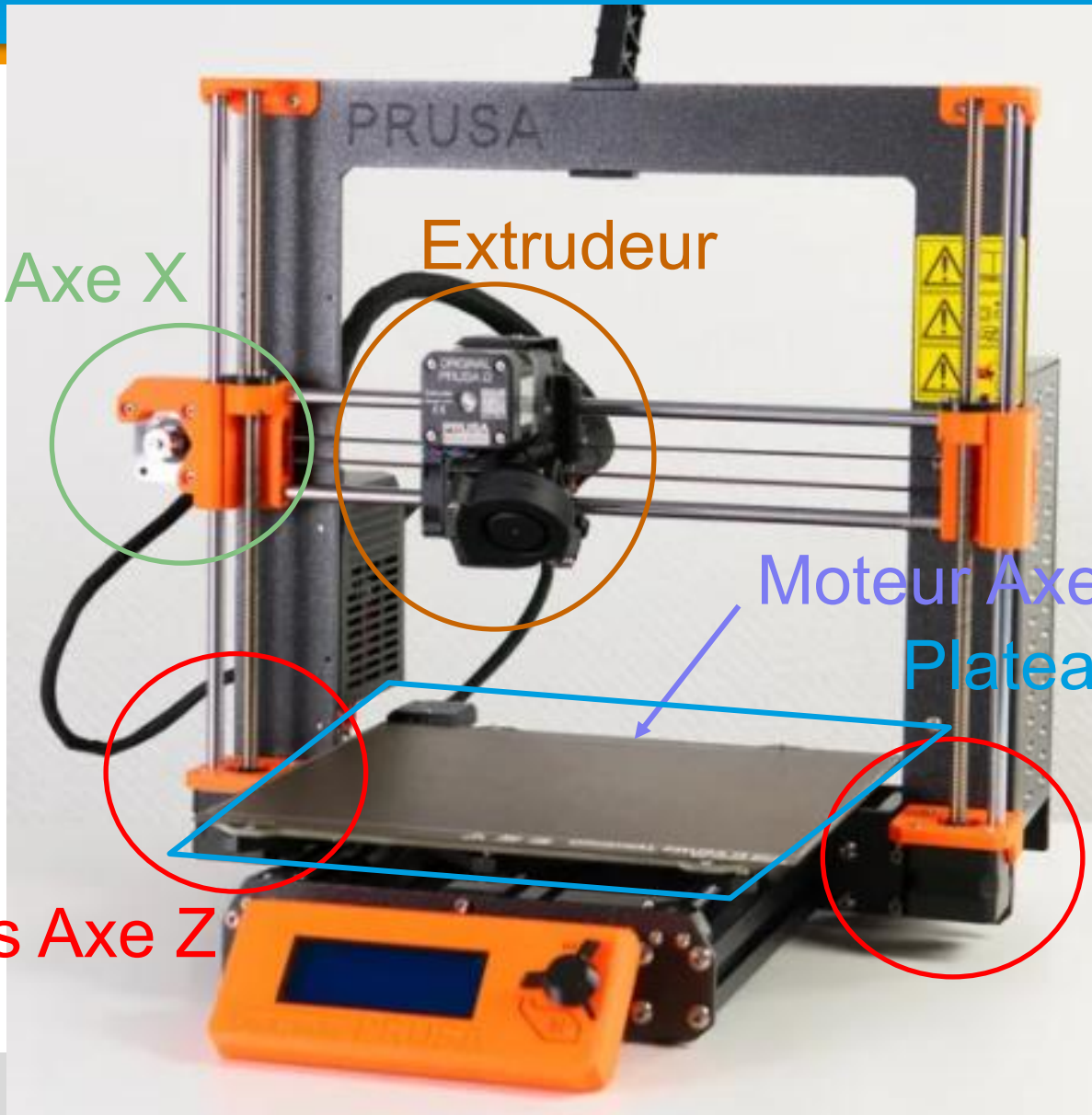
Moteur Axe X

Extrudeur

Moteur Axe Y

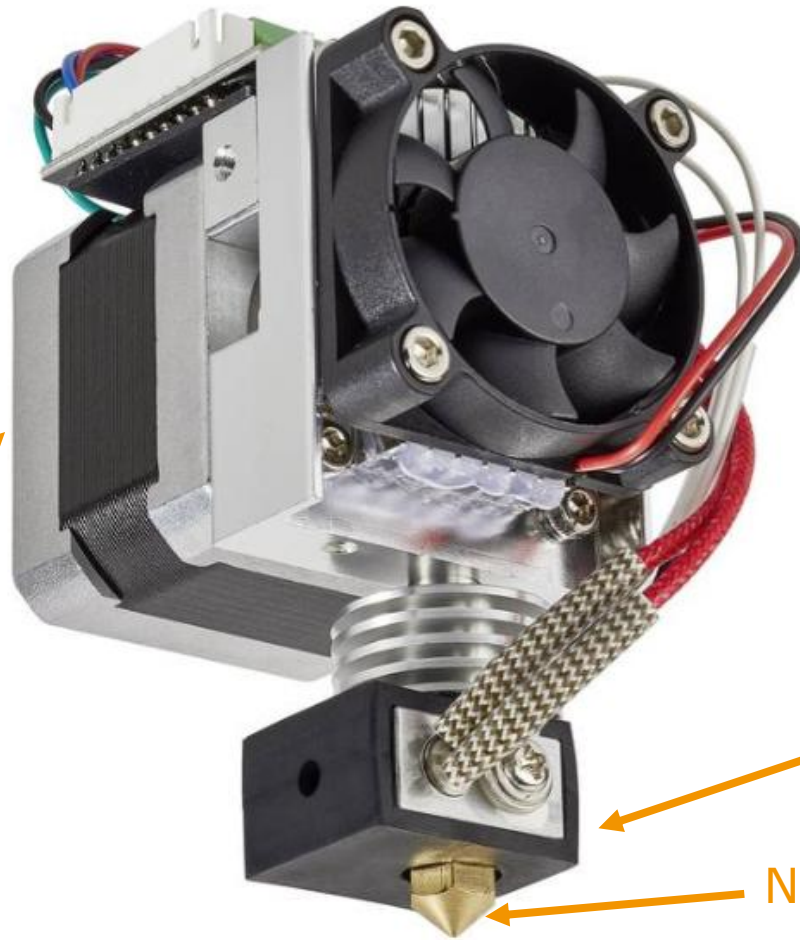
Plateau chauffant

Moteurs Axe Z



# L'impression par extrusion de filament

## L'extrudeur:



Moteur pas à pas  
entraînant le  
filament

Hot End (partie  
chauffante)

Nozzle (buse)



# L'impression par extrusion de filament

Température d'extrusion:

- PLA: 180-210°
- PETG: 220-250°
- ABS: 220-260°

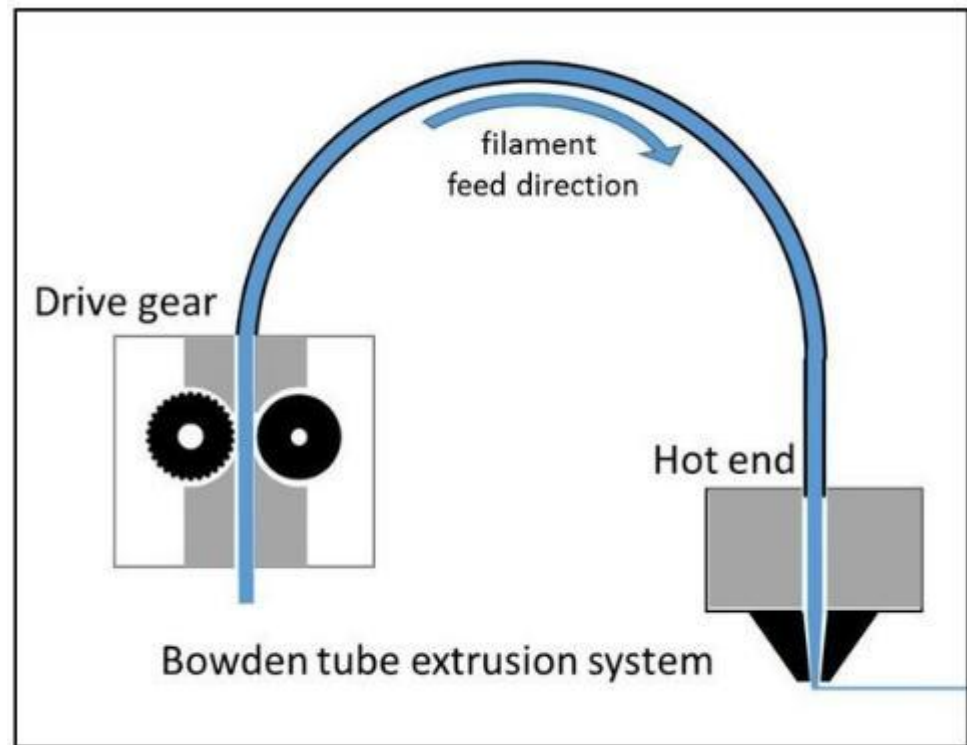
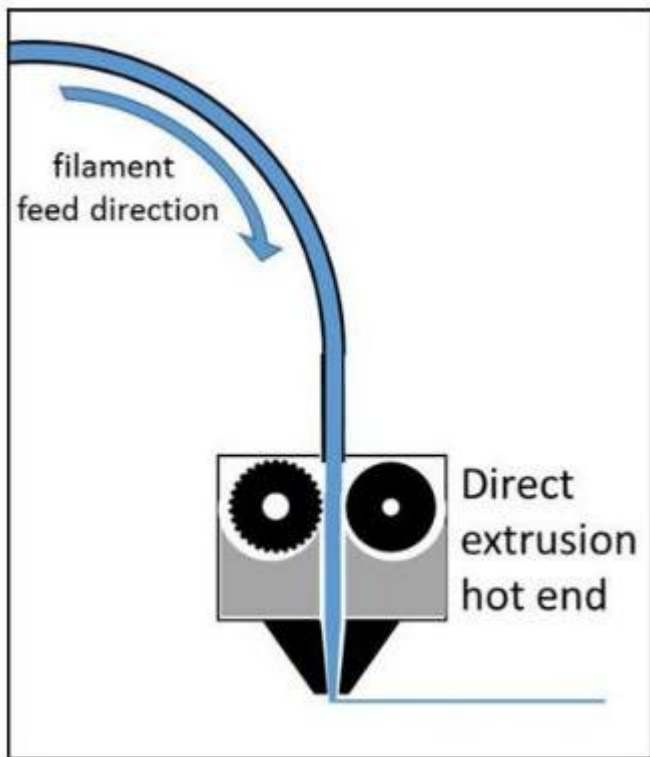


