

TP FABRICATION NUMÉRIQUE

COMPUTED AIDED
DESIGN

+

COMPUTED AIDED
MANUFACTURING



PLAN

1. GÉNÉRALITÉS ET HISTOIRE

**2. MACHINES CNC (DÉCOUPEUSE
LASER, IMPRIMANTE 3D ET FRAISEUSE)**

**3. WORKFLOW ET CHANGEMENT DE
PARADIGME**

**4. ZOOM SUR LA PHASE CONCEPTION
(DÉCOUPEUSE LASER ET IMPRIMANTE
3D)**

**5. ZOOM SUR LA PHASE FABRICATION
(DÉCOUPEUSE LASER ET IMPRIMANTE
3D)**

6. MÉTHODOLOGIE

1. GÉNÉRALITÉS ET HISTOIRE

GÉNÉRALITÉS

Fabrication numérique :

produire un **objet physique** à partir d'un **fichier numérique**.

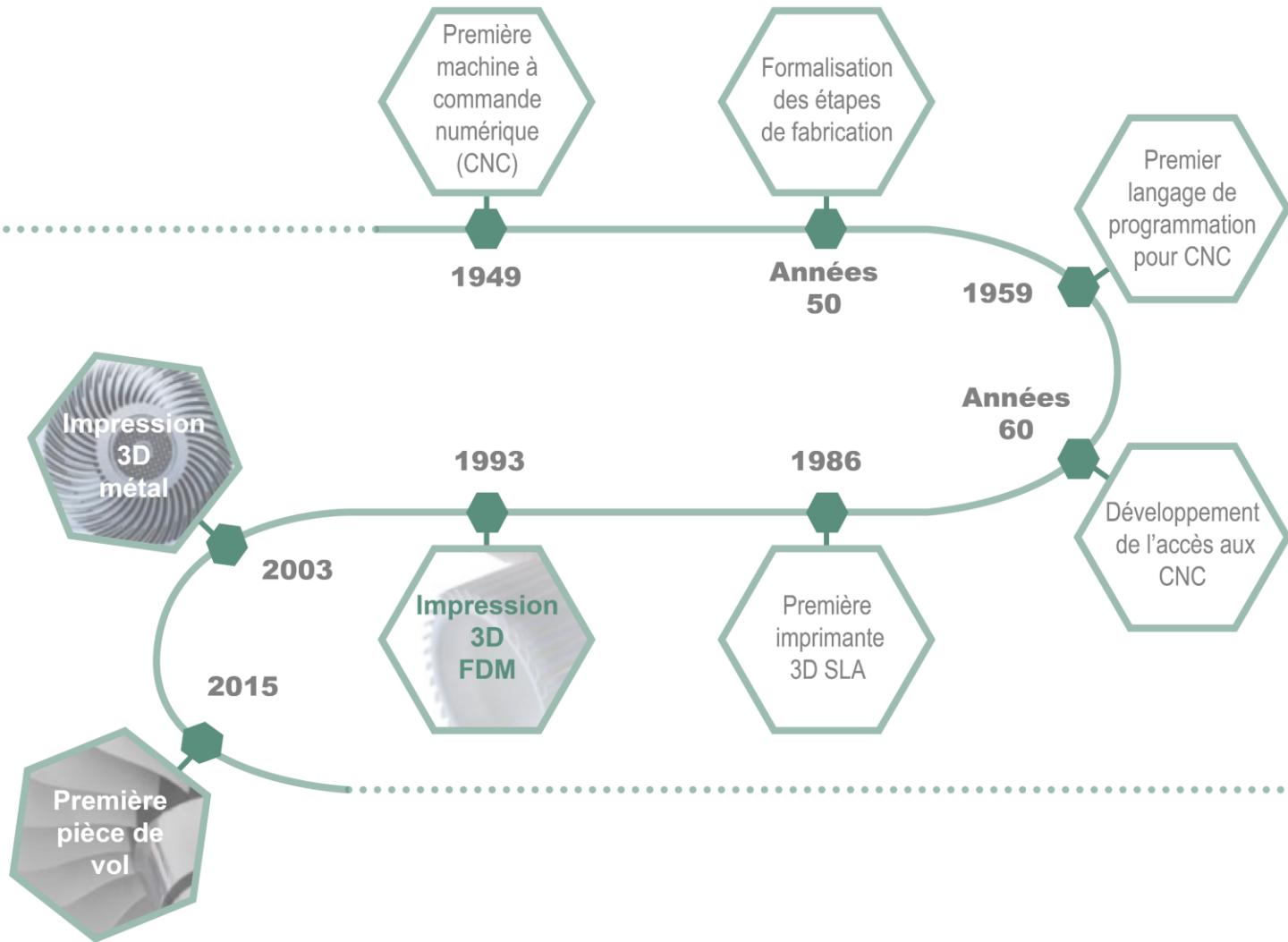


**COMPUTED
AIDED
DESIGN**



**COMPUTED
AIDED
MANUFACTURING**

HISTOIRE



2. LES MACHINES CNC

Découpeuse laser
Imprimante 3D
Fraiseuse numérique

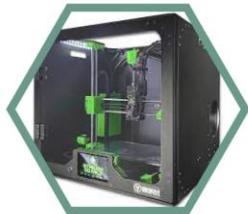
MACHINES CNC

Les principales machines CNC qu'on trouve dans les ateliers de fabrication numérique sont la **découpeuse laser**, l'**imprimante 3D** et la **fraiseuse numérique** :

DÉCOUPEUSE LASER



IMPRIMANTE 3D



FRAISEUSE NUMÉRIQUE



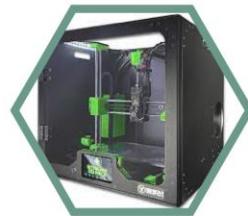
MACHINES CNC

On distingue **deux types de fabrication** : la **soustractive**, qui consiste à retirer de la matière et l'**additive** qui vise à en ajouter. Les machines permettent respectivement la fabrication en **2D, 2,5D et 3D**.

FABRICATION SOUSTRACTIVE



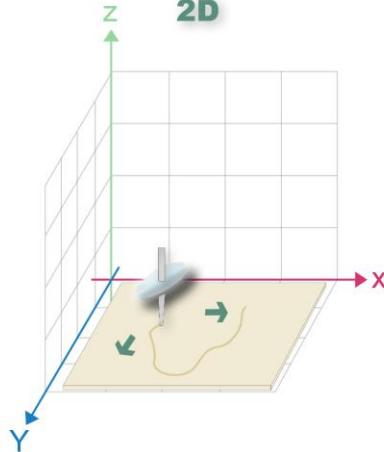
FABRICATION ADITIVE



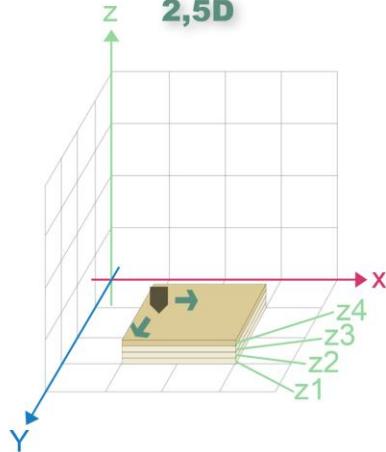
FABRICATION SOUSTRACTIVE



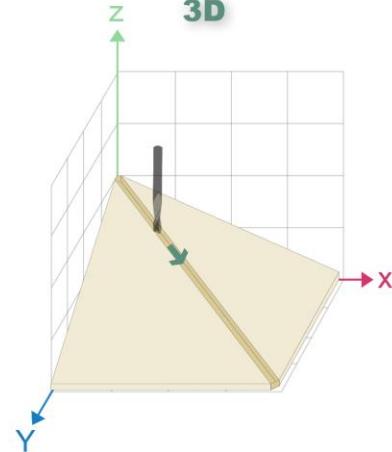
2D



2,5D



3D



MACHINES CNC - DÉCOUPE LASER

Dans une **machine laser**, la découpe est réalisée en **sublimant la matière** (passage de l'état solide à l'état gazeux). Le principe est donc d'**envoyer suffisamment d'énergie vers le matériau pour atteindre la sublimation**.

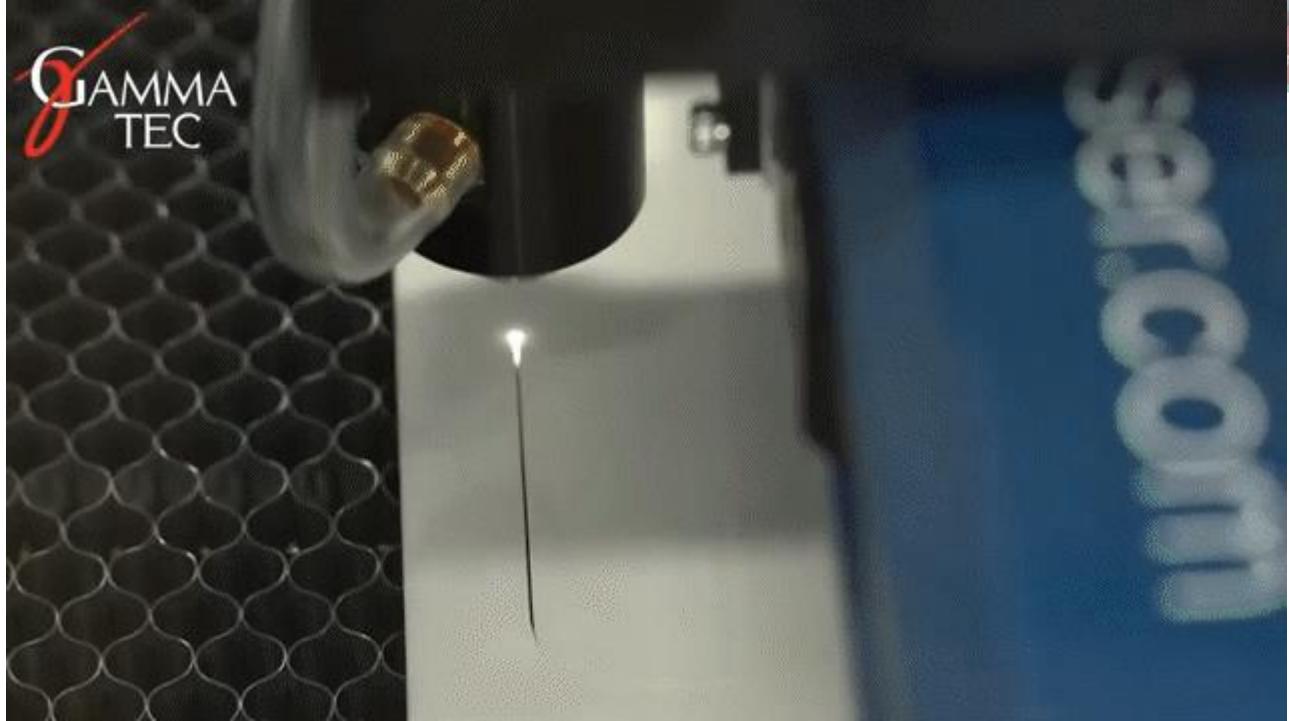
Il est possible de **couper, graver et marquer** des matériaux. Pour cela on règle la **vitesse** et la **puissance** du laser.



