



Parcours guidé FreeCAD 1.1

Tutoriel : débuter sur FreeCAD 1.1 - 15/02/26



Auteur(s) – mél : dominique.lachiver @ lachiver.fr

web : <https://lachiver.fr/>









Parcours guidé FreeCAD 1.1 : [version web](#)  - [version papier](#)  -














Réalisé avec [Scenari Dokiel](#)  ;









Licence –











Table des matières

1. Découvrir FreeCAD	8
1.1. Présentation	8
1.2. Installation	9
1.3. Interface	10
1.3.1. Ouvrir un document FCStd	10
1.3.2. Choisir le style de navigation	14
1.3.3. Identifier les principaux composants de l'interface	16
1.3.4. Régler certaines préférences	20
1.3.5. Ré-agencer les barres d'outils	26
1.4. Modélisation paramétrique	27
2. Explorer Sketcher 	33
2.1. Interface de Sketcher	33
2.1.1. Géométries & contraintes	33
2.1.2. Contrainte Dimension 	36
2.2. Concepts spécifiques	39
2.2.1. Degrés de liberté	39
2.2.2. Contraintes automatiques	41
2.2.3. Contraintes redondantes	47
2.2.4. Fermeture des esquisses	50
2.3. TP 2-1 	52
2.4. TP 2-2 	57
2.5. Géométries de construction	64
2.6. TP2-4 	72
3. Modélisation paramétrique	76
3.1. TP 3-1 	76
3.1.1. 1^{ère} esquisse	77
3.1.2. 2^{ème} esquisse	79
3.1.3. 3^{ème} esquisse	82
3.1.4. Modification du modèle	84
3.1.5.  Capture vidéo	85
3.2. Géométries externes	85
3.3. TP 3-2 	90
3.3.1. 1^{ère} esquisse	90
3.3.2. 2^{nde} esquisse	92

3.3.3.  Capture vidéo	98
3.4. Plans de référence 	98
3.5. TP 3-3 	110
3.5.1. 1 ^{ère} esquisse	112
3.5.2. Plan de référence	113
3.5.3. 2 ^{ème} esquisse	115
3.5.4. 3 ^{ème} esquisse	118
3.5.5.  Capture vidéo	119
3.6. TP 3-4 	119
3.6.1. 1 ^{er} cylindre	120
3.6.2. Plan de référence	122
3.6.3. 2 nd cylindre	124
3.6.4. Cavités	125
3.6.5.  Capture vidéo	127
4. Fonctions paramétriques	128
4.1. Lissage additif 	128
4.1.1. Esquisse des cylindres	131
4.1.2. Plan des ellipses	133
4.1.3. Création de la nervure	134
4.1.4. Création des cylindres	141
4.1.5.  Capture vidéo	142
4.2. Balayage additif 	142
4.2.1. Création du balayage	144
4.2.2. Création de la 1 ^{ère} platine	147
4.2.3. Création de la 2 ^{nde} platine	148
4.2.4.  Capture vidéo	151
4.3. Hélice additive 	151
4.3.1. Jeu de variables	152
4.3.2. Création du couvercle	155
4.3.3. Création de l'hélice	156
4.3.4. Biseautage de l'hélice	158
4.3.5.  Capture vidéo	162
5. Transformations	163
5.1. Symétrie 	163
5.1.1. Création de la base	164
5.1.2. Création de la paroi verticale	167
5.1.3. 1 ^{er} trou dans la paroi verticale	171
5.1.4. 2 ^{ème} trou dans la paroi verticale	173

5.2.	Répétition circulaire 	175
5.2.1.	Trous sur la grande platine	176
5.2.2.	Trous sur la petite platine	179
5.2.3.	 Capture vidéo	181
6.	Finitions	182
6.1.	Congé 	182
6.2.	Évidement 	184
6.2.1.	Fond	185
6.2.2.	Épaulement intérieur	187
6.2.3.	1 ^{er} cylindre de fixation	190
6.2.4.	Autres cylindres de fixation	191
6.2.5.	Congés	194
6.2.6.	Vérification d'intégrité du modèle	197
6.2.7.	 Capture vidéo	197
7.	Corps multiples	198
7.1.	Sous-forme liée	198
7.2.	Emboîtement 	199
7.2.1.	Sous-forme liée	201
7.2.2.	Partie supérieure	203
7.2.3.	Partie inférieure	205
7.2.4.	Perçages	207
7.2.5.	Vérification de l'intégrité	210
7.2.6.	 Capture vidéo	210
7.3.	Opérateur booléen 	210
7.3.1.	Amont	212
7.3.1.1.	1 ^{er} lissage soustractif	213
7.3.1.2.	2 ^{ème} lissage soustractif	217
7.3.1.3.	3 ^{ème} lissage soustractif	220
7.3.1.4.	4 ^{ème} lissage soustractif	224
7.3.2.	Aval	226
7.3.3.	 Capture vidéo	228
8.	Spreadsheet 	229
8.1.	TP 8-1 	230
8.1.1.	Création de la feuille de calcul	231
8.1.2.	1 ^{ère} esquisse & révolution	234
8.1.3.	Créations des Ergots	237
8.1.4.	Récupérer une dimension	239
8.1.5.	Modification du modèle	241
8.1.6.	 Capture vidéo	242

9. Atelier Draft 	243
9.1. Forme de texte 	244
9.1.1. Utiliser une forme à partir de texte 	245
9.1.2. Créer la protrusion	246
9.2. Import Inkscape 	247
9.2.1. Présentation d'Inkscape	248
9.2.2. Texte créatif	249
9.2.2.1. Préparation Inkscape	250
9.2.2.2. Importation dans FreeCAD	254
9.2.3. Récupérer un logo	257
9.2.3.1. Préparation Inkscape	257
9.2.3.2. Importation dans FreeCAD	260
9.2.4.  Capture vidéo	265
9.3. Dessin 2D 	265
9.3.1. Création de l'esquisse	267
9.3.2. Attacher l'esquisse	274
9.3.3. Créer les cavités	277
9.3.4.  Capture vidéo	278
9.4. Équation paramétrique 	278
9.4.1. Installer la macro	279
9.4.2. Exécuter la macro	279
9.4.3. Transformer la courbe en esquisse	280
9.4.4. Fermer l'esquisse et créer la protrusion	280
9.4.5.  Capture vidéo	282
10. Atelier Mesh 	283
10.1. TP 10-1	284
11. Atelier TechDraw 	285
11.1. Configuration de l'atelier	285
11.2. TP 11-1	288
11.2.1. Groupe de projections	288
11.2.2. Vue en coupe	289
11.2.3. Vue oblique	291
11.2.4. Cotes & annotations	293
11.2.4.1.  Insertion de la direction pour la vue oblique	297
11.2.5. Vue 3D	302
11.3. TP 11-2	303
11.3.1. Vue principale & coupe	303
11.3.2. Cotes	305

11.3.3. Vue détaillée	306
11.3.3.1.  Insérer une vue détaillée	308
11.3.4. Vue 3D	310
12. Atelier CAM 	312
12.1. Présentation de l'atelier	312
12.2. Configuration de l'atelier	320
12.3. Gérer les outils coupants 	327
12.4. Usinages 2,5D	334
12.4.1. Travail préparatoire	334
12.4.2. Poche 	342
12.4.3. Simuler le parcours 	344
12.4.4. Réaliser le postraitement 	346
12.4.5. Ajouter des opérations	348
12.4.5.1. Créer le surfaçage 	348
12.4.5.2. Créer le profilage 	349
12.5. Finitions de parcours 	351
12.5.1. Création des attaches	351
12.6. Gravures	352
12.6.1. Forme d'outil	352
12.6.2. Créer une nouvelle forme d'outil	355
12.6.3. Gravure simple 	362
12.6.3.1. Travail préparatoire	362
12.6.3.2. Créer la gravure	364
12.6.4. Gravure en V 	367
12.6.4.1. Créer un outil vbit	367
12.6.4.2. Gravure en V	370
13. Documentation	373
13.1. Raccourcis Clavier	373
13.1.1. Vues	373
13.1.2. Affichage	374
13.1.3. Menu fichier	374
13.1.4. Menu édition	375
13.2. Raccourcis Atelier Sketcher	375
13.2.1. Raccourcis généraux	375
13.2.2. Outils de dessin (géométrie)	375
13.2.3. Contraintes géométriques	376
13.2.4. Contraintes dimensionnelles	376

1. Découvrir FreeCAD

1.1. Présentation

FreeCAD  est un logiciel de CAO, plus précisément de modélisation 3D : cf. [site officiel de FreeCAD](#)

Objectif de ce parcours guidé

La découverte d'un logiciel de modélisation 3D nécessite **un temps d'apprentissage**... Ce parcours propose un **ensemble de tâches à réaliser** permettant de découvrir FreeCAD, notamment en vue de modéliser des solides pour une [impression 3D](#) ou l'utilisation d'une CNC.


Pré-requis

- Savoir stocker et organiser des fichiers sur son ordinateur à l'aide du gestionnaire de fichiers ;
- Aucun prérequis spécifique à la modélisation 3D n'est nécessaire pour réaliser ce parcours ;

Version FreeCAD

Ce parcours utilise FreeCAD 1.1 : les nouveautés de la version 1.1 sont signalées par cette icône :  ;

Aide en ligne

Si vous êtes coincé, vous pourrez retrouver **en ligne** des captures vidéos  détaillant la réalisation des TP et rapidement accessibles via des QR-Codes.

Comment utiliser ce parcours ?

Ce parcours existe sur deux supports :

- une **version web** consultable en ligne et téléchargeable à cette adresse :
<https://freecad.lachiver.fr/v1.1/guideW/>



L'idéal étant alors d'avoir deux écrans : un écran sur FreeCAD et un deuxième écran (ordinateur ou tablette) sur ce tutoriel ;

- une **version PDF** que vous pouvez télécharger à cette adresse :
<https://freecad.lachiver.fr/v1.1/Parcours.pdf>

Attention à la taille de la version PDF

La version PDF complète de ce parcours comprend **plus de 300 pages** du fait de la présence de nombreuses captures d'écran ;

La page [Tableau PDF](#) propose une version PDF du parcours **par chapitre** et **par TP**, à privilégier si vous souhaitez travailler à partir d'un support papier ;

Manuel de référence FreeCAD

- Le wiki ^W FreeCAD à l'adresse https://wiki.freecad.org/Main_Page/fr constitue le **manuel de référence de FreeCAD** ;
- Dans ce parcours guidé, nous renverrons régulièrement vers la page du wiki en relation avec la connaissance (objet, commande, paramètre...) mobilisée par la tâche à réaliser.

1.2. Installation

FreeCAD est un **logiciel libre** que vous devez **télécharger et installer** sur votre ordinateur. Il fonctionne sous les trois principaux systèmes d'exploitation : Windows , MacOS , Linux .

Contrairement à ses principaux concurrents gratuits, mais **bridés** (Fusion 360, Tinkercad), il n'est pas nécessaire d'être connecté à Internet pour l'utiliser.




Deux versions sont disponibles :

- la version courante « **stable** » ;
- une version « **weekly** » de développement mise à jour chaque semaine ;

Quelle version choisir : stable ou weekly ?

Pour découvrir FreeCAD, je conseille d'utiliser la **version stable**.

Téléchargement : choisir le bon fichier


- Sous , deux formes sont proposées : une version avec « installateur » et une version portable au format « .7z ». Le plus simple est de choisir la version « **x86_64 installer** » ;
- Sous , télécharger le fichier disque image « .dmg » correspondant à votre processeur : « **Apple Silicon** » ou « **Intel** » ;
- Sous , télécharger le fichier « .ApplImage » correspondant à votre processeur : « **x86_64** » ou « **aarch64** » ;





Adresses de téléchargement :

Versions	Adresses de téléchargement
Stable	https://www.freecad.org/downloads.php?lang=fr
Weekly	https://github.com/FreeCAD/FreeCAD/releases


Si vous souhaitez utiliser la version de développement, conservez toujours une version de développement **antérieure opérationnelle** au cas où la dernière version de développement serait inutilisable sur votre ordinateur, ce qui arrive parfois...

Installation


- Sous , lancer l'exécution du fichier d'installation **ou bien** si vous avez choisi la version portable (.7z), extraire le fichier « .7z » dans un dossier séparé puis lancer l'exécution du fichier `freecad.exe` présent dans le sous-dossier `.bin` ;

- Sous , ouvrir le fichier « .dmg » et copier le fichier  dans votre dossier  ;
- Sous , changer les propriétés du fichier « .AppImage » pour le rendre exécutable.




Extraire le fichier .7z

Sous , si vous optez pour la version portable « .7z », les dernières versions de Windows prennent en charge ce format de fichier .7z sinon vous pouvez télécharger et installer le logiciel libre [7zip](#) ;

Compatibilité des extensions

La commande  Outils → Gestionnaire des extensions propose différentes extensions, ateliers ou macros, qui peuvent ne pas être encore mis à jour avec la dernière version de développement.

Pour connaître le numéro de la version utilisée :

- Sélectionner la commande  Aide → À propos de FreeCAD (sous   FreeCAD → À propos de FreeCAD) ;
- FreeCAD ouvre une boîte de dialogue indiquant le numéro de version de l'application et la date de publication.


1.3. Interface

Objectifs

- Découvrir et personnaliser l'interface de FreeCAD ;

1.3.1. Ouvrir un document FCStd

Objectifs

- Comprendre la structure arborescente d'un document FreeCAD ;
- Savoir interagir dans le panneau  Modèle ;

Format FCStd



≈ Format FreeCAD

Le format de fichier « .FCStd » est le format natif de FreeCAD ;

Ne pas confondre le format FreeCAD et le format STL

- Le format de fichier « .stl » est utilisé par les logiciels du type « Slicer » comme Cura pour générer un fichier gcode qui sera envoyé à une imprimante 3D ; (Voir les différents [Formats de fichiers](#) en relation avec l'impression 3D)
- FreeCAD permet d'exporter au format STL - Le processus inverse : passer du format STL à un format FreeCAD est beaucoup plus difficile ;

+ Fabrication numérique

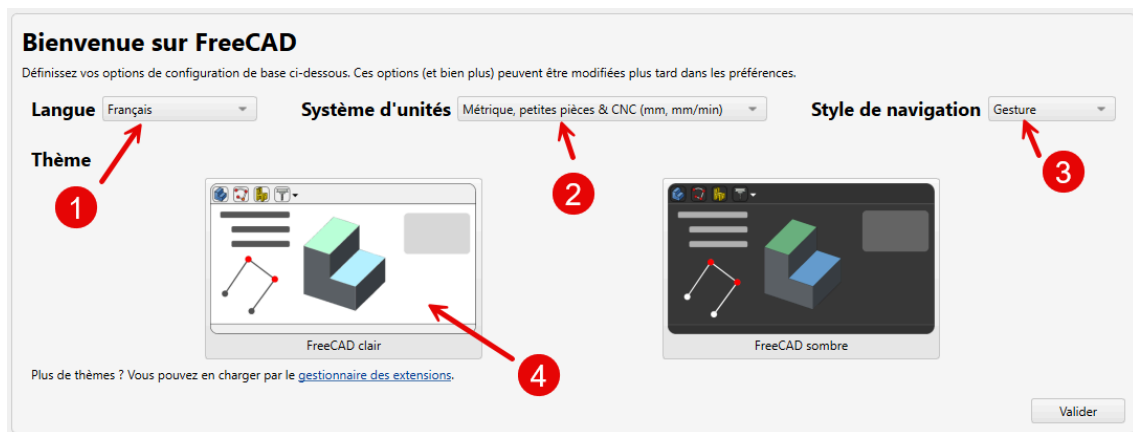
- FreeCAD propose :
 - l'atelier Mesh  qui permet de paramétrer et d'exporter au format « stl » ;
 - l'atelier CAM  qui permet de produire directement des fichiers gCode pour piloter une CNC ;

☰ Tâches à réaliser :

- Télécharger le fichier [tuto1.FCStd](#) sur votre ordinateur ;
- Démarrer FreeCAD ;




💡 Écran de bienvenue

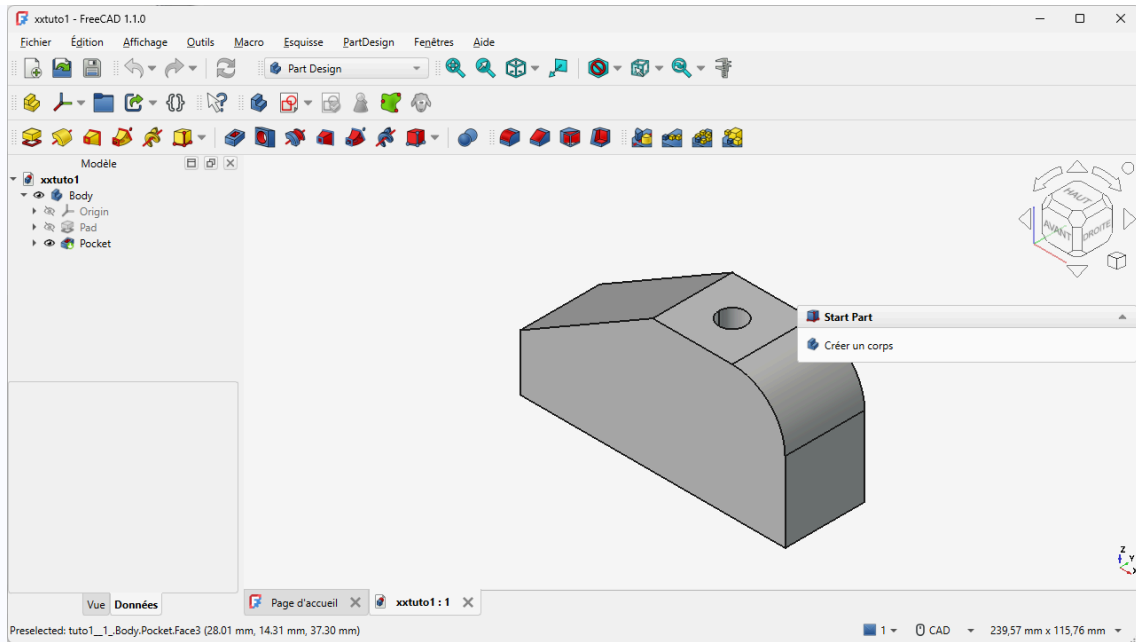
Au démarrage, par défaut, FreeCAD affiche un écran de bienvenue. Vous pouvez choisir : (1) la langue, (2) le système d'unités, (3) le style de navigation et (4) le thème :



Écran de bienvenue

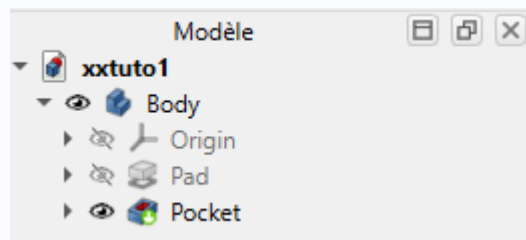
☰ Tâches à réaliser (suite)

- Ouvrir ce document  [tuto1.FCStd](#) dans FreeCAD à l'aide de la commande  Fichier → Ouvrir ou du bouton  ;



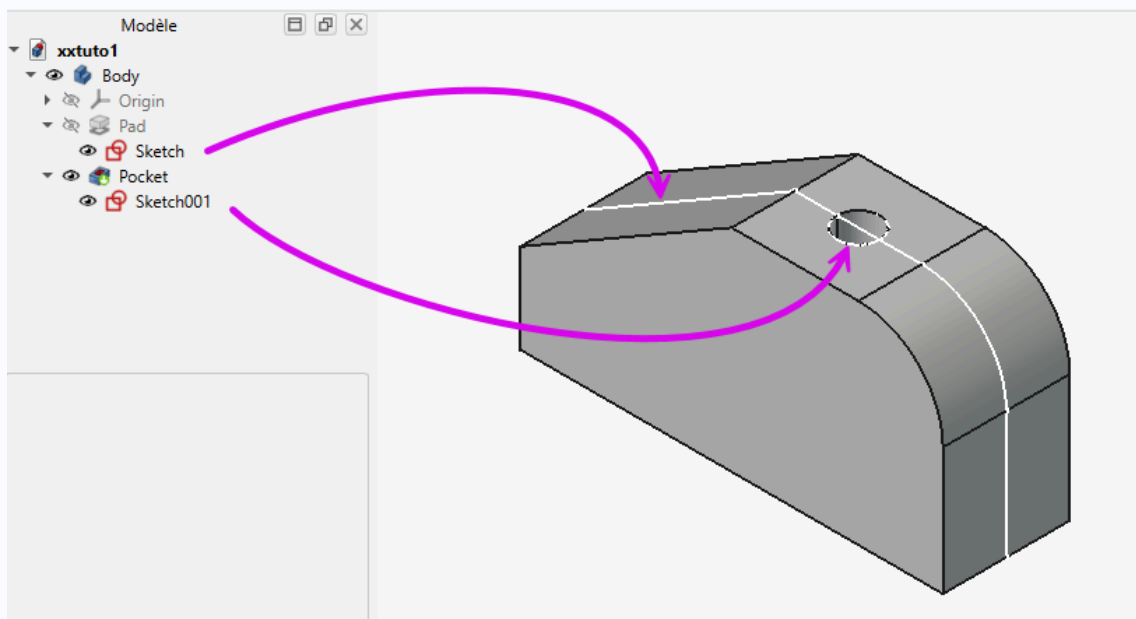
Ouverture du document tuto1

- Enregistrer ce document sous le nom `xx tuto1.FCStd`, xx représentant vos initiales, à l'aide de la commande `Fichier → Enregistrer Sous...` ;
- Dans le panneau `Modèle`, identifier le contenu de la structure arborescente du document `xx tuto1` ;



Panneau Modèle

- Afficher `Sketch` et `Sketch001` dans la vue 3D en cliquant sur les boutons `▶` et/ou `👁` du panneau `Modèle` ;









Affichage des esquisses (sketchs)



Structure du document  xxtuto1 **Body**Corps (solide) contenu dans le document   xxtuto1 ; **Origin (masqué par défaut)**L'objet  Origin contient la définition du repère lié au corps : **Pad (masqué)**Construction intermédiaire utilisée pour modéliser «  Pocket » **Sketch**Esquisse utilisée pour construire la protrusion  Pad ; **Pocket**Construction finale de  Body ; **Sketch001**

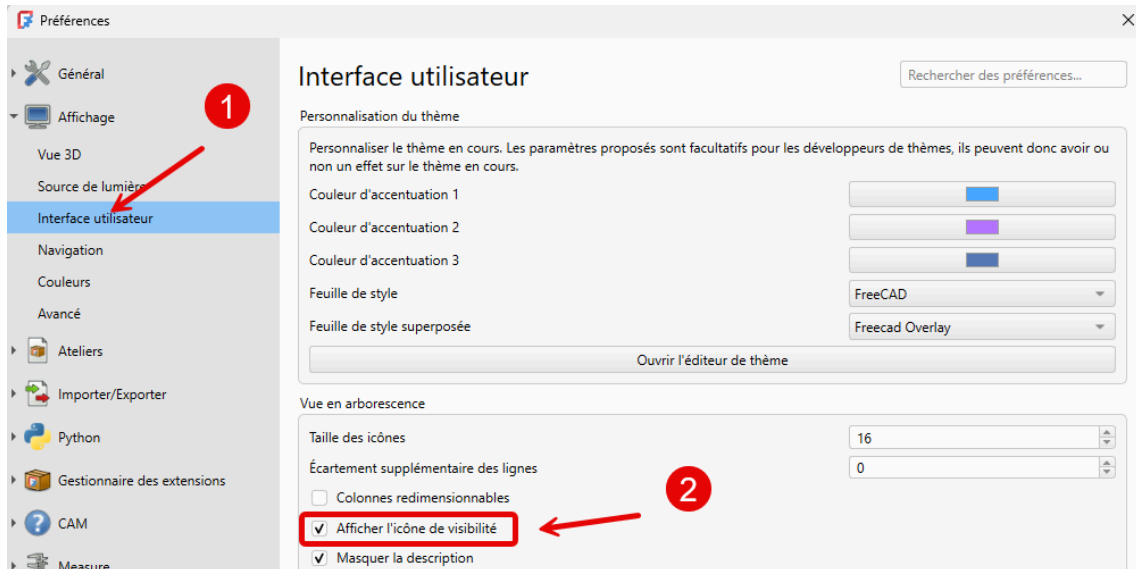
Esquisse utilisée pour créer la cavité dans Pad ;

 **Interactions dans l'onglet Modèle :**

- L'élément encadré est l'élément sélectionné, il est coloré par défaut en bleu dans la vue 3D ;
-  |  : affiche / masque l'élément dans la vue 3D ;
-  |  : développe / réduit la branche de l'arborescence ;
- Clic droit sur un élément affiche le menu contextuel permettant notamment de le  Renommer ou de le  supprimer ;

 **Si vous ne voyez pas les boutons  et **

1. Sélectionner la commande  Édition → Préférences ;
2. Sélectionner la rubrique  Affichage → Interface de l'utilisateur ;
3. Cocher la case Afficher l'icone de visibilité ;

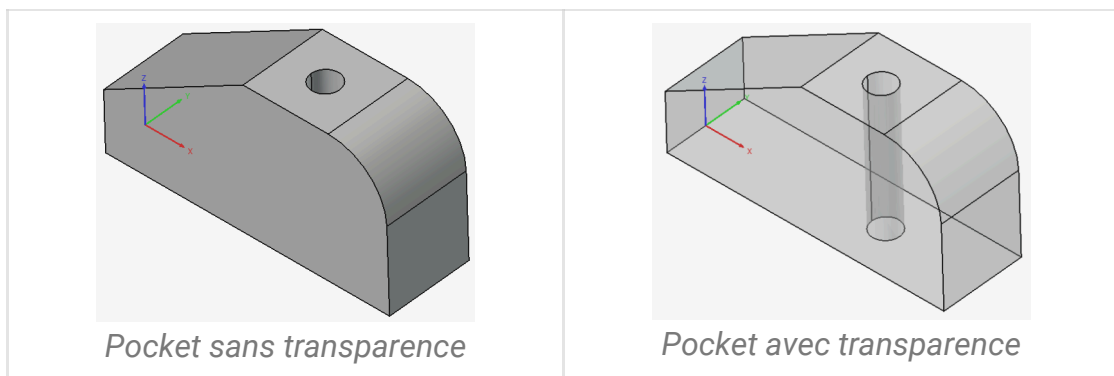


Préférences de l'interface de l'utilisateur

4. Valider

Transparence

Le raccourci clavier **V** puis **T** active / désactive la transparence de l'objet sélectionné dans le panneau **Modèle** ;



Tâche à réaliser

- Sélectionner  **Pocket** dans le panneau **Modèle** et activer la transparence ;

1.3.2. Choisir le style de navigation

Style de navigation

≈ Mode de navigation

Pour naviguer visuellement dans la vue 3D et interagir avec les objets affichés, FreeCAD propose plusieurs styles ou modes de navigation à la souris. Le style par défaut est le style **CAD**.

Quel style de navigation choisir ?

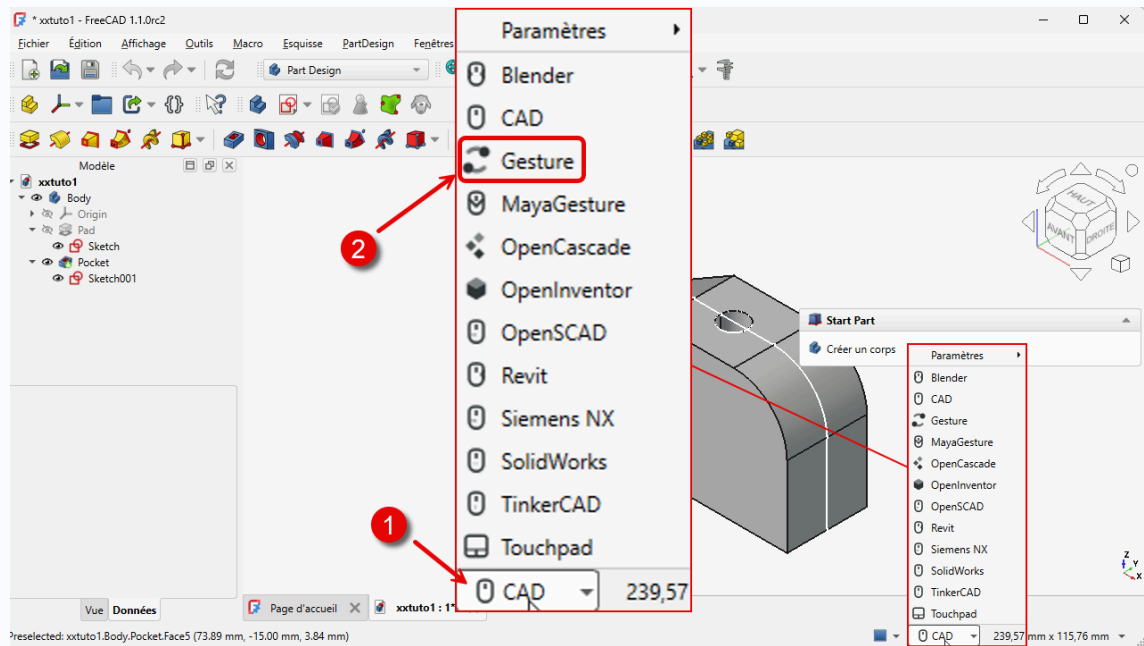
Si vous utilisez déjà d'autres logiciels comme [Blender](#) ou [TinkerCad](#), vous pouvez choisir le style de navigation correspondant ;

Sinon le style **Gesture** est facile à utiliser avec une souris ou un pavé tactile ;

W https://wiki.freecad.org/Mouse_navigation/fr

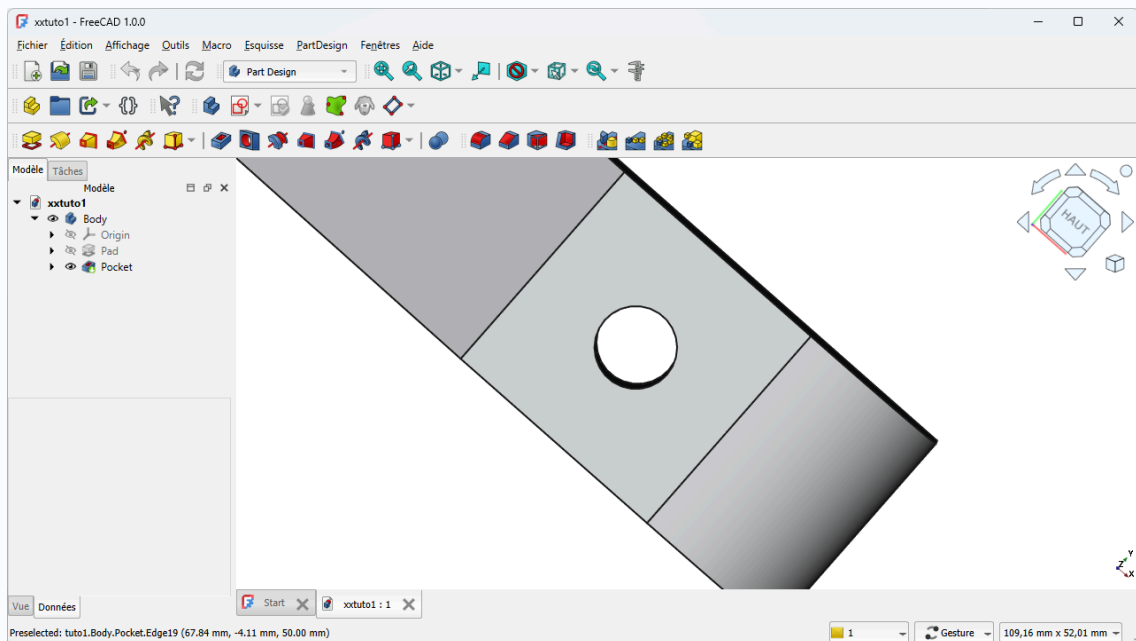
Tâches à réaliser

- Choisir le style de navigation **Gesture** en cliquant sur le bouton déroulant **CAD** situé en bas à droite de la fenêtre de FreeCAD ;



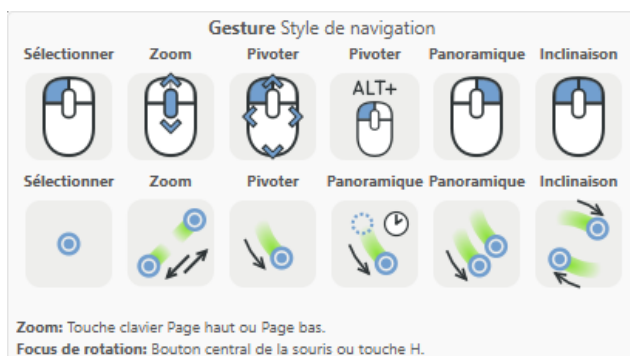
Choix du style Gesture

- Utiliser la souris pour afficher le solide comme sur la figure ci-dessous ;



*Utilisation du style de navigation sur XXtuto1***?** Comment utiliser le style Gesture ?

- Clic **droit** maintenu appuyé permet de translater (panoramique) ;
- **Molette** de la souris pour zoomer / dézoomer ;
- Clic **gauche** maintenu appuyé permet de pivoter (rotation) : FreeCAD visualise le centre de rotation à l'aide d'un cercle rouge ;
- Clic **milieu** (molette) sur un vertex du solide pour déplacer le centre de rotation ;

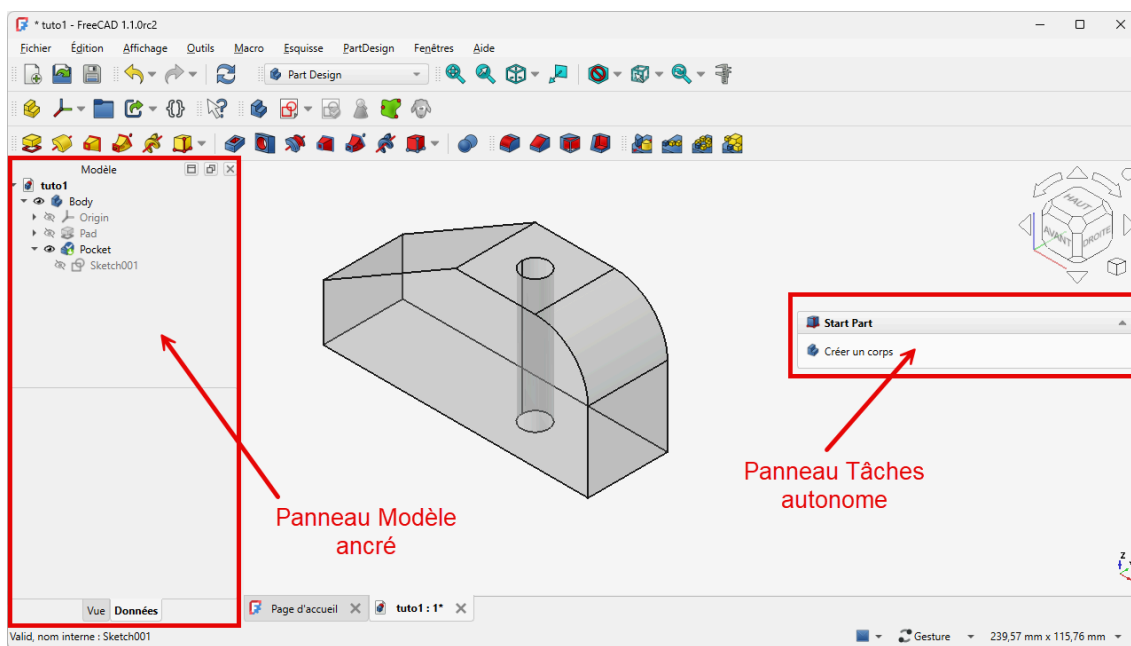
*Résumé des commandes du style de navigation Gesture*

Pour déplacer le centre de rotation, on peut aussi sélectionner le sommet (vertex) et appuyer sur la touche

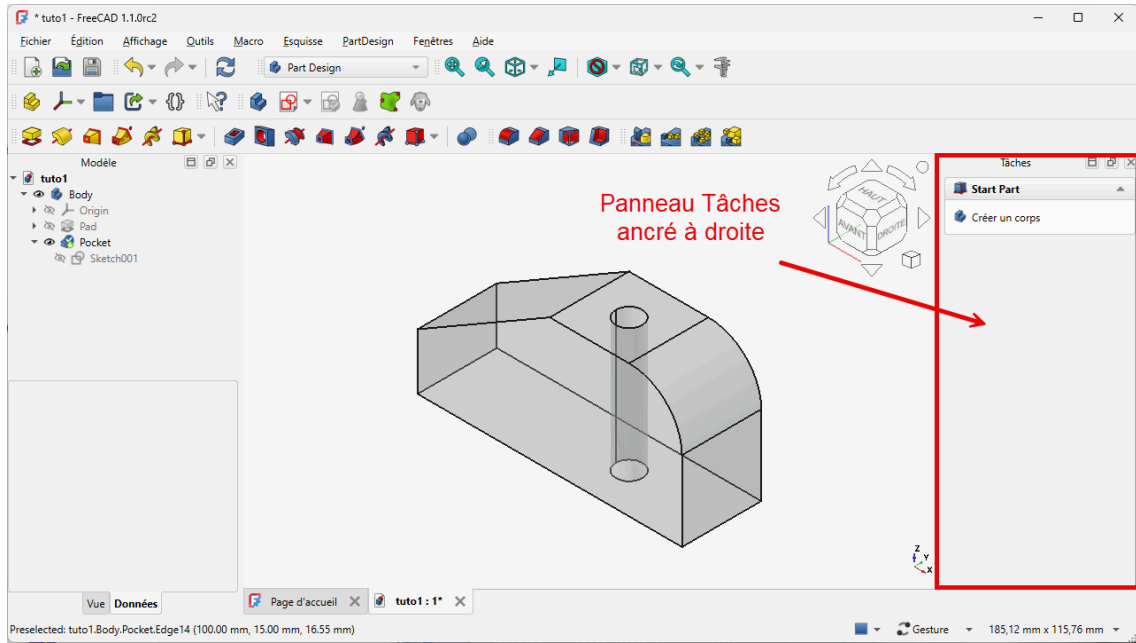
H ;

1.3.3. Identifier les principaux composants de l'interface**📢** : panneau Tâches autonome

Par défaut, le panneau **Modèle** est ancré à gauche, le **panneau Tâches** ^W est autonome :

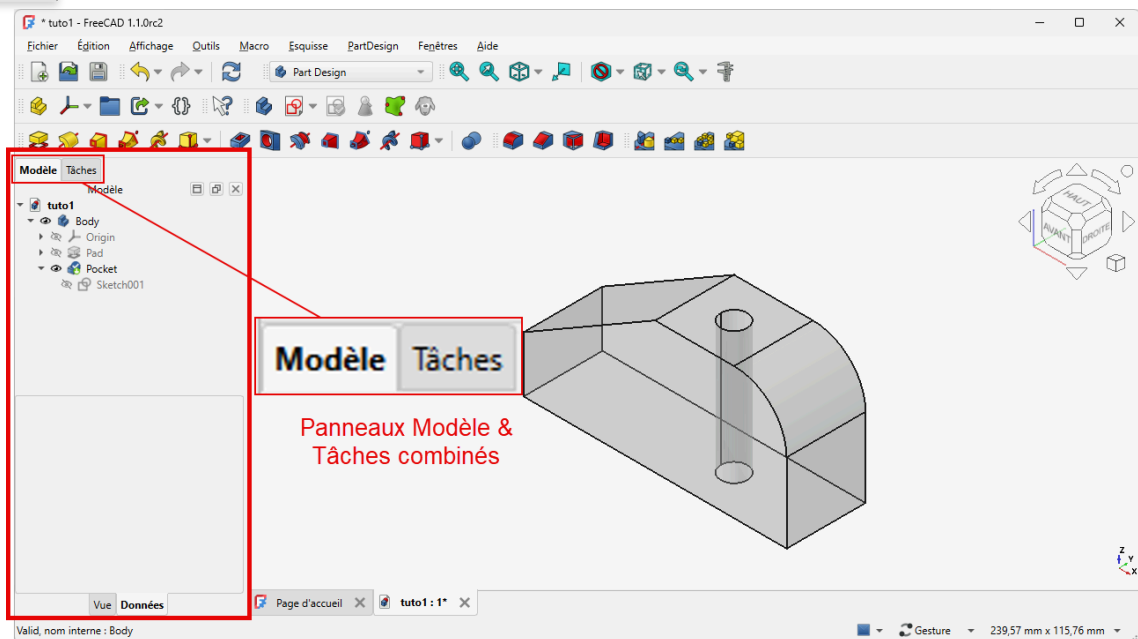
*Panneau Tâches autonome*

- Si vous disposez d'un très grand écran ou de deux écrans pour travailler, vous pouvez laisser le panneau **Tâches** flottant ou l'ancrer sur un autre bord, comme sur la figure ci-dessous :



Panneau Tâches ancré à droite

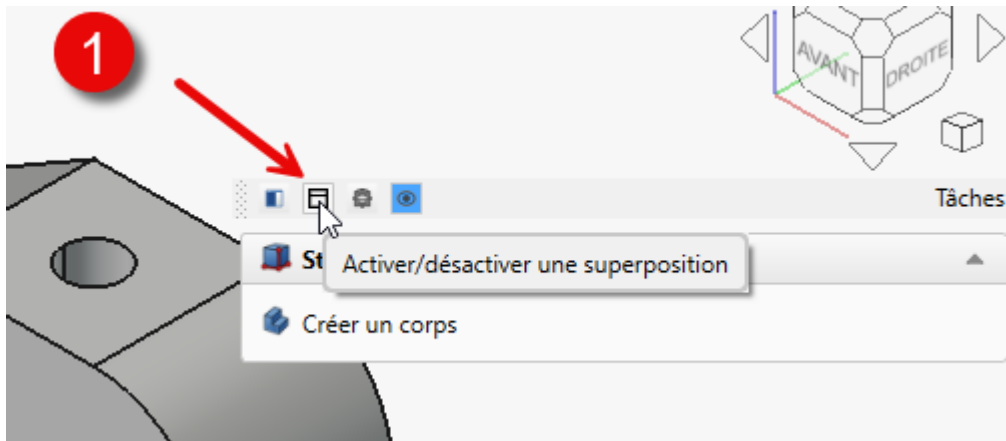
- sinon vous pouvez le combiner avec le panneau Modèle pour former deux onglets **Modèle** et **Tâches**, choix retenu dans ce parcours ;



Panneau Tâches combiné avec le panneau Modèle

💡 Combiner les panneaux Modèle & Tâches :

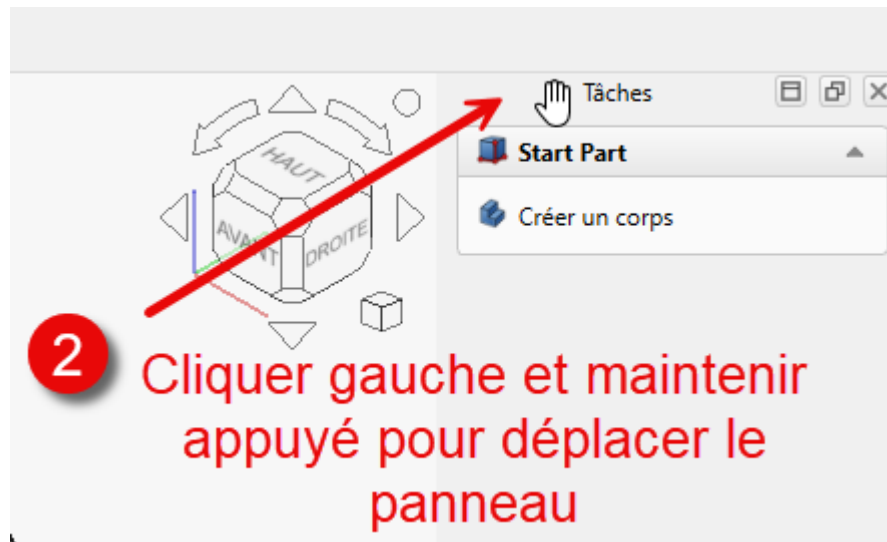
1. Cliquer sur le bouton  Activer la superposition du panneau  Tâches ;





Activer la superposition

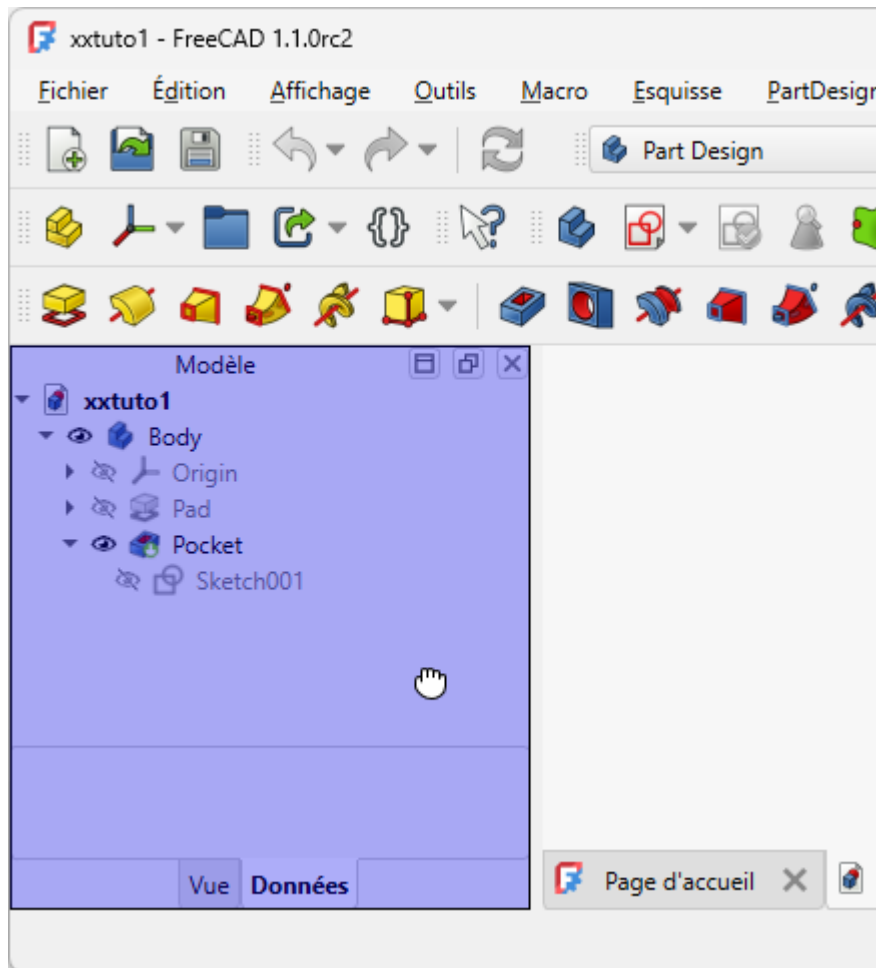
=> Le panneau  Tâches s'ancre à droite ;

2. Cliquer gauche et maintenir appuyé la barre de titre du panneau  Tâches pour le déplacer ;



Déplacer le panneau  Tâches ancré à droite

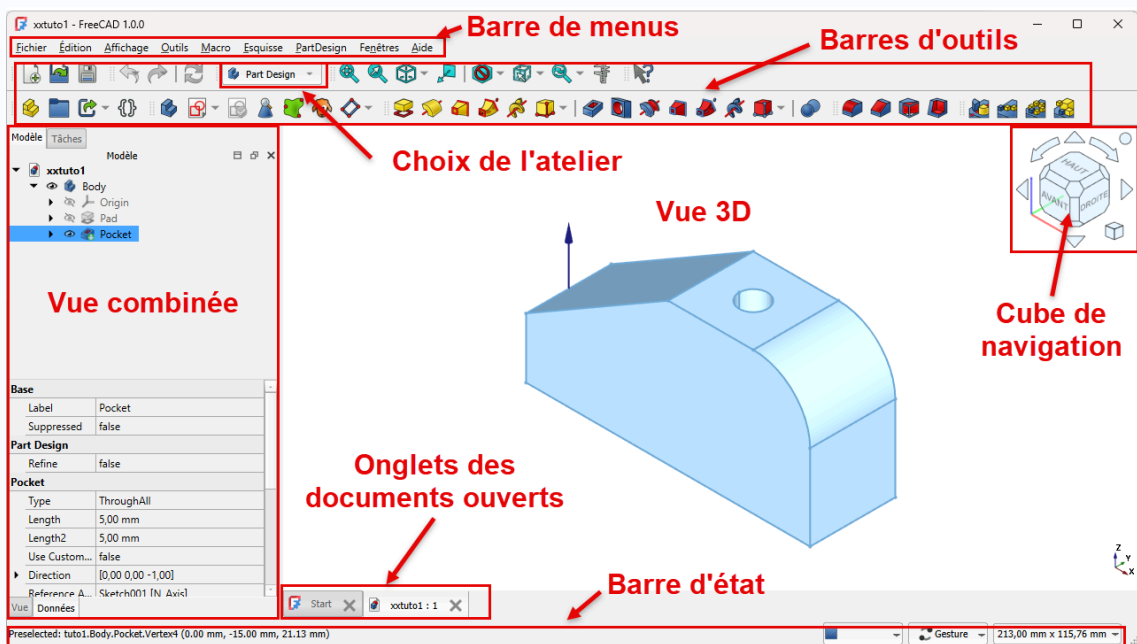
3. Déposer le panneau  Tâches juste au dessus du panneau  Modèle ;



Panneau Tâches juste au dessus du panneau Modèle

☰ Tâches à réaliser

- Ouvrir FreeCAD et charger à nouveau le document xxtuto1.FCStd si nécessaire ;
- Repérer les éléments ci-dessous de l'interface de FreeCAD :



*Interface de FreeCAD***⚠ Attention**




En cas d'erreur ou d'avertissement, un volet  Rapport apparaîtra sous la zone de travail. Après avoir pris connaissance du message, vous pourrez refermer ce volet.

1.3.4. Régler certaines préférences

🔄 Objectifs de la section

- Modifier et/ou vérifier certains réglages de FreeCAD utiles pour ce parcours.

☑ Tâches à réaliser :

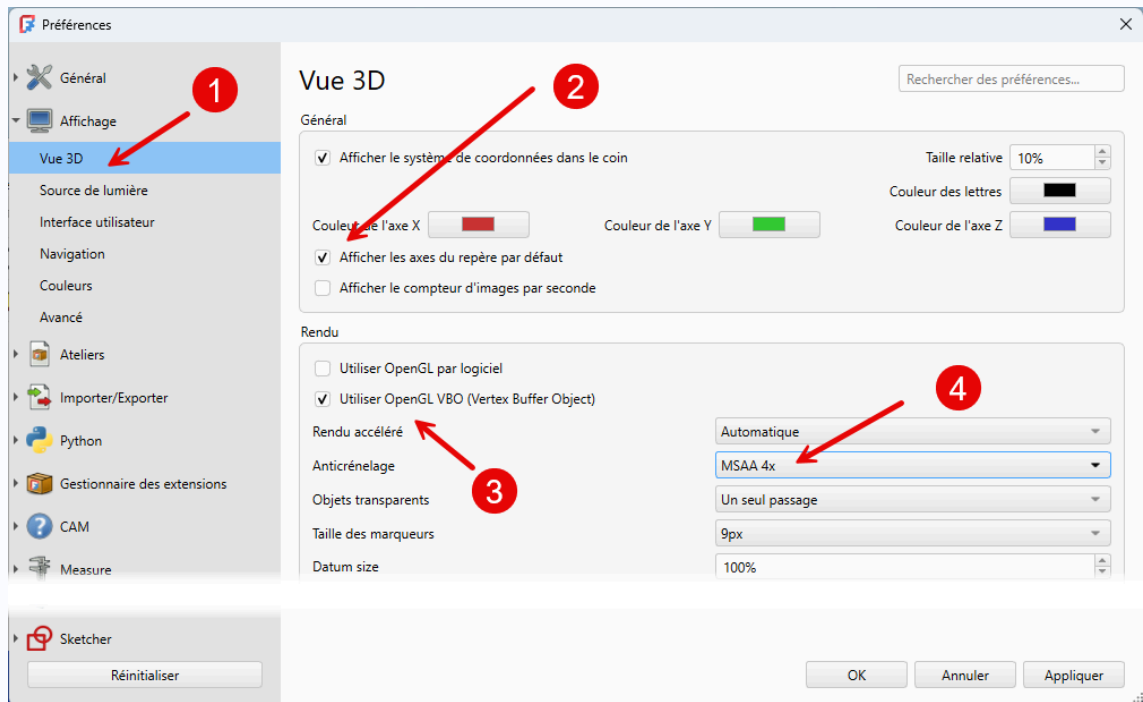
- Sélectionner la commande  Édition → Préférences ( Freecad → Préférences sous );
- Modifier les réglages en respectant les consignes ci-dessous ;

💡 Raccourci clavier pour la commande  Édition → Préférences

Rendu de l'affichage

☰ Tâches à réaliser

- Optimiser l'affichage graphique ;



Rendu de l'affichage 3D

⚠ Attention

- Les paramètres Utiliser OpenGL VBO et Anticrénelage accélèrent l'affichage 3D mais dépendent de la carte graphique installée sur votre ordinateur et peuvent parfois planter FreeCAD, à tester...
- Si vous modifiez l' anticrénelage, il faudra redémarrer FreeCAD pour l'activer ;

Simplifier la liste des ateliers

☰ Tâches à réaliser

- Simplifier la liste des ateliers pour démarrer l'apprentissage de FreeCAD ;

Ateliers disponibles

Rechercher des préférences...

Ateliers

Vous pouvez réorganiser les ateliers par un glisser-déposer ou les trier en cliquant avec le bouton droit sur n'importe quel atelier et en sélectionnant *Trier par ordre alphabétique*. D'autres ateliers peuvent être installés via le gestionnaire des extensions. Les ateliers actuellement installés sont :

Atelier	Chargement automatique	Charger
<input checked="" type="checkbox"/> Assembly (W, 1)	<input type="checkbox"/>	Charger
<input checked="" type="checkbox"/> CAM (W, 2)	<input type="checkbox"/>	Charger
<input checked="" type="checkbox"/> Draft (W, 3)	<input type="checkbox"/>	Charger
<input checked="" type="checkbox"/> Mesh (W, 4)	<input type="checkbox"/>	Charger
<input checked="" type="checkbox"/> Part Design (W, 5)	<input checked="" type="checkbox"/>	Chargé
<input checked="" type="checkbox"/> Part (W, 6)	<input type="checkbox"/>	Charger
<input checked="" type="checkbox"/> Sketcher (W, 7)	<input type="checkbox"/>	Charger
<input checked="" type="checkbox"/> Spreadsheet (W, 8)	<input type="checkbox"/>	Charger
<input checked="" type="checkbox"/> TechDraw (W, 9)	<input type="checkbox"/>	Charger
<input type="checkbox"/> BIM	<input type="checkbox"/>	Charger
<input type="checkbox"/> FEM	<input type="checkbox"/>	Charger
<input type="checkbox"/> Inspection	<input type="checkbox"/>	Charger
<input type="checkbox"/> Material	<input type="checkbox"/>	Charger
<input type="checkbox"/> OpenSCAD	<input type="checkbox"/>	Charger
<input type="checkbox"/> Points	<input type="checkbox"/>	Charger
<input type="checkbox"/> Reverse Engineering	<input type="checkbox"/>	Charger
<input type="checkbox"/> Robot	<input type="checkbox"/>	Charger
<input type="checkbox"/> Surface	<input type="checkbox"/>	Charger
<input type="checkbox"/> Test Framework	<input type="checkbox"/>	Charger

2 Décocher ces ateliers

Préférences Atelier disponibles

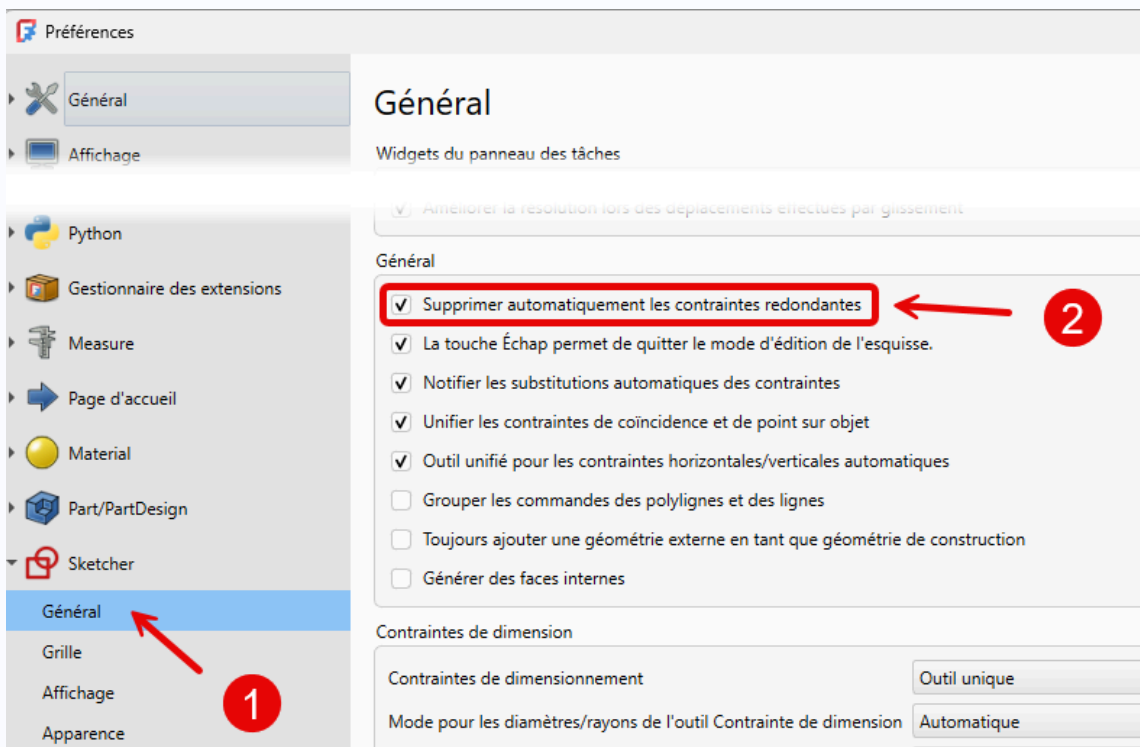
🕒 Remarque

Vous pourrez les rendre disponibles à nouveau si vous en avez besoin par la suite...

Atelier Sketcher

Tâches à réaliser

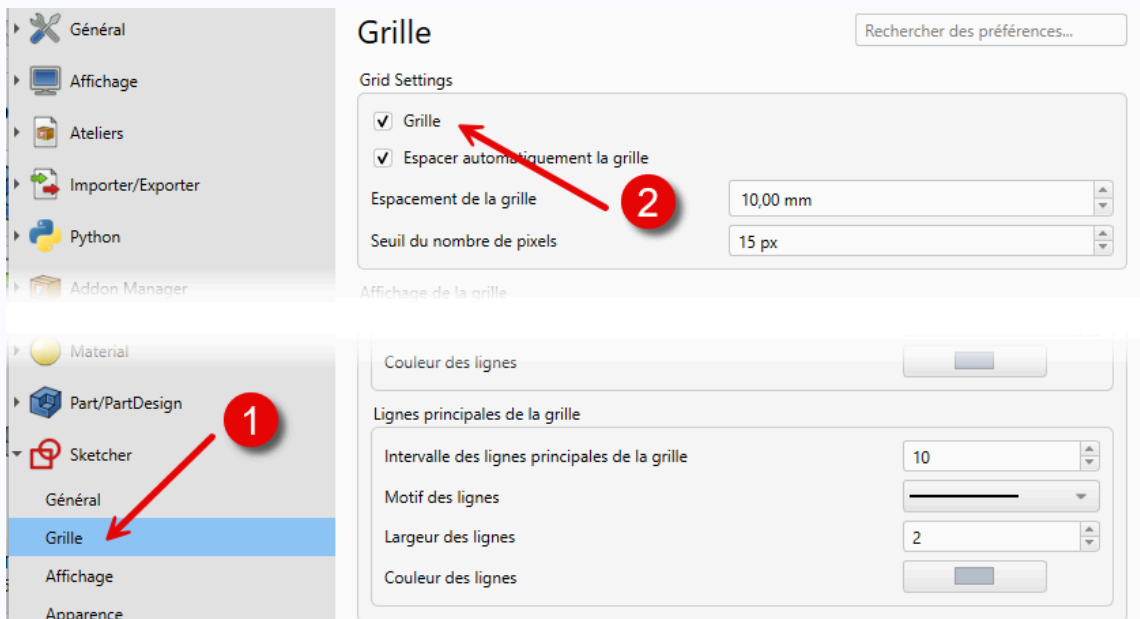
- Cocher Supprimer automatiquement les contraintes redondantes ;



Préférences Sketcher : suppression automatique des contraintes redondantes



Tâches à réaliser

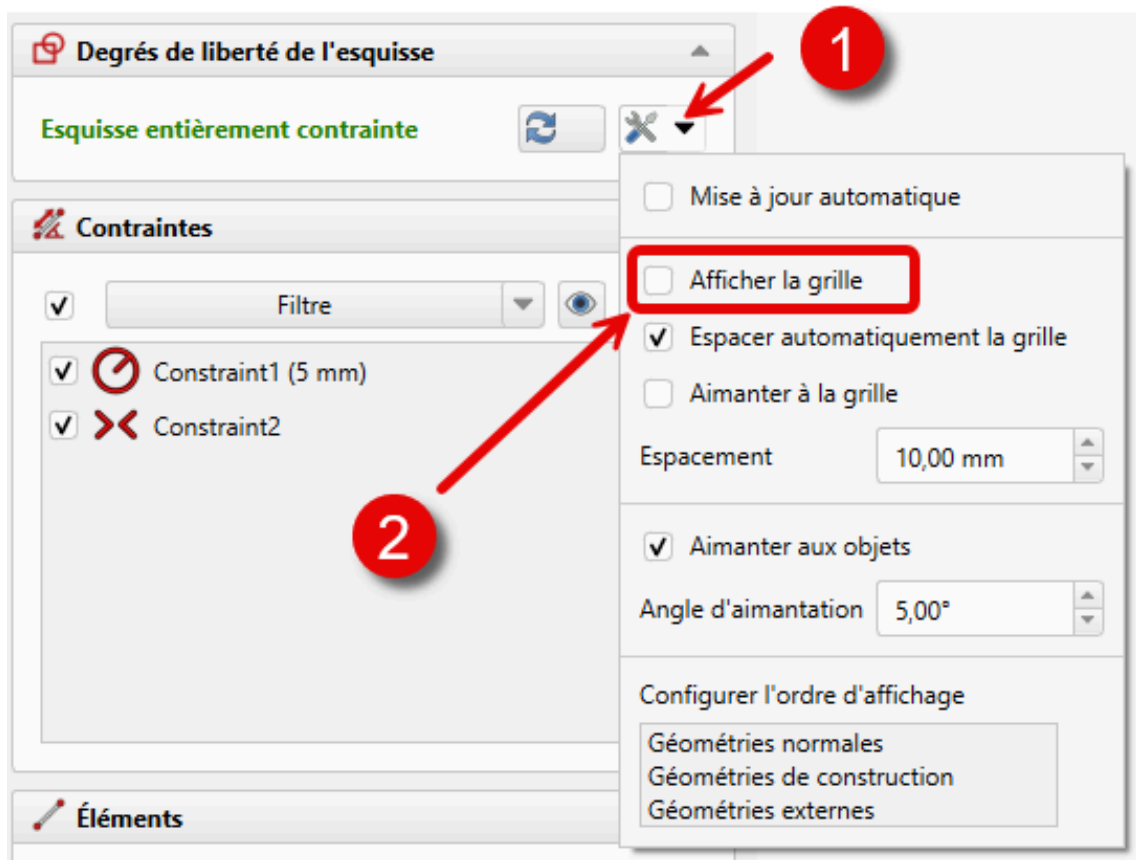
- Afficher la grille dans l'atelier Sketcher, ce qui peut aider à positionner les géométries de l'esquisse ;



Préférences Sketcher : Affichage de la grille

💡 Afficher / masquer la grille dans l'atelier Sketcher




- Dans l'atelier Sketcher , le bouton déroulant du panneau  Éditer l'esquisse permettra d'afficher / masquer la grille à la demande ;



Afficher / masquer la grille

Valider vos préférences

☑️ Tâches à réaliser

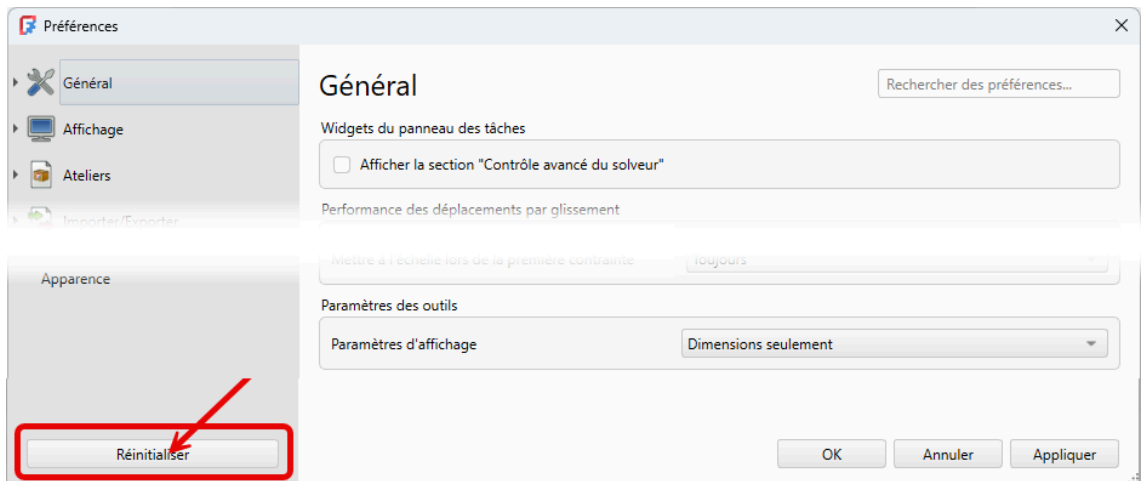
- Valider ces nouveaux réglages en cliquant sur le bouton  OK au bas de la fenêtre  Préférences ;
- Quitter FreeCAD sans enregistrer les modifications éventuelles dans le document  xx tuto1 ;

Si vous souhaitez réinitialiser vos préférences :

Procédure

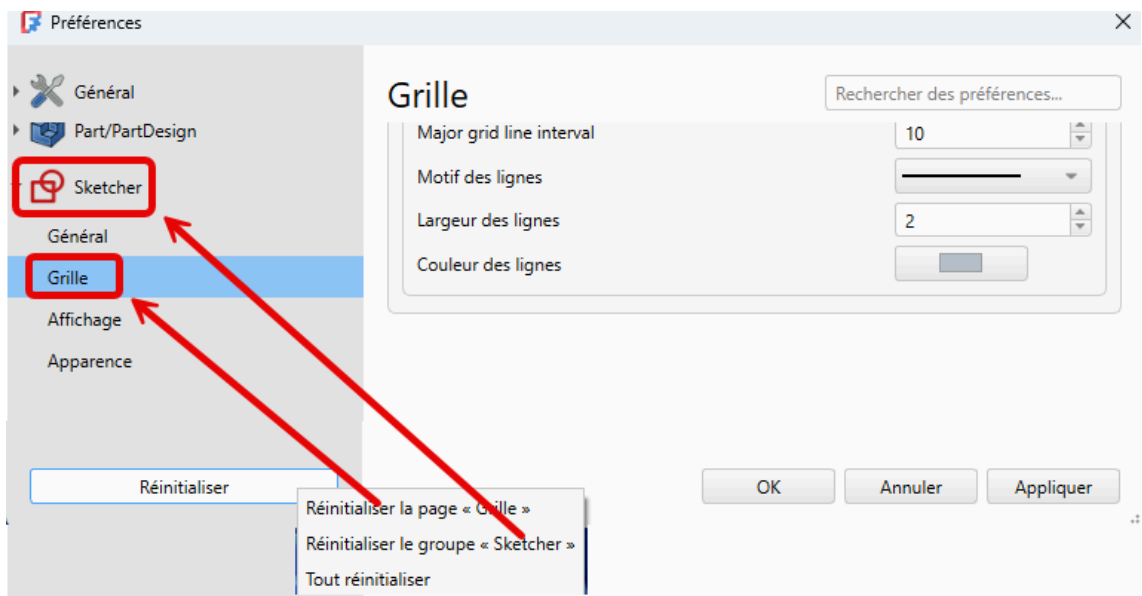
1. Sélectionner la commande  Édition → Préférences ;

2. Cliquer sur le bouton Réinitialiser en bas de la fenêtre Préférences ;



Réinitialiser les préférences




3. Vous pourrez alors : réinitialiser le groupe ou bien la page ou bien tout réinitialiser ;



Choix pour la réinitialisation

📁 Emplacement des fichiers de configuration

Si FreeCAD plante au démarrage 😞, vous pouvez tout réinitialiser en effaçant les dossiers de configuration de FreeCAD :

	system.cfg & user.cfg	macros, Material & savedPreferencesPack
	C:\Users\login\AppData\Roaming\FreeCAD	
	/Users/login/Library/Preferences/FreeCAD	/Users/login/Library/Application Support/FreeCAD
	/home/login/.config/FreeCAD	/home/login/.local/share/FreeCAD

💡 Truc & astuce

Si vous utilisez différentes versions sur le même ordinateur, FreeCAD le détecte et sauvegardera la configuration dans un sous-dossier différent. 🔔

1.3.5. Ré-agencer les barres d'outils

🕒 Remarque

Suivant la taille de votre écran, certaines barres d'outils peuvent être tronquées : il faut cliquer sur le bouton **>>** pour faire apparaître tous les boutons de la barre d'outils ;

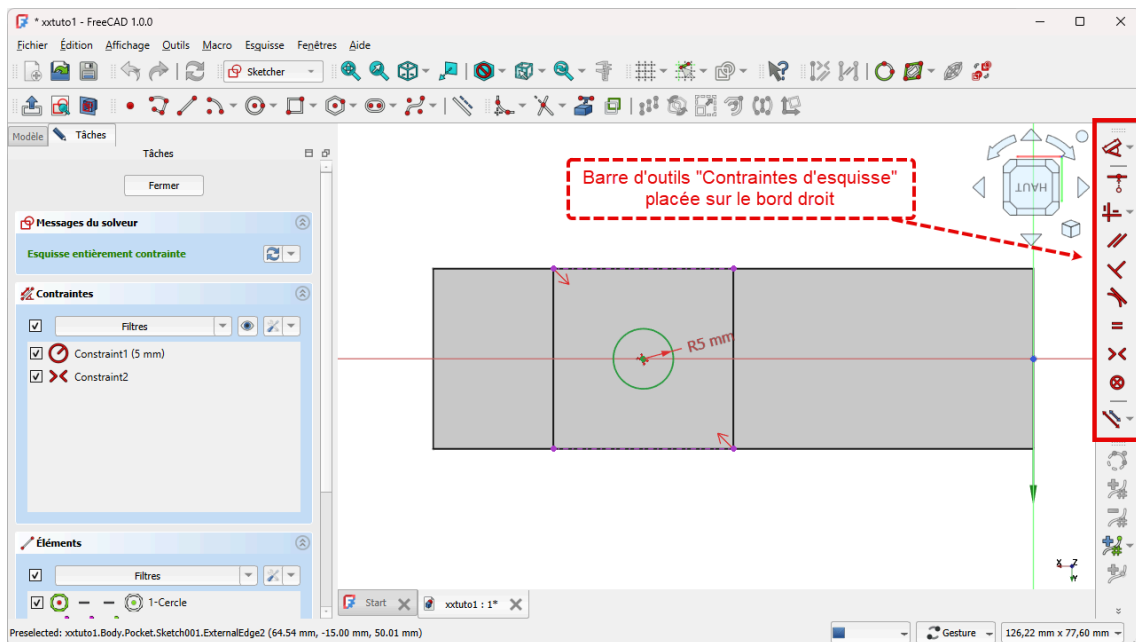


Symbole >> indiquant que la barre d'outils est tronquée

Barre d'outils tronquée

Afin d'éviter d'avoir à cliquer sur ce bouton **>>** pour accéder à tous les boutons des barres d'outils, il est conseillé :

- d'agrandir la fenêtre de FreeCAD ;
- de ré-agencer si nécessaire les différentes barres d'outils ;









Exemple de réagencement de la barre d'outils « Contraintes d'esquisse » de l'atelier Sketcher

⚠️ Bug dans la sauvegarde des barres d'outils la première fois !


La sauvegarde de l'agencement des barres d'outils ne fonctionne pas du premier coup 😞 :

1. Double-cliquer sur **Sketch001** du document **xxtuto1** pour l'ouvrir dans l'atelier Sketcher



2. Déplacer par exemple la barre d'outils [Aide]  ;
3. Fermer l'atelier Sketcher  ;
4. Rouvrir l'atelier Sketcher  : FreeCAD a repositionné tous les boutons sur une seule ligne ;
5. Réorganiser les barres d'outils de l'atelier Sketcher  comme vous le souhaitez...
6. Fermer l'atelier Sketcher : FreeCAD a repositionné tous les boutons de l'atelier PartDesign  sur une seule ligne : vous pouvez maintenant réorganiser les barres d'outils de l'atelier PartDesign  ...

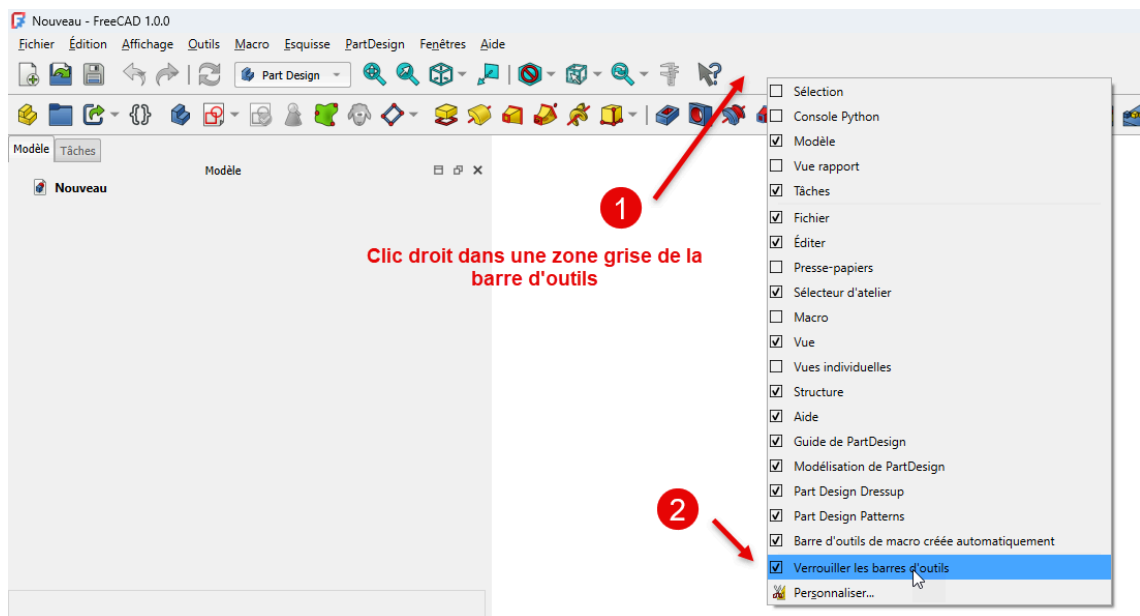
Pour déplacer une barre d'outils

1. Approcher le pointeur de la souris près du bord gauche de la barre à déplacer : le pointeur change d'aspect  ;
2. Cliquer gauche et maintenir appuyé ;
3. Déplacer la barre d'outils ;
4. Relâcher le bouton gauche de la souris ;

Verrouiller / déverrouiller les barres d'outils

Après avoir positionné les barres d'outils , si vous êtes satisfait de leurs positions , vous pourrez les verrouiller :

1. Cliquer droit sur la barre d'outils dans une zone vierge ;
2. Cocher Verrouiller les barres d'outils ;






1.4. Modélisation paramétrique

Objectifs

- Expérimenter le processus de modélisation paramétrique sur un exemple très simple ;

Différents processus

FreeCAD propose deux grands processus pour modéliser un solide :



	Géométrie Solide Constructive	Modélisation paramétrique
Principe	Construction d'objets à partir de formes géométriques simples (cubes, cylindres, sphères...) combinées par des opérations booléennes (union, intersection, soustraction)	Construction séquentielle d'objets à l'aide d'esquisses, contraintes, dimensions et relations qui définissent un modèle modifiable via des paramètres
Ateliers FreeCAD	<ul style="list-style-type: none"> Atelier Part  	<ul style="list-style-type: none"> Atelier Part Design  Atelier Sketcher 
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Adapté aux formes techniques simples Plus simple à apprendre 	<ul style="list-style-type: none"> Adapté aux formes techniques complexes Grande flexibilité de modification
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Peu adapté aux formes complexes Modifications avancées plus difficiles 	<ul style="list-style-type: none"> Plus difficile à apprendre Risque d'ambiguïté topologique en cas de modifications mal maîtrisées

Remarque

Dans la suite de ce parcours, nous allons privilégier la modélisation paramétrique ;








Modéliser un solide simple dans l'atelier Part Design

Quatre étapes sont nécessaires :

1. Création d'un nouveau document dans FreeCAD ;
2. Création d'un corps^W  dans ce document ;
3. Création d'une esquisse^W  dans ce corps ;
4. Application à l'esquisse d'une fonction paramétrique, par exemple [une protrusion^W](#) ;

1] Création du document

Tâches à réaliser

- Ouvrir FreeCAD si nécessaire ;
- Créer un nouveau document à l'aide de la commande  Fichier → Nouveau ou du bouton  de la barre d'outils ou du raccourci clavier **CTRL N** (**⌘ N** sous ) ;
- Enregistrer le document FreeCAD sous le nom  TP1 à l'aide de la commande  Fichier → Enregistrer ou du bouton  ou du raccourci clavier **CTRL S** (**⌘ S** sous ) ;

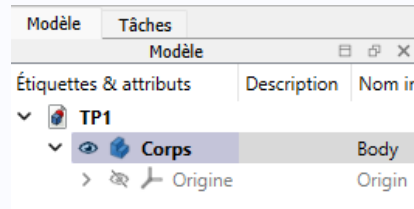
Remarque

- FreeCAD a créé un document  sur votre ordinateur.

2] Création du corps



Tâches à réaliser

- Sélectionner l'atelier  **Part Design** si nécessaire ;
- Créer un corps (body) à l'aide du bouton  ;





Création du corps

Dans les barres d'outils, ne pas confondre et

-  permet de créer un corps, la première étape de la modélisation paramétrique ;
-  est utilisé pour arranger différents objets dans l'espace, avec l'intention de créer des assemblages ;

3] Création de l'esquisse

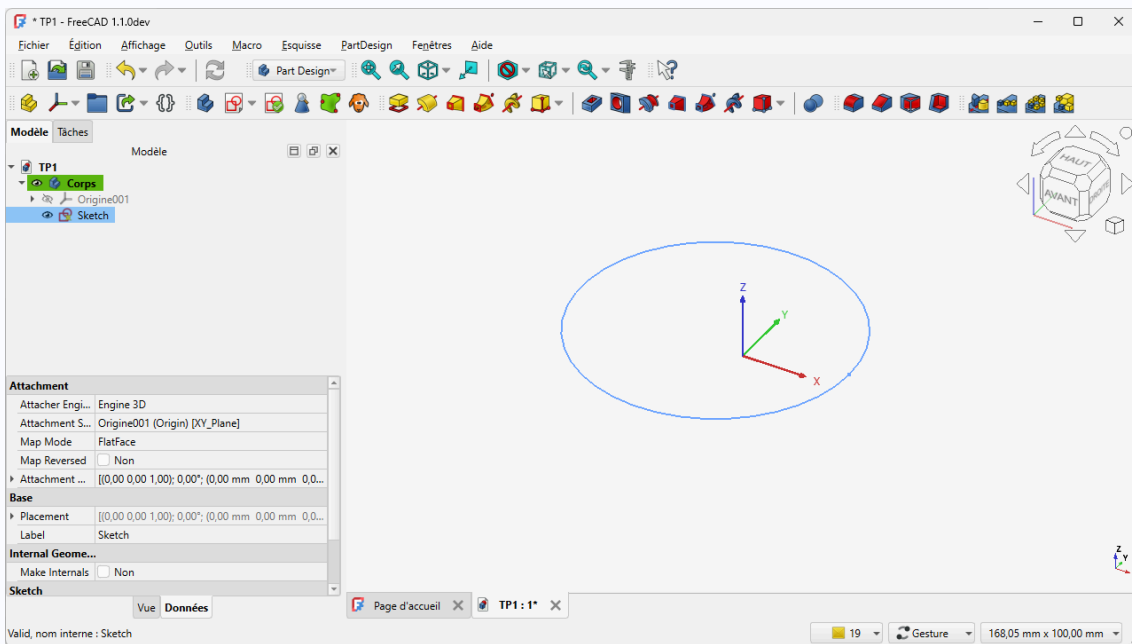
Tâches à réaliser

- Dans la vue **Modèle**, si nécessaire, sélectionner le  Corps ;
- Créer une esquisse à l'aide du bouton  ;
- FreeCAD ouvre l'onglet **Tâches** : sélectionner le plan XY ;



Choix du plan d'ancrage de l'esquisse



- Créer un simple cercle à l'aide du bouton  puis refermer la tâche à l'aide du bouton Fermer ;

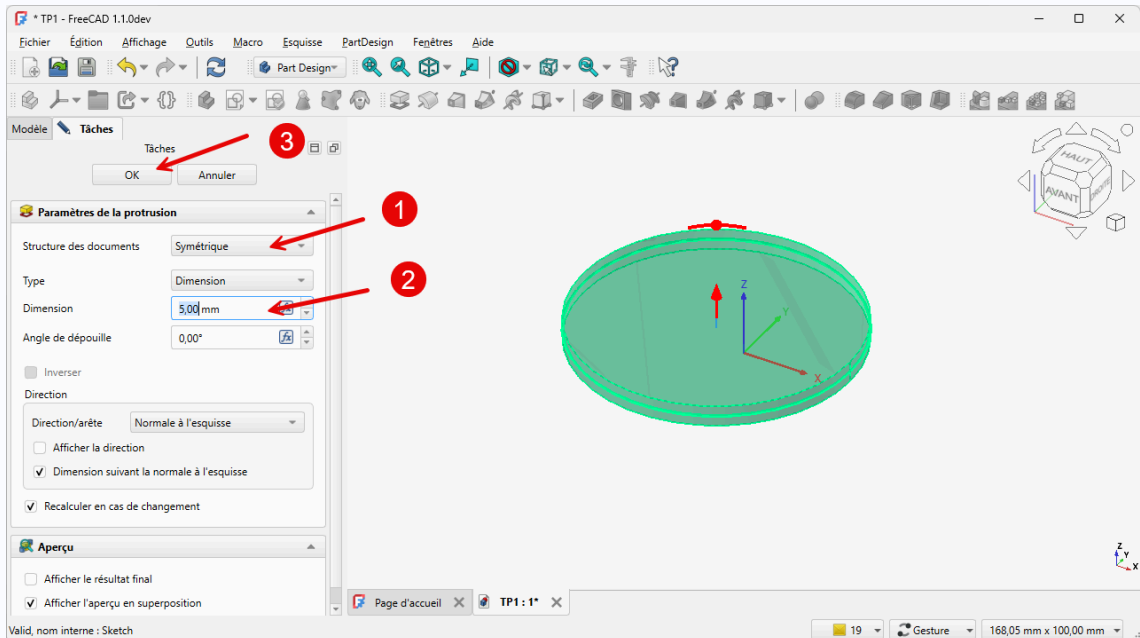
*Esquisse créée dans le corps***Remarque**

Pour le moment, peu importe la position du centre et le rayon du cercle.



4] Création du solide par protrusion

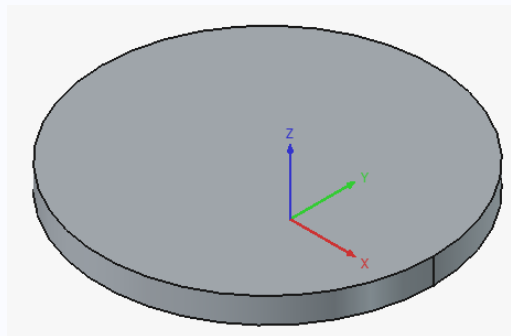
Tâches à réaliser

- Dans la vue **Modèle**, si nécessaire, sélectionner l'esquisse  Sketch ;
- Cliquer sur le bouton  et créer une protrusion de 5 mm, mode symétrique par rapport au plan XY :



Création de la protrusion

- Enregistrer vos modifications en cliquant sur le bouton  ou du raccourci **CTRL+S** (**CMD S** sous ) ;



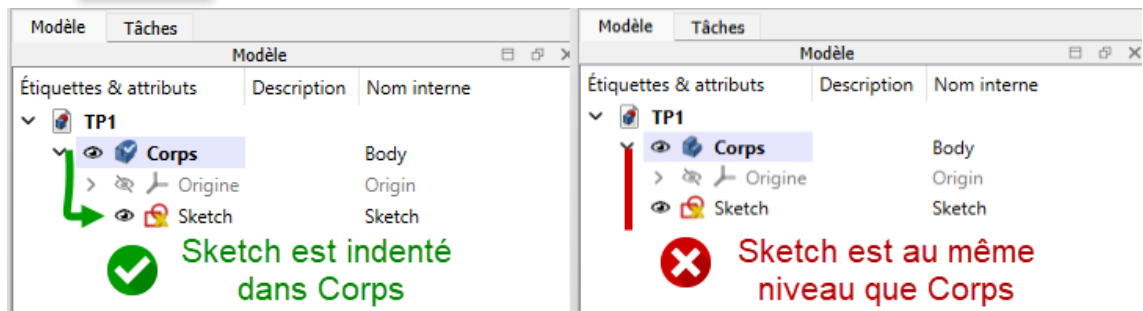
Vue 3D du solide modélisé

 Si la commande Protrusion est en grisé  dans la barre d'outils :

- Afficher l'onglet **Tâches** et fermer la commande en cours ;



⚠ Si la protrusion ne fonctionne pas :

- Dans la vue **Modèle**, vérifier que l'esquisse  Sketch est indentée dans  Corps ;



Attention au placement de l'esquisse dans l'arborescence du modèle


2. Explorer Sketcher

- Comme nous l'avons vu précédemment, la création d'esquisses est une **étape clef** dans le processus de modélisation paramétrique ;
- Avant d'aborder la modélisation de solides complexes, avec plusieurs esquisses successives, nous allons détailler la création d'esquisses dans l'atelier  Sketcher 

2.1. Interface de Sketcher

Esquisse


≈ Sketch

Une esquisse  est un **ensemble de géométries 2D** (lignes, arcs, cercles, B-splines, points, etc.) contraintes par des règles **géométriques** (parallélisme, perpendicularité, coïncidence, tangence, symétrie ...) et **dimensionnelles** (longueurs, rayons, angles, distances...);


L'esquisse sert de profil de référence pour créer des objets 3D via des fonctions paramétriques (protrusion, cavité, révolution, balayage, lissage...)

