

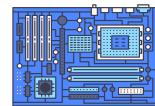


Documentation

Impression 3D



Electronique



Découpe laser



Stage de Roxane RIOU
du 15 mars au 12 mai

Plan de la documentation

Impression 3D	4
Définition	4
L'impression 3D par dépôt de matière	5
Les matières des filaments	5
Le PLA	5
L'ABS	8
Les imprimantes 3D au BloLab	9
Les logiciels nécessaires et les étapes de l'impression 3D	10
La modélisation 3D	11
Modélisation d'un anneau	12
Modélisation d'un marteau	14
Modélisation d'une pièce mécanique	17
Modélisation d'un tube percé	20
Modélisation d'une multiprise	22
Modélisation d'un porte-clé "HELLO" : version 1	27
Modélisation d'un porte-clé "HELLO" : version 2	28
Modélisation d'un porte-clé avec un logo	31
Préparer l'impression 3D	33
Se connecter et préparer l'imprimante 3D	36
Découpe laser	38
Fonctionnement	38
Utilisation	39
Exemple 1 : gravure sur carton	40
Exemple 2 : porte-clé en plexiglas	44
Electronique	47
Rappels sur les circuits électriques	47
Définition	47
Les dipôles	48
Définition de l'électronique	49
Matériel indispensable	50

La breadboard	50
La carte Arduino	51
L'IDE Arduino	52
Page de démarrage de l'IDE Arduino	52
Utilisation de l'IDE	53
Rappels opérateurs, variables et symboles	55
Les composants électroniques	56
Les résistances	56
La résistance	56
Le potentiomètre	58
La photorésistance	58
Les LEDs	58
La LED	59
RGB Led	59
Les capteurs	60
Capteur de flamme	60
Capteur de température (LM 35)	60
Capteur d'humidité du sol ou capteur hygrométrique	61
Capteur ultrason HC-SR04	61
Capteur de son	62
Les afficheurs	62
Afficheur 7 segments	62
Afficheur à 4 digits	63
Ecran LCD	64
Les moteurs	65
Servo-moteur SG-90	65
Moteur pas-à-pas	65
Les modules	66
Module relais 5V	66
Module suiveur de ligne	67
Module RFID RC522	67
Module bluetooth	68
Autres	68
Le bouton-poussoir	68
Le buzzer	69

Transistor	69
Condensateur	70
Joystick	70
Télécommande infrarouge (IR)	70
Annexe	71
Icônes et outils FreeCAD pour la modélisation 3D	71
Les outils dans l'atelier sketcher	72
Les outils dans l'atelier PartDesign	75
Les outils dans l'atelier Part	77
Les outils dans l'atelier Draft	77

Impression 3D

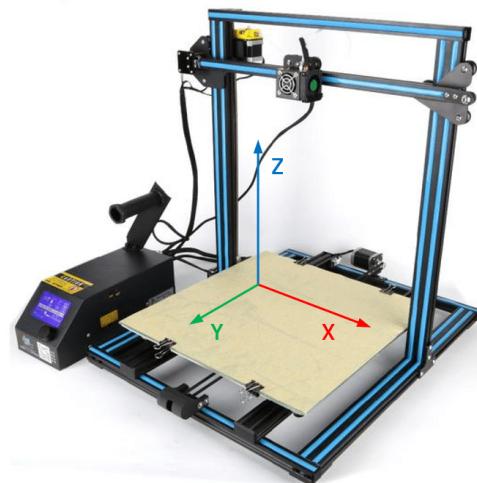
1) Définition

L'impression 3D regroupe une multitude de procédés permettant d'imprimer un objet en 3D. Les techniques employées diffèrent sur la forme mais le principe reste toujours le même.

Il consiste à superposer des couches de matières avec une imprimante 3D selon les coordonnées X-Y-Z (largeur, profondeur, hauteur) transmises par un fichier 3D. C'est l'empilement de couches qui crée le volume.

Il y a 3 grands groupes de procédés :

- Le dépôt de matière
- La solidification par la lumière
- L'agglomération par collage



La différence entre ces procédés se situe sur la manière dont sont déposées et traitées ses couches, ainsi que le type de matériau utilisé. Pour la plupart des procédés employés l'utilisateur a besoin :

- d'une imprimante 3D
- de consommable (filament, poudre...)
- d'un fichier 3D (le plus souvent au format STL ou OBJ)
- d'un logiciel de slicing pour trancher le fichier et transmettre les indications à l'imprimante
- d'un ordinateur

Nous nous intéresserons essentiellement à l'impression par dépôt de matière, que nous définirons à la section suivante.

La manière d'exporter les fichiers vers l'imprimante diffère selon les marques et les modèles : câble USB, Wi-Fi ou carte SD.

a) L'impression 3D par dépôt de matière

L'impression 3D permet de réaliser une pièce mécanique par superpositions successives de fines couches de matière. La majorité des imprimantes 3D personnelles, dont celles que nous utiliserons, fonctionnent selon le principe FDM (Fused Deposition Modeling) signifiant « modelage par dépôt de filament en fusion ».

Cette technique consiste à déposer couche par couche un filament de matière thermoplastique fondu à 200°C (en moyenne). Cette matière s'agglomère alors avec la couche précédente, redévient solide et crée progressivement le relief qui donne finalement la forme souhaitée de l'objet.

b) Les matières des filaments

Nous nous intéresserons principalement aux deux matériaux plastiques les plus courants, le PLA (le plus utilisé au BloLab) et l'ABS, mais il est important de savoir que l'impression 3D voit arriver de nouveaux filaments composites à base de métal (cuivre, bronze...), de fibres de carbone et même de bois.

Le PLA

Le plastique PLA ou Polylactic acid (Acide polylactique) est un polymère thermoplastique entièrement biodégradable et non toxique, qui utilise des matières premières renouvelables (matière plastique d'origine végétale).

Le PLA présente de nombreux avantages (peu onéreux, post-traitement facile, diversité des coloris et des versions de filament, compatible avec un usage alimentaire, etc.), c'est pourquoi il s'agit d'un des matériaux d'impression 3D les plus utilisés pour la fabrication additive.

Le filament PLA est le plastique le plus facile à imprimer. En effet, il fond à basse température (en règle général entre 190 et 220°C) et l'impression peut se faire sans plateau chauffant et sans enceinte fermée (contrairement à l'ABS

que nous verrons plus tard). De plus, il est peu sujet au warping. En revanche, il est sensible à l'humidité et à la chaleur. Le PLA aura tendance à se déformer rapidement à partir de 40 °C.

Le warping, ou gauchissement, correspond à la rétraction du thermoplastique à la surface d'impression. Il en résulte un décollement de l'objet imprimé, d'abord sur le pourtour de l'objet et qui peut aboutir à un décollement total de la pièce.

Il existe de nombreuses versions de filaments PLA, développés années après années. Vous trouverez ci-dessous un tableau non exhaustif regroupant les différentes versions des filaments PLA ainsi que leurs caractéristiques.

Nom	Caractéristiques
PLA classique	<ul style="list-style-type: none">Possibilité d'impression sur plateau non chauffé, biodégradable, facile d'utilisation, inodore, bonne tenueFaible résistance à la température (déformation à partir de 40-50°C)
PLA+	<ul style="list-style-type: none">Mêmes caractéristiques que le PLA classiqueMeilleure qualité de surface, couleur et propriétés mécaniques, moins fragile, plus résistant à l'humidité, plus durable, meilleure adhésion entre les couches
PLA flexible	<ul style="list-style-type: none">Mélangé à du TPU (polyuréthane thermoplastique), réputé pour sa flexibilité et sa résistance à l'usureMatériel élastique, résistant, lisse, absorption des chocs et durableTempérature d'impression hauteDisponible également en semi-flexible : moins flexible mais plus résistant et fiable à l'impression, plus détaillé
PLA/PHA	<ul style="list-style-type: none">Caractéristiques de l'ABS sans problème de warping* et biodégradable, les couleurs se maintiennent bien après impression, impression possible sur plateau non chaufféDisponible en version fluorescente

PLA conducteur	<ul style="list-style-type: none"> Conduit l'électricité, contient du carbone (graphène) Très peu de phénomène de warping, insoluble
PLA industriel	<ul style="list-style-type: none"> Très résistant, facile à utiliser, très bonne qualité d'impression, pas de warping, biodégradable, impression précise, température de fusion basse, usage industriel Les couleurs s'atténuent, peu de résistance à la température
PLA thermorésistant	<ul style="list-style-type: none"> Très résistant, traitement après impression pour obtenir un objet résistant aux hautes températures Difficulté d'impression et utilisation
PLA métallique	<ul style="list-style-type: none"> Contient de la poudre de métal (inox, aluminium, bronze, cuivre, fer) Ressemble à du métal et coûte bien moins cher, objet lourd, ne conduit pas l'électricité Abîme la buse donc nécessité d'utiliser une buse en acier
	<ul style="list-style-type: none"> PLA en fer magnétique : rouille comme le fer, propriétés magnétiques, durable
	<ul style="list-style-type: none"> PLA bronze : 3 fois plus lourd que le PLA, finition brillante après polissage
PLA polyester	<ul style="list-style-type: none"> 4 fois plus résistant que le PLA classique, pas susceptible aux UV, biodégradable, peu d'odeurs
PLA fibres de carbone	<ul style="list-style-type: none"> Beaucoup plus rigide que le PLA classique, plus léger, très durable, peu de warping, bonne adhésion des couches entre-elles Abîme la buse donc utilisation de buse en acier
PLA wood blend (bois)	<ul style="list-style-type: none"> Ressemble et sent comme le bois

	<ul style="list-style-type: none"> • Nombreux types de bois disponibles : bambou, cèdre, liège, saule, etc. • Moins flexible et résistant que le PLA classique donc pas possible d'imprimer des objets trop lourds, plus difficile à imprimer • température à bien manier (trop chaud et ça brûle, trop froid et ça ne fond pas)
LW-PLA (lightweight)	<ul style="list-style-type: none"> • Filament chauffé à 230°C, devient de la mousse et prend du volume • 65% plus léger que le PLA classique, moins dense, impression très rapide, surface mate de bonne qualité • Produit plus cher que le PLA classique mais utilisé en plus petite quantité grâce à la prise de volume
PLA-R (recyclé)	<ul style="list-style-type: none"> • Mêmes caractéristiques que le PLA classique • Impression un peu plus rapide, produit bio-sourcé
Autres PLA (esthétique)	<ul style="list-style-type: none"> • PLA silk-like (facile à imprimer, très lisse, joli et brillant) • PLA sparkly/glitter (pailleté) • Color changing PLA (sensible à la chaleur ou aux UV) • PLA fluorescent • PLA luminescent (brille dans la nuit) • PLA transparent

L'ABS

Le plastique ABS, pour Acrylonitrile Butadiène Styrene, est un polymère thermoplastique principalement connu pour sa bonne résistance aux chocs à basse température et sa légèreté. C'est l'un des matériaux les plus utilisés avec le PLA en impression 3D, bien qu'il soit plus difficile à imprimer que le PLA.

L'ABS a une température de fusion autour de 200°C (température d'extrusion recommandée entre 230 et 260°C). L'utilisation d'un plateau chauffant (entre 80 et 130°C) est obligatoire lorsqu'on souhaite imprimer de l'ABS : c'est en effet un plastique qui se rétrécit au contact de l'air, provoquant alors un phénomène de retrait (ou warping) de la pièce et donc son décollement du plateau.

Pour les grandes pièces, il est même conseillé d'utiliser un adhésif spécial comme le Kapton ou une laque adhésive. Enfin, une imprimante 3D à enceinte fermée est préférable car le plastique ABS émet des particules qui peuvent être dangereuses pour l'utilisateur.

Nom	Caractéristiques
ABS classique	<ul style="list-style-type: none"> Résistance aux chocs, aux hautes températures, à l'humidité, matériaux durables, post-traitement facile Sensible aux variations de température, difficile d'utilisation (nécessité d'imprimer dans des locaux fermés), nécessite d'utiliser un spray adhésif pour maintenir la pièce sur le plateau, très déformable, odorant, refroidissement lent
M-ABS	<ul style="list-style-type: none"> Mêmes propriétés que l'ABS classique mais plus facile à utiliser et moins odorant
PC-ABS	<ul style="list-style-type: none"> Très résistant, utilisation industrielle, très bonne liaison intercouche, surface brillante température d'impression élevée et impression lente
ABS-X	<ul style="list-style-type: none"> ABS amélioré, pas de phénomène de warping

2) Les imprimantes 3D au BloLab

Le BloLab est équipé d'imprimantes Ender-3, Ender-3 Pro et Ender-5 de la marque Creality. L'Ender-3 est la plus utilisée au lab. C'est également l'imprimante 3D la plus populaire sur le marché en rapport qualité-prix.

Caractéristiques principales de l'Ender-3 :

- Vitesse d'impression : 180 mm/s
- Matières : PLA 1,75 mm, TPU, ABS
- Connectivité : en ligne ou carte SD
- Format de fichier : STL, OBJ, G-code
- Épaisseur de couche : 0,1-0,4 mm
- Précision d'impression : $\pm 0,1$ mm
- Température de la buse : 255 °C
- Température du plateau chauffant : 110 °C



3) Les logiciels nécessaires et les étapes de l'impression 3D



FreeCAD : <https://www.freecadweb.org/?lang=fr>

FreeCAD est un logiciel de modélisation en 3D assisté par ordinateur. C'est le logiciel que nous utiliserons pour modéliser les objets que nous voudrions imprimer.

Ultimaker Cura : <https://ultimaker.com/fr/software/ultimaker-cura>

Cura est un logiciel libre de découpe (*slicer* en anglais) pour impression 3D. Nous utiliserons ce logiciel pour découper le fichier modèle issu de FreeCAD en couches. Ce slicing générera un élément .gcode que l'on pourra envoyer à l'imprimante 3D (via carte SD ou wifi) pour la fabrication de l'objet physique.



Inkscape : <https://inkscape.org/release/inkscape-1.0.2/>



Inkscape est un logiciel de dessin vectoriel professionnel. Une image vectorielle est une image numérique composée d'objets géométriques individuels, des primitives géométriques (segments de droite, arcs de cercle, etc.), définis chacun par différents attributs (forme, position, remplissage, visibilité, etc.) et auxquels on peut appliquer différentes transformations.

Nous utiliserons ce logiciel pour y importer des images peu à moyennement complexes pour générer un dessin vectoriel que nous intégrerons ensuite à notre modélisation FreeCAD.

Les étapes de l'impression 3D (ces étapes seront détaillées dans les sections prochaines) :

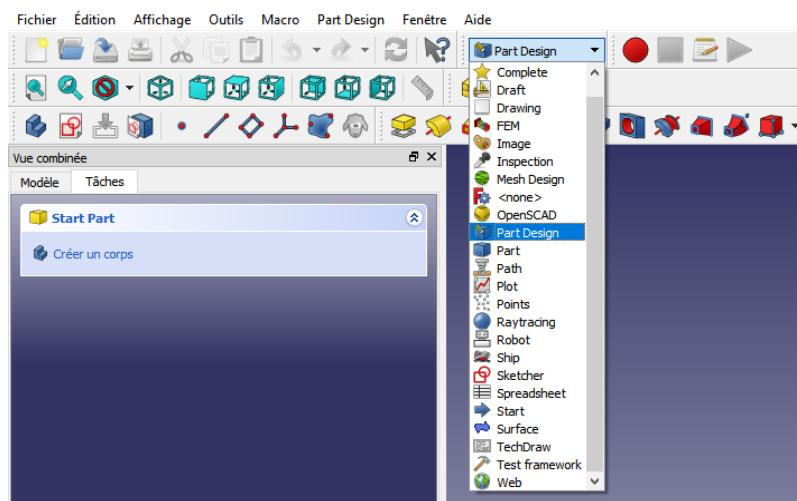
- **Créer (ou télécharger) un objet 3D :**
 - Dessiner le modèle 3D avec l'aide de FreeCAD
 - Facultatif : intégrer un dessin vectoriel issu de Inkscape sous le format .svg
 - Exporter le modèle 3D sous le format .stl
- **Préparer l'impression 3D :** c'est l'une des étapes les plus importantes à maîtriser. Une impression 3D mal configurée dans le logiciel d'impression 3D peut faire que les temps d'impression sont plus longs, ou que l'objet ne s'imprime pas ou très mal.
 - Ouvrir le fichier .stl dans Cura
 - Configurer l'impression : matière, qualité et finesse d'impression, ajout du support pour les objets complexes, etc.
 - Visualisation et modification de l'objet : rotation, agrandissement ou rétrécissement, etc.
 - Effectuer le slicing, un temps d'impression s'affichera
 - Exporter l'élément sous le format .gcode
- **Se connecter et préparer l'imprimante 3D :**
 - Placer l'élément .gcode sur une carte SD qui sera ensuite connectée sur l'imprimante 3D
 - Placer la bobine de matière sur son support et insérer le filament dans l'extrudeur
 - Lancer l'initialisation de la machine
- **Lancer l'impression 3D :** L'imprimante va alors chauffer le plateau et la buse et commencer l'impression de votre modèle 3D. La tête d'impression va faire fondre le filament et se déplacer pour le déposer sur le plateau afin de créer votre objet en trois dimensions.
- **Récupérer l'objet 3D :**
 - Décoller l'objet du plateau
 - Facultatif : retirer les supports d'impression de l'objet

4) La modélisation 3D

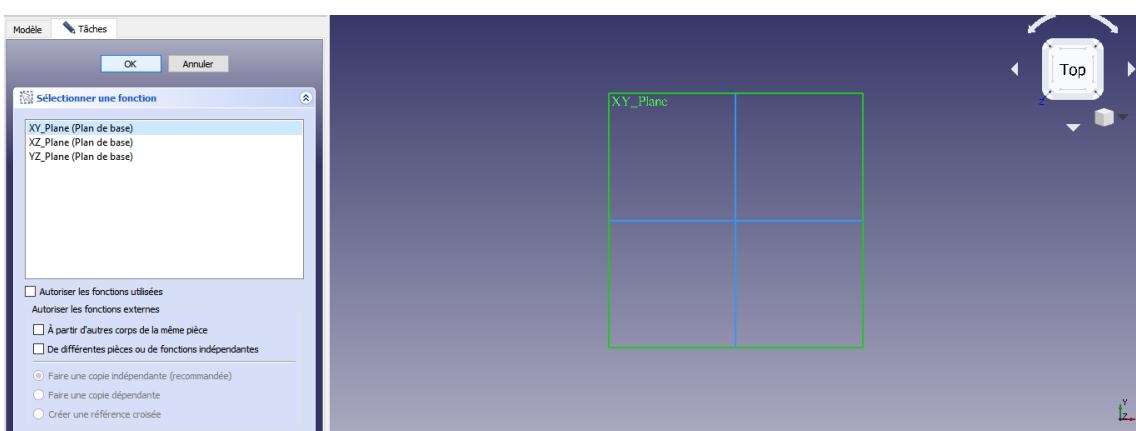
Dans cette section, nous allons apprendre la modélisation 3D en passant directement à l'application : la création d'objets simples, puis progressivement plus complexes. Tout au long de cette section vous pourrez vous référer à l'annexe à la fin de la documentation qui répertorie tous les outils que vous allez utiliser et les icônes qui leur sont associés.

a) Modélisation d'un anneau

Tout d'abord, nous devons créer un nouveau document et sélectionner l'atelier Part Design à l'aide du sélecteur d'atelier ou via le menu Affichage → Atelier.



Une fois sélectionné, nous cliquons sur “Créer un corps” puis “Créer une esquisse”. Pour créer l'anneau, nous prenons le plan XY. Après avoir appuyé sur “OK”, un quadrillage s'affiche, la modélisation peut commencer.



On crée un cercle dans l'esquisse (se référer à l'annexe) en faisant bien attention à ce que le centre du cercle, c'est-à-dire le pointeur de la souris, soit sur le point rouge au centre du quadrillage. Si vous êtes bien au centre, le point rouge devrait devenir jaune comme sur la photo ci-dessous.



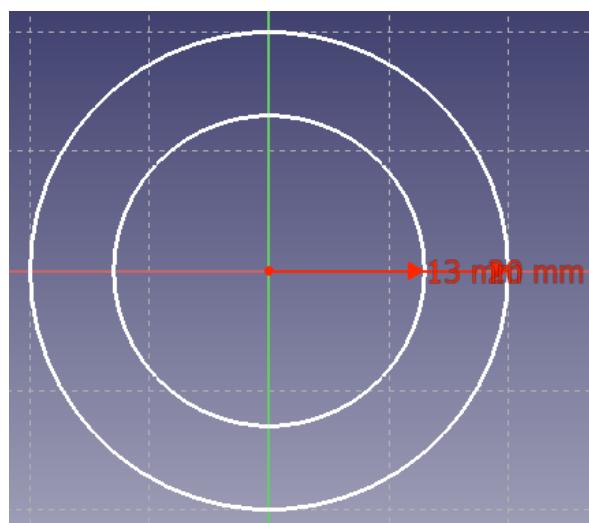
Pour faire le cercle, on fait un clic gauche une première fois sur le point jaune, on écarte la souris de ce point jusqu'à ce qu'on obtienne le diamètre désiré puis on refait un clic gauche. Pour quitter l'outil on effectue un clic droit.

Cette procédure de premier clic gauche pour commencer à dessiner la forme, deuxième clic gauche pour fixer la forme et clic droit pour ne plus utiliser l'outil est la même pour toutes les créations de formes.

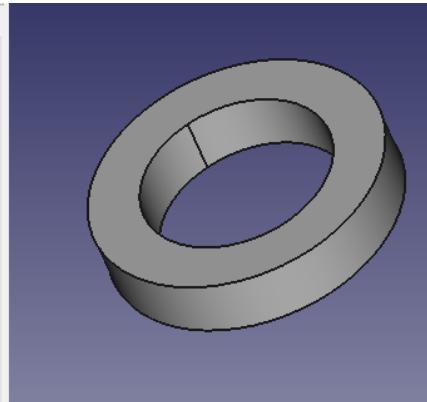
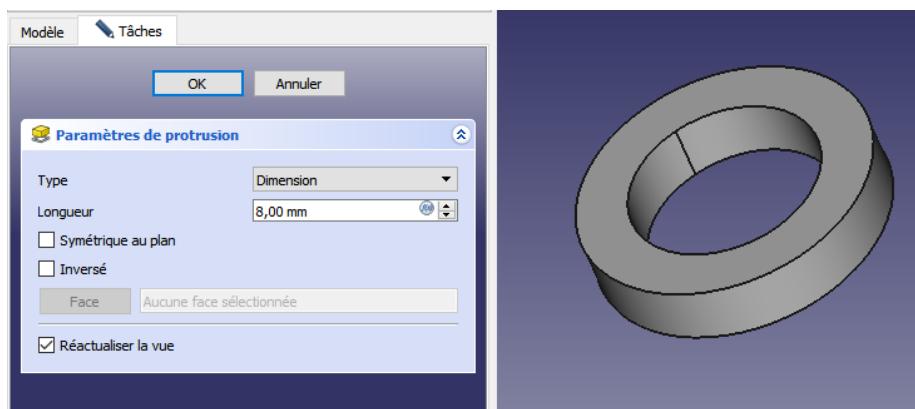
Pour ajuster la vue on peut aller sur cet icône ou on peut utiliser la molette de la souris pour zoomer/dézoomer. Le clic gauche maintenu permet de changer la position de l'objet et le clic droit maintenu permet de se déplacer.

Une fois le cercle effectué, on clique une fois sur ce même cercle jusqu'à ce qu'il devienne vert et on va sur "contraindre un arc ou un cercle". Cet outil nous permet de fixer le rayon qui ici sera 20 mm.

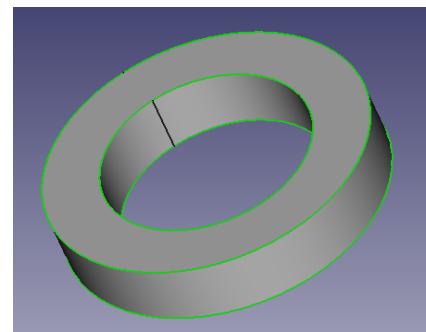
A l'intérieur de ce premier cercle, on effectue un deuxième cercle de rayon 13 mm cette fois-ci. Le résultat obtenu devrait être comme la photo ci-dessous.



