Guide de l'impression 3D argile
Jonathan Keep (November 2020)
Traduction française Charles Eissautier
(#p.x) = pagination du document d'origine en anglais
JK = Jonathan Keep

Guide de l'impression 3D avec de l'argile (#p.1)

Impression 3D avec de l'argile (#p.5)

Limitations (#p.5)
Imprimantes (#p.6)
- La plateforme (#p.6)
- Tête d'impression (#p.6)
- Alimentation (#p.7)

Alimentation par air comprimé ou par piston mécanique (#p.7)
Couche à couche (#p.8)
Buses (#p.8)
Tableau de la taille des buses en fonction de l'épaisseur de paroi et de la hauteur de couche (#p.9)
Réglage de la hauteur de départ Z (#p.10)
Planches et rondeaux (#p.10)
Plateaux d'impression (#p.10)
Remplissage (#p.10)
Renforts (#p.11)
Séchage (#p.11)

Fichiers 3D pour l'impression avec de l'argile (#p.12)

Génération de contenu 3D (#p.12)
- Dessin 3D (#p.12)
- Numérisation (#p.13)
- Téléchargement de fichiers (#p.13)
- Codage (#p.14)
- Réalité augmentée (#p.14)

Conseils et astuces pour la préparation des fichiers 3D (#p.15)
- Épaisseur (#p.15)
- Taille du fichier (#p.15)
- Fichier "étanche" (#p.15)
- Normes de surface (#p.15)
- Support ajouté (#p.15)

Types de fichiers (#p.15)
Découpage en couches (#p.16)

De l'argile pour l'impression 3D (#p.17)
Types d'argile (#p.17)
Additifs (#p.18)
Consistance de l'argile (#p.18)
Argile dure ou molle (#p.19)
Mélange humide ou sec (#p.19)
Argile de couleur (#p.19)
Rétrécissement de l'argile (#p.20)
Ramollissement d'une argile de consistance tournage (#p.20)
Préparation mécanique de l'argile (#p.20)
Argiles connues pour une bonne impression 3D (#p.21)
    Porcelaine (#p.21)
    Grès (#p.21)
    A propos des argiles en référence (#p.22)
    Recette Jonathan Keep (#p.22)

Convertir un kossel cubique pour l'impression d'argile en 3D (#p. 23)
Plate forme - The AnyCubic Kossel (#p.24)
Tête d'impression pour l'argile (#p.26)
Alimentation de l'argile (#p.27)

Tête d'impression argile autoconstruite (#p.**31)**
La tête d'impression (#p.31)
    Pièces (#p.31)
Tube d'alimentation (#p.33)
Buses (#p.34)
Vis (#p.34)
Cura for Clay 3D Printing (#p.36)
Introduction (#p.36)
Ecran de travail (#p.36)
Configuration de l'imprimante (#p.37)
Paramètres de la tête d'impression (#p.38)
Paramètres de l'extrudeuse (#p.38)
Configuration du réglage matériau (#p.39)
Configuration du modèle d'impression (#p.39)
    Qualité (#p.39)
    Enveloppe (#p.40)

Remplissage (#p.40)
Matériau (#p.40)
Vitesse (#p.41)
Déplacement (#p.41)
La plaque d'adhérence (#p.41)
Fixer le nombre des mailles (#p.41)
Modes spéciaux (#p.41)
Expérimental (#p.42)
Importation exportation des modèles d'impression (#p.42)
Flux de travail de Cura (#p.43)
Outils d'édition de modèle (#p.43)
Menu du modèle avec clic droit (#p.43)
Bouton de couche (#p.43)
Aperçu de couche (#p.43)
Sauvegarde du G-code (#p.44)

Annexe - Documentation détaillée de la recherche (#p.44)

1 - Test de la relation entre la taille de la buse, la hauteur de la couche, la vitesse d'impression et la consistance de l'argile (#p.44)
Introduction (#p.44)
Impression de référence (#p.44)
Tests de la hauteur de la buse par rapport à la couche (#p.45)
Procédure (#p. 46)
Test des bords verticaux (#p.47)
Test du modèle à faible relief (#p.48)
Test du surplomb (#p.49)
Test de vitesse (#p.50)
Consistance de l'argile dure (#p.51)
Conclusions (#p.53)
Proportion de la hauteur de la buse par rapport à la couche (#p.54)
Vitesse d'impression (#p.54)
Résistance de l'argile dure (#p.54)

2 - Essai de six argiles pour l'impression 3D par extrusion (#p.55)
Introduction (#p.55)
Argiles testées (#p.56)
Consistance de la pâte (#p.56)
Procédure et équipement de test (#p.56)
Quantité d'eau (#p.57)

Consistance de l'argile - Drop Spike (#p.57)
Extrusion sous pression dans une seringue (#p.57)
Pression et débit dans la seringue (#p.57)
Qualité d'impression 3D (#p.58)
Résultats des tests (#p.58)
Rétrait de l'argile (#p.61)

3 - Formulation et essai d'une argile pour l'impression 3D par extrusion (#p.64)
Introduction (#p.64)
La recette de l'argile (#p.64)
Essai 1 (#p.64)
Proportions de l'eau par rapport aux ingrédients secs (#p.65)
Mesures de la consistance de l'argile (#p.65)
Tests d'impression (#p.66)
Cylindres (#p.66)
Essai bords de la pièce, de la texture et du surplomb (#p.67)
Additifs pour améliorer la plasticité et l'élasticité (#p.68)
Défloculation (#p.68)
Fibre de papier (#p.68)
La bentonite comme plastifiant (#p.69)
Recette reformulée : essai 2 (#p.69)
Essai 2 (#p.69)
Comparaison des deux essais (#p.70)

4 - Essai d'impression par extrusion de la recette n°2 (#p.70)
Introduction (#p.70)
Échantillons d'argile et préparation de l'argile (#p.71)
Outil de mesure de la gravité spécifique (#p.72)
Équipement (#p.74)
Processus (#p.77)
Conclusion (#p.79)

5 - JK Drop Spike - Outil de mesure de la consistance de l'argile (#p.79)

Impression 3D avec de l'argile (#p.4)

Les personnes intéressées par la céramique me demandent souvent si je pense que l'impression 3D sera l'avenir. Ma réponse est non, c'est un complément. Je suis un traditionaliste, j'ai une formation traditionnelle en céramique, mais je vois la tradition comme un continuum. Avec le temps, l'impression 3D sera simplement considérée comme faisant partie de la tradition céramique. C'est un procédé de mise en forme qui viendra s'ajouter à toutes les autres façons de travailler l'argile.
L'apprentissage de l'impression 3D en céramique est une démache laborieuse. Non seulement il faut acquérir toutes les compétences informatiques et les connaissances techniques des machines, mais il faut aussi bien appréhender les connaissances en matière de céramique. C'est un domaine d'échange et de partage des compétences. Il y a différentes approches, celles qui sont plus techniques et qui s'intéressent à l'ingénierie, et puis il y a celles qui sont plus créatives et qui vont probablement enfreindre toutes les règles pour voir ce qui peut être fait avec ce processus.
Cela permet d'illustrer le fait qu'il n'y a pas une seule façon de travailler dans l'impression céramique en 3D. Que ce soit pour l'équipement utilisé que pour le style de travail. Telle machine peut être plus appropriée pour des formes plus architecturales, telle machine telle autre pour des formes plus organiques. Certaines personnes s'intéressent aux matières que l'extrusion d'argile produit, tandis que d'autres s'intéressent uniquement à la forme. Je suis très attaché à ce

que les choses restent aussi simples que possible et à ce que vous soyez à l'aise avec ce qui fonctionne pour vous. Ceci est un guide et ne représente en aucun cas la seule façon de travailler dans l'impression 3D de l'argile.

Limites (#p.4)
Une chose est sûre, l'impression par extrusion d'argile a ses limites. Elle est orientée verticalement, je veux dire par là qu'elle est très bonne pour empiler mais pas pour faire des choses plates et incurvées. Elle est relativement lente et peu précise. La machine est peut-être précise, mais l'argile bouge beaucoup. Si vous voulez produire beaucoup de choses identiques, les méthodes de travail traditionnelles, comme le moulage, sont toujours les meilleures. L'impression en 3D permet de fabriquer des objets individuels ou personnalisés. Il est absurde d'associer la mécanisation à une production de masse Mais ici nous avons un processus où le fichier que vous exécuter peut être modifier pour chaque impressin que vous lancez. L'impression offre ainsi la possibilité de réaliser des séries d'objets uniques et distinctifs qui sont si souvent associés au travail de la main.

Imprimantes (#p.5)
Quand je pense aux imprimantes à extrusion d'argile, j'aime bien les diviser en trois parties : le châssis ou plateforme, la tête d'impression et l'alimentation de l'argile. Par plateforme, j'entends la machine contrôlée par ordinateur qui va déplacer la tête d'impression dans l'espace 3D. La tête d'impression est le mécanisme qui dépose l'argile couche par couche et l'alimentation est le processus qui amène l'argile jusqu'à la tête d'impression.

La plate-forme (#p.5)
Il n'existe pas de machine parfaite et les différentes façons de travailler conviennent à des configurations différentes. Le budget est également un facteur à prendre en considération, car un bras articulé à six axes peut être utilisé comme une plate-forme d'impression, mais ne correspondra pas nécessairement au budget. L'impression 3D conventionnelle consiste à empiler couche après couche des modèles en deux dimensions, de sorte que si vous n'utilisez pas tous les axes d'un bras articulé, il existe des options moins coûteuses.

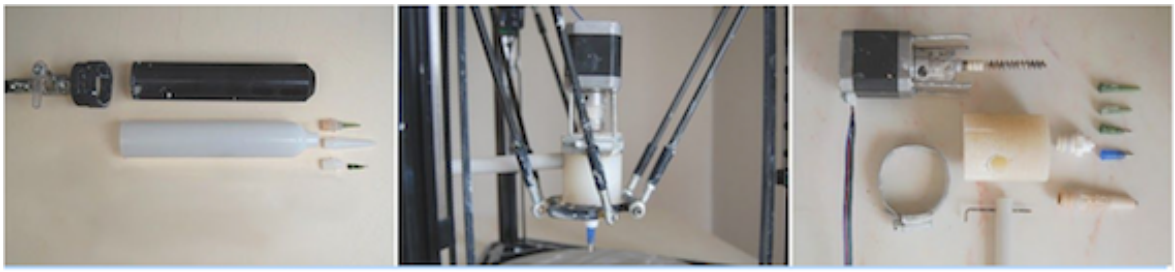
Si l'on laisse de côté l'utilisation de bras articulé pour l'impression 3D, il est plus que probable que vous vous orientiez vers une configuration de

type boîte cartésienne standard ou vers un appareil de type delta. Ma première imprimante était une RapMan, copiée du studio de design belge Unfold et c'était une boîte standard de conception cartésienne. Puis, lorsque 3D Systems a arrêté la production dde la RapMan et que j'ai cherché à construire ma propre machine, ma préférence s'est portée sur le principe Delta. N'étant pas ingénieur, la Delta semblait plus facile à construire et j'ai apprécié la surface d'impression fixe. Je fais des formes organiques qui peuvent se renverser pendant l'impression, donc je ne veux pas d'une surface d'impression qui se déplace. J'ai aussi aimé la façon dont les bras du delta se déplacent d'une manière très douce.

En comparaison et d'une manière générale, le choix d'un modèle cartésien a plus d'avantages. Le réservoir d'argile, l'alimentation, peut être plus proche de la tête d'impression ou en faire partie. Cette configuration est également préférable si vous avez besoin de largeur et de profondeur et de plus d'espace horizontal. Toutefois, pour certains modèles, il n'est pas rare que le plateau d'impression se déplace pendant l'impression : assurez-vous que votre style de travail convienne à ce choix. De plus, si vous prévoyez d'imprimer des formes compliquées à des vitesses rapides, assurez-vous que le déplacement ne soit pas géner et que le plateau ne se désaligne pas.

Tête d'impression (#p.5)
Ma première JK Self Build Delta avait une tête d'impression à flux continu. Vous allumiez manuellement le flux et l'argile arrivait en continue jusqu'à ce que vous l'éteigniez. Le flux était régulé par la pression de l'air et la consistance de l'argile devait être uniforme pour assurer une impression régulière. Le développement de la tête d'impression à vis sans fin, qui arrête et démarre l'extrusion et qui est contrôlée par le G-code du logiciel de tranchage, fut un énorme progrès. Elle a permis de réaliser des formes beaucoup plus complexes tout en régulant beaucoup mieux le flux de matière.

Une tête d'impression à vis sans fin est relativement facile à mettre en œuvre car elle utilise les paramètres de vitesse d'avance du G-code qui sont standard pour l'impression 3D en plastique. Sur une imprimante plastique, un moteur est commandé pour pousser le filament plastique dans la tête d'impression à une vitesse donnée. C'est la même chose sur une imprimante argile. Les moteurs sont les mêmes mais le débit diffère et les réglages sont effectués dans le logiciel de découpe. La vis sans fin (mêche à bois ou tarière) n'a rien de spécial et peut être adaptée à partir de pièces achetées dans une quincaillerie. Ce qui est plus difficile, c'est de trouver un moyen d'obtenir un flux constant d'argile vers la tête d'impression et c'est pourquoi il vaut mieux considérer l'alimentation comme une question distincte.

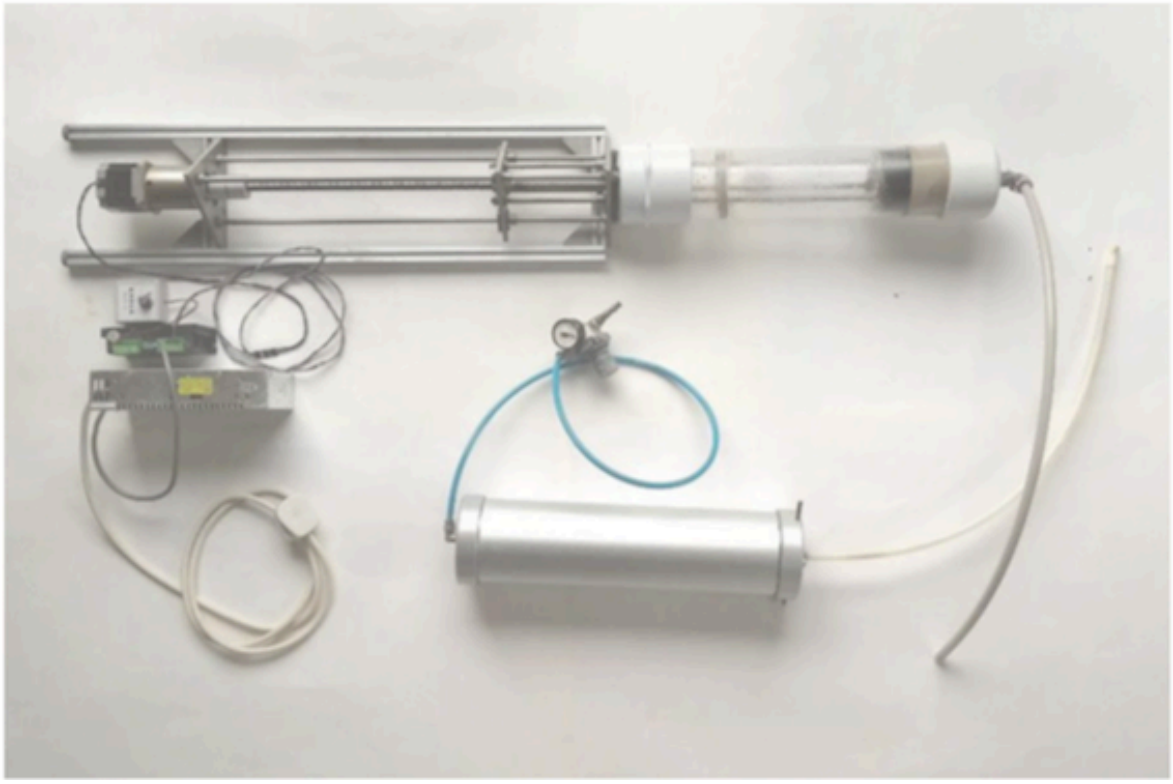


Alimentation (#p.6)
Pour en revenir à ma première Delta, l'argile provenait d'une cartouche de type pistolet à colle pressurisée supportée par la tête d'impression. C'était simple et ça fonctionnait bien, mais il y a une limite à la taille et au poids que l'on peut apliquer sur une tête d'impression mobile. La gestion du travail est importante pour moi et le fait de devoir constamment à changer et remplir de petites cartouches d'argile posait problème. En comparaison, changer pour un grand réservoir de 3 litres placé à côté de l'imprimante et fournitssant de l'argile pendant un jour ou deux d'impression a été un vrai plaisir.
Lorsque vous envisagez d'approvisionner l'argile, gardez à l'esprit que plus vous augmentez l'échelle d'une pièce en trois dimensions, plus la quantité de matériau nécessaire augmente de manière exponentielle. Si vous doublez la taille d'une pièce de 10 cm, la paroi devra devenir plus épaisse et le volume et donc la surface augmenteront. Une pièce de 20 cm de la même proportion aura besoin de huit fois plus de matériau ! Assurez-vous, d'entrée, d'avoir un bon volume d'argile en réserve.

Alimentation par air comprimé ou par piston mécanique (#p.6)
Personnellement, je préfère l'air comprimé. J'ai les deux systèmes et les deux fonctionnent aussi bien l'un que l'autre. Ce que j'aime dans l'air

comprimé, c'est qu'une fois que l'argile s’écoule, et pour moi c'est entre 4 et 6 bars de pression, vous pouvez simplement la laisser. S'il y a blocage, la pression se maintient et rien ne casse. S'il y a un problème avec l'écoulement de l'argile et que vous augmentez la pression de l'air, c'est immédiat. Avec l'air comprimé, il n'y a pas non plus d'autres paramètres de découpage à prendre en compte. Par-dessus tout, un système à air est simple et plus facile à nettoyer et à entretenir. Je crains toujours de voir quelque chose casser sur le piston mécanique. Le seul inconvénient est qu'il faut un compresseur d'air, mais je l'ai car je l'utilise pour l’émaillage au pistolet.

Des pistons mécaniques peuvent pousser de l'argile plus ferme. Cela peut être dû au style de travail personnel et à la conception de l'imprimante. Sous une pression d'air de 4 à 5 bars, j’arrive à pousser de l'argile dans un tube en nylon de 70 cm de long et de 10 mm de diamètre intérieur, alors quelle nécessité d'utiliser de l'argile plus ferme ? L'argile sous pression se déshydrate et plus la pression, piston ou air, est élevée, plus l'eau est expulsée en premier. La pression plus élevée requise pour pousser l'argile plus dure entraîne simplement un compactage plus important de l'argile dans votre piston vers l'extrémité du récipient. J'ai également constaté qu'utiliser de l'argile plus ferme sur des formes courbes peut entraîner un déstratification ou une fissuration. Mon approche consiste à choisir le parti d’une argile molle et à utiliser des lampes chauffantes ou de l'air chaud pour durcir l'argile pendant l'impression.



En haut, piston mécanique et sa commande électronique, à gauche.
En bas, à droite, Alimentation d'argile par air comprimé.
Ces deux systèmes offrent la même quantité ou le même volume d'alimentation d'argile.

Couche à couche (#p.7)
La hauteur de la couche dépend de la largeur de la paroi et de préférence personnelle. En règle générale, la hauteur de la couche est égale à un tiers de la largeur de la paroi. Plus la hauteur de la couche est faible par rapport à la largeur de la paroi, plus votre impression sera stable, surtout lorsque la paroi commence à s'évaser ou à se rétrécir. Si vous préférez un aspect plus arrondi aux couches d'impression, la hauteur par rapport à la largeur sera plutôt dans un rapport de un pour deux. Veillez toutefois à ce que vos couches soient bien comprimées, sinon vous risquez un manque d'adhérence au séchage...

La largeur de la paroi dépend de la taille de la buse. Le dépot dargile est un peu plus large que celui de la buse. Donc, essayons de mettre des chiffres là-dessus. En utilisant une buse de 1,6 mm, la paroi s'étend à 1,8 mm / 2 mm et je règle la hauteur de la couche dans le programme de tranchage à 0,6 mm. Une buse de 2 mm donne une largeur de paroi d'environ 2,2 à 2,5 mm et la hauteur de la couche est réglée à 0,8 mm. Sur une machine plus grande utilisant une buse de 3,5 mm, la paroi d'impression est d'environ 5 mm / 6 mm de large et j'utilise une hauteur

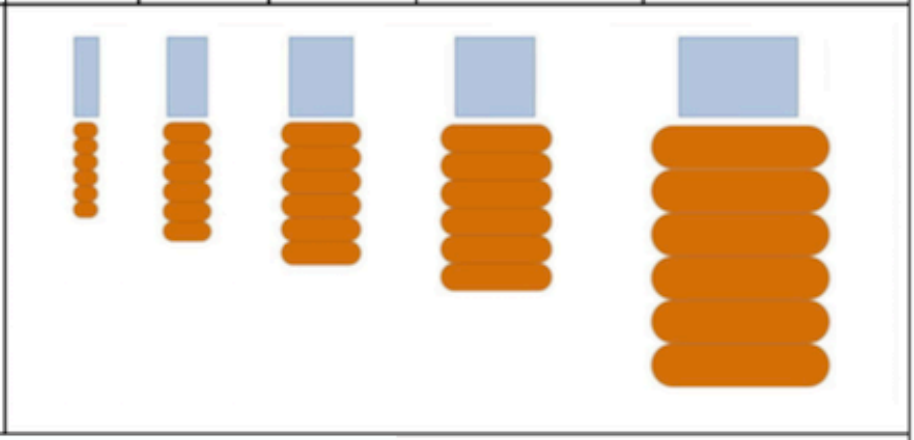
de couche de 1,2 mm. Ici, la hauteur de la couche correspond plutôt à un quart de la largeur de la paroi.

Buses (#p.7)
La taille de la buse change en fonction de l'échelle de l'impression. Elle détermine également la quantité de détails obtenus. Un coin ou une arête ne peut pas être plus net que ce que permet le diamètre de la buse. Comme nous l'avons vu plus haut, la buse influence la hauteur de la couche, donc si vous recherchez une hauteur de couche fine, vous devrez utiliser une petite buse.
Si je recherche des détails dans un tirage de 20 à 30 cm de hauteur, j'utiliserai une petite buse de 1,6 mm mais je découperai mon modèle pour avoir une paroi de double épaisseur. La hauteur de la couche sera de 0,6 mm. Cela sera lent à imprimer mais donne de la force, de la stabilité et des détails fins à la paroi.
Une buse de 2 mm est probablement une bonne taille de départ pour imprimer des objets de 10 à 20 cm de hauteur avec une seule paroi. Vous pouvez évidemment utiliser la buse de la taille que vous souhaitez, mais si vous recherchez une extrusion de grande taille, assurez-vous d'abord que votre machine puisse faire passer suffisamment d'argile pour la taille de la buse. Ensuite, comme je l'ai indiqué en parlant de la distribution de l'argile, plus la taille de la buse augmente, plus la quantité d'argile utilisée augmente considérablement.

Il y a beaucoup plus d'informations sur la taille de la buse et la hauteur de la couche dans l'annexe 1 : Test de la relation entre la taille de la buse, la hauteur de la couche, la vitesse d'impression et la consistance du matériau pour l'impression 3D par extrusion d'argile.

Visualisation de la taille de la buse par rapport à l'épaisseur de la paroi et la hauteur de la couche (#p.8)
Voici un tableau à peu près proportionnel offrant une visualisation de la taille de la buse (bleu gris) par rapport à la largeur et à la hauteur de l'extrusion dans une extrusion à six couches. Il n'y a évidemment pas de choix idéal ; c'est le reflet de ma propre expérience présentée comme une approche. Il s'agit de rechercher l'aspect de stratification le moins évident avec la portée la plus horizontale, afin de pouvoir imprimer des parois stables en porte-à-faux ou des parois courbes en un passage. Mon observation est que plus la buse est grande, plus la surface extrudée est étendue, de sorte que la paroi est beaucoup plus large que la buse. Il faut donc considérer le rapport entre la hauteur de la couche

et l'épaisseur de la paroi plutôt que la hauteur de la couche et la taille de la buse.

Ø de la buse	0.6	1	1.6	2	4
Larg. ou épaisseur paroi	0.6	1.1	1.8	3	6
Epaisseur couche	0.4	0.5	0.6	0.7	1.2
Rapport hauteur épaisseur	2:3	1:2	1:3	1:4	1:5
					
Toutes les dimensions en mm - rapports arrondis					

Réglage de la hauteur de départ Z (#p.9)
La hauteur de départ z ou ce que l'on appelle souvent la mise à niveau dans l'impression sur plastique, varie d'une machine à l'autre. Dans les imprimantes les plus simples, telles que la JK Self Build delta, la hauteur z est définie dans le microprogramme de l'imprimante. Chaque fois que vous lancez l'imprimante, elle commence à imprimer à la même hauteur. La façon la plus simple de modifier la hauteur, si vous changez par exemple la longueur de la buse, est de modifier l'épaisseur des supports sous le point de départ.
D'autres machines sont équipées d'un capteur de hauteur qui est fixé à la tête d'impression chaque fois que vous souhaitez réinitialiser la hauteur de départ à partir du réglage par défaut du microprogramme. La nouvelle hauteur de départ est conservée jusqu'à ce que vous reveniez aux réglages par défaut du microprogramme ou que vous réinitialisiez la hauteur avec le capteur. Sur d'autres machines, la hauteur de départ peut être réglée ou modifiée dans les paramètres de l'écran lcd du panneau de contrôle. Si c'est le cas, l'option "Préparer" de l'écran lcd vous permet de régler la hauteur z. Quel que soit le système, il est important que la buse de la tête d'impression effleure votre support

d'impression afin que la première couche de votre impression soit écrasée et se fixe à ce que vous imprimez. Un bon compromis se situe juste en dessous de la moitié de la hauteur de votre couche.

Supports et rondeaux (#p.9)
Il est préférable d'imprimer sur un support ou un rondeau afin de pouvoir retirer facilement de la machine les impressions terminées. Comme il est important d'obtenir une première couche de hauteur z correcte sur chaque impression, il est logique de standardiser l'épaisseur de toutes vos supports.
Il est préférable de fabriquer les supports ou les rondeaux avec un matériau poreux aussi lisse que possible afin que l'argile humide sèche en se détachant du support. Les rondeaux en plâtre de Paris ou les supports en bois sont bons. Mouillez la planche ou le plâtre avec une éponge humide juste avant l'impression pour que l'argile adhère à la surface du su support.

Imprimer les fonds (#p.9)
Si vous avez une pièce avec un fond, celui-ci peut être imprimé. Vous ne devez pas prévoir une épaisseur pour le fond dans votre modèle 3D mais le définir dans le programme de découpage. Il y aura un réglage pour l'épaisseur supérieure et inférieure. Dans le logiciel Cura, vous pouvez sélectionner uniquement une épaisseur inférieure. L'épaisseur sera imprimée en couches et je vous suggère d'imprimer au moins trois couches. L'épaisseur que vous devez entrer est donc égale à trois fois la hauteur de la couche. Cependant, sachez que les fonds imprimés, surtout lorsqu'ils sont grands, peuvent avoir tendance à se fissurer. Ce problème peut être résolut en imprimant sur un support en plâtre poreux, de sorte que l'argile humide n’adhère pas en séchant.
Si vous imprimez des objets avec une grande base, il est préférable de placer une plaque d'argile et d'imprimer dessus. La plaque d'argile peut être assez rigide et votre réglage de la hauteur z n'a pas besoin d'être précis car ce n'est pas un problème si la buse entaille un peu la plaque d'argile. Dans le programme de découpage, vous préparez votre modèle pour qu'il n’est pas de fond. Après l'impression, il suffit d’enlever l’excès d'argile autour de l'impression dès qu'il est assez ferme pour être manipulé sans déformation.

Remplir (#p.9)
Les paramètres de remplissage disponibles dans les logiciels de découpe peuvent être utilisés pour l'impression avec de l'argile mais ont

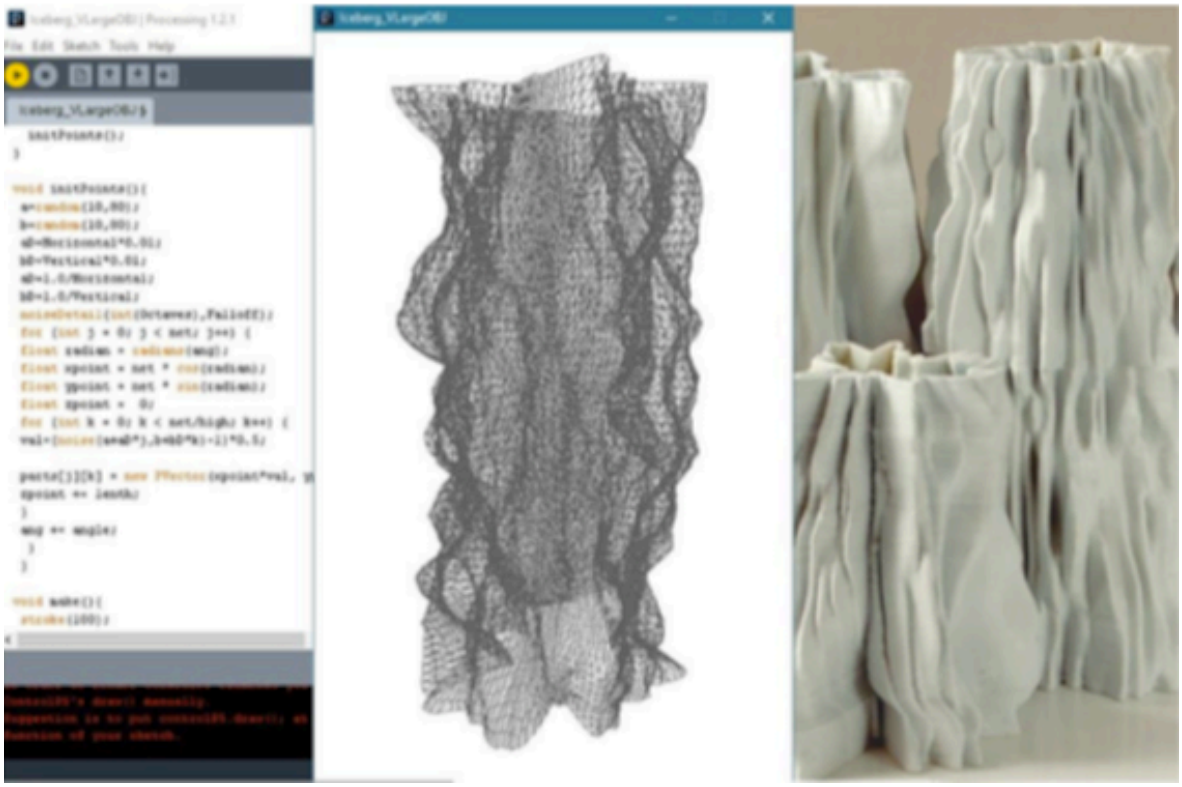
tendance à devenir assez désordonnés jusqu'à ce que vous affiniez tous vos paramètres. Les programmes de découpage offrent de nombreux paramètres qui devront être expérimentés. Si vous envisagez un remplissage, il est préférable d'imprimer deux ou plusieurs parois de manière à ce que la paroi extérieure soit imprimée proprement et que seule la paroi intérieure soit concernée par le modèle de remplissage.

