



Module STEM Numeric[All] sur l'impression 3D



Co-funded by
the European Union

Table des matières

1. Concepts généraux.....	3
1.1. Que sont la modélisation 3D, la photogrammétrie et l'impression 3D ?	3
1.2. Applications	6
1.3. L'impression 3D dans le domaine de l'éducation et dans les musées de mathématiques	7
1.4. Le contexte du projet Numeric[All] et les objectifs du module	8
2. Se lancer dans la modélisation 3D	11
2.1. Les projections en perspective	13
2.2. Options pour les modèles 3D	15
2.3. Logiciel de modélisation 3D.....	15
3. L'utilisation de SketchUp	17
3.1. Interface	17
3.2. Utilisation des outils prêts-à-l'emploi	20
Les boîtes.....	24
Les gratte-ciel.....	26
Les cubes	27
Les dominos	31
Les pièces cachées	39
4. Logiciel de tranchage : Cura.....	61
4.1. Qu'est-ce qu'un logiciel de tranchage 3D ?	61
4.2. Comment utiliser Cura ?.....	62
Références	71
Annexes.....	73
Annexe 1	73

1. Concepts généraux

1.1. Que sont la modélisation 3D, la photogrammétrie et l'impression 3D ?

Au cours des dernières années, répliquer et créer des objets en trois dimensions est devenu une compétence de plus en plus populaire et recherchée. Cependant, la plupart du temps, savoir comment les objets numériques deviennent objets physiques et comment ces derniers sont créés n'est pas toujours clair. Cela semble être une compétence réservée aux experts, mais en réalité, les bases de la modélisation et de l'impression 3D peuvent être apprises par toute personne désireuse d'essayer. Beaucoup d'objets très simples peuvent être modélisés et imprimés en trois dimensions.

L'image ci-dessous montre qu'un logiciel de modélisation 3D a été utilisé pour créer l'objet physique que la personne tient en main.



Figure 1. Exemple de logiciel 3D et d'objet (Source: Canva)

La modélisation 3D est le processus de création d'un objet dans un espace tridimensionnel, qui contient des faces, des sommets et des arêtes.



Figure 2. Exemple de modèle 3D (Source: Canva)

La photogrammétrie est le processus de création d'une représentation réaliste d'un modèle 3D grâce à l'utilisation de photographies prises de plusieurs angles. Ce procédé recrée un objet réel en tant qu'objet 3D dans un logiciel en décodant les images (pour plus d'informations, consultez l'Annexe 1).

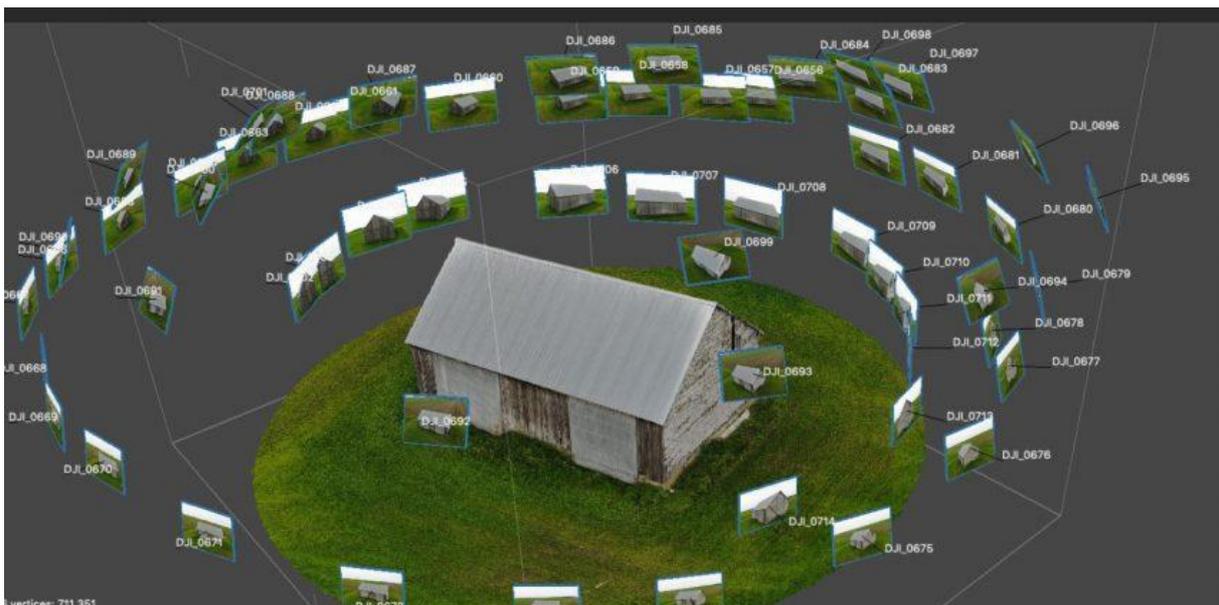


Figure 3. Modèle 3D créé à partir de photos – Photogrammétrie (Source:

<https://bitfab.io/blog/photogrammetry/>)

L'impression 3D est un processus de fabrication additive qui permet de créer de véritables objets tridimensionnels à partir d'un modèle numérique. Il s'agit essentiellement de prendre le modèle 3D que vous avez créé et de l'imprimer sous la forme d'un objet physique.

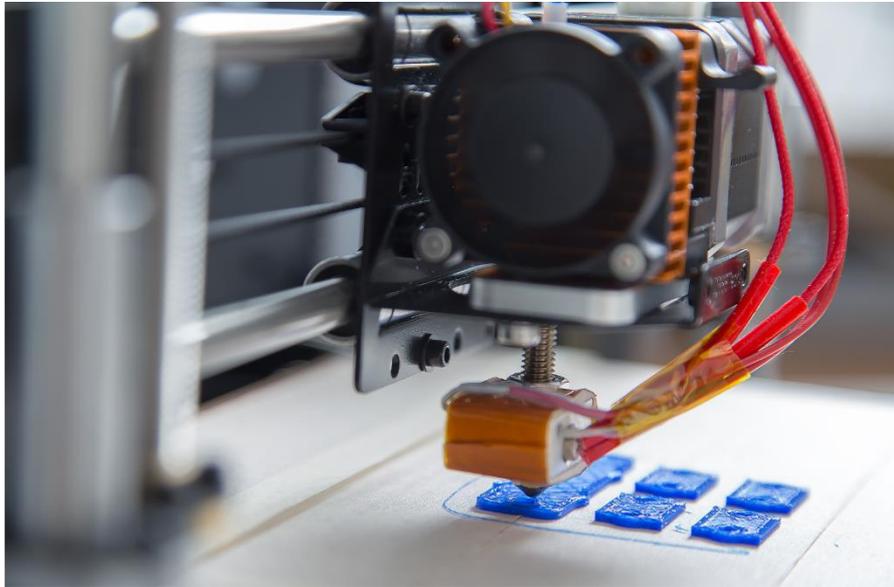


Figure 4. Une imprimante 3D en action (Source: Canva)

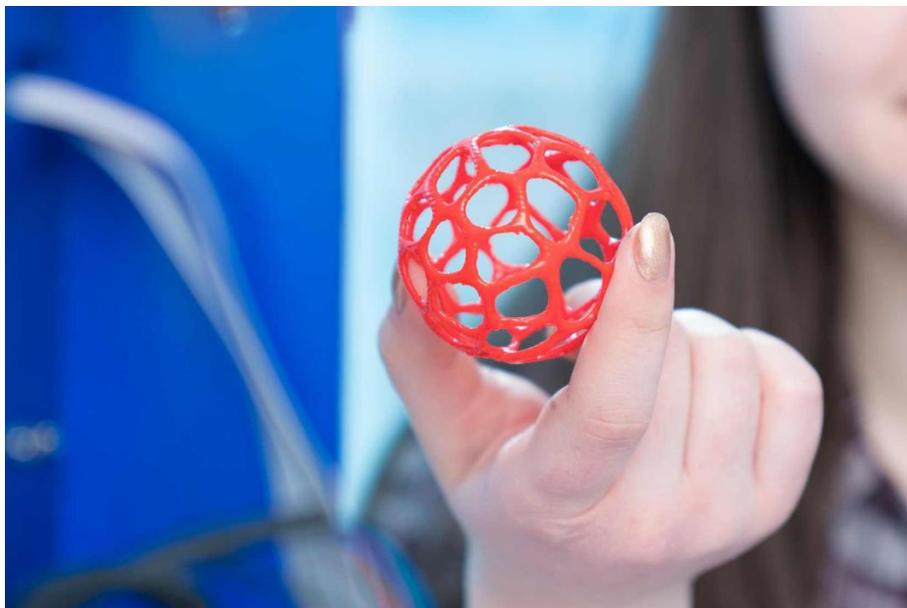


Figure 5. Un objet 3D (Source: Canva)

1.2. Applications

Vous vous demandez peut-être comment utiliser ces procédés ?

La modélisation 3D est utilisée dans de nombreuses industries en tant qu'étape préliminaire à l'impression 3D, ou en tant que moyen de créer des personnages animés et des jeux. Dans ce module, nous nous concentrerons sur l'impression 3D. Il existe de nombreux procédés d'impression 3D différents tels que la stéréolithographie, le dépôt de fil fondu (DFF), la fusion sur lit de poudre, et bien d'autres.



Éducation



Prototypage et industrie



Médecine



Joallerie



Art



Construction

Figure 6. Principales industries qui emploient l'impression 3D

Il existe une quantité infinie de ressources disponibles pour décrire les différents processus d'impression 3D dans chacun de ces domaines. Toutefois, dans le cadre de ce module, nous nous concentrerons sur le dépôt de fil fondu (DFF) en raison de son faible coût, de sa grande flexibilité et de sa facilité. Pour un examen plus détaillé des procédés d'impression 3D, des matériaux et des applications, voir Jandyal et al. (2022).

En fonction de vos besoins, voici 5 éléments à prendre en compte avant de choisir votre imprimante 3D :

- **Utilisation** : Comment allez-vous utiliser l'objet 3D ?
- **Compatibilité matérielle** : L'objet résistera-t-il à l'utilisation souhaitée ?
- **Volume de construction** : Quelle taille doit faire l'objet ?
- **Disponibilité et coût des matériaux** : Est-ce facile de se procurer le matériau requis pour l'impression en 3D ? Combien ça coûte ?
- **Résolution** : À quel point souhaitez-vous que l'objet 3D soit détaillé ?

Après avoir pris en compte ces 5 éléments, il sera plus simple pour vous de faire votre choix.

1.3. L'impression 3D dans le domaine de l'éducation et dans les musées de mathématiques

Un nombre important d'études se concentrent sur l'utilisation de l'impression et de la modélisation 3D dans l'éducation, de la petite enfance à l'enseignement supérieur, ainsi que dans les espaces d'apprentissage informels (par exemple, Pearson & Dubé, 2021). Même si les connaissances produites sont nombreuses, elles sont assez éparpillées et portent sur divers aspects de l'impression 3D et de la modélisation. Ford et Minshall (2016) ont identifié où et comment l'impression 3D est utilisée dans le cadre de l'éducation formelle et ont découvert six catégories distinctes. Ces catégories concernent, entre autres, l'impression 3D en tant qu'outil utilisé par les apprenants à différents niveaux d'enseignement et les éducateurs qui utilisent des artefacts imprimés en 3D dans des disciplines principalement orientées vers les STEM pour soutenir le processus d'apprentissage sans l'enseigner en classe (Ford & Minshall, 2016).

Dans la sphère de l'éducation formelle, l'impression 3D tourne autour de la géométrie (Ford & Minshall, 2016), de l'algèbre et des fonctions, et des fractions (Stigberg, 2022). Comme le souligne Stigberg (2022), il est possible d'ajouter d'autres concepts mathématiques et d'améliorer les ressources disponibles pour la conception et le partage d'objets mathématiques en 3D. Toutefois, les contextes d'éducation formelle présentent certaines restrictions qui ne s'appliquent pas aux espaces informels, tels que les musées et les makerspaces, qui peuvent aller au-delà de ces restrictions (Pearson & Dubé, 2021). Cette perception correspond mieux aux efforts que nous avons déployés dans le cadre du projet Numeric[All] pour mettre en avant les

approches pédagogiques et méthodologiques des musées de mathématiques dans l'éducation des adultes.

L'utilisation d'artefacts imprimés en 3D dans les espaces muséaux a connu une croissance exponentielle, en particulier dans les musées d'archéologie, d'anthropologie, d'histoire naturelle et de sciences, comme un moyen de permettre aux visiteurs d'interagir avec les concepts présentés (Coates, 2019 ; Cooper, 2019). La modélisation 3D est déjà utilisée dans des musées de mathématiques tels que IMAGINARY - Open Mathematics en Allemagne (Rainone et al., 2014) et MMACA Museum of Mathematics à Cornellà (Espagne) (<https://mmaca.cat/en/moduls/impressio-3d/>). Toutefois, les recherches axées sur les musées de mathématiques n'abordent pas l'impression 3D et son potentiel dans ces espaces. La modélisation et l'impression 3D permettent de créer des objets plus précis et parfois même plus complexes, ainsi que de visualiser l'objet 3D avant de l'imprimer. En outre, elles s'ajoutent au processus de production suivi dans les musées où le nombre d'objets exposés est limité à un seul ou à quelques-uns seulement.

Cela renforce la valeur de nos tentatives pour relier les deux, puisqu'il existe un lien inhérent entre la modélisation et l'impression 3D et les mathématiques (par exemple, Ng et al., 2022). Des études ont également démontré que les approches multisensorielles de l'apprentissage sont essentielles pour comprendre les concepts mathématiques (par exemple, Cuturi et al., 2022 ; Manches & O'Malley, 2016) et peuvent être bénéfiques pour les personnes atteintes de handicaps visibles et invisibles (par exemple, Bouck et al., 2021). Un concept qui est au cœur de la philosophie des musées de mathématiques. Par conséquent, à travers ce module, nous essayons de démontrer l'utilisation de la modélisation et de l'impression 3D dans les expositions de mathématiques et de fournir des ressources concrètes de divers concepts mathématiques pour étendre leur applicabilité dans la formation des adultes.

1.4. Le contexte du projet Numeric[All] et les objectifs du module

Ce résultat du projet comprend un module STEM de 20 heures avec une introduction complète à la modélisation 3D. Il vise à doter les organismes d'apprentissage tout au

long de la vie et les autres institutions concernées des connaissances appropriées sur la manière d'utiliser un logiciel de conception assistée par ordinateur pour imaginer, concevoir et imprimer des expositions tridimensionnelles. Ces expositions seront identiques à celles conçues, délimitées et illustrées dans le résultat précédent (PR2) afin de satisfaire les besoins d'apprentissage des apprenants adultes ayant un faible niveau de compétences en éducation de base. Le module sera accompagné d'un Manuel de laboratoire non formel, qui décrira les groupes cibles, les objectifs d'apprentissage, l'équipement requis et les logiciels nécessaires, ainsi que des informations pertinentes sur l'utilisation, la préparation, les méthodes et les procédures.

Nous allons également concevoir un kit de création DIY avec des plans de conception, des instructions détaillées, des matériaux recommandés et des dimensions appropriées pour l'ensemble des 16 expositions interactives du musée mobile ludique. Ce kit conseillera les utilisateurs sur la conception, la construction physique et l'assemblage des constructions interactives en 3D en intégrant des photos, des images, des commentaires, des idées et des tutoriels prêts-à-l'emploi. Il expliquera également l'assemblage indépendant des expositions pratiques en indiquant toutes les étapes préparatoires que le formateur doit suivre pour assembler/désassembler et stocker les objets en 3D, ainsi que les délais requis. Toutes les informations seront fournies dans toutes les langues des partenaires et resteront gratuites et disponibles pour toute personne souhaitant reproduire et construire les expositions.

Les objectifs d'apprentissage de ce module sont les suivants :

- Comprendre la signification, le potentiel, et les possibles domaines d'application des logiciels Fusion 360 et Cura ;
- Rendre compte de l'importance de tels logiciels sur le marché de l'emploi moderne. Par exemple : dans l'industrie automobile et aéronautique, l'architecture, l'aménagement intérieur, la conception de produits, l'industrie des jeux vidéo, l'industrie cinématographique, la réalité virtuelle, etc ;
- Devenir capable de créer des objets 3D de différents niveaux de difficulté seul. Par exemple : une tasse (simple), un château (moyen), un pont suspendu (avancé) ;

- Devenir capable de concevoir un objet réel dans un logiciel 3D, en se basant sur les proportions d'autres objets. Par exemple : une application/copie virtuelle.
- Comprendre comment une imprimante 3D fonctionne en saisissant les réglages de base du logiciel de tranchage ;
- Devenir capable d'imprimer des objets 3D de manière indépendante ;
- Apprendre différents types de compagnons pour réaliser différents types d'assemblage (plusieurs objets virtuels 3D (ensemble d'objets) peuvent être utilisés pour réaliser un assemblage) ;
- Assembler plusieurs composants sur un logiciel de conception assistée par ordinateur ;
- Comprendre les principes de la photogrammétrie, ainsi que les possibilités d'utilisation de la photogrammétrie ;
- Devenir capable de créer des objets 3D en traitant des photos dans un logiciel de photogrammétrie.

2. Se lancer dans la modélisation 3D

Nous allons brièvement décrire le procédé de modélisation 3D pour pouvoir comprendre comment imprimer un modèle que vous avez créé.

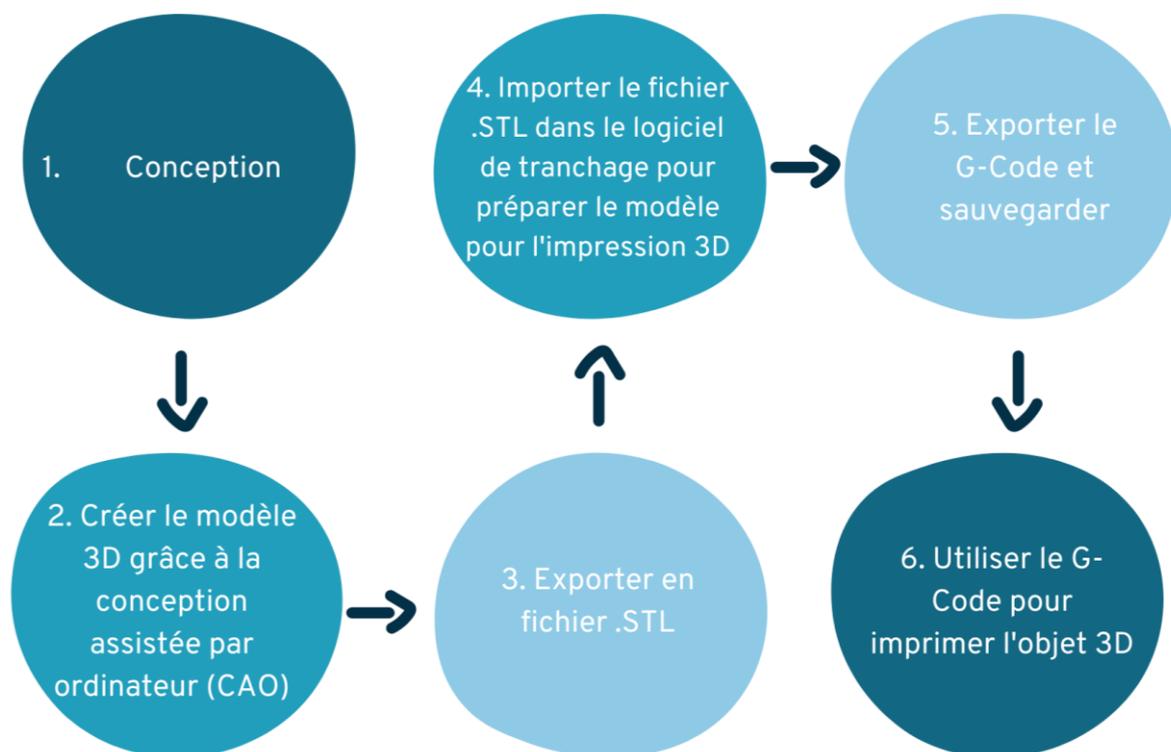


Figure 7. Processus complet d'impression 3D

Étape 1 : La conception (L'idée)

La première étape concerne la conceptualisation de l'objet 3D que vous souhaitez créer. Cela peut commencer par prendre les mesures de l'objet réel et dessiner votre objet sur un morceau de papier.

Étape 2 : Créer le modèle 3D grâce à la conception assistée par ordinateur (CAO)

Lors de la seconde étape, vous recréez l'objet dans un logiciel de modélisation 3D. En fonction de l'objet et de si celui-ci est composé de plusieurs parties, vous devrez peut-être le séparer en plusieurs fichiers pour pouvoir faciliter l'impression. Un autre élément important à prendre en compte est que si les objets doivent être connectés les uns aux autres, il faudra prévoir des points d'ancrage pour l'assemblage.

Étape 3 : Exporter le modèle 3D en fichier .STL

Une fois que vous avez terminé votre modèle 3D et que vous voulez passer à l'impression, vous devez simplement exporter votre modèle 3D dans un fichier .STL pour pouvoir l'ouvrir dans le logiciel de tranchage.

Étape 4 : Importer un fichier .STL dans le logiciel de tranchage pour préparer le modèle pour l'imprimante 3D sélectionnée

Pour la quatrième étape, vous devez importer le fichier .STL dans votre logiciel de tranchage (par exemple, Cura) et préparer votre modèle pour l'impression. Le logiciel de tranchage parcourt votre modèle couche par couche pour fournir à l'imprimante les informations nécessaires pour créer l'objet avec plus d'options de personnalisation - ce que nous détaillerons dans le chapitre 4.

Étape 5 : Exporter le G-code et sauvegarder

Une fois que vous avez finalisé votre modèle dans le logiciel de tranchage, exportez le G-code et sauvegardez-le sur une clé USB ou une carte SD, en fonction des entrées disponibles sur votre imprimante 3D.

Step 6: Utiliser le G-code pour imprimer l'objet

La sixième et dernière étape consiste à fournir le G-code sauvegardé à votre imprimante 3D pour qu'elle sache quoi imprimer et comment.

The G-code contient une série d'instructions qu'une imprimante 3D comprend afin d'imprimer l'objet modélisé.

2.1. Les projections en perspective

Pour comprendre le fonctionnement de la modélisation 3D, examinons les projections en perspective. Les projections en perspective sont essentiellement l'angle sous lequel vous voyez un objet. Il existe trois points de fuite, qui indiquent le nombre de côtés d'un objet que vous pouvez voir.

La perspective à un point de fuite est simplement la façon dont un objet est perçu sous un seul angle. Vous ne pouvez en voir qu'une seule face.



Figure 8. Perspective à un point de fuite

La perspective à deux points de fuite vous permet de voir l'objet sous deux angles.

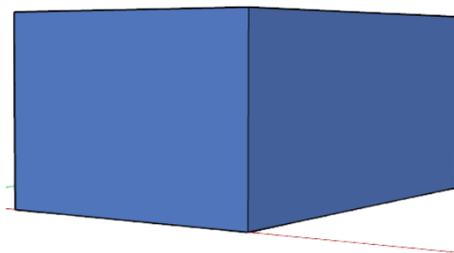


Figure 9. Perspective à deux points de fuite

La perspective à trois points de fuite vous présente les trois angles de vue d'un objet, puisqu'il s'agit d'un objet dans un espace tridimensionnel.

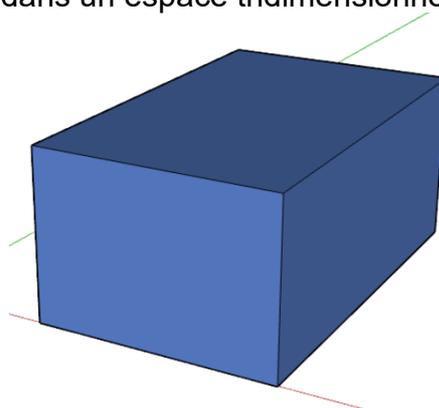


Figure 10. Perspective à trois points de fuite

Grâce à la modélisation 3D, vous créez des objets dans un espace tridimensionnel avec trois axes, x, y et z. Pour mieux comprendre cela, essayons de le visualiser. La figure 11 ci-dessous illustre les trois axes d'un logiciel 3D. Au début, cela peut sembler un peu déroutant, mais c'est plus facile que vous ne l'imaginez. Il suffit d'un peu de pratique et de familiarisation.

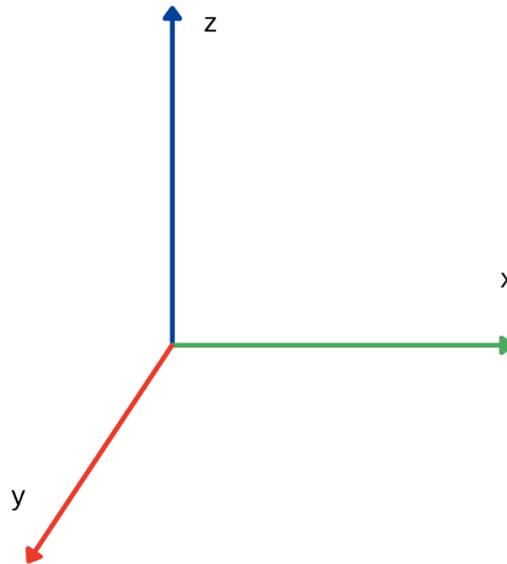


Figure 11. Espace tridimensionnel (axes x, y et z)

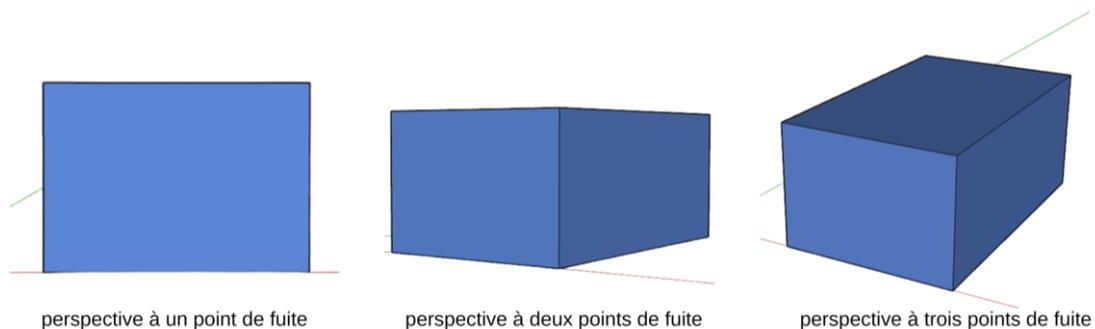


Figure 12. Projections en perspective (faites avec SketchUp)

2.2. Options pour les modèles 3D

Il existe deux options pour créer vos modèles 3D et les imprimer.

Vous pouvez :

- Utiliser un logiciel de modélisation 3D pour créer votre modèle à partir de zéro avec les détails que vous souhaitez.
- Ou vous pouvez le créer en utilisant la photogrammétrie.

Outre la création de votre propre modèle 3D à imprimer, vous pouvez utiliser des modèles et plans d'impression prêts-à-l'emploi et gratuits.

Vous pouvez trouver des centaines de modèles et plans d'impression sur des sites tels que [Thingiverse](https://www.thingiverse.com/) et [MyMiniFactory](https://www.myminifactory.com/). Tout ce qu'il vous reste à faire est de télécharger le fichier .STL, et vous êtes prêt pour l'impression !

2.3. Logiciel de modélisation 3D

De nombreux logiciels de modélisation 3D disponibles requièrent différents niveaux d'expertise et possèdent différentes difficultés d'apprentissage. En fonction du domaine, les professionnels choisissent des programmes spécifiques pour la modélisation 3D.

Tinkercad

Développé par Autodesk, Tinkercad (<https://www.tinkercad.com/>) est une application web gratuite et l'un des programmes les plus populaires utilisés dans l'éducation pour introduire la conception 3D, l'électronique et le codage. Elle est assez facile à utiliser et possède de nombreux modèles et plans d'impression prêts à télécharger.

SketchUp

SketchUp (<https://www.sketchup.com/>) est un programme de modélisation 3D disponible sur le web et en téléchargement pour le bureau. Il possède de nombreuses extensions en fonction de l'abonnement et des besoins des utilisateurs. Ce programme est utilisé dans de nombreux domaines comme l'architecture, l'architecture d'intérieur, l'ingénierie civile et mécanique, la conception de produit et

le design industriel, parmi tant d'autres. La version gratuite, comme nous allons le voir dans ce module, est disponible en ligne.

Fusion 360

Développé par Autodesk, Fusion 360 (<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>) offre une plateforme 3D basée sur le cloud qui intègre différents aspects de la conception et de la fabrication, depuis l'étape de conception initiale jusqu'à l'ingénierie et la fonctionnalité du circuit.

Onshape

Onshape (<https://www.onshape.com/en/>) est une plateforme de conception de produit basée sur le cloud, qui se concentre sur la conception 3D assistée par ordinateur (CAO), et sur le système de gestion des données techniques (SGDT). Elle offre une analyse des données et des opportunités de collaboration. En quelques mots, Onshape crée un système centralisé disponible à l'intérieur d'une organisation ou d'une entreprise, afin de gérer différents aspects de la conception de produit et de la production.

OpenSCAD

OpenSCAD (<https://openscad.org/>) est un programme gratuit de CAO 3D paramétrique qui permet aux utilisateurs de créer des modèles de solides à l'aide de scripts. Cela peut être utile pour définir un certain nombre de paramètres fixes sur votre modèle. Il est particulièrement utilisé dans le domaine de l'ingénierie mécanique.

3. L'utilisation de SketchUp

Dans ce chapitre, nous allons parcourir les fonctionnalités et les outils prêts-à-l'emploi du logiciel de modélisation 3D SketchUp. Cela servira d'introduction pour pouvoir commencer à créer nos propres modèles 3D. Nous avons également dédié une section à la recréation de cinq modèles 3D issus de nos expositions pour le musée mobile ludique du projet Numeric[All].

Et maintenant, découvrons comment fonctionne SketchUp !

Étapes :

1. Allez sur : <https://www.sketchup.com/plans-and-pricing/sketchup-free>
2. Sélectionnez le bouton 
3. Enregistrez-vous pour pouvoir sauvegarder vos modèles, et vous êtes prêt !