Une fois terminé, on appuie sur fermer à gauche de l'écran. Nous sommes revenus à l'atelier Part Design. La prochaine étape est de cliquer sur “faire une protrusion à partir de l'esquisse sélectionnée”. Utilisez le clic gauche de la souris pour faire pivoter l'objet. L'outil nous a permis de rajouter une épaisseur de 10 mm à notre forme initiale. Réglez la longueur de la protrusion à 8 mm. Puis cliquez sur “OK”.

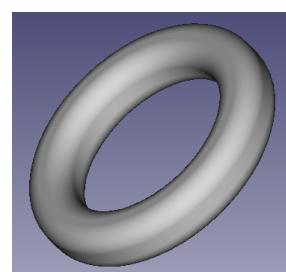
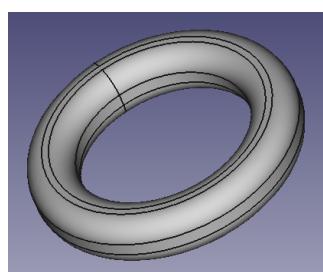


La dernière étape est de sélectionner chaque coin comme la photo ci-contre. Pour cela, cliquez sur chaque coin en maintenant la touche ctrl. Tous les coins doivent être verts avant de sélectionner l'outil “faire un congé sur une arête, une face ou un corps”. Cet outil va nous permettre d'arrondir les angles de notre objet pour obtenir un anneau.

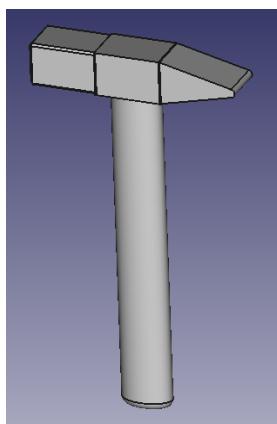


Augmentez le rayon en bas à gauche. Vous noterez qu'à partir d'une certaine valeur, en l'occurrence ici 3 mm, il n'y a plus de modification de l'objet. Si vous cliquez sur “OK” alors que vous êtes au-delà de cette valeur limite, un message d'erreur s'affichera.

Une fois que vous avez mis 3 mm de rayon, vous pouvez cliquer sur “OK”. Votre anneau est terminé. Pour le visualiser sans les traits, allez dans “style de représentation” et sélectionnez “ombré”.



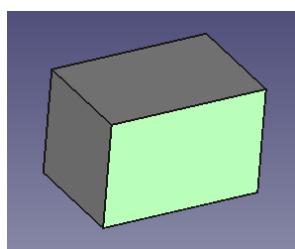
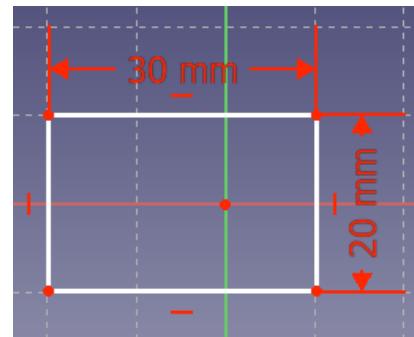
b) Modélisation d'un marteau



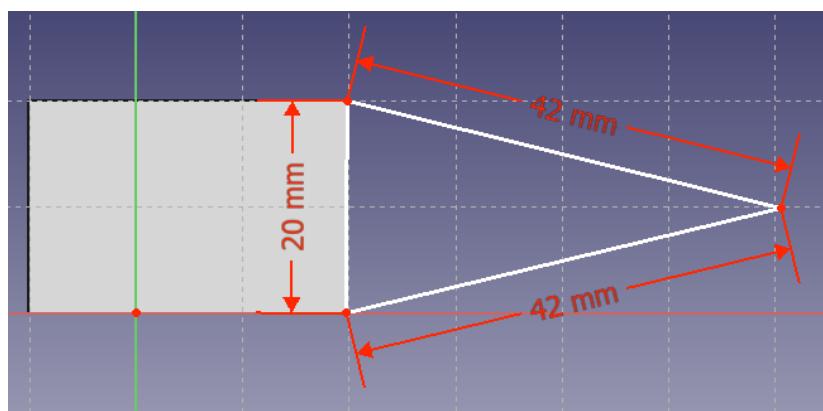
Le prochain objet que nous allons modéliser est un marteau. Pour cela nous allons le diviser en 4 morceaux. Les dimensions réelles ne seront pas respectées, seulement la forme générale.

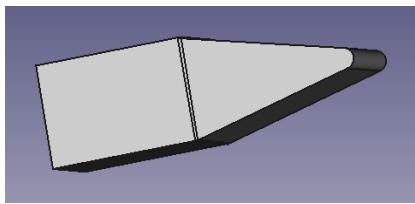
Créez un nouveau corps et une nouvelle esquisse et choisissez le plan XY. Dans ce plan, faites un rectangle de 30 mm sur 20 mm. Pour cela, prenez l'outil “créer un rectangle dans l'esquisse”, dessinez le rectangle en suivant la même procédure que pour le cercle.

Une fois le rectangle effectué, sélectionnez un côté de ce rectangle et fixez la longueur en utilisant l'outil “fixer la longueur d'une ligne ou la distance entre une ligne et un point”. Faites de même pour le côté adjacent. Vous devriez obtenir comme la photo ci-contre. Ensuite, faites une protrusion de 20 mm de longueur. Vous obtenez un pavé droit.



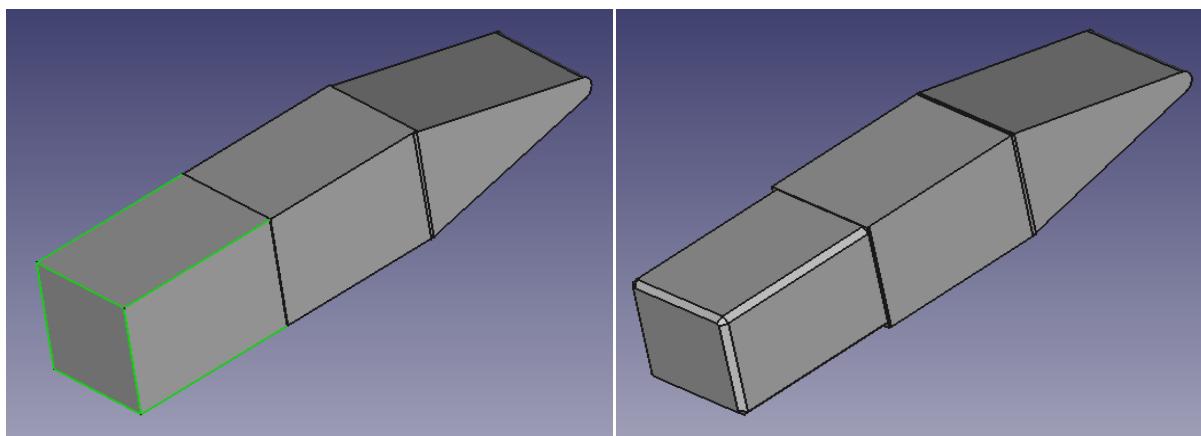
Cliquez sur une des faces rectangulaires puis créez une nouvelle esquisse. Vous verrez la face que vous venez de sélectionner apparaître. Créez un triangle isocèle dont la base correspond à une des largeurs du rectangle et dont les deux autres côtés font 42 mm. Vous devriez obtenir comme la photo ci-dessous.





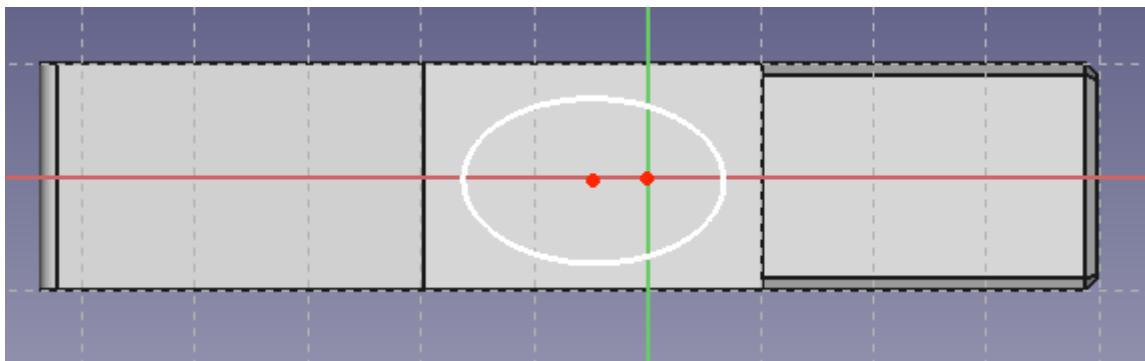
Une fois le triangle isocèle obtenu, on fait une protrusion de 20 mm puis on sélectionne la pointe du triangle pour faire un congé de 2 mm. On peut s'attaquer à notre 3ème morceau. Pour cela on sélectionne la même face que précédemment.

Sur la largeur opposée à celle qui correspond à la base du triangle, on fait un rectangle de 20 mm de largeur sur 30 mm de longueur. On fait ensuite une protrusion de 20 mm pour obtenir un pavé droit. Enfin, on sélectionne les arêtes comme sur la photo ci-dessous à gauche. Une fois les arêtes sélectionnées, on choisit l'outil “chanfreiner les arêtes sélectionnées d'une forme” et on prend 1 mm pour la taille du chanfrein.

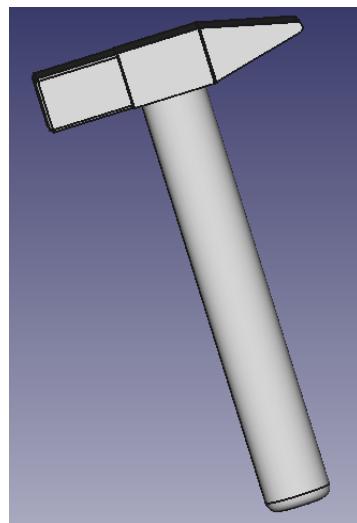


On peut attaquer la dernière étape, le manche du marteau. On sélectionne la face rectangulaire du dessous sur le pavé droit central. Vous pouvez afficher la face du dessous grâce à l'outil de rotation en haut à droite de l'écran.

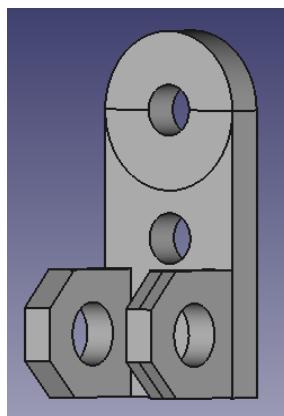
On crée ensuite une nouvelle esquisse. On prend l'outil “ellipse par centre, demi grand-axe, point” aussi appelé “créer une conique dans l'esquisse” et on dessine une ellipse comme sur la photo ci-dessous. Il n'est pas possible de fixer une distance sur une ellipse.



Ensuite, on ajoute une protrusion de 150 mm à cette ellipse. La dernière étape est de sélectionner l'arête au bout du manche et d'y appliquer un congé de 4 mm. Notre marteau est terminé.

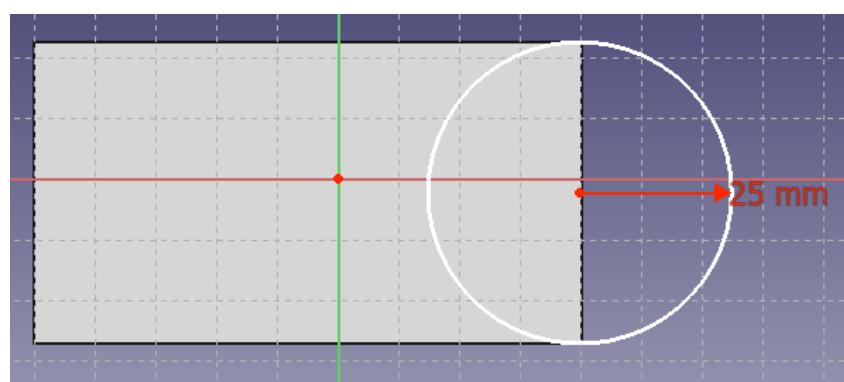


c) Modélisation d'une pièce mécanique

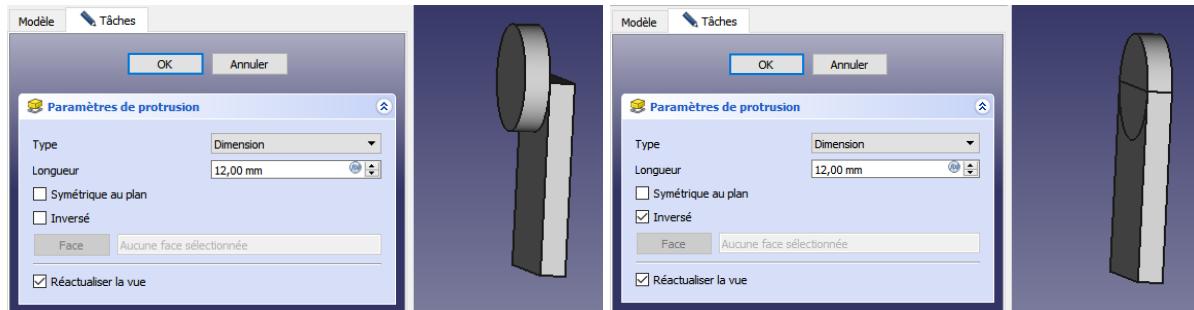


Le prochain objet que nous allons réaliser est une pièce mécanique. Tout d'abord, nous allons modéliser la partie principale, le parallélépipède rectangle coiffé du cylindre.

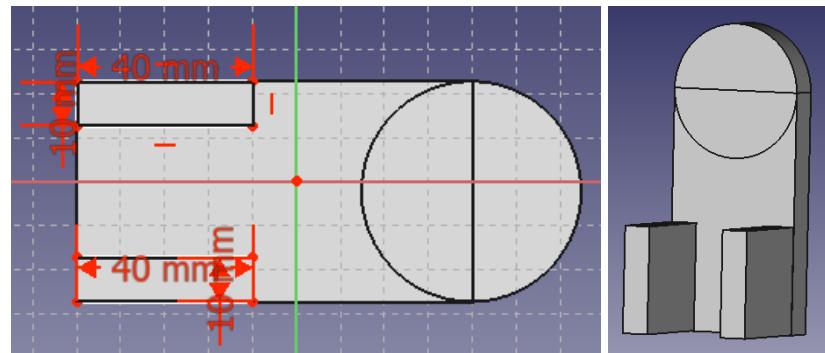
On commence par réaliser un rectangle de 90x50 mm puis on y applique une protrusion de 12 mm. On sélectionne une des deux grandes faces rectangulaires et on crée une nouvelle esquisse. A partir de la moitié d'une des largeurs du rectangle, on dessine un cercle de 25 mm de rayon. Le résultat obtenu doit être comme ci-dessous.



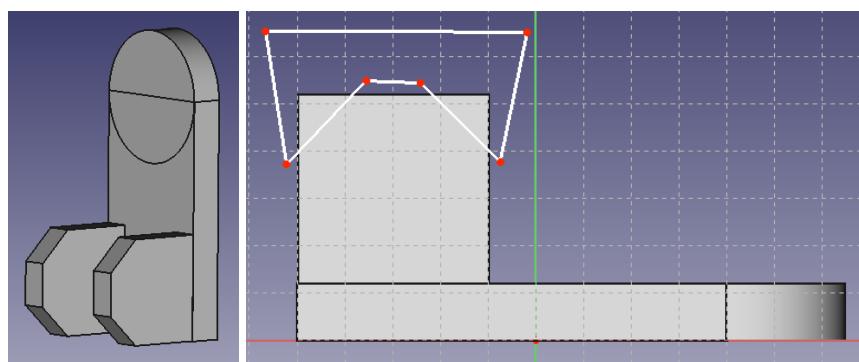
On applique ensuite une protrusion de 12 mm. Comme vous pouvez le constater, le pavé et le cylindre ne forment pas une continuité. Pour cela, il faut cocher la case “inversé” comme ci-dessous. La protrusion du cercle se fera ainsi dans la continuité de la protrusion du rectangle.



On modélise ensuite les deux morceaux en bas de la pièce mécanique. On sélectionne à nouveau la grande face rectangulaire. Tout en bas de notre pièce (ou tout à gauche puisqu’elle s’affiche horizontalement), on dessine deux rectangles de 40 mm de longueur sur 10 mm de largeur puis on applique une protrusion de 40 mm. On obtient deux cuboïdes.

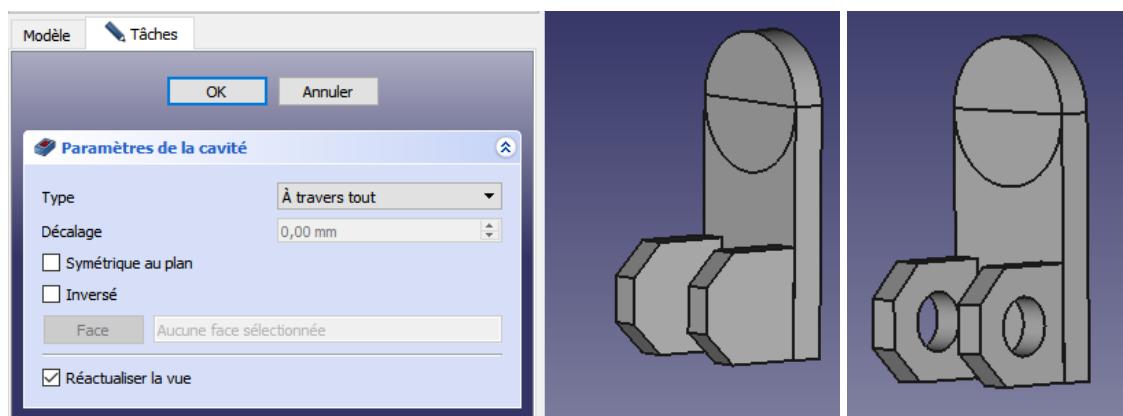


Nous allons ensuite retirer les coins de nos cuboïdes comme ci-contre. On sélectionne la face extérieure de notre cuboïde et on crée une nouvelle esquisse. On prend l’outil “créer une polyligne dans l’esquisse” et on dessine la forme ci-dessous.

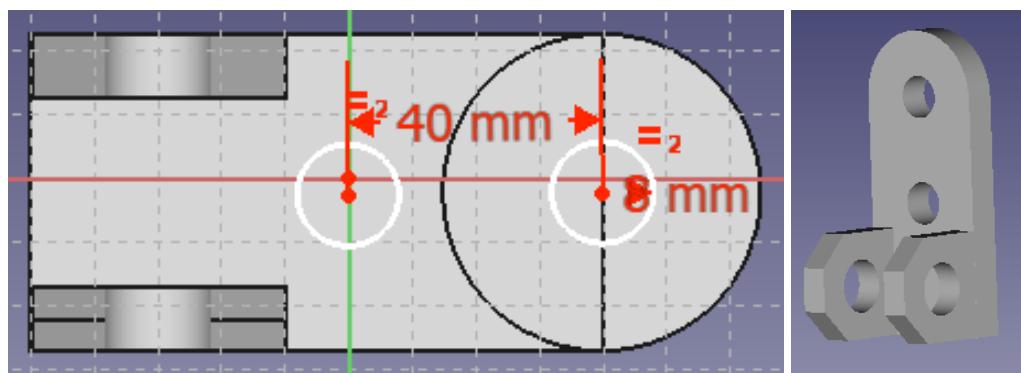


Faites bien attention à ce que la forme soit bien fermée, c'est-à-dire à ce que tous les points soient bien liés, sinon on ne pourra pas faire de cavité. Si ceux-ci ne le sont pas (déplacez légèrement chaque point pour vérifier), vous pouvez sélectionner les deux points à lier en cliquant sur chacun d'eux et utiliser l'outil "Coïncidence".

Une fois la forme effectuée, vous pouvez cliquer sur l'outil "Cavité" et choisir pour type "À travers tout". Cela permet de tailler les coins de nos cuboïdes. Pour faire les trous dans les cuboïdes comme sur la photo à droite, le principe est à peu près le même. On sélectionne la face extérieure d'un des cuboïdes, on dessine un cercle de 10 mm de rayon au milieu de cette face puis on applique une cavité de type "À travers tout".

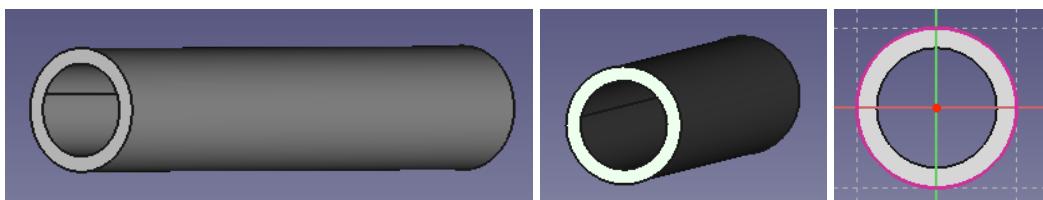


Il nous reste les deux trous sur la pièce principale à effectuer. On sélectionne la face avant de notre pièce. Le trou le plus haut (ici le plus à droite) a le même centre que le cylindre de notre pièce principale et a pour rayon 8 mm. Notre deuxième trou a le même diamètre que ce premier trou et se situe à 40 mm de celui-ci : on crée une contrainte d'égalité entre les deux cercles pour fixer le même rayon et on utilise l'outil "Dimensionnel" pour fixer la distance. Pour finir, on utilise l'outil de cavité type "à travers tout" pour faire nos trous. La pièce mécanique est terminée.

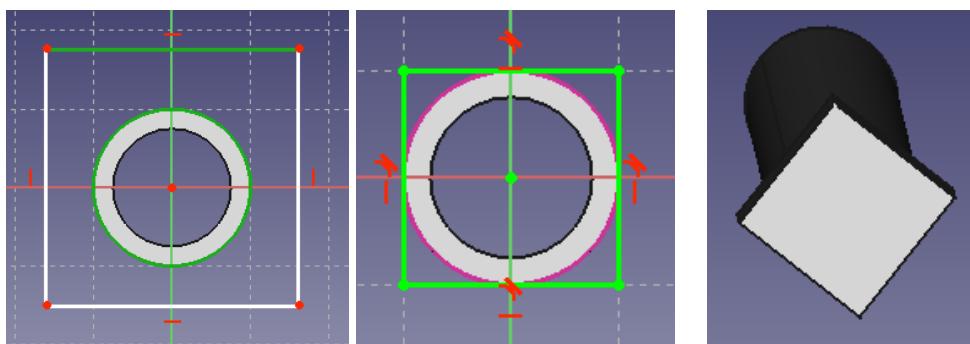


d) Modélisation d'un tube percé

Nous commençons par faire un cercle de 7,5 mm de rayon dans un cercle de 10 mm de rayon. Nous appliquons ensuite une protrusion de 110 mm. Nous obtenons un tube de 110 mm de long et de 20 mm de diamètre. Pour percer ce tube, il est impossible de sélectionner le tour du cylindre et de créer une nouvelle esquisse. Il nous faut une surface plane. Nous devons donc faire appel à la géométrie externe.



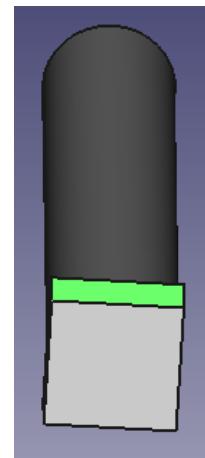
On sélectionne la surface plane de notre tube comme sur la photo ci-dessus et on crée une nouvelle esquisse. On sélectionne l'outil de géométrie externe et on clique sur le cercle extérieur. Celui-ci devient violet. On dessine ensuite un carré ou un rectangle autour de notre cercle. La taille n'a pas d'importance puisque nous allons connecter chaque côté de notre carré au cercle violet.