Renforts (#p.10)
La plupart des renforts proposés par les logiciels de découpage sont trop fragiles pour être construits avec de l'argile tendre. Il vaut mieux intégrer un support solide et imprimable dans votre modèle au stade du dessin avant le découpage. Vous pouvez aussi, pendant l'impression préparer un support avec de l'argile et l'appliquer pendant impression selon vos besoins. Il peut être utile de poser de petites longueurs de fil métallique rigide fin en travers de l'impression, pour soutenir les zones difficiles d'accès. Les fils de fer disposés en travers d'une forme peuvent aider à lui donner de la rigidité. Ces longueurs de fil sont retirées après l'impression avant que la pièce ne soit sèche. Le petit trou à la surface peut être retouché avec un peu d'argile.

Séchage (#p.10)
En séchant, l'argile se rétrécit et il faut éviter un séchage inégal car cela peut créer des distorsions et des tensions qui, au pire, peuvent entraîner des fissures. Les pièces doivent sécher de manière uniforme. On peut laisser sécher la plupart des tirages naturellement dans une pièce, mais s'il y a du remplissage ou des structures internes, il vaut mieux les protéger sous du plastique pour qu'il sèche plus lentement. Les pièces en argile doivent être parfaitement séches avant d'être cuites dans un four.
Les tirages peuvent être séchés pendant l'impression et devenir autoportants afin de ne pas s'affaisser. Si votre forme est autoportante, il est préférable d'éviter le séchage forcé. Si vous séchez, ne séchez pas trop fort. Séchez de préférence tout autour de votre tirage et une fois que vous avez commencé à sécher, il est préférable de continuer. Ce n'est pas indispensable, mais le séchage modifie légèrement le caractère de surface et, sur une forme pure, tout séchage ultérieur provoque une déformation de la surface. Les lampes chauffantes (comme celles des terrariums) ou les lampes photographiques sont parfaites car la chaleur rayonnante n'est pas trop forte et doivent être placée autour de la forme. L'air chaud convient également, mais le mouvement de l'air ne doit pas être trop fort pour ne pas pertuber les

dépots d’argile.

Fichiers 3D pour l'impression de l'argile (#p.11)



Ce sont vos propres fichiers 3D destinés à l'impression céramique qui vous permettront de vous distinguer. Nombreux sont ceux qui sont capables d’utiliser une imprimante argile, mais ce sera votre créativité et votre individualité qui rendront ce que vous imprimerez spécial. Les fichiers bien faits s'impriment mieux et il existe de nombreuses façons et combinaisons de techniques pour générer du contenu numérique en 3D.

Génération de contenu 3D (#p.11)

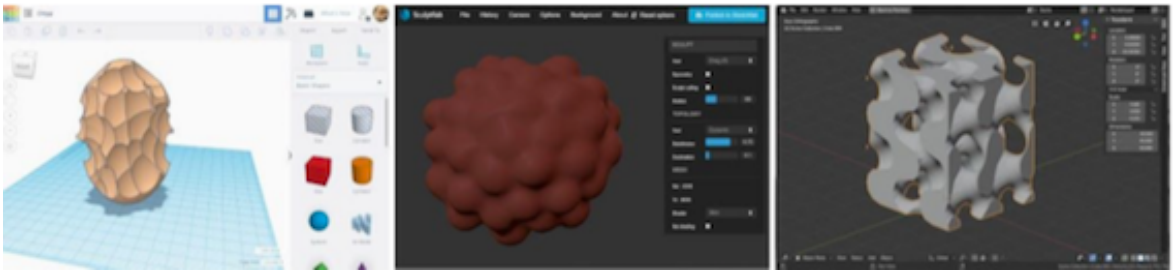
Dessiner en 3D (#p.11)
Pour commencer, inutile d’être dérouté par un logiciel de modélisation 3D spécialisé haut de gamme. Il existe des solutions web gratuites et faciles à utiliser qui présentent soit l’utilisation de formes primitives, soit un programme de sculpture qui ressemble au travail de l'argile virtuelle.

Tinkercad https://www.tinkercad.com/ (#p.11)
à un côté jouet pour enfants, mais prenez le temps de l’explorer : les possibilités sont infinies. Le principe est de coller, d’assembler ou de soustraire des formes dites booléennes. Avant de télécharger un

fichier .stl pour l'impression, assurez-vous que vous avez bien regroupé toutes vos formes, positives et négatives, en une forme "étanche". Cela garantit qu'il n'y a pas de surfaces d'intersection non groupées ou d'éléments flottant à l'intérieur de votre modèle, car ceux-ci peuvent poser des problèmes lorsque vous allez préparer le G-code pour votre imprimante. Notez que les fichiers 3D peuvent être importés dans Tinkercad afin que ce programme puisse être utilisé pour éditer, déformer, découper, assembler des formes 3D trouvées ou générées à partir d'autres sources.

Sculptfab https://labs.sketchfab.com/sculptfab/ (#p.11)
est un outil de dessin beaucoup plus organique. Avec une sélection de pinceaux virtuels, vous sculptez sur un espace sphèrique. Les fichiers peuvent être importés dans et exporté de Sculptfab afin de pouvoir à nouveau être utilisé par d'autres logiciels. Les maillages 3D sculptés peuvent être très détaillés, ce qui se traduit par des fichiers de grande taille. Si vous souhaitez travailler de cette manière, servez des paramètres de la topologie, pour réduire le détail du maillage .

Blender https://www.blender.org/ (#p.12)
C'est celui que je conseille pour le dessin 3D lorsque vous vous sentez prêt à utiliser un logiciel de modélisation haut de gamme. Développé pour l'animation plutôt que pour l'ingénierie, ce n'est pas le premier auquel on pense, mais étant open source, gratuit à télécharger et à utiliser, ce logiciel incroyablement puissant ne cesse de m'étonner. Il n'y a pas de raccourcis pour apprendre à l'utiliser, il suffit d'y passer des heures. Grâce à l'immense communauté qui le suit, vous ne manquerez jamais de didacticiels en ligne pour vous aider. Blender propose des modèles de maillage comme Tinkercad, mais aussi de la sculpture comme Sculptfab sur la même plateforme, et bien plus encore. Il n'est pas mal non plus comme programme de montage vidéo, si vous en avez besoin. Et il est tout à fait gratuit.



Scanning (#p.12)

La numérisation 3D permet d'obtenir un fichier numérique imprimable à partir d'objets physiques. Ayant gardé un œil sur la numérisation 3D accessible depuis quelques années, les techniques de photogrammétrie offrent des résultats parmi les plus intéressants. C'est ainsi qu'un certain nombre de photos, 30 à 60, sont prises sous différents angles de l'objet à reproduire, puis le programme assemble ces informations 2D en un maillage 3D.

Agisoft https://www.agisoft.com/ (#p.12)
est un logiciel que j'ai utilisé et qui donne de bons résultats. C'est un logiciel propriétaire, mais si vous cherchez un essai de 30 jours, vous pouvez tester ses capacités.

Téléchargement de fichiers (#p.12)
Le copier-coller, ou "mash up", offre des possibilités qui reflètent les modes de travail numériques contemporains. Il existe des masses de fichiers 3D à télécharger sur l'internet, mais j'espère que votre intérêt pour l'impression 3D est de réaliser vos propres œuvres originales. Comme pour les remixes musicaux ou les collages graphiques, le téléchargement de fichiers offre un moyen d'obtenir des fichiers 3D prêts à être ré-appropriés dans votre propre travail.

MyMiniFactory, Scan The World https://www.myminifactory.com/scantheworld/ (#p.13)
est un exemple de ressource qui offre un matériel infini. Ce site web propose des scans 3D d'objets provenant de musées du monde entier, tels que le V&A de Londres, le Louvre de Paris et le Metropolitan Museum de New York.

Codage (#p.13)
Les programmes de dessin en 3D offrent une interface visuelle mais derrière l'écran, s'exécute du code informatique. Il est évidemment tout à fait possible de générer des fichiers 3D directement à patir du code. On génère un maillage 3D qui est ensuite passé dans un programme de découpage pour donner le G-code. Le G-code est le langage que les

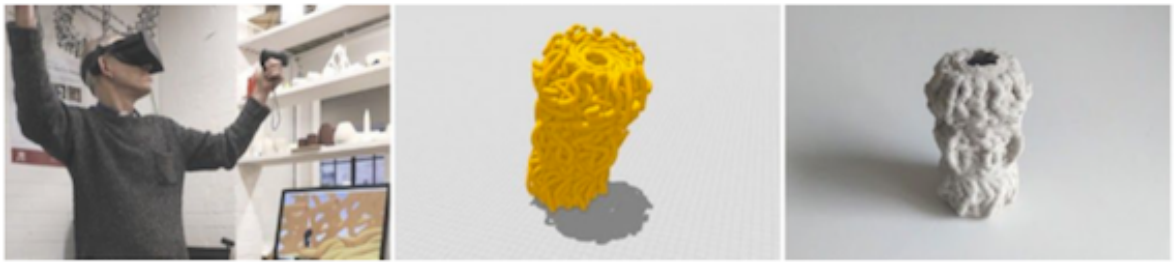
imprimantes 3D comprennent. Il peut être généré directement à partir d'une plate-forme de codage informatique.

Processing https://processing.org/ (#p.13)
est la plate-forme de codage que j'utilise. Développée en pensant aux artistes visuels, cette plateforme open source utilise le langage informatique Java et dispose également d'une communauté en ligne importante et solidaire.
La chaîne YouTube de Dan Shiffman, Coding Train, est une ressource éducative inestimable https://www.youtube.com/user/shiffman/featured

Réalité augmentée (#p.13)
Les casques de réalité virtuelle tels que l'**Oculus Rift** offrent des capacités de dessin en 3D. Au fur et à mesure que cette technologie de simulation 3D se développera, elle offrira une expérience du corps entier plus intéressante pour travailler dans l'espace virtuel. Ce que j'ai fait jusqu'à présent, je préfère le considérer comme de la réalité augmentée, plutôt que comme de la réalité virtuelle, car j'ai utilisé cette technologie pour dessiner des objets en 3D qui sont réalisés comme des objets physiques.

Le système Vive VR https://www.vive.com/uk/ que propose **Tilt Brush** https://www.tiltbrush.com/ est, au moment où j'écris ces lignes, davantage un programme de peinture mais qui produira des fichiers 3D, mais qui est plutôt basique. Il enregistre sous forme de fichier de type .fbx qui peut être ouvert/importé dans le logiciel Blender pour l'édition et la préparation de l'impression 3D.

Gravity Sketch https://www.gravitysketch.com/ (#p.13)
est un logiciel commercial pour la modélisation 3D de la réalité virtuelle et est un logiciel intéressant et les fichiers 3D peuvent être exportés sous forme de fichier de type .obj. L'équipement de RV Oculus Rift possède son propre programme de modélisation 3D appelé Medium qui est un logiciel basé sur les voxels (sorte de pixel 3D) qui rend les fichiers plus faciles à éditer par la suite que les fichiers de type Gravity Sketch ou Tilt Brush. Actuellement, Medium est le logiciel de RV le plus intéressant à mon avis.



Conseils et astuces pour la préparation des fichiers 3D (#p.14)

Épaisseur (#p.14)
L'épaisseur d'une paroi d'impression est définie par l'épaisseur de l'extrusion. Pour l'impression par extrusion d'argile, vous ne devez pas donner d'épaisseur de paroi à votre modèle. Si vous le faites, l'imprimante essaiera éventuellement d'imprimer la paroi intérieure et extérieure en fonction des paramètres de votre logiciel de découpe. Lors de la modélisation pour ces machines, il suffit de définir un seul chemin pour la paroi du modèle. Si vous souhaitez une paroi double, triple ou plus épaisse, cela est défini dans le logiciel de découpe. Par défaut, le chemin que vous tracerez sera le centre de l'extrusion ou de la combinaison/multiples d'extrusions.

Taille du fichier (#p.14)
Il est logique que la qualité des détails de votre fichier 3D soit conforme à la fidélité de votre imprimante. La taille de la buse, associée à la hauteur de la couche, déterminera le détail de votre impression finale. Pour une résultat basique rien ne sert un fichier de haute qualité, avec beaucoup de mémoire difficile à gérer par machine. Blender propose un outil qui permet de réduire la taille du fichier par dix ou plus.

Dossier étanche (#p.14)
Comme je l'ai dit, meilleur est le fichier meilleure sera l'impression. Pensez au trajet de la tête d'impression : plus ce mouvement est continu, plus l'impression sera propre. Il est préférable d'avoir un fichier 3D dit "étanche". Cela signifie qu'il n'y a pas de trous dans votre forme et que toutes les surfaces forment une enveloppe continue. Les programmes de découpage s'améliorent sans cesse pour traiter les fichiers problématiques, mais tous les fichiers 3D ne se découpent pas parfaitement.

Normes de surface (#p.14)
Chaque surface dessinée par ordinateur a un recto et un verso dits normales. Les normales peuvent poser des problèmes lors du

découpage des fichiers. Toutes les normales doivent être orientées dans la même direction, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur. Dans le mode d'édition de Blender, il existe un réglage permettant de contraindre les normales dans une direction.

Support ajouté (#p.14)
Comme nous l'avons déjà mentionné, il n'est souvent pas possible d'imprimer dans l'argile les surplombs réalisés par les programmes de tranchage. La solution consiste à ajouter des formes de soutien dans votre modèle 3D lors du dessin du modèle ou à modifier le modèle pour éviter les surplombs si possible. Par exemple, si vous imprimez un portrait, il arrive souvent que le dessous du menton dépasse trop pour et que les couches s'affaissent. Dans votre programme de modelage, créez un coin étroit de 45 degrés sous le menton qui s'imprimera, puis une fois l'argile durcit, vous pourrez le supprimer.

Types de fichiers (#p.14)
Tout comme le format .jpg est devenu la norme pour les photographies en 2D, le type de fichier .stl est devenu la norme pour les modèles en 3D à imprimer. Vous aurez à exporter un fichier .stl à partir du programme utilisé pour générer votre fichier 3D. Ce programme a son propre format de sauvegarde. Le type de fichier .obj 3D est également très utilisé et, comme les fichiers .stl, il peut être lu par la plupart des programmes de tranchage.

Les programmes de découpage en couches (tanchage) produisent un fichier G-code. Le G-code est le langage informatique utilisé par de nombreuses machines guidées par ordinateur telles que les machines CNC et les imprimantes 3D. Dans sa forme la plus simple, il n'est pas trop compliqué et un fichier G-code peut être ouvert dans un éditeur de texte. Il n'est pas trop difficile à lire et à comprendre. Comme pour la conduite d'une voiture, vous ne devriez pas avoir à regarder sous le capot pour faire fonctionner la machine, mais si vous vous intéressez à la façon dont les choses fonctionnent, le G-code n'est pas compliqué. Chaque ligne de code envoie une commande à la machine. La commande G1 déplace la tête d'impression d'une position xyz dans l'espace tridimensionnel graphique défini par votre zone d'impression à la position xyz suivante. F représente la vitesse à laquelle la machine se déplacera et E est la quantité de matière à extruder par la tête d'impression lors de chaque déplacement.

Tranchage (#p.15)
Une fois que vous avez votre modèle 3D, il devra être découpé en couches afin que l'imprimante 3D puisse construire la forme. Il existe un certain nombre de programmes de tranchage, gratuits ou propriétaires. Chacun aura sa préférence, mais pour commencer, Cura https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura d'Ultimaker conviendra parfaitement. Les programmes de tranchage sont principalement développés pour les imprimantes de plastique, il n'y a donc pas de paramètres prédéfinis ou par défaut pour l'argile. Vous devrez définir vos propres réglages qui fonctionneront avec l'argile.
Note : Voir la section sur la configuration de Curra pour l'impression de l'argile.

De l'argile pour l'impression 3D (#p.16)

Tout type d'argile peut être utilisée pour l'impression 3D mais certaines argiles s'impriment mieux que d'autres. Pour commencer, recherchez une argile qui ne soit pas trop collante, à la texture fine et qui sèche rapidement. Au fur et à mesure que vous comprendrez le processus, vous pourrez très bien passer à des argiles aux propriétés différentes pour répondre à vos besoins spécifiques, comme des argiles qui sèchent lentement si vous faites des impressions longues. Si vous utilisez une imprimante avec une tête d'impression à vis sans fin, éviter les chamottes, sous peine d'usure rapide.
L'utilisation de l'argile pour l'impression 3D par extrusion ne diffère pas beaucoup des méthodes traditionnelles de travail de l'argile. Dans l'imprimante, l'argile molle et malléable est mise en forme couche par couche, comme dans l'une des techniques céramiques les plus anciennes et les plus basiques, le colombin. La dépose de colombins

assistée par ordinateur pourrait presque être la meilleure description de l'impression en 3D. Ensuite, comme de coutume dans le travail de l'argile, l'objet est séché puis cuit dans un four. Si l'on souhaite recouvrir l'objet d'une glaçure, il est normal d'appliquer la glaçure après dégourdi puis de procéder une 2° cuisson.

Types d'argile (#p.16)
Les argiles rouges pures (terres à faïence) sont souvent collantes : dans un long tube fin elle ne s'écouleront pas très bien. Si l'imprimante s'arrête et démarre beaucoup, l'argile collante pollue tout. Les argiles rouges fines sont dans l'ensemble lentes à sécher. La Red Clay dégraissée ou mélangée à d'autres argiles passe mieux dans le système d'impression et sèche plus rapidement.

Les argiles blanches avec une bonne quantité de chamotte de 0,2 mm (15 à 30 %) semblent bien fonctionner. (La chamotte est une poudre de céramique déjà cuite et broyée) La chamotte rend la l'argile moins collante et, comme le sable dans la Red Clay, et le mélange se déplace mieux dans le système. Il donne un peu plus de structure au mélange pour aider les formes imprimées à rester debout. Les argiles chamottées sèchent également plus uniformément et plus rapidement. De nombreux fournisseurs indiquent sur l'étiquette du paquet la quantité de chamotte contenue dans l'argile. Un grès fin chamotté est un bon point de départ.

J'ai beaucoup imprimé avec de la porcelain car je cherche j'apprècie la qualité de sa glaçure. La porcelain a cependant un très fort retrait, ce n'est donc pas l'argile la plus facile imprimer. Elle n'est peu plastique ou collante, donc elle s'extrude assez bien et sèche rapidement.
Remarque : un document très complet et détaillé sur les tests de six argiles figure en annexe 2 : Essai de six argiles pour l'impression 3D par extrusion.

Additifs (#p.17)
Je n'utilise pas d'additifs de l'argile comme les agents défloculants, les agents de séchage comme l'alcool ou les matériaux ajoutés comme la fibre de papier. Il peut y avoir des avantages à les utiliser et n'hésitez pas à les essayer, mais je me débrouille bien sans eux et je travaille selon le principe de la simplicité. L'argile de base est un si beau matériau que je ne cherche pas à trop la dénaturer.
Trop de déflocalisation n'est certainement pas une bonne chose. La défloculation, telle qu'elle est utilisée dans le coulage de barbotine, rend

l'argile thixotrope. Lorsqu'elle est agitée, l'argile devient plus liquide et elle ne fonctionne pas dans une tête d'impression à vis. Même si l'on utilise une extrusion à flux direct, l'argile ne forme pas une bonne couche. La défloculation peut se produire de manière inattendue en utilisant de l'eau douce (alcaline), en particulier pour les porcelaines. La solution consiste à mélanger une petite quantité de vinaigre dans l'argile (5 ml par 10 kg d'argile). On peut souhaité utiliser de l'argile préparée pour le coulage de barbotine pour l'impression 3D car cette argile contient moins d'eau, mais on se heurte au problème de la thixotropie. Évitez les argiles de coulage !
En Italie, en collaboration avec WASP, nous avons fait des tests en utilisant du bioéthanol mélangé à 50/50 avec l'eau utilisée pour préparer l'argile. Je pense qu'il pourrait y avoir des avantages quant à la vitesse de séchage de l'argile, mais dans mon atelier, travaillant en espace clos, les vapeurs seraient trop importantes, et je n'ai pas donné suite à cette idée. Je préfère utiliser des lampes chauffantes ou des souffleries d'air chaud pour activer le séchage pendant l'impression.
J'ai fait quelques expériences avec des additifs et les résultats se trouvent en annexe.

Cohérence de l'argile (#p.17)
L'argile destinée à l'impression 3D par extrusion doit être suffisamment souple pour passer dans la machine, mais il ne faut pas qu'elle soit trop molle qu'elle puisse se soutenir d'elle-même lors de l'impression. La mesure de cette consistance n'est pas simple mais quelque chose qui ressemble à du dentifrice est une bonne référence. La surface de l'argile paraîtra juste humide mais pas saturée.
Les différentes argiles ont des caractéristiques différentes et absorbent des quantités d'eau différentes pour devenir molles, il est donc difficile de donner des chiffres exacts. Il s'agit de se faire une idée et je me trompe encore. Excusez l'analogie, mais si vous laissez tomber des boules de votre argile préparée, elle devront ressembler à une bouse de vache bien saine. Si le tas s'affaisse comme des bouses de vaches qui ont brouté de l'herbe fraîche de printemps, il est trop mou. S'il n'y a pas de "jeu" entre les couches, c'est que l'argile est probablement trop dure. Comme je l'ai dit, recherchez une bonne qualité de bouse de vache saine ! (Avis aux vétérinaires reconvertis dans la céramique ! Note de Charles)
Voir JK Drop Spike pour mesurer la consistance de l'argile.

Argile dure ou molle (#p.18)

La pression, obtenue soit par l'air comprimé soit un piston mécanique, est utilisée pour forcer l'argile à travers le système. Sous pression, l'eau est éjecter hors du mélange d'argile et plus la pression est élevée, plus cela se produit. Il semble logique d'utiliser de l'argile dure pour éviter l'effrondrement du modèle, mais il faut augmenter la pression pour la faire passer dans le système, ce qui augmente l'assèchement et rend l'argile encore plus dure dans le réservoir. Une argile plus dure peut également empêcher les couches imprimées de coller les unes aux autres et provoquer des décollements ou des fissures. Jai finallement choisi une argile molle nécessitant 4 à 5 bars de pression. J'ai effectué quelques tests à ce sujet dans l'annexe.

Mélange humide ou sec (#p.18)
Le mélange à extruder peut être préparée à partir d'argile de tournage ou à partir d'argile sèche en poudre. Les particules d'argile ont une forme plaquettes qui sont lubrifiées par l'eau qui les sépare. C'est cette structure qui donne à l'argile sa plasticité et les différents types d'argile ont des tailles de plaquettes différentes. Les argiles très fines comme les argiles rouges sont plus collantes et ne fonctionnent pas aussi bien dans l'impression par extrusion que les argiles à plaquettes plus grosses, comme la porcelaine.
Bien que l'on puisse ramollir rapidement l'argile avec de l'eau, il faut compter un jour ou plus pour que l'eau pénètre dans les particules les plus fines. L'argile mélangée aujourd'hui sera donc un peu plus dure demain, même conservée dans du plastique, non pas parce que l'eau s'est évaporée, mais parce qu'elle a été davantage absorbée dans le mélange. Il est donc préférable d'utiliser de l'argile prête à l'emploi plutôt que de la mélanger à partir d'une poudre. L'argile fraîchement mélangée à partir de poudre sèche a souvent une texture légèrement granuleuse et manque de plasticité, et la plasticité donne de meilleurs résultats d'impression. Si préparez un mélange à partir d'argile sèche, laissez vieillir aussi longtemps que possible avant de l'utiliser, de préférence des jours, des semaines, voire des mois.

Argiles de couleur (#p.18)
Il n'y a aucun problème d'impression avec des argiles teintées ou colorées. Pour les argiles de couleur claire, afin que la couleur soit visible, il est préférable d'ajouter également des couleurs céramiques et de choisir une argile qui imprime bien au départ. Il est important de bien mélanger la couleur pour que l'argile se ramollisse au point de pouvoir la tamiser et la laisser sécher à nouveau. Il est possible de mélanger

différentes argiles naturellement colorées pour obtenir des couleurs plus terreuses.
A partir d'une réserve d'argile colorée, vous constaterez qu'une fois extrudée, il n'y a pas de distinction nette d'une couche à l'autre, mais un mélange. Cela est dû au fait que le matériau se déplace plus rapidement au milieu de l'extrusion et freine sur la surface extérieure. Pour une bonne impression en deux couleurs ou plus, vous aurez besoin d'un réservoir et d'une tête d'impression spécifique pour chaque couleur. Voir le projet de **Tom Lauerman**.
https://wikifactory.com/@tom/stories/dual-color-clay-printing-experiences-spring-2019

Retrait de l'argile (#p.19)
Le retrait est différent suivant les argiles. Lorsque l'argile sèche et que l'eau s'évapore, l'argile se contracte, mais le retrait continue encore au moment de la cuisson d'autant plus important que la température est élevée. Normalement, le retrait se fait également dans toutes les directions, mais avec les formes imprimées en 3D, le retrait est plus important à la verticale qu'à l'horizontale. Je suppose que cela a un rapport avec le fait que la compression des couches. À titre indicatif, le grès rétrécit d'environ 13 % dans la verticale et de 8 % dans l'horizontale. La porcelaine que j'utilise, cuite à 1220°C degrés, rétrécit jusqu'à 20 % ou plus dans le sens vertical et 16 % dans le sens horizontal.
Vous trouverez les résultats des tests de retrait en annexe.

Ramollir à la main de l'argile de qualité tournage (#p.19)
Prenez un fil de potier et coupez le bloc d'argile en fines couches (1 cm). Avec une fourchette de cuisine, lacérez le plus possible la surface de chaque couche, puis trempez les couches dans un seau d'eau et empilez-les. Il faut exposer autant de surface que possible à l'eau. En laissant tremper pendant la nuit, l'argile devrait assez bien se ramollir. Si vous êtes pressé, écrasez l'argile en la mélangeant soigneusement avec de l'eau. Il sera peut être nécessaire d'étaler l'argile et la lacérer à nouveau avec la fourchette en ajoutant de l'eau.

Je travaille sur une planche non poreuse, du mélaminé par exemple et j'utilise une éponge pour le surplus d'eau. Le mélange à la main se poursuit jusqu'à ce qu'à avoir la bonne consistance (comme du dentifrice) et que toute la masse d'argile soit homogène. Le mélange à la main vous permet de sentir les grumeaux. Pour de bons résultats,

l'argile doit être parfaitement homogène. Toute incohérence de texture se traduira par des défauts. Lorsque vous mélangez l'argile, éviter que des bulles d'air soinet emprisonnées dans la pâte. Rassembler des couches de pâte avec la main en forme de coupe en les empilant semble fune bonne solution.

Vous trouverez ici une vidéo de base sur la préparation d'une masse d'argile à la main.
https://www.youtube.com/watch?v=CyeAMd2WKVY&list=PLD_uR9vw07u-aALlZZeLFe3dA29_3ovHw&index=9

Préparation mécanique de l'argile (#p.19)
Quiconque possède une boudineuse (désaéreuse) a de la chance car ce matériel bien que coûteux fait un bon travail. Ces machines mélangent l'argile. Il faut une boudineuse de bonne qualité. À mon avis, le mélange mécanique ne vaut la peine d'être fait que pour des quantités importantes, car pour de faibles quantité, le temps nécessaire pour nettoyer la machine dépasse le temps qu'il aurait fallu pour un mélange à la main.
Pour mélanger de la poudre en vrac, j'utilise un pétrin, mais toujours à consistance beaucoup plus molle que celle que je souhaite pour l'impression. Je laisse le mélange à découvert pour qu'il sèche lentement jusqu'à la consistance voulue, ce qui lui donne le temps de bien se mouiller et de vieillir. C'est la technique que j'utilise pour des quantités importantes. La pâte est stockée dans des sacs en plastique et je mélange à la main chaque lot avant de l'utiliser.

Des argiles connues pour bien imprimer en 3D (#p.20)

Porcelain Clay (#p.20)
Au Royaume-Uni, j'ai imprimé avec succès les pâtes à porcelaine Clay Royal et Special de Valentine Clays. J'ai essayé le Valentine's Parian Body, qui a une réputation de translucidité, mais j'ai trouvé que les résultats de cuisson non émaillés ressemblaient plutôt à du plastique blanc . Plus grave encore, les formes se sont fissurées quelque temps après la sortie du four, ce qui est normalement le signe de tensions dans le corps d'argile. J'ai laissé tombé.
En France, j'ai utilisé la porcelaine de Limoges avec le même succès que les porcelaines britanniques. La porcelaine de Limoges est un exemple de pâte dans la quelle j'ajoute un peu de vinaigre au mélange

pour l'empêcher de devenir thixotrope.

Recommandations pour le grès (#p.20)

(UK) Scarva Earthstone Professional White Porcelain Stoneware PF700 - disponible auprès de plusieurs fournisseurs

(France) Grès blanc de Ceradel CG811 - il contient une forte proportion de chamotte de 0-0,2 mm.

(Espagne) Sio-2 Artemis White Stoneware 164-ARTE - disponible au Royaume-Uni chez Potclays.

(Suède/Danemark) Red 1122 - disponible sur cerama.dk et cebex.se
Note : Charlie Stern a utilisé cette argile avec beaucoup de succès.

Recette d'argile pour l'impression 3D (#p.21)
Si vous regardez les étiquettes des pains d'argile illustrés ci-dessus, vous avez une bonne idée de la part de chamotte qui peut entrer dans la composition d'une pâte.