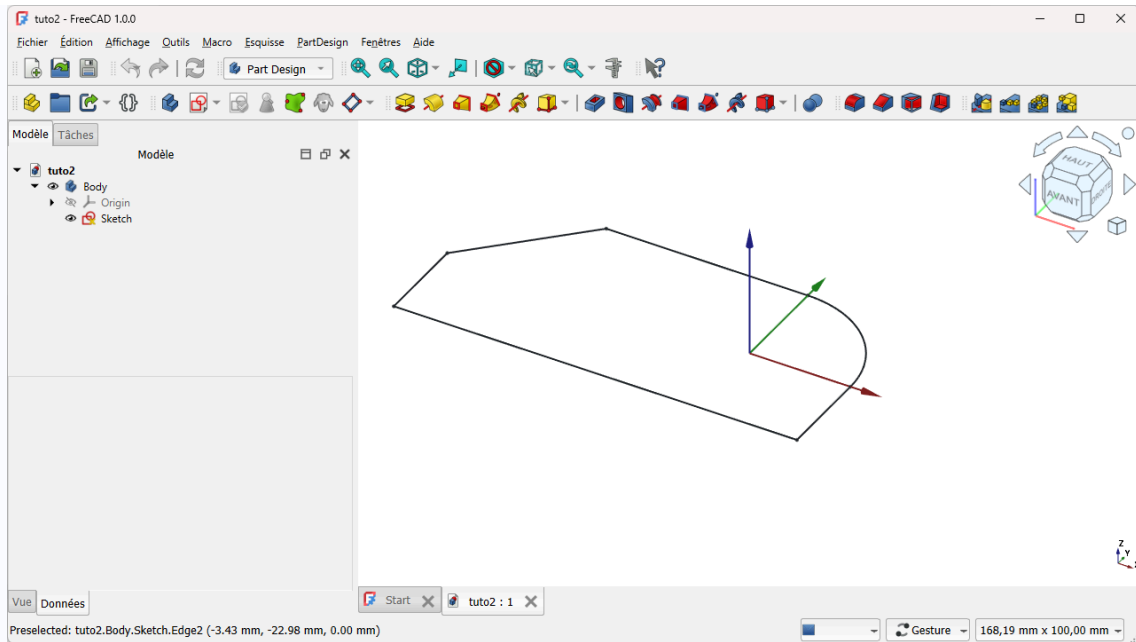
2.1.1. Géométries & contraintes

Objectifs






- Identifier les principales commandes de l'atelier Sketcher  permettant de créer des géométries et de les contraindre ;

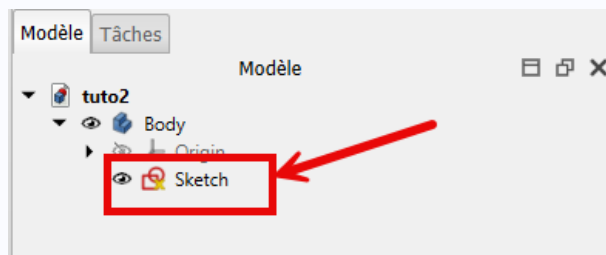
Tâches à réaliser

- Dans FreeCAD, si nécessaire, refermer les documents ouverts précédemment ;
- Télécharger le fichier [tuto2.FCStd](#) sur votre ordinateur ;
- Ouvrir ce document  `tuto2.FCStd` dans FreeCAD ;



Document tuto2

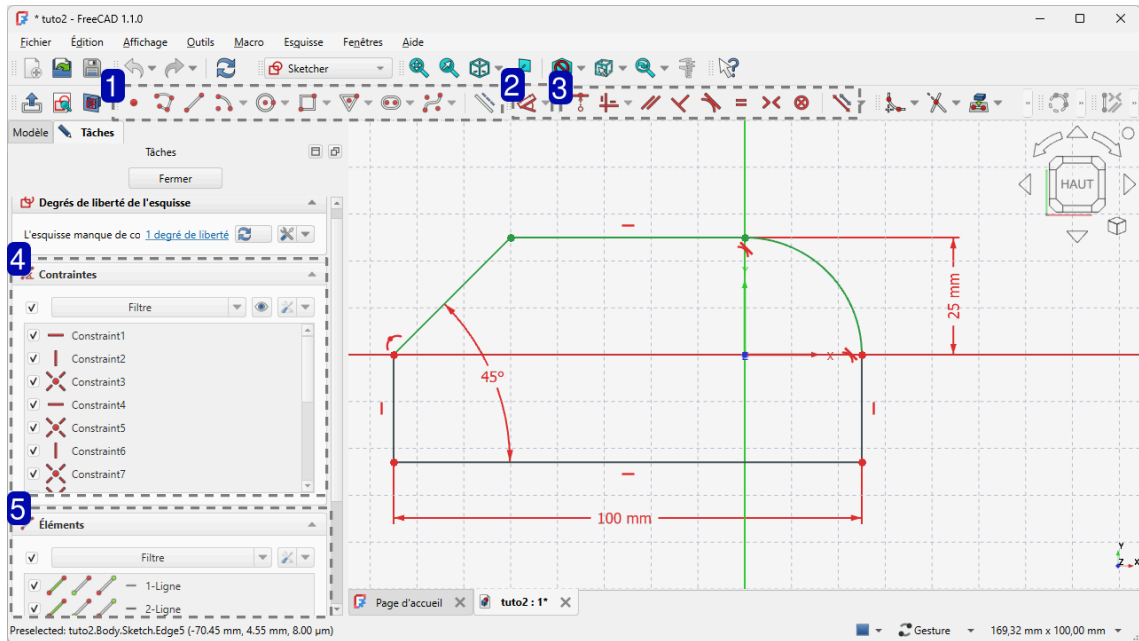
- Enregistrer ce document sous le nom  `xxtuto2.FCStd`, **xx** représentant vos initiales, à l'aide de la commande  Fichier → Enregistrer Sous... ;
- Sélectionner l'onglet **Modèle** de la vue combinée ;
- Double-cliquer sur l'élément  Sketch pour l'afficher dans l'atelier  Sketcher  ;



Esquisse Sketch dans Body










- A l'aide de la capture d'écran ci-dessous, identifier les principaux éléments relatifs aux géométries et aux contraintes de l'atelier Sketcher  ;

Interface de l'atelier Sketcher



1. Géométries d'esquisse






Barre d'outils permettant d'ajouter des géométries à l'esquisse :  Point,  Polygone,  Ligne,  Arc,  Cercle,  Rectangle,  Triangle,  Trou oblong,  B-Spline ;

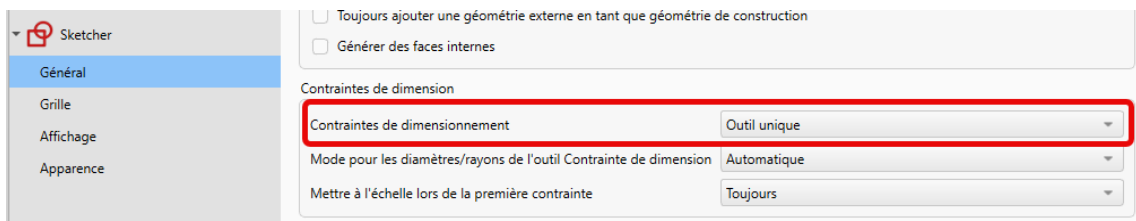
2. Contrainte Dimension



Bouton déroulant permettant d'ajouter des contraintes dimensionnelles ;

⚠ Si vous ne voyez pas le bouton  :









- Sélectionner la commande  Édition → Préférences puis la rubrique Sketcher  → Général et vérifier que les **contraintes de dimensionnement** est réglée à  Outil unique ;



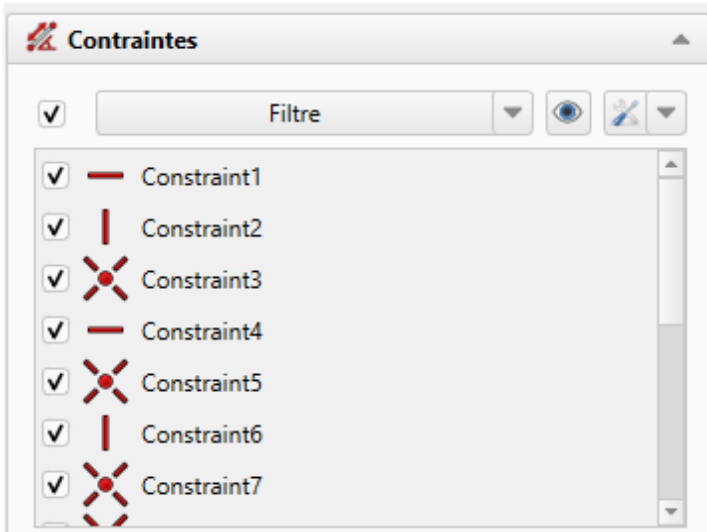
Réglage des contraintes des dimensions

3. Contraintes géométriques



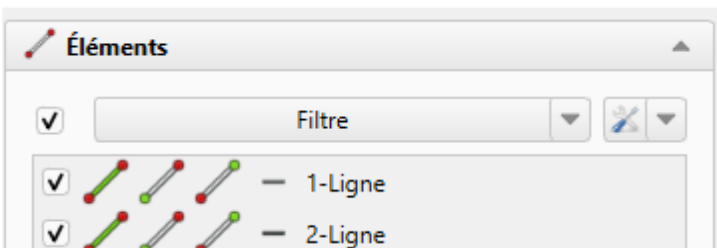
Barre d'outils permettant d'ajouter des contraintes géométriques :  Coïncidence,  Horizontale / Verticale,  Parallèle,  Perpendiculaire,  Égalité,  Tangence,  Symétrie,  Blocage ;

4. Panneau Contraintes



Liste des contraintes saisies dans l'esquisse : le menu contextuel (clic droit) permet notamment de supprimer une contrainte ;

5. Panneau Éléments






Liste des géométries de l'esquisse : le menu contextuel (clic droit) permet notamment de supprimer une géométrie ;


2.1.2. Contrainte Dimension

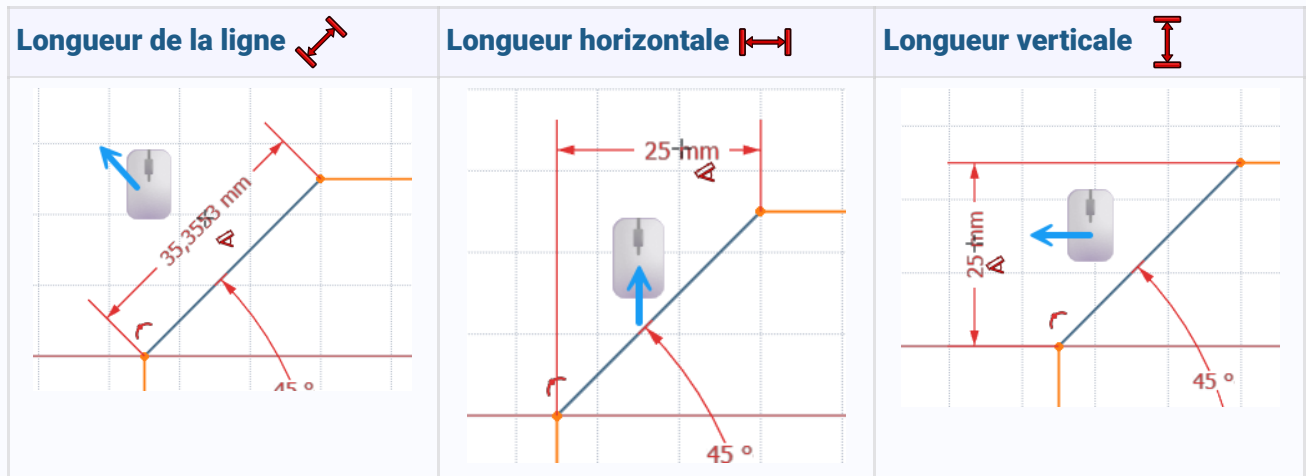
Objectifs


- Utiliser la [contrainte Dimension](#)  W ;

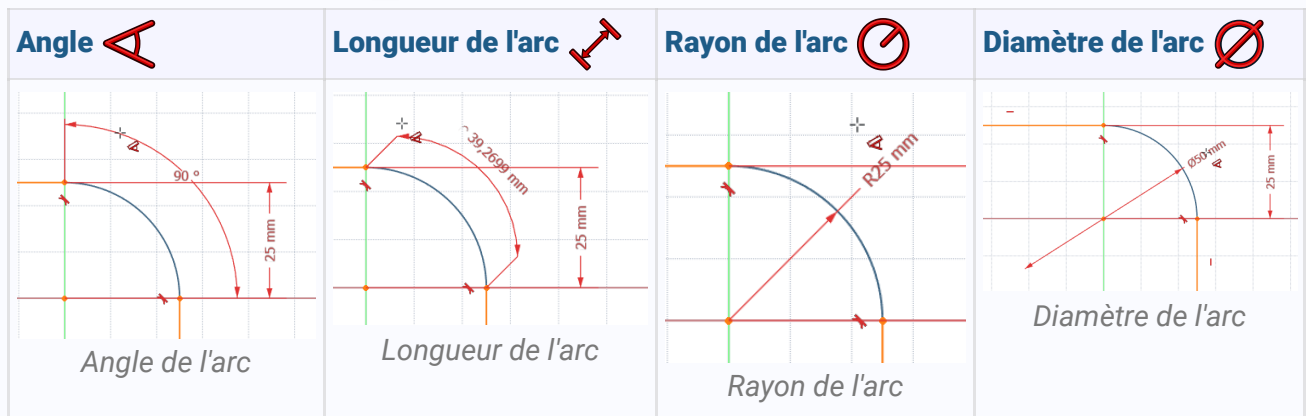
Tâches à réaliser

- Si nécessaire, ouvrir  xxtuto2 dans FreeCAD et afficher l'esquisse  Sketch dans l'atelier  Sketcher 


- Sélectionner la commande contrainte Dimension , puis cliquer gauche sur la ligne inclinée et déplacer le pointeur de la souris suivant le sens de la flèche bleue ci-dessous et vérifier que vous pouvez saisir au choix :

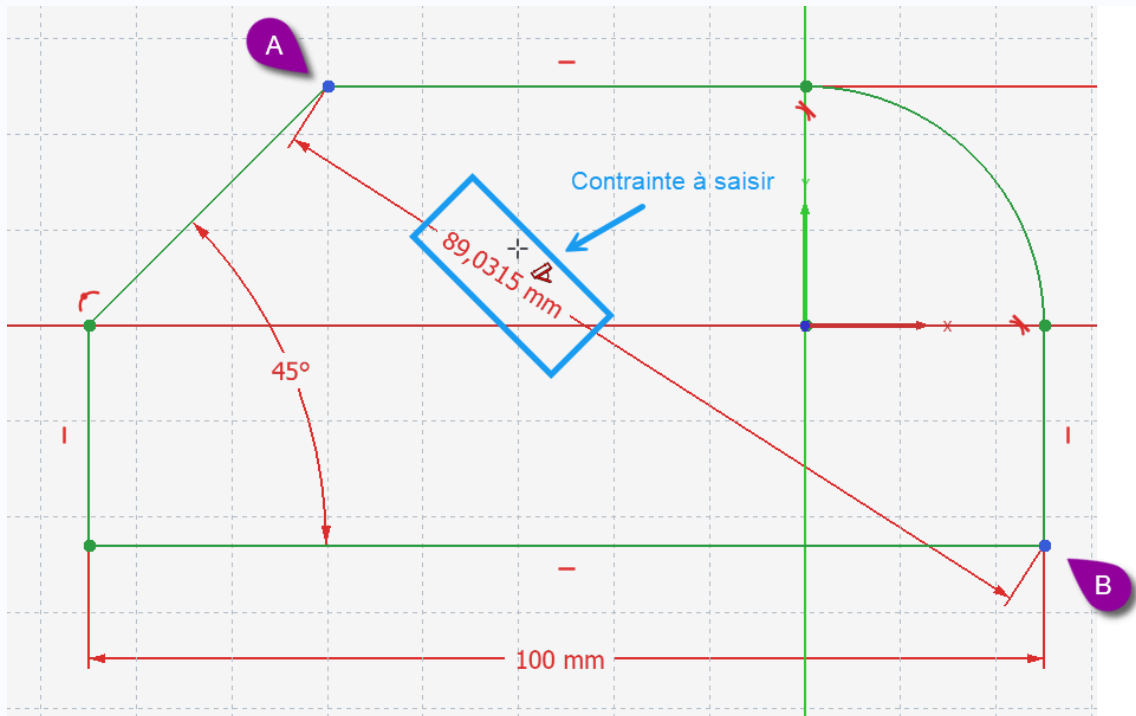


- Appuyer deux fois sur la touche **Échap** pour annuler la commande en cours ;
- Sélectionner à nouveau la commande , puis cliquer gauche sur l'arc de cercle et appuyer plusieurs fois sur la touche **M** : vérifier que vous pouvez saisir au choix :







- Appuyer deux fois sur la touche **Échap** pour annuler la commande en cours ;

- Saisir la contrainte dimensionnelle  de 90 mm entre les deux points A et B ci-dessous :




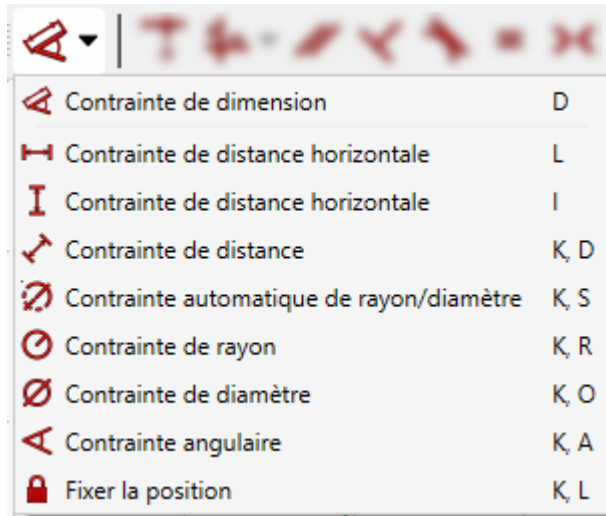
- Annuler cette dernière action à l'aide du raccourci clavier **Ctrl Z** (ou **⌘ Z** sous );

Pour saisir la contrainte de longueur entre deux points :

- Cliquer sur la contrainte de dimension  (ou appuyer sur la touche **D**),
- Cliquer successivement sur chaque point,
- Déplacer la souris pour placer et sélectionner la contrainte souhaitée :  dimension horizontale,  dimension verticale,  distance ;



En cas de difficultés avec la commande contextuelle

- Il est toujours possible de cliquer sur le ▼ du bouton  et de sélectionner directement la contrainte dimensionnelle souhaitée ;



Bouton déroulant de contrainte de dimension

Quelques raccourcis de l'atelier Sketcher à retenir !


- **Échap** : Annuler la commande | Annule la sélection | Quitter l'atelier Sketcher  ;
- **Ctrl Z** : Annuler (Undo) la dernière action ;
- **D** : lance la commande contrainte Dimension  ;

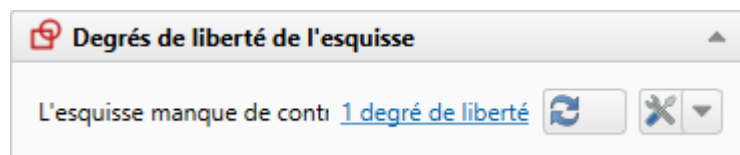
2.2. Concepts spécifiques

Avant pratiquer l'atelier Sketcher , nous allons découvrir quelques concepts propres à cet atelier :

2.2.1. Degrés de liberté

Objectifs

- Comprendre les messages du solveur de l'atelier Sketcher  ;



Message du solveur

Degré De Liberté (ddl) en mécanique

≈ Degrees Of Freedom (dof)

Dans l'espace, un solide rigide libre possède 6 ddl :

- 3 en translation axe **Ox**, axe **Oy**, axe **Oz**,
- 3 en rotation autour respectivement des axes **Ox**, **Oy**, **Oz**.

Dans un plan **Oxy**, un solide plan rigide contenu dans ce plan, libre possède 3 ddl :

- 2 en translation : axe **Ox**, axe **Oy**,
- 1 en rotation : autour de l'axe **Oz** perpendiculaire au plan **Oxy**





Dans une esquisse de l'atelier Sketcher

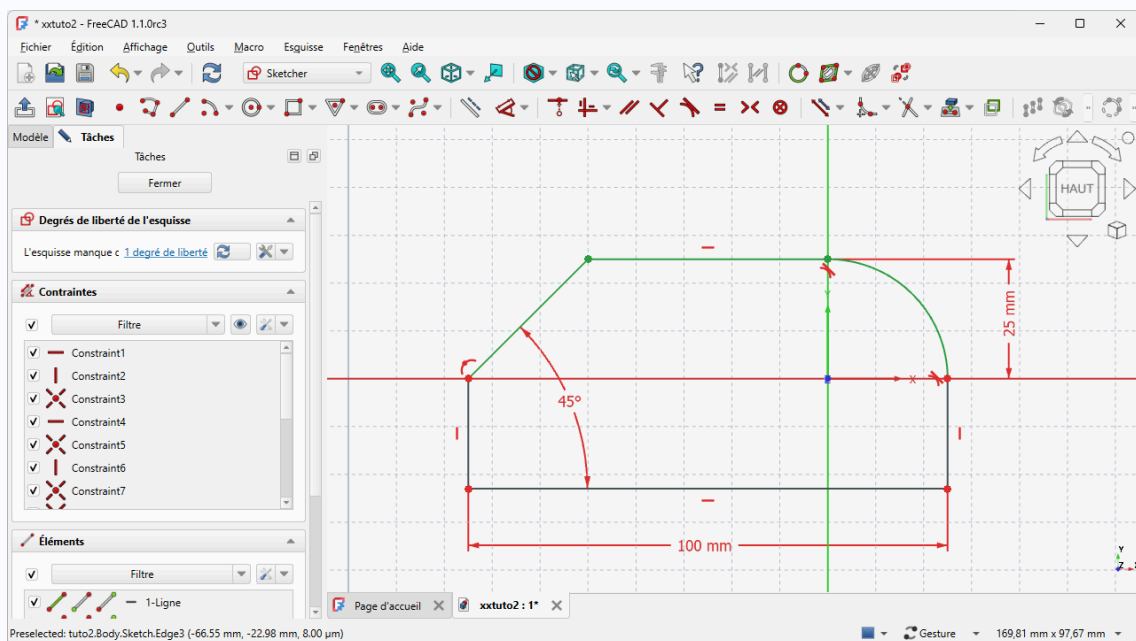
- un point libre possèdent 2 ddl (2 en translation : axe **Ox**, axe **Oy**) ;
- une ligne définie par deux points libres : 2 fois 2 ddl soit 4 ddl ;
- une ligne définie par deux points libres mais de longueur fixe : 3 ddl (2 en translation : axe **Ox**, axe **Oy**, 1 en rotation autour de l'axe **Oz** perpendiculaire au plan **Oxy** : on retrouve le nombre de ddl d'un solide plan contenu dans un plan ;



Dans l'atelier Sketcher

- Une esquisse « **entièrement contrainte** » ne possède plus de ddl : elle est parfaitement définie ;
- Une esquisse qui « **manque de contraintes** » possède encore des ddl : certains points de l'esquisse peuvent encore **se déplacer** et donc l'esquisse n'est pas parfaitement définie ;
- Une esquisse avec « **Contraintes redondantes** » a des contraintes **sur-abondantes** inutiles voire en conflit par rapport à d'autres contraintes ;

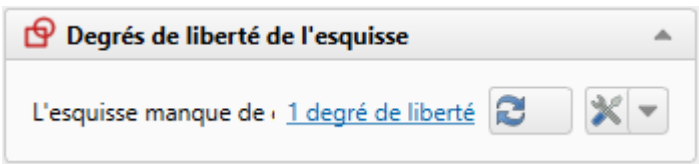





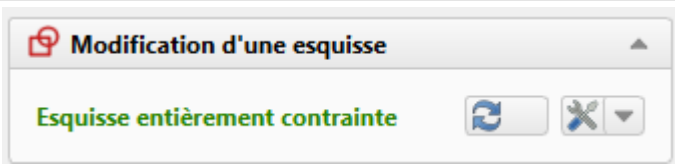


Tâches à réaliser

1. Si nécessaire, ouvrir  `xxtuto2` dans FreeCAD et afficher l'esquisse  `Sketch` dans l'atelier  `Sketcher`  ;
2. Quel est le message du solveur ?



3. Cliquer sur la ligne horizontale de 100 mm et vérifier que vous pouvez la déplacer verticalement ;
4. Cliquer sur la contrainte d'angle 45 ° pour la sélectionner et appuyer sur la touche **Suppr** ;
5. Quel est le message du solveur ?
6. Cliquer gauche et maintenir appuyé sur la ligne inclinée pour la déplacer ;
7. Appuyer plusieurs fois sur **CTRL Z** (**⌘ Z** sous ) afin d'annuler la suppression de la contrainte d'angle ;
8. Cliquer sur le bord gauche vertical de l'esquisse, cliquer sur le bouton  de la barre d'outils Contraintes , positionner la cote à l'aide de la souris et saisir la longueur 25 mm ;
9. Quel est le message du solveur ?

+ Réponses aux questions ci-dessus



Questions	Messages du solveur
2	 <p>Degrés de liberté de l'esquisse</p> <p>L'esquisse manque de <u>1 degré de liberté</u>  </p>
5	 <p>Degrés de liberté de l'esquisse</p> <p>L'esquisse manque de <u>2 degrés de liberté</u>  </p>
9	 <p>Modification d'une esquisse</p> <p>Esquisse entièrement contrainte  </p> <p>L'esquisse se colore en vert</p>

En pratique

- A priori, il est souhaitable qu'une esquisse soit entièrement contrainte mais ce n'est pas une obligation absolue pour modéliser un solide.



2.2.2. Contraintes automatiques

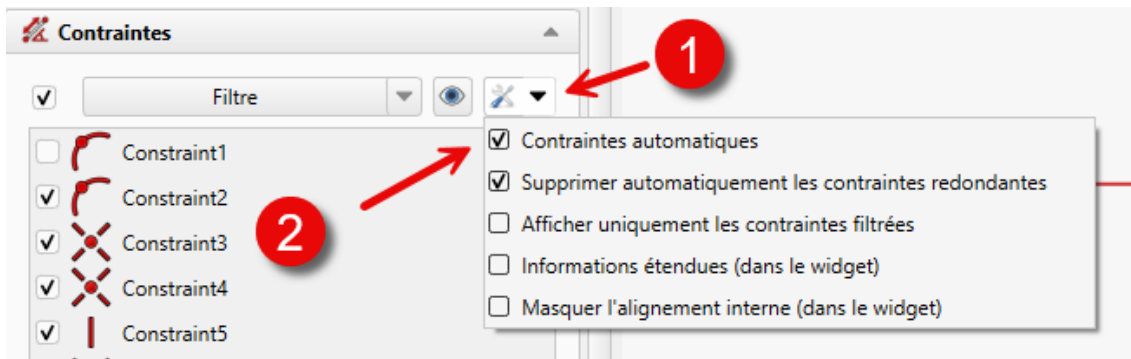
Objectifs :

- Comprendre le fonctionnement et l'intérêt du réglage Contraintes automatiques de l'atelier Sketcher  ;
- Identifier les icônes associées au pointeur de la souris lors de la création d'éléments géométriques ;
- Créer une polyligne^W  ;

- Créer un arc 

Contrainte automatique

Dans l'atelier Sketcher , le bouton déroulant du panneau  Contraintes permet d'activer / désactiver le réglage Contraintes automatiques ; Lorsque Contraintes automatiques est coché, lors de la création de nouveaux éléments géométriques (lignes, cercles...), certaines contraintes (ligne horizontale, ligne verticale, coïncidence, points sur objet...) seront ajoutées **automatiquement**.







Contraintes automatiques activées

Attention







Lorsque Contraintes automatiques est coché, lors de la création d'un nouvel élément géométrique, avant de cliquer pour définir un point, apparaîtront en rouge le (ou les) symbole(s) de contrainte automatique ;

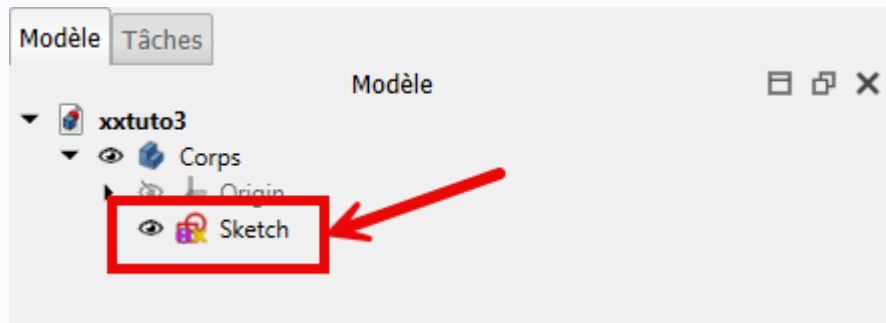
A retenir :

Tableau des principales contraintes automatiques

Icones	Contraintes automatiques
 <i>Contrainte de coïncidence Point sur Point</i>	Le point créé coïncidera avec le point existant
 <i>Contrainte de coïncidence Point sur Objet</i>	Le point créé appartiendra à la ligne, cercle, arc existant.
 <i>Contrainte horizontale</i>	Le point créé fera que la ligne ainsi créée sera horizontale
 <i>Contrainte verticale</i>	Le point créé fera que la ligne ainsi créée sera verticale


☰ Tâches à réaliser

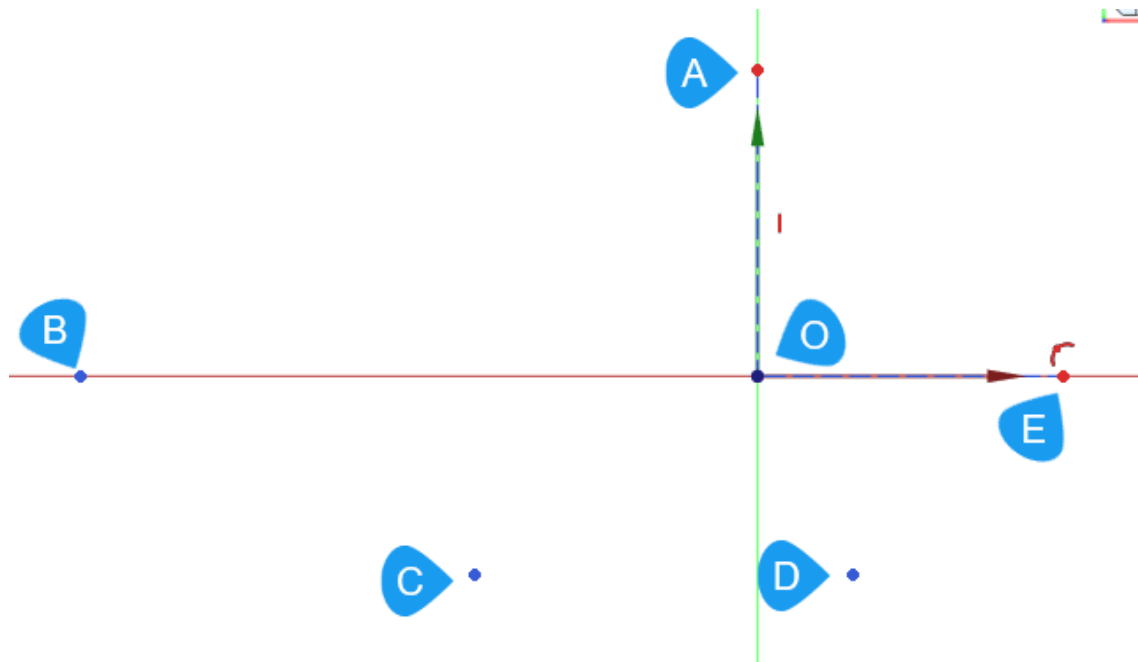
- Dans FreeCAD, si nécessaire, refermer les documents ouverts précédemment ;
- Télécharger et enregistrer le fichier [tuto3.FCStd](#) sur votre ordinateur ;
- Ouvrir ce document  `tuto3.FCStd` dans FreeCAD ;
- Sélectionner l'onglet **Modèle** de la  vue combinée ;
- Enregistrer ce document sous le nom  `xxtuto3.FCStd`, xx représentant vos initiales, à l'aide de la commande  Fichier → Enregistrer Sous... ;
- Double-cliquer sur l'élément  Sketch pour l'afficher dans l'atelier  Sketcher ;



Esquisse Sketch contenu dans Corps



💬 Explications :

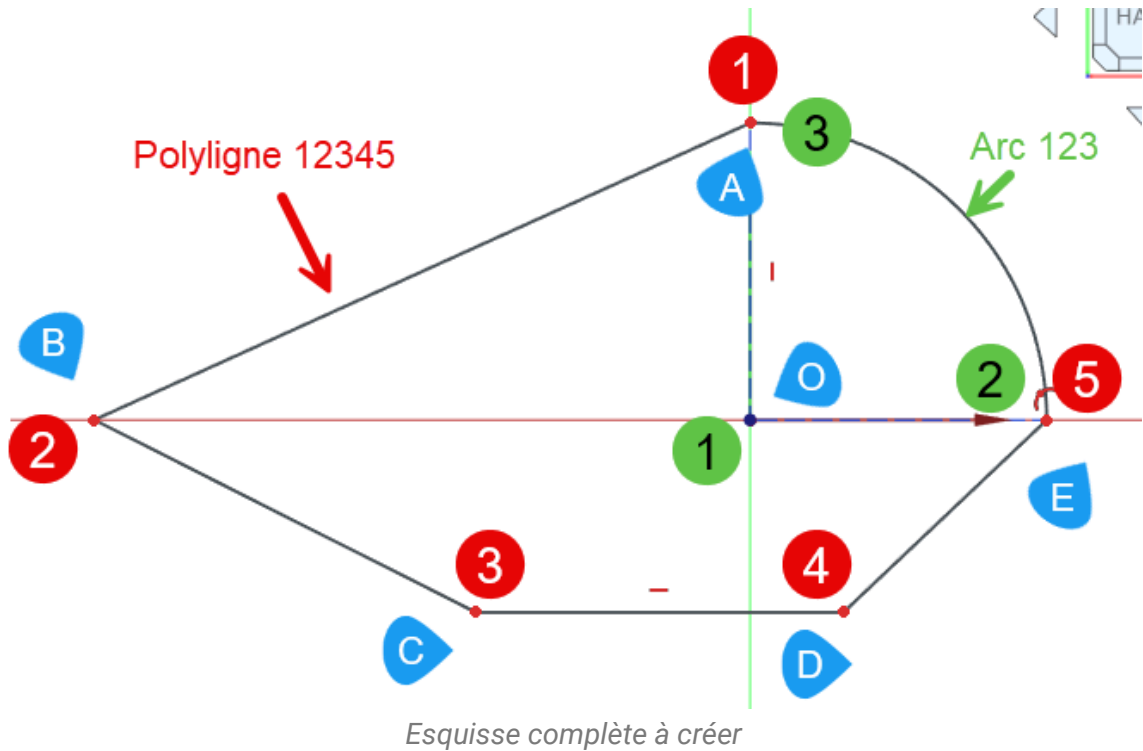
- L'esquisse  Sketch contient uniquement des lignes et points de construction, notamment 5 points notés A B C D E sur la figure ci-dessous :



Contenu initial de l'esquisse







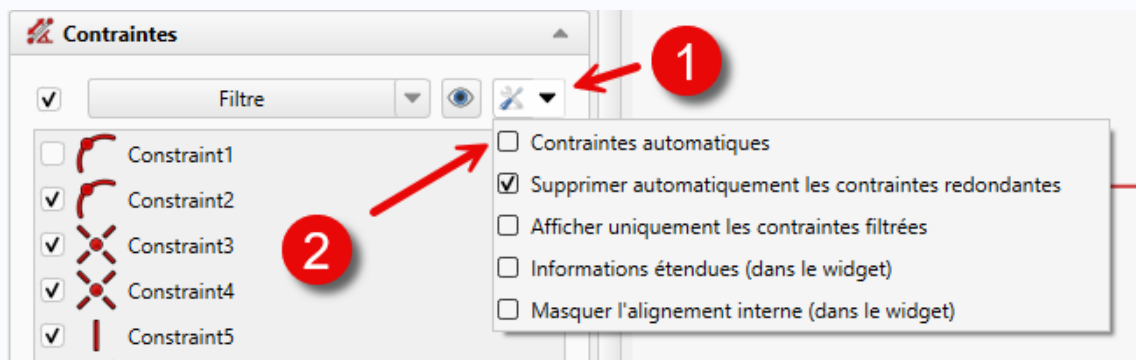
- Nous allons construire l'esquisse ci-dessous constituée d'une polygline  ABCDE et d'un arc  EA, une première fois avec le mode Contraintes automatiques désactivées, puis une seconde fois avec le mode Contraintes automatiques activées ;





Contraintes automatiques désactivées



☰ Tâches à réaliser

- Si nécessaire, ouvrir l'esquisse  Sketch du document  xxtuto3 dans l'atelier  Sketcher ;
- Cliquer sur le bouton déroulant du panneau  Contraintes et décocher Contraintes automatiques ;



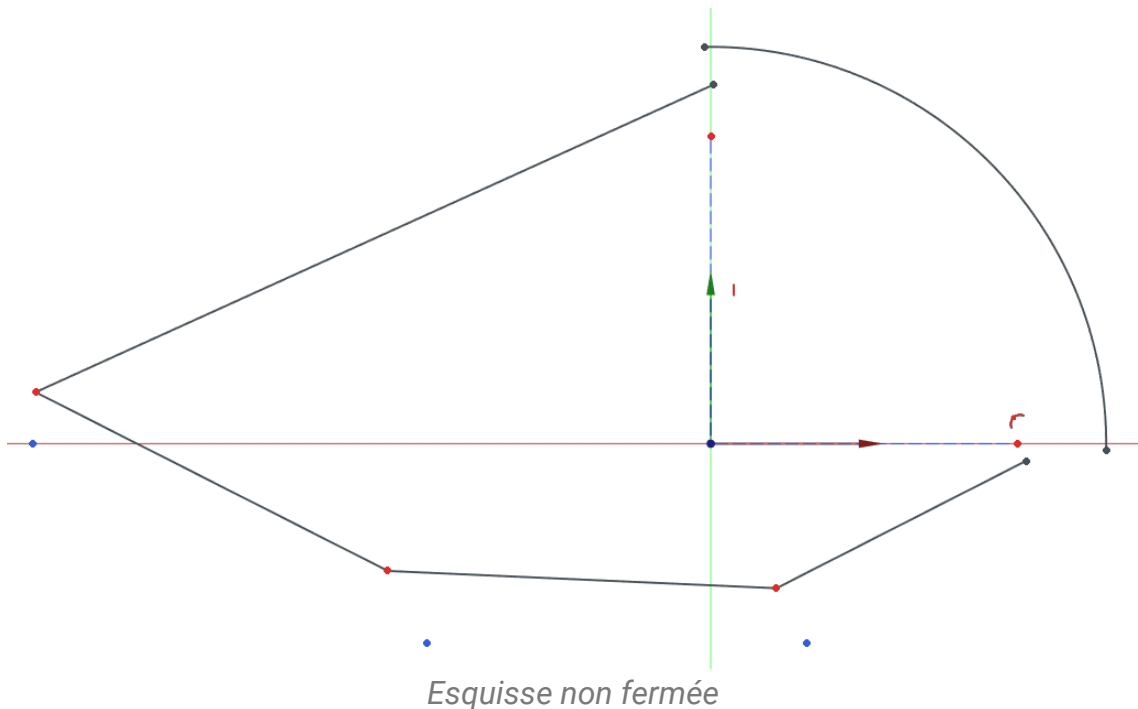
Contraintes automatiques désactivées

- Créer une polygline  joignant les points A, B, C, D, E ; (Cliquer **droit** une fois pour arrêter la polygline puis une seconde fois pour sortir de la commande Polygline ) ;

- Créer un arc  en cliquant successivement les points O, E, A ; (Cliquer **droit** pour sortir de la commande Arc ) ;
- Quel est le message du solveur ?
- Essayer de déplacer l'arc de cercle, puis la polyligne : conclusions.

Si vous déplacez l'arc ou la polyligne, vous constatez :

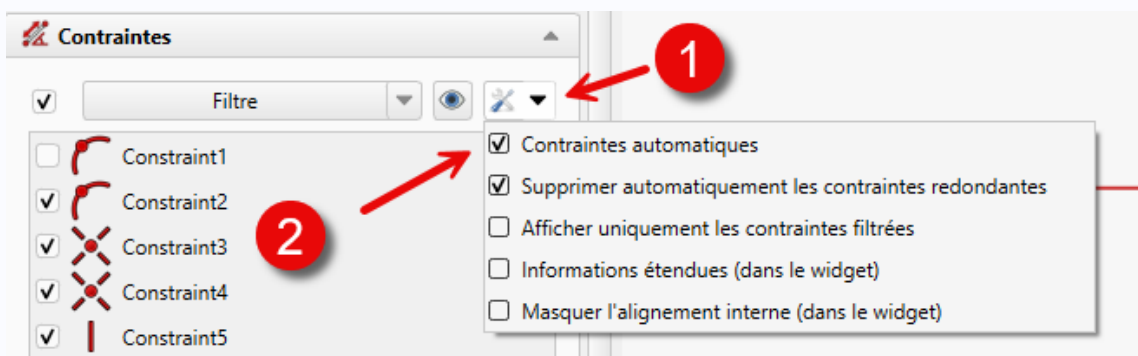
- l'arc n'est pas accroché à la polyligne ;
- tous les segments de la polyligne peuvent se déplacer sans contraintes ;
- idem pour l'arc ;









Contraintes automatiques activées

Tâches à réaliser

- Appuyer plusieurs fois sur **CTRL Z** ( **Z** sous ) pour revenir à l'état initial ;
- Cliquer sur le bouton déroulant du panneau  Contraintes et cocher Contraintes automatiques ;

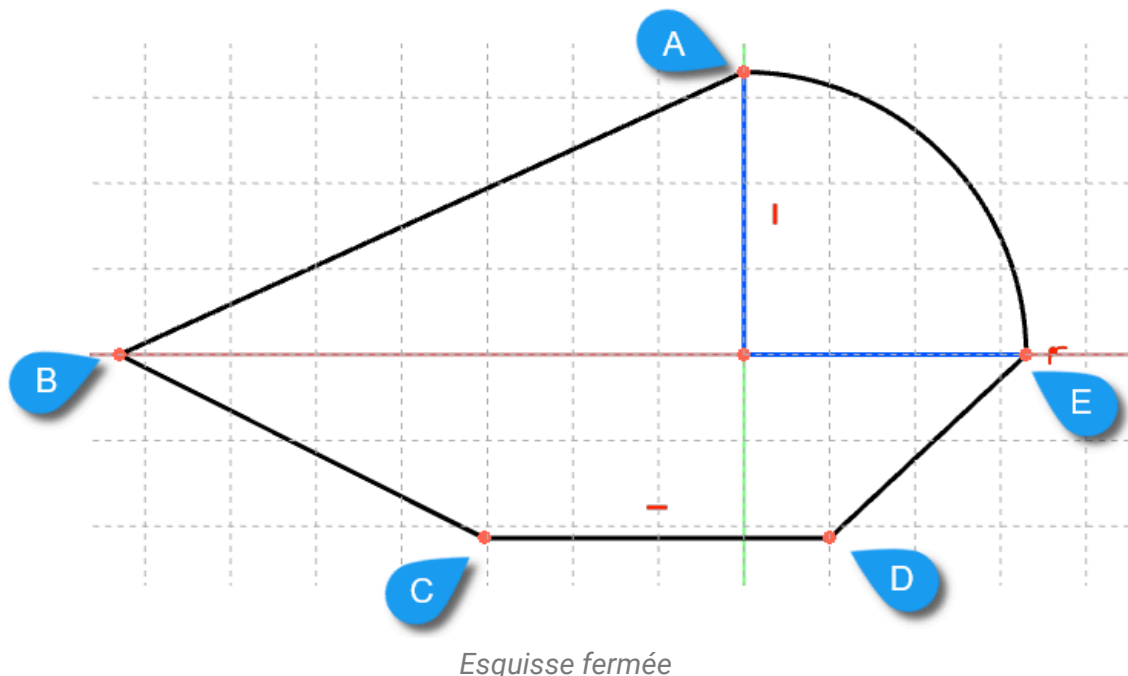


Contraintes automatiques activées

- Créer la polyligne  joignant les points A, B, C, D, E, **en observant attentivement le pointeur de la souris** lors de la création de la polyligne : la contrainte de coïncidence  doit apparaître à chaque fois ;
- Cliquer **droit** deux fois pour arrêter la polyligne et sortir de la commande Polyligne  ;
- Créer l'arc  en cliquant successivement les points O, E, A **en observant attentivement le pointeur de la souris** lors de la création de l'arc : la contrainte de coïncidence  doit apparaître à chaque fois ;
- Cliquer droit pour sortir de la commande Arc  ;
- Quel est le message du solveur ?
- Essayer de déplacer l'arc de cercle, puis la polyligne : conclusions.

 **Si vous déplacez l'arc ou la polyligne, vous constatez :**

- l'esquisse est fermée ;
- Le point A se déplace uniquement sur l'axe Y ;
- Le point B se déplace uniquement sur l'axe X ;
- Le segment CD est toujours horizontal ;
- Le point E se déplace uniquement sur l'axe X ;





Conclusions

En pratique




- Pour gagner du temps lors de la création des esquisses, je conseille d'utiliser **au maximum** les contraintes automatiques lors de la saisie ;
- Si vous avez loupé une contrainte automatique lors de la saisie, il sera toujours possible de la créer après coup ;
- Au contraire, si vous avez ajouté une contrainte non désirée, vous pourrez la supprimer après coup ;

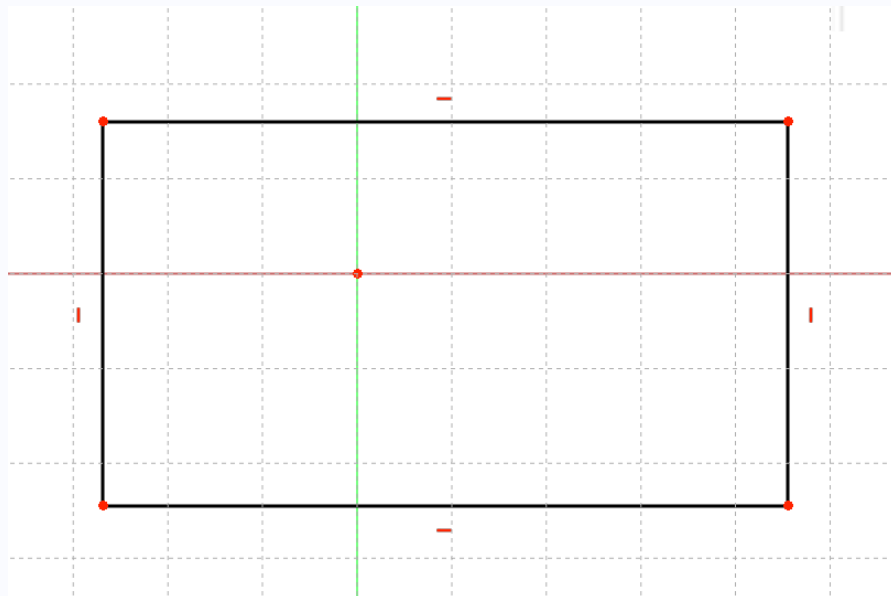
2.2.3. Contraintes redondantes

Objectifs

- Comprendre et utiliser le réglage Supprimer automatiquement les contraintes redondantes ;
- Utiliser la géométrie Rectangle^W  ;
- Utiliser la contrainte Symétrie^W  ;

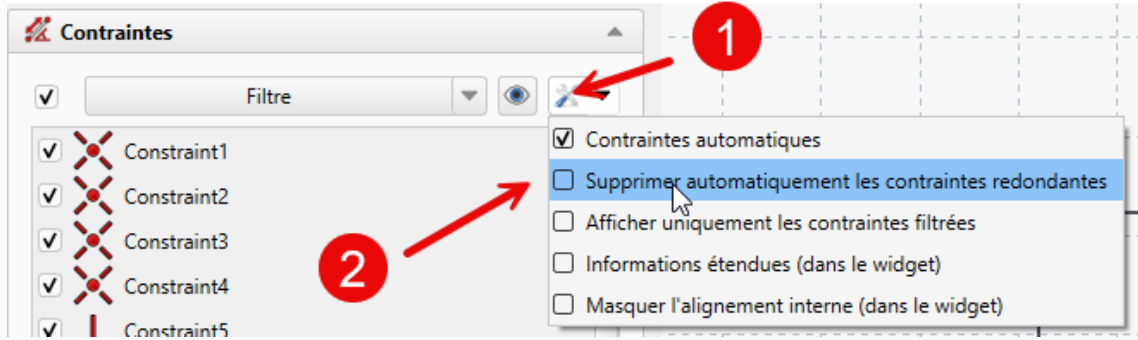
Tâches à réaliser

- Dans FreeCAD, si nécessaire, refermer les documents ouverts précédemment ;
- Créer un nouveau document dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps  et une nouvelle esquisse  dans le plan XY ;
- Créer un rectangle à l'aide de la commande Rectangle  comme ci-dessous puis cliquer droit pour quitter la commande :




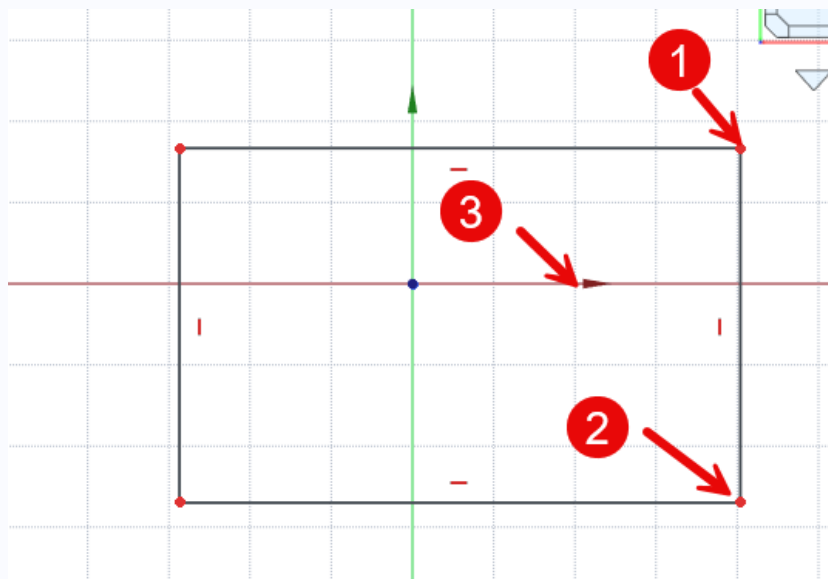
Rectangle

- Cliquer sur le bouton déroulant  du panneau Contraintes et décocher la case Supprimer automatiquement les contraintes redondantes ;



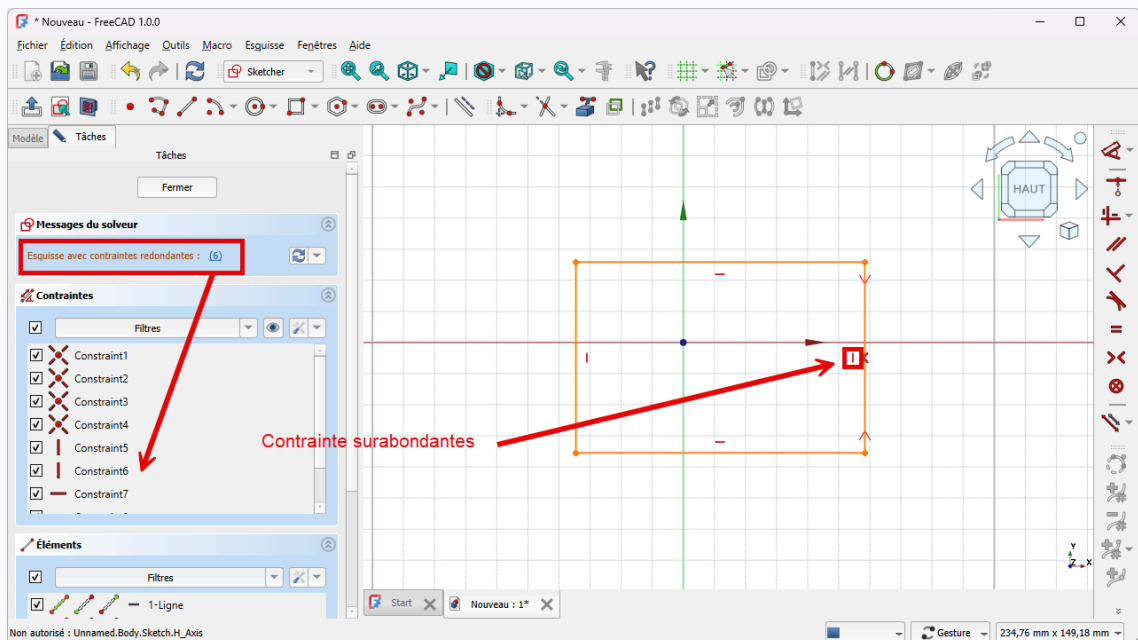
Suppression automatique des contraintes redondantes désactivée

- Cliquer sur la contrainte symétrie  ;
- Cliquer successivement sur les points (1) (2) et sur l'axe X ;





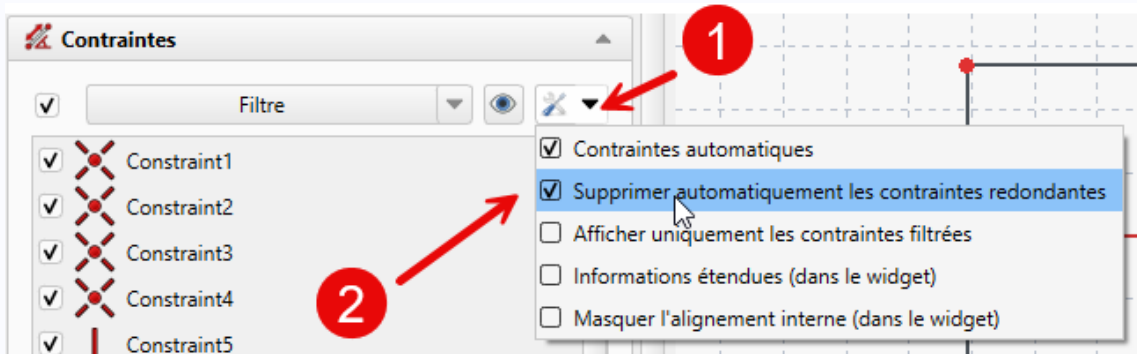
Contrainte de symétrie de 2 points par rapport à un axe

- Que constatez vous ?



Message d'erreur

- Annuler la dernière action à l'aide du raccourci clavier **CTRL Z** (**⌘ Z** sous );
- Cliquer à nouveau sur le bouton déroulant  du panneau **Contraintes** et cocher la case **Supprimer automatiquement les contraintes redondantes** du solveur;

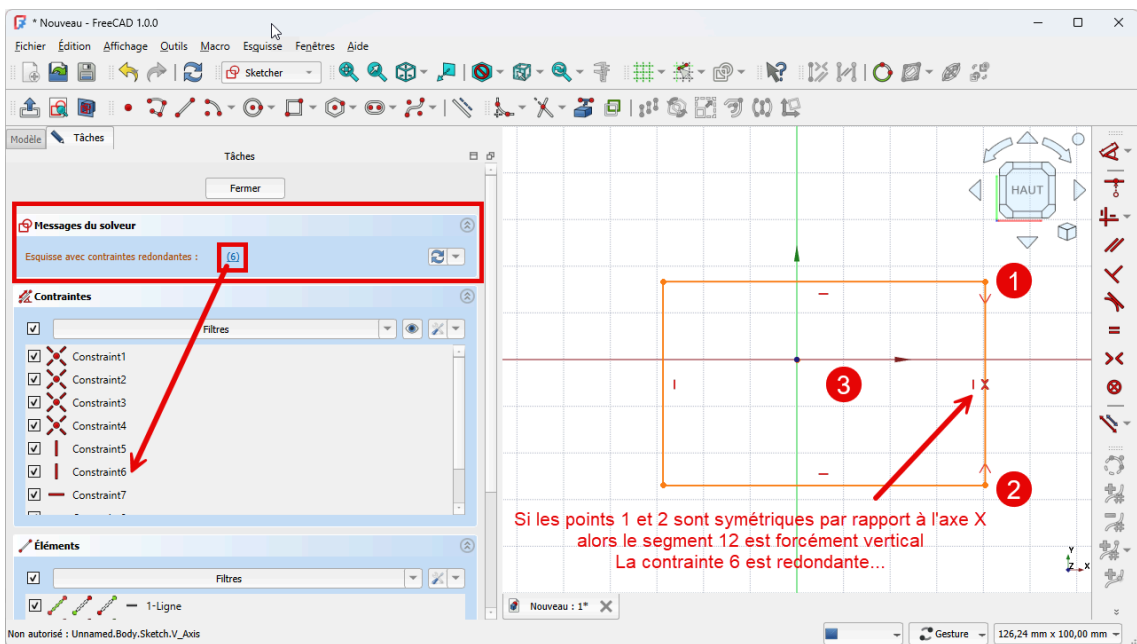


Suppression automatique des contraintes redondantes activée

- Répéter la contrainte de symétrie comme précédemment ;
- Que constatez vous ?

+ Explications

1. Si les points (1) et (2) du rectangle sont symétriques par rapport à l'axe X, le segment [1-2] est forcément vertical



Explication de l'erreur

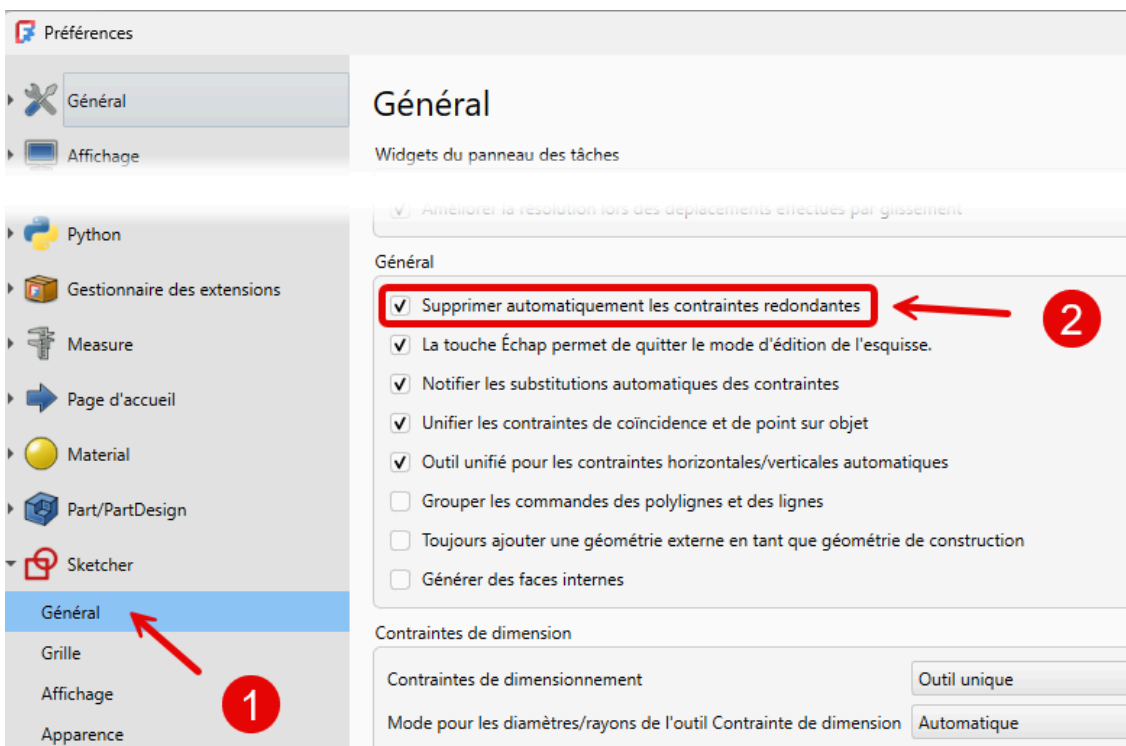
2. ce qui est surabondant par rapport à la contrainte verticale qui a été créée au moment de la création du rectangle
3. ce qui explique le message d'erreur lorsque le réglage **Supprimer automatiquement les contraintes redondantes** du solveur n'est pas activé.

La suppression automatique des contraintes redondantes supprimera la contrainte verticale superflue.

En pratique

En règle générale, il vaut mieux garder le réglage Suppression automatique des contraintes redondantes activé.


voir le réglage ci-dessous des préférences de l'atelier Sketcher :








Préférences Sketcher : suppression automatique des contraintes redondantes


2.2.4. Fermeture des esquisses

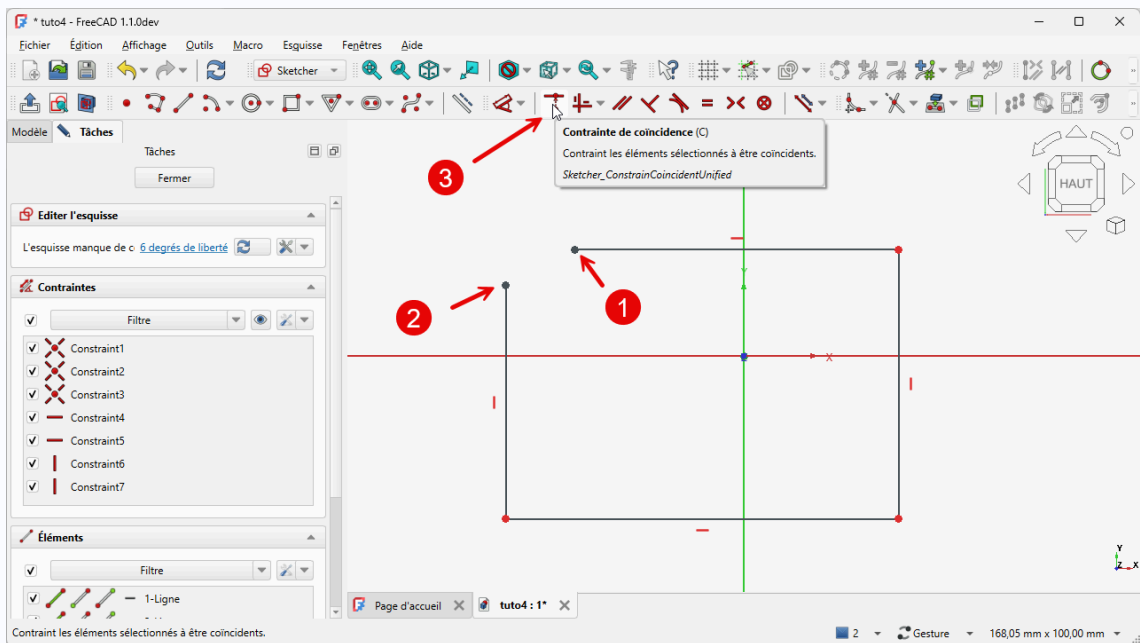
Objectifs

- Comprendre l'enjeu de la fermeture des esquisses ;
- Connaître les bonnes pratiques pour obtenir des esquisses fermées ;
- Utiliser une [contrainte de coïncidence](#)^W  ;

Tâches à réaliser

- Dans FreeCAD, si nécessaire, refermer les documents ouverts précédemment ;
- Télécharger et enregistrer le fichier [tuto4.FCStd](#) sur votre ordinateur ;
- Ouvrir ce document  `tuto4.FCStd` dans FreeCAD ;
- Dans l'onglet **Modèle**, sélectionner l'esquisse  `Sketch` et appliquer la commande Protrusion  ;
- Que constatez vous ?
- Annuler la commande ;
- Double-cliquer sur l'esquisse  `Sketch` pour l'ouvrir dans l'atelier Sketcher  ;




- Déplacer le coté gauche du rectangle. Que constatez vous ?
- Appliquer la contrainte de coïncidence  aux deux points du coin supérieur gauche ;



Application d'une contrainte de coïncidence aux deux points pour fermer l'esquisse

- Fermer l'atelier Sketcher  et appliquer à nouveau la commande Protrusion  ; Conclusion ?






Aide

Pour appliquer la contrainte de coïncidence , cliquer sur les deux points pour les sélectionner puis cliquer sur le bouton  ; (on peut aussi faire l'inverse : sélectionner la commande  puis sélectionner les deux points 😊)


Conclusion

La plupart des fonctions paramétriques : protrusion, révolution, cavité... appliquées à une esquisse nécessite que cette esquisse soit fermée.

Bonnes pratiques

- Privilégier l'utilisation de polyligne  à celle de lignes  ou d'arcs  successifs ;
- Exploiter les contraintes automatiques, notamment les contraintes de coïncidence  et  ;
- Tester régulièrement la fermeture du contour de l'esquisse ;
- Commencer par les contraintes géométriques et finir par les contraintes dimensionnelles, ce qui permet de tester plus facilement la fermeture du contour de l'esquisse ;

Valider une esquisse







FreeCAD propose une commande [Valider une esquisse](#)  permettant d'identifier les problèmes d'une esquisse, notamment l'option [Surligner les sommets posant problème](#) qui peut permettre de repérer une esquisse non fermée ;

Attention

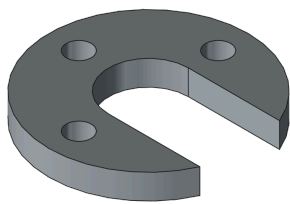
- Une esquisse peut être **entièrement contrainte et ne pas être fermée** ;

2.3. TP 2-1

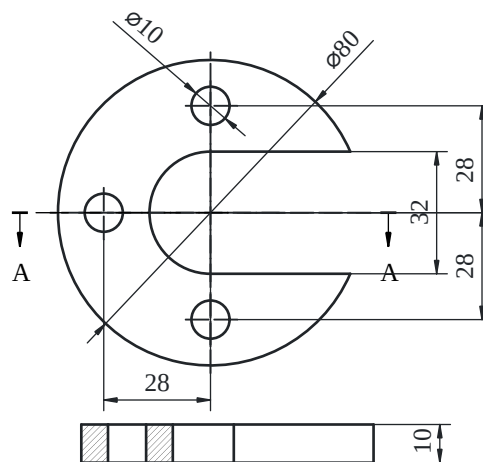
Objectifs

- Utiliser les géométries : [Cercle](#) , [Ligne](#) , [Arc par son centre](#)  ;
- Utiliser la contrainte géométrique d'égalité  ;
- Exploiter les contraintes automatiques lors de la création de ces géométries ;
- Utiliser la commande [Ajuster](#)  ;
- Utiliser la [contrainte Dimension](#)  ;

Nous allons modéliser le solide suivant : (cf. [TP2-1-Plan.pdf](#))






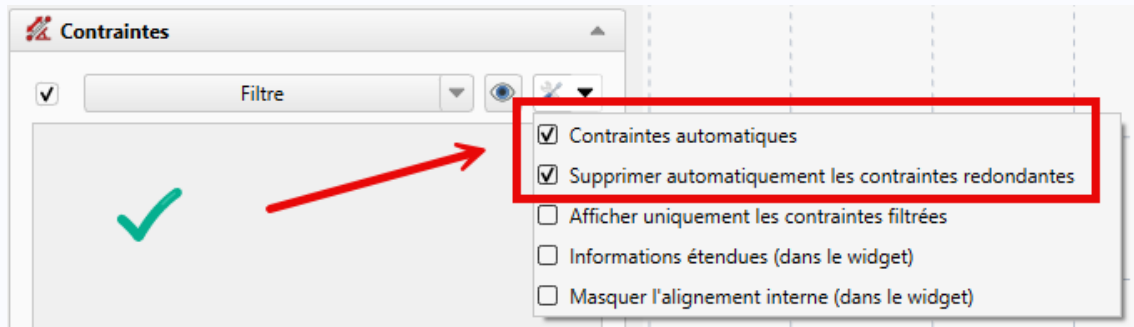
TP2-1



Coupe AA

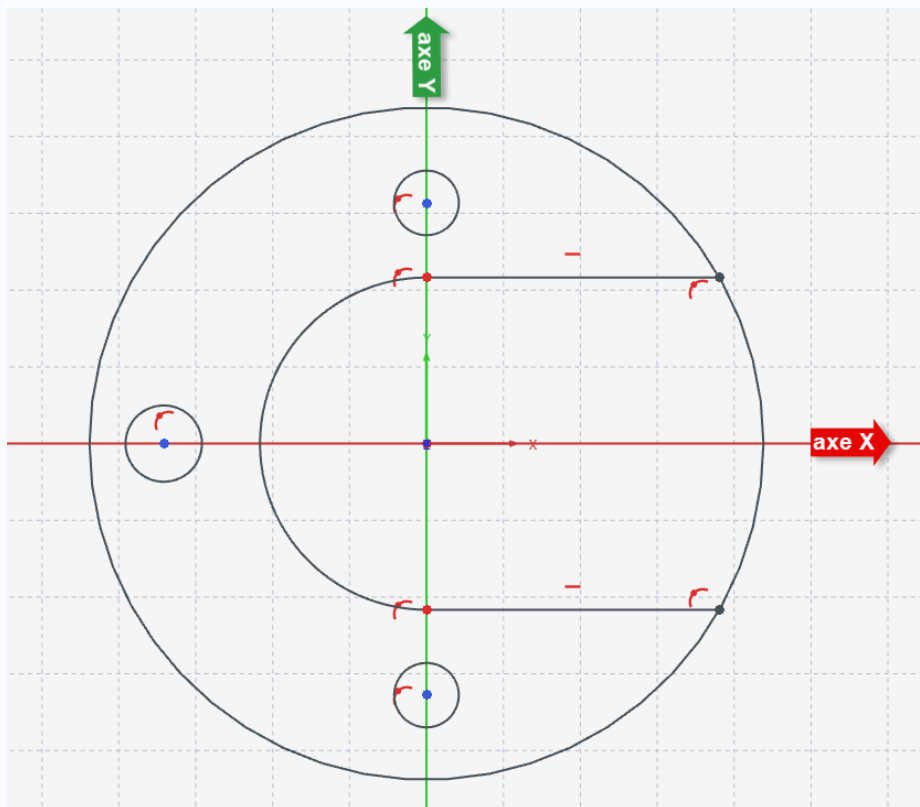
☰ Tâches à réaliser

- Dans FreeCAD, si nécessaire, refermer les documents ouverts précédemment ;
- Créer un nouveau document  dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps  et une nouvelle esquisse  dans le plan XY ;
- Vérifier que Contraintes automatiques et Suppression automatique des redondances sont cochées ;



Contrôle contraintes automatiques et suppression automatique des redondances












- Construire l'esquisse ci-dessous :
 - en utilisant les informations de coordonnées associées au pointeur de la souris pour positionner les points **approximativement**,
 - en exploitant les contraintes automatiques (cf. tableau ci-dessous)



Ébauche de l'esquisse

 Aide :

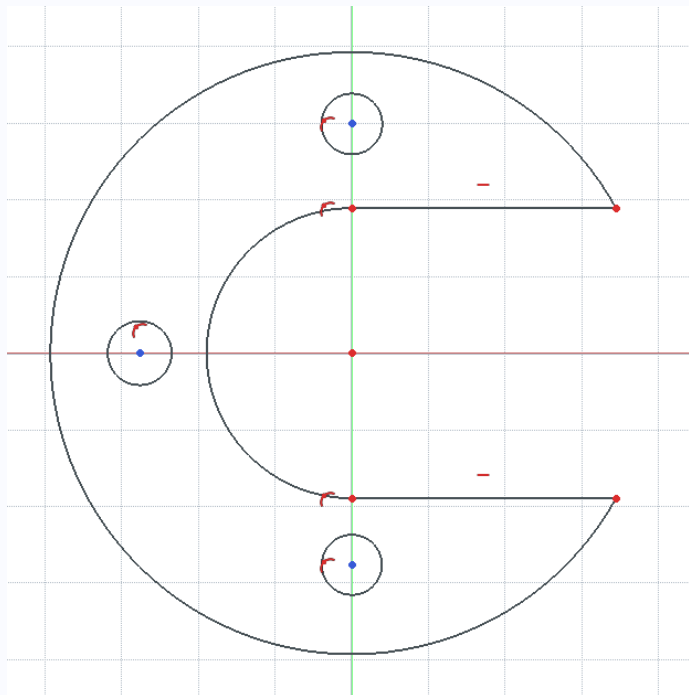
Tableau des contraintes automatiques à exploiter

Géométries	Points	Contraintes automatiques
 Grand cercle	Centre	 sur l'origine
 Petits cercles	Centre	 respectivement sur l'axe Y ou bien X
 pour le 1/2 cercle	Centre	 sur l'origine
	Extrémités	 sur l'axe Y
 Lignes horizontales	Extrémité gauche	 avec l'extrémité du 1/2 cercle
	Extrémité droite	 avec le grand cercle
	Ligne elle-même	

 Tâches à réaliser (suite)


- Ajuster  le grand cercle entre les deux lignes horizontales :

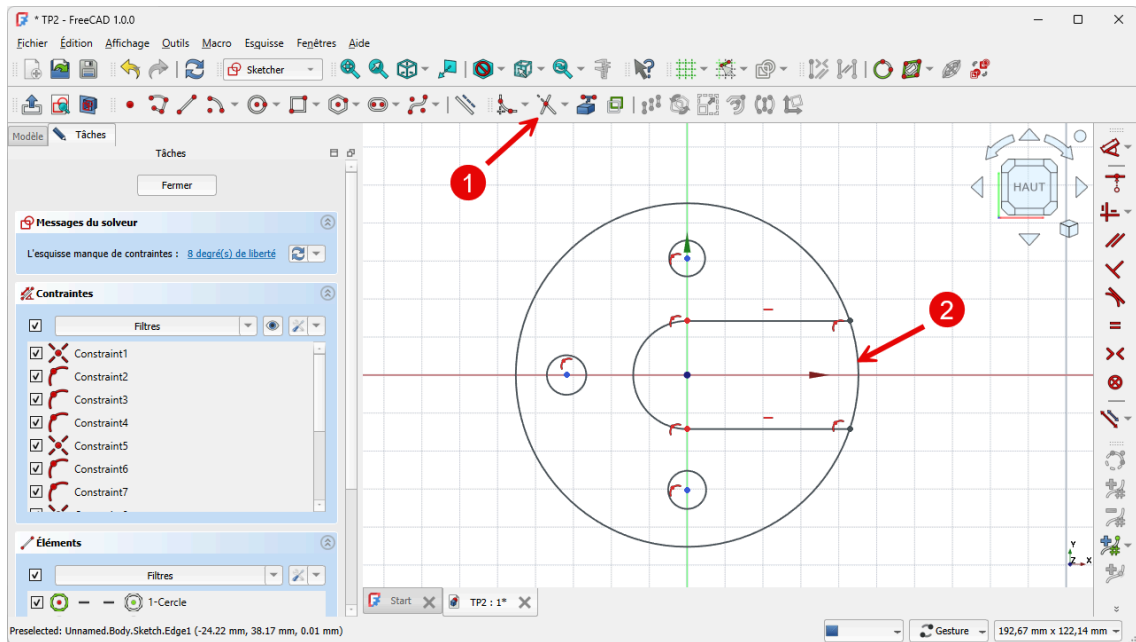
Ajustement du grand cercle



- Déplacer légèrement une des 2 lignes horizontales et vérifier que le contour extérieur de l'esquisse est bien fermé ;

Aide :

Pour ajuster le grand cercle, il suffit de cliquer sur la commande Ajuster  puis de cliquer sur la portion de cercle à effacer, celle située entre les deux lignes horizontales ;





Ajustement du grand cercle entre les deux lignes horizontales

Tâches à réaliser (suite)





- Appliquer la contrainte dimensionnelle  pour les cercles et 1/2 cercle ;
- Appliquer les contraintes  et  pour positionner le centre des petits cercles ;

Égalité du diamètre des petits cercles

Pour simplifier la saisie, on peut appliquer une contrainte d'égalité  pour les 3 petits cercles puis saisir la dimension  de l'un des cercles :

- Sélectionner les 3 cercles à l'aide d'un clic gauche puis appliquer la contrainte d'égalité  ;

Utilisation du bouton pour le grand cercle

Si vous utilisez directement le bouton  pour contraindre la dimension du grand cercle, devenu un arc après l'ajustement, FreeCAD proposera de saisir le rayon  et non le diamètre  : appuyer sur la touche  pour saisir le diamètre ;

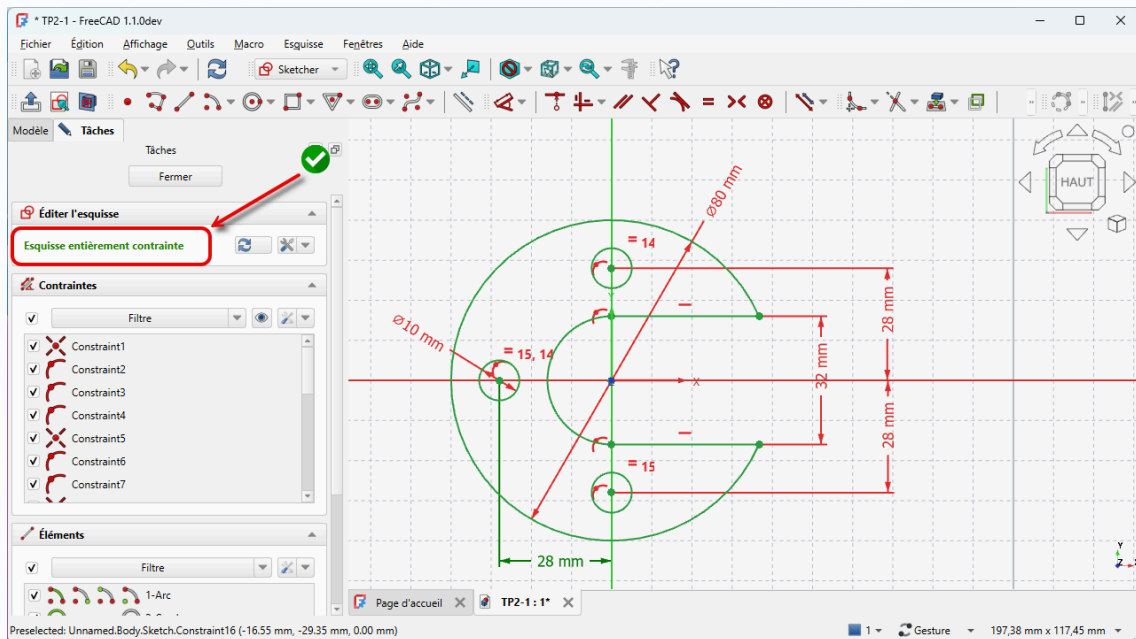


Utilisation du bouton pour positionner les petits cercles sur les axes Y et X

- Cliquer sur le bouton , puis cliquer sur le centre d'un petit cercle, positionner la contrainte et saisir la distance de centre par rapport à l'origine ;

Tâches à réaliser (suite et fin)

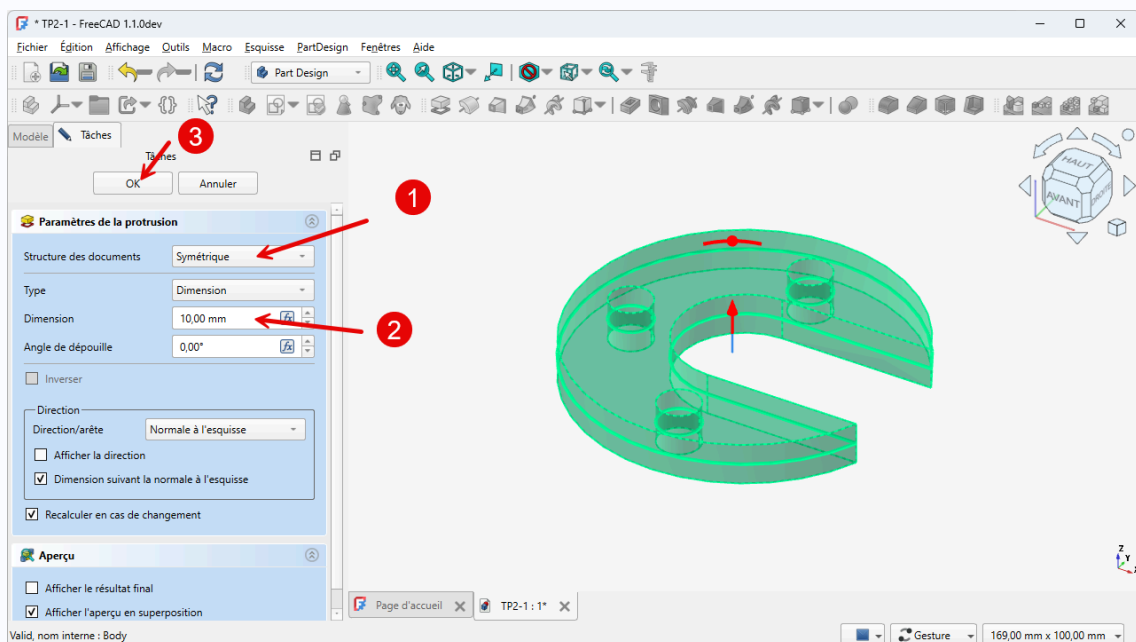
- Vérifier que l'esquisse est bien entièrement contrainte ;



Esquisse entièrement contrainte

- Refermer l'esquisse et créer la protrusion  de 10 mm, mode symétrique par rapport au plan XY ;





Création de la protrusion



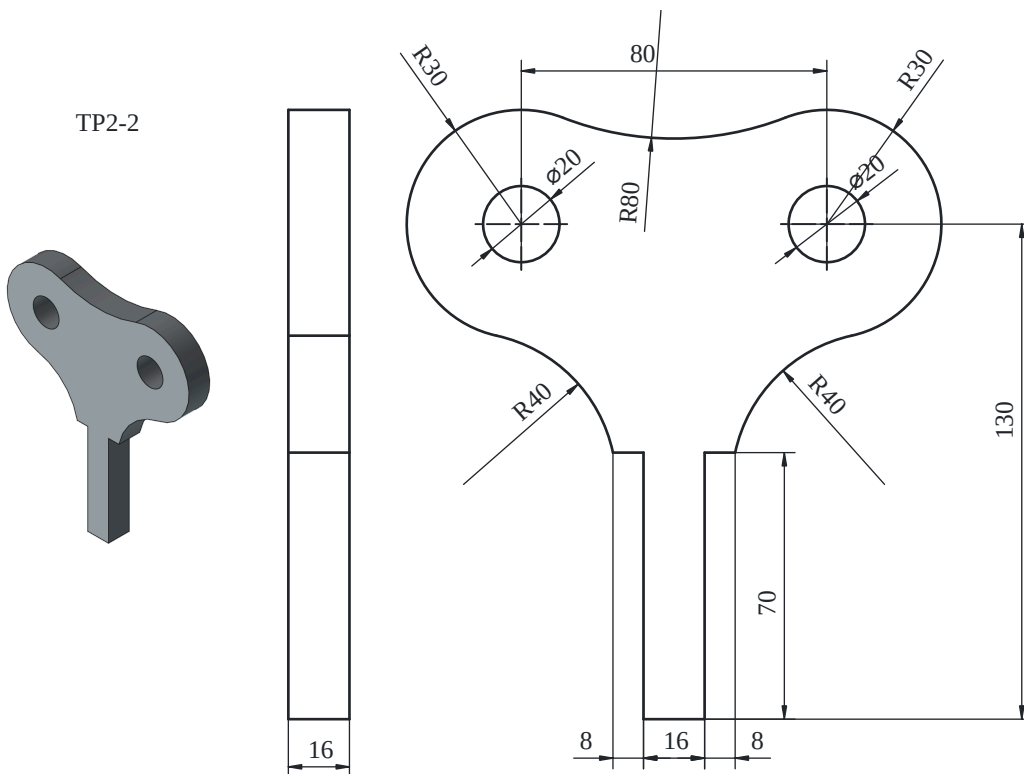
 Capture vidéo


2.4. TP 2-2


Objectifs



- Utiliser les géométries : *polyligne*^W , *arc 3 points*^W  ;
- Utiliser les contraintes géométriques : *symétrie*^W , *tangente*^W  ;

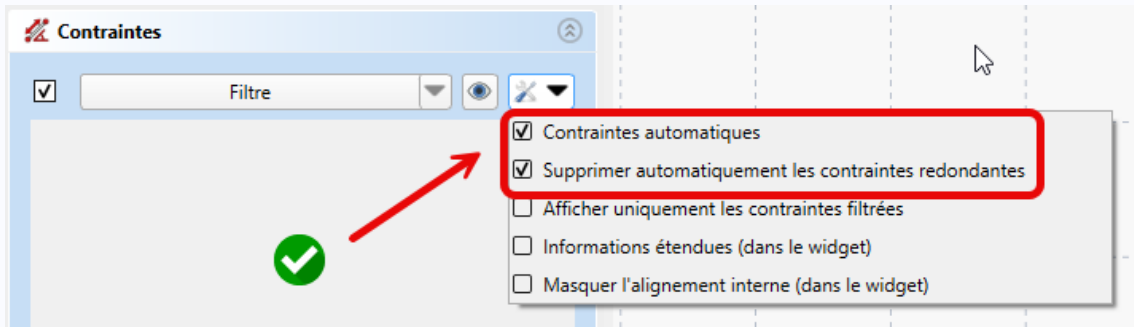
Nous allons modéliser le solide suivant : (cf. TP2-2-Plan.pdf)




Tâches à réaliser

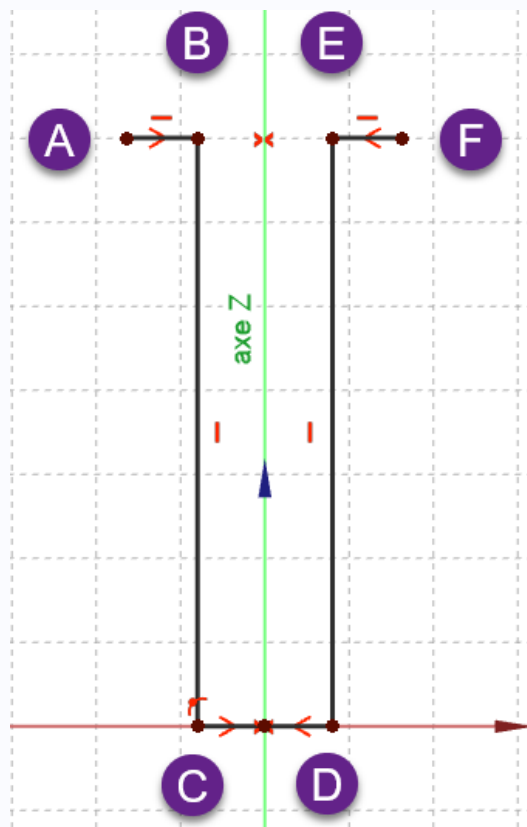
- Dans FreeCAD, si nécessaire, refermer les documents ouverts précédemment ;
- Créer un nouveau document  TP2-2 dans FreeCAD ;

- Créer un nouveau corps  et une nouvelle esquisse  dans le plan XZ ;
- Vérifier que Contraintes automatiques et Suppression automatique des contraintes redondantes sont cochés ;



Contrôle contraintes automatiques et suppression automatique des contraintes redondantes

- Créer la polyligne  A B C D E F :
 - en utilisant les informations de coordonnées associées au pointeur de la souris pour positionner les points **approximativement**,
 - en exploitant les contraintes automatiques (cf. tableau ci-dessous)









1^{ère} partie de l'esquisse

- Utiliser la contrainte de symétrie  par rapport à l'axe Z respectivement pour les points A & F puis C & D ;

 Aide :

Tableau des contraintes automatiques à utiliser

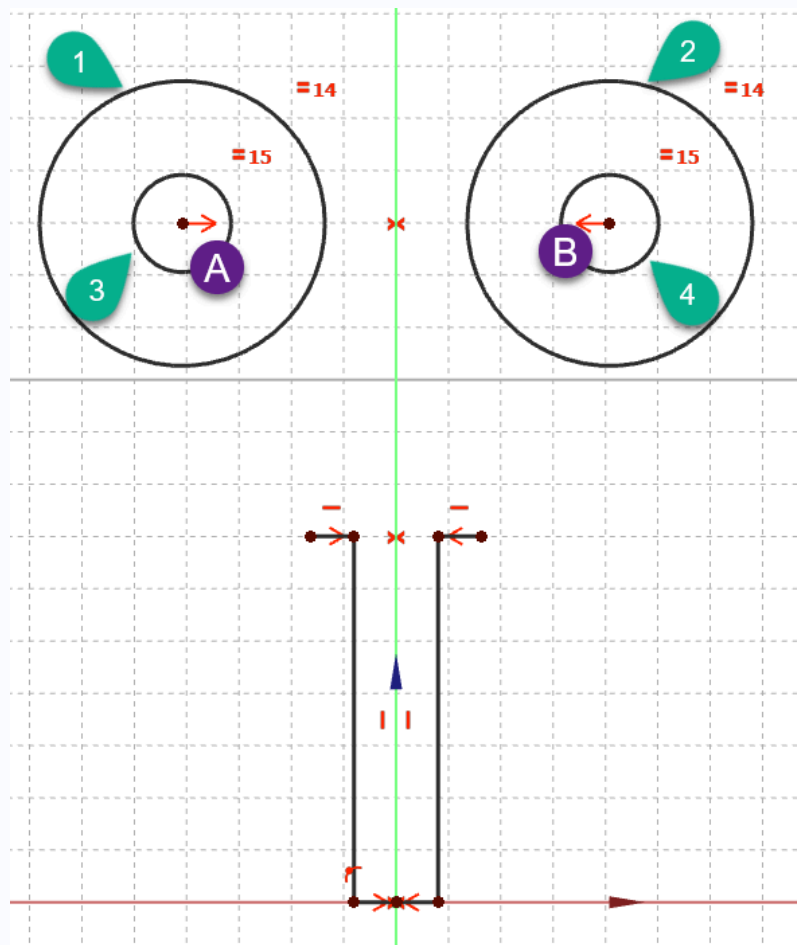
Géométrie	Points	Contraintes automatiques
Polyligne	Point B	
	Point C	 sur l'axe X
	Point D	
	Point E	 sur l'axe X
	Point F	
	Point F	

 **Ordre de saisie des contraintes**



Afin de pouvoir tester la fermeture de l'esquisse, il est préférable de saisir les contraintes dimensionnelles en dernier après avoir saisi toutes les contraintes géométriques ;

 **Tâches à réaliser (suite)**



- Créer les cercles 1 2 3 4 en utilisant les contraintes automatiques du tableau ci-dessous :



2^{ème} partie de l'esquisse

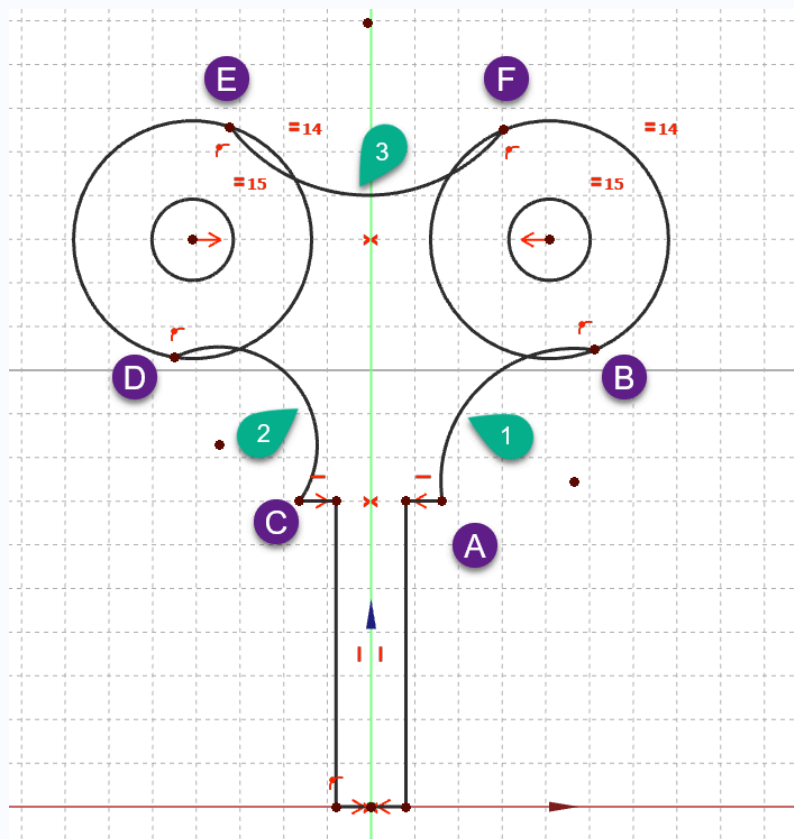
- Puis utiliser :
 - la contrainte de symétrie  par rapport à l'axe Z respectivement pour les centres A et B ;
 - la contrainte d'égalité  respectivement pour les cercles 1 & 2 puis 3 & 4 ;

 Aide :*Tableau des contraintes automatiques à utiliser*

Géométrie	Points	Contraintes automatiques
Cercle 3	Centre	 avec le centre A du cercle 1
Cercle 4	Centre	 avec le centre B du cercle 2







 Tâches à réaliser (suite)

- Créer 3 arcs 3 points  en utilisant les contraintes automatiques du tableau ci-dessous :



*3^{ème} partie de l'esquisse*

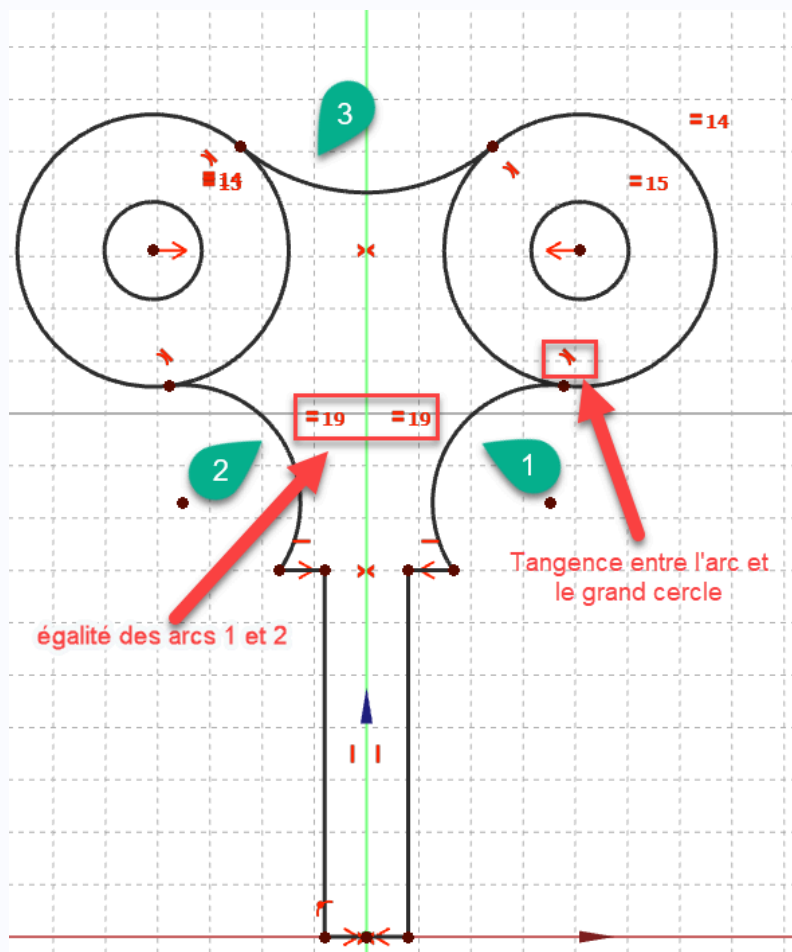
 Aide :

Tableau des contraintes automatiques à utiliser

Géométrie	Points	Contraintes automatiques
Arc 1	Point A	 avec l'extrémité droite de la polyligne
	Point B	 avec le grand cercle de droite
Arc 2	Point C	 avec l'extrémité gauche de la polyligne
	Point D	 avec le grand cercle de gauche
Arc 3	Point E	 avec le grand cercle de gauche
	Point F	 avec le grand cercle de droite



 Tâches à réaliser (suite)

- Utiliser la contrainte d'égalité  entre les arcs 1 et 2 ;
- Utiliser la contrainte de tangence  respectivement entre l'arc 1 et le grand cercle de droite, entre l'arc 2 et le grand cercle de gauche, entre l'arc 3 et les deux grands cercles ;

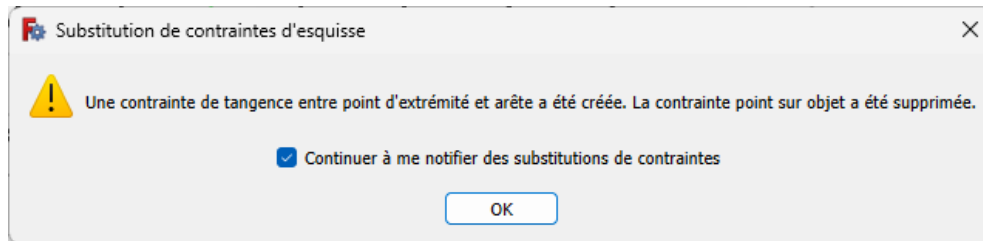


Substitution d'une contrainte  à une contrainte 

Substitution de contraintes

Lors de l'utilisation de la contrainte de tangence, FreeCAD remplace une contrainte  par une contrainte de tangence  :

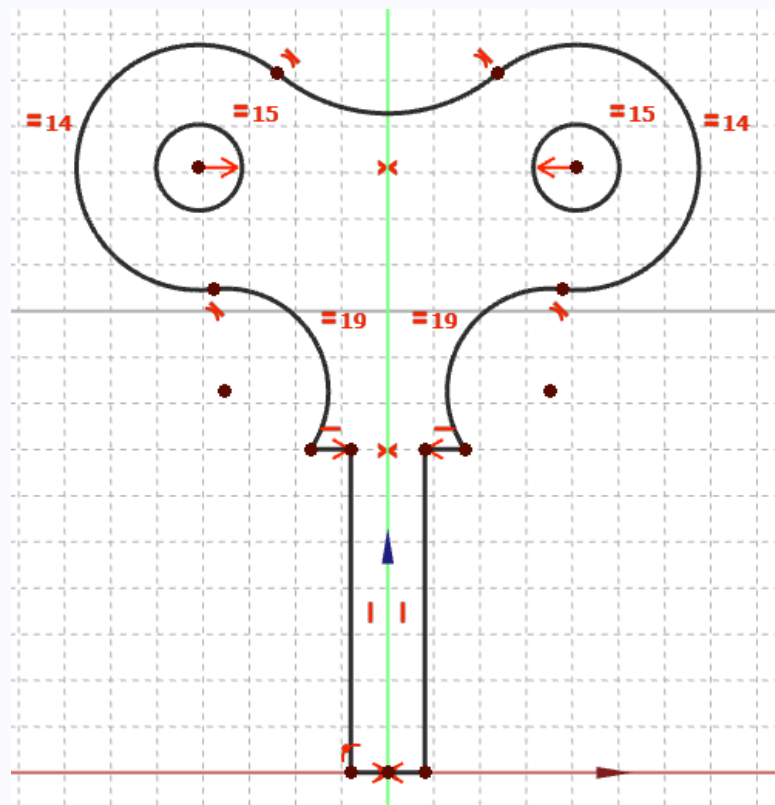
Valider la boîte de dialogue ;



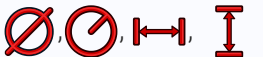
Message de FreeCAD lors d'une substitution de contrainte

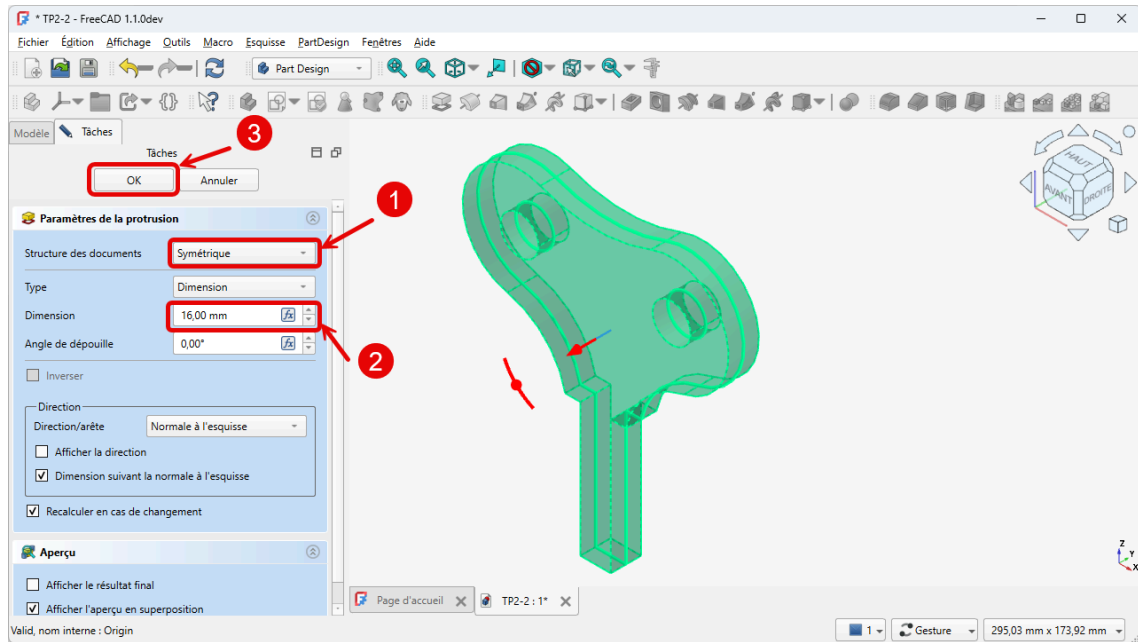
Tâches à réaliser (suite et fin)

- Ajuster  les deux grands cercles ;



Ajustement des grands cercles

- Vérifier que le contour extérieur est bien fermé en déplaçant légèrement des éléments de l'esquisse avec la souris ;
- Appliquer les contraintes dimensionnelles  ;









Création de la protrusion

■ Capture vidéo



2.5. Géométries de construction

Objectifs

- Différencier géométrie réelle et géométrie de construction ;
- Utiliser les géométries de construction de l'atelier  Sketcher  ;
- Utiliser le bouton **Activer / désactiver les géométries de construction**   /  ;
- Utiliser la **contrainte d'angle** 


Géométrie de construction

Dans une esquisse, on distingue les **géométries réelles** (appelées aussi géométries de définition) et les **géométries de construction** :

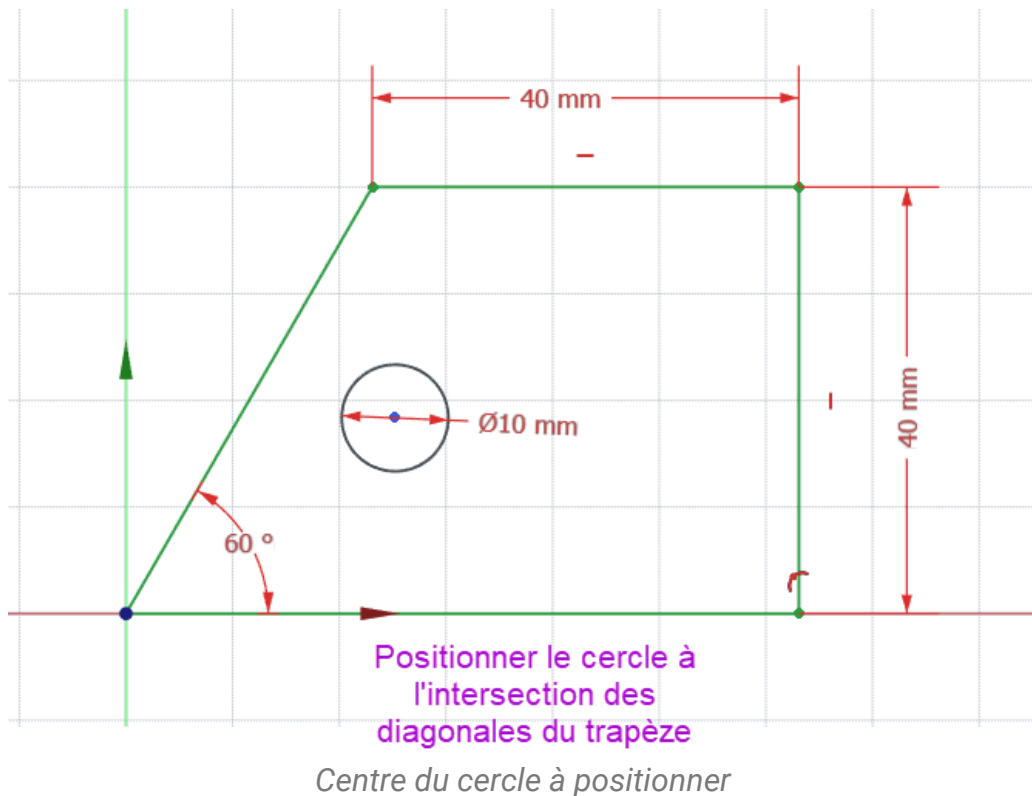
- Les géométries réelles sont utilisées par les fonctions paramétriques 3D (protrusion, révolution...) pour « ajouter / supprimer de la matière » ;
- Les géométries de construction aident à définir les contraintes et les géométries réelles à l'intérieur de l'esquisse elle-même, **elles ne sont pas visibles à l'extérieur de l'esquisse** et sont ignorées lors de l'application des fonctions paramétriques 3D ;