3.1. Interface

Une fois les étapes ci-dessus complétées, vous arriverez sur cette interface :

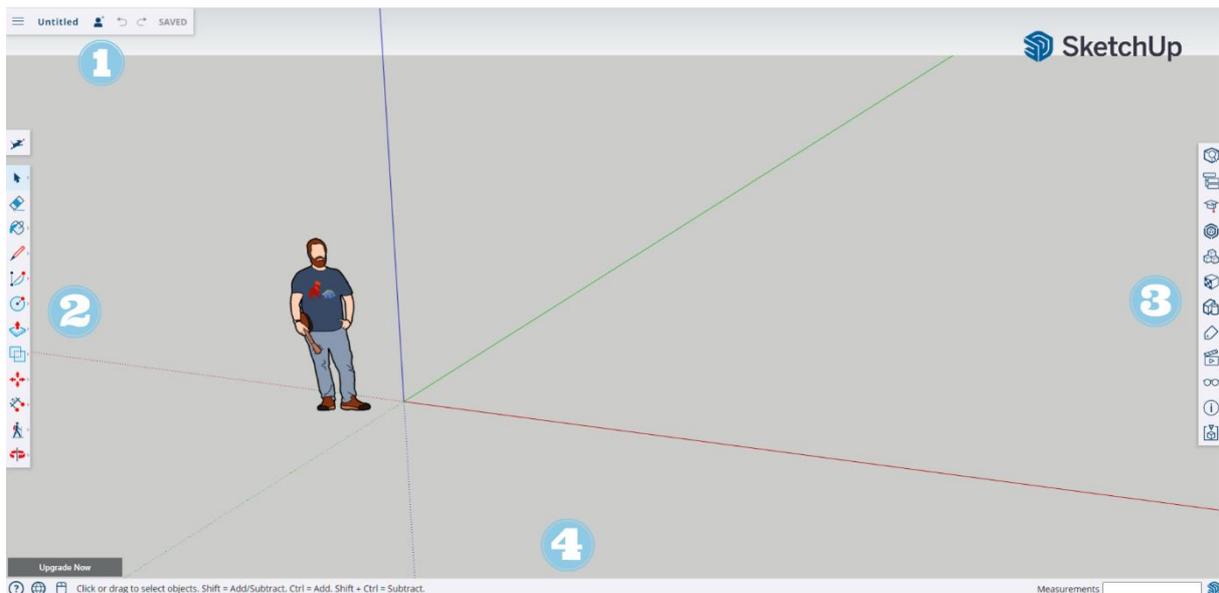


Figure 13. L'interface de SketchUp - version web

L'interface de SketchUp est assez simple d'utilisation. Les paragraphes suivants vont vous expliquer la signification des nombres présents sur la Figure 13 ci-dessus.

1. Menu du modèle/des préférences

Il se situe dans le coin supérieur gauche de la page.

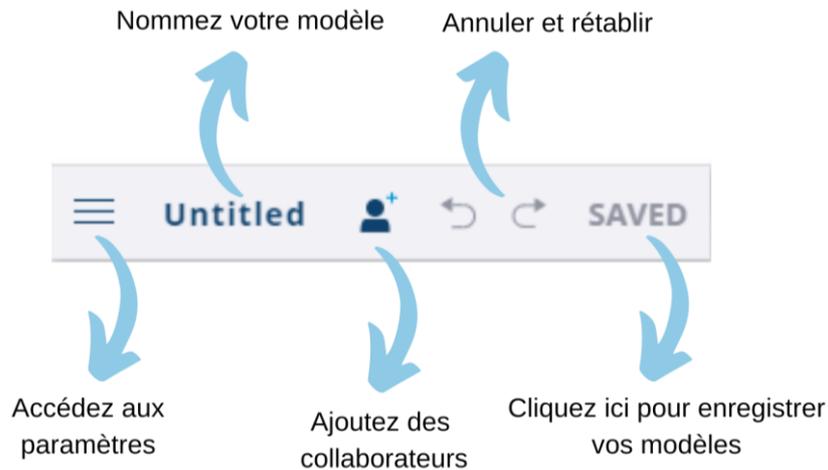


Figure 14. Barre d'options (coin supérieur gauche)

Si vous cliquez sur les trois barres, le menu suivant se déroule :

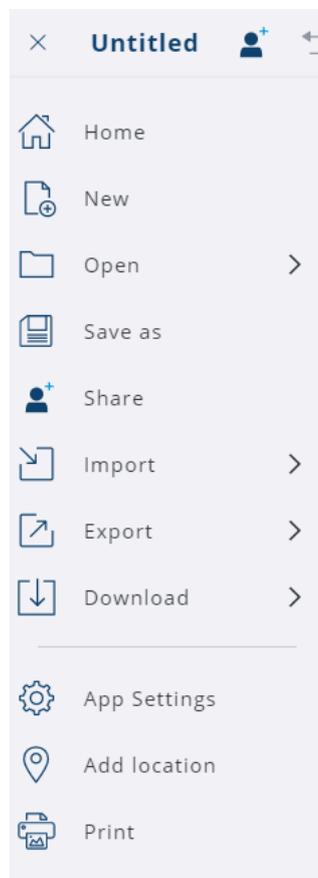


Figure 15. Menu déroulant pour les paramètres

Ce menu vous propose les options suivantes : créer un nouveau modèle, enregistrer votre modèle, partager votre modèle avec d'autres utilisateurs, importer depuis votre appareil ou Trimble connect, exporter en différents formats, et télécharger votre modèle en .skp, .png et .stl. Vous pouvez aussi personnaliser cette interface via les paramètres de l'application, ajouter votre emplacement, ainsi qu'imprimer votre modèle en 2D.

2. Barre d'outils

Ici, vous retrouverez différents outils afin de construire vos modélisations 3D. Nous allons tous les passer en revue dans la section suivante (2.2. Utilisation des outils prêts-à-l'emploi).

3. Panneaux

Sur le côté droit de l'interface, vous pouvez accéder aux éléments suivants :

- Informations sur l'entité : contient des informations à propos de l'objet sélectionné, comme le type, la définition, les couches, l'ombrage et la visibilité.
- Instructeur : fournit des informations sur le rôle d'un outil et son utilisation.
- Composants : utile lorsque vous avez besoin de réutiliser un objet (par exemple, une fenêtre pour une modélisation 3D de maison) en le créant, le téléchargeant depuis votre appareil ou en le recherchant dans le stock de Trimble 3D. Pour plus d'informations, visitez : <https://help.sketchup.com/en/working-components-sketchup#introduction>
- Matériaux : donnez un aspect plus réaliste à vos modélisations 3D en ajoutant de la couleur et une texture (optionnel) aux surfaces.
- Styles : contient une série de styles prédéfinis qui présentent les côtés, les faces, et l'arrière-plan dans un style spécifique (par exemple : crayonné).
- Couches : ajustez la visibilité des objets dans votre environnement 3D quand celui-ci contient plusieurs objets.
- Scènes : changez l'arrière-plan et la projection en perspective de votre modèle 3D.
- Affichage : éditez ce que vous voyez affiché sur votre écran, comme les lignes, les objets, les composants, les ombres et le brouillard.

4. Barre d'état

Elle permet d'accéder au Centre d'aide, au menu des langues, aux options du dispositif d'entrée, à des conseils et options pour les outils sélectionnés, et à un outil de mesure pour une modélisation plus précise.

3.2. Utilisation des outils prêts-à-l'emploi

Dans cette section, nous allons parcourir les outils prêts-à-l'emploi disponibles sur la version web de SketchUp, ainsi que leurs utilisations.



Outil de recherche

Utilisez cet outil pour faire des recherches concernant SketchUp.



Outil de sélection

Vous pouvez sélectionner des lignes, des faces ou des objets.

- Pour sélectionner un côté d'une surface (une face), cliquez deux fois.
- Pour sélectionner une arête et la face qui y est attachée, cliquez dessus deux fois.
- Pour sélectionner un objet, cliquez trois fois.



Outil lasso

Vous pouvez délimiter votre propre zone de sélection.



Outil gomme

Vous pouvez effacer des lignes, faces ou autres objets.



Outil de remplissage

Vous pouvez ajouter des matériaux actifs sur les surfaces (faces).



Outil d'échantillonnage

Vous pouvez utiliser cet outil pour faire du matériel sur lequel vous cliquez le matériel actif.



Outil de traçage de lignes

Créez des lignes droites qui, si vous les connectez entre elles, créeront une surface (face).



Outil de traçage à main levée

Tracez des lignes à main levée qui, si vous les connectez entre elles, créeront une surface (face).



Outil de traçage d'arc

Créez des arcs ou des cercles avec l'aide d'un rapporteur. Commencez par sélectionner votre centre après avoir choisi l'angle que vous souhaitez comme point d'arrivée et terminez l'arc.



Outil de traçage d'arc à 2 points

Créez un arc en plaçant les deux points de l'arc avec le crayon et l'arrondi de l'arc.



Outil de traçage d'arc à 3 points

Commencez par placer un point au centre, puis un point de pivotement, et enfin votre point d'arrivée pour créer un arc.



Outil camembert

Cet outil fonctionne de la même manière que l'outil de traçage d'arc, mais au lieu de créer un arc, il crée une forme de camembert.



Outil rectangle

Créez un rectangle simple ou un objet de forme carrée.



Outil rectangle pivoté

Cet outil permet de créer un rectangle à n'importe quel angle au lieu d'un axe.



Outil cercle

Créez un cercle avec cet outil.



Outil polygone

Créez un polygone avec n'importe quel nombre de côtés.



Outil texte 3D

Ajoutez du texte en 3D à votre modèle et sélectionnez s'il sera extrudé ou rempli.



Outil tirer/pousser

Cet outil permet de pousser un objet dans l'espace tridimensionnel ou de l'aplatir.



Outil suivez-moi

Avec cet outil, créez des formes complexes en 3D en guidant une face d'un point à l'autre.



Outil de décalage

Cet outil permet de créer un objet à une distance décalée d'un autre objet.



Outil enveloppe extérieure

Utilisé pour retirer les faces intérieures des solides qui se chevauchent, et ne laisser que les faces extérieures.



Outil de mouvement

Utilisé pour repositionner, copier ou étirer des objets.



Outil de rotation

Faites pivoter des objets à un angle spécifique.



Outil de mise à l'échelle

Redimensionnez et remodelez des objets.



Outil mètre ruban

Cet outil vous permet de mesurer vos objets.



Outil de dimension

Marquez la longueur ou l'angle d'un objet.



Outil de texte

Cet outil permet d'ajouter du texte sur votre écran et de spécifier certains points concernant votre modèle (par exemple, de quel matériau il est fait).



Outil de sectionnement

Cet outil permet de couper à travers un modèle pour voir l'intérieur de l'objet.



Outil rapporteur

Mesurez les angles de vos objets 3D.



Outil axes

Cet outil permet de délimiter les axes d'un modèle ou d'un composant.



Outil étiquette

Organisez vos objets et changez leur visibilité.



Outil de promenade

Cet outil permet de se promener autour de son modèle (par exemple, des bâtiments).



Outil de positionnement de la caméra

Positionnez le point de vue à une hauteur spécifique selon votre modèle.



Outil d'observation

Après avoir utilisé l'outil de positionnement de la caméra, cet outil apparaît et vous permet de regarder d'un côté à l'autre.



Outil orbite

Faites pivoter votre objet 3D.

 Outil panoramique

Observez votre scène depuis le haut, le bas, la gauche et la droite.

 Outil de zoom

Vous pouvez zoomer en avant ou en arrière sur des surfaces spécifiques de votre objet.

 Outil fenêtre de zoom

Cet outil permet de sélectionner une fenêtre rectangulaire pour zoomer sur votre objet.

 Outil de zoom étendu

Cet outil affiche votre modèle dans son intégralité.

3.3. Les expositions Numeric[All] à essayer

Dans cette section, nous allons essayer de recréer 5 des expositions de Numeric[All] du musée mobile ludique (PR2) dans leurs versions simplifiées. Des versions plus détaillées de ces expositions et d'autres se trouvent sur le site web du projet (<https://numericall.eu/>), prêtes à être imprimées en fichiers .STL. Les expositions suivantes ont été sélectionnées pour vous donner l'occasion d'exercer vos compétences en modélisation 3D avec des formes différentes et des niveaux de difficulté progressifs. Essayez de créer votre premier objet 3D sur SketchUp !

Les boîtes

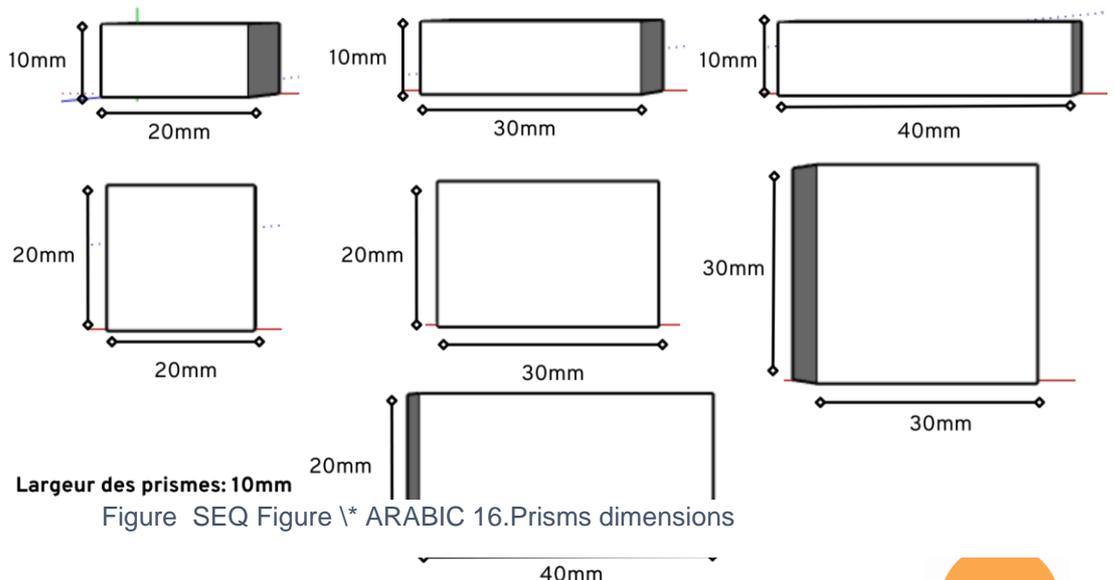
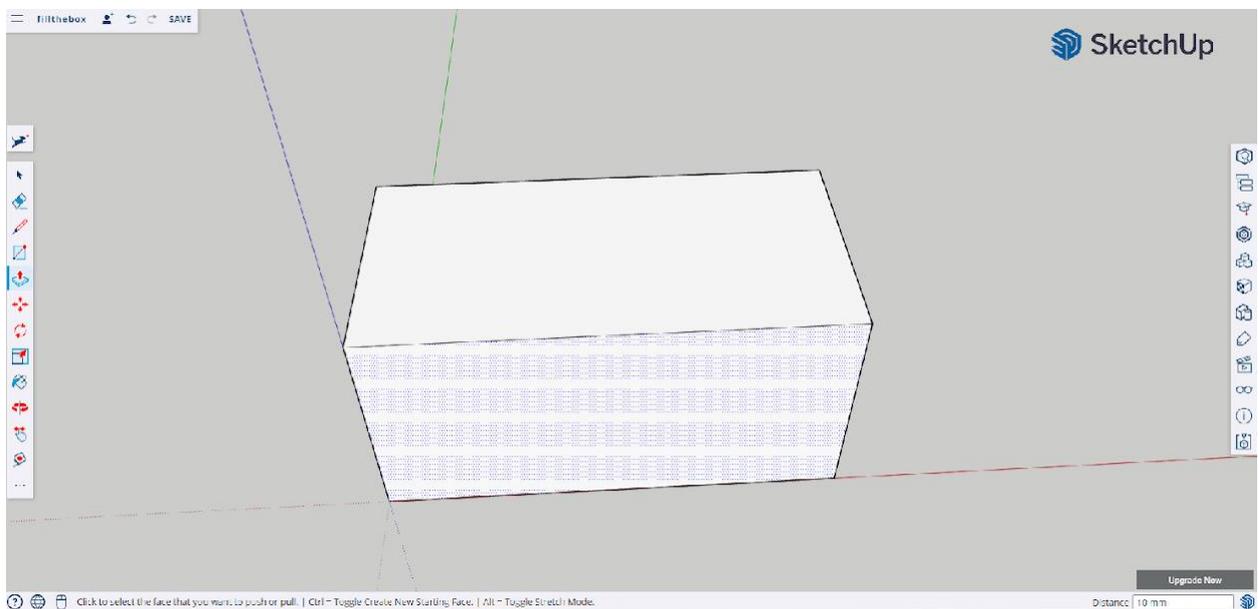


Figure 16. Dimensions des boîtes

Étape 1 : Sélectionnez l’outil rectangle, placez le dans le coin où se joignent les axes et appuyez sur “enter” pour spécifier les dimensions 20mm x 10mm (2cm x 1cm), et appuyez sur “enter” à nouveau pour créer le rectangle.



Étape 2 : Utilisez l’outil tirer/pousser pour élever la largeur du solide à 10mm (1cm).

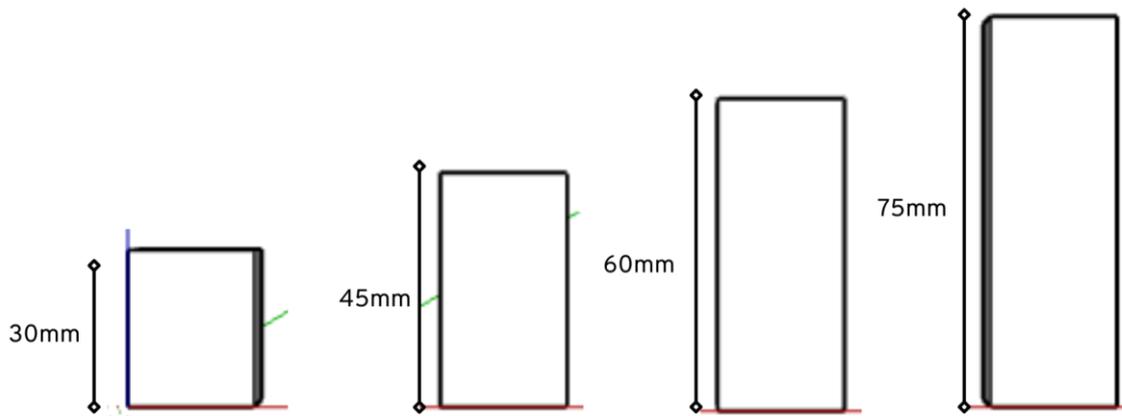


Et voilà ! Vous avez créé le premier prisme de l’exposition Fill the Box ! Pour créer les autres, il suffit de suivre les mêmes étapes en appliquant les dimensions correspondantes.

Recommandation : Créez deux prismes dans un seul fichier pour gagner du temps quand vous imprimez.

Les gratte-ciel

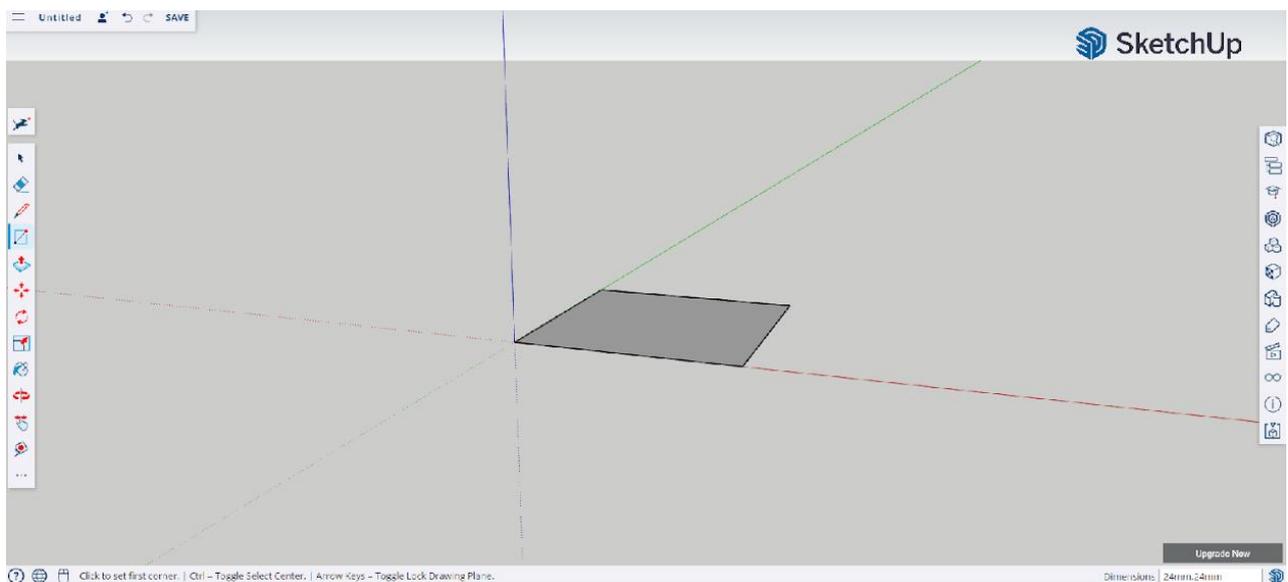
Cette exposition utilise des prismes rectangulaires qui représentent des gratte-ciel de différentes hauteurs. Les dimensions des gratte-ciel sont présentées dans l'image ci-dessous.



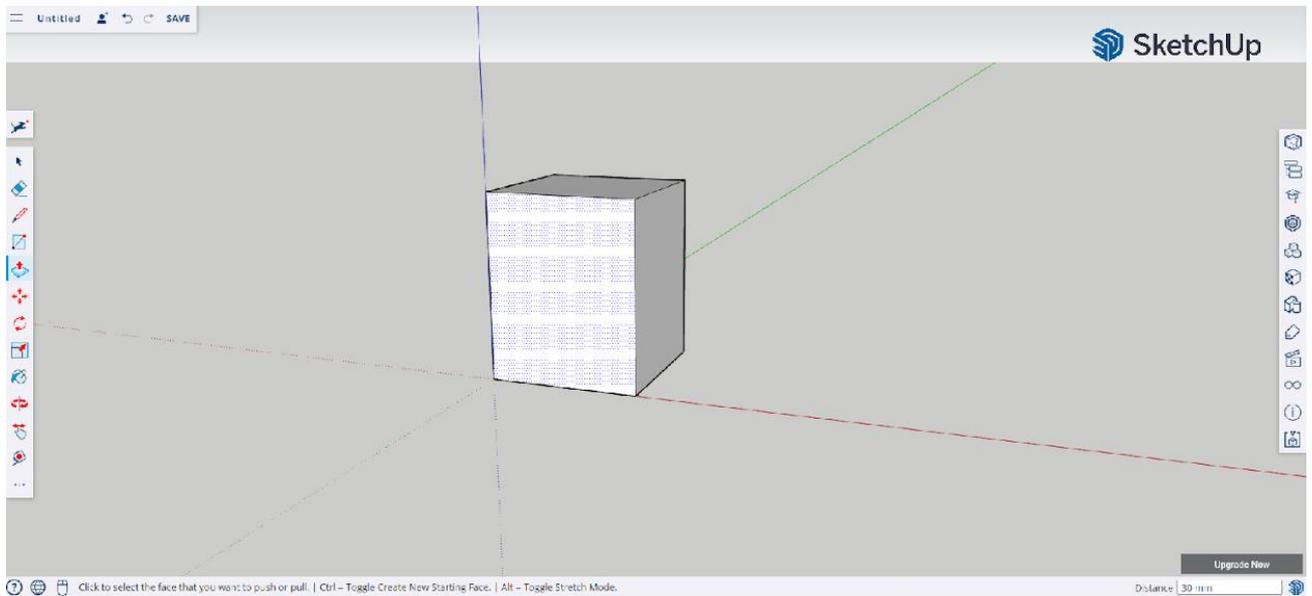
Base des gratte-ciel : 24mm x 24mm

Figure 17. Dimensions des gratte-ciel

Étape 1 : Utilisez l'outil rectangle et définissez les dimensions sur 24mm x 24mm (2.4cm x 2.4cm) pour créer la base des gratte-ciel.



Étape 2 : Utilisez l’outil tirer/pousser pour élever la largeur du solide à 30mm (3cm).



Étape 3 : Suivez le même processus pour créer les autres gratte-ciel de hauteurs différentes.

Conseil : Copiez (Ctrl+C) et collez (Ctrl+V) chaque gratte-ciel dans le même fichier 4 fois pour les imprimer en une seule fois.

Les cubes

Notre exposition avec les cubes utilise des objets en forme de L de 3 et 4 unités.

Nous commencerons donc avec les mesures qui permettront de les dessiner en 3D.

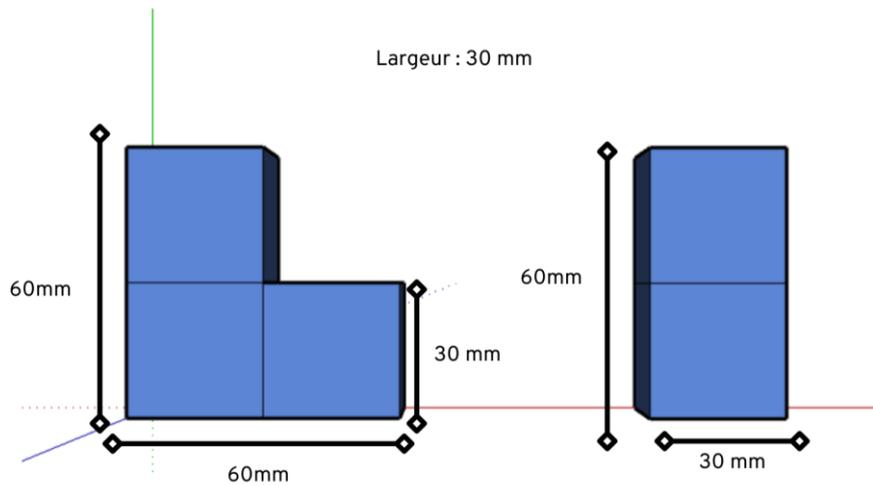
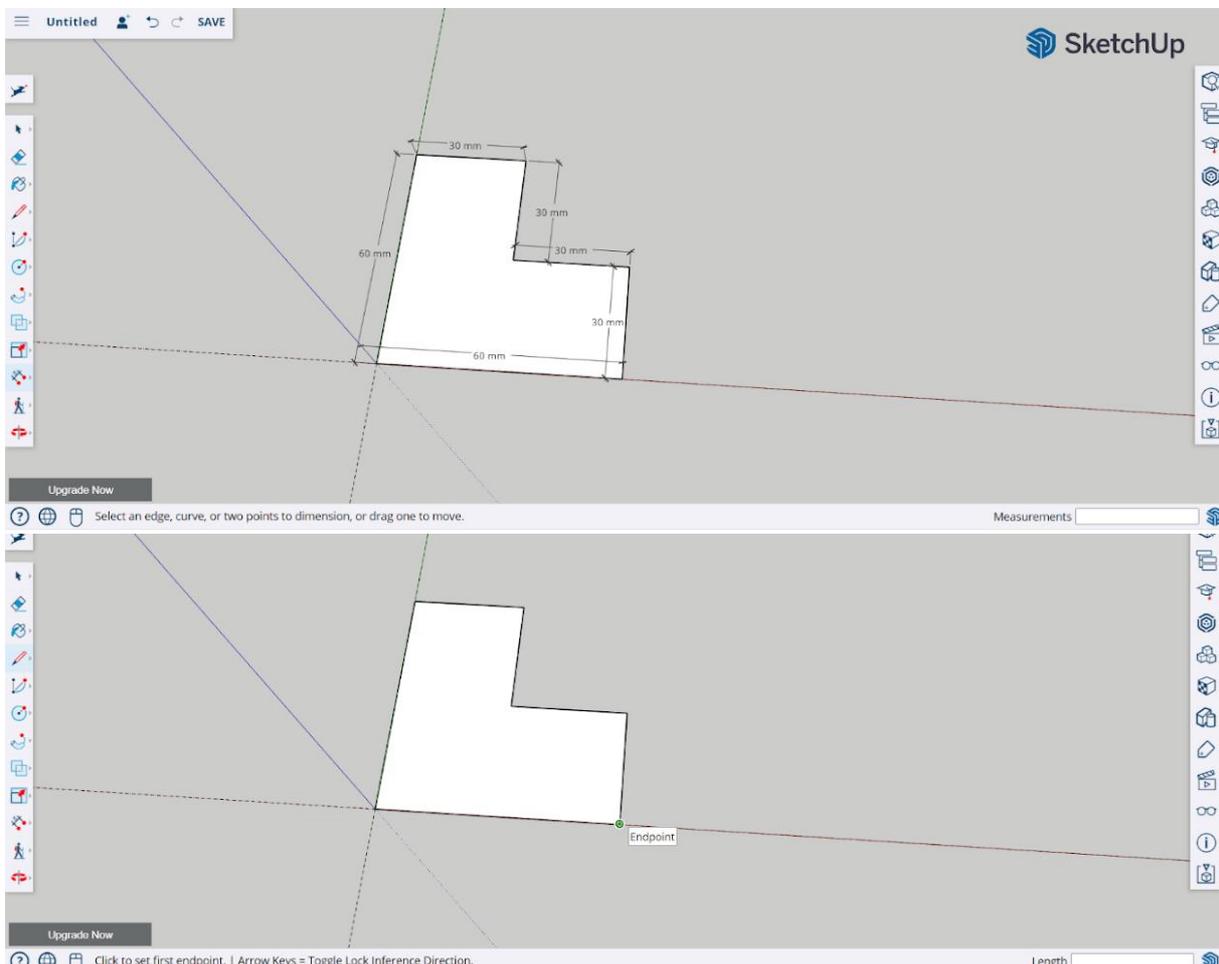


Figure 18. Dimensions du cube 2x2x2

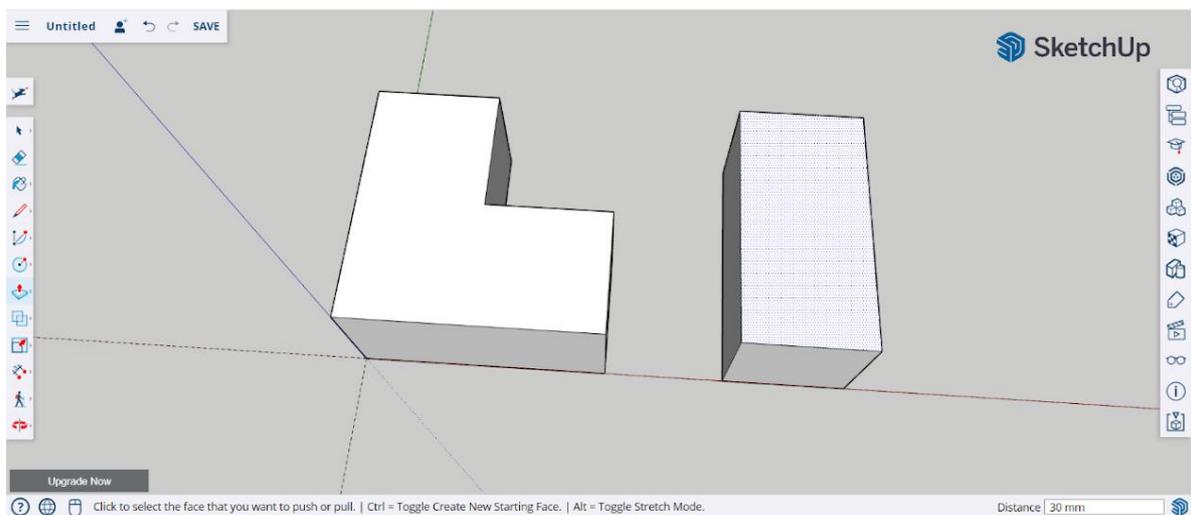
Étape 1 : Utilisez l’outil de traçage de ligne pour créer chaque cube d’après les dimensions fournies dans l’image ci-dessus.