JK Print Mix (#p.21)

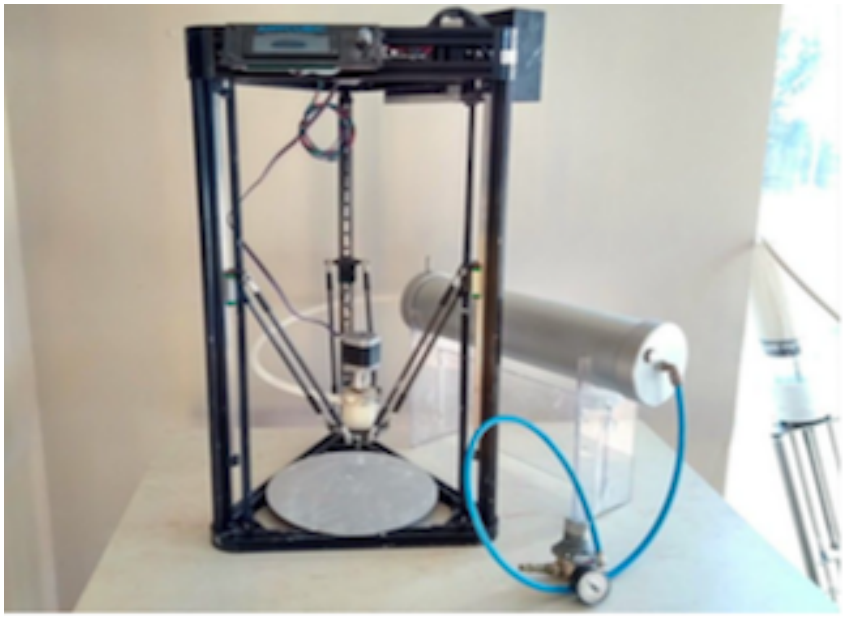
Ball	caly	Hyplas71
35%		
Chian	Clay	chamottée
20%		
FFF		Feldspath

15%
Molochite fine (0 - 0,2 mm)
30%
Bentonite
2%

Remarque : pour les travaux d'impression de grande taille, la moitié de la Molochite sera de qualité moyenne (0,5 mm).

J'ai écrit en annexe sur la formulation d'une pâte pour l'impression 3D.

Convertir un Kossel AnyCubic pour l'impression 3D avec de l'argile (#p.22)

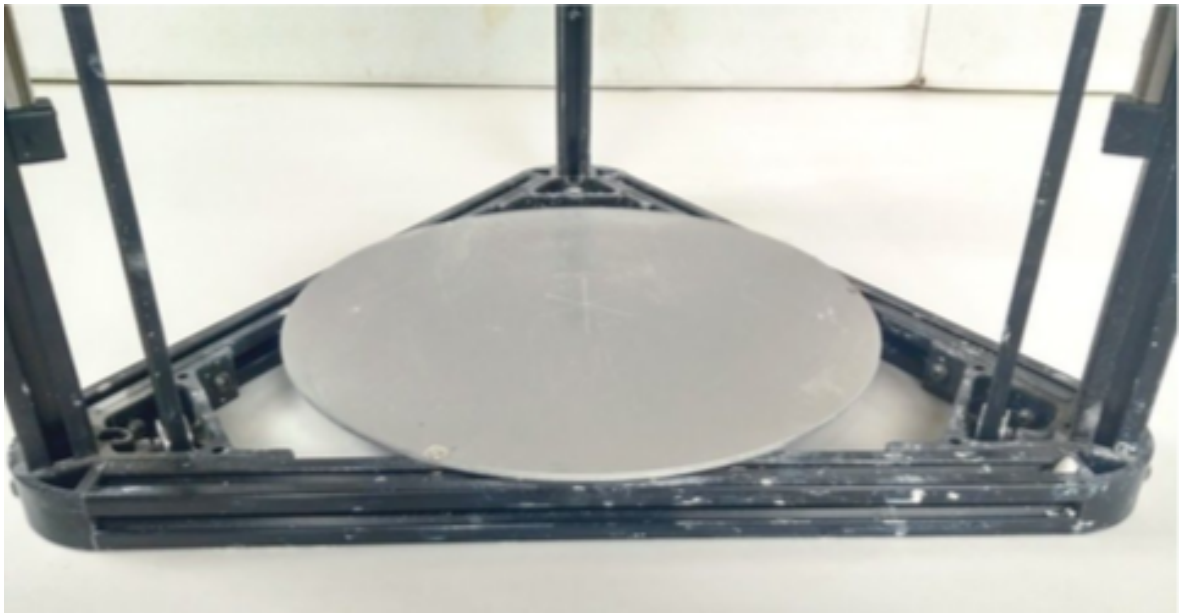


En 2013, j'ai publié le plan de l'imprimante Make Your Own JK Delta Clay. À l'époque, il n'existait pas d'imprimantes 3D de table bon marché comme celles qui sont disponibles aujourd'hui. Aujourd'hui, acheter les pièces nécessaires à la fabrication de la JK Delta Self Build coûte plus cher que l'achat d'un Kit. La technologie d'impression 3D avec de l'argile a également évolué depuis 2013. Ce guide explique donc comment assembler soi-même une imprimante 3D argile à un prix raisonnable en transformant une imprimante à extrusion plastique.
En 2017, Dries Verbruggen a documenté la conversion d'une imprimante AnyCubic Delta pour qu'elle fonctionne avec une tête d'impression de type "Glue Gun" comme celle utilisée sur la JK Delta Self Build : https://wikifactory.com/+Ceramic3DPrinting/forum/thread/MzE2OTg?categoryId=Mg.
Ici, j'explique la conversion d'une imprimante AnyCubic Kossel Delta similaire pour travailler avec un réservoir d'argile et une tête

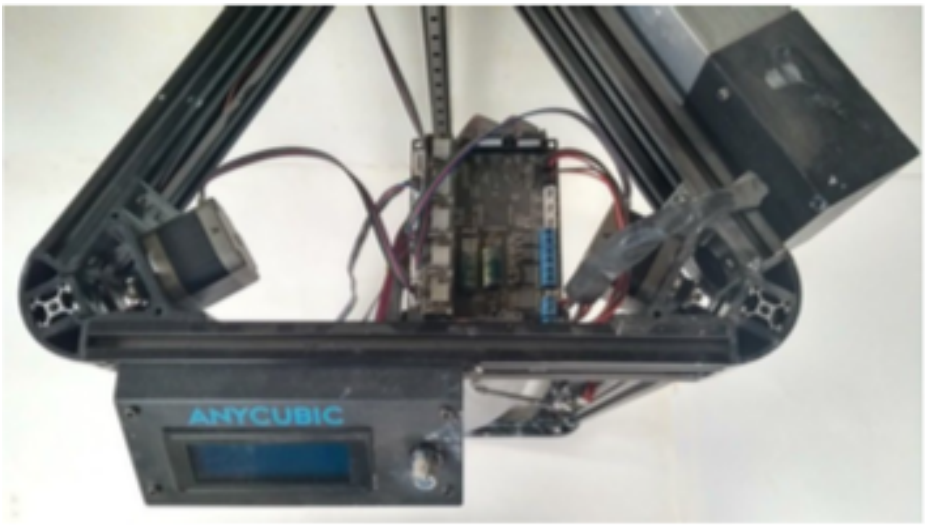
d'impression à vis sans fin avec arrêt contrôlé. Le temps nous a rattrapé et AnyCubic ne fabrique plus cette imprimante mais une plus grande imprimante delta 3D pour plastique appelée Predator. Avec un volume de 37 cm de diamètre et 45 cm de hauteur, c'est une machine mieux dimensionnée que l'ancienne Kossel. Bien que je n'aie pas fait moi-même, j'ai entendu parler d'autres personnes qui ont converti le Predator comme dans ma documentation ci-dessous. J'espère que ces informations seront également pertinentes et utiles pour la conversion de toute autre imprimante plastique pour imprimer avec de l'argile.

Vous l'avez bien compris, j'ai l'habitude de décomposer l'imprimantes 3D argile en une plateforme, une tête d'impression et une alimentation. La plateforme est la machine contrôlée par ordinateur qui se charge de déplacer la tête d'impression. La tête d'impression est le mécanisme qui dépose l'argile et est relativement simple à fabriquer et à installer. Et, l'alimentation est le processus qui consiste à fournir l'argile jusqu'à la tête d'impression.

La plateforme kossel AnyCubic (#p.23)
Lorsque vous recevez votre AnyCubic Kossel, assurez-vous d'obtenir la version avec des roulements linéaires et non la version avec des roues. Je pense que la version avec roues n'est plus disponible, mais les roues n'étaient pas très stables. La zone de construction couvre un diamètre de 23 cm et une hauteur de 30 cm.
Votre imprimante vous sera livrée sous forme de kit partiellement assemblé. Je n'entrerai pas dans les détails de la construction car le manuel d'utilisation est complet. Ce que j'ai fait, c'est une documentation photographique de mon montage car j'ai retourné l'appareil. Dans la conception conventionnelle, tous les éléments électriques et les commandes se trouvent en bas. Lorsque l'on travaille avec de l'argile humide puis poussiéreuse, ce n'est pas une bonne idée, c'est pourquoi j'ai mis tous les éléments électriques en haut.
Déplacer ce qui était le cadre supérieur vers le bas est simple. j'ai supprimé la plaque de base chauffante fixé en dessous et j'ai utilisé les plaques-supports du cadre inférieur qui se retrouve en haut.



Important, lorsque vous placez le cadre inférieur prémonté en haut est de respecter la distance à laquelle les poutres verticales glissent dans les cadres supérieur et inférieur. Lorsque vous fixez les barres coulissantes linéaires aux barres verticales du cadre en aluminium, l'écart de positionnement doit maintenant être plus important en haut. L'espace doit également être prévu pour le support de la butée supérieure. Vous le comprendrez en ayanyt les pièces en main. Une fois que vous avez tous les éléments électriques en haut, il n'est plus nécessaire de faire passer le câblage des butées d'extrémité à travers les poutres en aluminium. Le cadre inférieur n'est pas retourné, il est juste déplacé vers le haut. Comme vous le verrez, l'écran d'affichage se trouve du même côté que la carte mère électronique, ce qui permet de garder les fils au propre.



J'ai déplacé la carte mère pour pouvoir accéder à l'entrée usb à côté de

l'écran d'affichage. L'écran d'affichage est monté sur la gauche.

L'alimentation électrique a été montée horizontalement et à l'abri de l'eau. Les fils arrivent juste sur la carte mère.

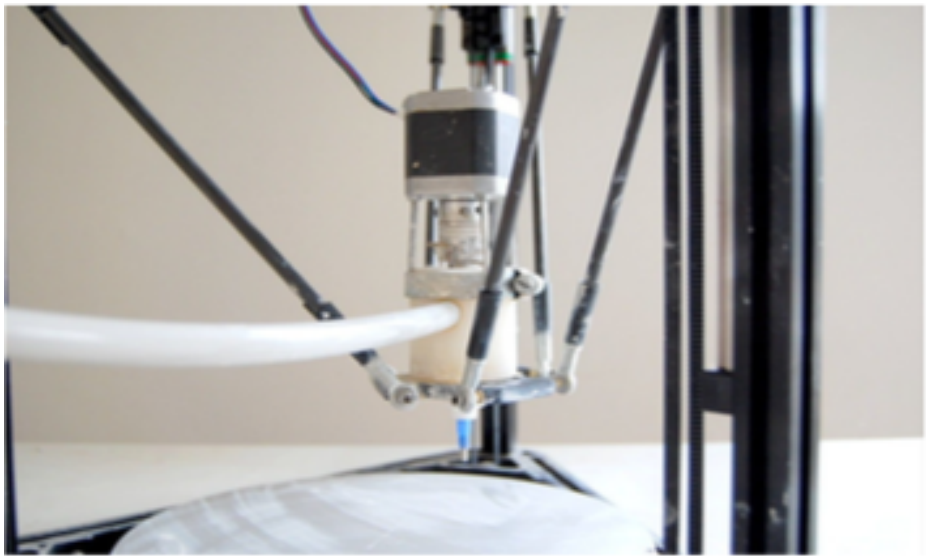
Suivez les instructions jusqu'à ce que vous arriviez au porte-filament et au moteur de l'extrudeuse. Ne fixez pas le porte-filament et le moteur de l'extrudeuse, ni le support utilisé pour fabriquer la tête d'impression - voir la section suivante. La tête d'impression Anycubic Plastic est retirée de la plaque de montage et votre tête d'impression argile sera plus tard fixée à cette plaque. La tête d'impression du plastique n'est pas utilisée et est pré-assemblée sur la plaque de la tête d'impression qui est fixée aux tiges diagonales.

Le schéma de câblage est très bien décrit dans le manuel d'utilisation. Il est évident que la plaque chauffante, la buse chauffante (pour le

plastique) et les ventilateurs ne sont pas utilisés.

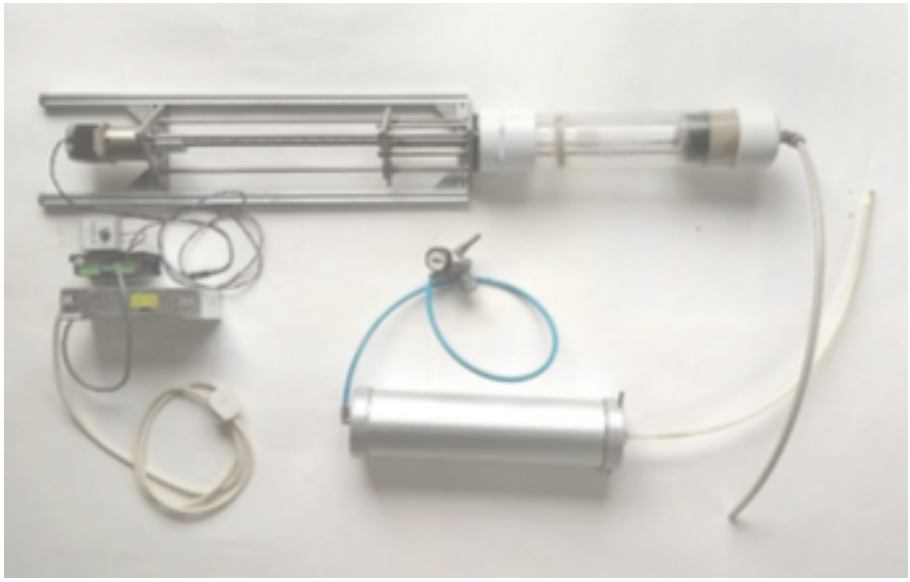
J'ai réglé le niveau z dans le micrologiciel Arduino de mon appareil pour que l'imprimante descende au même point à chaque fois. Anycubic propose un capteur de niveau z et dispose d'une documentation complète sur la manière de régler le niveau z. Cela peut être fait une fois que vous avez testé votre tête d'impression avec de l'argile et que vous connaissez la longueur de votre buse. Je conserve le z à hauteur constante et je modifie l'épaisseur des rondeaux en cas de changement.

Tête d'impression avec de l'argile (#p.25)
J'ai un document sur la façon de fabriquer votre propre tête d'impression dans une autre section ci-dessous et ici : https://wikifactory.com/@jonathankeep/self-build-clay-printhead

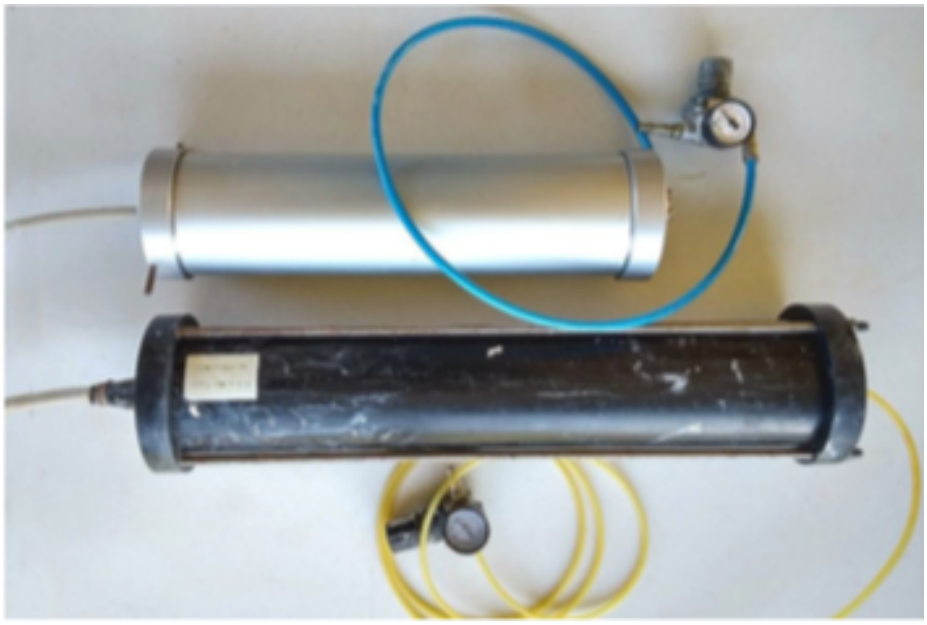


Vous pouvez également consulter :
Kits de têtes d'impression argile de StoneFlower
https://www.stoneflower3d.com/
Page Open Source Stoneflower :
https://www.stoneflower3d.com/opensource/
Kits de têtes d'impression avec de l'argile WASP :
https://www.personalfab.it/en/shop/clay-extruder-kit-2-0/

Alimentation de l'argile (#p.26)
Sur l'image d'introduction, c'est grands réservoirs en aluminium reliés à un compresseur d'air qui fournit l'argile. L'air comprimé pousse évidemment l'argile vers la tête d'impression.

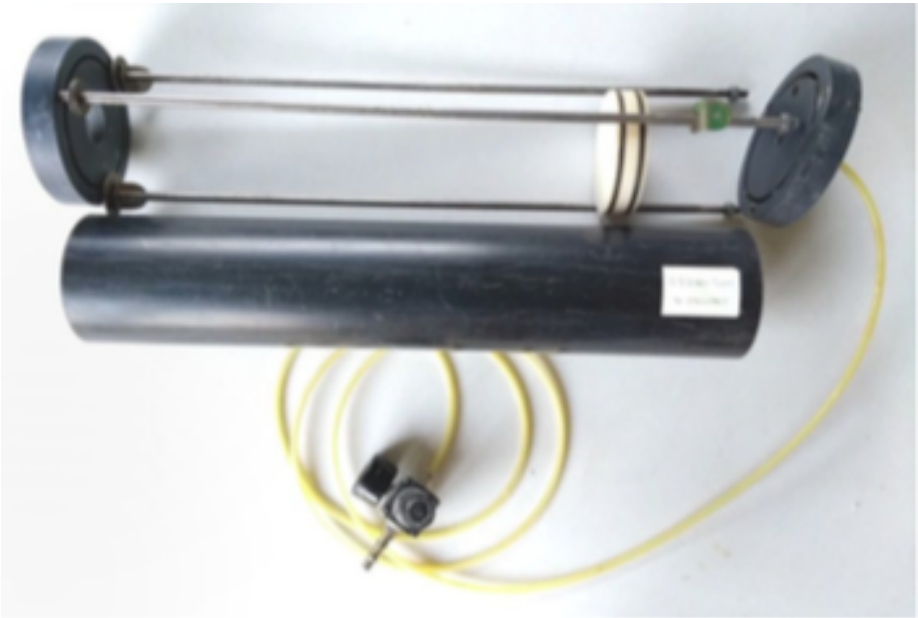


J'ai également un piston mécanique par courtoisie de ClayBot. J’ai donc fait fonctionner mon Anycubic avec un distributeur mécanique et un distributeur à air comprimé. Les deux fonctionnent bien mais je préfère la simplicité du système air comprimé. J'utilise la même consistance d'argile dans les deux systèmes. Sur la photo ci-dessus, le réservoir à air comprimé (en bas au centre) contient plus d'argile que le piston qui se trouve au-dessus et est plus facile à nettoyer et à entretenir.



Sur la photo ci-dessus, le réservoir en aluminium est celui de la société italienne WASP. Ces réservoirs sont appelés "Bolie guns", cartouches à douille et sont utilisés par les pêcheurs de carpes pour préparer des appâts. J'ai également un réservoir similaire trouvé au Royaume-Uni et

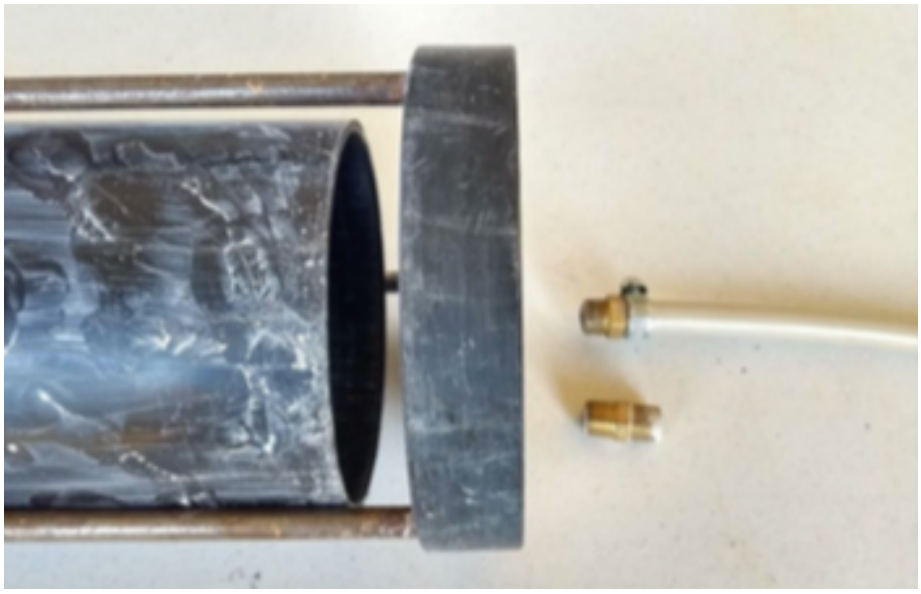
qui est fait de nylon et de plastique noir que j'utilise sur une imprimante plus grande pour sa capacité plus importante. Le réservoir en aluminium est de bonne taille pour une imprimante de table, il a un diamètre intérieur de 10 cm et une longueur de 40 cm. Les bouchons des réservoirs en métal se vissent et peuvent devenir difficiles à dévisser. Vous devez vous assurer que les filets sont exempts d'argile. La conception du récipient noir qui se visse est plus facile à utiliser tant que le joint de l'embout est bien entretenu.



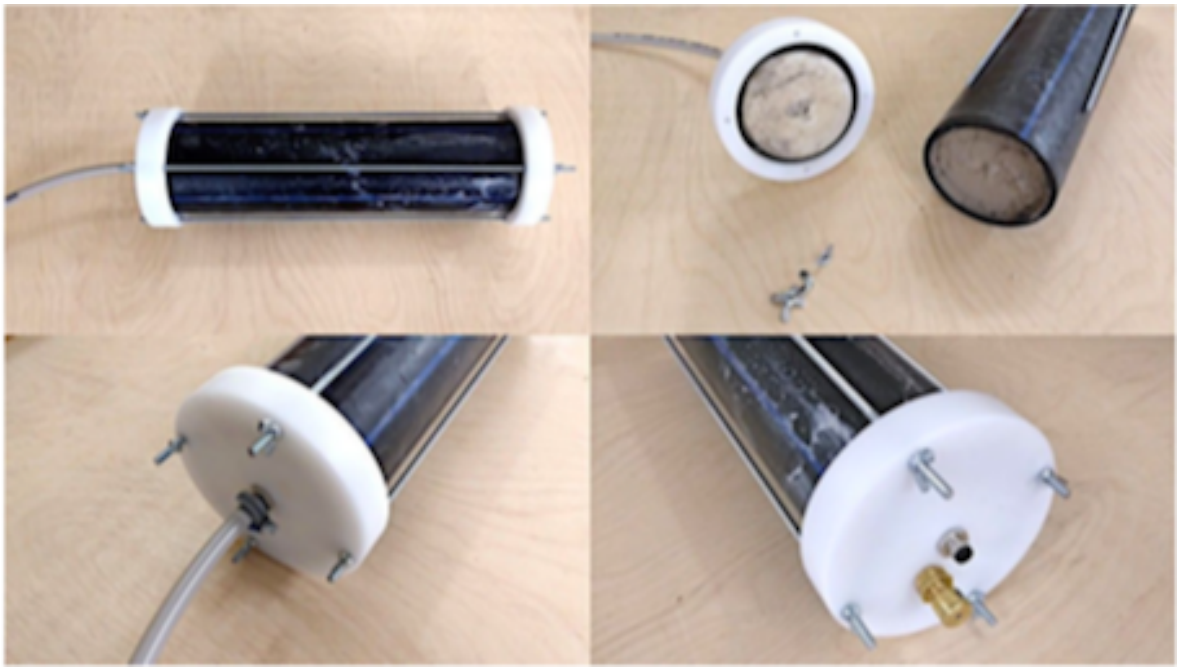
Il me paraît plus prudent d'avoir quatre longues tiges plutôt que trois pour maintenir ferment les deux bouchons. Le réservoir est soumis à une pression de 4 à 6 bars et, avec seulement trois tiges de fixation, les bouchons se plient très légèrement et l'air s'échappe. Avec quatre tiges on aurait un maintien plus uniforme.

Il y a deux embouts en nylon technique. Je ne sais pas de quoi est fait le réservoir noir principal, mais il est prévu pour pression maxi de 8 bars. Ensuite, il y a un piston (blanc sur la photo), également en nylon technique, qui se déplace de haut en bas dans le tube noir. Il en va de même pour le réservoir en aluminium. Il pousse l'argile et l'étanchéité est assurée par deux joints toriques pour contenur la pression de l'air dans le réservoir. Chaque bouchon s'emboite par une gorge munie d'un joint torique en caoutchouc. Les bouchons ont une épaisseur de 25 mm et les gorges ont une profondeur de 18 mm.

Voici le bouchon où l'air pénètre. Un raccord à poussoir maintient la conduite d'air provenant du compresseur. J'envoie 4 et 6 bars de pression. Le raccord en laiton à droite sur l'embout est une soupape de sécurité qui libère la pression au-dessus de 8 bars de pression. C'est un élément de sécurité très important.



De l’autre côté, il y a un tube en nylon qui conduit l'argile vers la tête d'impression. J'utilise un tube pour conduite d'air pneumatique transparent, d'une dimension extérieure de 12 mm et d'une dimension intérieure de 10 mm. Un autre de diamètre intérieur de 9 mm est trop rigide. Les 10 mm intérieurs sont plus flexibles, ce qui est bien mais il se plie aussi de temps en temps et doit être remplacé. La longueur de ce tube d'alimentation est de 70 cm. Il est important que l'écoulement de l'argile ne soit en aucune façon limité. Evitez tous les diamètres intérieurs à 10 mm. Vous pouvez voir le raccord fileté à double extrémités en laiton que j'utilise sur la photo, à droite. Ce raccord de tube est spécifique aux besoins de l’imprimante argile et ne fait pas partie du réservoir d'origine.

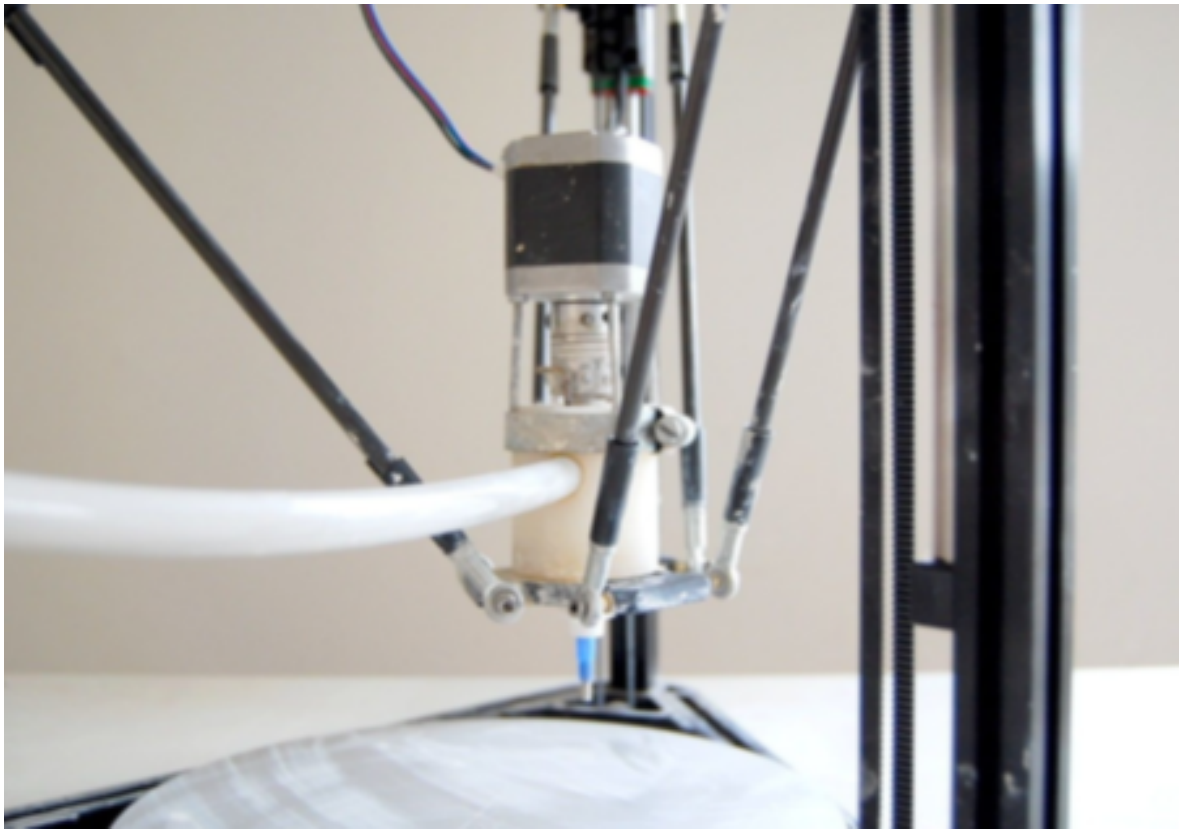


Voici un réservoir fabriqué à Reykjavik. Un tube métallique très épais et résistant. De toute évidence, il pourrait être remplacé par un tube en aluminium pour le poids. Il fonctionne bien. Ma seule remarque est que les quatre longues tiges filetées de serrage et de fixation auraient pu être un peu plus grosses.