Diamètre:

- 0.25 mm
- 0.4 mm
- 0.6 mm
- 0.8 mm

# L'impression par extrusion de filament

## Direct Drive VS Bowden extrusion



# L'impression par extrusion de filament

## Direct Drive VS Bowden extrusion

Direct Drive



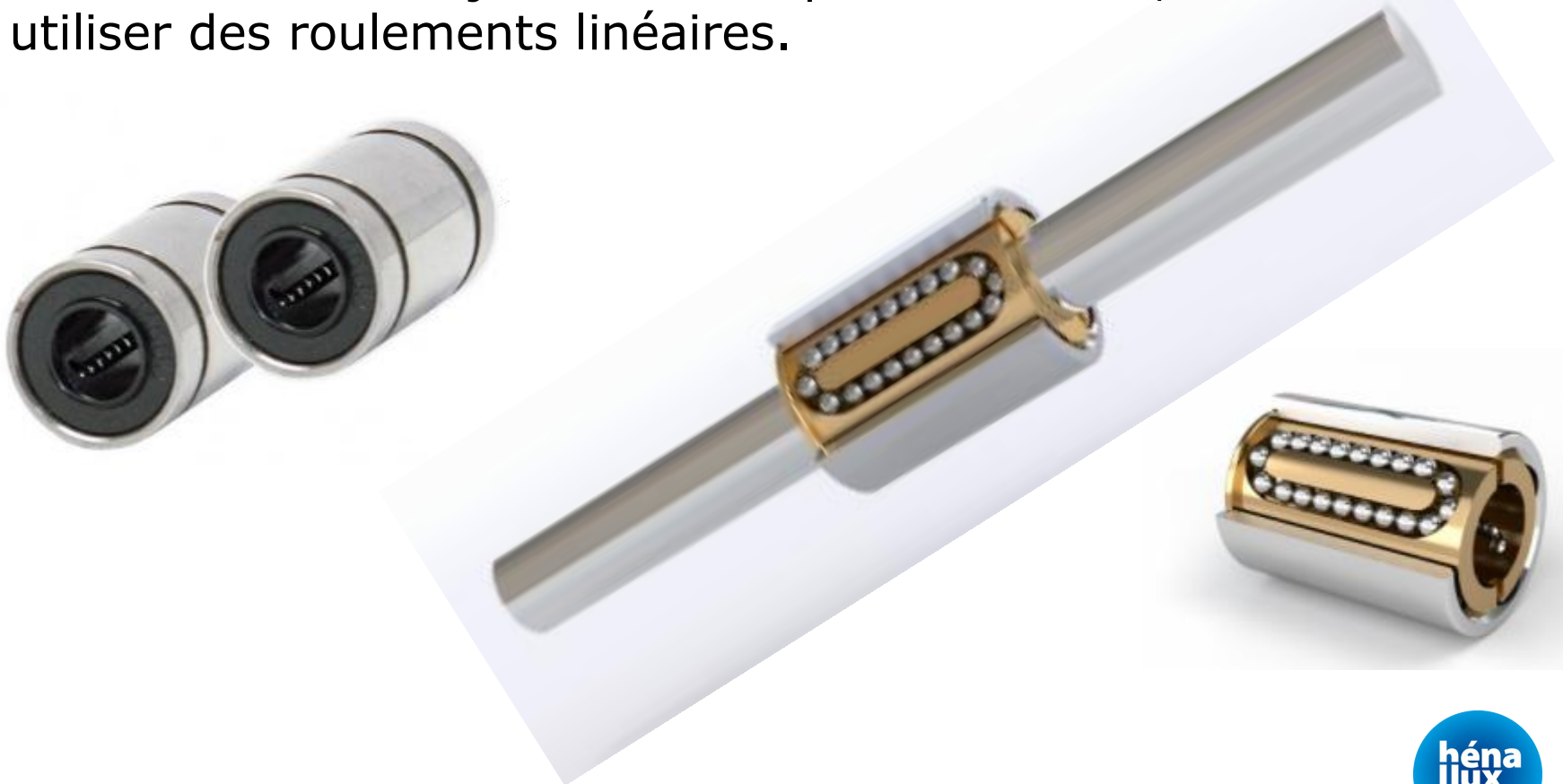
Bowden Extrusion



# L'impression par extrusion de filament

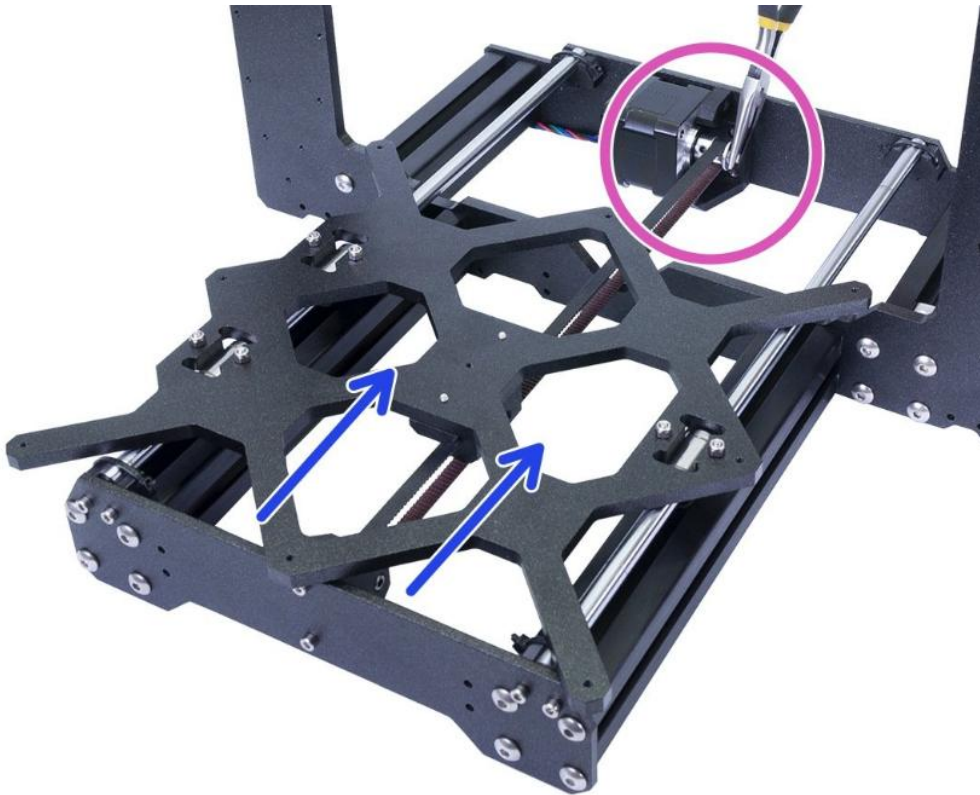
## **Les Axes:**

Pour minimiser les jeux dans les pièces mobiles, on va utiliser des roulements linéaires.



# L'impression par extrusion de filament

Exemple pour la mobilité du plateau suivant l'axe Y

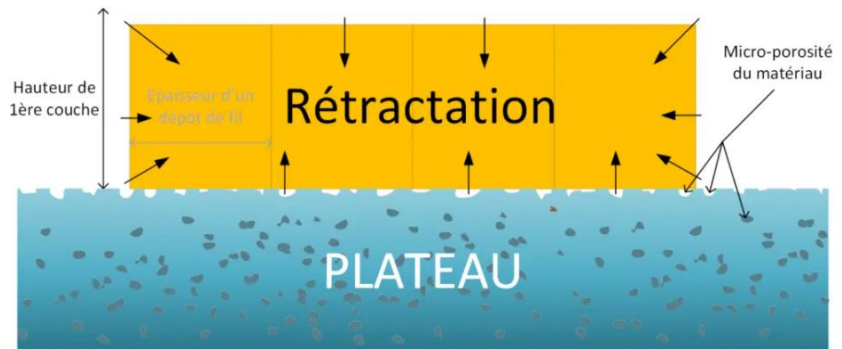
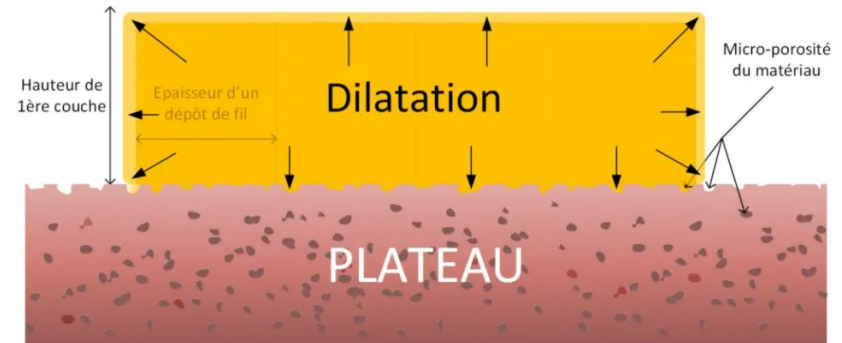
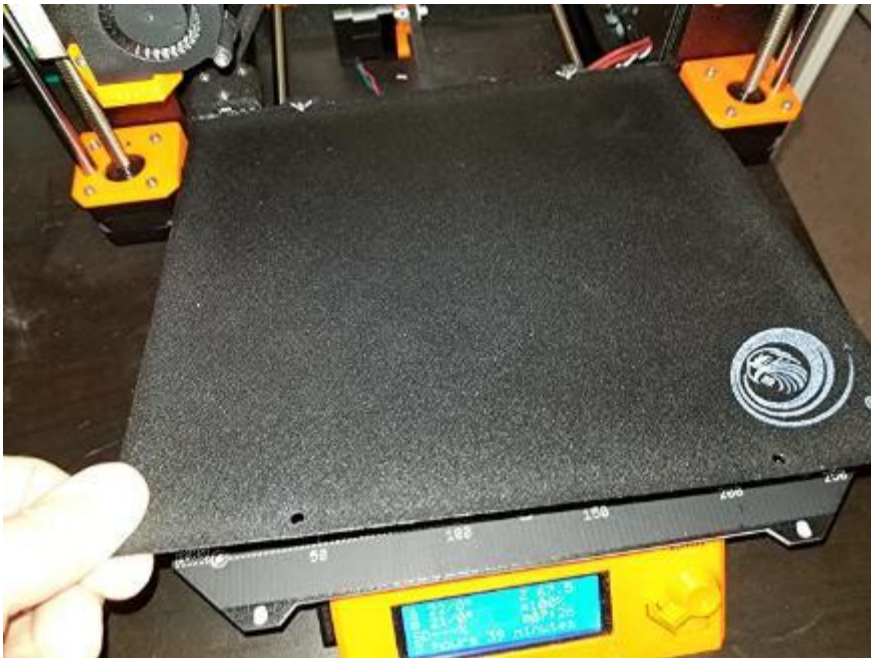




