

# PRÉSENTATION DU MODULE

## Présentation

### Intro

Dans ce module nous vous présenterons les éléments nécessaires à la compréhension du fonctionnement d'une imprimante 3D céramique.

Vous pourrez identifier le processus de l'idée à l'objet.

### Machine CNC et imprimante 3D

CNC signifie Computer Numerical Control. Cette technologie permet de déplacer une machine dans différentes directions suivant des instructions données par un fichier texte .

Ce fichier contient des points dans l'espace défini par leurs coordonnées XYZ. Ces coordonnées décrivent les mouvements qui permettent de créer un modèle physique.

L'imprimante 3D est une machine CNC comme une fraiseuse ou une machine laser, ces dernières utilisent la fabrication soustractive alors que l'imprimante 3D utilise la fabrication additive.

D'après un modèle 3D numérique nous utiliserons des logiciels qui permettent d'extraire des points dans l'espace et d'écrire le fichier texte qui contient toutes les instructions nécessaires à l'imprimante pour créer le modèle physique.

### Céramique

Mot d'origine grecque : keramos signifie « argile ». Le terme générique de céramique désigne l'ensemble des objets fabriqués en terre qui ont subi une transformation physico-chimique irréversible au cours d'une **cuisson** à température plus ou moins élevée.



# Principe de fonctionnement d'une machine

## Les différentes machines :

Les imprimantes 3D céramiques se déclinent en plusieurs modèles avec des différences en termes de taille, fonctionnalités et coût pour répondre aux divers besoins industriels, artistiques et de recherche. Voici les principaux facteurs qui expliquent cette diversité :

### Taille et volume d'impression

- Certaines imprimantes sont conçues pour de petites pièces de haute précision (bijoux, objets artistiques détaillés).
- D'autres machines permettent de créer de grandes structures, voire des pièces architecturales.

### Type d'extrusion

- Extrusion directe , le piston pousse directement la terre au niveau de buse , utilisé pour des pièces de grand volume . Généralement la terre peut être utilisée sans avoir besoin de travailler la terre .
- Extrusion à vis, le piston pousse la terre jusqu'à une tête d'extrusion composé d'une vis sans fin permettant le dosage plus précis de la matière. Utilisées généralement pour des petites pièces , ces machines ont besoin d'une viscosité de la terre spécifique. La terre devra être travaillée avant utilisation.

### Coût

- Les petites imprimantes d'entrée de gamme commencent à quelques milliers d'euros.
- Les imprimantes industrielles et haute précision peuvent coûter des dizaines, voire des centaines de milliers d'euros.

Choisir une imprimante 3D céramique dépend donc du type de production, du budget et des exigences techniques spécifiques (précision, post-traitement, compatibilité des matériaux, etc.).



Figure 1 Extrusion a vis

## Optimiser ses choix en fonction de son budget et du rendu souhaité en fabrication

### Choix de la terre différence de prix et de rendu

En fonction de la terre utilisé le rendu final sera différent, solidité ,aspect.

Le cout de la terre varie grandement suivant le type d'argile utilisé ( faïence , grès , porcelaine )

## Quelles informations machines demander avant de se rendre dans un lab ?

- Taille d'impression de la machine
- Terre compatible
- Cuisson , volume du four , température
- Possibilité d'émaillage sur place

Figure 2 Extrusion direct

# Les consommables

## Quel(s) matériau(x) utiliser ou éviter ?

### Faïence

#### Avantages :

- Facile à imprimer grâce à sa texture plastique.
- Température de cuisson basse (980-1100°C) → Moins d'usure des fours et moins de consommation énergétique.
- Bonne absorption des émaux, offrant une large gamme de finitions colorées.

#### Inconvénients :

- **Porosité élevée**, donc moins résistante aux liquides sans émaillage.
- Moins solide que le grès et la porcelaine.

**Idéale pour :** objets décoratifs, pièces légères et colorées, sculptures, arts de la table émaillés.

### Grès

#### Avantages :

- **Très résistant** après cuisson (1200-1300°C), convient aux usages alimentaires et extérieurs.
- **Aspect naturel et brut**, souvent apprécié pour des finitions mates ou satinées.
- Moins absorbant que la faïence, donc plus adapté aux liquides même sans émaillage.