Lorsque vous dessinez une ligne, vous pouvez voir si vous êtes sur le bon axe. Pour créer nos cubes, nous nous déplaçons le long des axes vert et rouge.

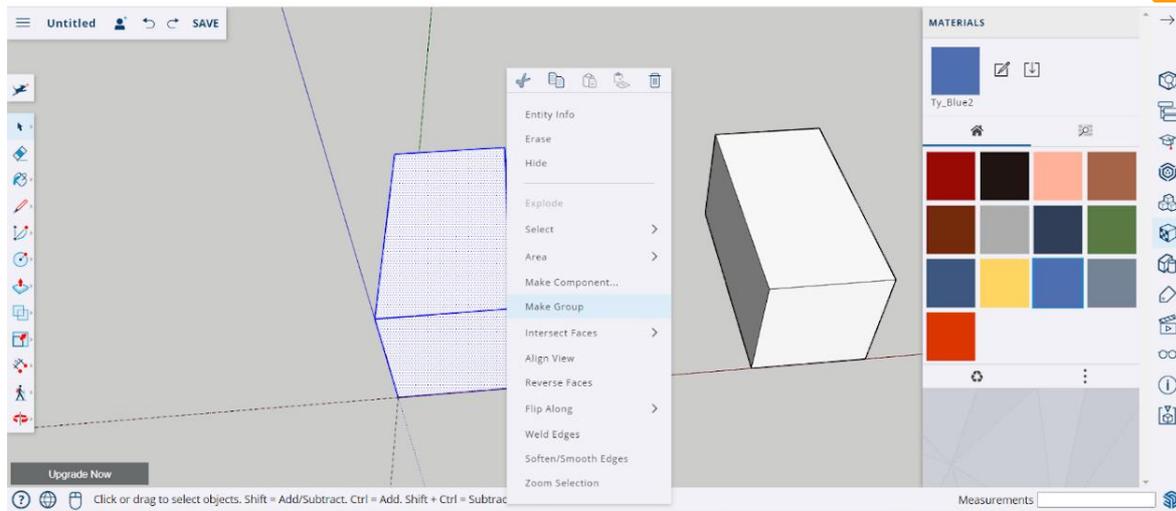




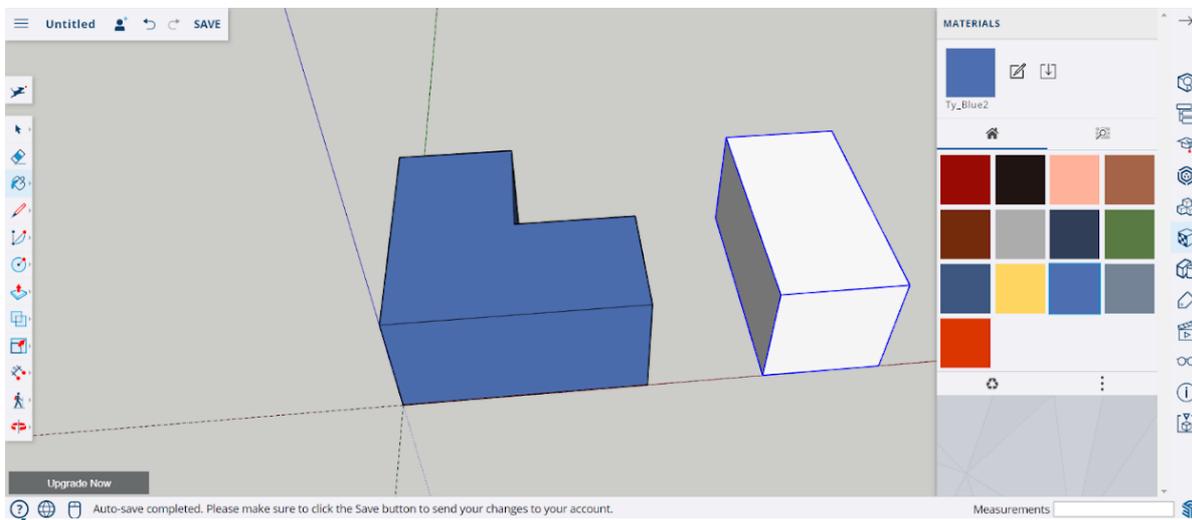
Étape 2 : Utilisez l’outil tirer/pousser pour donner au cubes une largeur de 30mm (3cm).



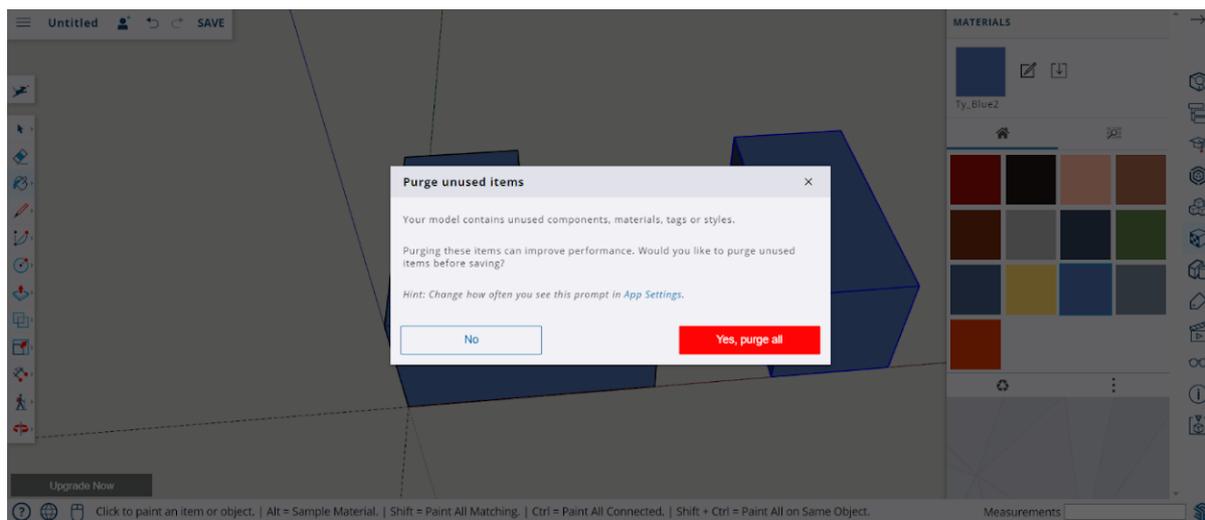
Étape 3 : Sélectionnez chaque cube et groupez-les.



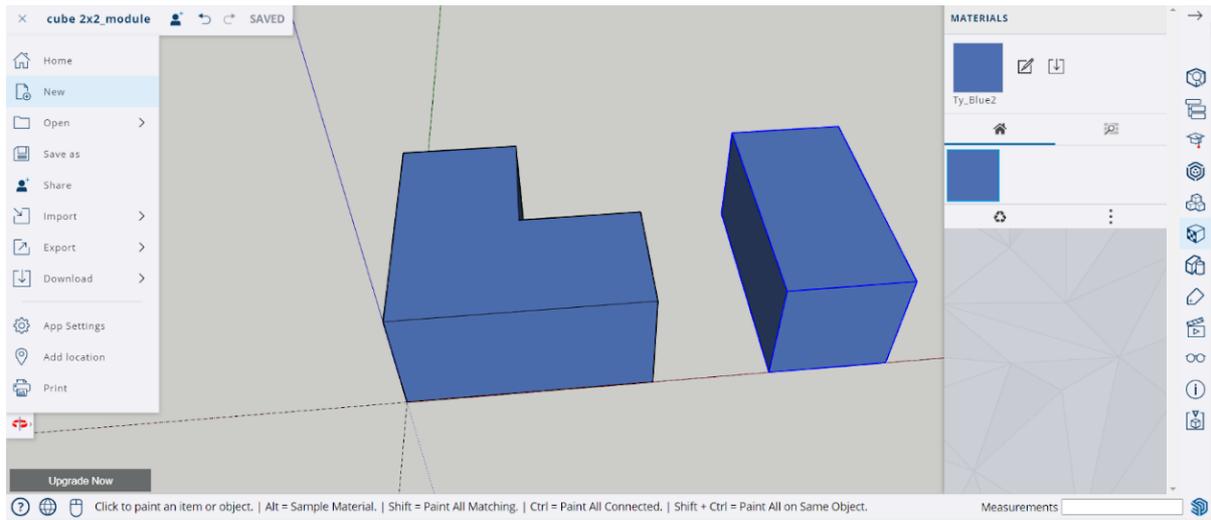
Étape 4 (optionnel) : Utilisez l'outil de remplissage et choisissez une couleur.



Étape 5 : Sauvegardez votre fichier et purgez les éléments inutilisés.



Étape 6 : Après avoir sauvegardé le cube 2x2x2, créez un fichier pour le cube 3x3x3



Étape 7 : Suivez le même processus pour créer le cube 3x3x3. Utilisez les dimensions de l'image ci-dessous et vous serez prêt.

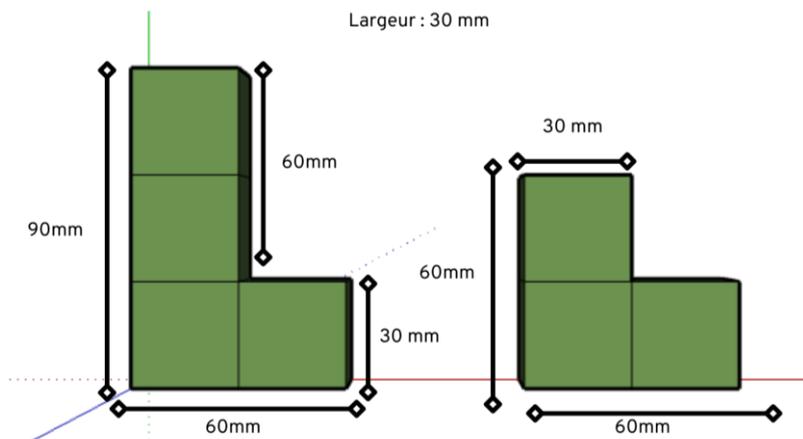


Figure 19. Dimensions du cube 3x3x3

Les dominos

Cette exposition utilise des dominos pour entraîner les compétences de numératie par deux. Les mesures ci-dessous indiquent comment recréer les dominos sur SketchUp.

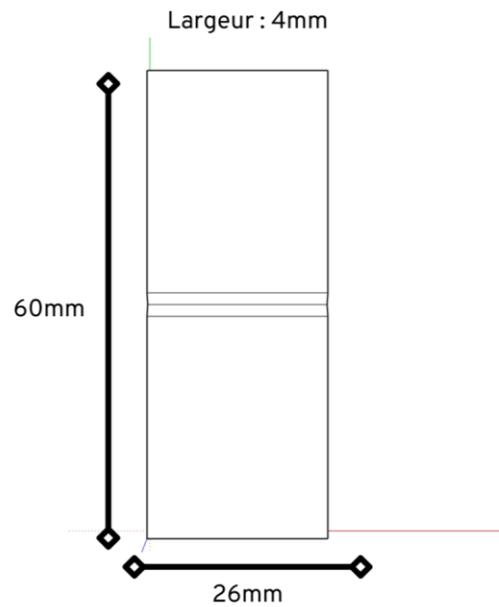
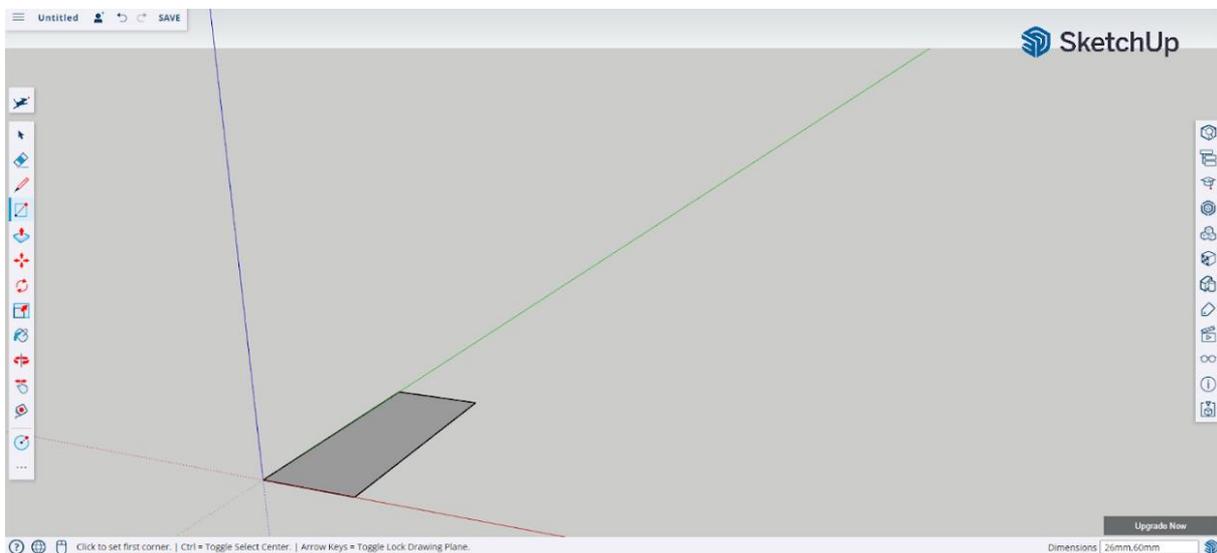
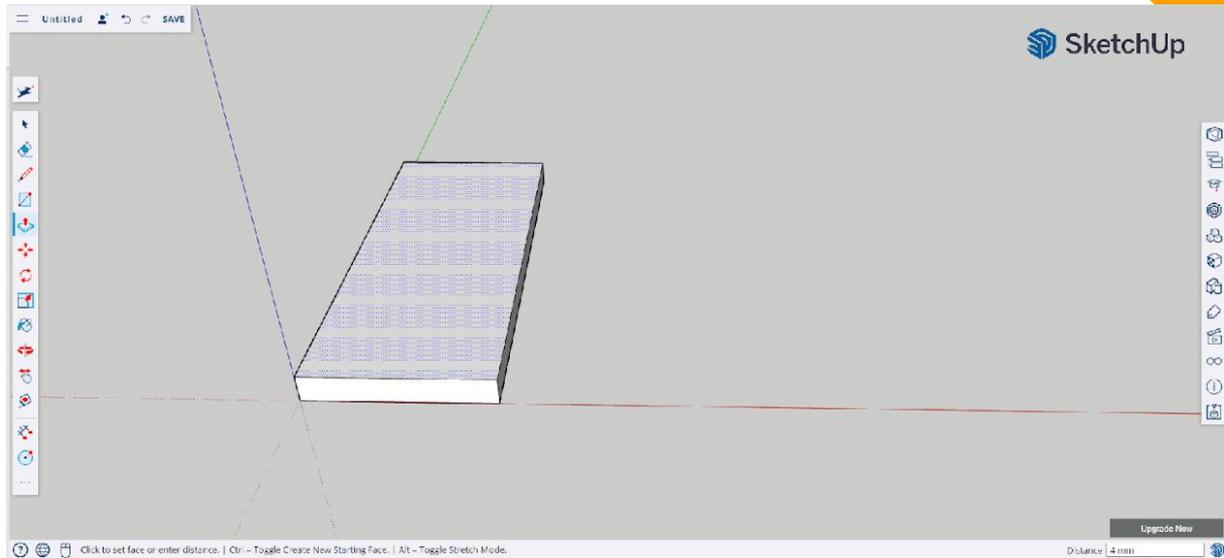


Figure 20. Dimensions des dominos

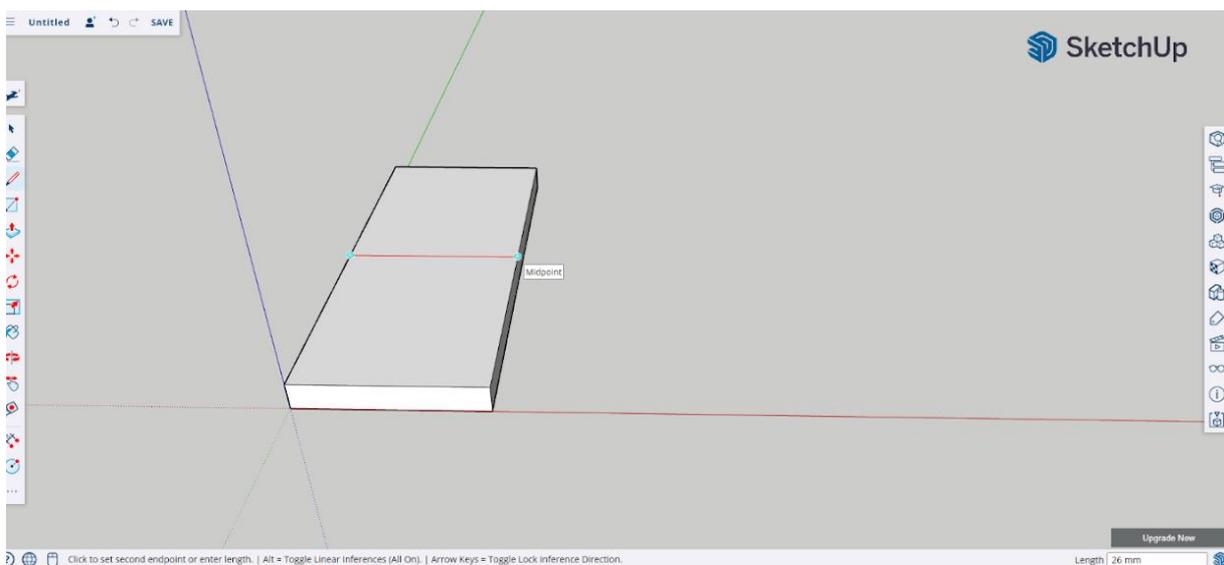
Étape 1 : Dessinez un rectangle à l'aide de l'outil rectangle (26mm x 60 mm)

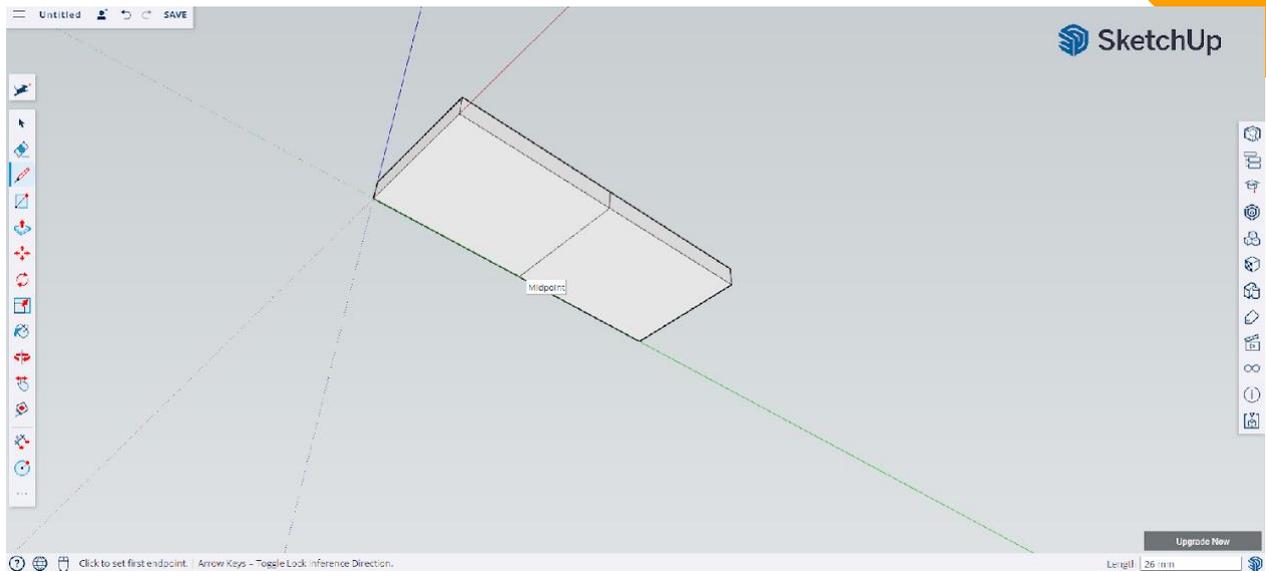


Étape 2 : Utilisez l'outil tirer/pousser pour délimiter la largeur du rectangle à 4mm.

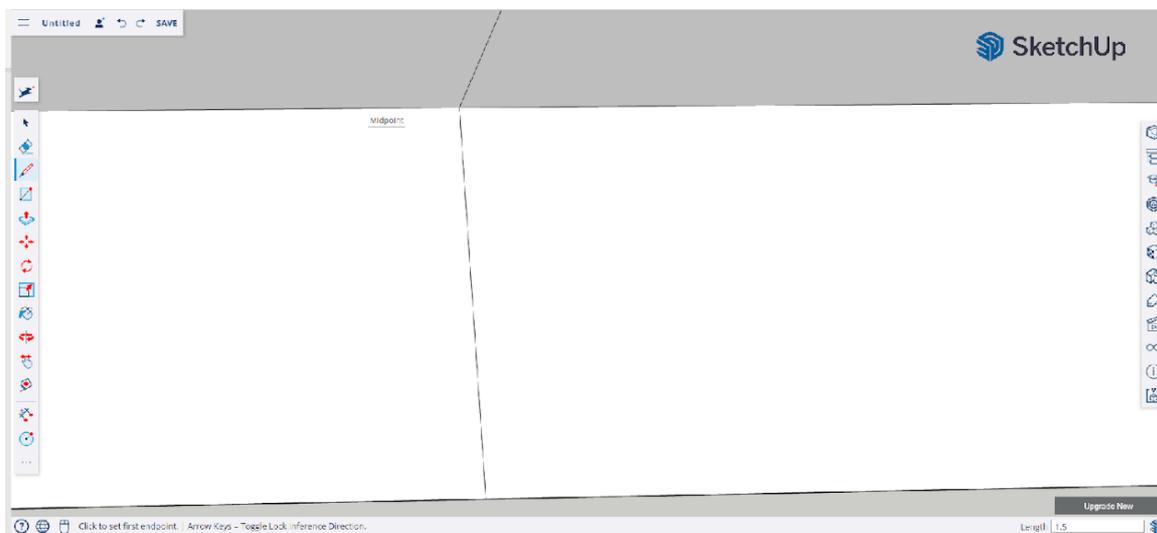


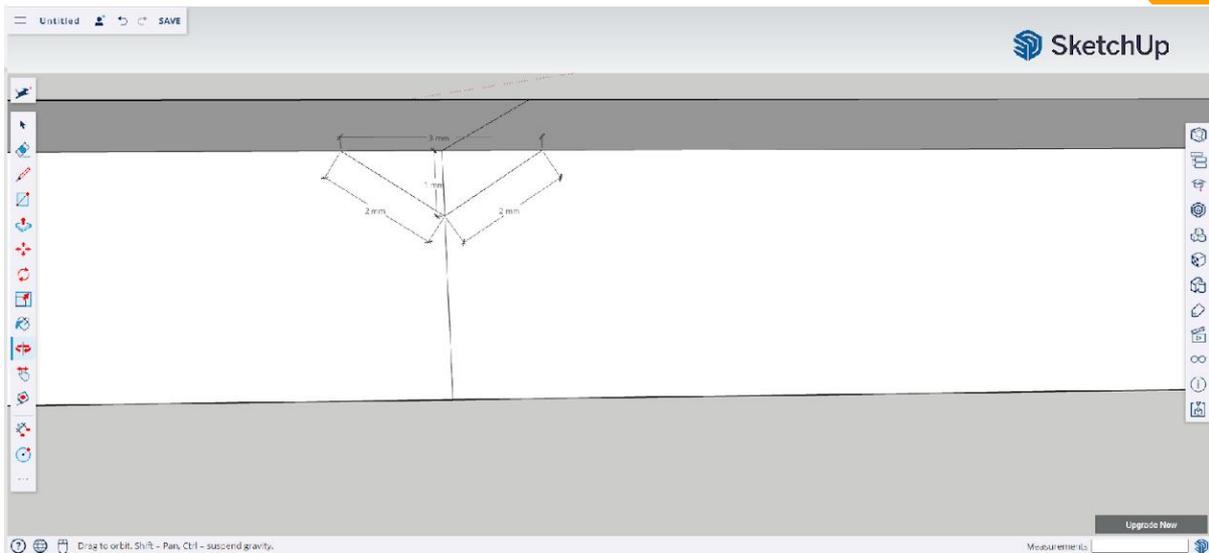
Étape 3 : Utilisez l’outil de traçage de ligne et déterminez le centre du domino.
Assurez-vous de tracer une ligne sur chaque côté du domino.



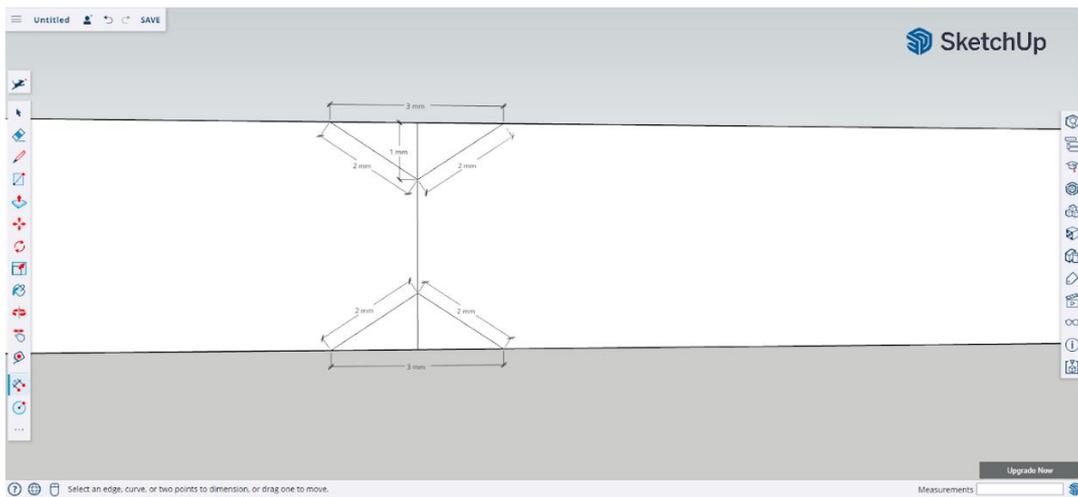


Étape 4 : Faites pivoter la caméra sur le côté et utilisez l’outil traçage de ligne pour marquer un point à 1.5mm de la ligne sur les côtés, puis à 1mm sur la ligne afin de former un triangle.