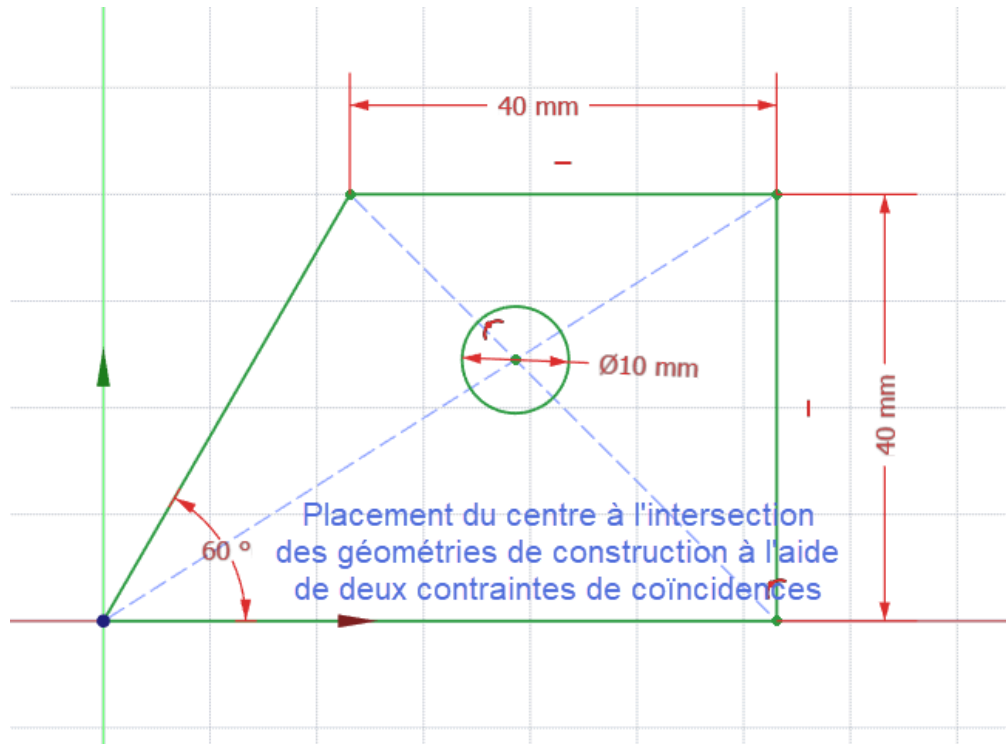
Par défaut, les géométries de construction s'affichent en trait interrompu bleu  ;

Par exemple :

Pour positionner le centre du cercle à l'intersection des diagonales du trapèze, le plus simple est de tracer les diagonales du trapèze comme lignes de construction puis d'utiliser deux fois la contrainte  pour amener le centre du cercle à l'intersection des diagonales :

Exemple d'utilisation des géométries de construction







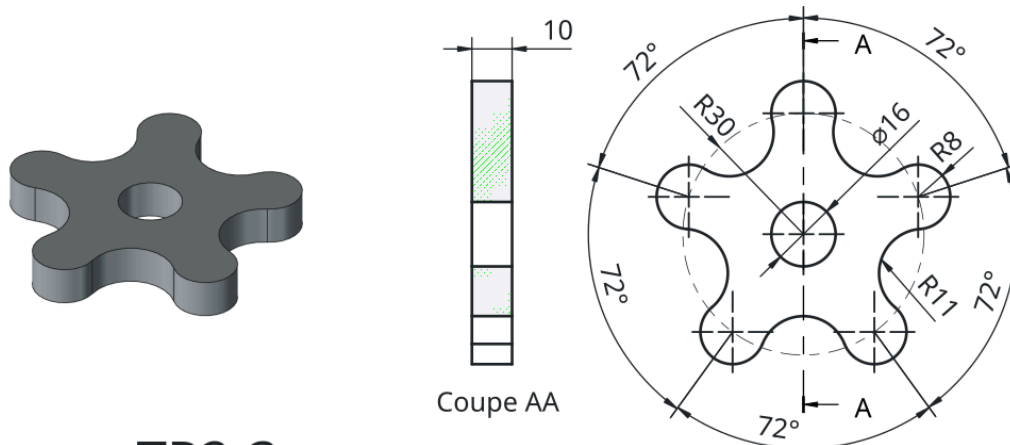
Placement du centre à l'intersection des diagonales à l'aide de 2 contraintes de



Conseil

Pour construire des géométries de construction, il faut utiliser la commande [Activer / désactiver la géométrie de construction](#) ^W  dans l'atelier Sketcher  ;




Nous allons reprendre l'exemple ci-dessous provenant du wiki FreeCAD : (cf. [TP2-3-Plan.pdf](#))






TP2-3

Plan TP2-3



Tâches à réaliser : géométries de construction

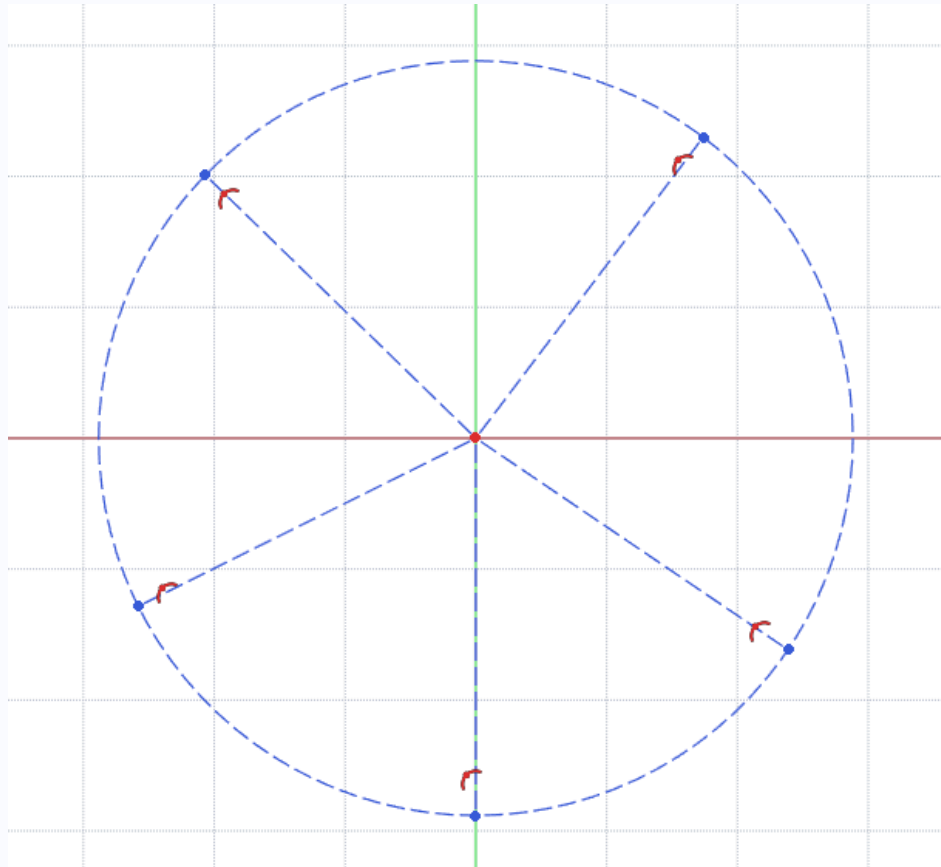
- Dans FreeCAD, si nécessaire, refermer les documents ouverts précédemment ;
- Créer un nouveau document  TP2-3 dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps  et une nouvelle esquisse  dans le plan XY ;



- Dans l'atelier  Sketcher , cliquer sur le bouton  de la barre d'outils Géométries d'esquisse ;
 - Noter la coloration en bleu des boutons de cette barre d'outils :

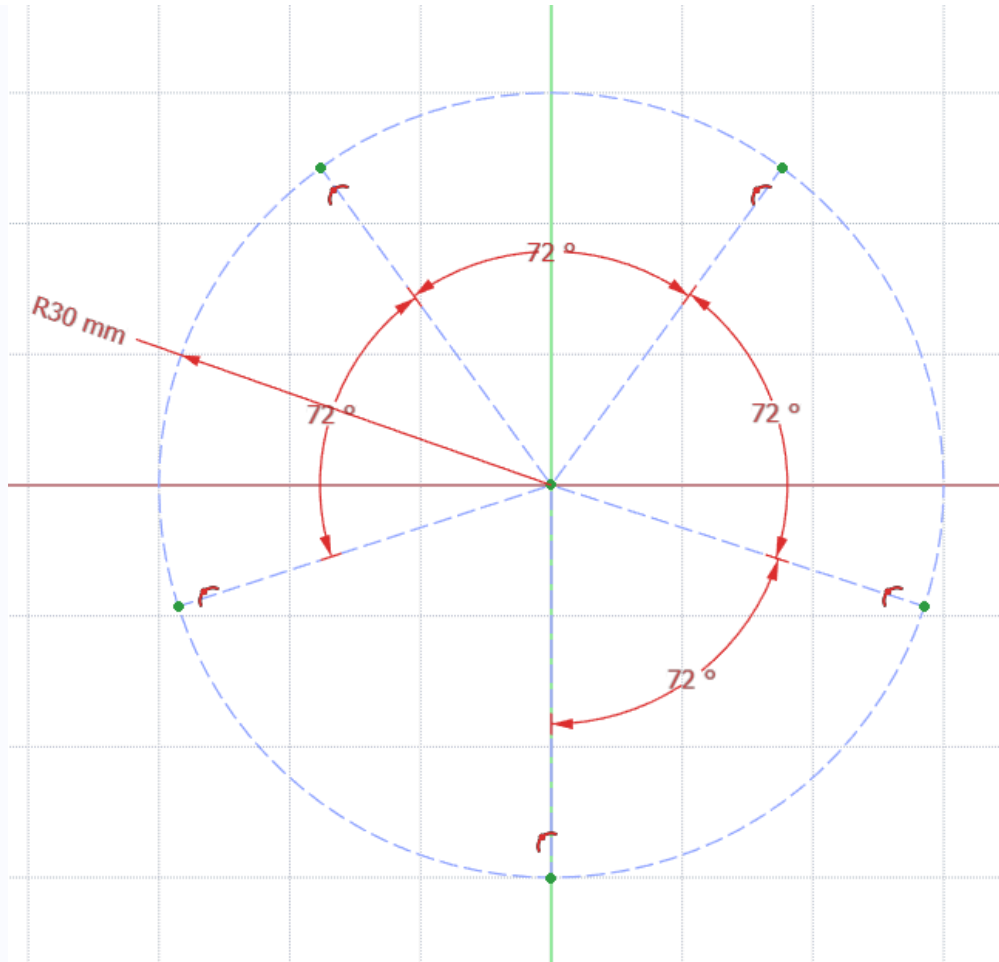


Barre d'outils : géométries de construction



- Construire un cercle centré sur l'origine d'environ 60 mm de diamètre ;
- Construire 5 lignes de construction partant de l'origine de l'esquisse  et dont l'extrémité est contrainte  sur le cercle ;




- Contraindre le rayon du cercle  à 30 mm et la position de ces lignes à l'aide de contraintes d'angle  de 72° ;



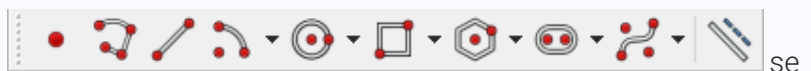
Aide :





- Utiliser la contrainte automatique  pour l'origine des 5 lignes ;
- Utiliser la contrainte automatique  sur le cercle pour l'extrémité des 5 lignes ;

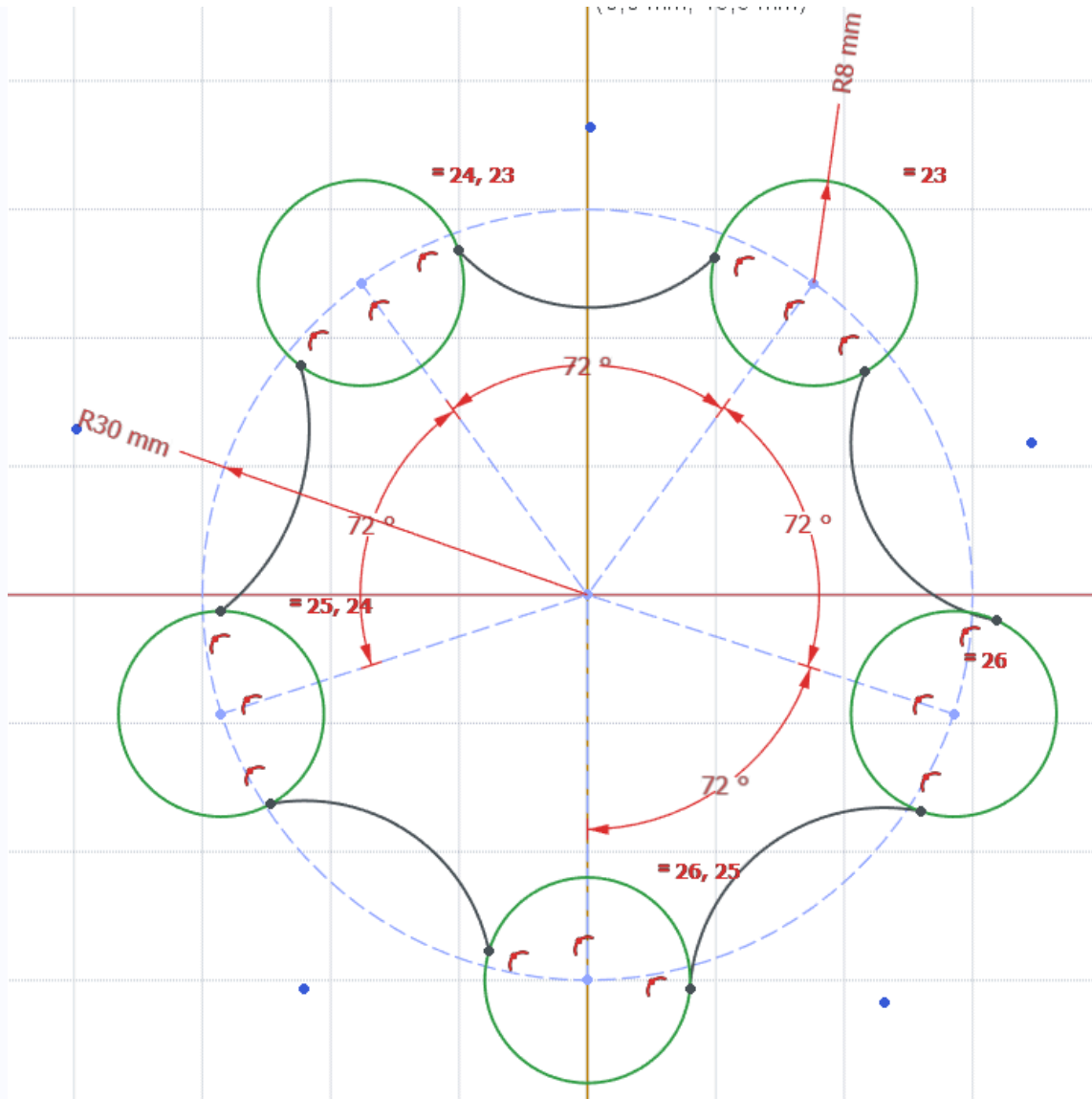
Tâches à réaliser : géométries de définition

- Cliquer sur le bouton  de la barre d'outils Géométries d'esquisse pour revenir en mode géométries réelles ;



- Les boutons de la barre d'outils

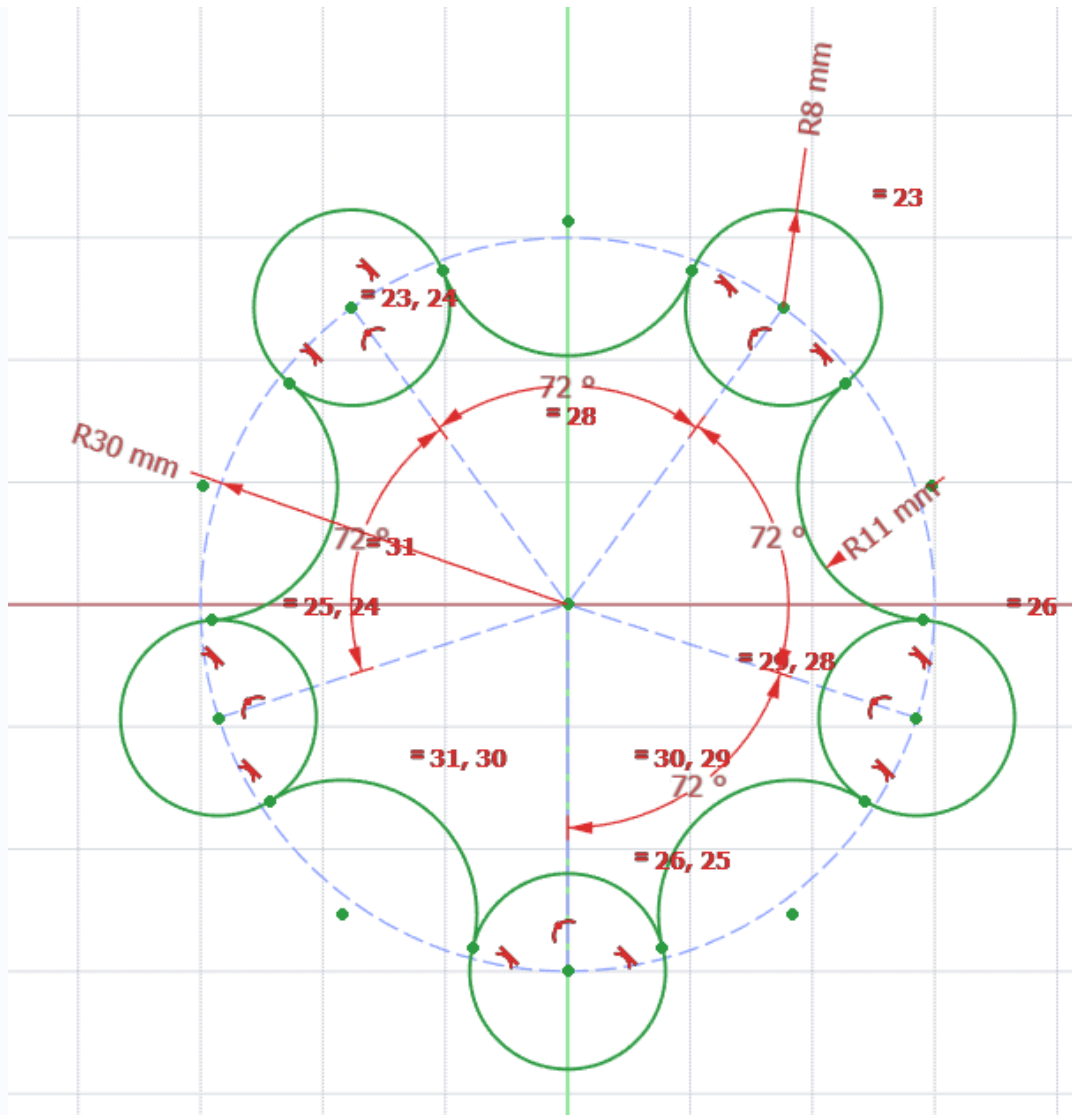


- recolorent en blanc,
- Créer 5 cercles  égaux de rayon  8 mm centrés sur l'extrémité de chaque ligne de construction ;
- Créer 5 arcs 3 points  en prenant soin d'exploiter la contrainte automatique  pour les extrémités de ces arcs : chaque extrémité d'arc doit se trouver sur un cercle ;







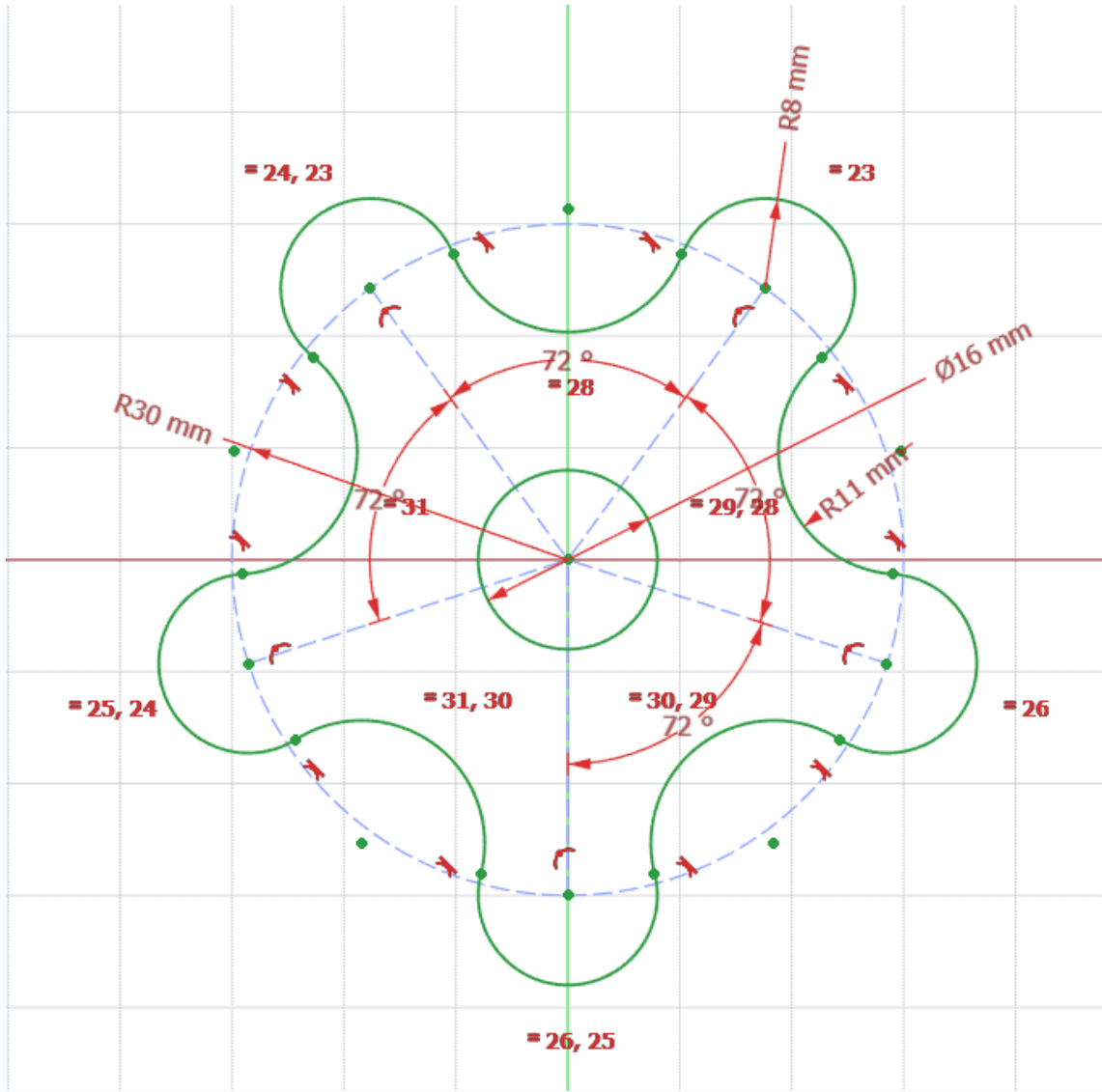
Construction des arcs

- Rendre tangents ces arcs aux cercles à l'aide de la contrainte de tangence  ;
- Vérifier que le contour extérieur est fermé ;
- Fixer le rayon de ces arcs à  11 mm ;




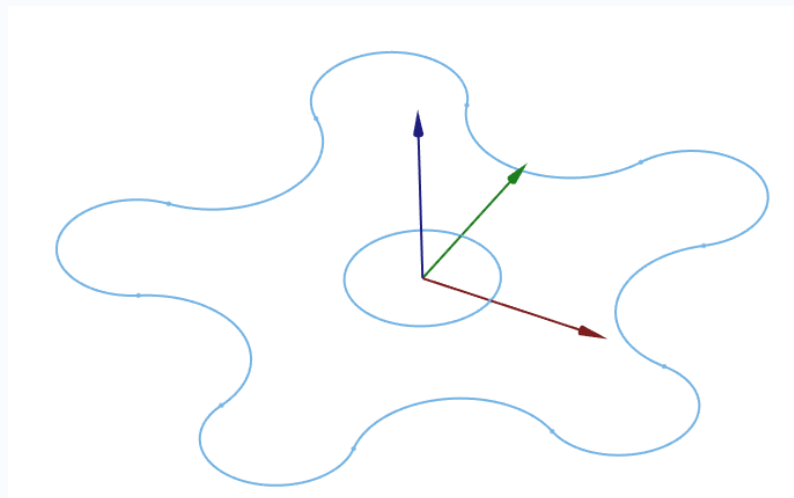
Substitution des contraintes

- Supprimer l'intérieur des 5 cercles à l'aide de la commande Ajuster  ;
- Ajouter le cercle central  de diamètre  16 mm centré  sur l'origine du repère ;



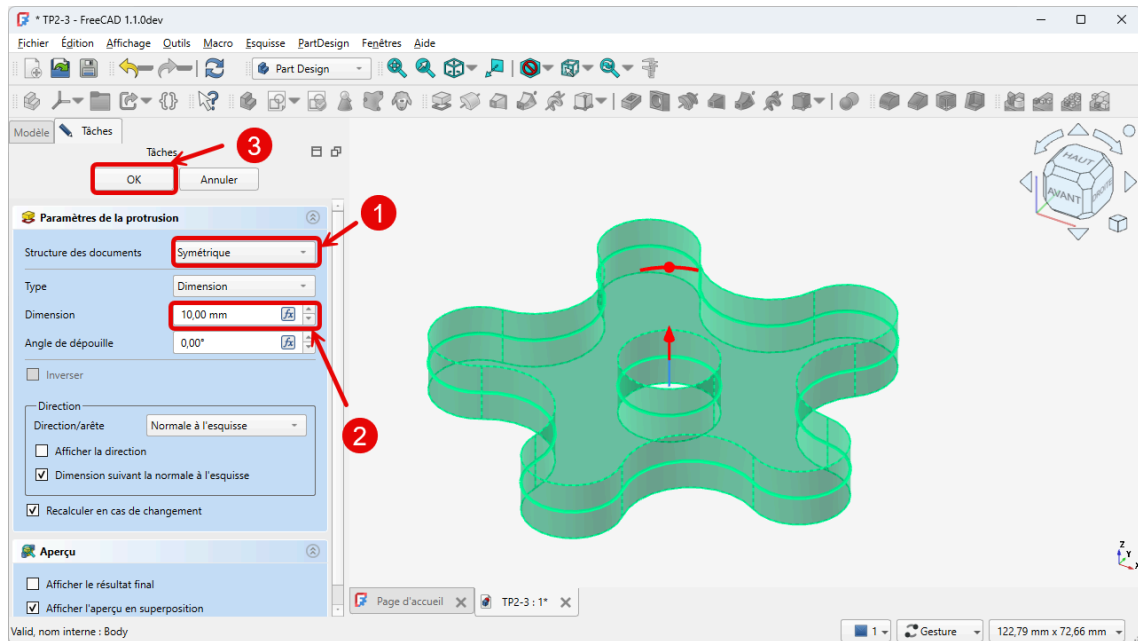
Suppression de l'intérieur des cercles par ajustements

- Fermer l'atelier Sketcher  et vérifier que les lignes de construction n'apparaissent pas dans la vue 3D ;



Esquisse

- Appliquer une protrusion  de 10 mm symétrique ;



Création de la protrusion

📺 Capture vidéo

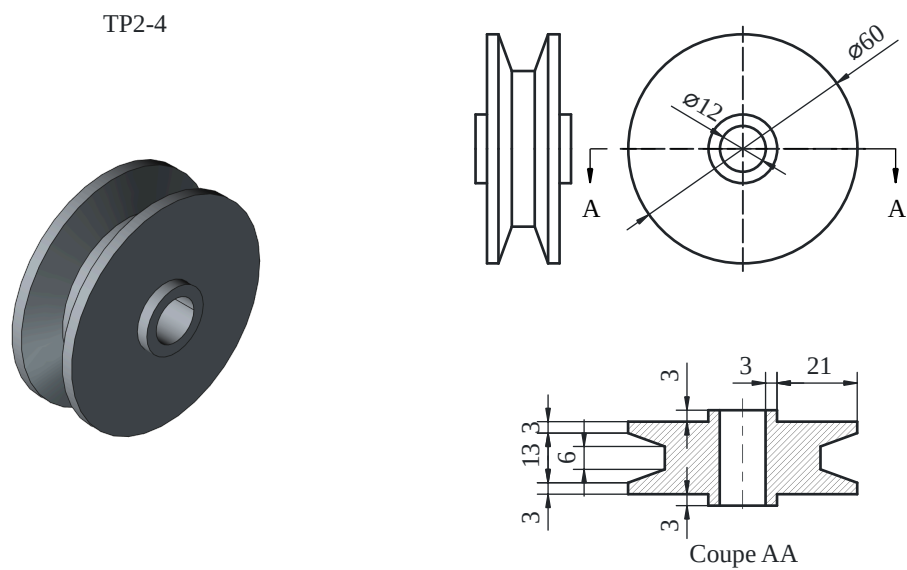


2.6. TP2-4




Objectifs

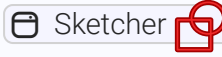

- Utiliser une nouvelle fonction paramétrique : la commande Révolution^W  ;

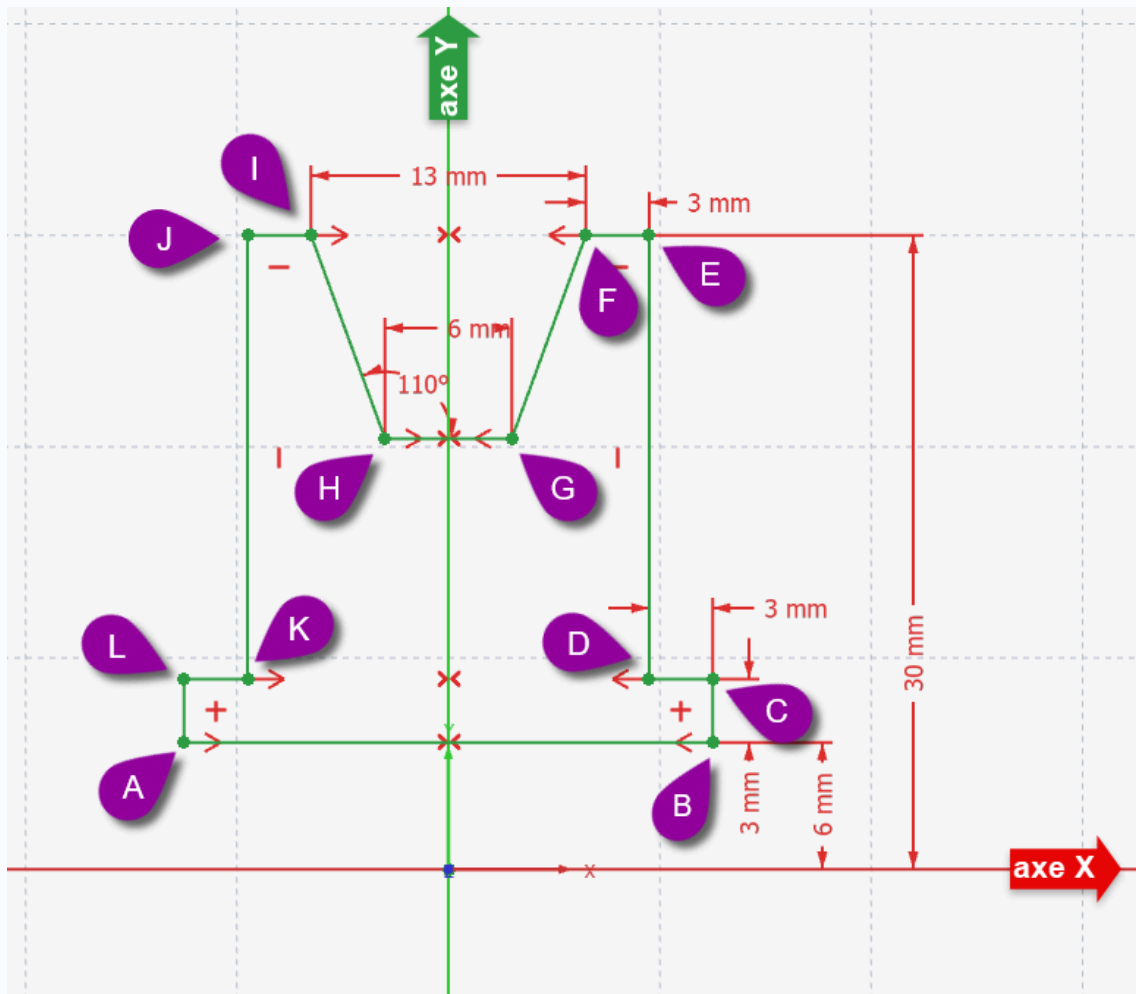
Nous allons modéliser le solide suivant : (cf. [TP2-4-Plan.pdf](#))



Tâches à réaliser







- Créer un nouveau document  TP2-4 dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps  et une nouvelle esquisse  dans le plan XY ;

- Dans l'atelier , créer l'esquisse ci-dessous à l'aide d'une **seule** polyligne  ABCDEFGHIJKLA :






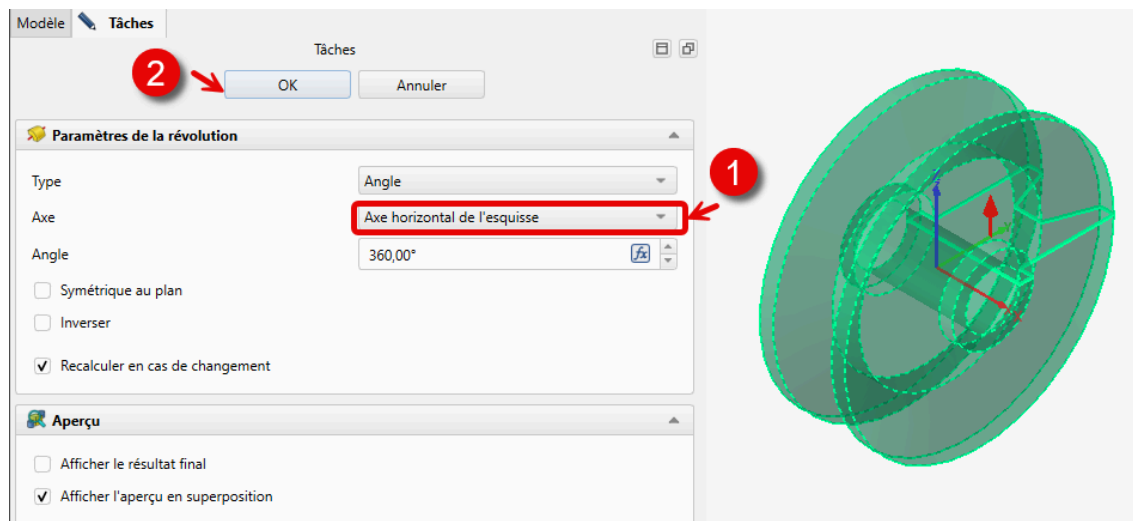
Esquisse du TP n°2-4

Aide :

- Créer une polyligne  approximative **fermée** en exploitant les contraintes automatiques ,  et surtout  pour la fermeture de la polyligne ;
- Appliquer quatre fois la contrainte de symétrie  respectivement aux points A&B, K&D, I&F, G&H par rapport à l'axe Y ;
- Appliquer la contrainte  de 110° entre les segments GH & HI ;
- Vérifier que l'esquisse est fermée **puis** appliquer les contraintes dimensionnelles ;

Tâches à réaliser (suite)

- Dans l'atelier , sélectionner l'esquisse  et créer une révolution  autour de l'axe d'esquisse horizontal ;



Création de la révolution

■ Capture vidéo









3. Modélisation paramétrique

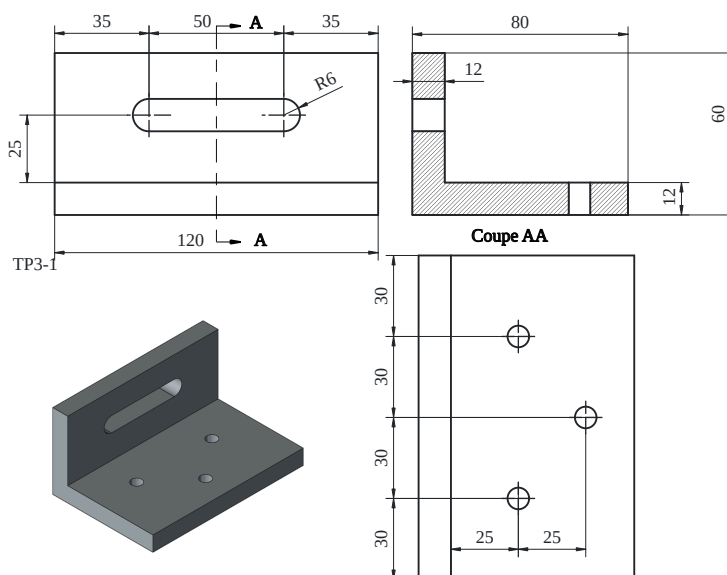
Après avoir exploré l'atelier  Sketcher , nous allons expérimenter la construction **cumulative** de la modélisation paramétrique de l'atelier  Part Design  ;

3.1. TP 3-1




Objectifs

- Mettre en œuvre et comprendre l'approche cumulative de la modélisation paramétrique en créant **plusieurs esquisses successives** ;
- Utiliser la géométrie **Contour oblong** ^W  dans l'atelier  Sketcher  ;
- Utiliser une nouvelle fonction paramétrique : la commande **Cavité** ^W  de l'atelier  Part Design  ;

Nous allons modéliser le solide suivant : (cf [TP3-1-Plan.pdf](#))

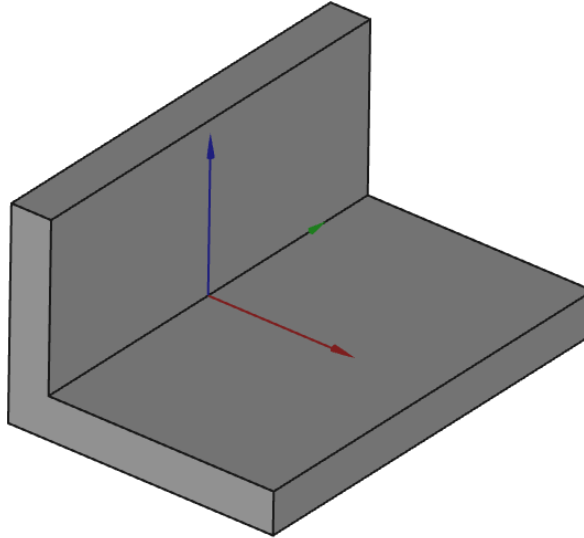


☑☑☑ Tâches préliminaires




- Créer un nouveau document  TP3-1 dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps  et une nouvelle esquisse  dans le plan XZ ;

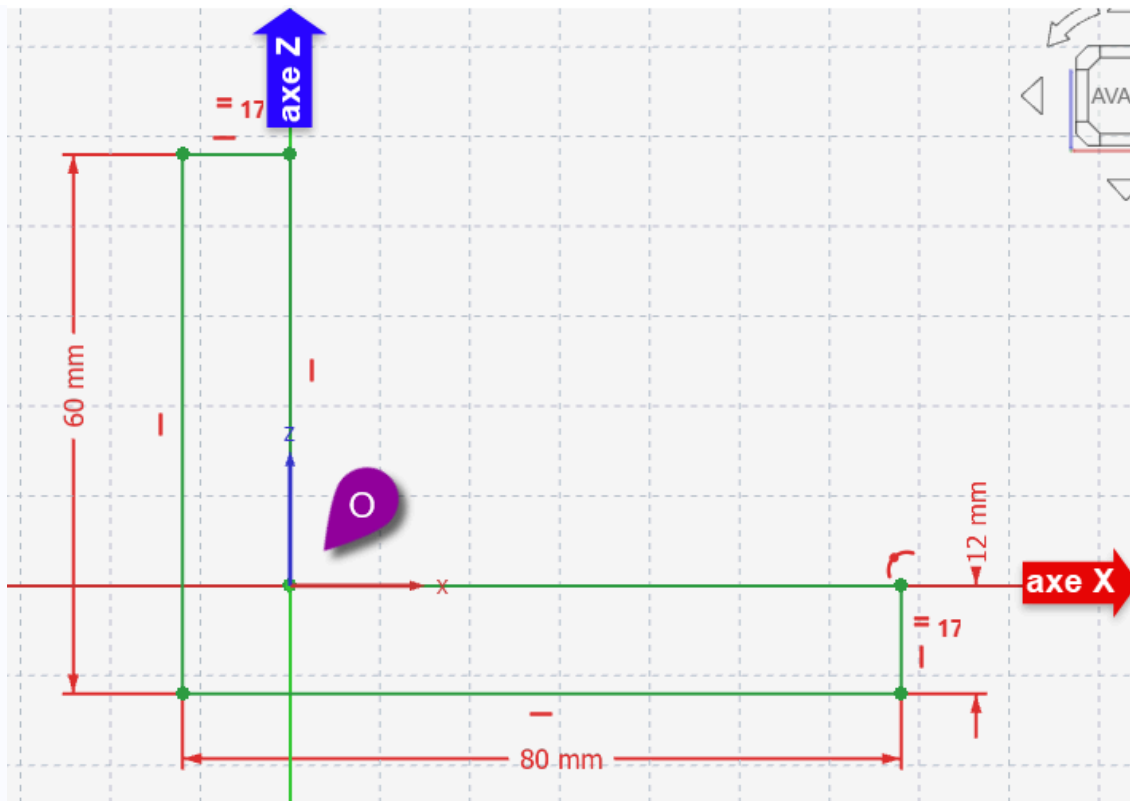
3.1.1. 1^{ère} esquisse

1^{ère} étape : nous allons modéliser l'équerre sans ses trous ;




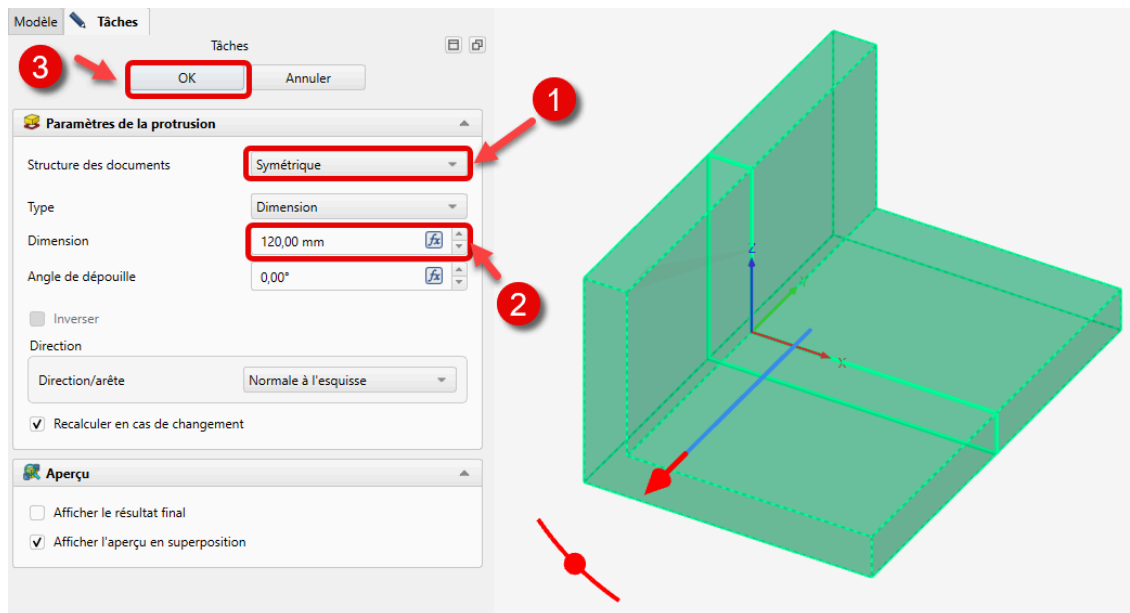
☑☑☑ Tâches à réaliser

- Dans l'atelier  Sketcher , créer l'esquisse ci-dessous à l'aide d'une **seule** polyligne  en exploitant les contraintes automatiques ;



1^{ère} esquisse

- Créer une protrusion  de 120 mm **symétrique** par rapport au plan XZ ;



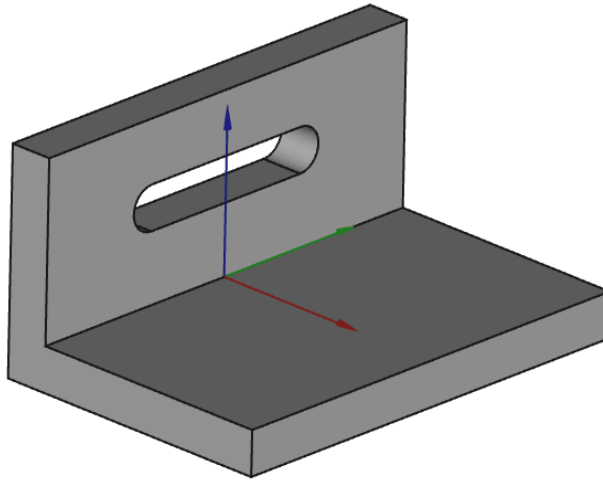
Création de la protrusion

Utilisation de la symétrie dans FreeCAD

- D'une manière générale, il faut utiliser le plus souvent possible les symétries des modèles : dans le cas présent, cela permettra de placer les trous et le trou oblong par rapport à ces axes de symétrie.

3.1.2. 2^{ème} esquisse

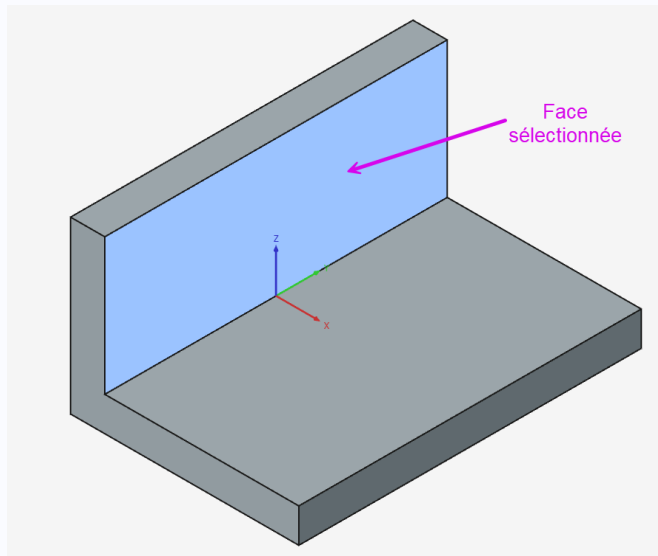
2^{ème} étape : nous allons ajouter le trou oblong sur la face verticale :



Vue 3D du modèle après la 2^{ème} étape

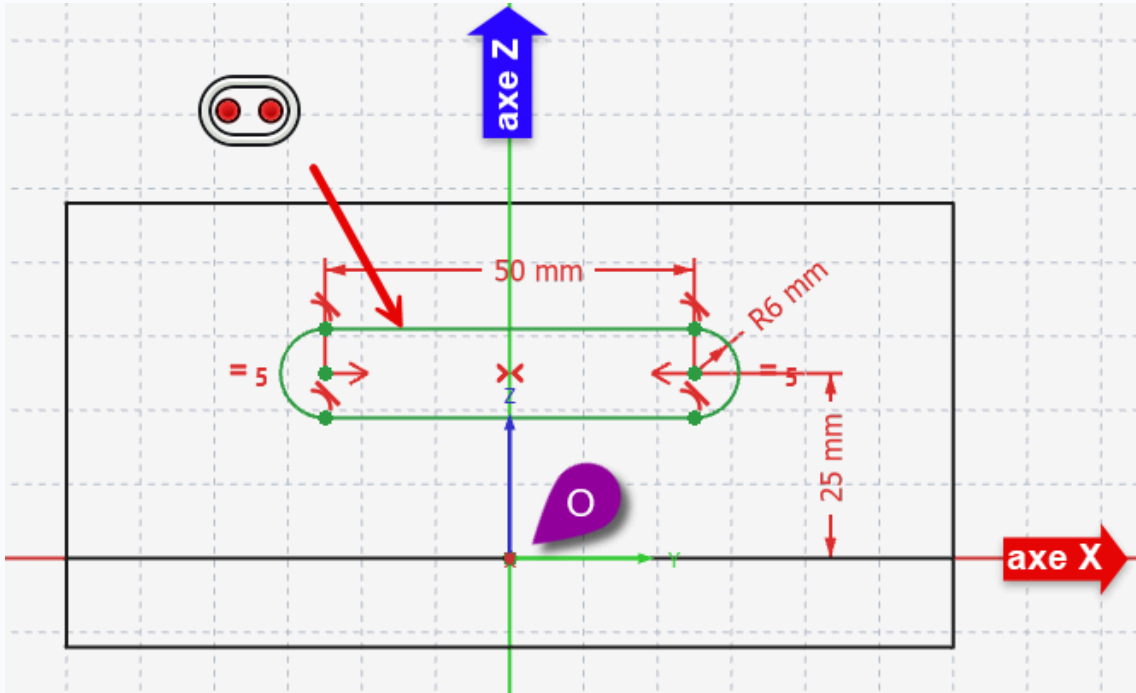
✓☰ Tâche à réaliser

- Sélectionner la face verticale suivante et créer une nouvelle esquisse  :







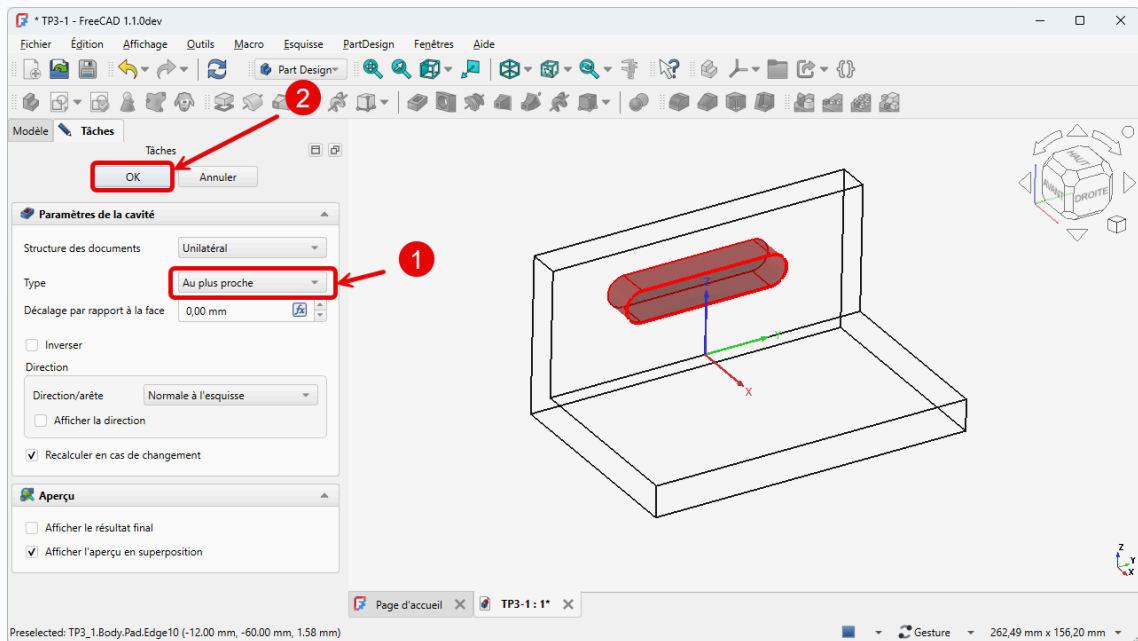
Sélection de la face pour la 2^{ème} esquisse

- Dans l'atelier  Sketcher , définir l'esquisse comme ci-dessous :







Esquisse n°2 pour le trou oblong

- Dans l'atelier  Part Design , sélectionner cette esquisse et créer une cavité  du type  Au plus proche ;



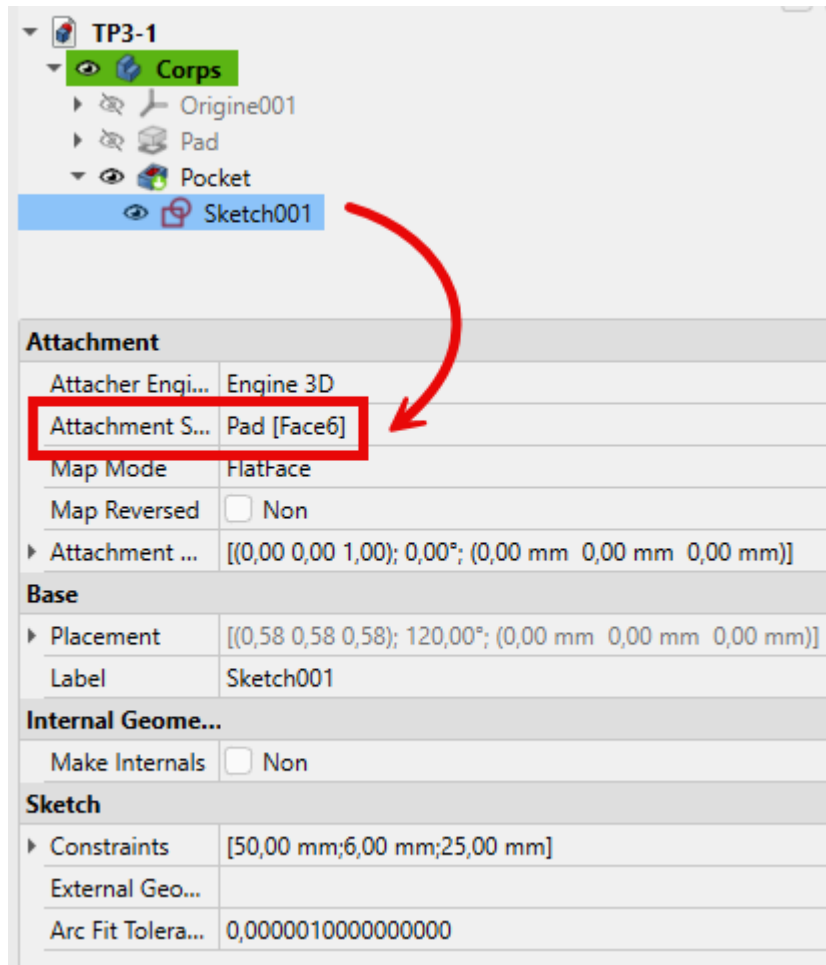
Paramètre de la cavité

Aide

- Utiliser les contraintes de symétrie , distance verticale  et distance horizontale  pour positionner le trou oblong ;
- Pour mieux visualiser l'esquisse, vous pouvez sélectionner le mode d'affichage **Filaire**  à l'aide de la barre d'outils ;

« Attachment » de l'esquisse

En choisissant la face verticale pour créer l'esquisse, FreeCAD a attaché l'esquisse à cette face : **Pad [Face6]** ;

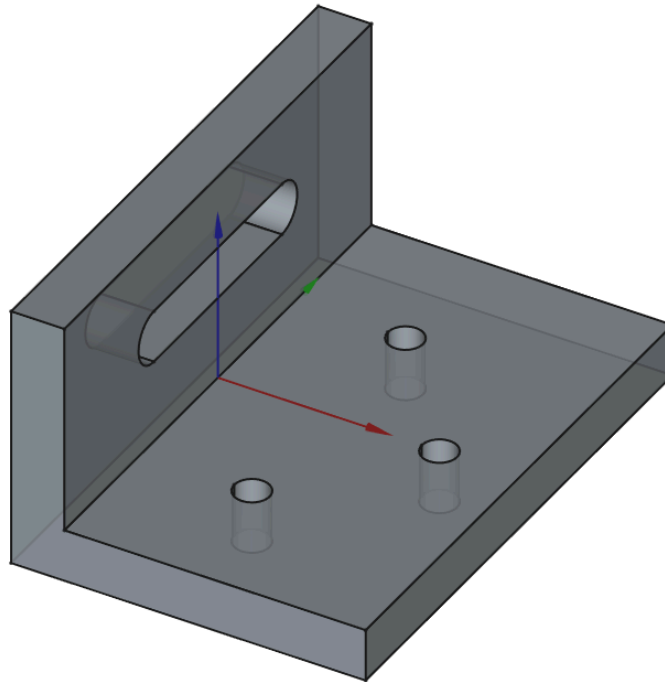


Attachment de l'esquisse 2

Ce plan correspond ici au **plan YZ** du corps. Pour créer cette esquisse, nous aurions pu choisir directement ce plan YZ pour créer l'esquisse.

3.1.3. 3^{ème} esquisse

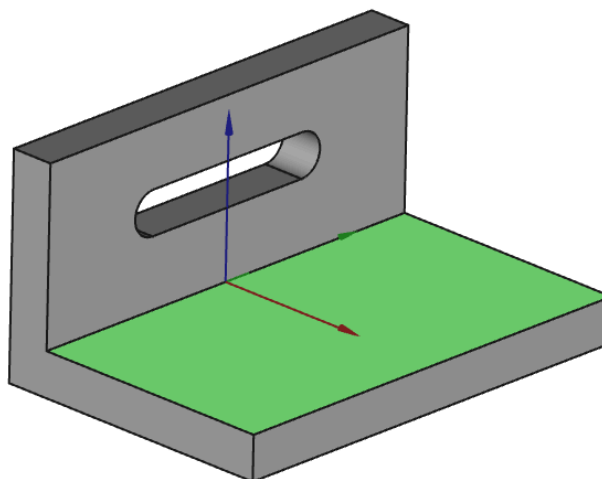
Dernière étape : nous allons ajouter les trois trous sur la face horizontale :






Vue 3 D du modèle

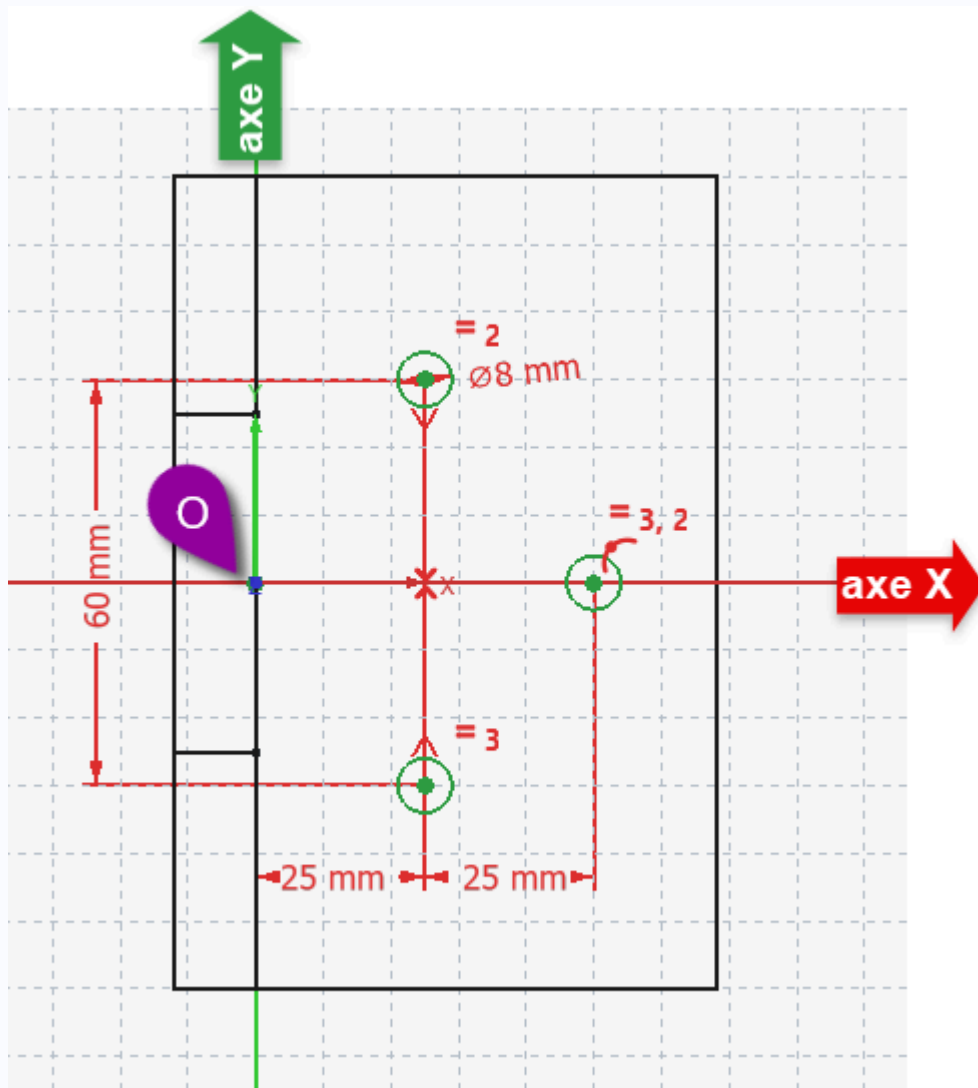
Tâche à réaliser

- Si nécessaire, revenir en mode Filaire Ombré  (**V** puis **7** du clavier alphanumérique) ;
- Sélectionner la face horizontale du dessus :







Sélection de la face pour la 3^{ème} esquisse

- Créer un nouvelle esquisse  attachée à cette face ;
- Dans l'atelier  Sketcher , définir l'esquisse comme ci-dessous :

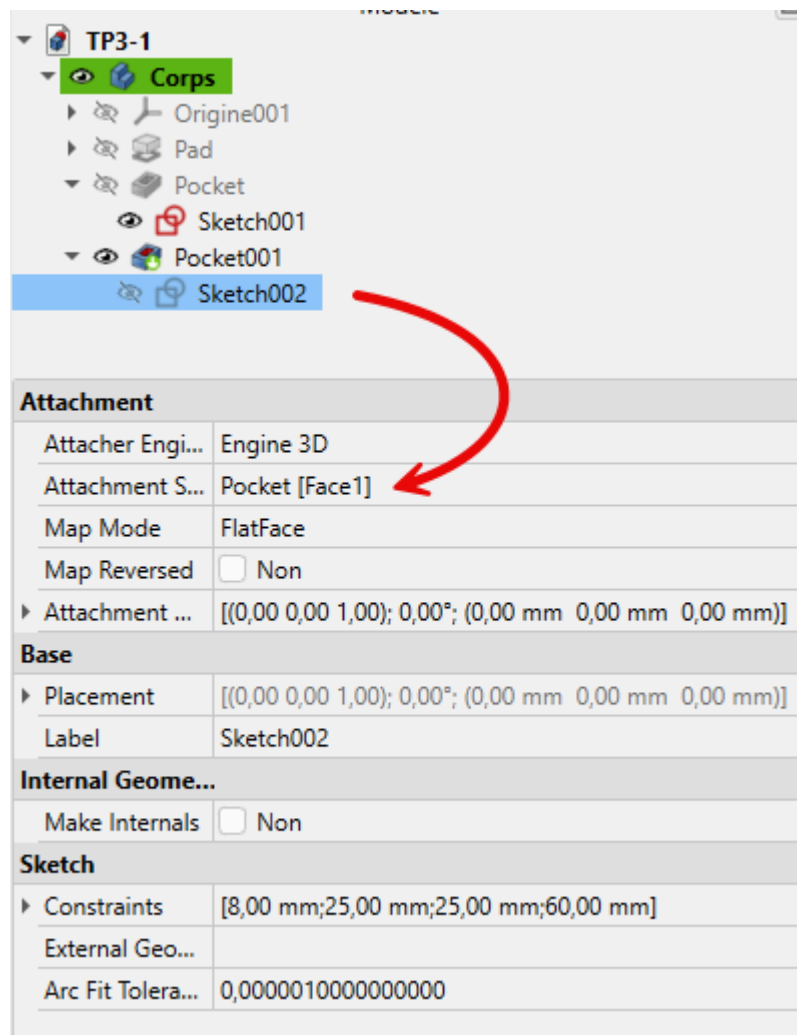


3^{ème} esquisse pour la création des trois perçages

- Dans l'atelier  Part Design , sélectionner cette esquisse et créer une cavité  du type  Au plus proche ;

« Attachment » de l'esquisse

En choisissant la face horizontale pour créer l'esquisse, FreeCAD a attaché l'esquisse à cette face : **Pocket [Face1]** ;



Attachment de l'esquisse 3

Ce plan correspond ici au **plan XY du corps**. Pour créer cette esquisse, nous aurions pu choisir directement ce plan XY pour créer l'esquisse.



3.1.4. Modification du modèle

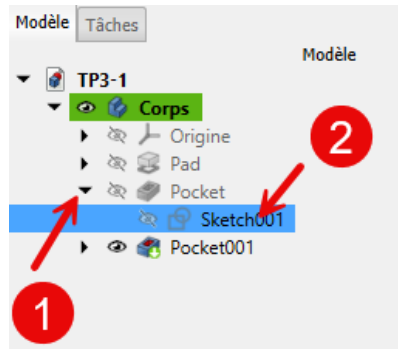
Grâce à la modélisation paramétrique, il est très facile de modifier le modèle.

Tâches à réaliser

- Passer le rayon du trou oblong à 8 mm ;

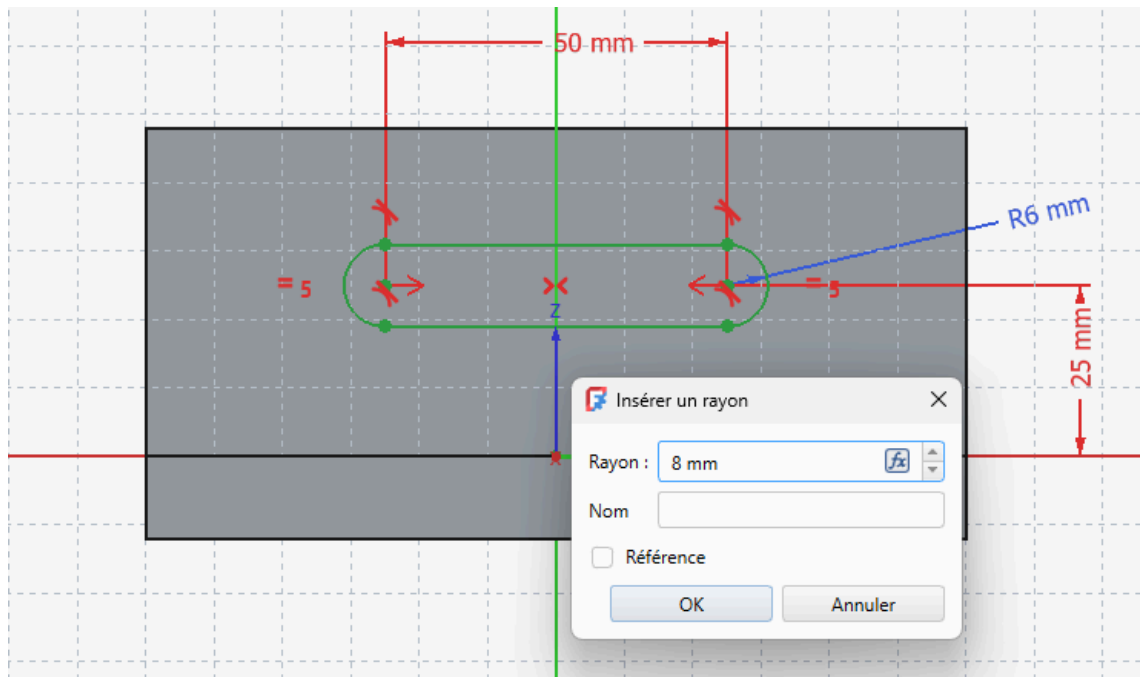
Aide

- Dans la vue modèle, développer la branche  **Pocket** ;
- Double-cliquer sur  **Sketch001** ;



Sélection de l'esquisse à modifier

- Double-cliquer sur la contrainte de rayon et modifier sa valeur à 8 mm ;

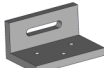


Modification du rayon du trou oblong

3.1.5. Capture vidéo






3.2. Géométries externes

Dans le TP n°3-1 précédent , nous avons positionné les géométries contenues dans les différentes esquisses en nous référant directement aux axes liés au solide. Ce n'est pas toujours possible ou souhaitable, notamment s'il faut respecter certaines cotes fonctionnelles.

Objectifs



- Découvrir le concept de **Géométrie externe** ;

⚠️ 1.1 La commande **Géométrie externe** **disparait !**




FreeCAD 1.1 remplace la commande **Géométrie externe** ^W  par deux commandes **Géométrie externe d'intersection** ^W  et **Géométrie externe de projection** ^W  ;




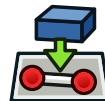



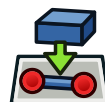
Géométrie externe



Dans une esquisse, une géométrie externe est une géométrie provenant d'un élément, sommet ou arête, situé **en dehors de l'esquisse**. On distingue :

- les géométries créées par l'**intersection** entre les faces et/ou les arêtes appartenant à des objets extérieurs à l'esquisse avec le plan de l'esquisse à l'aide de la commande **Sketcher Intersection** ^W  ;
- les géométries créées par la **projection perpendiculaire** des arêtes et/ou des sommets appartenant à des objets extérieurs à l'esquisse sur le plan de l'esquisse à l'aide de la commande **Sketcher Projection** ^W  ;


Remarque

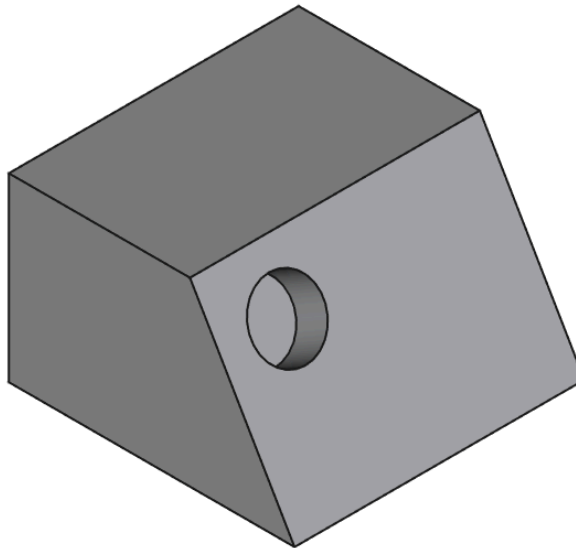
- La couleur par défaut des géométries externes est la couleur **magenta** ;
- La géométrie externe est créée en tant que **géométrie réelle** ou bien en tant que **géométrie de construction** en fonction de l'état du bouton de Géométrie  /  de l'atelier  Sketcher ;

État du bouton	Nature de la géométrie externe créée	Intersection	Projection
	 <i>Géométrie réelle (ou de définition)</i>		
	 <i>Géométrie de construction</i>		

- Cet outil  /  peut également être utilisé pour basculer une géométrie réelle vers une géométrie de construction ou inversement ;

Tâches à réaliser :

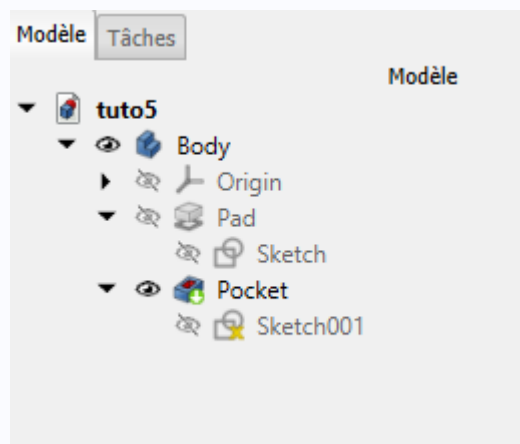
- Dans FreeCAD, si nécessaire, refermer les documents ouverts précédemment ;
- Télécharger le fichier [tuto5.FCStd](#) sur votre ordinateur ;
- Ouvrir ce document  `tuto5.FCStd` dans FreeCAD ;



Vue 3D du modèle [tuto03-1.FCStd](#)

Le modèle contient :

- une première esquisse [Sketch](#) utilisée pour créer la protrusion ;
- une seconde esquisse [Sketch001](#) utilisée pour créer la cavité ;



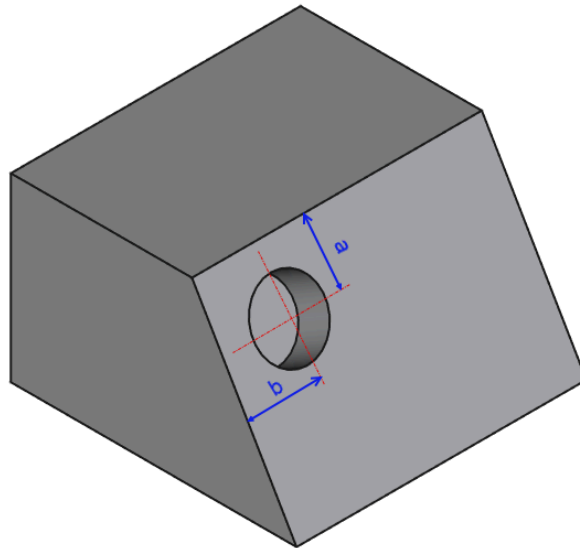
Structure du modèle [tuto03-1.FCStd](#)

Pour le moment, la position du centre du cercle contenu dans [Sketch001](#) n'est pas contrainte.

Problème à résoudre :



Comment fixer les dimensions **a** et **b** pour **contraindre la position du centre du cercle** utilisé pour créer la cavité ?

- **a** représente la distance du centre du cercle à l'arête supérieure de la face inclinée ;
- **b** représente la distance de centre du cercle à l'arête de gauche de la face inclinée ;





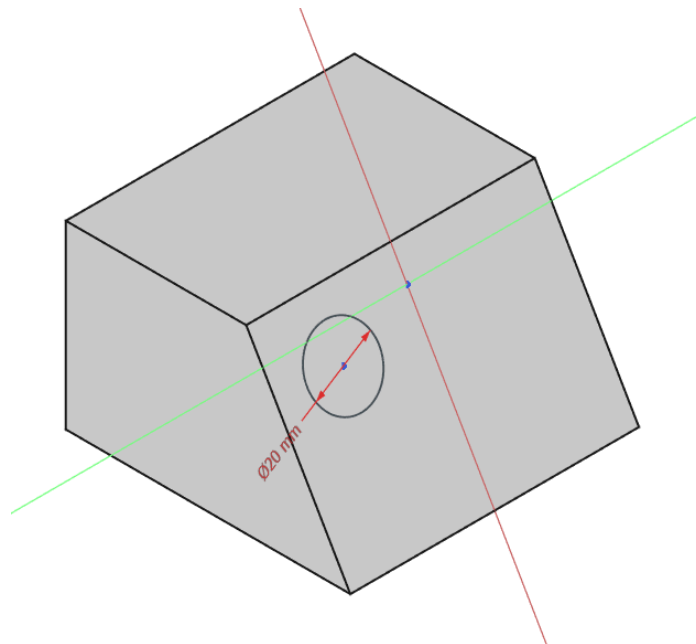
Dimensions à contraindre

Tâches à réaliser

- Modifier l'esquisse   Sketch001 et essayer de contraindre la position du centre du cercle à l'aide des dimensions a et b ? Conclusions ?

Visualisation de l'esquisse

Pour mieux visualiser l'esquisse dans l'espace, appuyer sur la touche  du pavé numérique pour basculer en vue isométrique (ou bien cliquer sur le bouton );





Vue isométrique de l'esquisse Sketch001

+ Réponse


- Vous ne pouvez pas accrocher les arêtes pour définir les contraintes...

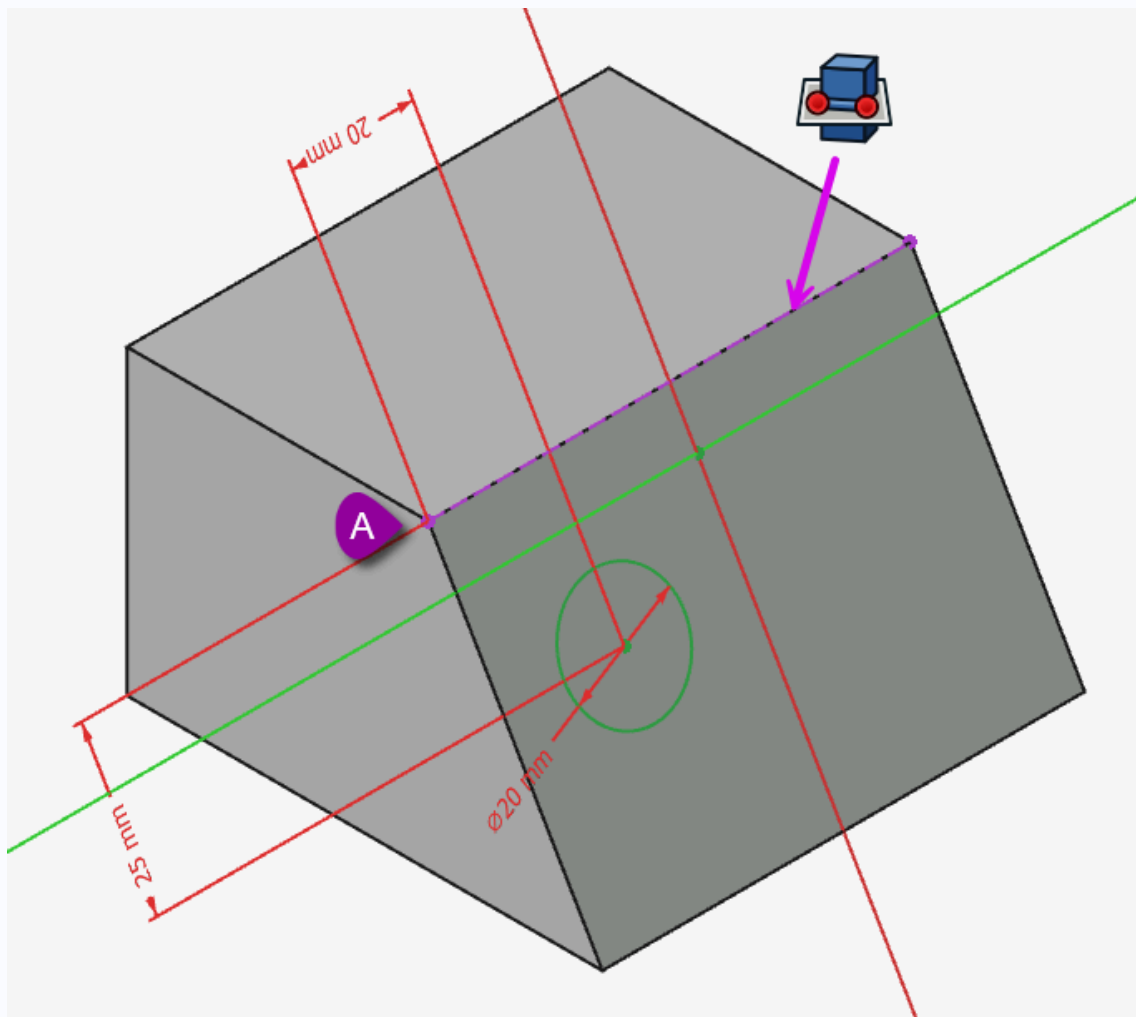
☰ Tâches à réaliser

- Cliquer sur le bouton **Activer la géométrie de construction**  pour basculer en mode Géométrie de construction dans l'atelier Sketcher  :

- Noter la coloration en bleu des boutons de barre







- Sélectionner la commande **Sketcher Intersection**  et sélectionner l'arête supérieure pour créer la géométrie externe ci-dessous ;
- Utiliser l'extrémité de cette géométrie externe pour contraindre la position du cercle par rapport au point A ;



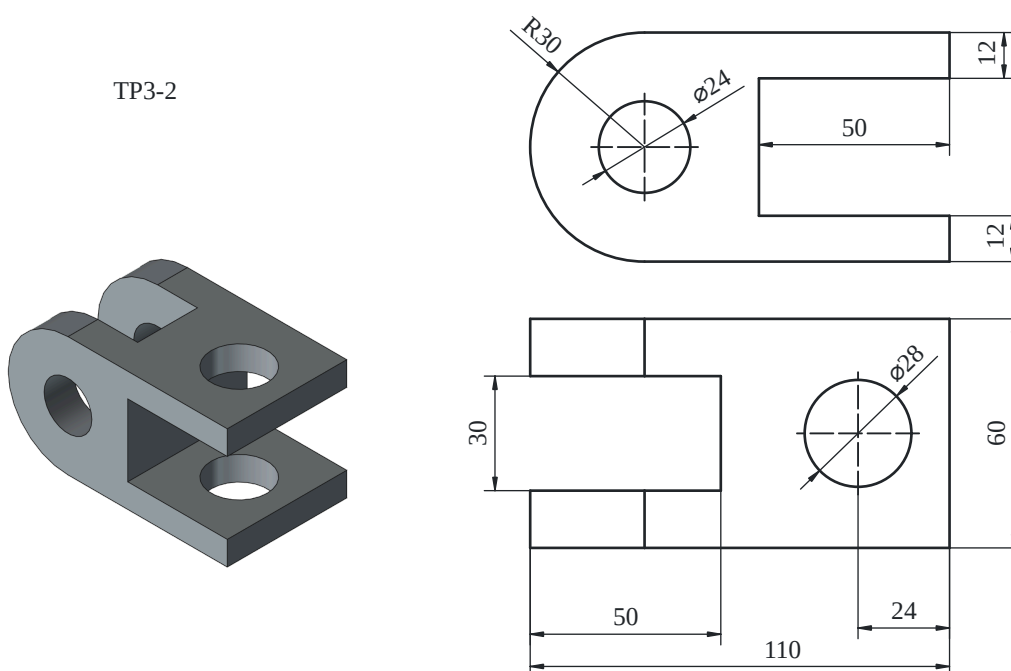
Utilisation d'une géométrie externe pour positionner le cercle

3.3. TP 3-2




Objectifs

- Créer et utiliser une géométrie externe à l'aide de la commande **Sketcher Intersection**  ;
- Utiliser la commande **Créer un point**  ;
- Insérer un arc tangent au segment précédent dans une polyligne  ;
- Utiliser la commande **Rectangle centré**  ;

Nous allons modéliser le solide suivant : (cf [TP3-2-Plan.pdf](#))




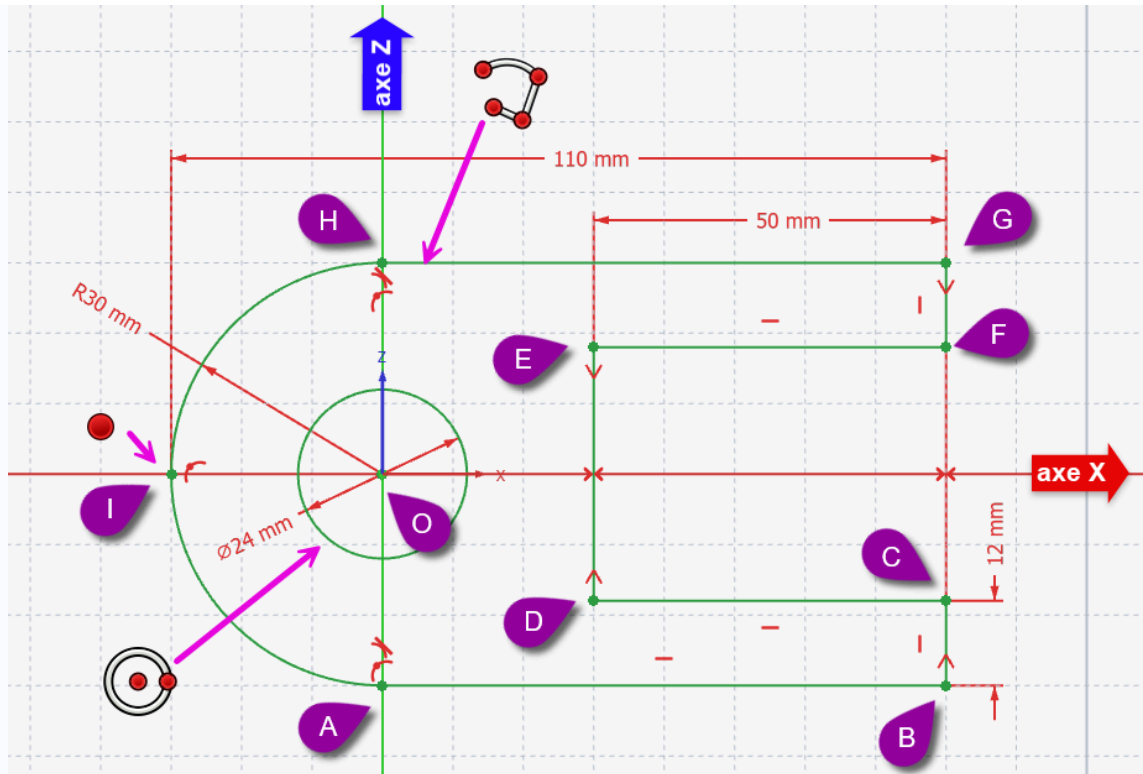
Tâches préliminaires

- Créer un nouveau document  TP3-2 dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps  et une nouvelle esquisse  dans le plan XZ ;

3.3.1. 1^{ère} esquisse

Tâches à réaliser

- Créer la polyligne  fermée ABCDEFGHA en exploitant les **contraintes automatiques** du tableau ci-dessous



1^{ère} esquisse






Aide :

Tableau des contraintes automatiques à utiliser

Géométries	Points	Contraintes automatiques
Polyligne fermée	Point A	sur l'axe Z
	Points B, D, F	
	Point C, E, G	
	Point H	sur l'axe Z
	Point A	avec le point A



- Pour créer l'arc HA dans la polyligne :
 - Après avoir saisi le point H, appuyer **trois fois** sur la touche **M** pour insérer l'arc HA tangent au segment GH ;
 - Appuyer **deux fois** sur la touche **M** pour revenir au mode initial ;

☑☑☑ Tâches à réaliser (suite)




- Appliquer une contrainte de tangence  entre le 1/2 cercle HA et la ligne AB ;
- Appliquer la contrainte de symétrie  respectivement aux points D&E et B&G par rapport à l'axe X ;
- Ajouter un cercle  centré sur l'origine O ;
- Ajouter le point  I qui servira lors de la création de la contrainte  de 110 mm,

💡 Aide :

Pour contraindre la position du point I :

1. lors de la création du point I, appliquer une contrainte automatique  sur l'axe X
2. puis appliquer une contrainte  sur l'arc HA de la polyligne ;

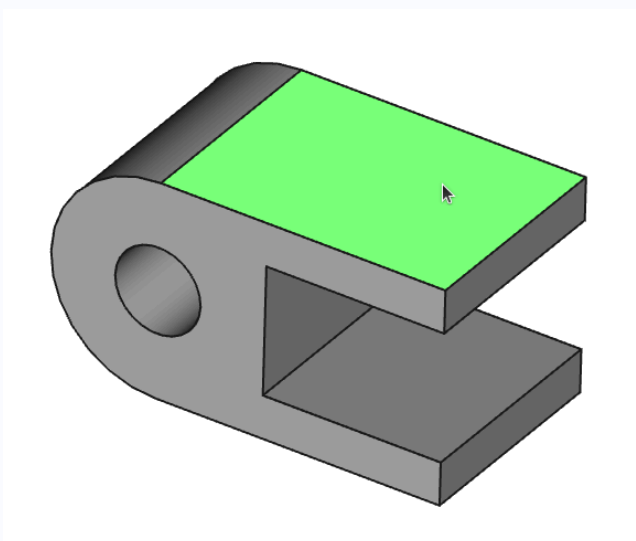
☑☑☑ Tâches à réaliser (suite)

- Vérifier la fermeture de l'esquisse ;
- Appliquer les contraintes dimensionnelles ;
- Vérifier que l'esquisse est entièrement contrainte et quitter l'atelier  Sketcher  ;
- Sélectionner l'esquisse et créer une protrusion  de 60 mm symétrique



3.3.2. 2^{nde} esquisse

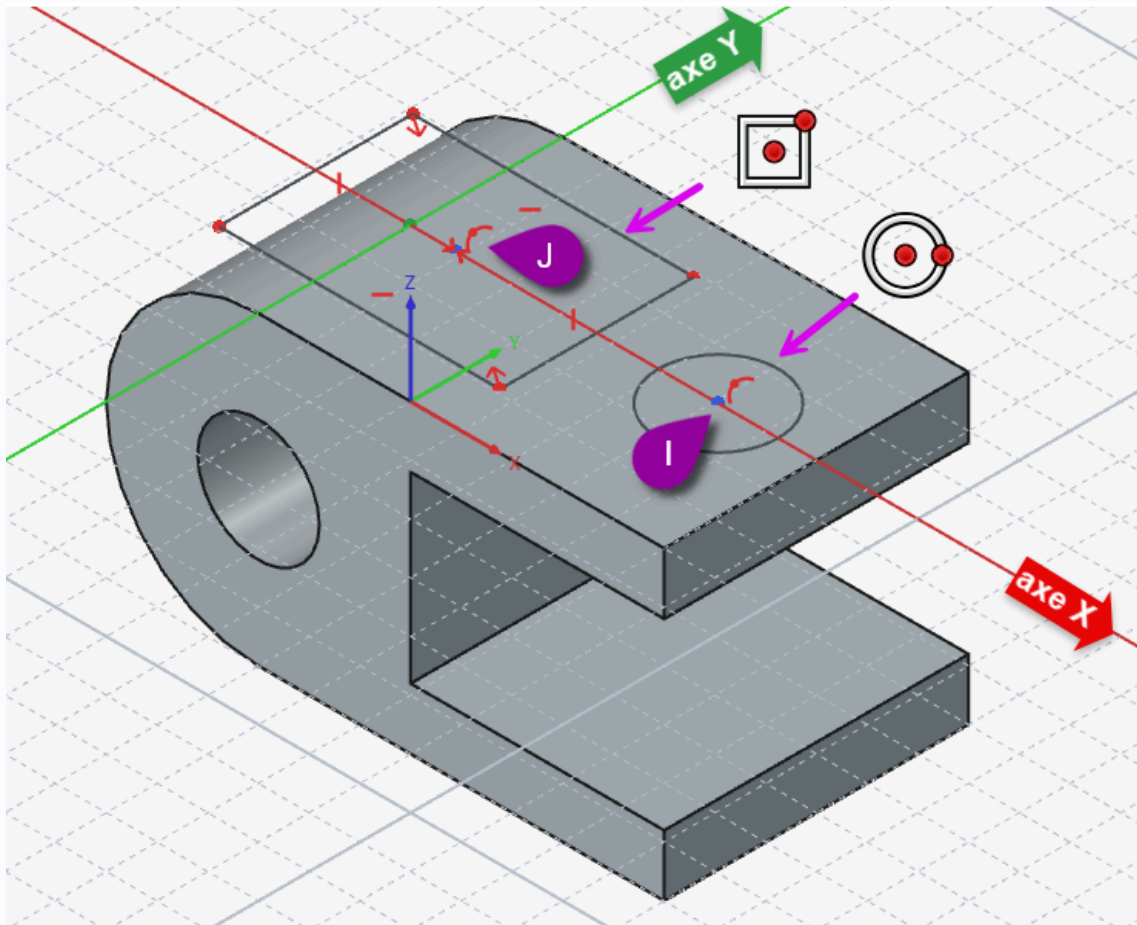
☑☑☑ Tâches à réaliser

- Sélectionner la face supérieure de la protrusion et créer une nouvelle esquisse  ;



Sélection de la face pour la 2nde esquisse

- Créer l'esquisse ci-dessous constituée d'un cercle centré  et d'un rectangle centré  en exploitant les contraintes automatiques du tableau ci-dessous :





- Saisir les dimensions du cercle et du rectangle ;



 **Aide :**

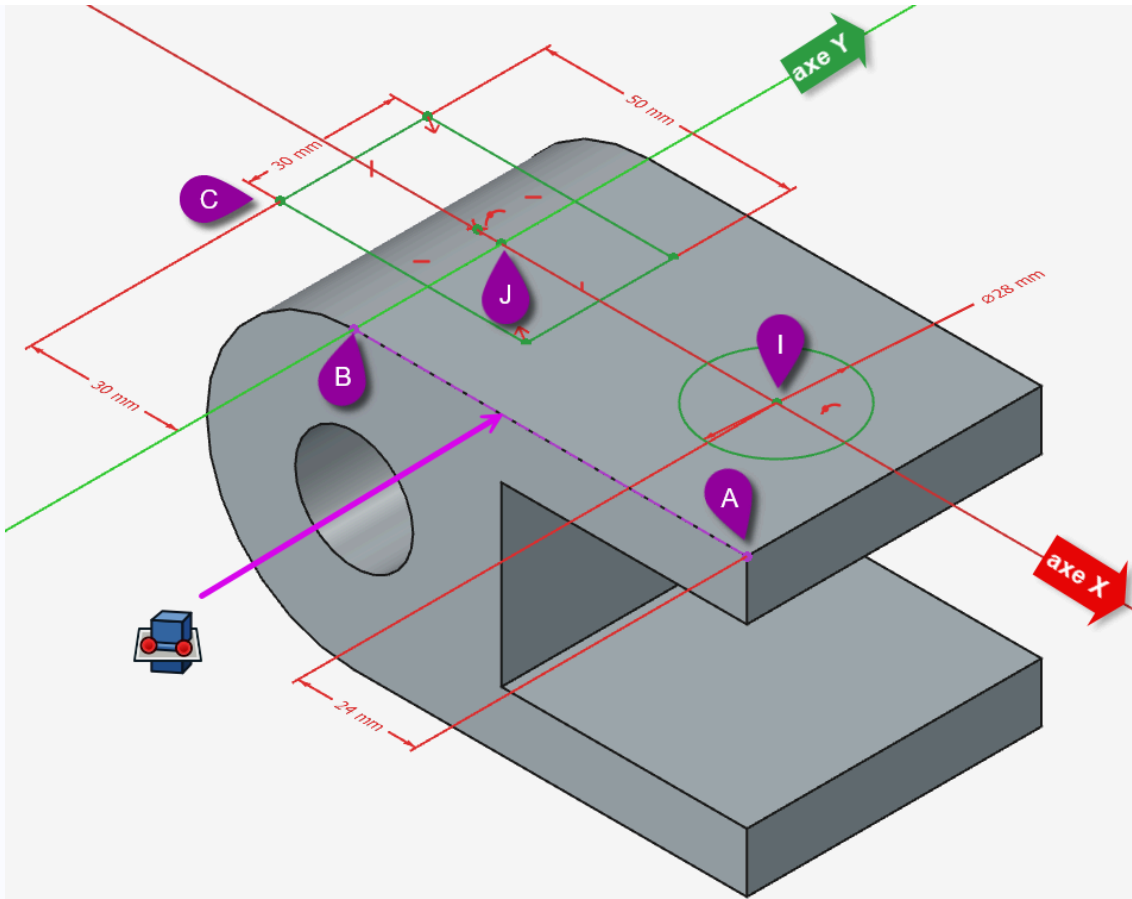
- Appuyer sur la touche  du pavé numérique pour basculer en vue isométrique  ;

Tableau des contraintes automatiques


Géométries	Points	Contraintes automatiques
Cercle centré	Centre I	 sur l'axe X
Rectangle centré	Centre J	 sur l'axe X

 **Tâches à réaliser (suite)**

- Basculer en mode Géométrie de construction à l'aide du bouton  ;
- Sélectionner la commande **Sketcher Intersection**  et sélectionner l'arête ci-dessous pour créer la géométrie externe de construction [AB] ;





2ème esquisse avec le centre du cercle et du rectangle contraints

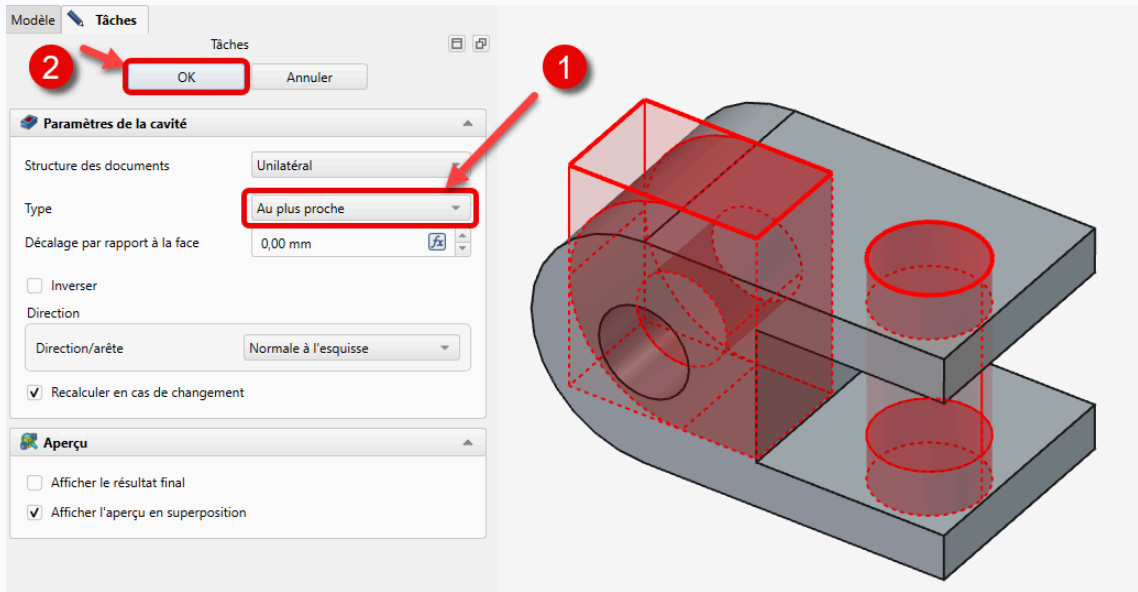
- Contraindre la position du centre du cercle et du rectangle ;
- Vérifier que l'esquisse est entièrement contrainte et quitter l'atelier  ;

Aide :

- Pour positionner le cercle sur l'axe X, sélectionner les points I et A ;
- Pour positionner le bord du rectangle, sélectionner les sommets B et C ;

☰ Tâches à réaliser (suite)

- Sélectionner l'esquisse et créer une cavité  de type  le plus proche ;



Création de la 2nde cavité

« Attachment » de l'esquisse

En choisissant la face supérieur du pad pour créer l'esquisse, FreeCAD a attaché l'esquisse à cette face : Face 7 de Pad ;

Attachment	
Attacher Engine	Engine 3D
Attachment Support	Pad [Face7]
Map Mode	FlatFace
Map Reversed	false
▼ Attachment Offset	[[0,00 0,00 1,00]; 0,00 °; (0,00 mm 0,00 mm 0,00 mm)]
Angle	0,00 °
▼ Axe de rotation	[0,00 0,00 1,00]
z	
z	0,00 mm
Base	
▼ Placement	[[0,00 0,00 1,00]; 180,00 °; (0,00 mm 0,00 mm 30,00 mm)]
Angle	180,00 °
▶ Axe de rotation	[0,00 0,00 1,00]
▶ Position	[0,00 mm 0,00 mm 30,00 mm]
Label	Sketch001
Internal Geometry	
Make Internals	false
Sketch	
Constraints	∅
External Geometry	
Arc Fit Tolerance	0,0000010000000000

Attachment de l'esquisse

Ce plan est parallèle au **plan XY du corps**. Pour créer cette esquisse, nous aurions pu choisir le plan XY associé au corps, créer l'esquisse puis appliquer un décalage d'attachement « Attachment offset » de 30 mm sur l'axe Z.