#### Inconvénients :

- Nécessite une cuisson à haute température.
- Texture parfois plus difficile à extruder en impression 3D (risque de fissuration).

**Idéal pour :** vaisselle robuste, pièces d'architecture, objets fonctionnels résistants.

### Porcelaine

#### Avantages :

- **Finesse et translucidité**, effet très recherché en design et en art.
- **Très résistante une fois cuite** (1200-1400°C), malgré sa fragilité à l'état cru.
- Surface lisse et non poreuse après vitrification, donc hygiénique et adaptée aux aliments.

#### Inconvénients :

- **Difficile à imprimer**, car elle est très fluide et a tendance à s'affaisser.
- Forte rétraction au séchage et à la cuisson, nécessitant une bonne maîtrise du processus.

**Idéale pour :** pièces artistiques détaillées, luminaires, vaisselle haut de gamme, objets design.

## Comment choisir ?

- **Débutant ?** → La faïence est plus simple à utiliser et à cuire.
- **Projet fonctionnel et robuste ?** → Le grès est le meilleur choix.
- **Effet esthétique haut de gamme ?** → La porcelaine, si vous maîtrisez bien son comportement.

**Astuce :** Certaines imprimantes supportent des mélanges de terres (ex. : grès + porcelaine) pour associer résistance et esthétisme !

## Prix :

Le prix des terres céramiques varie en fonction de plusieurs critères : leur composition, leur qualité, leur provenance et leur traitement. Voici un comparatif des coûts moyens au **kilo**, en fonction du type de terre :

Type de Terre	Prix au kilo (€)	Facteurs influençant le prix
<b>Faïence</b>	1 à 3 €	Abondante, cuisson basse température, facile à produire.
<b>Grès</b>	2 à 5 €	Plus dense, cuisson haute température, différentes granulométries.
<b>Porcelaine</b>	5 à 15 €	Matière plus fine, plus rare, cuisson très haute température, difficile à travailler.

## La chamottes

La chamotte est une argile cuite et broyée en grains de différentes tailles, qui est ensuite ajoutée à une pâte céramique pour modifier ses propriétés. Elle joue un rôle essentiel en céramique, notamment dans les techniques de modelage et de sculpture.

Rôles et avantages de la chamotte :

1. Réduction du retrait au séchage et à la cuisson
  - La présence de chamotte limite la déformation et les fissures en réduisant le retrait de l'argile lorsqu'elle sèche et cuit.
2. Augmentation de la résistance mécanique
  - Elle renforce la structure de la pièce, ce qui est particulièrement utile pour les grandes sculptures ou les pièces en céramique nécessitant une bonne tenue.
3. Amélioration de la texture et de la maniabilité
  - Une terre chamottée est plus rugueuse et moins collante, ce qui facilite son travail en modelage et en tournage.
4. Meilleure résistance aux chocs thermiques

- La chamotte aide la pièce à mieux supporter les variations de température, ce qui est crucial pour des cuissons à haute température ou en raku.

Types de chamotte :

- Granulométrie fine (0-0,2 mm) : idéale pour les terres lisses et les pièces détaillées.
- Granulométrie moyenne (0,2-0,5 mm) : utilisée pour des pièces plus épaisses et résistantes.
- Granulométrie grossière (0,5-3 mm ou plus) : souvent préférée pour les grandes sculptures et les pièces nécessitant une forte solidité.

En résumé, la chamotte est un ingrédient essentiel pour améliorer la résistance et la stabilité des pièces en céramique, tout en influençant leur aspect et leur maniabilité.

**Pour l'impression 3D une taille maximum de chamotte de 0.5 mm** est recommandée , au-delà la chamotte pourrait endommager certaine partie de la machine .

## Comparatif des réglages en fonction du matériau

Le réglage du débit de l'extrusion et de la vitesse de déplacement sont des paramètres essentiel pour assurer une bonne qualité d'impression .

Comparatif des réglages en fonction du matériau

Matériau	Débit	Vitesse	Précautions
Faïence	Modéré à élevé	Moyenne à rapide	Attention aux accumulations de matière
Grès	Modéré	Modérée	Laisser du temps pour éviter les fissures
Porcelaine	Faible à modéré	Lente	Ralentir l'impression pour éviter l'affaissement

Un bon réglage dépend également de la viscosité de la pâte, de la pression d'extrusion et des conditions de séchage. Expérimenter avec des échantillons avant une production en série est essentiel pour optimiser la qualité d'impression.