Découpeuse laser présente à l'I-Lab - modèle GCC de GLS



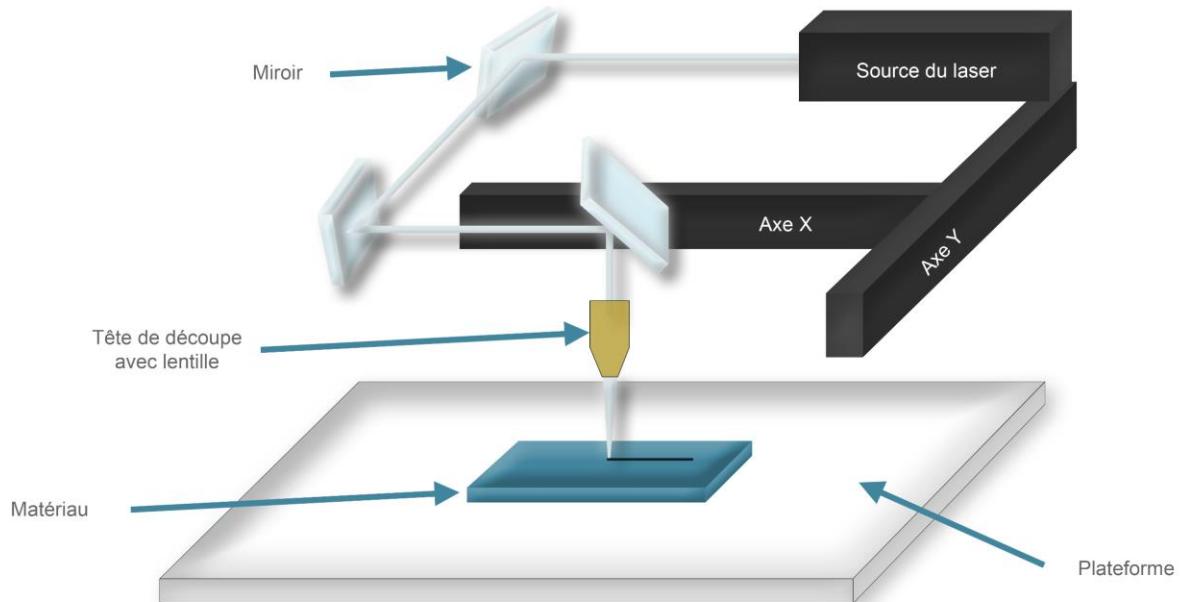
MACHINES CNC - DÉCOUPE LASER



MACHINES CNC - DÉCOUPE LASER

La découpeuse laser **se déplace uniquement sur les axes X et Y** et non sur Z. Elle découpe donc les matériaux **sur un plan**. Le laser est généré dans un **tube contenant du gaz**, puis rejoint la buse grâce à un **jeu de miroirs**.

A son arrivée, le laser est **focalisé par une lentille**.



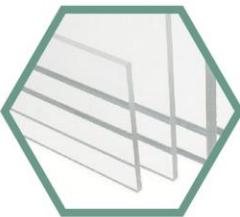
MACHINES CNC - DÉCOUPE LASER



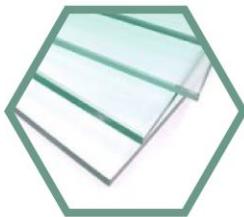
BOIS



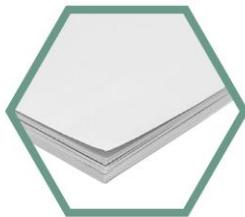
PMMA



VERRE



PAPIER



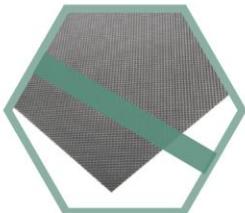
PVC



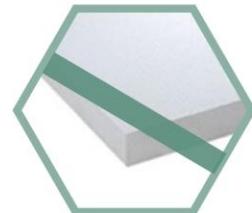
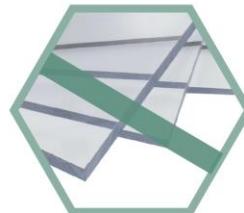
CARTON



CARBONE



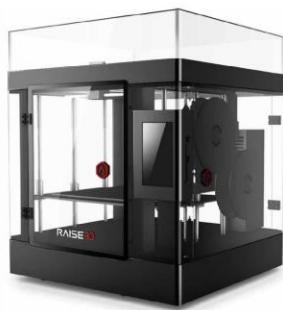
POLYCARBONATE POLYSTYRENE



MACHINES CNC - IMPRIMANTE 3D

Impression 3D par dépôt de matériel en fusion (FDM)

L'objet est réalisé par **dépôts successifs de matériaux préalablement fondu**s. L'objet est donc composé au final de **tranches de matière**. Plus ces tranches seront **fines**, plus l'objet sera **fidèle au modèle initial**.



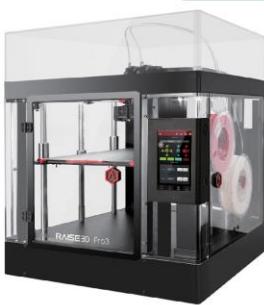
La Raise3D N2



La Makerbot METHOD



La Raise3D PRO2



La Raise3D PRO3



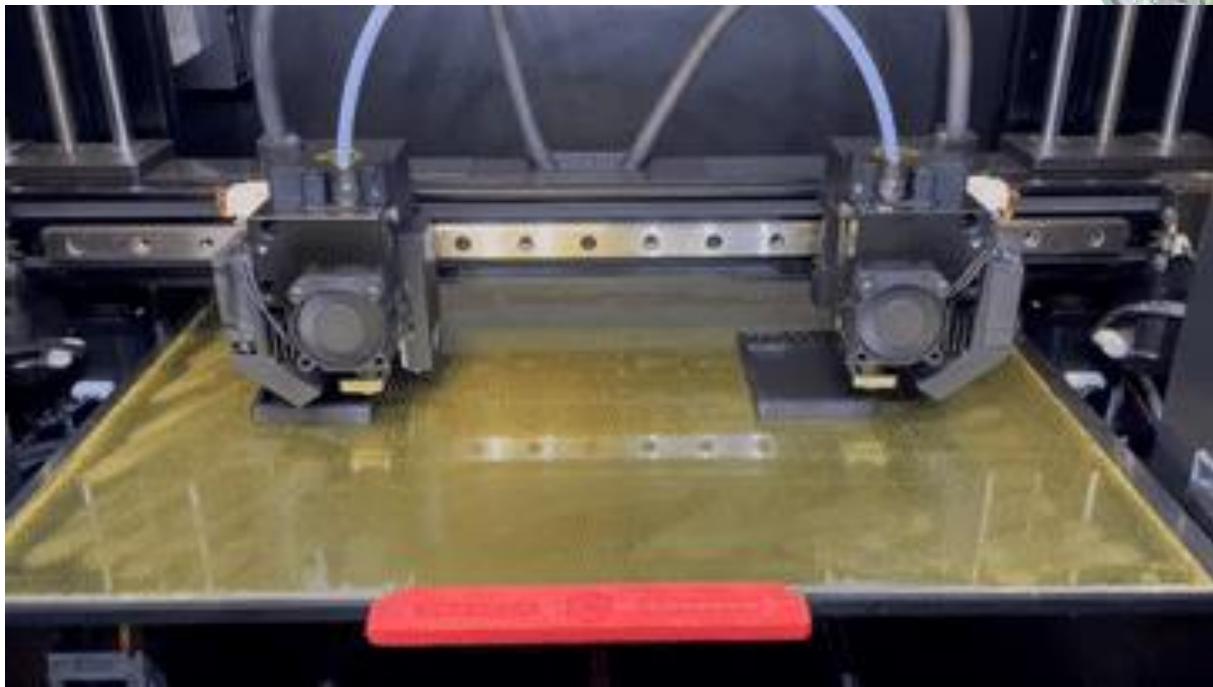
La Creality CR30 PrintMill



La Zortrax M200

MACHINES CNC - IMPRIMANTE 3D

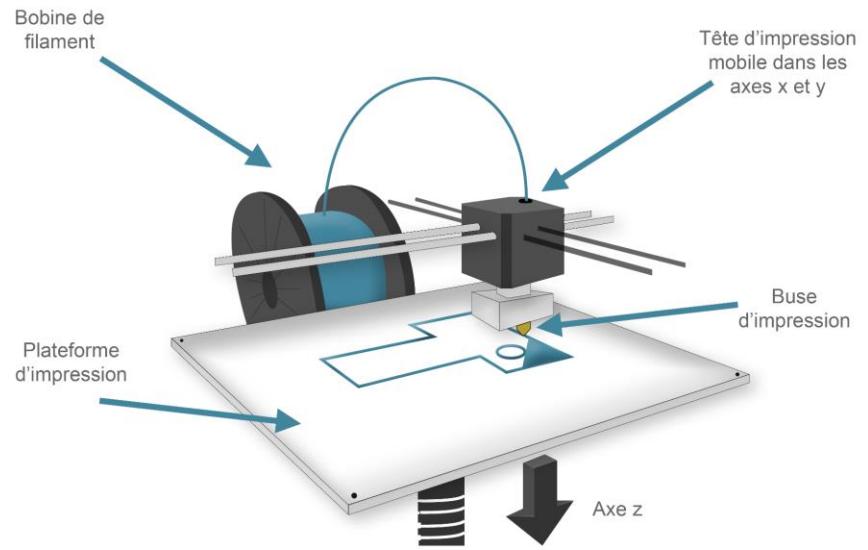
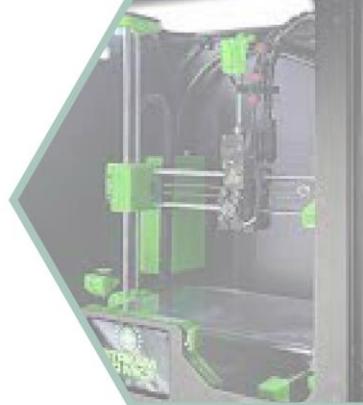
Impression 3D par dépôt de matériel en fusion (FDM)



MACHINES CNC - IMPRIMANTE 3D

Impression 3D par dépôt de matériel en fusion (FDM)

La plupart du temps, la tête déposant la matière est **mobile sur 2 axes (X,Y)**
et l'objet se construit sur un **plateau mobile sur le 3ème axe (Z)**.