# L'impression par extrusion de filament

## Le plateau (chauffant):

En verre ou en acier



Température du plateau entre 60 et 90°

# L'impression par extrusion de filament

## Problème de planéité du plateau:

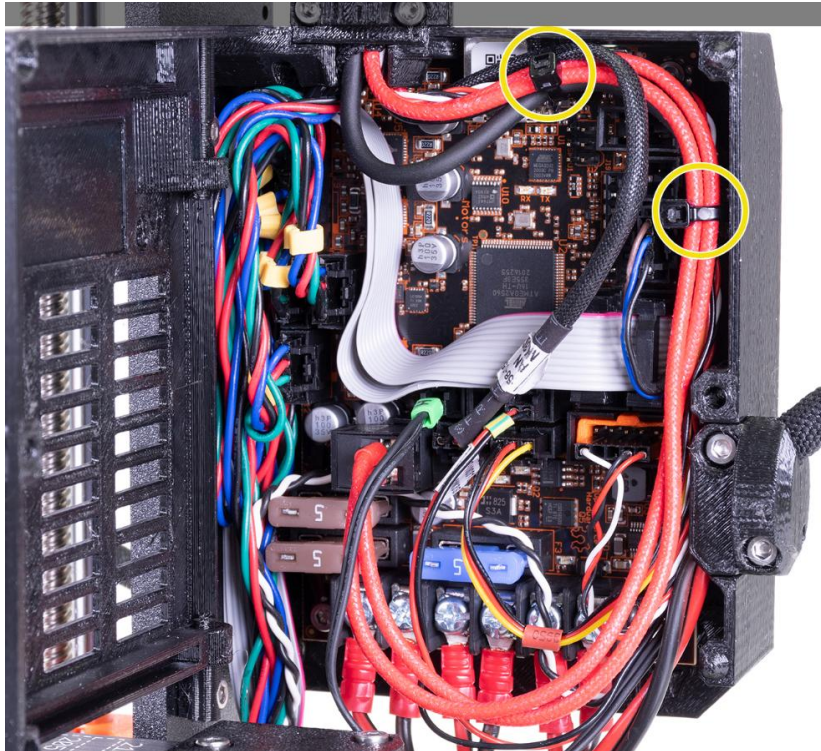
Mesh Bed Levering (nivellement du plateau par maillage).

On a parfois 0,3 à 0,4 mm de décalage alors qu'une hauteur de couche peut descendre jusqu'à 0,15 mm !!



# L'impression par extrusion de filament

## La carte mère et l'écran interface:





# L'impression par extrusion de filament

## Et la partie Software ?

L'imprimante reçoit des instructions de type GCODE.  
Ce GCODE doit être traduit en opérations mécaniques:

Exemple:

- Chauffer l'extrudeur à 200°C
- Déplacer la tête à tel endroit
- Faire sortir du filament à telle vitesse
- ...

Ce GCODE est généré par le logiciel de slicing  
(découpage de la pièce modélisée en couches)

# L'impression par extrusion de filament

Le logiciel qui sera chargé sur la carte mère s'appelle le firmware (ou microcode).

Les plus répandus sont:

- Klipper
- **Marlin**
- Prusa Firmware (basé sur Marlin)
- Reprap
- Repetier

# L'impression par extrusion de filament

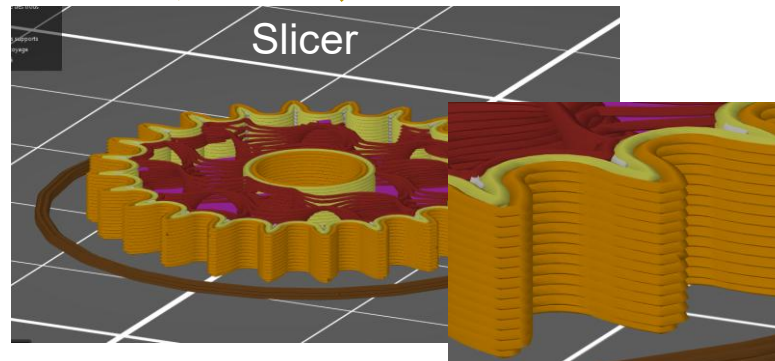
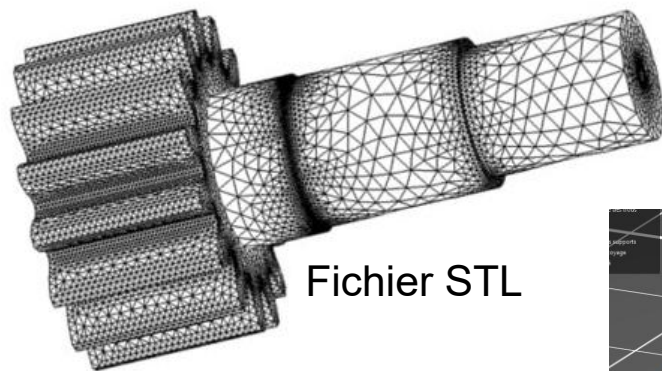
## Exemple de GCODE:

```
M104 S215 ; set extruder temp
M140 S60 ; set bed temp
M190 S60 ; wait for bed temp
M109 S215 ; wait for extruder temp
G28 W ; home all without mesh bed level
G80 ; mesh bed leveling
```

# L'impression par extrusion de filament

## Le « slicer » :

*Le slicer, également appelé logiciel de découpage en tranches, est un logiciel utilisé dans la majorité des processus d'impression 3D pour la conversion d'un modèle d'objet 3D en instructions spécifiques pour l'imprimante*



```
M104 S215 ; set extruder temp  
M140 S60 ; set bed temp  
M190 S60 ; wait for bed temp  
M109 S215 ; wait for extruder temp  
G28 W ; home all without mesh bed level  
G80 ; mesh bed leveling
```

Fichier GCODE

# L'impression par extrusion de filament

Les Slicers les plus répandus:

Nom	Gratuit / Payant	OpenSource ?
Cura	Gratuit	Oui
Simplify3D	Payant	Non
Slic3r	Gratuit	Oui
KISSlicer	Payant	Non
Tinkering Suite	Gratuit	Non
<b>PrusaSlicer</b>	Gratuit	Oui
Repetier	Gratuit	Non
Octoprint	Gratuit	Oui
SelfCAD	Payant	Non

# L'impression par extrusion de filament

## Les fonctionnalités du Slicer:

- Le slicer va transformer un fichier STL (donc un fichier de coordonnées de facettes en forme de triangles) en un fichier GCODE (donc un fichier d'instructions pour l'imprimante)
- Pour cela, il va avoir besoin:
  - De savoir comment on veut orienter la pièce sur le plateau
  - De savoir où on veut disposer la pièce sur le plateau
  - D'un grand nombre d'informations relatives à l'imprimante  
→ onglets de configuration relativement complexe
- Il permet:
  - D'ajouter des supports automatiquement ou manuellement
  - D'insérer des arrêts ou changement de filament