## Cuisson en Céramique : Haute Température vs. Basse Température

Le choix entre **basse température (980-1100°C)** et **haute température (1200-1400°C)** impacte le **coût, la résistance et l'esthétique** des pièces céramiques.

### Cuisson Basse Température (Faïence)

**Coût :** Moins cher

- **Économie d'énergie** : cuisson moins longue et à température plus basse.
- Fours **moins coûteux** et moins sollicités.
- Nécessite **un émaillage** car la faïence reste poreuse.

- Moins résistante que le grès ou la porcelaine.

**Rendu :**

- Couleurs vives et brillantes car les émaux basse température sont très réactifs.
- Texture plus tendre, souvent utilisée pour des pièces décoratives.

**Idéal pour :** objets artistiques, sculptures, poteries décoratives, vaisselle émaillée.

## Cuisson Haute Température (Grès & Porcelaine)

**Coût :** Plus cher

- **Plus d'énergie consommée** (chauffe plus longue et plus intense).
- **Usure plus rapide du four** (températures élevées abîment les résistances et les briques).
- **Pièces plus solides et durables** (vitrification naturelle du grès et de la porcelaine).
- Peut être utilisé sans émaillage (grès non poreux).

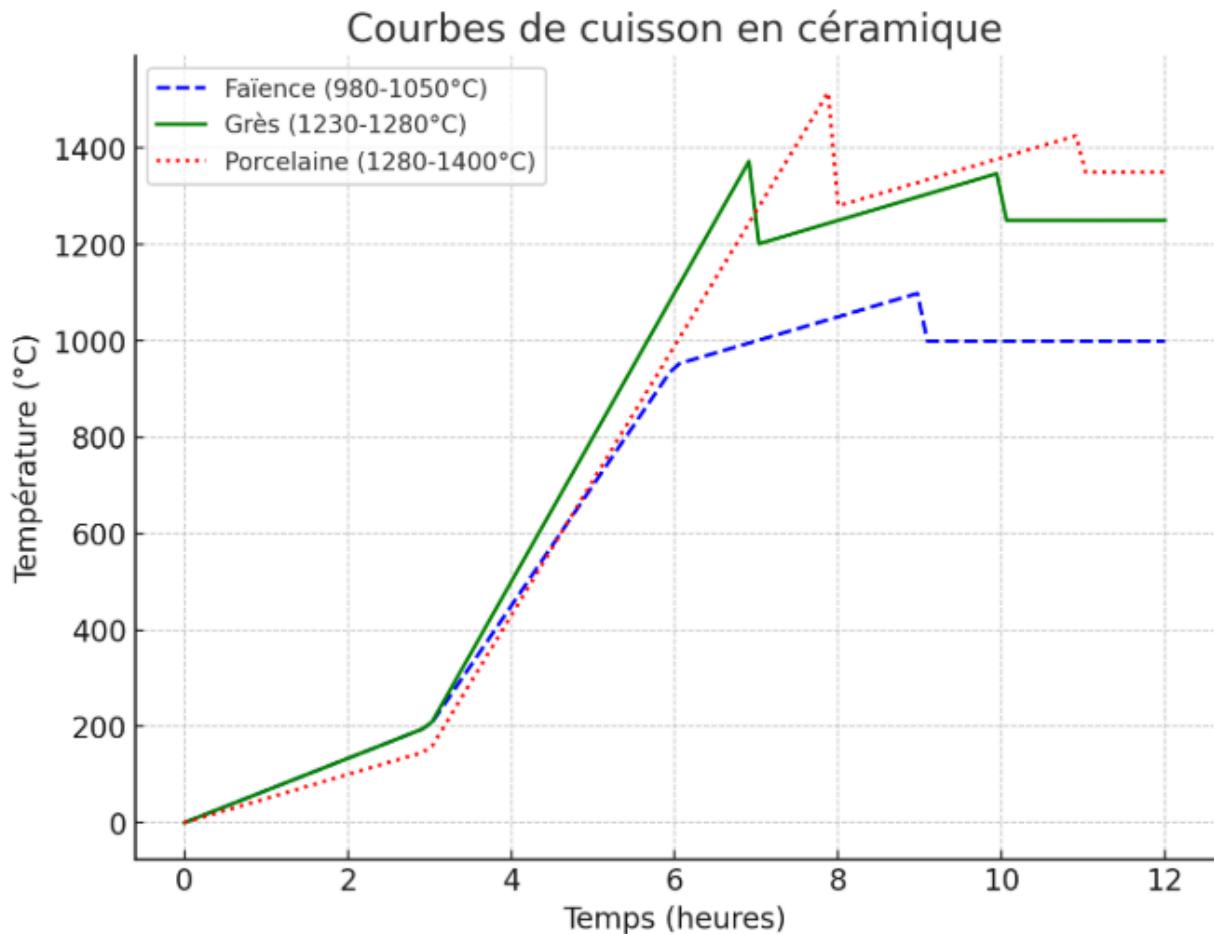
**Rendu :**

- Effet plus naturel et mat, idéal pour les textures brutes.
- Émaux plus subtils et fusionnés avec la terre, avec des couleurs plus douces.
- La porcelaine devient translucide si elle est fine.

**Idéal pour :** vaisselle haut de gamme, pièces fonctionnelles, objets d'architecture, luminaires en porcelaine.

## Comparatif

Critère	Basse Température (980-1100°C)	Haute Température (1200-1400°C)
<b>Coût énergie</b>	Économique	Plus cher
<b>Usure du four</b>	Moindre	Plus importante
<b>Résistance</b>	Moyenne (poreuse sans émail)	Très solide (grès/porcelaine vitrifiés)
<b>Aspect</b>	Couleurs vives, brillantes	Teintes naturelles, effets de fusion
<b>Usage</b>	Décoratif, poterie, arts de la table émaillés	Vaisselle robuste, architecture, design



## Stockage des matériaux

Les pâtes céramiques doivent être stockées correctement pour éviter qu'elles ne sèchent, ne durcissent ou ne se détériorent. Voici quelques conseils pour bien les conserver :