Quelques liens vers des cartouches à douille (#p.30)
G S Boilie Guns - £120.00
https://www.gumtree.com/p/fishing-tackle/g-s-boilie-guns-the-6kg-nighthawk-boilie-gun-new-/1341591454
Boilies Making Gun, Air Bait Boilies Gun KG.6 - £138.00
https://www.ebay.co.uk/itm/BOILIES-MAKING-GUN-AIR-BAIT-BOILIES-GUN-KG-6-3-nozzle-SAUSAGE-GUN/122822395372
Liste de pièces pour l'ancienne imprimante 3D Make Your Own Clay
http://www.keep-art.co.uk/Journal/Delta_3DPrinter_Parts_Nov15.pdf

Note : Bien que ces réservoirs soient équipés de buses d'extrusion en forme de cône, il est préférable que le tube sorte directement de la plaque d'extrémité. Par le passé, j'avais relié le tube au cône, mais l'argile se compacte à l'intérieur du cône. Il est préférable de fixer directement le tube nylon de Ø12 mm sur le bouchon du réservoir

Tête d'impression argile autoconstruite (#p.31)
Guide pour la fabrication d'une vis sans fin, d'une tête d'impression de type start and stop pour l'impression 3D de l'argile.



Le principe de base de cette tête d'impression pour de l'argile était qu'elle soit facile à démonter, à nettoyer et à entretenir. Je n'aime pas les pièces imprimées en plastique car je les ai trouvées insuffisamment résistantes et pourquoi faire compliqué quand on peut faire simple. Je manque peut être de jugement, mais je me fie à mon intuition, combinée avec des pièces que je peux me procurer facilement. Je ne prétends pas que ce soit le nec plus ultra, mais pour moi, il fonctionne et est d'une simplicité désarmante. Cette tête d'impression peut être utilisée avec une alimentation de type piston mécanique ou une alimentation à air comprimé et peut être adaptée aux imprimantes 3D de type cartésien ou Delta.

La tête d'impression (#p.31)
Le corps de la tête d'impression est un rond en nylon technique. J'ai choisi ce matériau parce que l'argile est très abrasive et que je voulais éviter le métal, sauf pour la vis sans fin. Avec un outillage de base, je peux facilement couper et percer ce matériau. De plus, j'utilise des vis de différentes tailles, fonction de taille de l'imprimante et de celle du Ø de la buse utilisée, de sorte que le corps soit bien adapté à la vis sans fin. Le rond de nylon peut être coupée à l'aide d'une scie à bois, puis percée verticalement à la taille de la vis et sur le côté pour le tube d'arrivée de l'argile. Ce cylindre de nylon se monte aussi facilement sur

la plupart des imprimantes 3D à l'aide de boulons M3 qui s'enfilent automatiquement dans des trous percés de taille appropriée.

Pièces
1 x moteur pas à pas Nema 17
4 x tige filetée M3 de 70 mm
4 x écrous M3
1 x Accouplement flexible
1 vis de couverture de 6 mm
1 x 55 mm de longueur et 45 mm de diamètre pour la tige de nylon technique
1 x collier de serrage à vis sans fin de 50 mm de diamètre
1 x 25 cm de tube d'air comprimé en nylon naturel 12 mm de diamètre extérieur et 10 mm de diamètre intérieur
1 x 1⁄4" raccord mâle Luerlock
1 x embout distributeur Luerlock - Vert olive coupé à 2,5 mm d'ouverture
Le moteur pas à pas que j'utilise est un moteur pas à pas hybride à couple élevé SY42STH47-1684A
https://www.automation.co.uk/electrical-products/stepper-systems/stepper-motors/n_ema-17-stepper-motors/sy42sth47-1684a-high-torque-hybrid-stepper-motors.html

Quatre longueurs de tige filetée M3 sont vissées dans le moteur pas à pas pour relier le moteur au corps en nylon. La longueur de celles-ci est déterminée par l'accouplement qui est utilisé pour relier l'arbre d'entraînement du moteur à la vis sans fin. (Des accouplements de différentes tailles sont disponibles). Un collier de serrage est utilisé pour fixer les tiges M3 au cylindre du corps en nylon. Le moteur peut alors être facilement et rapidement retiré du corps principal de la tête d'impression pour être nettoyé. Les fils du moteur se branchent sur les broches E de la carte Ramps avec le pilote correspondant et la vis de réglage de la puissance. Ce moteur a la même vitesse d'avancement que pour l'impression de plastique et est contrôlé par le G-code généré dans votre logiciel de découpe.

Le corps en nylon a le même diamètre que celui du pistolet à colle du modèle original de JK Delta, de sorte qu'il pourrait être interchangeable. Si cela n'est pas nécessaire, un diamètre de corps d'environ 40 à 45 mm est une bonne idée, afin qu'il y ait suffisamment de matériau pour percer les trous nécessaires à la vis sans fin et au tube d'entrée de l'argile. J'ai fait varier la longueur du cylindre en nylon en fonction du poids de

l’ensemble - entre 50 mm de longueur pour une petite vis de 6 mm et 70 mm de longueur pour une vis plus grosse de 8 mm. La longueur de la vis impose la longueur du corps en nylon. J'essaie de faire en sorte que la pointe de la vis se termine le plus près possible de la buse. Le cylindre en nylon est percé avec une mèche à bois ou métal de manière que la vis sans fin y soit aussi bien ajustée que possible.

Bien que ce soit la vis qui fait descendre l'argile, je pense que pour forcer l'extrusion il est préférable que l'alimentation en argile soit soumise à une pression plus forte que celle que la vis subit naturellement. Pour empêcher l'argile de remonter dans la tige de la vis, je scelle le filetage supérieur avec du mastic durcissant qui forme un ajustement serré. L'argile suinte parfois, mais elle se nettoie facilement. Si le suintement est excessif, c’est que l’alimentation en argile est trop importante. C'est ainsi que j'évalue la pression d'air ou la vitesse d'entraînement du piston, quelle que soit la méthode utilisée.

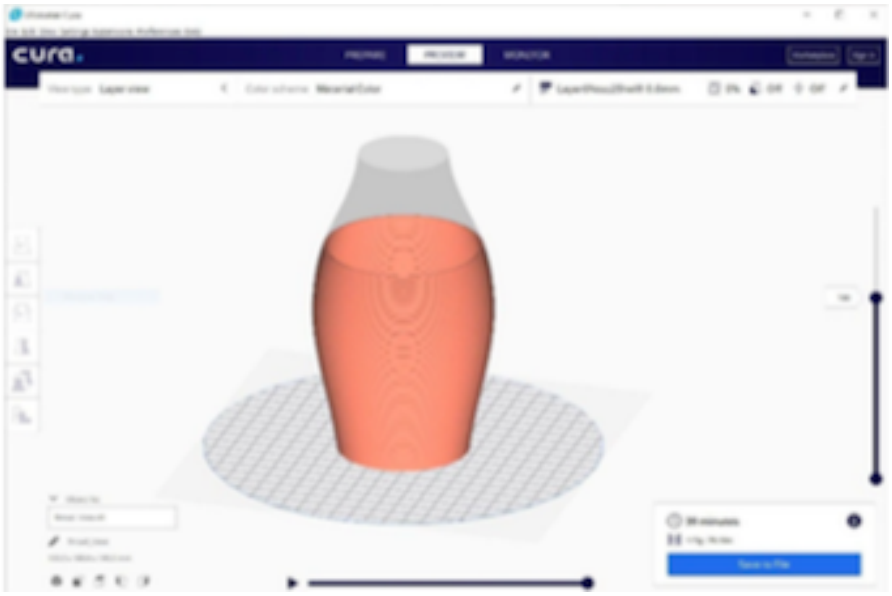
Tube d'alimentation (#p.33)
J'ai essayé différents accessoires pour les tubes d'alimentation. Les connecteurs rapides se bouchent avec l'argile et ne fonctionnent plus. Les raccords filetés sont pénibles à défaire. Une simple broche en fil de fer qui traverse le tube est parfaite. Le tube que j'utilise est un tube d'air pneumatique en nylon de 12 mm disponible sur https://www.ebay.co.uk/itm/METRIC-NATURAL-NYLON-PNEUMATIC-TUBING-AIRLINE-PIPE-P-MT-/250806057958?var=&hash=item80104bfe99.
Je l'utilise car je pense qu'il a plus de glisse que les tubes en plastique plus souples. Faites attention au Ø intérieur de 10 mm. Plus le tube est rigide, plus vous devez avoir un diamètre aussi grand que possible. L'inconvénient est que le tube a tendance à se déformer. (Dimension extérieure 12 mm, dimension intérieure 10 mm)
Un trou de 12 mm est percé sur le côté du corps du cylindre en nylon pour recevoir le tube. Ce trou est percé sous le collier de serrage et suffisamment profond pour atteindre le canal vertical qui reçoit la vis sans fin.
Une fois le tube d'alimentation en place, je perfore un trou vertical pour glisser la broche qui maintient le tube en place. Ce trou vertical, je le perfore sur toute la longueur du cylindre afin de pouvoir en retirer l'argile. Sinon, la goupille ne descendra plus au bout d'un certain temps. Un vieux rayon de vélo fait une bonne broche.

Buses (#p.34)
J'utilise des buses de taille différentes suivant le travail. J'ai donc un trou de sortie standard de 1⁄4 pouces fileté sous la tête d'impression. Le trou central est percé juste pour être fileté à 1⁄4" ce qui permet de fixer un raccord Luerlock mâle http://www.adhesivedispensers.co.uk/TSD931-7C.htm

adapté aux embouts Luer Lock http://www.adhesivedispensers.co.uk/tips.htm ou des buses plus grandes 1/4" http://www.adhesivedispensers.co.uk/nozzles.htm
Je préfère les embouts métalliques, et je personnalise mes propres embouts.
Les buses varient de 1,2 mm à 4 mm, 2 mm étant la norme dans mon atelier.

Vis (#p.34)
Les vis sont standards et je les achète à la quincaillerie du coin. J'adapte la vis à la bonne longeur avec une meuleuse en supprimant la tête. Je ne sais pas si une mêche à bois est préférable. D'après mon expérience, avec une petite buse (1,6 mm de couleur olive), une vis à bois convient pour entrainer et forcer l'argile à travers la petite ouverture, aidée par la pression de l'argile provenant de l'alimentation. Pour les grosses buses (3-4 mm), la restriction est moindre et la pression de l'alimentation aide à l'avancement de l'argile un simple vis suffit.

Logiciel Cura pour l'impression 3D (#p.36)
Version 4.3 de Cura pour l'impression 3D avec de l'argile : celle que j'utilise - novembre 2019.



Origine https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura

Introduction (#p.36)
Lors de l'installation, il vous sera probablement demandé d'ajouter une imprimante. Utilisez Ajouter une imprimante hors réseau, puis je vous suggère de choisir la première imprimante Ultimaker qui est sélectionnée. Vous pourrez ainsi commencer à voir le fonctionnement du

logiciel et vous y repérer. Il y a beaucoup de tutoriels sur YouTube sur la façon d'utiliser Cura, donc regardez-les, mais je veux vous parler de la configuration de Cura pour l'impression 3D avec de l'argile. Il ne s'agit que d'une installation de base et, à mesure que vous vous familiariserez avec le programme, vous constaterez qu'il a beaucoup plus à offrir.

Mise en page (#p.36)
En haut à gauche se trouve un menu horizontal que je n'utilise pas beaucoup, sauf pour les paramètres. Au centre, en haut, se trouve le menu Préparer et prévisualiser que j'utilise. Moniteur concerne les imprimantes en réseau que je n'utilise pas. En dessous, à gauche, se trouve un dossier ikon que j'utilise pour charger des fichiers 3D pour le découpage.
Ensuite, il y a le nom de l'imprimante qui est active et un menu déroulant qui contient les noms de toutes les autres caractéristiques d'imprimante au fur et à mesure de leur configuration.
Ensuite, horizontalement, on trouve le matériau sélectionné et une flèche déroulante qui affiche tous les autres matériaux compatibles avec les paramètres de l'imprimante sélectionnée.

Enfin, les paramètres d'impression s’affichent horizontalement. En cliquant dessus, on ouvre les options et les paramètres du modèle. Un deuxième clic ferme la fenêtre déroulante. Dans la partie principale de la mise en page se trouve une visualisation de l'imprimante sélectionnée. Une fois que vous ouvrez un fichier en cliquant sur l'icône du dossier (en haut à droite) et en sélectionnant votre fichier .stl ou .obj (d'autres types de fichiers sont disponibles), vous obtenez une visualisation de votre objet 3D.

Configuration de l’imprimante (#p.37)
Une nouvelle imprimante peut être ajoutée à partir du menu Paramètres (en haut à gauche) ou en cliquant sur la flèche déroulante dans la case Imprimante sélectionnée.
Sélectionnez Ajouter une imprimante non connectée au réseau.
Ensuite, descendez et sélectionnez "Custom".
Je vais décrire la configuration d'une imprimante de type Delta comme la JK Self Build, la WASP Delta ou une Anycubic Delta, donc sélectionnez "DeltaBot" dans la liste déroulante de la flèche à côté de "Custom" et "Add".
Si une fenêtre "Machine Settings" n'apparaît pas, allez dans "Settings" (en haut à droite) et dans la liste déroulante en bas, cliquez

sur "Configure settings". Cela ouvre la fenêtre principale des "Préférences" qui va devenir familière. Dans la colonne de gauche, allez à Imprimantes et sélectionnez DeltaBot s'il ce n'est pas le cas. Notez qu'il y a un onglet "Activer" sous le titre "Imprimantes", si vous changez de sélection d'imprimante.
Il y a un onglet "Renommer" pour que vous puissiez donner un nom personnalisé à votre imprimante.
Configurez maintenant les propriétés de votre nouvelle machine en cliquant sur "Paramètres de la machine" (à droite). Une fenêtre "Réglages machine" s'ouvre.
Dans cette nouvelle fenêtre, sous "Printer Settings", indiquez les dimensions de votre imprimante en mm.
JK self build : x largeur 180 mm, y profondeur 180, z hauteur 300.
WASP 2040 : x largeur 200 mm, y profondeur 200, z hauteur 400.
AnyCubic : x largeur 180 mm, y profondeur 180, z hauteur 250.
Toutes les imprimantes ci-dessus travaillent à plat et en ellipse
Toutes ont leur "Origine au centre", donc cliquez sur la case si elle n'est pas déjà sélectionnée.
Aucun besoin de lit chauffant, ni d'extrusion chauffée, donc ne cliquez pas sur les case ou désélectionnez-les.

Note : Pour les machines WASP, réglez la préférence du G-code sur Marlin.
Note : Pour les conversions JK Self Build et AnyCubic Delta Clay, réglez le "G-code flavour" sur "Ultimaker 2". (Les autres choix mettent un G-code M105 pour vérification de la température qui empêcherait l'impression d'argile de démarrer, faute de température.
De plus, pour les conversions JK Self Builds et AnyCubic, agrandissez la fenêtre "Machine Settings" afin de voir clairement le "Start G-code" dans la case inférieure gauche. Sous G28 ; Home, ajoutez une nouvelle ligne de code qui se lit comme suit : M302 S0. Ce paramètre permet une extrusion à froid et en l'ajoutant au Start G-code, il devra être inclus chaque fois que vous découpez un fichier pour l'impression. (Il n'est pas nécessaire de faire cette personnalisation pour les imprimantes WASP)

Paramètres des têtes d'impression (#p.38)
Je laisse tous ces paramètres par défaut pour l'imprimante que je configure (en fait, je ne sais pas de quoi il s'agit et je n'ai pas encore compris)

Réglages de l'extrudeuse (#p.38)
Remarque : si vous installez une imprimante dont l'extrudeuse n'est pas contrôlée par un G-code comme dans le JK Self build, qui utilise des cartouches de type pistolet à colle et dont le débit est géré manuellement, vous n'avez pas à vous soucier des réglages de l'extrudeuse.
Note : Si vous avez une imprimante avec une tête d'impression à vis sans fin, vous devez configurer l'Extrudeuse 1 en cliquant sur l'onglet à droite de l'onglet Imprimante.
Entrez une taille de buse. Une buse de 2 mm est un bon point de départ. La taille de la buse régule le flux de matière en fonction de la vitesse de la vis de l'alimentation. Si vous souhaitez imprimer avec différentes tailles de buse, vous pouvez donc définir différents réglages d'imprimante. Cependant, je pense que ce réglage de la taille de la buse peut être supprimé plus tard dans les paramètres d'impression.
Diamètre du matériau compatible - c'est là que les choses peuvent devenir un peu confuses dans cette version de Cura. J'aime utiliser un diamètre de matériau de 1 mm. Il s'agit d'un simple chiffre rond pour équilibrer les autres réglages. Cependant, lorsque vous définissez votre matériau pour ce modèle d'imprimante, aucun matériau ne sera visible car il n'y a pas de matériau par défaut ayant un diamètre de 1 mm dans la bibliothèque Cura. La solution consiste à créer un matériau

personnalisé d'un diamètre de 1 mm. Lorsque vous aurez sélectionné l'imprimante Ultimaker que vous aurez implémenté dans l'introduction, tous les matériaux par défaut seront visibles. Je vous expliquerai tout cela lorsque nous arriverons aux paramètres des matériaux.
Le diamètre du matériau est important car si vous en définissez un grand nombre, le logiciel pensera qu'il y a beaucoup de matériau à alimenter et le débit de la vis/du tampon sera lent. Plus le diamètre du matériau est petit, plus le logiciel réglera rapidement le débit d'alimentation pour pomper suffisamment de matériau. Ainsi, plus tard dans vos paramètres d'impression, si vous constatez que le débit par défault de 100 % dans les paramètres de matériau ne convient pas, vous pouvez l'équilibrer en modifiant le diamètre du matériau... Pour une WASP 2040, le diamètre du matériau est de 1 mm, mais pour une WASP 40100, je l'ai réglé à 2 mm. N'oubliez pas que nous sommes en train de personnaliser un logiciel conçu pour l'impression sur plastique afin qu'il fonctionne pour l'argile.
Fermer les réglages de la machine

Établissement du modèle matériel (#p.39)
(Si vous avez une JK Self Build ou une imprimante dont l'extrusion de la tête d'impression et le matériau ne sont pas contrôlés par le G-code, vous n'avez pas à le faire. Les réglages des matériaux comme le réglage de l'extrudeuse ne sont pas pertinents)
Pour les imprimantes WASP et toute imprimante équipée d'une tête d'impression à vis sans fin, vous devrez réaliser un réglage de matériau avec de l'argile naturelle.
Sélectionnez l'imprimante Ultimaker que je vous ai suggéré dans l'introduction.
Allez dans "Paramètres" (en haut à gauche) et dans le menu déroulant, cliquez sur "Configurer la visibilité des paramètres".
Sélectionnez "Matériaux" dans la colonne de gauche.
Cliquez sur l'onglet "Créer" sous "Matériaux" : une catégorie "Personnalisé" est ajoutée avec un matériau générique, probablement du PLA. Modifiez ce matériau.
Sous Information (à droite dans la fenêtre pop-up), donnez un "Nom d'affichage" tel que "Naturel". Sous "Marque", appelez le matériau "Argile" et "Type de matériau", appelez également le matériau "Argile". Cliquez sur la case Couleur et sélectionnez la bonne couleur d'argile de votre choix.
Plus bas, sous "Propriétés", donnez un diamètre de 1 mm et appuyez sur "Entrée". Vous obtenez un avertissement indiquant que le diamètre

du filament n'est pas compatible avec l'extrudeuse actuelle et vous souhaitez continuer. Oui, car ce matériau est destiné à votre imprimante Delta qui possède un filament de 1 mm.
Le matériau disparaît maintenant parce que vous avez sélectionné l'imprimante Ultimaker. Fermez la fenêtre des préférences de réglages. Allez à la flèche déroulante de sélection de l'imprimante (en haut à gauche). Sélectionnez l'imprimante Delta que vous avez configurée précédemment. Passez à la flèche déroulante Matériau et il y a une autre flèche déroulante, et si vous avez de la chance, il y a votre Argile, Argile naturelle lorsque vous déplacez le curseur vers l'extérieur.
Cependant, il y a encore une chose à faire dans le réglage de l'argile, c'est de régler toutes les températures de chauffage sur 0. Allez dans Réglages/Configuration du réglage/Matériau (en haut à gauche) et dans la fenêtre des préférences qui s'ouvre, assurez-vous que votre nouveau matériau d'argile est sélectionné, trouvez l'onglet "Réglage de l'impression" à droite et réglez toutes les "températures" sur 0. La "Distance de retrait" et la "Vitesse de rétrait" peuvent être laissées par défaut. Réglez la "Vitesse du ventilateur" sur 0 car il n'y a pas de ventilateur de refroidissement.

Paramètres d'impression (#p.39)
Cliquez sur la bannière "modèles" à droite de la bannière "Matériel". Cela ouvre la fenêtre déroulante "Paramètres d'impression".
Dans le menu déroulant à droite de "modèle", sélectionnez le modèle "Extra grossier - 0,6 mm" à modifier selon vos préférences. Le modèle des paramètres d'impression est divisé en un certain nombre de sous-titres. Les sous-titres peuvent être ouverts et fermés en cliquant sur la bannière du nom du sous-titre. Si vous passez le curseur sur un paramètre d'une sous-rubrique, une petite fenêtre de description utile apparaît. Survolez la bannière d'un sous-titre et une icône de réglage apparaît à droite de la bannière. Cliquez sur cette icône en forme de roue dentée et la fenêtre principale des "Préférences" s'ouvre. Vous pouvez y sélectionner les paramètres qui peuvent être rendus visibles dans chaque sous-rubrique. Les préréglages du modèle dont nous avons sélectionné Extra Coarse aident à affiner cette profusion de réglages possibles.

Qualité (#p.40)
Hauteur de la couche - avec une buse de 2 mm, j'utilise une hauteur de couche de 0,6 à 0,8. (0,8 mm) Hauteur de la couche initiale - la moitié de la hauteur normale de la couche aide la première couche à adhérer.

(0.4)
Largeur de ligne - sera définie par la largeur de buse définie dans le modèle de l'imprimante. (2 mm)
Pour simplifier votre modèle, vous pouvez désélectionner la ligne de de la paroi extérieure, la ligne intérieure, la largeur de la ligne de remplissage supérieure/inférieure et la largeur de la ligne de la couche initiale dans les Préférences/Réglage en cliquant sur l'icône du code qualité, puis en désélectionnant la case à cocher des éléments.

Environnement (#p.40)
Épaisseur de la paroi - elle doit être égale à la largeur de votre ligne qui est la même que celle de votre buse. (2 mm) Si vous souhaitez que votre objet ait une épaisseur double ou triple, réglez ce paramètre sur deux ou trois fois la largeur de la ligne.
Nombre de lignes de la paroi - par défaut, ce nombre sera fixé à 1 si l'épaisseur de la paroi est égale à la largeur de la ligne. Si vous modifiez ce paramètre à 2 ou 3, l'épaisseur de la paroi devient grisée. L'épaisseur supérieure/inférieure est prise en compte à partir de la hauteur de la couche. J'ai tendance à ne pas imprimer une base ou un sommet, donc je mets ce paramètre à 0.
Épaisseur du dessus - sans remplissage, il est peu probable que vous imprimiez couvercle. Je l'ai mis à 0. Une fois à 0, je ne m’en suis plus occupé.
Épaisseur du bas - j'ai tendance à imprimer sur une plaque d'argile préparée à part, donc ne pas imprimer de base. Si j'imprime un base, j'imprimerai au moins 3 couches, de sorte que ait une hauteur de couche de 0,8 mm x 3 = 2,4 mm.
Optimisez l'impression des parois, remplissez les espaces vides, l'expansion horizontale et activez le retour ; j'éteins tout. Vous verrez alors combien il y a d'autres options de réglage dans la fenêtre des préférences !
C'est le moment d’enregistrer votre nouveau modèle personnalisé. Allez dans la case modèle où vous avez sélectionné le modèle Extra grossier et cliquez sur la case. À droite de la case, une étoile apparaît maintenant car le modèle a été modifié mais n'a pas été enregistré. Dans le menu déroulant, cliquez sur "Créer un modèle à partir des paramètres actuels...". Une boîte "Créer un modèle" apparaît. Lorsque je nomme des modèles, je trouve utile de donner un nom descriptif comme "Layer6_Nozzle2_Shell1". Vous pouvez également cliquer sur l'étoile et la fenêtre "Préférences" apparaît. Effectuer votre sauvegarde. Veillez à ne pas écraser le modèle par défaut "Extra grossier - 0,6 mm".

Remplir (#p.40)
Densité de remplissage - Je n'utilise pas de remplissage, donc réglez sur 0.
Distance de la ligne de remplissage - elle ne devient active que si un remplissage est utilisé. Si un remplissage est utilisé, il y a beaucoup d'autres paramètres à explorer.

Matériel (#p.41)
Wall Flow contrôle la vitesse de la vis de la tête d'impression et, comme je l'ai dit, dépend de la taille et du diamètre de la buse. Le débit peut également être contrôlé plus tard lors de l'impression sur l'écran LCD dans le réglage paramètre du débit. Maintenez le débit de la paroi à 100 % et modifiez le réglage une fois que vous aurez déterminé la qualité d'impression de votre modèle.
Débit de la couche initiale - gardez ce débit à 100 %. Activer le retrai.

Vitesse (#p.41)
Vitesse d'impression : c'est la vitesse à laquelle la tête d'impression se déplace pendant l'impression. Avec les petites imprimantes, j'imprime entre 25 et 30 mm/s. Avec les grandes imprimantes, j'imprime entre 40 et 60 mm/s.
Vitesse d'impression - réglée à la même vitesse que la vitesse d'impression, puis je désélectionne la visibilité.
Vitesse de déplacement - la vitesse à laquelle la machine se déplace de son point de repos vers le point de départ pour commencer à imprimer et la vitesse à laquelle elle se déplace entre deux impressions. Trop rapide, vous risquez de fausser les impressions car la tête d'impression se déplace entre les zones d'impression. J'ai tendance à régler entre 30 et 50 mm/s.
Vitesse de la couche initiale - il est utile que la première couche imprime plus lentement pour démarrer.
Contrôle des saccades - je ne l'active pas et dans les préférences, décochez la case.
Visibilité. Sauvegardez vos paramètres de modèle en sélectionnant "Mettre à jour le modèle avec les paramètres actuels" dans le menu déroulant modèle.

Déplacement (#p.41)
Mode peigne - Je laisse cela sur "Tous" sans savoir si cela fait une différence.

Évitez les parties imprimées lorsque vous vous déplacez - je désactive.
Z Hop When Retracted - Je l'active et lorsque vous le faites, l'option de hauteur apparaît.
Z Hop Height - Pour que l'extrusion s'interrompe entre les mouvements de la tête d'impression qui ne sont pas imprimés. J'utilise un réglage de 1 - 2 mm.

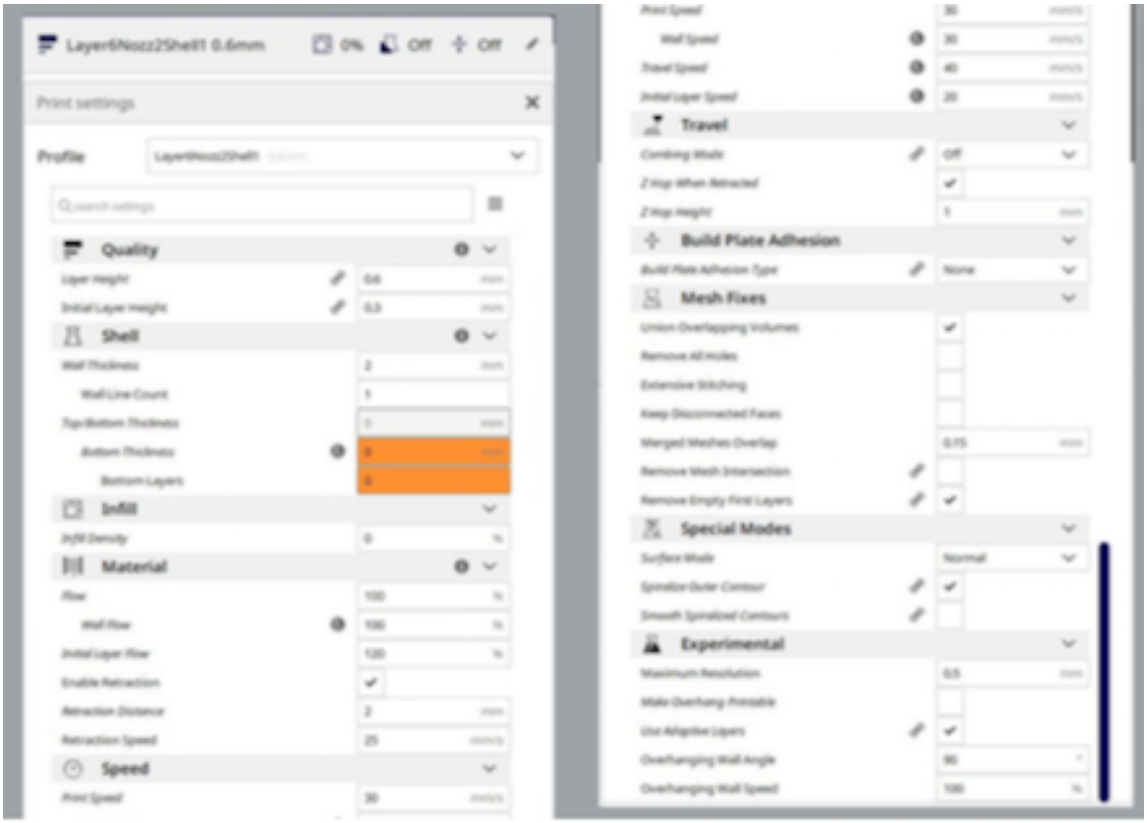
Adhérence de la plaque de construction (#p.41)
Type d'adhérence de la plaque de construction - je mets le paramètre "Aucune" sur "Aucune

Détermination des mailles (#p.41)
Je suggère de laisser ce groupe de paramètres tel quel pour le modèle Extra grossier par défaut sur lequel nous basons notre modèle personnalisé. Je suis tenté d'ignorer tous ces paramètres, mais si vous avez un fichier 3D mal découpé, ce sont les paramètres que vous utiliserez pour essayer d'améliorer le résultat.