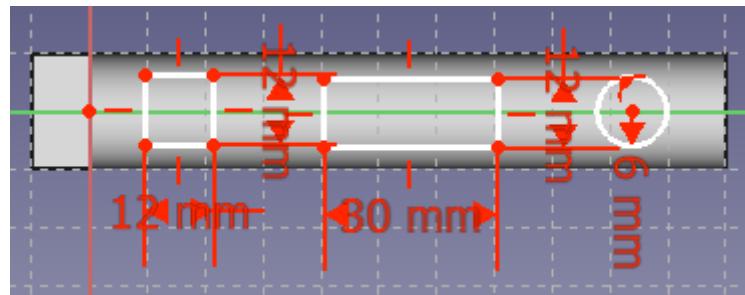
On sélectionne un côté et le cercle violet puis on clique sur l'outil “Tangente”. On refait la même chose pour chaque côté du carré jusqu'à ce que celui-ci soit complètement vert.

On applique ensuite une protrusion à ce carré. Encore une fois, la longueur de la protrusion n'a pas d'importance puisque ce cuboïde nous permet de percer le tube et sera effacé une fois les trous effectués.

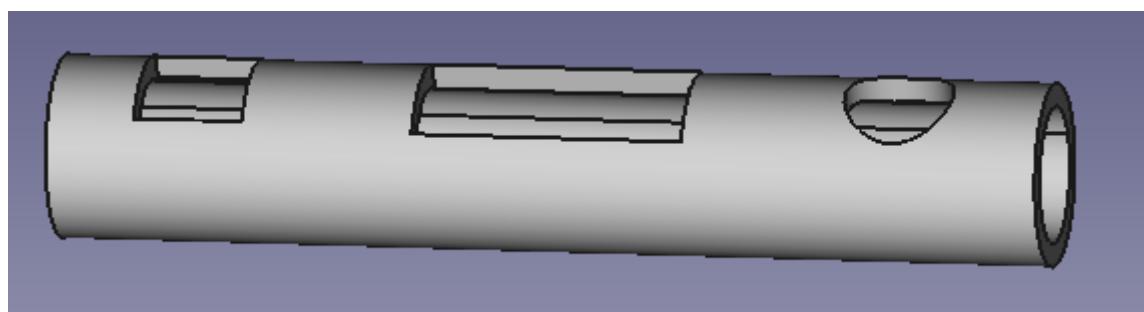
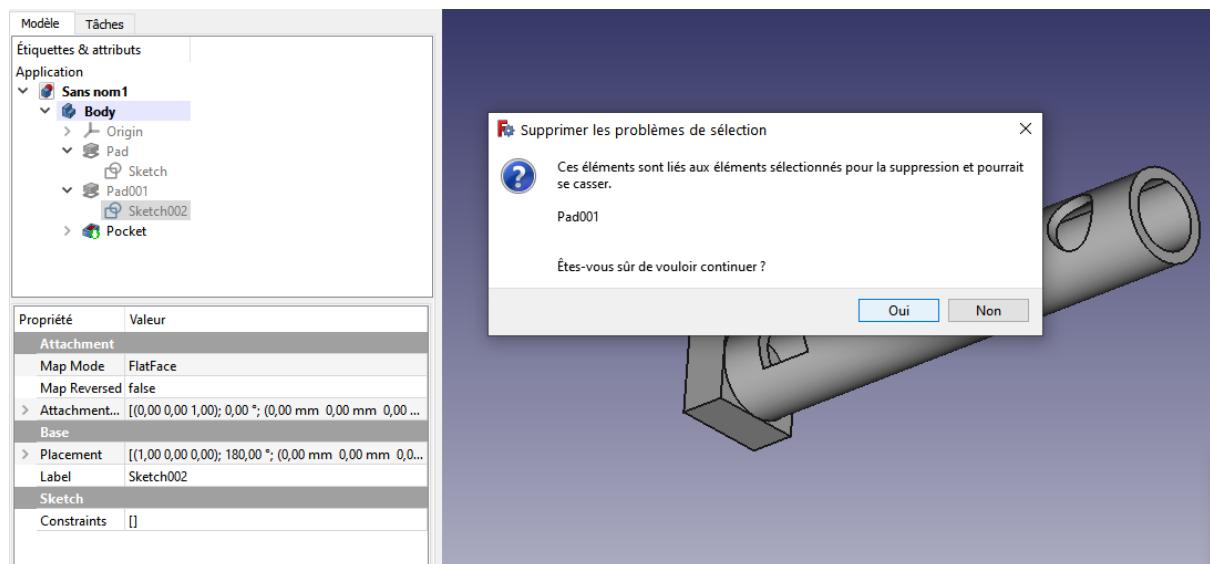
Enfin, on sélectionne une des épaisseurs de notre cuboïde et on crée une nouvelle esquisse.



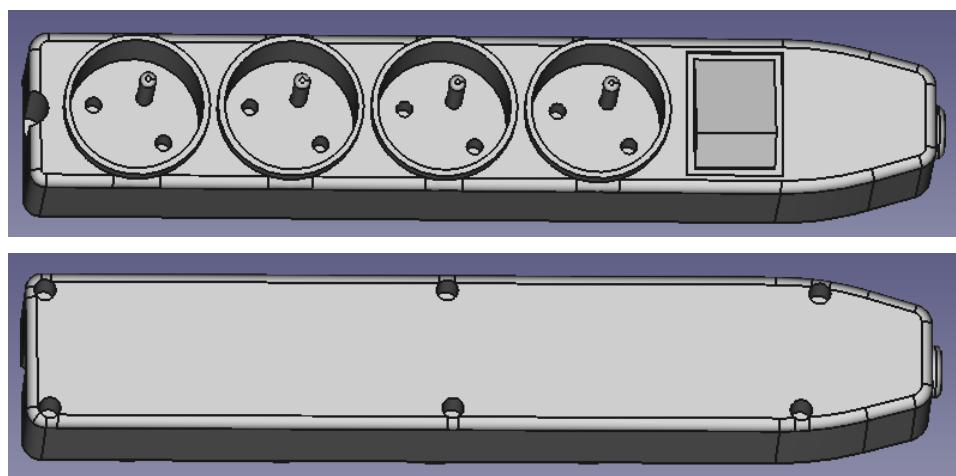
On peut ensuite percer notre tube. On dessine différentes formes sur le tour de notre cylindre en utilisant l'axe vert comme repère. J'ai choisi de faire un carré de 12x12 mm, un rectangle de 30x12 mm et enfin un cercle de 12 mm de diamètre. Pour fixer le centre du cercle sur l'axe vert, on sélectionne le point qui correspond au centre du cercle et l'axe puis on clique sur l'outil "Point sur objet". Vous pourrez déplacer le cercle le long de l'axe mais jamais le quitter.



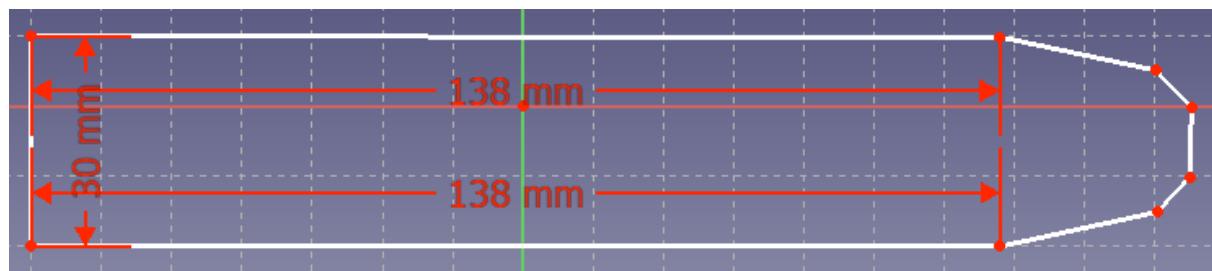
Ensuite, on crée une cavité et on n'a pas besoin de modifier les données. Notre tube est percé sans pour autant que les trous le traversent. Enfin, on peut effacer le cuboïde en supprimant le Pad001 et le Sketch002 (clic droit + effacer ou touche suppr puis "Oui"). Notre tube percé est terminé.



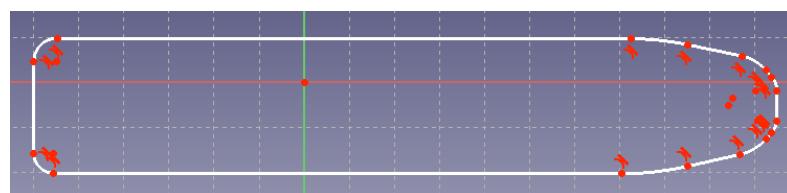
e) Modélisation d'une multiprise



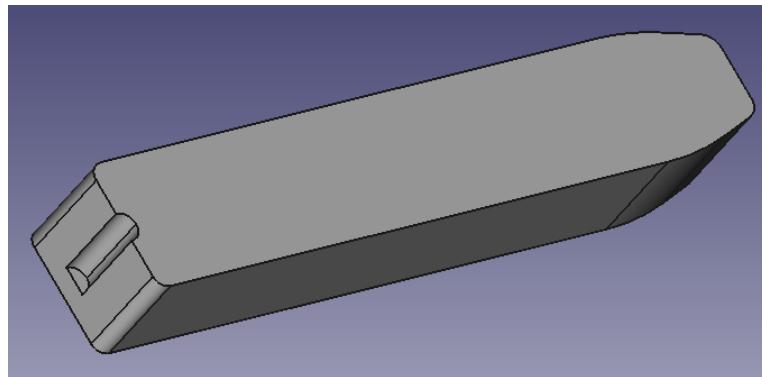
Tout d'abord, nous faisons la forme générale de notre multiprise. On crée une nouvelle esquisse et on fait la forme ci-dessous avec l'outil “Polyligne”. Si vous faites la forme en plusieurs fois (vous quittez et reprenez l'outil plusieurs fois) veillez bien à ce que tous les points soient connectés. S'ils ne le sont pas, sélectionnez les deux points à connecter, cliquez sur la contrainte “coïncidence” puis réajustez votre forme.



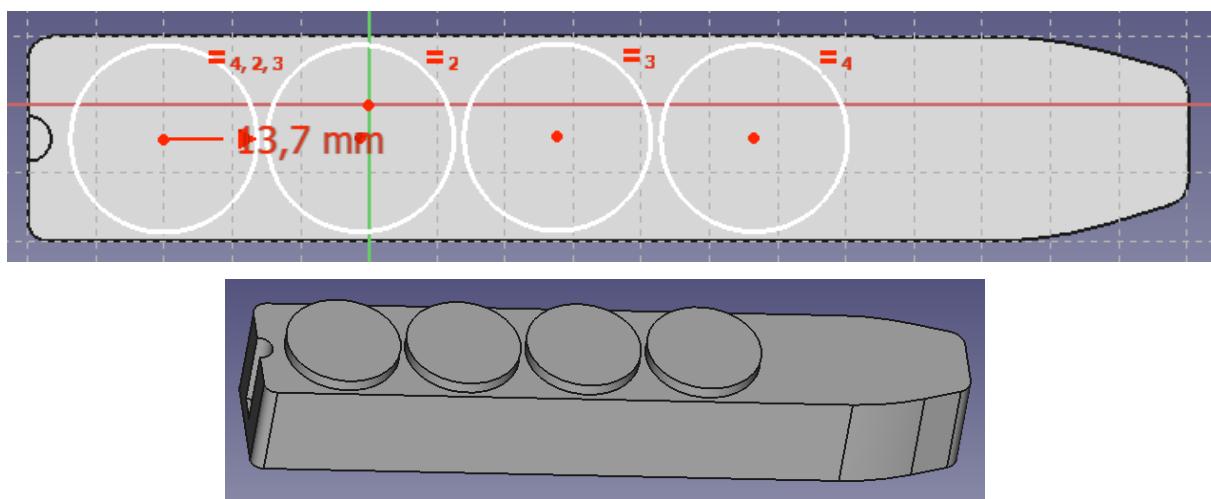
Nous sélectionnons ensuite l'outil “Congé” et nous cliquons à un endroit sur chacune des deux lignes entre lesquelles on veut effectuer une courbe. Attention, plus vous choisissez un endroit “loin” sur les lignes et plus la courbe sera importante. Par exemple, pour créer une petite courbe comme à gauche de notre modèle, restez relativement proche du point au niveau de l'angle. Une fois que vous êtes satisfait de la forme générale, vous pouvez appliquer un padding de 25 mm.



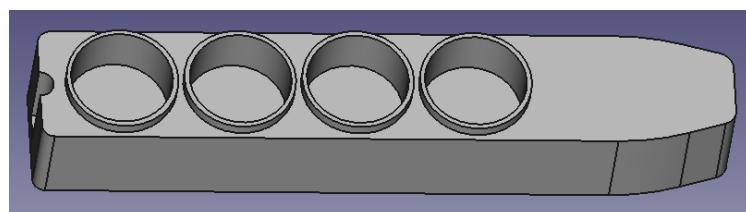
Nous sélectionnons la face de notre multiprise et tout à gauche et au milieu nous faisons un demi-cercle (le point du cercle est sur la ligne) de 3,3 mm de rayon puis on y applique une cavité de 20 mm.



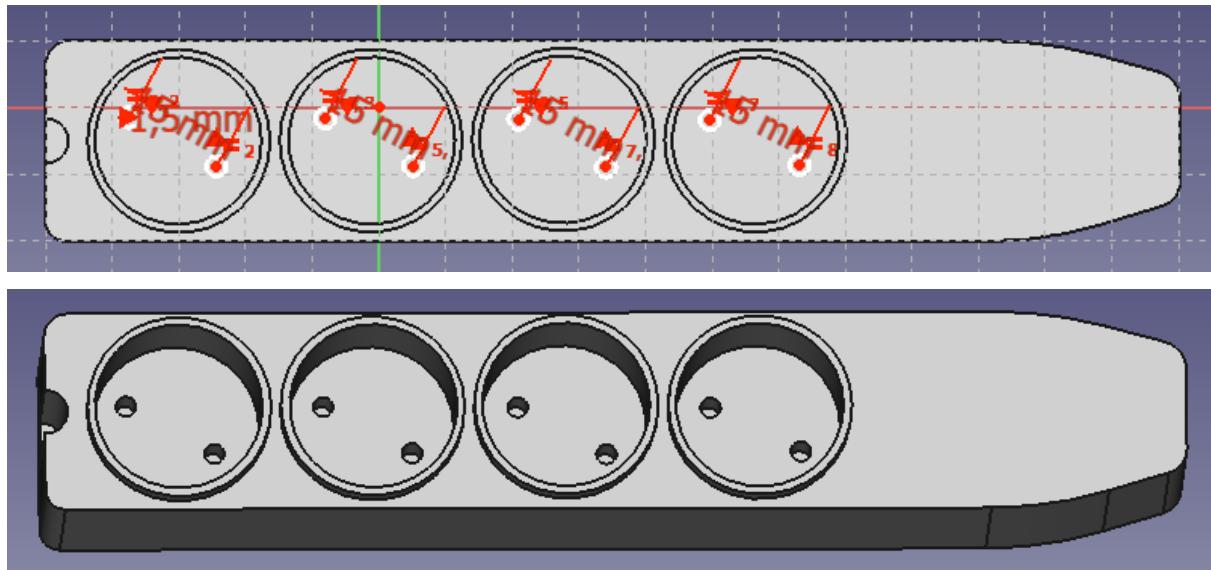
Nous sélectionnons à nouveau la face de la multiprise et cette fois-ci nous faisons 4 cercles de 13,7 mm de rayon et peu distancés les uns des autres. Vous pouvez dessiner un cercle, fixer son rayon, puis dessiner les 3 autres cercles et créer des contraintes d'égalité avec le premier. On y applique ensuite un padding de 3 mm.



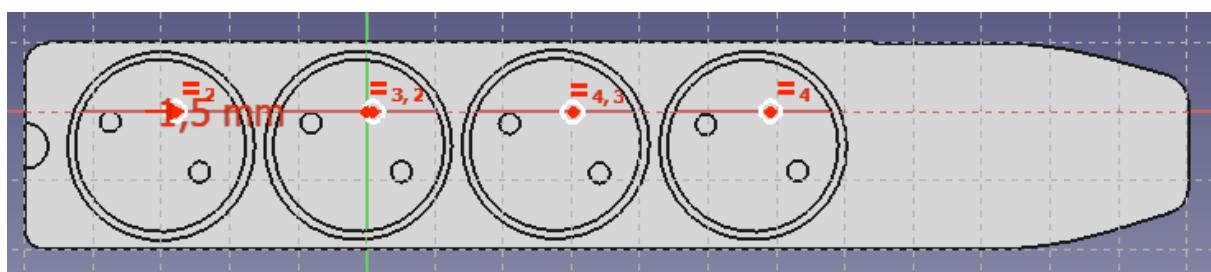
A l'intérieur de ces mêmes cercles, nous faisons des cercles plus petits de 12,5 mm de rayon puis nous appliquons une cavité de 14 mm.



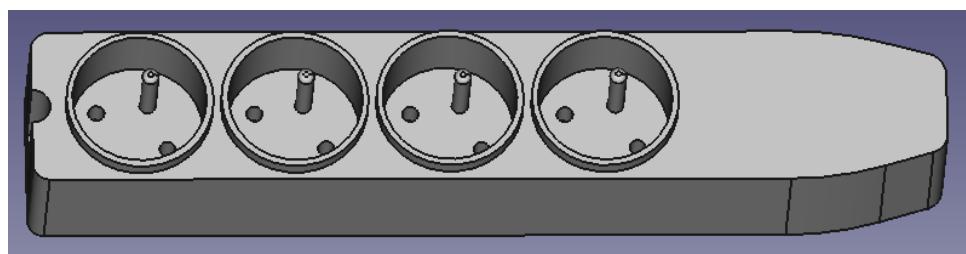
Nous allons maintenant faire le trou des prises. Pour cela nous sélectionnons la face de la multiprise. A l'intérieur de chaque cavité, à peu près au niveau du diamètre le plus large du cercle, nous faisons deux petits cercles de 1,5 mm de rayon séparés de 15 mm. N'oubliez pas d'utiliser l'outil de contrainte d'égalité pour effectuer des cercles identiques.



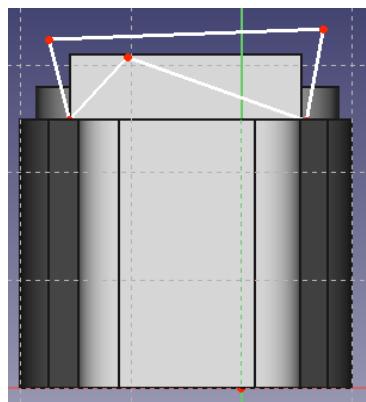
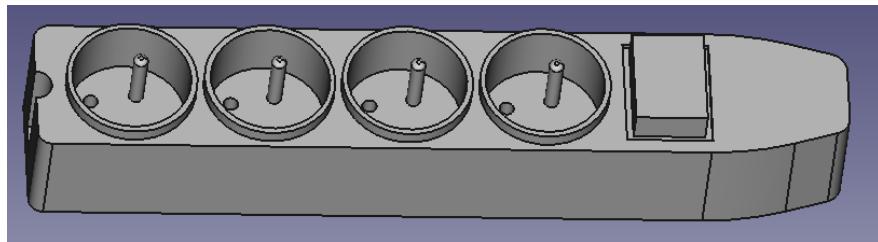
On effectue ensuite les broches de terre. Pour cela, dans chaque cavité et légèrement au-dessus et entre les deux trous que nous venons d'effectuer, nous dessinons un cercle de 1,5 mm de rayon. Nous faisons ainsi pour les 3 autres cavités puis nous appliquons un padding de 14 mm.



On obtient des cylindres dont on peut sélectionner l'arête en haut pour appliquer un congé de 1 mm.



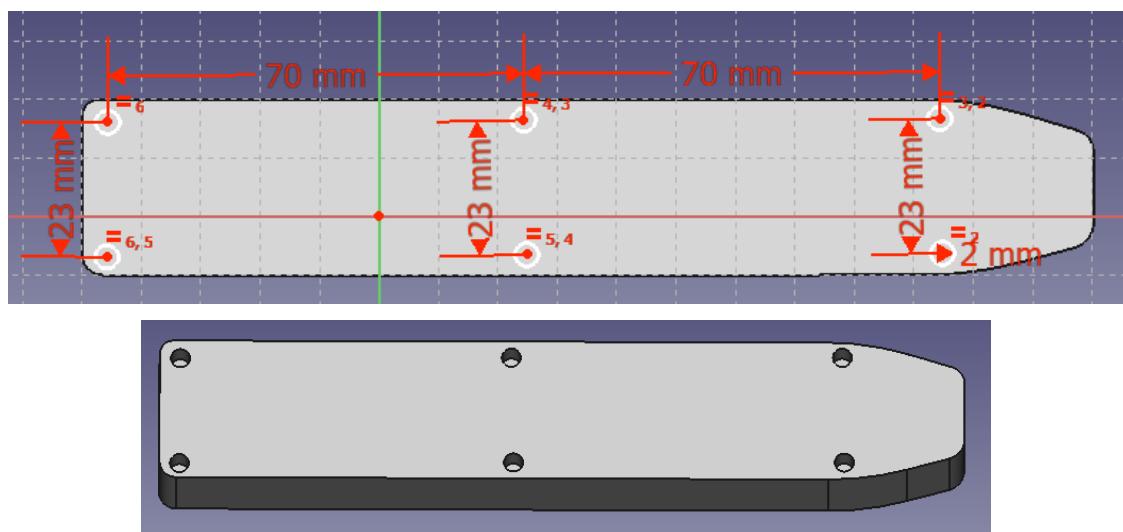
Nous pouvons maintenant faire l'interrupteur de notre multiprise. On fait un rectangle vertical de 18x24 mm à côté de notre 4ème prise puis on lui applique une cavité de 1 mm. A l'intérieur de ce même rectangle, nous faisons un rectangle plus petit de 15x21 mm puis nous lui appliquons un padding de 7 mm.



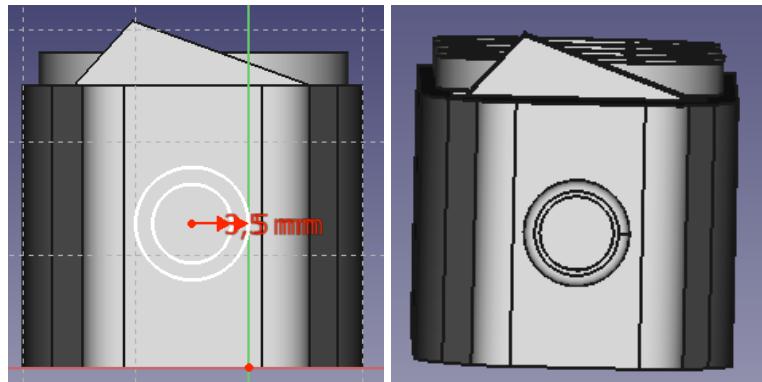
Pour faire la forme du bouton de l'interrupteur nous prenons le côté latéral droit de notre pavé droit. A l'aide de l'outil “Polyligne”, nous pouvons dessiner la forme que nous allons creuser pour ne laisser que le bouton, comme ci-dessous.

Veillez bien à ce que tous les points de la forme soient liés, que les points du bas soient légèrement cachés et que le point au sommet du bouton soit bien placé sur notre pavé. On applique ensuite une cavité de 15 mm.