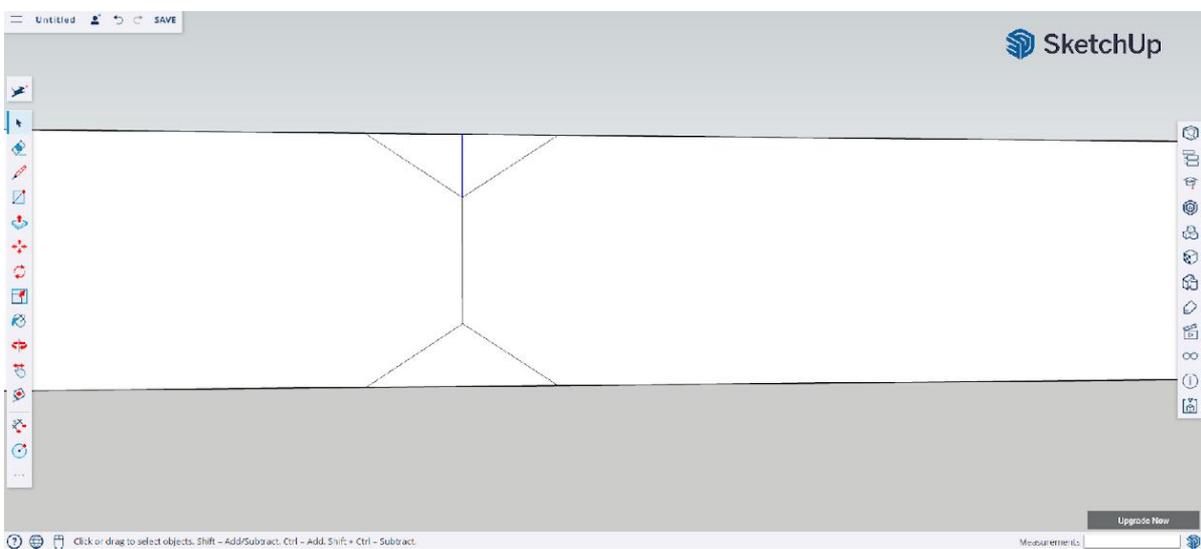




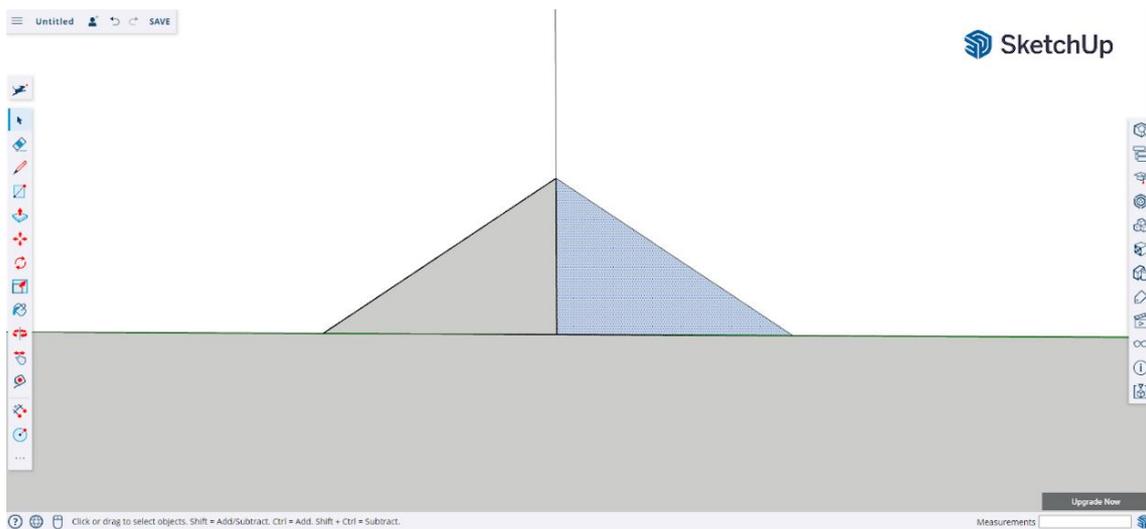
Faites pareil sur l'autre face du domino.



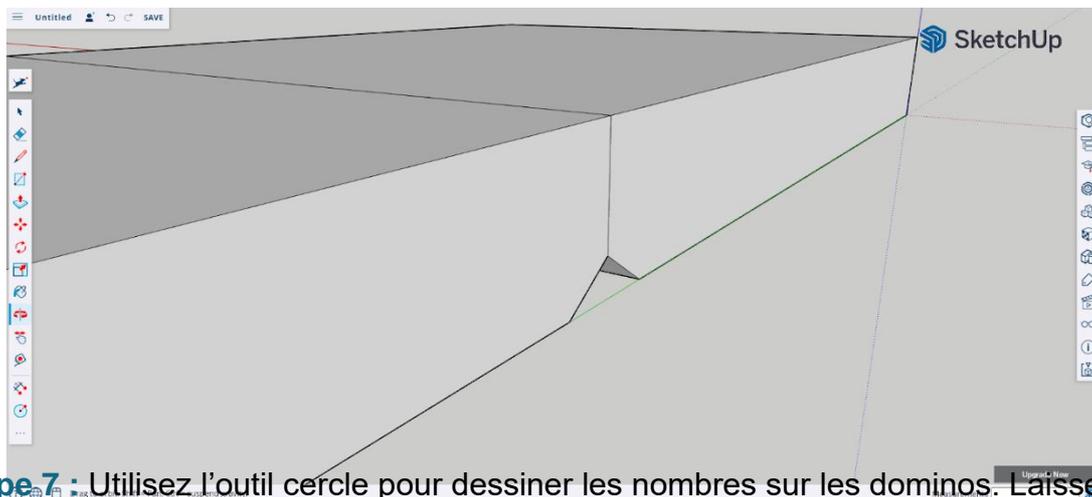
Étape 5 : Sélectionnez la ligne du milieu et supprimez-la de chaque triangle.



Étape 6 : Utilisez l'outil tirer/pousser pour couper le triangle de chaque côté.



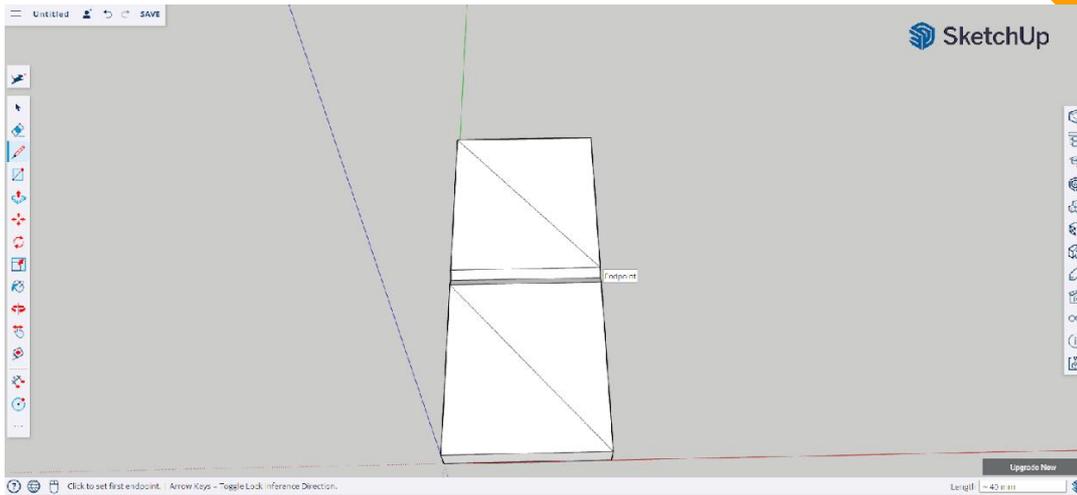
Vérifiez bien des deux côtés qu'il n'y ait plus de matière ou de ligne sur le triangle.



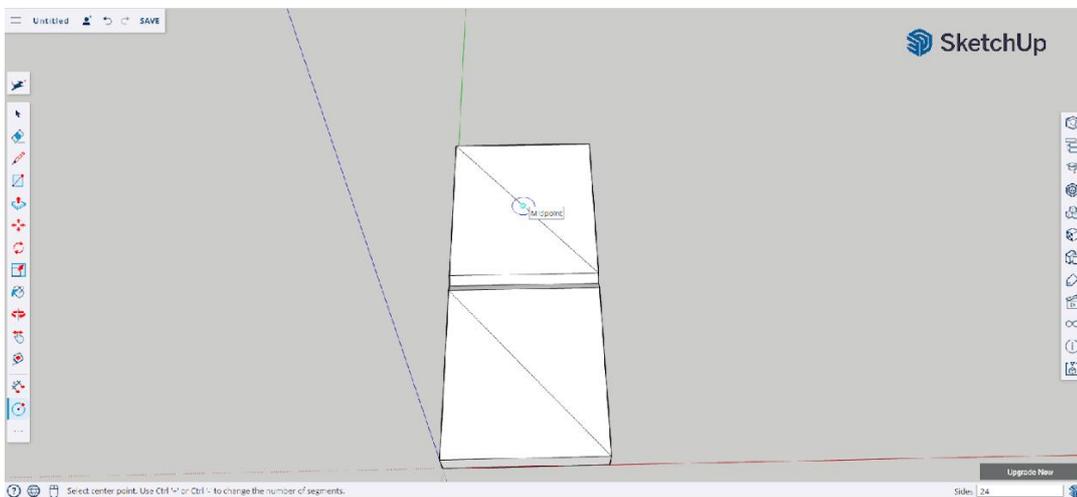
Étape 7 : Utilisez l'outil cercle pour dessiner les nombres sur les dominos. Laissez-en un vierge pour représenter le zéro.

Fabriquer le domino avec un point :

- a) Utilisez l'outil de traçage de ligne pour dessiner une diagonale sur le domino.



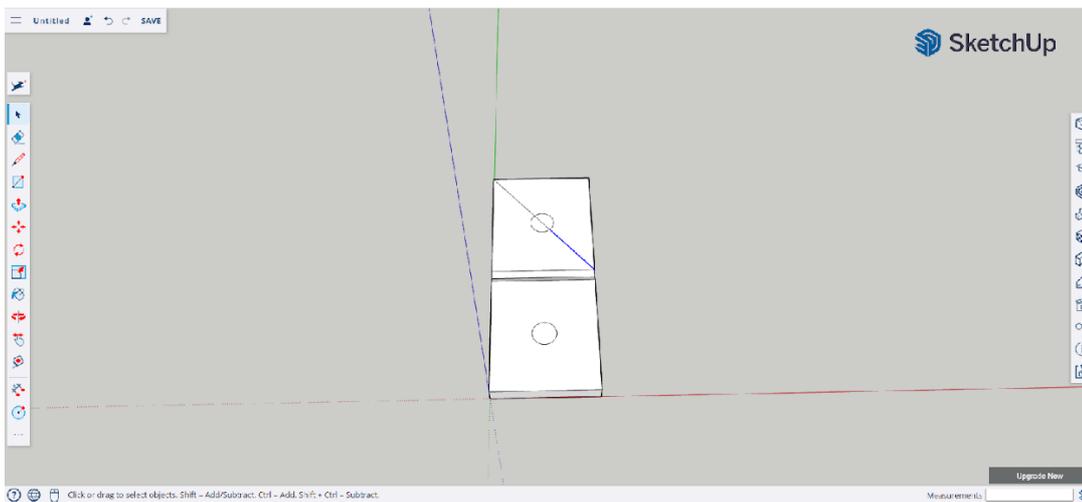
- b) Sélectionnez l'outil cercle et déplacez-vous en diagonale sur la ligne jusqu'à en trouver le centre.



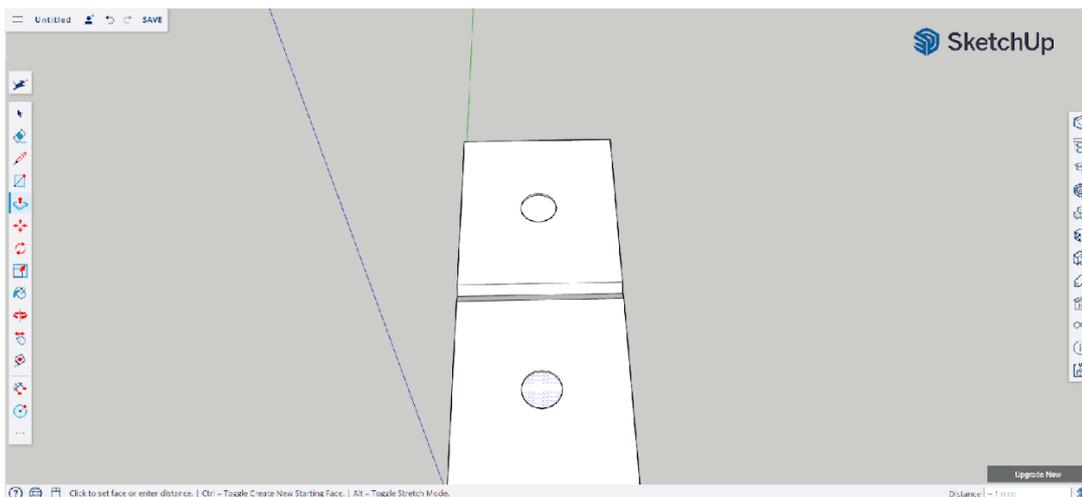
- c) Définissez le rayon du cercle à 3mm.



d) Sélectionnez les diagonales et supprimez-les.



e) Utilisez l'outil tirer/pousser pour renforcer les cercles de 0.5mm.



Étape 8 : Répétez les étapes pour créer les autres dominos.

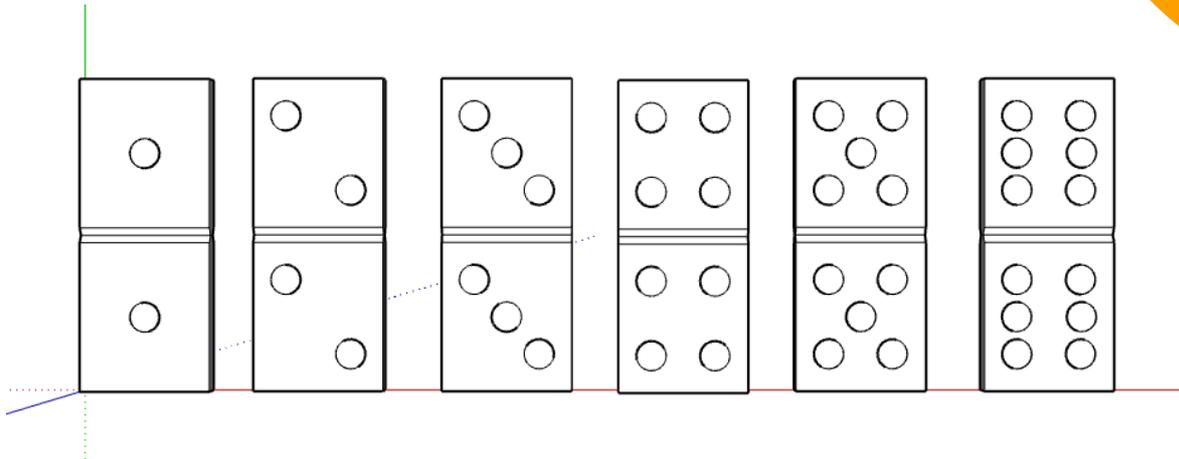


Figure 21. Tous les dominos (fait sur SketchUp)

*** Assurez-vous que vous sélectionnez chaque domino et que vous les groupez avant de les télécharger en fichier .STL.**

Option alternative : Create the shape of the domino based on the dimensions that we specified (i.e., 60 mm x 26 mm x 4 mm) and print it 6 times. Once printed, use a permanent marker to make the circles or use circle stickers.

Les pièces cachées

Cette exposition entraîne les probabilités en demandant aux participants de compter combien de pièces de 1 et 2 se trouvent dans la boîte en la secouant plusieurs fois. Cette exposition comprend deux éléments : la boîte et les pièces. D'abord, nous expliquerons comment modéliser la boîte, et ensuite les pièces.

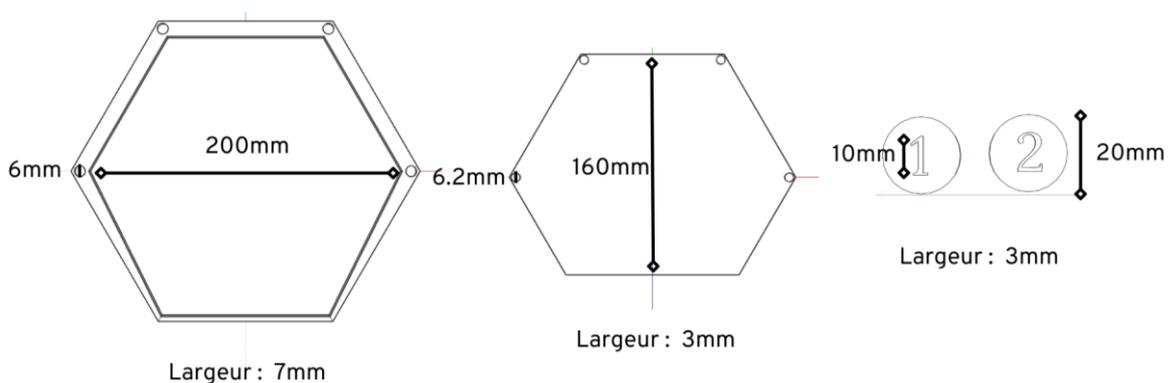


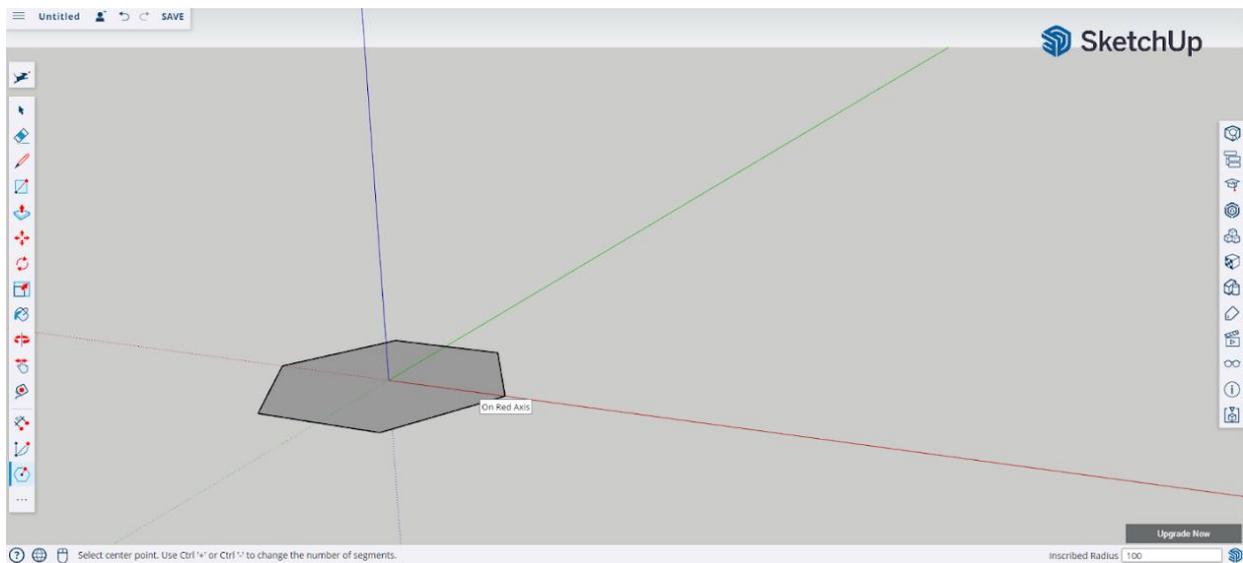
Figure 22. Dimensions des différentes parties de XXXX

La boîte

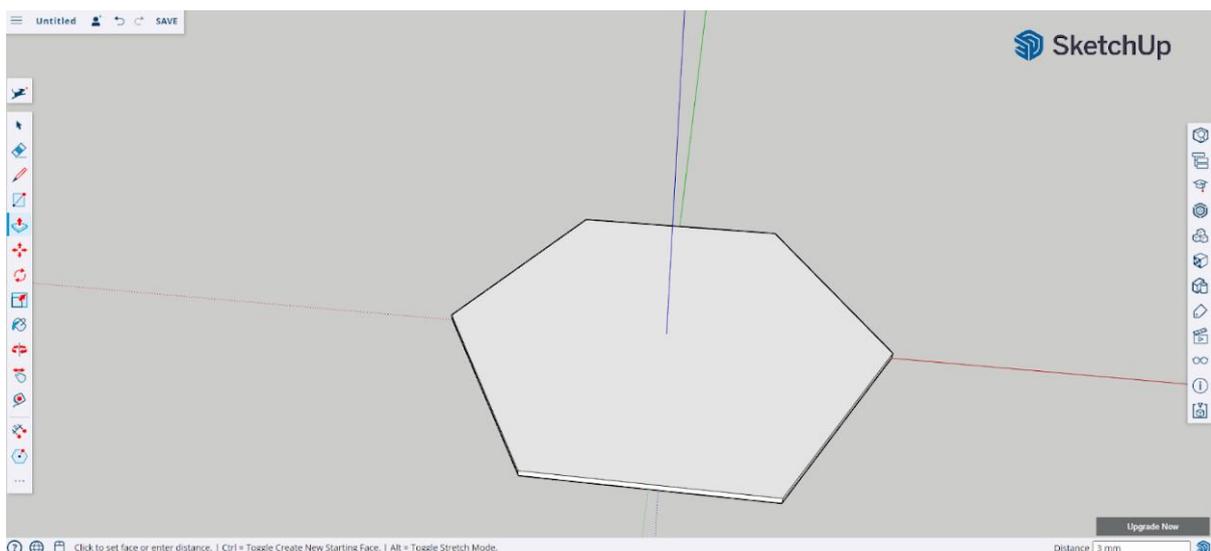
Avant de parcourir les différentes étapes, il est important de mentionner que la boîte sera divisée en deux parties qui peuvent être assemblées une fois imprimées, ce qui permet d'insérer les pièces.

Le dessus de la boîte

Étape 1 : Utilisez l'outil polygone pour dessiner un hexagone avec un rayon inscrit de 100mm. Utilisez les axes pour vous aider à centrer l'hexagone.

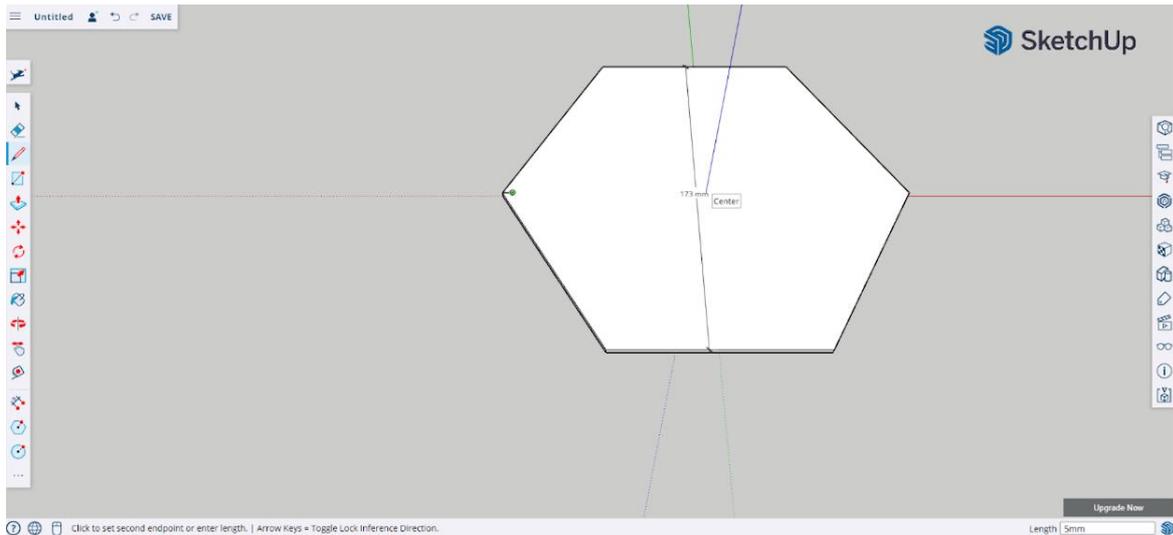


Étape 2 : Utilisez l'outil tirer/pousser pour délimiter la largeur de l'hexagone à 3mm.

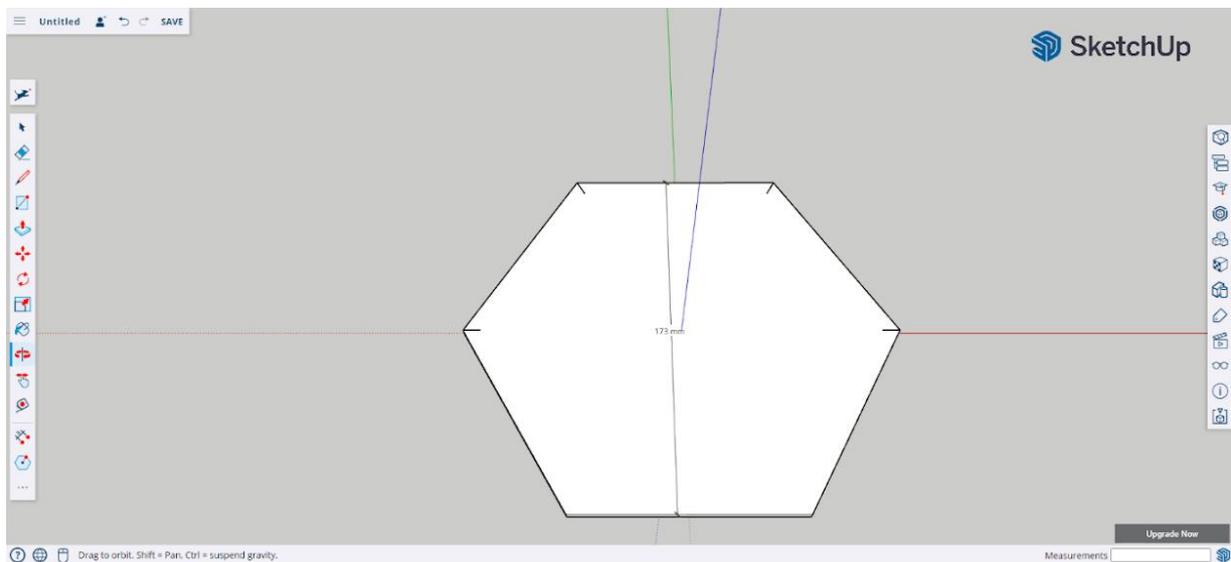


Step 3: Il est temps de créer 4 cercles, qui serviront pour assembler les deux parties plus tard.

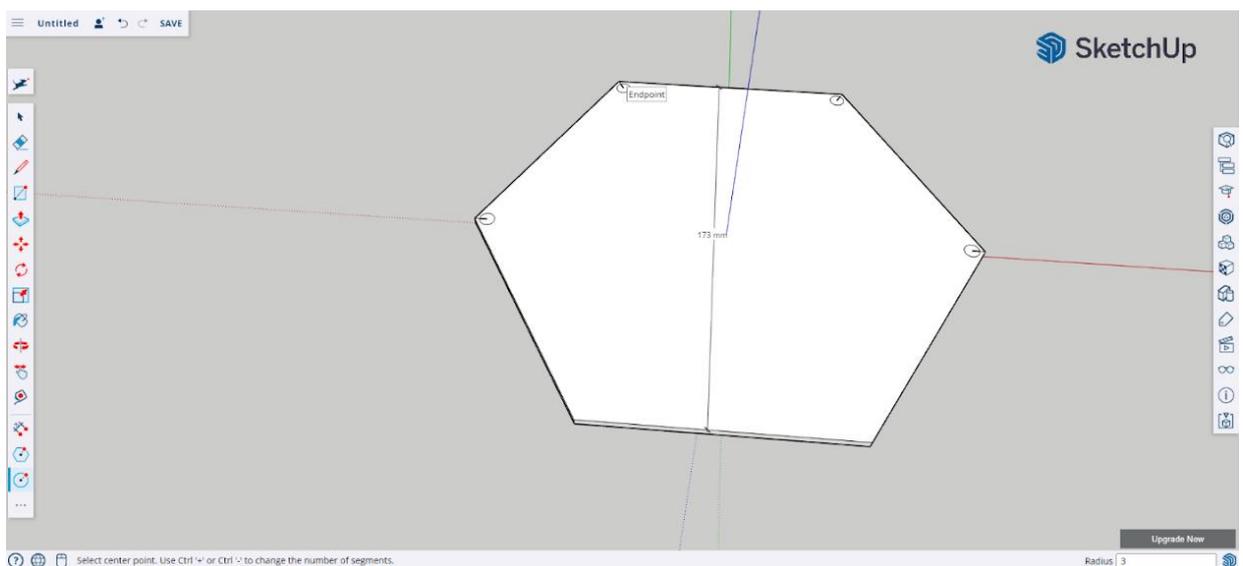
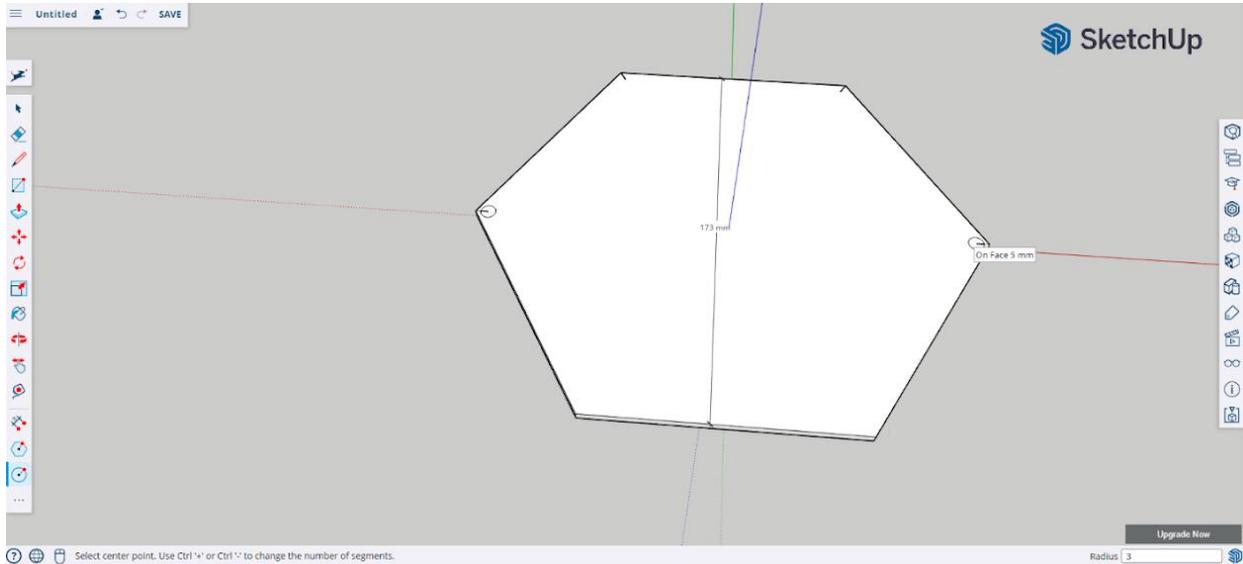
1. Utilisez l'outil de traçage de ligne pour marquer la distance du cercle. Nous supprimerons la ligne après avoir créé les cercles. Placez la distance à 5mm.