Modes spéciaux (#p.41)
• Mode Surface - il est possible que ce mode soit important. Un fichier 3D bien dessiné et étanche devrait se découper parfaitement en mode "Normal" et "Normal" est le réglage que j'enregistre. Cependant, si vous avez un fichier où les surfaces se croisent ou si vous voulez imprimer des détails internes, le paramètre "Surface" essaiera de découper toutes les surfaces de votre modèle. Je n'ai pas trouvé l'option "Les deux" dans le menu déroulant utile, mais je l'ai essayée sur un fichier problématique.
• Spiralize Outer Contour - Je sélectionne cette option, mais seulement si mon modèle a une seule paroi. Cela ne fonctionnera pas sur les impressions à double paroi ou plus et même sur les objets à paroi simple, le modèle de la montée en Z peut apparaître - la déplacement en Z n'est pas toujours une montée en spirale parfaite.
• Contours en spirale lisses - je laisse cette option sélectionnée.

Expérimental (#p.42)
C'est une autre sous-catégorie de paramètres que je conserve. Ils sont définis dans le paramètre de modèle par défaut et je ne suis pas sûr qu'ils fonctionnent bien. Une option comme "Rendre le surplomb imprimable" doit être essayée de temps en temps. Si vous jetez un coup d'œil à la fenêtre des préférences (icône en forme de roue dentée dans la barre de navigation des sous-catégories), vous constaterez qu'il y a beaucoup d'autres paramètres expérimentaux que vous pouvez

sélectionner et les essayer.



Importation Exportation modèles d'impression
Tous les modèles personnalisés que vous aurez créés peuvent être consultés dans la fenêtre des préférences.
Allez dans "Paramètres" (en haut à gauche), dans la liste déroulante, allez dans "modèle" et dans la liste déroulante suivante, allez dans "Gérer les modèles" en bas.
Pour exporter, sélectionnez le modèle que vous souhaitez et cliquez sur "Exporter". (en haut à droite)
Pour importer un modèle, cliquez sur "Importer" (en haut à droite) et trouvez le fichier de modèle sur votre ordinateur. Il semble qu'on puisse importer un type de fichier .curamodèlee une nouveauté Cura, mais aussi l'ancien type de fichier Cura qui était un fichier de type .ini

Flux de travail de Cura (#p.43)
Une fois que vous avez configuré l'imprimante, le matériel, que vous vous avez un modèle d'argile personnalisé et que tout a été sélectionné et activé, vous êtes prêt à découper un modèle en 3D.
Cliquez sur l'icône "Dossier" (en haut à gauche) et trouvez votre fichier 3D.
Le modèle est automatiquement placé sur le support de modélisation.

Cliquez à gauche sur le modèle pour le sélectionner. Tout cela se fait dans l'onglet "Préparer" (en haut au centre)

Outils d'édition de modèles (#p.43)
Lorsqu'un modèle est sélectionné, la palette d'outils située à gauche de la fenêtre principale devient active.
Déplacer - un modèle peut être déplacé par un clic gauche, il peut être déplacé numériquement dans la fenêtre de déplacement vers la gauche ou il peut être déplacé sur les flèches de l'axe x y z. Un modèle ne fera que se découper à partir du support de modélisation vers le haut, de sorte que la forme peut être coupée en déplaçant le modèle sous la base.
Échelle - si vous cliquez sur le bouton gauche de la souris, le modèle peut être mis à l'échelle numériquement, "uniformément" ou non, selon que la case est cochée ou non, et s'il n'est pas coché, il peut être mis à l'échelle sur les flèches de l'axe x, y et z.
Rotation - clic gauche et glisser sur les cercles x y z. Il existe également des boutons d'orientation.
Miroir - en espérant qu'il soit évident.
Pour les deux derniers outils, Mesh Type et Support Blocker plus d'infos sur le net. Le type de maillage peut vous permettre d'avoir différents réglages de couche dans un même objet.
Cliquez sur le bouton droit de la souris dans le menu du modèle

Ce menu déroulant est relativement explicatif. C'est ici que vous effacez le support de modélisation lorsque vous voulez découper un autre modèle. La fonction "Réinitialiser toutes les positions du modèle" peut également être utile.

Bouton "couche (#p.43)
Une fois que vous êtes satisfait de votre modèle, cliquez sur "coucher" à moins qu'il ait été découpé automatiquement. Dans la fenêtre des préférences (en haut à gauche), colonne de gauche, en haut, se trouve un réglage de préférence "général". Vous y verrez une case de sélection pour "coucher automatiquement" ou non. Je préfère que ce ne soit pas automatique, sinon chaque fois que vous modifiez un paramètre ou modifiez votre modèle, elle disparaît. Lisez les "Préférences générales", car il peut y avoir des réglages par défaut que vous préférerez.

Aperçu de la couche (#p.43)
Une fois le découpage en couches effectué, passez à l'onglet

"Aperçu" (en haut au centre) ou à l'endroit où se trouvait le bouton "coucher", "Aperçu". Il y a un curseur à droite de la fenêtre principale pour vérifier les couches ou un contrôleur d'animation de tête d'impression en bas de la fenêtre. Si vous cliquez avec le bouton gauche de la souris sur l'un de ces curseurs, vous pouvez également utiliser les flèches du clavier pour déplacer ces animations. Un clic gauche au milieu de la fenêtre, puis l'utilisation des flèches du clavier permet de déplacer le support de modélisation. Le bouton du milieu de la souris maintenu enfoncé déplace la support de modélisation et le modèle dans la fenêtre. Un clic droit maintenu enfoncé le fait tourner et la molette de la souris l'agrandissement - toute manipulation à laquelle on peut s'attendre dans un espace virtuel.

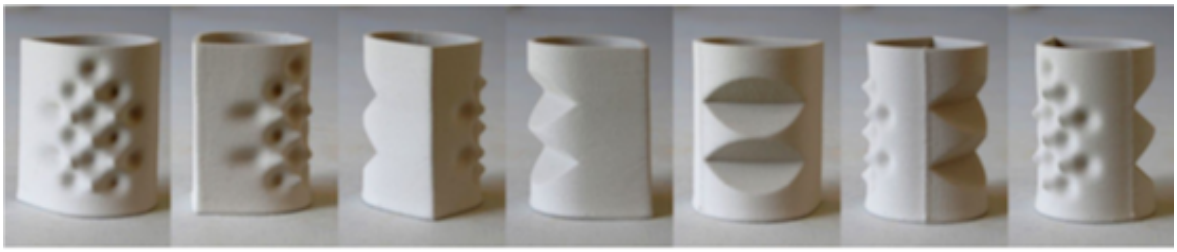
Sauvegarder le G-code (#p.44)
Le bouton de sauvegarde se trouve en bas à droite une fois que le découpage a eu lieu. S'il y a un disque amovible dans votre ordinateur, celui-ci s'affiche comme une préférence pour la sauvegarde, mais offre également une flèche avec des options. Vous pouvez également aller dans "Fichier" (en haut à gauche), descendre dans "Exporter", sélectionner "G-code" comme type de sauvegarde dans la fenêtre qui s'ouvre et sauvegarder.

Annexe - Documentation détaillée (#p.44)
1 - Test de la relation entre la taille de la buse, la hauteur de la couche, la vitesse d'impression et la consistance du matériau pour l'impression 3D par extrusion d'argile

Introduction (#p.44)
Comme pour de nombreux procédés techniques, un certain nombre de variables entrent en jeu dans la réussite de l'impression 3D d'argile. En se concentrant sur la qualité de l'impression, ces tests portent sur la relation entre la taille de la buse, la hauteur de la couche, la vitesse d'impression et la consistance du matériau . Pour des raisons de commodité et de temps d'impression, les tests ont été effectués sur une petite échelle de la taille d'un gobelet en utilisant une forme standard de 8 cm de hauteur. Bien que les spécificités de ces tests soient pertinentes pour cette échelle d'impression 3D, on espère que les conclusions générales et les modèles de résultats seront pertinents pour toutes les échelles d'impression 3D argile.
Des tests précédents ont montré (voir Tests d'impression avec de l'argile) que les propriétés physiques du matériau utilisé, en particulier la

plasticité de l'argile, ont une influence significative sur la qualité de l'impression. Afin de se concentrer sur les objectifs spécifiques de cette série de tests, les variables du matériau ont été regroupées en un seul corps d'argile. Un grès a été sélectionnée (Sio2, PRAI 13 310 200) connue pour présenter de bonnes qualités d'impression par extrusion dans l'imprimante utilisée.
Note : Toutes les images ont été produites en haute qualité pour permettre de zoomer pour voir les détails. (Ctrl+roue de la souris)

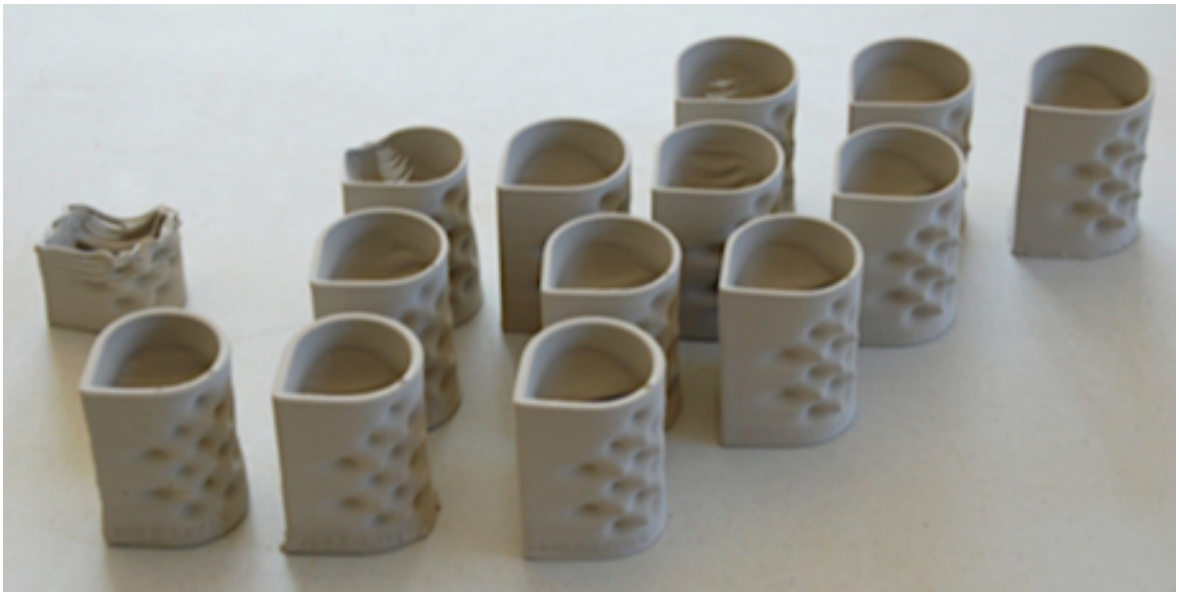
Version de référence (#p.44)
Pour établir un point de référence permettant de comparer les tests d'impression, un premier échantillon de la forme a été imprimé. D'après les expériences passées, une buse de 1,6 mm a été utilisée avec une hauteur de couche de 0,5 mm, une vitesse d'impression de 30 mm par seconde et de l'argile de consistance moyenne. (Voir le test de l'argile pour les mesures de consistance). Une double paroi a été imprimée car elle on sait qu'elle apporte de la stabilité à l'impression. Notez que tous les autres tests ont été effectués avec une paroi ou une enveloppe simple. L'objectif était de prouver que ce type d'échantillon pouvait être imprimée de manière nette et sans déformation, ce qui fut le cas.



Impression de référence à l'aide d'une buse de 1,6 mm, hauteur de la couche 0,5 mm, argile de consistance moyenne et double paroi.

Tests de la hauteur de la buse par rapport à la couche (#p.45)
Le premier objectif était de lancer une série de tests pour voir s'il était possible de trouver un rapport idéal entre la taille de la buse et la hauteur de la couche. La vitesse d'impression et la consistance du matériau ont été maintenues constantes. De l'argile de consistance moyenne a été utilisée à une vitesse d'impression de 25 mm par seconde.
En raison de l'énorme variation du caractère des argiles, il est dangereux de parler d'idéal dans l'impression de l'argile. Il serait donc préférable de dire que l'objectif était de trouver la bonne proportion entre diamètre de la buse d'impression et hauteur de chaque couche d'impression. Quatre tailles de buses ont été testées (1 mm, 1,6 mm, 2

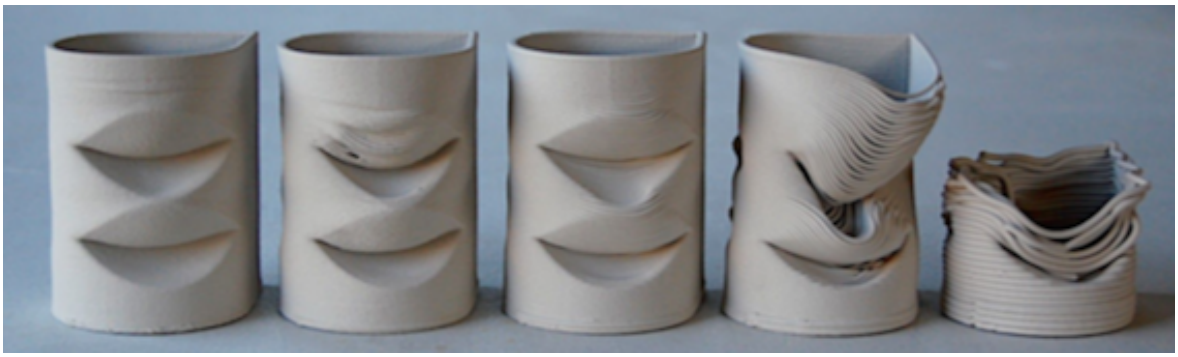
mm, 3 mm), l'ensemble des résultats étant plus important que chaque test prit individuellement.



Aperçu des tests - la taille de la buse diminue de l'avant vers l'arrière et la hauteur de la couche diminue de gauche à droite.

Taille de la buse - (de gauche à droite) 3 mm, 2 mm, 1,6 mm et 1 mm.
(#p.46)

Démarche
Tout d'abord, une première série de tests a été réalisée afin d'établir les proportions les meilleures probabilités pour des tests supplémentaires. Un test de 1:1 (diamètre de la buse/hauteur de la couche) s'est effondré assez rapidement après avoir atteint la zone en relief et en surplomb - à l'extrême droite sur la photo ci-dessous. En utilisant une buse de 2 mm avec une hauteur de couche de 2 mm, la couche s'est enfoncée sous la pression de la buse et le poursuite de l'impression n'a plus été possible . Ensuite, une buse de 1,6 mm avec une hauteur de couche de 1 mm a été testée, offrant un rapport proche d'une proportion de 3:2 - deuxième à partir de la droite sur la photo ci-dessous. Bien que l'impression ait été meilleure que celle de la buse 1:1, les couches n'étaient pas suffisamment serrées pour respectet le surplomb. Cette proportion s'imprimait bien dans la verticale et s'adaptait bien sans distorsion ni retard dans la zone en relief, mais s'affaissait dès l'angle de 45° atteint.



Tests déterminant les proportions entre la buse et la hauteur de la couche qui méritent d'être prises en considération.
De gauche à droite - 5:1, 3:1, 2:1, 3:2, 1:1.

Les proportions de 2:1, 3:1 et 5:1 ont toutes été testées avec succès. Un test a donc été conçu en utilisant ces trois proportions avec les quatre tailles de buses.

Les tests, tels qu'illustrés ci-dessous, visent tout d'abord à comparer la netteté ou le rendu d'une paroi en coin pour chacune des quatre tailles de buse. Chaque taille de buse est testée en utilisant les trois rapports de proportion de buse et de couche. Ensuite, une zone de faible relief est prévue dans le processus afin de pouvoir comparer la façon dont la hauteur de la buse et de la couche affecte la qualité d'impression d'un modèle en série. Troisièmement, la forme comporte deux indentations inclinées à 45°, afin de pouvoir observer comment les différents réglages permettent de faire face au problème de l'affaissement de

l'argile sur un surplomb pendant l'impression. En gardant à l'esprit que le test de référence à deux parois imprimées ne montre aucun signe d'affaissement.
Tous les tests ont été imprimés sur une petite imprimante de type Delta (CERAMBOT), en utilisant une même argile de consistance moyenne, à la même vitesse d'impression de 25 mm par seconde. De l'air comprimé a été utilisé pour amener l'argile jusqu'à la tête d'impression, une pression d'air plus importante étant nécessaire pour alimenter le flux d'argile adéquat pour les grands diamètres de buses. La vitesse de la vis de la tête d'impression, ayant été préalablement configurée dans le logiciel de découpe (Cura), est automatiquement changé à chaque nouveau fichier G-code. Chaque test a été imprimé avec une base à trois couches.
Note : Toutes les photographies ont été intégrées dans ce document en haute qualité afin de pouvoir être zoomées pour une observation détaillée. (#p.46)

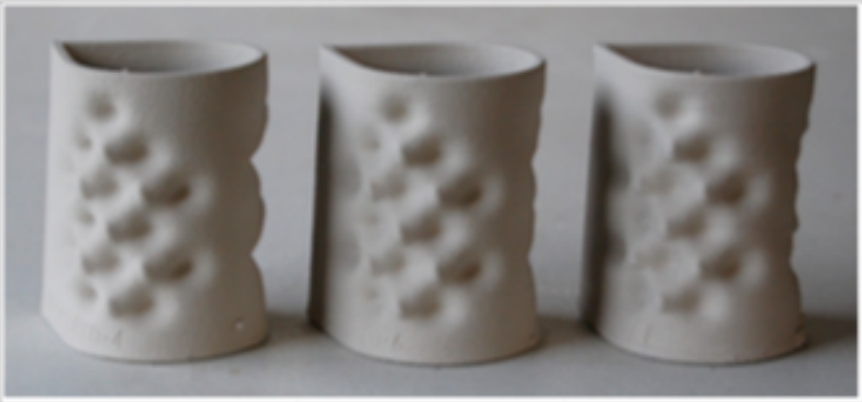
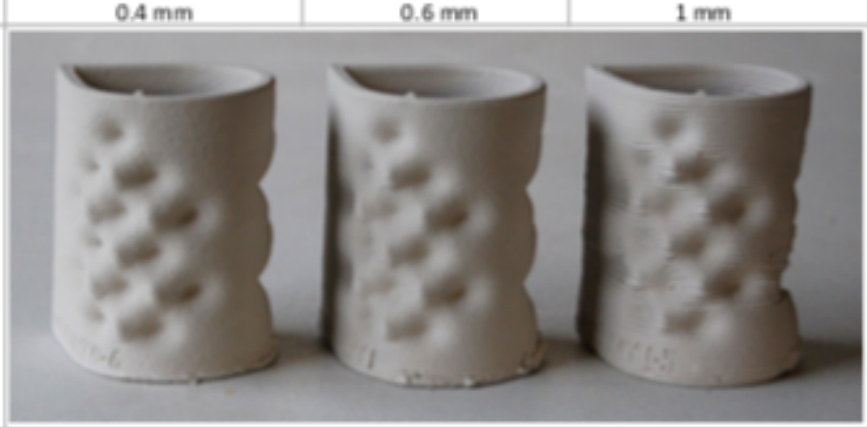
Test de l'arête verticale (#p.47)
proportion de la couche (layer) en rapport avec le Ø de la buse (nozzle)

Nozzle : Layer	1:5	1:3	1:2
Nozzle 1 mm			
Layer height	0.2 mm	0.33 mm	0.5 mm
Nozzle 1.6 mm			
Layer height	0.32 mm	0.53 mm	0.8 mm

Nozzle 2 mm			
Layer height	0.4 mm	0.6 mm	1 mm
Nozzle 3 mm			
Layer height	0.6 mm	1 mm	1.5 mm

Test de modèle à faible relief (#p.48)
proportion de la couche (layer) en rapport avec le Ø de la buse (nozzle)

Nozzle : Layer	1:5	1:3	1:2
Nozzle 1 mm			
Layer height	0.2 mm	0.33 mm	0.5 mm
Nozzle 1.6 mm			
Layer height	0.32 mm	0.53 mm	0.8 mm

Nozzle 2 mm			
Layer height	0.4 mm	0.6 mm	1 mm
Nozzle 3 mm			
Layer height	0.6 mm	1 mm	1.5 mm

Test du surplomb (#p.49)

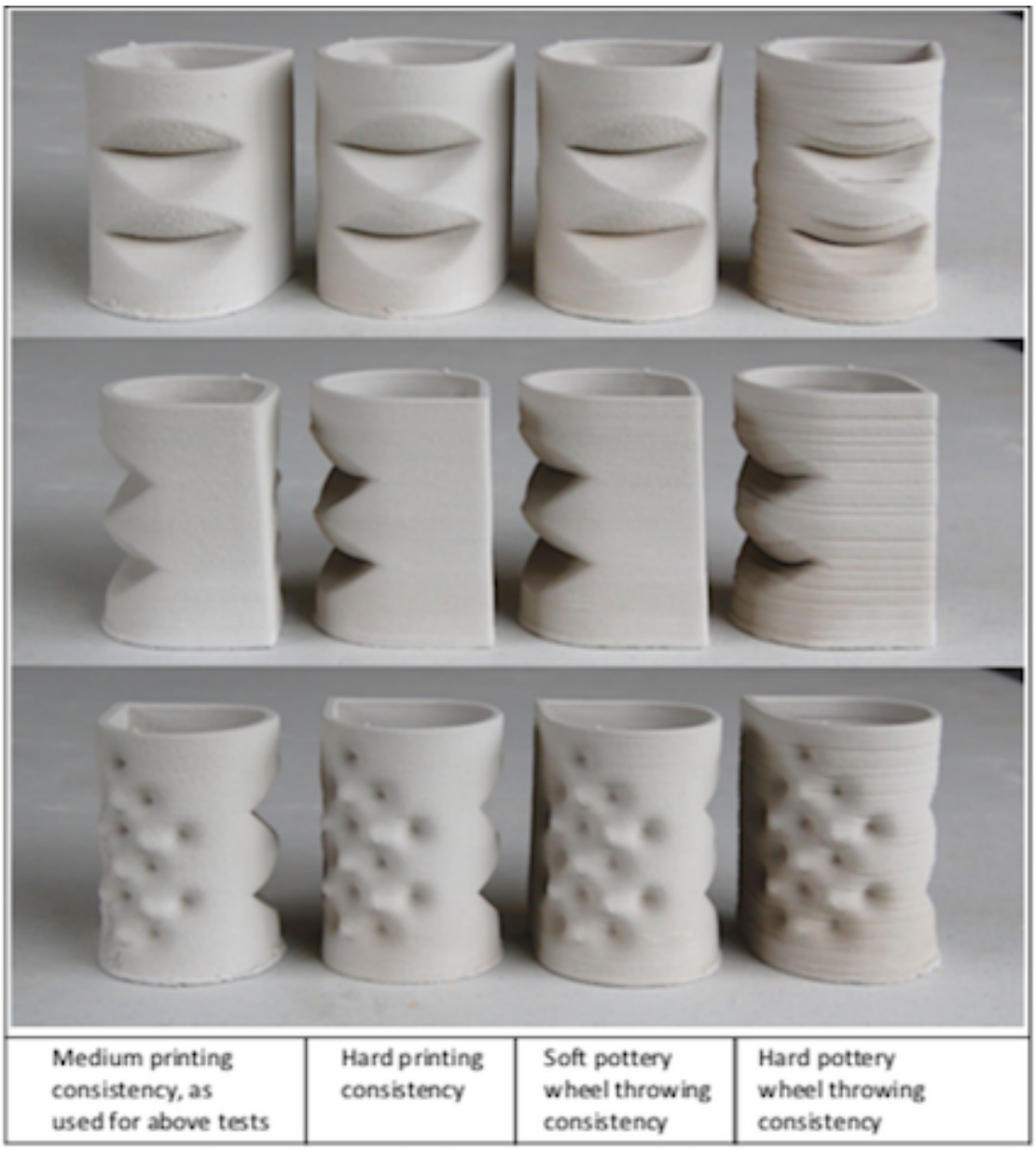
Nozzle : Layer	1:5	1:3	1:2
Nozzle 1 mm			
Layer height	0.2 mm	0.33 mm	0.5 mm
Nozzle 1.6 mm			
Layer height	0.32 mm	0.53 mm	0.8 mm

Nozzle 2 mm			
Layer height	0.4 mm	0.6 mm	1 mm
Nozzle 3 mm			
Layer height	0.6 mm	1 mm	1.5 mm

Test de vitesse (#p.50)
Le but de ce test était de déterminer si la vitesse d'impression a une incidence significative sur le résultat final. Pour ce test, une buse de 2 mm a été utilisée tout au long du processus, ainsi qu'une argile de consistance moyenne et une hauteur de couche de 0,6 mm. Une base à trois couches a de nouveau été incluse dans chaque impression.
Il convient de noter que l'imprimante utilisée est stable et précise à la fois à basse et à haute vitesse, de sorte qu'il n'y a pas eu d'imprécisions dues à des limitations mécaniques. En outre, pour les besoins d'un test de référence, on s'est assuré que l'alimentation d'argile était convenable à toutes les vitesses et qu'il n'y avait pas de défauts dus à l'alimentation en matériau. Une grande différence de temps d'impression, de 12 à 42 minutes, a été prévue dans le test afin d'assurer la meilleure comparaison possible.

Test de résistance à l'argile dure (#p.51)
Dans ce type d’mpression 3D, plus la consistance de l'argile utilisée est ferme, plus l'impression doit être stable pour éviter déformation ou effondrement.
Deux tests ont été conçus pour vérifier cette hypothèse. Le premier utilise le même modèle déjà utilisé ci-dessus et les impression sont été réalisées à l'aide d'une buse de 2 mm avec une hauteur de couche de 0,6 mm et une vitesse d'impression de 25 mm par seconde. Le deuxième groupe de tests utilise une forme évasée avec un angle de 45° et un diamètre de 4 cm, une hauteur de 6 cm et un diamètre de 16

cm. Les tests ont été effectués avec une buse de 3 mm et une hauteur de couche de 0,6 mm et ont été imprimés à une vitesse de 25 mm par seconde.



Consistance moyenne, telle qu'utilisée pour les tests ci-dessus
Consistance dure I Consistance argile de tournage
Consistance argile de tournage ferme

Pour ces tests, quatre échantillons ont été préparés à partir d'une consistance moyenne à dure. À titre indicatif, la consistance moyenne de l'argile forme une boule molle dans les mains et l'argile colle et s'accumule rapidement sur les mains lorsqu'on la manipule. Une boule d'argile dure est toujours douce au toucher, mais si vos mains sont propres, elle peut être manipulée sans laisser de traces importante. La

manipulation de l'argile molle pour tournage, colle peu aux mains la boule est raisonnablement résistante à la manipulation. L'argile dure, laisse les mains restent propres et il faut un peu de force pour modifierer la boule.

	Medium Printing consistency	Hard Printing consistency	Soft Pottery Wheel Throwing consistency	Hard Pottery Wheel Throwing consistency
Drop Spike - this tool represents the distance a 38 cm (235gm) sharpened steel rod penetrates	30 mm	26 mm	22 mm	17 mm

Enfoncement mesuré avec l'outil "Drop spike". Voir fin du document
Consistance moyenne : 30mm / Consistance dure : 26mm
Consistance argile de tournage : 22mm / Consistance argile de tournage ferme : 17mm

into the clay sample when dropped from a constant height of 9 cm.				
The pressure used during printing. For the hardest clay a mechanical ram clay delivery was used.	2.5 Bar	4 Bar	6 Bar	Mechanical ram clay delivery used.

Lorsqu'on fait tomber l'outil "Drop spike" d'une hauteur constante de 9 cm, pression nécessaire à l'extrusion
Consistance moyenne : 2,5 bar / Consistance dure : 4 bar
Consistance argile de tournage : 6 bar / Consistance argile de tournage ferme : extrusion mécanique

Test de rigidité de l'argile - l'argile la plus dure à gauche est la plus tendre à droite.

Pour le test de la forme évasée, l'objectif était d'effectuer le test jusqu'à ce que l'empreinte se brise. Pour s'assurer que le test était téalisable, on avait un pièce de référence, à droite sur la photo, qui a été impriméavec une double paroi en utilisant l'argile d'impression moyenne, une buse de 1,6 mm, une hauteur de couche de 0,5 et à 30 mm par seconde. L'argile d'impression dure , consistance argile de tournage dure, n’a pas non plus été testée.
Sur l'illustration, le test de consistance de la pâte à modeler "Soft Pottery Wheel Throwing" se trouve à gauche. Il est suivi de l'argile dure, la deuxième à gauche. Les deux tests de droite sont les mêmes pour la pâte consistance moyenne. L'échantillon de l'extrême droite est la pièce de référence. Le deuxième à droite, comme pour les deux premiers tests, est imprimés à l'aide de la buse de 3 mm.

Conclusions (#p.53)
Notre volonté n’est pas de fournir des règles strictes et définitives, mais de constituer une documentation qui offre une référence de travail. Compte tenu de la variabilité de l'argile et de la complexité de la technologie utilisée, on a un aperçu des processus plutôt que des résultats précis.

Proportion de la hauteur de la buse par rapport à la couche (#p.54)

Décider de la proportion entre la taille de la buse et la hauteur de la couche sera toujours un choix individuel basé sur la préférence personnelle et le type de travail à effectuer. Cette recherche a montré qu'il existe des paramètres exploitables entre une proportion de 1:2 à 1:5 de la hauteur de la couche par rapport au diamètre de la buse.
D'après les buses testées, il semble que 1:3 soit un bon point de départ. Une autre observation est que plus la buse est grande, plus la proportion du rapport se déplace vers la partie la plus petite de l'échelle des rapports. Par exemple, un rapport de 1:2 produit une impression nette avec une buse de 1 mm, alors qu'un rapport de 1:5 serait préférable avec une buse de 3 mm.
Sur le test du bord vertical, il est logique que plus la buse est fine, plus le coin sera net à condition que le diamètre de l'extrusion d'argile soit suffisant. La hauteur de la couche semble avoir peu d'effet significatif sur la qualité du bord.
La hauteur de la couche s'est avérée plus significative dans le test du modèle en bas relief. Toutes les impressions sont possibles, de sorte que le choix dépendra de la préférence personnelle, la plus grande proportion étant fortement stratifiée et les plus petites proportions présentant une texture granuleuse à mesure que les couches se compactent. Ce phénomène s'accentue plus la taille de la buse diminue.