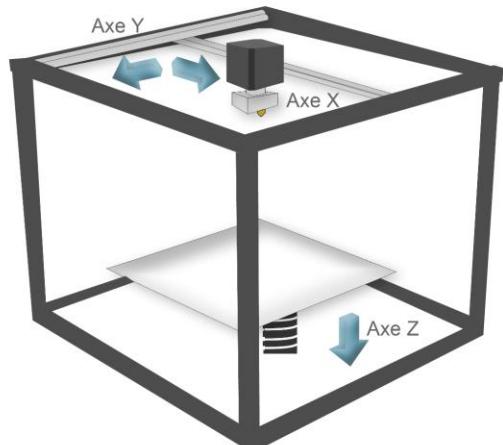
MACHINES CNC - IMPRIMANTE 3D

Impression 3D par dépôt de matériel en fusion (FDM)

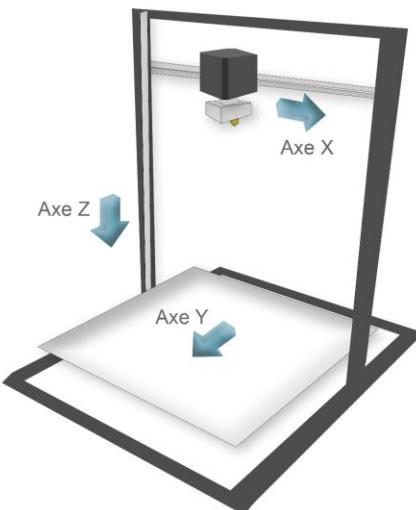
Il existe **trois structures** d'imprimante 3D qui **influent sur le déplacement de la tête d'impression en X, Y et Z.**



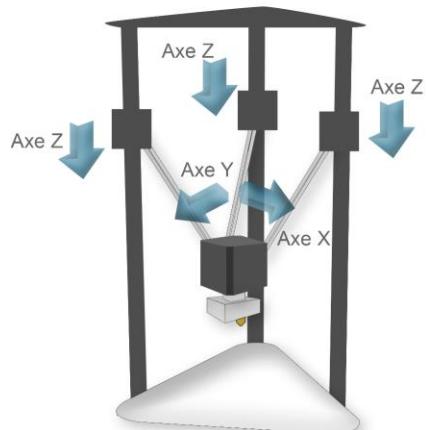
MODÈLE CORE XY



MODÈLE CARTÉSIEN



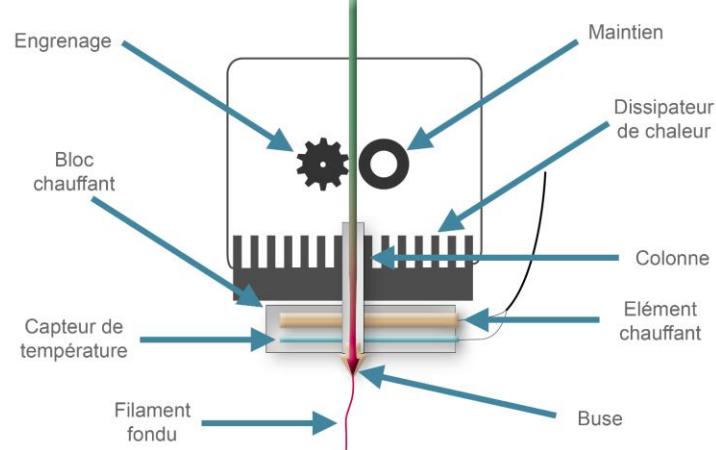
MODÈLE DELTA



MACHINES CNC - IMPRIMANTE 3D

Impression 3D par dépôt de matériel en fusion (FDM)

La tête d'impression, ou **extrudeur**, se compose schématiquement d'un **dispositif poussant le fil** (1,75 mm de diamètre) vers une **partie chauffante** où il va atteindre sa **température de fusion** et être extrudé à un **diamètre de 0,4 mm**.



MACHINES CNC - IMPRIMANTE 3D

Impression 3D par dépôt de matériel en fusion (FDM)

A noter : La norme ISO/ASTM 52900:2021 établit et définit les termes utilisés dans la technologie de la fabrication additive (FA), qui applique le principe de mise en forme additive et construit ainsi des géométries physiques en 3D par ajout successif de matériau.



PLA



PLA +



ABS



TPU



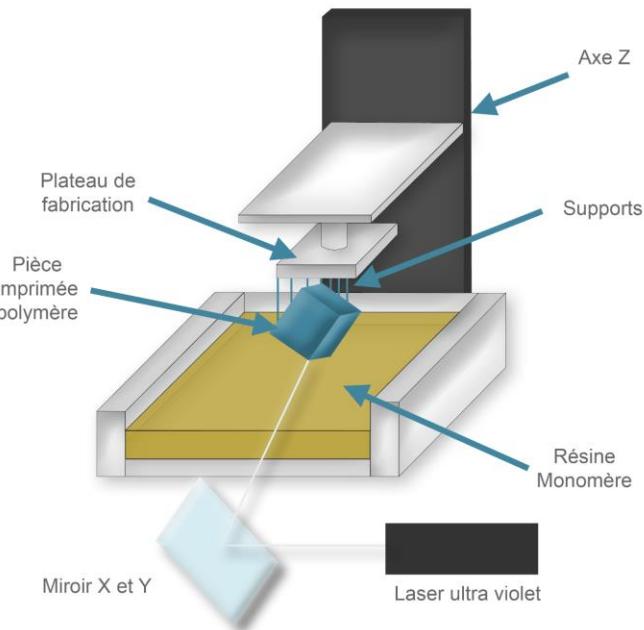
PVA



MACHINES CNC - IMPRIMANTE 3D

Impression 3D par stéréolithographie (SLA)

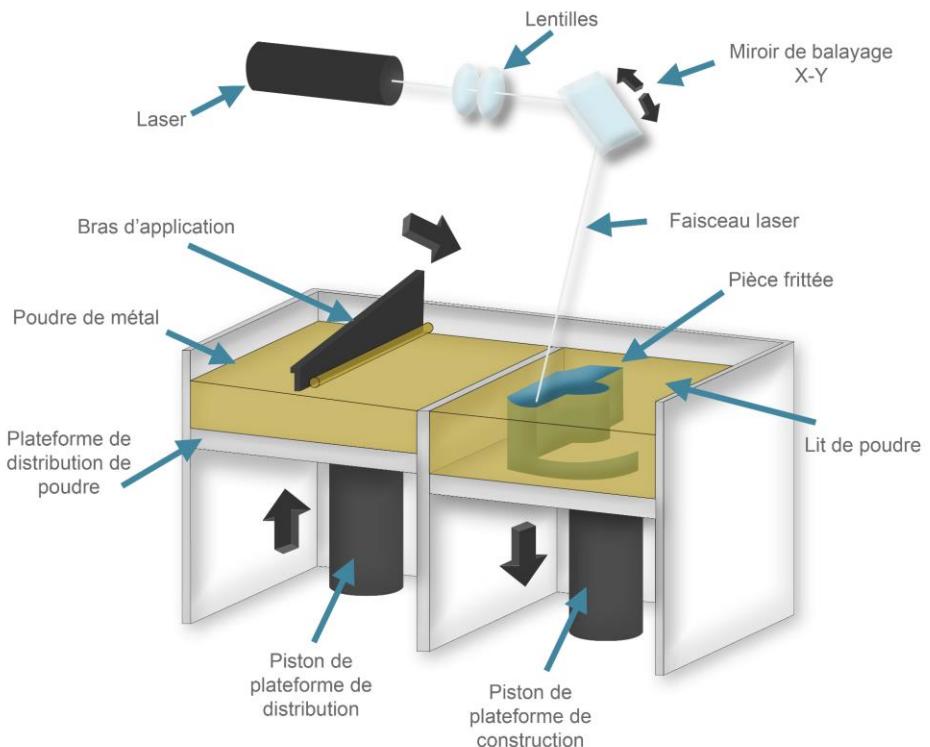
Le principe de base de l'impression par **polymérisation** est de **durcir du liquide photosensible (résine monomère)**, couche par couche, par une **source de chaleur**, pour fabriquer l'objet.



MACHINES CNC - IMPRIMANTE 3D

Impression 3D par frittage laser sélectif (SLS)

Un autre type d'impression 3D utilise un processus appelé **frittage**. Essentiellement, chaque fois qu'une nouvelle couche est imprimée, un **cylindre répand une fine couche de poudre fine sur la plateforme**, qui est ensuite **frittée avec un laser dans la forme requise**.



MACHINES CNC - FRAISEUSE

Une fraiseuse numérique est une machine à **fabrication soustractive**. Elle **enlève de la matière** grâce à une **fraise qui est un outil tranchant tournant sur lui-même**. Le moteur faisant tourner la fraise s'appelle la **broche**.

Le tout se déplace sur **3 axes, X Y et Z**.



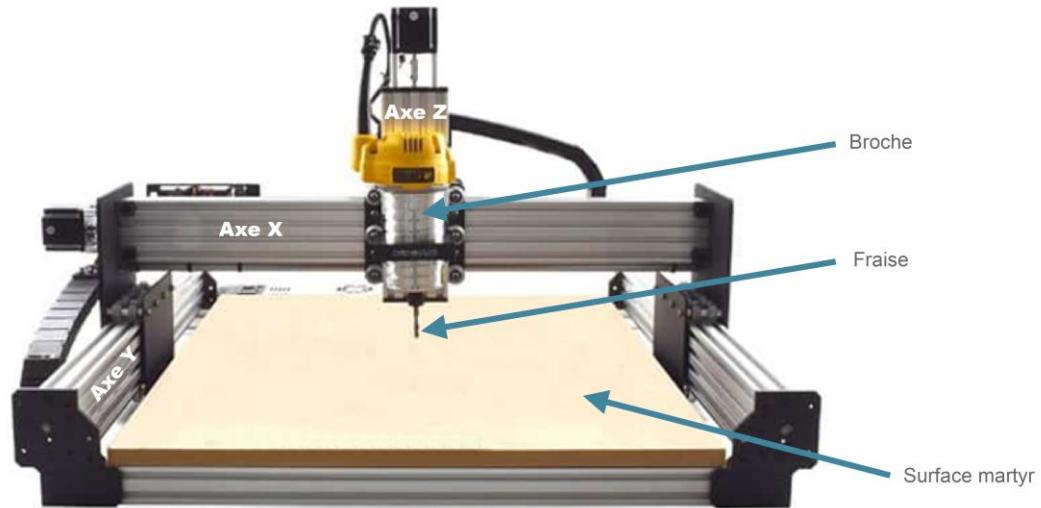
MACHINES CNC - FRAISEUSE



MACHINES CNC - FRAISEUSE

La surface sur laquelle va être déposé le matériau s'appelle la **surface martyr**. Le nom de «martyr» vient du fait que cette surface subira également, au fur à mesure du temps, du retrait de matière.

Le bloc dans lequel on va fraiser l'objet s'appelle le **marbre**.