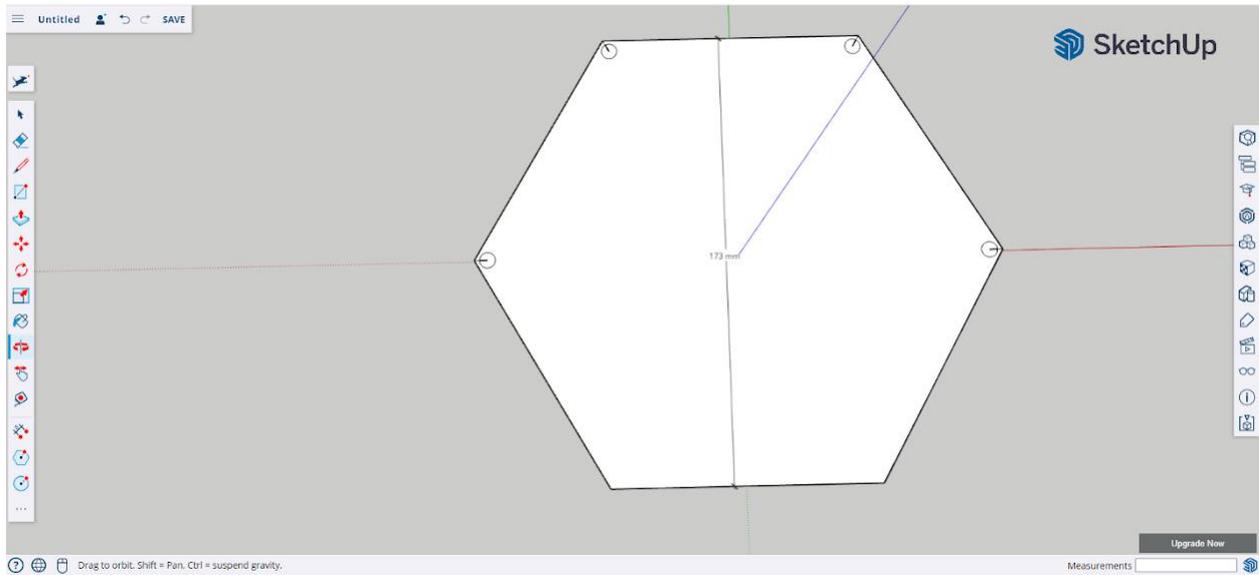
2. Répétez cette étape et formez trois autres angles.



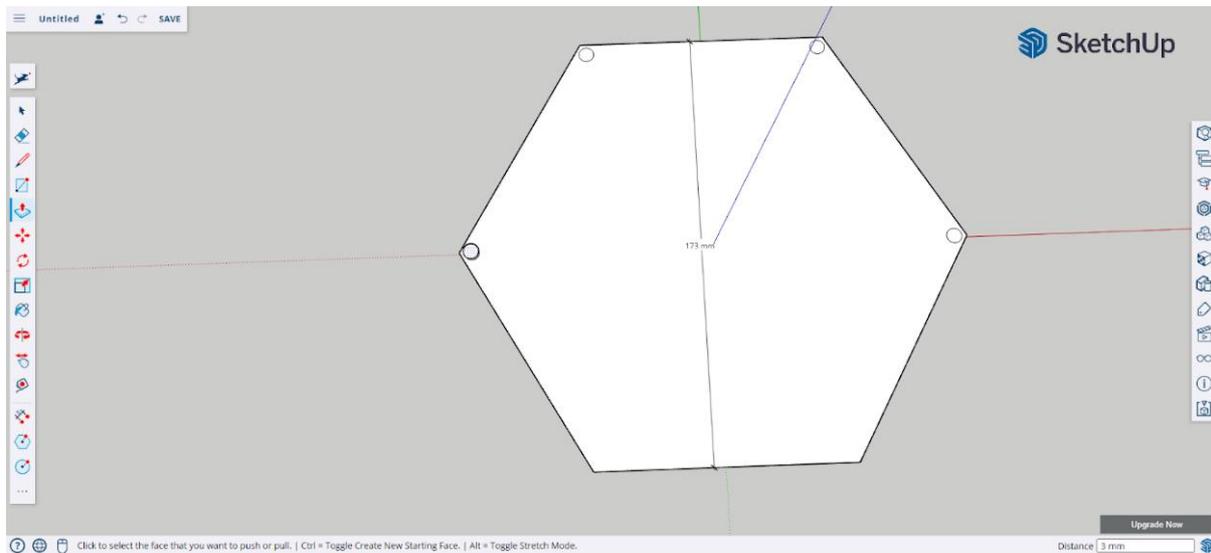
Étape 4 : Utilisez l'outil cercle et placez-le au bout de chaque balise que nous venons de créer. Définissez le rayon du cercle sur 3mm.

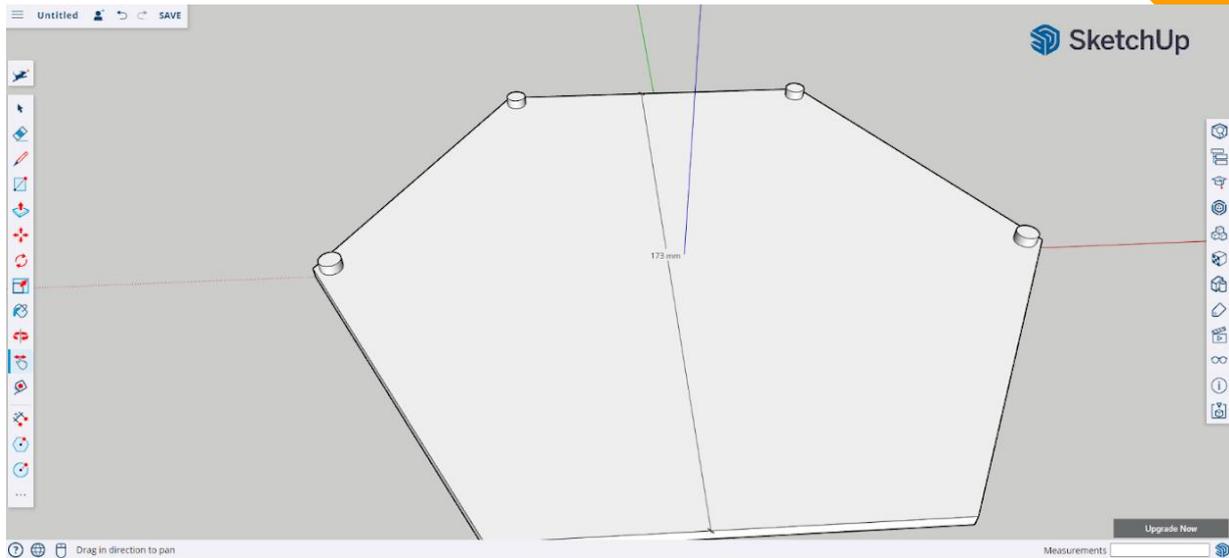


Étape 5 : Sélectionnez les lignes de balisage et supprimez-les.

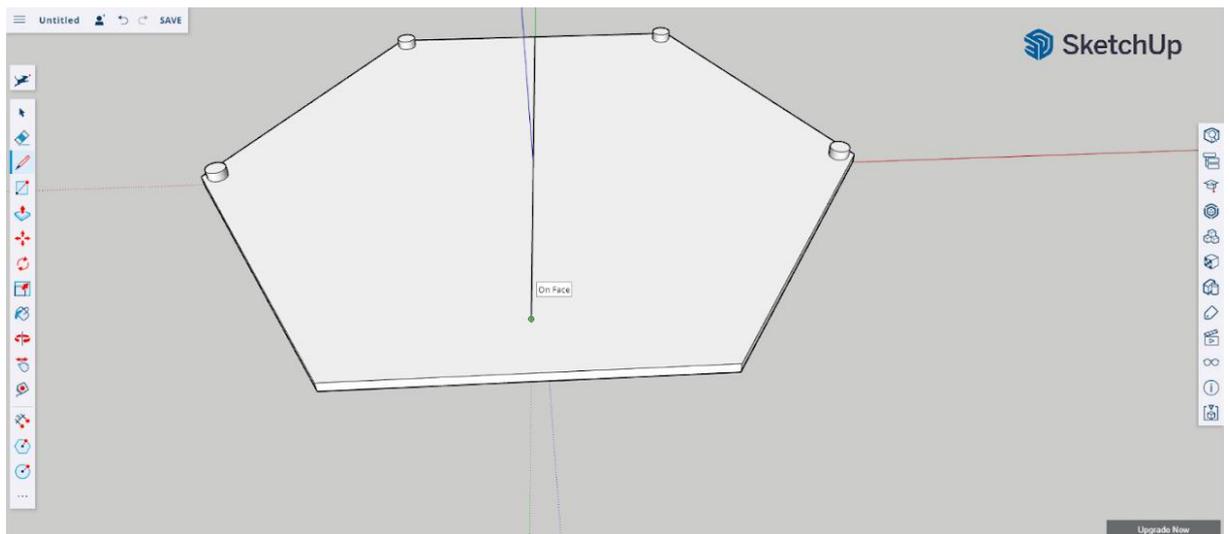


Étape 6 : Utilisez l'outil tirer/pousser et élevez les cercles à 3mm de largeur.

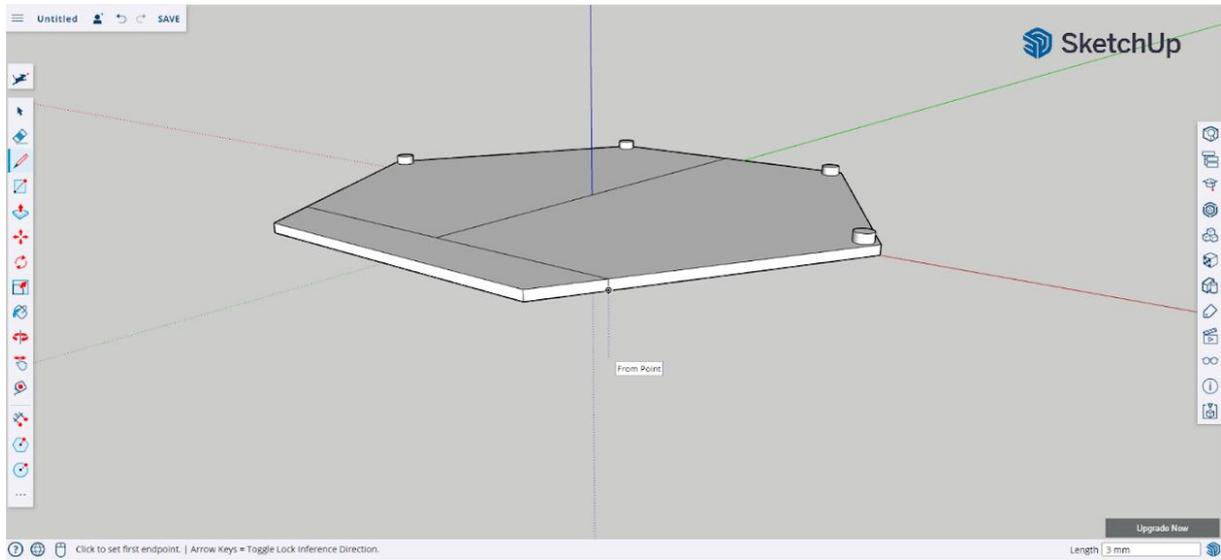




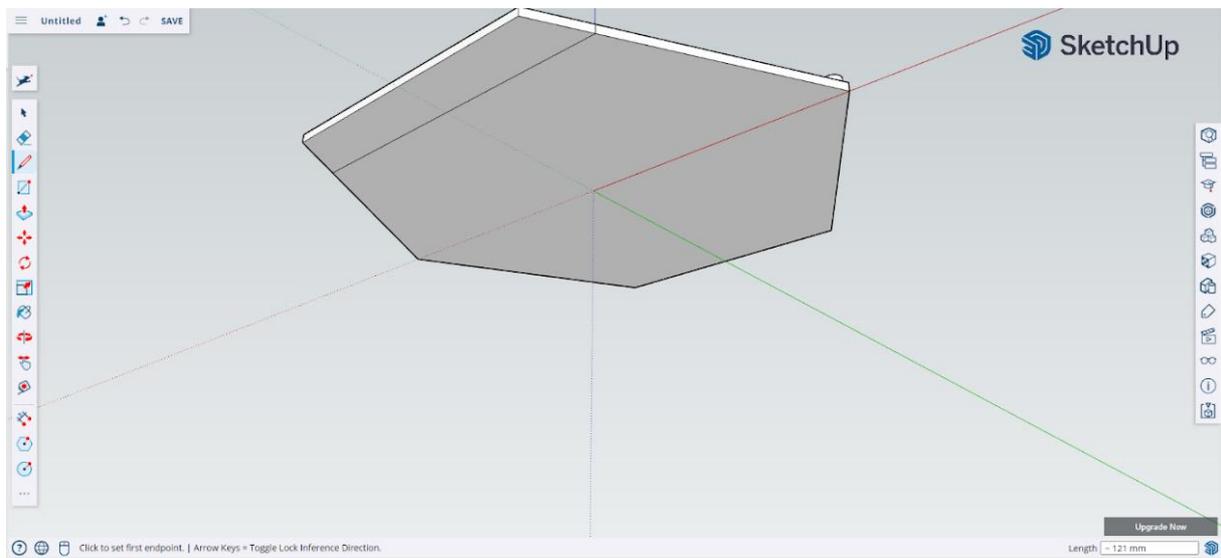
Étape 7 : Une fois que vous avez élevé la largeur des cercles, utilisez l'outil de traçage de ligne pour trouver le centre du dessus de l'hexagone et tracez une ligne de distance 160mm.



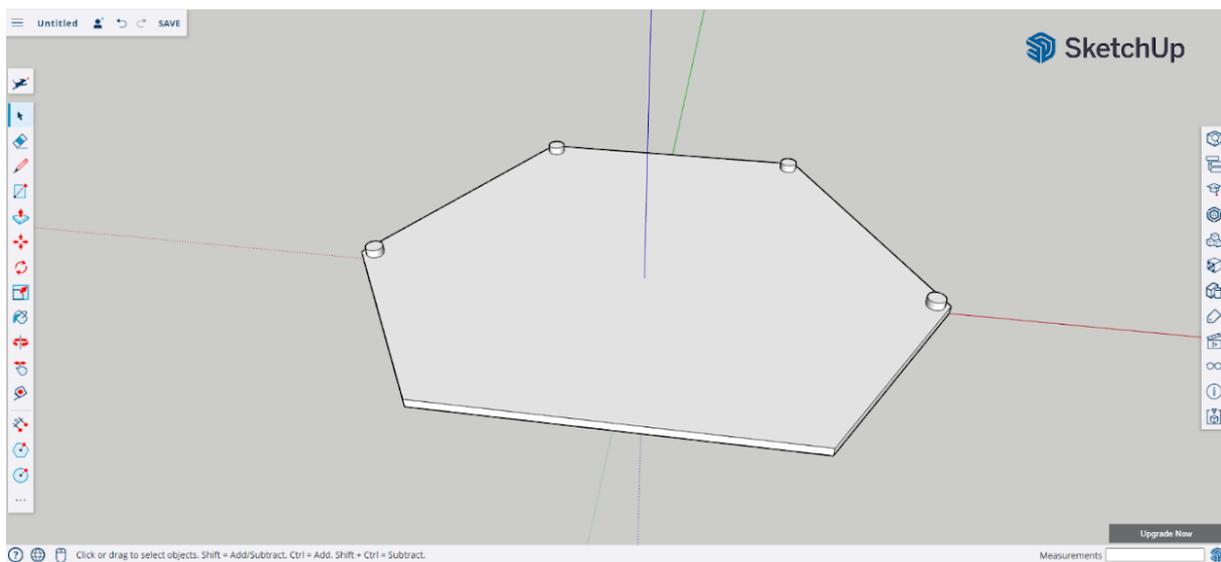
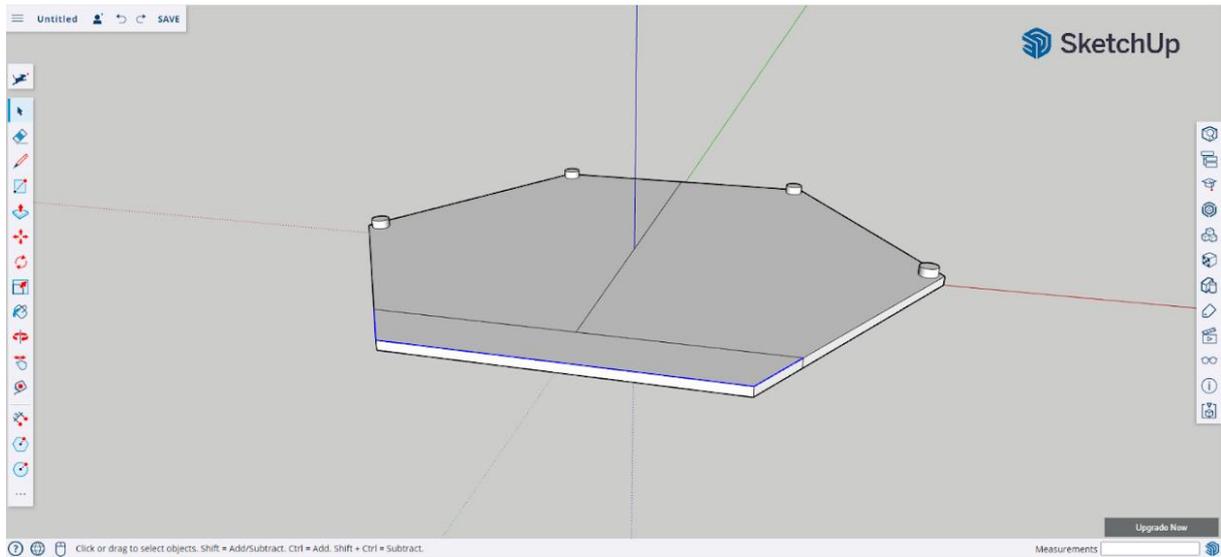
Étape 8 : Une fois que vous l'avez marquée, créez une ligne qui traverse le polygone.



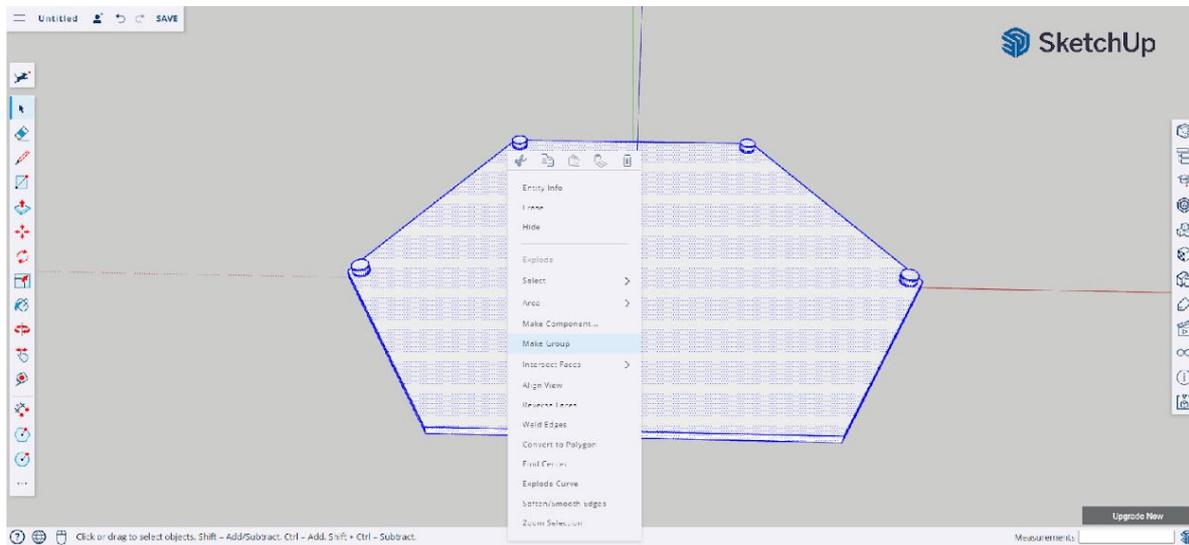
*** N'oubliez pas l'autre face du polygone !**



Étape 9 : Sélectionnez et supprimez chaque ligne de balisage que vous avez créé.



Étape 10 : Cliquez 3 fois sur l'objet pour le sélectionner dans son intégralité et effectuez un clic droit, puis sélectionnez l'option "grouper".



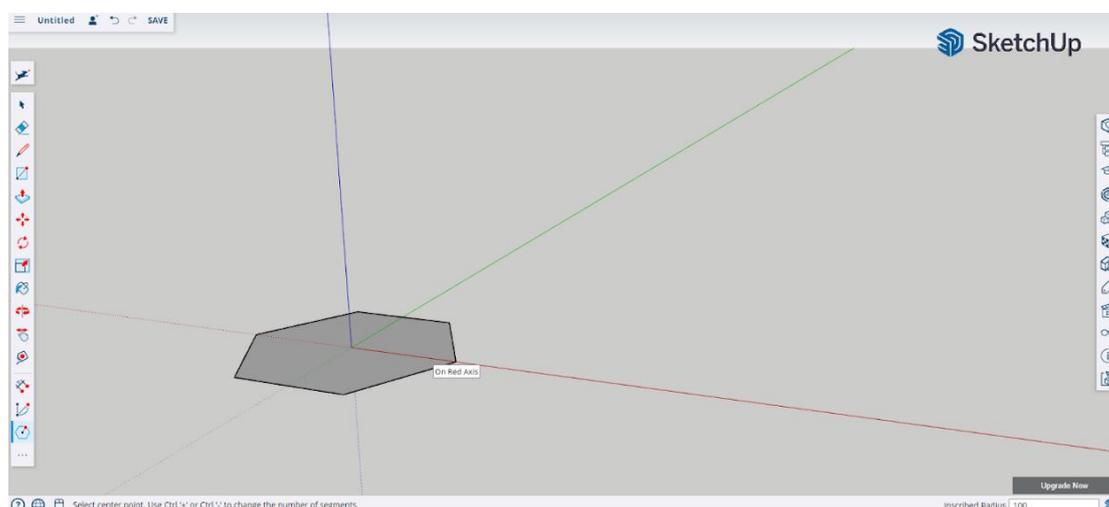
*** N'oubliez pas de sauvegarder votre fichier sur votre appareil ou sur Trimble connect.**

Le dessus de la boîte est désormais prêt. Nous l'avons un peu raccourci pour que les pièces puissent être visibles lorsque l'on secoue la boîte.

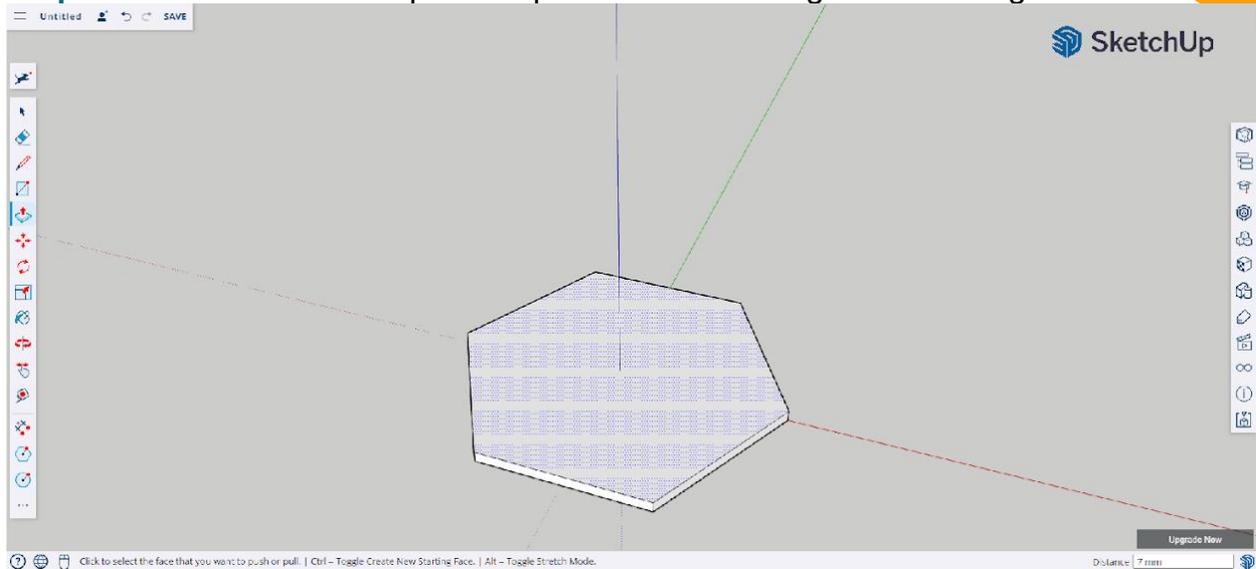
Nous allons à présent ouvrir un nouveau fichier pour créer le dessous de la boîte.

Le dessous de la boîte

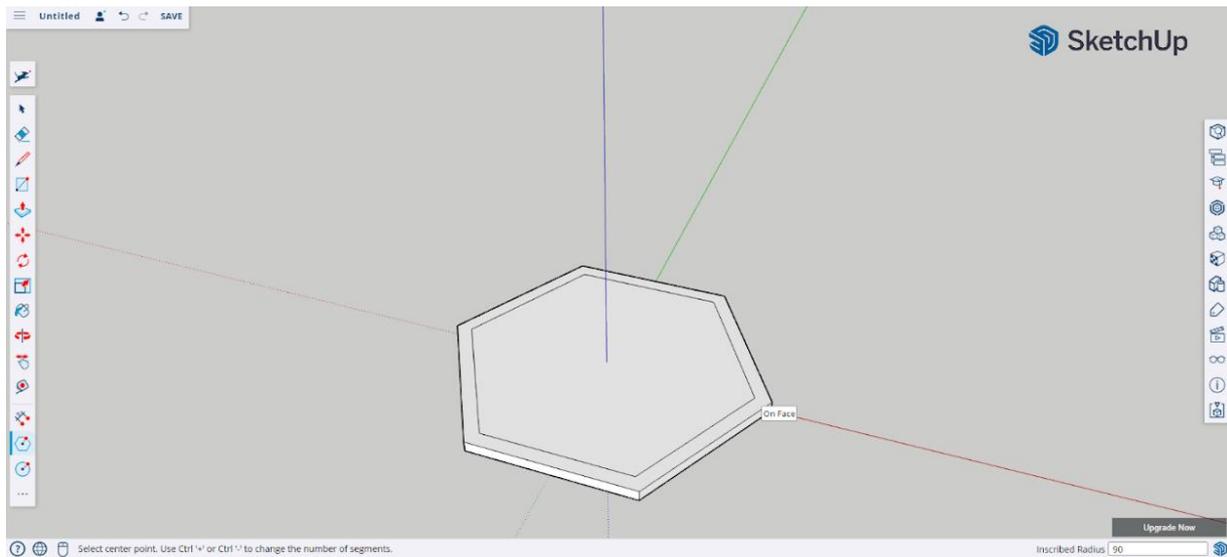
Étape 1 : Utilisez l'outil polygone pour dessiner un hexagone avec un rayon inscrit de 100mm. Utilisez les axes pour vous aider à centrer l'hexagone.



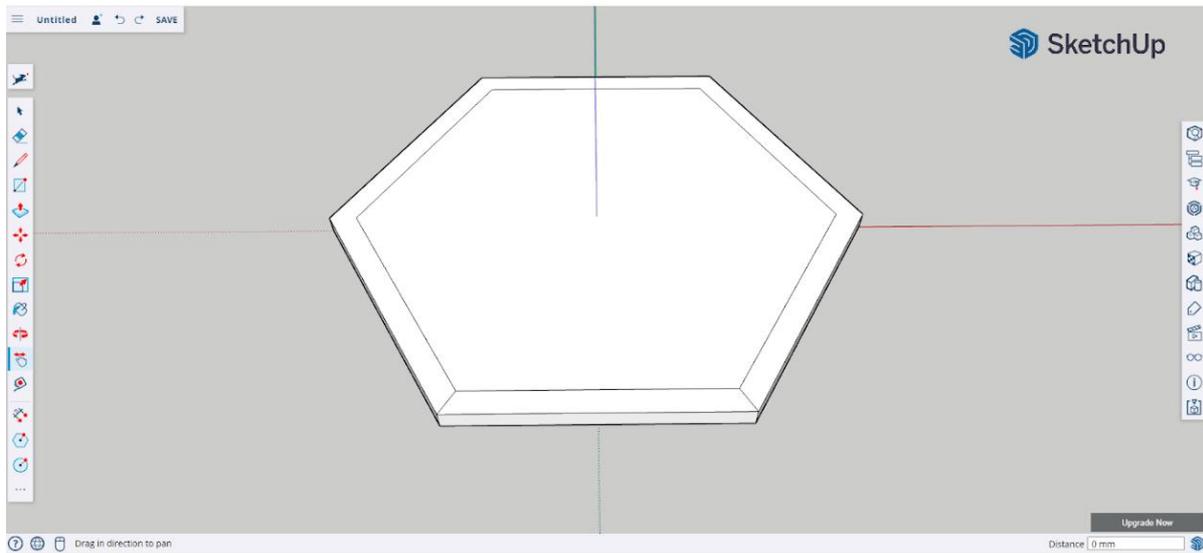
Étape 2 : Utilisez l'outil tirer/pousser pour délimiter la largeur de l'hexagone à 7mm.



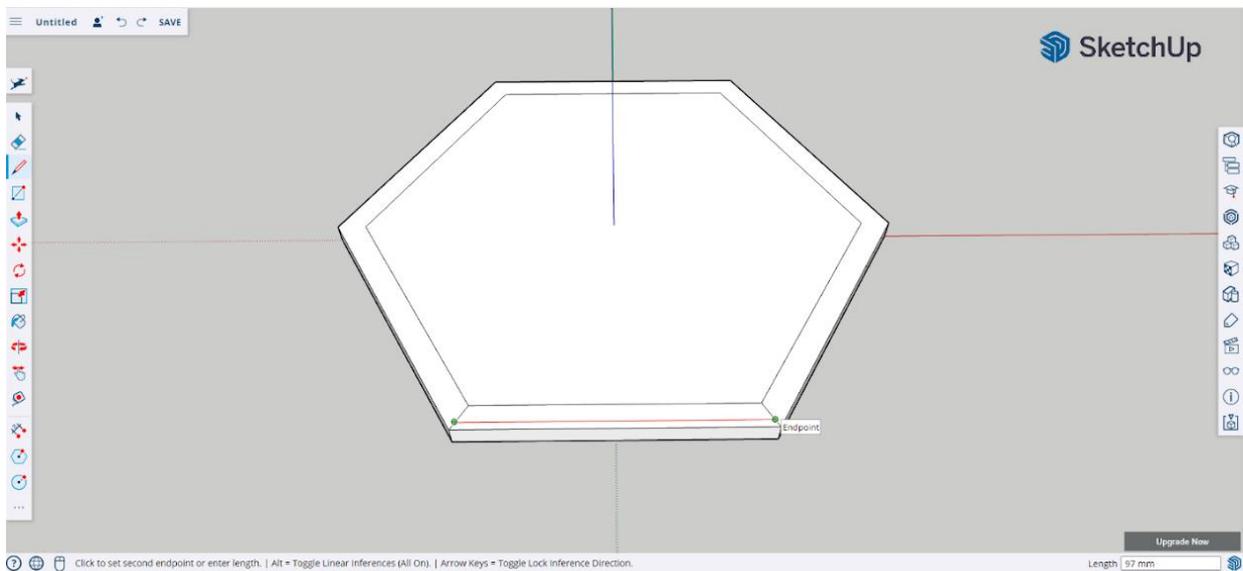
Étape 3 : Utilisez l'outil polygone pour créer un autre polygone à l'intérieur du premier. Délimitez son rayon à 90mm.