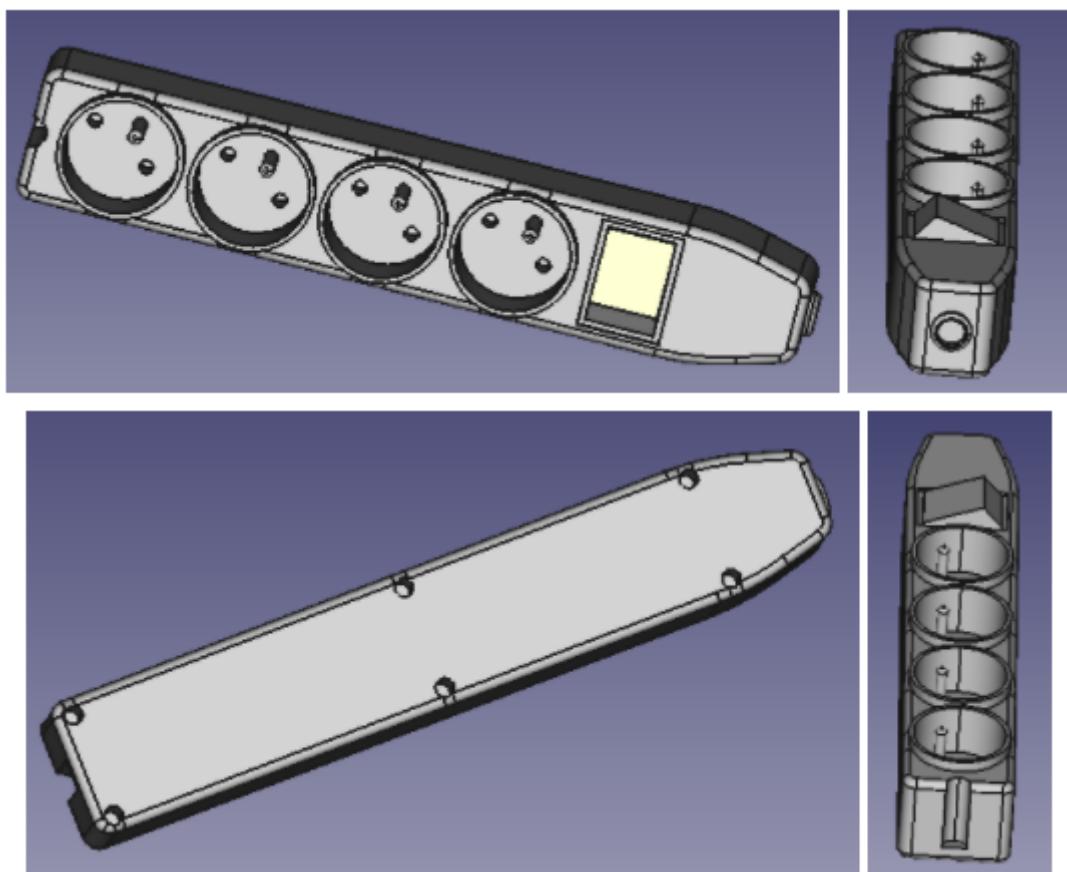
Le haut de notre multiprise étant terminé, nous pouvons faire le bas et l'avant. Prenez la face du bas de votre multiprise et faites 6 cercles soit 3 en haut et 3 en bas de 2 mm de rayon à équidistance les uns des autres (distance entre le trou du haut et le trou du bas de 23 mm et distance entre deux trous d'une même ligne de 70 mm). Vous pouvez ensuite appliquer une cavité de 8 mm.



Enfin il nous reste à faire l'avant de la multiprise (vue droite sur notre modélisation). C'est de là que part le fil électrique. On sélectionne la face droite de notre multiprise. On fait deux cercles l'un dans l'autre, un de 5 mm et un de 3,5 mm. On applique un padding de 2 mm, on sélectionne les deux arêtes de notre cylindre et on applique un congé de 1 mm.



Il ne nous reste plus qu'à sélectionner les arêtes des faces du dessus et du dessous de notre multiprise puis d'y appliquer un congé de 2 mm. Notre multiprise est terminée.



f) Modélisation d'un porte-clé "HELLO" : version 1

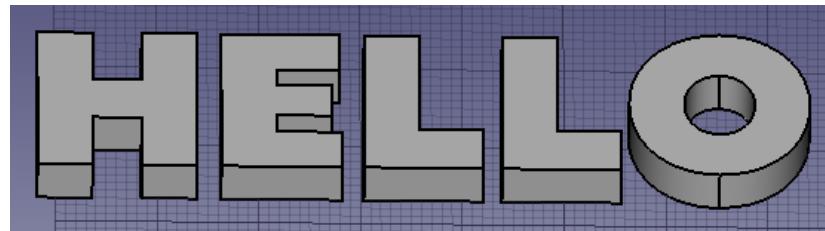
Pour insérer du texte dans notre modélisation, il faut tout d'abord télécharger un fichier de police. Vous pouvez aller sur ce lien : [Basic fonts](#) et télécharger le dossier "MADE Tommy". Une fois téléchargé, je vous conseille de renommer ce dossier en "Police" et de le placer sur votre bureau.

Dans FreeCAD nous allons dans l'atelier "Draft" et nous cliquons sur l'outil "Crée une forme à partir d'une chaîne textuelle".

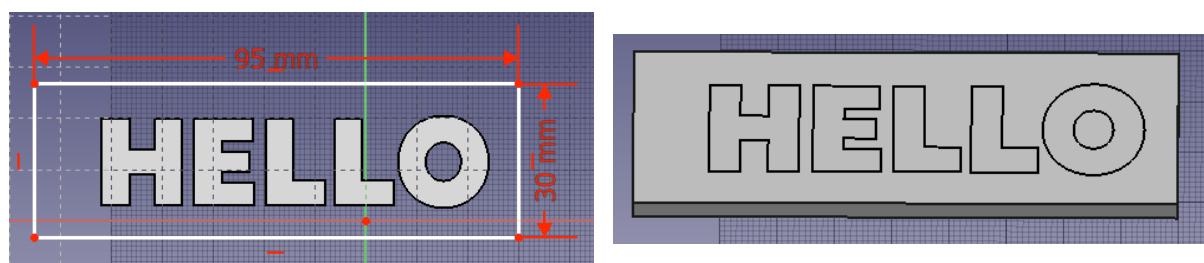
A côté de "Chaîne" nous pouvons mettre le texte que nous souhaitons insérer, ici "HELLO" et nous sélectionnons un fichier de police, ici "MADE TOMMY Black_PERSONAL USE.otf".



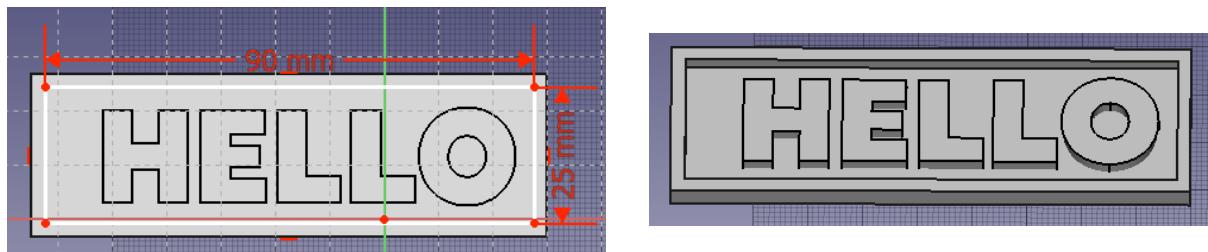
Ensuite nous allons dans l'atelier "Part", on sélectionne "ShapeString", on clique sur l'outil "Extrusion" et à côté de "Le long de :" on rentre 5 mm. Les lettres ont ainsi pris 5 mm d'épaisseur.



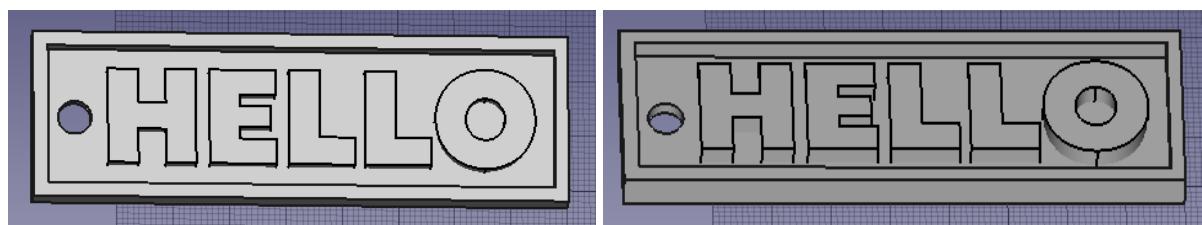
On se rend dans l'atelier PartDesign pour faire le reste du porte-clé. Tout d'abord, nous créons un rectangle légèrement décalé vers la gauche de 95x30 mm autour de notre mot. De cette manière nous avons un peu d'espace pour faire un trou pour l'anneau. On y applique une protrusion de 5 mm.



Ensuite, au sein de ce premier rectangle, on crée un deuxième rectangle plus petit de 90x25 mm. On y applique cette fois-ci une cavité de 3 mm.



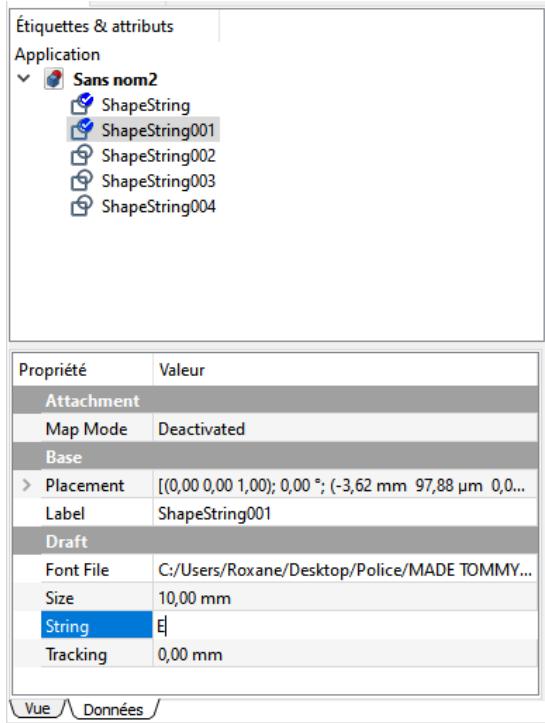
Enfin, à gauche du H, on fait un cercle de 3 mm de rayon et on fait une cavité qui traverse tout. Le diamètre du trou est actuellement trop large mais proportionnel à notre objet. Nous verrons que lorsque notre fichier de modélisation sera exporté vers Cura, le logiciel d'impression, nous pourrons réduire la taille de notre objet. Lorsque celui-ci sera imprimé, le trou de l'anneau ne sera plus trop large.



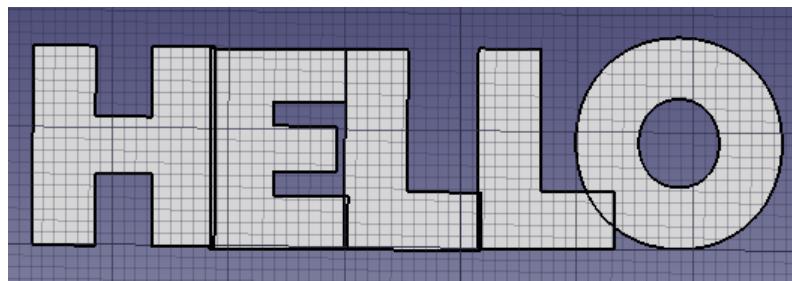
g) Modélisation d'un porte-clé “HELLO” : version 2

Nous allons faire une deuxième version d'un porte-clé “HELLO”. Nous retournons dans l'atelier “Draft”, nous reprenons l'outil “Formes à partir de texte” mais cette fois ci au lieu de rentrer “HELLO” en chaîne nous rentrons juste le “H”. Ensuite, nous copions-collons 4 fois l'élément ShapeString, ce qui nous fait au total 5 lettres pour “H-E-L-L-O”.

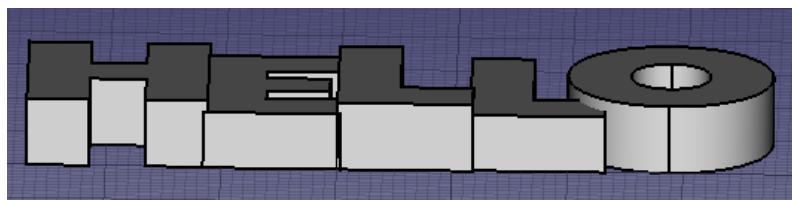
Lorsque l'on sélectionne le deuxième élément ShapeString, nous pouvons voir dans les données que nous pouvons modifier le “String” donc la chaîne de caractère. Vous pouvez changer le “H” en “E” et faire ainsi de suite pour chaque ShapeString afin d'avoir toutes les lettres de “HELLO”.



Une fois toutes les lettres créées, on peut prendre l'outil “déplacer” pour décaler les lettres. On sélectionne un des 5 éléments ShapeString, on clique sur l'outil “déplacer” et on clique sur la lettre avant de la déplacer. A l'impression, ces lettres doivent être collées. On doit donc les superposer légèrement lorsqu'on les mets les unes à la suite des autres, comme ci-dessous.

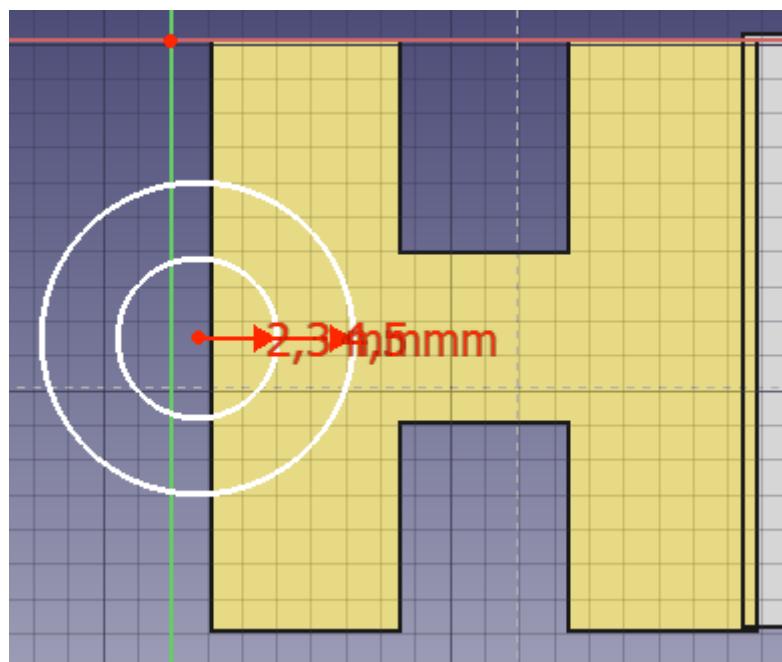


Ensuite on se rend dans l'atelier “Part”. On va extruder chacune des lettres une par une mais avec des épaisseurs différentes. Par exemple ici j'ai alterné pour chaque lettre : “H” à 6 mm, “E” à 5 mm, “L” à 6 mm, etc.

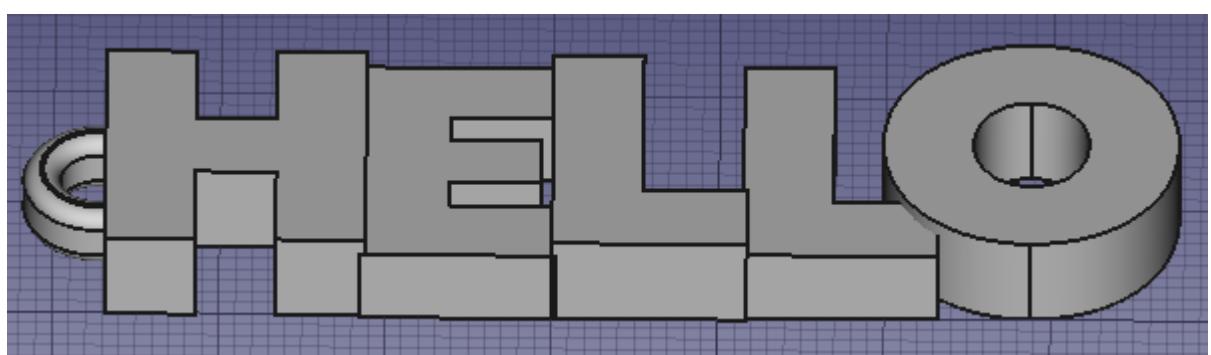


Il nous reste à faire la boucle de notre porte-clé. Toujours dans l'atelier “Part”, on sélectionne tous les éléments extrudés et on clique sur l'outil “crée un composé”. Ainsi, nos lettres ne forment qu'un seul et unique bloc. On va ensuite dans l'atelier “PartDesign”. On prend le bas (vue bottom) de notre bloc et on sélectionne la face du H puis on fait une nouvelle esquisse en créant une copie indépendante de notre lettre.

Légèrement à gauche de notre “H” on dessine un premier cercle de 4,5 mm de rayon et à l'intérieur de ce cercle un deuxième cercle de 2,3 mm de rayon.

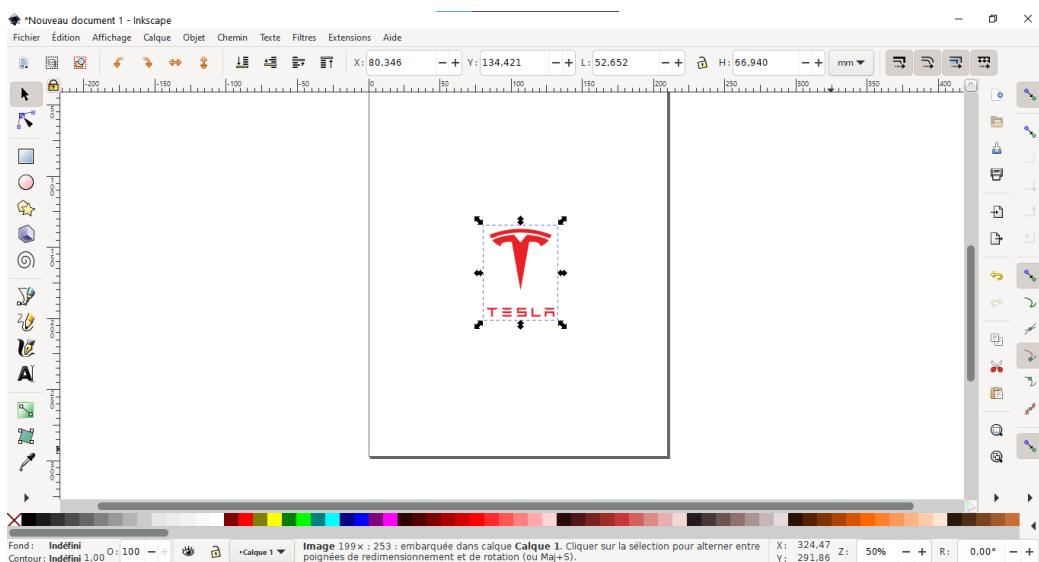


On applique une protrusion inversée de 4 mm. Enfin, on sélectionne toutes les arêtes de notre cylindre et on applique un congé de 1 mm. Notre deuxième version du porte-clé “HELLO” est terminée.

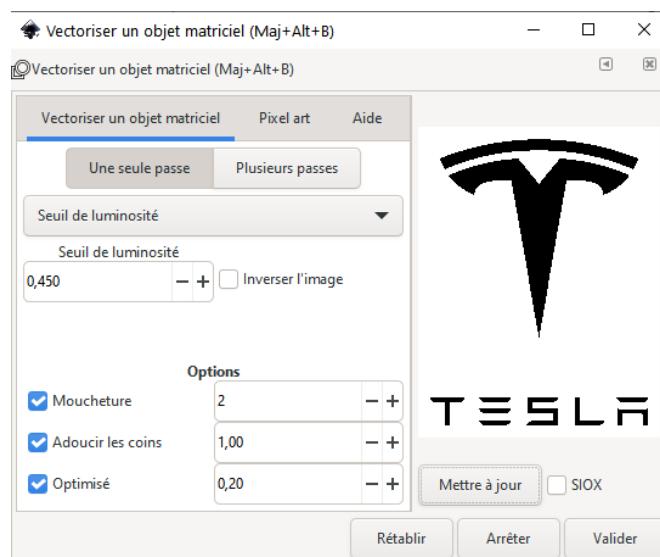


h) Modélisation d'un porte-clé avec un logo

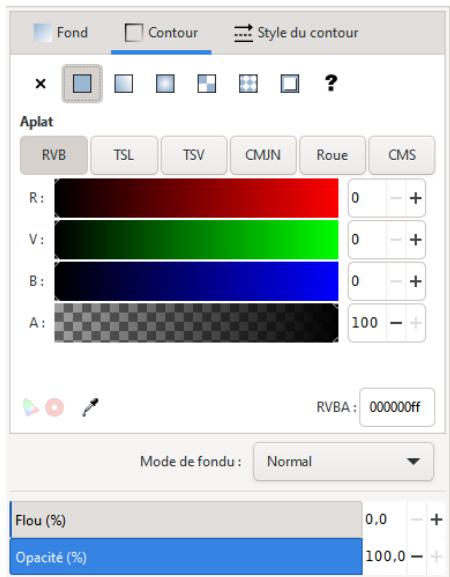
Pour cette modélisation, nous aurons besoin du logiciel Inkscape. Vous pouvez tout d'abord choisir un logo sur google image et le sauvegarder. Ouvrez le logiciel inkscape, glissez l'image du logo sur un nouveau document inkscape puis cliquez sur "OK".



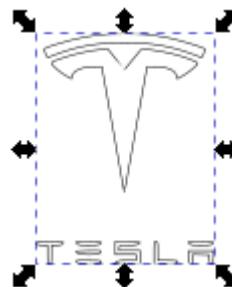
Ensuite, allez dans Chemin → Vectoriser un objet matriciel. Grâce à cet outil, les graphismes que l'on obtient peuvent être réduits ou agrandis à l'infini sans qu'on ait un phénomène de pixellisation ou de perte de définition : en résumé, quelle que soit la taille de votre dessin, il sera identique. Vous pouvez ajuster le seuil de luminosité à votre convenance puis cliquer sur "mettre à jour" pour voir les changements. Une fois satisfait, vous pouvez cliquer sur "Valider".



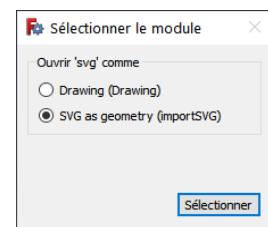
Vous obtenez une nouvelle image matricielle sur votre page. Vous pouvez décaler cette nouvelle image pour revoir celle d'origine et l'effacer, nous en aurons plus besoin. Tout en bas à droite, en dessous de la palette de couleur, vous avez "Contour : indéfini". Quand vous cliquez une fois sur "indéfini", une fenêtre s'affiche.



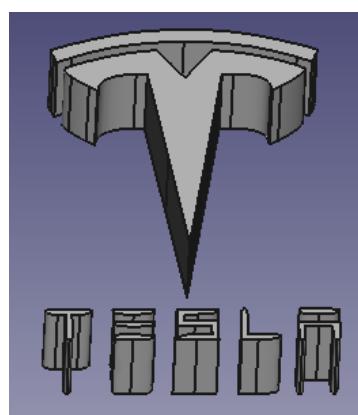
Sélectionnez le premier carré comme ci-contre et cliquez sur la croix tout en bas à droite au niveau de la palette de couleur. Cela permet de ne laisser que les contours de notre image matricielle.



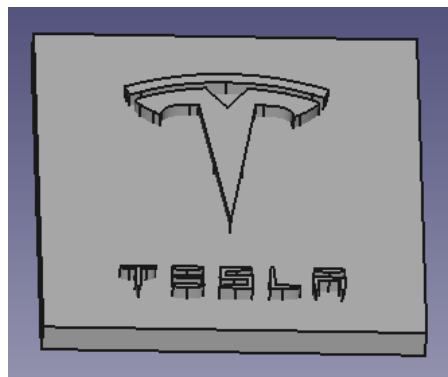
Vous pouvez maintenant enregistrer votre image matricielle au format .svg. Notre travail sur Inkscape étant terminé, nous pouvons ouvrir FreeCAD, glisser notre image .svg dans un nouveau document et sélectionner "Ouvrir 'svg' comme SVG as geometry (importSVG)".