Le test d'indentation à 45° degrés n'a pas présenté de différences aussi marquées que prévu. Il y a certainement un équilibre à trouver lorsque le dépot d’argile se produit sur une pente de 45°. Un aplatissement trop important, avec un réglage fin, déformera l'impression, tandis qu'un dépot d’argile trop important entraînera la rupture de la couche. C'est peut-être pour cette raison que la plage moyenne de 1:3 s'est souvent révélée être celle qui imprime avec le moins de déformation.

Une observation évidente, qu'il faut garder à l'esprit, est que plus la buse est grande, plus l'impression est stable. Alors que la proportion de la hauteur par rapport à la largeur de l'extrusion était maintenue constante pour chaque taille de buse, plus la paroi s'élargit en fonction de taille de buse, plus l'impression semble plus stable. Cela dit, si la paroi imprimée semble très délicate et ondulée ou instable avec la buse de 1 mm, les impressions ont été correctes.

Vitesse d'impression (#p.54)
Bien que les résultats du test de vitesse ne soit pas très intéressants, le test a été très révélateur pour cette même raison. A 40 mm par seconde,

il faut 12 minutes pour imprimer l'échantillon, y compris une base à trois couches. Et à 10 mm par seconde il Ainsi, si l'équipement le permet, la vitesse d'impression n'a pas vraiment de conséquence sur le résultat de la qualité d'impression. A condition de disposer d'un système parfaitement équilibré pouvant supporter la vitesse tant dans la distribution de l'argile que dans la tenue mécanique de la machine.

Résistance de l'argile dure (#p.54)
Les deux tests conçus pour examiner l'effet de la consistance progressivement plus rigide de l'argile utilisée sur les échantillons ont été à la fois très instructifs et de différentes manières.
Sur l'échantillon vertical, il y a très peu de différence de qualité d'impression entre une consistance d'argile molle et dure. Le modèle répété s'est imprimé de manière très similaire dans les quatre tests. Le test utilisant l'argile la plus dure présente des problèmes de stratification à débit variable, mais ceux-ci sont dus à l'équipement et non à l'argile. En raison de la fermeté de l'argile, un piston mécanique a été utilisé pour alimenter l'imprimante pour ce test et la variation de la qualité de la surface est due au fait que la vitesse du piston n'a pas été bien contrôlée. Je pensais que l'argile plus dure présenterait moins de distorsion sur l'indentation de 45°, mais comme on peut le voir sur les photos, il y a peu de différence entre les quatre échantillons testés. L'argile plus rigide n'a pas mieux résisté que l'argile de consistance moyenne.

La documentation photographique des tests de forme évasée raconte sa propre histoire. Plus l'argile est dure, moins l'évasement sera important. Contrairement aux attentes, l'argile rigide ne tient pas mieux dans cette forme qu'une argile de consistance moyenne plus molle. Il semblerait que la rigidité de l'extrusion fasse s'affaisser la paroi. Sur une construction verticale, cela ne poserait pas de problème, mais pour toute forme qui s'écarte de la verticale, il semble qu'il n'y ait aucun avantage à utiliser de l'argile plus ferm. Il faut souligner que, comme l'ont montré d'autres tests (voir annexe plus bas : Formuler et tester une argile pour l'impression 3D par extrusion), une argile trop molle ne fonctionnera pas non plus.

L'optimisation d'un système, quel qu'il soit, se fait souvent à petits pas et cette série de tests a permis de mieux comprendre jusqu'où l'on peut pousser l'impression d'argile. Les données sur les buses et le rapport des couches ne font probablement que confirmer ce à quoi les praticiens

sont parvenus par tâtonnements. Les gens imprimeront à la vitesse qui leur convient, suivant leur équipement, mais il est rassurant de savoir que, quelle que soit la vitesse, il n'y a pas grand avantage à la modifier. L'absence de tout avantage perceptible de l'utilisation d'argile ferme, sauf pour l'impression verticale, est la plus pertinente. L'utilisation d'argile dure nécessite un équipement plus robuste et s'il n'y a aucun avantage à en tirer, il n'est pas nécessaire d'en relever le défi technique.

Le meilleur résultat sera obtenu, les tests le confirment, grâce à l'expérience acquise progressivement, en utilisant un équipement standard mais bien configuré et une technique soignée.

2 - Essai de six argiles pour l'impression 3D par extrusion (#p.54)

Introduction
L'argile en tant que matériau naturel n'est pas uniforme, aux caractéristiques différentes d'un gisement à l'autre et d'un type à l'autre. Pour l'extrusion, l'argile d'impression 3D peut être utilisée brute de carrière, après nettoyage et préparation ou être une composition d'argiles et/ou d'autres additifs tels que lchamotte et adjuvants. L'objectif de cette recherche était de donner quelques mesures pratiques des caractéristiques souhaitables pour l'impression 3D avec de l'argile.
L'approche adoptée a consisté à préparer six argiles différentes de même consistance, puis à effectuer les mêmes tests sur chaque échantillon. C'est la rhéologie, le caractère, la déformation et l'écoulement de l'argile en pâte qui devaient être étudiés. La consistance de l'argile a d'abord été jugée à l'œil et au toucher, car c'est ainsi que l'on évalue généralement l'argile pour l'impression.

Note : Toutes les images ont été produites en haute qualité pour permettre de zoomer pour voir les détails. (Ctrl + molette de la souris)

Les argiles testées (#p.56)
• China Clay - On a utilisé du kaolin chamottée, extrait en Cornouailles, au Royaume-Uni. L'échantillon a été mélangé à de l'argile en poudre. Plus d'eau que nécessaire a été ajoutée, et le mélange a été mis à réssuyer pendant la nuit jusqu'à ce que la consistance standard souhaitée soit atteinte.
• Porcelain Clay - il s'agissait d'un mélange recyclé d'un certain nombre de références de porcelaines fournies par le commerce. L'échantillon avait été stocké en pâte souhaitée dans du plastique.

• Ball Clay - un grès blanc cassé, l'Hyplas 71, extrait dans le Devon, au Royaume-Uni. Mélange en poudre, bien détrampé puis laissé à réssuyer pendant la nuit jusqu'à la consistance désirée.
•Fine Stoneware Clay - Artemis White Stoneware - une argile que j'apprécie particulièrement, réf.164 ARTE/PRAI du fournisseur espagnol Sio-2 chamottée à 40% (grain de 0 - 0,2 mm). De l'eau a été ajoutée à l'argile pour la rendre plus molle.
• Coarse Stoneware Clay - Ivanhoe, fournie par Potclays UK, une argile que j'ai utilisée pour de grands objets imprimés en 3D. De couleur claire, chamotté à 20 % passée au tamis 40# (0 - 0,5 mm).

Red Clay - un mélange d'Red Clay recyclée qui est sableuse mais fine et lisse. Elle est stockée dans une consistance molle.

Consistance de la pâte d'argile (#p.56)
Chaque échantillon a été minutieusement mélangé à la main, de sorte que chacun d'entre eux présente la même consistance au toucher et en apparence. Cette consistance tout juste molle telle que l'argile brille en surface sans effet particulier si l'on empile les boules les unes sur les autres couche. Avec des mains propres et sèches, les boules d'argile ne collent pas aux mains, si on se contente de les saisir : la pâte d'argile est douce, est juste assez rigide pour être manipulée.

China Clay Porcelain Ball Clay Fine Stoneware Coarse Stoneware Red Clay

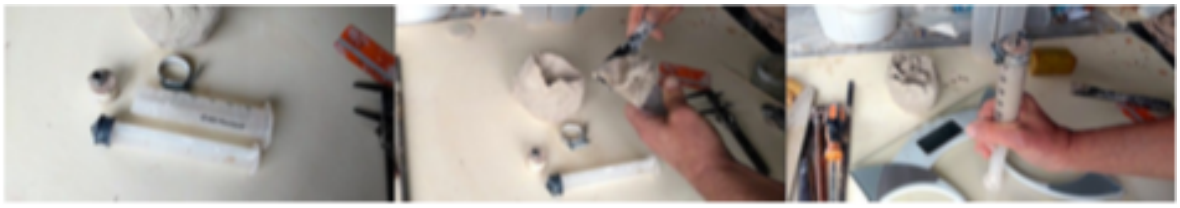
Procédure et équipement de test (#p.56)
Cette recherche avait plusieurs objectifs :
● Pour évaluer le rapport argile/eau dans les mélanges d'argile de même consistance.
● Pour développer un outil simple permettant de mesurer la consistance de l'argile molle.
● Pour mesurer la pression ou la force nécessaire pour extruder de l'argile molle de même consistance à travers une buse étroite.
● Pour mesurer les comparaisons du débit des différents échantillons d'argile dans un tube étroit de 40 cm de long.

● Pour échantillonner les caractéristiques d'impression 3D de chaque argile.
● Pour mesurer le retrait des différentes argiles à sec et lorsqu'elles sont cuites à 1000°C et 1220°C.

Quantité d'eau (#p.57)
Un échantillon de 200 g de chaque argile de même consistance a été séché en atmosphère naturelle puis repesé bien sec. La teneur en eau de la pâte a ainsi pu être calculée.

Consistance de l'argile - Drop Spike (#p.57)
J'ai fabriqué un outil basique à pointe tombante qui s'est avéré tout à fait adapté et précis. La profondeur de la pénétration est calculée sur quatre essais et enregistrée. À ma grande surprise, les six échantillons d'argile, mélangés à la main et à l'œil pour être jugés de même consistance, étaient tous à moins de 5% les uns des autres sur la mesure de la "pointe". Voir le document "Drop Spike".

Calcul de la pression nécessaire dans une seringues (#p.57)
Une seringue de 60 ml avec un embout amovible a été adaptée avec une buse de 8 mm afin qu'il ne soit pas nécessaire d'exercer une pression trop forte pour noter le moment où on atteint la mise en mouvement du piston. La force d'extrusion a été mesurée en pressant le piston de la seringue sur un pèse-personne. Ce test visait plus spécifiquement à bien comprendre la rhéologie de l'argile pour les imprimantes où la masse d'argile doit être transportée jusqu'à la tête d'impression.

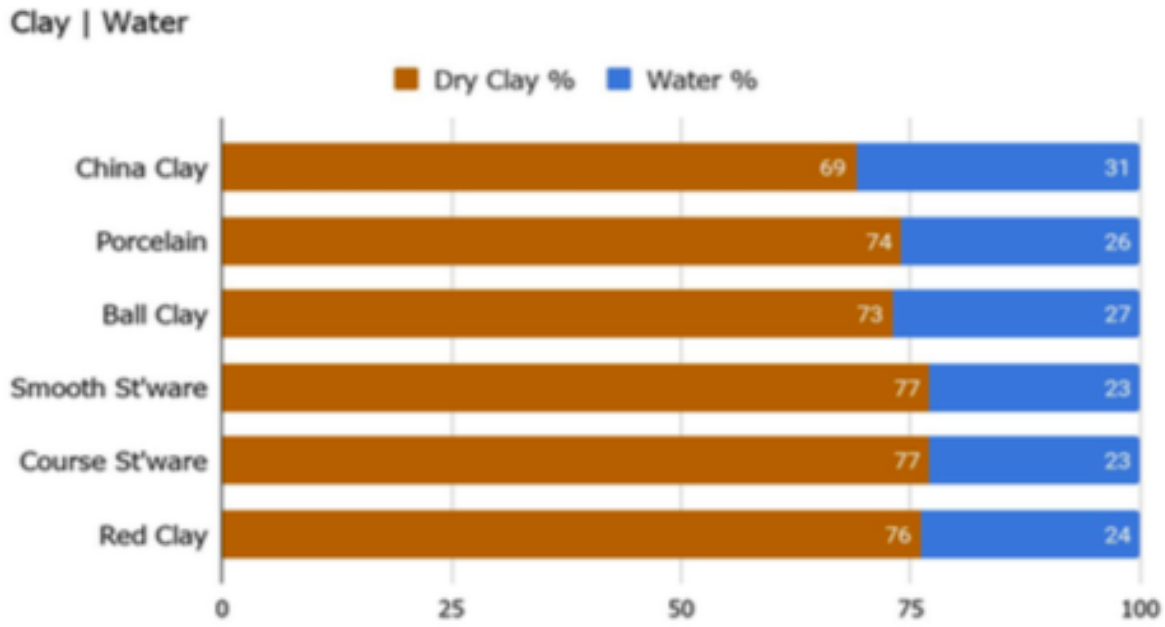


Pression et débit dans les tubes (#p.57)
On a rempli avec chacun des échantillons un récipient de 500 ml, sous pression, relié à un tube en plastique de 40 cm de long et de 6 mm de

diamètre intérieur, puis le débit a été mesuré. Ce test donne des résultats très différents de ceux de l'extrusion en seringue ci-dessus. Il a été conçu en référence aux imprimantes où le volume d'argile est conduit le long d'un tube jusqu'à la tête d'impression. Il n'a pas été possible de comparer clairement le débit des six argiles, car la Fine Stoneware Clay et la Red Clay ont nécessité une pression plus importante pour circuler le long du tube de 40 cm. La China Clay, la Porcelain Clay, la Ball Clay et le Coarse Stoneware Clay ont tous été testés sous une pression de 3 bars (43 psi), tandis que la Fine Stoneware Clay et la Red Clay ont nécessité une pression de 4 bars (58 psi).

Qualité d'impression 3D (#p.58)
Une petite imprimante de type Delta avec un tube d'alimentation de 40 cm a été utilisée pour réaliser les échantillons d'impression. Un simple cylindre de 6 cm de diamètre et de 6 cm de hauteur a été choisi comme échantillon d'impression. Un G-code en spirale a été préparé dans le logiciel de découpage Cura à l'aide d'une buse de 2 mm de diamètre pour la tête d'impression. Hauteur de couche de 0,7 mm, vitesse d'impression de 25 mm par seconde. Le même fichier d'impression a été utilisé pour chaque échantillon d'argile et il n'est pas surprenant que chaque impression soit très similaire. La pression de distribution de l'argile a juste dû être ajustée en fonction des résultats obtenus lors des tests de débit de pression du tube.

Résultats des tests (#p.58)
Bien que la composition, le caractère et la rhéologie des argiles soient réputés difficiles à déterminer et qu'il n'y ait pas de prétention à une grande précision avec ces tests, l'ensemble des résultats est utile pour aider à des choix éclairés et donne une idée de ce à quoi il faut s'attendre lors du choix des argiles à utiliser pour l'impression 3D avec de l'argile.

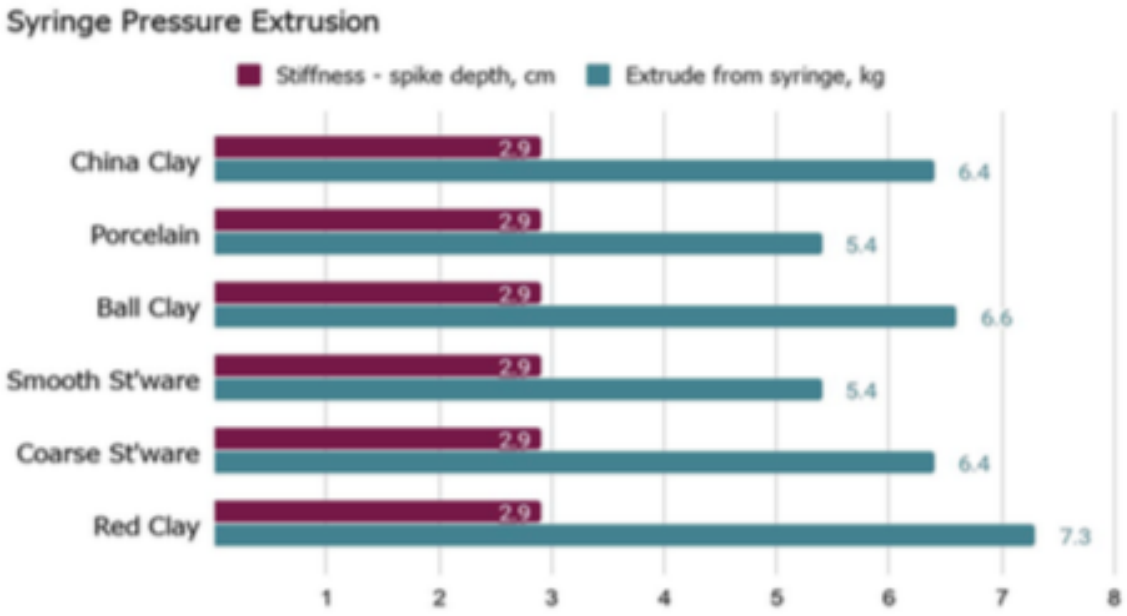


Rapport % argile / % d'eau

Argile et eau

Ces résultats montrent clairement que des argiles de même consistance, mesurées au toucher et à l'œil, confirmés par les mesures, ont des rapports différents entre matière sèche et eau. Ceci est pertinent pour l'impression 3D avec de l'argile, car pour la stabilité des formes complexes avec des surplombs, il pourrait être utile que l'argile sèche rapidement - moins il y a d'eau, plus l'argile sèche rapidement. D'autres techniques d'impression pourraient nécessiter une argile à séchage lent. Lors des tests, le Coarse Stoneware Clay, la China clay et la Ball Clay ont nécessité le plus d'eau. On s'attendait à ce que la teneur en eau de la Red Clay soit plus élevée, mais j'ignore quelle quantité de matière non argileuse, sous forme de sable fin, se trouve dans l'argile testée. Les argiles mélangés comme la Porcelain Clay et les deux grès qui sont composés d'un pourcentage de matériaux non argileux devaient avoir une teneur en eau inférieure. Les particules d'argile ont une forme plate ou en plaquettes, qui absorbe plus d'eau entre les couches que celles qui sont plus arrondies, telles que les particules non argileuses, utilisée comme chamotte.

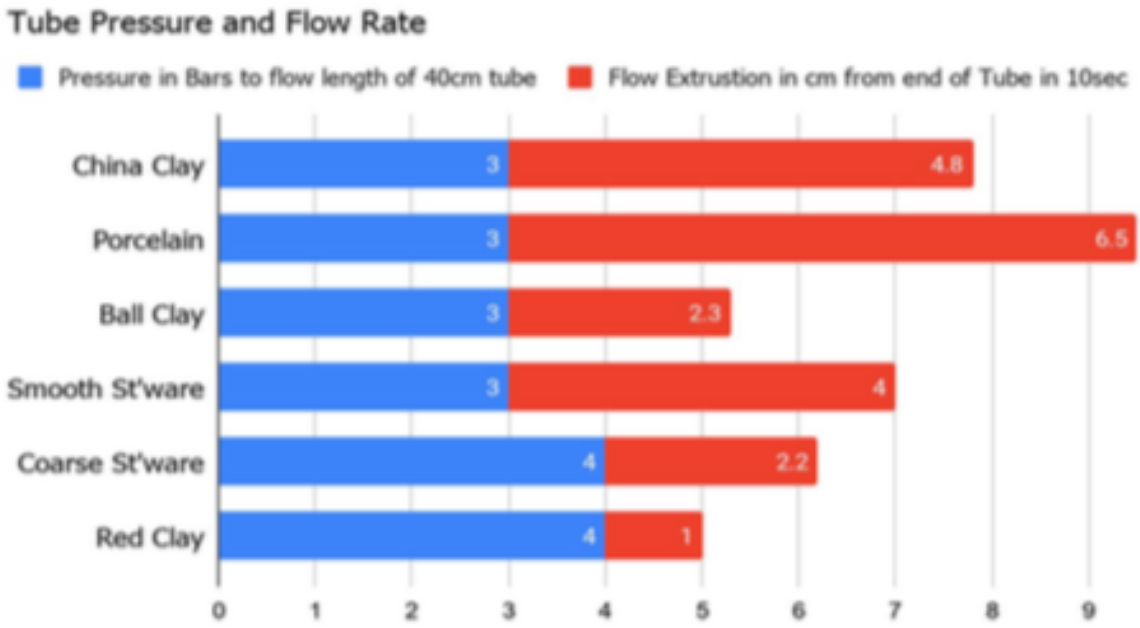
Pression et débit dans les tube (#p.59)



Pression et débit dans la seringue
Profondeur mesurée avec le "Dop spike" / Force nécessaire à l'extrusion

Le but de cet essai était d'obtenir des mesures illustrant la variation de la force nécessaire pour extruder différentes argiles de même consistance à travers une buse courte et large. Chaque argile a été mélangée pour obtenir une profondeur de 2,9 cm avec l'outil "Drop Spike". Les argiles simples, pures, homogènes (China Clay, Ball Clay) nécessitent une force plus importante que les argiles recomposées (Porcelain Clay, grès). En outre, plus la couleur naturelle de l'argile est foncée, plus la force nécessaire est importante, la Red Clay étant celle qui exige le plus de force : on sait aussi que ce sont les argiles les plus plastiques. Les argile contenant des matériaux non argileux dans leur composition, par exemple la Porcelain Clay avec 50% de matériaux non argileux (feldspath, silice) et la Fine Stoneware Clay avec chamotté à 40% demandant moins de force.

Pression et débit dans les tubes (#p.59)

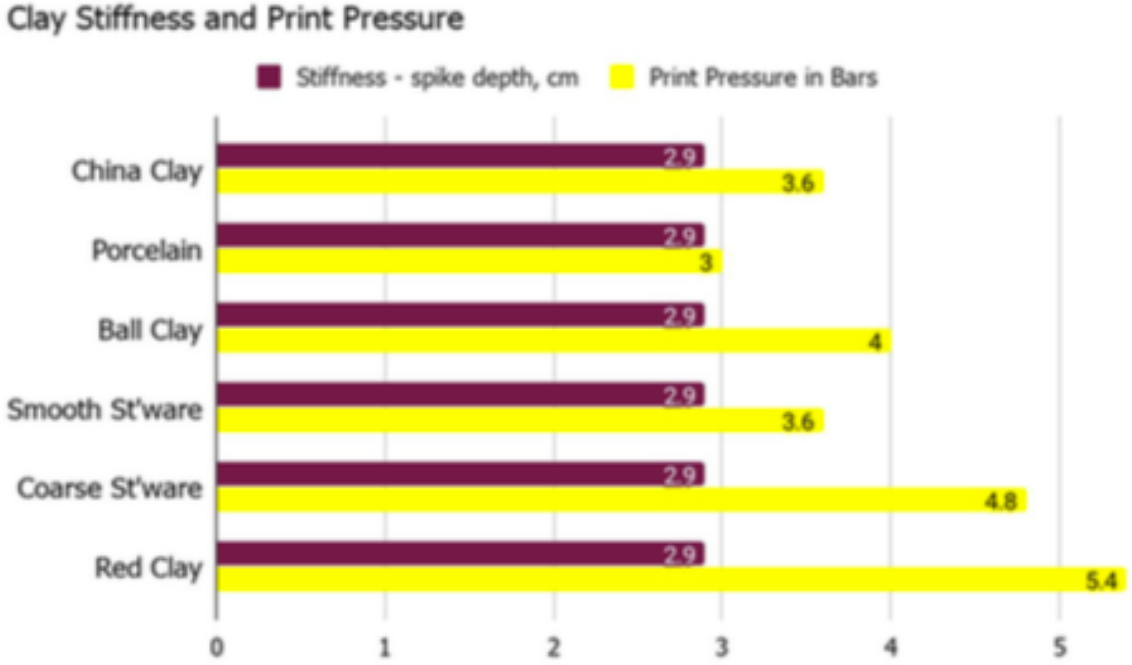


Pression et débit des tubes
Bleu : Pression en bars tant le tube de 40 cm.
Rouge : Extrusion à partir de l'extrémité du tube en 10 secondes, en cm

Ces résultats apporte un complément de lecture intéressante au regard des mesures de la force d'extrusion ci-dessus. L'objectif étant d'obtenir des mesures de la vitesse d'extrusion pour les différents échantillons d'argile, le long d'un tube étroit. Dans le tableau ci-dessus, les deux dernières argiles ont nécessité une pression plus élevée, jusqu'à 4 bars, alors que 3 bars ont suffit pour les quatre autres argiles. Les résultats pour le grès et la Red Clay sont en fait plus limités que ne l'indique la visualisation du graphique. Le schéma général de l'écoulement est conforme aux tests de pression. Cependant, il y a des anomalies intéressantes. Pour une courte extrusion dans la seringue, la force requise pour extruder la China Clay et la Fine Stoneware Clay était similaire. Les résultats de l'essai en tube sont très différents. La China Clay s'est écoulée du tube de 40 cm de long à 4,8 cm en 10 secondes sous une pression de 3 bars. la Fine Stoneware Clay nécessitant une pression de 4 bars pour obtenir un écoulement à partir de l'extrémité du tube et l'écoulement n'était alors que de 2,2 cm pour 10 secondes. Une autre comparaison entre la Ball Clay et la Fine Stoneware Clay est intéressante. La Ball Clay a nécessité une force légèrement supérieure à celle du Fine Stoneware Clay lors du test d'extrusion de la seringue. Dans le test d'écoulement en tube, la Fine Stoneware Clay a nécessité une pression de 4 bars pour s'écouler sur la longueur du tube et a ensuite montré une vitesse d'écoulement à peine inférieure à celle de la Ball Clay, qui n'était que sous une pression de 3 bars. De même, en

comparant la Porcelain Clay et la Fine Stoneware Clay, qui demandait la même force d'extrusion avec la seringue. Dans l'essai en tube, la Porcelain Clay s'est écoulée nettement plus vite que la Fine Stoneware Clay sous la même pression. Il est clair que l'argile se comporte différemment lorsqu'elle est soumise à une pression et extrudée sur une courte distance et lorsqu'elle est poussée dans un long tube.

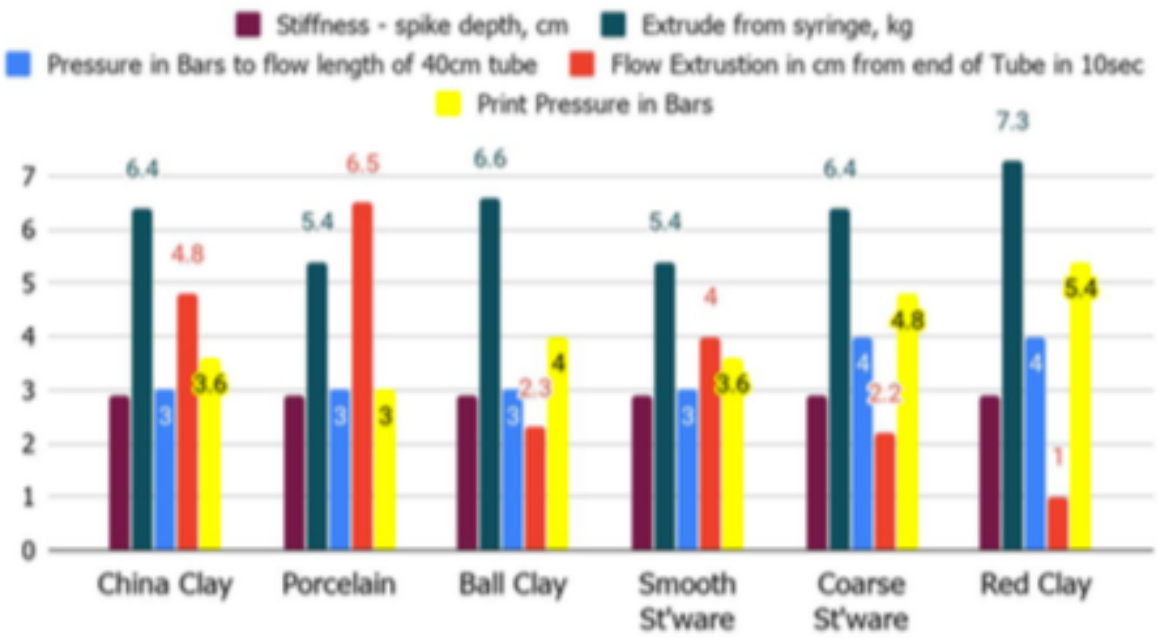
Dureté de l'argile et pression d'impression (#p.60)



Profondeur mesurée avec le "Dop spike" / Pression en bars

Soulignons, que ces résultats concernent une imprimante de type Delta où l'argile est poussée directement vers la tête d'impression dans un tube de 40 cm. Pour les modèles d'imprimantes où l'argile est introduite directement dans la tête d'impression, les résultats devraient être plus conformes au tableau de mesure de pression dans la seringue. Les résultats sont plus conformes au tableau des débits de la pression dans un tube. L'argile ayant la même consistance, cela montre comment différentes argiles nécessitent une force différente pour obtenir une alimentation similaire et constante au niveau de la tête d'impression.

Dureté, pression dans la seringue, pression dans le tube, débit du tube, pression au nivaur de la tête d'impression (#p.61)



Violet : Profondeur mesurée avec le "Dop spike"
Vert : Pression en bars
Bleu : Pression en bars tant le tube de 40 cm.
Rouge : Extrusion à partir de l'extrémité du tube en 10 secondes, en cm
Jaune : Pression en bars

Rétrécissement de l'argile (#p.61)
La mesure du retrait des échantillons des cylindres sont mesurés par rapport aux dimensions du modèle numérique original. Les mesures ont été prises à sec, après une cuisson de dégourdi à 1000°C et de nouveau après une cuisson à 1220°C.

Les six échantillons de gauche à droite :
China Clay, Porcelain Clay, Ball Clay, Fine Stoneware Clay, Coarse Stoneware Clay, Red Clay.
En haut : sec. Milieu dégourdi 1000°C. En bas : recuisson 1220°C.