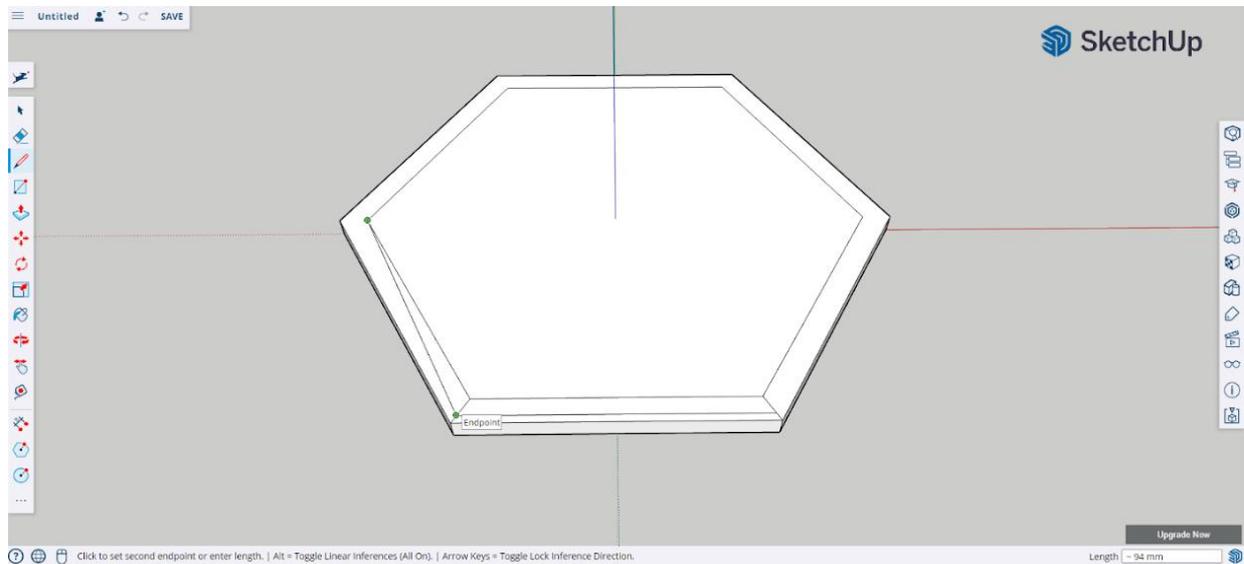
Étape 4 : Utilisez l'outil de traçage de ligne pour créer la forme du dessous du polygone.



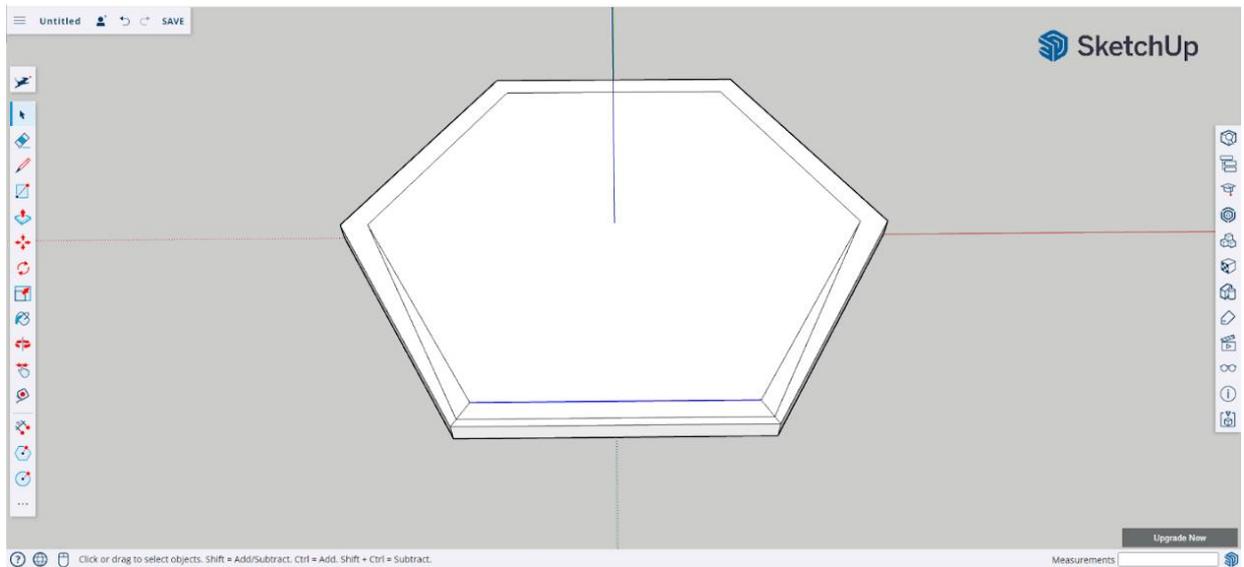
Étape 5 : Mesurez 3mm sur chaque côté avec l'outil traçage de ligne et dessinez une ligne droite.

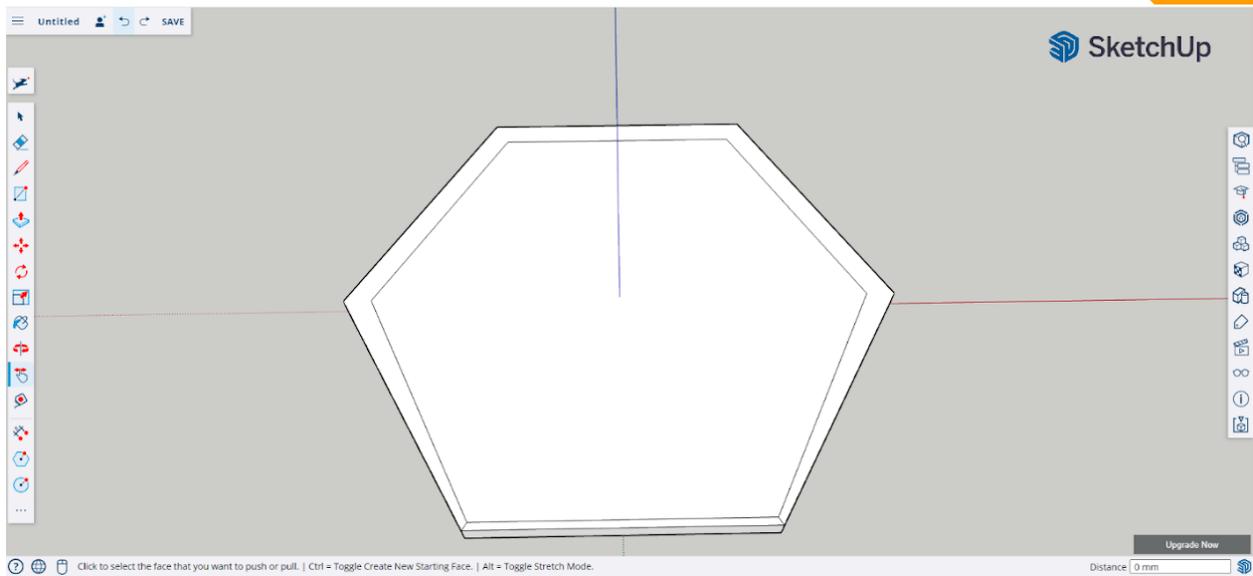


Étape 6 : Dessinez des lignes diagonales sur les côtés comme indiqué sur l'image ci-dessous.

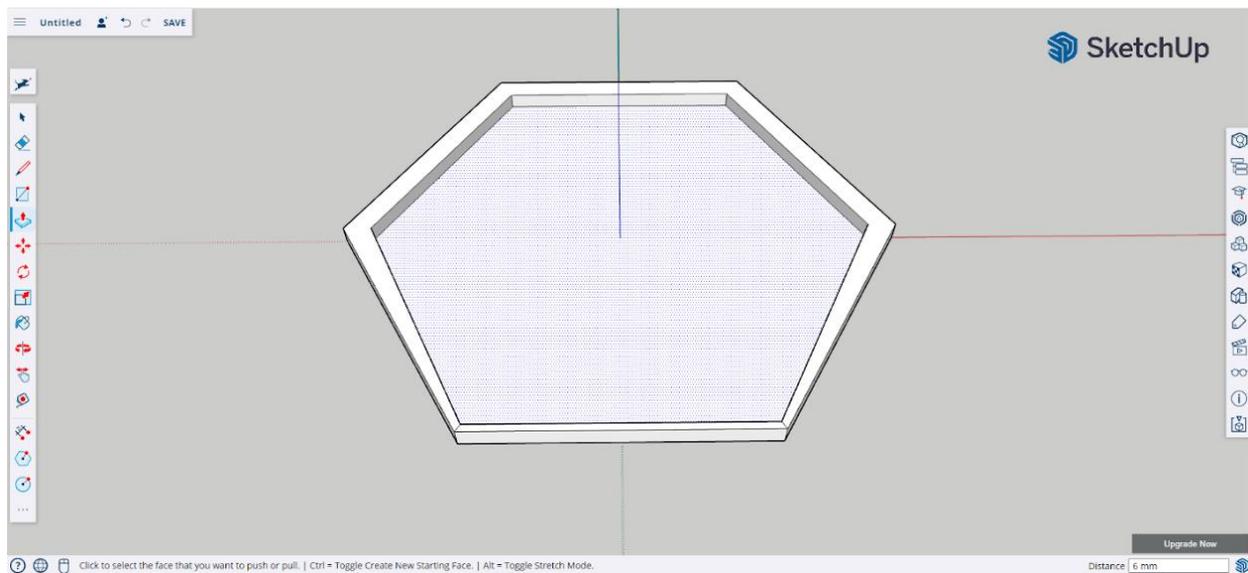


Étape 7 : Sélectionnez et effacez les lignes en trop pour définir une pente sur les côtés du polygone.

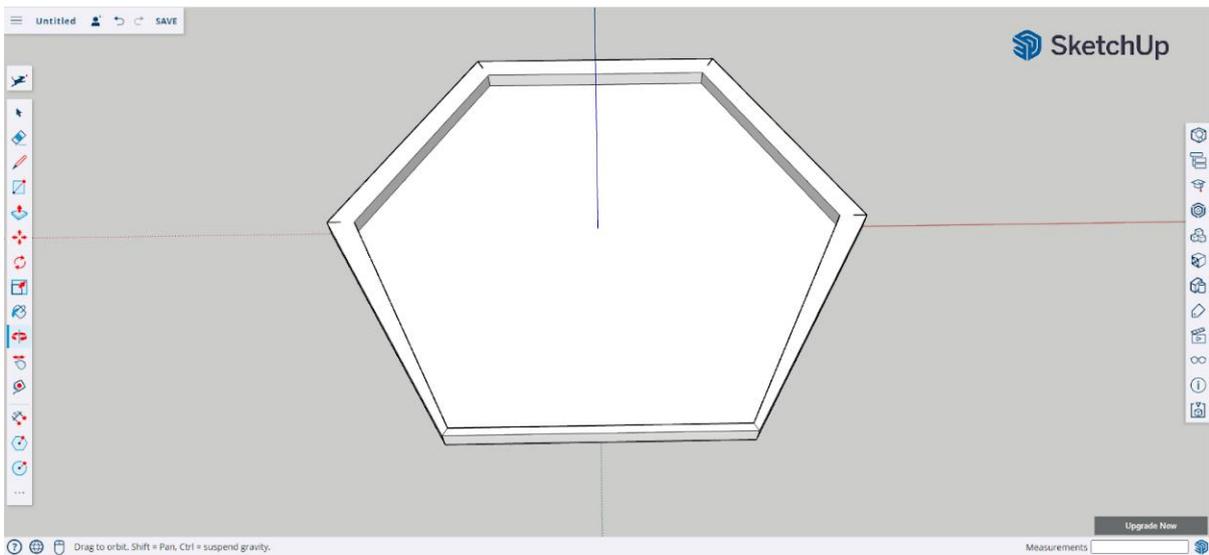
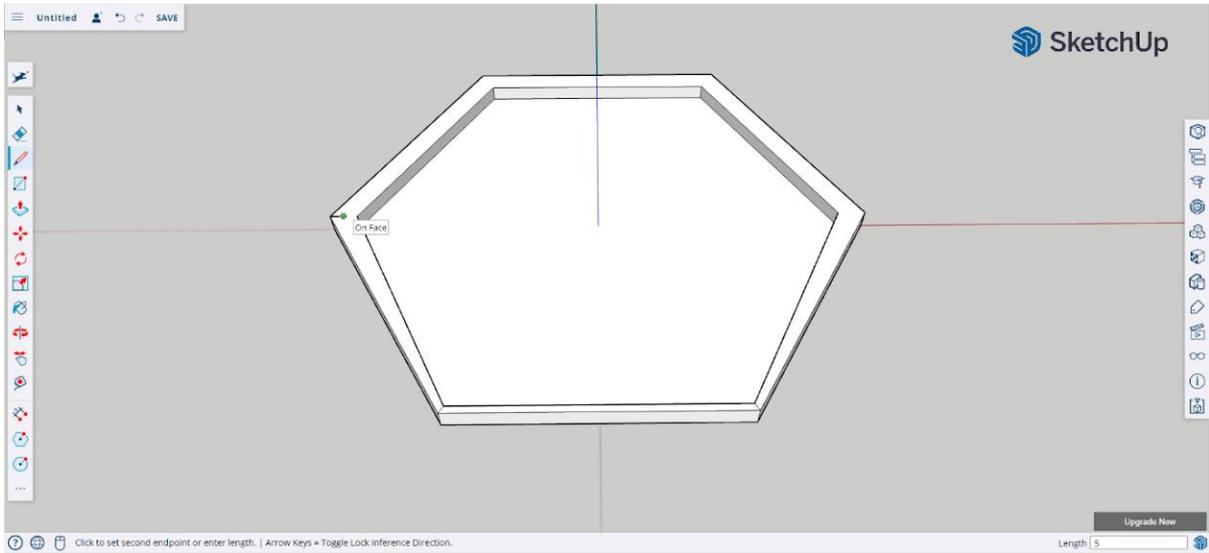




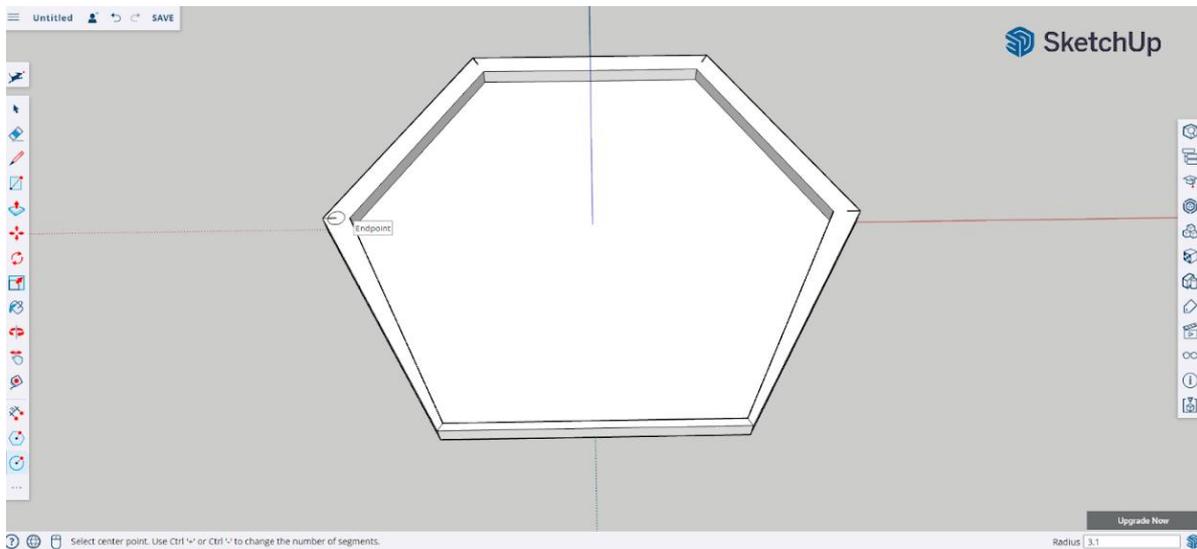
Étape 8 : Utilisez l'outil tirer/pousser pour abaisser l'intérieur du polygone à 6mm.



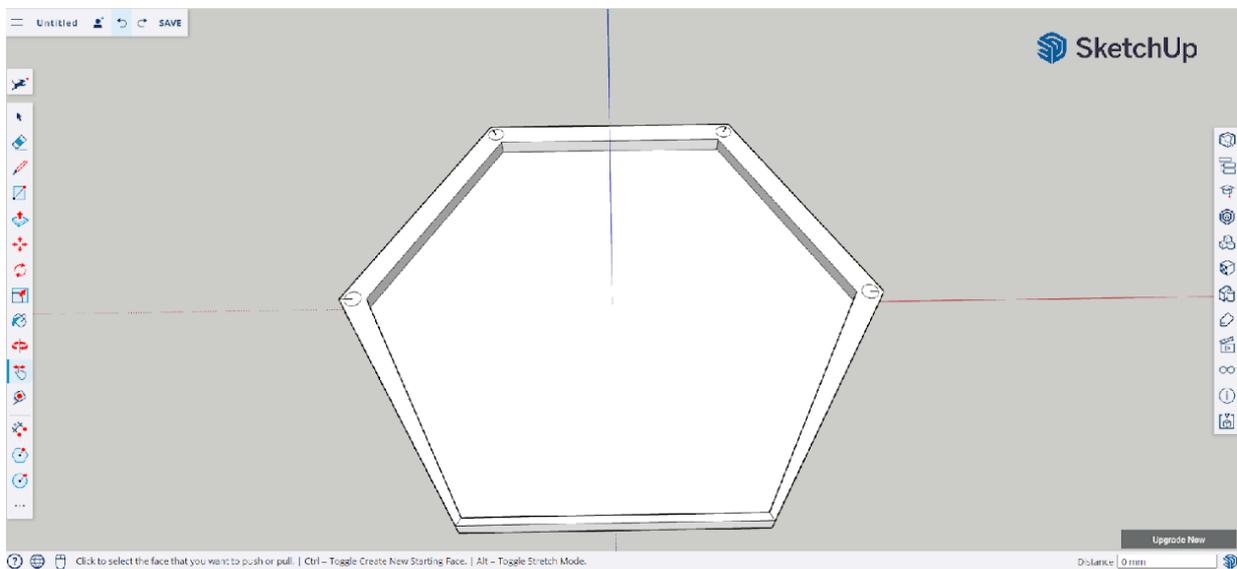
Étape 9 : Utilisez l'outil traçage de ligne pour créer des lignes de balisage pour l'assemblage, d'une longueur de 5mm.



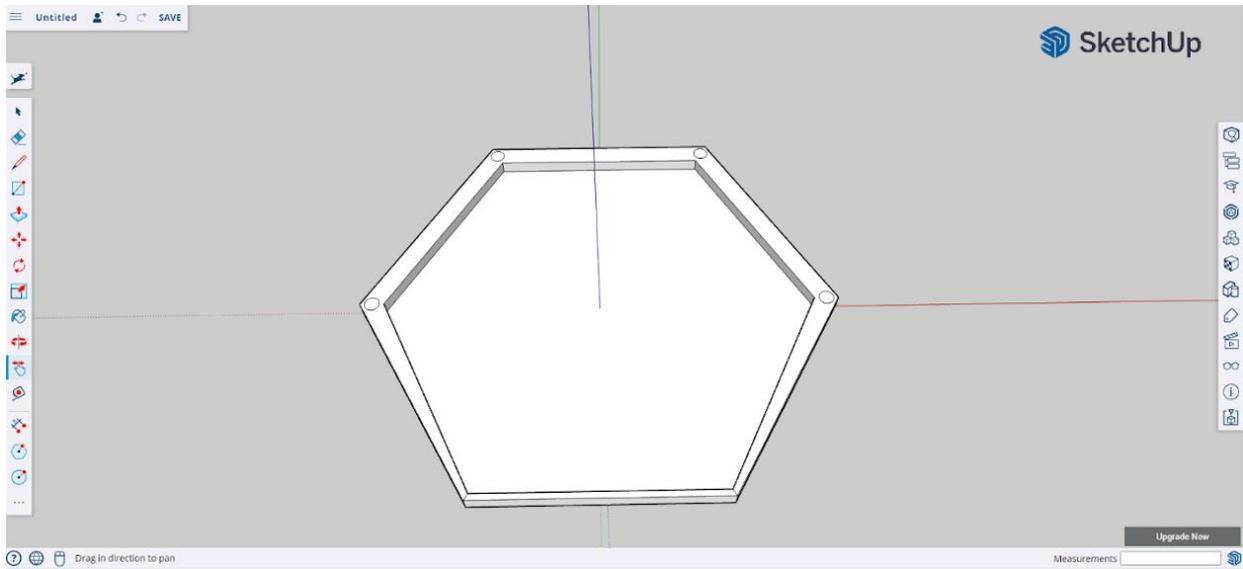
Étape 10 : Utilisez l'outil cercle pour créer des cercles pour l'assemblage, qui correspondent à ceux du dessus de la boîte. Définissez le rayon sur 3.1mm.



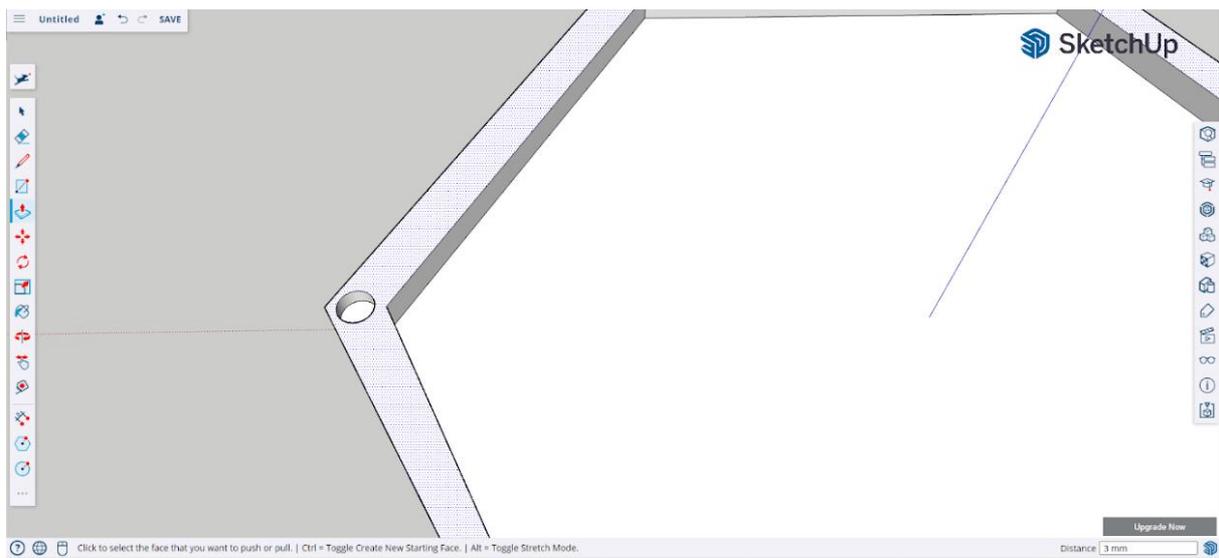
*** Les parties pour l'assemblage doivent avoir une différence de 0.2mm à 0.4mm pour pouvoir s'imbriquer.**

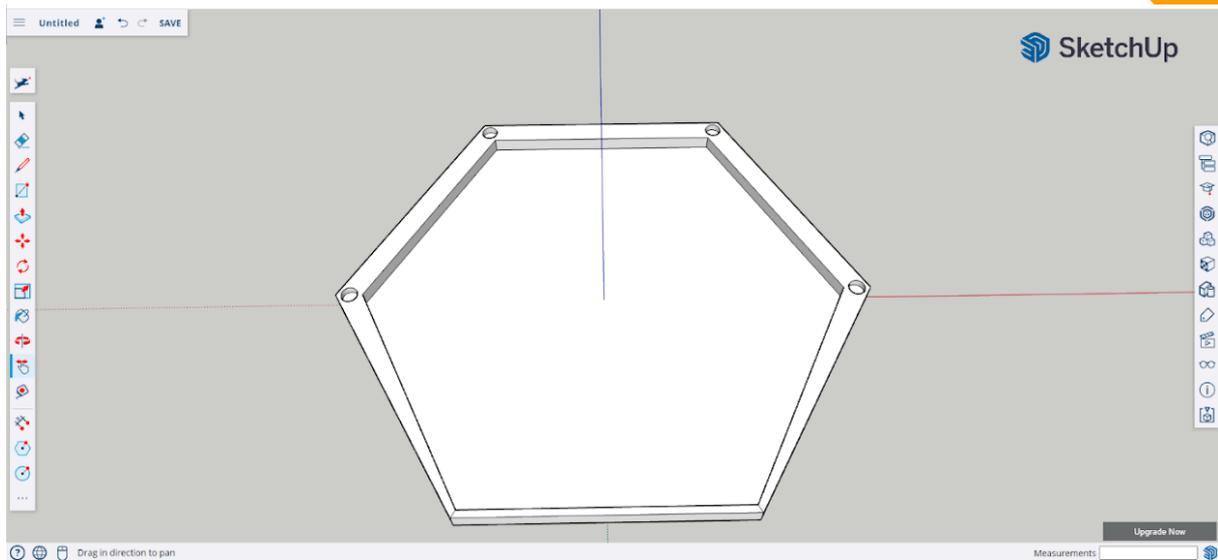


Étape 11 : Sélectionnez et supprimez les lignes de balisage à l'intérieur et autour des cercles.

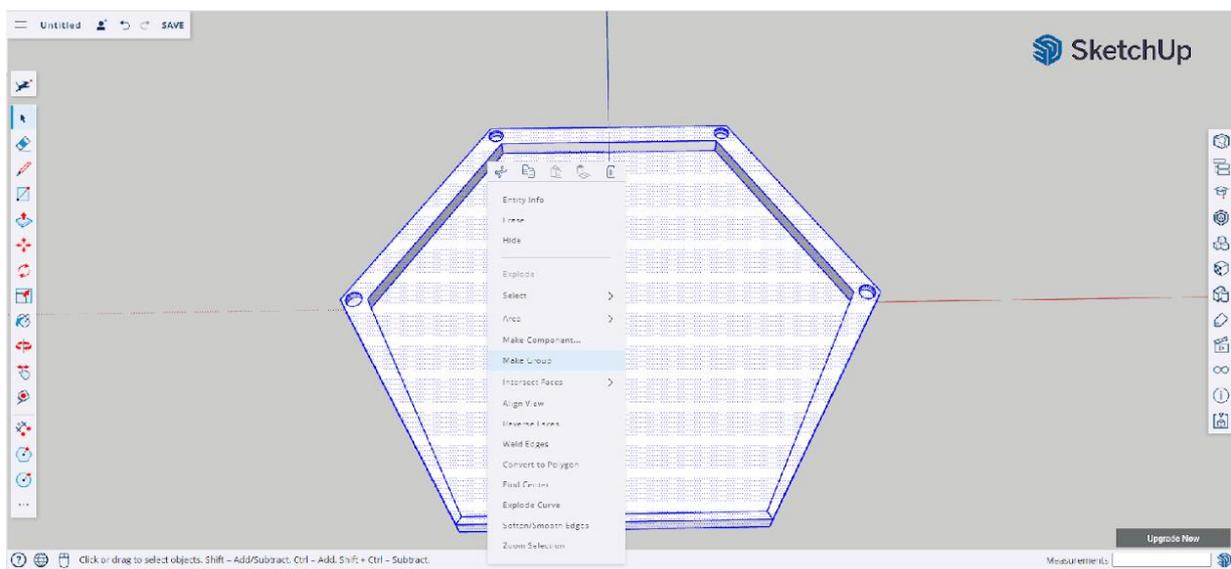


Étape 12 : Utilisez l'outil tirer/pousser pour enfoncer les cercles de 3mm.





Étape 13 : Sélectionnez l’objet entier en cliquant 3 fois et en sélectionnant l’option “grouper”.

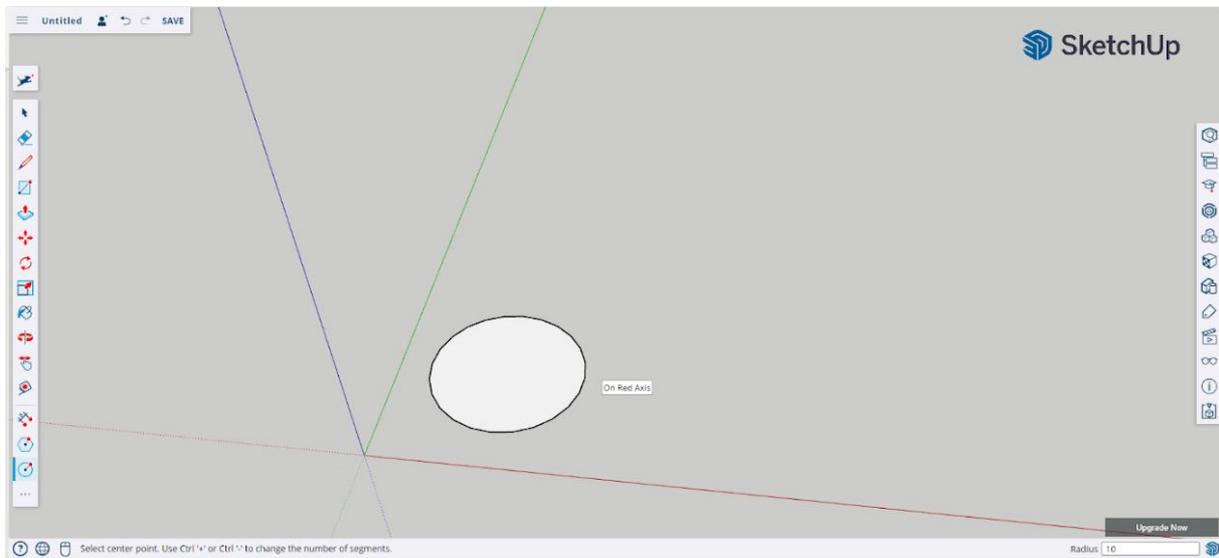


Vous pouvez maintenant sauvegarder le fichier sur votre appareil ou sur Trimble connect. Les deux parties de la boîte sont prêtes. Ouvrons un nouveau fichier pour créer les pièces.