Attachment	
Attacher Engine	Engine 3D
Attachment Support	XY_Plane (Plan XY)
Map Mode	FlatFace
Map Reversed	false
▼ Attachment Offset	[(0,00 0,00 1,00); 0,00 °; (0,00 mm 0,00 mm 30,00 mm)]
Angle	0,00 °
▶ Axe de rotation	[0,00 0,00 1,00]
▼ Position	[0,00 mm 0,00 mm 30,00 mm]
x	0,00 mm
y	0,00 mm
z	30,00 mm
Base	
▶ Placement	[(0,00 0,00 1,00); 0,00 °; (0,00 mm 0,00 mm 30,00 mm)]
Label	Sketch001
Internal Geometry	
Make Internals	false
Sketch	
▶ Constraints	[28,00 mm;30,00 mm;50,00 mm;24,00 mm;30,00 mm]
External Geometry	Pad [Edge22]

Attachment Offset d'esquisse

≈ Décalage d'attachement de l'esquisse

L'Attachment Offset (ou décalage d'attache) d'une esquisse dans l'atelier PartDesign correspond à un décalage et/ou une rotation supplémentaires appliqués par rapport au plan ou à la face sur laquelle l'esquisse est attachée.

Quand une esquisse est créée dans l'atelier PartDesign, elle est attachée, ancrée :

- soit à un plan standard (XY, XZ, YZ),
- soit à une face d'un solide,
- soit à un plan de référence (Datum plane).

L'esquisse est alors ancrée à ce support via un système de coordonnées appelé Attachment.

L'Attachment Offset permet d'appliquer un décalage local (translation + rotation) par rapport à la position d'attache d'origine.

Il contient 6 valeurs :

Translation (en mm)	Position X	Position Y	Position Z	Décale l'esquisse le long des axes locaux de son plan d'attache.
Rotation (en degrés)	Axis X	Axis Y	Axis Z	Fait pivoter l'esquisse autour d'un axe local défini.

3.3.3. 📺 Capture vidéo



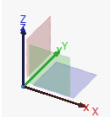
3.4. Plans de référence 📐

🎯 Objectifs

- Créer des plans de référence 📐 ^W ;

📌 Remarque

Jusqu'à présent, pour créer de nouvelles esquisses, nous avons uniquement utilisé :

- soit directement les plans associés XY, YZ, XZ au corps 
- soit des faces existantes du modèle en construction.

Si vous avez besoin de créer des esquisses en dehors de ces plans (ou faces existantes) ou si vous souhaitez modifier l'origine ou les axes de l'esquisse, vous pouvez, **au choix** :

- soit attacher l'esquisse à une face du modèle ou à l'un des plans associés puis appliquer un décalage d'attachement (Attachment offset) (translation et/ou rotation) par rapport à cette face ;
- soit créer un nouveau plan de référence à partir de la commande **Plan de référence** 📐 puis ancrer l'esquisse à ce plan de référence ;

Dans ce parcours, nous allons privilégier cette seconde méthode, moins directe mais a priori plus robuste et plus lisible ;



📖 Plan de référence

≈ datum plane

La commande **Plan de référence** 📐 crée un objet de référence (datum plane) :

- un objet de référence peut être ancré à d'autres objets ;
- il est utilisé pour ancrer d'autres objets, par exemple une esquisse ;
- si la position ou l'orientation d'un objet de référence change, tous les objets qui lui sont ancrés suivront ;
- Il peut être utilisé comme référence pour les esquisses ou toute autre géométrie de référence.

Comment créer un plan de référence ?

- Sélectionner un ou plusieurs objets : plan, ligne, sommet (vertex) ;
- Cliquer sur le bouton déroulant  puis sélectionner la commande **Plan de référence**  : FreeCAD crée un nouvel objet de référence ancré aux objets sélectionnés suivant selon une **méthode d'attachement** (*Attachment mode*) qui dépend du type d'objet(s) sélectionné(s) ;

LCS du plan de référence

Le plan de référence possède son propre repère **local**, appelé LCS (Local Coordinate System) : l'origine et l'orientation des axes du repère dépendent des objets sélectionnés pour créer le plan (ancrage) ;

- Le plan est contenu dans le plan XY de son LCS ;
- l'axe Z local est normal au plan (vers l'extérieur du plan) ;

Une fois le plan attaché, on peut modifier la position du LCS via :

- Offset (décalage le long des axes X, Y, Z locaux),
- Angle (rotation autour des axes locaux).


Ces paramètres permettent de repositionner le plan (et donc son LCS) sans changer la géométrie de référence.

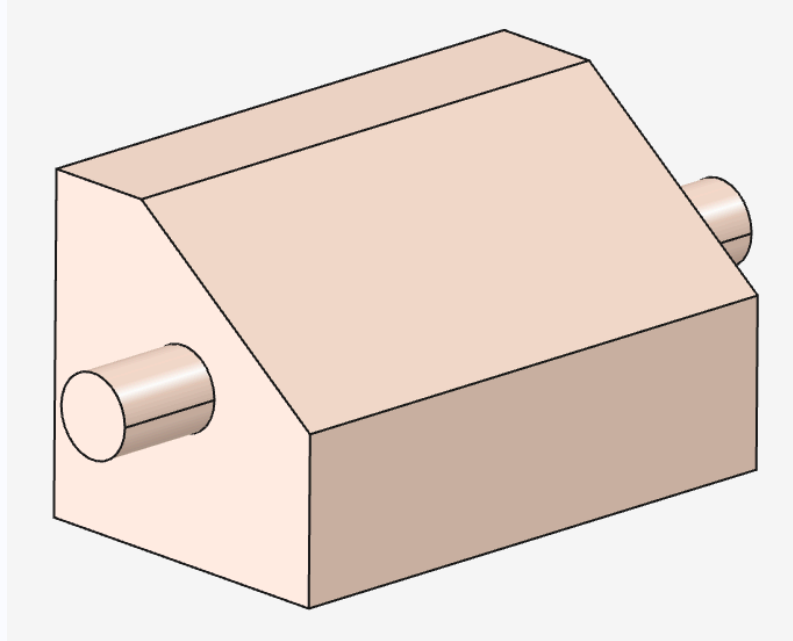
Attention

- Dans l'atelier Part Design, dans un corps, si vous souhaitez créer une esquisse attachée à un plan de référence, ce plan de référence doit être créé à l'intérieur d'un corps : vérifier que ce corps est actif (en **caractère gras**) avant de créer le plan de référence ;

cf https://wiki.freecad.org/Part_DatumPlane/fr

Travail préparatoire

- Dans FreeCAD, si nécessaire, refermer les documents ouverts précédemment ;
- Télécharger le fichier [tuto6.FCStd](#) sur votre ordinateur ;
- Ouvrir ce document  `tuto6.FCStd` dans FreeCAD ;



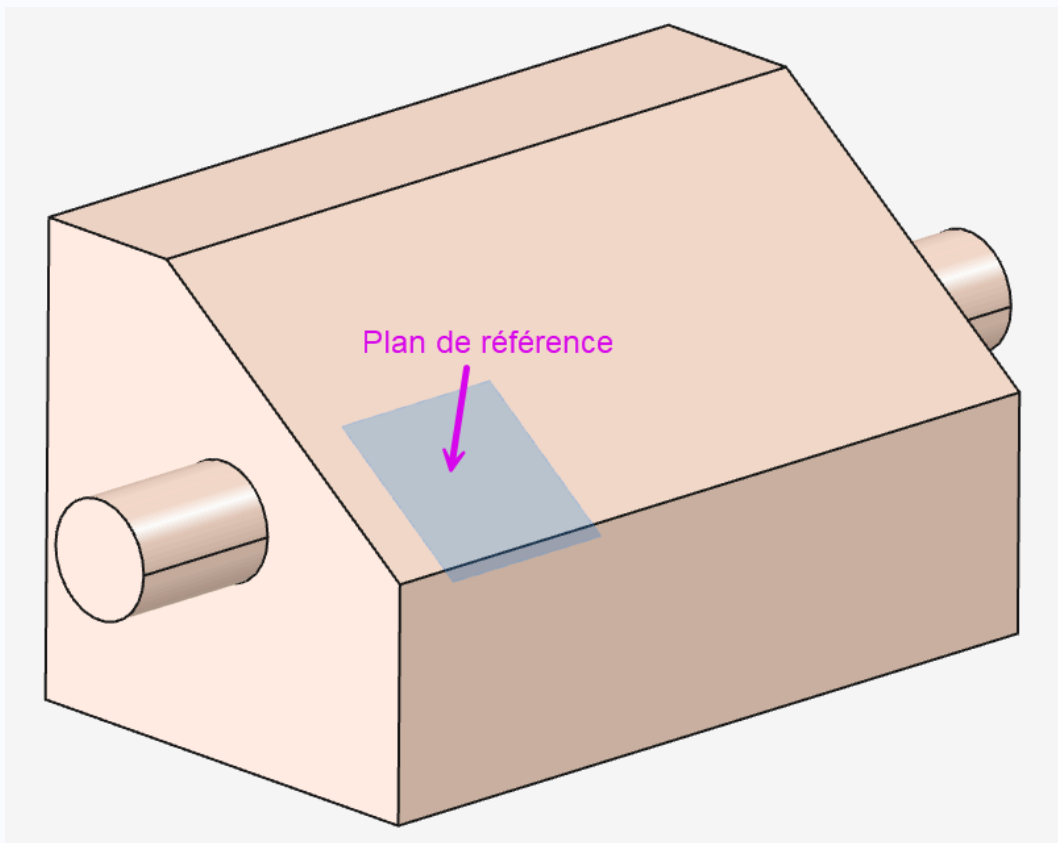
Vue 3D tutoplanreference

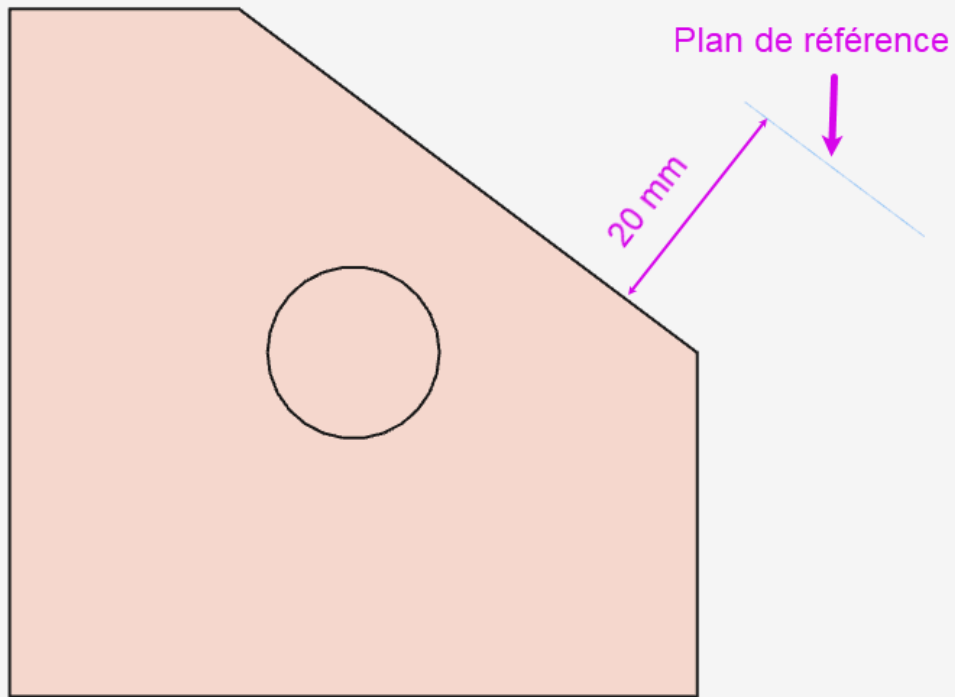
Ancrage : tangent à une face

☑ Travail à réaliser





- Construire un plan de référence parallèle au plan incliné distant de 20 mm et dont l'origine est placée sur le coin inférieur gauche du plan incliné ;

Plan parallèle à une face avec origine décalée

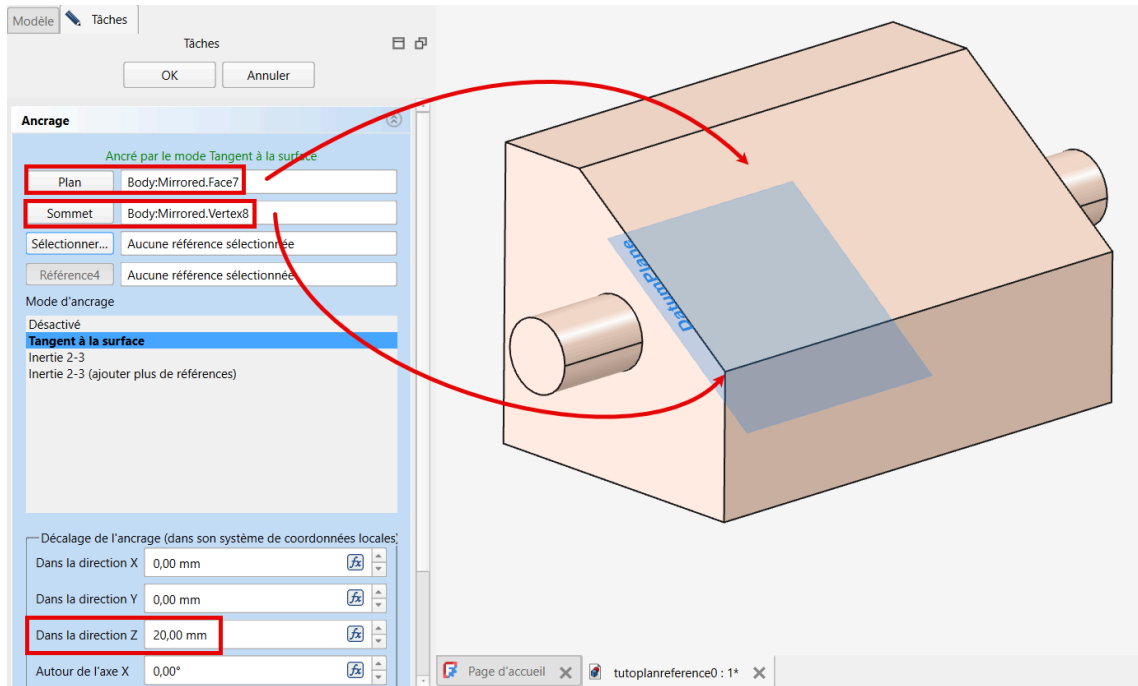




Aide

- Si nécessaire, activer le corps avant de créer le plan de référence ;
- Sélectionner la face inclinée ;
- Appuyer sur la touche **Ctrl** ( sous ) et sélectionner le sommet (vertex) inférieur gauche du plan incliné ;
- Cliquer sur le bouton  puis sélectionner la commande **Plan de référence**  ;

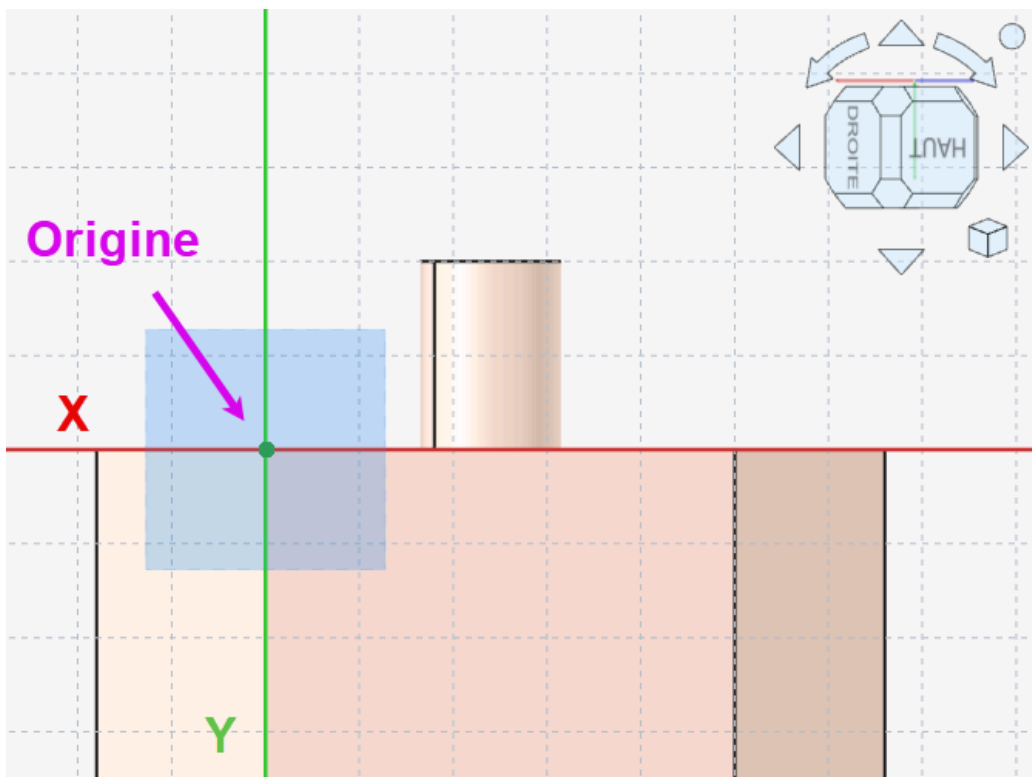
- Saisir le décalage z :



Plan de référence tangent à une face avec origine décalé

Remarque


Si vous créez une nouvelle esquisse attachée à ce plan de référence, les axes X et Y seront alignés sur les cotés du plan incliné, l'origine décalée au point inférieur gauche du plan incliné :



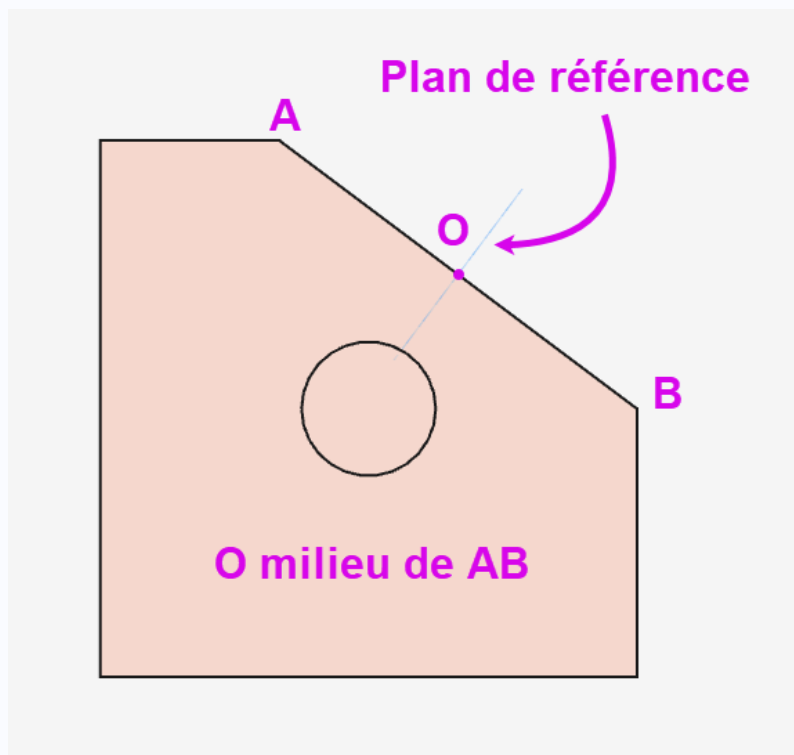
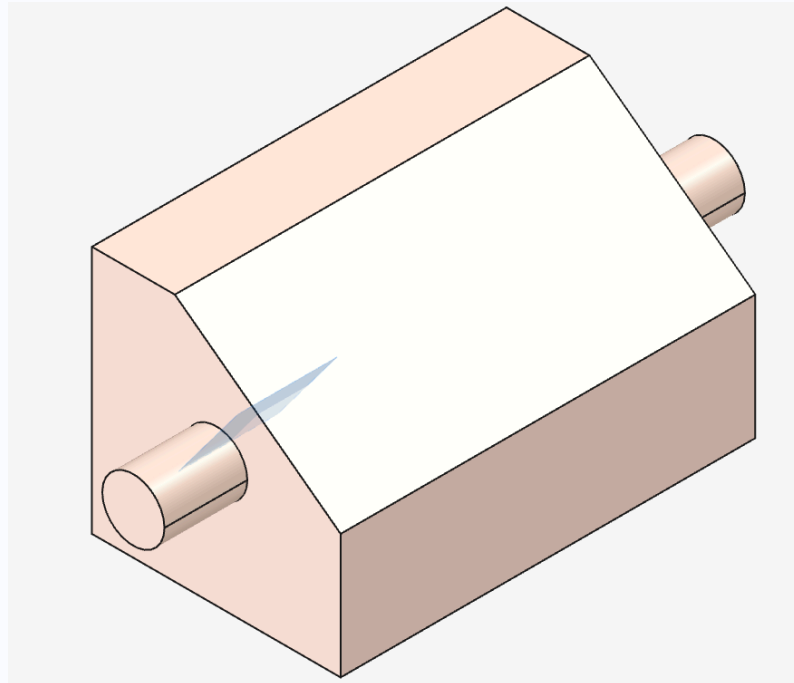
Esquisse attachée au plan de référence

Ancrage : inertie 2-3



☑☑☑ Travail à réaliser

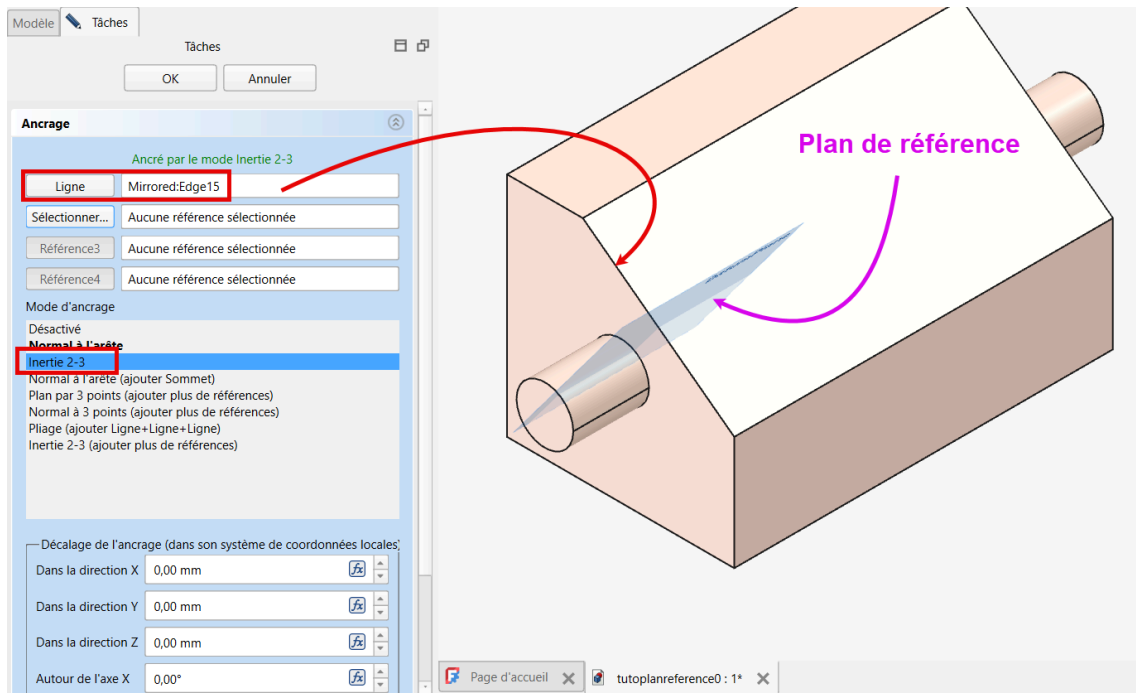
- Reprendre le fichier  tuto6.FCStd initial ;
- Construire un plan de référence perpendiculaire à une arête avec son origine au milieu de l'arête :

Plan de référence normal à une arête



Aide

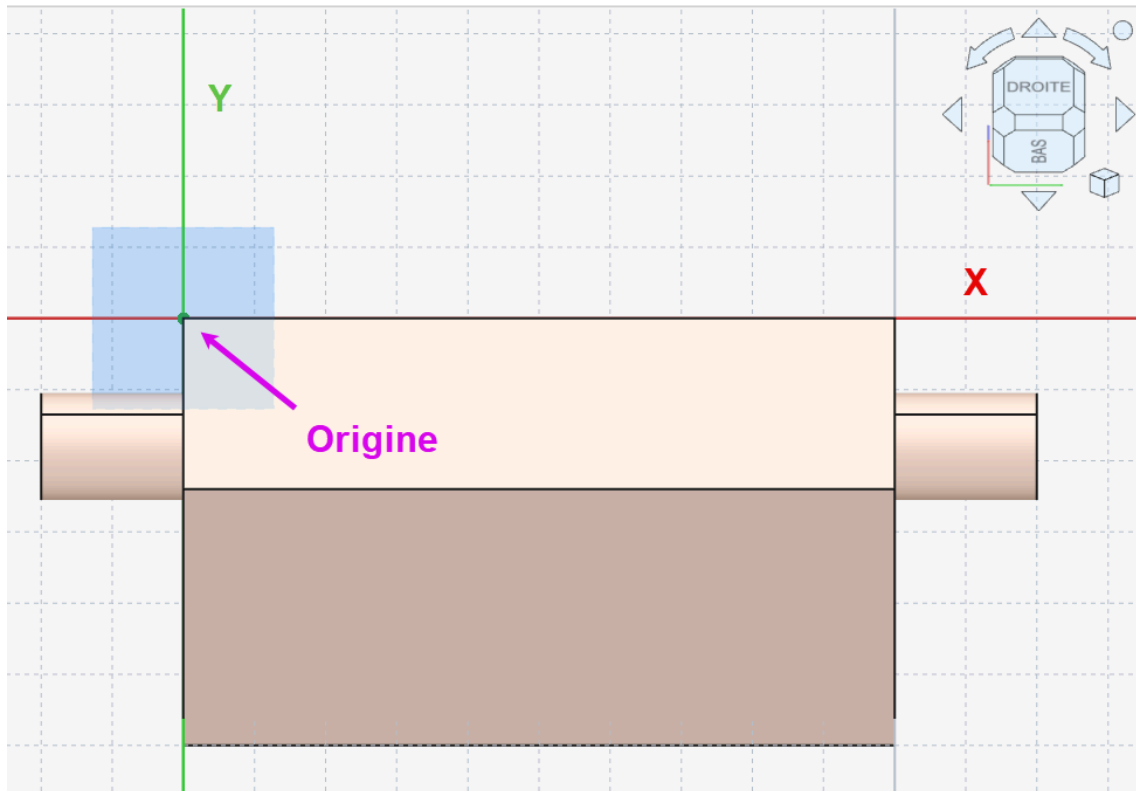
- Sélectionner l'arête ;
- Cliquer sur la commande **Plan de référence**  ;
- Saisir le mode d'accrochage  **Inertie 2-3** :



Plan de référence perpendiculaire à une arête, origine au milieu de l'arête

Remarque


Si vous créez une nouvelle esquisse attachée à ce plan de référence, les axes X et Y seront dans le plan perpendiculaire à l'arête, l'origine au milieu de l'arête :



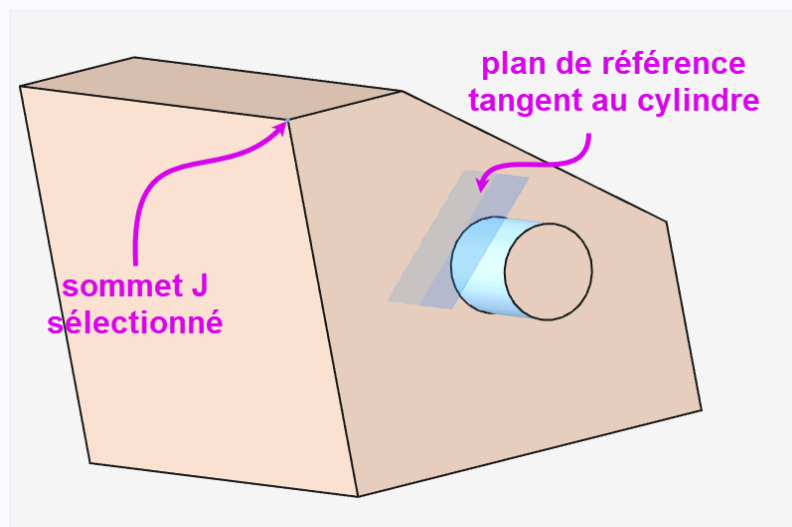
Esquisse ancrée au plan de référence

Ancrage : tangent à un cylindre

Travail à réaliser

- Reprendre le fichier  tuto6.FCStd initial ;
- Construire un plan de référence tangent à un cylindre :



Plan de référence tangent à un cylindre

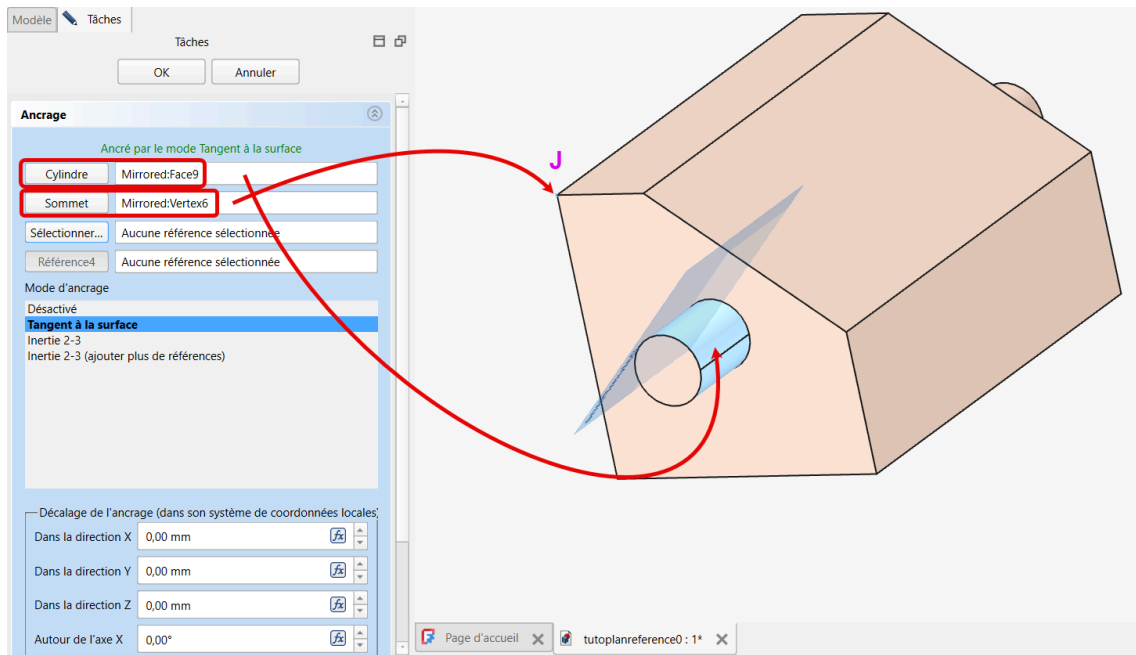


Remarque

Il existe une infinité de plans tangents au cylindre : le point J permet de sélectionner le plan tangent dont la perpendiculaire passe par le point J.

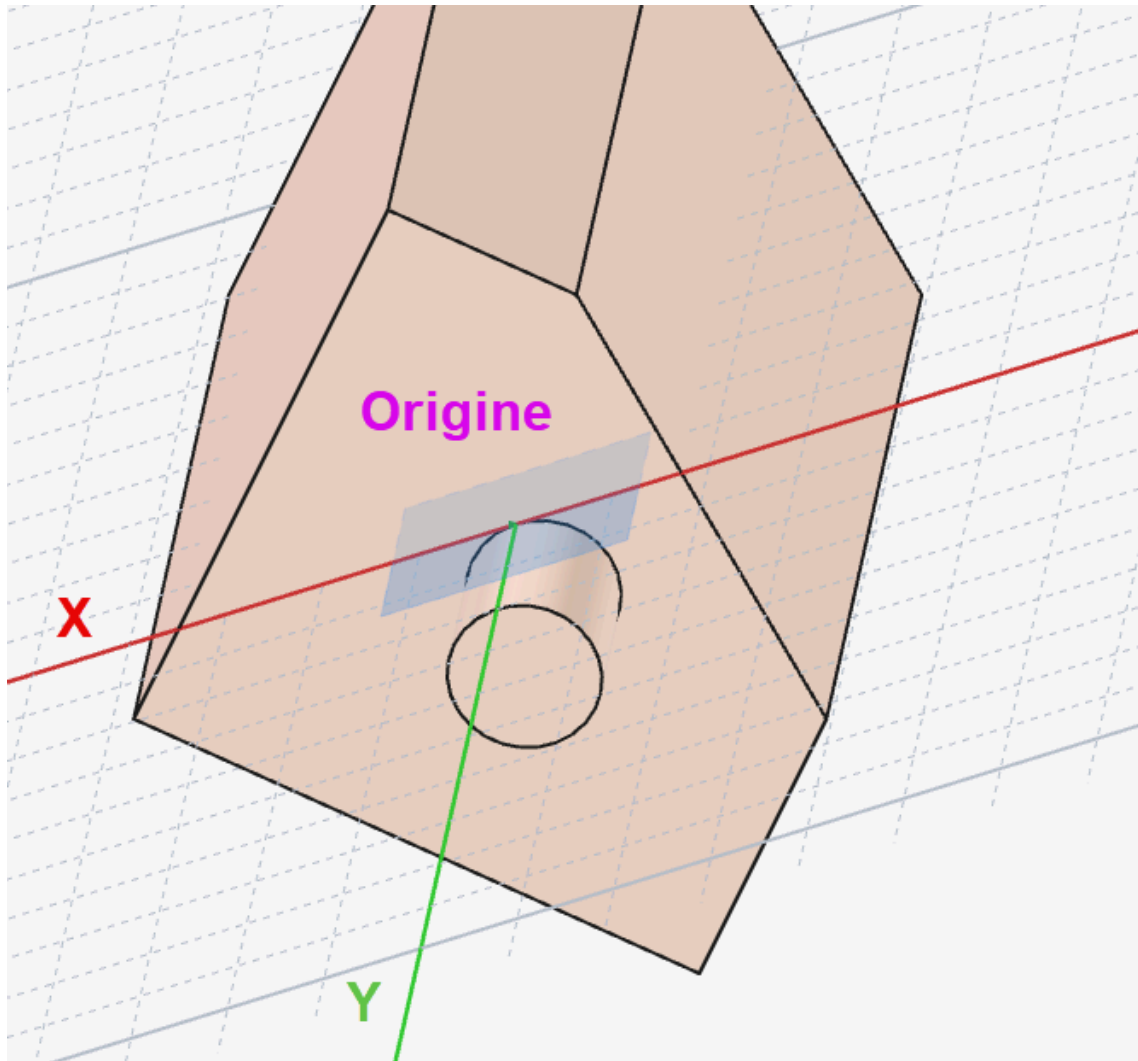
Aide

- Sélectionner la face cylindrique, appuyer sur la touche **CTRL** (⌘ sous ) et sélectionner le sommet J
- Cliquer sur la commande **Plan de référence**  ;



Remarque


Si vous créez une nouvelle esquisse attachée à ce plan de référence, les axes X et Y seront dans le plan tangent au cylindre :



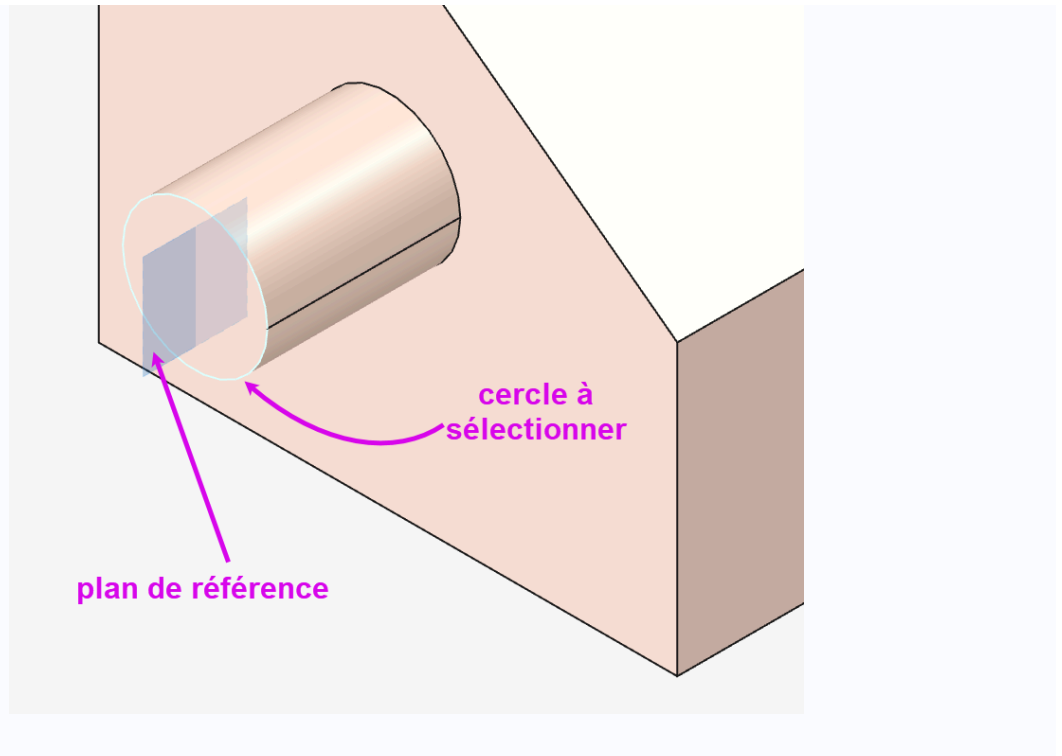
Esquisse attachée au plan de référence

Ancrage : concentrique


Travail à réaliser

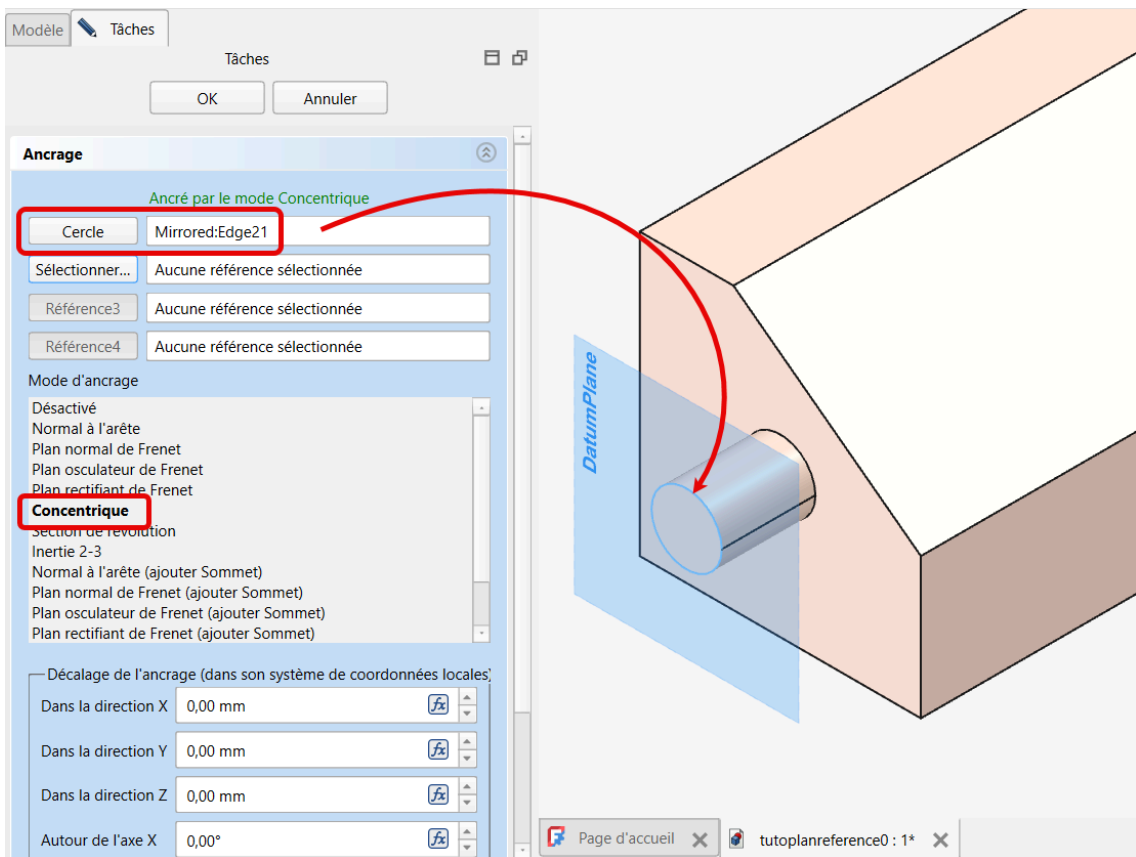
- Reprendre le fichier  tuto6.FCStd initial ;
- Construire un plan de référence médian au cylindre avec son origine centrée sur son extrémité :

Ancrage concentrique



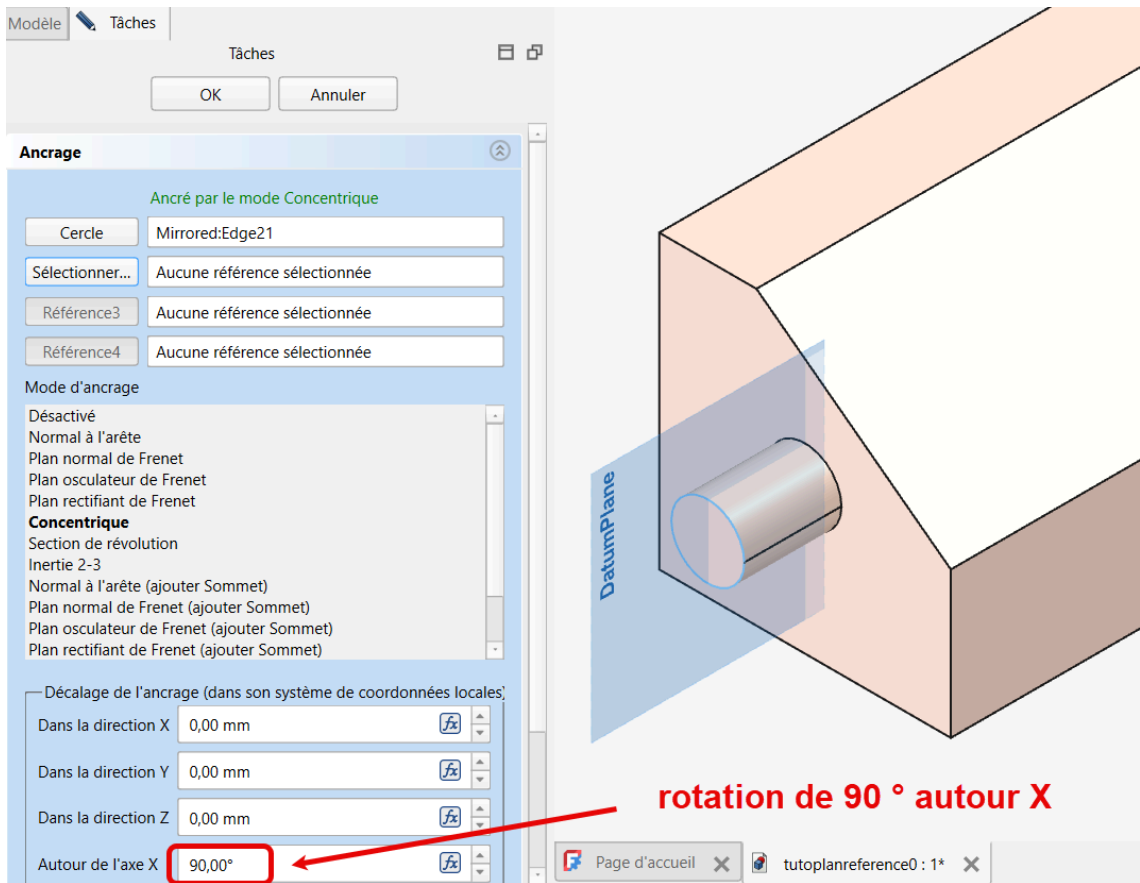
Truc & astuce

- Sélection le cercle extérieur à l'extrémité du cylindre ;
- Cliquer sur la commande **Plan de référence**  ;



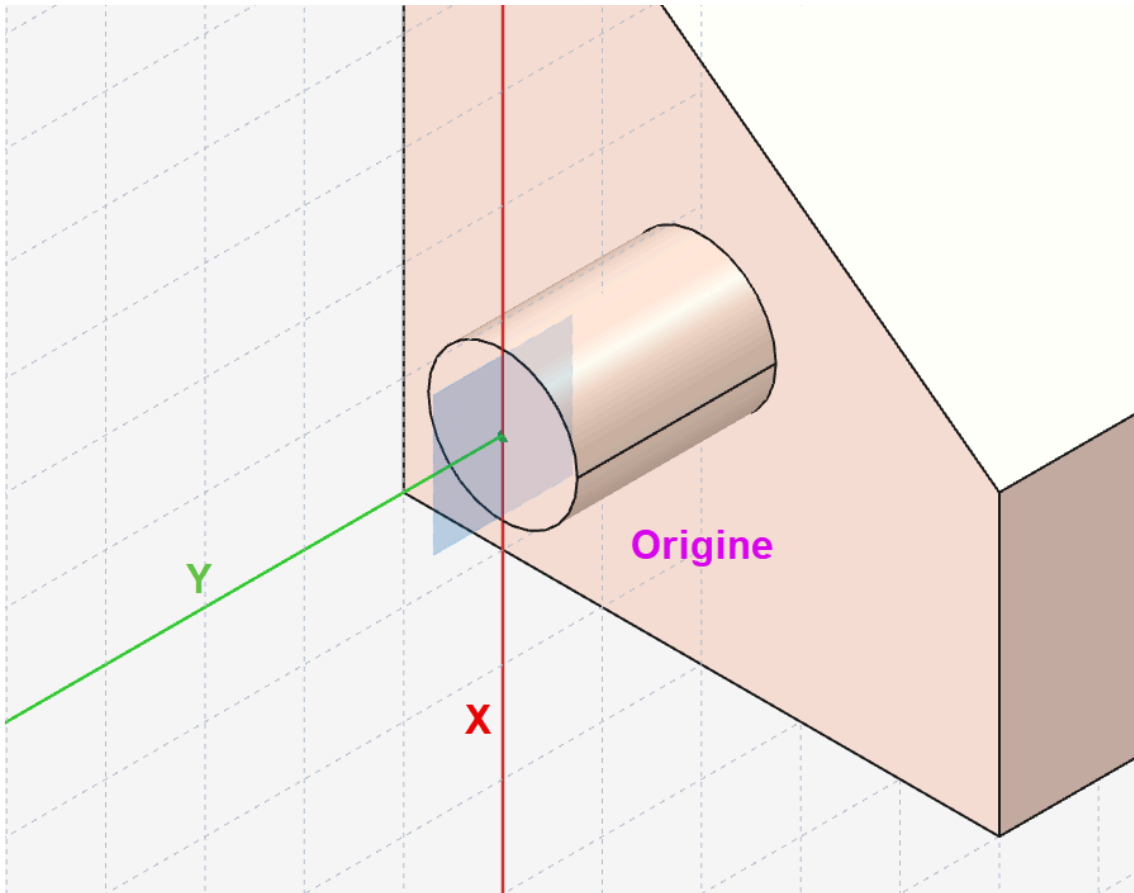
Ancrage : concentrique

- Appliquer une rotation du plan de référence de 90 ° autour de l'axe X ;



Remarque

Si vous créez une nouvelle esquisse attachée à ce plan de référence, les axes X et Y seront dans le plan médian au cylindre, l'origine au centre du cercle :



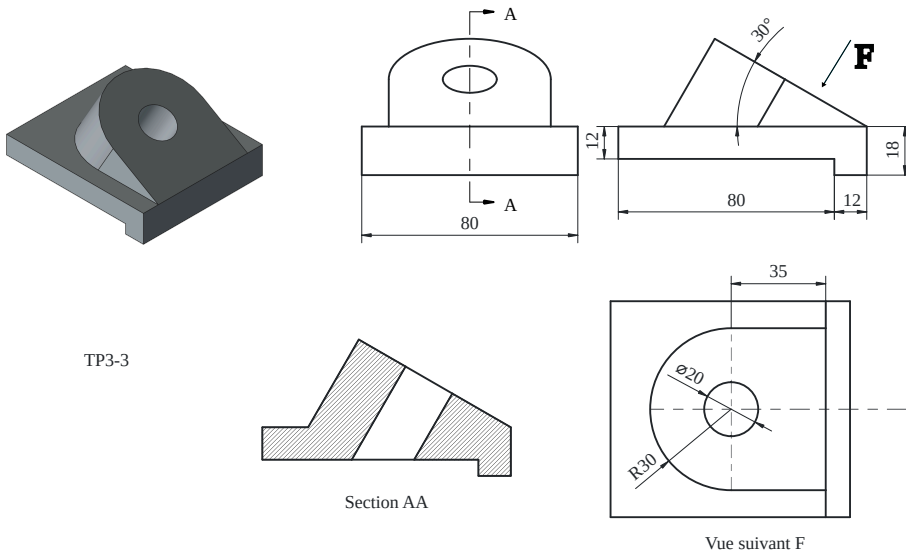
Esquisse ancrée au plan de référence

3.5. TP 3-3

Objectifs

- Utiliser la commande [Plan de référence](#)   ;

Nous allons modéliser le solide suivant : ([TP3-3-Plan.pdf](#))






TP3-3

Section AA




Vue suivant F

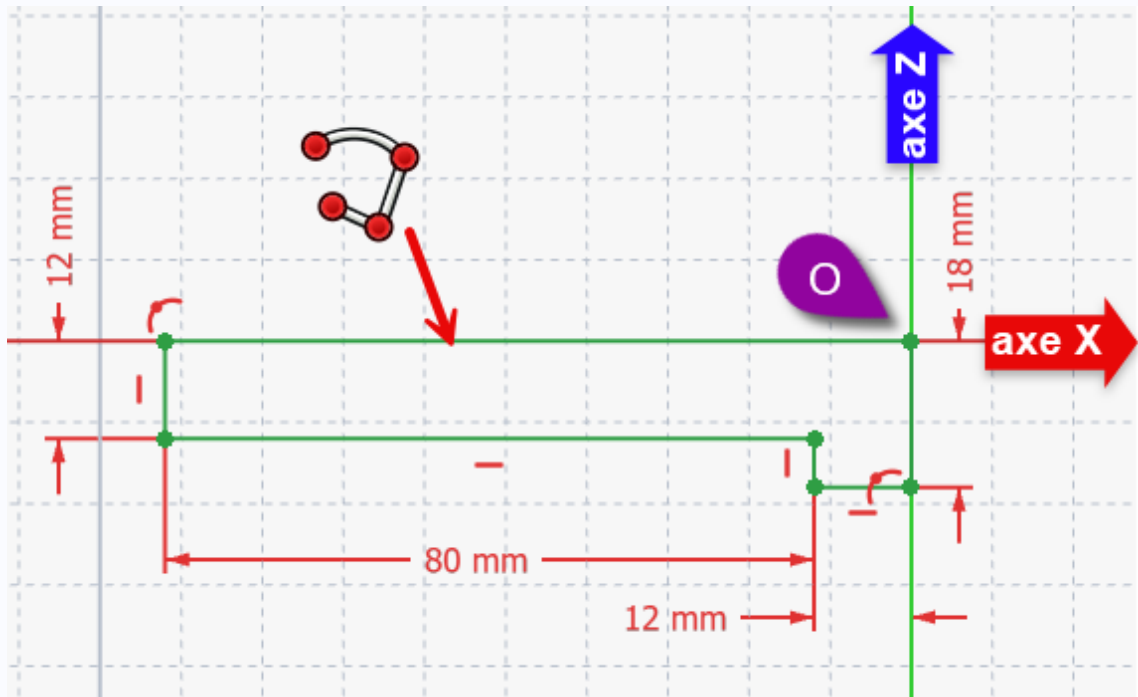
☑☑☑ Tâches préliminaires

- Créer un nouveau document  TP3-3.FCStd dans FreeCAD ;
- Créer une nouveau corps  et une nouvelle esquisse  dans le plan XZ ;




3.5.1. 1^{ère} esquisse

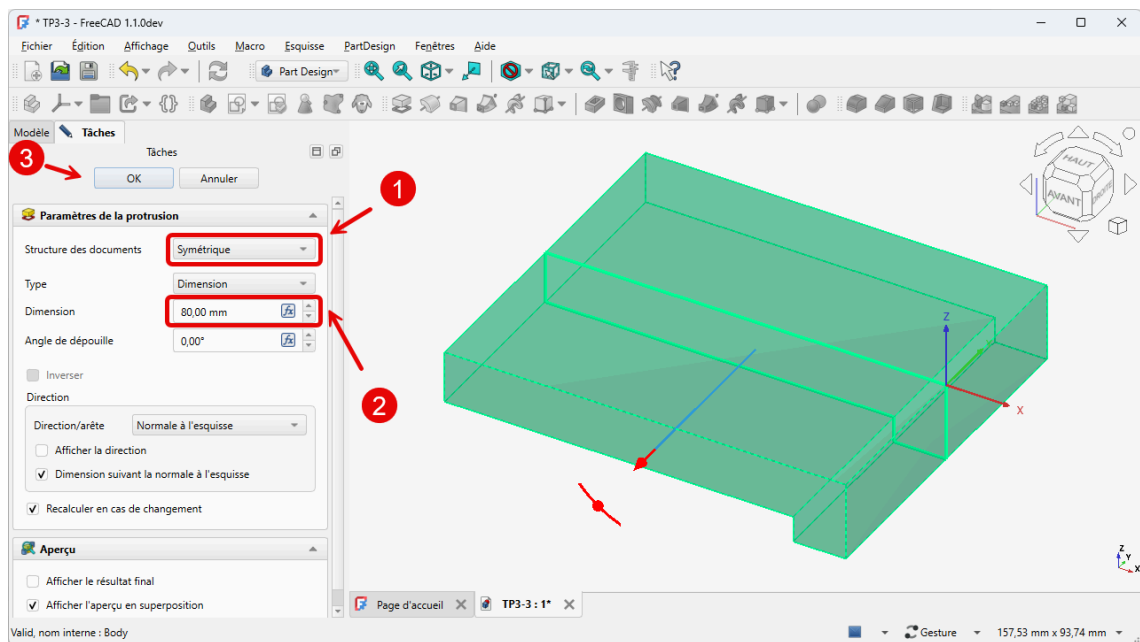
Tâches à réaliser

- Dans l'atelier  Sketcher , créer l'esquisse ci-dessous à l'aide d'une polyligne  :



1^{ère} esquisse

- Dans l'atelier  Part Design , créer une protrusion  de 80 mm symétrique :

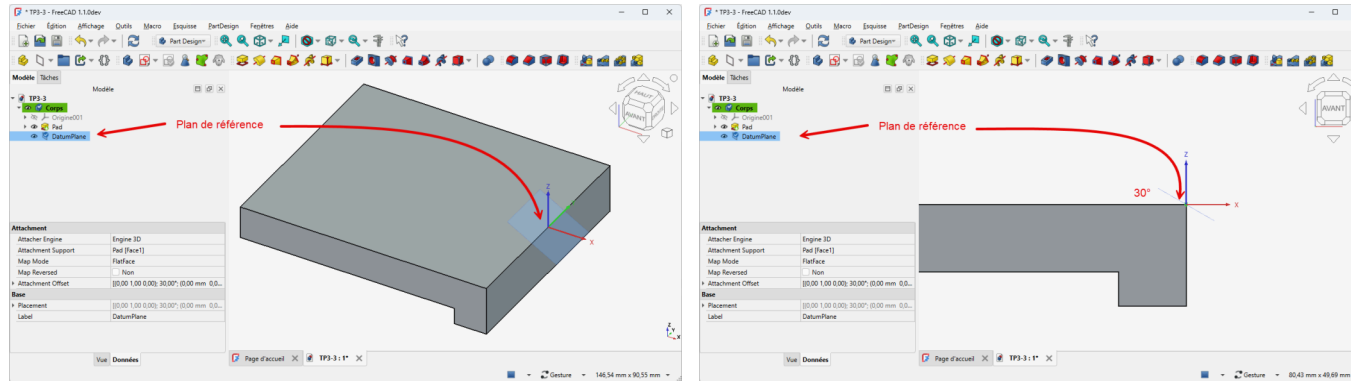


1^{ère} protrusion du TP 3-3


3.5.2. Plan de référence

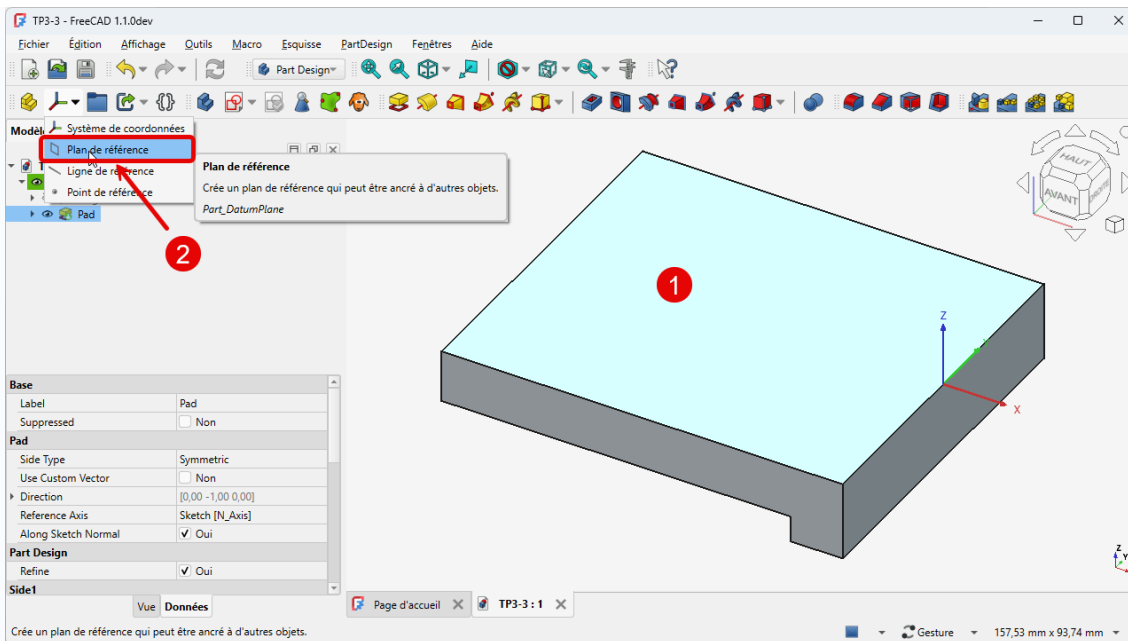
Objectifs

Nous allons créer le plan de référence  ci-dessous :



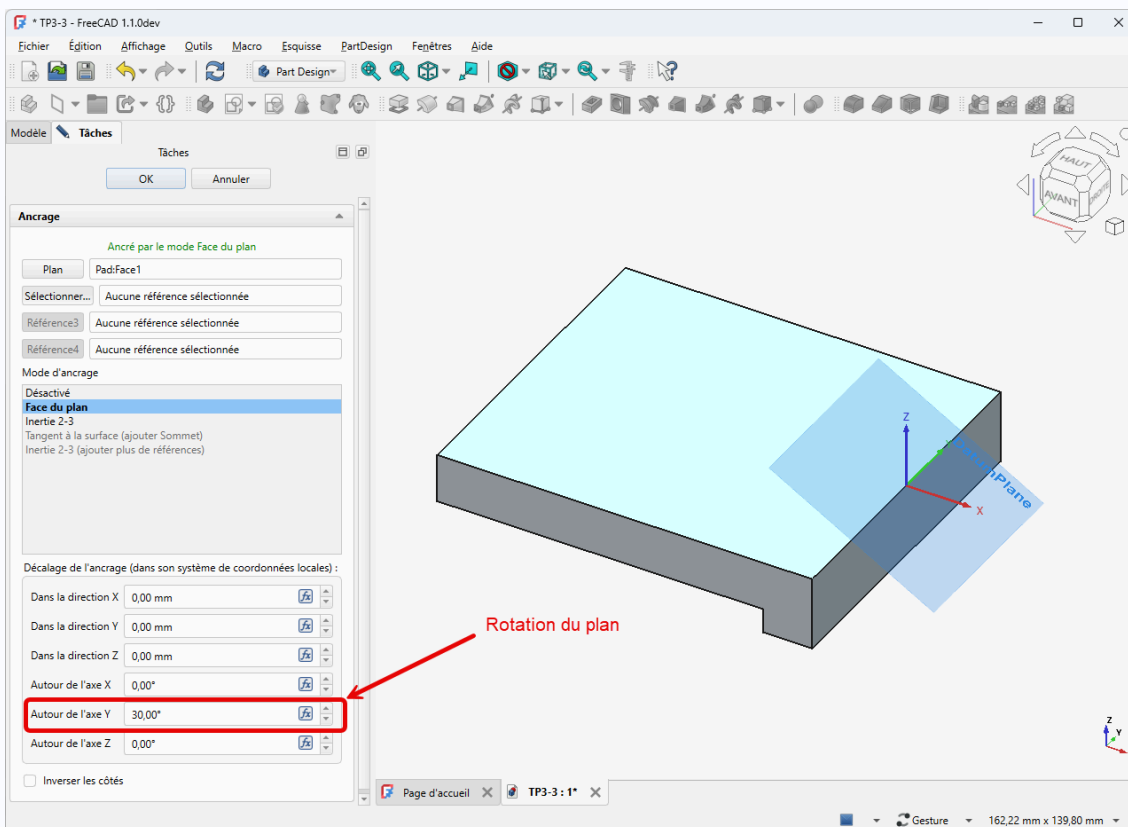
Tâches à réaliser

- Sélectionner la face supérieure du  Pad et sélectionner la commande Plan de référence  (cliquer sur le bouton déroulant  pour accéder à la commande la 1ère fois)



Création du plan de référence - 1




- Appliquer la rotation afin d'obtenir le résultat attendu ;

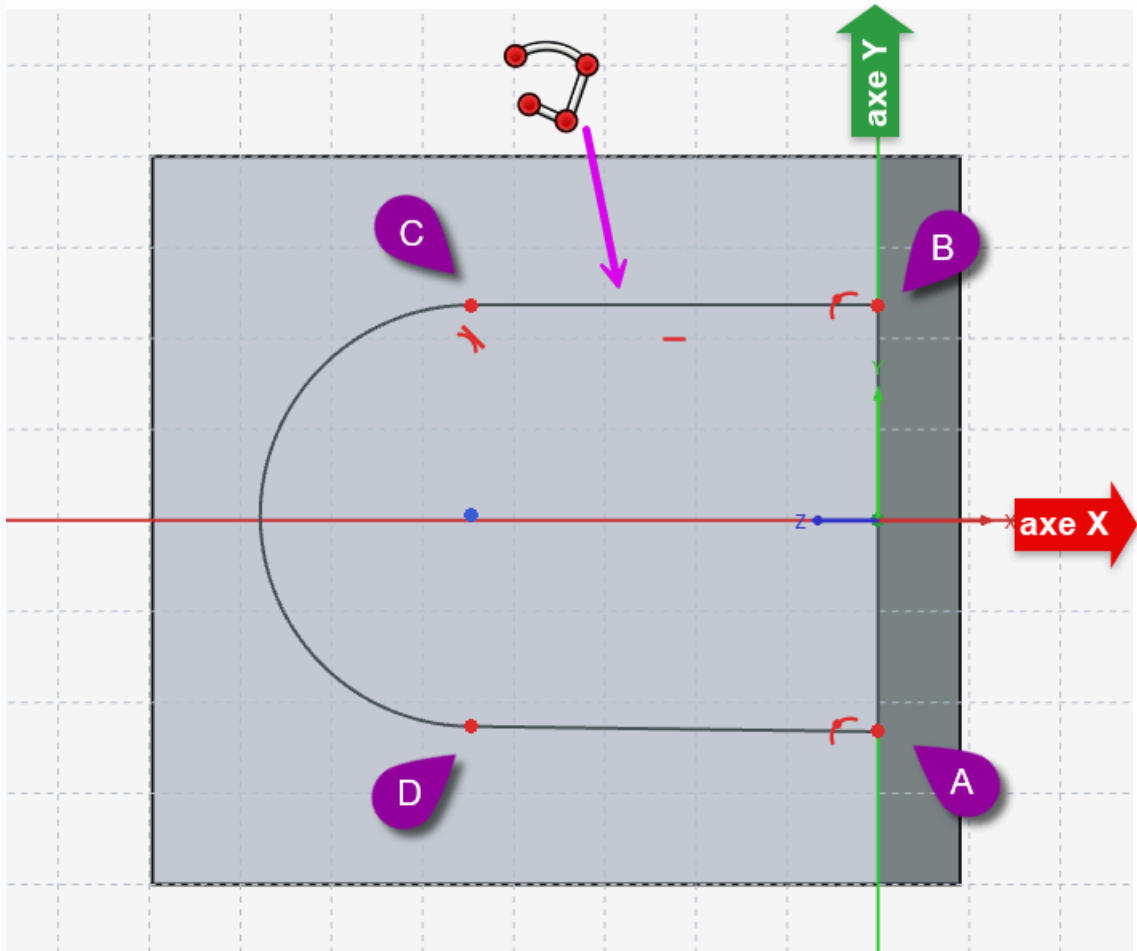


Création du plan de référence - 2

3.5.3. 2^{ème} esquisse

☰ Tâches à réaliser

- Créer une nouvelle esquisse  dans le plan de référence  que vous venez de créer ;
- Créer la polygline approximative fermée ABCDA  suivante en exploitant les contraintes automatiques du tableau ci-dessous :



Ébauche de l'esquisse n°2

💡 Aide :






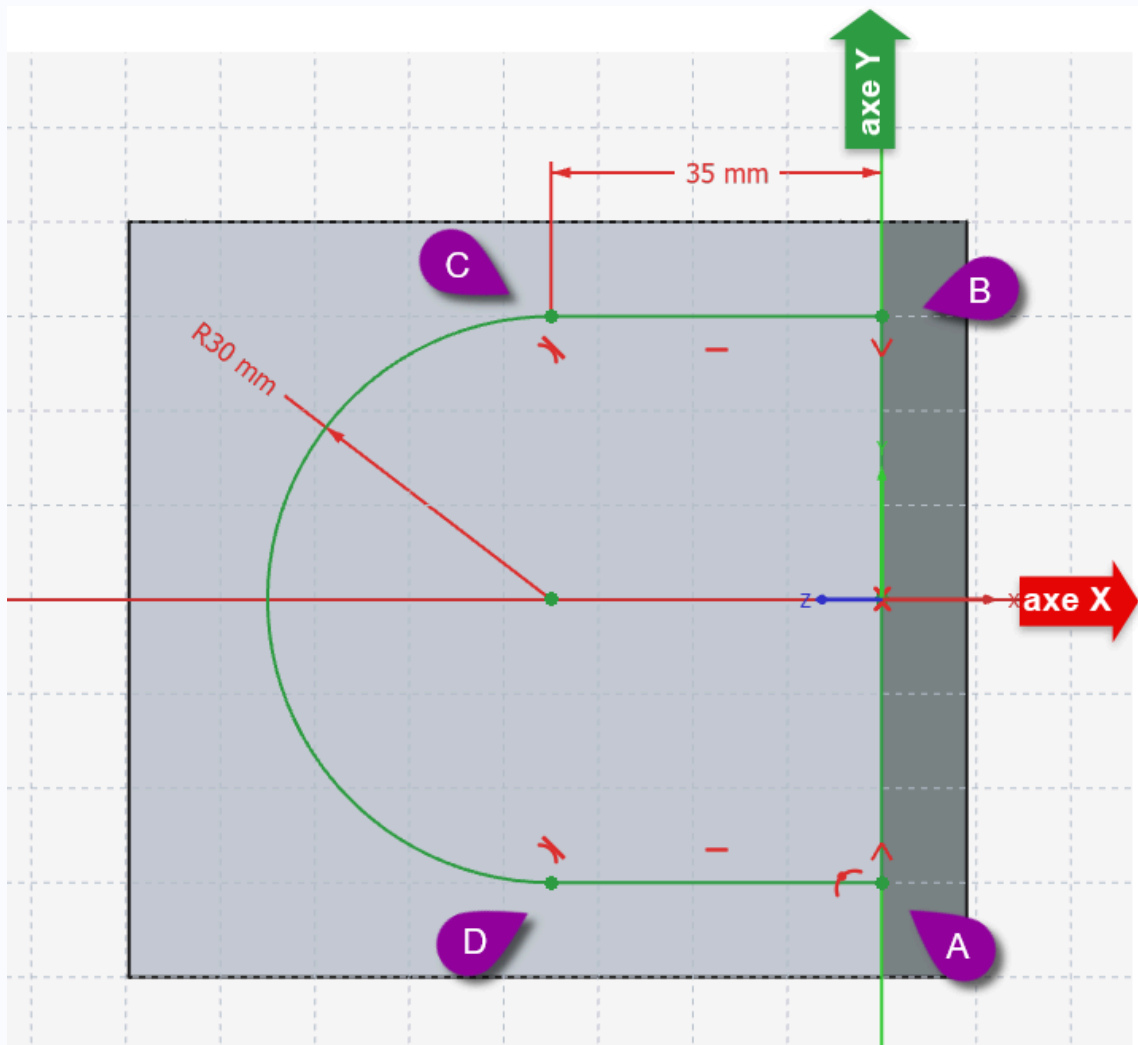
- Dans l'onglet **Modèle**, masquer le plan de référence à l'aide du bouton  pour mieux voir l'esquisse ;

Tableau des contraintes automatiques




Géométrie	Points	Contraintes automatiques
Polyligne	Point A	 sur l'axe Y
	Point B	 sur l'axe Y
	Point C	
	Point D	Appuyer 3 fois sur la touche M pour insérer un arc tangent au segment BC
	Point A	Appuyer 2 fois sur la touche M pour revenir au mode par défaut  avec le point A pour fermer le contour

Tâches à réaliser (suite)



- Finaliser l'esquisse comme ci-dessous :

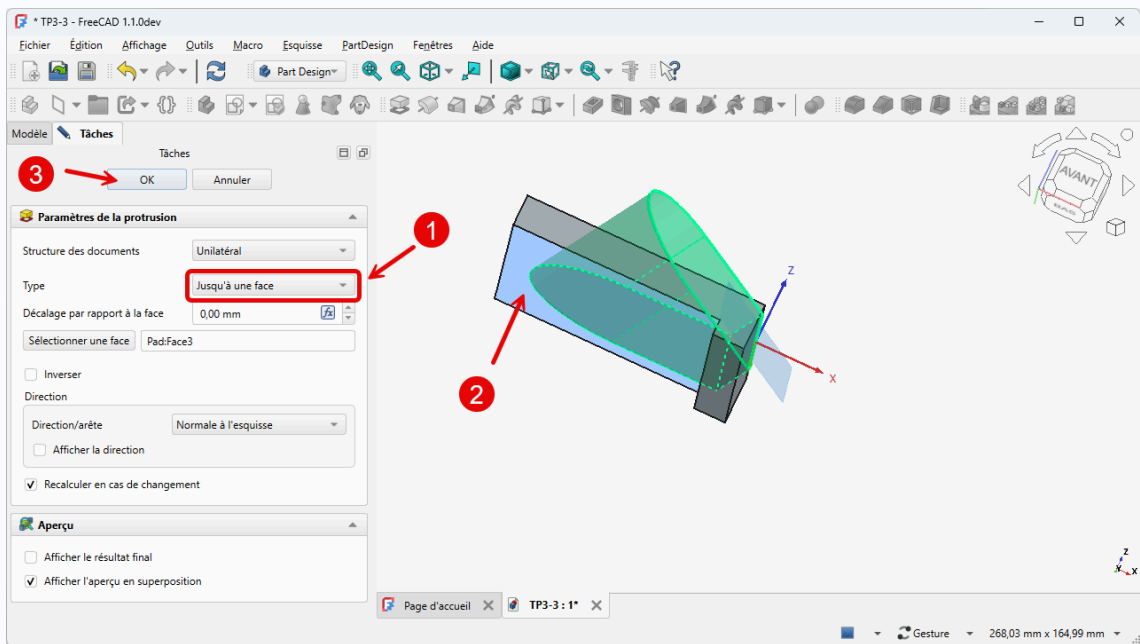


Aide :

- Appliquer une contrainte  aux points A&B par rapport à l'axe X ;
- Appliquer une contrainte  au segment DA ;
- Appliquer une contrainte  entre l'arc CD et le segment DA ;
- Appliquer les deux contraintes dimensionnelles ;

Tâches à réaliser (suite)

- Créer une protrusion  de type  jusqu'à une face en sélectionnant la face du dessous;

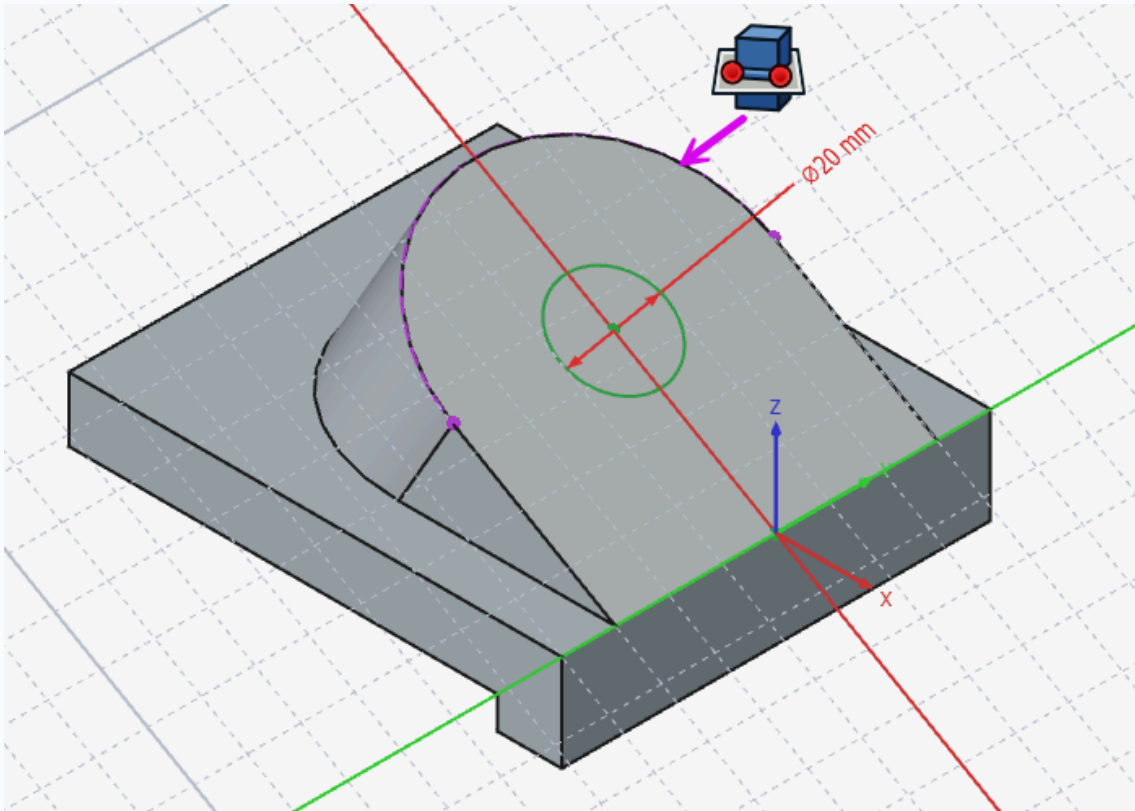


Protrusion de l'esquisse n°2

3.5.4. 3^{ème} esquisse

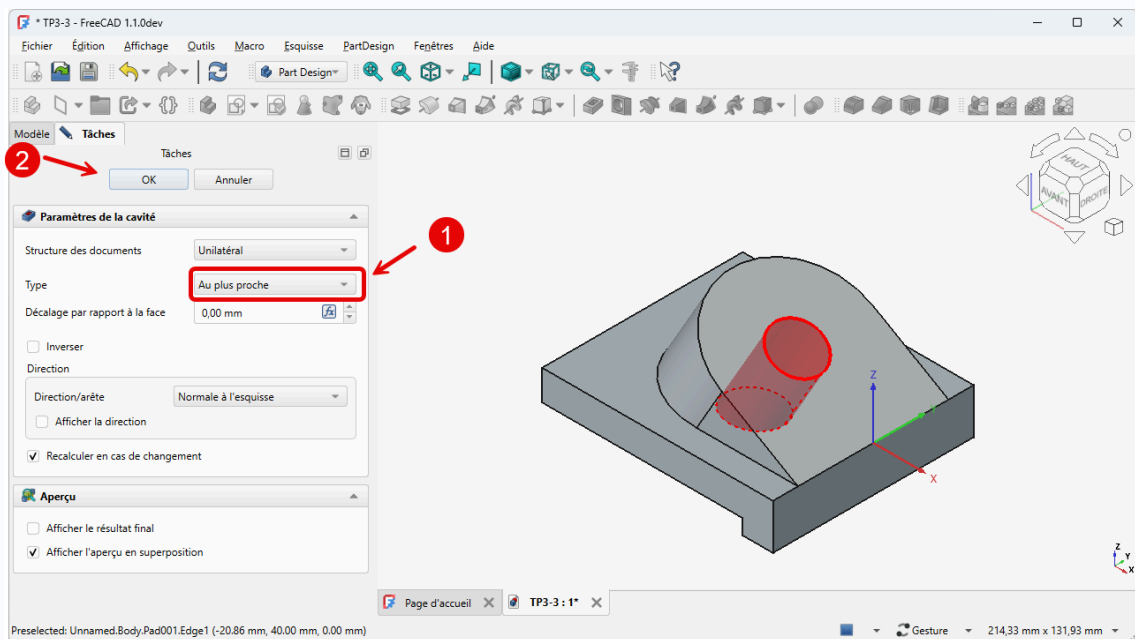
☰ Tâche à réaliser

- Créer une nouvelle esquisse  sur la face inclinée supérieure ;






Esquisse n°3 pour la cavité

- Créer une cavité  de type le plus proche ;



Création de la cavité de type  Au plus proche

💡 Quelques conseils


- Utiliser une vue  pour mieux visualiser la position de l'esquisse ;
- Pour positionner le centre du cercle, créer une géométrie externe de construction d'intersection  à partir de la bordure extérieure ;
- Utiliser une contrainte automatique de coïncidence  pour positionner le centre du cercle ;

3.5.5. 📺 Capture vidéo

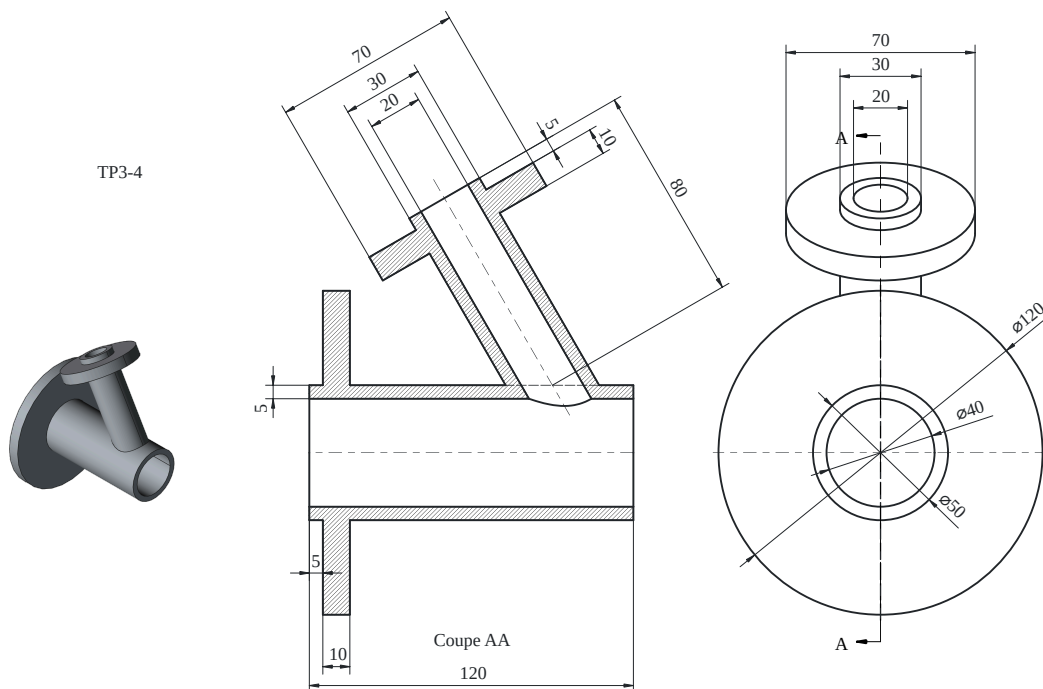


3.6. TP 3-4



Objectifs

- Modifier l'ancrage d'un plan de référence  (translation & rotation) avant de créer un esquisse afin de faciliter la modélisation ;

Nous allons modéliser le solide suivant : (cf [TP3-4-Plan.pdf](#))



☑☑☑ Tâches à réaliser

- Créer un nouveau document  TP3-4 dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps  ;


3.6.1. 1^{er} cylindre

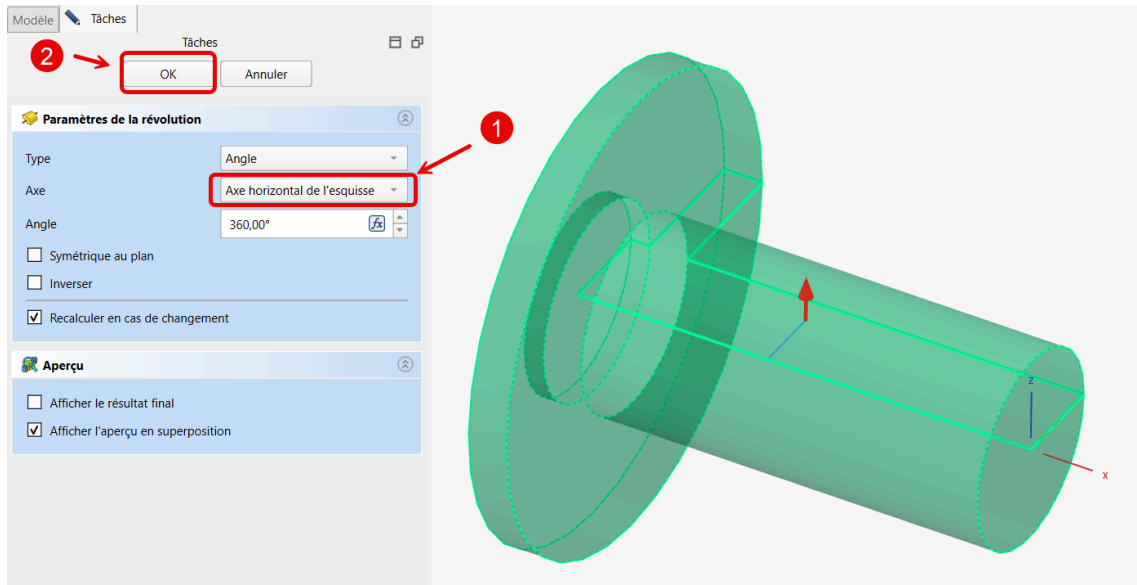
☑☑☑ Tâches à réaliser

- Créer l'esquisse  ci-dessous dans le plan XY ;



Esquisse du 1^{er} cylindre

- Créer une révolution  autour de l'axe horizontal de l'esquisse ;



Révolution  du 1er cylindre

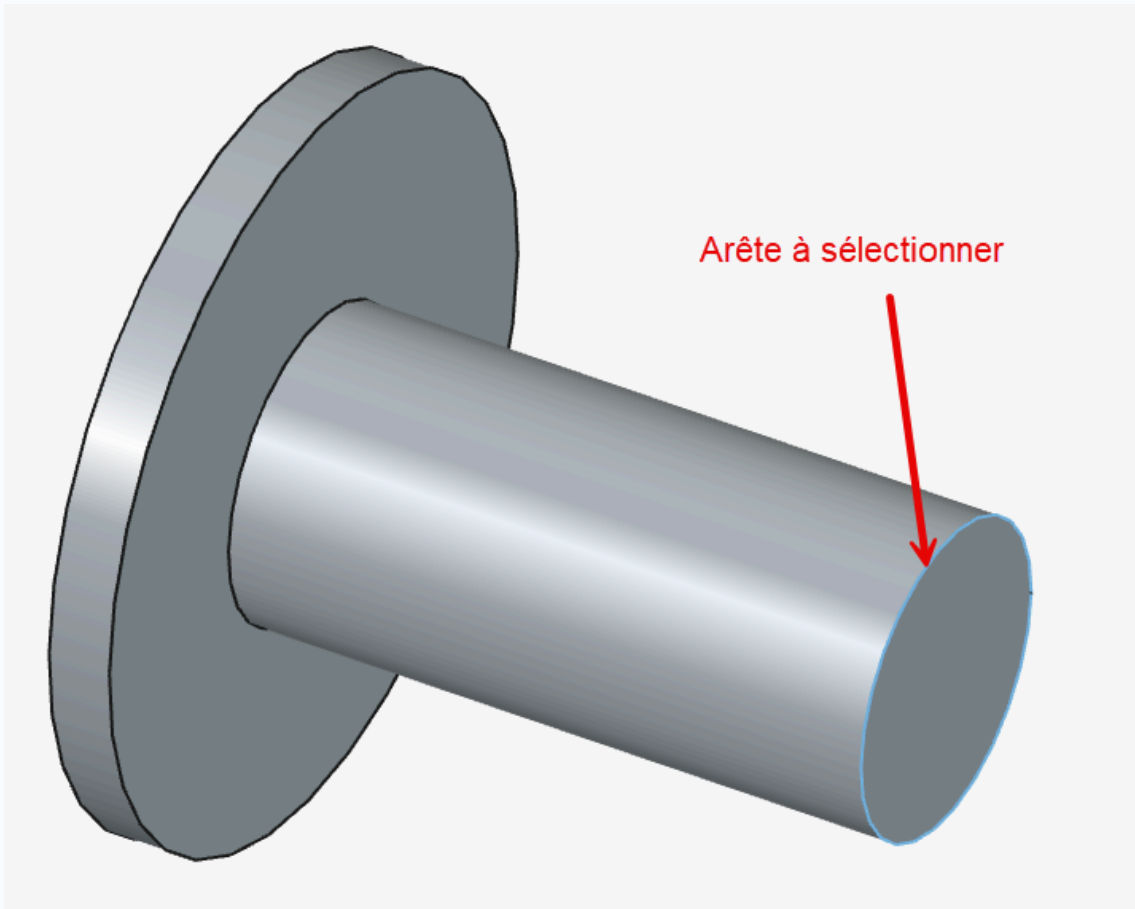
Aide

- Utiliser une polygone  pour créer l'esquisse ;

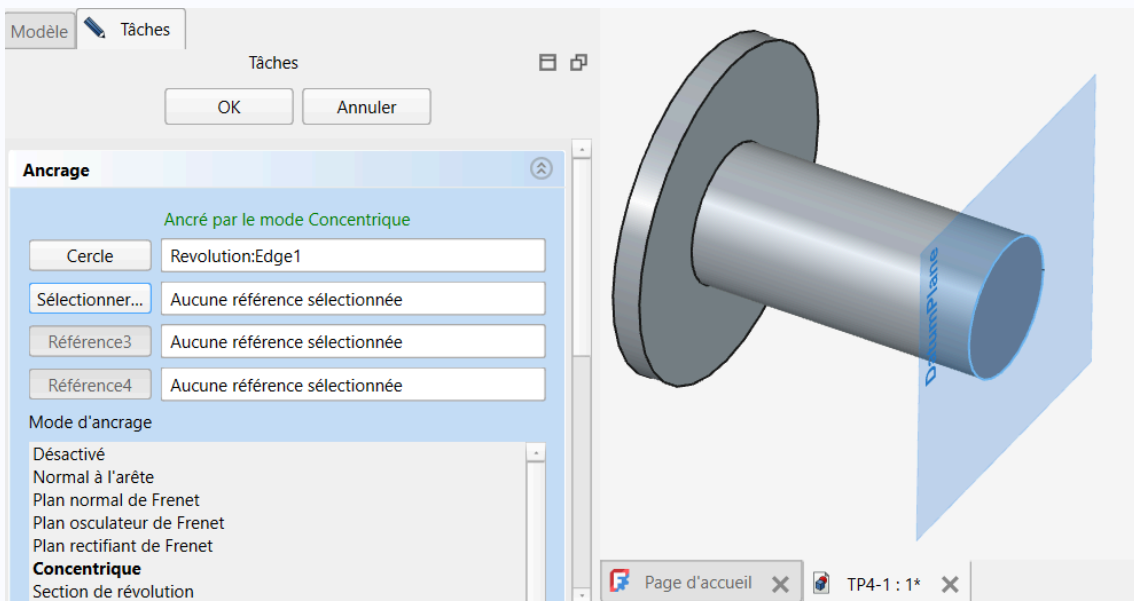
3.6.2. Plan de référence

☑️ Tâches à réaliser

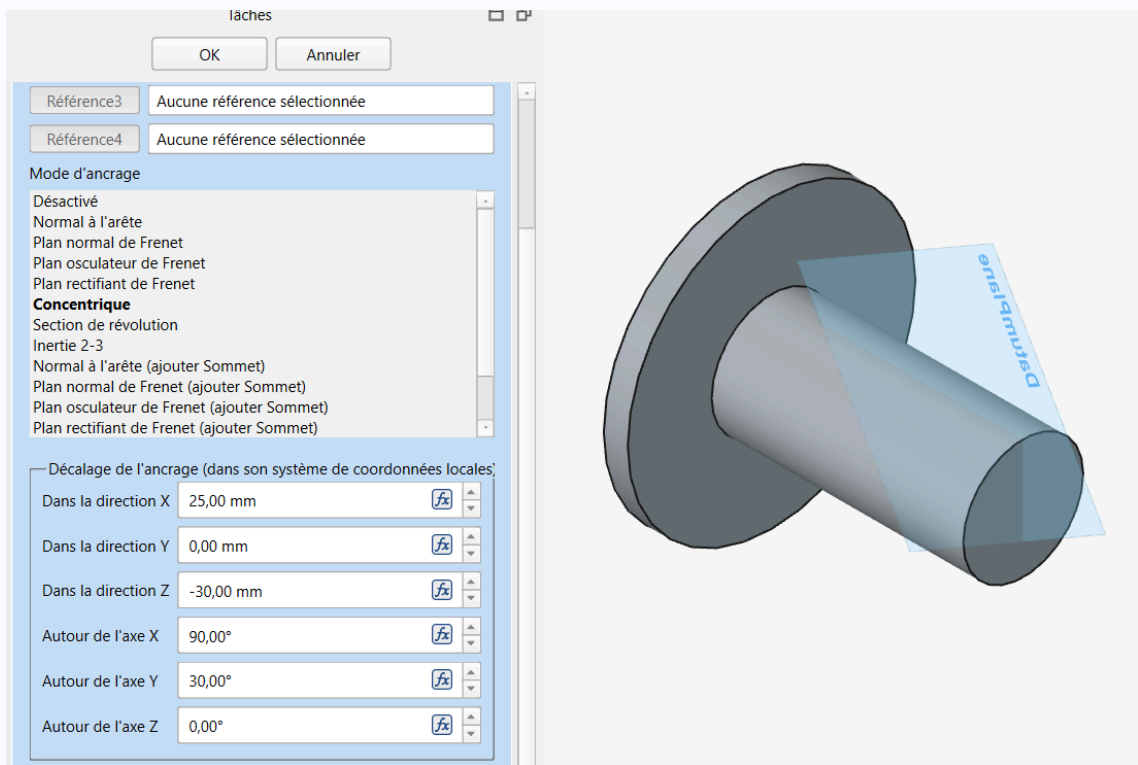
- Sélection l'arête circulaire du cylindre à l'extrémité du corps ;



- Créer un plan de référence  ancré à cette arête avec le mode concentrique ;

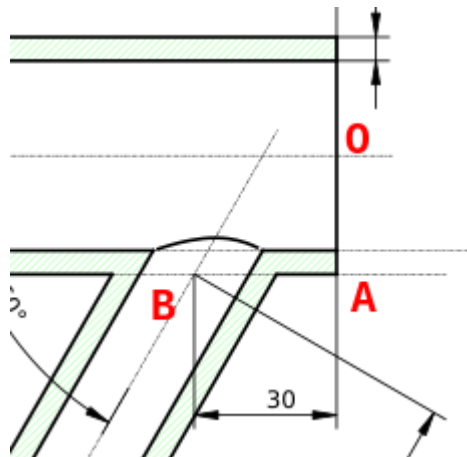


- Décaler et pivoter ce plan de référence comme ci-dessous :