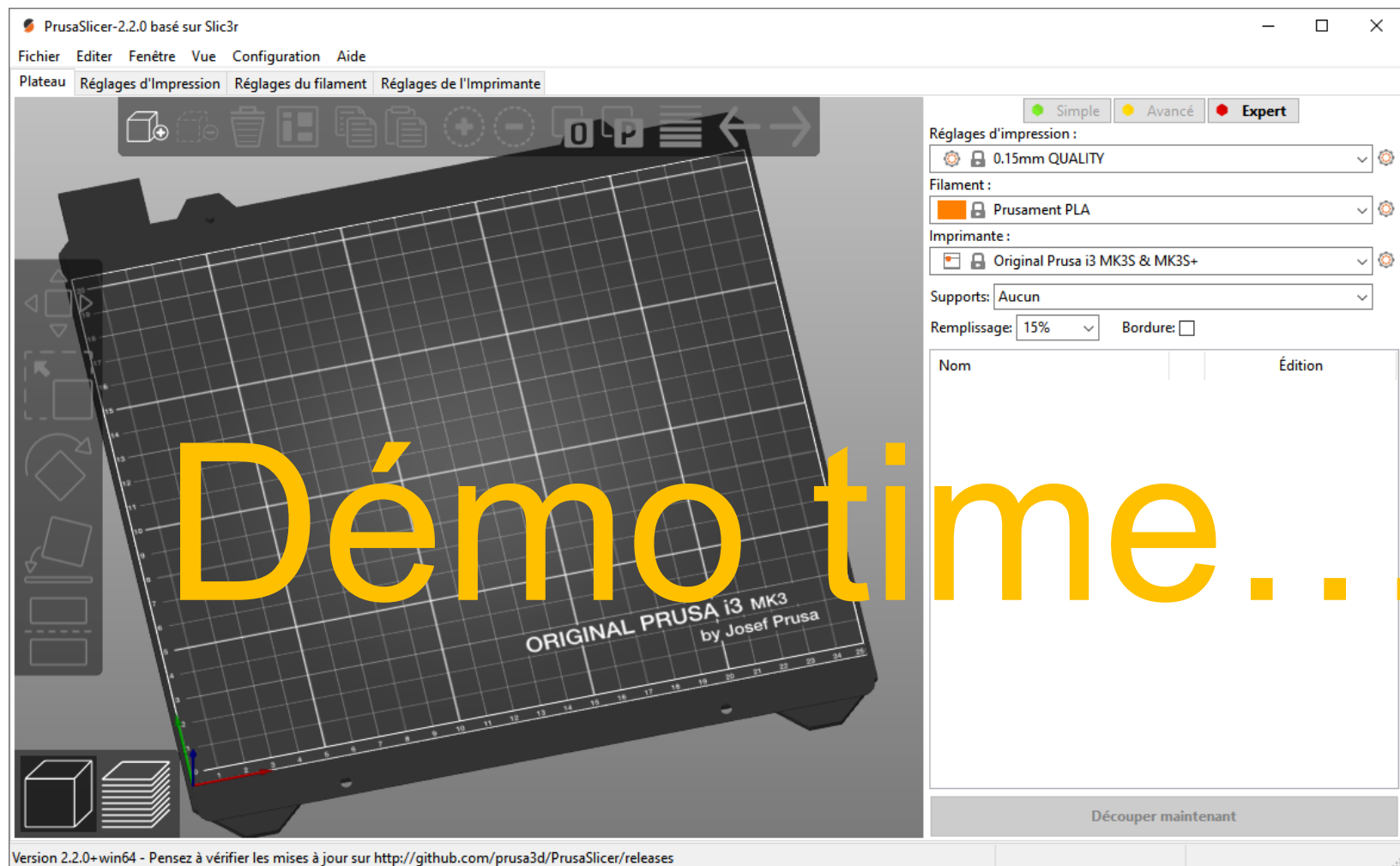
# L'impression par extrusion de filament

## Exemple de « gcode »

Fichier ASCII contenant une liste de commandes compréhensible par l'imprimante.

```
G1 E-0.80000 F2100.00000
G1 Z0.600 F10800.000
;AFTER_LAYER_CHANGE
;0.2
G1 X120.195 Y100.807
G1 Z0.200
G1 E0.80000 F2100.00000
M204 S1000
G1 F1200.000
G1 X120.872 Y100.140 E0.02980
G1 X121.527 Y99.652 E0.02564
G1 X122.361 Y99.195 E0.02980
G1 X123.253 Y98.867 E0.02980
G1 X124.052 Y98.694 E0.02564
G1 X125.003 Y98.623 E0.02992
G1 X126.221 Y98.741 E0.03836
G1 X127.376 Y99.082 E0.03776
G1 X128.466 Y99.647 E0.03848
G1 X129.316 Y100.306 E0.03373
G1 X167.322 Y138.327 E1.68558
G1 X168.030 Y139.324 E0.03836
G1 X168.547 Y140.475 E0.03955
G1 X168.824 Y141.683 E0.03886
G1 X168.851 Y143.071 E0.04355
```

# L'impression par extrusion de filament

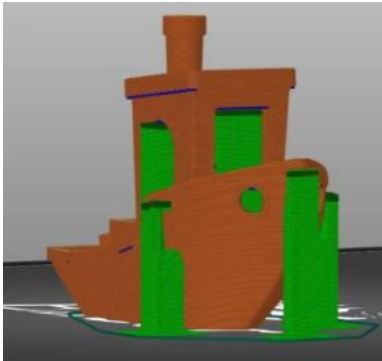




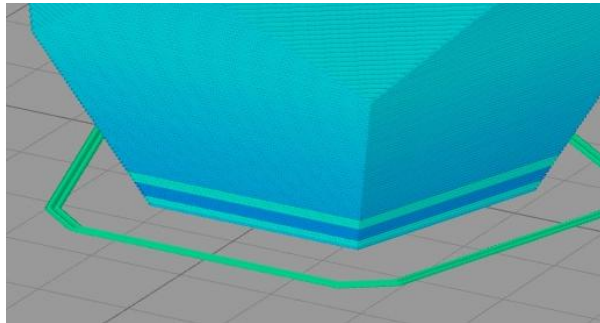
# L'impression par extrusion de filament

Lors de la mise en place des objets sur le plateau, on peut utiliser:

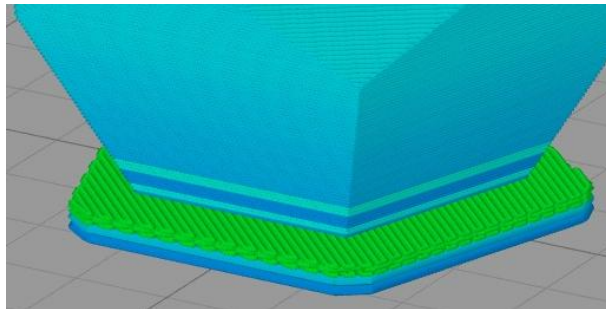
Des supports:



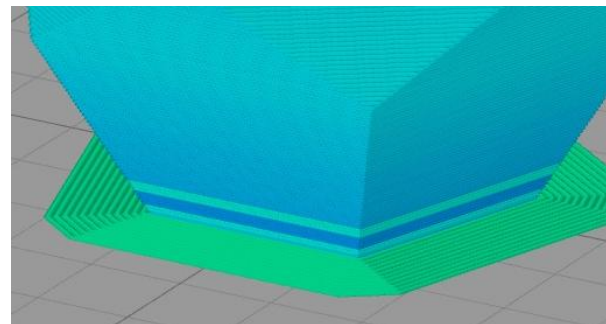
Des jupes (skirts):



Des radeaux (rafts):



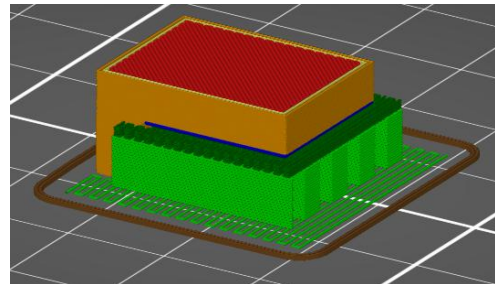
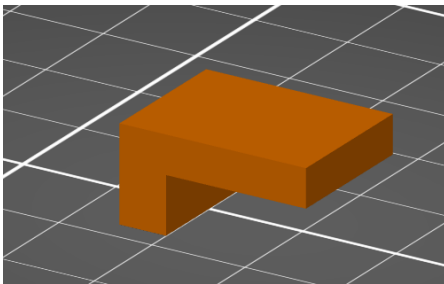
Des bords (brims):



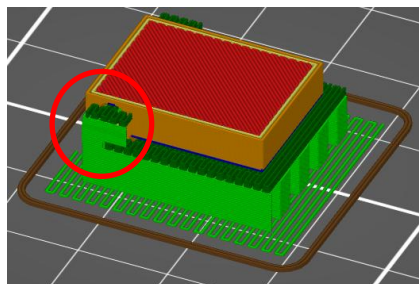
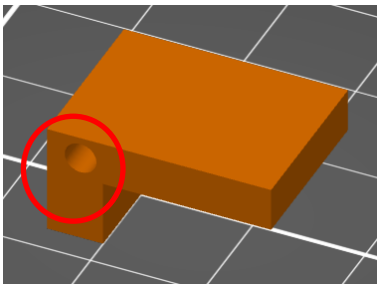
# L'impression par extrusion de filament

Les différents types de supports:

Génération automatique partout où le slicer le juge utile:

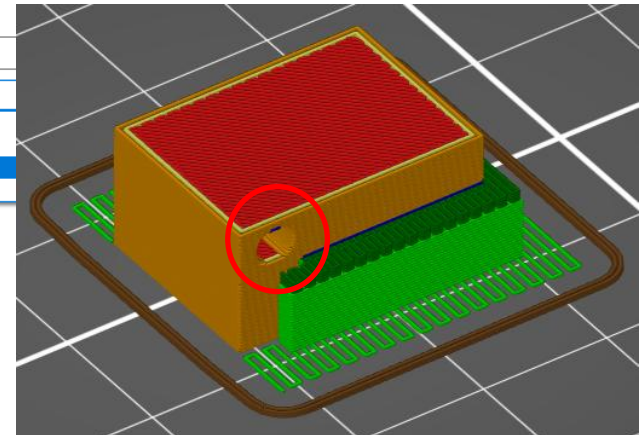
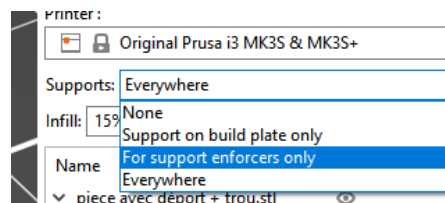
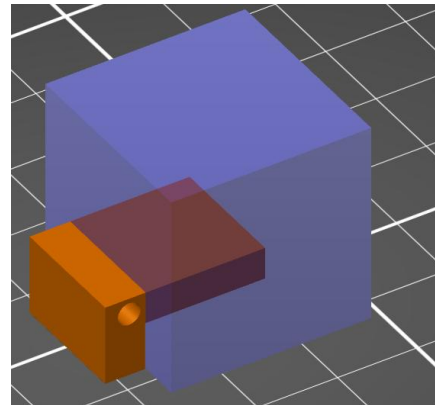
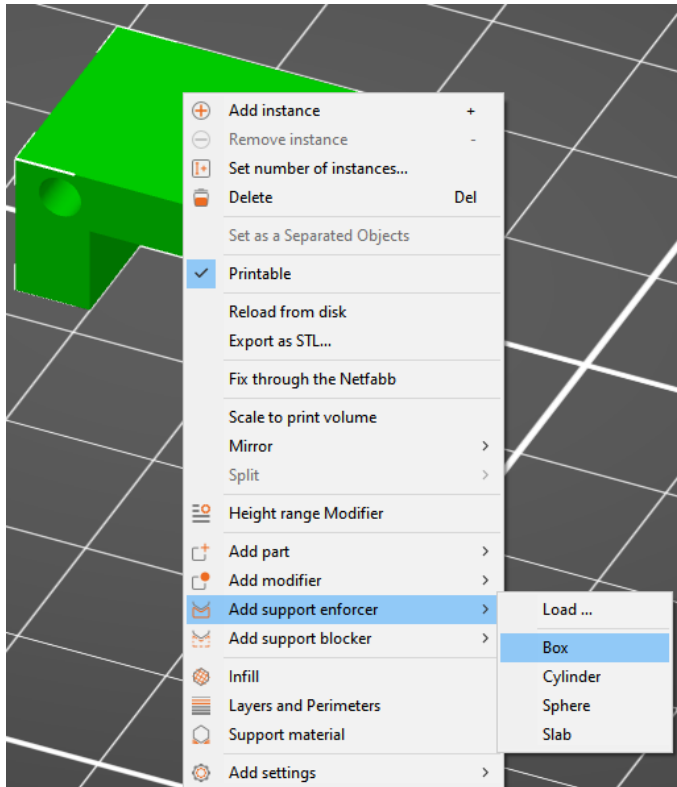