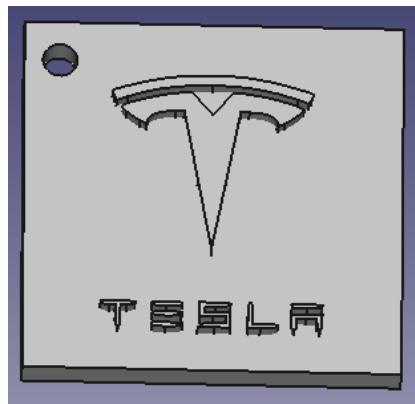
On va dans l'atelier "Part", on sélectionne tous les éléments de la fenêtre à gauche puis on clique sur l'outil "Créer un composé". On sélectionne le Compound qu'on vient de générer puis on va sur l'outil "Extrusion". On applique une extrusion de 15 mm.



On se rend ensuite dans l'atelier “PartDesign” pour faire le reste de notre porte-clé. On crée un carré de 110x110 mm (ou la forme et les dimensions de votre choix) autour de notre logo puis on lui applique un padding de 10 mm.

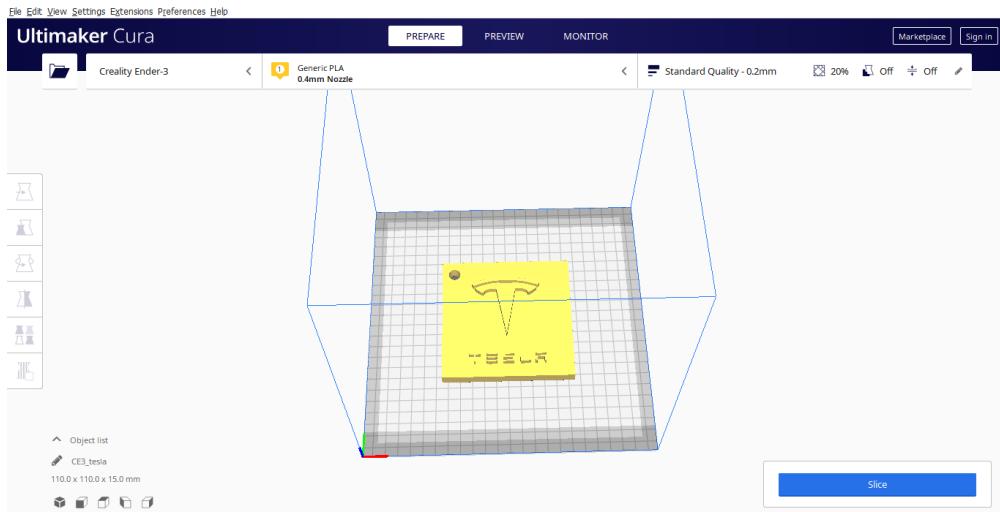


Enfin, on fait le trou pour l'anneau de notre porte-clé. On sélectionne la face de notre carré et on crée une nouvelle esquisse. Notre cercle sera dans le coin en haut à gauche, pas trop proche du bord, et fera 5 mm de rayon. On lui applique ensuite une cavité de type “A travers tout”. Notre porte-clé avec logo est terminé.



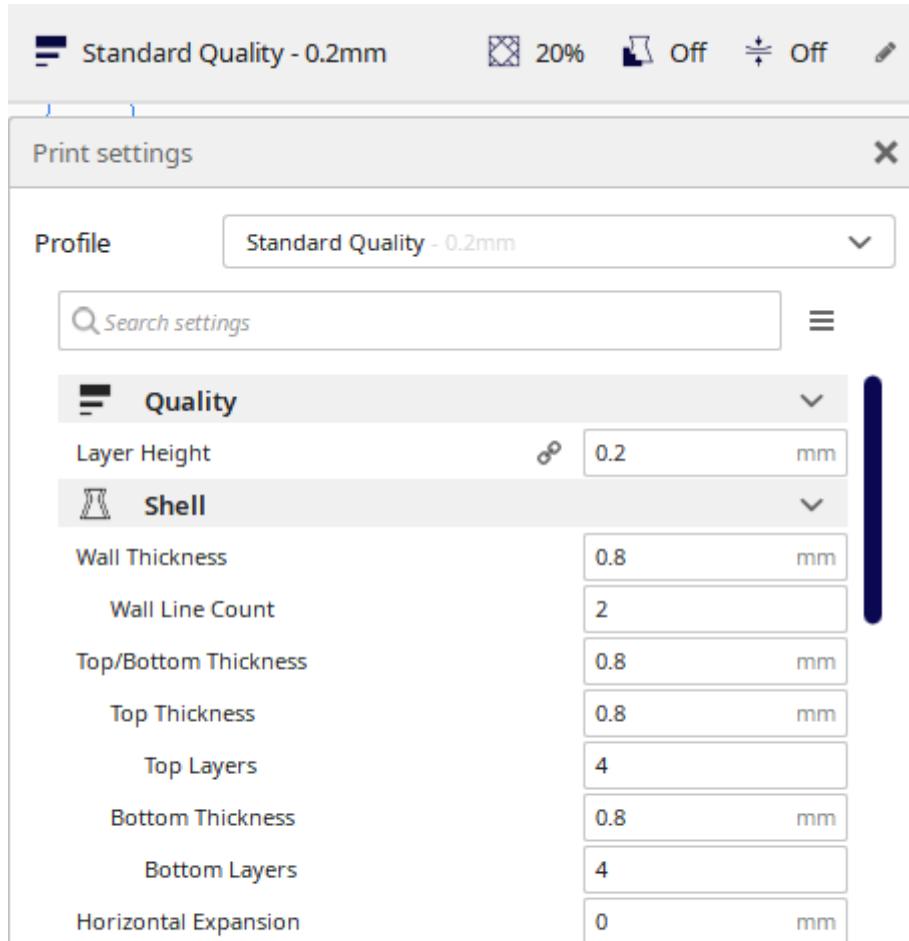
5) Préparer l'impression 3D

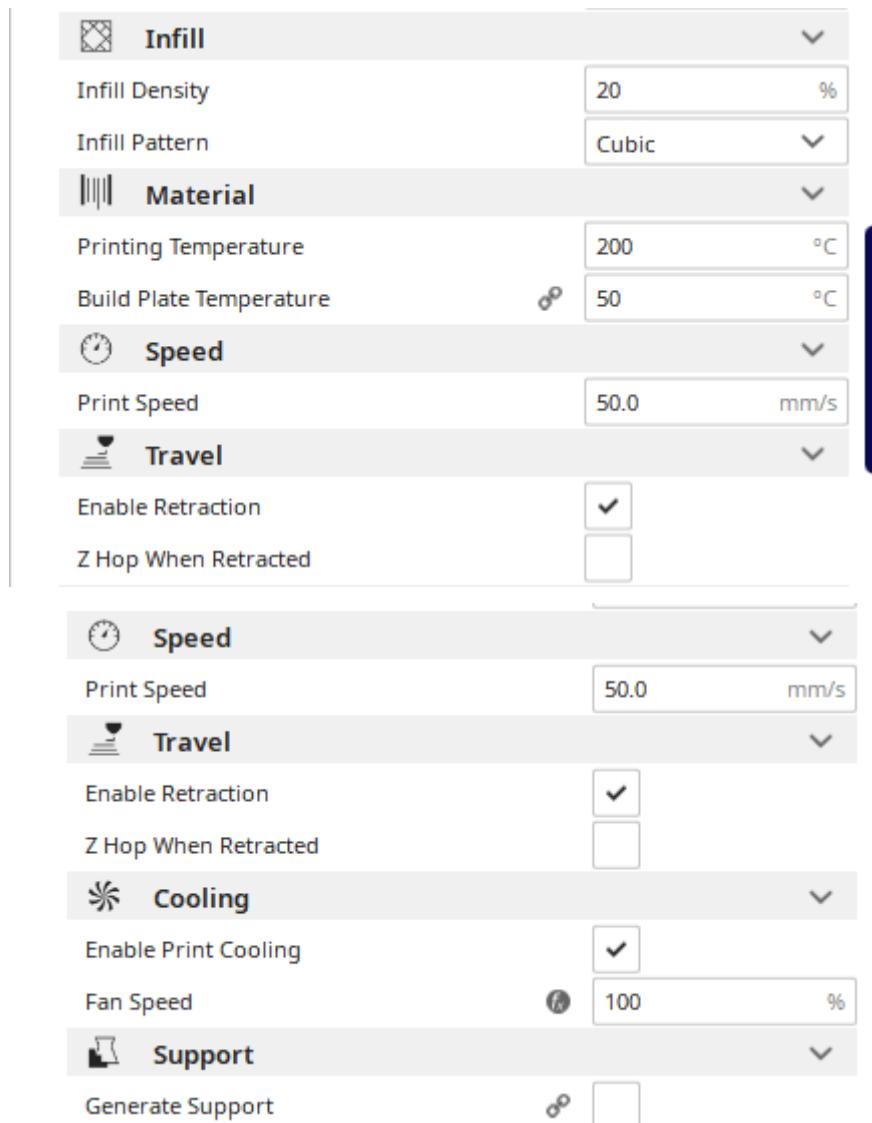
Une fois que la modélisation est terminée, vous pouvez exporter votre fichier en allant dans Fichier → Exporter. Vous obtiendrez un fichier au format .stl que vous pourrez ouvrir avec le logiciel d'impression Cura. C'est ce logiciel qui va nous permettre de paramétrier l'impression 3D et de générer un fichier compatible avec l'imprimante 3D.



Au milieu à gauche vous avez des outils pour contrôler votre objet. Nous nous intéresserons seulement aux trois premiers. De haut en bas, ces outils servent à déplacer l'objet, gérer sa taille et effectuer des rotations.

En haut à droite au niveau de “Standard Quality”, vous pouvez configurer votre impression. Voici ce que vous pouvez rentrer :

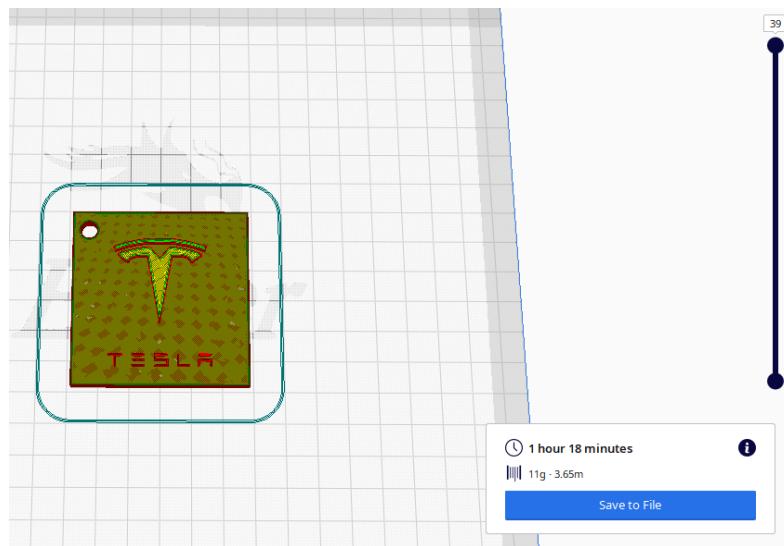




Modifiez les données en fonction de vos besoins (température d'impression et du plateau chauffant en fonction du matériel, vitesse d'impression). Certaines des données comme la température ou la vitesse d'impression seront encore modifiables une fois que le fichier aura été transmis à l'imprimante 3D.

L'option de générer un support est utilisée dans le cas d'un objet complexe. Vous avez l'option de générer un support partout où il est possible ou seulement là où il y a un contact avec le plateau. Ce ou ces supports seront imprimés avec l'objet pour le supporter et pourront être retirés une fois l'impression terminée.

Une fois que l'orientation et la taille de l'objet sont réglées et que la configuration de l'impression est faite, vous pouvez cliquer sur "Slice" en bas à droite. Cela va vous afficher la durée que va mettre l'imprimante à réaliser l'objet ainsi que la quantité de matière nécessaire.



Quand vous appuyez sur “Preview” vous pouvez voir l’objet tel que l’imprimante va le réaliser. Il est possible que si l’objet est trop petit certains détails disparaissent. Il vous faudra donc agrandir l’objet.

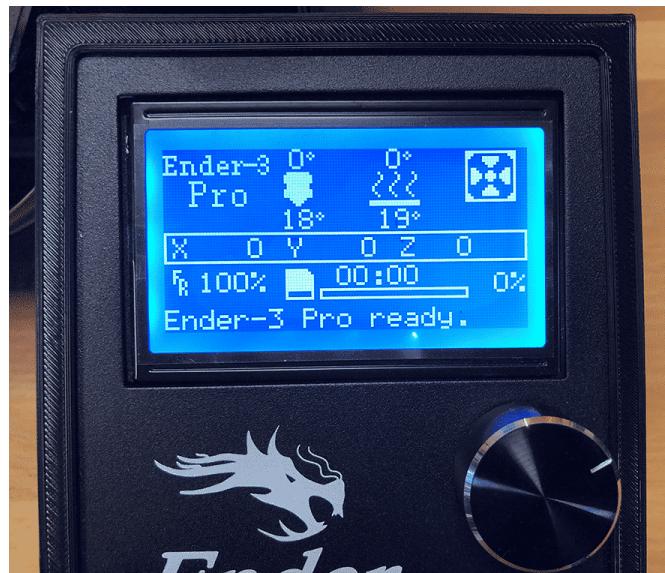
La barre verticale noire à droite est un outil de visualisation qui permet de voir exactement comment le modèle va être imprimé en scrollant à travers chaque couche. Il est conseillé d’utiliser cette visualisation avant chaque impression pour détecter les défauts dans le modèle ou l’impression.

Une fois avoir vérifié que l’objet dans le preview corresponde à vos attentes, vous pouvez exporter le document. Vous obtiendrez un fichier au format .gcode que vous pourrez copier sur une carte SD.

6) Se connecter et préparer l’imprimante 3D

Une fois l’élément exporté sous le format .gcode, il faut le transférer sur une carte SD qui elle-même sera placée dans l’imprimante 3D. Ensuite, on place la bobine de matière sur son support puis on insère le filament dans l’extrudeur. Pour faciliter l’insertion, on coupe le bout du filament en diagonale.

Enfin, on peut initialiser l’imprimante 3D. Pour se faire, on utilisera uniquement le bouton noir en bas à droite sur l’image. On appuie sur le bouton une première fois pour afficher le menu, on tourne ce même bouton pour sélectionner l’option désirée affichée sur l’écran et on appuie à nouveau.



Initialisation de l'imprimante 3D :

- On appuie sur le bouton pour afficher le menu (main).
- On va sur “Control” puis sur “Temperature” pour appliquer des températures à la buse (nozzle) et au plateau (bed) ainsi qu'une puissance de ventilation (fan speed). La température de la buse et du plateau dépend de la matière utilisée. La puissance de ventilation doit toujours être à 255 soit 100%.
- On retourne sur le menu puis on va dans “Prepare” puis “Preheat PLA” et enfin “Preheat PLA” avant de retourner sur le menu.
- On retourne dans “Prepare” et cette fois-ci on choisit “Auto home”. Cette fonction bloque le moteur dans sa position initiale.
- On va dans TF card pour sélectionner notre fichier .gcode. L'impression se lance immédiatement après.
- Il faut retourner dans “Temperature” pour remettre la ventilation à 100% puisque celle-ci redescend à 0 une fois l'impression lancée.

Autres possibilités d'initialisation :

- Dans “Prepare” il y a l'option “Disable Steppers”. Cela permet de débloquer le moteur lorsqu'il est par exemple dans sa position initiale suite à la fonction “Auto home”.
- Également dans “Prepare” puis dans “Move axis” on a des options de déplacements manuels sur l'axe x, l'axe y et l'axe z ainsi que l'option de déplacer l'extrudeur sur ces mêmes axes.

Découpe laser

1) Fonctionnement

La découpe laser est un type de traitement par séparation thermique. Le faisceau laser frappe la surface du matériau et la chauffe de manière à la faire fondre ou à la vaporiser complètement. La vapeur est éliminée par le tuyau bleu qui traverse le mur à l'arrière de la machine. Une fois que le faisceau laser a complètement pénétré le matériau à un endroit, le véritable processus de découpe commence. Le système laser suit la géométrie sélectionnée et sépare le matériau lors du traitement.



Les avantages de la découpe laser :

- Convient à de nombreux types de matériaux
- Aucun post-traitement n'est nécessaire
- Haute précision
- Pas d'usure des outils

A côté et directement connecté à notre machine de découpe laser nous avons un refroidisseur à eau qui permet de refroidir le tuyau de fibre optique à l'arrière de la machine. Nous avons un écran qui nous affiche la température de l'eau en °C et deux voyants, un voyant vert qui nous indique que le refroidisseur est fonctionnel et que l'eau (déminéralisée) n'a pas encore besoin d'être remplacée. Autrement c'est le voyant rouge qui s'allume.

Les matériaux qui peuvent être découpés au laser sont divers. On retrouve notamment plusieurs formes de plastique, du bois, du papier, du cuir, du tissu, du liège, du carton et même des feuilles de métal de moins de 0,5 mm d'épaisseur. Les matériaux qui vont nous intéresser sont le plexiglas, un plastique dur transparent qui imite le verre, et le carton.

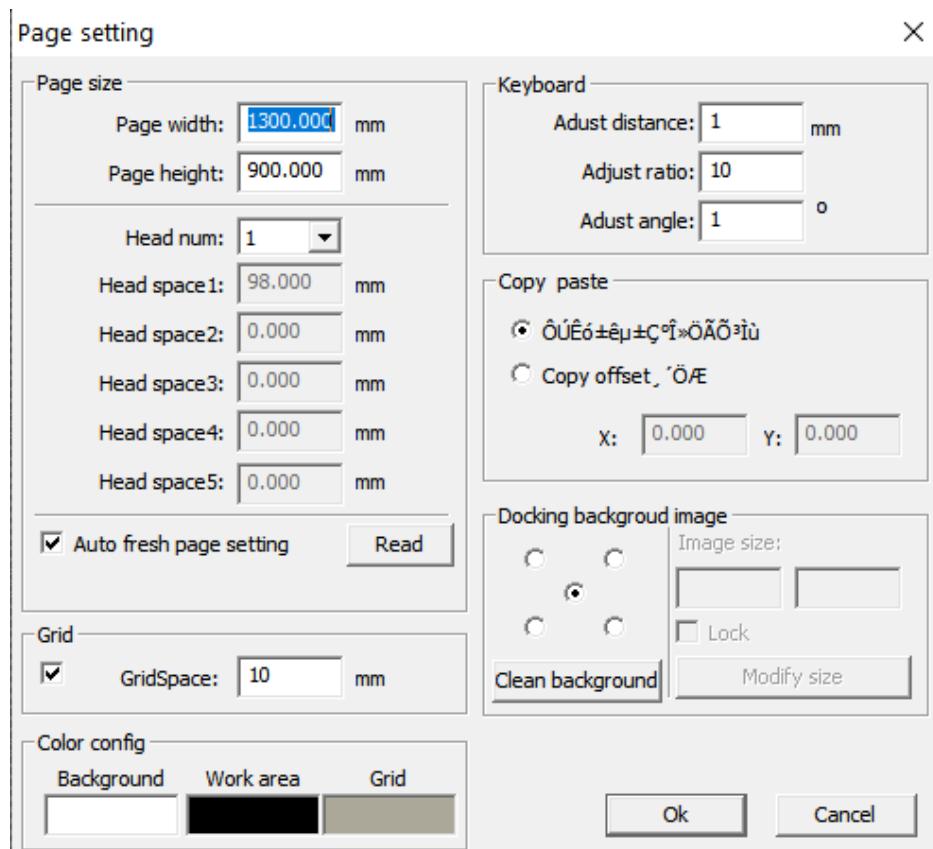
2) Utilisation

Logiciels à utiliser :

- RdWorks V8 : on vous transférera un dossier “découpe laser” contenant le logiciel ou vous pouvez l’installer ici : [rdworks](#)
- Inkscape



Quand on ouvre RdWorks on tombe sur un quadrillage qu’on règle dans “Config(S)” de la manière suivante :



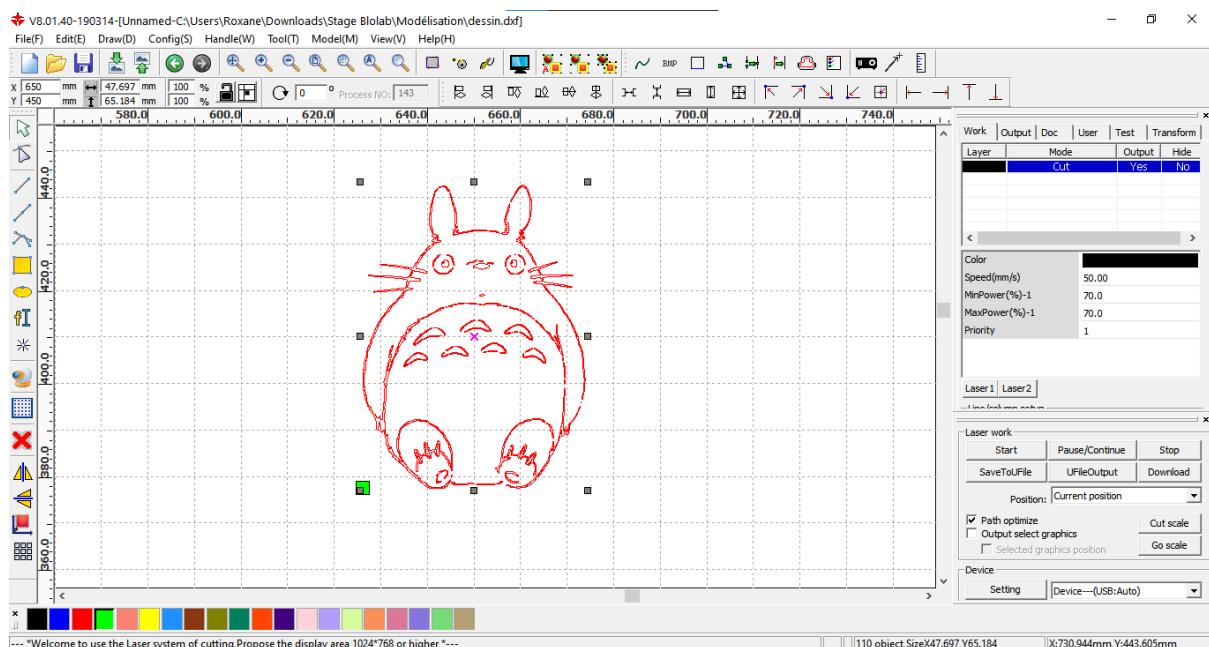
a) Exemple 1 : gravure sur carton

Nous allons réaliser une découpe de dessin sur carton :

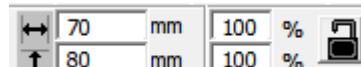
Pour cela, nous devons tout d'abord aller sur le logiciel inkscape. Nous refaisons toutes les étapes que nous avons déjà apprises mais au lieu d'enregistrer le fichier sous le format .svg on l'enregistre sous le format “Table traçante ou coupante (AutoCAD DXF R14) (*.dxf)”.



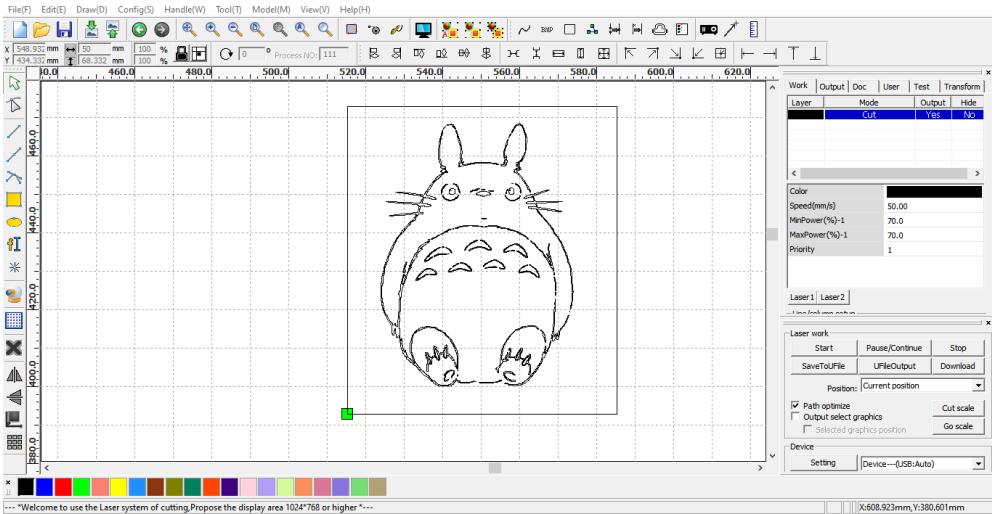
On se rend ensuite sur le logiciel RdWorks et on clique sur  qui permet d'importer l'image.