Explications


- Direction x : 25 mm correspond à OA du cylindre ;
- Direction z : -30 mm correspond à AB ;
- Rotation autour de X : 90 ° pour rendre le plan médian au cylindre ;
- Rotation autour de Y : 30 ° inclinaison du 2nd cylindre par rapport au 1^{er} cylindre ;

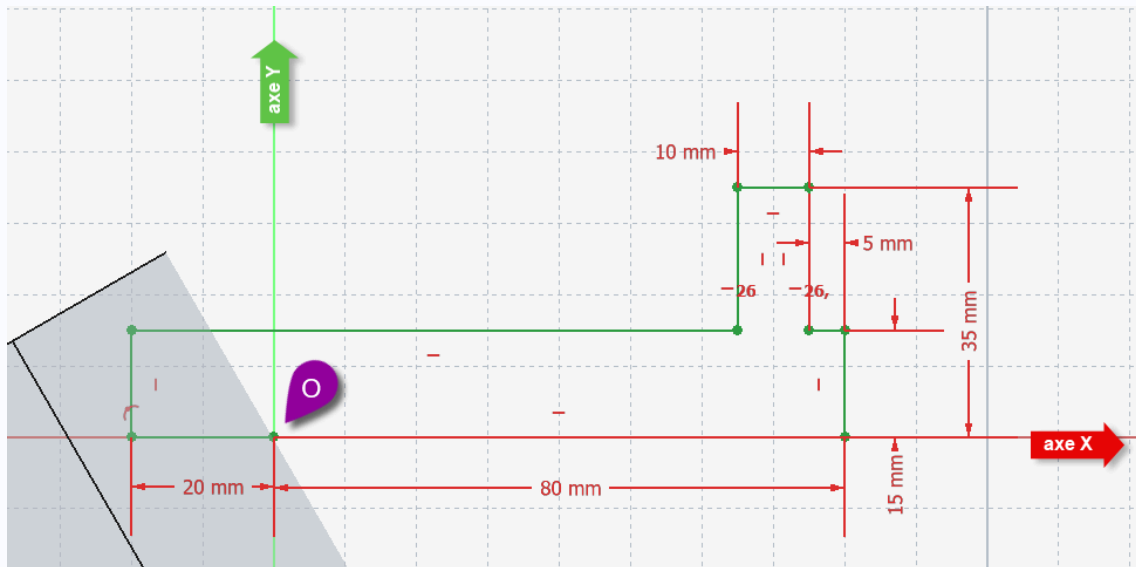


Explication du décalage et de la rotation du plan de référence


3.6.3. 2nd cylindre

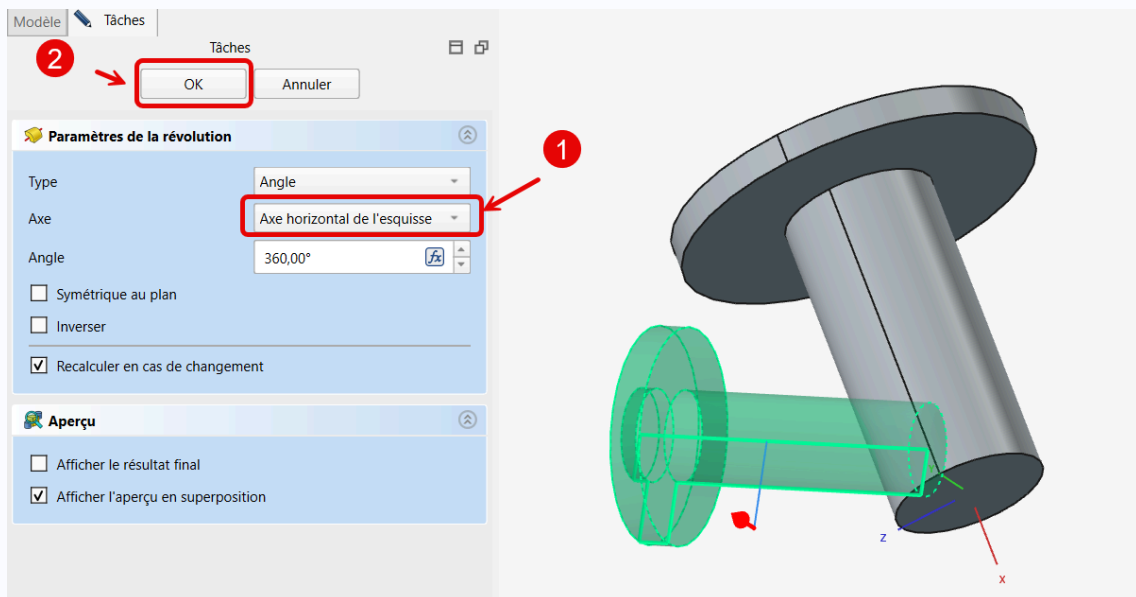
☰ Tâches à réaliser (suite)

- Créer l'esquisse  ci-dessous dans ce plan de référence ;




Esquisse du 2nd cylindre

- Créer une révolution  autour de l'axe horizontal de l'esquisse ;



Révolution  du 2nd cylindre

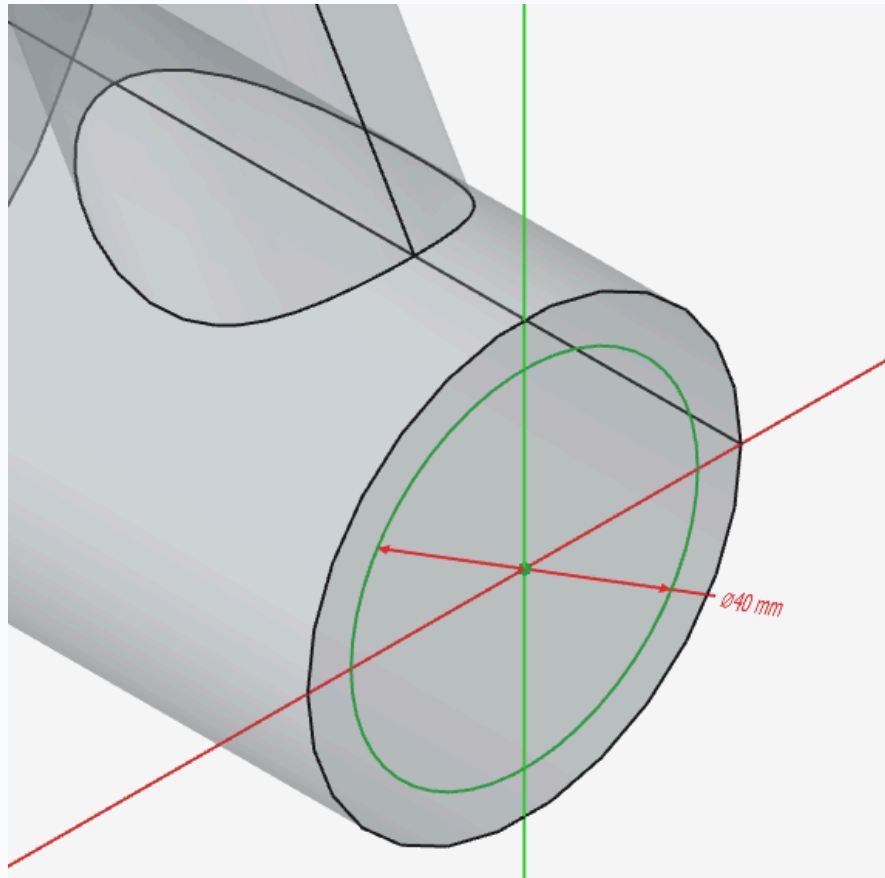
Aide

- Masquer le plan de référence  DatumPlane après avoir créé l'esquisse dans l'onglet **Modèle** ;
- Activer la transparence du 1er cylindre à l'aide du raccourci clavier **V** puis **T** ;
- La contrainte de 20 mm est approximative : elle assure la pénétration du second cylindre dans le premier ;


3.6.4. Cavités

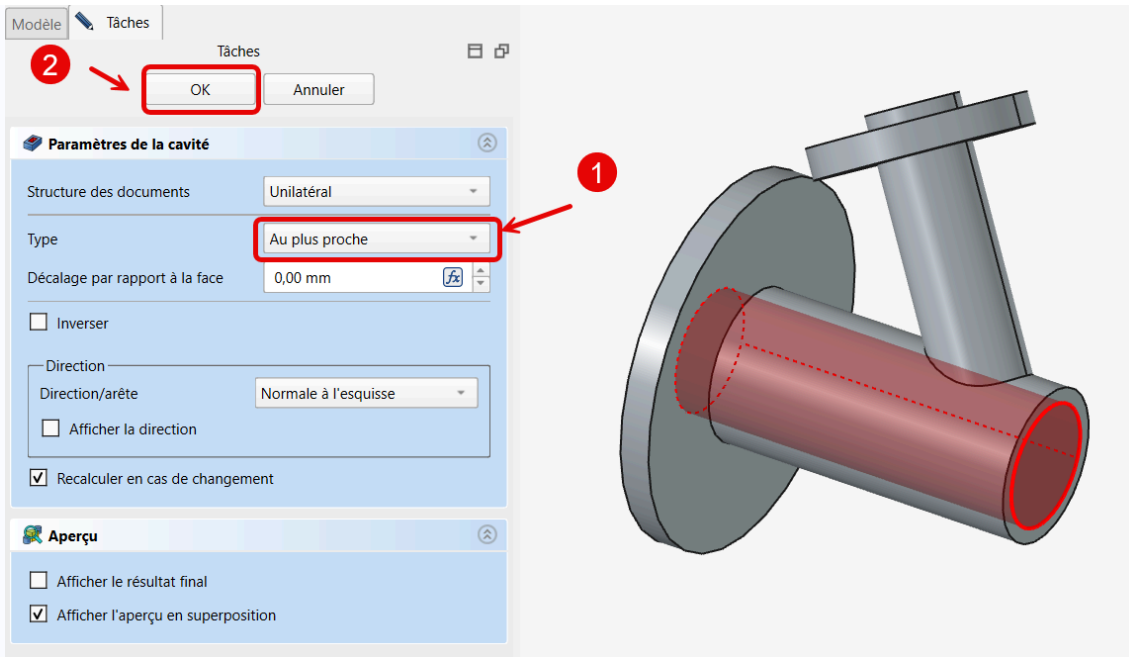
Tâches à réaliser

- Créer l'esquisse suivante sur la face en bout du 1^{er} cylindre ;



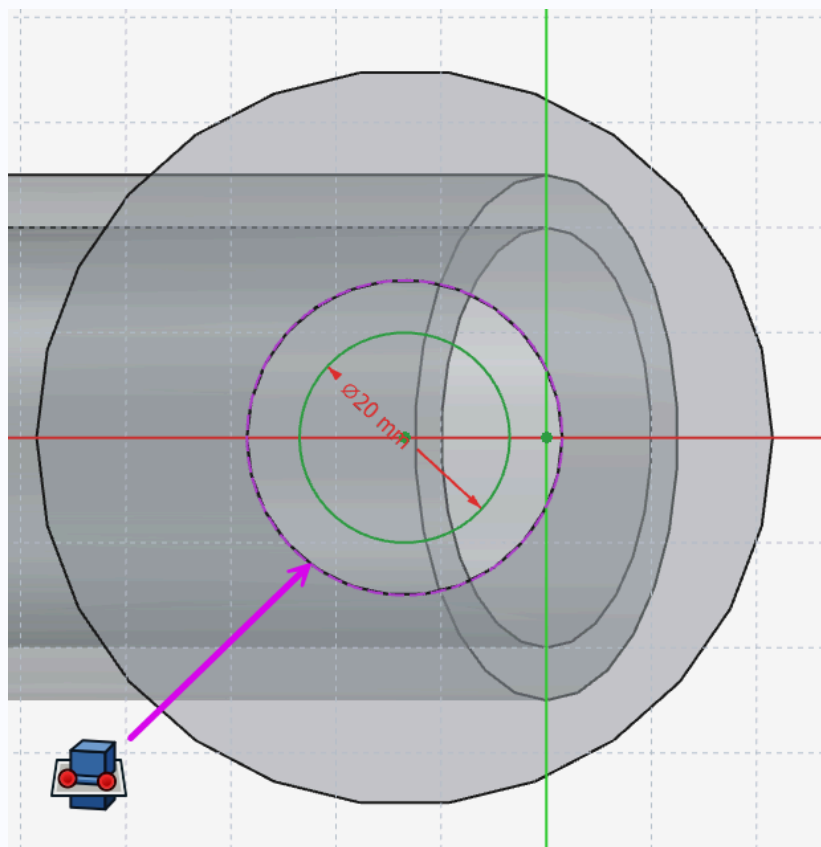
Esquisse sur la face en bout du 1er cylindre

- Créer une cavité avec l'option  au plus proche ;




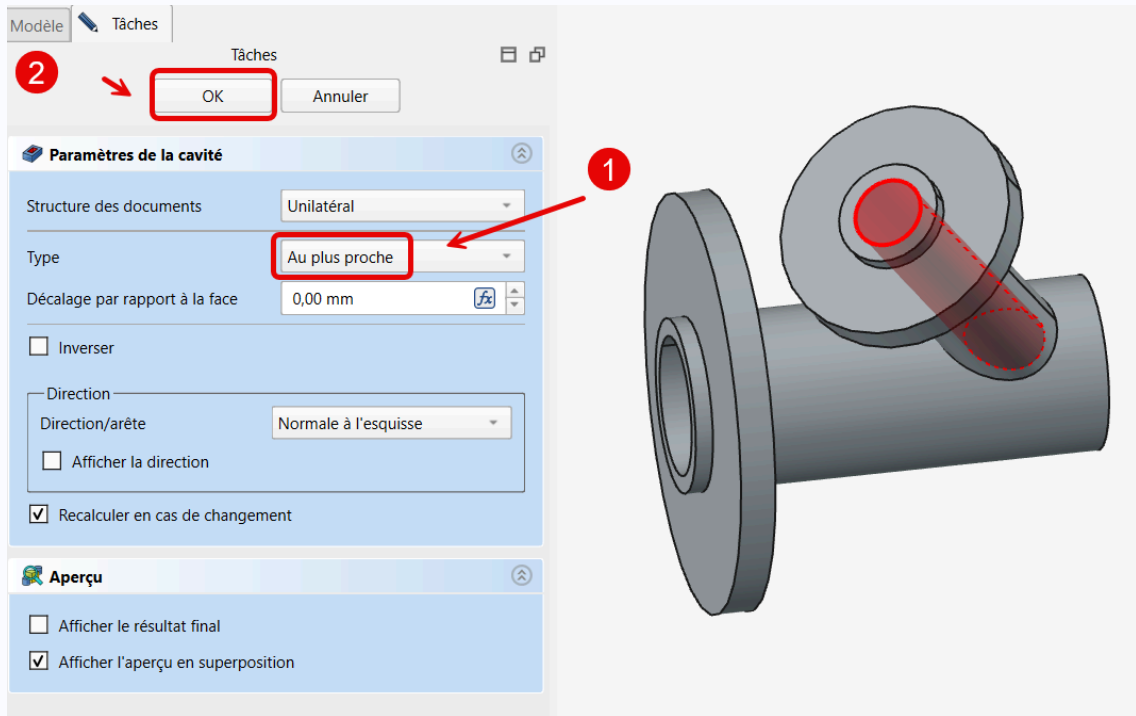
Création de la cavité sur le 1^{er} cylindre

- Créer l'esquisse suivante sur la face en bout du 2nd cylindre :




Esquisse sur la face en bout du 2nd cylindre

- Créer une cavité avec l'option  au plus proche :



Création de la cavité sur le 2nd cylindre

Aide




- Pour centrer le cercle dans la deuxième esquisse, il faudra utiliser une géométrie externe de construction par intersection  ;

3.6.5. Capture vidéo



4. Fonctions paramétriques



Pour le moment, nous avons utilisé trois fonctions paramétriques :

- deux fonctions additives : la protrusion  et la révolution  ;
- une fonction soustractive : la cavité  ;

Dans ce chapitre, nous allons découvrir d'autres fonctions paramétriques.







Autres fonctions paramétriques

D'autres fonctions paramétriques seront présentées :

- le perçage  lors du TP n° 7.1 ;
- le lissage soustractif  lors du TP n°7.2 ;

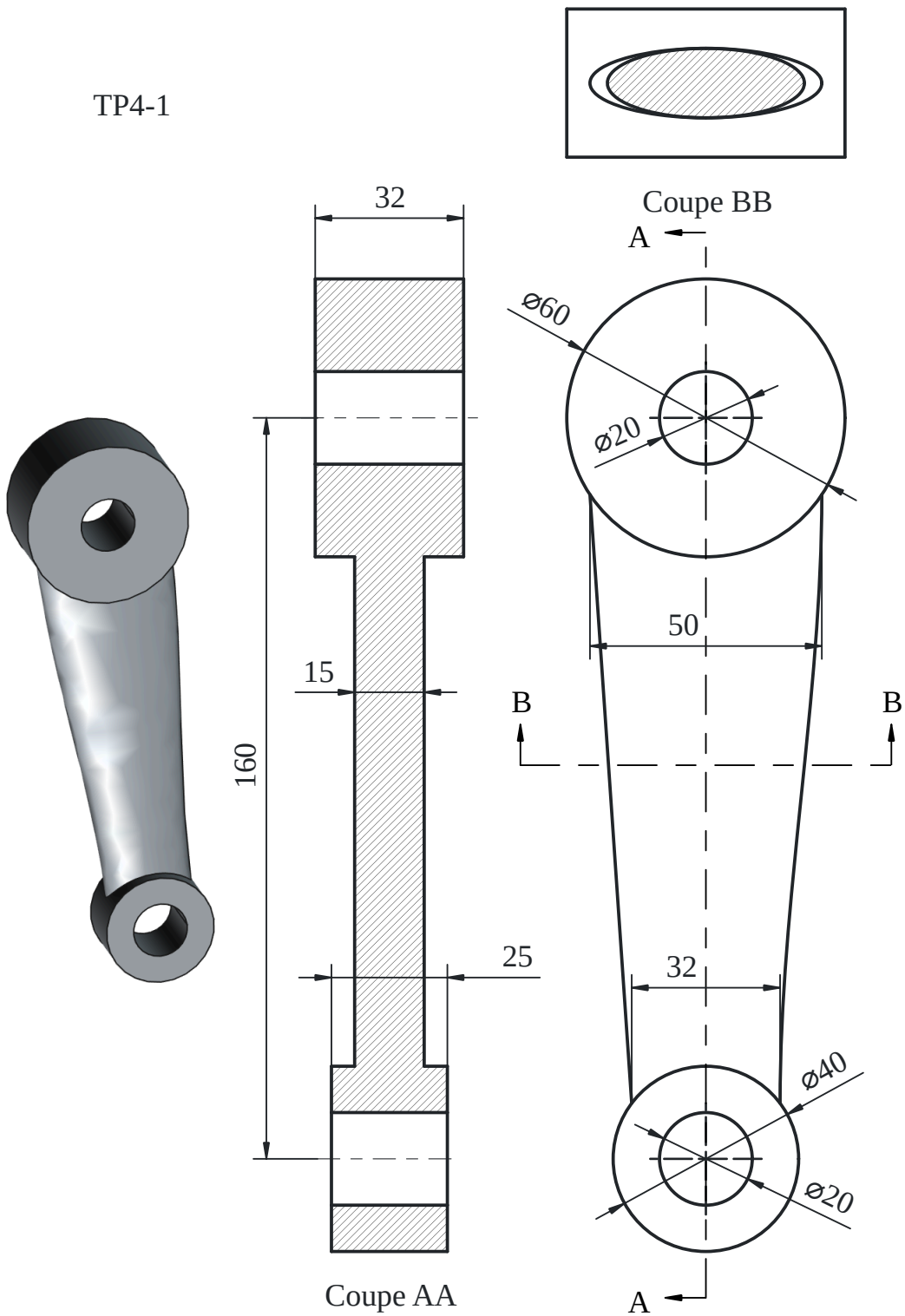
4.1. Lissage additif

Objectifs


- Utiliser la fonction paramétrique [Lissage additif](#)^W  de l'atelier  Part Design  ;
- Utiliser la commande [Ellipse par centre](#)^W  de l'atelier Sketcher  ;
- Utiliser la commande [créer une sous forme liée](#)  ^W ;
- Donner des noms à des contraintes dimensionnelles et les réutiliser dans d'autres esquisses ;

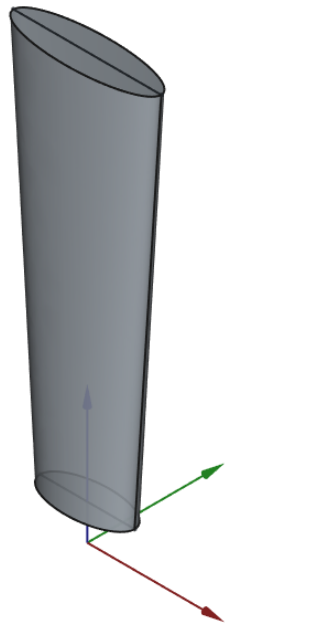
Nous allons modéliser le solide suivant (cf. [TP4-1-Plan.pdf](#)) constitué d'une nervure reliant un cylindre inférieur à un cylindre supérieur :

TP4-1



Remarque



La nervure sera obtenue à l'aide d'une commande de lissage  d'une ellipse inférieure à une ellipse supérieure.



Nervure obtenue par lissage 

Dans un premier temps, il faut rechercher la cote Z du plan inférieur et du plan supérieur de ces ellipses.

Tâches préliminaires

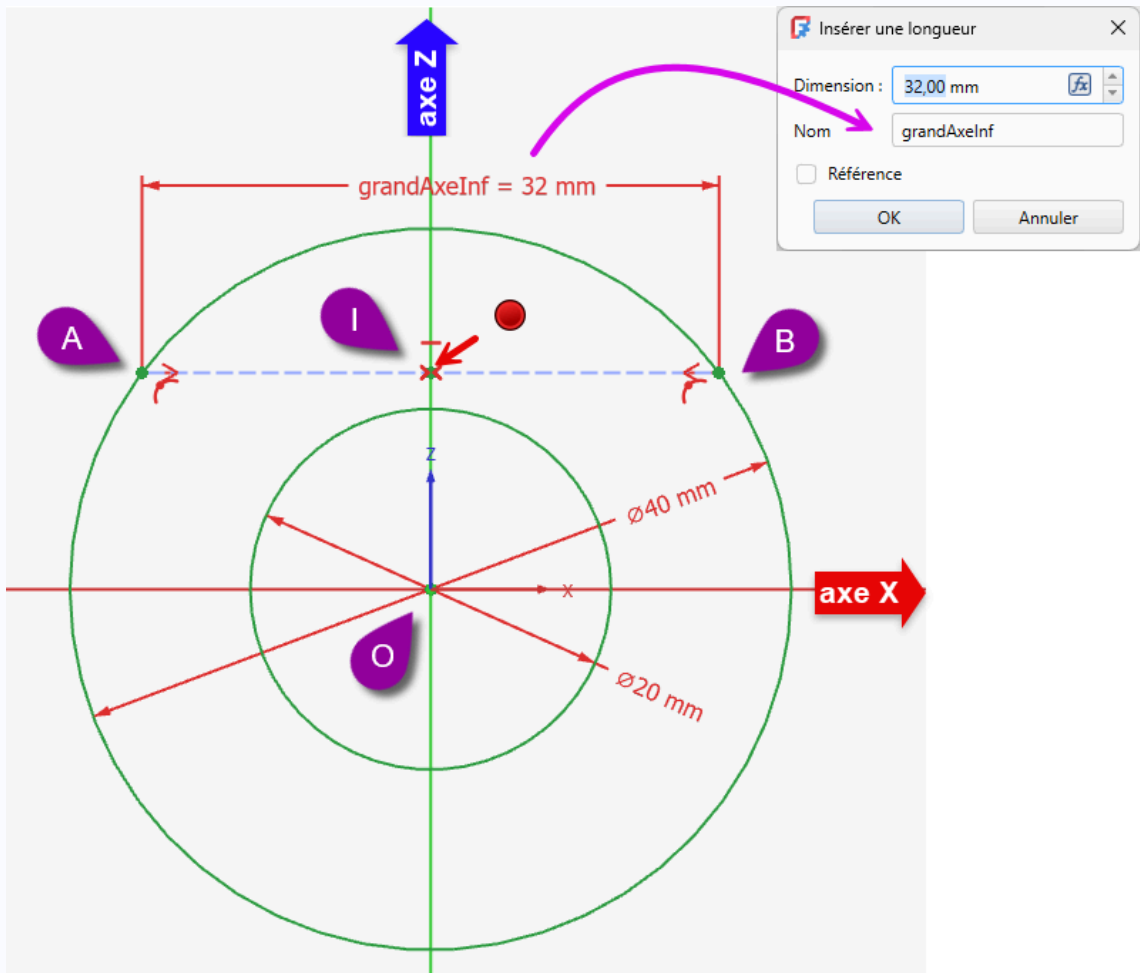
- Créer un nouveau document  TP4-1 dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps  ;

4.1.1. Esquisse des cylindres

Cylindre inférieur

Tâches à réaliser

- Créer l'esquisse ci-dessous dans le plan XZ constituée de deux cercles et d'un point I milieu de la corde AB en donnant le nom grandAxeInf à la contrainte dimensionnelle de 32 mm :



Esquisse du cylindre inférieur






- Renommer l'esquisse Cylinf ;

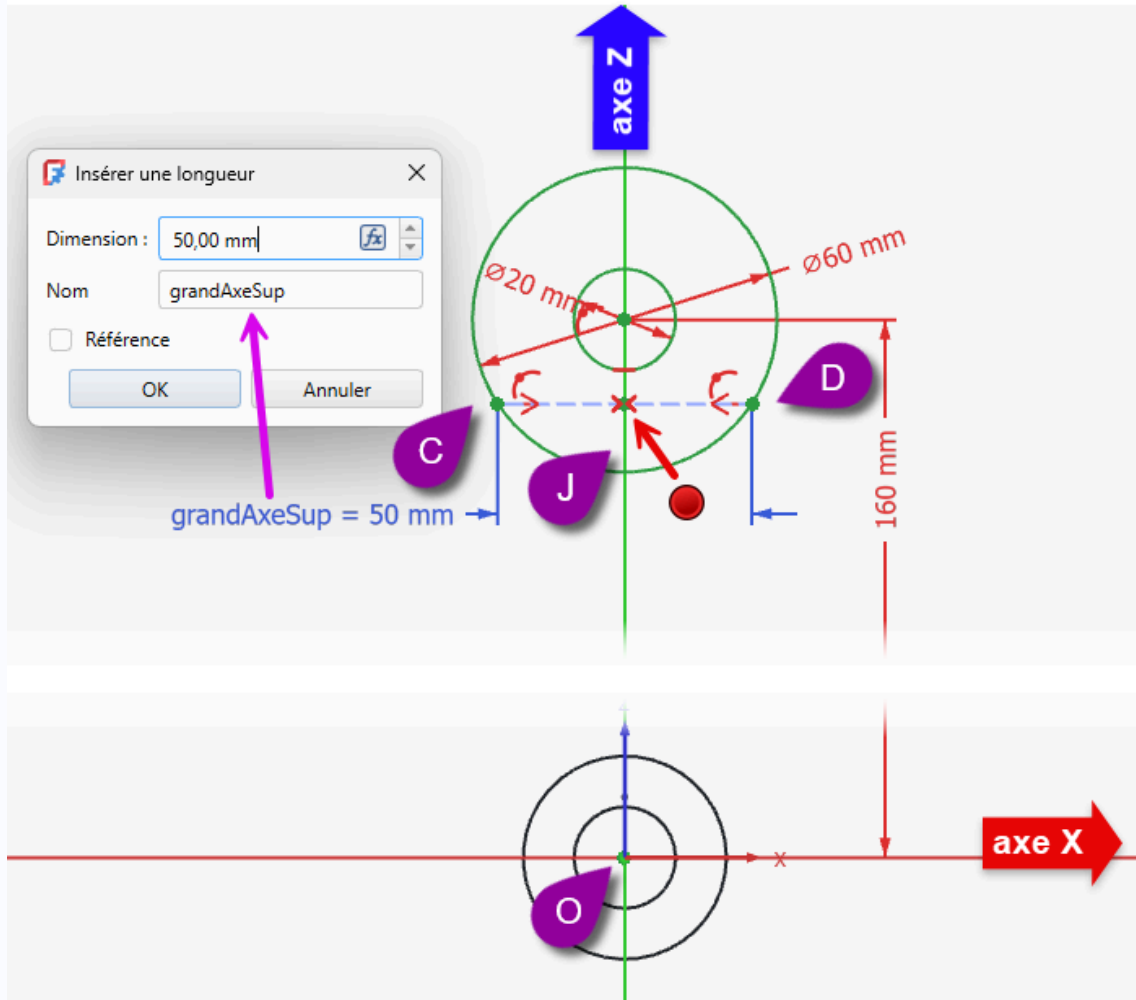
⚠ Attention

- La corde AB doit être une **géométrie de construction** pour ne pas être prise en compte lors de la création de la protrusion du cylindre ;
- Le point I doit être une **géométrie réelle** pour être visible dans la vue 3D : il permettra de positionner le bas de la nervure ;



Cylindre supérieur

Tâches à réaliser

- Créer l'esquisse  ci-dessous dans le plan XZ constituée de deux cercles  et d'un point  J milieu de la corde  CD en donnant le nom  grandAxeSup à la contrainte de 50 mm :



Esquisse du cylindre supérieur

- Renommer l'esquisse   CylSup ;

⚠ Attention

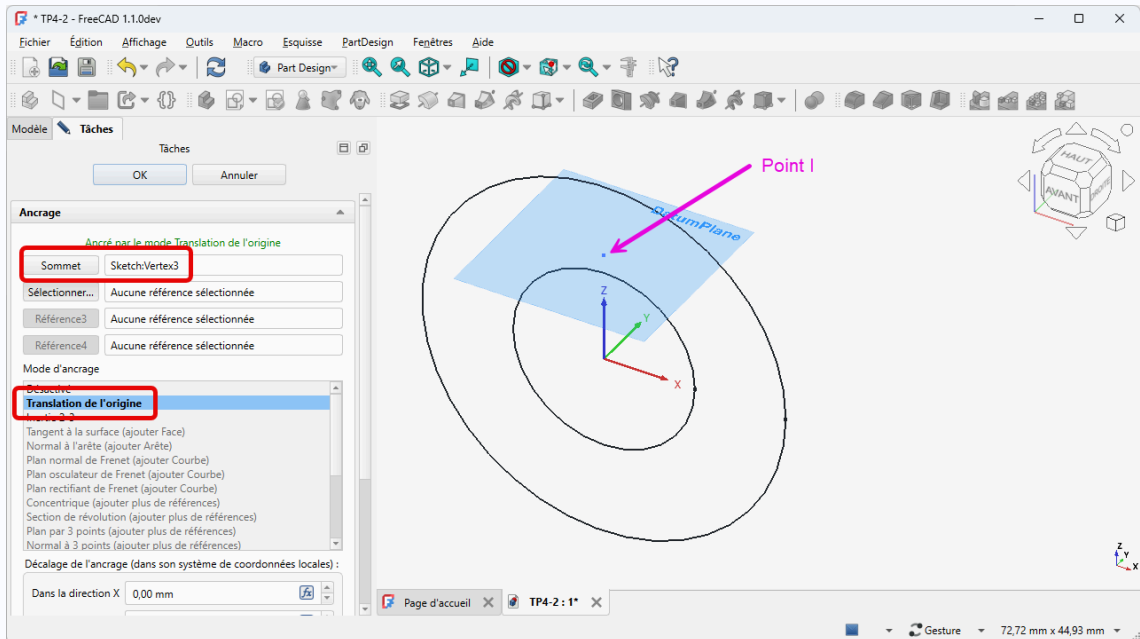
Comme précédemment :

- La corde CD doit être une **géométrie de construction** pour ne pas être prise en compte lors de la création de la protrusion du cylindre ;
- Le point J doit être une **géométrie réelle** pour être visible dans la vue 3D : il permettra de positionner le haut de la nervure ;


4.1.2. Plan des ellipses

☰ Plan de référence inférieur



- Dans la vue 3D, sélectionner le point I et cliquer sur la commande Plan de référence  ;



Plan de référence pour le bas de la nervure

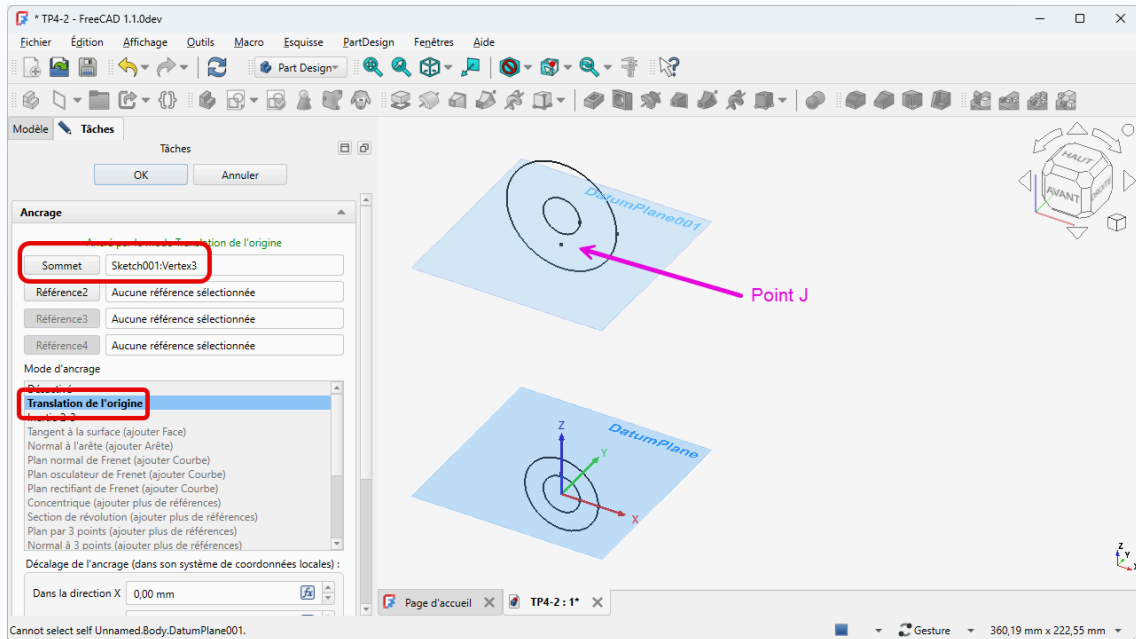
- Renommer ce plan   PlanInf ;

💡 Aide



- Zoomer pour visualiser et sélectionner le point I ;
- Cliquer sur le bouton déroulant Système de coordonnées  pour accéder à la commande Plan de référence  ;

☰ Plan de référence supérieur

- Dans la vue 3D, sélectionner le point J et cliquer sur la commande **Plan de référence** 










Plan de référence pour le haut de la nervure

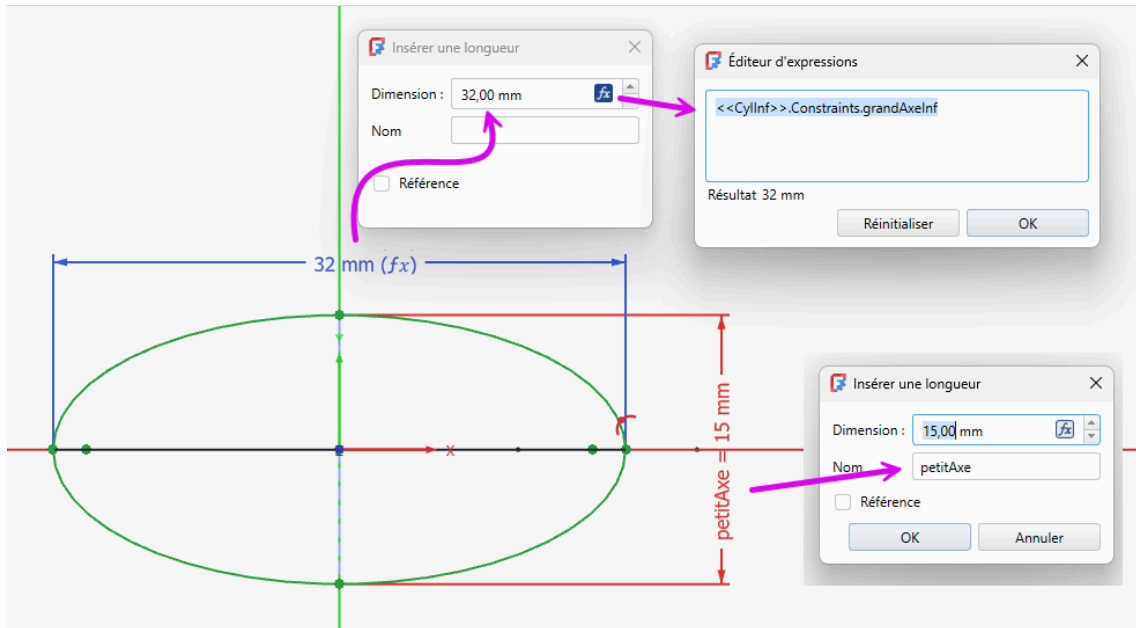
- Renommer ce plan   PlanSup ;

4.1.3. Création de la nervure

Ellipse Inférieure

☰ Tâches à réaliser

- Dans l'onglet **Modèle**, masquer les plans de références ,  et les esquisses   ;
- Sélectionner le plan de référence   et créer l'esquisse ci-dessous contenant une ellipse par son centre  ;



- Renommer l'esquisse EllipseInf ;
- Masquer l'esquisse dans l'onglet **Modèle** ;

Attention

- Contraindre l'extrémité du grand axe de l'ellipse sur l'axe X ;
- Saisir directement la longueur 15 mm en donnant le nom petitAxe à la contrainte ;
- Saisir la longueur 32 mm du grand axe à l'aide de l'expression <<CylInf>>.Constraints.grandAxeInf ;

Saisir une expression en utilisant l'auto-complétion :

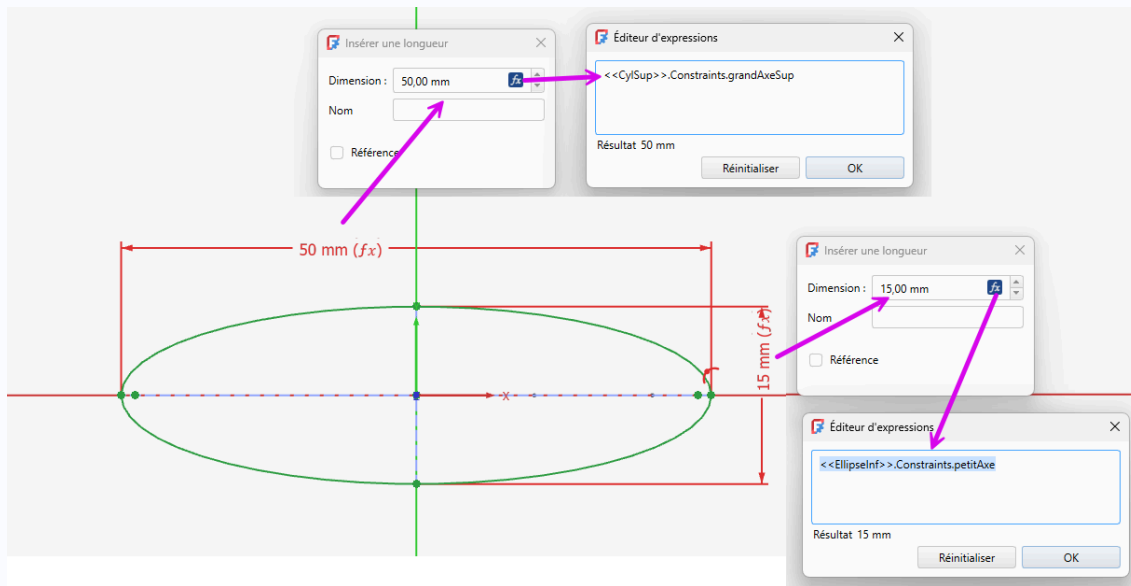
Pour saisir la contrainte de 32 mm :

- Sélectionner la commande , la géométrie à contraindre, la position : FreeCAD ouvre la boîte de dialogue de dimension ;
- Cliquer sur le bouton (ou appuyer sur le caractère) : FreeCAD ouvre une 2^{nde} boîte de dialogue Éditeur d'expression ;
- Saisir au clavier Cyl :
- Appuyer sur la touche pour sélectionner <<CylInf>> ;
- Taper les 3 premiers caractères Con : sélectionner **Constraints** ;
- Taper les 3 premiers caractères gra et sélectionner à la souris ou au clavier **grandAxeInf**





Ellipse supérieure

Tâches à réaliser



- Sélectionner le plan de référence  PlanSup et créer l'esquisse ci-dessous :



Esquisse de l'ellipse supérieure

- Renommer l'esquisse  EllipseSup ;
- Réafficher les esquisses  CylInf,  CylSup,  EllipseInf ;

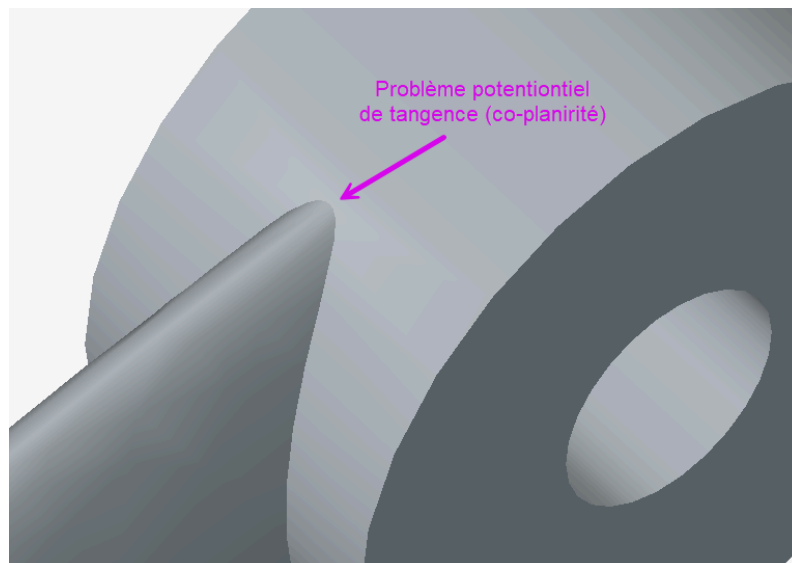
⚠ Attention

- Contraindre l'extrémité du grand axe sur l'axe X ;
- Saisir les dimensions des axes à l'aide des expressions :
 pour la contrainte de 15 mm :  <<EllipseInf>>.Constraints.petitAxe ;
 pour la contrainte de 50 mm :  <<CylSup>>.Constraints.grandAxeSup ;

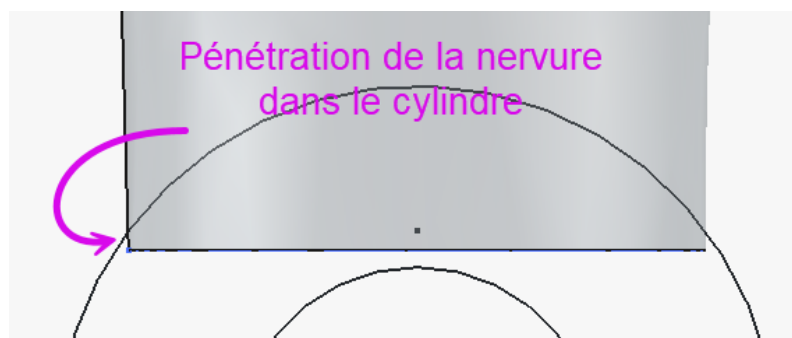
Problème de tangence

⚠ Problème potentiel de tangence (coplanarité)

La jonction des cylindres avec la nervure risque de poser un problème de tangence (connu sous le nom Coplanar) :

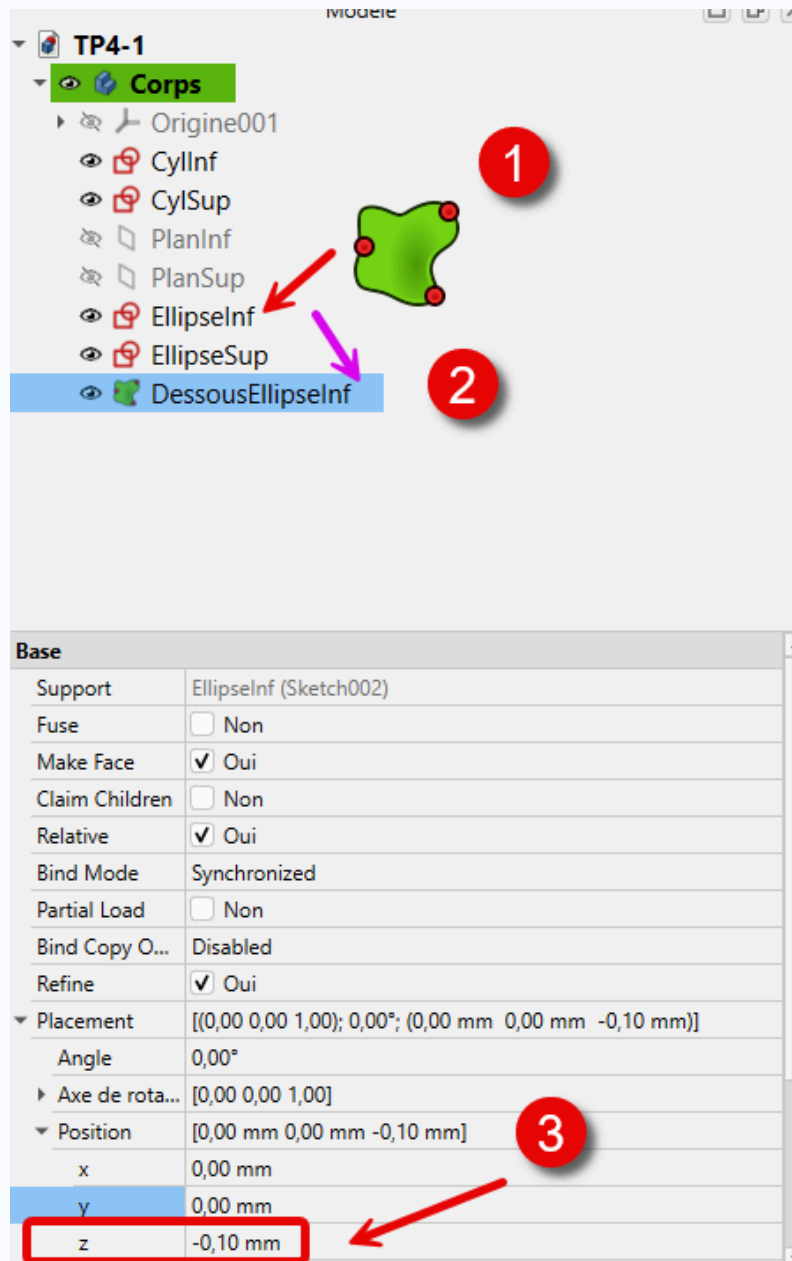


Nous allons faire pénétrer la nervure légèrement dans les cylindres :




Tâches à réaliser


- Dans l'onglet **Modèle**, sélectionner l'ellipse  Ellipselnf et créer une sous-forme liée  de cette esquisse :
- Modifier la position de cette sous-forme liée comme ci-dessous :





Décalage de la sous-forme liée

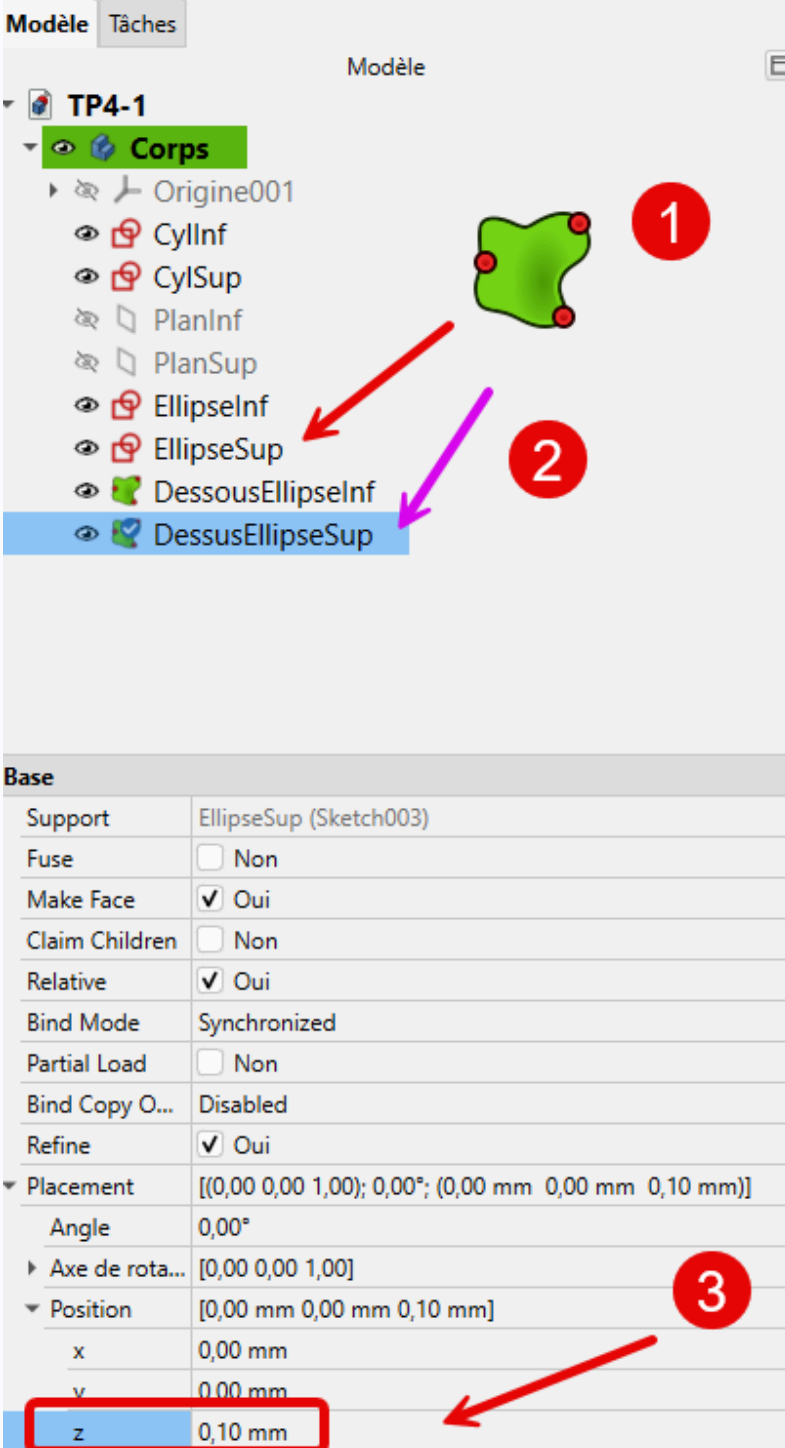
- Renommer cette sous-forme liée  DessousEllipselnf ;

Explication

 DessousEllipselnf est une « copie » **liée** de l'esquisse  Ellipselnf positionnée 0,1 mm en dessous ;

Tâches à réaliser

- Sélectionner l'ellipse  `EllipseSup` et créer une sous-forme liée  de cette esquisse :
- Modifier la position de cette sous-forme liée comme ci-dessous :



Modèle Tâches

Modèle

TP4-1


Corps

- Origine001
- CylInf
- CylSup
- PlanInf
- PlanSup
- EllipseInf
- EllipseSup
- DessousEllipseInf
- DessusEllipseSup**



Base

Support	EllipseSup (Sketch003)
Fuse	<input type="checkbox"/> Non
Make Face	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Claim Children	<input type="checkbox"/> Non
Relative	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Bind Mode	Synchronized
Partial Load	<input type="checkbox"/> Non
Bind Copy O...	Disabled
Refine	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Placement	[(0,00 0,00 1,00); 0,00°; (0,00 mm 0,00 mm 0,10 mm)]
Angle	0,00°
Axe de rota...	[0,00 0,00 1,00]
Position	[0,00 mm 0,00 mm 0,10 mm]
x	0,00 mm
y	0,00 mm
z	0,10 mm






Décalage de la sous-forme liée

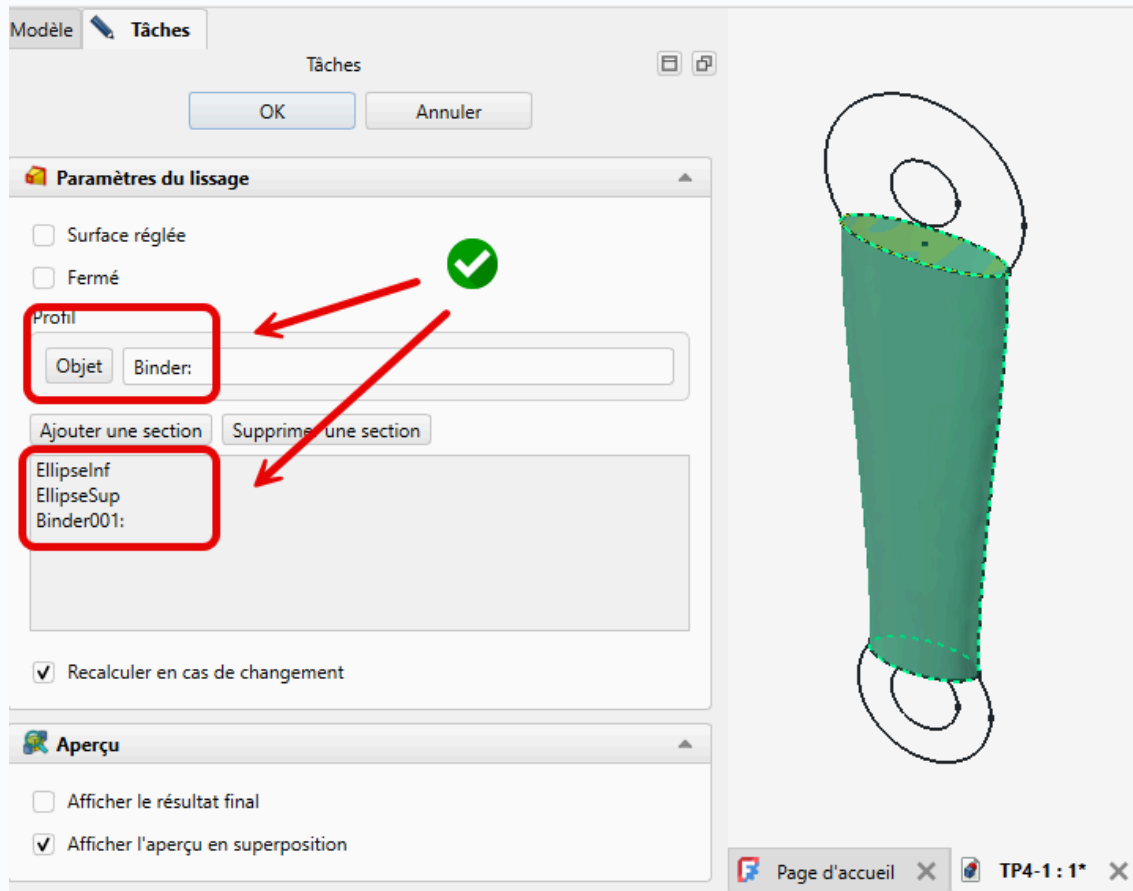
- Renommer cette sous-forme liée  `DessusEllipseSup` ;

Explication

 DessusEllipseSup est une « copie » liée de l'esquisse  EllipseSup positionnée 0,1 mm en dessus ;

Tâches à réaliser

- Sélectionner dans l'ordre suivant :  DessousEllipseInf,  EllipseInf,  EllipseSup  DessusEllipseSup et cliquer sur la commande **Lissage additif** :  :

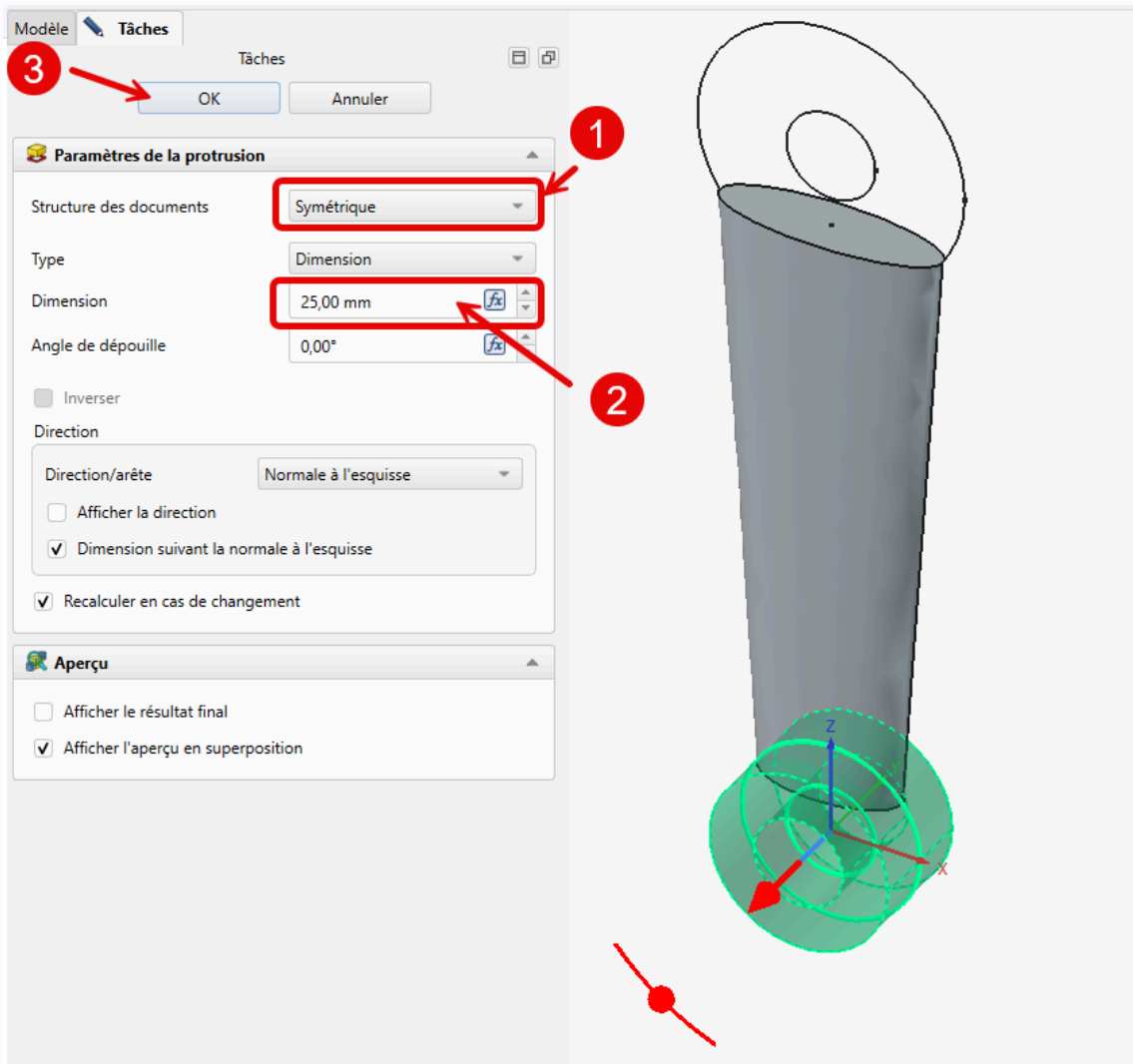


Lissage de la nervure

4.1.4. Création des cylindres

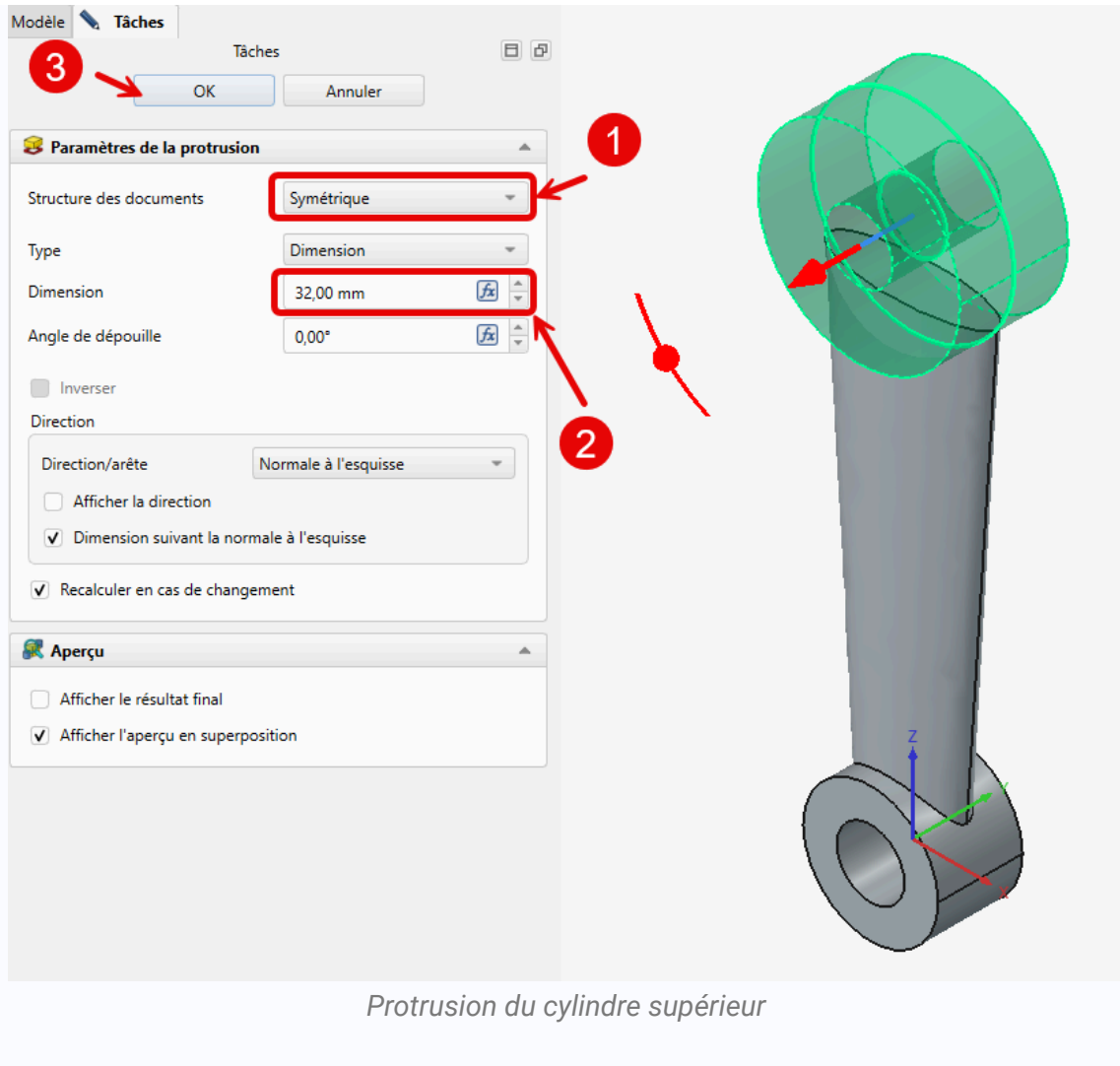
☰ Tâches à réaliser

- Sélectionner l'esquisse  **CylInf** et créer une protrusion  symétrique de 25 mm ;



Protrusion du cylindre inférieur

- Sélectionner l'esquisse  **CylSup** et créer une protrusion  symétrique de 32 mm ;





4.1.5. Capture vidéo

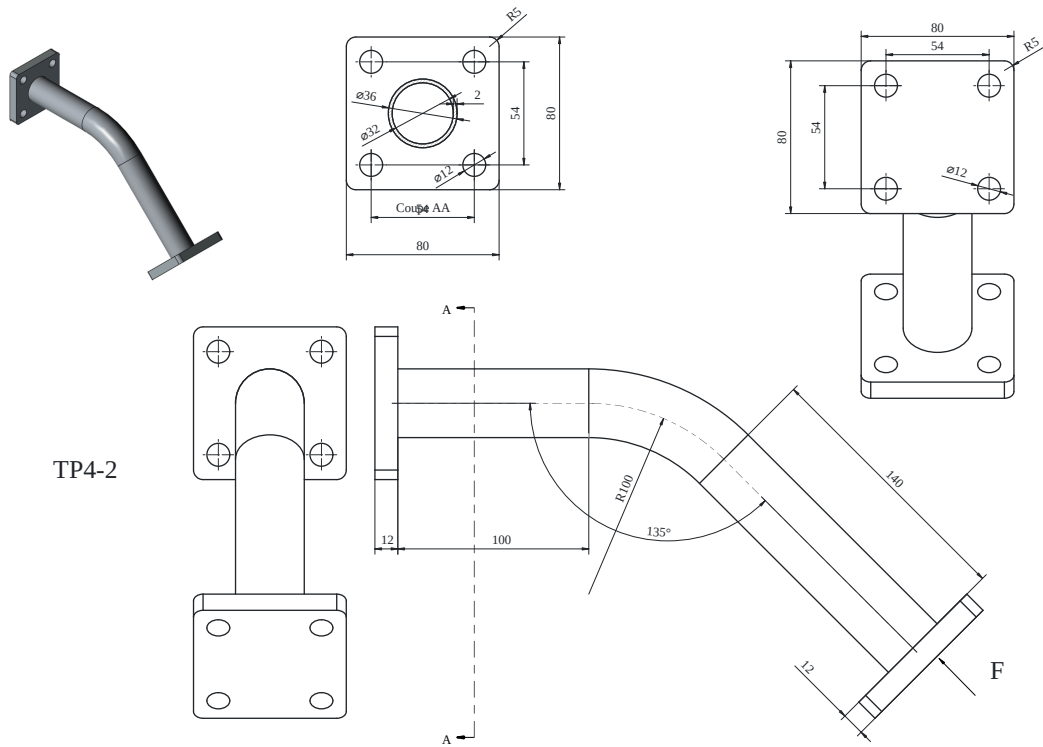


4.2. Balayage additif



Objectifs

- Utiliser la fonction paramétrique [Balayage Additif](#)^W de l'atelier  Part Design  ;
- Utiliser la commande [Rectangle arrondi](#)^W  et [Copie Carbone](#)^W  de l'atelier  Sketcher  ;

Nous allons modéliser le solide suivant : (cf [TP4-2-Plan.pdf](#))





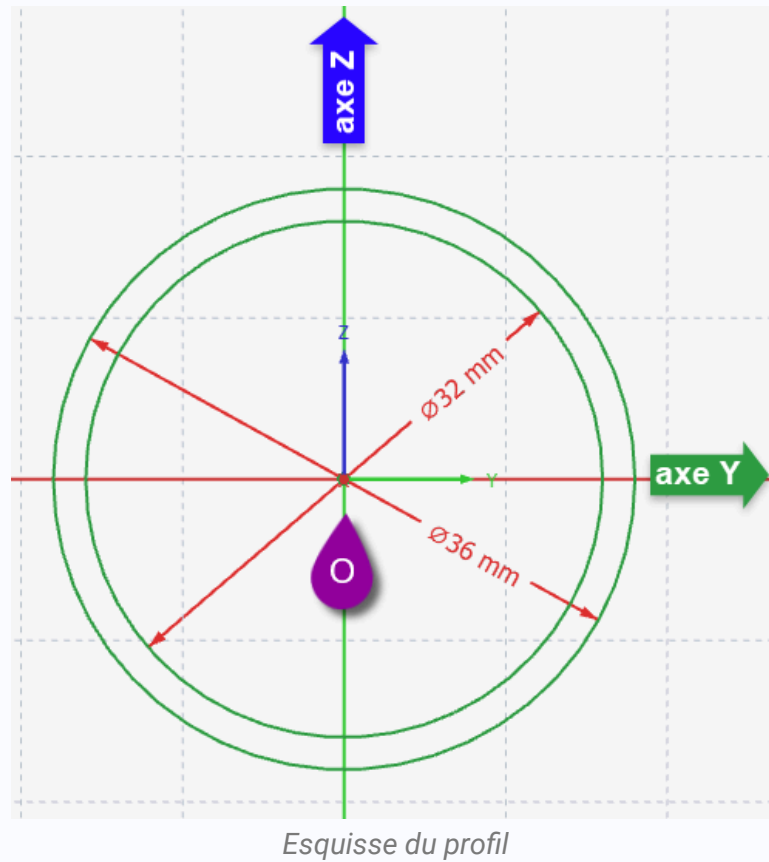
☑☑☑ Tâches préliminaires

- Créer un nouveau document  TP4-2 dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps  ;


4.2.1. Création du balayage

✓ Tâches à réaliser

- Créer la 1^{ère} esquisse  ci-dessous dans le plan YZ que vous renommerez  Profil ;

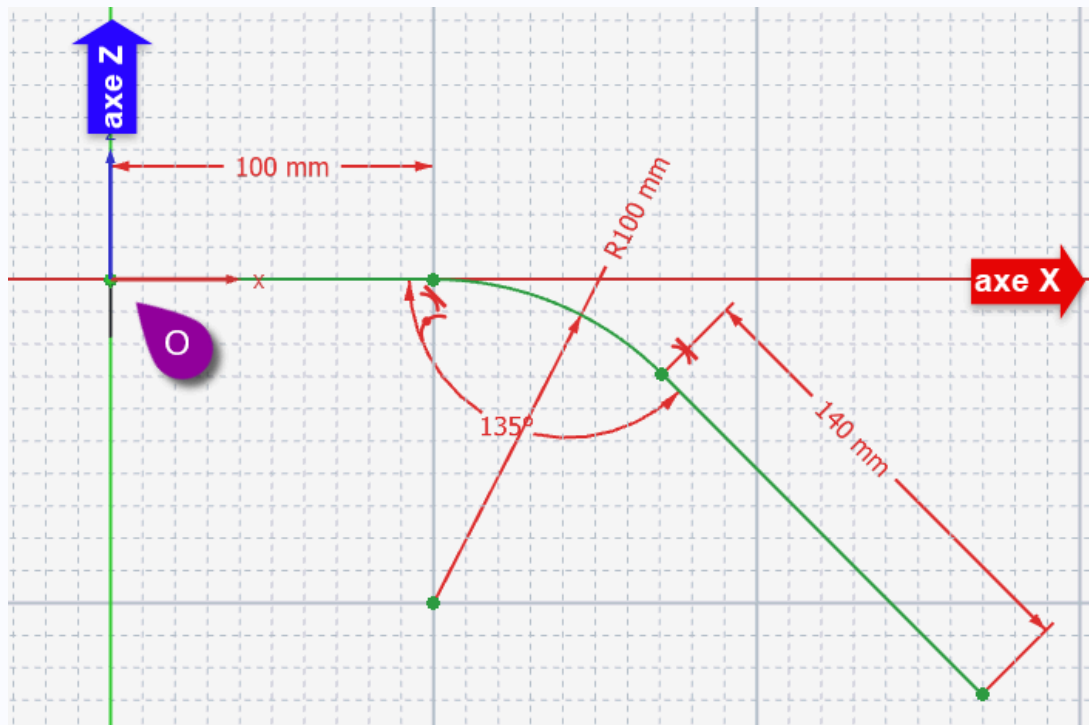


💡 Aide :

- Utiliser la contrainte automatique de coïncidence  pour positionner le centre des cercles ;



☰ Tâches à réaliser (suite)

- Créer une 2nde esquisse  ci-dessous dans le plan XZ que vous renommerez  Chemin



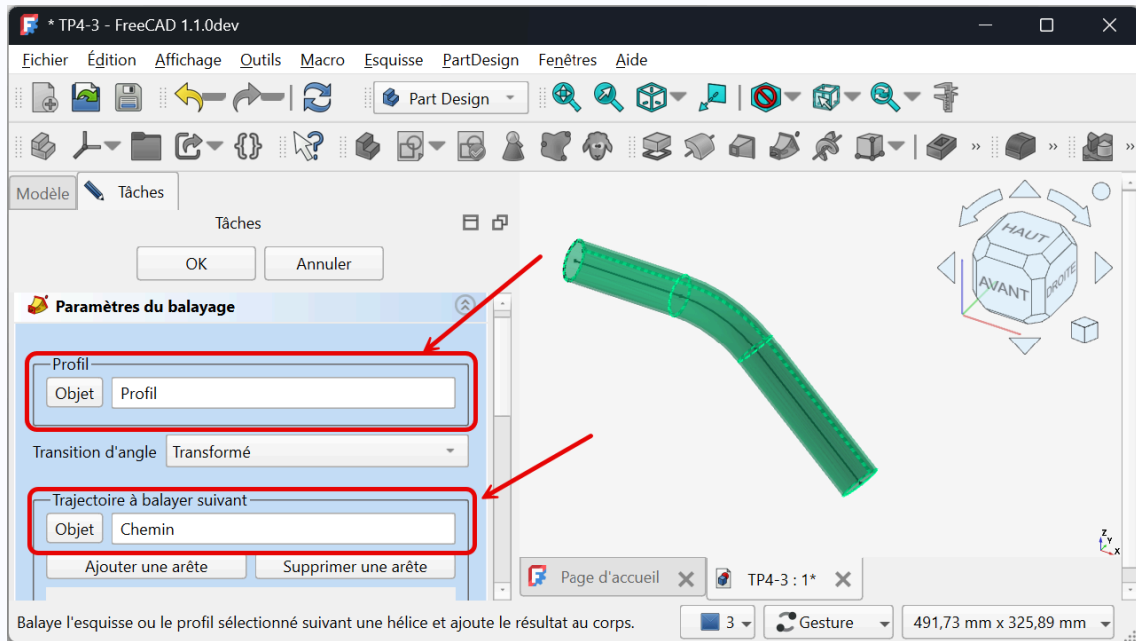
Esquisse du chemin

Aide :

- Utiliser une polyligne  et appuyer 3 fois sur la touche  pour créer l'arc tangent au 1^{er} segment ;

Tâches à réaliser (suite)


- Créer un balayage 📌 avec le profil et le chemin correspondant aux esquisses créées ;

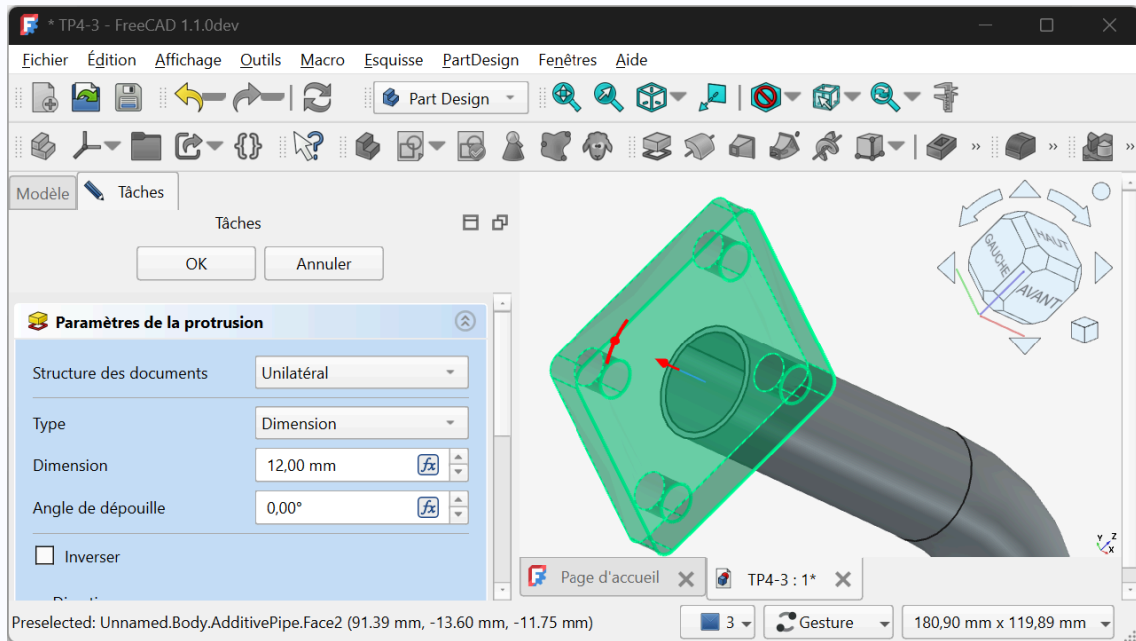


💡 Aide :

- Appuyer sur la touche **Ctrl** (⌘ sous Apple), sélectionner le **Profil** et le **Chemin** puis cliquer sur la commande 📌 ;

Tâches à réaliser (suite)



- Créer une protrusion  de 12 mm ;





Protrusion de la 1^{ère} platine

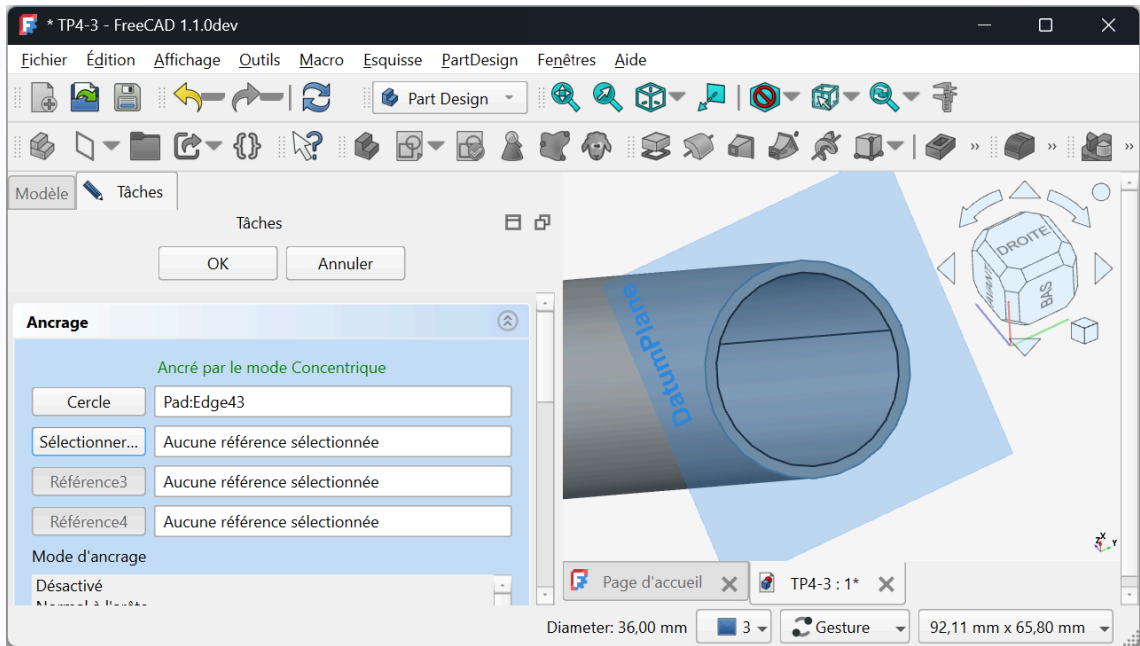
4.2.3. Création de la 2nde platine

Conseil

- L'esquisse de la seconde platine étant identique à la première platine, nous allons recopier la première esquisse à l'aide de la commande Copie Carbone  ;
- Pour positionner correctement la seconde esquisse, nous allons créer un plan de référence  centré sur la seconde extrémité du balayage ;


Tâches à réaliser

- Sélectionner la **circonférence extérieure de l'extrémité** du balayage et créer un nouveau plan référence  avec un accrochage  Concentrique ;




- Créer une nouvelle esquisse  dans ce plan de référence ;

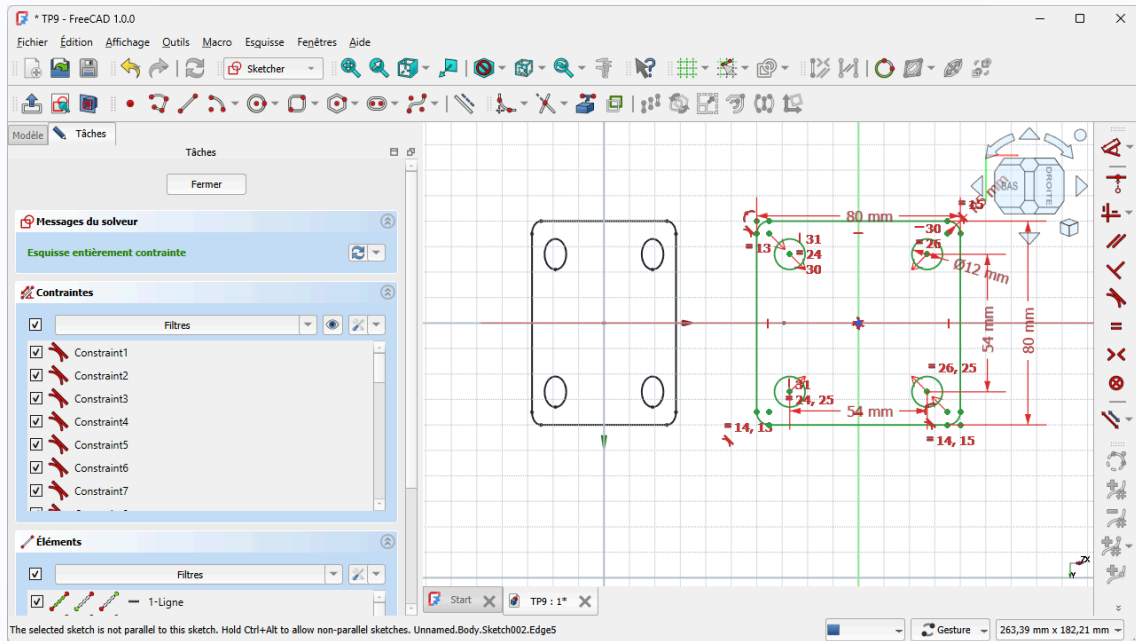
Pourquoi sélectionner la circonférence extérieure pour créer le plan de référence ?

FreeCAD propose un mode d'accrochage  concentrique : l'origine de ce plan de référence coïncidera avec le centre de cette circonférence :



- Ainsi, l'**origine de l'esquisse** accrochée à ce plan de référence coïncidera aussi le centre de cette circonférence.

Tâches à réaliser

- Copier l'esquisse de la première platine à l'aide de la commande  ;



Aide :


- Dans la vue **Modèle**, masquer le plan de référence, l'objet   mais afficher l'esquisse de la 1^{ère} platine ;
- Les deux esquisses n'étant pas dans le même plan, il faut maintenir appuyées les touches :

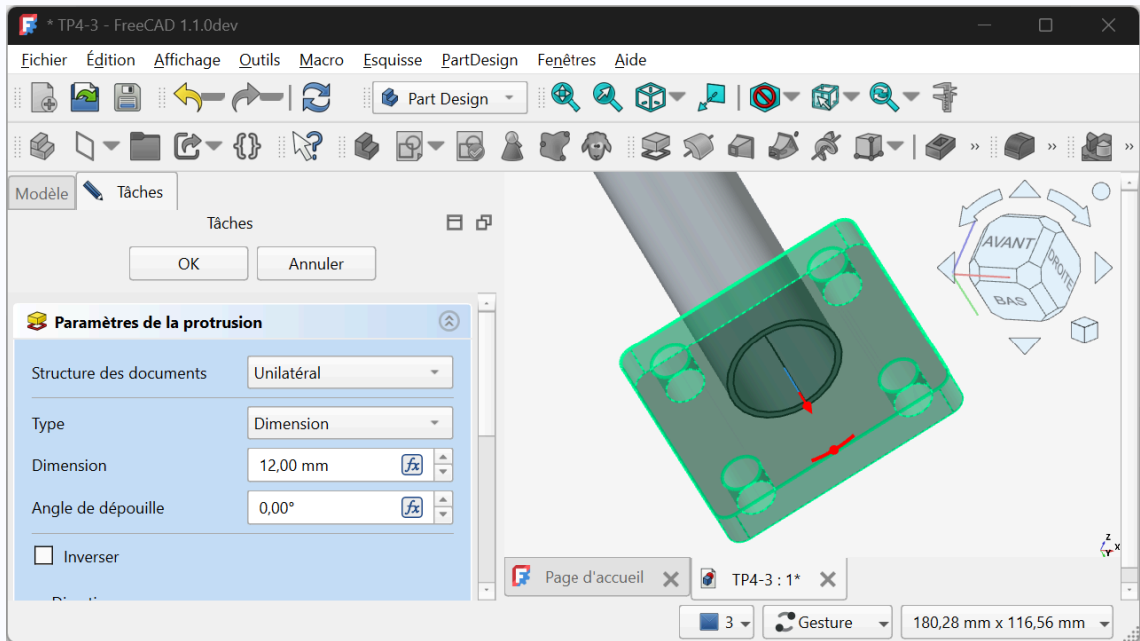
o sur  et  : **Ctrl** + **Alt**

o sur  : **⌘** + **Alt**

et sélectionner une arête de l'esquisse de la première platine pour la copier avec la commande  ;

☑️ Tâches à réaliser

- Créer la seconde protrusion  de 12 mm ;








Création de la seconde platine

4.2.4. 📹 Capture vidéo

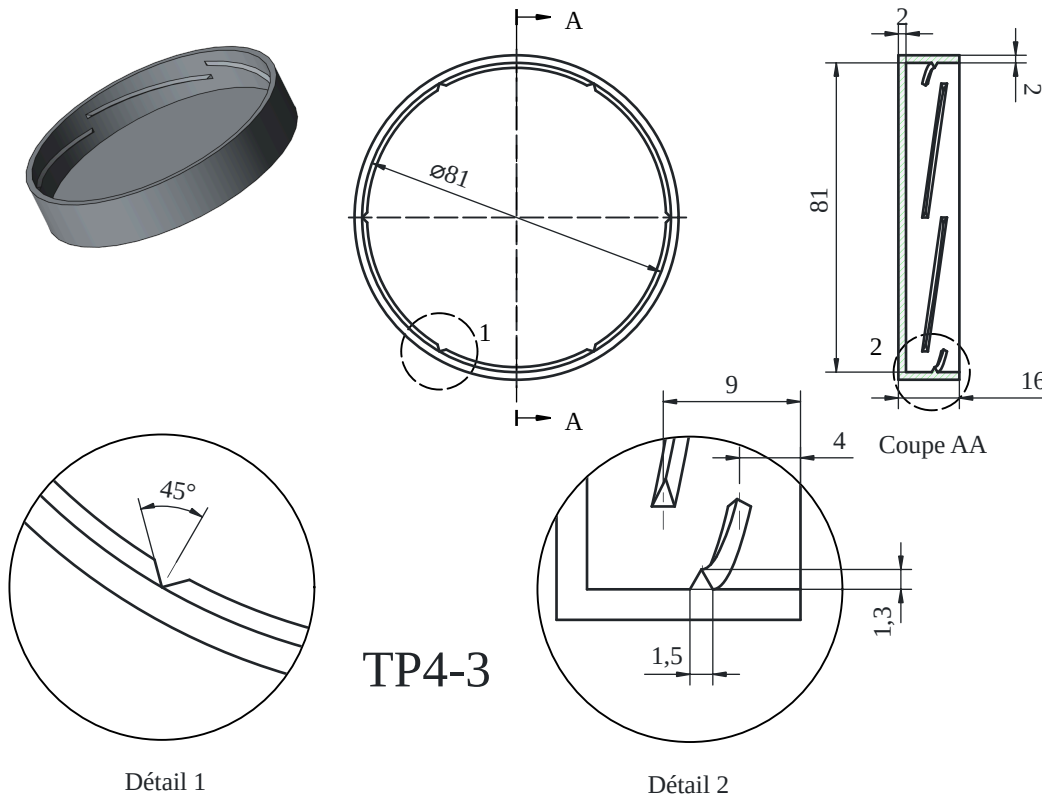


4.3. Hélice additive

🎯 Objectifs

- Utiliser la fonction paramétrique  Hélice additive ^W et la transformation Répétition circulaire  ^W de l'atelier  Part Design  ;
- Utiliser un jeu de variables Varset  ^W ;

Nous allons modéliser le solide suivant : (cf. [TP4-3-Plan.pdf](#))



Remarque

Il s'agit du bouchon d'un bocal en plastique qui sera réutilisé pour réaliser un piège à frelons et guêpes :



Bocal en plastique


Travail préliminaire

- Créer un nouveau document TP4-3 dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps ;

4.3.1. Jeu de variables

Varset


≈ Jeu de variables

La commande **Varset**  permet de créer un ensemble de variables qui pourront être utilisées dans des expressions pour définir des dimensions dans une esquisse ou l'application de fonction paramétrique. Toute modification d'une variable se répercutera dans la modélisation du solide.