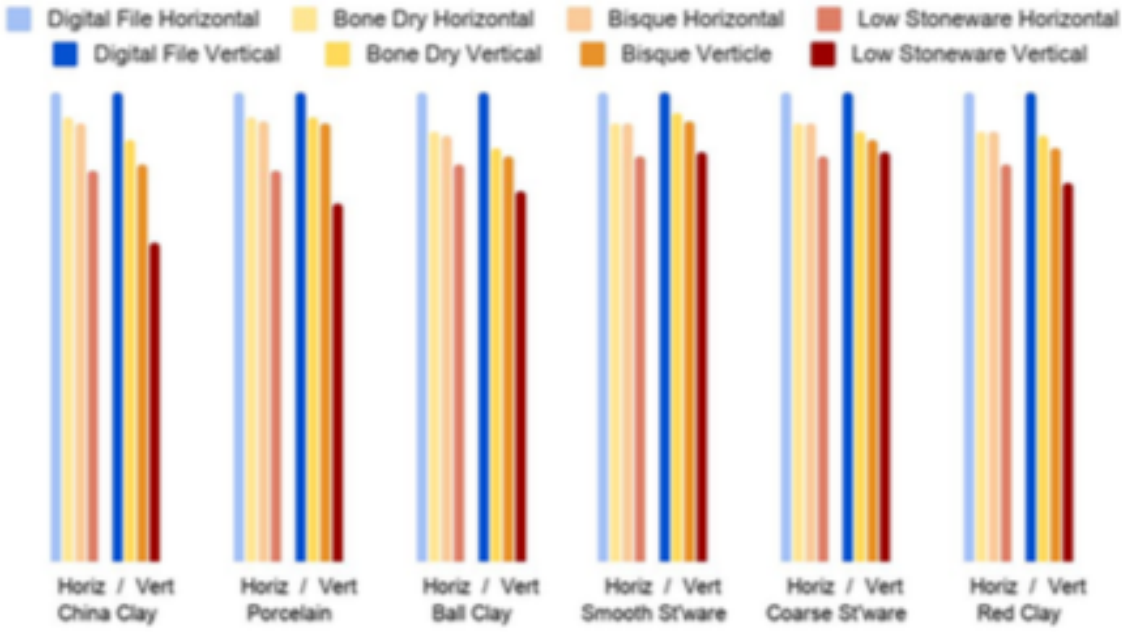
Le diamètre de l'intérieur du cylindre a été mesuré ainsi que la hauteur. L'objectif était d'enregistrer les différents taux de retrait de chaque argile mais aussi la différence de retrait de la hauteur et de la largeur des échantillons imprimés. Si l'argile rétrécit uniformément, les tests montrent que les objets imprimés avec de l'argile 3D n'ont pas de retrait runiforme. On suppose que cela est probablement dû à la pression verticale de l'extrusion en couches et à la mémoire de l'argile.

La comparaison de la référence photographique de la pièce sèche, dégourdie, et cuite à 1220°C rend la lecture intéressante. La Porcelain Clay dont la teneur en eau est la plus élevée au moment de l'impression n'a pas rétréci le plus au séchage. La Ball Clay, dont la teneur en eau est la deuxième plus élevée, est clairement celle qui a le plus de retrait. Cela montre clairement que le retrait ne se limitent pas à la perte d'eau.

Le rapport entre le retrait des échantillons aux différents états (sec, dégourdi, 2° cuisson) n'est pas non plus uniforme sur l'ensemble des argiles. Si l'on regarde les tests, on constate qu'après la 2° cuisson, le

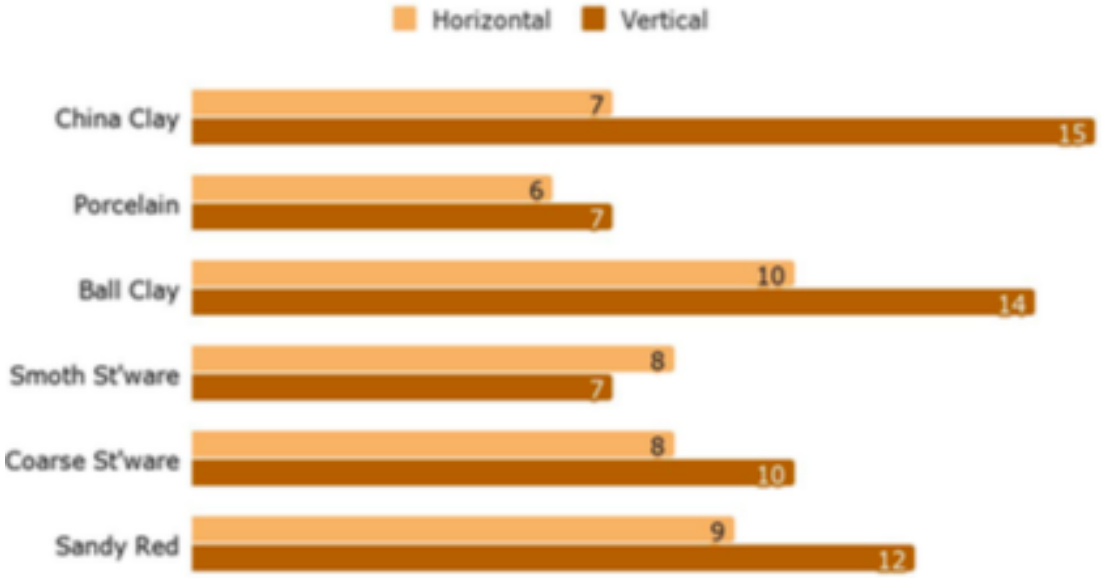
retrait est plus important en hauteur et de gauche à droite, que dans le cas de la pièce sèche ou en dégourdi. C'est la China Clay qui a le plus de retrait, moins la Fine Stoneware Clay et plus la Red Clay. Le retrait de la Ball Clay est resté raisonnablement constant dans chaque état, tandis que la Porcelain Clay a beaucoup plus rétréci. Il est évident qu'on devra tenir compte des paramètres.

Retrait de l'argile (#p.62)

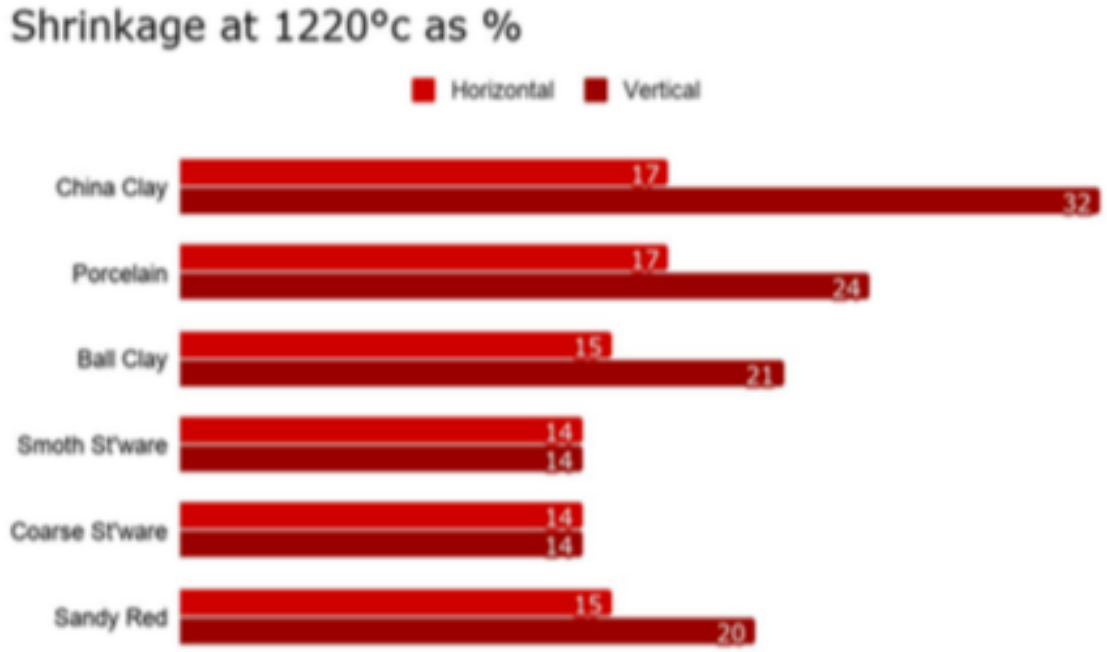


Le schéma général est que les argiles naturelles, telles que la Porcelain Clay et la Ball Clay, sont celles qui se rétractent le plus par rapport aux argiles contenant des matériaux non argileux comme la chamotte, qui rétrécissent le moins.
L'information la plus intéressante à tirer de ces tests est sans doute les données sur la différence entre le retrait horizontal et vertical de ces échantillons. Une fois de plus, il est difficile d'identifier des schémas de retrait en raison de la composition différente de argiles testées. Cuit à une température de 1000°C, il y a une nette différence entre le retrait horizontal et vertical, la China Clay se rétractant presque deux fois plus à la verticale qu'à l'horizontale. La cuisson à une température de 1220°C pour le grès a toujours ce même écart avec la China Clay, mais il est intéressant de noter que le retrait de la Fine Stoneware Clay et du Coarse Stoneware Clay est de14%. S'il y a un modèle, disons que lorsque la température de cuisson augmente, l'écart se réduit dans les pâtes d'argile à forte teneur en chamotte.

Retrait à 1000°C en % (#p.63)



Retrait à 1220°C en % (#p.63)



3 - Formulation et test d'argile pour l'impression 3D par extrusion (#p.64)

Introduction

Si presque toutes les argiles peuvent être utilisées pour l'impression 3D, il est clair que certaines argiles s'impriment mieux que d'autres. Cette variation peut dépendre des caractéristiques de l'argile, mais aussi du type de machine utilisée et du style de travail produit. L'objectif de cette recherche était d'avoir un aperçu des éléments à prendre en compte lors de la formulation d'une recette de base de de l'argile à partir de matières

premières en poudre. Comme les matériaux céramiques disponibles varient d'une région à l'autre, c'est le processus de formulation de l'argile et le résultat des tests qui sont importants plutôt que la recette elle-même, bien que celle-ci puisse servir de guide initial pour les développements ultérieurs. Cette recette initiale a été testée pour évaluer son adaptation. La consistance de l'argile, sous forme molle, moyenne et dure, a été testé sur le résultat de l'impression. Les tests ont permis d'examiner les avantages que des additifs pourraient apporter à cette recette de base et les améliorations qui pourraient être apportées à la recette initiale.

Note : Toutes les images ont été produites en haute qualité pour permettre de zoomer pour voir les détails. (Ctrl+roue de la souris)

La recette de l'argile (#p.64)
Cette recette a été formulée pour une imprimante où la réserve d'argile est placée à côté de la machine puis acheminée jusqu'à la tête d'impression par un tube. Elle a également été conçue pour être stable à haute température. Pour commencer, la recette a été basée sur une Ball Clay pour offrir une bonne plasticité à l'extrusion. Cependant, les argiles plastiques ont tendance à avoir une tension superficielle plus élevée et sont donc plus difficiles à forcer dans les tubes étroits. La China Clay a été introduite car des tests ont montré qu'elle nécessite moins de pression pour être extrudée et a un meilleur débit à travers les tubes. La chamotte fine a également été inclues car on a vu que les matériaux non argileux réduisent la tension superficielle de l'argile, augmentant ainsi le débit et réduisant la pression d'extrusion. En outre, une certaine proportion de chamotte dans l'argile est connue pour réduire le retrait, faciliter le séchage et contribuer à la stabilité plastique. Le choix de la taille de chamotte doit tenir compte de la taille de la buse pour éviter les blocages.

Test Mix 1 (#p.64)

Hyplas 71 Ball Clay	A Devon (UK) ball clay with low iron content, high plasticity. Fires ivory buff colour.
Grolleg China Clay	A blended English china clay, combining moderate plasticity, used in white earthenware, bone china and porcelain bodies. White firing.
Molochite Grog	Manufactured using calcined china clay this is a refractory white grog. A 200 mesh fine grade was used.

Hyplas 71 Ball Clay : Argile Devon (Royaume-Uni) à faible teneur en fer et à haute plasticité.Couleur chamois ivoire au feu. 44%
China Clay chamottée : Porcelaine anglaise mélangée, combinant une

plasticité modérée, utilisée dans la faïence blanche, la porcelaine à l'os et les pâtes de porcelaine. Cuisson blanche. 33%
Molochite : Chamotte fabriquée à partir de porcelaine calcinée, réfractaire et blanche. Une qualité fine tamisée à 200 mesh. 22%

La recette étant exprimée en pourcentage de poids des composants, j'ai calculé le poids en volume. Le poids de la Porcelain Clay en volume est plus important que celui de la Ball Clay. L'idée était d'ajouter de la China Clay, pour ses propriétés physiques, à une pâte d'argile plastique, mais ça n'a pas marché. En volume, cette pâte contient plus de China Clay et s'est avéré peu plastique et de caractère "court" : lors de l'impression, le cordon se brisait très facilement. En vérifiant le "poids de la formule" de la China Clay chamottée (276) et celle de la Ball Clay Hyplas 71 (541), on peut expliquer cette différence de poids par rapport au volume.

Ball Clay (Hyplas 71) 800gr 880ml
China Clay (Groleg)-chamottée 600gr 1180ml
Fine Grog (Molochite) 400gr 400ml

Proportions de l'eau par rapport aux ingrédients secs (#p.65)
Pour pouvoir mesurer la quantité d'eau dans les mélanges de consistance molle, moyenne et dure, les tests ont été préparés à partir d'ingrédients secs en laissant reposer le mélange un jour avant les tests. Ce court temps de "mouillage" de l'argile peut expliquer le caractère "court" et non plastique des tests.

Un mélange en vrac d'ingrédients secs, de Ball Clay, de China Clay et de Molochite a été mélangé et tamisé à sec deux fois pour assurer un mélange homogène. Les test ont été préparés à partir de ce mélange dans une proportions où les ingrédients secs et l'eau totalisent 100 %.

% Ingrédients secs / % eau
Mélange mou 69 / 31
Mélange moyen 72 / 28
Mélange dur 75 / 25

Les échantillons ont été mélangés puis laissés à tremper pendant 24 heures comme indiqué, puis mélangés à nouveau. Avec l'échantillon d'argile dure j'ai pu former une boule avec un peu de trace sur les mains. Pour l'échantillon moyen, l'argile collante s'accumulait progressivement sur les mains mais une boule pouvait facilement être

formée et manipulée. La formation d'une boule avec les mains, laisse le mains collantes et salissantes.

Mesure de la consistance de l'argile (#p.65)

	Soft Mix	Medium Mix	Hard Mix
Dry ingredients: water by weight.	69:31	72:28	75:25
Drop Spike - this tool represents the distance a 38 cm (235gm) sharpened steel rod penetrates into the clay sample when dropped from a constant height of 9 cm. See Drop Spike document.	54 mm	32 mm	22 mm
Syringe Extrusion - this tool consists of an adapted 60ml syringe to have an 8 mm nozzle. The measurement represents the force required	4.1 kg	6.3 kg	10.2 kg

Soft Mix / Mélange moyen / Mixage difficile
Ingrédients secs : eau en poids. 69:31 / 72:28 / 75:25
Drop Spike - cet outil représente la distance à laquelle une tige d'acier aiguisée de 38 cm (235 g) pénètre dans l'échantillon d'argile lorsqu'on la fait tomber d'une hauteur constante de 9 cm. Voir le document Drop Spike : 54 mm / 32 mm / 22 mm
Extrusion de seringue - cet outil consiste en une seringue de 60 ml adaptée pour avoir un embout de 8 mm.
La mesure représente la force nécessaire : 4,1 kg / 6,3 kg / 10,2 kg

to extrude the clay sample through the 8 mm nozzle constriction that is 30 mm in length.			
The pressure required to force the clay sample the length of a 40 cm tube with an inside diameter of 8 mm.	2 Bar	2.5 Bar	3 Bar
The pressure used during printing.	2.5 Bar	3 Bar	5 Bar

Extrusion à travers l'extrémité de la buse de 8 mm qui fait 30 mm de long.
La pression nécessaire pour forcer l'argile à sortir d'un tube de 40 cm Ø intérieur de 8 mm :
2 Bar / 2,5 Bar / 3 Bar
La pression utilisée lors de l'impression : 2,5 bar / 3 Bar / 5 bar

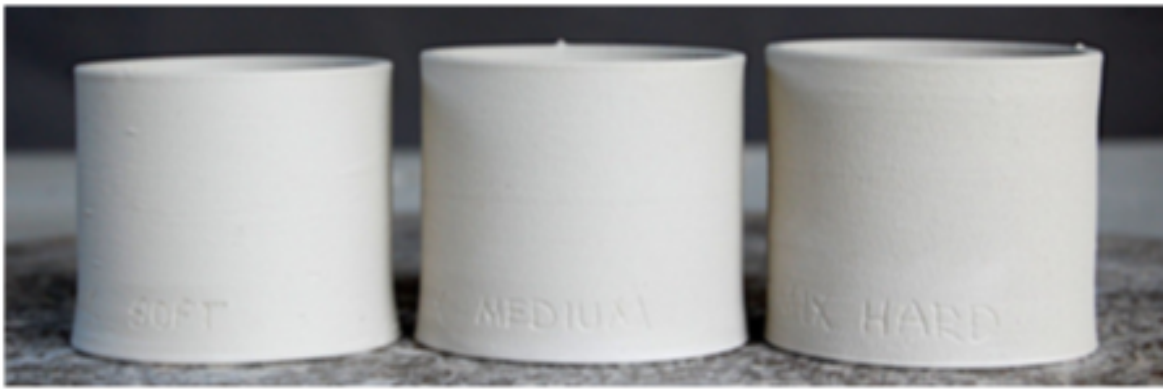
Tests d'impression (#p.66)

Deux fichiers ont été préparés pour l'impression et les tests ont été effectués sur une petite imprimante Delta (CERAMBOT). L'un des fichiers était un cylindre standard de 6 cm de hauteur et de 6 cm de diamètre. Le second un cylindre de 8 cm de hauteur et de 6 cm de diamètre pour lequel trois tests ont été conçus. D'abord, un coin vertical, puis un motif en relief répétée et troisièmement deux indentations de 45 degrés. Dans tous les tests suivants, le même fichier G-code a été utilisé pour chacune des deux formes.

Cylindres (#p.66)
L'impression de la forme cylindrique de 6 cm a été à peu près identique pour chacune des trois consistances d'argile, une pression d'air plus importante étant nécessaire à mesure que l'argile devenait plus rigide - voir le tableau ci-dessus. Une buse de 2 mm a été utilisée sur toute la surface et il y a eu peu ou pas de variation notable dans l'épaisseur des parois imprimées pour les trois consistances. Il y a cependant deux points d'intérêt qui méritent d'être notés. Le premier est la différence de texture de surface entre les trois tests. Plus l'argile est tendre, plus l'extrusion est lisse. Plus l'argile est dure, plus la surface de l'extrusion est fracturée ou fissurée : plus la forme se déforme ou est soumise à des contraintes et plus ces ruptures s'élargisent. La deuxième est la différence de taille, faible mais perceptible de retrait une fois sec : la plus grande teneur en eau de l'argile molle entraînant un retrait plus important. Légère variation de la texture de la surface où plus l'extrusion est douce, plus le résultat est lisse.

Slight variation of surface texture where the softer the extrusion the smoother the result.

Légère variation de la texture de surface : plus l'extrusion est douce, plus le résultat est lisse



Bone dry variation in shrinkage indicating difference of water content.

Variation du retrait à sec indiquant une différence de teneur en eau.

Rebords, texture et surplomb (#p.67)
La forme plus complexe de l'échantillon illustre l'échec de cette recette d'argile. Cependant, elle n'a pas été totalement infructueuse dans la mesure où elle a permis de tester les améliorations qui pourraient être apportées au mélange d'argile.
Les tests comprenaient une base à trois couches qui s'imprimait avec succès dans chaque consistance d'argile. Lors de l'impression verticale, comme pour les tests sur cylindre, les trois échantillons d'argile ont pris la forme attendue. Comme on peut le voir sur les images, aucun échantillon n'a été imprimé proprement avec cette forme.

L'argile molle est devenue instable avec le mouvement de la buse sur la zone en relief, puis s'est totalement effondrée car elle ne pouvait pas supporter son propre poids, en particulier sur la partie supérieure de l'empreinte. L'extrusion molle ne s'est pas rompue, elle n'offrait tout simplement pas assez de rigidité structurelle et directionnelle à mesure que le contour de la forme devenait plus complexe.

De gauche à droite - argile molle, moyenne et dure.
En haut modèle en relief répété et en bas vue de côté avec des indentations à un angle de 45°.

L'argile de consistance moyenne a donné les meilleurs résultats et a imprimé les reliefs, mais s'est affaissée au niveau de l'indentation angulaire à 45°. L'argile était suffisamment rigide pour conserver sa forme dans l'ensemble mais n'avait pas assez de plasticité ou d'étirement car la paroi s'est affaissée à l'extrémité du surplomb et n'a jamais repris la forme, en se brisant à chaque couche.

L'argile dure semble n'avoir aucune élasticité lorsqu'elle est soumise à une contrainte et se casse facilement. L'empreinte a continué à se construire en raison de la rigidité de l'argile, mais pas couche par couche au bon endroit et a le résultat et moins bon qu'avec l'argile de consistance moyenne.

Ainsi, lplasticité et élasticité soient des qualités importantes pour obtenir des formes plus complexes que le cylindre. Tant que les formes sont verticales comme dans les tests du cylindre et que la nouvelle couche

est construites avec le support de la couche précédente, l'impression par extrusion est correcte. Mais les formes courbes qui s'écartent de la verticale deviennent plus difficiles à réaliser. Le remplissage pourrait être une solution, mais l'objectif de ces tests était de mesurer le possible sans support. L'impression à double paroi est également plus stable, mais là encore, l'objectif était de tester les qualités du matériau. Le procédé d'impression est resté simple afin de se concentrer sur les améliorations pouvant être obtenues à partir du mélange d'argile. L'exploration des techniques d'impression dépassait le cadre de ces tests.

L'argile molle est plus souple et moins sujette à la fissuration de surface, mais moins capable de supporter son propre poids. Il semblerait qu'une argile améliorée devrait avoir une tension de surface plus forte, une bonne plasticité tout en ayant une structure capable de supporter son propre poids et ne pas se déchirer sous la déformation. Lorsqu'une rupture se produit, il est difficile de la réparer et de rétablir la stabilité de la structure. Il faut éviter ces défauts dès le départ.

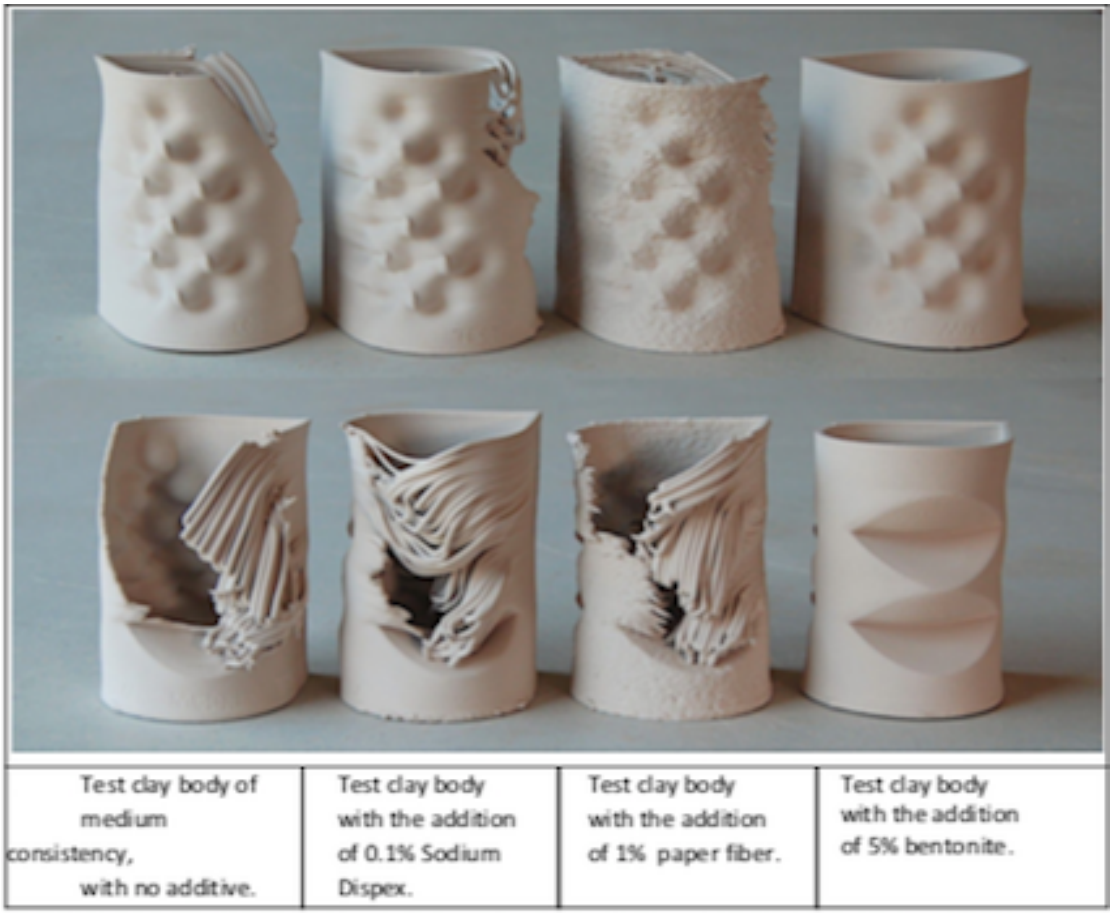
Additifs pour améliorer la plasticité et l'élasticité (#p.69)
À partir des résultats d'impression infructueux ci-dessus, j'ai cherché à améliorer le résultat des tests par l'introduction d'additifs. Chaque additif a été testé individuellement avec le mélange d'essai original.

Défloculation (#p.69)
La viscosité d'une argile peut varier selon qu'elle est alcaline, neutre ou acide. Cela est dû aux liaisons électrostatiques entre les particules d'argile. Les ajouts alcalins peuvent entraîner la rupture de ces liaisons, ce qui donne un mélange d'argile plus fluide. Le silicate de soude (Sodium Dispex, marque de ditributeur) a été utilisé dans cet essai. Si l'on en ajoute trop, le mélange d'argile peut prendre un caractère thixotropique souhaitable pour le coulage en barbotine, mais pas pour l'impression d'argile. Une argile thixotrope entièrement défloculée ne se dépose pas bien à l'impression et n'accroche pas la vis sans fin de la tête d'impression.
L'objectif d'une petite quantité de défloculant alcalin était d'améliorer la qualité de la surface d'extrusion. Il a été décidé d'ajouter 0,1 % en poids de Sodium Dispex au poids des ingrédients secs afin de réduire légèrement la tension superficielle du mélange d'argile sans en modifier grandement le caractère. Cela permet également de rendre le mélange d'argile un peu plus fluide sans ajout d'eau. L'essai a amontré une

amélioration par rapport à l'essai initial, mais n'a pas produit d'échantillon sans rupture.

Fibre de papier (#p.69)
Le but était d'empêcher la rupture par l'inclusion de fibres de papier dans le d'argile. Par crainte qu'un excès de fibres ne crée des blocages, on s'est contenté de 1 % en poids de papier toilette par rapport au poids de l'argile sèche. Le papier a d'abord été destructuré avec la quantité d'eau nécessaire. Il est surprenant de voir à quel point même cette petite quantité de papier modifie la texture du mélange d'argile. Le mélange avec papier s'est légèrement mieux imprimé que sans papier, mais la texture des fibres modifie considérablement l'aspect de la surface du test.

Plastifiant à base de bentonite (#p.69)
La bentonite est une argile fine, très plastique et très collante. Comme additif final à tester, 5 % de bentonite en poids sec ont été ajoutés à un échantillon de la recette initiale. Finalement, une empreinte complète a été obtenue, confirmant l'importance de la plasticité de l'argile pour imprimer des formes courbes ou en surplomb. Ce fut une véritable révélation que l'ajout de 5% d'e bentonite puisse faire une telle différence.



Test d'argile à consistance moyenne sans aucun additif :
Avec ajout de 0,1% de Dispex de sodium.
Avec ajout de 1 % de fibres de papier.
Avec ajout de 5 % de bentonite.

Recette reformulée : Mélange d'essai 2 (#p.70)
Considérant les résultats des additifs et l'observation du mélange d'essai 1 qui contenait une grande quantité en volume de China Clay, un mélange d'essai 2 reformulé a été préparé. Pour ce mélange, du papier a été ajouté à 0,1 % du poids sec. Le rapport entre la China Clay et la Ball Clay a été équilibré pour être égal en volume et la chamotte, pour un quart du volume total. Ce nouveau mélange d'argile a été calculé en poids. De l'eau a été ajoutée dans la proportion de 26 % par rapport au poids sec, le tout mélangé et laissé au repos une nuit.

Mélange d'essai 2 (#p.70)
Ball Clay (Hyplas 71) 52%
China Clay chamottée 24%
Chamotte (Molochite fine) 24%
Bentonite 5%
Sodium Dispex 0,1%

Papier 0,1%

Ce nouveau mélange a permit une impression correcte, mais il existe d'autres argiles du commerce qui donnent de meilleurs résultats en utilisant le même équipement. En toute justice, ce mélange s'améliorera considérablement avec le vieillissement et pourrait bien se révéler être la base d'une bonne argile pour l'impression par extrusion .

Sample printed with Test Mix 2

Échantillons imprimés avec le Test Mix 2

Comparaison des tests (#p.71)

	Test Mix 1	Test Mix 2
Dry ingredient to water	72% : 28%	74% : 26%
Spike Test	32 mm	30 mm
Syringe extrusion	6.3 kg	7.2 kg
Print Pressure	3 Bar	6 Bar

/ Test Mix 1 / Test Mix 2
Raport sec à l'eau : 72% : 28% / 74% : 26%
Test du pic : 32 mm / 30 mm
Extrusion de seringues : 6,3 kg / 7,2 kg
Pression d'impression : 3 Bar / 6 Bar

4 - Essai impression de Porcelain Clay fine (#p.71)
Introduction
Tests pour comprendre comment se passe l'impression avec une buse de 0,6 mm. Ils ont permis de tester les rapports entre la hauteur de la couche, la taille de la buse et l'épaisseur de la paroi en fin d'extrusion. C'était également l'occasion d'essayer différentes tailles de vis et d'examiner l'ajustement de la vis dans la tête d'impression. Il n'est pas surprenant que l'impression fine soit très sujette aux blocages. Lors de

ces tests, je cherchais à déterminer s'il s'agissait principalement d'un problème de matériau, les particules de matériau bloquant l'écoulement, ou s'il s'agissait d'un problème mécanique de compactage. Si une force trop importante est exercée en essayant de forcer le matériau à travers une petite buse, le matériau se compacte et se bloque.