Inconvénients: il va souvent en placer à des endroits où on pourrait s'en passer. Exemple: le trou dans ma pièce



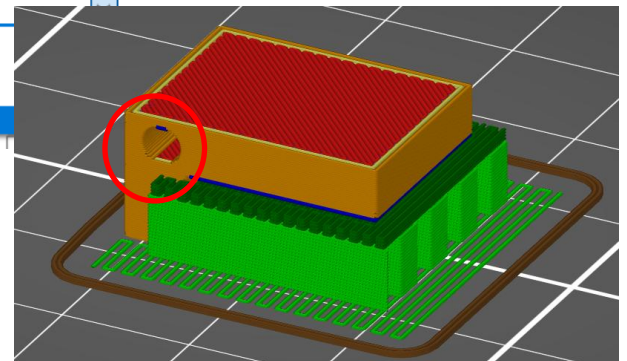
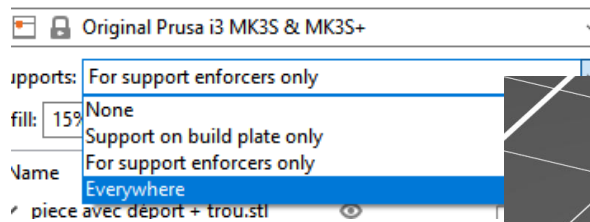
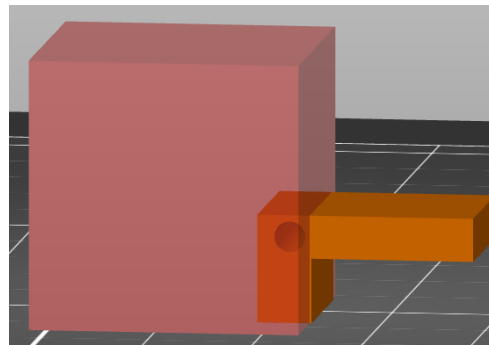
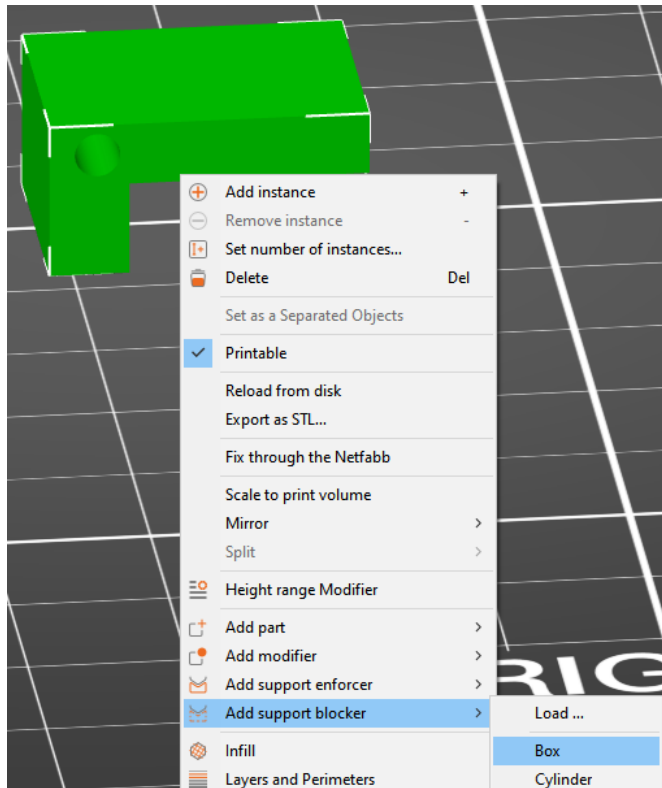
# L'impression par extrusion de filament

Utilisation de «volumes» où on accepte les supports:



# L'impression par extrusion de filament

Utilisation de «volumes» où on interdit les supports:



# L'impression par extrusion de filament

Les supports « organic » :

Options for support material and raft

● Style:

● Top contact Z distance:

● Bottom contact Z distance:

● Pattern:



Organic



0.2 (detachable)

mm

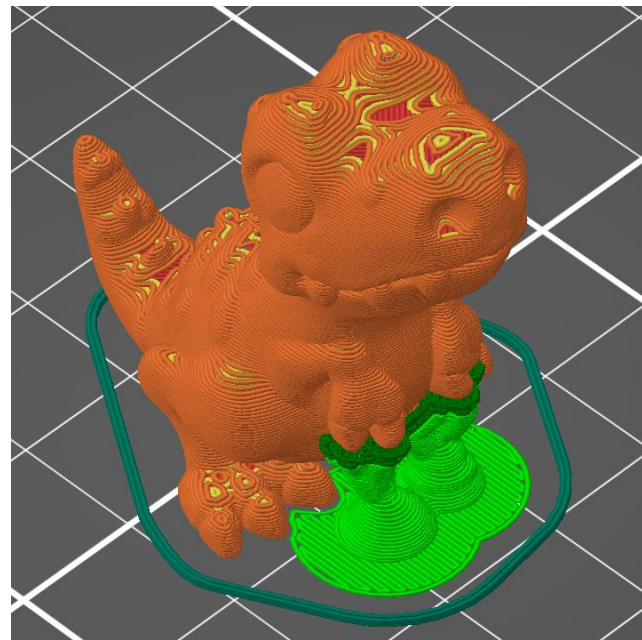
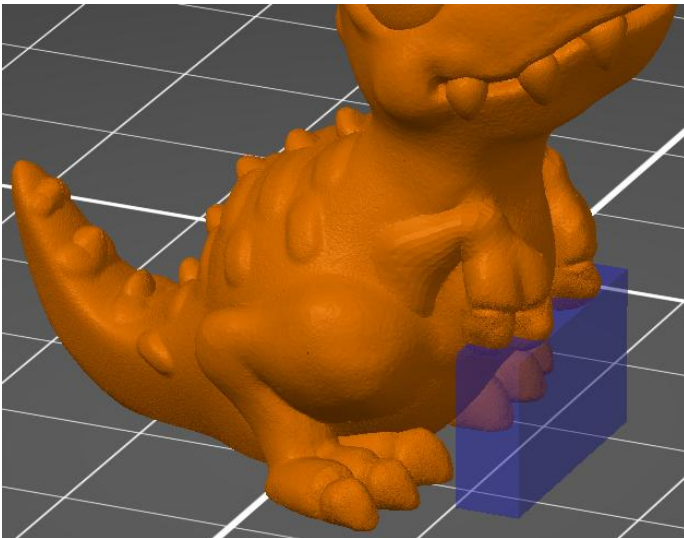