### Stockage dans un contenant hermétique

Utilisez un seau ou un sac en plastique épais bien fermé pour empêcher l'évaporation de l'eau. Si possible, ajoutez un film plastique ou un chiffon humide sur la surface avant de fermer le récipient.

### Ajout d'humidité

Si vous stockez la pâte longtemps, vous pouvez ajouter un chiffon humide à l'intérieur du contenant pour maintenir l'humidité. Attention à ne pas trop mouiller pour éviter la formation de moisissures.

## Stockage dans un endroit frais et sombre

Gardez votre pâte céramique à l'abri du soleil et de la chaleur excessive pour éviter qu'elle ne sèche trop rapidement.

## Réhydratation si nécessaire

Si la pâte commence à sécher, vous pouvez la réhydrater en la pétrissant avec un peu d'eau ou en l'enveloppant dans un chiffon humide pendant quelques heures.

## Éviter la contamination

Ne mélangez pas les pâtes de différentes compositions et évitez d'introduire des impuretés comme de la poussière ou des morceaux secs qui pourraient altérer la qualité.

En suivant ces précautions, votre pâte céramique restera souple et prête à être utilisée plus longtemps !

## Mes consommables / Les consommables du lab : quelle différence ? où les trouver ?

Les pain de terre achetée dans le commerce convient la plupart du temps , il faut ce rapproché de votre fablab pour être sûr que la terre est compatible avec la machine du fablab .

## Gestion du stock et des déchets dans le lab : quelles questions poser ?

### Recyclage terre crue

La terre peut-être recyclée à l'infini si elle n'est pas cuite , il faut s'assurer de bien différencier les déchets par type de terre .

Un bac pour la faïence , un bac pour le grès et un bac pour la porcelaine .

## Déchets : comment et quoi gérer dans un lab ?

### Déchets terre cuite

La terre cuite n'est pas recyclable , elles doit être emmener dans un déchèterie , dans la benne de gravât .

## Les logiciels

# Logiciels de conception : principe

## Logiciel 3D intro

Choisir un logiciel de modélisation pour l'impression 3D céramique est essentiel pour bien débuter dans cette approche innovante de la céramique. Non seulement il s'agit de la première étape du processus, influençant la forme des créations, mais l'impression 3D céramique gagne également en popularité dans le domaine de l'art et de l'artisanat de la terre.