MACHINES CNC - FRAISEUSE



MDF



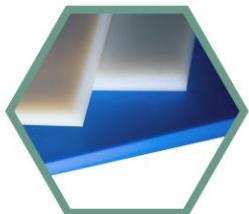
HDF



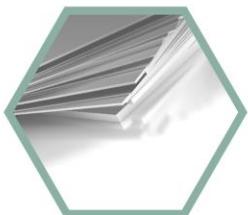
BOIS BRUT



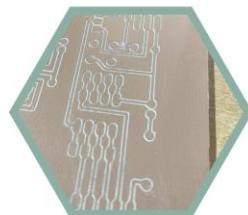
HDPE



ALUMINIUM



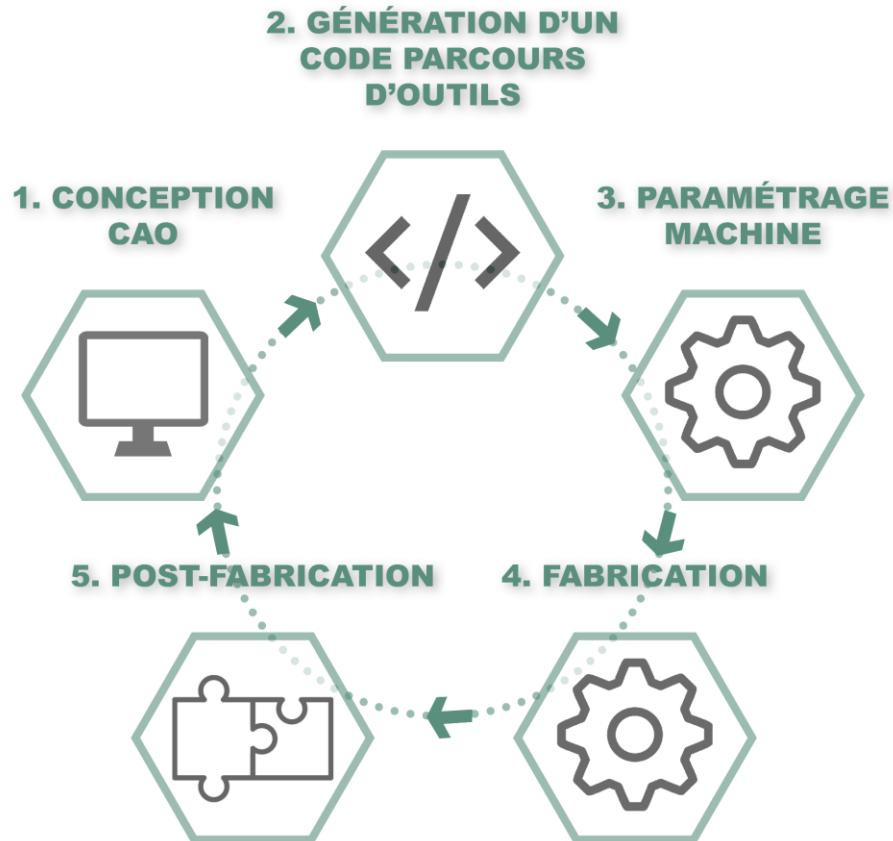
PCB



3. WORKFLOW ET CHANGEMENT DE PARADIGME

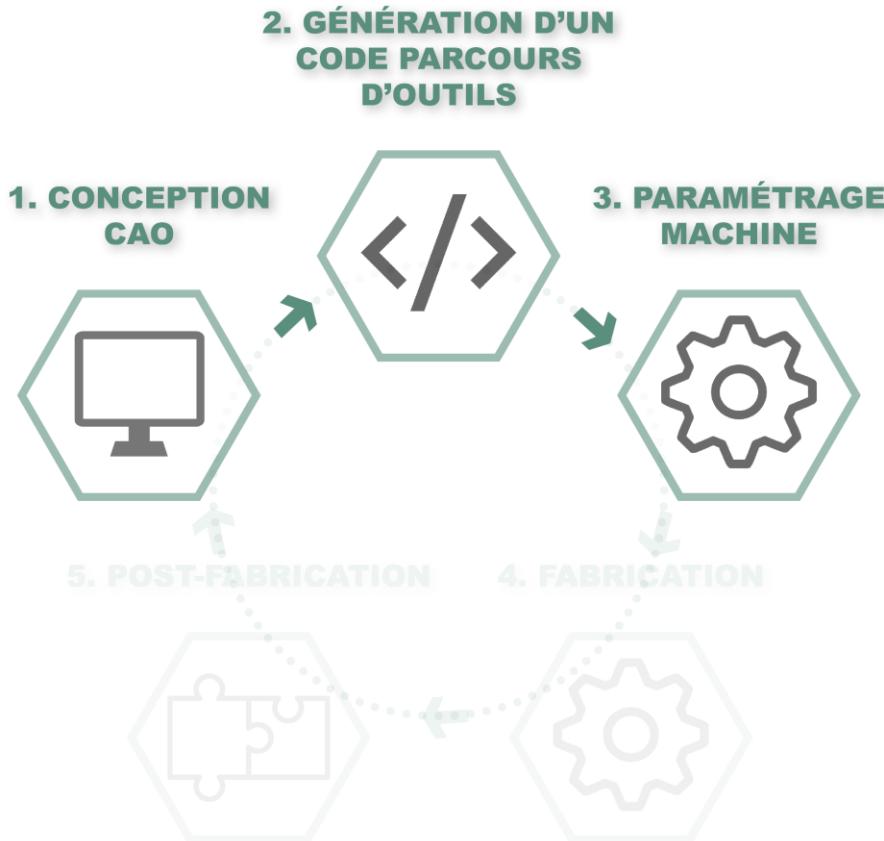
WORKFLOW FABRICATION NUMÉRIQUE

La **fabrication numérique** mène à une **réflexion sur la matérialité**. Le processus n'est donc **pas linéaire**, comme la production industrielle, **mais itératif**.



WORKFLOW FABRICATION NUMÉRIQUE

La fabrication numérique mène à une réflexion sur la matérialité. Le processus n'est donc pas linéaire, comme la production industrielle, mais itératif.



Partie virtuelle du projet

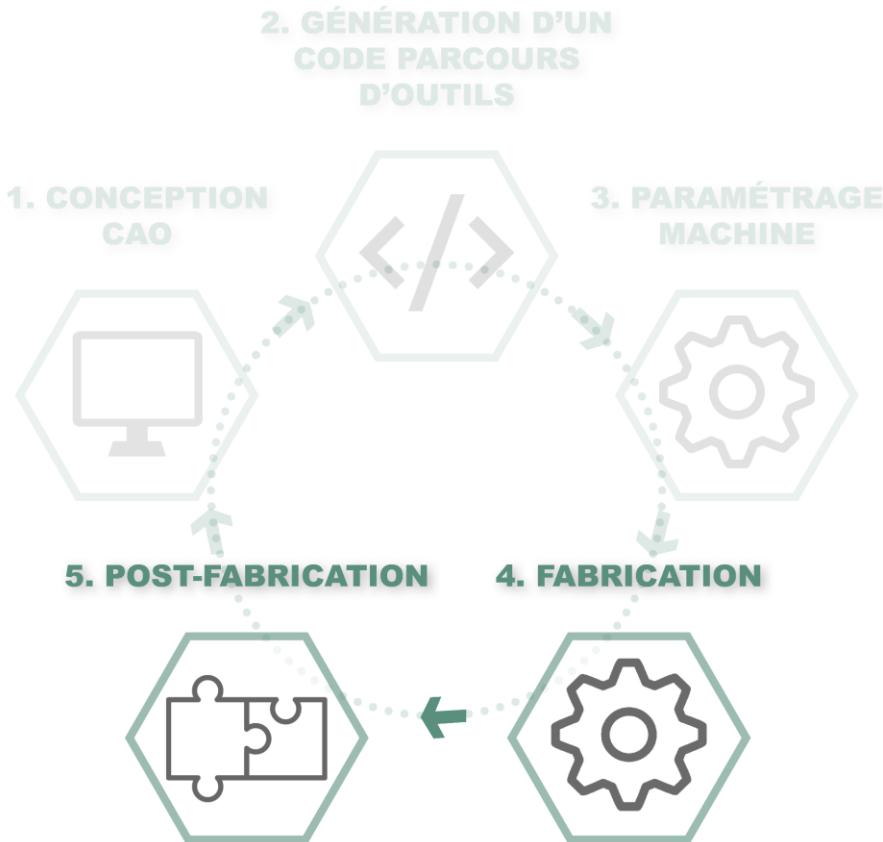
- Représentation géométrique abstraite (pas d'épaisseur, pas d'échelle, etc...)
- Approximation visuelle de l'objet finale

Risques majeurs

- Création d'un objet géométrique non adapté au mode de fabrication ou à la machine
- Mauvais paramétrages de l'interface machine

WORKFLOW FABRICATION NUMÉRIQUE

La fabrication numérique mène à une réflexion sur la matérialité. Le processus n'est donc pas linéaire, comme la production industrielle, mais itératif.



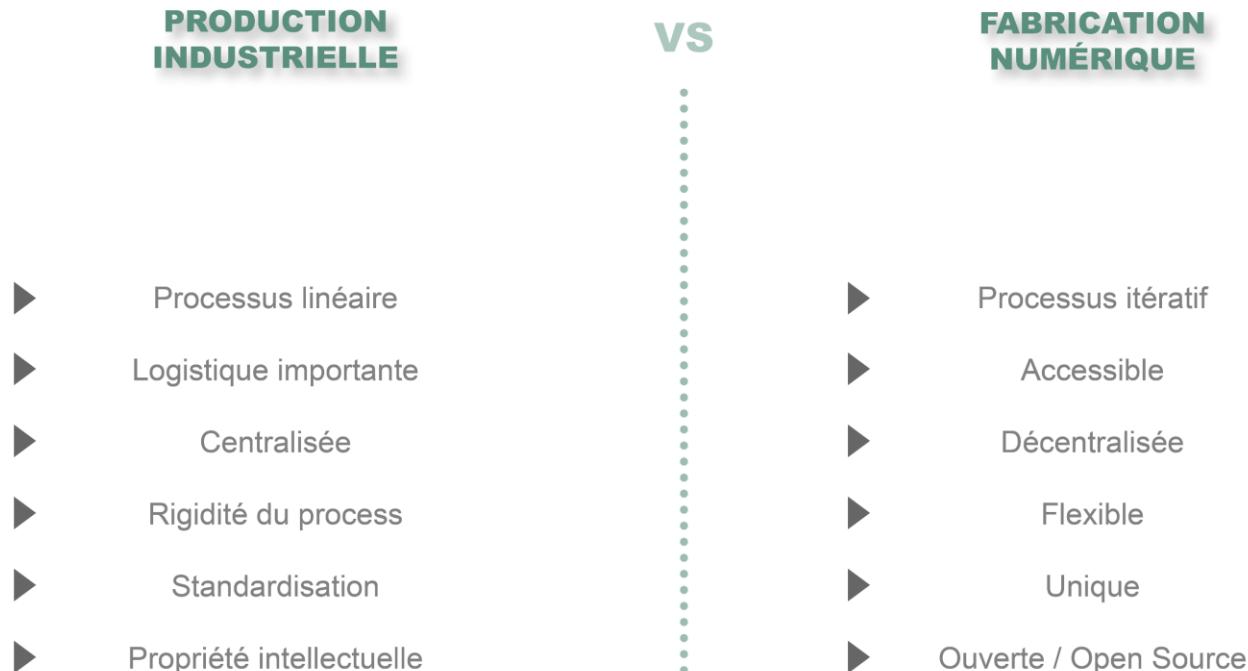
Partie matérielle du projet

- **Fabrication matérielle d'objet**
(épaisseur, échelle, etc...)
- **objet tangible** avec une matérialité

Risques majeurs

- **Mauvaise utilisation ou choix de la machine, mauvais paramétrages**
- **Aléas liés à la machine ou au matériau**

CHANGEMENT DE PARADIGME



4. ZOOM SUR LA PHASE DE CONCEPTION

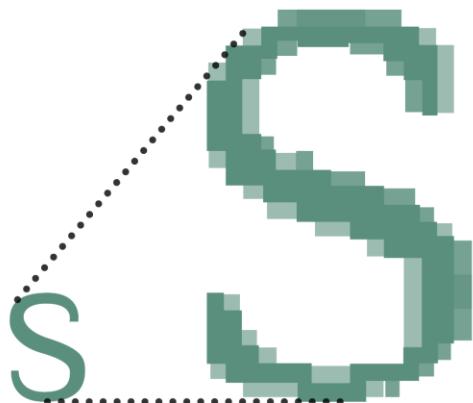
DÉCOUPE LASER
IMPRESSION 3D

WORKFLOW DÉCOUPE LASER : CONCEPTION

La première étape du workflow de la découpeuse laser est la **production d'un dessin 2D assistée par ordinateur**.