Les pièces

Nous avons besoin de créer deux pièces différentes, qui représentent des versions simplifiées de pièces de 1 euro et 2 euros.

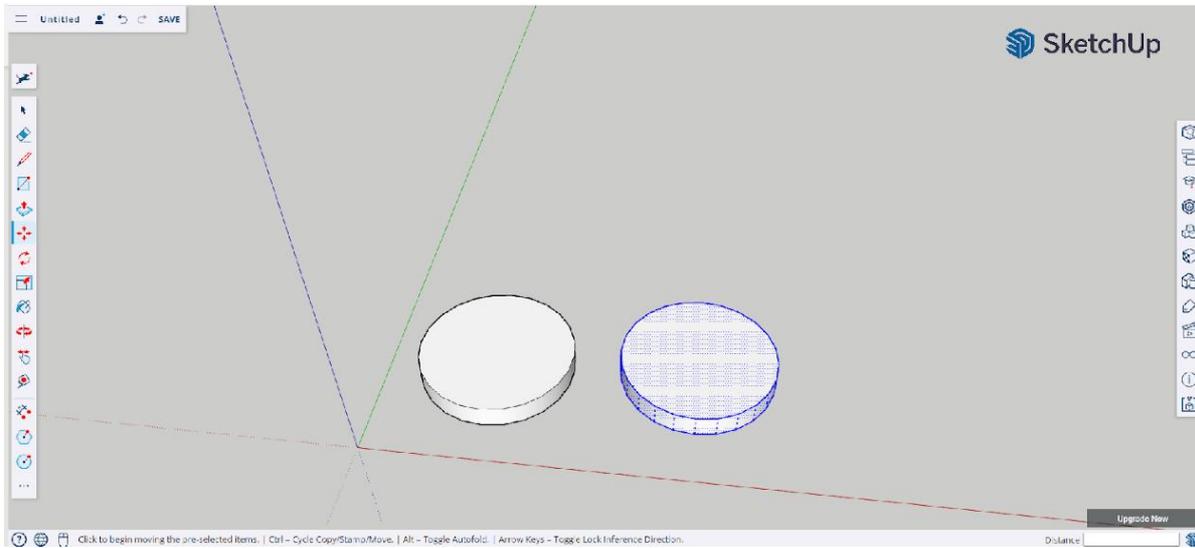
Étape 1 : Ouvrez un nouveau fichier et utilisez l'outil cercle pour créer la pièce, avec un rayon de 10mm.



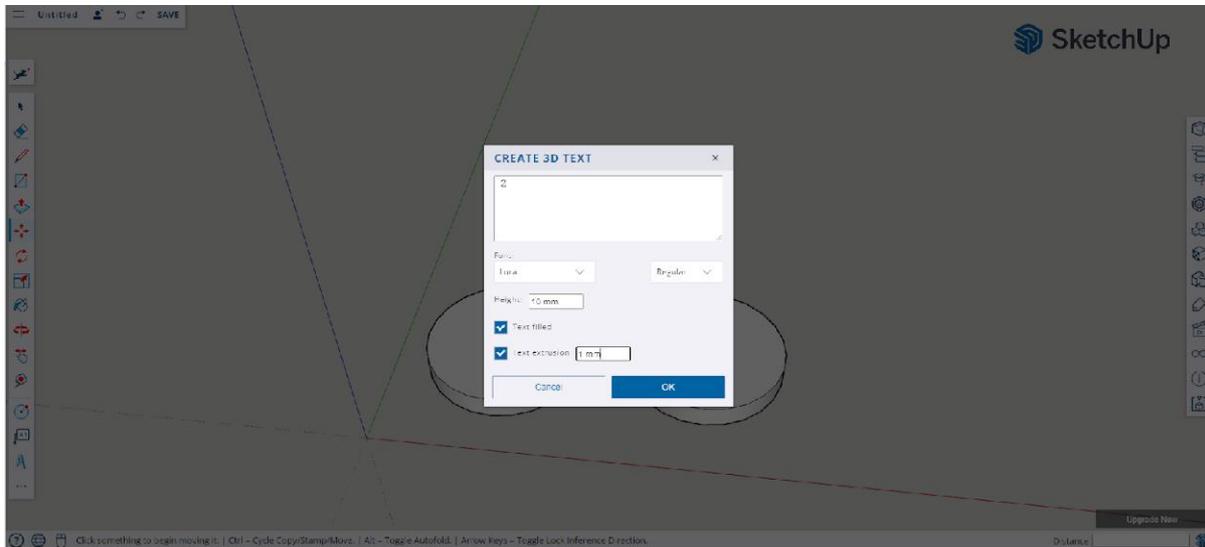
Étape 2 : Utilisez l'outil tirer/pousser et donnez une largeur de 3mm à la pièce.



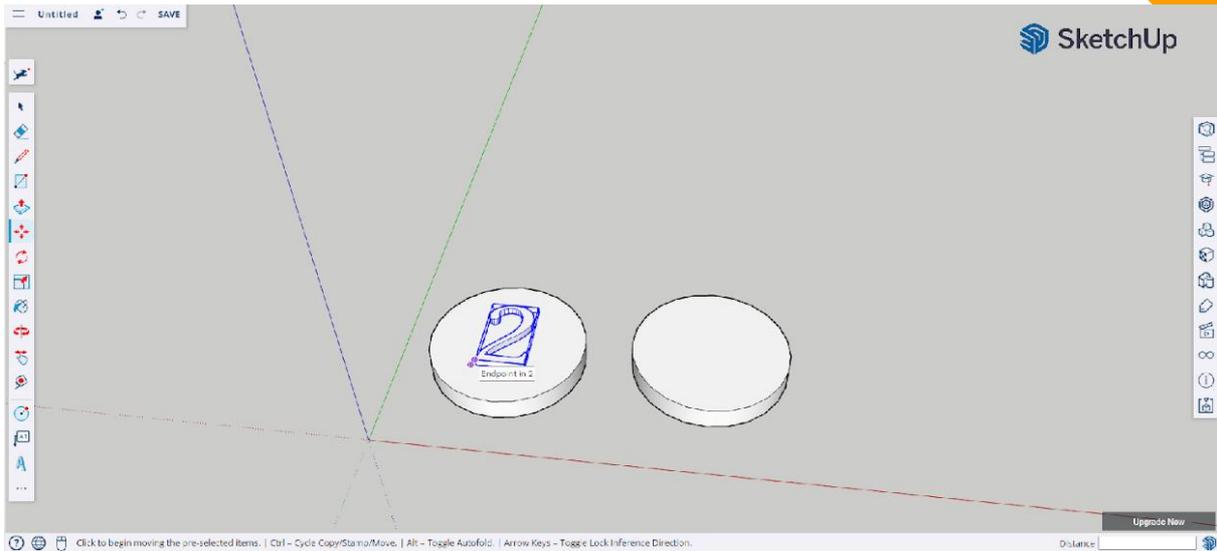
Étape 3 : Sélectionnez la pièce en cliquant 3 fois dessus, copiez-la (Ctrl+C) et collez (Ctrl+V) la nouvelle pièce juste à côté.



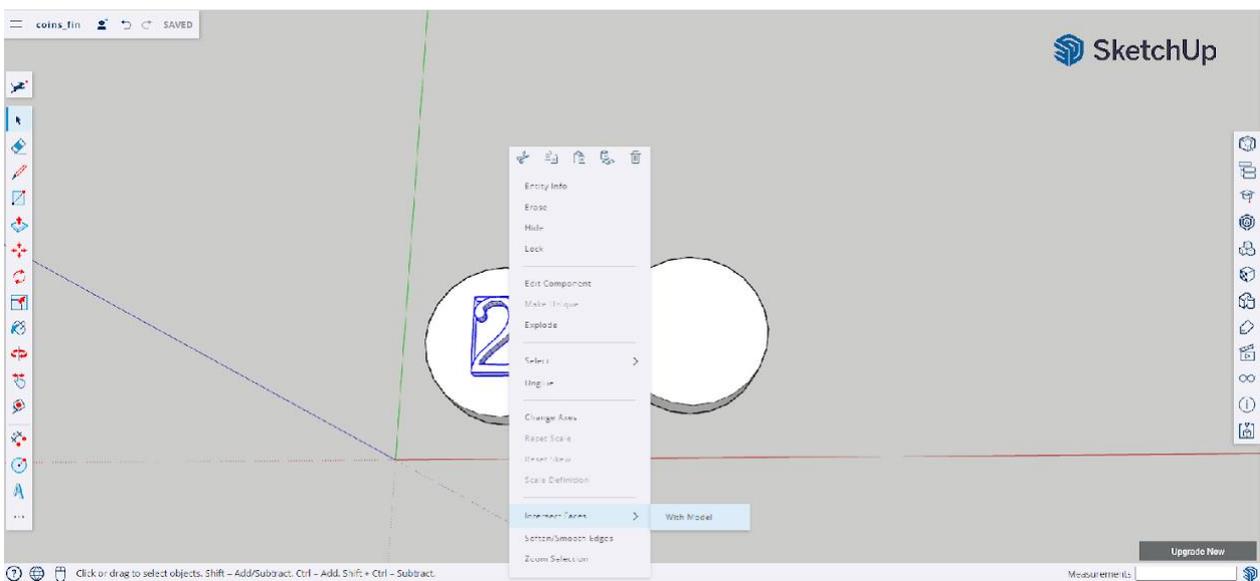
Étape 4 : Sélectionnez l’outil texte 3D et écrivez “2” dans la case texte. Utilisez la police de votre choix et définissez le style de police sur “Regular”. Définissez la hauteur sur 10mm et l’extrusion du texte à 1mm, puis cliquez sur “OK”.



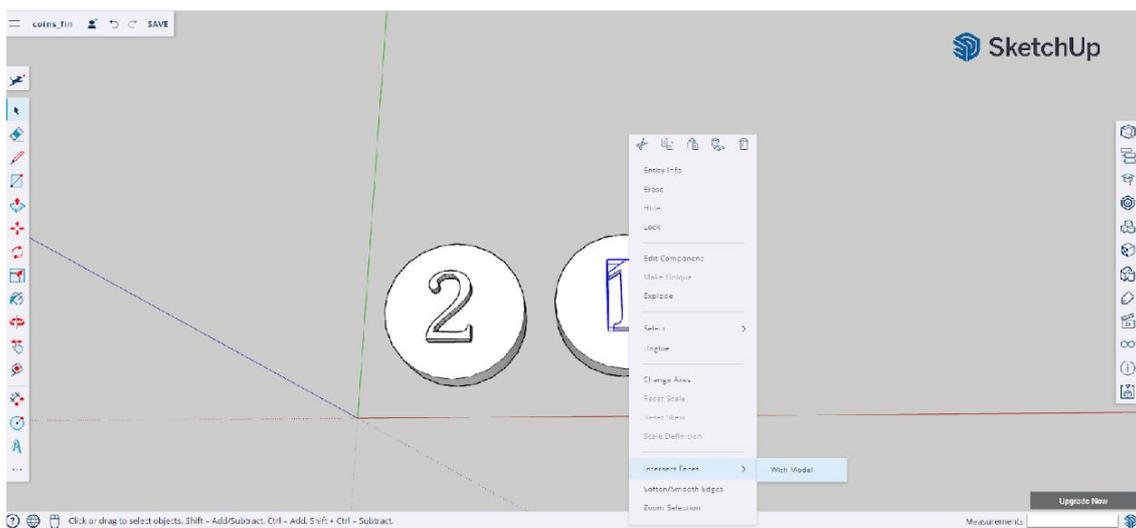
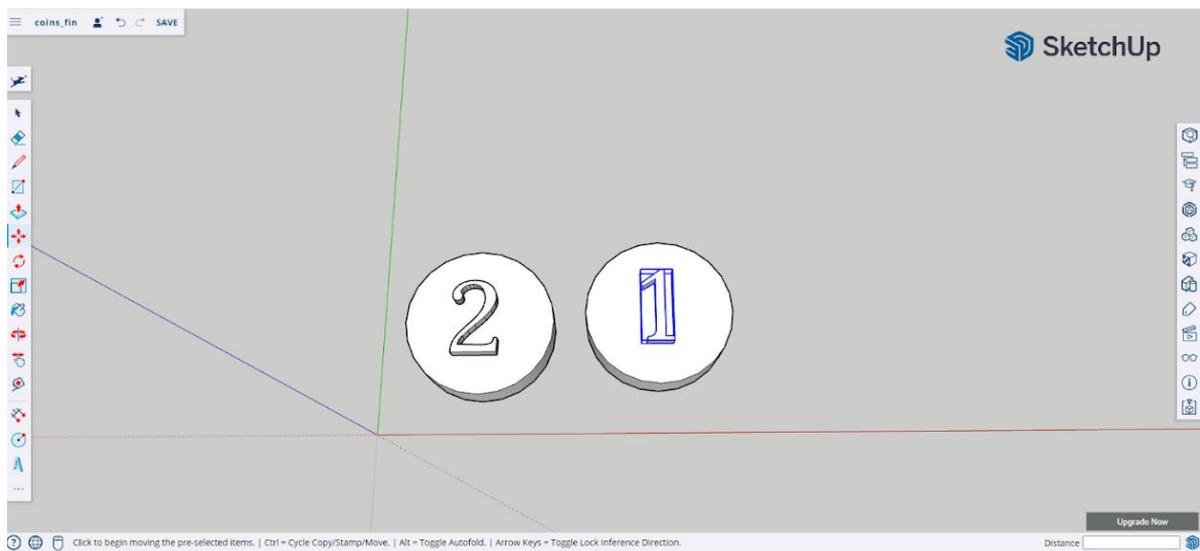
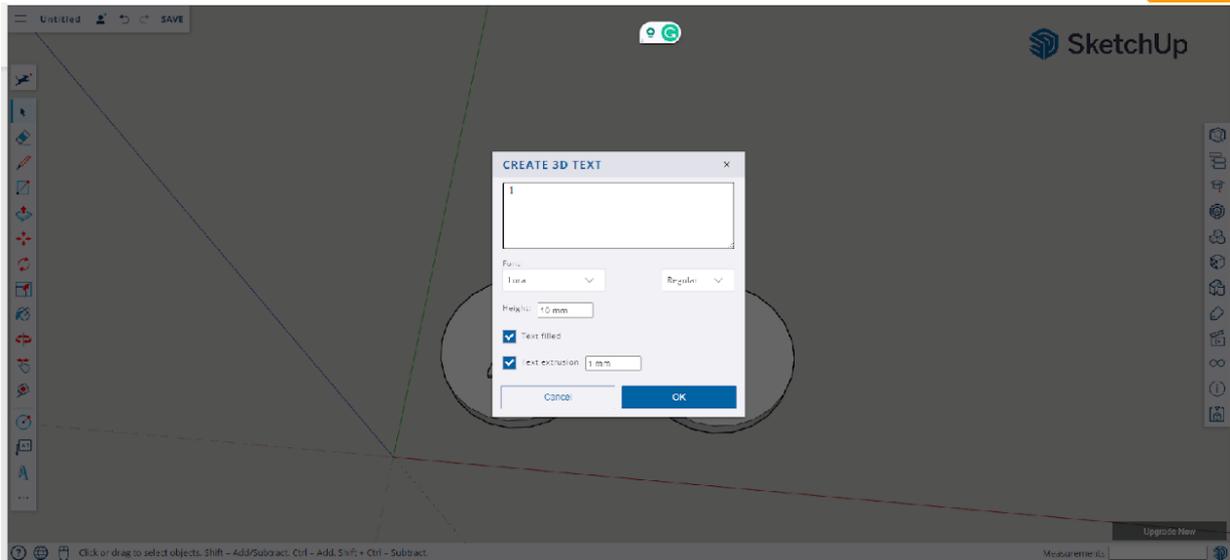
Vous pouvez ensuite placer le texte sur la pièce.



Étape 5 : Sélectionnez le nombre, faites un clic droit et sélectionnez “Intersect face with model”.



Étape 6 : Répétez les étapes pour l’autre pièce.



Et voilà ! Vous avez terminé !

* N'oubliez pas de sauvegarder votre fichier et de le télécharger au format .STL.

Résumé

Jusqu'à présent, nous avons expérimenté sur SketchUp en créant trois objets mathématiques du projet Numeric[All]. Ces objets et d'autres seront disponibles dans le kit de création DIY avec des étapes détaillées sur la façon de les construire en utilisant la modélisation et l'impression 3D. Grâce à ces projets, nous avons pu pratiquer l'utilisation des outils suivants dans SketchUp :



4. Logiciel de tranchage : Cura

Jusqu'à présent, nous avons appris à créer des modèles 3D à partir de zéro dans SketchUp. Dans ce chapitre, nous verrons comment préparer le modèle 3D que vous avez créé pour l'impression 3D. Pour passer de la modélisation 3D à l'impression 3D, vous devez utiliser un logiciel de tranchage pour l'impression 3D.

4.1. Qu'est-ce qu'un logiciel de tranchage 3D ?

Un logiciel de découpage 3D prend simplement le modèle 3D et le traduit dans un langage que l'imprimante 3D peut comprendre et imprimer. Comme le montre la figure 22, il prend l'image visuelle du modèle, la découpe en fines couches pour que l'imprimante comprenne comment imprimer chaque couche, puis il est prêt à être imprimé.

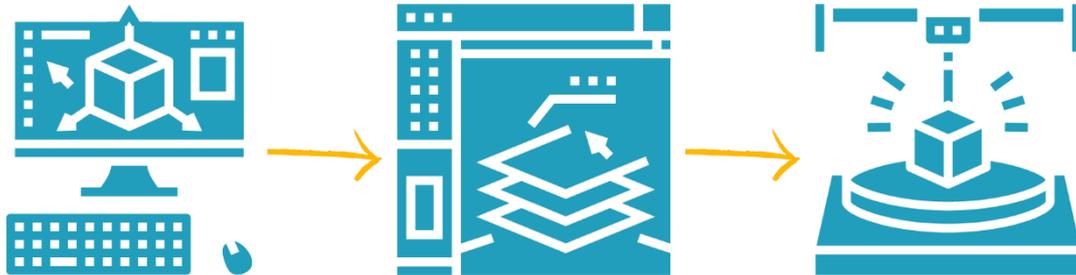


Figure 23. Le processus d'impression 3D

Un logiciel de découpe est essentiellement l'intermédiaire entre la modélisation 3D et l'impression 3D. Le logiciel de découpage prépare le modèle pour que l'imprimante 3D sache comment imprimer l'objet en vous permettant d'ajuster ses paramètres afin d'imprimer le modèle en fonction de vos besoins et de votre imprimante. Le logiciel de découpe 3D traduit le fichier au format STL (modèle 3D) en G-code afin que l'imprimante puisse comprendre ce qu'elle doit faire.

C'est là que Cura entre en jeu. Cura a été développé par Ultimaker et est l'un des logiciels les plus populaires utilisés pour rendre l'impression 3D facile et efficace. Les paramètres d'impression sont optimisés pour les imprimantes 3D Ultimaker, mais le

logiciel peut également découper des modèles 3D pour n'importe quelle autre imprimante 3D. Cura est un logiciel de bureau libre et gratuit qui peut être téléchargé sur le [site web d'Ultimaker](https://ultimaker.com/fr/3d-printing-software/cura) et qui est disponible pour les utilisateurs de Windows, Mac et Linux.

Une fois téléchargé, vous n'avez plus qu'à suivre les instructions pour installer le logiciel, et vous serez prêt à l'utiliser.

4.2. Comment utiliser Cura ?

Cura peut lire une variété de formats de fichiers, depuis les formats de fichiers 3D (.STL, .OBJ, .3MF, .X3D) aux images importées en 2D (.BMP, .GIF, .JPG et .PNG) qui peuvent être converties en modèles 3D.

Voyons maintenant comment utiliser Cura. L'image ci-dessous présente les principales fonctionnalités de son interface.

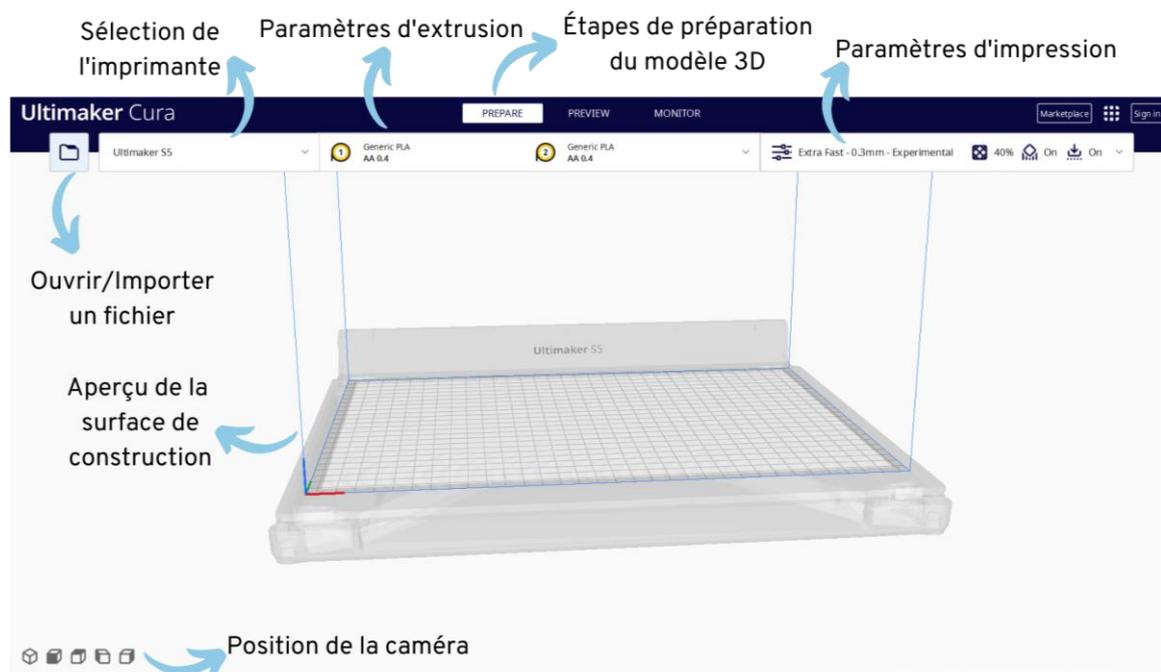


Figure 24. L'interface de Cura

Commençons par importer un fichier au format .STL, celui du cube 2x2x2 que nous avons créé dans le chapitre précédent.

Étape 1 : Placez-vous sur l'icône de dossier et cliquez dessus pour importer le fichier .STL.

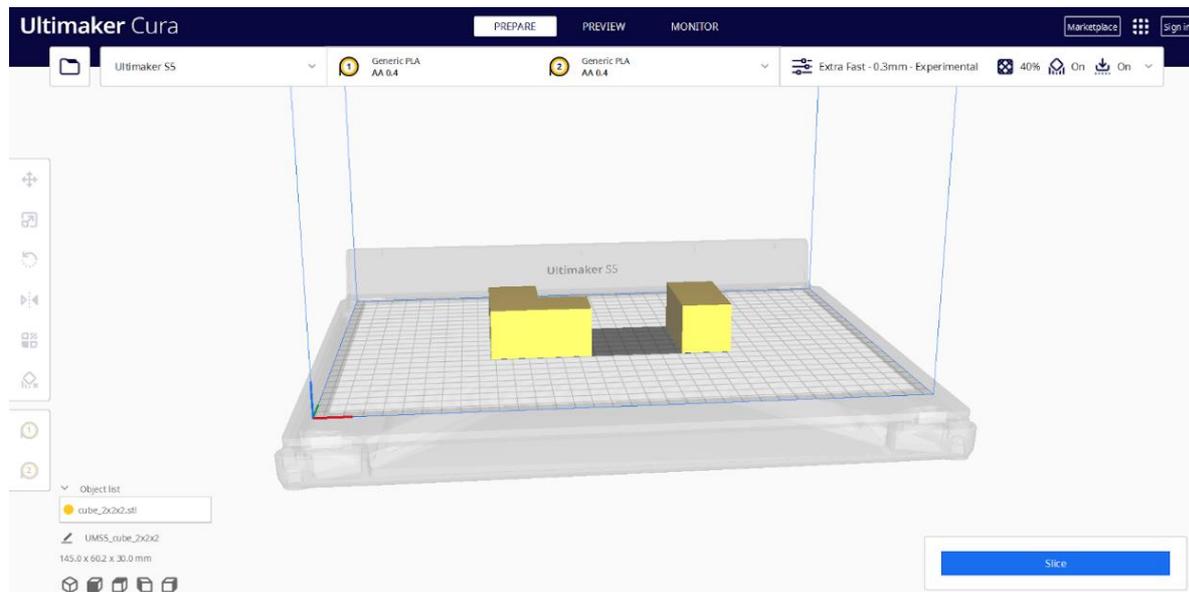


Figure 25. Importer un fichier dans Cura

Étape 2 : Une fois que vous avez importé votre modèle 3D, vous verrez apparaître une série d'outils. Ces derniers vous permettront d'effectuer des changements à la manière dont votre objet sera imprimé. Si vous ne souhaitez effectuer aucun changement, passez cette étape.

Outil de mouvement : Vous pouvez changer la position de votre modèle sur la surface de construction en le déplaçant soit avec votre souris, soit en entrant des coordonnées précises sur les axes x, y et z.

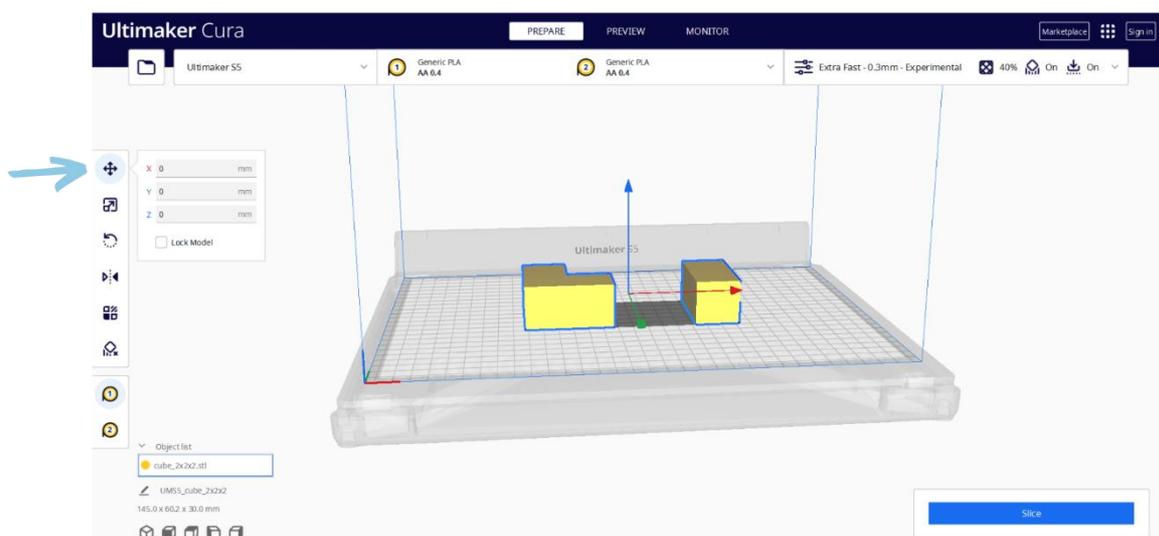


Figure 26. Outil de mouvement dans Cura (Raccourci clavier : T)

Outil de mise à l'échelle : Vous pouvez réduire ou augmenter la taille de votre modèle en 1) faisant glisser les axes qui présents sur la surface de construction, 2) introduisant des pourcentages précis pour chaque axe ou 3) ajustant les nombres.

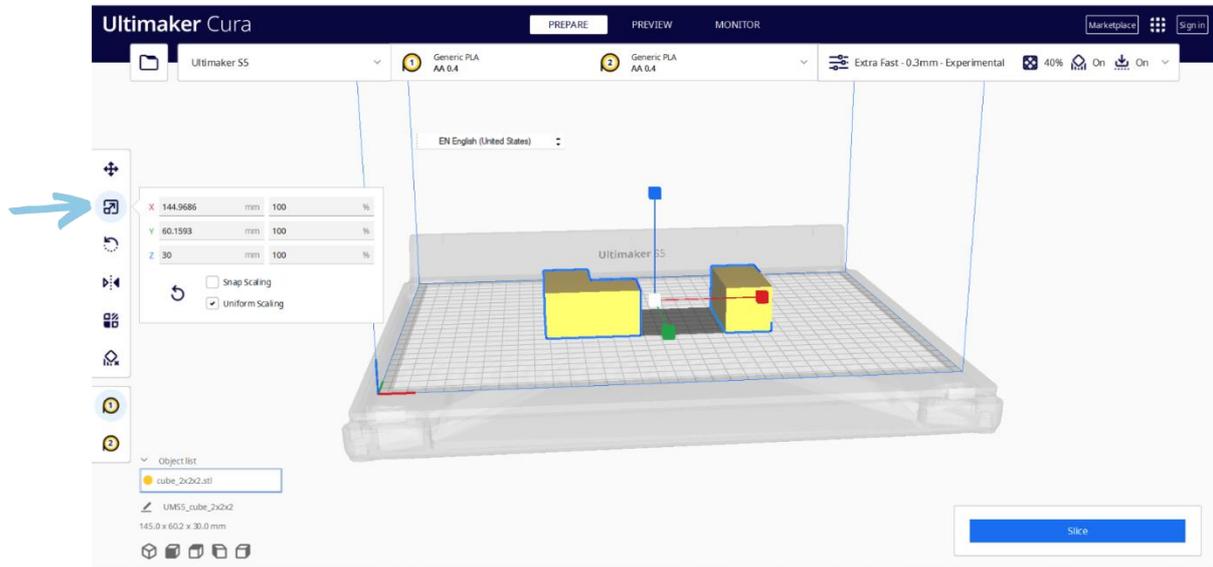


Figure 27. Outil de mise à l'échelle dans Cura (Raccourci clavier : S)

Outil de rotation : Vous pouvez changer l'orientation de votre modèle en utilisant les flèches sur la surface de construction ou en sélectionnant un des outils disponibles. Le premier bouton replace le modèle dans son orientation initiale. Le second bouton pose le modèle à plat sur la surface de construction. Le dernier bouton permet de sélectionner le côté sur lequel vous souhaitez que la face de votre modèle s'aligne sur la surface de construction.