**Fusion , Blender et Rhino3D.** Ces plateformes de renom offrent des outils spécialisés et des fonctionnalités avancées adaptées aux exigences de l'impression 3D. Nous examinerons les capacités de chaque logiciel pour vous aider à faire un choix éclairé.

## Autodesk Fusion

### Présentation de Fusion

Fusion est un logiciel de modélisation 3D développé par Autodesk, largement utilisé dans l'industrie pour la conception de produits, la modélisation paramétrique, et l'ingénierie. Il se distingue par sa combinaison de modélisation solide, de surface et de maillage, ce qui le rend particulièrement adapté pour la création de modèles complexes destinés à l'impression 3D, y compris la céramique.

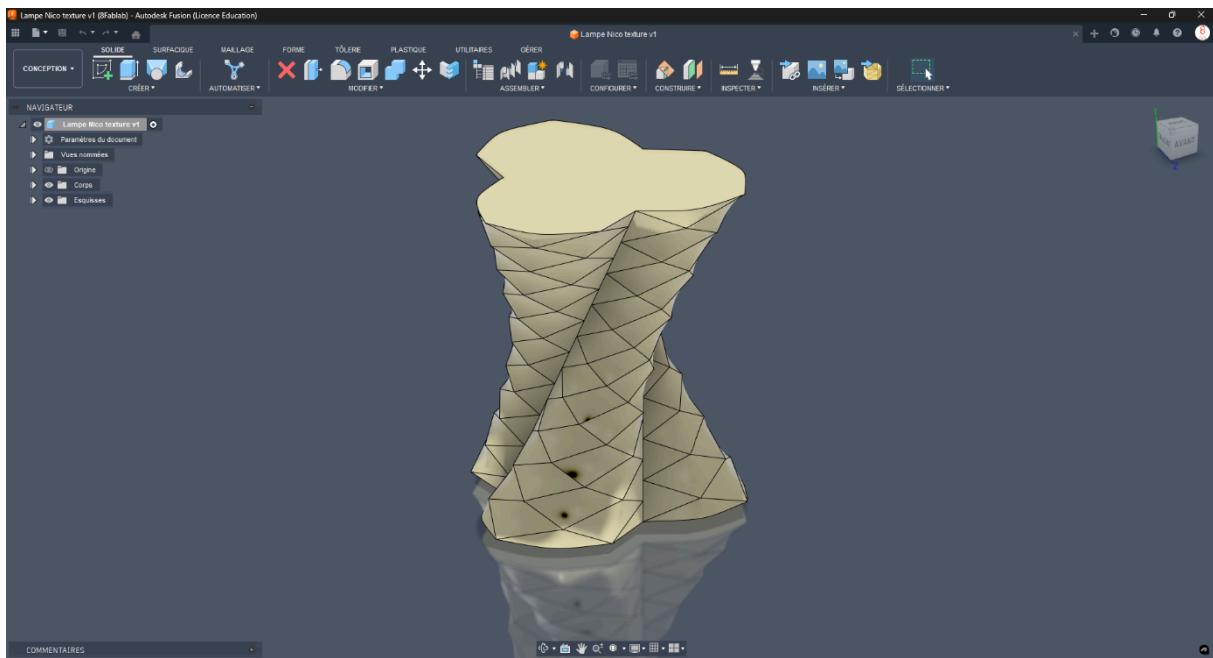
### Caractéristiques utiles pour l'impression 3D céramique

Fusion 360 propose des outils de modélisation paramétrique et de conception assistée par ordinateur (CAO), permettant aux utilisateurs de créer des modèles avec une grande précision. Il permet également de générer des formes complexes tout en ayant un contrôle total sur les dimensions et les tolérances, ce qui est crucial pour l'impression 3D céramique lorsque la précision est requise. De plus, son espace de travail intégré facilite la gestion des différents types de géométries (solides, surfaces et maillages), ce qui peut être un avantage lors de la création de pièces fonctionnelles en céramique.

### Avantages et Inconvénients

L'un des plus grands avantages de Fusion réside dans sa combinaison de fonctionnalités de CAO ce qui permet une approche plus technique et précise dans le développement de modèles pour l'impression 3D céramique. De plus, il est proposé sur un modèle d'abonnement, avec une version gratuite pour les étudiants et les start-ups, ce qui le rend accessible à un large public.