Il existe **deux typologies de dessin 2D** qui seront lisibles par l'interface machine de la découpeuse laser : le **dessin matriciel** et le **dessin vectoriel**. Le premier est composé de **pixels**, le second de **vecteurs**.

AGRANDISSEMENT D'UNE IMAGE MATRICIELLE



AGRANDISSEMENT D'UNE IMAGE VECTORIELLE



WORKFLOW DÉCOUPE LASER : CONCEPTION

Quelques **logiciels de dessin 2D** adaptés au workflow de la découpeuse laser...



AUTOCAD



CORELDRAW



ILLUSTRATOR



INKSCAPE



RHINOCEROS



SKETCHUP



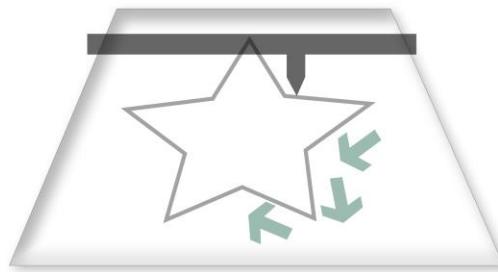
SOLIDWORKS



TINKERCAD

WORKFLOW DÉCOUPE LASER : CONCEPTION

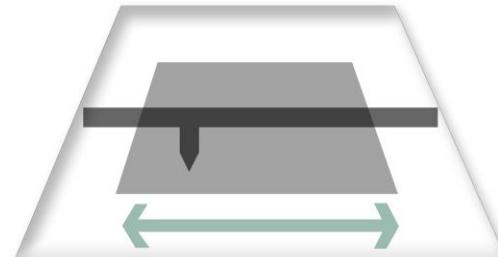
Il existe **trois typologies de travaux à la découpeuse laser**, dépendant des paramètres du laser (coupe vitesse et puissance). Il est possible de **découper, marquer ou graver** le matériau.



MARQUAGE



DÉCOUPE



GRAVURE



WORKFLOW DÉCOUPE LASER : CONCEPTION

La **rigidité finale du matériau dépend du design du trait de découpe**. Il existe des **pattern** permettant de **rendre flexible le matériau**.

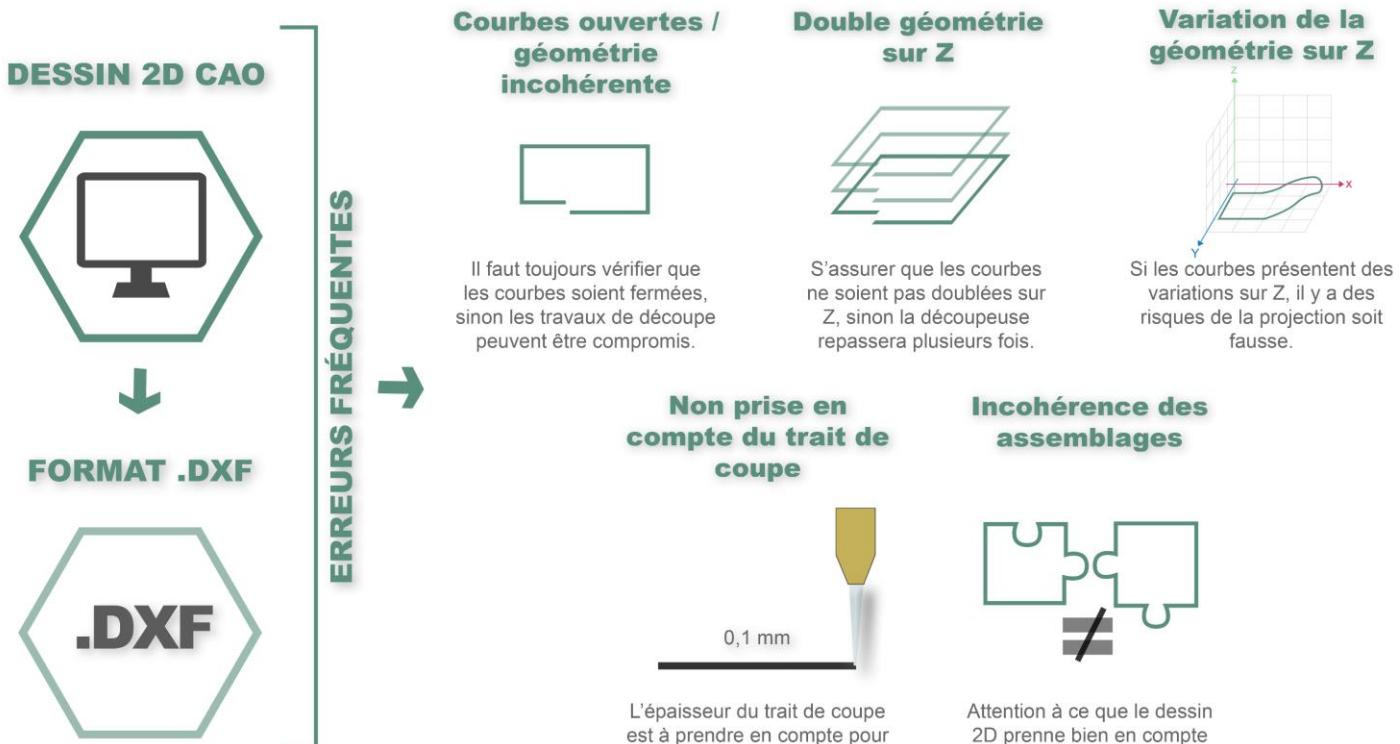
Il est donc important de **réfléchir au résultat attendu et à la matérialité au moment de la conception**, en prenant en compte les **capacités de la machine...**



WORKFLOW DÉCOUPE LASER : CONCEPTION

Une fois le dessin 2D réalisé, celui-ci devra être **exporté au format .dxf**.

Attention aux erreurs fréquentes lors de la conception 2D CAO et lors du passage au format .dxf.

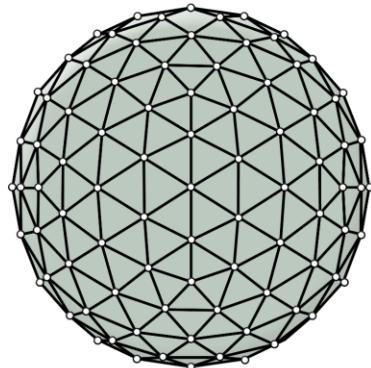


WORKFLOW IMPRESSION 3D : CONCEPTION

La modélisation 3D va être la première étape du workflow de l'impression 3D.

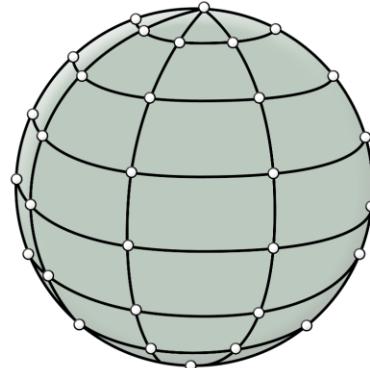
En modélisation 3D, il existe **deux typologies de géométrie 3D permettant de concevoir des volumes fermés imprimables** appelées **maillage** et **surfaces courbes** (aussi appelées **NURBS**).

MAILLAGE



- Sommet
- Face
- Arête

SURFACE COURBE (NURBS)

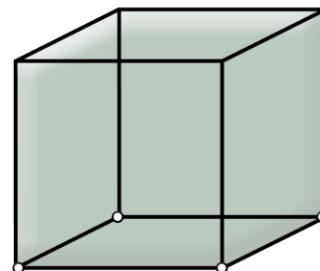
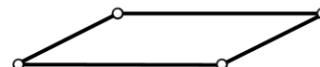


- Point de contrôle
- Sphère NURBS
- Splines

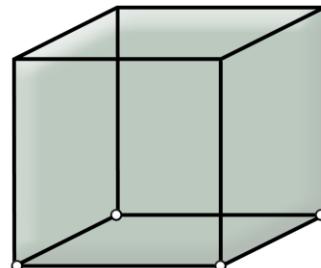
WORKFLOW IMPRESSION 3D : CONCEPTION

En modélisation 3D, il existe également deux **typologies de process** : la **modélisation 3D paramétrique** et la **modélisation 3D directe**.

MODÉLISATION 3D PARAMÉTRIQUE



MODÉLISATION 3D DIRECTE



WORKFLOW IMPRESSION 3D : CONCEPTION

Quelques **logiciels de modélisation 3D** adaptés au workflow de l'impression 3D...

MODÉLISATION 3D PARAMÉTRIQUE

SURFACES COURBES (NURBS)



GRASSHOPPER



CATIA

MAILLAGES



SOLIDWORKS



FUSION 360



GRASSHOPPER



CATIA

MODÉLISATION 3D DIRECTE



BLENDER



RHINOCEROS



3DS MAX



SKETCHUP



RHINOCEROS



TINKERCAD

WORKFLOW IMPRESSION 3D : CONCEPTION

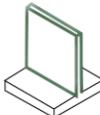
Quelques **règles de modélisation** pour l'impression 3D...