Nous pouvons faire un rectangle autour de notre dessin grâce à l'outil dans la barre d'outil à gauche (rectangle jaune). Un clic sur le rectangle permet de le sélectionner (il devient rouge). Nous pouvons ensuite modifier sa taille dans la barre d'outil du haut cette fois ci :



Vous fixez d'abord la largeur et la longueur puis vous cliquez sur le cadenas à droite pour fixer ces mesures (lorsque vous agrandirez le rectangle les mesures resteront proportionnelles). Si vous souhaitez à nouveau modifier les mesures de manière non proportionnelle, recliquez sur le cadenas.

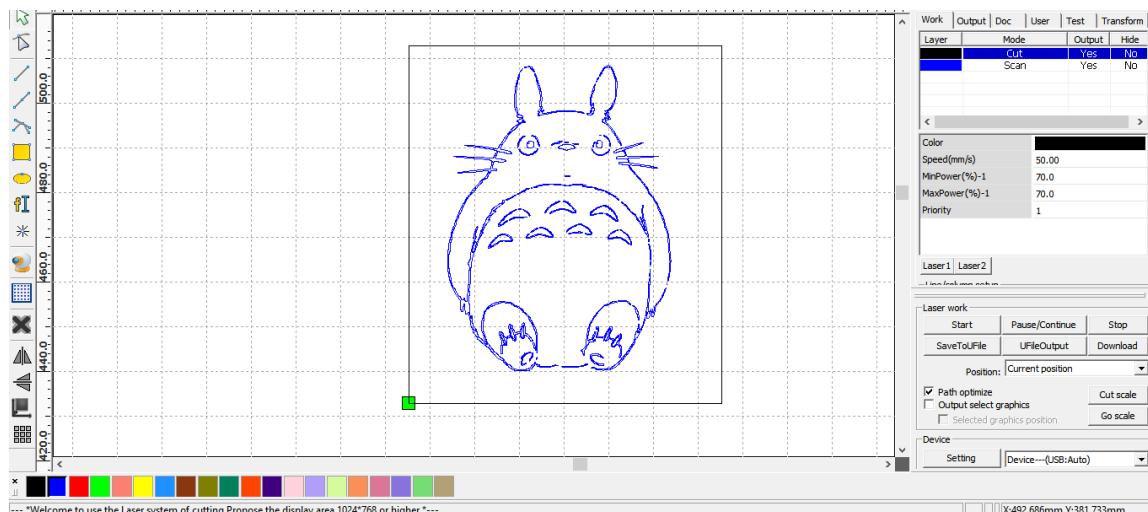


A droite nous avons cet écran qui nous indique les instructions pour chaque élément. Ici, la seule instruction est "cut" soit couper : le laser découpe tous les éléments.

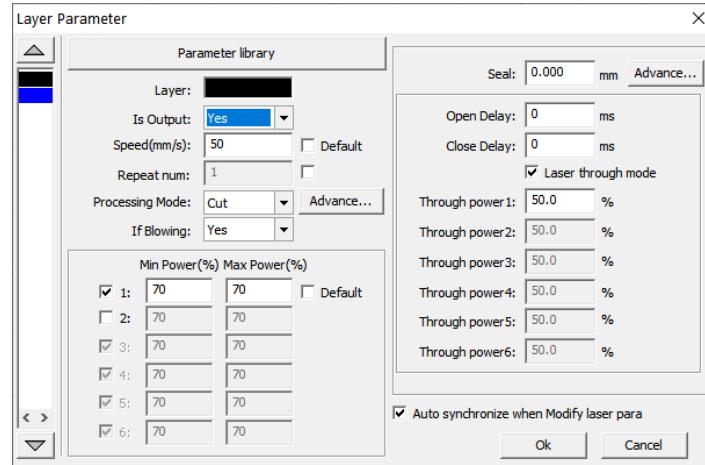
Layer	Mode	Output	Hide
Cut	Yes	No	

Or ce que nous voulons pour le dessin est l'instruction "scan" : le laser "creuse", pour graver des motifs dessus. Pour donner des instructions différentes à nos deux éléments nous devons appliquer un code couleur grâce aux couleurs en bas à droite (une couleur par instruction).

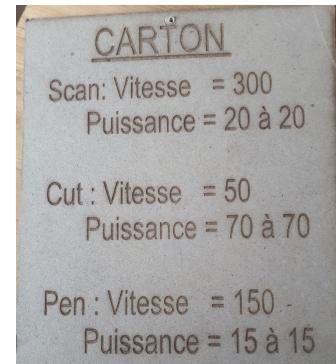
On sélectionne notre dessin en faisant glisser la souris d'un coin du dessin au coin opposé tout en maintenant le clic gauche de la souris. Faites bien attention à ce que tous les traits du dessin soient rouges et que le rectangle, lui, ne le soit pas. Une fois le dessin sélectionné, cliquez sur une des couleurs en bas à droite. Vous verrez cette couleur apparaître dans l'écran en haut à droite avec une nouvelle instruction qui est "scan".



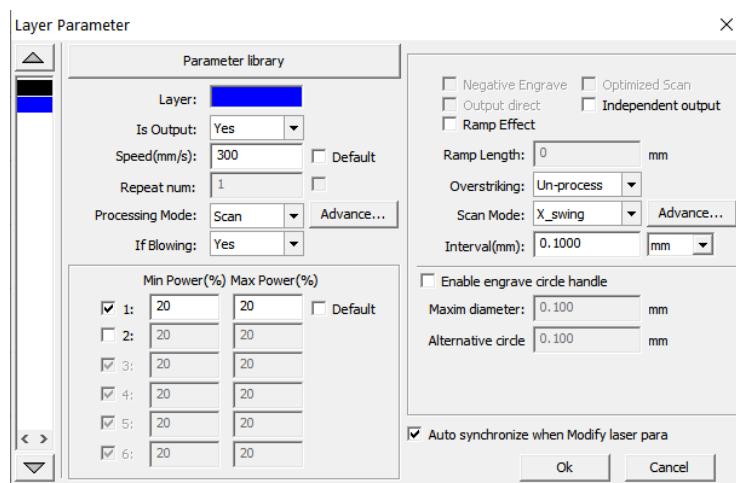
Il nous reste à configurer les instructions. On double clique sur une des deux couleurs dans l'écran. Une fenêtre s'affiche. Les données que nous allons changer sont la vitesse (“Speed(mm/s)”) et la puissance (“Min Power(%)” et “Max Power(%)).



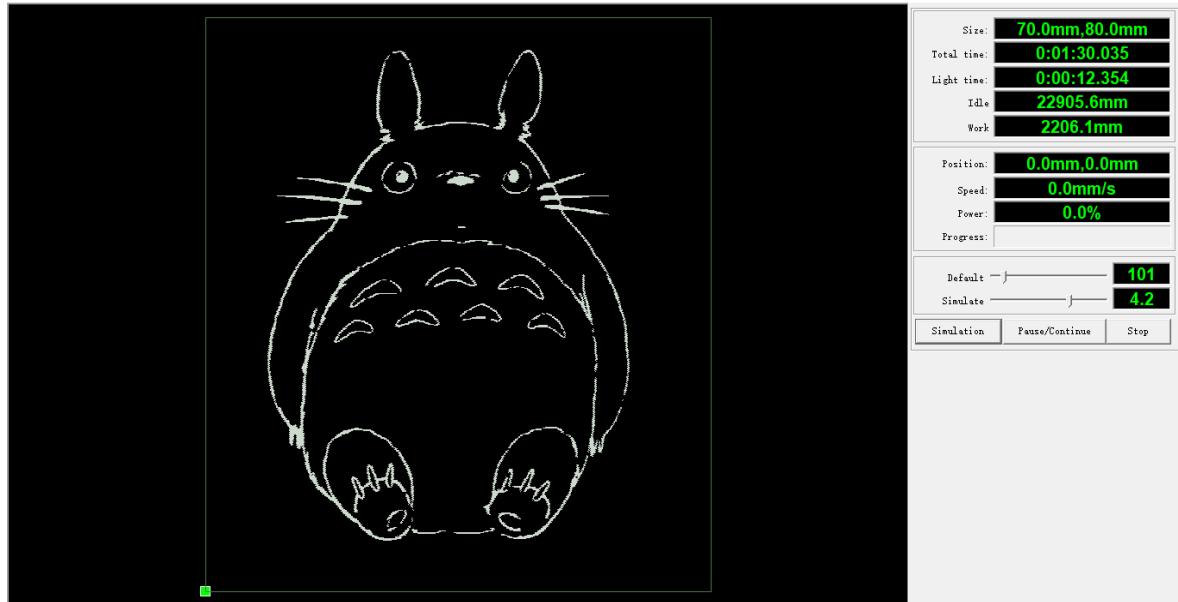
La puissance et la vitesse de découpe à utiliser varie selon les matériaux et selon les instructions. Pour savoir quelles sont les bonnes valeurs à rentrer pour la configuration, le BloLab a fait plusieurs tests sur chaque matériau et pour chaque instruction jusqu'à ce que le résultat soit satisfaisant. Vous avez ci-contre les données pour le carton.



Une fois les valeurs pour l'instruction “cut” rentrées, vous pouvez cliquer sur la deuxième couleur à gauche de la fenêtre, en l'occurrence ici la couleur bleue, et rentrer les valeurs pour l'instruction “scan”, puis cliquer sur “ok”.



Dans la barre d'outil en haut il y a un outil de preview  qui permet de voir une simulation de la découpe. Il est important de voir ce preview avant la découpe. Cliquez sur "Simulation" pour lancer la simulation. Changez la valeur de 'Simulate' modifie la vitesse de la simulation. Si tout semble correct vous pouvez fermer la page et lancer la découpe.

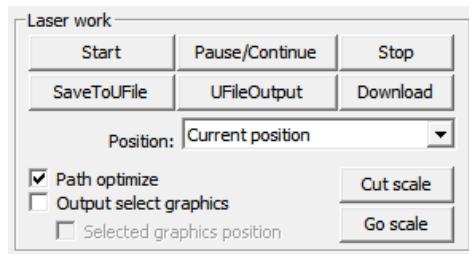


On peut placer le carton sur la grille de la machine et démarrer la machine de découpe laser : on tourne la clé et on appuie sur le bouton marche/arrêt. Le gros bouton tout à gauche est le bouton d'arrêt d'urgence. On connecte ensuite l'ordinateur à la machine à découpe laser grâce au câble USB de la machine.



Avec les flèches vertes, on déplace le laser jusqu'à l'endroit où on voudrait qu'il commence à découper sachant qu'il travaille de droite à gauche. Une fois le laser à l'endroit désiré, on clique sur le bouton "Origin" puis sur le RdWorks sur l'ordinateur on clique sur "Start" pour lancer la découpe.

Il se peut qu'il y ait un problème de communication. Pour régler le problème, on peut aller dans le gestionnaire des périphériques et retrouver le dossier "Déco coupe laser". Lorsque que vous rappuierez sur "Start" la découpe devrait se lancer.



Pour la gravure, le laser émet une chaleur élevée pour pulvériser la matière qui est enlevée à chaque impulsion. Cela permet de former des cavités qui représenteront l'image finale.

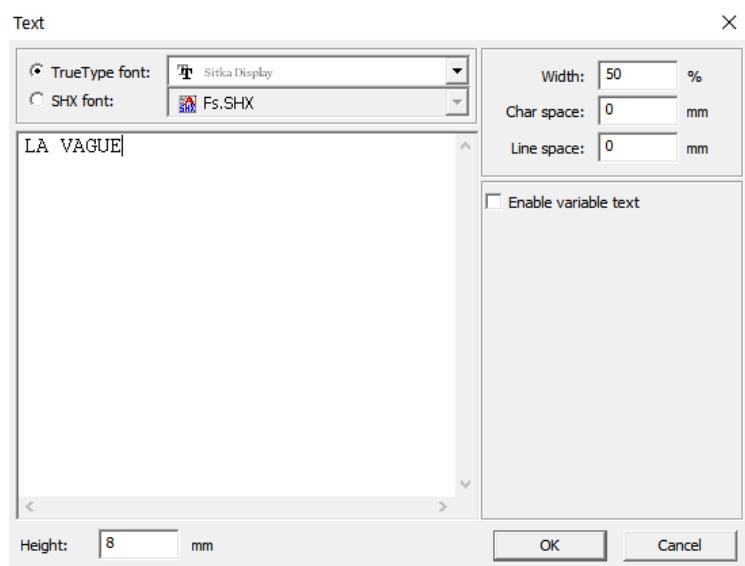
Une fois la découpe terminée, on peut rouvrir la machine et détacher notre gravure du reste de la planche de carton.

b) Exemple 2 : porte-clé en plexiglas

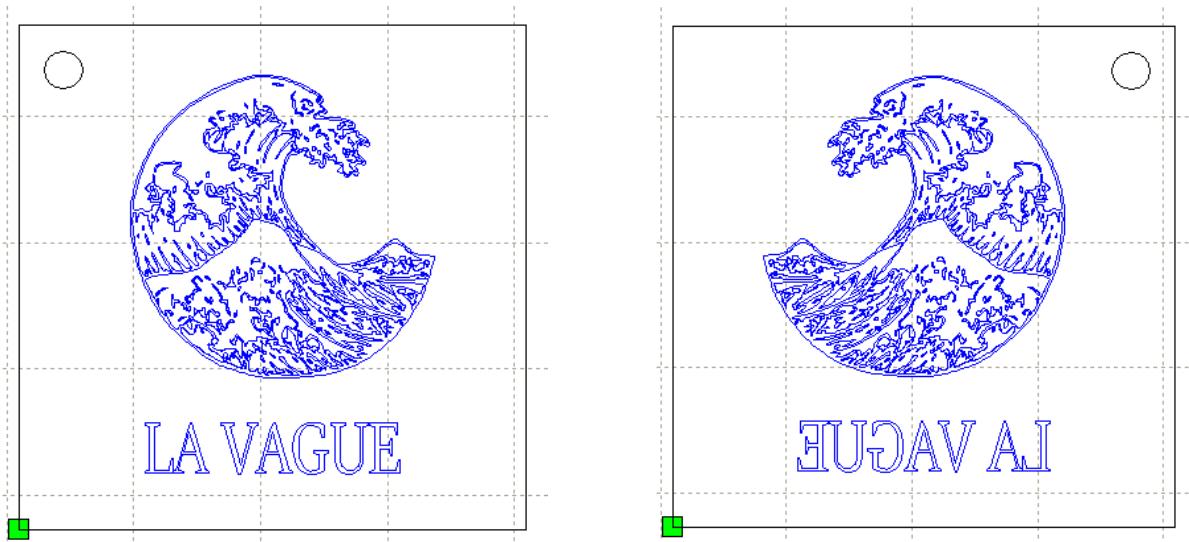


Pour réaliser notre porte-clé en plexiglas, le principe reste à peu près le même. On prend un image qu'on vectorise sur Inkscape, qu'on exporte au format .dxf et qu'on importe ensuite dans RdWorks. On fait ensuite notre cadre autour du dessin, en l'occurrence ici un carré de 40x40mm.

Pour ajouter du texte, vous prenez l'outil dans la barre d'outil à gauche et vous cliquez au sein du cadre à l'endroit où vous voulez placer votre texte. Une fenêtre s'affiche : vous écrivez votre texte dans le cadre blanc et vous pouvez choisir sa police, sa taille ou encore sa largeur.



Enfin, on fait un trou de 3mm de diamètre en haut à gauche pour l'anneau du porte-clé. Attention à ne pas faire ce trou trop proche du coin, cela pourrait casser facilement. Une fois que tous les éléments sont bien positionnés, on applique le code couleur correspondant aux instructions.



La dernière étape avant la configuration des instructions est de faire **ctrl + a** pour tout sélectionner et cliquer sur l'outil miroir . Ainsi, une fois la découpe terminée, la gravure sera d'un côté du plexiglas et lorsqu'on retournera ce morceau de plexiglas, la gravure sera dans le bon sens.

La configuration de la découpe pour le plexiglas est bien évidemment différente que pour celle du carton :

- “Cut” : vitesse = 10 mm/s et Min et Max Power = 75%
- “Scan” : vitesse = 250 mm/s et Min et Max Power = 40%

Une fois la configuration effectuée, on peut préparer la machine, lancer la découpe et récupérer notre objet.



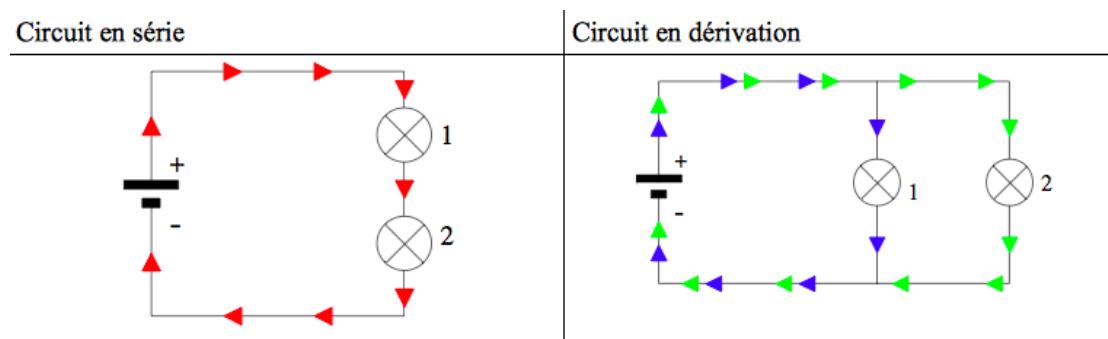
Electronique

1) Rappels sur les circuits électriques

a) Définition

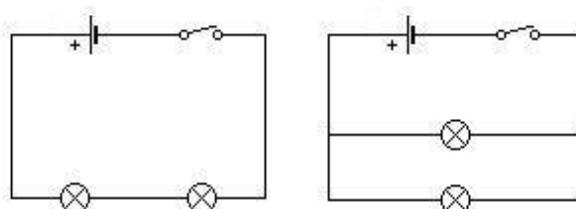
Un circuit électrique est un ensemble simple ou complexe de conducteurs et de composants électriques ou électroniques parcouru par un courant électrique.

Pour que le courant électrique circule, le circuit électrique doit être fermé. S'il est ouvert, le courant ne circule plus. Le sens du courant dépend des électrons et des particules chargées négativement. Par convention, le courant circule de la borne positive vers la borne négative du générateur.



Lorsque le courant est dit continu, il se dirige toujours dans le même sens. Lorsqu'il est alternatif, il se déplace en cycles réguliers dans un sens puis dans l'autre. Certains dispositifs électriques, comme les LEDs, ne laissent circuler le courant que dans un seul sens.

Il existe deux types de circuits électriques. Le circuit en série possède une seule maille ou boucle (premier schéma). Le circuit en dérivation possède plusieurs mailles ou boucles (deuxième schéma).

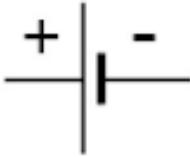
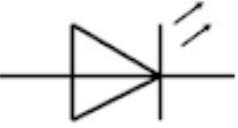
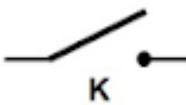
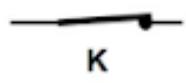


b) Les dipôles

Un circuit électrique est une association de dipôles reliés entre eux et parcourus par un courant électrique. On appelle dipôle électrique, un composant électrique comportant deux bornes. Une borne est la partie d'un composant électrique qui peut laisser entrer ou sortir le courant électrique.

Parmi les dipôles on trouve au moins un générateur (qui délivre le courant électrique) et des récepteurs (qui l'utilisent). La pile (générateur) et la lampe (récepteur) sont des dipôles.

Chaque dipôle peut être représenté par un symbole normalisé international :

Dipôle	Symbol
Pile	
Générateur	
Lampe	
Moteur	
Résistance	
D.E.L.	
Interrupteur ouvert	
Interrupteur fermé	

2) Définition de l'électronique

L'adjectif électronique signifie quelque chose qui se rapporte aux électrons. L'électronique est une science qui étudie les phénomènes de conduction électrique et les équipements associés. Par extension, l'électronique est l'ensemble des techniques qui utilisent des signaux électriques pour capter, transmettre et exploiter une information.

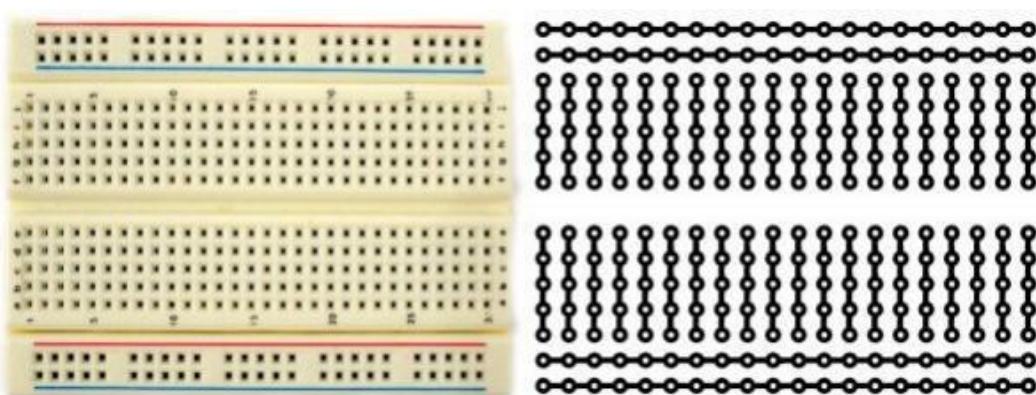
Le signal électrique est la tension électrique variable qui transporte l'information. Les signaux électriques sont classés en deux grands types :

- signaux analogiques (résultat sous forme d'un nombre entier),
- signaux numériques (résultat sous forme d'un nombre binaire, 0 ou 1).

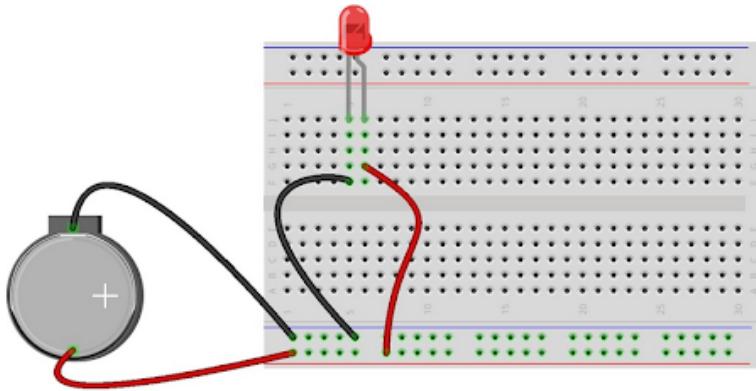
3) Matériel indispensable

a) La breadboard

La breadboard, aussi appelée protoboard, est un dispositif qui permet de réaliser le prototype d'un circuit électrique et de le tester. L'avantage de ce système est d'être totalement réutilisable, car il ne nécessite pas de soudure.



La breadboard comporte généralement deux paires de rangées horizontales, + (rouge) et - (bleu), de chaque côté prenant la totalité de la longueur de la breadboard, et différentes colonnes coupées en 2 en leur milieu. Comme l'indique le schéma, les trous d'une même ligne ou colonne sont connectés entre eux mais les colonnes et les lignes sont individuelles les unes des autres.