Cependant, Fusion 360 peut être plus complexe pour les utilisateurs qui n'ont pas d'expérience en CAO ou en modélisation paramétrique, et son interface peut paraître un peu plus technique par rapport à des logiciels plus orientés artistique comme Blender. Il peut également y avoir une courbe d'apprentissage, surtout pour les débutants qui souhaitent créer des formes organiques.



## Rhino et Grasshopper

### Présentation de Rhinoceros

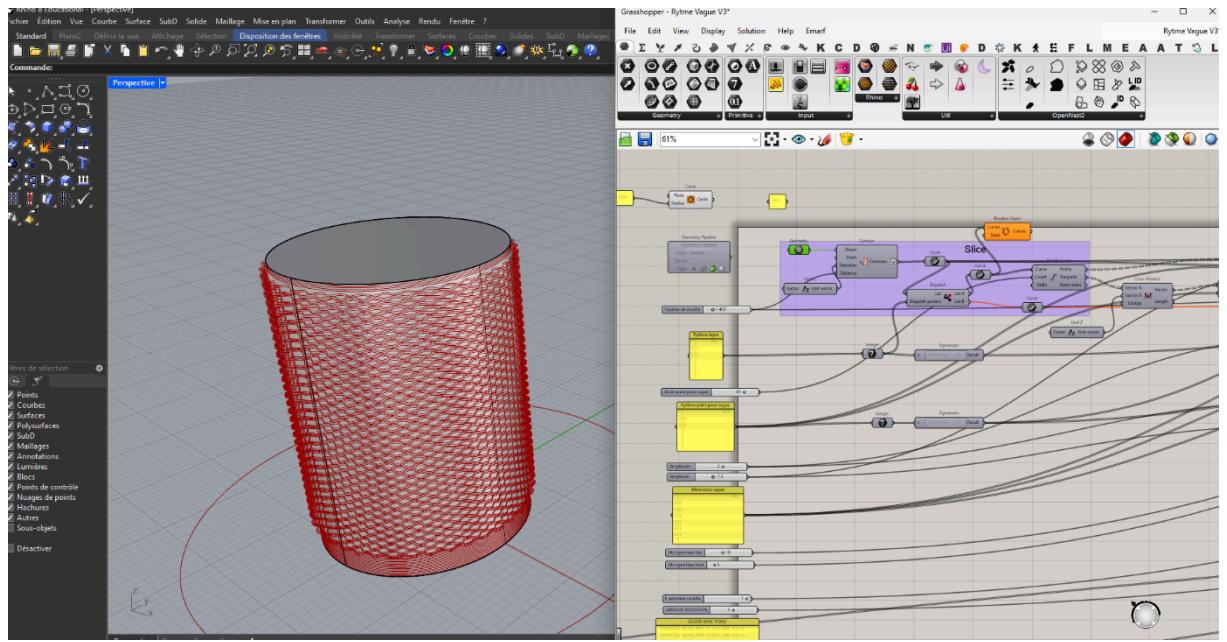
Rhinoceros, ou Rhino3D, est un logiciel largement utilisé dans l'architecture, l'ingénierie, le design industriel et la joaillerie. Il est reconnu pour sa capacité à générer des surfaces complexes avec une grande précision. Dans le contexte de l'impression 3D céramique, Rhino est une plateforme robuste pour créer des modèles fins tout en offrant une grande liberté créative.

### Caractéristiques utiles pour l'impression 3D céramique

Rhino propose un large éventail d'outils et de fonctionnalités utiles pour l'impression 3D. Les outils de modélisation avancés et les récentes améliorations dans les outils de subdivision facilitent la création de formes organiques complexes.

### Avantages et Inconvénients

Rhino3D permet de créer des géométries complexes et des surfaces de haute précision. Son extension **Grasshopper** offre un contrôle total sur le modèle, ce qui est un avantage majeur, mais l'apprentissage de cet outil peut être difficile. Toutefois, le coût de la licence (environ 1000 euros) peut être un inconvénient, et Rhino est plus orienté vers un usage industriel, ce qui le rend potentiellement moins accessible aux artistes 3D ou aux débutants.



## Blender

### Présentation de Blender

Blender est l'un des logiciels de modélisation 3D les plus puissants et polyvalents sur le marché. Gratuit et open-source, il permet d'accéder à des outils de qualité professionnelle pour les artistes et les designers.