Échantillons d'argile et préparation de l'argile (#p.72)
Un mélange recyclé de porcelaine a été utilisé car il était déjà mou. J'ai broyé l'ensemble pendant environ deux heures dans un broyeur à boulets. Le mien est un récipient d'un litre rempli d'argile liquide et j'utilise des billes de verre comme boules. Le tout est réglé pour tourner pendant environ une heure. Mon but n'était pas de broyer les particules, mais simplement de m'assurer que un excellent mélange passé au tamis UK #120 qui, je crois, a des mailles de 0,125 mm ou soit l'équivalent de 125 microns. La porcelaine est composée kaolin, de feldspath et de silice. A titre de référence, le feldspath et la silice utilisés dans l'industrie céramique sont broyés à une taille de particule de 30 microns et moins. Les particules de kaolin sont de 10 microns et moins. Une barbotine de porcelaine liquide bien mélangée doit donc passer facilement à travers un tamis de 120, 125 microns. En outre, ces matériaux passent facilement à travers une buse de 0,6 mm ou 600 microns. Cette argile tamisée a été laissé au repos deux jours environ jusqu'à la consistance requise.

J'ai testé trois consistance d'argile - que j'ai appelée molle, molle/ moyenne et moyenne. J'ai commencé à tester la consistance molle pour m'assurer que j'obtiendrais un résultat, puis je suis passé à la consistance molle/moyenne et enfin à la consistance moyenne. Ma

consistance dite moyenne était similaire à celle que j'utiliserais comme "standard" dans d'autres tests et pour l'impression en général.

Soft	• This was a soft paste that I would normally not consider using for printing but it was far from runny. • My 'Drop Spike' stiffness measuring tool dropped straid through the sample and hit the table. So I devised a 'Sinking Spike' measure. The same spike (200 gm) sank 42 mm into the sample when placed on the clay surface rather than being dropped from 10 cm. • I have tried to devise a Specific Gravity measuring system and that calculated to SG 1.72. (See tool below)
Soft/Medium	• Again a consistency of clay I would not normally print with but only just on the soft side of what I might consider. • It was stiff enough for the Drop Spike to work and that registered at 45 mm. (35 mm to 30 mm being more normal for my working consistency)

	• Specific Gravity calculated to SG 1.76.
Medium	• For this mix I tried to keep to a 'standard' as used in other tests and what I might normally use. • Drop Spike 30 mm (As was for the Six Clay Tests) • SG 1.78

Molle :

• *Une pâte souple que je n'aurais normalement pas envisagé d'utiliser pour l'impression, mais elle était loin de couler.*

• *Mon outil de mesure de la rigidité "Drop Spike" est tombé à travers l'échantillon et a heurté la table. J'ai donc conçu une mesure "Sinking Spike". La même pointe (200 g) s'est enfoncée de 42 mm dans l'échantillon lorsqu'elle a été placée sur la surface de l'argile plutôt que de tomber de 10 cm.*

• *J'ai essayé de mettre au point un système de mesure de la gravité spécifique calculée à la seringue. Rélutat : 1,72. (Voir l'outil ci-dessous)*

Doux/Moyen :

• *Une consistance d'argile avec laquelle je n'imprimerais pas normalement, la plus molle de mes test standards.*

• *Assez ferme pour que le Drop Spike fonctionne et s'enfonce de 45*

mm. (35 mm à 30 mm étant la norme pour ma consistance de travail)

● Gravité spécifique calculée à la seringue. Rélutat : 1.76.

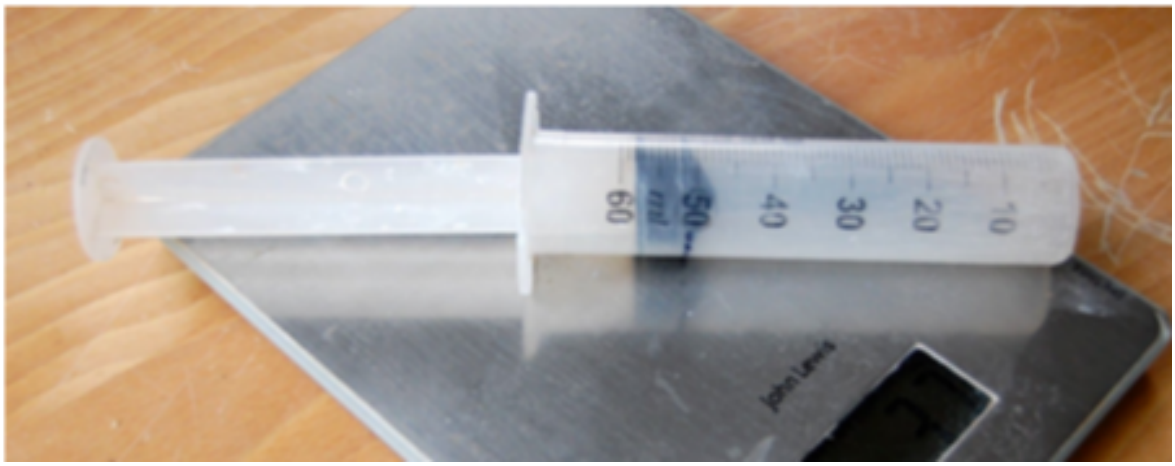
Moyen

● Pour ce mélange, j'ai essayé de m'en tenir à une "norme" comme celle utilisée dans d'autres tests et ce que je pourrais normalement utiliser.

● Pointe de chute 30 mm (comme pour les six tests d'argile)

● Gravité spécifique calculée à la seringue. Rélutat : 1.78

Outil de mesure de la gravité spécifique à la seringue (#p.73)



- J’ai pris un tube transparent à piston gradué pesant 39gr. à vide. Placé verticalement sur la balance, j'ai déplacé le piston pour qu'il contienne exactement 50 ml/g d'eau et j’ai placé un repère.

● Je rempli le tube avec mon échantillon d'argile, pousse le piston jusqu'à la marque et j’arase ce qui dépasse à l’extémité.

● Je pèse l’ensemble, soustrais 39gr. et divise le résultat par le volume de la mesure (50 ml)

Mes résultats ne sont qu'à deux décimales près, n’ayant pas d’échelle inférieure au gramme. De plus, l’échantillon mesuré est plutôt petit, de sorte que toute légère inexactitude sera amplifiée. Le résultat étant que je ne suis pas sûr que les mesures de densité spécifique soient exactes.

Voici deux photos pour essayer de montrer ce à quoi ressemblaient les échantillons d'argile à mélange moyen que j'ai mesurés à une densité de 1,78. J'ai ensuite essayé d'obtenir une consistance plus proche de celle des mesures de l'échantillon juste à côté. L'image de droite est la consistance de l'argile du tournage du tour de poterie et, d'après mes calculs, elle a densité de 1,84. Comme on peut le voir, cette argile est peu ou pas collante sur la main.

SG 1.78 SG 1.84

Équipement (#p.74)
J'ai utilisé une petite imprimante Delta avec une tête d'impression à vis sans fin. L'alimentation de la tête d'impression était assurée par la pression d'air dans une cartouche plastique de 500 ml suspendue à côté de l'imprimante, reliée à la tête d'impression par un tube en plastique de 400 mm de long et d'un diamètre intérieur de 6,5 mm.
J'ai passé deux jours à imprimer et pendant ce temps, je n'ai eu qu'un seul blocage total. A y regarder de plus près, il y avait un peu d'éponge dans la buse qui s'était infiltré, d'une manière ou d'une autre, dans le mélange pendant le chargement de la cartouche d'argile.

Cependant, pendant ces deux jours, j'ai passé des heures à observer des incohérences bizarres, des débits qui disparaissaient et qui se terminaient par des points et des tirets. Des surfaces qui semblaient très humides, des hauteurs de couche incohérentes, un débit incontrôlable ou rien. Rien ne pouvait être interprété comme un blocage, mais je connais la différence entre un corps étranger qui provoque un blocage et l'arrêt de l'extrusion à cause d'un défaut du système d'écoulement dû au compactage progressif de la matière argileuse. La question étant l'équilibrage de la force nécessaire pour extruder le matériau argileux à travers la petite ouverture d'une buse. J'ai utilisé cet équipement personnel car il est très facile et rapide à démonter pour voir ce qui se passe à l'intérieur.

j'en déduis qu'il s'agit d'un équilibre parfait pour que toutes les forces agissant sur le flux soient correctes. Avec une buse de cette taille, les paramètres ou la marge de manœuvre se réduisent et j'estime que c'est le compactage du matériau qui arrête le flux. C'est une interprétation subjective mais la force brute n'est pas la réponse ici. Plus de force ne fait que compacter davantage et les problèmes augmentent. Mieux vaut

rester Zen : vous dépendez de votre matériel et votre approche.

J'ai été surpris du peu de pression nécessaire pour extruder. Plus l'argile était molle, moins il fallait de pression pour l'alimentation, mais plus de tours de vis sans fin. J'ai remarqué que plus l'argile devient ferme, plus elle offre de "mordant", donc moins la vis est nécessaire. Je me demande si la force nécessaire pour extruder l'argile à travers la buse, quelle que soit sa taille, provient de la force appliquée à alimentation ou à l'action de la vis. Est-ce que l'alimentation force l'argile à passer, et la vis ne fait que l'aider à avancer et à contrôler l'arrêt et la reprise ? Ou est-ce la vis qui force l'argile à passer par la buse et tout ce que fait l'alimentation est d'offrir l'argile à la vis ? Mes observations sont que c'est une combinaison des deux : soit la force d'alimentation, soit le débit de la vis semble affecter l'extrusion, donc dans mes essais, les deux sont importants. Après ces expériences avec une petite buse, où le succès ou l'échec s'équilibrent à mesure que les points critiques diminuent, je suis d'autant plus convaincu de l'importance de la relation entre les deux.

Lorsque le flux d'extrusion devenait un problème et qu'il ralentissait ou s'arrêtait, j'ai constaté que le compactage dont j'ai parlé se trouvait à l'extrémité de la vis juste, avant l'orifice qui conduisait dans la buse. Comme la machine utilise une buse Luerlock, (Bouchon d'obturation universel pour fermer les connecteurs Luer Lock femelles et les connecteurs Luer Lock mâles) il était facile de détacher la buse et de vérifier le compactage dans la buse, mais j'ai eu l'impression que c'était rare. Le problème était de savoir où quelle partie du cylindre limitait la sortie de la buse.
La question est donc de savoir si la vis doit aller jusqu'à la buse. Jusqu'à présent, avec des buses plus grandes, je n'ai pas eu de problème dans ce domaine, mais comme c'était là que se trouvait de l'argile compactée, j'ai fait attention. Voici une image de la tête d'impression, du connecteur Luerlock et de la buse. (Je tiens un autre connecteur Luerlock pour que vous puissiez voir la zone critique à l'intérieur)

À l'origine, la vis affleurait le corps de la tête d'impression, de sorte que lorsque l'on vissait le tout, il y avait un espace entre l'extrémité de la vis et l’orifice de la buse. Il y avait suffisamment de tige pour allonger la longueur de la vis et faire en sorte qu’elle s’enfonce littéralement dans l’orifice de la buse. J’ai ainsi, de manière un peu tordue, répondu à la question de savoir si la vis devait aller jusqu'au bout, car cela a fait une énorme différence dans la fluidité constante du matériau. C'était peut-être spécifique à ce modèle de tête d'impression, mais c'est une considération importante pour la conception, car il ne doit pas y avoir d'espace entre l'extrémité de la vis et toute réduction dans la buse.
Une autre question a été de savoir si la vis devait être bien ajustée au corps de la tête d'impression. Avec cette taille de buse, c’est un point critique et une bonne occasion d'explorer cette question. J'avais deux têtes d'impression similaires et j'ai donc pu mettre une vis dans l'une d'entre elles qui s'est bien ajustée dans le corps de la tête d'impression (à gauche sur la photo). Dans la deuxième tête d'impression, j'ai utilisé une vis plus étroite qui est laisse plus de jeu avec le corps de la tête d'impression (à droite sur la photo).

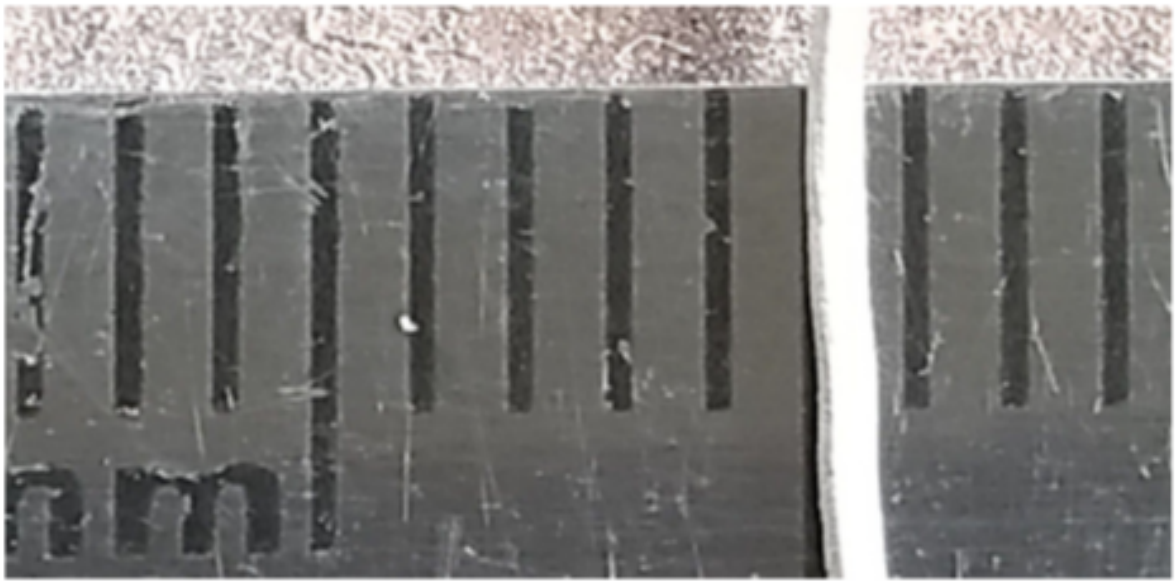
Une fois chargée l'argile molle, je n'ai pas fait d'expérience pour changer les vis. Avec l'argile molle/moyenne, j’ai fabriqué trois fichiers G-code, tous de la même forme, l'ovale (2 x 3 x 2 cm) et tranchés comme illustré à une hauteur de couche de 0,4, 0,3 et 0,2 mm.

J'ai ensuite imprimé chaque fichier, sans modifier les réglages à l'aide des deux vis. Sur la photo, je ne me souviens plus quelle rangée, avant ou arrière, était avec quelle vis, mais comme on peut le voir, il n'y avait pas de différence évidente dans le résultat imprimé, que la vis soit ajustée ou non dans la chambre. Compte tenu du volume de sortie des deux vis, la plus grosse ayant un filetage plus marqué, je me serais attendu à une certaine différence, mais il n'y en a pas eu. J'ai donc obtenu un résultat avec l'argile de consistance molle/moyenne et j'en ai conclu que le caractère de la vis n'a pas d’effet trop important sur le flux d'extrusion.

Je suis alors passé à l'argile de consistance moyenne, toujours avec la

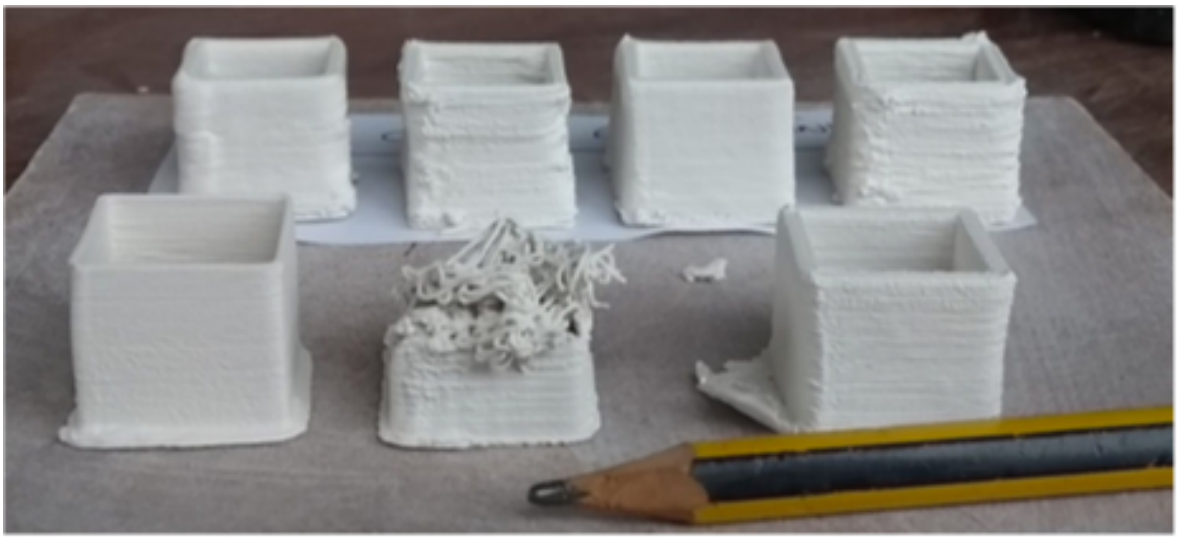
vis plus large et mieux ajustée. Cette fois, le résultat était beaucoup plus clair. Avec l'argile plus ferme, je ne pouvais pas ralentir suffisamment le système pour empêcher le compactage dans la transition entre la chambre de la vis et la sortie de la buse. Je réduisais le "débit" à la fois dans le logiciel de découpe (Cura) et sur le panneau de commande LCD de la machine et chaque fois, après le nettoyage, le débit diminuait progressivement pendant la durée d'un tirage en raison de l'encrassement et du compactage. J'en déduis que c'est dû à une pression ou une force trop importante créée à l'intérieur de la tête d'impression par la vis. Je suis passé à la vis plus fine dont le diamètre est plus petit que celui de la chambre et cette combinaison s'est avérée efficace pour le reste de mes tests. Avec l'argile plus ferme, la vis plus fine n'était pas aussi puissante que la vis plus large. Voir mon explication à propos de la "morsure". Plus l'argile est ferme, plus la vis est efficace pour pousser l'argile.

Processus (#p.77)



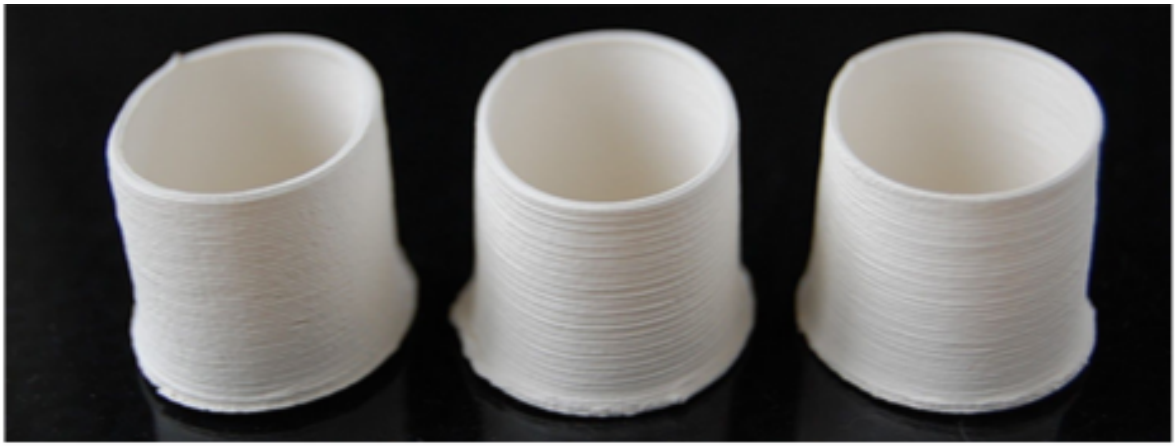
Extrusion d'argile à partir d'une buse de 0,6 mm

Je n'ai pas pu obtenir une impression correcte avec l'argile molle. (Photo ci-dessous) J'ai commencé avec cette argile pour m'assurer que j'obtiendrais quelque chose. Le problème était de contrôler le flux. J'espérais obtenir des résultats en persévérant, mais j'étais sûr de pouvoir obtenir de meilleurs résultats avec l'argile tendre/moyenne, j'ai donc opté pour cette solution. Avec l'argile molle, il y avait beaucoup de déformation de la forme et un flux incohérent.



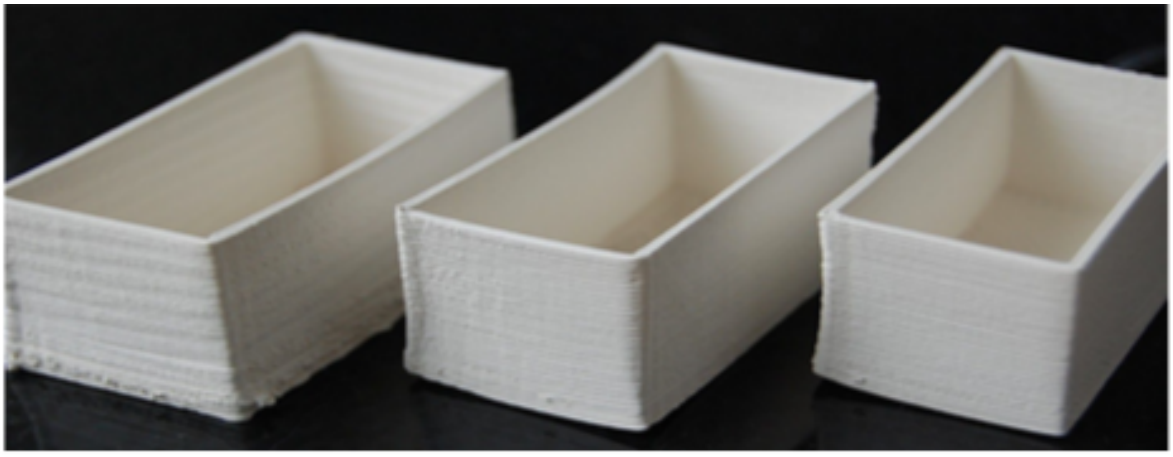
Tests d'impression avec de l'argile molle

Au début, avec le mélange doux/moyen, je voyais l'extrusion s'arrêter à cause du compactage de la tête d'impression et il est apparu qu'il fallait moins de force que prévu pour faire l'alimentation en argile. Après nettoyage, l'argile s'écoulait, mais peu à peu, elle se colmatait. Une fois que le compactage commence, l'obstruction s'aggrave progressivement. Ma solution a consisté à tout arrêter et à augmenter lentement le débit d'argile avec la pression de l'air et une vitesse appropriée de la vis sans fin. Cette vitesse excessive était le problème de base. J'ai été surpris du peu de pression d'air dont j'avais besoin. Je travaillais à 2,2 bars, ce qui est beaucoup moins que ce que j'utilise normalement. L'alimentation normale est plutôt de 4 à 6 bars de pression. La porcelaine nécessite moins de pression, mais je ne m'attendais pas à ce qu'elle soit aussi basse. Je savais que l'argile ne s'assècherai pas ou très peu dans le réservoir. (À des pressions supérieures à 4 bars, l'eau commence à se séparer ou à être expulsée du mélange d'argile) Pour l'argile tendre/ moyenne, le débit sur la vis était de 40 %.



Mélange doux/moyen - test de hauteur de couche : gauche 0,4 mm, milieu 0,3 mm, droite 0,2 mm

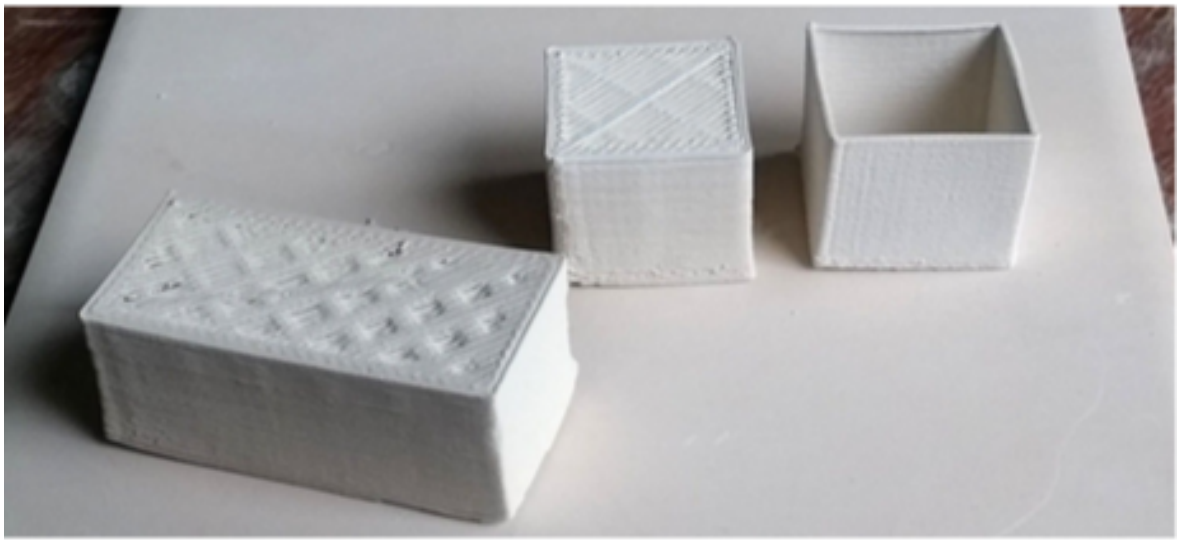
Le système fonctionnant, j'ai commencé à faire des tests de hauteur de couche. J'ai commencé avec un rapport de 1 pour 3 entre hauteur et largeur, c'est-à-dire le rapport que j'utilise avec une buse de 2 mm. Avec une buse de 0,6 mm, la hauteur de la couche était donc de 0,2 mm. (A droite sur la photo) Cela a bien fonctionné avec l'impression à une seule passe pour tester la stabilité de la paroi, mais j'ai senti que c'était trop compacté. Mon test suivant était avec une hauteur de couche de 0,3 mm, ce qui représente une proportion de 1 pour 2. (Au milieu sur la photo) J'ai voulu voir à quoi ressemblerait une couche de 0,4 mm de hauteur. À l'œil nu, il y a une différence, mais comme celle-ci n'est pas très visible entre les trois tirages, j'ai continué avec la hauteur de couche de 0,4 mm, car c'est le temps de tirage le plus court. La hauteur de couche de 0,4 mm était également la plus stable. Dans les cases oblongues à main gauche, deux sont imprimées avec une hauteur de couche de 0,4 mm et la pièce à main droite avec 0,35, une différence presque imperceptible.



Soft/Medium print tests - over screwing on left hand print. Centre print, layer height 0.4, right print 0.35 mm

Tests d'impression douce/moyenne - sur vissage de l'empreinte à gauche. Impression centrale, hauteur de la couche 0,4, impression à droite 0,35 mm

En passant à l'argile de consistance moyenne, plus ferme, il a fallu procéder à d'autres ajustements pour obtenir un écoulement régulier. Une fois de plus, au début, il y a eu blocage car je pensais qu'il me faudrait plus de force pour l'argile plus ferme. Le réglage final, pourrait changer si j'essayais de le reproduire un autre jour, mais il s'est établi sur une pression de 2,5 bars de débit d'argile. Un peu plus que les 2,2 bar utilisés pour la de l'argile moins ferme. On s'attend à ce que l'argile soit plus rigide et qu'il faille plus de force pour l'acheminer par l'étroit tube d'alimentation vers la tête d'impression. Cependant, le débit ou le taux de vis a dû être réduit de 40% pour l'argile molle/moyenne à 20% pour l'argile moyenne plus rigide. La rotation de la vis devait être ralentie, sinon des défauts liés à une rotation excessive se produisaient sur la surface d'impression et, au pire, un compactage se produisait dans la tête d'impression. Il est certain que lors de l'impression de la couche "supérieure" sur le matériau de remplissage, il serait bon de réduire encore le débit de la vis pour éviter l'affaissement de l'extrusion.



Tests d'impression avec de l'argile moyenne

Conclusion (#p.79)
Je retiens la procédure de préparation de l'argile par mélange et tamisage dans un broyeur à boulets (Tourne jarres).
J'aime l'idée d'une vis ajustée, mais d'après ces tests, il faudrait des têtes d'impression de différentes tailles fonction des travaux et de la taille des buses.
Lorsque je travaille avec des buses de taille croissante, je préfère que le rapport entre la hauteur de la couche et la taille de la buse augmente. Ici, il a diminué et de façon assez considérable.
Bien que le système reste en équilibre et qu'il n'y ait pas de compactage de la matière dès qu'il y a trop de flux, les problèmes ne font qu'empirer.

5 - JK Drop Spike - Outil de mesure de la consistance de l'argile (#p.80)
Ce simple outil à pointe s'est révélé étonnamment cohérent et précis pour mesurer la consistance de la pâte d'argile. Le principe consiste à laisser tomber une pointe métallique sur un échantillon d'argile, guidée par un tube, depuis une hauteur constante. La longueur de pénétration dans l'argile, calculée en moyenne sur un certain nombre de tentatives, est enregistrée et donne une lecture de la mesure en millimètres. Cette mesure à la "pointe" offre un outil analytique pour comparer différents mélanges d'argile permettant de maintenir une cohérence constante entre les mélanges. Pour que les mesures puissent être comparées entre les utilisateurs, l'outil a été conçu comme suit.

Le pic est fabriqué à partir d'une tige métallique de 10 mm de diamètre. L'extrémité de la pointe est rectifiée à un angle de 60 degrés. Une fois l'extrémité façonnée et lissée, la longueur de la tige est calculée de manière à ce qu'elle est un poids de 200 grammes. (A titre indicatif, ma pointe mesure 328 millimètres de long). Enfin, un repère est marquée à 100 millimètres de la pointe. On fabrique ensuite un tube de guidage d'une longueur de 200 millimètres. Mon tube de guidage, fabriqué à partir d'un tube de cuivre, a un diamètre intérieur de 13 mm. Peu import le matériau : la pointe doit glissée sans entrave à l'intérieur.

Pour utiliser l'outil, le tube guide de 200 mm est placé sur l'échantillon d'argile. Placez la pointe à l'intérieur du tube de sorte que le repère de la pointe se trouve au niveau de l'erxtrémité supérieure du tube de guidage. La pointe se trouvera donc pile à 100 mm au-dessus de l'argile. Laissez tomber la pointe, sans appuyer dessus, retirez le tube de guidage puis la pointe de l'argile en la tournant, ce qui est permet de faire de laisser une marque d'argile bien définie. Notez la mesure entre la pointe et la marque laissée par l'argile, pour connaître le niveau d'enfoncement dans l'argile.