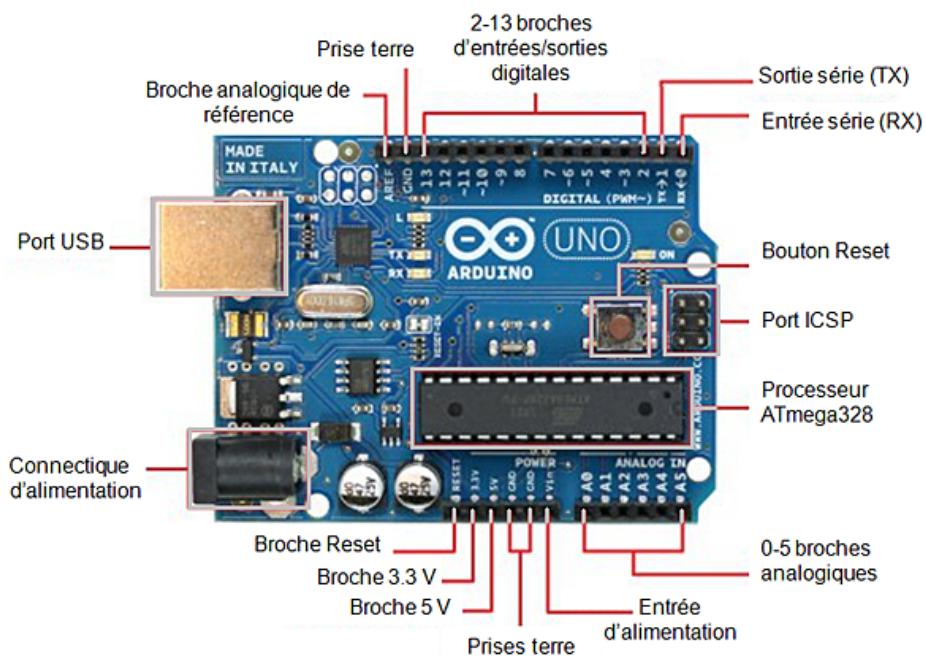
Montage d'une LED sur une breadboard

b) La carte Arduino

Il existe différents types de cartes Arduino :

- Arduino nano
- Arduino UNO
- Arduino mega

Nous allons uniquement utiliser la carte Arduino UNO. La carte Arduino est une carte équipée d'un microcontrôleur programmable appelé ATmega328. Elle dispose de 6 entrées analogiques et de 14 sorties numériques. Elle est aussi équipée d'une partie de puissance et d'une source de tension délivrant précisément une tension de 5V et de 3,3V.



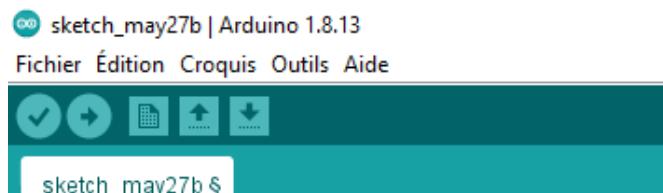
Il existe 6 entrées PWM sur une carte Arduino UNO : 3, 5, 6, 9, 10 et 11. Les entrées PWM (Pulse Width Modulation) sont des entrées qui peuvent être variées. Un signal PWM est un signal dont le rapport cyclique varie. Ce type de signal est souvent utilisé dans les applications à valeur moyenne variable (commande des moteurs, alimentation réglable,...).

La carte Arduino est une interface programmable. Le logiciel de programmation des modules Arduino a pour interface Arduino IDE. Un IDE est un environnement de développement intégré. Le langage de programmation utilisé est le C++ et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant d'utiliser la carte et ses entrées/sorties.

Téléchargement du logiciel Arduino : <https://www.arduino.cc/en/software/>

4) L'IDE Arduino

a) Page de démarrage de l'IDE Arduino



```
sketch_may27b | Arduino 1.8.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide
sketch_may27b §
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Au démarrage de notre IDE nous voyons deux fonctions s'afficher, la fonction `setup()` et la fonction `loop()`.

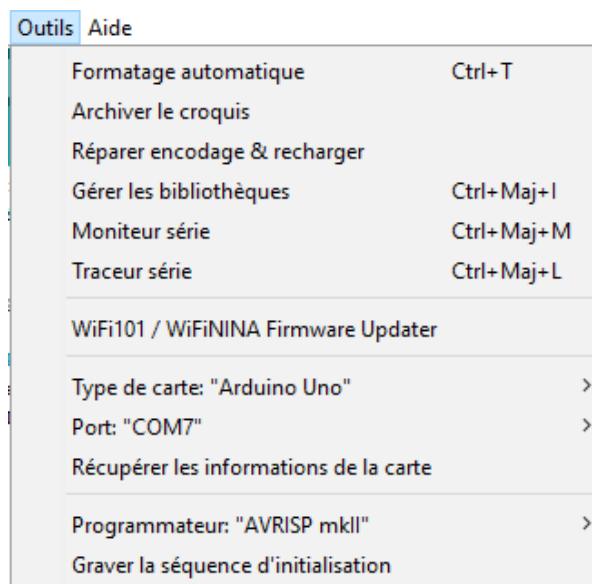
La fonction `setup()` est appelée au démarrage d'une esquisse. Utilisez-la pour initialiser des variables, des modes de broches, etc. La fonction `setup()` ne

s'exécutera qu'une seule fois, après chaque mise sous tension ou réinitialisation de la carte Arduino.

Après avoir créé une fonction `setup()`, qui initialise et définit les valeurs initiales, la fonction `loop()` fait exactement ce que son nom suggère, et effectue une boucle consécutive, permettant à votre programme de changer et de répondre. Utilisez-la pour contrôler activement la carte Arduino.

 : Le bouton “vérifier” est un outil qui, comme son nom l’indique, vérifie si le code est fonctionnel (“Compilation terminée”). Si celui-ci ne l’est pas, un message d’erreur s’affichera et la ligne de code posant problème sera surlignée en rouge.

 : Le bouton “téléverser” commence par vérifier/compiler puis transmet le fichier binaire obtenu à la mémoire flash (mémoire de programme) de la carte Arduino si la vérification/compilation n'a pas révélé d'erreur.



Avant de téléverser, il est important de vérifier dans la barre d’outils que le bon type de carte est utilisé, dans notre cas une carte Arduino Uno, et qu’un port est sélectionné. Enfin, n’oubliez pas de brancher la carte Arduino à votre ordinateur avant de téléverser.

b) Utilisation de l'IDE

Avant la fonction setup(), il est possible d'inclure des bibliothèques ou de définir des constantes, comme les deux exemples ci-dessous.

```
#define LedPin 13 :
```

Donne un nom à une valeur constante avant la compilation du programme et définit la broche à utiliser, ici la broche n°13.

```
#include <LibraryFile.h> :
```

Utilisé pour inclure des bibliothèques externes dans votre esquisse.

Dans la fonction setup(), nous allons principalement définir des modes de broche comme ci-dessous :

```
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    pinMode(LedPin, INPUT);
}
```

La fonction pinMode() configure la broche spécifiée pour qu'elle se comporte comme une entrée (INPUT) ou une sortie (OUTPUT). Dans le cas d'une LED, la broche se comporte comme une entrée (INPUT).

Dans la fonction loop() nous allons utiliser différentes fonctions pour contrôler la carte Arduino. En voici quelques exemples.

```
void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    digitalWrite(LedPin, HIGH);
    digitalRead(LedPin);
    analogRead(LedPin);
    delay(1000);
}
```

La fonction digitalWrite(pin, value) permet d'envoyer l'information sur une broche donnée. Si la broche est configurée comme INPUT, digitalWrite() activera (HIGH) ou désactivera (LOW) le pullup interne sur la broche d'entrée.

Dans le cas d'une LED, digitalWrite(LedPin, HIGH) permet de l'allumer et digitalWrite(LedPin, LOW) de l'éteindre.

La fonction digitalRead(pin) lit la valeur à partir d'une broche numérique spécifiée, soit HIGH ou LOW.

La fonction analogRead(pin) lit la valeur d'une broche analogique spécifiée.

La fonction delay(valeur en ms) permet de définir un temps de pause en ms. Ici ce temps de pause est de 1000ms soit 1s.

Nous allons voir d'autres fonctions au cours de notre documentation mais celles-ci sont les principales.

c) Rappels opérateurs, variables et symboles

Les opérateurs nous permettent de tester les conditions :

Opérateurs	Signification
&&	ET
	OU
!	NON

Les symboles et leur signification :

Symboles	Signification
==	égal à
<	inférieur à
>	supérieur à
<=	inférieur ou égal à
>=	supérieur ou égal à
!=	différent de

Les variables et leur signification :

Variables	Type	Définition
int	entier	chiffre entre -32 768 et +32 768
long	entier	chiffre entre - 2 147 483 648 et + 2 147 483 648
float	décimal	
char	entier	variables de type string
string	entier	chaîne de caractère
double	décimal	
byte	entier	chiffre entre 0 et 255
unsigned	entier	entier positif
unsigned long	entier	entier sur 4 octets
const unsigned long		constante

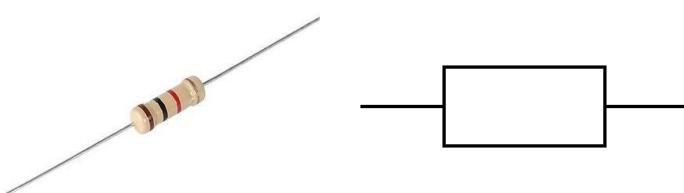
5) Les composants électroniques

Dans cette section, nous allons voir les différents composants électroniques avec lesquels nous allons travailler. La mise en application et l'utilisation de ces composants seront dans la section suivante.

a) Les résistances

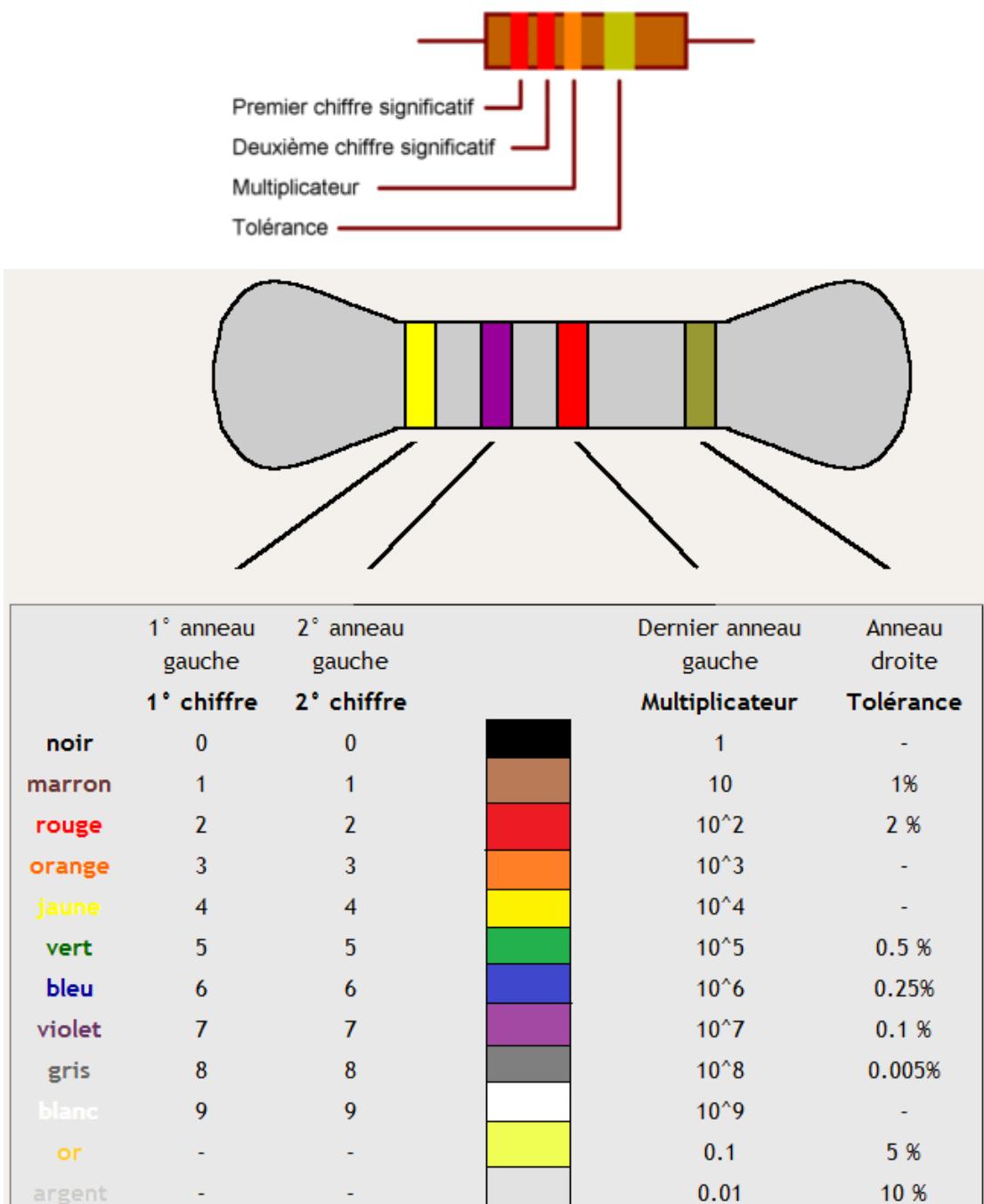
La résistance

Une résistance est un composant électronique ou électrique dont la principale caractéristique est d'opposer une plus ou moins grande résistance (mesurée en ohms) à la circulation du courant électrique. Dans nos circuits, il faut toujours combiner une LED avec une résistance (220 à 330Ω).



La loi d'Ohm $U = R \times I$ permet de déterminer la valeur d'une résistance. La tension aux bornes d'une résistance (U en volts) est le produit de la valeur de cette résistance (R en ohm) et de l'intensité du courant la traversant (I en ampères).

Code couleur des résistances :



Pour calculer la valeur d'une résistance, on procède ci-après :
nombre composé de la 1ère et 2ème couleur \times 3ème couleur \pm Tolérance

Exemple :

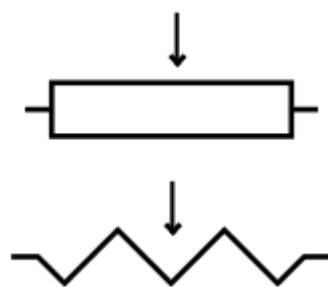
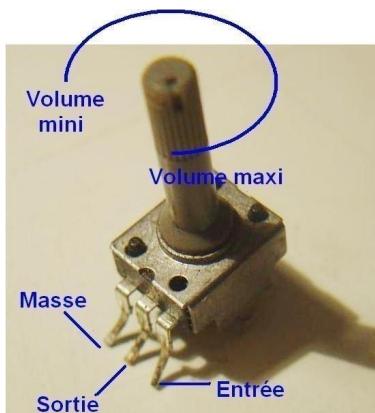


1er anneau = rouge (2), 2ème anneau = rouge (2), 3ème anneau = marron (10), Tolérance = or (5%).

Calcul : $22 \times 10 = 220 \pm 5\% \Omega$

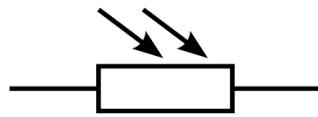
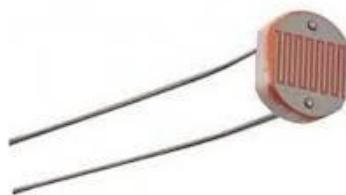
Le potentiomètre

Un potentiomètre est un type de résistance variable à trois bornes. Il permet de faire varier une valeur, que ce soit l'intensité ou encore la tension. Il ne varie que la tension appliquée à ses bornes.



La photorésistance

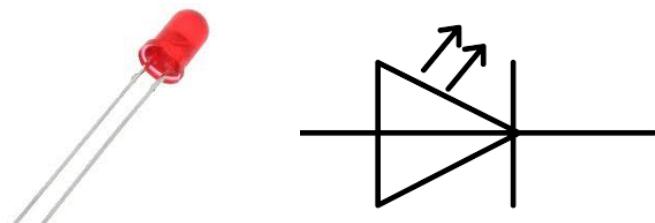
La photorésistance diminue ou augmente de valeur selon l'intensité de luminosité qui vient frapper la résistance intérieure.



a) Les LEDs

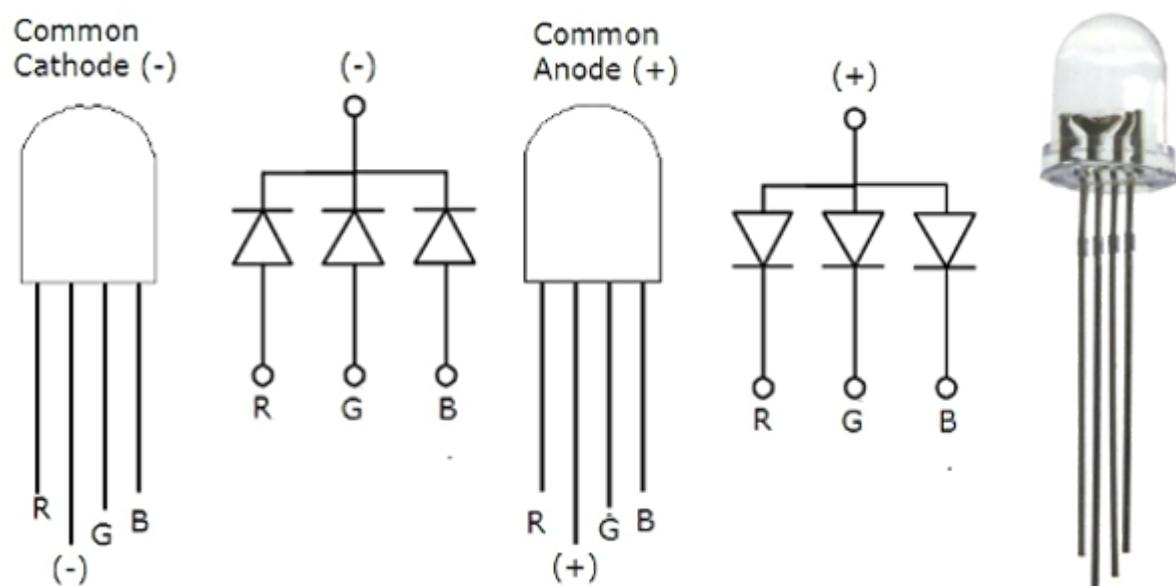
La LED

Light emitting diode. La diode est un composant électrique qui se branche avec deux bornes et qui ne laisse passer le courant que dans un seul sens. On appelle cela un semi-conducteur. La LED a un sens de branchement. La patte la plus longue est le +. Les LEDs ont une limite de courant. Il faut toujours combiner une LED avec une résistance (220 à 330Ω).



RGB Led

On l'appelle RGB car elle comporte 3 couleurs : red (rouge), green (vert), blue (bleu). La patte la plus longue est celle de l'anode commune ou de la cathode commune.



Les différentes tensions de chaque led :

rouge : 1,7 V	vert : 2,2 V	bleu : 3,2 V
---------------	--------------	--------------

$$U = R \times I \Leftrightarrow R = \frac{U}{I}$$

$$U = U_{\text{Tension}} - U_{\text{Led}}$$

$$I = 20 \text{ mA} = 0,02 \text{ A}$$

Ex :

Led bleue : 3,2 V

$$U = 5 - 3,2 = 2,8 \text{ V}$$

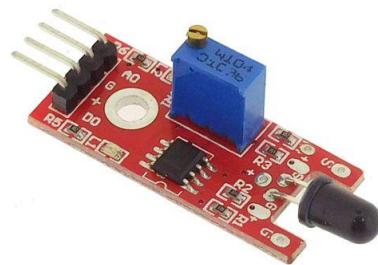
$$R = \frac{2,8}{0,02} = 140 \Omega$$

On peut prendre une résistance de 150 Ω

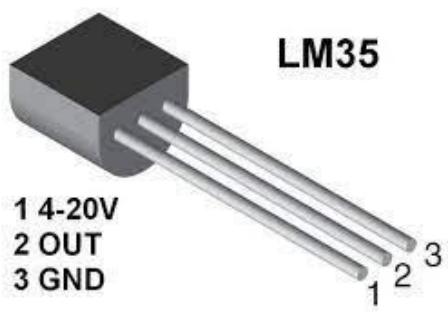
b) Les capteurs

Capteur de flamme

Le capteur de flamme est un détecteur optique de flamme c'est-à-dire qu'il permet de détecter la présence ou non d'une flamme.



Capteur de température (LM 35)



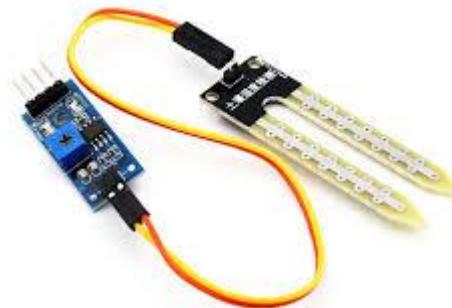
Le capteur de température permet de mesurer une température de 0 à 100°C avec une précision de 1,5°C.

Capteur de température CA2 : marge de -40 à 110°C avec précision de 1°C

Capteur de température C2 : marge de -55 à 150°C avec précision de 1,5°C

Capteur d'humidité du sol ou capteur hygrométrique

Il sert à capter l'humidité du sol. C'est un capteur résistif.



Capteur ultrason HC-SR04

Un capteur à ultrasons émet à intervalles réguliers de courtes impulsions sonores à haute fréquence. Ces impulsions se propagent dans l'air à la vitesse du son. Lorsqu'elles rencontrent un objet, elles se réfléchissent et reviennent sous forme d'écho au capteur.



Celui-ci calcule alors la distance le séparant de la cible sur la base du temps écoulé entre l'émission du signal et la réception de l'écho.

$$distance = \frac{vitesse\ du\ son}{2} \times durée$$

Vitesse du son = 340 m/s

Pratiquement tous les matériaux qui reflètent le son peuvent être détectés et ce, quelle que soit leur couleur. Même les matériaux transparents ou les feuilles minces ne représentent aucun problème pour un capteur à ultrasons.

Branchement :

VCC → 5V

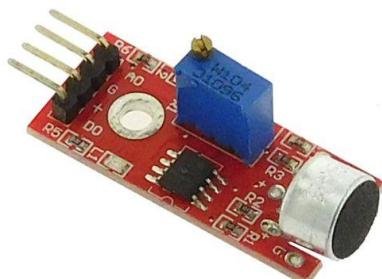
Trig → 6

Echo → 7

GND → GND

La fonction PulseIn() attend que le signal fasse une transition vers l'état désiré avant de commencer le comptage. Cela signifie que si vous mesurez une impulsion haute et que le signal est déjà à HIGH, il faudra attendre le passage à LOW puis de nouveau à HIGH pour que le comptage commence.

Capteur de son



Il est équipé d'un micro-électret, d'une résistance variable (potentiomètre) et de deux leds. Il sert à détecter le son. Une led de signalisation s'allume à chaque fois qu'un son ou un bruit est détecté.

Il possède 2 broches (analogique et digitale). La valeur analogique est variable à l'aide du potentiomètre et la valeur digitale ne prend que 2 états : haut (1) et bas (0).

c) Les afficheurs

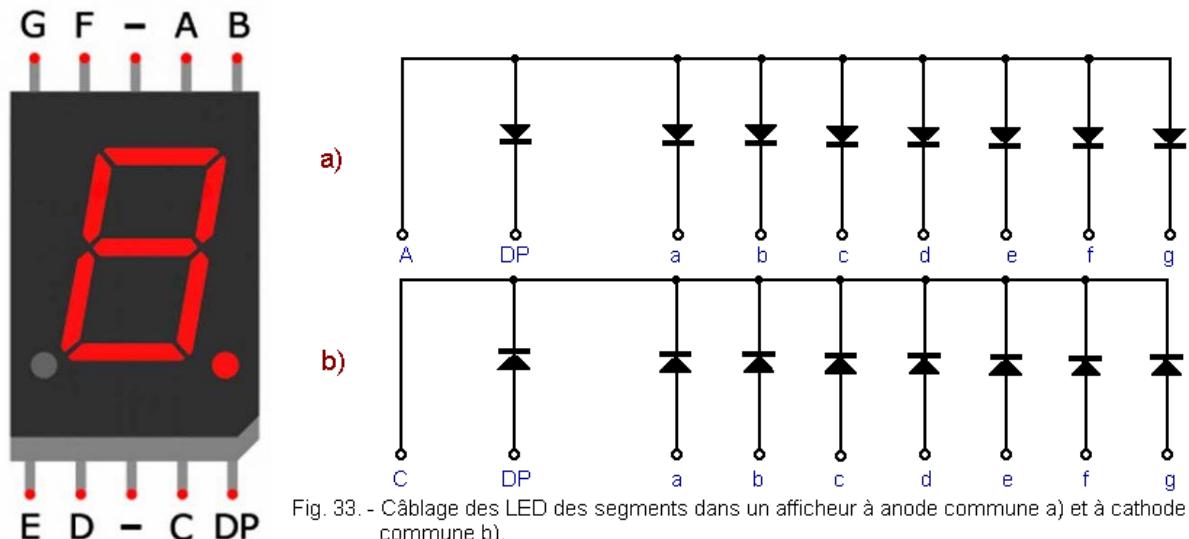
Afficheur 7 segments

Il existe 2 types d'afficheur 7 segments :

- afficheur à anode commune (AC)
- afficheur à cathode commune (CC)

Lorsqu'un afficheur est anode commune, toutes les anodes des leds sont reliées. Par conséquent, elle a besoin d'un état haut c'est-à-dire 5V pour fonctionner.

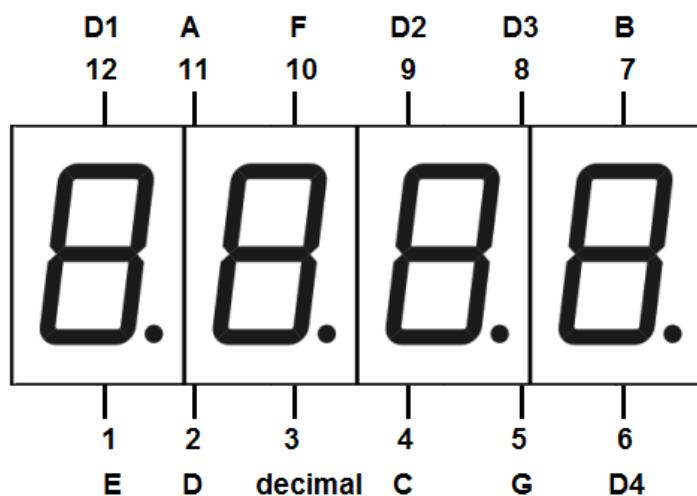
Lorsqu'un afficheur est cathode commune, toutes les cathodes des leds sont reliées. Par conséquent, elle a besoin d'un état bas c'est-à-dire 0V ou de la masse pour fonctionner.



Afficheur à 4 digits

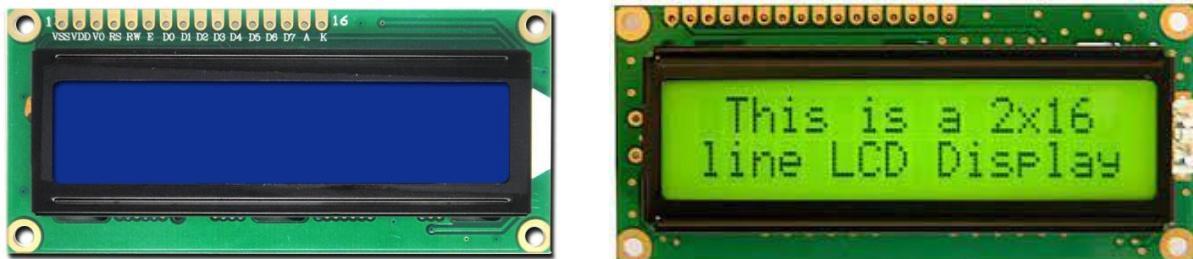
Les groupements de LED ou digits sont activés via les broches D1,D2,D3,D4 et les leds sont allumées via les broches A,B,C,D,E,F,G et DP pour le point décimal.

Il existe deux types d'afficheurs, avec cathode commune ou avec anode commune. Pour la série anode, il faut connecter le commun à 5V pour activer le digit et passer la broche à l'état BAS pour allumer une LED. Dans le cas d'une cathode commune, il faut connecter les communs à la masse et passer la broche à l'état HAUT pour allumer la LED.



Ecran LCD

C'est un écran à affichage 16x2 c'est-à-dire 16 caractères et 2 lignes.



Liaison avec la carte Arduino :

RS → 12

Rw (Read Write) → GND

E (Enable) → 11

D4 → 5

D5 → 6

D6 → 3

D7 → 2

A → 5V

K → GND

Les fonctions de l'écran LCD :

Inclure la bibliothèque LCD :

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

Initialisation :