Same as top

mm



Rectilinear



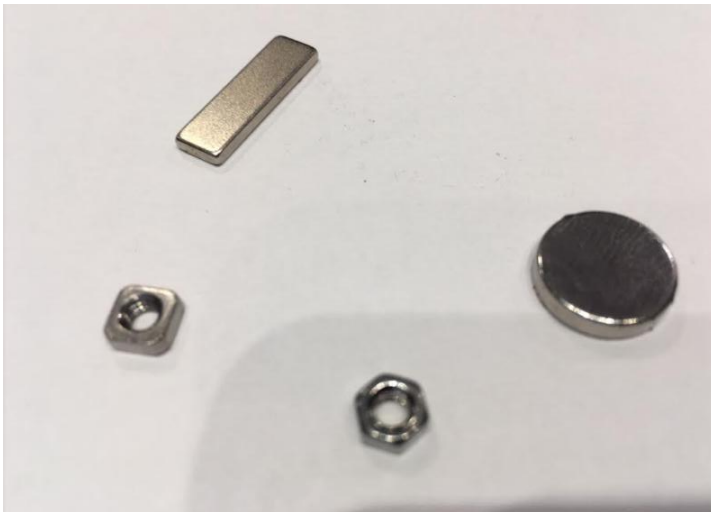


# L'impression par extrusion de filament

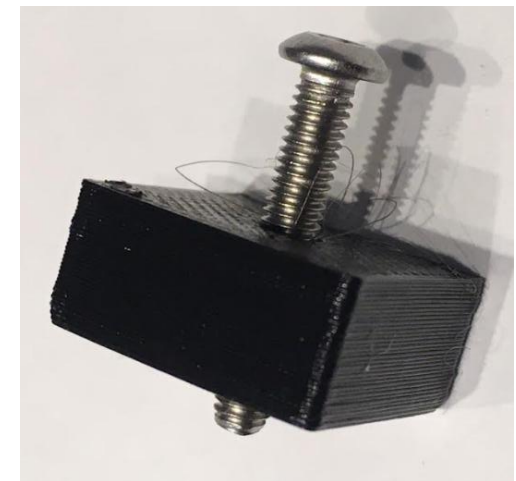
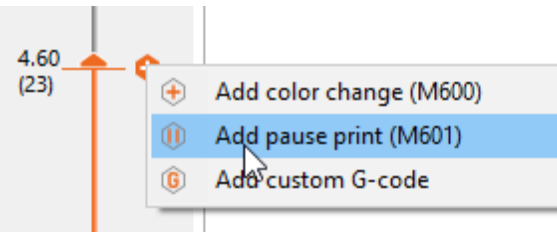
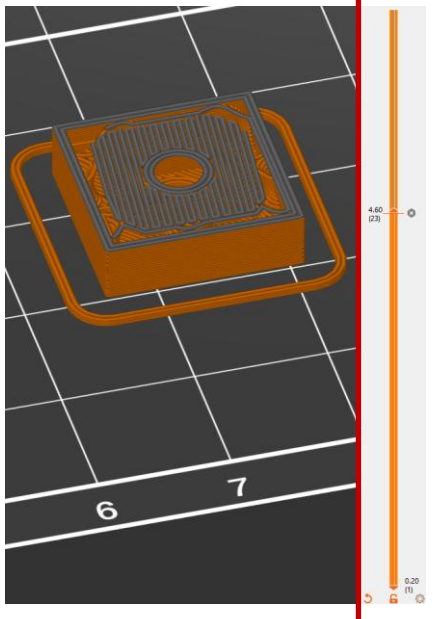
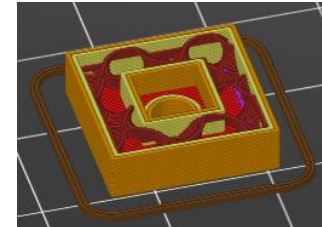
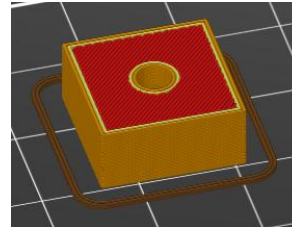
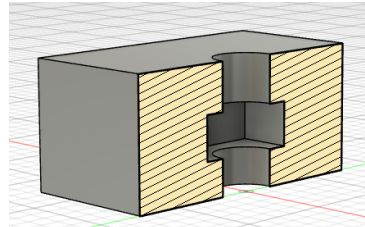
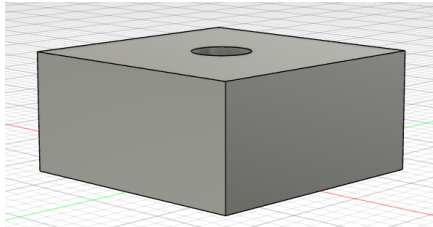
Changement de couleurs et inserts:

Le slicer permet:

- D'interrompre l'impression (par exemple pour insérer une pièce dans une cavité (écrou, aimant, roulement, ...))
- De changer le filament en cours d'impression (pièce multi-couleur)

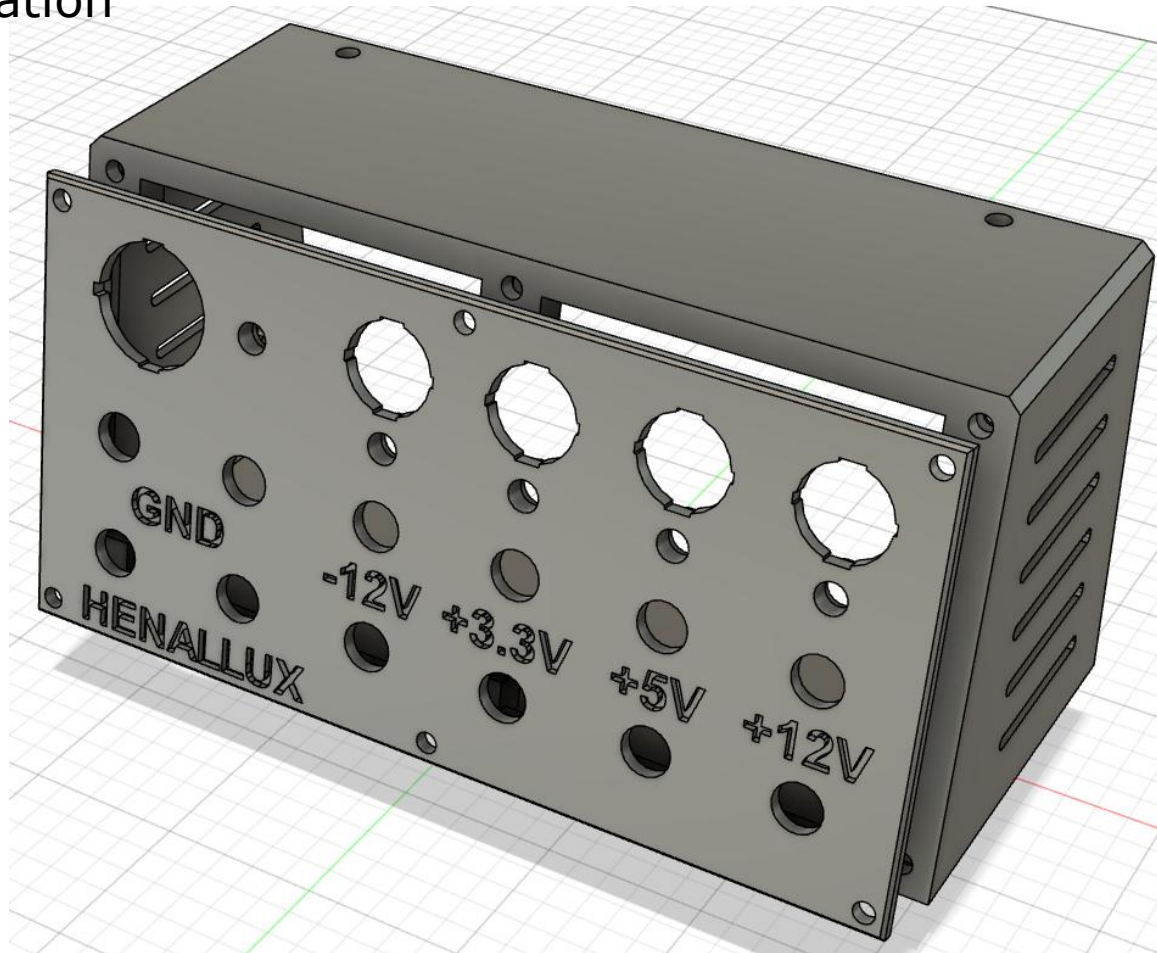


# L'impression par extrusion de filament



# L'impression par extrusion de filament

## Exemple d'application





1. Historique
2. Fabrication additive VS soustractive
3. Les procédés de l'impression 3D
4. Focus sur la méthode d'impression par extrusion de filament

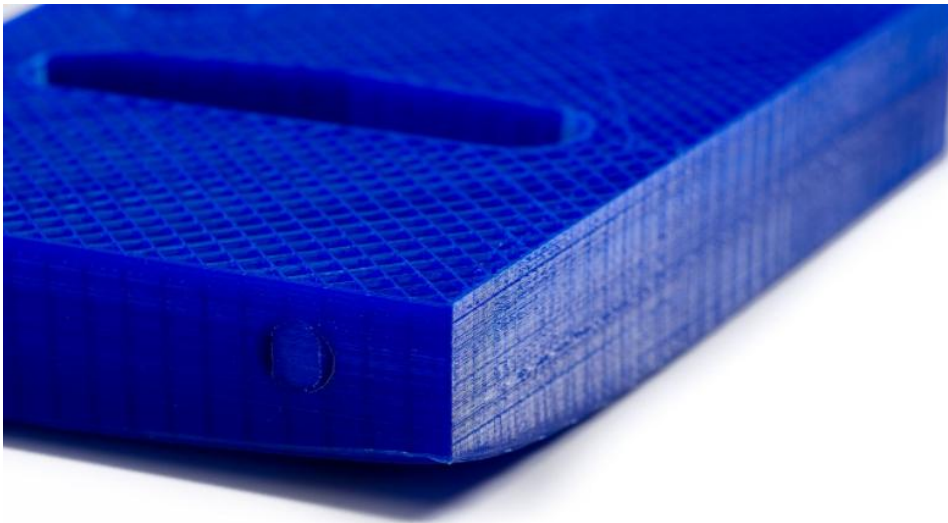
## **5. Les principaux problèmes**

6. Le format STL
7. Le format 3MF
8. La modélisation 3D

# Les principaux problèmes

Qu'est ce que le « wrapping »?:

Le wrapping est le décollement de la pièce durant l'impression. Il apparait avec la rétraction de pièce plus grande et se manifeste le plus souvent aux coins de la pièce.



Comment le prévenir:

- Utiliser un plateau chauffant
- S'assurer que le plateau est à la bonne hauteur (Z offset)
- Utiliser des brims ou des rafts
- Utiliser une colle afin d'augmenter l'adhérence

# Les principaux problèmes

Qu'est ce que le « stringing »?:

Le « stringing » se manifeste par des « cheveux » entre différentes parties de la pièce. Il est généré par le déplacement de la buse d'impression. La rétraction est utilisée pour palier à ce problème: retrait du filament lorsque la tête arrête d'imprimer.

Comment le prévenir:

- Vérifier l'humidité du filament et au besoin, le déshumidifier
- Augmenter la rétraction dans les paramètres du slicer
- Diminuer la température de l'extruder + diminuer la vitesse d'impression + augmenter la vitesse de déplacement



# Les principaux problèmes

Qu'est ce que le « pillowing »?:

Le « pillowing » se manifeste par une surface de finition qui n'est pas complètement fermée et contient des trous.