### Caractéristiques clés pour l'impression 3D céramique

Blender se distingue par sa capacité à créer des formes organiques et géométriques complexes. La modélisation polygonale, qui permet de travailler avec des polygones, arêtes et points, facilite la sculpture de formes détaillées. Le logiciel offre également une grande flexibilité pour manipuler des éléments fins de vos modèles.

### Avantages et Inconvénients

Blender présente plusieurs avantages : son caractère open-source le rend gratuit, et une communauté active offre un large éventail de tutoriels pour débutants et experts. Il permet une grande liberté créative, particulièrement dans la modélisation de formes organiques. Cependant, il peut être difficile d'obtenir des cotations précises, ce qui est rarement nécessaire dans le cadre de l'artisanat céramique.

# Logiciels de FAO : principe

## Slicer Intro

Le slicer, aussi appelé logiciel de tranchage, joue le rôle d'intermédiaire entre le modèle 3D et l'imprimante 3D.

Le slicer permet de convertir le modèle 3D en une série de contour 2D.

Ces contours sont ensuite convertis en coordonnées XYZ qui servent à écrire le Gcode.

Le slicer permet de régler de nombreux paramètres de l'impression 3D comme la hauteur de couche , la densité de remplissage , le nombre parois extérieur et bien plus encore...

Le Gcode est un langage de programmation utilisé pour contrôler une machine à commande numérique.

Il contient toutes les instructions dont la machine a besoin pour se déplacer, chauffer l'extrudeur , chauffer le lit etc...

## PrusaSlicer

- **Points forts :**

- Slicer puissant avec des options avancées de personnalisation.
- Interface conviviale et mises à jour régulières.

- **Utilisation en céramique :**

- Permet de régler précisément le débit d'extrusion et les trajectoires d'impression, essentielles pour obtenir un dépôt homogène avec des matériaux plus denses.

## OrcaSlicer

- **Points forts :**

- Basé sur Bambu Studio et PrusaSlicer, OrcaSlicer est un slicer open-source qui offre une interface intuitive et des fonctionnalités avancées.
- Optimisé pour la gestion fine du débit et des trajectoires, ce qui est crucial pour l'impression 3D céramique.

- **Utilisation en céramique :**

- Excellente gestion des vitesses et de l'extrusion, permettant d'adapter l'impression aux propriétés spécifiques de la pâte céramique.

## Logiciels et profils propriétaires

- Certains fabricants d'imprimantes 3D céramiques proposent des **logiciels propriétaires** ou des **profils optimisés** pour leurs machines et matériaux.
- **Conseil :** Consultez la documentation de votre machine ou les forums spécialisés pour trouver des profils adaptés à votre matériel.

## Conseils généraux pour l'adaptation d'un slicer à la céramique

- **Réduction de la vitesse d'impression** pour éviter les déformations.
- **Ajustement du débit d'extrusion** en fonction de la viscosité de la pâte.
- **Hauteur de couche adaptée** pour assurer une bonne adhésion et éviter les fissures.
- **Essais progressifs** pour trouver les paramètres optimaux.

## Bien préparer son fichier pour l'impression 3D céramique

L'impression 3D en céramique présente des défis spécifiques liés à la nature du matériau, notamment son comportement à l'extrusion, son séchage et sa cuisson. Pour obtenir un bon résultat, il est crucial de bien préparer son fichier avant de lancer l'impression. Voici les étapes clés :

### Modélisation 3D adaptée à la céramique

#### Respecter les limites techniques

- Évitez les surplombs trop importants ( $>45^\circ$ ), sauf si une structure de support est possible.
- Privilégiez des formes qui se construisent naturellement en couches sans besoin de support.
- Évitez les détails trop fins qui pourraient ne pas bien s'imprimer avec la pâte céramique.

#### Épaisseurs et structures

- Les parois doivent avoir une épaisseur minimale de 2 à 3 mm pour assurer une bonne solidité après séchage et cuisson.
- Évitez les formes pleines trop massives pour limiter les risques de fissuration lors du séchage et de la cuisson.

#### Éviter les angles vifs

- Les formes aux bords arrondis réduisent les tensions internes et diminuent les risques de fissures.

## Exporter le fichier

#### Formats recommandés

- Exportez votre modèle en STL ou OBJ, formats les plus courants pour les slicers.