Mur soutenu



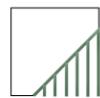
0,8 mm

Mur non soutenu



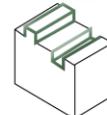
0,8 mm

Supports et porte-à-faux



45°

Détails en relief et gravés



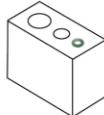
0,6 mm large / 2 mm haut

Ponts horizontaux



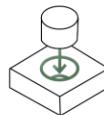
10 mm

Trous



2 mm diamètre

Pièces de connexion / mobiles



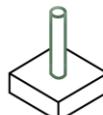
0,5 mm

Figure minimum



2 mm

Diamètre d'un tube



3 mm

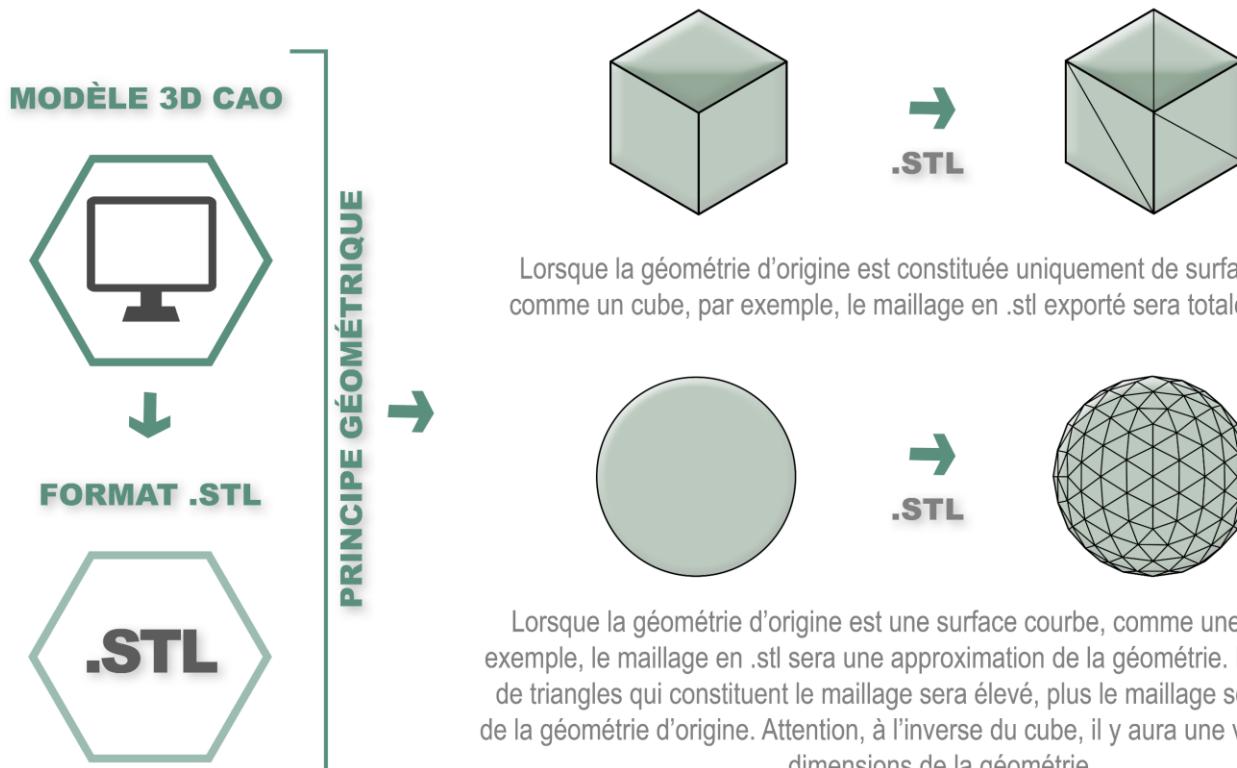
Tolérance



+/- 0,5%

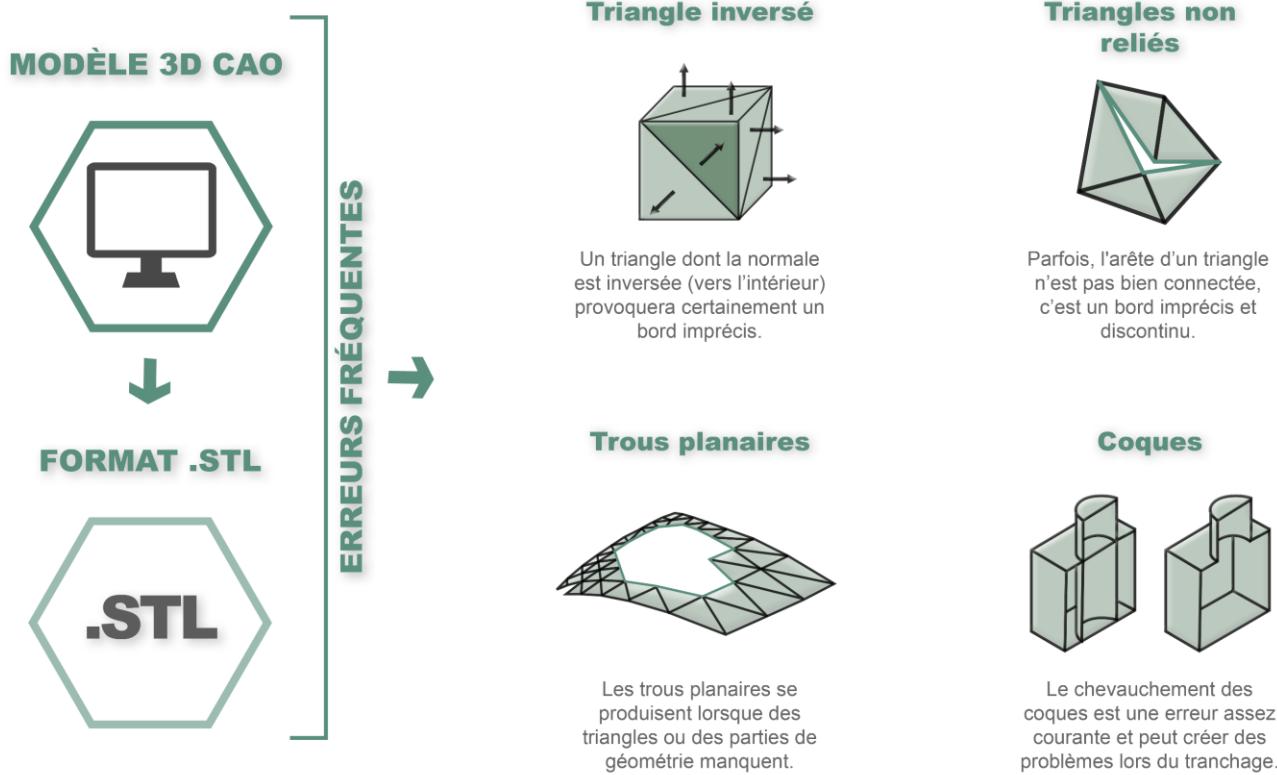
WORKFLOW IMPRESSION 3D : CONCEPTION

Une fois le modèle 3D réalisé, celui-ci devra être exporté **au format .stl**.
Lors du passage au format .stl, la **géométrie est transformée en maillage**. Il est possible de **choisir le nombre de triangles** qui composeront la géométrie et ainsi la **précision** de celle-ci.



WORKFLOW IMPRESSION 3D : CONCEPTION

Attention aux erreurs fréquentes lors de la conception 3D CAO et lors du passage au format .stl.



5. ZOOM SUR LA PHASE DE FABRICATION

DÉCOUPE LASER
IMPRESSION 3D

LA FABRICATION : VERS LE GCODE

Lorsqu'un fichier **à fabriquer** est généré, il faudra le transformer, la plupart du temps, en **.Gcode** pour que le parcours outils soit compris et interprété par la machine à commande numérique.

FORMAT 2D / 3D



.Gcode



À l'origine, le langage de programmation était le **G-code**, développé par l'EIA au début des années 1960, et finalement **normalisé par l'ISO en février 1980 sous la référence RS274D/ (ISO 6983)**.

Développé à l'origine pour des machines-outils agissant par enlèvement de matière, le **code ISO est désormais utilisé dans un domaine très vaste de la fabrication, avec des adaptations :**

- **usinage par enlèvement de matière** : tournage, fraisage, perçage, gravure, défonçage...
- **découpe avec** : couteau, laser, jet d'eau, plasma, flamme ou oxydation...
- **poinçonnage**
- **Impression 3D** : par dépôt de matière, durcissement d'une résine...

POUR ALLER PLUS LOIN



WORKFLOW DÉCOUPE LASER : FABRICATION

Une fois le fichier **exporté au format .dxf**, il est envoyé vers un logiciel **interface machine**. Dans celui-ci, le dessin 2D va être **paramétré pour l'envoi vers la découpeuse laser**. A l'issue du paramétrage, le fichier sera **exporté en .Gcode** et **envoyé vers la machine** pour la fabrication.

FORMAT .DXF



PARAMÉTRAGE MACHINE



| # | R | V | B | Energie |
|------------|-----|-----|-----|----------------|
| 1. (Noir) | 0 | 0 | 0 | Gravure (max) |
| 2. (Rouge) | 255 | 0 | 0 | Découpe (max) |
| 3. (Vert) | 0 | 255 | 0 | Marquage (max) |
| 4. | 255 | 255 | 0 | |
| 5. | 0 | 0 | 255 | |
| 6. | 255 | 0 | 255 | |
| 7. | 0 | 255 | 255 | |
| 8. | 255 | 128 | 128 | |
| 9. | 128 | 255 | 128 | |
| 10. | 255 | 255 | 128 | |
| 11. | 128 | 128 | 255 | |
| 12. | 255 | 128 | 255 | |
| 13. | 128 | 255 | 255 | |
| 14. | 128 | 128 | 128 | |
| 15. | 0 | 128 | 128 | |
| 16. | 128 | 128 | 0 | Marquage (min) |

WORKFLOW DÉCOUPE LASER : FABRICATION



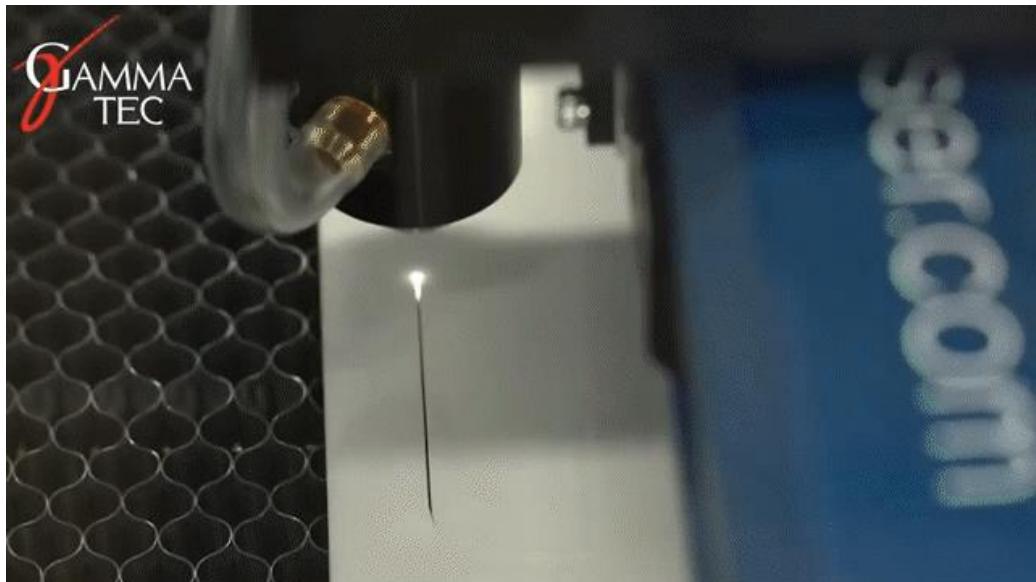
WORKFLOW DÉCOUPE LASER : FABRICATION

La **machine**, lue depuis l'ordinateur comme une imprimante classique, va recevoir le **.Gcode** et être en mesure de lancer la production. Elle fera d'abord une **mise au point de la distance focale** en fonction de l'**épaisseur du matériau** puis **lancera le travail**.

PARAMÉTRAGE MACHINE



FABRICATION

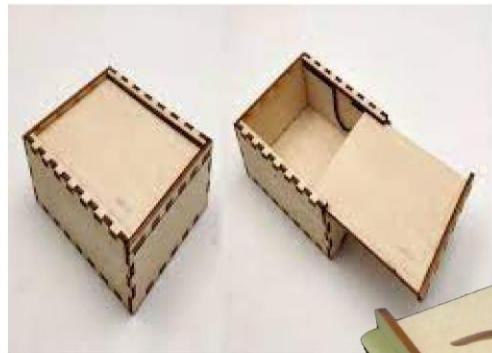
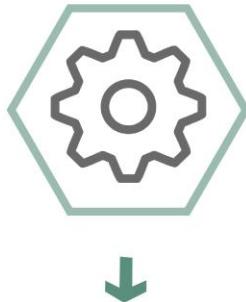


WORKFLOW DÉCOUPE LASER : FABRICATION

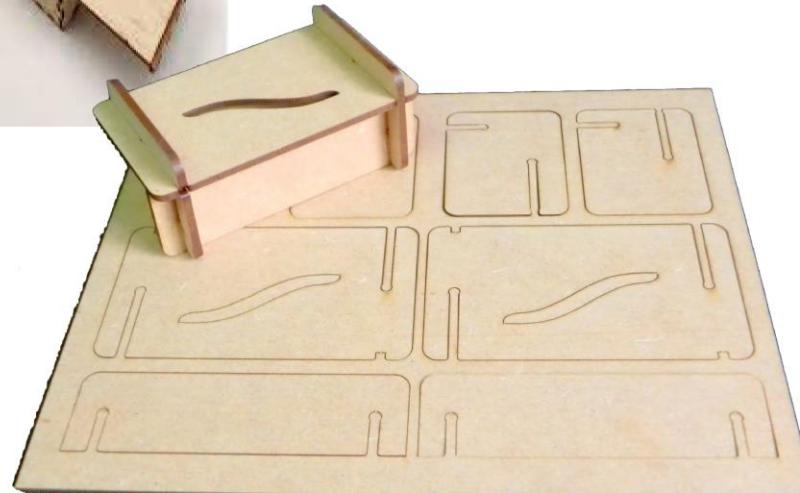
Une fois la **fabrication réalisée**, il y aura souvent une **phase de post-fabrication** visant à **assembler des éléments plans entre eux**.