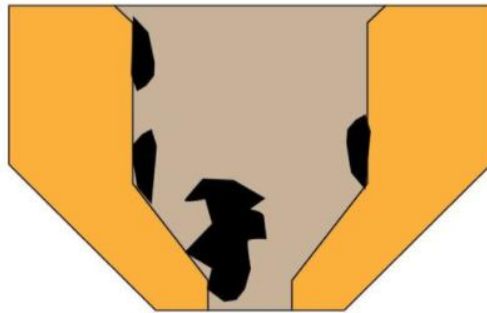
Comment le prévenir:

- Augmenter l'épaisseur des couches supérieures et inférieures.
- Vérifier le refroidissement
- Eventuellement diminuer la température d'extrusion

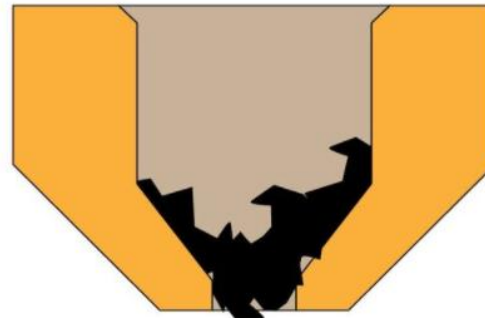
# Les principaux problèmes

Qu'est ce que le « clogged nozzle »?:

C'est lorsque votre buse et/ou la hotend est bouchée par des impuretés.



**Partial clog**



**Full clog**

L'impression ne se fait plus correctement.

Le filament ne sort plus assez ou plus du tout. Le moteur de l'extrudeur « claque » (il saute des pas).

Il se peut également que l'entraîneur « rogne » le filament plutôt que de l'entraîner.

# Les principaux problèmes

Dans ce cas, on doit procéder à un ou plusieurs « cold pull »

Voici le détail de la manipulation:

- Dans les menus, désactiver les moteurs
- Ouvrir l'extrudeur afin d'y accéder facilement et pouvoir pousser du filament à la main
- Chauffer l'extrudeur à 270°C
- Pousser du PLA (couleur claire. Blanc de préférence) à la main jusqu'à ce qu'il sorte de l'extrudeur.
- Laisser refroidir l'extrudeur tout en continuant à pousser du PLA dans l'extrudeur.
- Continuez jusqu'à ce que ce ne soit plus possible (~170°C)
- Laissez refroidir l'extrudeur à la t° ambiante.
- Chauffer l'extrudeur à 85°C. Une fois cette t° atteinte, à l'aide d'une pince, tirez le filament hors de l'extrudeur.
- Recommencez la procédure jusqu'à ce que le filament sorte propre

# Les principaux problèmes



1. Historique
2. Fabrication additive VS soustractive
3. Les procédés de l'impression 3D
4. Focus sur la méthode d'impression par extrusion de filament
5. Les principaux problèmes

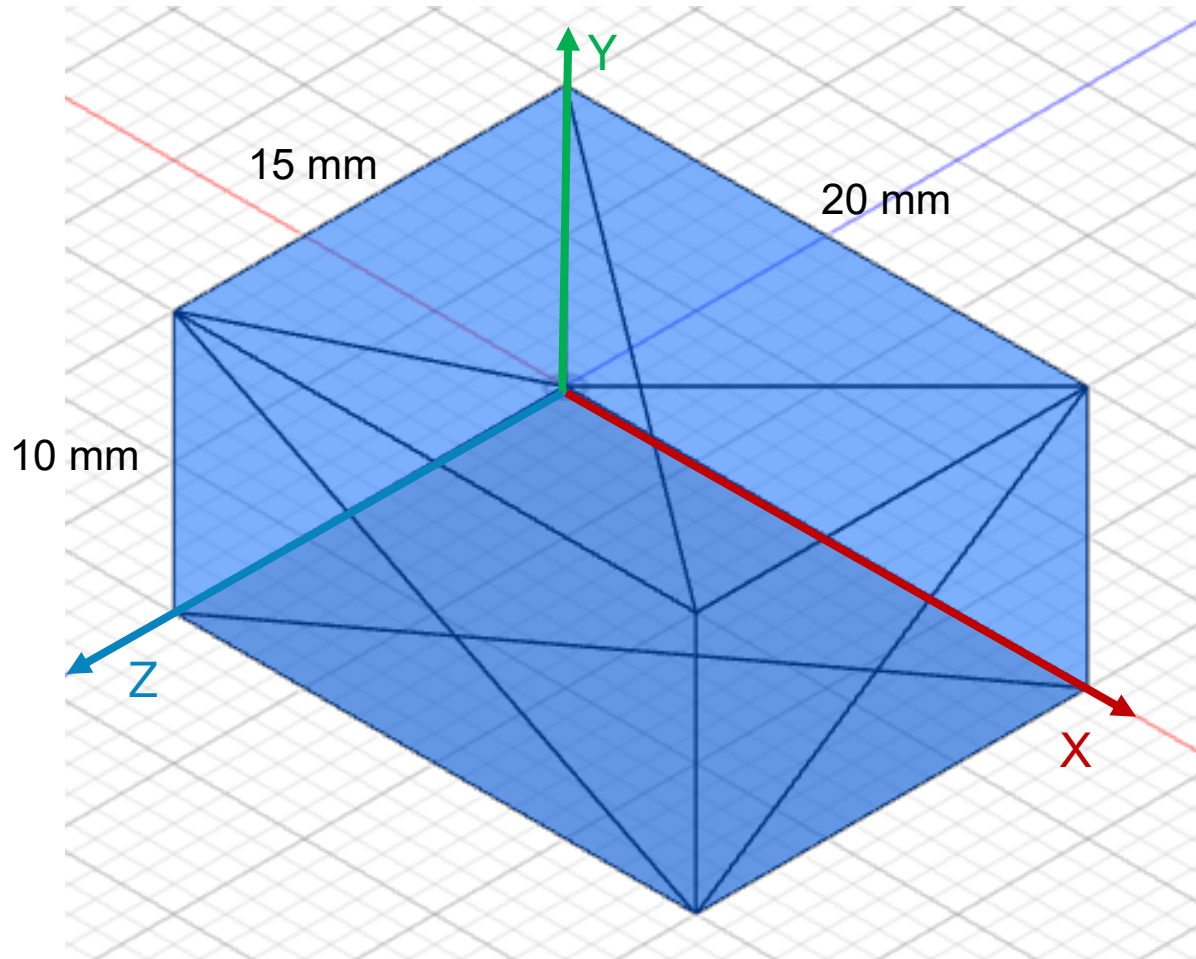
## **6. Le format STL**

7. Le format 3MF
8. La modélisation 3D



# Le format STL

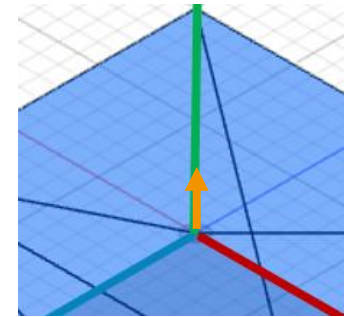
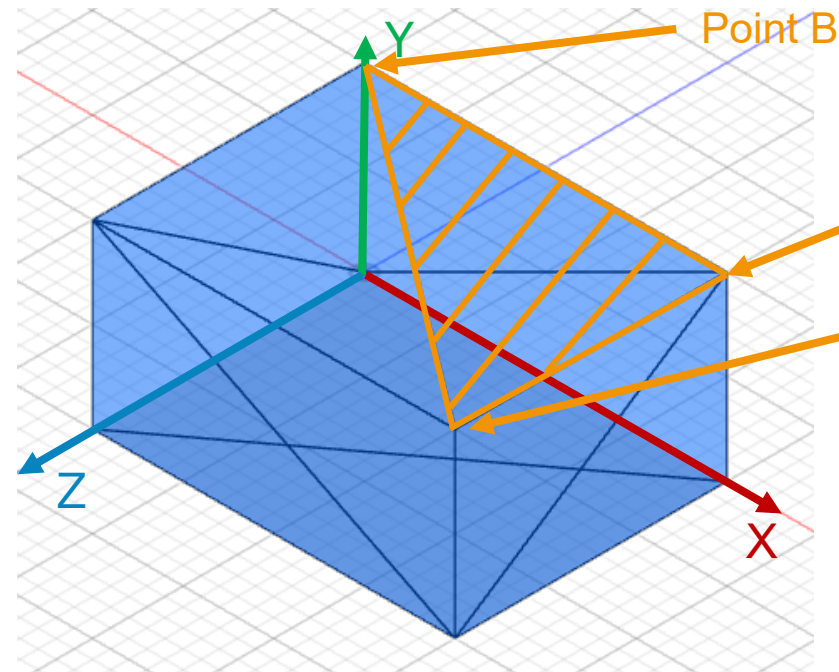
Analyse d'un fichier STL plus en détail:



# Le format STL

```
solid ASCII
  facet normal 0.000000e+00 1.000000e+00 -0.000000e+00
    outer loop
      vertex 2.000000e+01 1.000000e+01 0.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+01 0.000000e+00
      vertex 2.000000e+01 1.000000e+01 1.500000e+01
    endloop
  endfacet
  facet normal 0.000000e+00 1.000000e+00 0.000000e+00
    outer loop
      vertex 2.000000e+01 1.000000e+01 1.500000e+01
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+01 0.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+01 1.500000e+01
    endloop
  endfacet
  facet normal 1.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
    outer loop
      vertex 2.000000e+01 0.000000e+00 0.000000e+00
      vertex 2.000000e+01 1.000000e+01 0.000000e+00
      vertex 2.000000e+01 0.000000e+00 1.500000e+01
    endloop
  endfacet
```