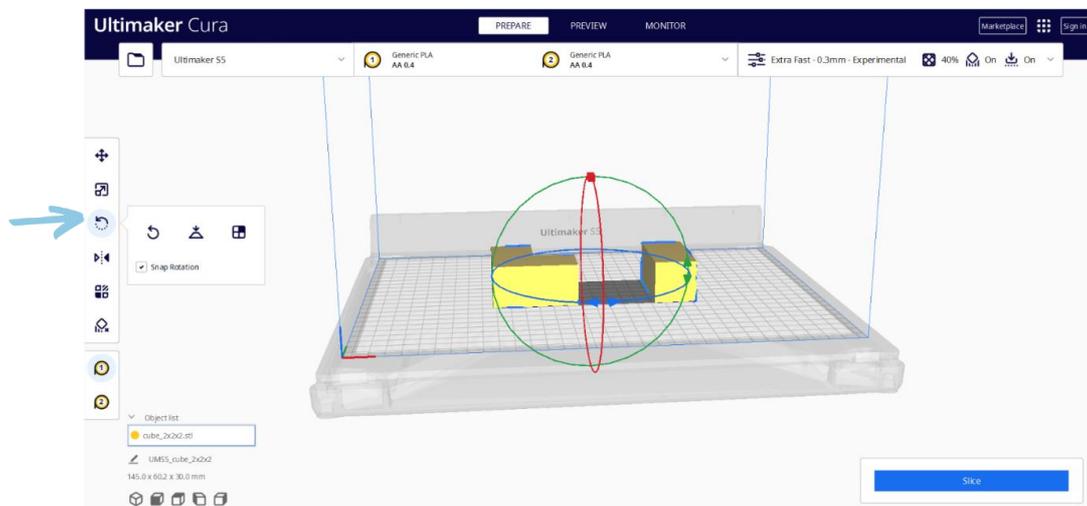
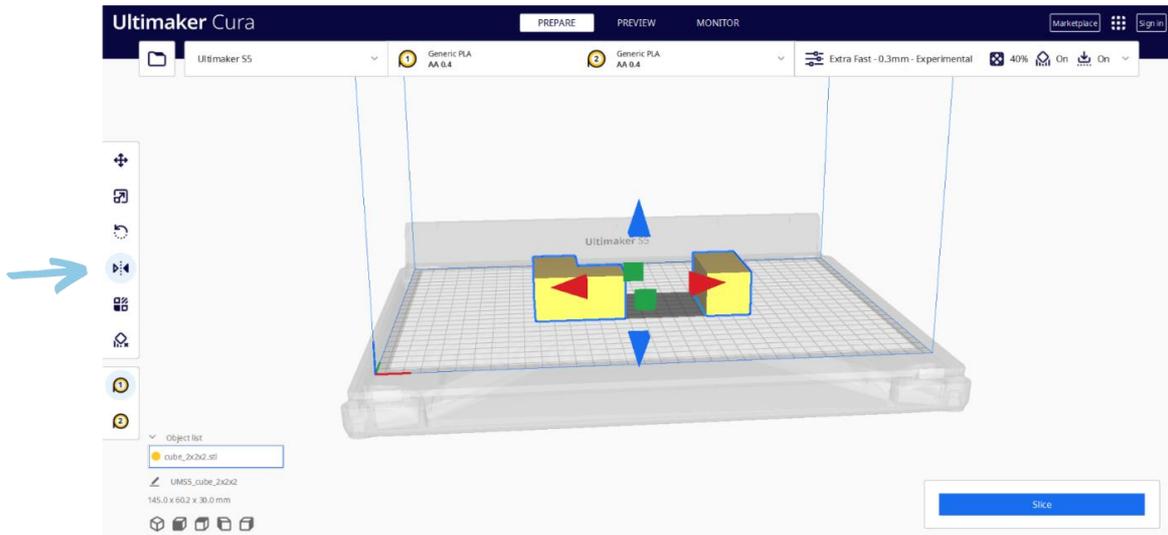


Figure 28. Outil de rotation dans Cura (Raccourci clavier : R)

Outil miroir : Vous pouvez utiliser l'outil miroir pour pivoter votre modèle à 180° dans n'importe quelle direction indiquée par les flèches sur la surface de



construction.

Figure 29. Outil miroir dans Cura (Raccourci clavier : M)

Étape 3 : Après avoir effectué les changements sur votre modèle, vous pouvez également ajuster les paramètres de l'imprimante et de l'impression, depuis la taille de la buse jusqu'au support qui correspond à vos besoins.

Paramètres de l'imprimante : Les paramètres de l'imprimante 3D signifient le choix d'une imprimante en réseau ou pas, pour que Cura puisse ajuster les paramètres tels que la taille de la buse.

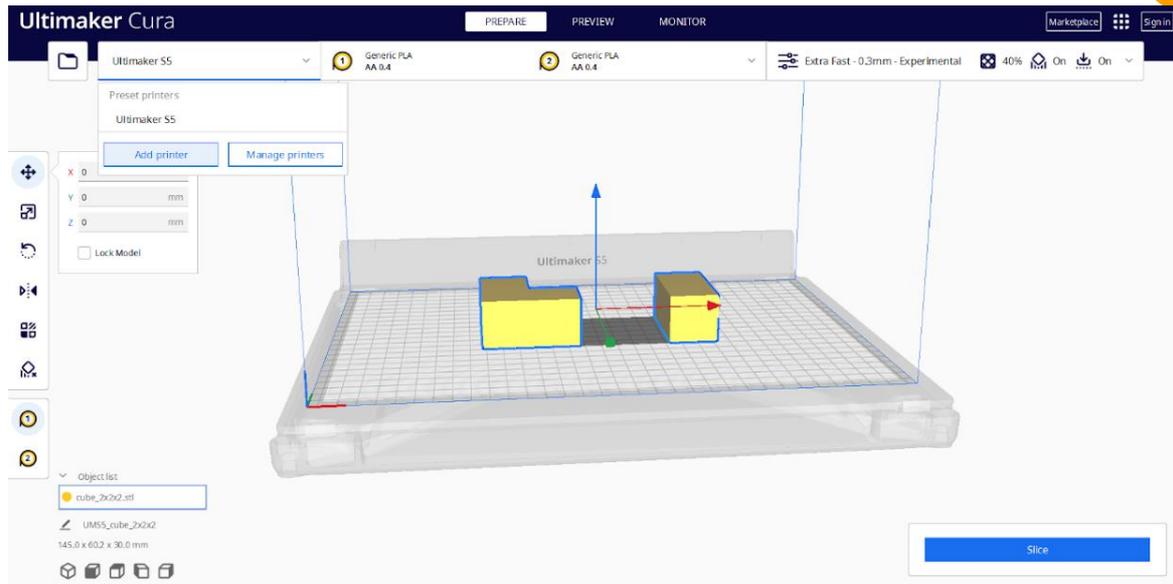


Figure 30. Sélection de l'imprimante 3D dans Cura

Si votre imprimante n'est pas en réseau, il y a une longue liste d'imprimantes afin que vous trouviez votre modèle.

Une fois votre modèle d'imprimante 3D sélectionné, la taille de la buse et le matériau d'impression sont normalement ajustés pour correspondre aux paramètres de votre imprimante. Cependant, vous pouvez aussi personnaliser ces paramètres en cliquant sur l'onglet présenté sur l'image ci-dessous.

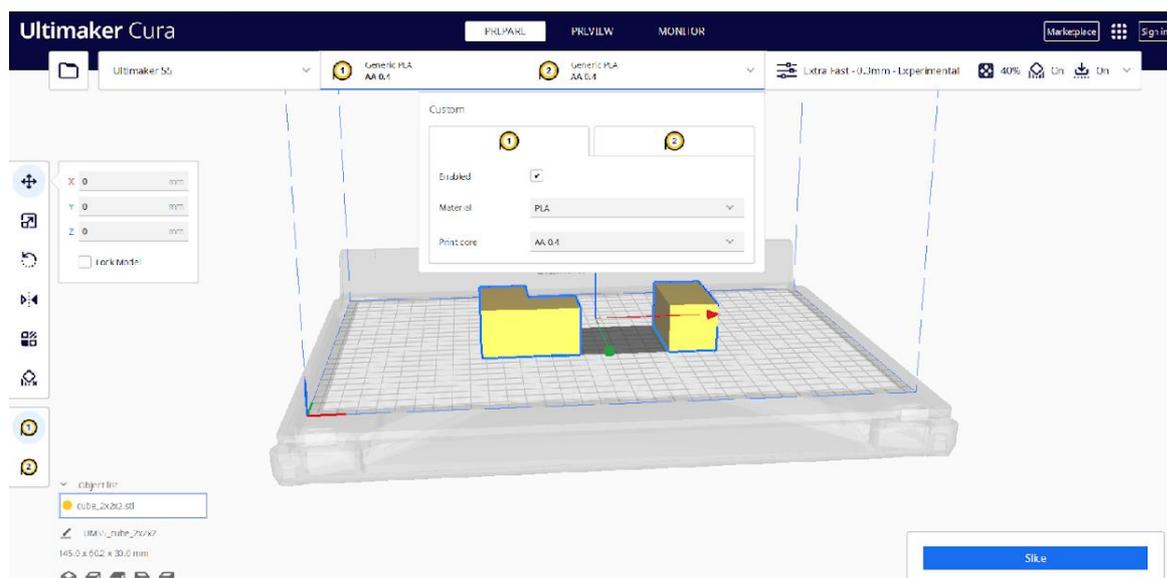


Figure 31. Paramètres de l'imprimante 3D dans Cura

Selon votre imprimante, vous pouvez aussi activer ou désactiver le nombre de buses disponibles.

Paramètres d'impression : Ces paramètres font principalement référence à la façon dont vous voulez imprimer votre modèle, comme sa résolution, la vitesse d'impression, et la présence de supports.

Deux modes sont disponibles : Recommandé et Personnalisé. Les options recommandées disponibles sont définies sur la base de profils recommandés en fonction des besoins courants. Cependant, vous pouvez également personnaliser vos paramètres d'impression, ce qui inclut une plus grande variété d'options. Pour plus d'informations sur les [paramètres personnalisés](#).

Dans la figure 32 ci-dessous, vous pouvez avoir un aperçu des options recommandées disponibles :

- Résolution (hauteur de couche): détermine la qualité de votre objet 3D et dépend en grande partie de la taille de la buse. Plus la distance entre les couches est faible, plus la durée d'impression est longue, mais plus la qualité est élevée. Il existe un compromis entre la qualité et la vitesse d'impression.
- Remplissage : il s'agit de la densité de votre impression 3D, qui peut aller de creux au solide. Un taux de remplissage de 10 à 40 % est considéré comme léger et est généralement recommandé. Pour plus d'informations sur les paramètres de remplissage, [cliquez ici](#).
 - L'option de remplissage progressif augmente la densité au fur et à mesure que l'impression progresse vers le haut du modèle. Il est généralement conseillé de ne pas cocher cette case, car il est important d'avoir une bonne base pour un élément, bien que cela dépende de ce que vous imprimez.
 - Le motif de remplissage se trouve dans les options personnalisées et vous permet de modifier le motif de la structure de remplissage afin de rendre l'objet 3D plus robuste. L'option zig-zag est préférable pour les formes plus complexes.
- Support : sert à produire un support pour protéger votre modèle contre l'affaissement s'il comporte des parties en surplomb.

- Adhésion : elle permet d'augmenter la surface de la première couche de votre impression 3D afin d'éviter le rétrécissement du matériau. Vous devez tenir compte du type de matériau utilisé pour imprimer votre modèle 3D. Le filament PLA n'a généralement pas besoin d'adhérence.

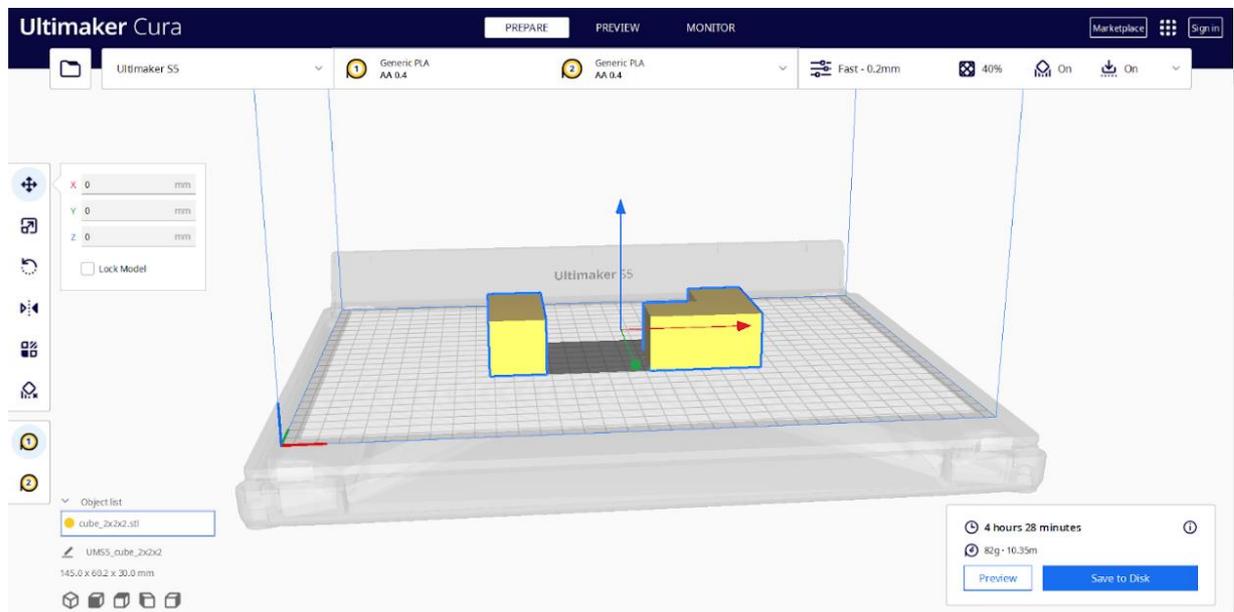
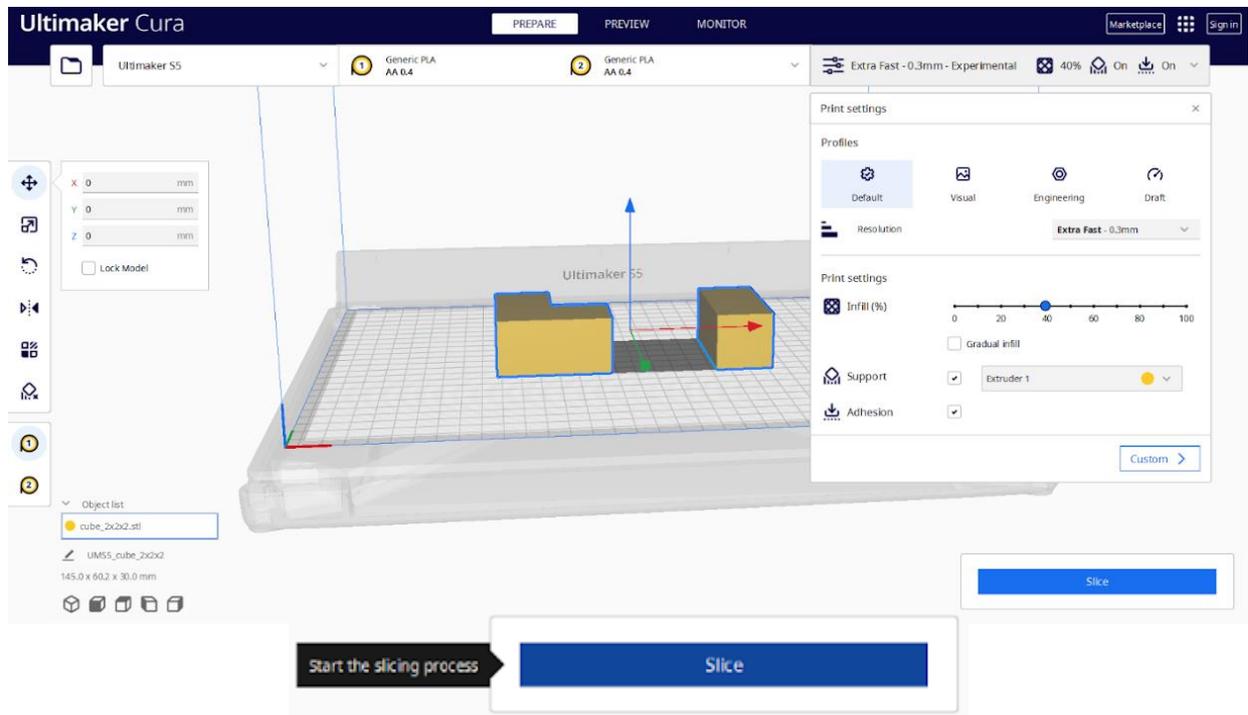


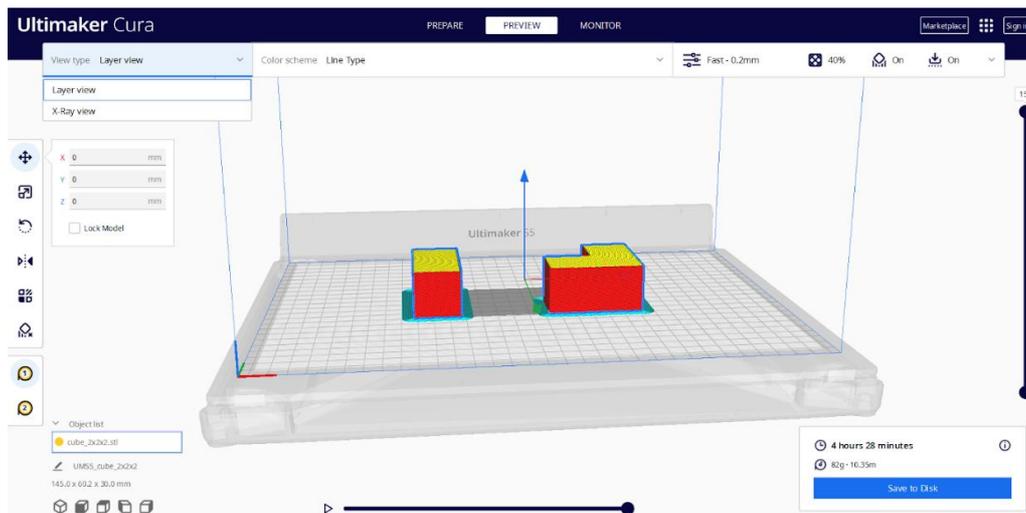
Figure 32. Paramètres d'impression dans Cura

Étape 4 : Une fois tous les changements effectués, vous pouvez cliquer sur le bouton de tranchage pour trancher votre modèle.

Figure 33. Estimation pour l'impression 3D

Sur la figure 33 ci-dessus, vous pouvez voir le temps d'impression estimé pour notre cube 2x2x2 en fonction des paramètres que nous avons choisis.

Étape 5 : Avant de sauvegarder votre modèle, cela peut être une bonne idée de prévisualiser le processus d'impression pour déceler un éventuel problème. L'aperçu illustre le processus d'impression de deux manières : Vue par couche et vue radiographique.



La vue par couche affiche en différentes couleurs les éléments de l'objet 3D tels que le matériau, le type de ligne, la vitesse, l'épaisseur de couche, etc. Cette fonction est particulièrement utile pour repérer les problèmes potentiels et voir comment l'objet va être imprimé.

Figure 34. Vue par couche dans Cura (Aperçu)

La vue radiographique affiche la structure interne de votre modèle 3D afin de repérer tout problème d'intersection d'arêtes et d'apporter des modifications avant l'impression.

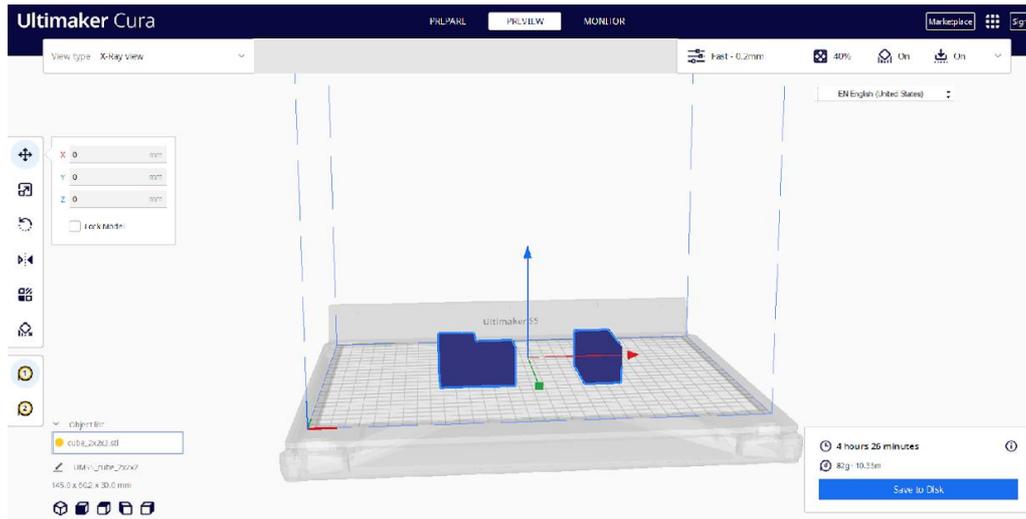


Figure 35. Vue radiographique dans Cura (Aperçu)

Étape 6 : Une fois que vous vous êtes assuré que tout est en ordre, vous pouvez enregistrer le G-code directement sur le disque (carte SD, disque dur de votre ordinateur ou portable) et l'envoyer à l'imprimante 3D pour lancer le processus d'impression.

Il y a plusieurs façons d'envoyer le fichier G-code à l'imprimante 3D, c'est-à-dire via :

- une carte Micro SD,
- un câble USB, et/ou
- une connexion Wi-Fi.

En fonction de votre imprimante 3D, vous pouvez choisir l'une des options ci-dessus pour lancer le processus d'impression.

Références

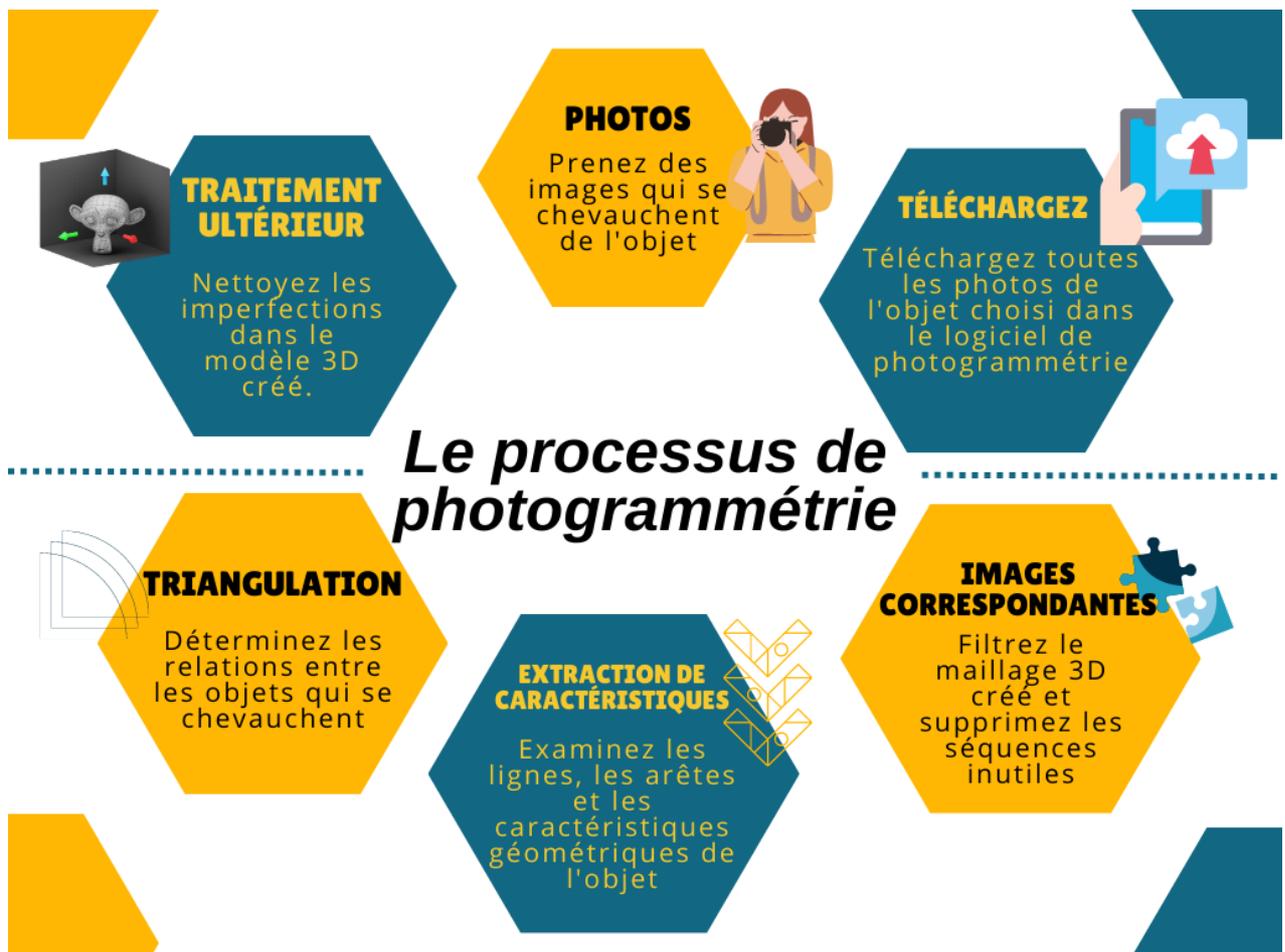
- AMFG (n.d.). Industrial Applications of 3D Printing: The Ultimate Guide.
<https://amfg.ai/industrial-applications-of-3d-printing-the-ultimate-guide/>
- Bouck, E. C., Anderson, R. D., Long, H., & Sprick, J. (2021). Manipulative-based instructional sequences in mathematics for students with disabilities. *TEACHING Exceptional Children*, 0040059921994599.
- Coates, C. (2019). *How Are Some of the World's Best-Known Museums Doing Amazing Things with 3D Printing?* <https://www.museumnext.com/article/how-museums-are-using-3d-printing/>
- Cooper, C. (2019). You can handle it: 3D printing for museums. *Advances in Archaeological Practice*, 7(4), 443-447.
- Cuturi, L. F., Cappagli, G., Yiannoutsou, N., Price, S., & Gori, M. (2022). Informing the design of a multisensory learning environment for elementary mathematics learning. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 16(2), 155-171.
- Jandyal, A., Chaturvedi, I., Wazir, I., Raina, A., & Haq, M. I. U. (2022). 3D printing—A review of processes, materials and applications in industry 4.0. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 33-42.
- Jani, M. (2022). Cura Settings Decoded – An Ultimaker Cura Tutorial.
<https://all3dp.com/1/cura-tutorial-software-slicer-cura-3d/>
- Manches, A., & O'Malley, C. (2016). The effects of physical manipulatives on children's numerical strategies. *Cognition and Instruction*, 34(1), 27-50.

- Ng, D. T. K., Tsui, M. F., & Yuen, M. (2022). Exploring the use of 3D printing in mathematics education: A scoping review. *Asian Journal for Mathematics Education*, 1(3), 338-358.
- Pearson, H. A., & Dubé, A. K. (2021). 3D printing as an educational technology: theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice. *Education and Information Technologies*, 27, 1-28.
<https://doi.org/10.1007/s10639-021-10733-7>
- Rainone, M., Fonda, C., & Canessa, E. (2014). Imaginary math exhibition using low-cost 3D printers. *arXiv preprint arXiv:1409.5595*.
- SketchUp (2022). Getting Started in SketchUp.
<https://help.sketchup.com/en/sketchup/getting-started-sketchup>
- Stigberg, H. (2022, February). Digital Fabrication for Mathematics Education: A Critical Review of the Field. In *Twelfth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME12)*, Bozen-Bolzano, Italy.
- UltiMaker (2022). *Interface Overview of Ultimaker Cura*.
<https://support.makerbot.com/s/article/1667411132925>
- UltiMaker (2022). *The Ultimaker Cura workflow explained*.
<https://support.makerbot.com/s/article/1667411295200>
- 3DInsider (n.d.). *Beginner's Guide To 3D Printing*. <https://3dinsider.com/3d-printing-guide/>

Annexes

Annexe 1

Un résumé visuel du processus de photogrammétrie :



Ressources pour les débutants en photogrammétrie :

- FormLabs: <https://formlabs.com/eu/blog/photogrammetry-guide-and-software-comparison/>
- ModTechLabs: <https://modtechlabs.com/beginners-guide-photogrammetry/>
- Poux, F. (2022): <https://towardsdatascience.com/the-ultimate-guide-to-3d-reconstruction-with-photogrammetry-56155516ddc4>



Cofinancé par
l'Union européenne

Numeric[All] est co-financé par le programme ERASMUS+ de l'Union européenne et sera mis en oeuvre de février 2022 à février 2024. Cette publication reflète les opinions des auteurs, et la Commission européenne ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

Code du projet : 2021-1-CY01-KA220-ADU-000035154