#### Qualité du maillage

- Un maillage trop dense n'est pas nécessaire, mais évitez un maillage trop simplifié qui pourrait affecter la précision de l'impression.

## Quels logiciels dans mon lab ? Quelles demandes faire pour bien se préparer ?

Demander avec quelle slicer la machine est compatible, si il y a un profil d'impression propriétaires , certains lab vous fourniront les profils d'impressions que vous pourrez importer dans la slicer .

## Fin de fabrication

Nettoyage et rangement des outils utilisés , éteindre les ordinateurs et la machine , ne pas oublié sa clé USB !

Entreposer les pièces imprimées pour séchage :

- Le séchage doit se faire lentement , environ 2 à 5 jours en fonction de la taille de la pièce et dans un endroit frais et sec. Le séchage doit être homogène pour éviter les risques de fissures et de déformations des pièces.

## Sécurité de l'utilisateur

### Les risques utilisateurs liés à l'utilisation de l'imprimante 3D céramique

#### Risques mécaniques

- Les imprimantes 3D céramiques utilisent des moteurs, des vis sans fin et un extrudeur sous pression.
- Risque : Pincement des doigts, coincement dans des pièces mobiles.

#### Précautions

Ne jamais mettre les mains dans la zone de déplacement des axes pendant le fonctionnement.  
Couper l'alimentation avant toute maintenance.

#### Risques ergonomiques et posturaux

- L'impression 3D céramique implique du pétrissage, du nettoyage et du ponçage, ce qui peut entraîner des douleurs aux mains, épaules et dos.

#### **Précautions :**

Travailler à une hauteur confortable, avec une bonne posture.

Faire des pauses régulières et s'étirer.

## Pression de l'extrudeur

- L'impression céramique fonctionne souvent avec un système d'extrusion sous pression (air comprimé ou vis d'Archimède).
- Risque : Une surpression peut provoquer des éclatements de la buse ou des projections de matériaux.

#### **Précautions :**

Régler correctement la pression (ne pas dépasser les limites recommandées par le fabricant).

Ne jamais démonter l'extrudeur sous pression.

Porter des lunettes de protection en cas de maintenance.

## Les EPI nécessaires

### Protection des mains

**Gants en nitrile** : Pour manipuler la barbotine, les émaux et les produits de nettoyage.

### Protection des yeux

**Lunettes de protection** : Pour éviter les éclaboussures si vous travailler avec de la barbotine

## Comment bien se préparer à l'utilisation sur place ? Quelles questions poser au lab avant de se rendre sur place ?

### EPI obligatoires

- Quels Équipements de Protection Individuelle (EPI) sont exigés ? (masque, gants, lunettes, blouse, etc.)
- Fournissent-ils des EPI ou faut-il apporter les siens ?

### Règles de sécurité spécifiques à l'impression céramique

- Y a-t-il une formation obligatoire avant d'utiliser la machine ?
- Faut-il être accompagné d'un technicien pour la première utilisation ?
- Existe-t-il un protocole de nettoyage des machines et de l'espace de travail ?
- Quelles sont les règles pour la manipulation de la barbotine et le nettoyage des outils ?

# Les risques machines liés à l'utilisation de l'imprimante 3D céramique

## Collision lors du réglage du Z0

Lors de l'étalonnage du Z0 il y a un risque de collision avec le plateau , en fonction de la longueur de buse utilisée. Veillez à bien faire la prise d'origine en Z lors de chaque changement de buse .

## Mauvaise consistance de terre

La consistance de la terre doit être conforme en fonction du type d'extrudeur utiliser , une consistance trop ferme pourrait endommager le piston , au moindre bruit anormale ou si la terre ne sort pas après plus d'une minute il faut arrêter la machine au risque d'endommager la mécanique du pistons .

# Les éléments de sécurité communs à toutes les machines : apparence et utilisation

## Arrêt d'urgence (Bouton rouge)

Appuyer dessus en cas de problème (machine bloquée, danger imminent, feu, incident).

Interrompt immédiatement l'alimentation électrique de la machine.

## Interrupteur principal (Marche/Arrêt - I/O)

Active ou désactive complètement la machine.

À vérifier avant chaque utilisation pour s'assurer que la machine est bien éteinte avant de la manipuler.