A l'issue de cette phase, la **boucle itérative revient vers la conception 2D CAO**, si des ajustements sont nécessaires.

FABRICATION



5. POST-FABRICATION



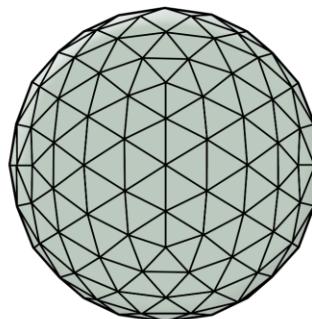
WORKFLOW IMPRESSION 3D : FABRICATION

Une fois le fichier **exporté au format .stl**, il est envoyé vers un logiciel **interface machine**, appelé un **slicer**. Dans celui-ci, le maillage va être **paramétré pour l'envoi vers l'imprimante 3D**. A l'issue du paramétrage, le fichier sera **exporté en .Gcode** et **envoyé vers la machine** pour la fabrication.

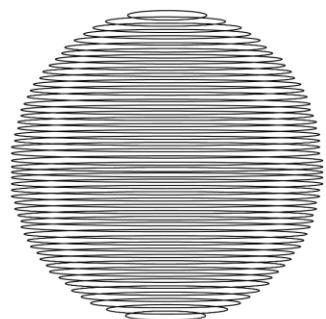
FORMAT .STL



PARAMÉTRAGE MACHINE



TRANCHAGE



WORKFLOW IMPRESSION 3D : FABRICATION

Pour arriver au processus de **tranchage**, il faut définir **plusieurs paramètres d'impression 3D** dans le logiciel **slicer** : l'orientation de la pièce, le ou les matériaux utilisés, les supports, le mode d'adhérence au plateau, la température de la buse et du plateau, la hauteur de couche, le type de remplissage et sa densité, l'épaisseur de coque, la vitesse d'impression, etc....

FORMAT .STL



PARAMÉTRAGE MACHINE



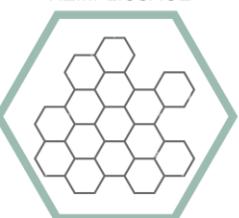
ORIENTATION



ADHÉRENCE



REMPILLAGE



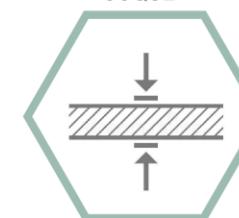
MATÉRIAU



TEMPÉRATURE



COQUE



SUPPORTS



ÉPAISSEUR DE COUCHE



VITESSE D'IMPRESSION



WORKFLOW IMPRESSION 3D : FABRICATION

Pour illustrer **l'importance des paramètres de tranchage** et donc d'impression 3D, nous pouvons voir comment **l'orientation** de la pièce influe sur le résultat final, par exemple. Pour un objet étant imprimé en 3D, l'orientation des couches va modifier la **résistance en fonction des typologies de forces** qui lui seront imposées.

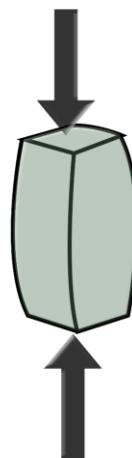
FORMAT .STL



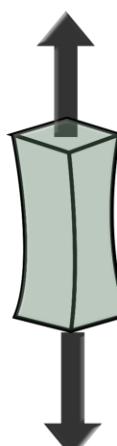
PARAMÉTRAGE MACHINE



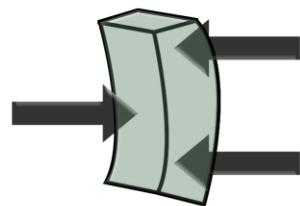
COMPRESSION



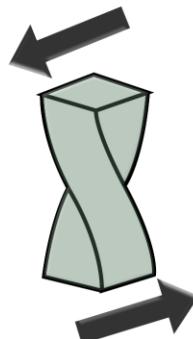
TRACTION



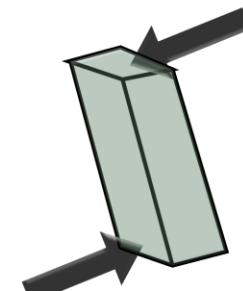
FLEXION



TORSION



CISAILLEMENT



WORKFLOW IMPRESSION 3D : FABRICATION

Pour illustrer l'**importance des paramètres de tranchage** et donc d'impression 3D, nous pouvons voir comment **l'orientation** de la pièce influe sur le résultat final, par exemple. Pour un objet étant imprimé en 3D, l'orientation des couches va modifier la **résistance en fonction des typologies de forces** qui lui seront imposées.

FORMAT .STL



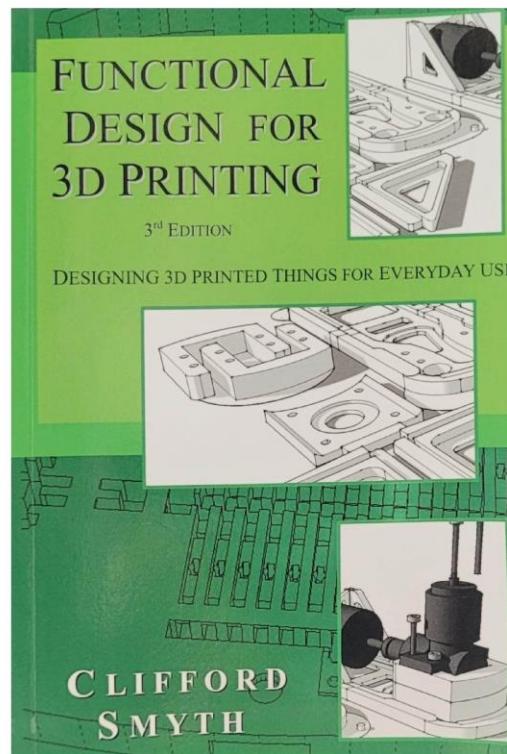
PARAMÉTRAGE MACHINE



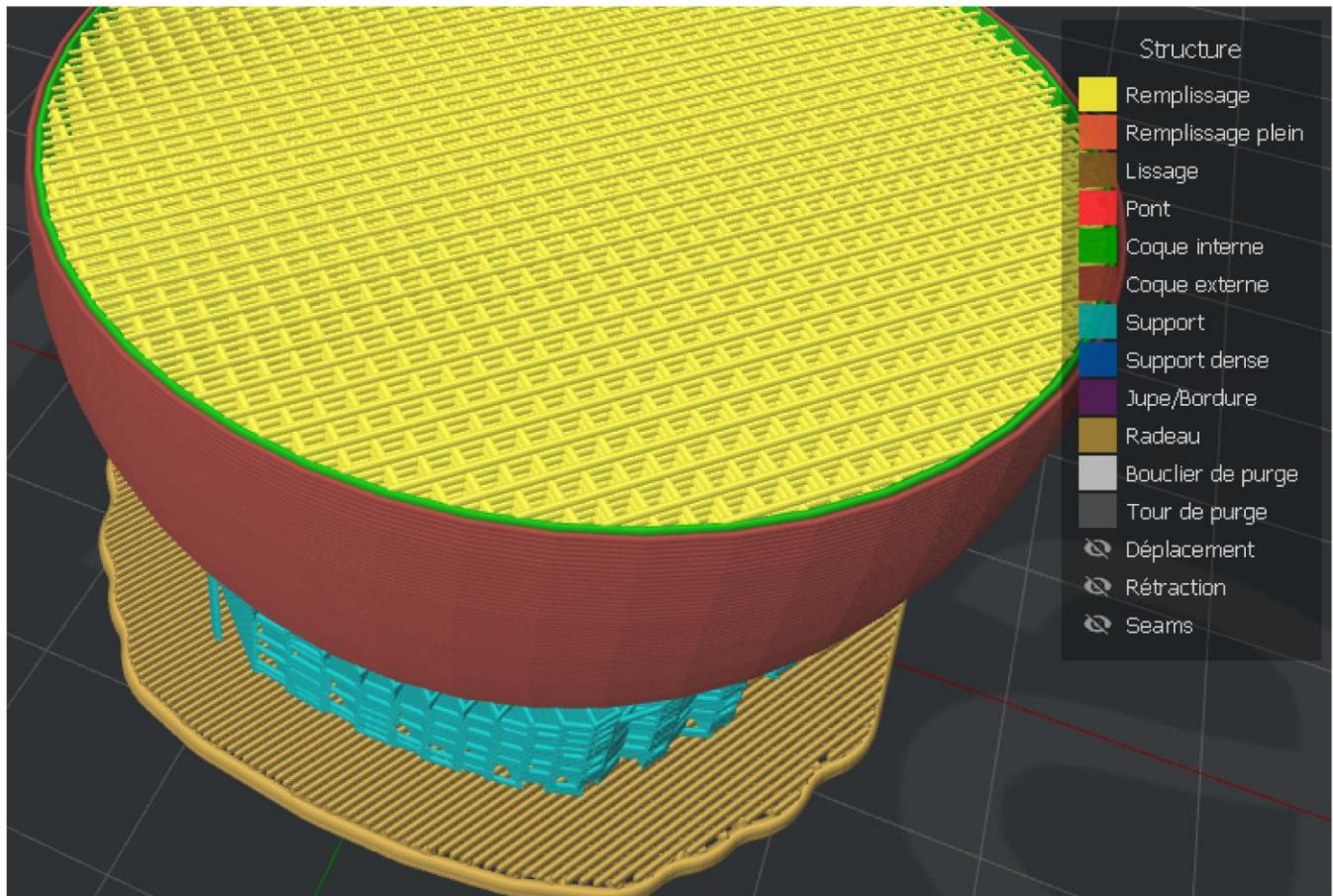
Pour en apprendre plus sur les **caractéristiques physiques des pièces imprimées en 3D**, n'hésitez pas à consulter ce livre de Clifford Smyth.

Disponible à l'I-Lab.