Principaux type de variables


Propriété FreeCAD	Type	Unité par défaut	Remarque
App::PropertyAngle	Angle	°	
App::PropertyBool	Booléen		True / False
App::PropertyDistance	Distance	mm	
App::PropertyLength	Longueur	mm	ne peut être négatif
App::PropertyInteger	Entier		
App::PropertyFloat	Décimal		
App::PropertyString	Chaînes de caractères		

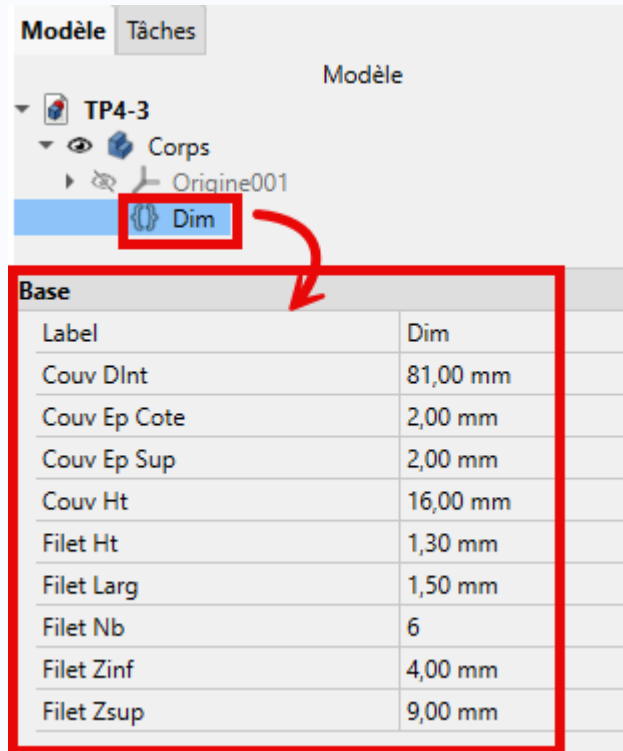
Conseil

Si vous avez un très nombre de variables à définir ou si vous avez des calculs à effectuer sur ces variables avant leur utilisation il est préférable d'utiliser des feuilles de calcul : cf.  Atelier Spreadsheet ^[p.229] ;


cf. W https://wiki.freecad.org/Std_VarSet/fr

Tâches à réaliser

- Sélectionner la commande Créer un jeu de variables  et créer le jeu suivant :



Jeu de variables à saisir

- Renommer ce jeu de variables   Dim ;

Nom	Type	Valeur	Label
CouvDint	Longueur	81 mm	Couv Dint
CouvEpCote	Longueur	2 mm	Couv Ep Cote
CouvEpSup	Longueur	2 mm	Couv Ep Sup
CouvHt	Longueur	16 mm	Couv Ht
FiletHt	Longueur	1.3 mm	Filet Ht
FiletLarg	Longueur	1.5 mm	Filet Larg
FiletNb	Entier	6	Filet Nb
FiletZinf	Longueur	4 mm	Filet Zinf
FiletZsup	Longueur	9 mm	Filet Zsup

💡 Nom des variables

FreeCAD détecte la convention `UpperCamelCase`^W pour l'affichage des noms de variable, par exemple « `CouvEpSup` » s'affichera « `Couv Ep Sup` » dans l'éditeur de propriétés :

- la variable est saisie en minuscule,
- l'utilisation d'une majuscule dans le nom de la variable marque le début d'un mot : FreeCAD ajoute un espace pour l'affichage ;

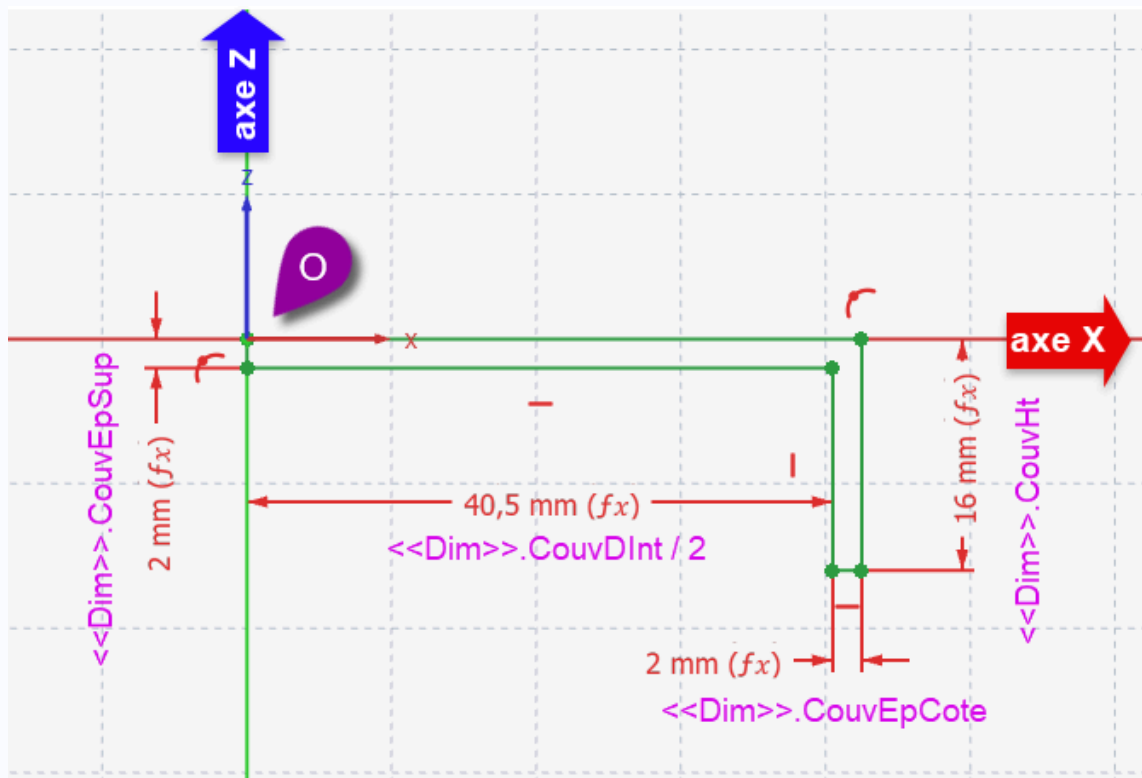
⚠️ Type de variable

- Toutes les variables sont des longueurs (App::PropertyLength) sauf `FiletNb` (App::PropertyInteger) ;

4.3.2. Création du couvercle

☑️ Tâches à réaliser


- Créer l'esquisse ci-dessous dans le plan XZ en utilisant le jeu de variables `{ } Dim` pour saisir les contraintes dimensionnelles ;










Esquisse du couvercle


💡 Utiliser la complétion automatique

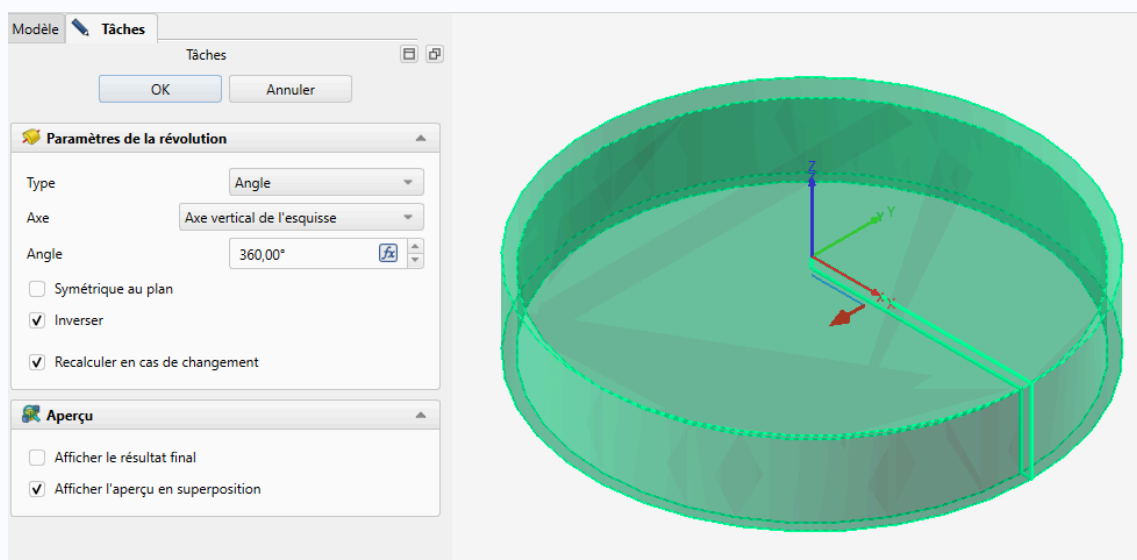
Par exemple, pour la contrainte de 40.5 mm, il faut saisir la formule `<<Dim>>.CouvDInt / 2` :

- Sélectionner la commande , la géométrie à contraindre, la position : FreeCAD ouvre la boîte de dialogue de dimension ;

- Cliquer sur le bouton  (ou appuyer sur le caractère ) : FreeCAD ouvre une 2^{nde} boîte de dialogue  Éditeur d'expression ;
- Saisir au clavier  dim : FreeCAD vous propose <<Dim>> ;
- Appuyer sur la touche  pour le sélectionner ;
- Taper les 3 premiers caractères  cou : FreeCAD affiche la liste des variables commençant par Cou ;
- Sélectionner à la souris ou au clavier  CouvDInt : FreeCAD complète la formule <<Dim>>.CouvDInt ;
- Ajouter /2 et valider ;

✓✓✓ Tâches à réaliser


- Créer une révolution  de 360° autour de l'axe vertical de l'esquisse ;

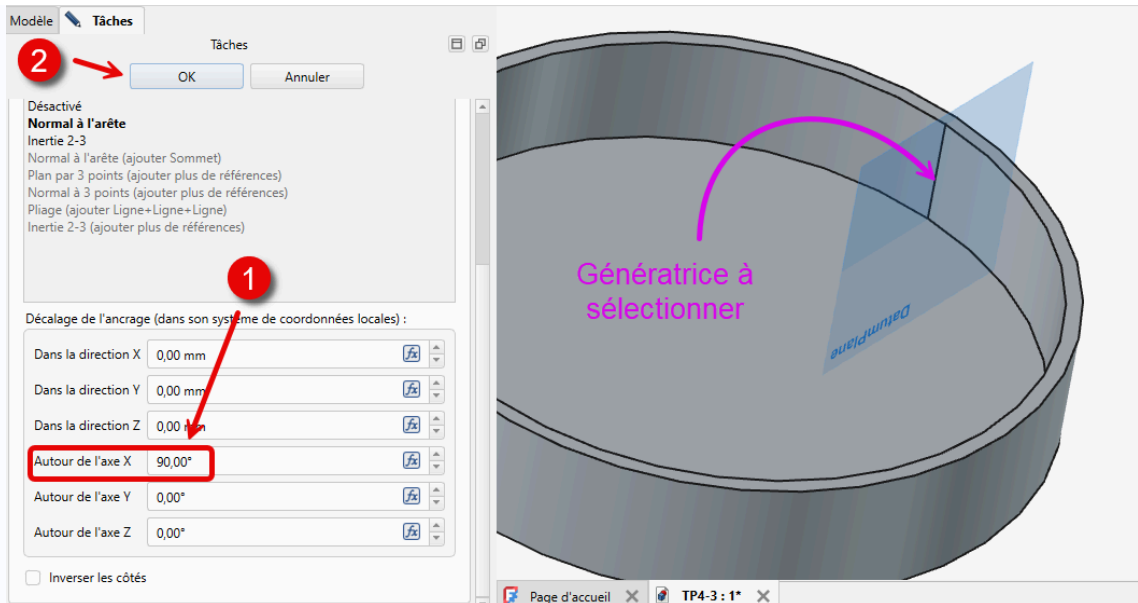


Création de la révolution



4.3.3. Création de l'hélice

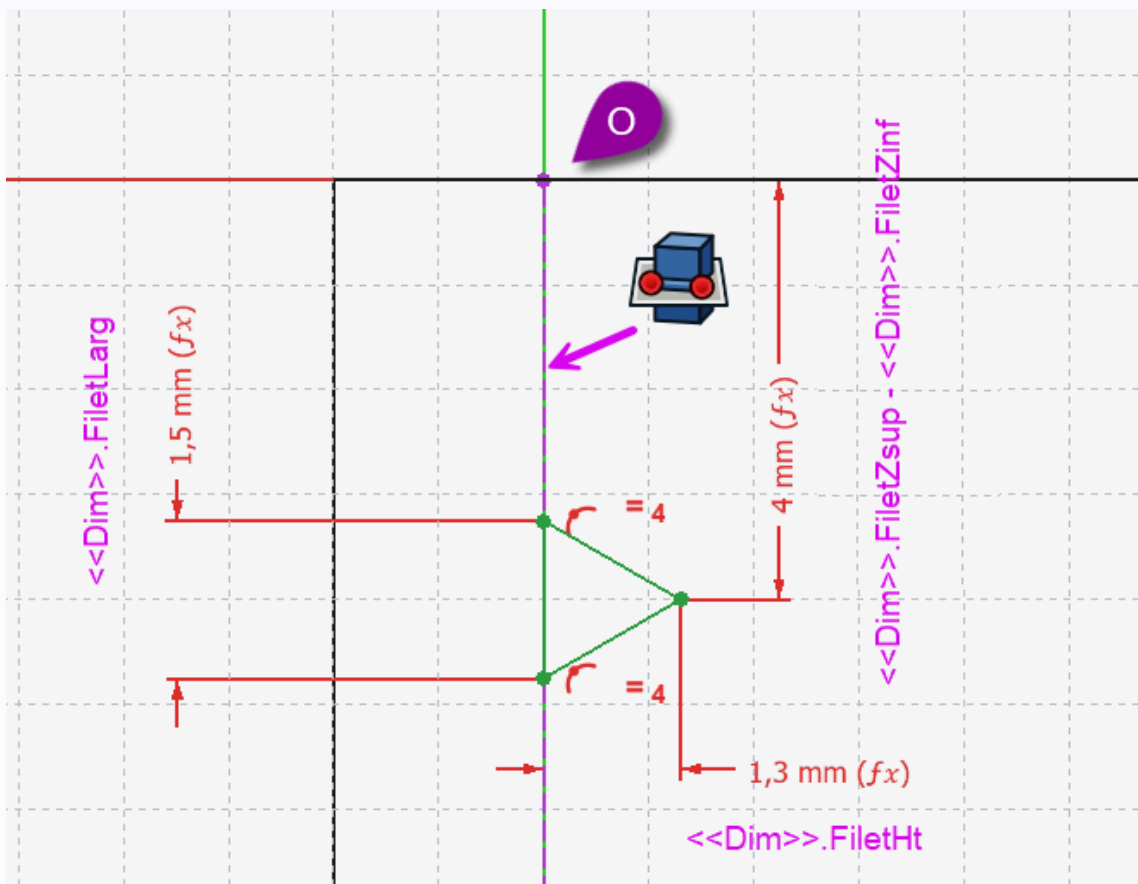
✓✓✓ Tâches à réaliser

- Sélectionner la génératrice **intérieure** du couvercle et créer un plan de référence  avec une rotation de 90° autour de l'axe X pour le rendre médian ;





Plan de référence pour la création de l'hélice

- Basculer en affichage filaire , sélectionner le plan de référence et créer l'esquisse  ci-dessous à l'aide d'une polyligne à 3 cotés :





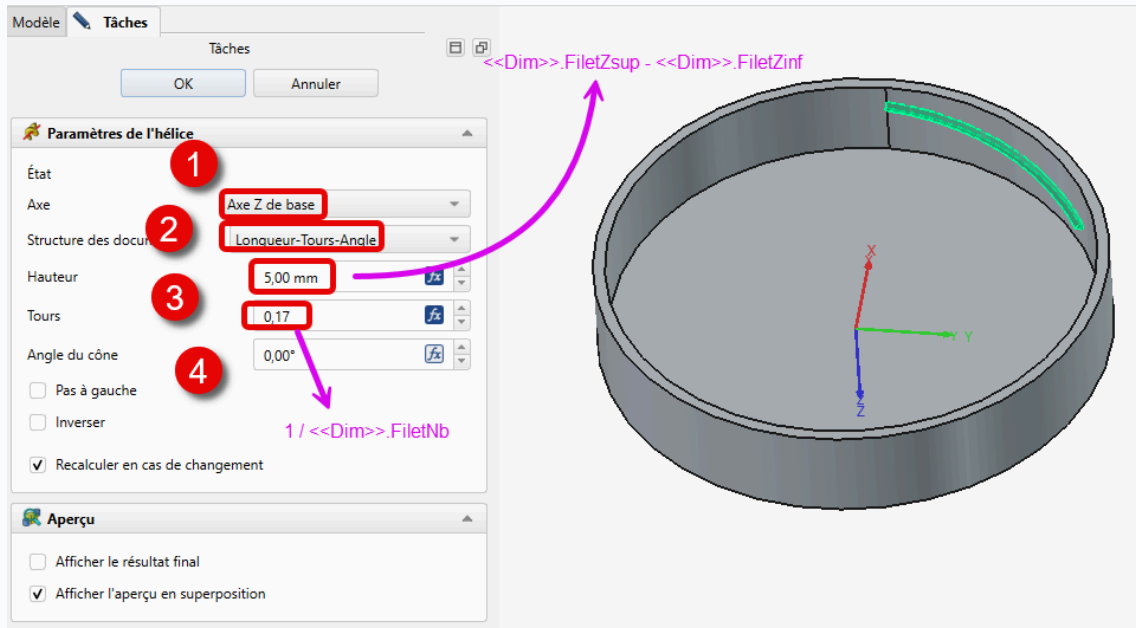
Esquisse pour l'hélice

Aide

- Après avoir créé l'esquisse, masquer le plan de référence  pour mieux visualiser l'esquisse ;
- Pour positionner le triangle isocèle, créer une géométrie externe de construction d'intersection  ;

Tâches à réaliser

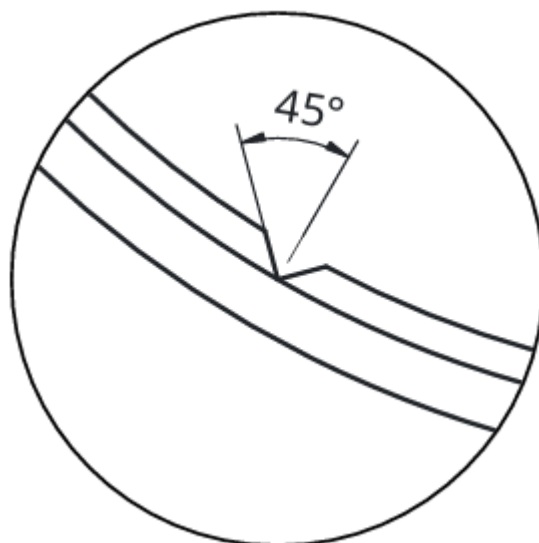
- Revenir en affichage Filaire ombrée  ;
- Sélectionner la dernière esquisse et créer une hélice  :




Création de l'hélice

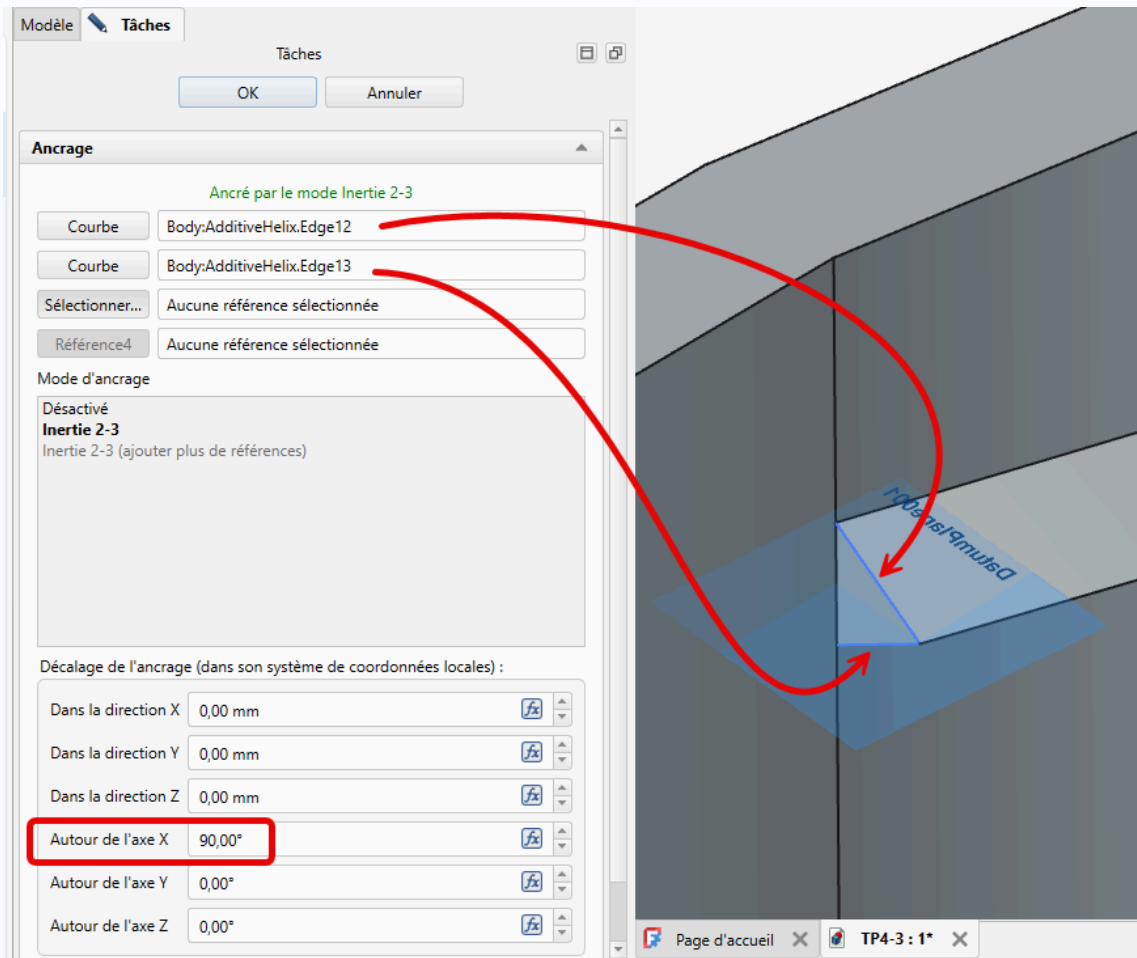
4.3.4. Biseutage de l'hélice

Nous allons biseauter les 2 extrémités de l'hélice :



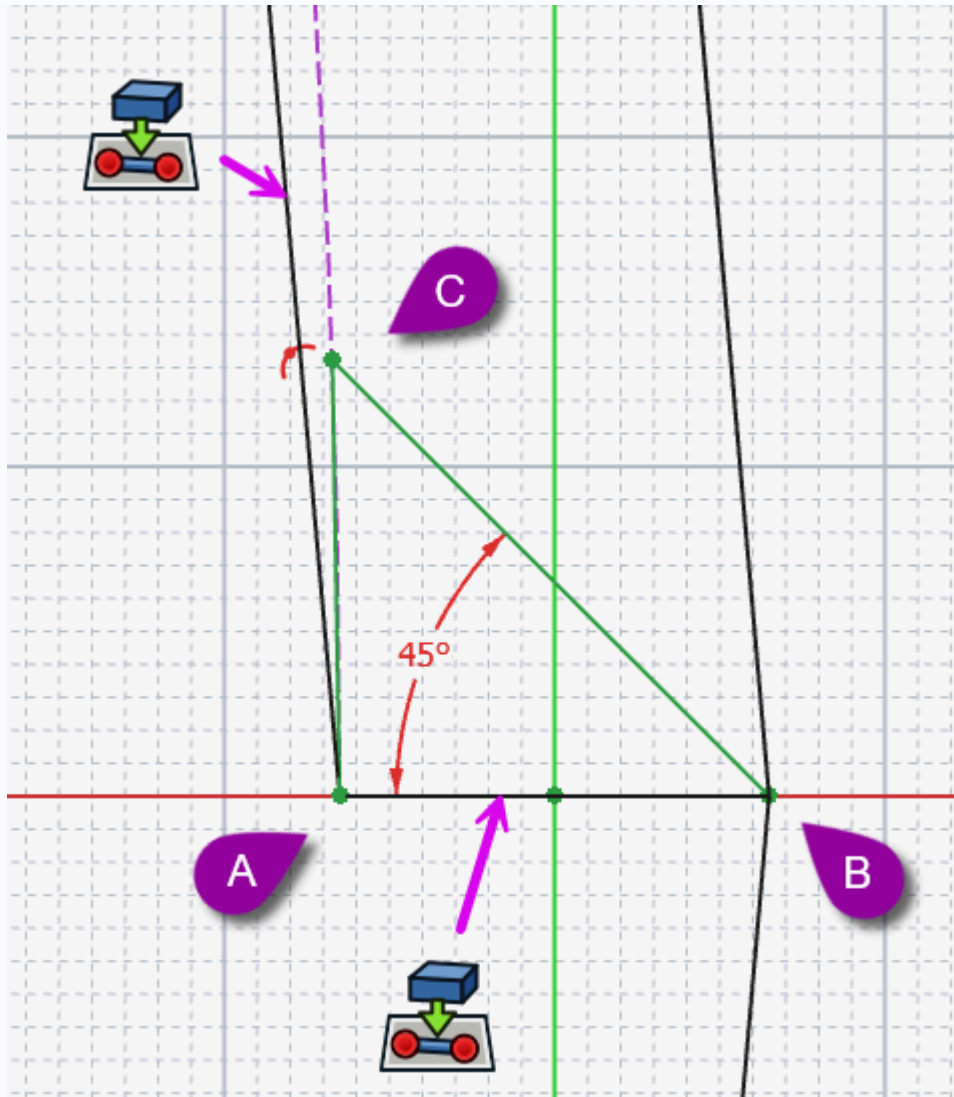
Tâches à réaliser

- A l'une des extrémités de l'hélice, sélectionner les deux cotés et créer un plan de référence  avec une rotation de 90° autour de l'axe X :






Plan de référence pour la création du biseau

- Sélectionner ce plan de référence et créer l'esquisse ci-dessous constitué d'une polygône ABC :



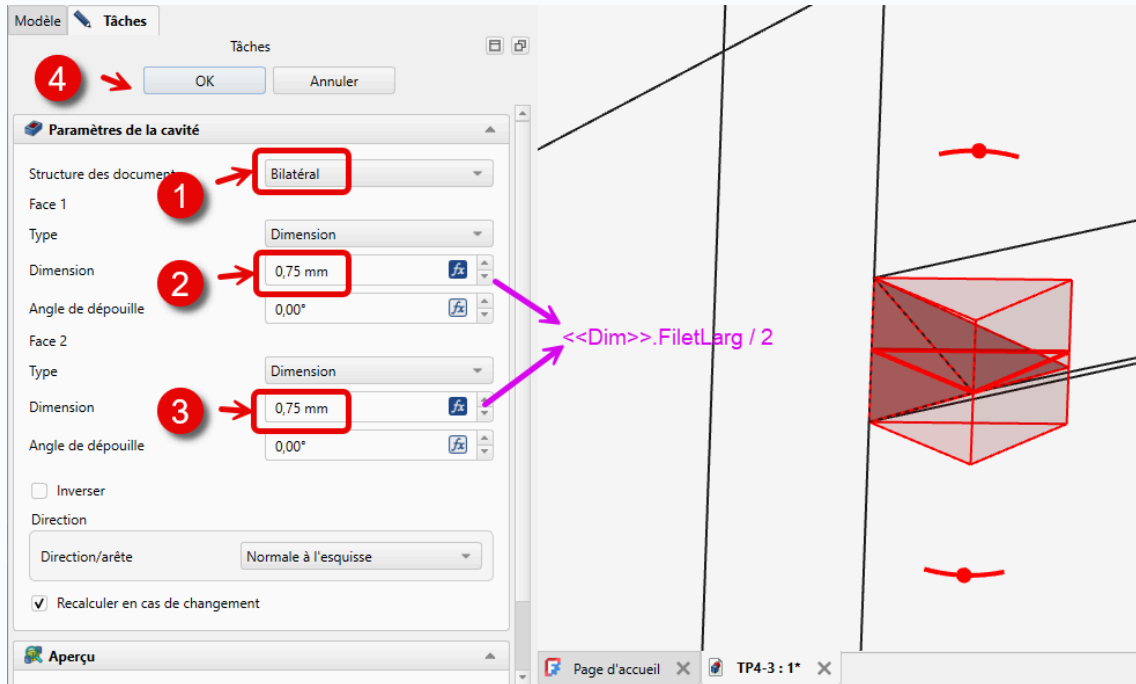
Esquisse pour le biseautage

Aide

- Basculer en affichage filaire  (**V** puis **3**) et masquer le plan de référence après la création de l'esquisse ;
- Pour positionner les points, créer deux géométries externes de construction par projection  ;
- Ajouter la contrainte d'angle  de 45° ;

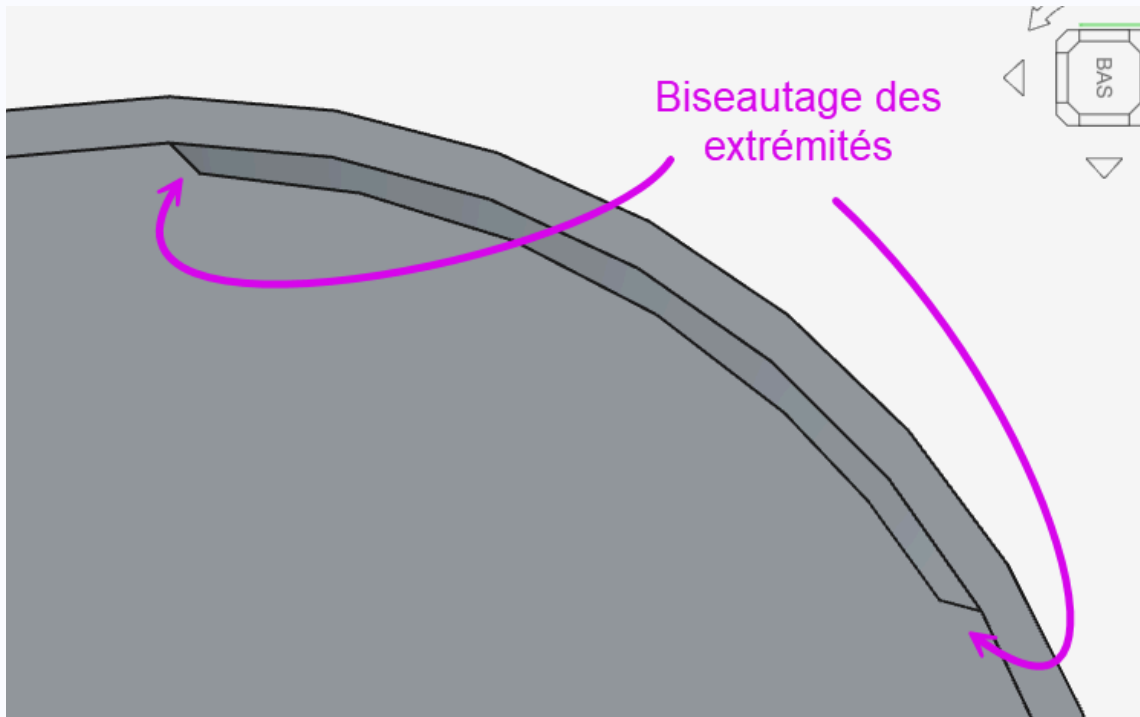
Tâches à réaliser

- Créer une cavité  bilatérale à l'aide de cette esquisse :







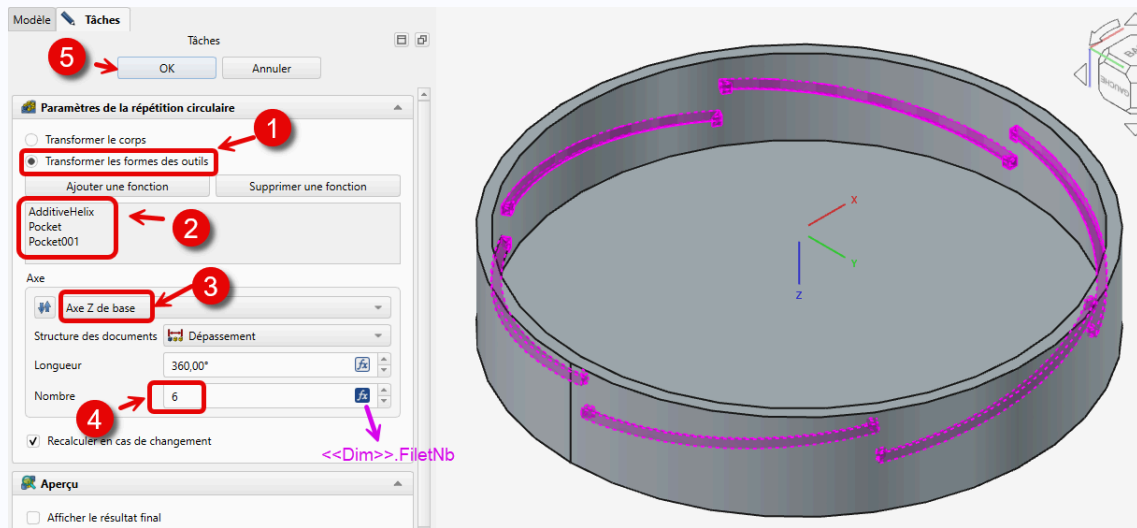
Création du biseau à l'aide d'une cavité

- Répéter la procédure pour biseauter l'autre extrémité de l'hélice :



Tâches à réaliser

- Créer une répétition circulaire  du nombre de filets des fonctions ,  AdditiveHelix, ,  Pocket et  Pocket001 :



Répétition circulaire

Aide

- Sélectionner 3 fonctions ,  AdditiveHelix,  Pocket et  Pocket001 avant de sélectionner la commande répétition circulaire  ;

4.3.5. Capture vidéo




5. Transformations

Autres fonctions paramétriques

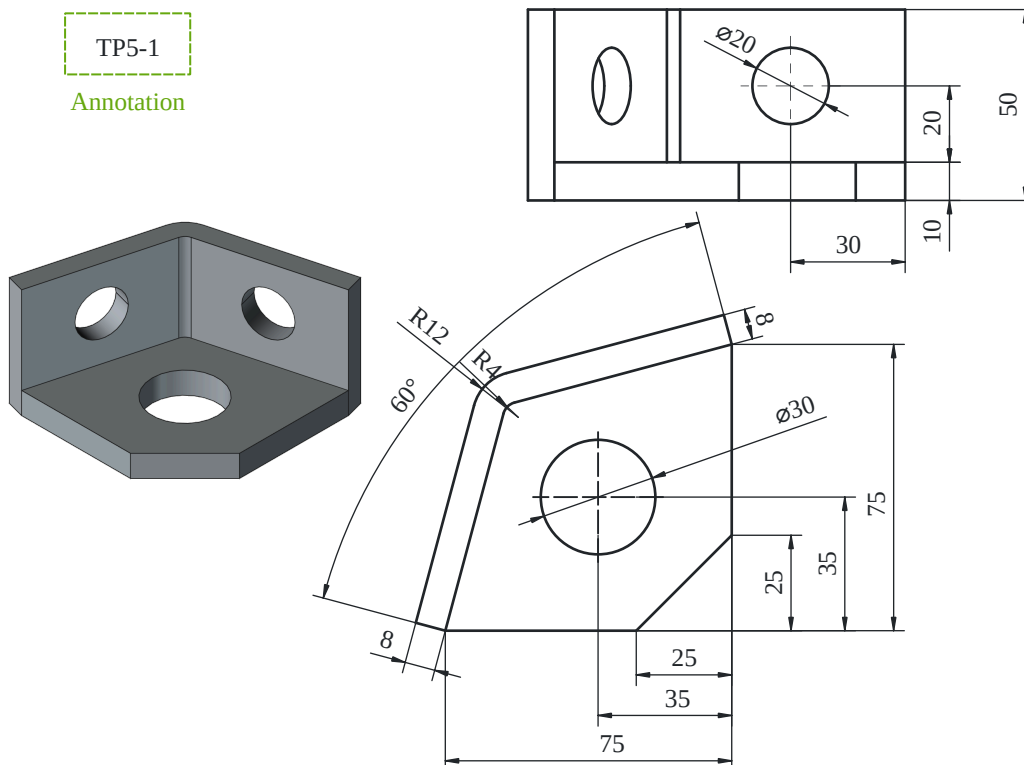
La transformation multiple  sera présentée lors du TP 6-2 ;

5.1. Symétrie



Objectifs

- Utiliser la transformation **Symétrie**^W  de l'atelier **Part Design**  ;
- Utiliser les contraintes **Perpendiculaire**^W , **Parallèle**^W  de l'atelier **Sketcher**  ;

Nous allons modéliser le solide suivant : (cf [TP-5-1-Plan.PDF](#))




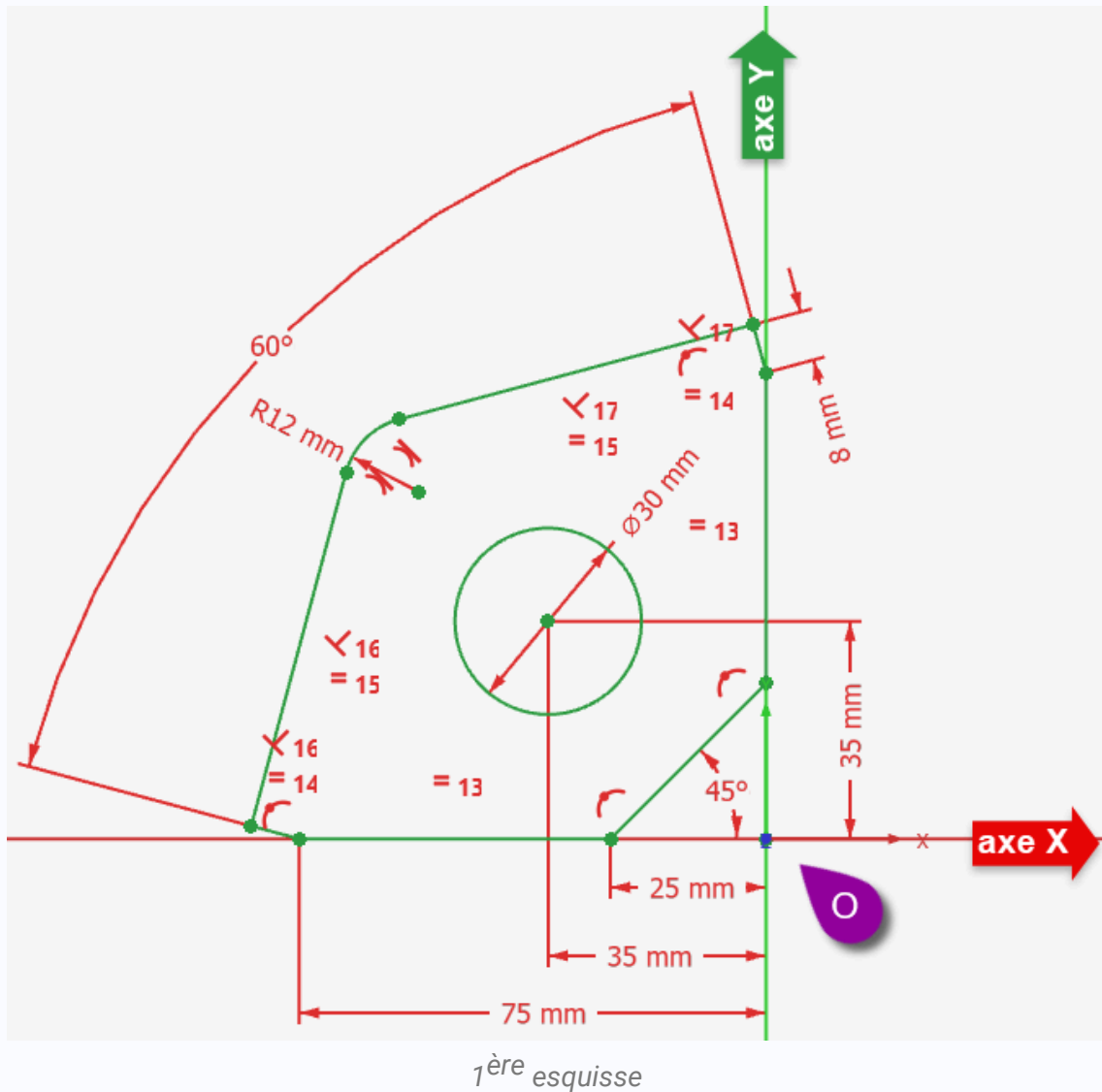
Tâches préliminaires

- Créer un nouveau document  TP5-1 dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps  ;

5.1.1. Création de la base

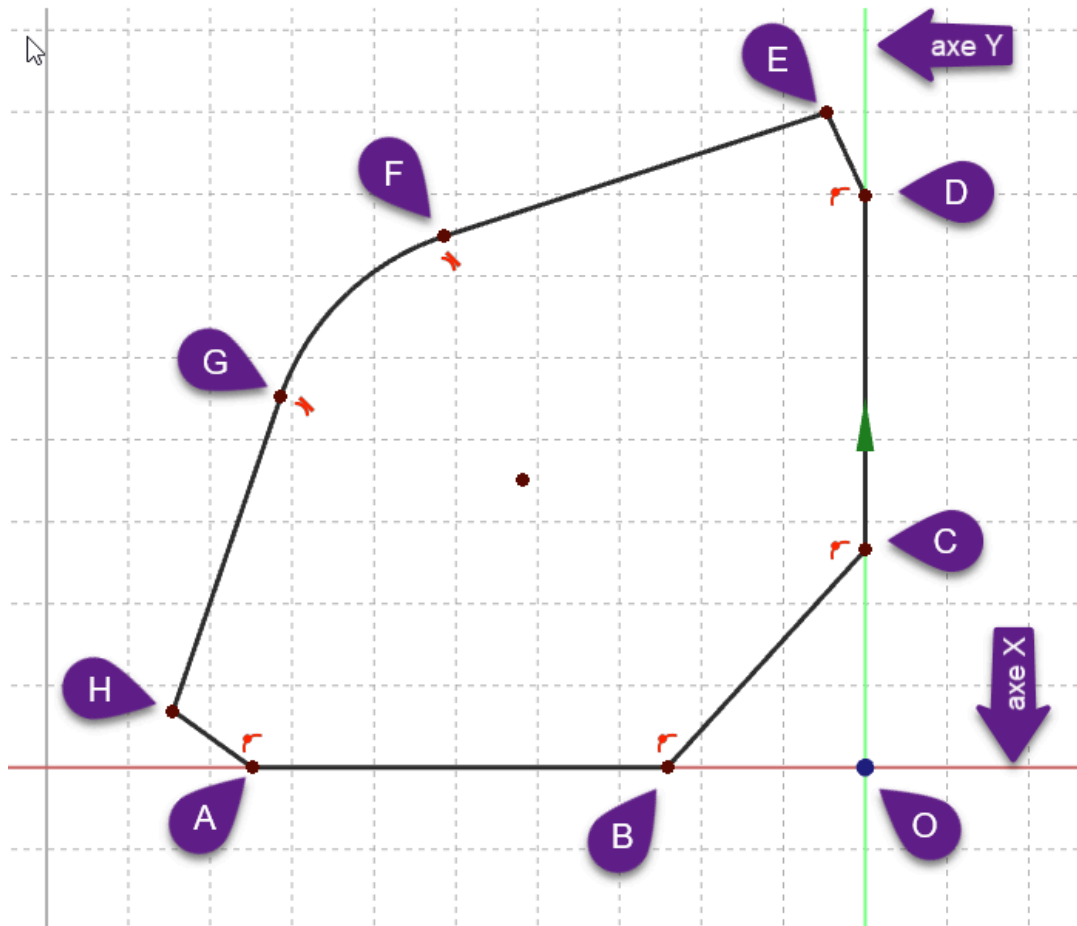
Tâches à réaliser

- Créer une 1^{ère} esquisse  dans le plan XY ;






Aide :





- Créer le contour fermé à l'aide d'une **seule** polyligne  en utilisant les contraintes automatiques du tableau ci-dessous ;



Contour approximatif de la 1^{ère} esquisse

Tableau des contraintes automatiques à exploiter

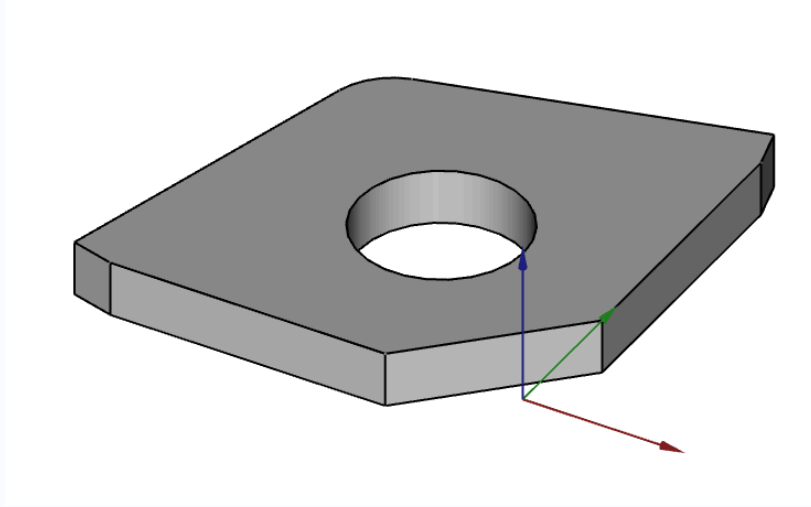
Géométries	Points	Contraintes automatiques
Polyligne	A, B	 sur l'axe X
	C, D	 sur l'axe Y
	E, F	Aucune contrainte
	G	Appuyer 3 fois sur M pour créer un arc tangent au segment précédent
	H	Aucune contrainte
	A	 avec le point A pour fermer la polygline

- Ajouter la contrainte d'égalité  respectivement entre [AB]&[CD], [GH]&[EF] et [ED]&[HA]
- Ajouter la contrainte  respectivement entre [DE]&[EF] et entre [GH]&[HA] ;
- Ajouter la contrainte d'angle  de 60° entre [ED]&[HA] et de 45° entre [BC] et l'axe X ;
- Vérifier que le contour est fermé puis ajouter les contraintes dimensionnelles  ;

- Ajouter le cercle centré  et contraindre le diamètre et la position de son centre ;


Tâches à réaliser - suite

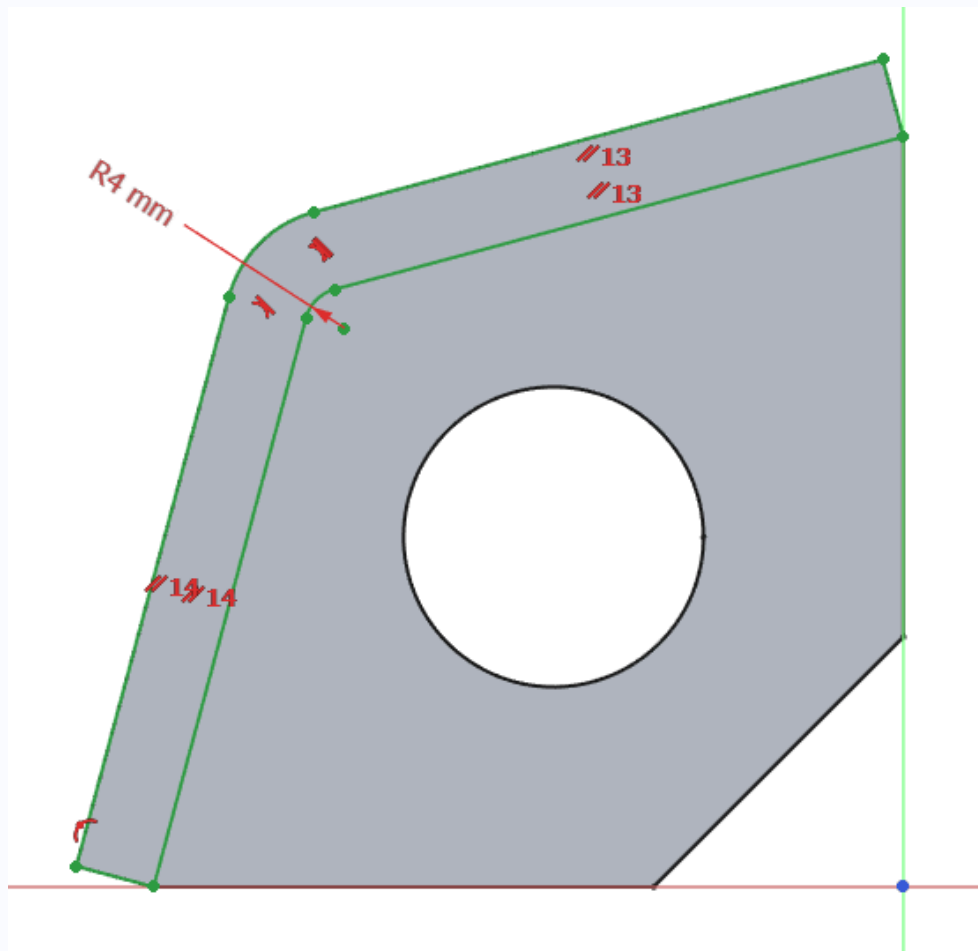
Créer une protrusion  de 10 mm **inversée** ;



5.1.2. Création de la paroi verticale


☑ Tâches à réaliser

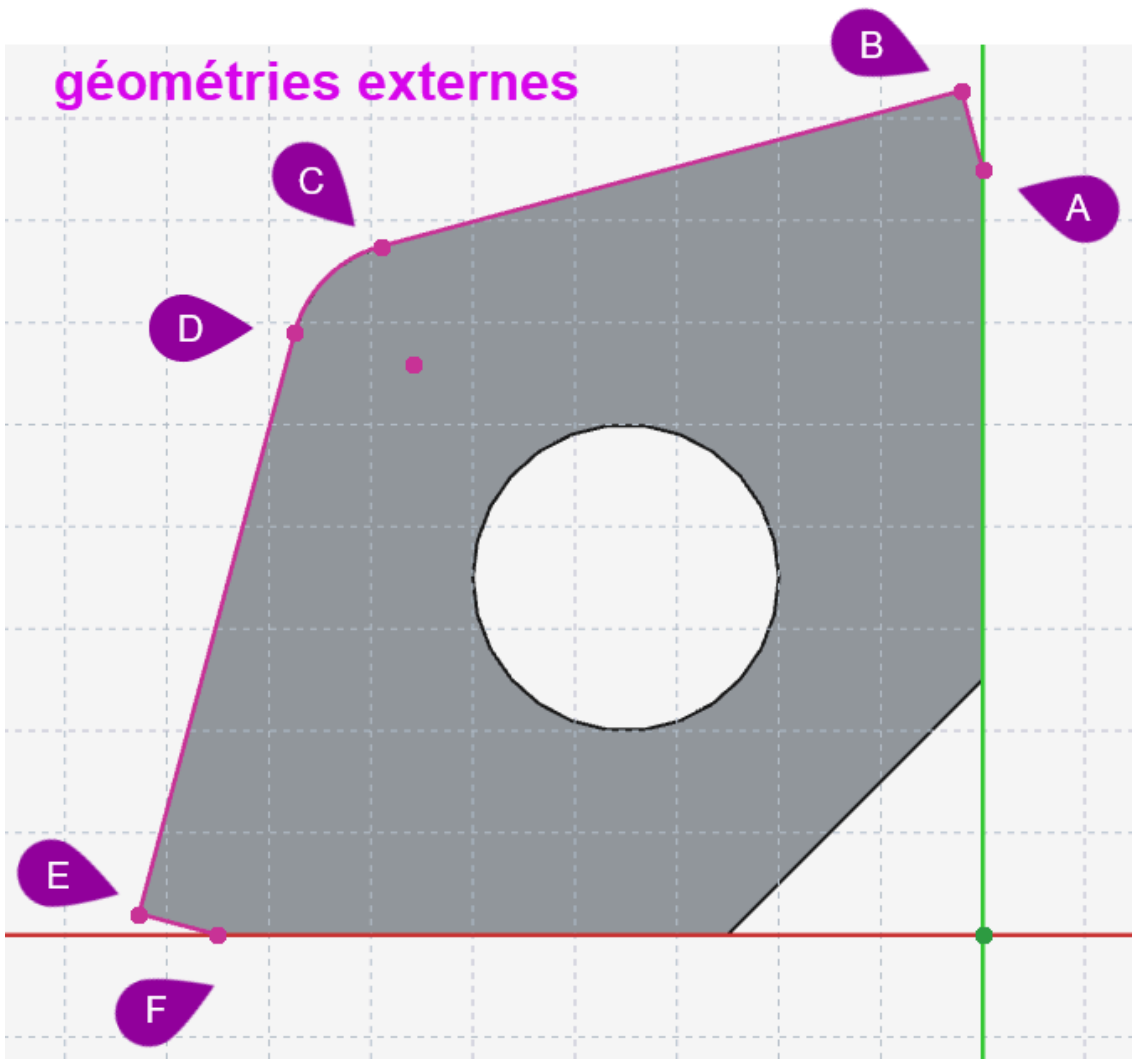
- Sélectionner la face supérieure de la protrusion et créer l'esquisse  ci-dessous ;




2^{ème} esquisse

💡 Aide

- Vérifier que vous êtes en mode **géométrie réelle** (boutons des géométries colorés en blanc) ;
- Créer la géométrie externe réelle ABCDEF à l'aide de commandes  ;



Géométries externes pour le 2^{nde} esquisse

- Créer la polyligne  FGHA afin de créer un **contour fermé** en utilisant les contraintes automatiques suivantes :

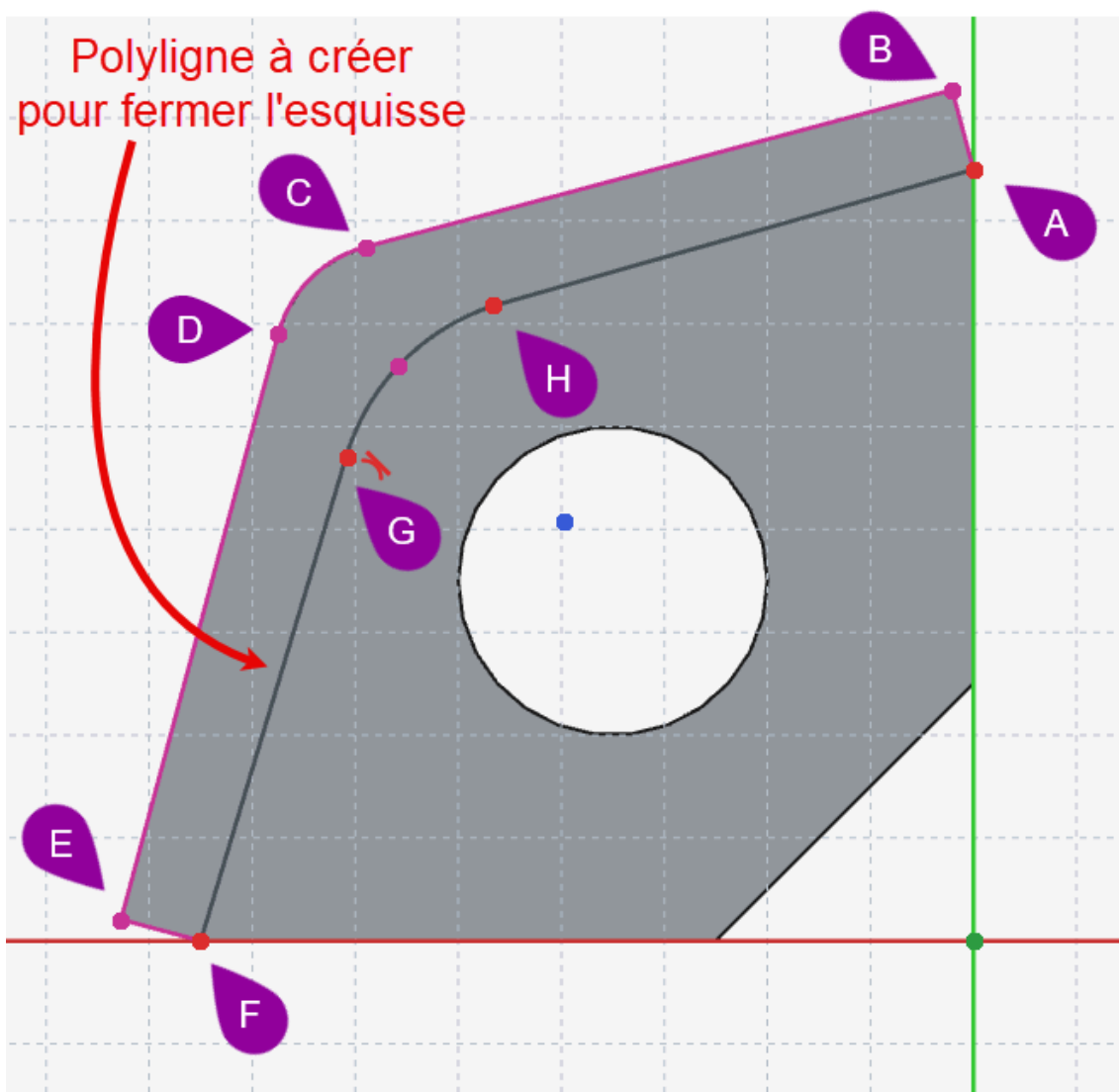







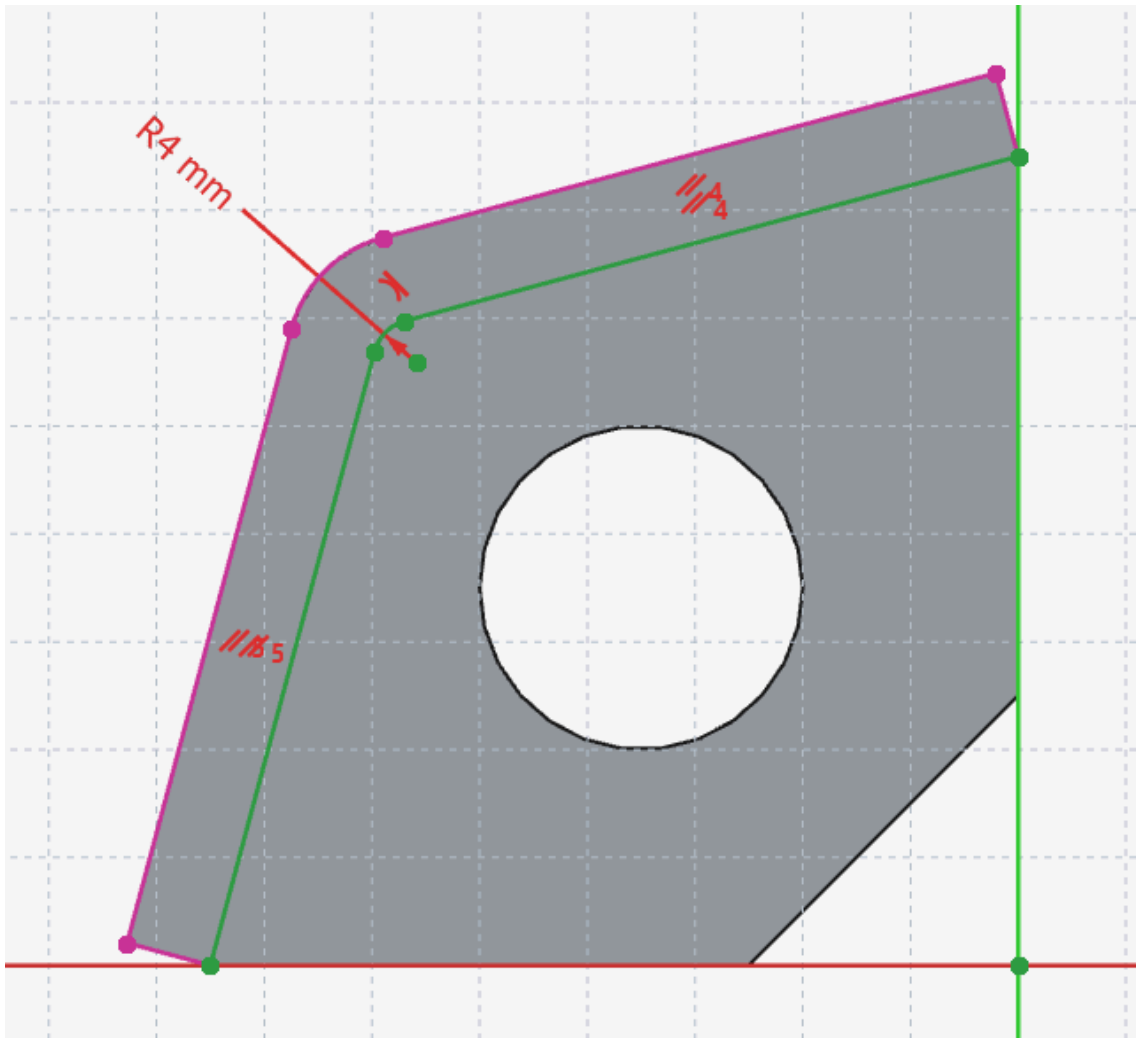


Tableau des contraintes automatiques à exploiter


Géométries	Points	Contraintes automatiques
Polyligne 	F	 avec le point F de la géométrie externe
	G	Aucune contrainte
	H	Appuyer 3 fois sur M pour créer un arc tangent au segment précédent ;
	A	Appuyer 2 fois sur M pour revenir au mode par défaut ;  avec le point A de la géométrie externe

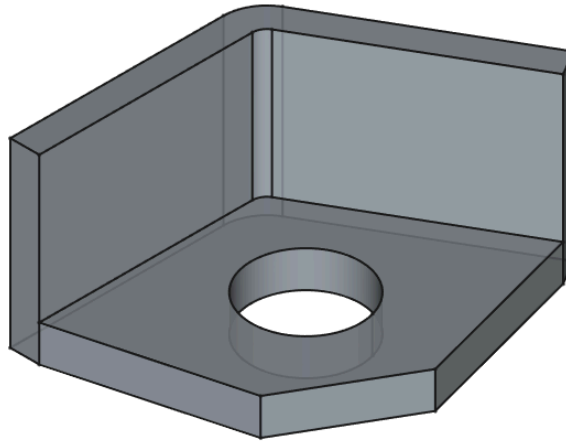
- Utiliser la contrainte  respectivement entre les segments [AH] et [BC] et entre les segments [DE] & [FG] ;
- Utiliser la contrainte  entre les segments [FG] et [HA]
- Utiliser la contrainte  entre le segment [HA] et l'arc [GH] ;
- Fixer le rayon  de l'arc [GH] à 4 mm ;



Esquisse n°2


☑☑☑ Tâches à réaliser - suite

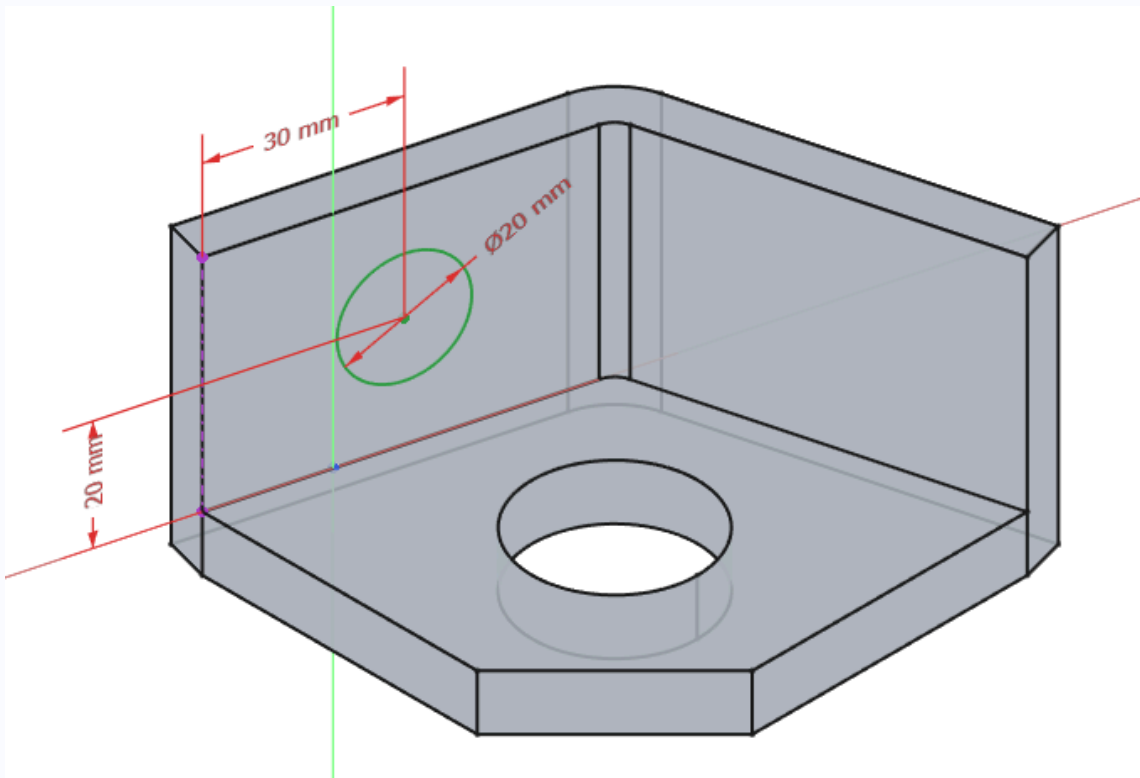
- Créer une protrusion  de 40 mm ;







5.1.3. 1er trou dans la paroi verticale

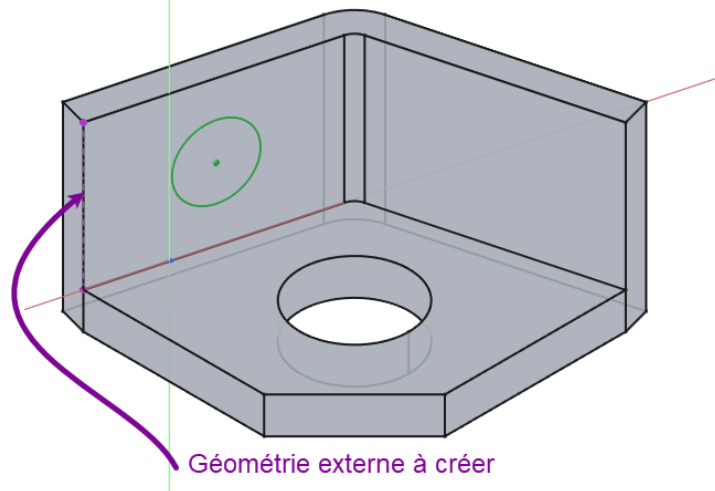
☑☑☑ Tâches à réaliser



- Sélectionner la face verticale intérieure et créer une nouvelle esquisse  ;



💡 Quelques conseils

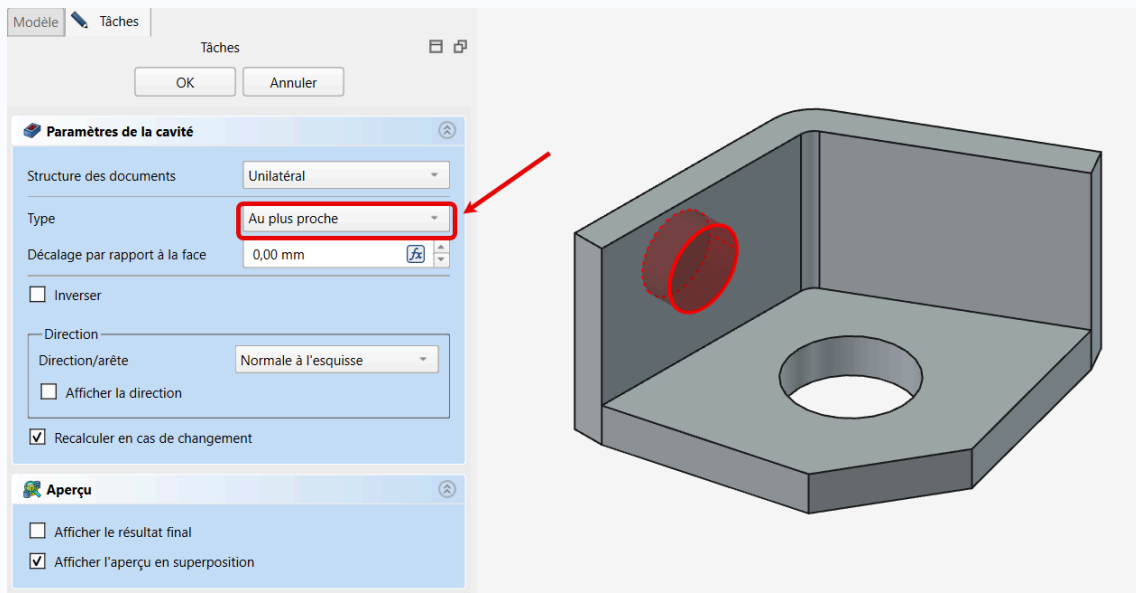
- Basculer en vue isométrique  () pour mieux visualiser la position du cercle ;
- Basculer en mode Géométrie de construction  et créer la géométrie externe de construction ci-dessous à l'aide de la commande  ;



- Revenir en mode géométrie de définition  et créer le cercle centré , contraindre le diamètre et la position de son centre à l'aide la géométrie externe ;

☑️ Tâches à réaliser - suite

- Créer une cavité  du type  le plus proche ;

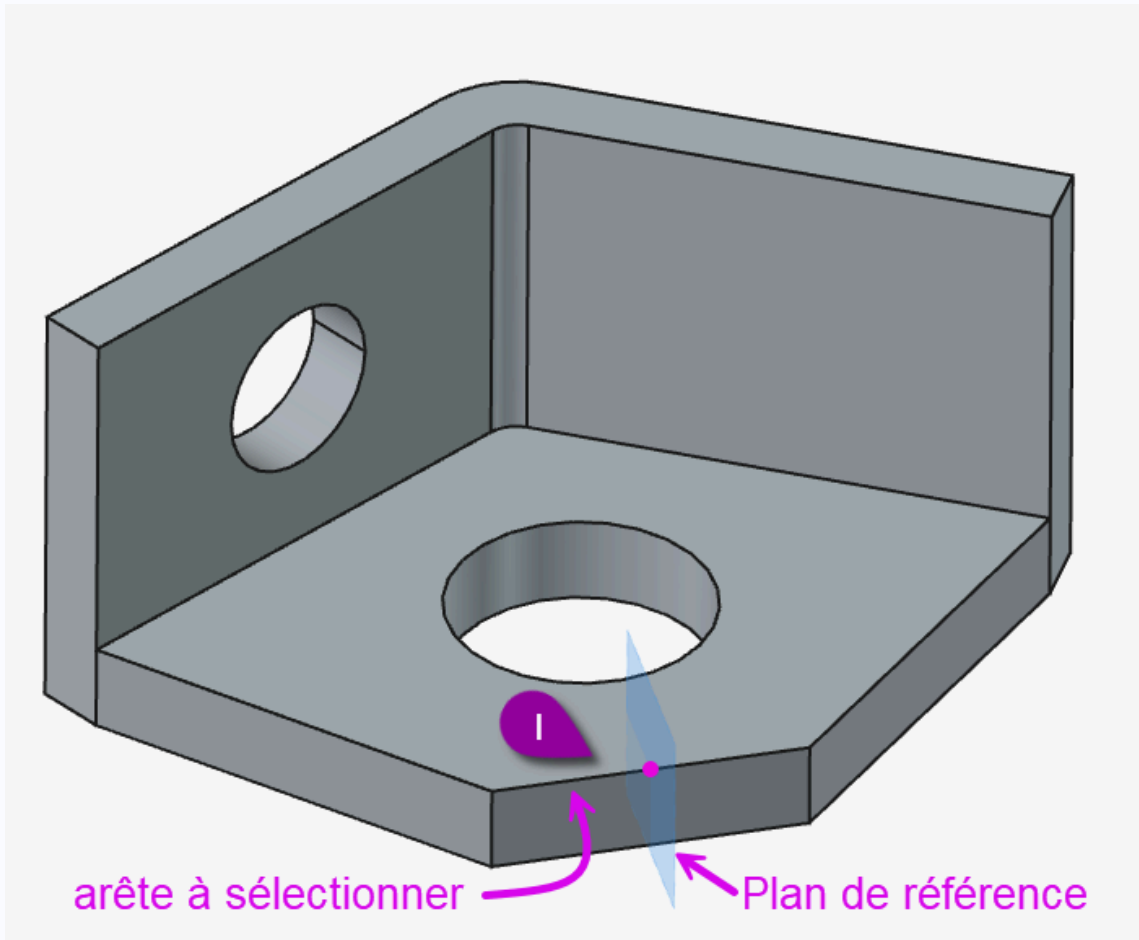


Création de la cavité

5.1.4. 2^{ème} trou dans la paroi verticale



☑️ Tâches à réaliser

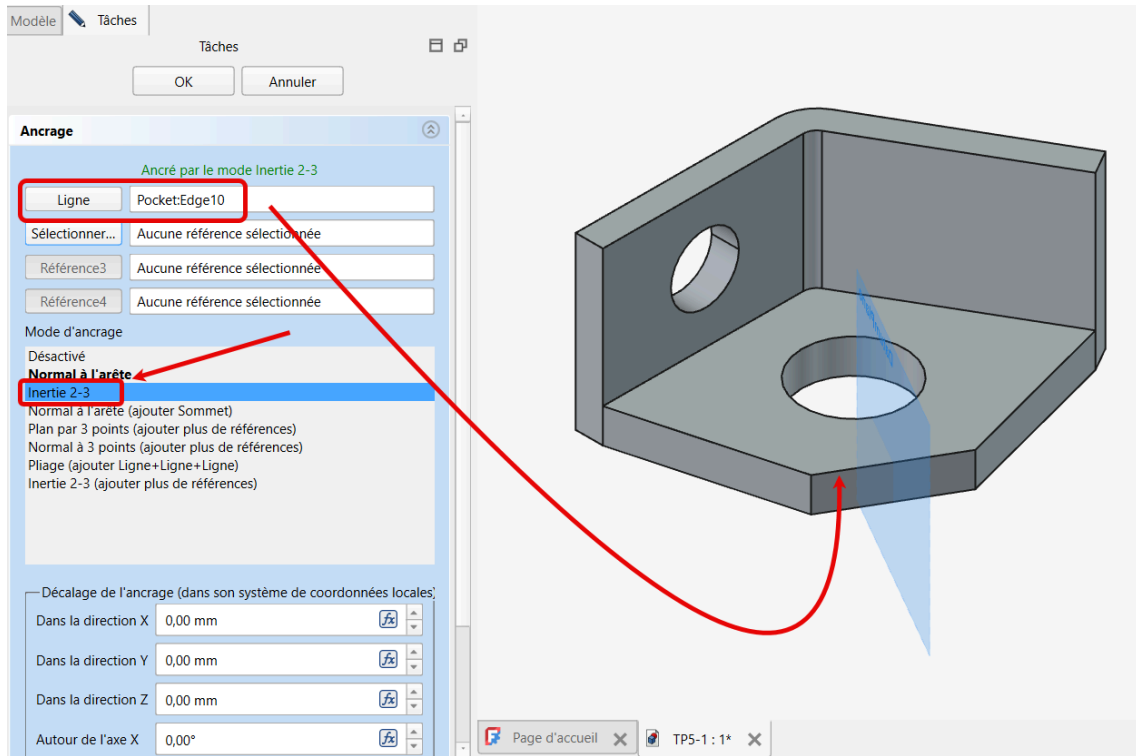
- Créer un plan de référence normal  à l'arête et passant par le milieu I de cette arête ;



Plan de référence à créer




💡 Aide pour créer le plan de référence :

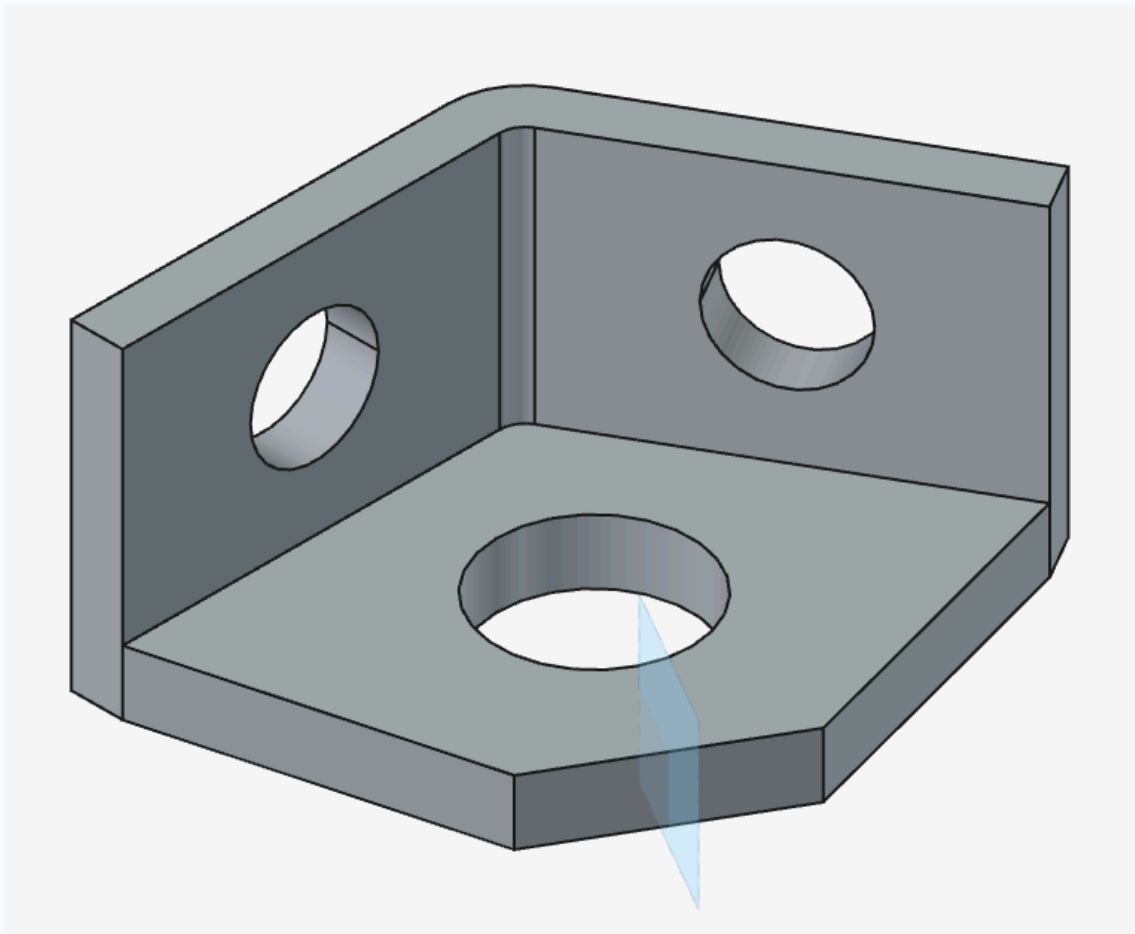
- Sélectionner l'arête ;
- Sélectionner la commande  ;
- Sélectionner le mode d'accrochage  Inertie 2-3 ;






Création de plan de référence

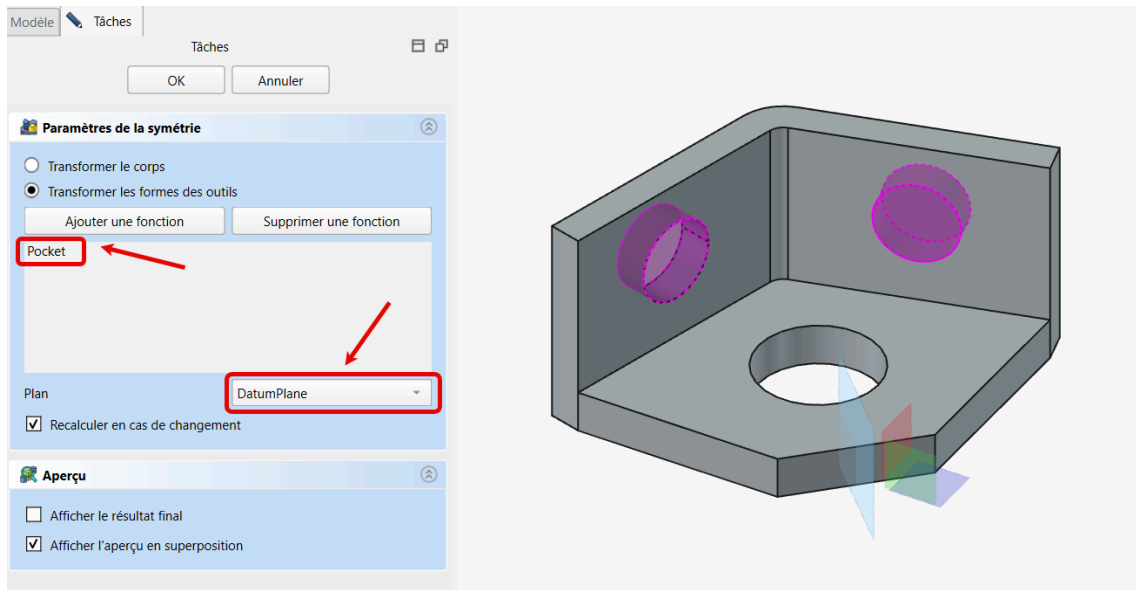
☑☑☑ Tâches à réaliser (suite)

- Créer une symétrie  de  Pocket par rapport à ce plan de référence  DatumPlane ;



Aide pour créer la symétrie :

1. Sélectionner  Pocket dans la vue **Modèle** ;
2. Sélectionner la commande  ;
3. Cliquer sur bouton déroulant  Plan, sélectionner l'option **Sélectionnez une référence** et cliquer sur le plan de référence DatumPlane ;





Création de la symétrie

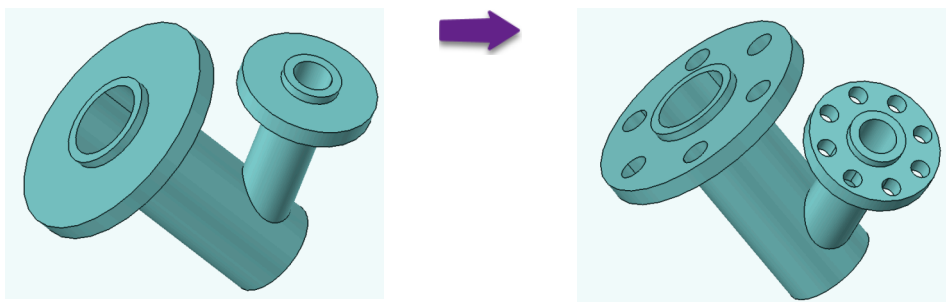
5.2. Répétition circulaire

Objectifs


Dans l'atelier  Part Design  :

- Utiliser la commande **Répétition circulaire**^W  ;
- Utiliser la commande **Créer une ligne de référence**^W  ;

Nous allons ajouter des trous de fixation au solide du TP 3-4 : (cf. [Plan TP5-2.pdf](#))





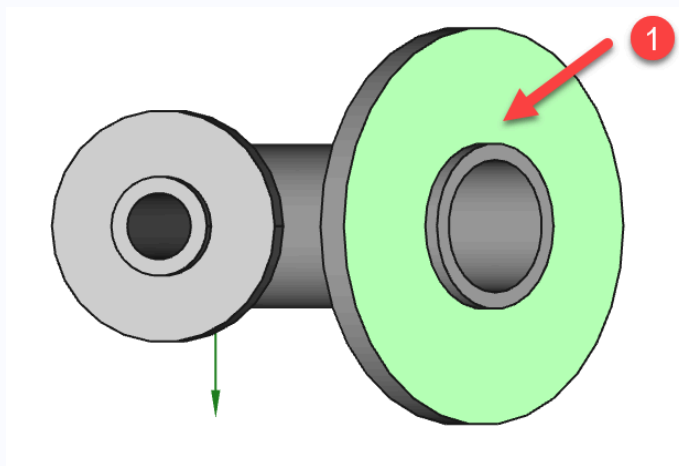
Tâches à réaliser

- Télécharger sur votre ordinateur le fichier [TP5-2-initial.FCStd](#) et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer le document sous le nom  TP5-2 ;

5.2.1. Trous sur la grande platine

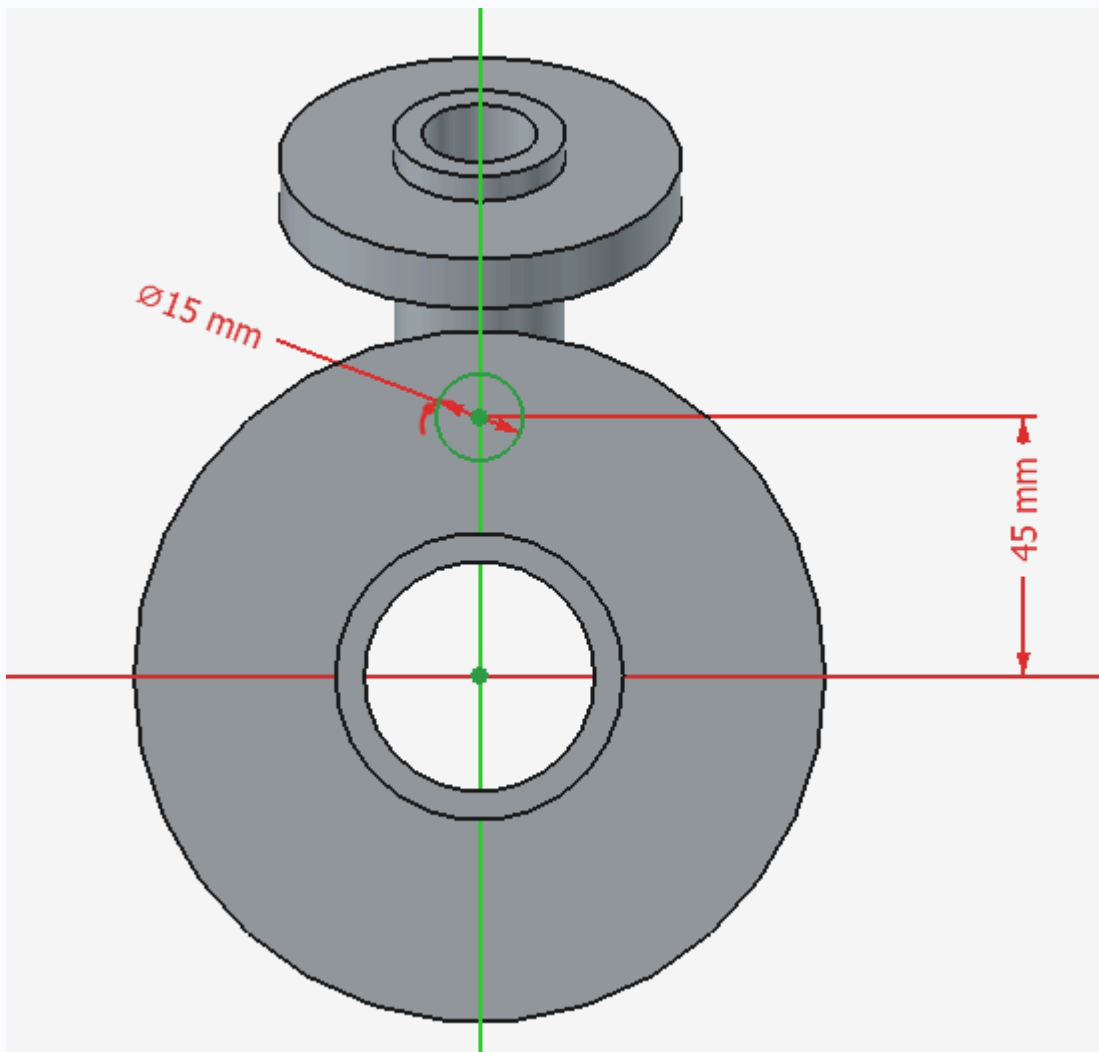
Tâches à réaliser

- Dans la vue **Modèle**, cliquer droit sur   Corps et l'activer ;
- Sélectionner la face externe de la grande platine :



Face à sélectionner

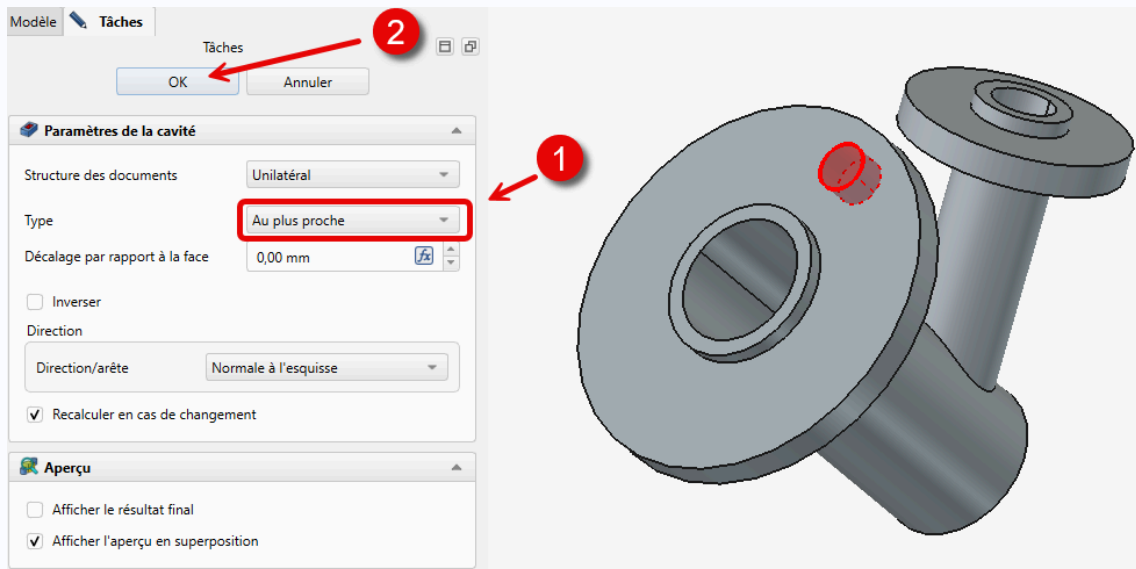
- Créer l'esquisse  ci-dessous :




Esquisse à créer

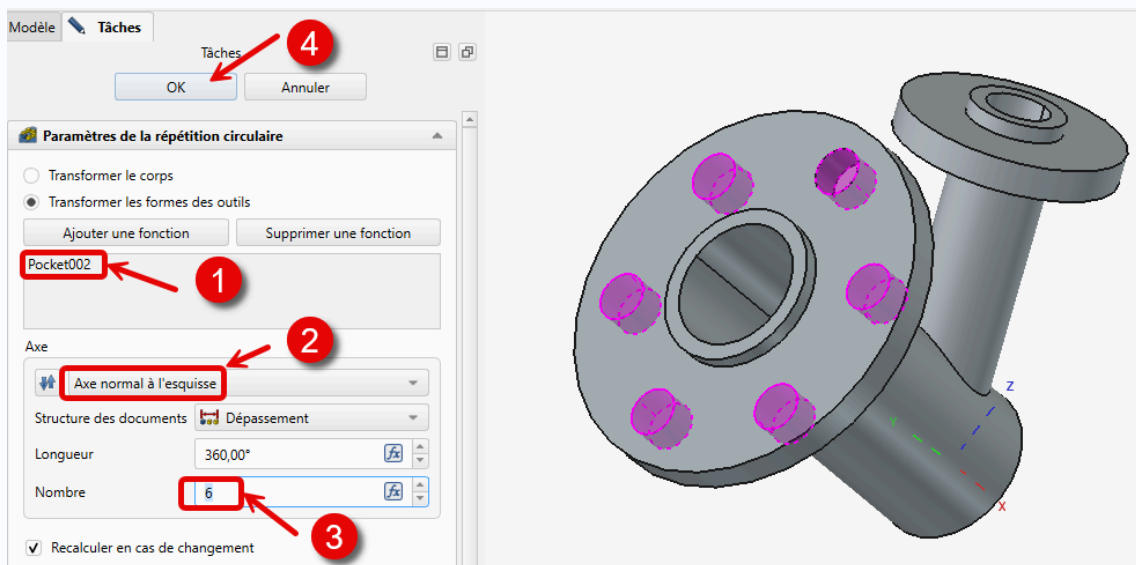
Tâches à réaliser


- Créer une cavité  du type  le plus proche à partir de cette esquisse ;



Création de la cavité sur la grande platine

- Créer une répétition circulaire  en sélectionnant la cavité que vous venez de créer avec 6 occurrences ;

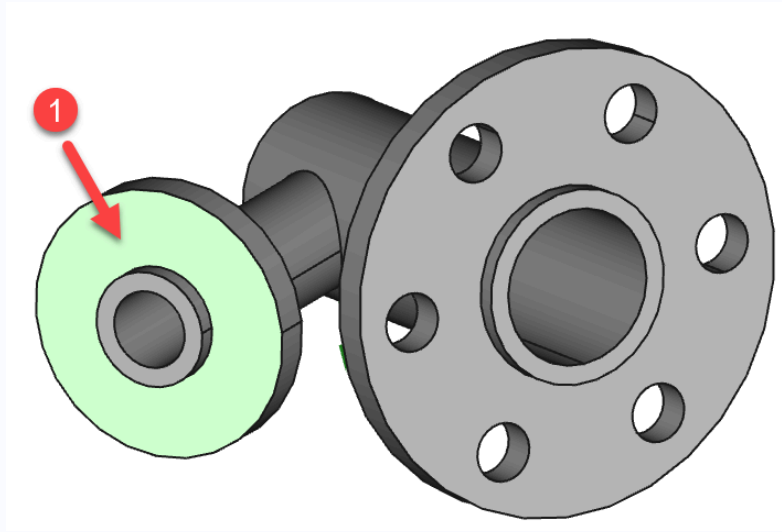


Répétition circulaire de la cavité  Pocket002

5.2.2. Trous sur la petite platine

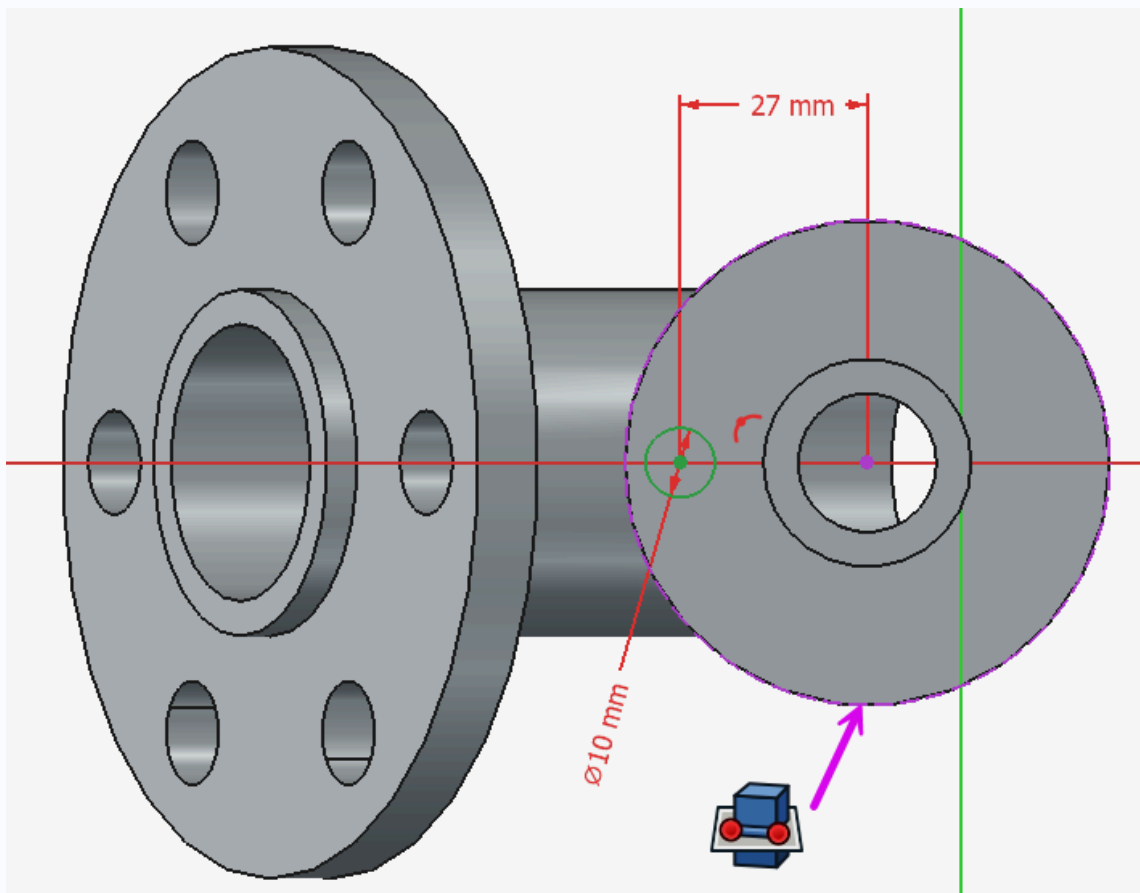
☑☑☑ Tâches à réaliser



- Sélectionner la face externe de la petite platine :

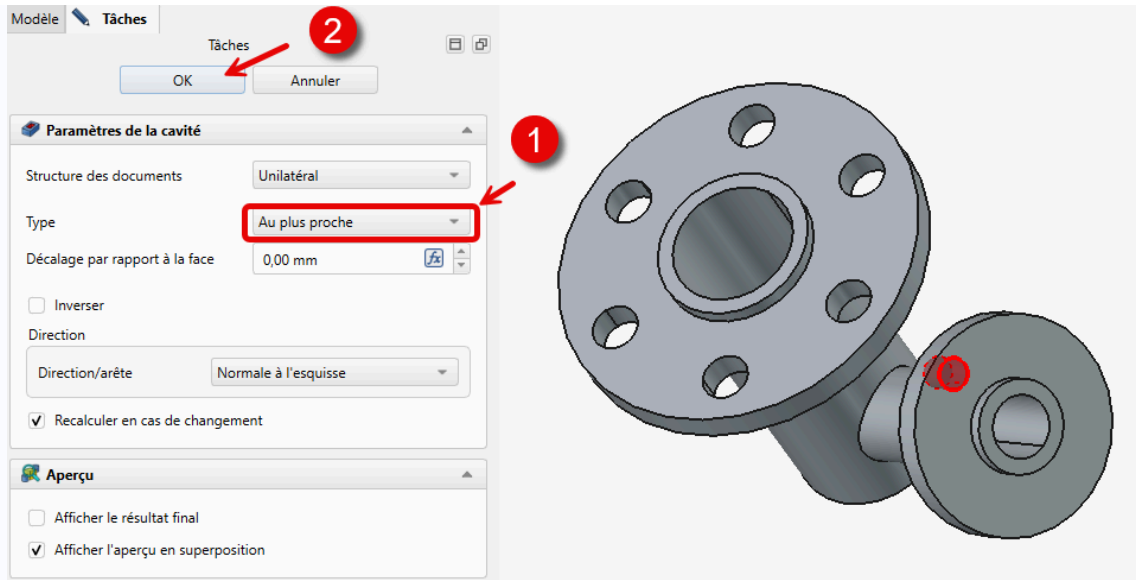


Face à sélectionner



- Créer l'esquisse  ci-dessous ;

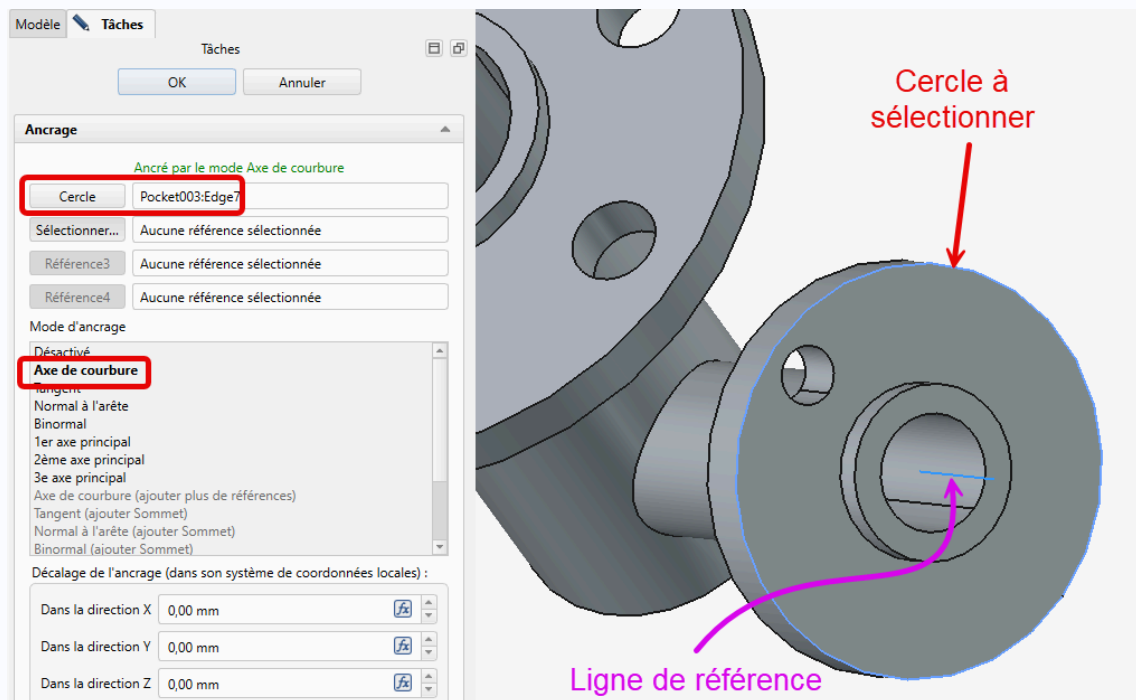


- Créer une cavité  du type  le plus proche à partir de cette esquisse ;




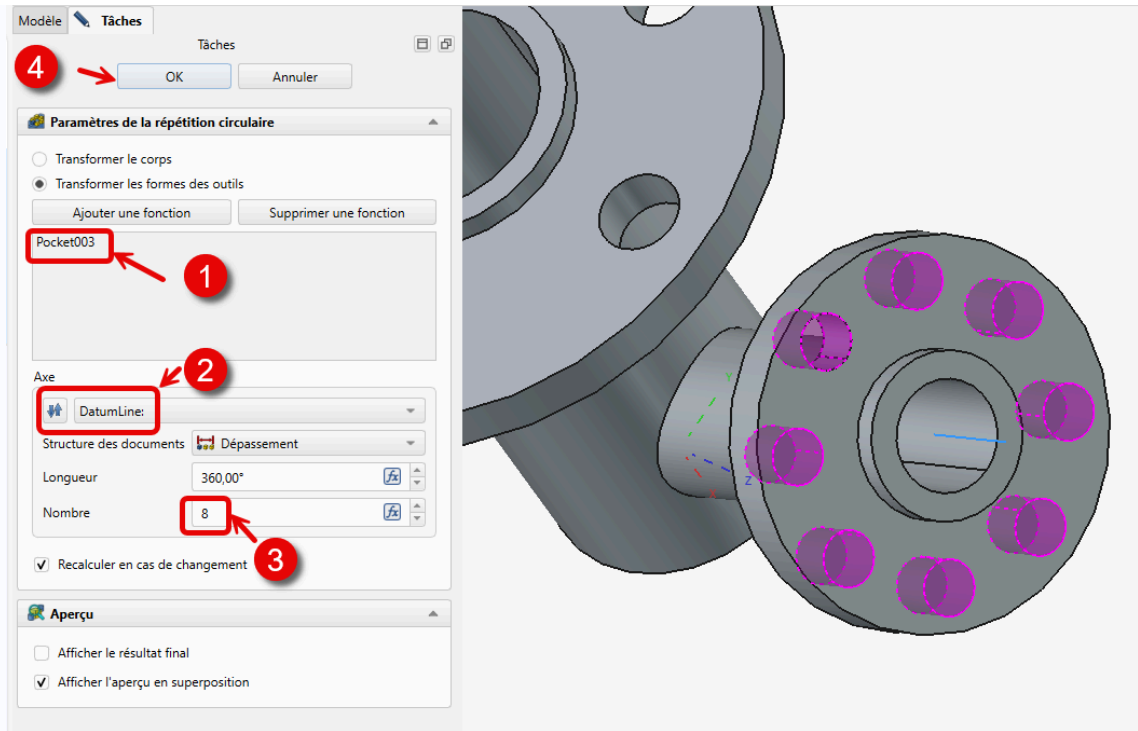
Création de la cavité

- Sélectionner le cercle externe de la petite platine et créer un ligne de référence  avec accrochage  axe de courbure ;