```
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    lcd.begin(16, 2);
}
```

Déplacement du curseur :

```
lcd.setCursor(x, y);
```

Clignotements :

```
lcd.display();
delay(x);
lcd.noDisplay();
```

Faire défiler le texte vers la gauche ou vers la droite :

```
lcd.scrollDisplayLeft();  
delay(x);  
  
lcd.scrollDisplayRight();  
delay(x);
```

Effacer l'écran :

```
lcd.clear();
```

d) Les moteurs

Servo-moteur SG-90

Il suffit d'envoyer une impulsion et c'est le temps que durera cette impulsion qui déterminera l'angle du servo.

Branchement :

fil marron → GND
fil rouge → +5V
fil jaune → signal



Moteur pas-à-pas

Un moteur pas-à-pas est un moteur qui dispose d'un élément moteur pivotant. Il est doté d'un arbre, du rotor et d'un élément fixe appelé stator.

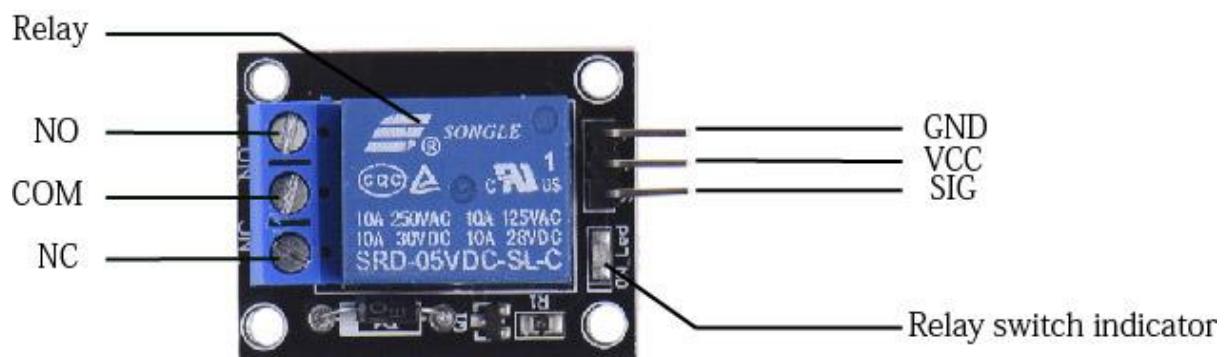


Le DRIVER ULN2003 pilote ce moteur. Il comprend le circuit intégré ULN2003, 4 leds (A, B, C, D), 4 broches de connexion (IN1 à IN4) et d'un cavalier d'alimentation en 5V et en 12V.

e) Les modules

Module relais 5V

Le module relais est équipé d'une partie de commande (circuit de commande) et d'une partie puissance (circuit de puissance). La partie commande possède VCC → 5V, GND → masse et IN (SIG sur schéma) → entrée.

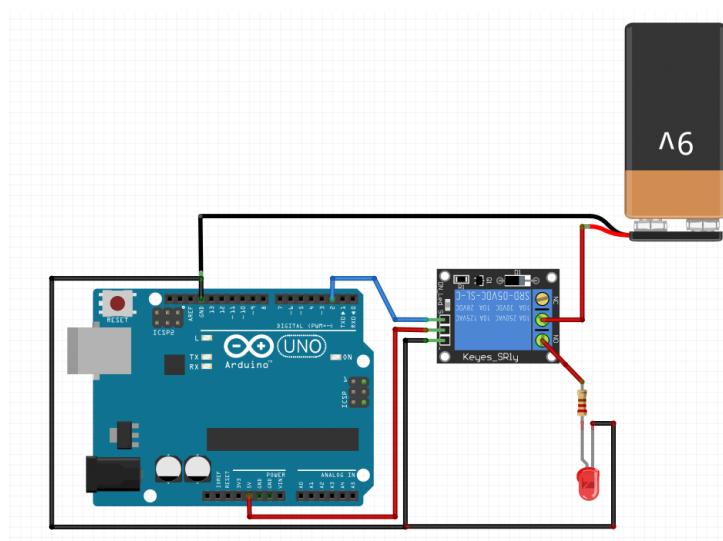


La partie puissance possède NC, COM et NO.

NC/NF : normalement fermé

COM : commun

NO : normalement ouvert

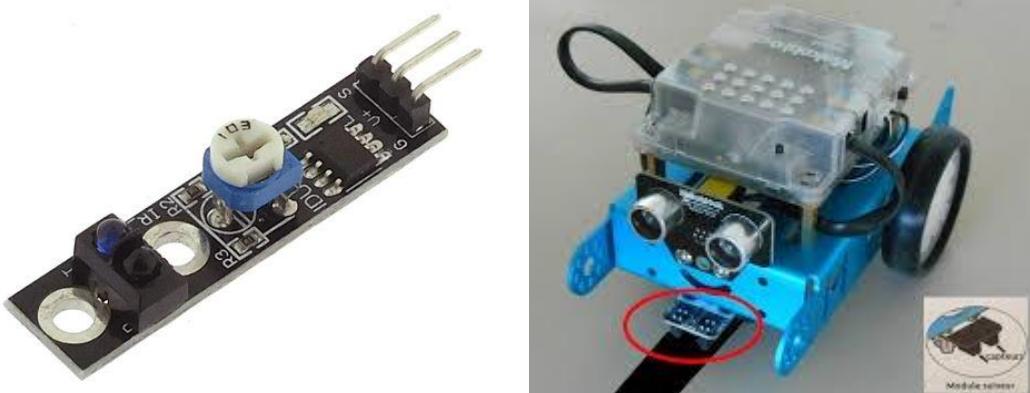


On peut utiliser la partie puissance soit en courant fort (110V, 220V) ou soit en courant faible (10V, 15V).

Lorsqu'on utilise les broches COM et NC, cela veut dire qu'au repos la lampe est allumée et lorsque le relais reçoit une impulsion, il ouvre le circuit et elle s'éteint (contraire pour COM et NO).

Module suiveur de ligne

Le capteur suiveur de ligne est un capteur de contraste. Il est constitué d'une LED émettrice et d'un phototransistor. Le robot se déplace en suivant un marquage au sol (ligne noire). Tant que les deux capteurs détectent la ligne, le robot avance (situation 0).

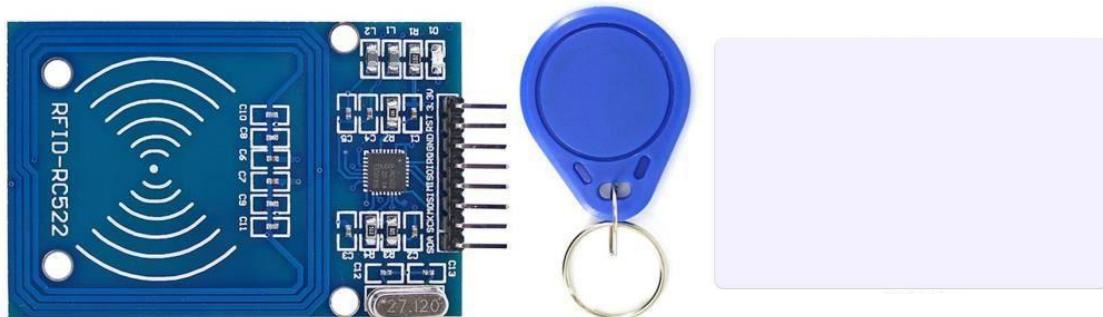


Lorsqu'un des deux capteurs ne détecte plus la ligne, le robot doit tourner sur lui-même pour se remettre dans l'axe : Le capteur de droite détecte une couleur claire (situation 1) il tourne à gauche. Le capteur de gauche détecte une couleur claire (situation 2) il tourne à droite. Si deux capteurs sont en dehors de la ligne, le robot recule (situation 4).

Utilisation du code pour le capteur de son.

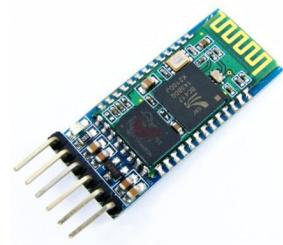
Module RFID RC522

Encore appelé badge RFID, il sert à détecter et à reconnaître la présence d'un badge. Le module ne s'alimente qu'en 3,3V. Le module kit comprend la carte RFID et les 2 badges RFID.



Module bluetooth

Il est un composant indispensable dans les éléments de la communication série. Il est alimenté entre 3,6V et 6V. Il assure la liaison entre l'interface et la carte arduino. Le module peut être configuré soit en mode maître soit en mode esclave (slave ou master).



Nous pouvons configurer le module comme suit :

- changer le nom
- changer le mot de passe

f) Autres

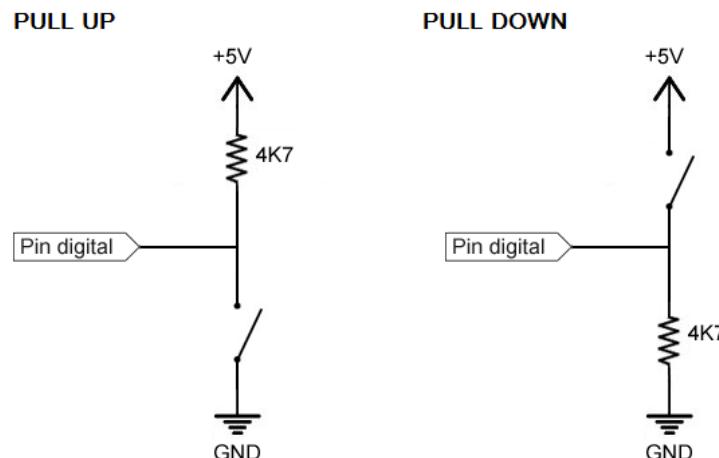
Le bouton-poussoir

Lorsqu'on relâche le bouton-poussoir, cela coupe le circuit. Dans le cas de l'utilisation d'une carte Arduino et d'un bouton-poussoir, il existe 2 montages : pull-up et pull-down.



Montage pull-up : ici, la résistance est directement reliée sur le 5V. Si on lit les données dans le moniteur série, cela affichera des 1 lorsque le bouton n'est pas appuyé et des 0 lorsque celui-ci sera appuyé.

Montage pull-down : ici, la résistance est directement reliée sur la masse (GND). Si on lit les données dans le moniteur série, cela affichera des 0 lorsque le bouton n'est pas appuyé et des 1 lorsque celui-ci sera appuyé.



Le buzzer

Le buzzer émet un son ou des bips quand il est alimenté. Il existe 2 types de buzzer :

- buzzer actif (courant alternatif de fréquence faible)
 - buzzer passif (courant continu)



Transistor

Il sert à amplifier une tension. Il en existe de plusieurs types : transistor de puissance, transistor bipolaire, transistor à effet de champ.

Ex de transistors : BC108, BC547, 2N2222, 2N2219

Introduction to Transistors

ELECTRONICS HJ3

The diagram illustrates the internal structure and circuit symbols of PNP and NPN transistors. It shows two diode-like structures back-to-back. The left structure, labeled 'PNP Transistor', has a central 'N' region between two 'P' regions. The right structure, labeled 'NPN Transistor', has a central 'P' region between two 'N' regions. Below each structure is its corresponding circuit symbol: a circle with a triangle pointing to the right for the PNP and a circle with a triangle pointing to the left for the NPN. To the right of the symbols is a photograph of a BC324 TO-92 transistor package with three pins.

Condensateur



Le condensateur est utilisé pour stabiliser les alimentations électriques. Comme il est capable d'emmagerer de l'énergie sur un certain laps de temps, puis de la restituer, il va permettre de lisser les fluctuations dans une alimentation.

Joystick

Le joystick permet de contrôler à volonté un ensemble de choses. Il est composé de 2 axes (x et y) qui sont définis par les broches VRX et VRY. La broche SW correspond au bouton-poussoir du joystick.

La fonction map :

Généralement la lecture d'une valeur analogique dans le moniteur série s'effectue entre 0 et 102. La fonction map permet de changer cette valeur à la valeur voulue.

Ex : map(0, 1023, 2, 33);

Télécommande infrarouge (IR)

Elle est équipée d'une télécommande IR et d'une led IR. La télécommande émet de la lumière IR (invisible à l'œil nu) et la led la reçoit.

télécommande = émetteur

Led IR = récepteur

Fonctionnement avec Arduino :

Lorsqu'une touche de la télécommande est appuyée, les infos sont envoyées à la led IR qui à sa suite décode l'info, la convertie en hexadécimal (caractère de lettres et chiffres) pour la renvoyer dans le moniteur série par exemple. Ensuite nous pouvons utiliser ces infos pour diverses commandes.

Annexe

1) Icônes et outils FreeCAD pour la modélisation 3D



Créer un corps : quand on crée un corps, un nouvel objet intitulé "Body" apparaît sous l'étiquette du document, qui est pour l'instant "Sans nom". Le corps est un conteneur où sont rangées de façon séquentielle les fonctions Part Design pour former un solide unique. Il contient ses propres axes et plans de référence.



Créer une esquisse : une esquisse est un schéma qui décrit une forme à appliquer à une fonction afin de produire une forme. Soit une forme "positive" ou "additive": un bossage (ou pad) par exemple, ou une forme "négative" ou "soustractive": un creux (ou poche - pocket) par exemple.



Style de représentation : par défaut, la représentation est filaire ombré. Nous utiliserons également ombré (on ne voit plus les lignes de l'objet) ou encore filaire (on ne voit plus que les lignes de l'objet, pratique pour voir en transparence).



Vues isométrique : les trois directions de l'espace sont représentées avec la même importance.



Vues : cela nous permet d'afficher les différentes faces de l'objet. Il est également possible de changer de vue avec l'outil en haut à droite.

Les outils dans l'atelier sketcher

Géométries d'esquisse



Point : dessine un point.



Ligne : dessine une ligne entre 2 points.



Créer un arc : dessine un segment d'arc à partir du centre, rayon, angle de départ et angle d'arrivée.



Créer un cercle : dessine un cercle à partir de son centre et du rayon.



Ellipse (dans sections coniques) : dessine une ellipse à partir du centre, d'un point sur le grand rayon et d'un point sur le petit rayon.



Créer une B-spline : dessine des courbes par ses points de contrôle.



Polyligne : permet de dessiner plusieurs segments connectés entre eux.



Rectangle : dessine un rectangle à partir de 2 points opposés.



Créer un polygone régulier : dessine un polygone de votre choix (triangle équilatéral, carré, pentagone, hexagone, etc.) inscrit dans un cercle.



Contour oblong : dessine un contour oblong en entrant le centre du demi-cercle, le centre d'un rayon et le point final du deuxième demi-cercle.



Congé : crée un congé entre deux lignes connectées en un point. Sélectionnez les 2 lignes ou cliquez sur le sommet commun puis activez l'outil.



Géométrie externe : crée une arête liée à une géométrie externe.

Contraintes d'esquisse

 Coïncidence : crée une contrainte de coïncidence (point sur point) entre deux ou plusieurs points sélectionnés.

 Point sur objet : crée une contrainte point-sur-objet sur les éléments sélectionnés. L'un des éléments doit être un point, l'autre une ligne, un arc ou un cercle.

 Vertical : crée une contrainte de verticalité sur les lignes ou segments de polylignes sélectionnés. Plus d'un élément peut être sélectionné.

 Horizontal : crée une contrainte d'horizontalité sur les lignes ou segments de polylignes sélectionnés. Plus d'un élément peut être sélectionné.

 Parallèle : crée une contrainte de parallélisme entre deux lignes sélectionnées.

 Perpendiculaire : crée une contrainte de perpendicularité entre deux lignes sélectionnées.

 Tangente : crée une contrainte de tangence entre deux éléments sélectionnés, ou de colinéarité entre deux lignes. Un segment de ligne ne doit pas nécessairement se trouver directement sur un arc ou un cercle pour être contraint de manière tangente à cet arc ou ce cercle.

 Égalité : crée une contrainte d'égalité entre au moins deux éléments sélectionnés. Contraindra la longueur pour des lignes et le rayon pour des cercles et des arcs.

 Symétrie : crée une contrainte symétrique entre deux points par rapport à un troisième point.



Contrainte de blocage : empêche une arête de se déplacer, c'est-à-dire qu'il empêche ses sommets de changer leur position en cours. Particulièrement utile de fixer la position des B-Splines.



Fixe : contraint l'élément sélectionné en définissant des distances verticales et horizontales par rapport à l'origine, verrouillant ainsi l'emplacement de cet élément. Ces contraintes dimensionnelles peuvent être éditées par la suite.



Distance horizontale : fixe la distance horizontale entre deux points ou extrémités de ligne. Si un seul élément est sélectionné, la distance sera relative à l'origine.



Distance verticale : fixe la distance verticale entre deux points ou extrémités de ligne. Si un seul élément est sélectionné, la distance sera relative à l'origine.



Dimensionnelle : fixe la longueur d'une ligne sélectionnée, ou la distance entre une ligne et un point. La distance sera perpendiculaire à la ligne.



Rayon: définit le rayon d'un arc ou d'un cercle sélectionné en contrignant le rayon. Il est aussi possible de définir le diamètre en cliquant sur la flèche.



Angle Interne: crée une contrainte d'angle interne entre deux lignes sélectionnées.

Les outils dans l'atelier PartDesign

Outils additifs/soustractifs



Protrusion : extrude un objet solide à partir de l'esquisse sélectionnée.



Révolution : crée un solide par révolution d'une esquisse autour d'un axe. L'esquisse doit former un profil fermé.



Lissage additif : crée un solide en réalisant une transition entre au moins deux esquisses.



Sc�ement additif : crée un solide en balayant une ou plusieurs esquisse(s) le long d'un chemin ouvert ou fermé.



Créer une primitive d'addition : ajoute une primitive d'addition dans le corps actif.



Cavité : crée une cavité à partir de l'esquisse sélectionnée.



Perçage : crée une fonction perçage à partir de l'esquisse sélectionnée. L'esquisse doit contenir un ou plusieurs cercles.



Enlèvement de matière par révolution : crée une rainure par révolution d'une esquisse sur un axe.



Lissage soustractif : crée un solide en réalisant une transition entre au moins deux esquisses puis la soustrait du corps actif.



Sc�ement soustractif : crée un solide en balayant une ou plusieurs esquisse(s) le long d'un chemin ouvert ou fermé puis le soustrait du corps actif.



Soustraire une primitive : soustrait une primitive du corps actif.

Outils d'habillage



Congé : applique un arrondi/congé sur les arêtes sélectionnées du corps actif.



Chanfrein : applique un chanfrein sur les arêtes sélectionnées du corps actif.



Dépouille : applique un angle de dépouille aux faces sélectionnées du corps actif.



Épaisseur : évide le corps actif et le transforme en un objet creux à paroi épaisse en creusant la (ou les) face(s) sélectionnée(s).

Les outils dans l'atelier Part



Extrusion : extrude les faces planes d'un objet.



Créer un composé : crée un composé à partir des objets sélectionnés.

Les outils dans l'atelier Draft



Formes à partir texte : l'outil Formes à partir texte insère une forme composée, qui représente une chaîne de texte au point donné.



Déplacer : Déplace l'objet (ou les objets) d'un emplacement à un autre.



Rotation : Pivote l'objet (ou les objets) d'un angle de départ à un angle d'arrivée.