# Le format STL



Point A

Point C

Coordonnées d'un vecteur indiquant  
l'extérieur de la facette triangulaire

solid ASCII

facet normal 0.000000e+00 1.000000e+00 -0.000000e+00

outer loop

vertex 2.000000e+01 1.000000e+01 0.000000e+00

vertex 0.000000e+00 1.000000e+01 0.000000e+00

vertex 2.000000e+01 1.000000e+01 1.500000e+01

endloop

X Y Z

--> 20, 10, 0

--> 0, 10, 0

--> 20, 10, 15

Point A

Point B

Point C

# Le format STL

## Structure du fichier STL ASCII:

```
solid ASCII
  facet normal 0.000000e+00 1.000000e+00 -0.000000e+00
    outer loop
      vertex 2.000000e+01 1.000000e+01 0.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+01 0.000000e+00
      vertex 2.000000e+01 1.000000e+01 1.500000e+01
    endloop
  endfacet
  facet normal 0.000000e+00 1.000000e+00 0.000000e+00
    outer loop
      vertex 2.000000e+01 1.000000e+01 1.500000e+01
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+01 0.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+01 1.500000e+01
    endloop
  endfacet
  ...
  facet normal 0.000000e+00 0.000000e+00 -1.000000e+00
    outer loop
      vertex 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
      vertex 2.000000e+01 1.000000e+01 0.000000e+00
      vertex 2.000000e+01 0.000000e+00 0.000000e+00
    endloop
  endfacet
endsolid
```

# Le format STL

## Structure du fichier STL binaire:

Un fichier STL binaire est architecturé de la façon suivante :

- Les 80 premiers octets sont un commentaire.
- Les 4 octets suivants forment un entier codé sur 32 bits, qui représentent le nombre de triangles présents dans le fichier.

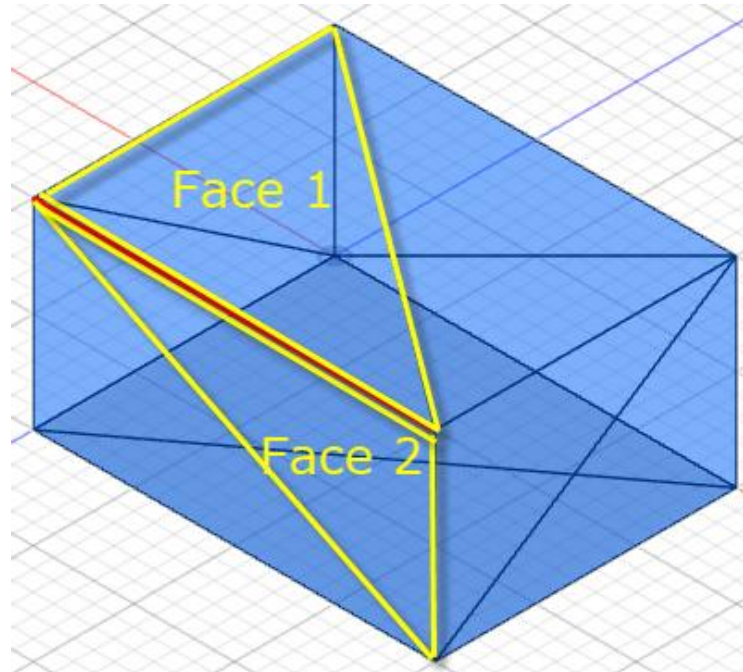
Ensuite, chaque triangle est codé sur 50 octets, selon la décomposition suivante :

- 3 fois 4 octets, chaque paquet de 4 octets représente un nombre à virgule flottante correspondant respectivement aux coordonnées (x, y, z) de la direction normale au triangle.
- 3 paquets de 3 fois 4 octets, chaque groupe de 4 octets représente un nombre à virgule flottante correspondant respectivement aux coordonnées (x, y, z) de chacun des sommets du triangle.
- Deux octets représentant un mot 16 bits de contrôle.

# Le format STL

## Réparation d'un fichier STL:

Un fichier STL est correct et imprimable si chaque arête est connectée à 2 et seulement 2 faces:

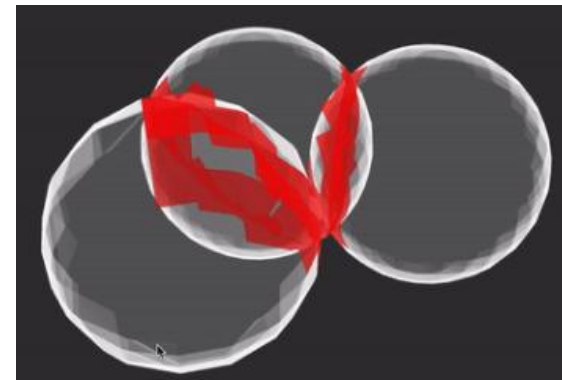
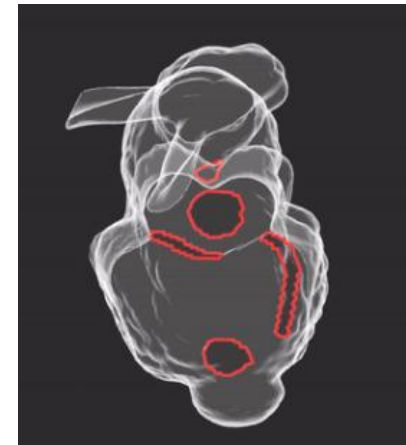


# Le format STL

Si un fichier STL ne répond pas à ce critère, il devra être réparé avant de pouvoir être utilisé.

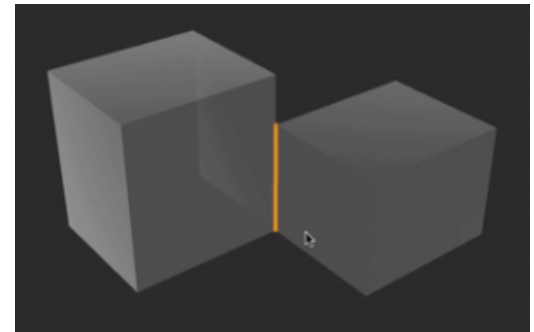
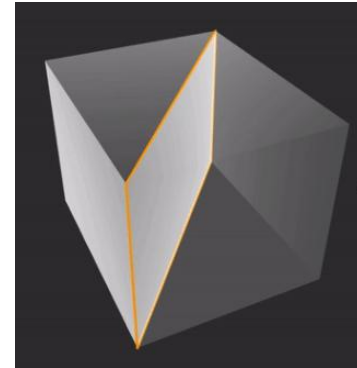
Cas les plus courants de problèmes:

- Le volume n'est pas fermé car certaines arêtes ne sont pas connectées à 2 facettes:
- 2 surfaces se touchent:



# Le format STL

- Plus de 2 surfaces touchent une arête:
- Une même arête est partagée entre 2 volumes:
- « Over-Refined » STL:



Lorsque l'on définit plus de triangles que nécessaires. Fichier plus « lourd » et on arrive parfois aux limites du nombre de triangles gérable par un slicer.



# Le format STL

## Comment réparer un STL ?

- Outils souvent inclus dans votre slicer

- Outils gratuits:

- ☐ Netfabb
- ☐ Meshmixer
- ☐ 3D Builder
- ☐ ...



- Outils en ligne
- Retourner à la modélisation de l'objet et corriger l'erreur à la source

1. Historique
2. Fabrication additive VS soustractive
3. Les procédés de l'impression 3D
4. Focus sur la méthode d'impression par extrusion de filament
5. Les principaux problèmes
6. Le format STL
- 7. Le format 3MF**
8. La modélisation 3D

# Le format 3MF

## Et le format 3MF

C'est une évolution Open Source du format STL

Avantages:

- Inclut une validation du maillage
- Ajout d'informations comme:
  - paramètres du slicer
  - Couleur et matériaux
- Format XML compressé

Une fois renommé en .zip et décompressé, ressemble à ceci:



# STL



Le format de fichier le plus commun et universel pour l'impression 3D est le STL.

1. Historique
2. Fabrication additive VS soustractive
3. Les procédés de l'impression 3D
4. Focus sur la méthode d'impression par extrusion de filament
5. Les principaux problèmes
6. Le format STL
7. Le format 3MF

## **8. La modélisation 3D**

## Qu'est ce que la DAO ?

- Dessin assisté par ordinateur
- Discipline permettant de produire des dessins techniques avec un logiciel informatique
- Exécution de commandes graphiques (traits, formes diverses...)
- Les dessins produits sont le plus souvent réalisés en mode vectoriel



# La modélisation 3D

## Différence entre DAO et CAO ?

- DAO = Dessin Assisté par Ordinateur
  - A pour fonction première l'édition du dessin.
  - En DAO, un trait est un trait.
  - Aucune interprétation technique de l'ensemble
- CAO = Conception Assistée par Ordinateur
  - La CAO va permettre de tester virtuellement un assemblage, lui appliquer des contraintes et calculer s'il va résister à celles-ci
- La frontière entre les 2 n'est pas toujours bien précise
- Beaucoup de logiciel professionnels combinent les 2

# La modélisation 3D

## La modélisation 3D d'un objet:

- Le plus souvent, elle se fera à l'aide d'outils graphiques. Les logiciels les plus connus sont:

- SolidWorks
- AutoCAD
- Fusion 360
- Sketchup
- Solid Edge



- La modélisation peut également se faire à l'aide de langages de programmation:

- OpenSCAD → propre langage de programmation
- OpenJSCAD → basé sur la syntaxe JavaScript



# La modélisation 3D

## Notre choix s'est porté sur Fusion 360

- Licence payante
- Accès gratuit pour les étudiants et les écoles
- Produit par AutoDesk



1. Historique
2. Fabrication additive VS soustractive
3. Les procédés de l'impression 3D
4. Focus sur la méthode d'impression par extrusion de filament
5. Les principaux problèmes
6. Le format STL
7. Le format 3MF
8. La modélisation 3D

# Bibliographie:

- Le grand livre de l'impression 3D – Mathilde Berchon
- Imprimer en 3D avec la MakerBot – Bre Pettis, Anna Kaziunas France, Jay Shergill