Création de la ligne de référence

- Créer une répétition circulaire  en sélectionnant la cavité créée avec 8 occurrences et en prenant la ligne de référence comme axe ;



Création de la répétition

5.2.3. Capture vidéo



TP5-2.mp4



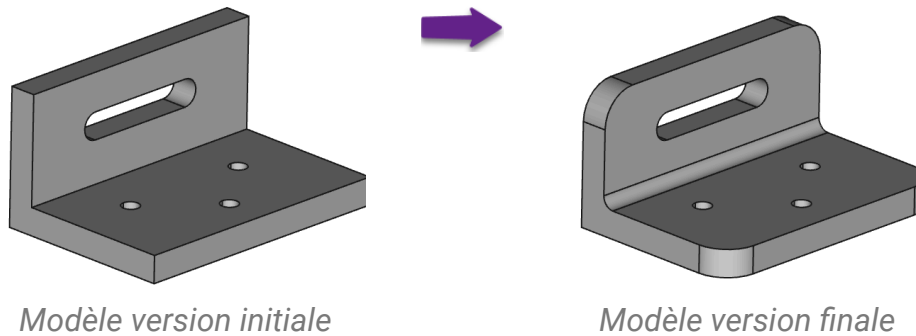
6. Finitions

6.1. Congé






Objectifs

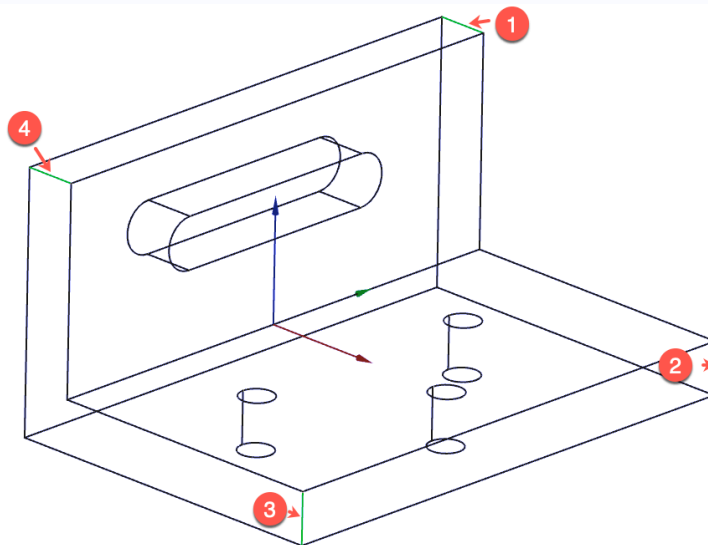
- Utiliser la commande **Congé**  ;
- Utiliser le **style de présentation**  **filaire**  ;

Nous allons ajouter des bords arrondis, des congés, à un modèle existant :

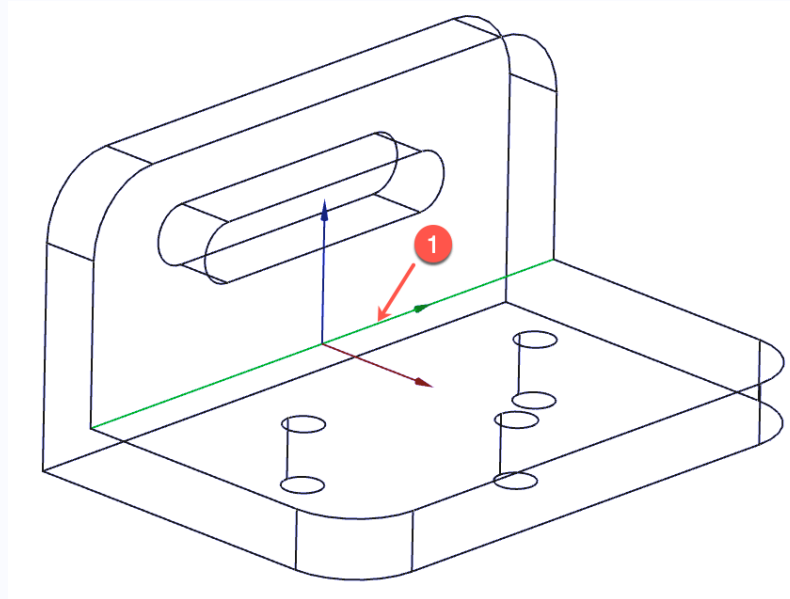



Tâches à réaliser

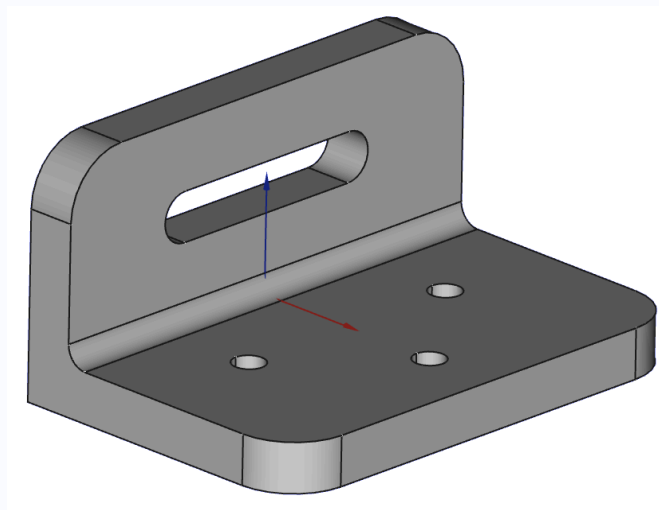
- Télécharger le fichier  [TP6-1-initial.FCStd](#) sur votre ordinateur et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer le document sous le nom  [TP6-1](#) ;
- Basculer en affichage filaire  à l'aide de la commande  **Affichage** → **Style de représentation** → **Filaire** ou du raccourci clavier **V** puis **3** du **clavier alphanumérique** ;
- Sélectionner les 4 arêtes ci-dessous et ajouter un congé  de rayon 15 mm ;





- Sélectionner l'arête ci-dessous et ajouter un congé  de 5 mm ;



- Revenir en style de présentation **filaire ombré**  (touche **V** puis **7** du clavier alphanumérique) ;



Aide :




- Pour sélectionner plusieurs arêtes en même temps, appuyer sur la touche **CTRL** ( sous ) ;

Quelques règles à respecter

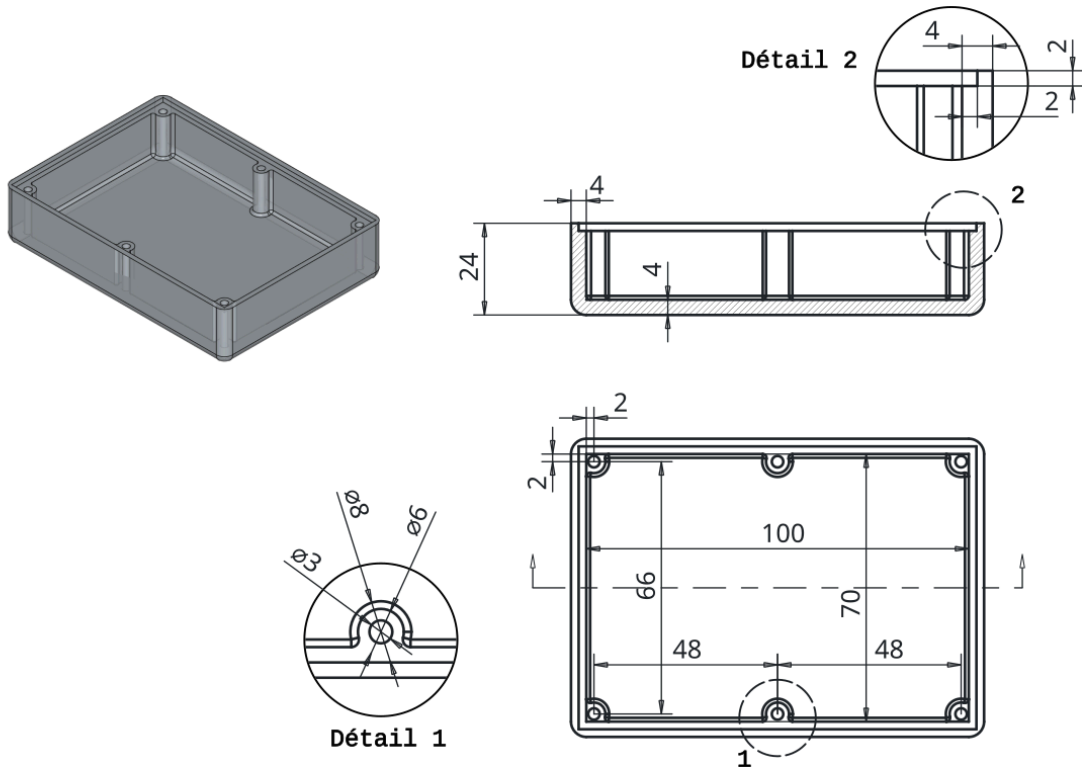
- Ajouter les congés **en toute fin de l'arbre de construction** : les congés modifient les arêtes. Si une opération ultérieure dépend de ces arêtes, elle peut casser lors d'une modification ;
- Ne jamais utiliser une arête issue d'un congé comme référence d'esquisse ;
- Utiliser des rayons raisonnables : le rayon du congé doit être inférieur à l'épaisseur locale, compatible avec les arêtes adjacentes, tester progressivement : 1 mm → 2 mm → 5 mm ;
- Attention aux intersections complexes : jonctions de plusieurs congés, arêtes très courtes, géométries fines ou proches ;

6.2. Évidement

Objectifs




- Utiliser la fonction paramétrique **Évidement**^W  et la transformation **Transformation multiple**^W  de l'atelier **Part Design**  ;
- Utiliser des expressions mathématiques pour définir des propriétés ou des contraintes ;

Nous allons modéliser le solide suivant (cf. [TP6-2-Plan.pdf](#)) ;



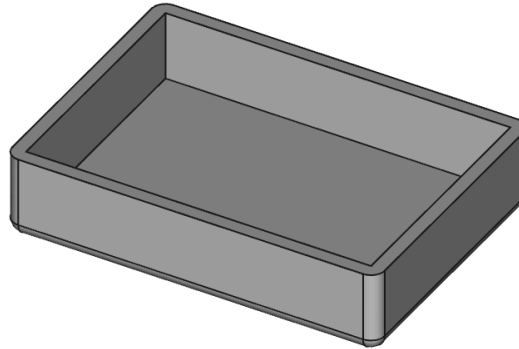
Plan du TP 6-2

Tâches préliminaires

- Créer un nouveau document  TP6-2 dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps  que vous renommerez  **Fond** ;



6.2.1. Fond

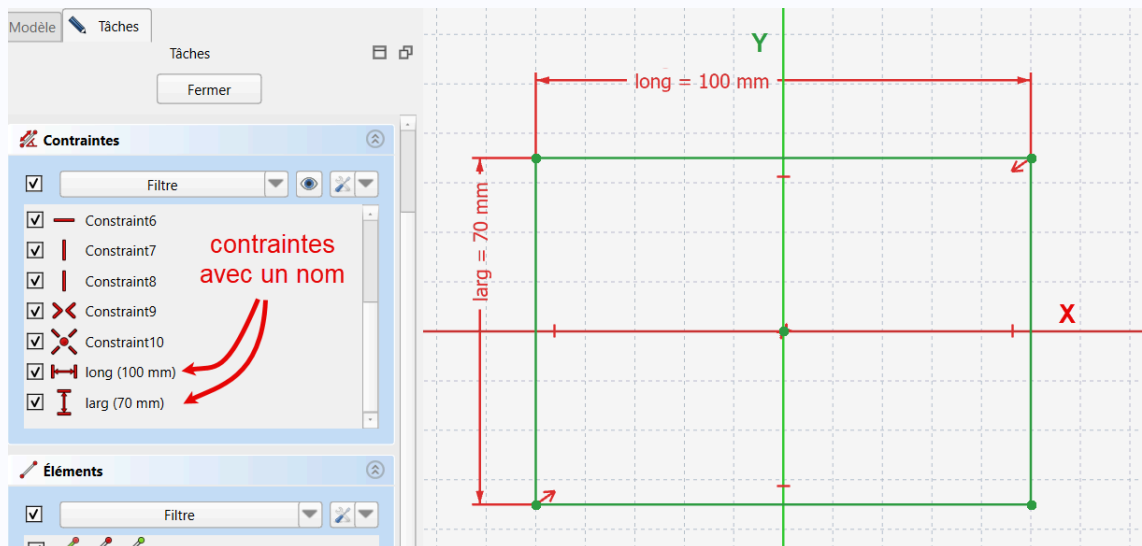
1^{ère} étape : nous allons modéliser le fond de la boîte :



1^{ère} étape de la modélisation

✓ Tâches à réaliser

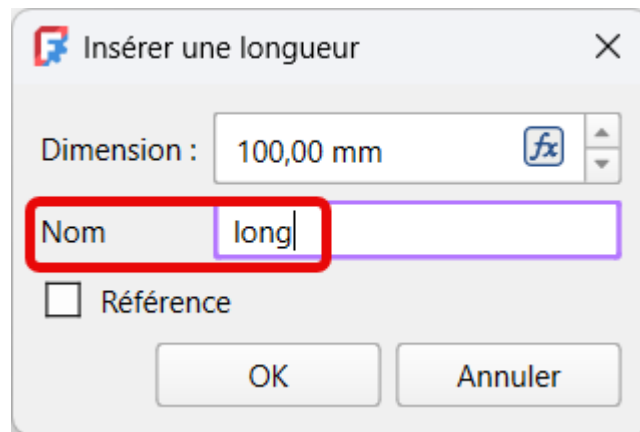
- Créer l'esquisse  ci-dessous dans le plan XY à l'aide d'un rectangle centré  en donnant les noms `long` et `larg` aux deux contraintes dimensionnelles ;



Esquisse de la boîte avec deux contraintes avec nom

💡 Aide :

- Pour donner un nom à une contrainte, saisir son nom sous sa valeur numérique :






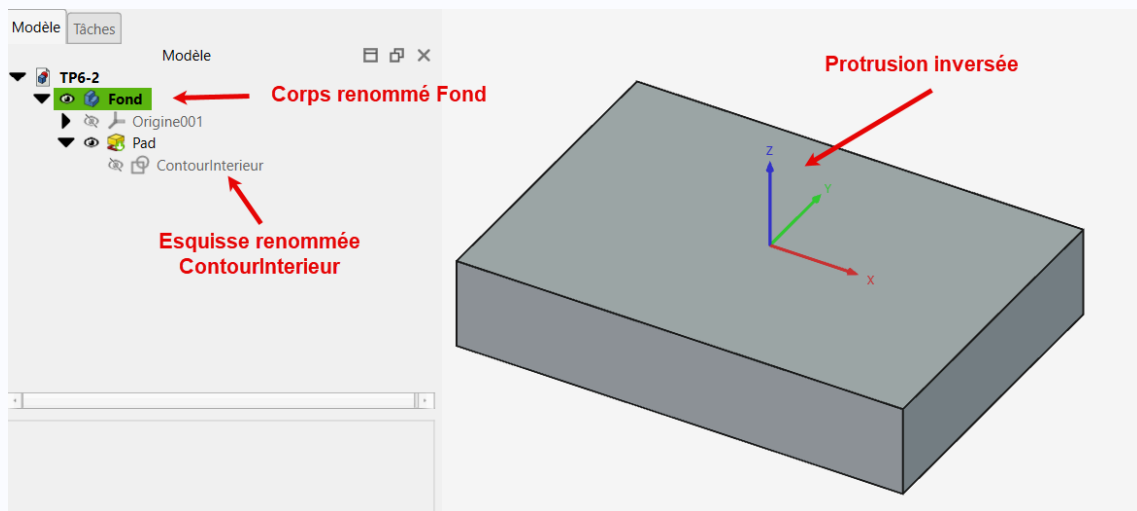
Saisie d'un nom pour une contrainte dimensionnelle


🕒 Pourquoi donner des noms à des contraintes ?

Ces contraintes seront utilisées plus loin pour positionner les trous de fixation de la boîte : en donnant des noms aux contraintes, il sera plus facile de les référencer ;

☑️ Tâches à réaliser (suite)

- Renommer l'esquisse  Sketch en  ContourInterieur ;
- Créer une protrusion  de 20 mm, Inversé ;




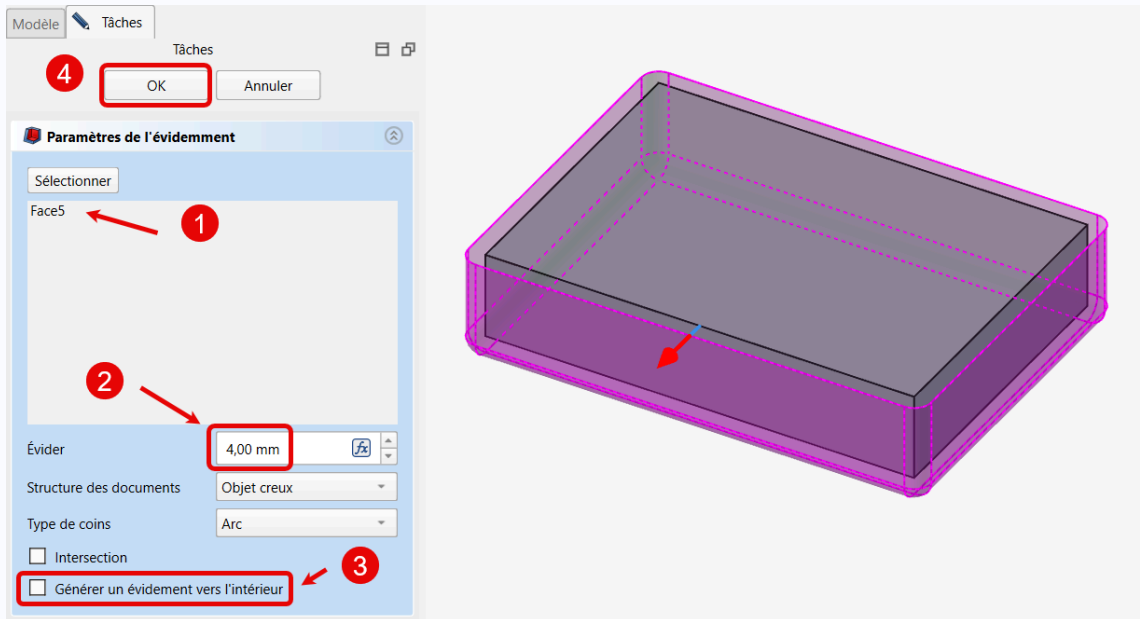
Protrusion inversée de l'esquisse  ContourInterieur

🕒 Pourquoi inverser la protrusion ?

On garde ainsi le plan de référence XY sur la surface supérieure de la boîte ;

☰ Tâches à réaliser (suite)

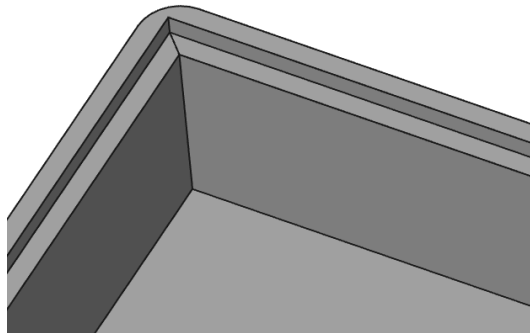
- Sélectionner la face supérieure puis créer une évidement  de 4 mm en décochant Générer un évidement vers l'intérieur ;





Création de l'évidement

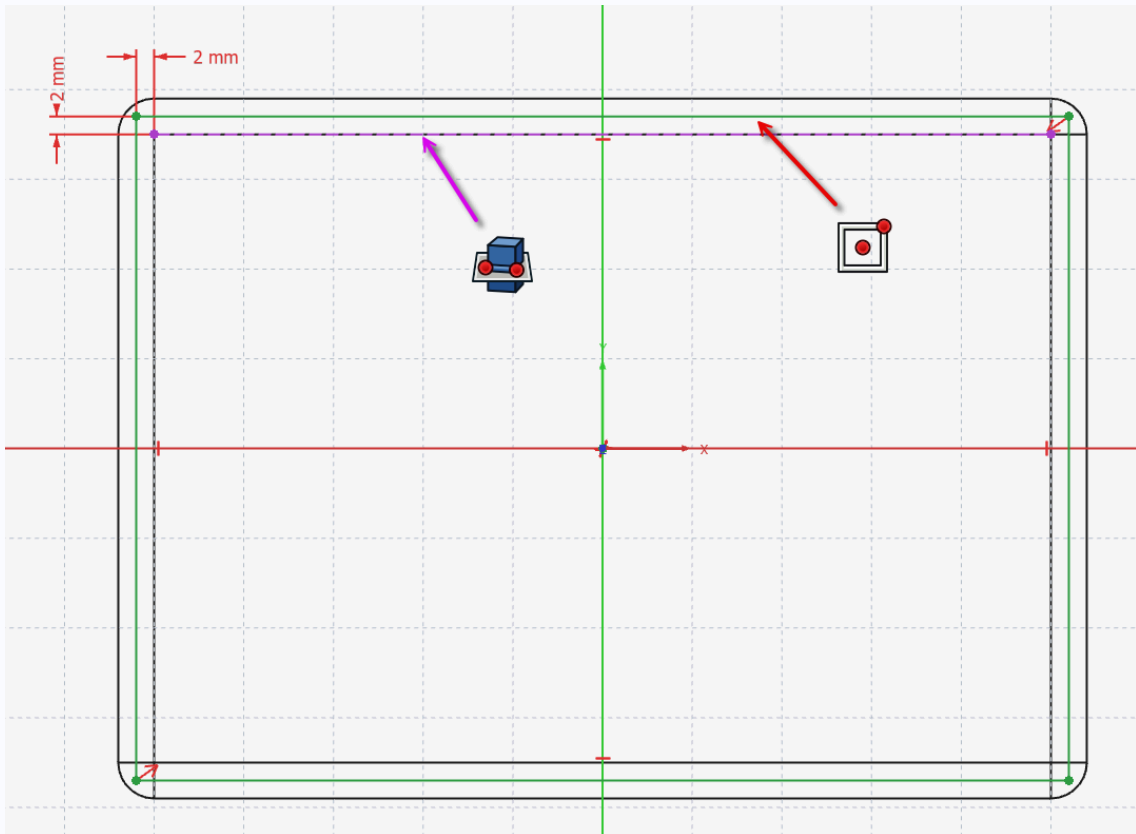
6.2.2. Épaulement intérieur

2^{ème} étape : création d'un épaulement afin d'insérer plus tard un couvercle :





Tâches à réaliser

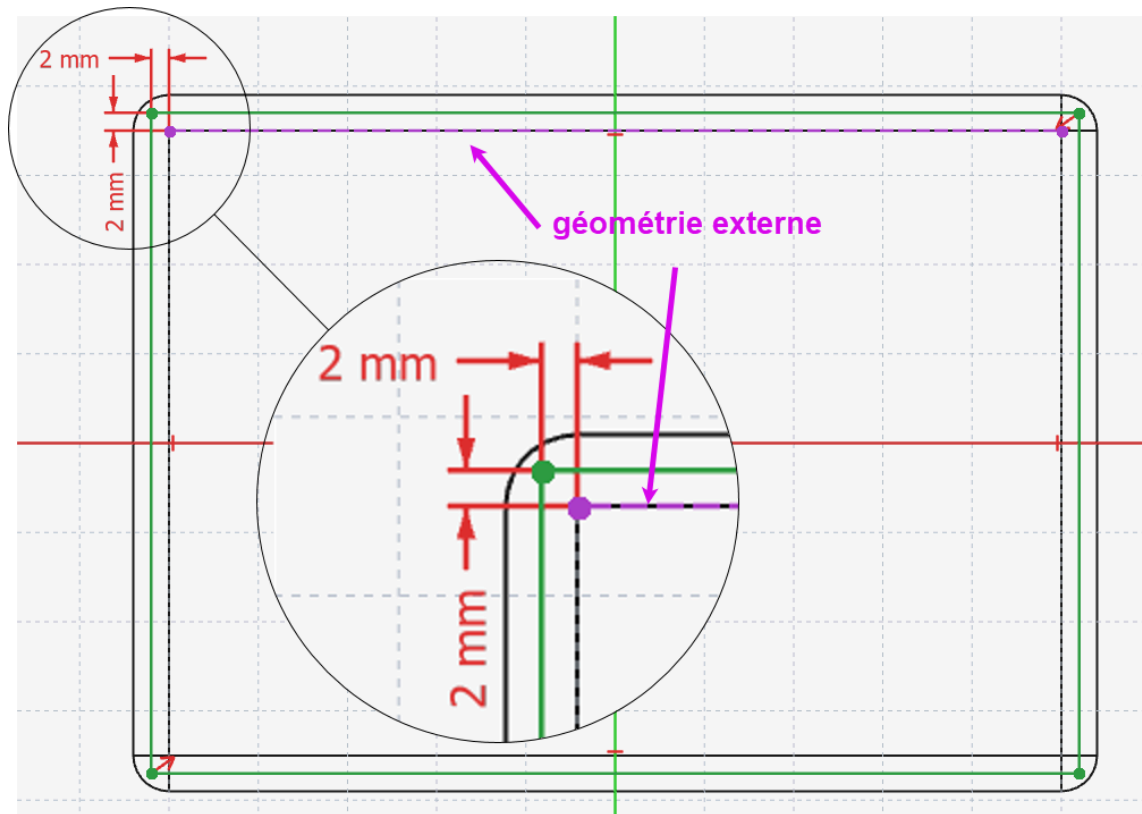
- Créer l'esquisse  ci-dessous dans le plan XY contenant un rectangle Centré  ;



Esquisse pour l'épaulement

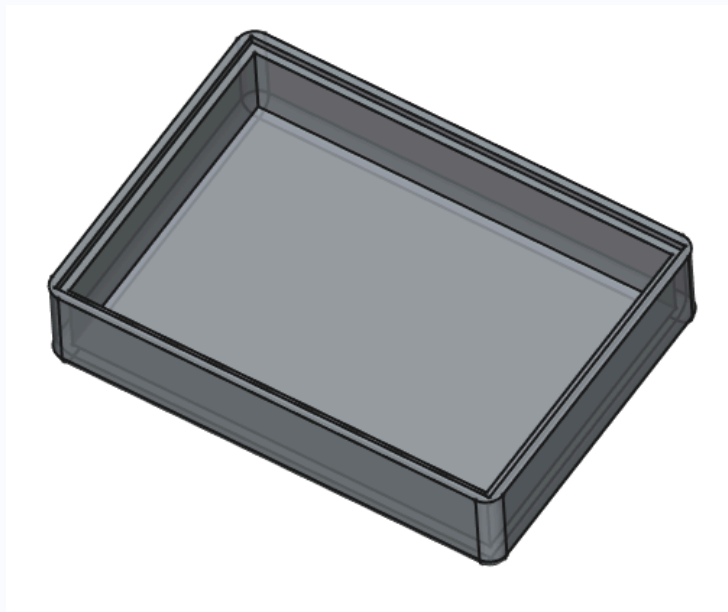
Aide

- Utiliser une géométrie externe de construction par intersection  pour positionner le rectangle  de l'esquisse ;



📋 Tâches à réaliser

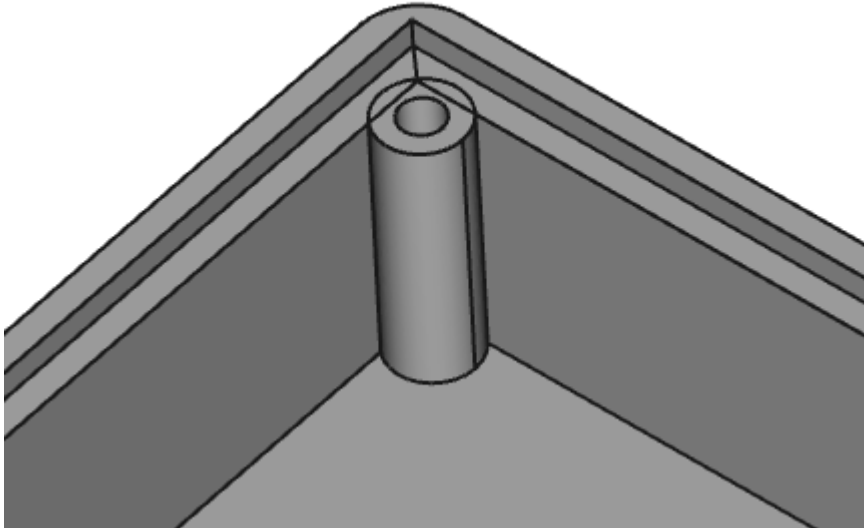
- Créer une cavité  de 2 mm :




Création de l'épaulement à l'aide d'une cavité

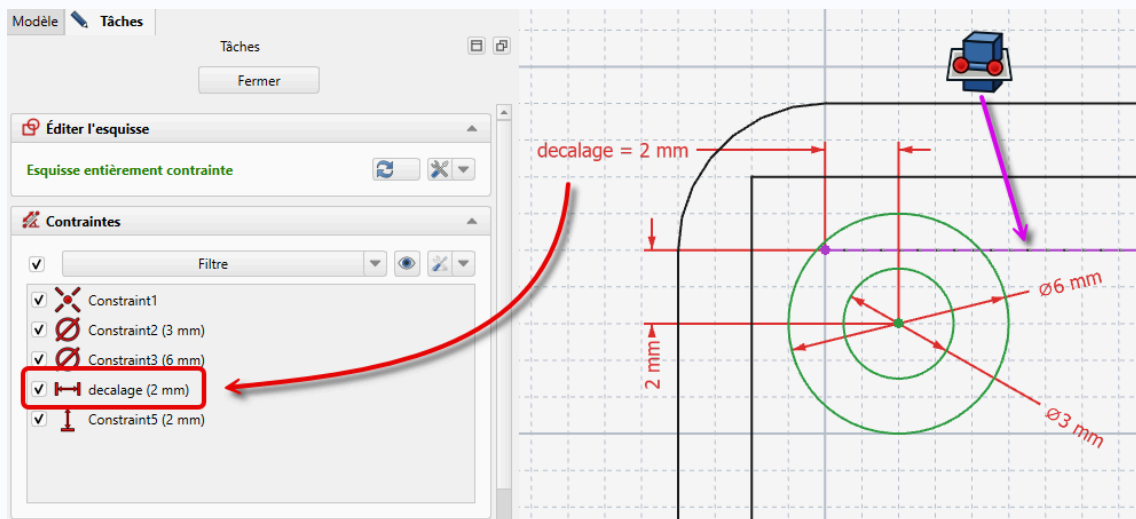
6.2.3. 1^{er} cylindre de fixation

3^{ème} étape : création d'un cylindre destiné à recevoir une vis de fixation pour le couvercle :





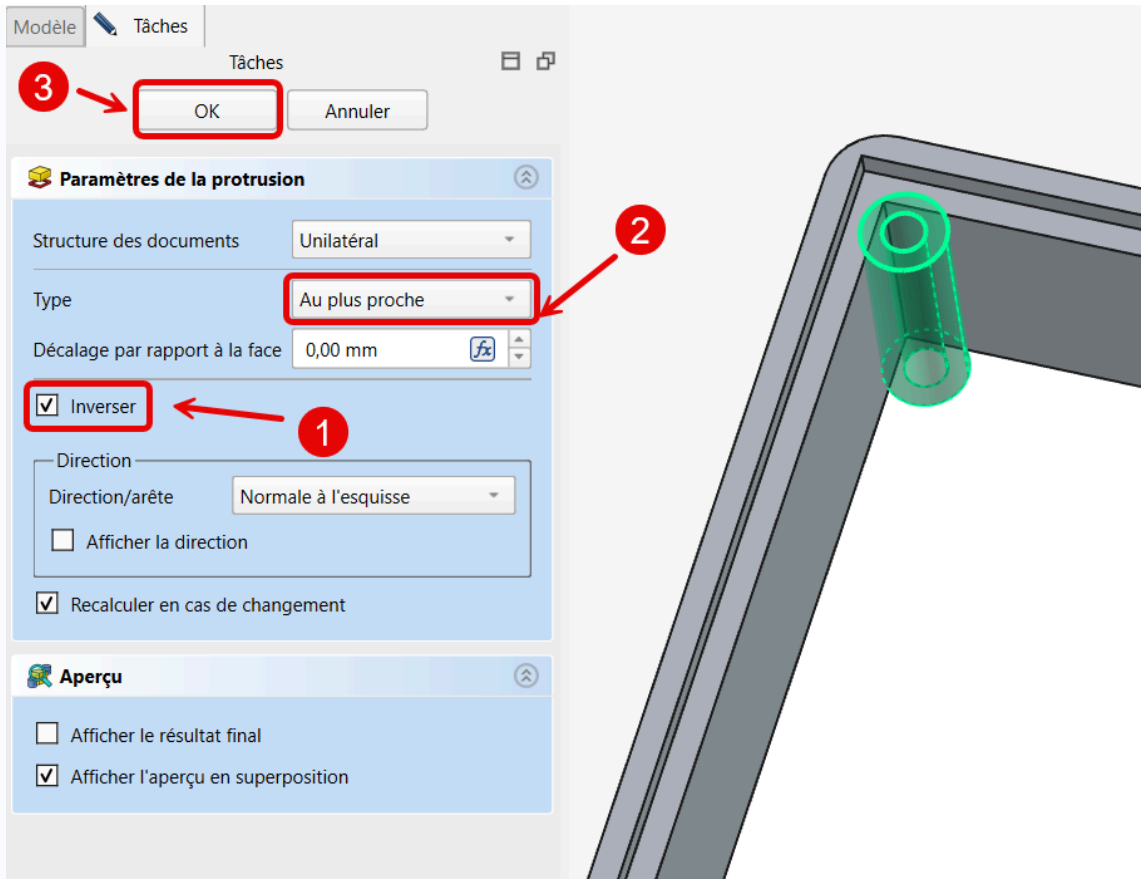
✓ Tâches à réaliser

- Sélectionner la face horizontale supérieure de l'épaule et créer l'esquisse  ci-dessous en donnant le nom à la cote horizontale de 2mm



Esquisse du cylindre

- Renommer l'esquisse de  Sketch002 à  Cylindre ;
- Créer une protrusion  Inversé , du type  le plus proche, ;



Création de la protrusion pour le cylindre

Pourquoi « inversé » ?

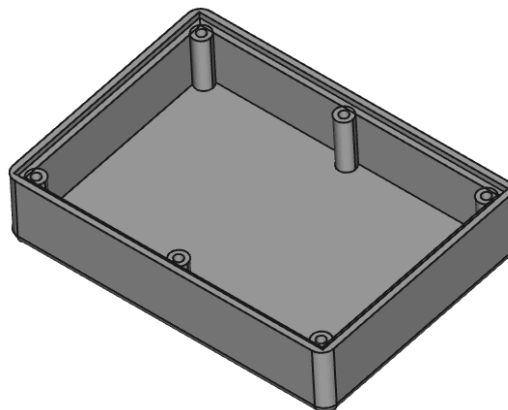
- Pour orienter la protrusion vers le bas (vers le Z négatif)

Pourquoi « le plus proche » ?

- Pour ne pas avoir à saisir de dimension, la protrusion ira jusqu'à la première face rencontrée ;


6.2.4. Autres cylindres de fixation

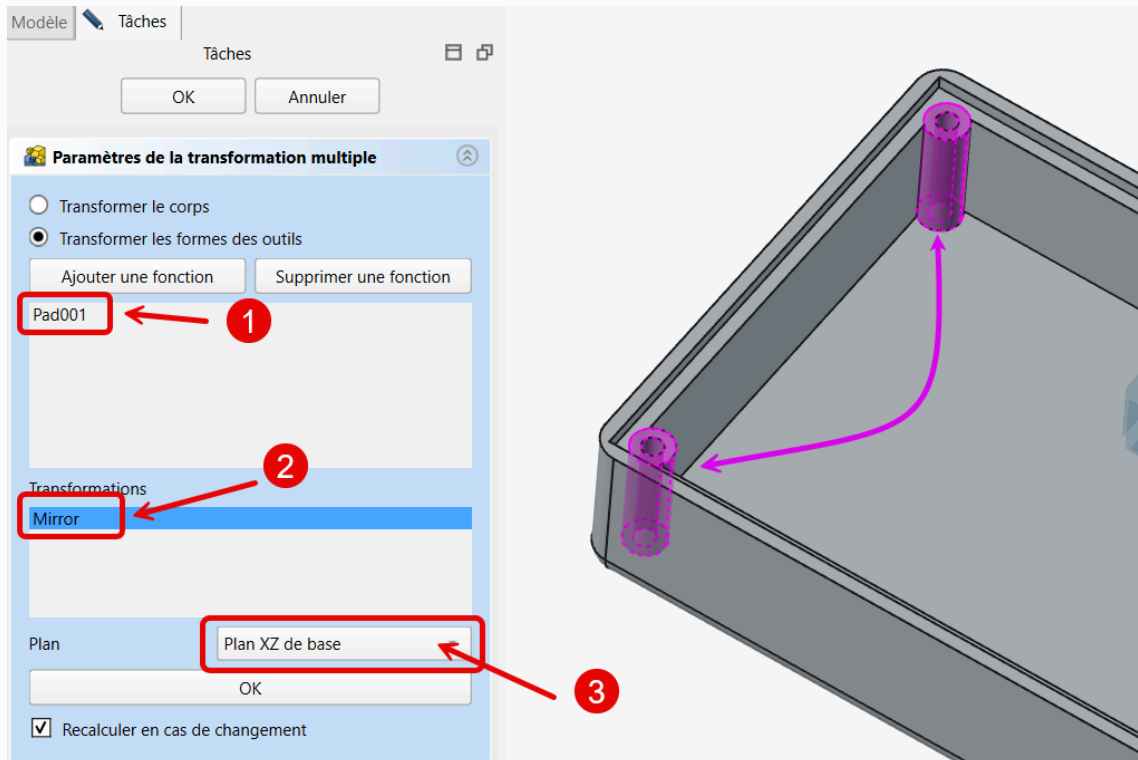
4^{ème} étape : à l'aide d'une transformation multiple  , nous allons créer les 5 autres cylindres ;



Création des 6 cylindres

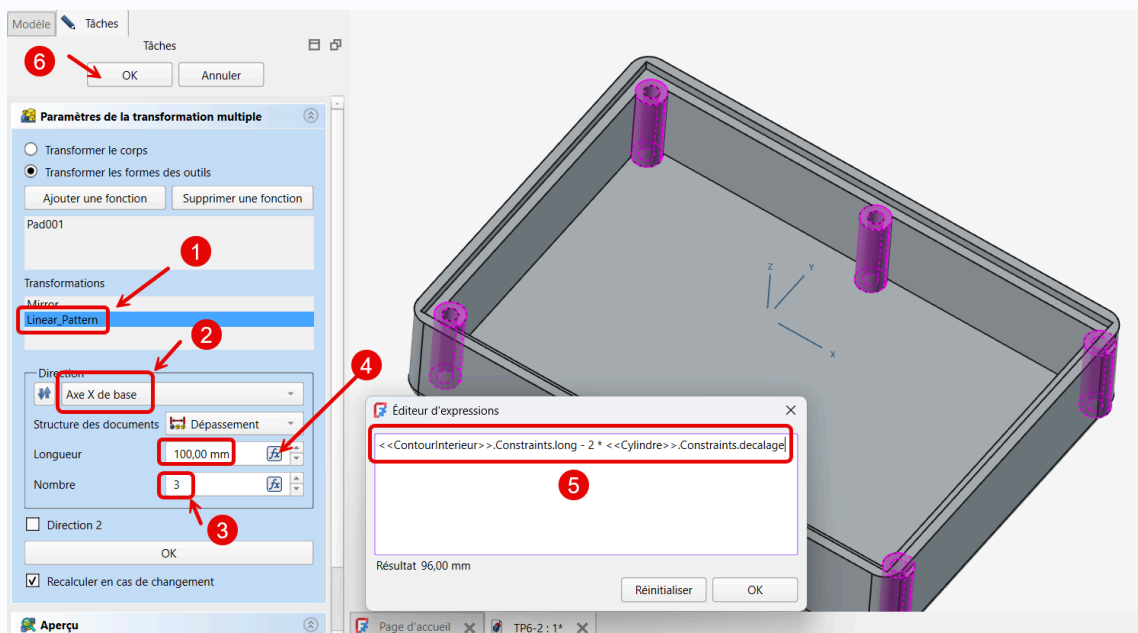
Tâches à réaliser

- Créer une **transformation multiple**  permettant d'obtenir les 6 cylindres à l'aide :
 - d'une symétrie






Transformation multiple : symétrie

- et d'une répétition linéaire ;







Transformation multiple : répétition linéaire

Aide :

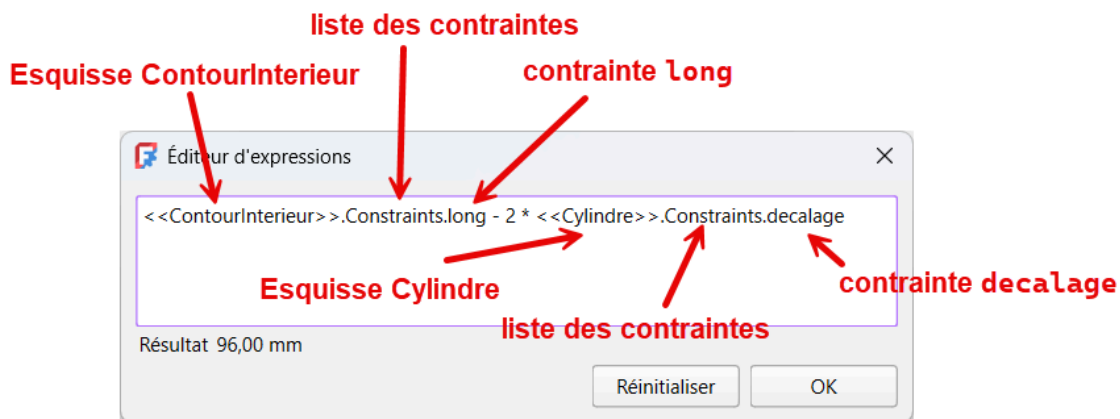
- Sélectionner   Pad001 comme fonction de la transformation multiple ;
- Sélectionner le plan **XZ** pour la symétrie ;
- Sélectionner l'axe **X** pour la répétition linéaire et saisir le nombre d'occurrences à **3** ;
- Pour la longueur, cliquer sur le bouton  et saisir la formule
`<<ContourInterieur>>.Constraints.long - 2 *
<<Cylindre>>.Constraints.decalage`
- Pour la saisie de la formule, utiliser l' **auto-complétion** de FreeCAD, par exemple :
 - saisir **Conto** et FreeCAD vous propose `<<ContourInterieur>>` ;

Attention

Vérifier que vous avez bien renommé les esquisses   ContourInterieur et   Cylindre avant de saisir la formule ;

Explications :

- `<<ContourInterieur>>.Constraints.long` est la contrainte horizontale dans l'esquisse `ContourInterieur`, c'est la longueur de la boîte ;
- `<<cylindre>>.Constraints.decalage` est la distance entre l'axe du cylindre et la paroi interne de la boîte dans l'esquisse `cylindre` ;
soit $100 - 2 * 2 \text{ mm} = 96 \text{ mm}$, soit deux fois 48 mm



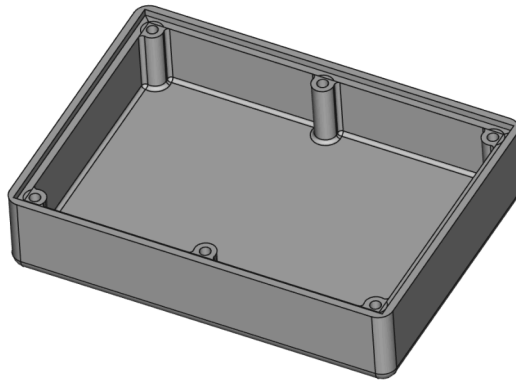
cf. expressions mathématiques

Pourquoi ne pas saisir directement 96 mm ?


En utilisant une formule, on pourra changer la longueur de la boîte sans casser le modèle ! A tester...

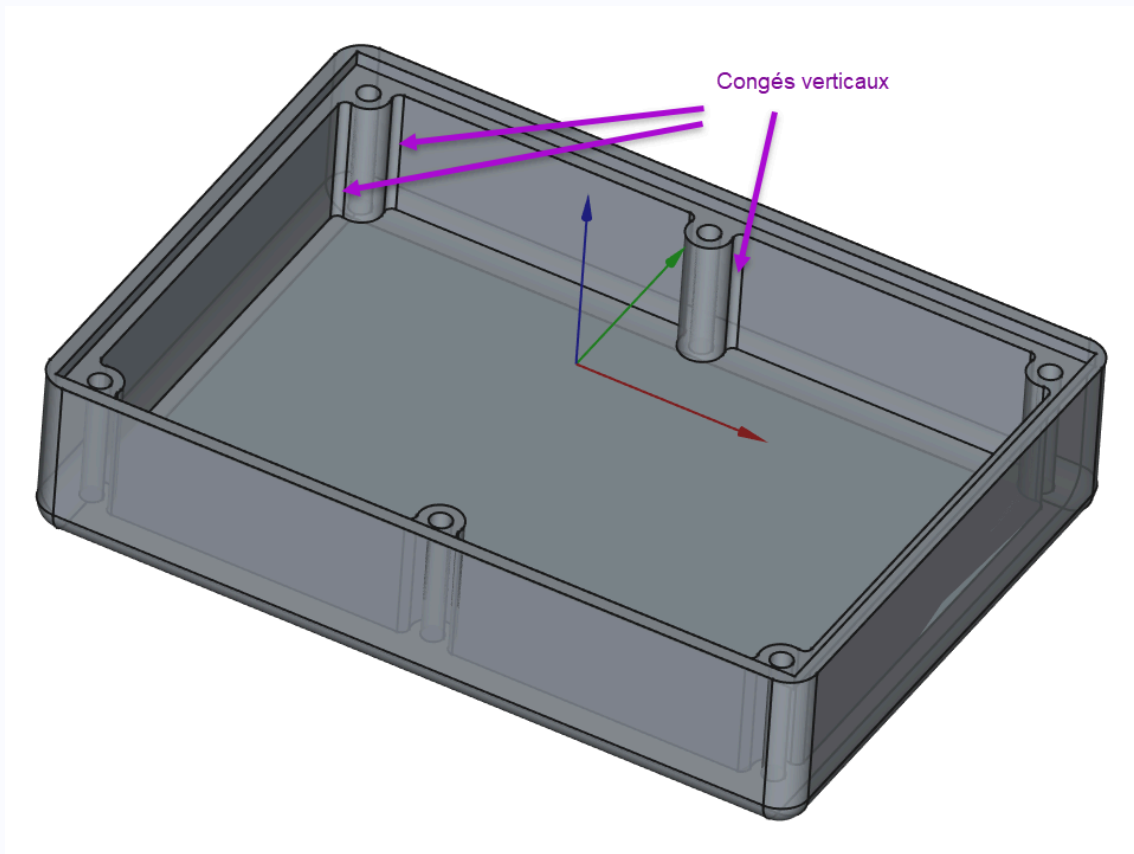
6.2.5. Congés

Dernière étape : nous allons ajouter des congés :




📋 Tâches à réaliser

- Créer des congés  de 1 mm à l'intersection des cylindres et des faces intérieures verticales de la boîte ;

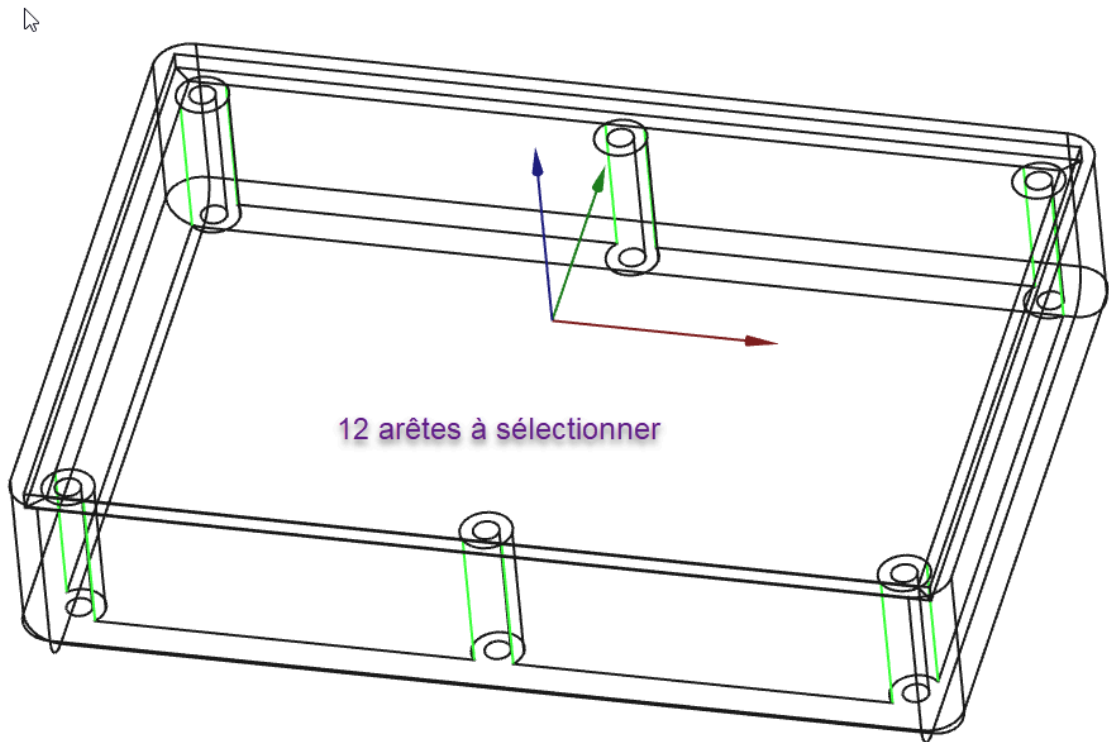


Congés verticaux

💡 Aide :


- Basculer en affichage filaire  (**V** puis **3** du clavier alphanumérique) pour faciliter la sélection des arêtes ;

- Maintenir appuyée la touche **CTRL** (⌘ sous ) pour sélectionner les 12 arêtes ;



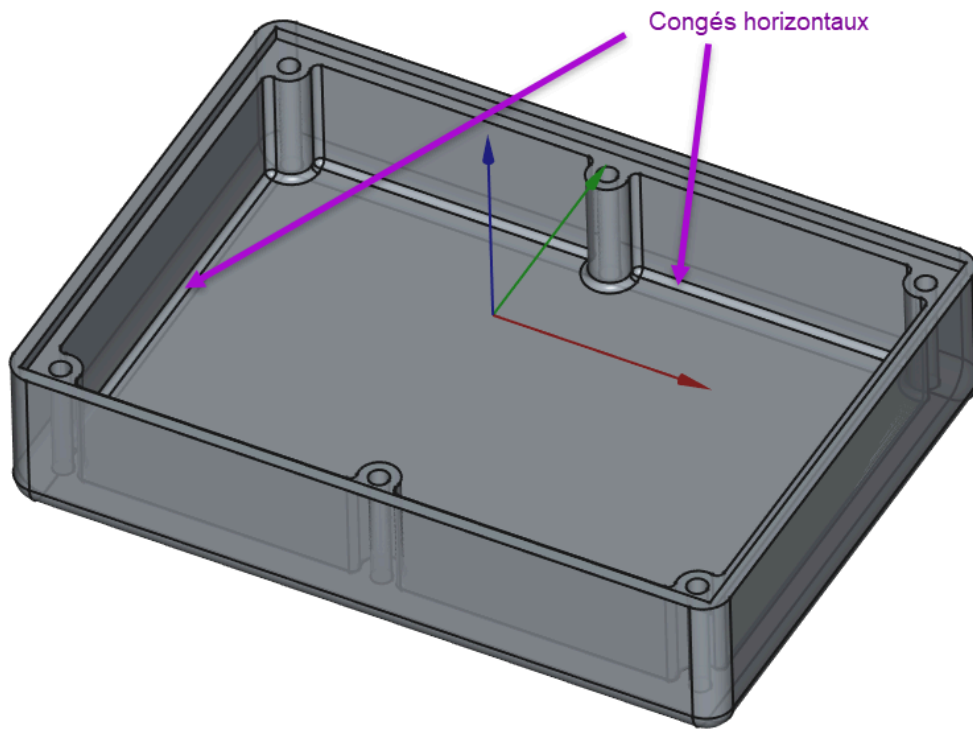
Sélection des arêtes pour les congés verticaux

Pour sélectionner les différentes arêtes, en style de navigation Gesture :

- Ne pas hésiter à utiliser le zoom (**molette souris**), le panoramique (**clic droit**) et la rotation (**clic gauche**) sans relâcher la touche **CTRL** (⌘ sous ) .

Tâches à réaliser (suite)

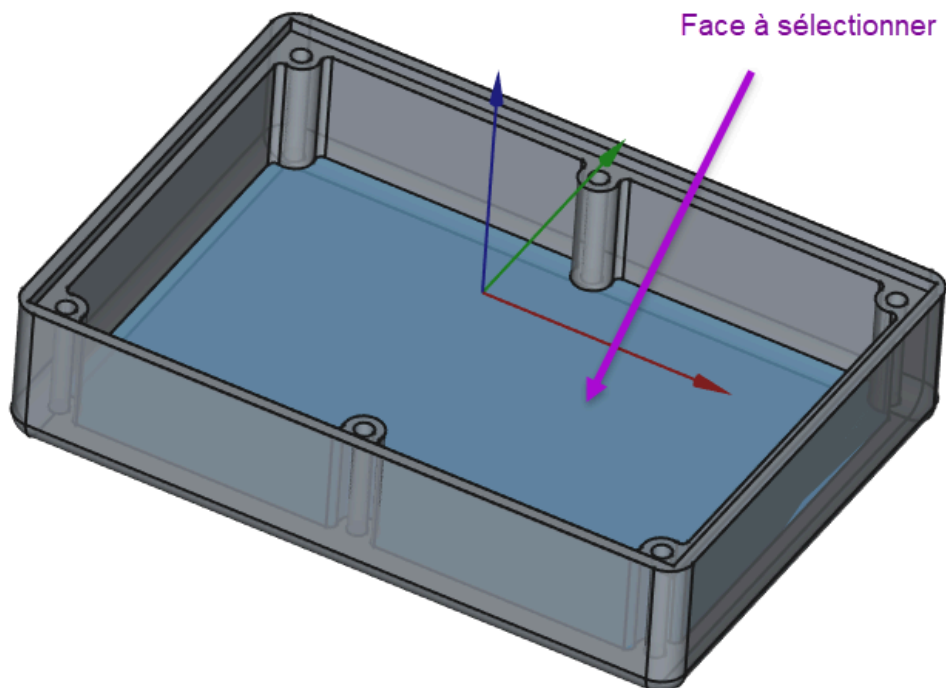
- Revenir si nécessaire en affichage filaire ombré  (**V** puis **7** du clavier alphanumérique) ;
- Sélectionner le fond de la boîte et créer des congés  de 1 mm ;



Congés horizontaux



Aide :

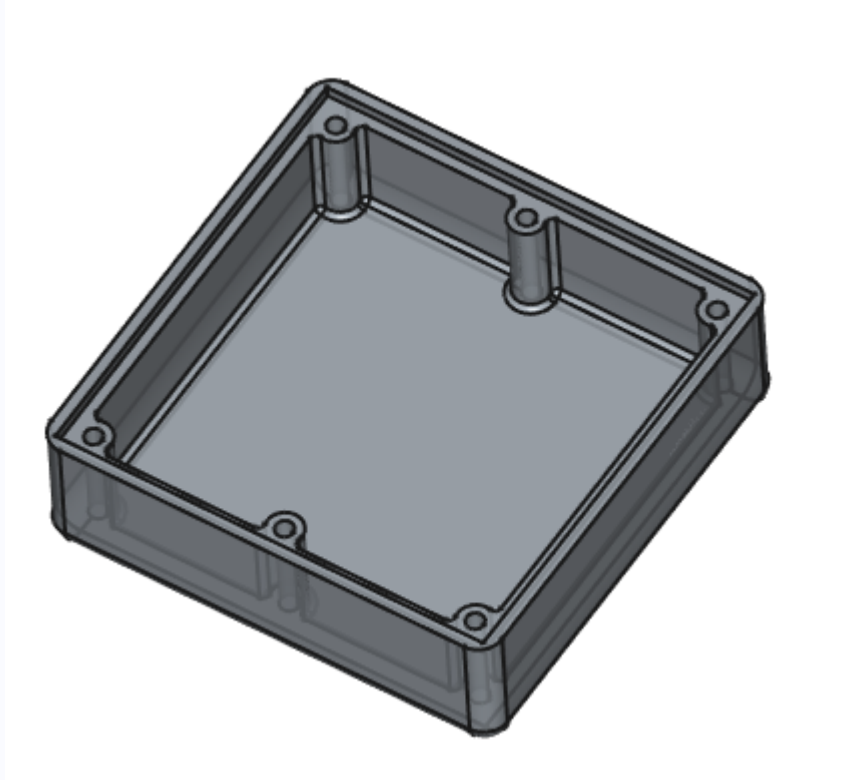
- Cliquer gauche sur le fond de la boîte pour le sélectionner avant d'exécuter la commande  ;



6.2.6. Vérification d'intégrité du modèle

☑ Tache à réaliser

- Modifier la longueur du rectangle à 70 mm dans l'esquisse   ContourInterieur ;
- Vérifier que le modèle n'est pas cassé ;



Vérification du modèle

6.2.7. 📺 Capture vidéo



7. Corps multiples

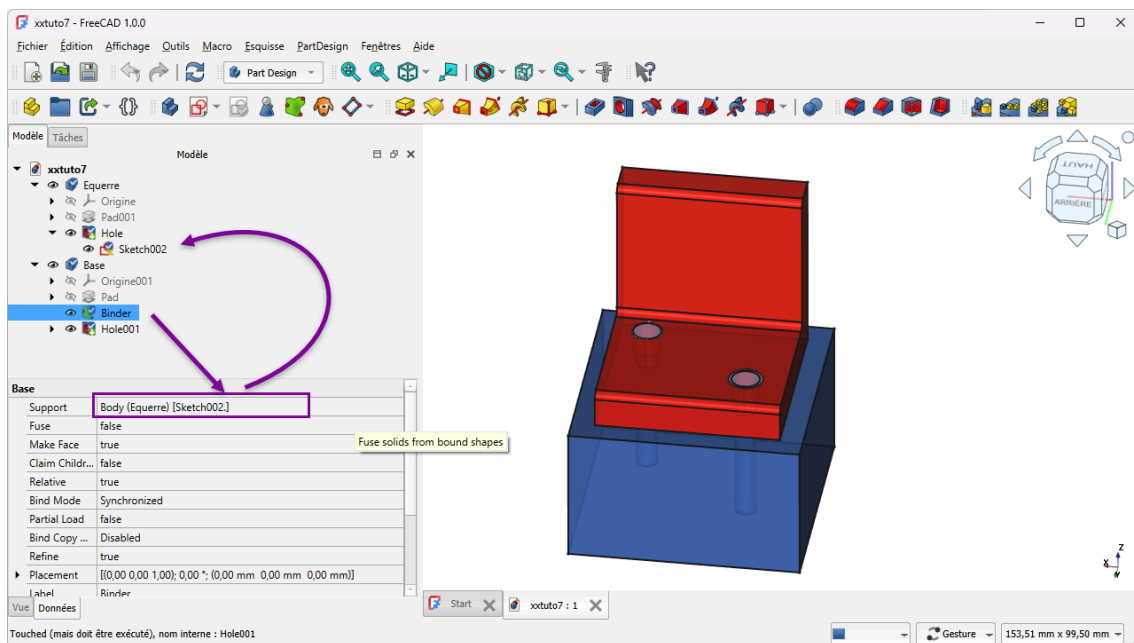
7.1. Sous-forme liée

🔗 Objectif

- Comprendre la notion de sous-forme liée  ;

☑️ Tâche à réaliser

- Télécharger le fichier [tuto7.FCStd](#) sur votre ordinateur et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer ce document sous le nom `XXtuto7.FCStd` ;
- Le document `XXtuto7.FCStd` contient deux corps : Equerre et Base ;
- La base contient une sous-forme liée `Binder` qui fait référence à l'esquisse `Sketch002` de l'équerre.



Document tuto7.FCStd


☑️ Tâches à réaliser

- Ouvrir l'esquisse `Sketch02` et déplacer les deux cercles de l'esquisse ;
- Refermer l'esquisse. Que constatez vous ?

+ Réponse


La position des trous s'est déplacée **sur les deux corps !!!**

Explications

- Pour positionner les deux cercles de l'esquisse  Sketch003 de la base , on a utilisé **deux géométries externes** reliées aux cercles de  Binder qui lui même fait référence aux cercles de l'esquisse  Sketch002 : toute modification dans  Sketch002 se répercute dans  Sketch003 ;

forme liée

≈ ShapeBinder

Une forme liée  est utilisée à l'intérieur d'un corps pour référencer une **géométrie extérieure** à ce corps.


Réglementaire

La géométrie référencée peut être :



- soit un objet unique : une corps, une esquisse, ou une fonction à l'intérieur d'un corps ;
- soit un ou plusieurs sous-éléments (faces, arêtes ou sommets) appartenant **au même objet parent**.

https://wiki.freecad.org/PartDesign_ShapeBinder/fr

Remarque

Lorsque vous travaillez avec **plusieurs corps** dans un même document, la forme liée  permet de récupérer dans un corps des géométries provenant d'un autre corps.


Sous-forme liée

FreeCAD propose une seconde commande : la sous-forme liée  qui offre plus de souplesse. En particulier, la sous-forme liée  peut lier des géométries provenant de différents corps ;

cf https://wiki.freecad.org/PartDesign_SubShapeBinder/fr

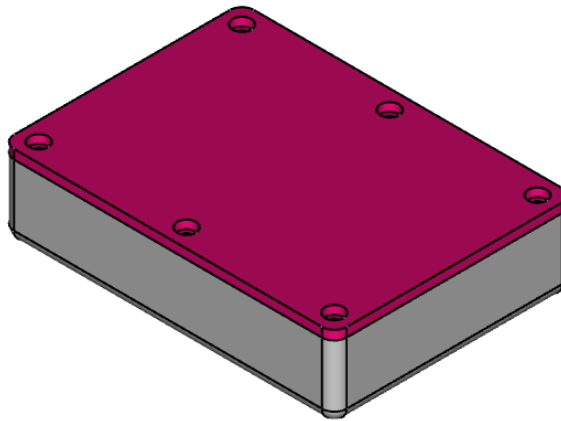
7.2. Emboîtement

Objectifs

- Créer une **sous-forme liée** ^W  d'une fonction paramétrique pour récupérer des géométries du fond de la boîte ;
- Utiliser la fonction paramétrique **Perçage** ^W  ;

Nous allons ajouter un couvercle à notre boîte modélisée lors du TP6-2 ^[p.184]. (cf. [TP7-1-Plan.pdf](#))

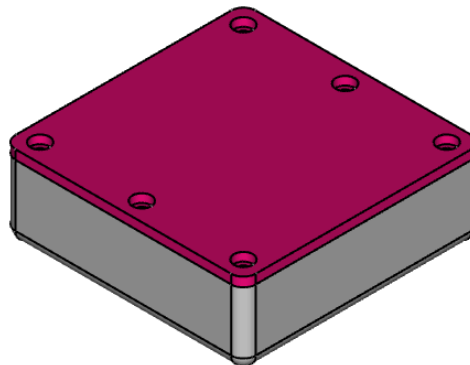
Travail à réaliser




Boîte avec son couvercle

Bien entendu, la modification de la longueur ou la largeur de la boîte devra se répercuter automatiquement sur le couvercle :

Illustration






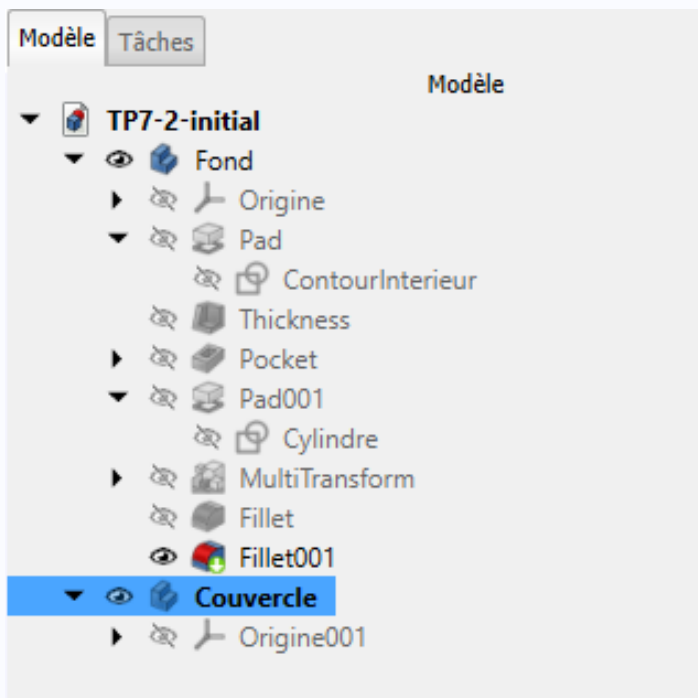
Tâches à réaliser

- Télécharger sur votre ordinateur le fichier [TP7-1-initial.FCStd](#) et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer le document sous le nom  TP7-1 ;







7.2.1. Sous-forme liée

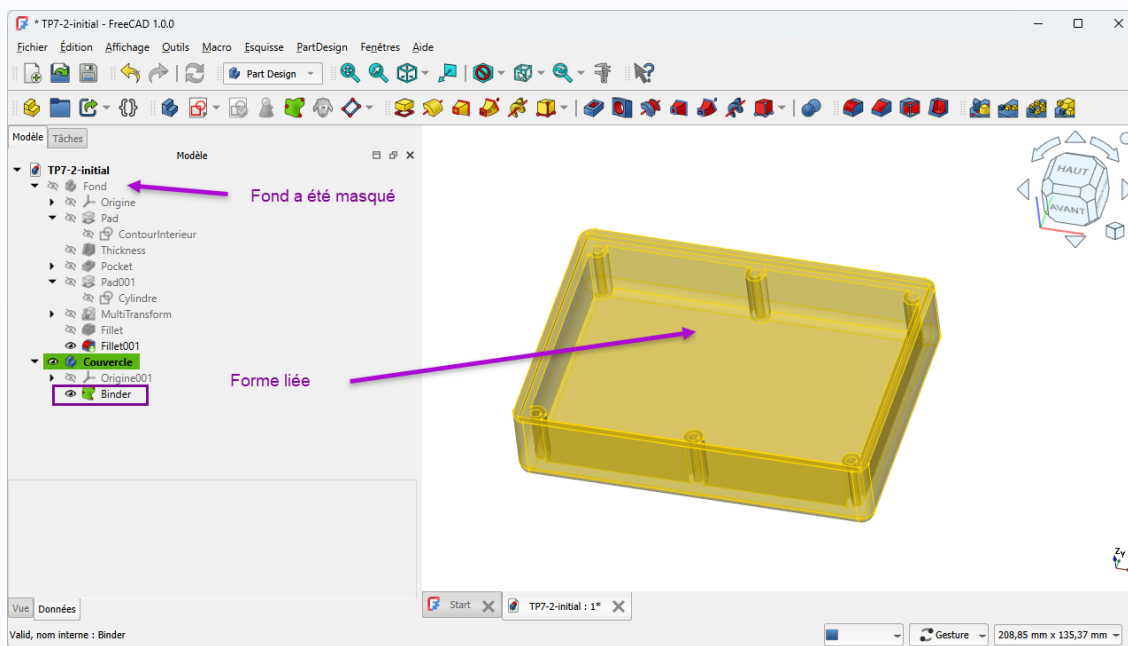
☑☑☑ Tâches à réaliser

- Ajouter un 2nd corps  que vous renommerez   Couvercle ;





Création d'un 2nd corps

- Ajouter une sous-forme liée  de l'objet (fonction)  MultiTransform dans le corps   Couvercle ;
- Masquer le corps   Fond ;




Création de la sous-forme liée

Aide

-  Couvercle doit être le corps actif : **en caractères gras** ;
- Pour créer la sous-forme liée, sélectionner l'objet  Multitransform dans l'onglet **Modèle** et cliquer sur la commande  ;


Attention

Ne pas oublier de masquer le corps  Fond qui doit être en grisé dans la vue **Modèles** après la création de la sous-forme liée ;




Pourquoi choisir l'objet MultiTransform ?

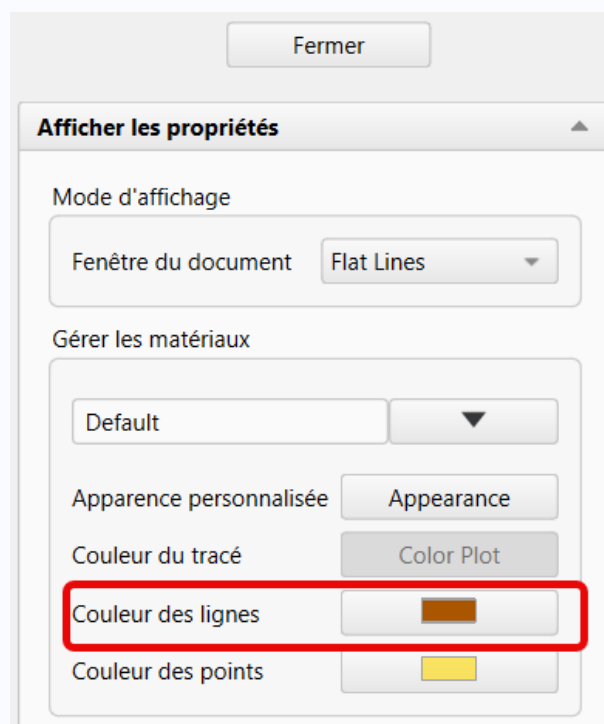
- Nous n'avons pas besoin de la définition des congés (Fillet), juste les dimensions du fond et de la position des trous ;

Couleur des objets

Si vous utilisez le thème d'affichage **FreeCAD Light**, la couleur jaune par défaut pour les objets  n'est pas suffisamment contrasté. Pour le moment, ce paramètre n'est pas modifiable dans les préférences de FreeCAD ;

Tâches à réaliser (si vous utilisez le thème FreeCAD light)


- Dans l'onglet **Modèle**, cliquer droit sur l'objet Binder  et sélectionner la commande  Définir l'apparence ;
- Choisir une couleur de ligne plus foncée, par exemple  #aa5500 ;

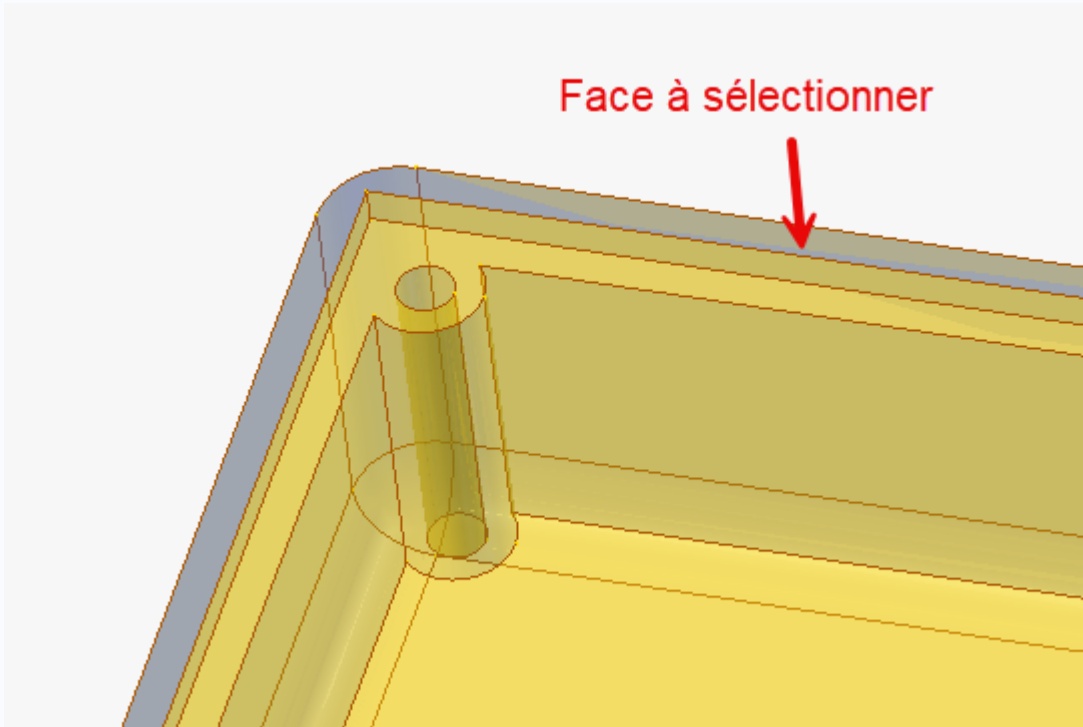




7.2.2. Partie supérieure

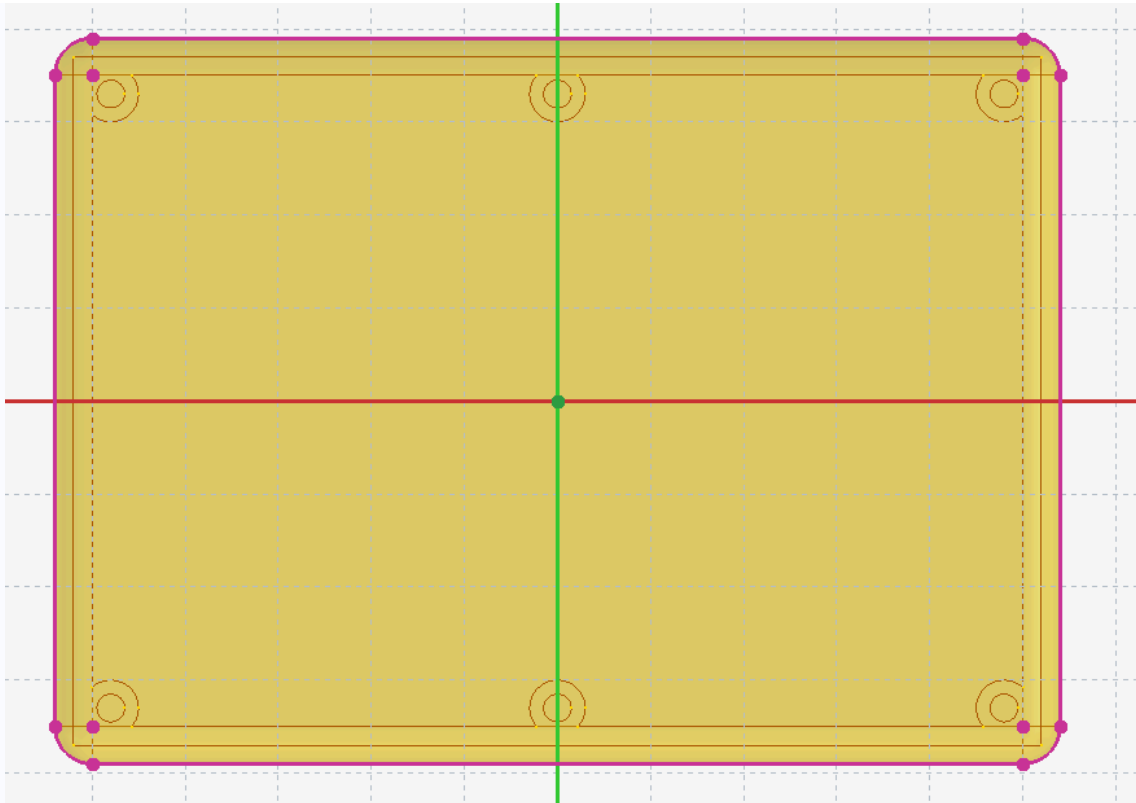
☑☑☑ Tâches à réaliser

- Sélectionner la face supérieure de la sous-forme liée et ajouter une nouvelle esquisse  ;



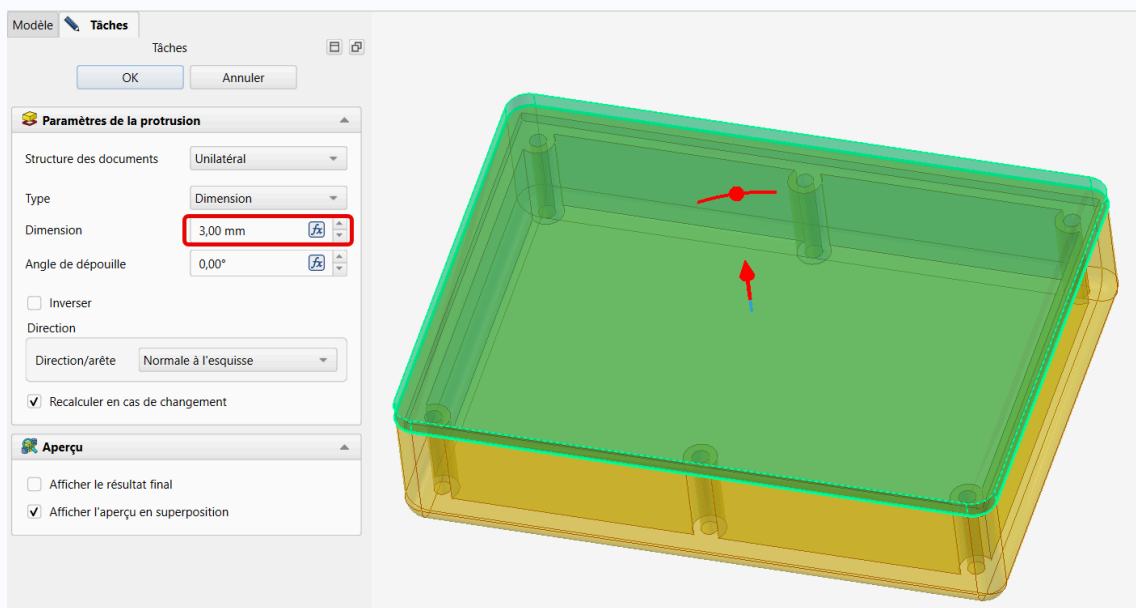
Face à sélectionner pour créer la nouvelle esquisse

- Créer l'esquisse ci-dessous à l'aide de géométries externes réelles par intersection  ;






Esquisse de la partie supérieure du couvercle

- Créer une protrusion  de 3 mn correspondant à la partie supérieure du couvercle :





Protrusion de la partie supérieure du couvercle

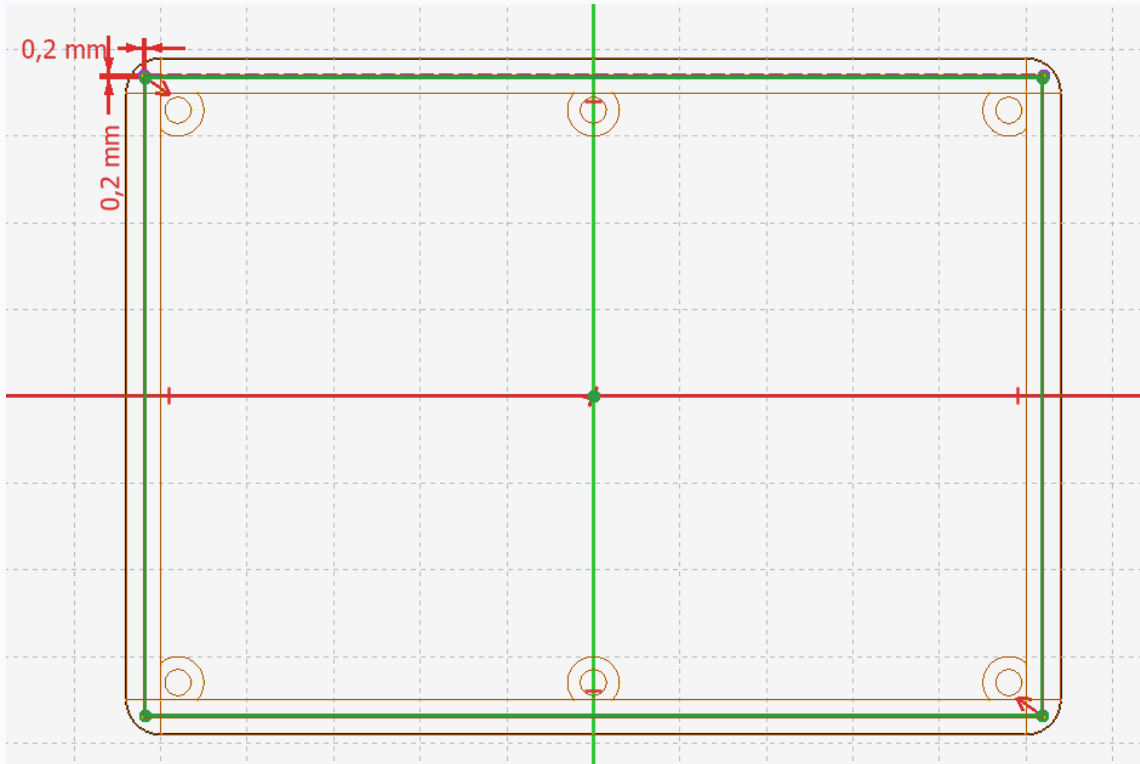
Aide pour la construction de l'esquisse

- Vérifier que vous êtes en Mode géométrie réelle  (boutons  de géométrie colorés en blanc) ;
- Sélectionner la commande **Géométrie externe d'intersection**  ;
- Cliquer sur les **4 cotés et les 4 coins** du contour extérieur de l'objet Binder pour construire l'esquisse ;

7.2.3. Partie inférieure




☑️ Tâches à réaliser

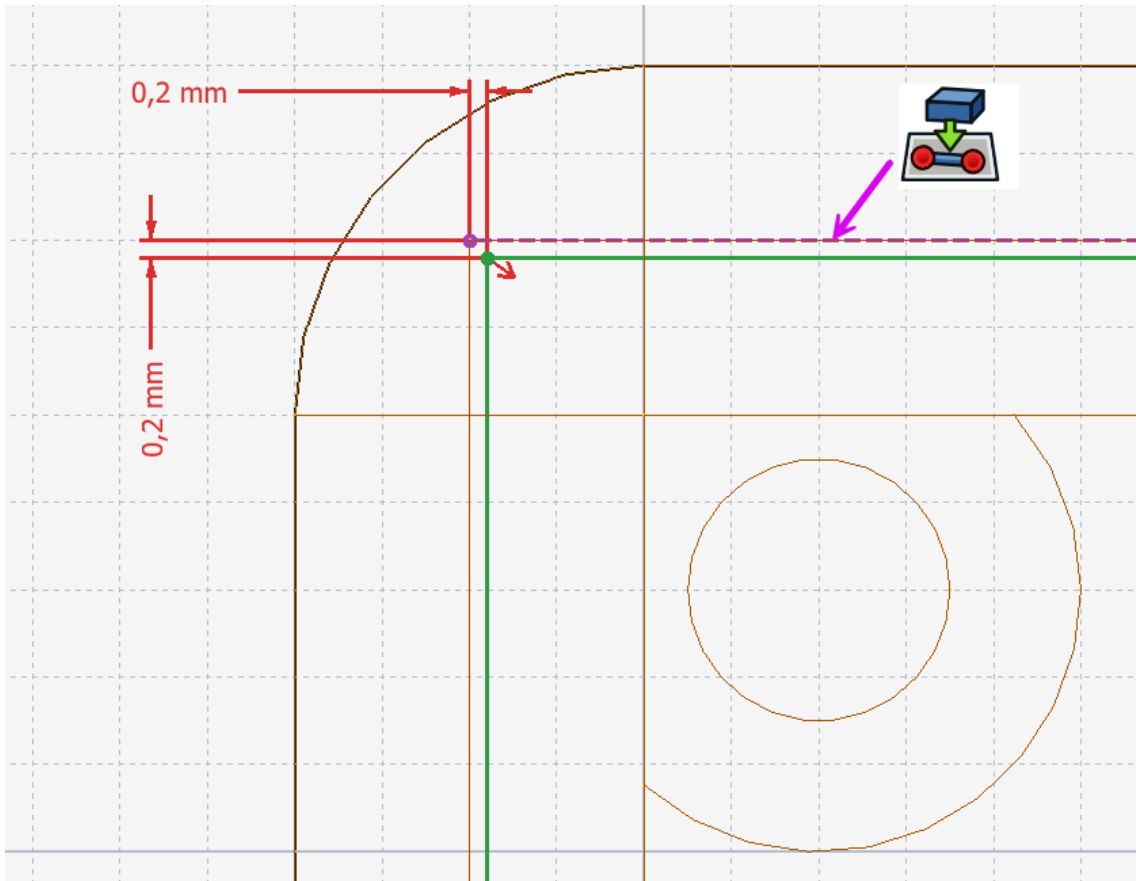
- Sélectionner la **face inférieure** de la protrusion créée précédemment et ajouter une nouvelle esquisse  ;
- Créer l'esquisse ci-dessous constituée d'un rectangle centré  sur l'origine ;




Esquisse de la partie inférieure du couvercle

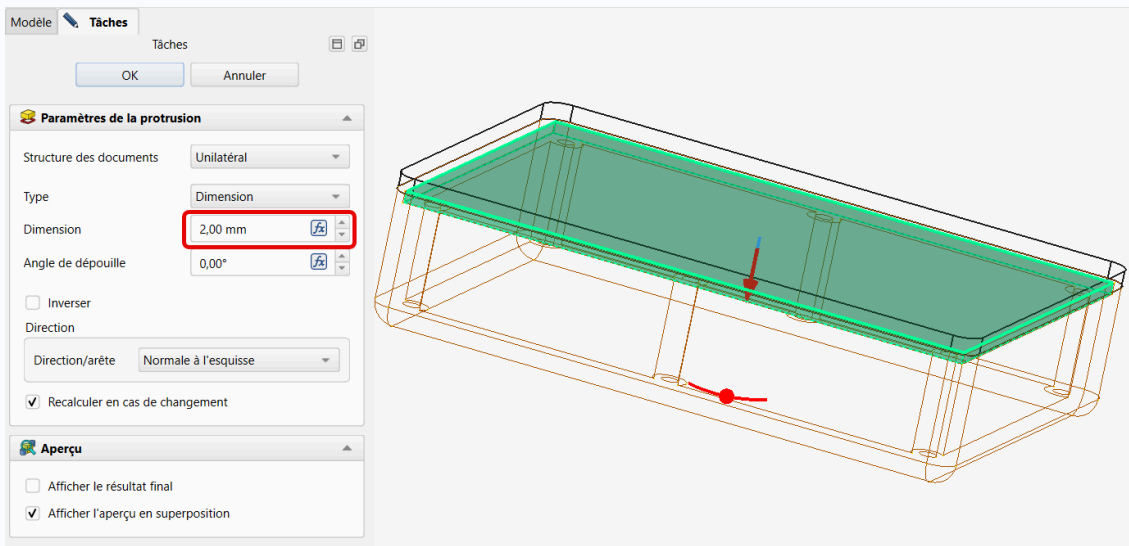
💡 Aide

- Réafficher l'objet Binder  si nécessaire ;
- Basculer en affichage filaire  ;
- Créer une géométrie externe de construction par projection  pour créer les deux contraintes de 0,2 mm correspondant au jeu prévu pour l'emboîtement de la partie basse du couvercle dans le fond de la boîte ;



Tâches à réaliser

- Créer une protrusion  de 2 mm correspondant à la partie inférieure du couvercle qui s'emboîte ;





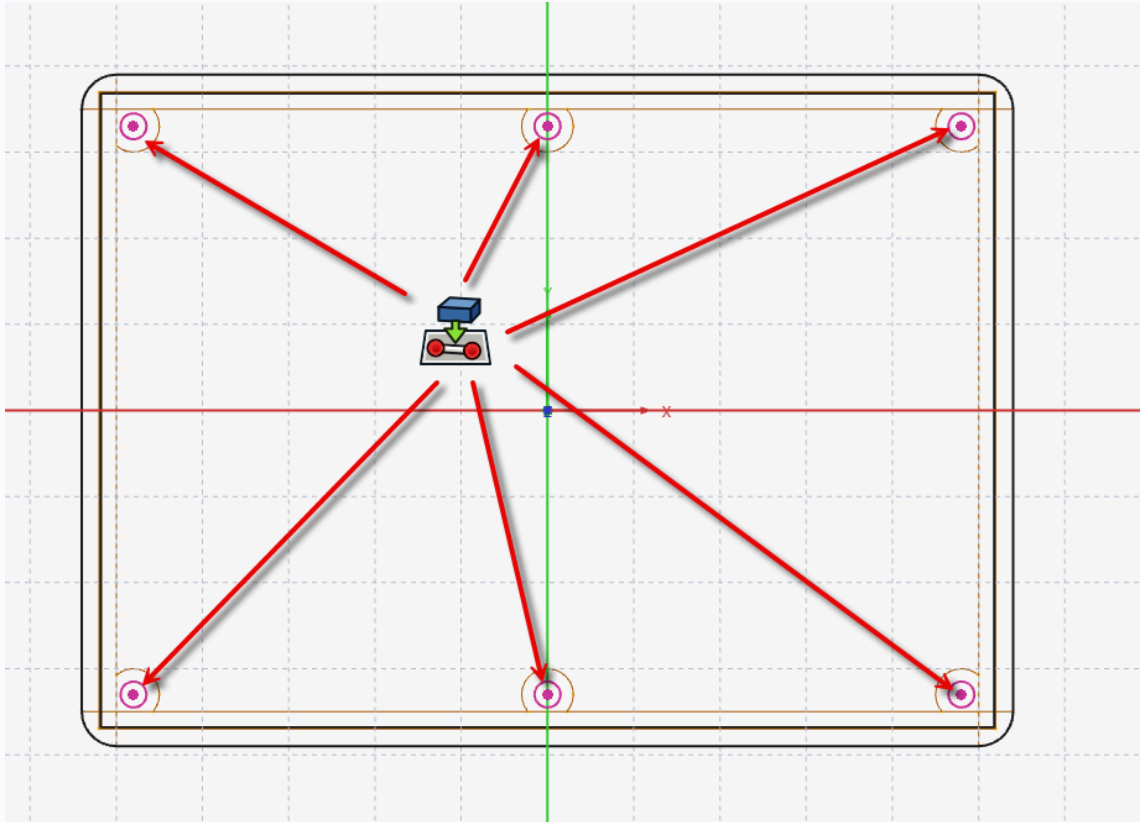
Protrusion de la partie inférieure du couvercle

- Revenir en affichage Filaire Ombré  (**V** puis **7** du clavier alphanumérique) ;

7.2.4. Perçages


☑️ Tâches à réaliser

- Sélectionner la face supérieure du couvercle et ajouter une nouvelle esquisse  ;
- Créer l'esquisse ci-dessous de 6 cercles à l'aide de géométries externes réelles  ;




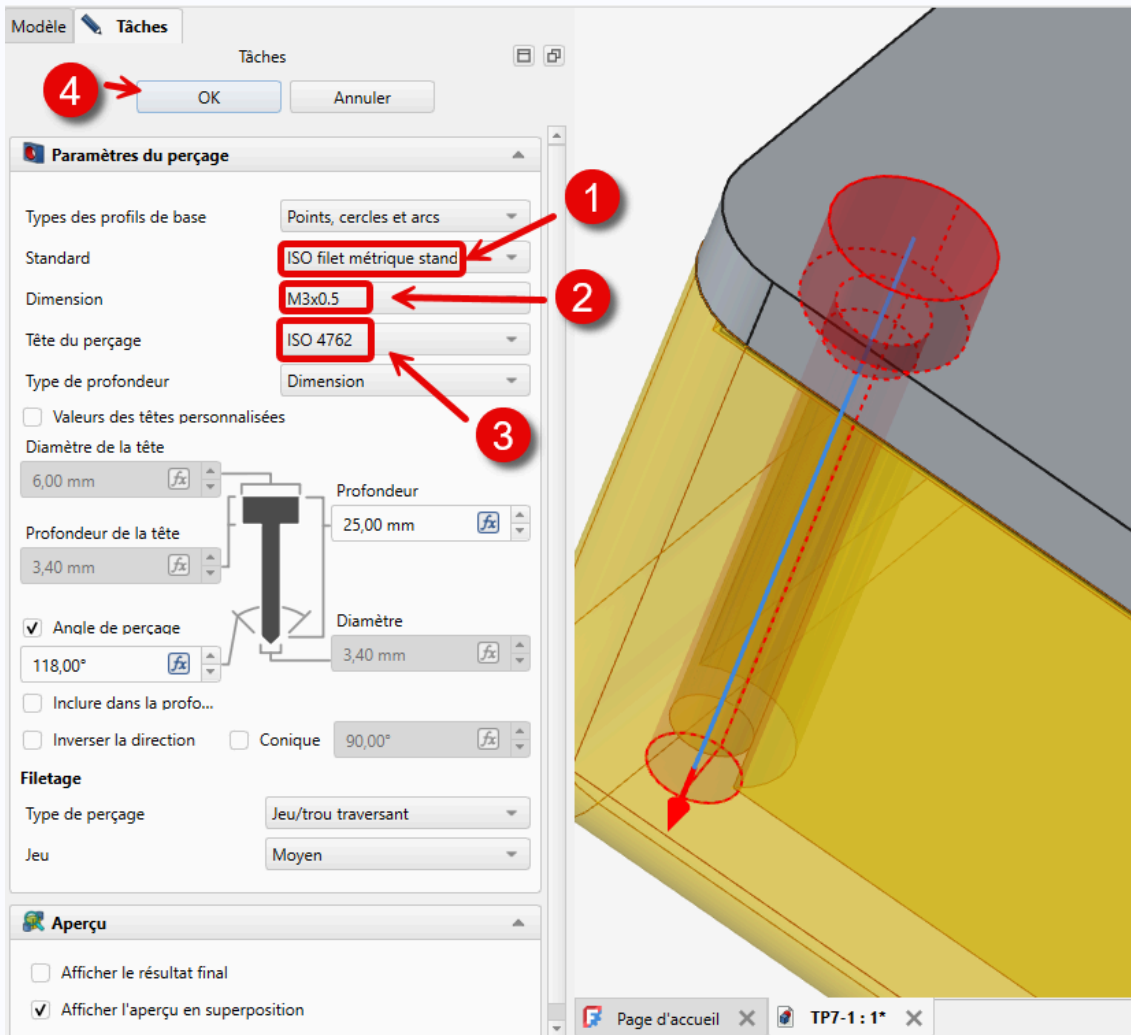
Esquisse pour le perçage

💡 Aide pour construire l'esquisse


- Basculer en affichage filaire  ;
- Créer les 6 géométries externes réelles par projection  pour créer les 6 cercles ;

☰ Tâches à réaliser





- Appliquer la fonction paramétrique Perçage  à cette esquisse pour modéliser les 6 emplacements de vis en appliquant les paramètres ci-dessous :

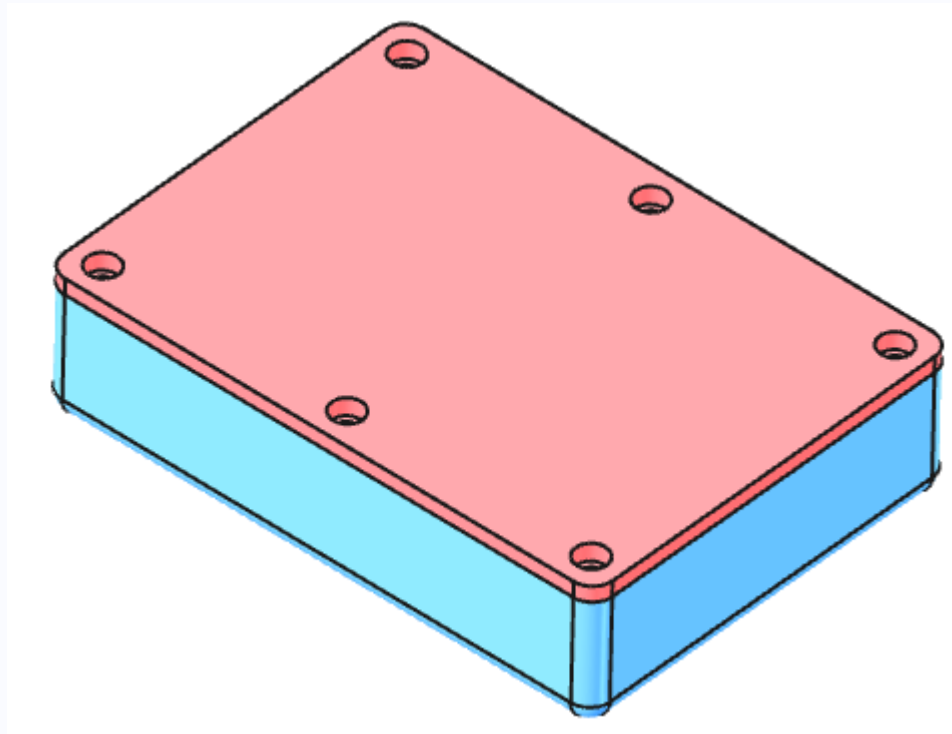


📌 Remarque


- Peu importe le diamètre des cercles dans l'esquisse, c'est la fonction Perçage  qui détermine la forme et la dimension des perçages ;

☰ Tâches à réaliser

- Masquer   Binder et réafficher   Fond ;
- Modifier la couleur diffuse des deux corps pour les différencier :



💡 Changer l'apparence d'un corps

- Dans l'onglet **Modèle**, cliquer droit sur le corps et sélectionner la commande  Définir l'apparence ;
- Cliquer sur le bouton **Apparence** ;
- Modifier la couleur diffuse du corps ;



🔧 Couleur des solides dans FreeCAD

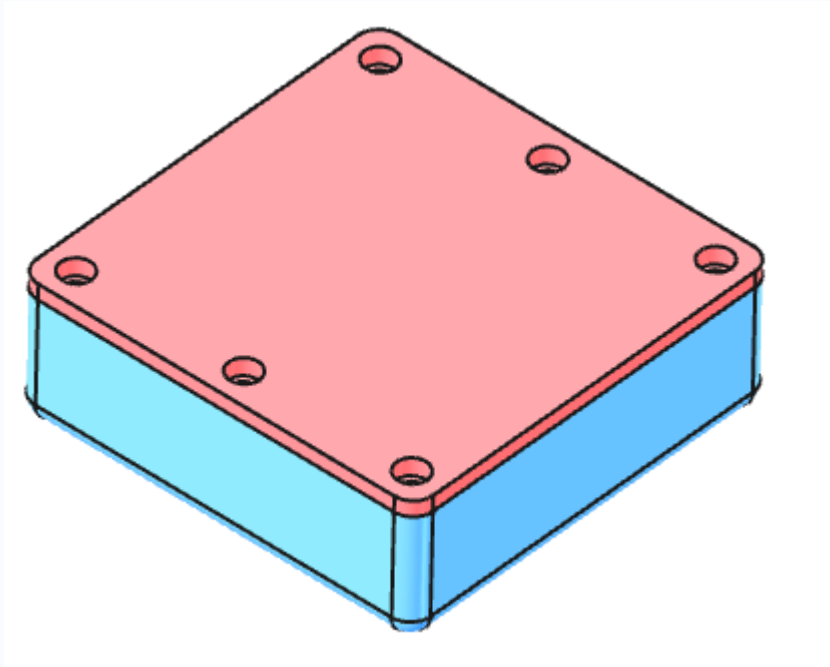
Couleur diffuse	Couleur principale de l'objet
Couleur émissive	Lumière propre à l'objet, émise par l'objet
Couleur ambiante	Lumière de fond
Couleur spéculaire	Couleur des reflets de lumière, plus elle est claire, plus la surface est brillante

cf. W : https://wiki.freecad.org/Std_SetAppearance/fr

7.2.5. Vérification de l'intégrité

☑️ Tache à réaliser

- Modifier la longueur du rectangle à 70 mm dans l'esquisse   ContourInterieur du fond de la boîte ;
- Vérifier que le modèle n'est pas cassé ;



7.2.6. 📺 Capture vidéo

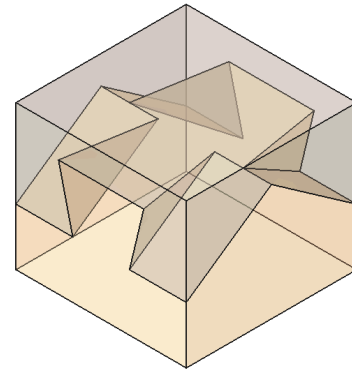
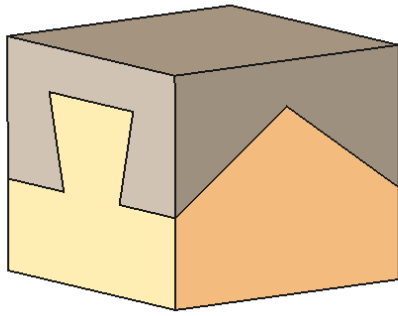


7.3. Opérateur booléen


🔄 Objectifs

- Dans l'atelier Part Design  :
 - Utiliser la fonction paramétrique Lissage soustractif  ^W,
 - Utiliser les commandes Clone  ^W et Opérateur booléen  ^W pour modifier ou réutiliser des corps  ;

Nous allons modéliser un assemblage, l'enture japonaise de poteau de la porte Ôtemon du château d'Osaka (cf. [TP07-2-Plan.pdf](#)) ;



☰ Tâches à réaliser

- Télécharger sur votre ordinateur le fichier [TP07-2-initial.FCStd](#) et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer le document sous le nom  TP7-2 ;

🕒 Remarque



Ce document FreeCAD contient : deux corps :  Amont et  Aval et un varset  Dim ;

The screenshot shows the FreeCAD interface with the model tree on the left and a 3D model on the right. The model tree shows a hierarchy starting with 'TP07-2-initial' containing a 'Dim' varset, followed by 'Amont' and 'Aval' bodies. The 'Base' table below the tree lists parameters for the 'Dim' varset:

Label	Dim
Ht Base Amont	20,00 mm
Ht Base Aval	20,00 mm
Inclinaison	35,00°
larg	30,00 mm

The 3D model on the right is a brown-colored assembly with dimensions labeled in green and pink. The pink labels 'Aval' and 'Amont' identify the top and bottom parts respectively. The green labels include 'Ht Assemblage' (total height), 'largueur' (width), 'Ht Base Amont' (height of the bottom part), and 'Ht Base Aval' (height of the top part). A red arrow points from the 'Dim' varset in the tree to the 'Base' table.