POUR ALLER PLUS LOIN →



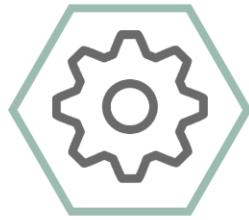
WORKFLOW IMPRESSION 3D : FABRICATION



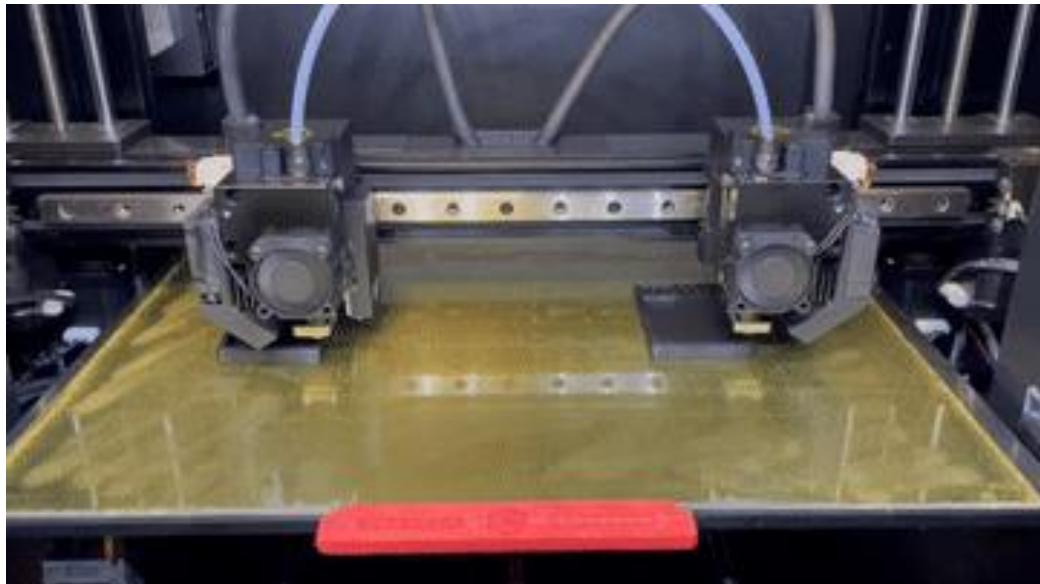
WORKFLOW IMPRESSION 3D : FABRICATION

La machine fera d'abord une **mise à niveau du plateau**, puis la buse et le plateau vont atteindre leur température d'impression. Elle lancera ensuite le travail.

PARAMÉTRAGE MACHINE



FABRICATION

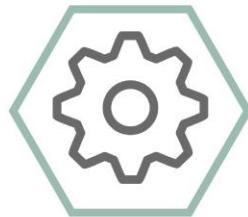


WORKFLOW IMPRESSION 3D : FABRICATION

Une fois la **fabrication réalisée**, il y aura souvent une **phase de post-fabrication** visant à **nettoyer la pièce de tous les éléments servant à son maintien et à son adhérence (supports, radeau, etc...)**.

A l'issue de cette phase, la **boucle itérative revient vers la conception 3D CAO**, si des ajustements sont nécessaires.

FABRICATION

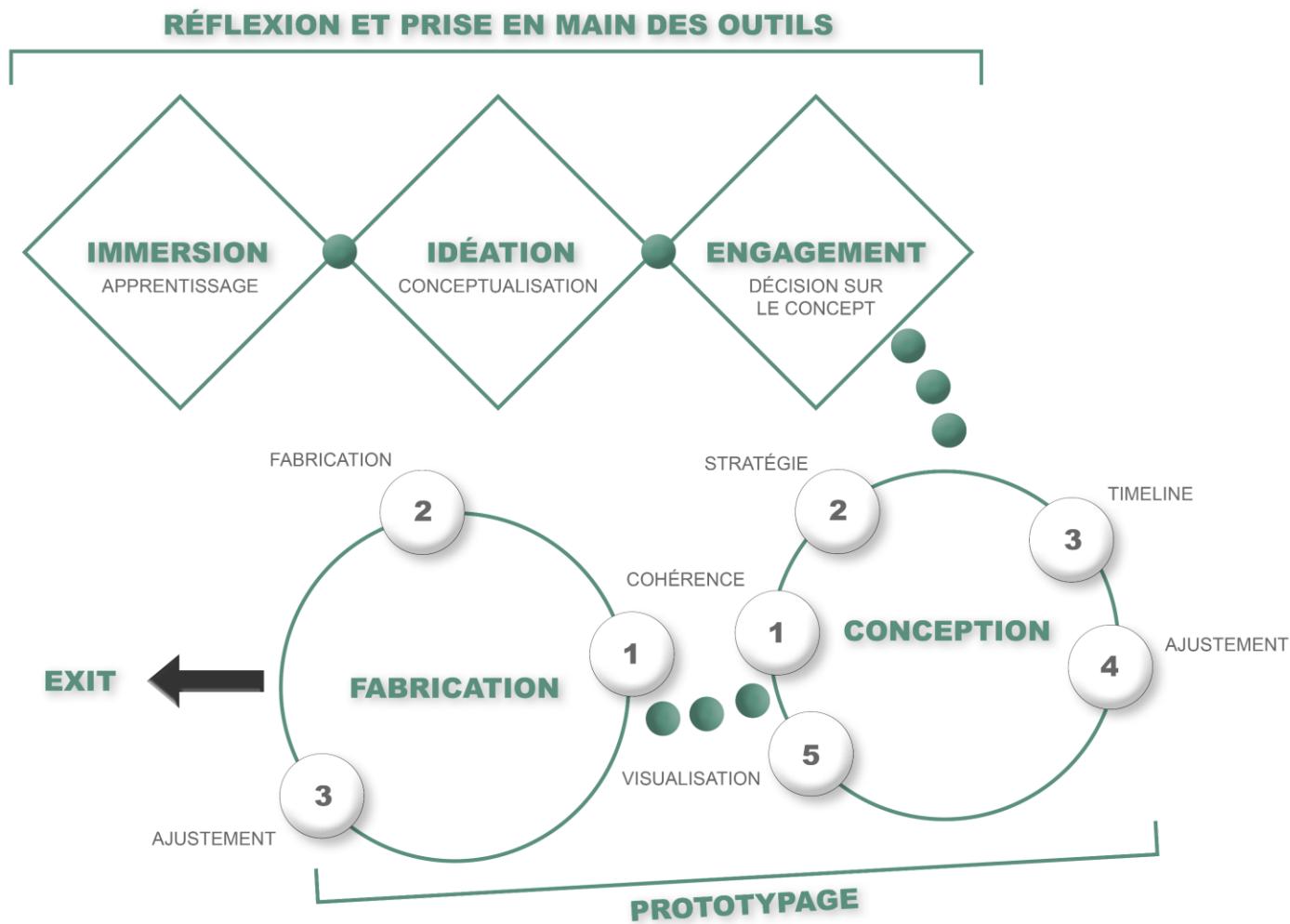


5. POST-FABRICATION

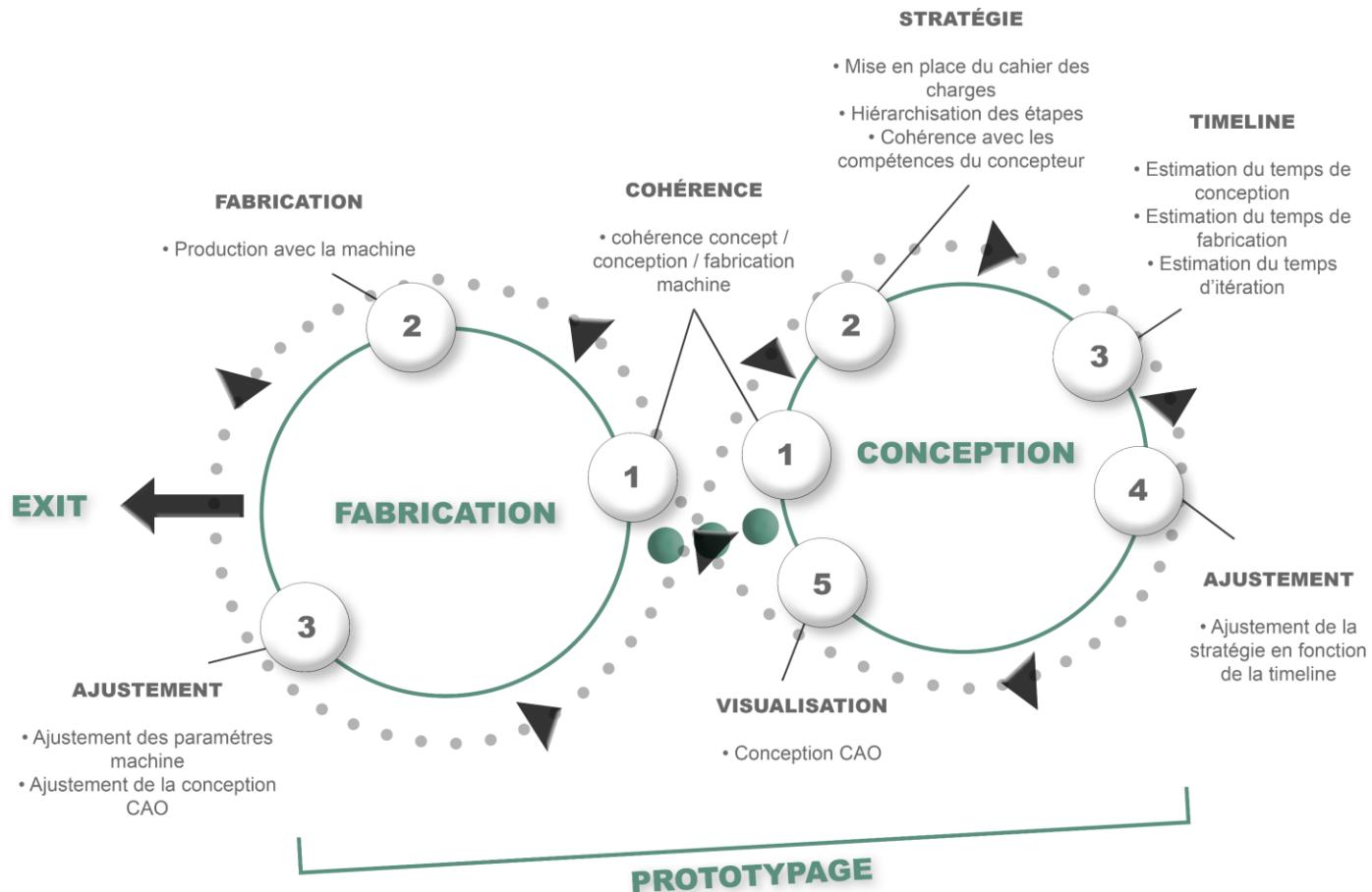


6. MÉTHODOLOGIE ET LIEN AVEC L'EXERCICE DE PROJET

MÉTHODOLOGIE : GÉNÉRALITÉS



MÉTHODOLOGIE : PROTOTYPAGE



MÉTHODOLOGIE : EXIGENCES DU PROJET

Les exigences du projet seront actualisées au fur et à mesure sur le site www.ilab.efrei.fr

- ▶ Le boîtier contient la carte fille et la carte mère
- ▶ Les dimensions maximales du boîtier sont : 85 mm de large x 95 mm de long x 55 mm de haut
- ▶ Le boîtier doit laisser apparent le connecteur USB de la carte mère
- ▶ Le boîtier doit faire intervenir, dans sa fabrication, de l'impression 3D et de la découpe laser
- ▶ Le boîtier doit se fermer solidement (écrou-vis)
- ▶ L'écran LCD doit être visible sur l'un des côtés du boîtier
- ▶ Le sonar doit être visible du côté opposé au connecteur USB
- ▶ Les LED doivent être visibles sur le dessus du boîtier (guide lumière disponible)
- ▶ Les parties imprimées en 3D doivent être auto-portantes (pas de supports)
- ▶ Les parties découpées au laser font 3 mm d'épaisseur
- ▶ La carte mère doit être fixée au fond du boîtier (entretoises M3 de longueur 10 mm)