Document initial

Le varset   Dim contient 4 valeurs :

larg	30 mm	Largeur du poteau carré
Ht Base Amont	20 mm	Hauteur de la partie au-dessous de l'assemblage
Ht Base Aval	20 mm	Hauteur de la partie au-dessus de l'assemblage
Inclinaison	35 °	Inclinaison de l'assemblage

Pour notre exemple, la hauteur de l'assemblage est égale à $[\frac{larg}{2} \times \tan(inclinaison)] = 10,503mm$



Inclinaison

Dans FreeCAD, l'inclinaison devra rester comprise entre 29° et 35° sinon la fonction Lissage Soustractif

 ne fonctionnera pas 😞

7.3.1. Amont

Tâches à réaliser

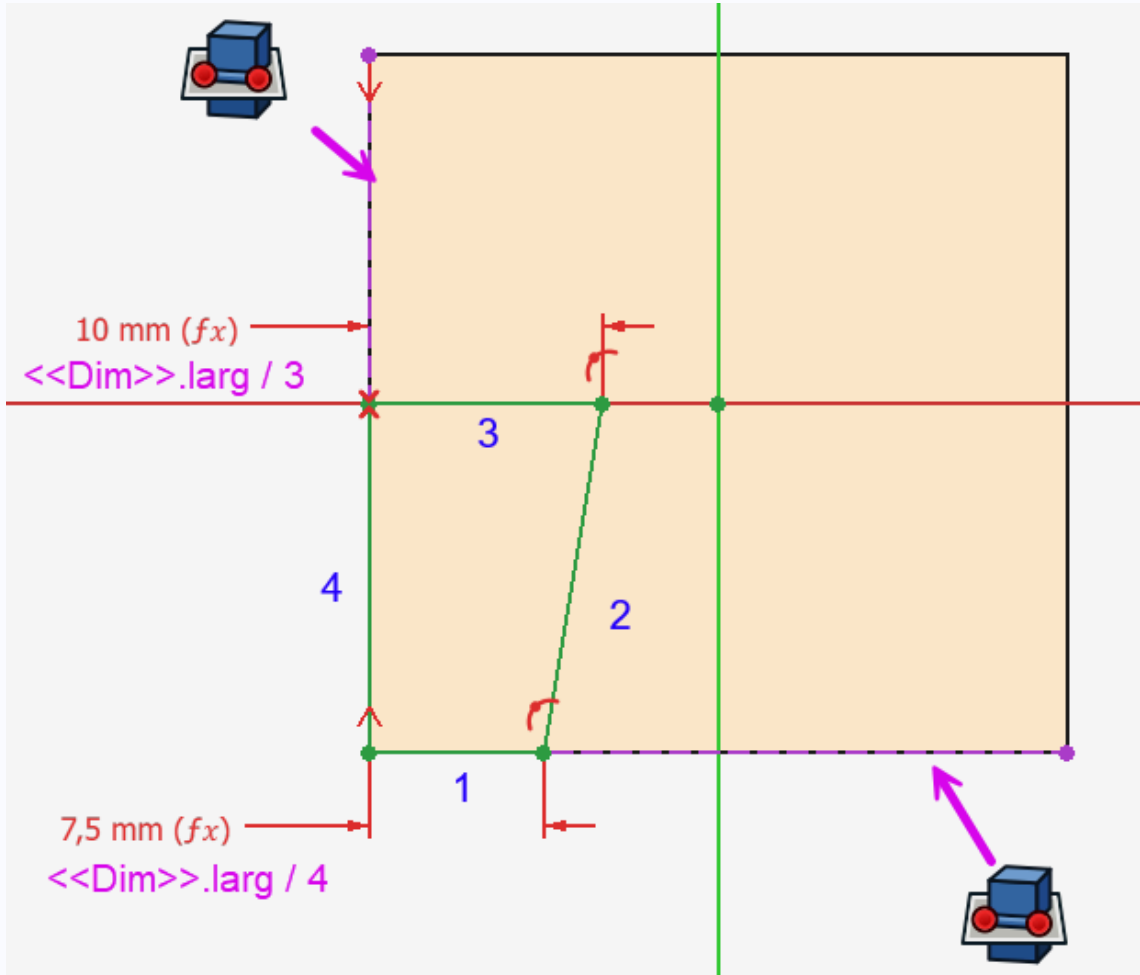
- Masquer le corps   Aval et activer le corps   Amont ;

7.3.1.1. 1^{er} lissage soustractif

Sketch002 

Tâches à réaliser

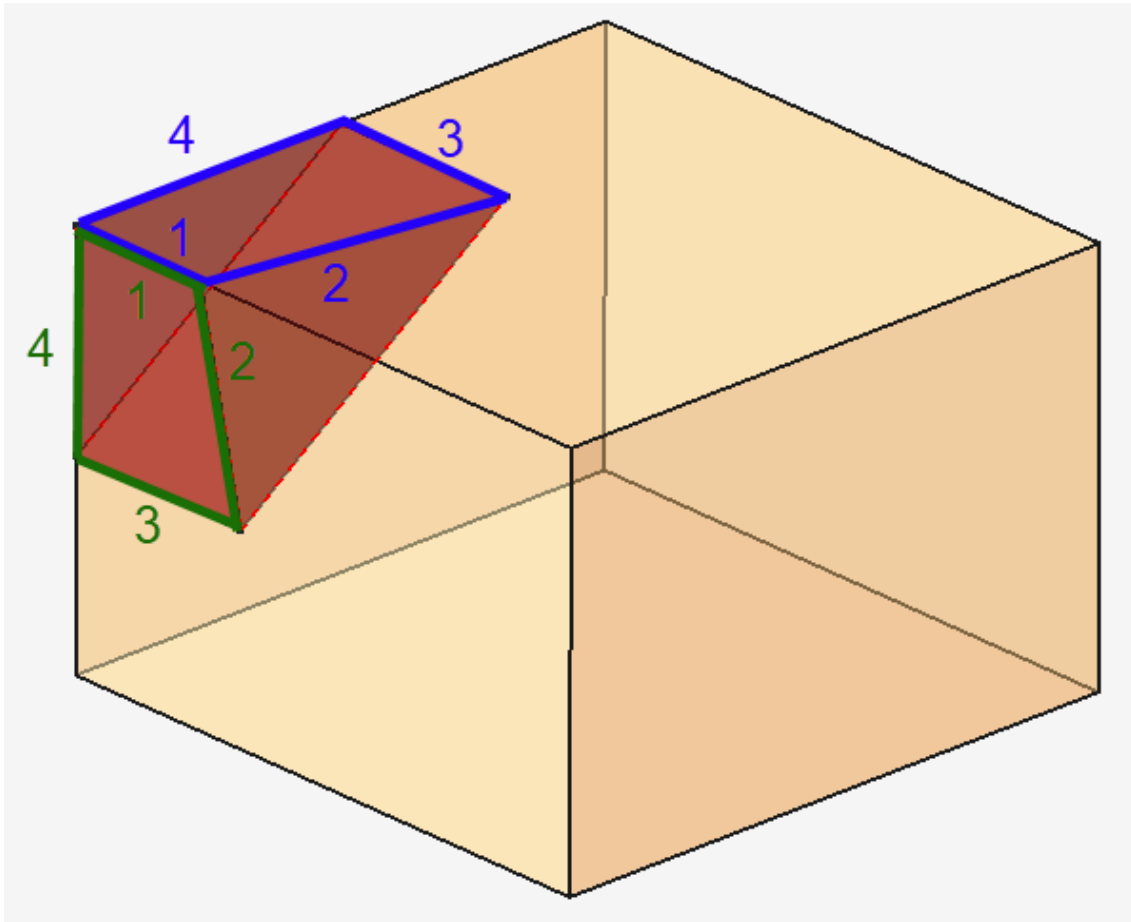
- Sélectionner la face du dessus et créer l'esquisse suivante ;



Sketch002

Sketch003 **⚠ Utilisation du lissage soustractif entre 2 esquisses**

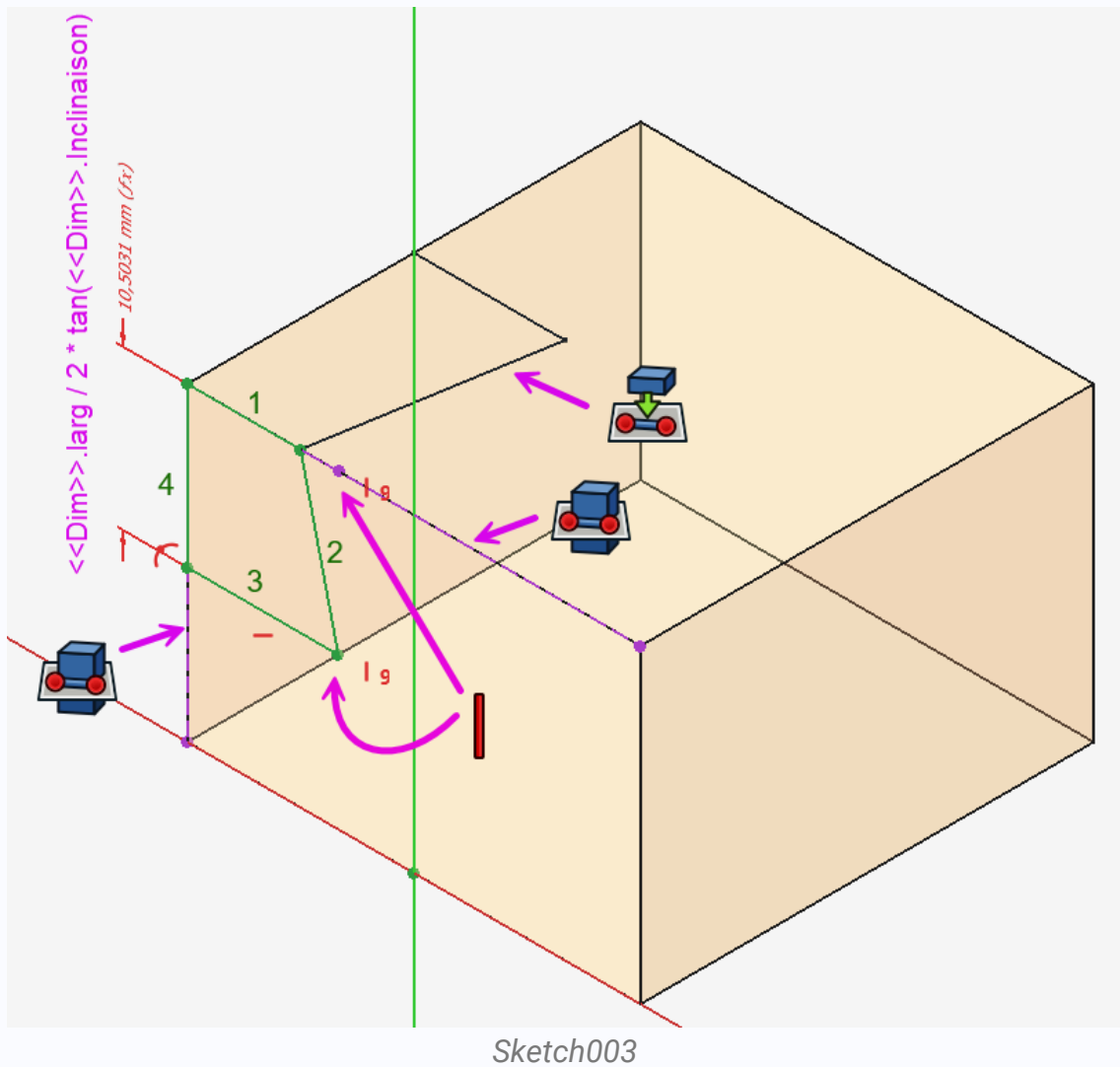
L'ordre de création des géométries doit être le même pour les deux esquisses :





Ordre de création des géométries

☰ Tâches à réaliser

- Sélectionner la face avant et créer l'esquisse suivante ;






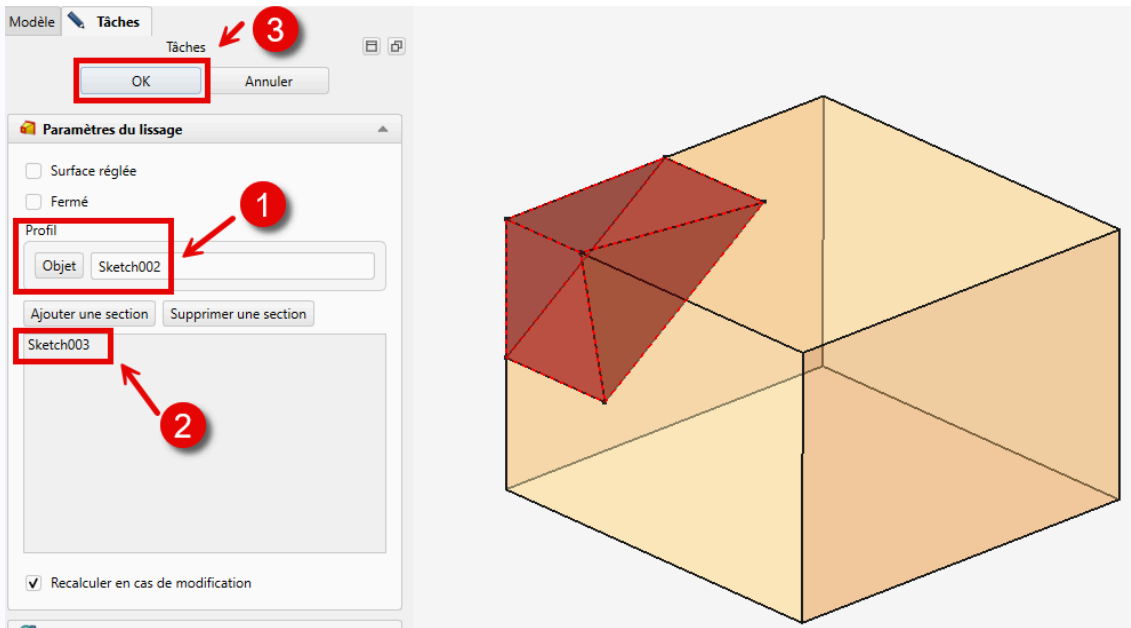
💡 Aide

- Pour créer les géométries externes, basculer en Vue isométrique  ;
- Pour créer la polyligne, revenir en Vue avant  ;

Lissage soustractif

☰ Lissage soustractif


- Sélectionner les deux esquisses  Sketch002 et  Sketch003 et appliquer la commande Lissage soustractif  ;



1er lissage soustractif

7.3.1.2. 2^{ème} lissage soustractif

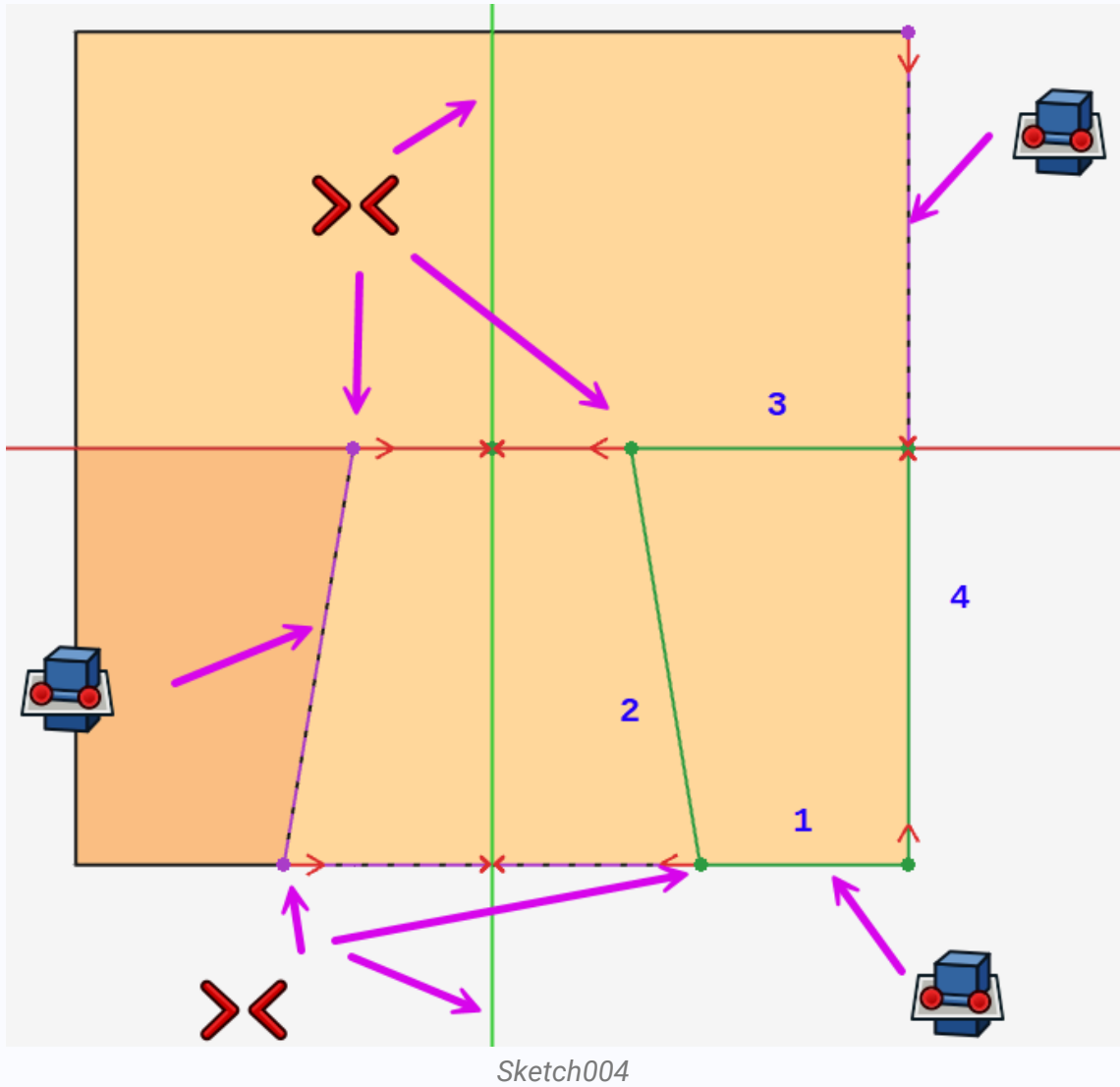
Remarque

- La transformation Symétrie  ne fonctionne pas ici mais on peut utiliser la symétrie pour construire les esquisses Sketch004 et Sketch005 :

Sketch004

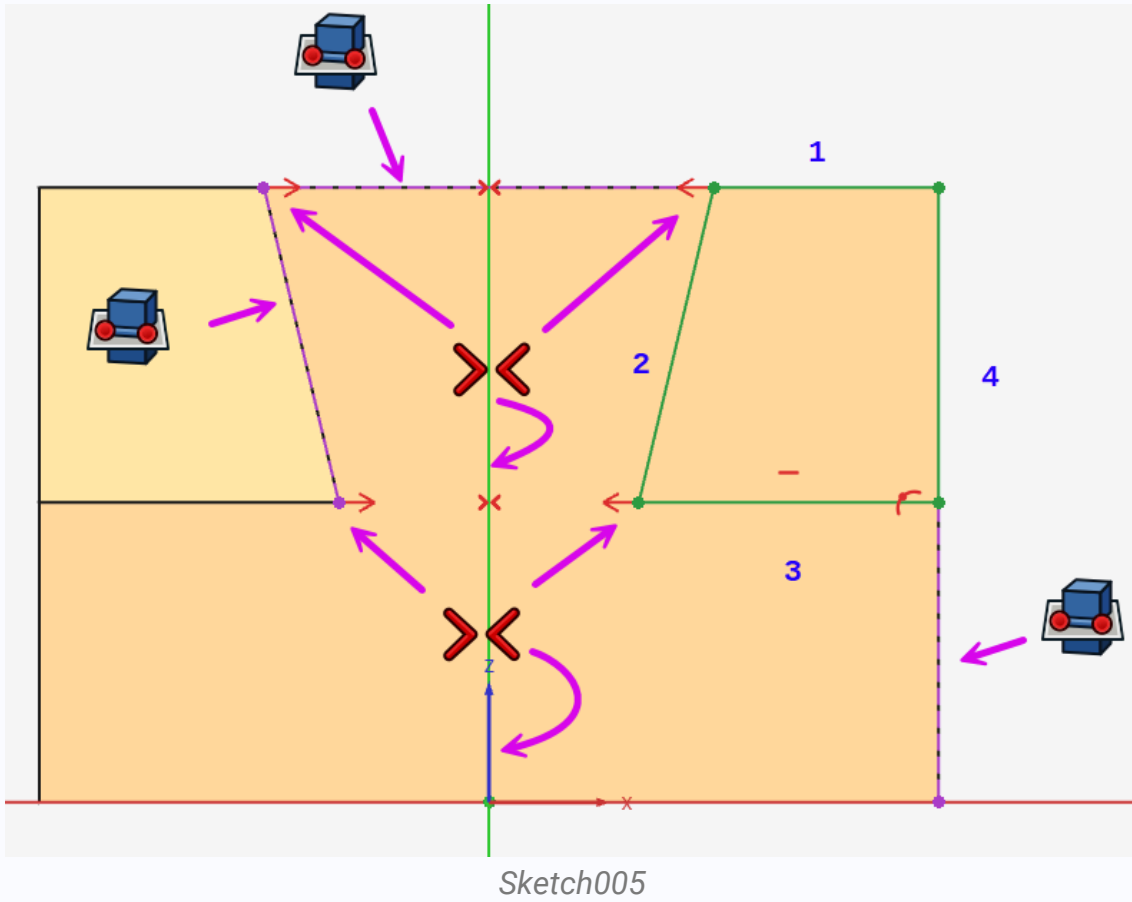
Tâches à réaliser

- Sélectionner la face du dessus et créer l'esquisse suivante :



Sketch005  **Tâches à réaliser**

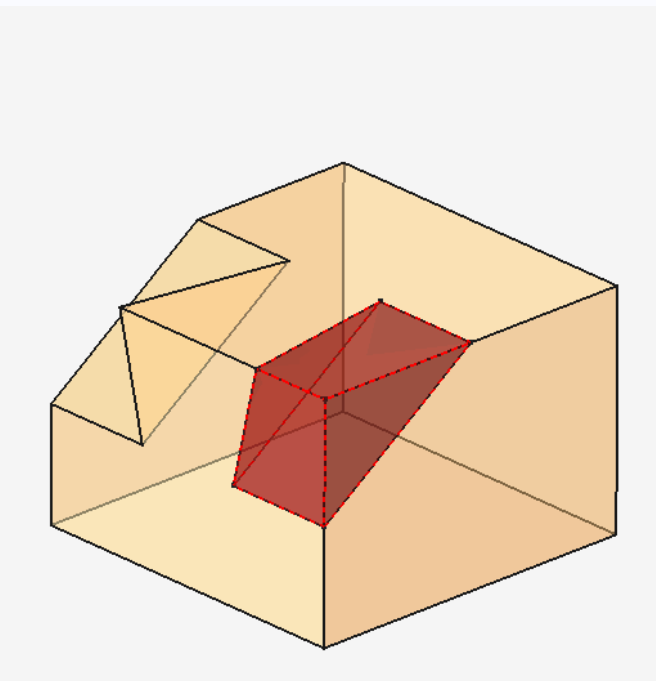
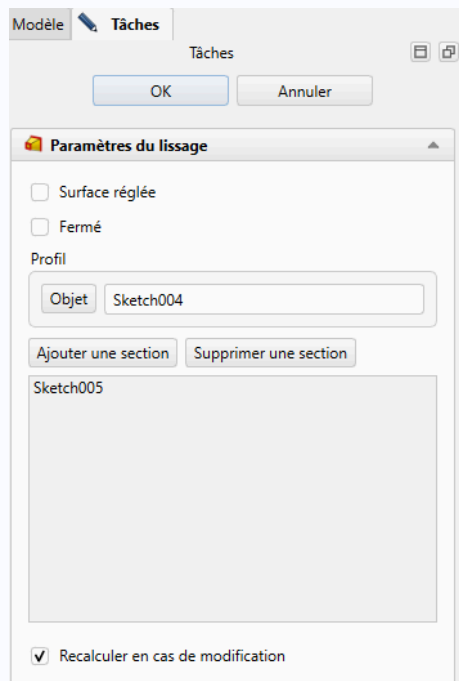
- Sélectionner la face avant et créer l'esquisse ci-dessous



Lissage soustractif

Tâches à réaliser

- Sélectionner les esquisses  Sketch004 et  Sketch005 et appliquer la commande lissage soustractif  :



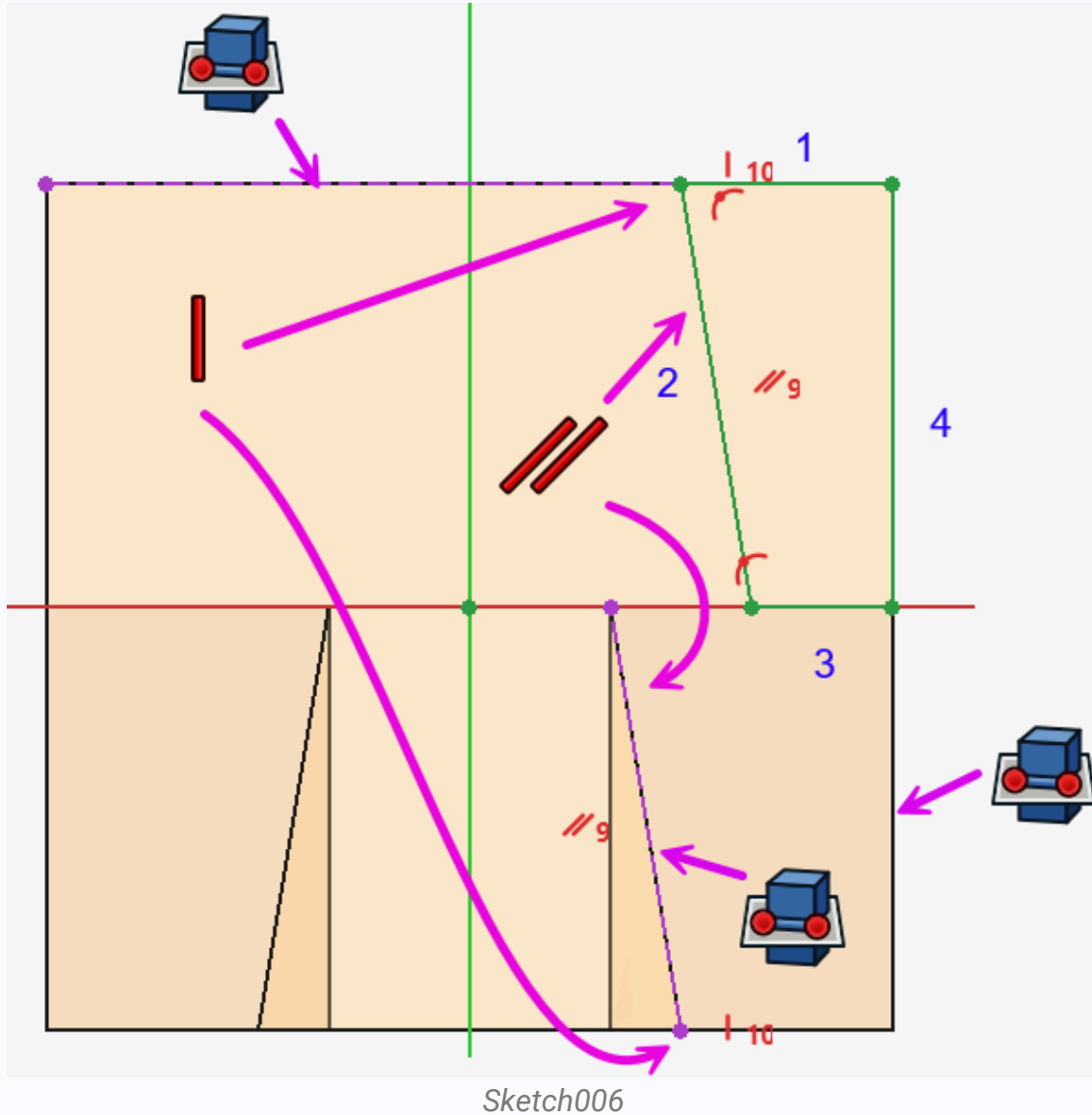
2ème lissage soustractif

7.3.1.3. 3^{ème} lissage soustractif

Sketch006 

Tâches à réaliser

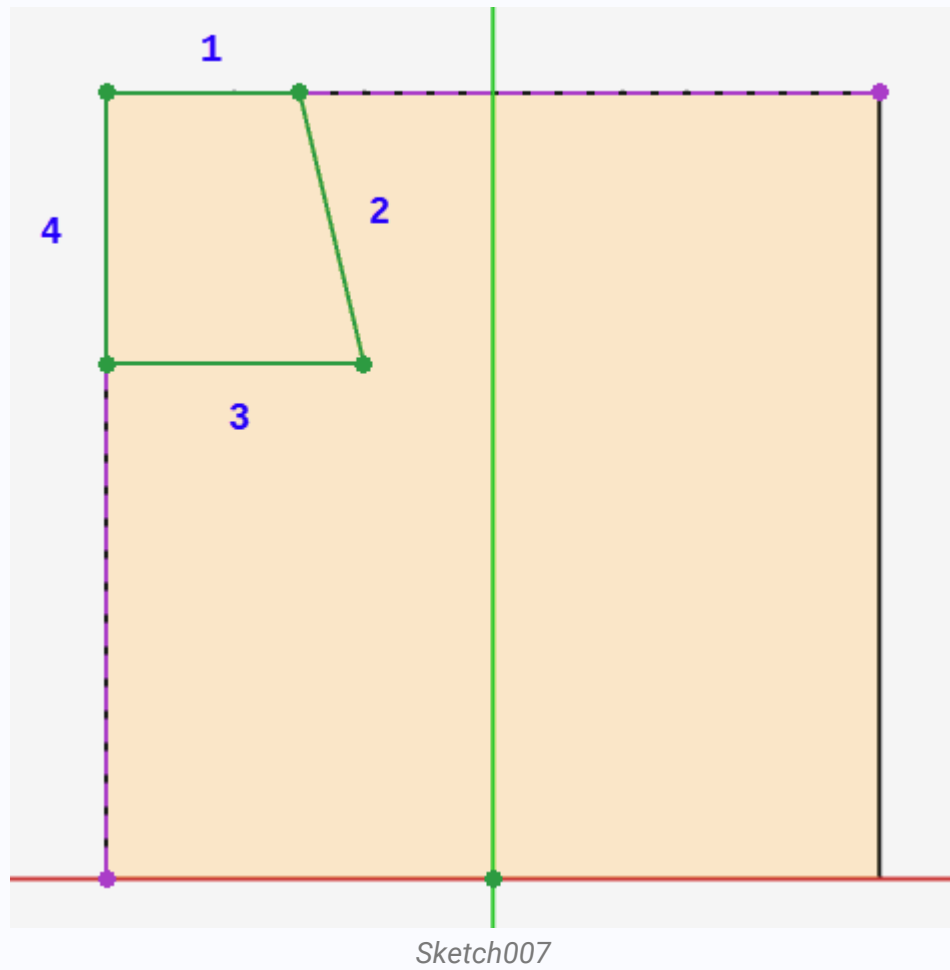
- Sélectionner la face de dessus et créer l'esquisse ci-dessous :




Sketch007

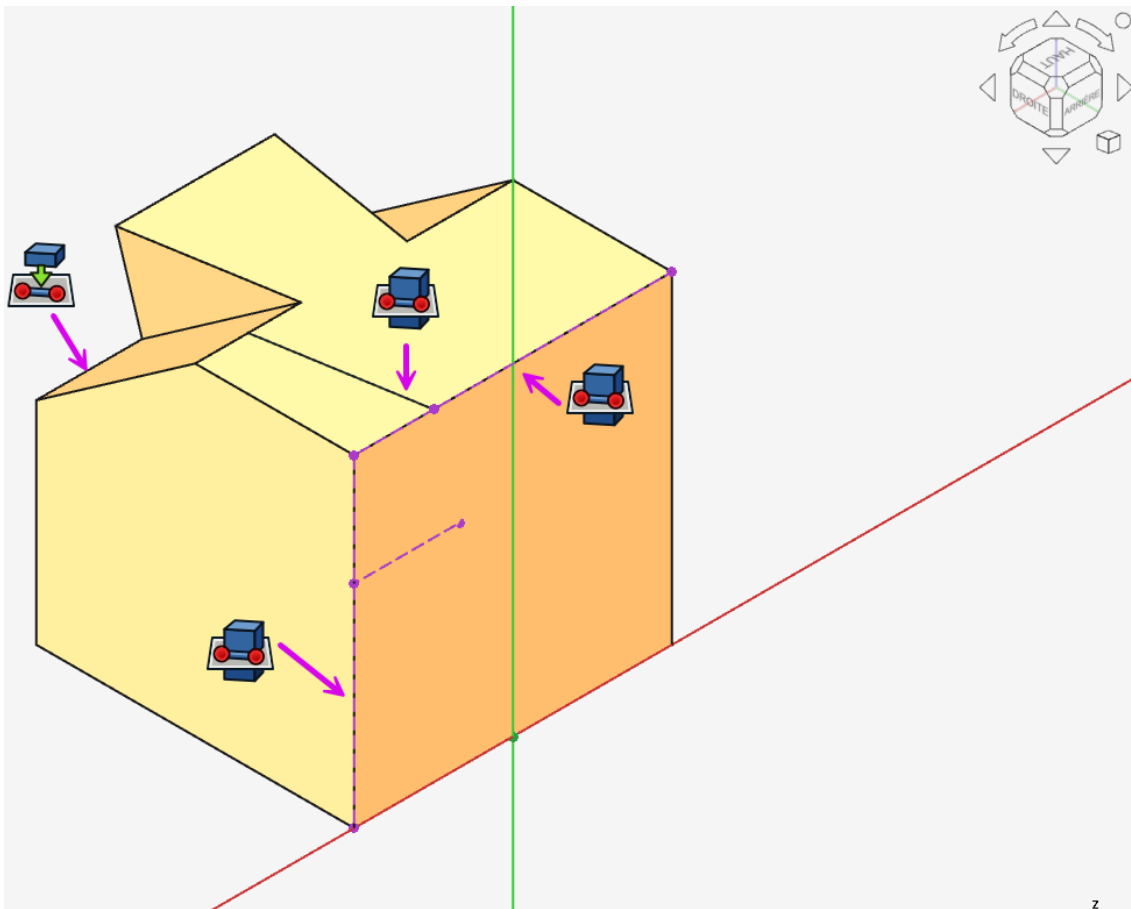
Tâches à réaliser

- Sélectionner la face arrière et créer l'esquisse ci-dessous ;




💡 Truc & astuce

Pour construire les géométries externes, basculer en vue isométrique  ;






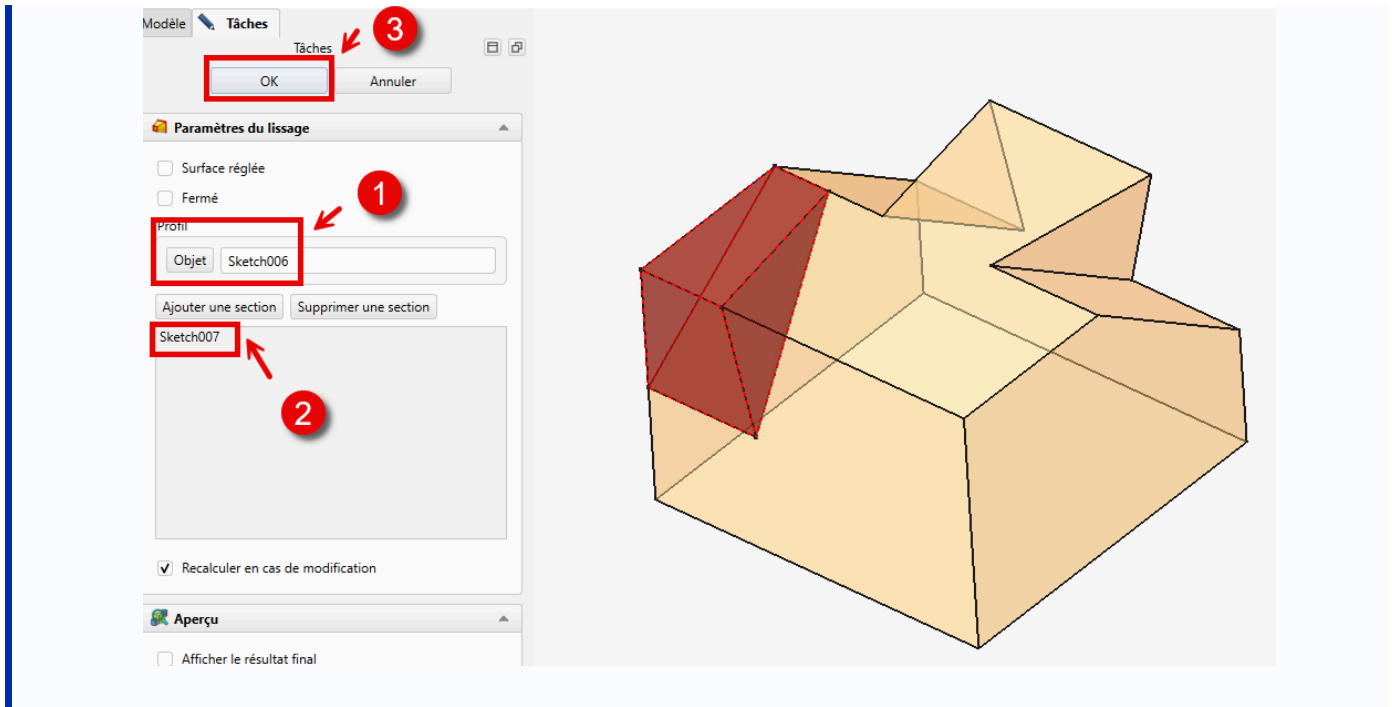
Géométries externes pour Sketch007

Pour construire la polygone, revenir en vue arrière  ;

Lissage soustractif

☑️ Tâches à réaliser

- Sélectionner les deux esquisses  Sketch006 et  Sketch007 et appliquer la commande Lissage soustractif  ;

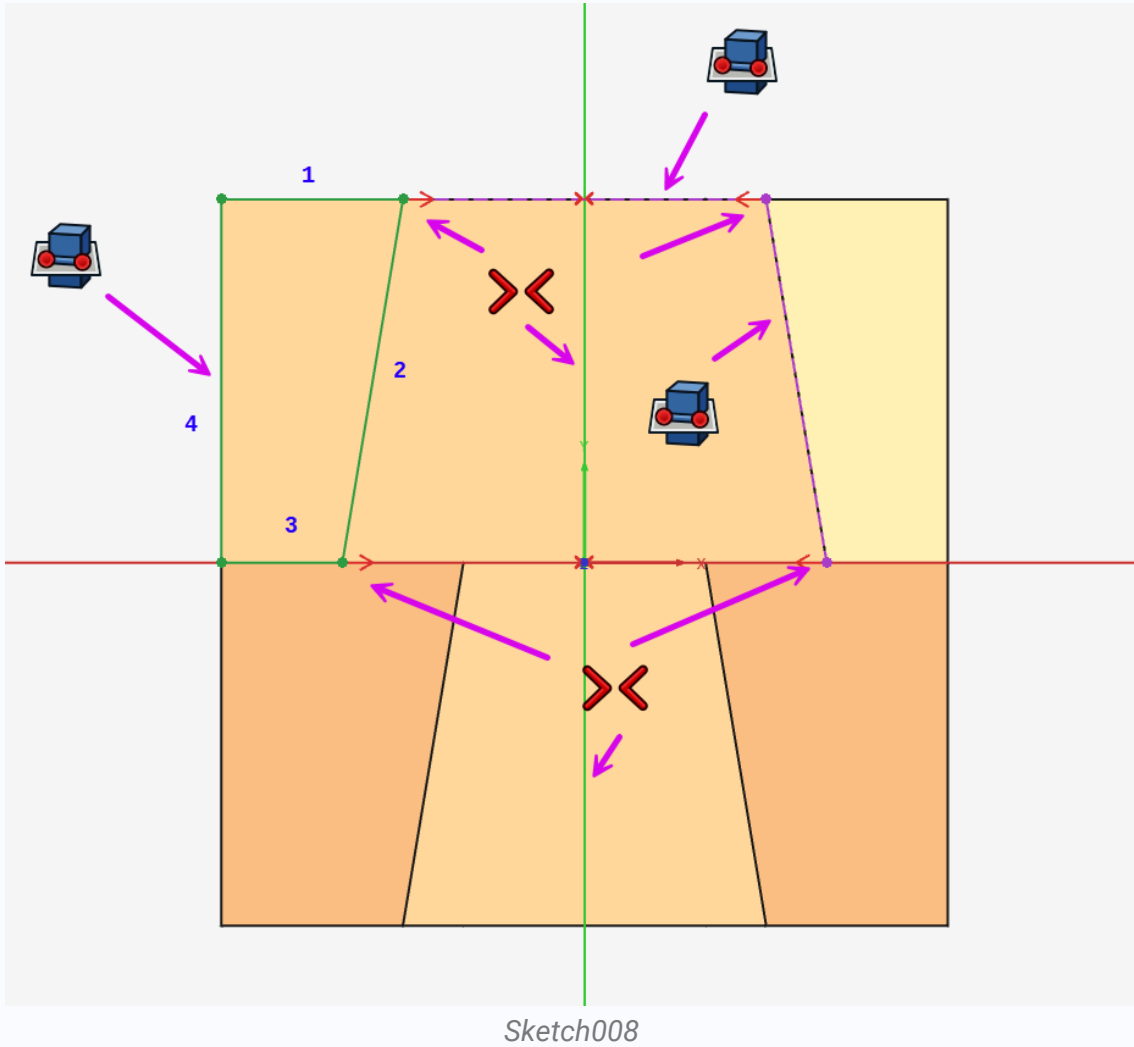


7.3.1.4. 4^{ème} lissage soustractif

Sketch008 

Tâches à réaliser

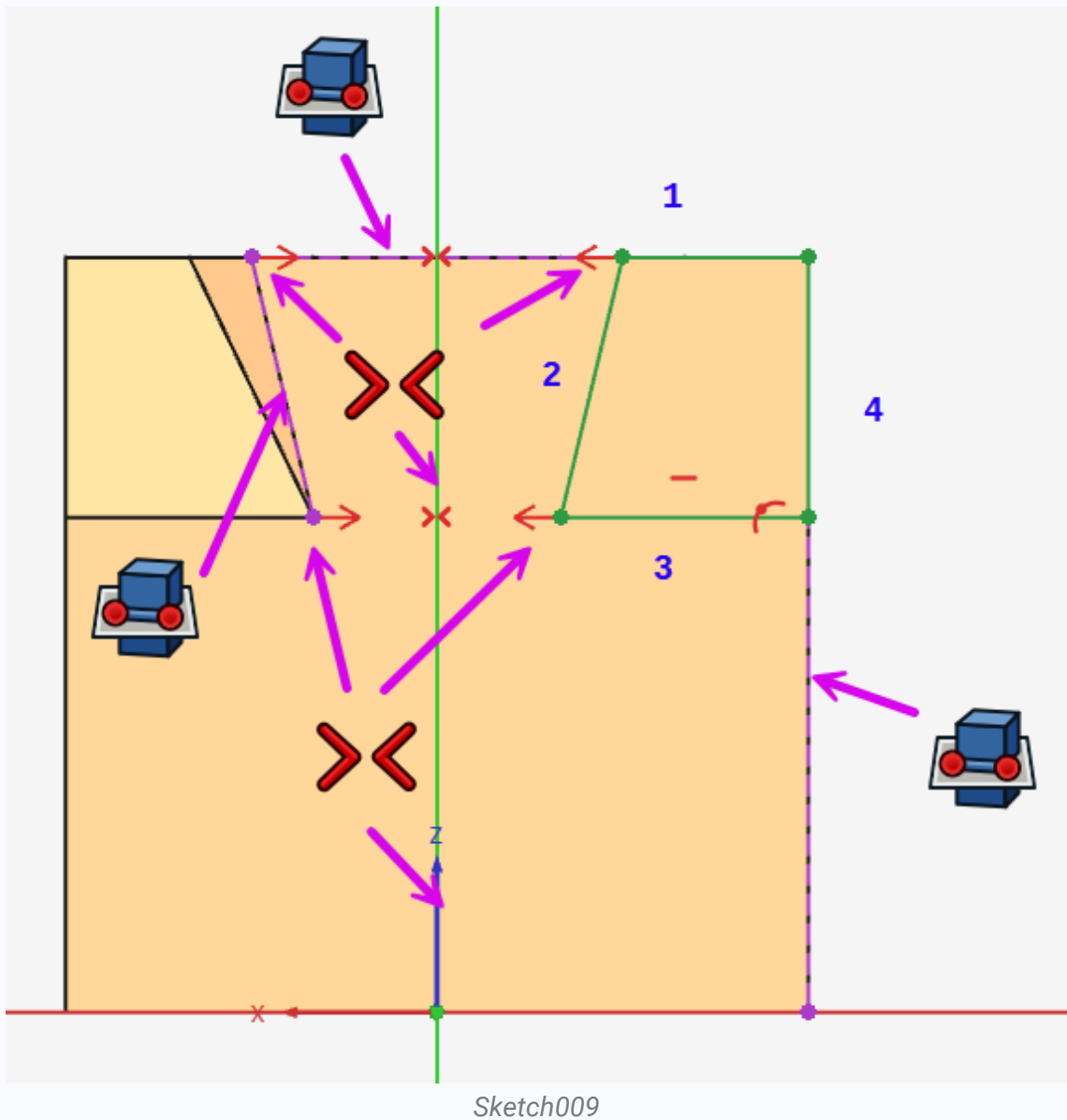
- Sélectionner la face du dessus et créer l'esquisse ci-dessous :



Sketch009




Tâches à réaliser

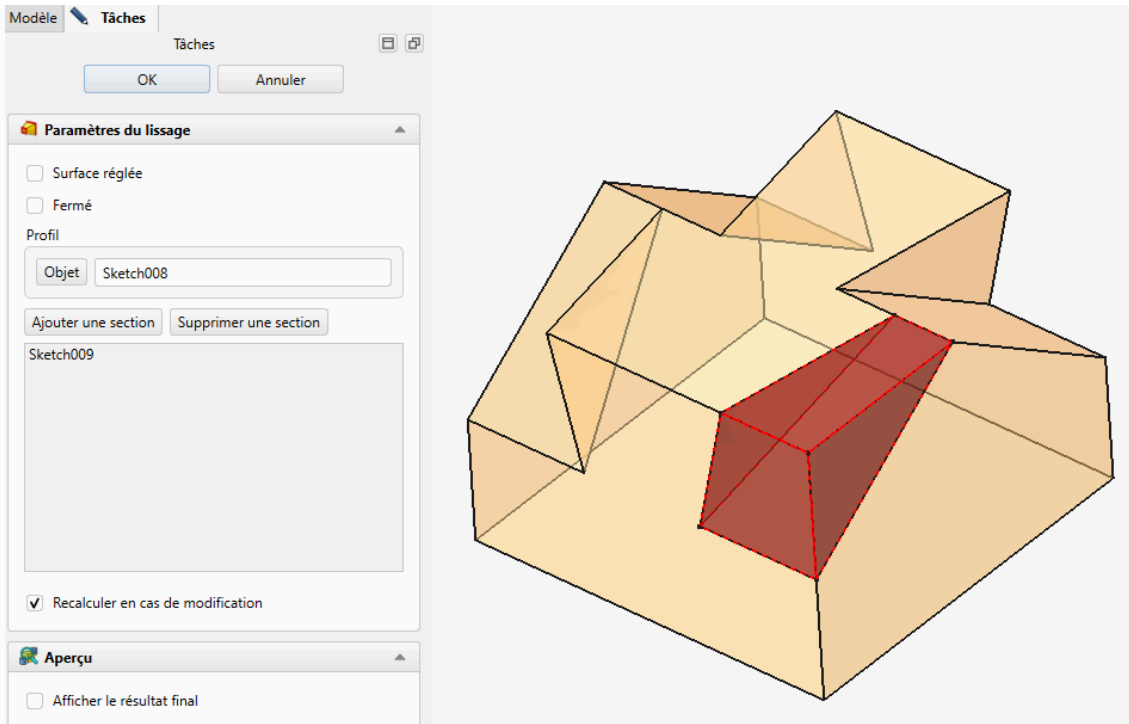
- Sélectionner la face arrière et créer l'esquisse ci-dessous :



Lissage soustractif


Tâches à réaliser

- Sélectionner les deux esquisses  Sketch008 et  Sketch009 et appliquer la commande Lissage soustractif  ;





7.3.2. Aval

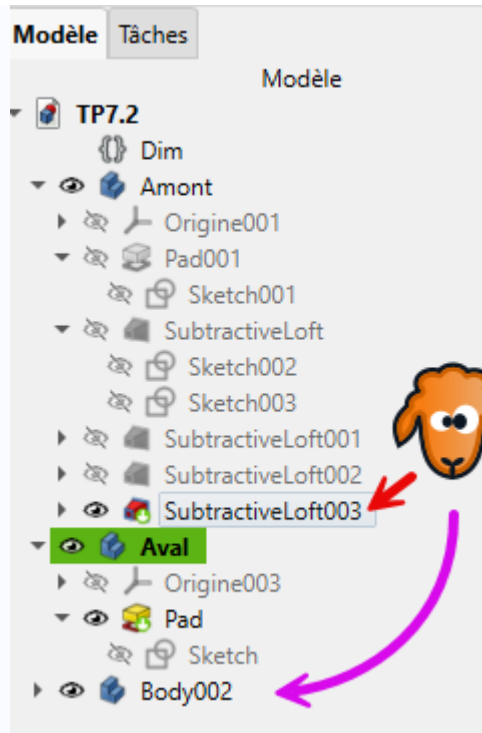
Clone

La commande Clone  crée une copie liée d'un objet sélectionné, qui suivra toutes les modifications ultérieures apportées à l'objet d'origine (sauf le placement) ;

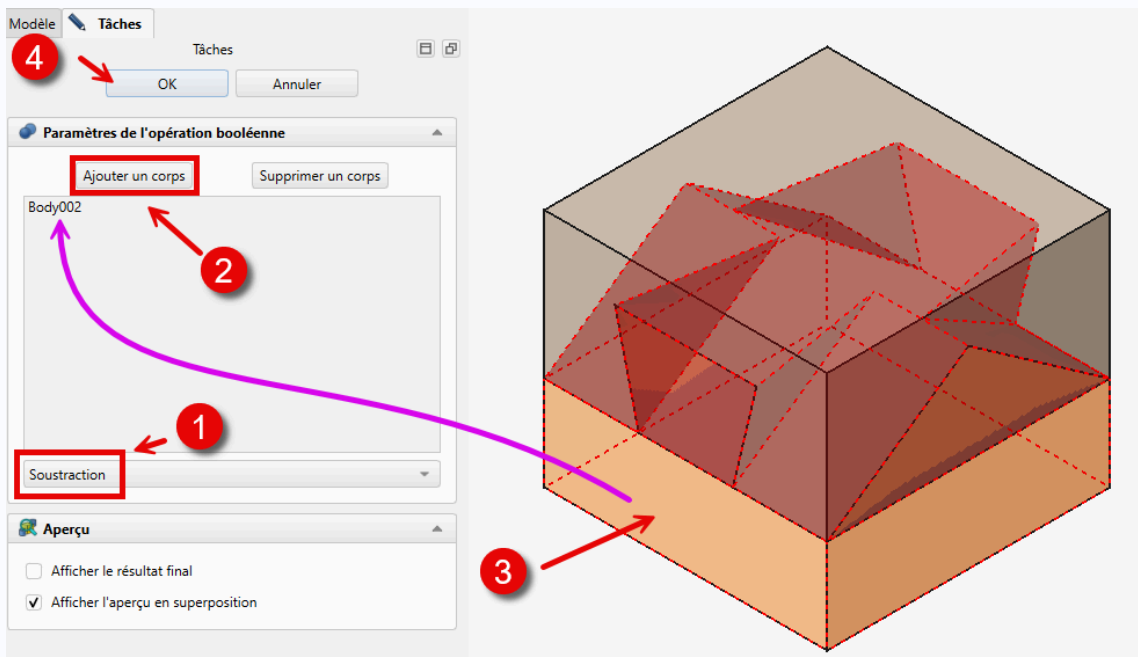
W : https://wiki.freecad.org/PartDesign_Clone/fr

Tâches à réaliser

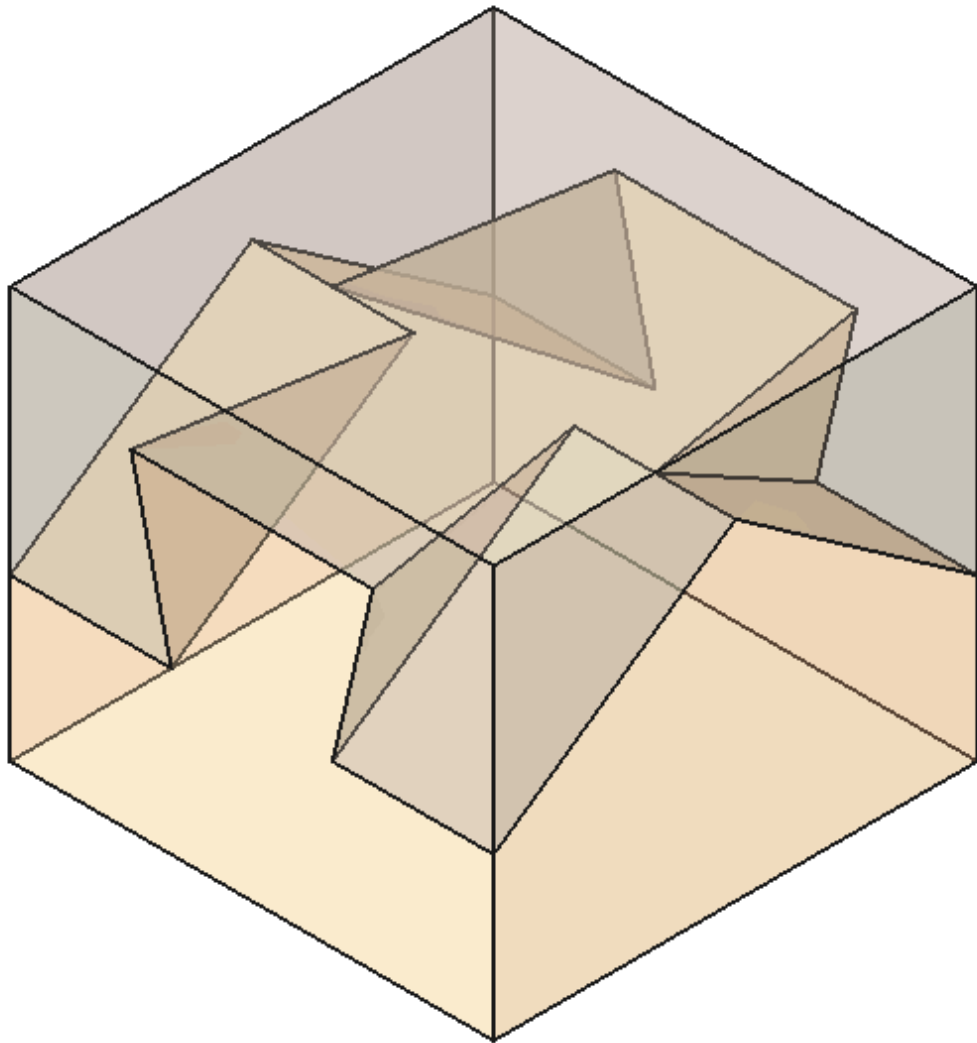
- Afficher et activer le corps  Aval ;
- Sélectionner  SubtractiveLotft003 du corps  Amont et exécuter la commande Clone  :
FreeCAD ajoute un nouveau corps  Body2 dans l'arborescence ;



- Masquer le corps Amont ;
- Sélectionner le corps Aval et exécuter la commande Opérateur booléen :



- Réafficher le corps Amont ;
- Activer la transparence des deux corps Amont et Aval ;



Assemblage avec transparence

7.3.3. Capture vidéo





8. Spreadsheet

Atelier Spreadsheet

≈ Atelier Tableur

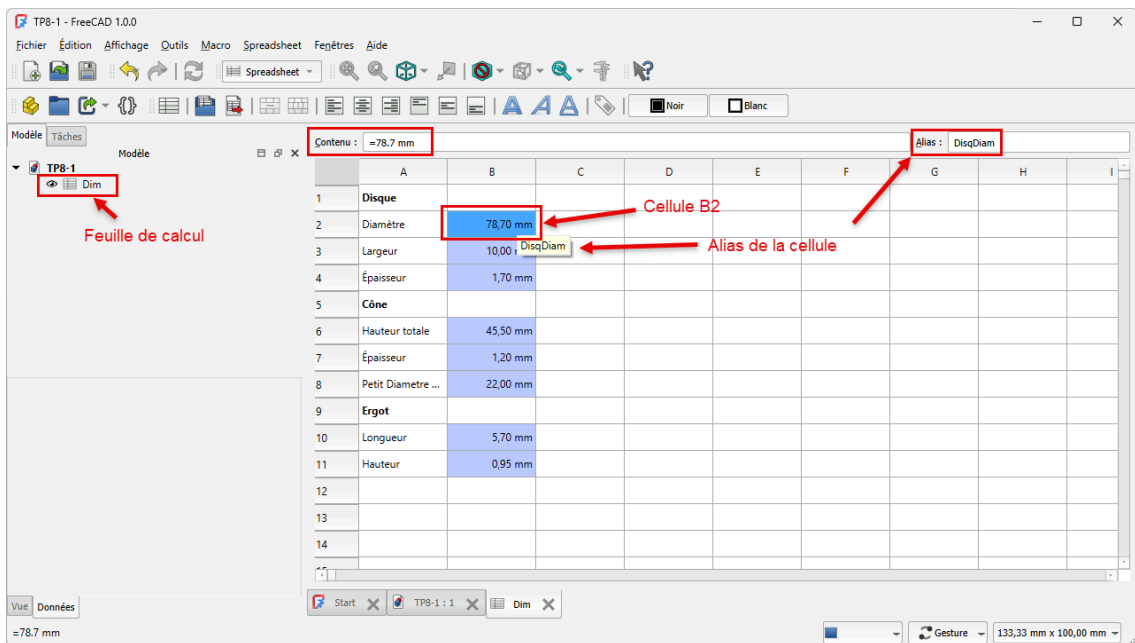
Permet de créer et d'éditer des feuilles de calcul dans un document FreeCAD. Il sera alors possible :

- d'utiliser des données de la feuille de calcul pour définir un modèle : lorsque les valeurs sont modifiées dans la feuille de calcul, le modèle sera mis à jour ;

ou bien

- de compléter la feuille de calcul avec des données extraites d'un modèle, de réaliser des calculs et d'exporter ces données vers d'autres applications (LibreOffice Calc, Microsoft Excel...);

Exemple



The screenshot shows the FreeCAD Spreadsheet window with a table of dimensions. The following table represents the data shown in the spreadsheet:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Disque								
2	Diamètre	=78,70 mm							
3	Largeur	10,00	DisqDiam						
4	Épaisseur	1,70 mm							
5	Cône								
6	Hauteur totale	45,50 mm							
7	Épaisseur	1,20 mm							
8	Petit Diametre ...	22,00 mm							
9	Ergot								
10	Longueur	5,70 mm							
11	Hauteur	0,95 mm							
12									
13									
14									

Annotations in the image:

- A red box highlights the formula bar containing `Contenu : =78.7 mm`.
- A red box highlights the alias `Alias : DisqDiam`.
- A red box highlights the cell `Dim` in the left sidebar, with an arrow pointing to it labeled `Feuille de calcul`.
- A red box highlights cell B2 (78,70 mm), with an arrow pointing to it labeled `Cellule B2`.
- A red box highlights cell C3 (DisqDiam), with an arrow pointing to it labeled `Alias de la cellule`.

Feuille de calcul

Contenu des cellules

- Une cellule peut contenir du texte arbitraire, un nombre ou une expression qui doit commencer par un signe égal '='.
- Les expressions peuvent contenir des nombres, des fonctions, des références à d'autres cellules et des références à des propriétés du modèle ;
- Le séparateur décimal est toujours un point. Mais les virgules peuvent également être utilisées lors de la saisie des valeurs.



💡 Alias

Les cellules sont référencées par leur colonne (lettre CAPITALE) et leur rangée (nombre), par exemple exemple B2 mais il est possible de définir un **alias** pour une cellule qui pourra être utilisé dans les formules de cellule et aussi dans les expressions générales ;


⚠️ Unités

Le tableur intègre une notion de dimension (unités) associée aux valeurs de cellule. Un nombre entré sans unité associée n'a pas de dimension. L'unité doit être entrée immédiatement après la valeur numérique, sans espace intermédiaire.

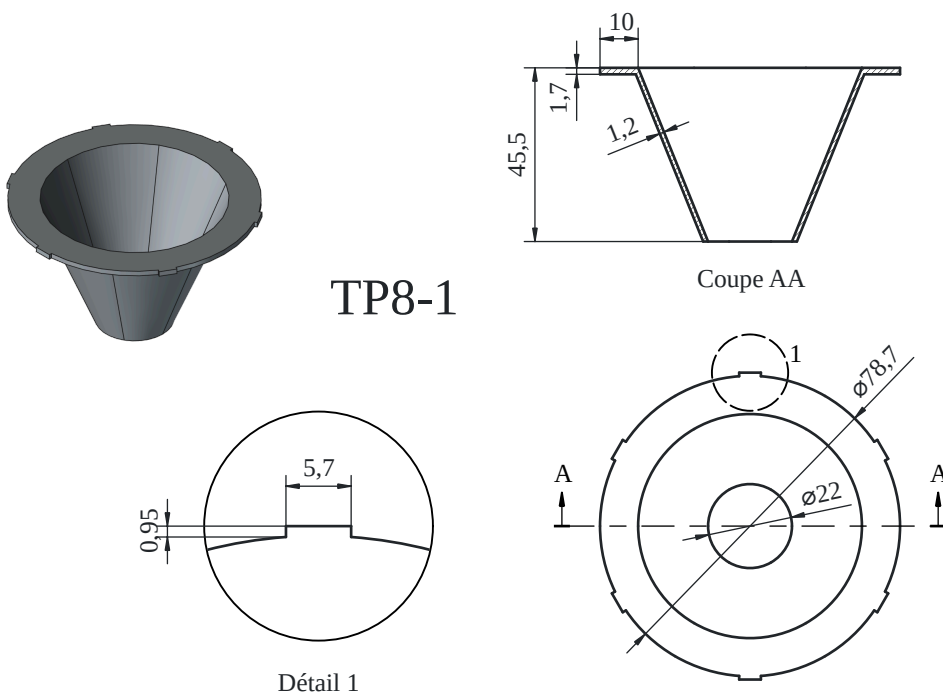
cf https://wiki.freecad.org/Spreadsheet_Workbench/fr

8.1. TP 8-1 🗨️

🔄 Objectifs

- Utiliser et exploiter l'atelier Spreadsheet  pour définir un modèle et récupérer des données d'un modèle ;
- Utiliser des alias d'une feuille de calcul pour saisir des contraintes dimensionnelles ;
- Récupérer des références d'un modèle dans une feuille de calcul ;

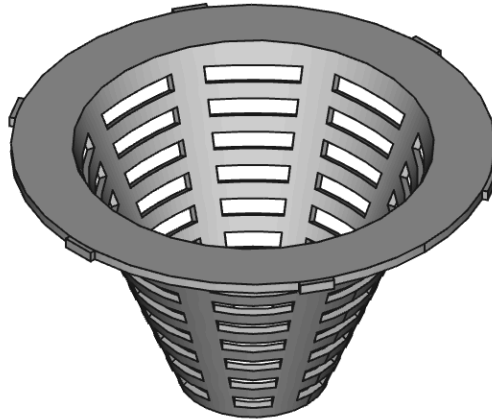
Nous allons modéliser le solide suivant (cf. [TP8-1-Plan](#)) en utilisant une feuille de calcul contenant toutes les dimensions du modèle.






+ Complément


Ce modèle sera complété au chapitre Draft  TP 9-3 pour devenir le filtre d'un piège à guêpes et frelons.



☑ Travail préparatoire


- Télécharger le fichier [tp08-1.csv](#) sur votre ordinateur ;
- Créer un nouveau document  TP8-1 dans FreeCAD ;

📄 Remarque

- Le fichier  tp08-1.csv est une feuille de calcul au format CSV contenant les dimensions nécessaires à la modélisation du solide.
- Nous l'utilisons ici simplement pour gagner du temps de saisie.

8.1.1. Création de la feuille de calcul

☑ Tâches à réaliser

- Importer le fichier  tp08-1.csv dans votre document FreeCAD à l'aide de la commande  Fichier → Importer... ;
- Dans l'onglet **Modèle**, double-cliquer sur   tp08-1 pour l'ouvrir dans l'atelier SpreadSheet  ;



Modèle Tâches

Modèle


TP8-1

tp08_1

Contenu :

	A	B	C
1	Disque		
2	Diamètre	78,70	
3	Largeur	10	
4	Épaisseur	1,70	
5	Cône		
6	Hauteur totale	45,50	
7	Épaisseur	1,20	
8	Petit Diamètre ...	22	
9	Ergot		
10	Longueur	5,70	
11	Hauteur	0,95	

Feuille de calcul importée

- Renommer la feuille de calcul  Dim et la mettre en forme la feuille comme ci-dessous :

Modèle Tâches

Modèle

TP8-1

Dim

Contenu : 'Disque

	A	B
1	Disque	
2	Diamètre	78,70
3	Largeur	10
4	Épaisseur	1,70
5	Cône	
6	Hauteur totale	45,50
7	Épaisseur	1,20
8	Petit Diamètre intérieur	22
9	Ergot	
10	Longueur	5,70
11	Hauteur	0,95

Renommer la feuille

Caractères gras



- Pour chaque cellule contenant une dimension, ajouter un alias en respectant le tableau ci-dessous :

	A	B	C	D
1	Disque			
2	Diamètre	78,70	DisqDiam	
3	Largeur	10	DisqLarg	
4	Épaisseur	1,70	DisqEp	
5	Cône			
6	Hauteur totale	45,50	ConeHt	
7	Épaisseur	1,20	ConeEp	
8	Petit Diamètre intérieur	22	ConeDiamInt	
9	Ergot			
10	Longueur	5,70	ErgotLong	
11	Hauteur	0,95	ErgotHt	

Alias

- Enregistrer votre document ;

💡 Pour saisir un alias :

- Sélectionner la cellule ;
- En haut à droite, saisir le nom de l'alias ;
- Valider à l'aide de la touche **Entrée** ;

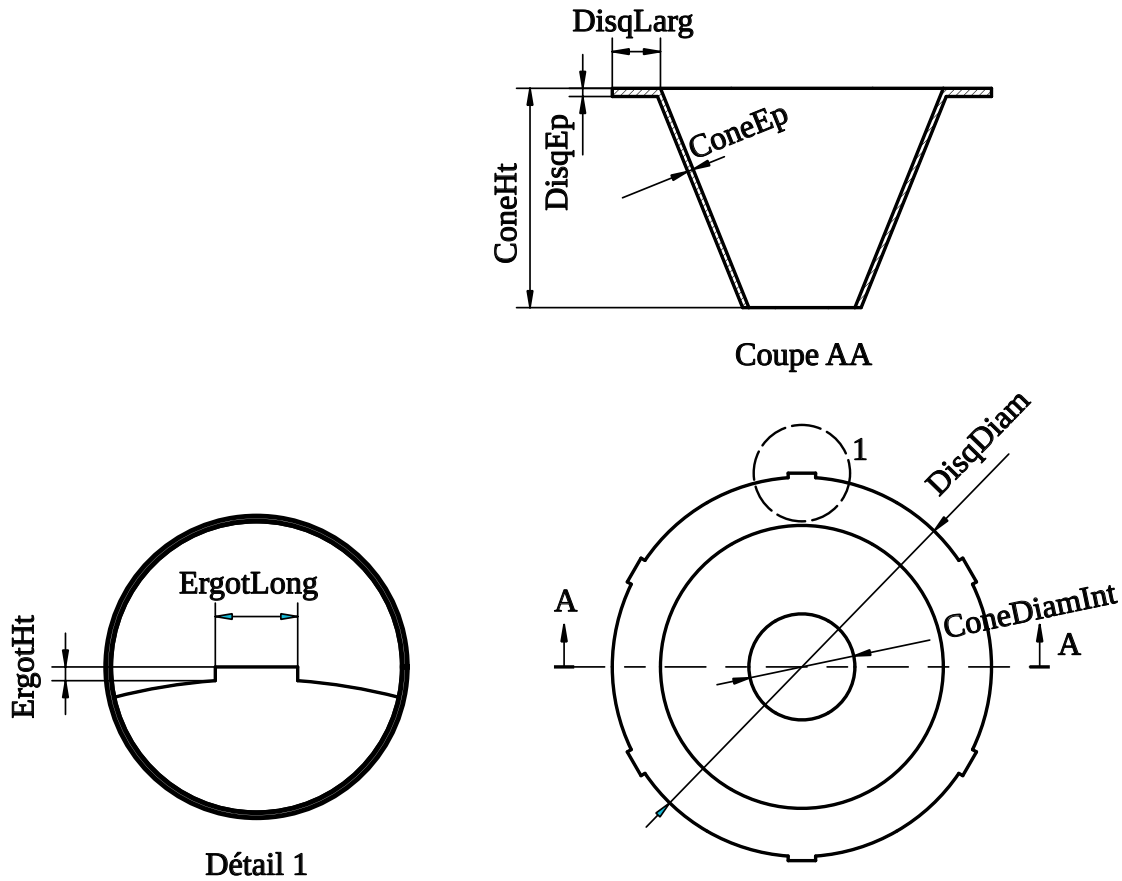
Le fond de la cellule doit se colorer.

📄 Unité

- Le mm est l'unité par défaut dans FreeCAD, inutile de la saisir.



💡 Correspondance entre les données de la feuille et les dimensions du modèle



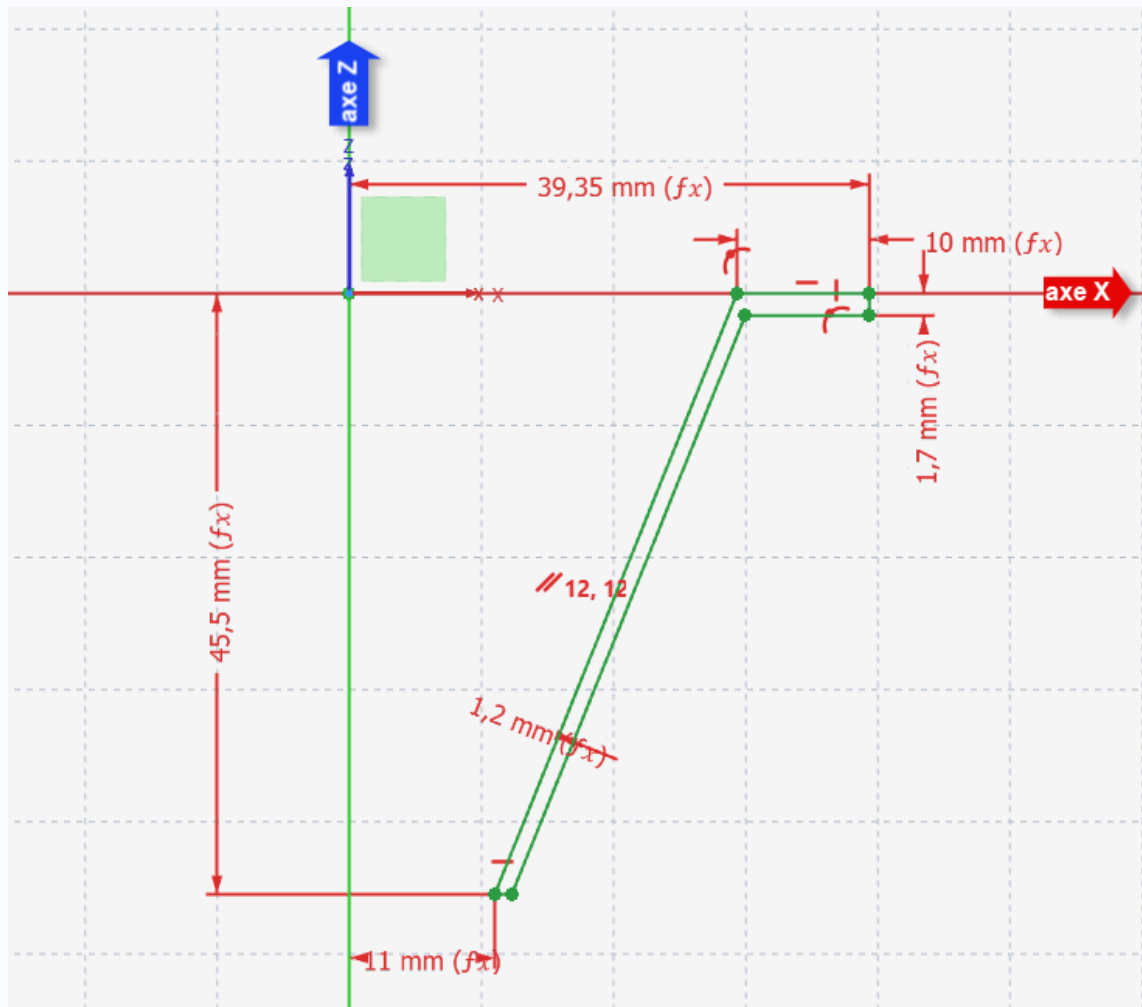
8.1.2. 1^{ère} esquisse & révolution

☑️ Tâches à réaliser

- Sélectionner l'atelier Part Design , créer un nouveau corps et une nouvelle esquisse dans le plan XZ ;



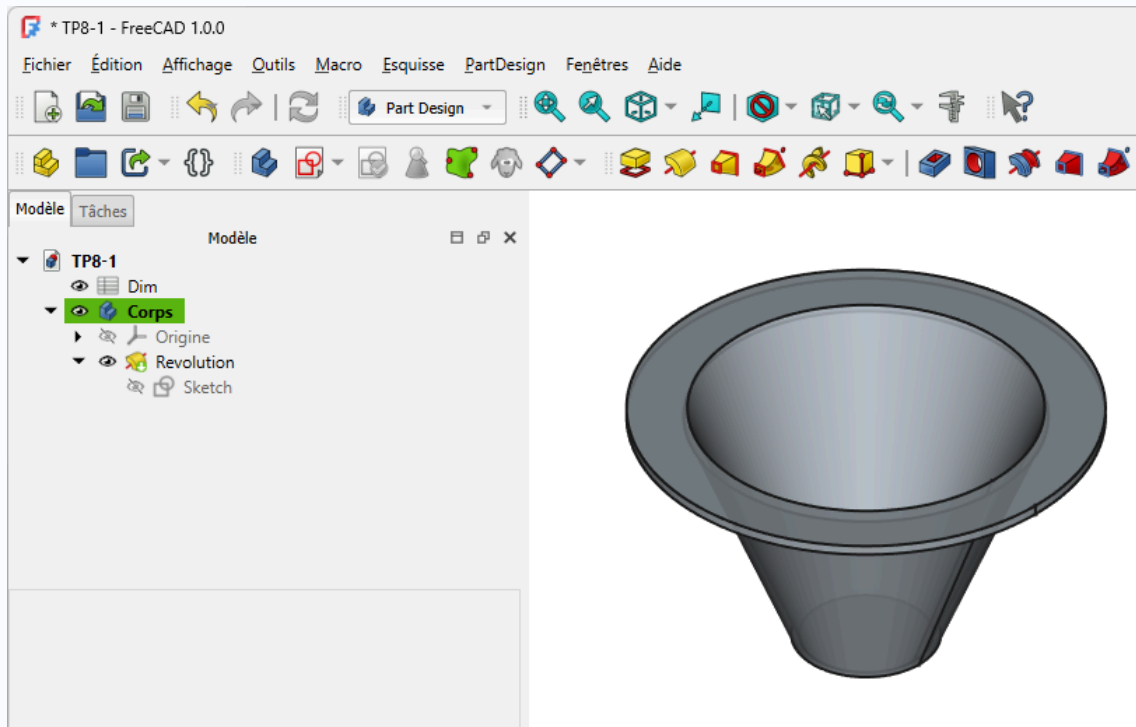
- Créer l'esquisse ci-dessous à l'aide d'une polyligne  et saisir les contraintes dimensionnelles via les alias de la feuille de calcul :





Esquisse du cône



- Créer une révolution  autour de l'axe vertical :




Aide

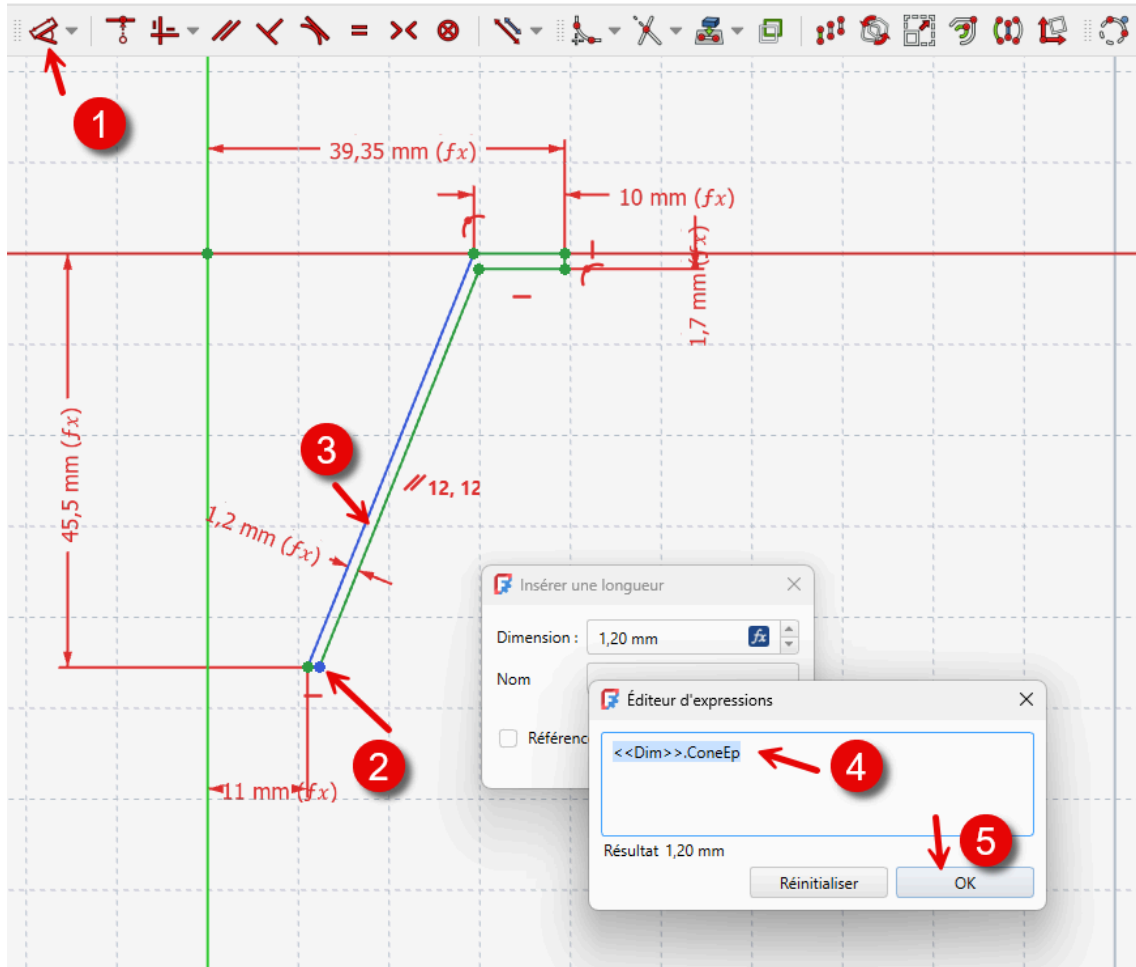
- Les lignes inclinées (génératrices du cône) sont parallèles  ;
- Pour saisir une valeur provenant de la feuille de calcul, vous pouvez :
 - soit cliquer sur le bouton ,
 - soit appuyer sur la touche =,

puis utiliser l' **auto-complétion automatique** de FreeCAD, par exemple :

- saisir **Dim** : FreeCAD vous propose une liste contenant <<Dim>> : Sélectionner le à l'aide des flèches du curseur ;
- puis saisir les 3 premiers caractères de l'alias par exemple **Dis** : FreeCAD affiche la liste des alias qui commence par Dis : sélectionner l'alias souhaité à l'aide des flèches du curseur ;

Saisir l'épaisseur du cône

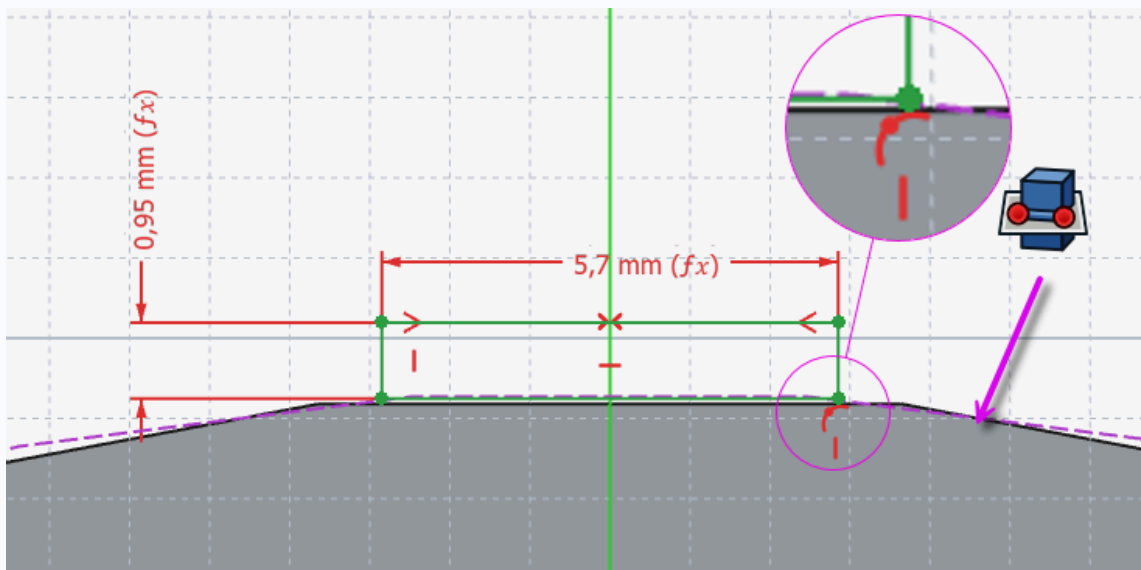
1. Sélectionner la commande  ;
2. Cliquer sur une extrémité d'une génératrice ;
3. Cliquer sur l'autre génératrice ;
4. Déplacer la souris et saisir l'épaisseur du cône à l'aide de la formule <<Dim>>.ConeEp ;



8.1.3. Créations des Ergots

☰ Tâches à réaliser

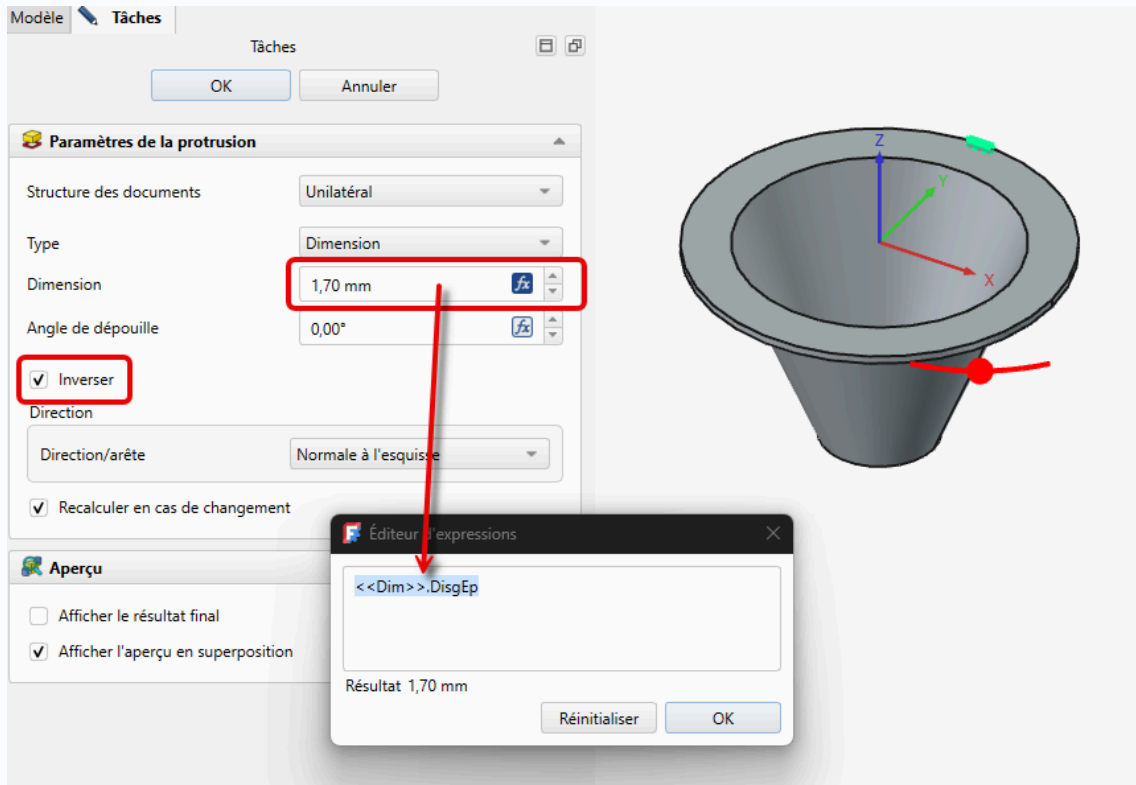
- Sélectionner la face de dessus et créer l'esquisse  ci-dessous constituée d'un rectangle  en utilisant les alias pour définir les deux contraintes dimensionnelles ;




Esquisse de l'ergot

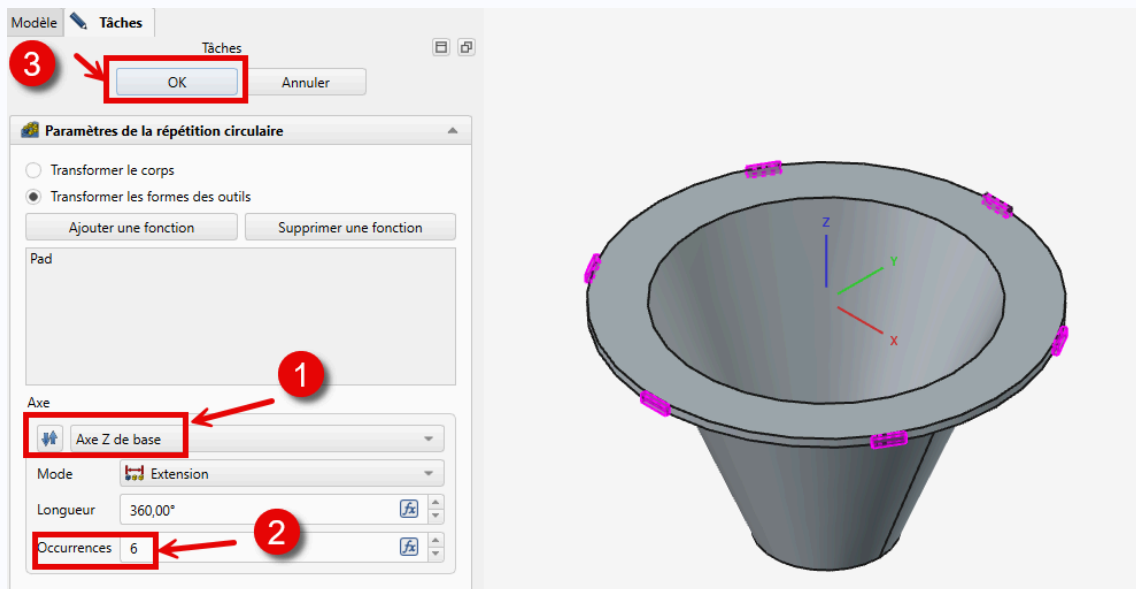


- Créer une protrusion  inversée et d'épaisseur l'alias `DisqEp` ;




Protrusion de l'ergot

- Créer une répétition circulaire  de 6 éléments ;



Répétition circulaire de l'ergot

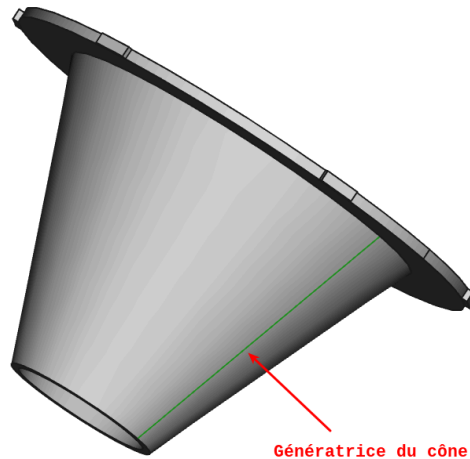
Aide

- Créer une géométrie externe de construction d'intersection  pour positionner l'ergot ;



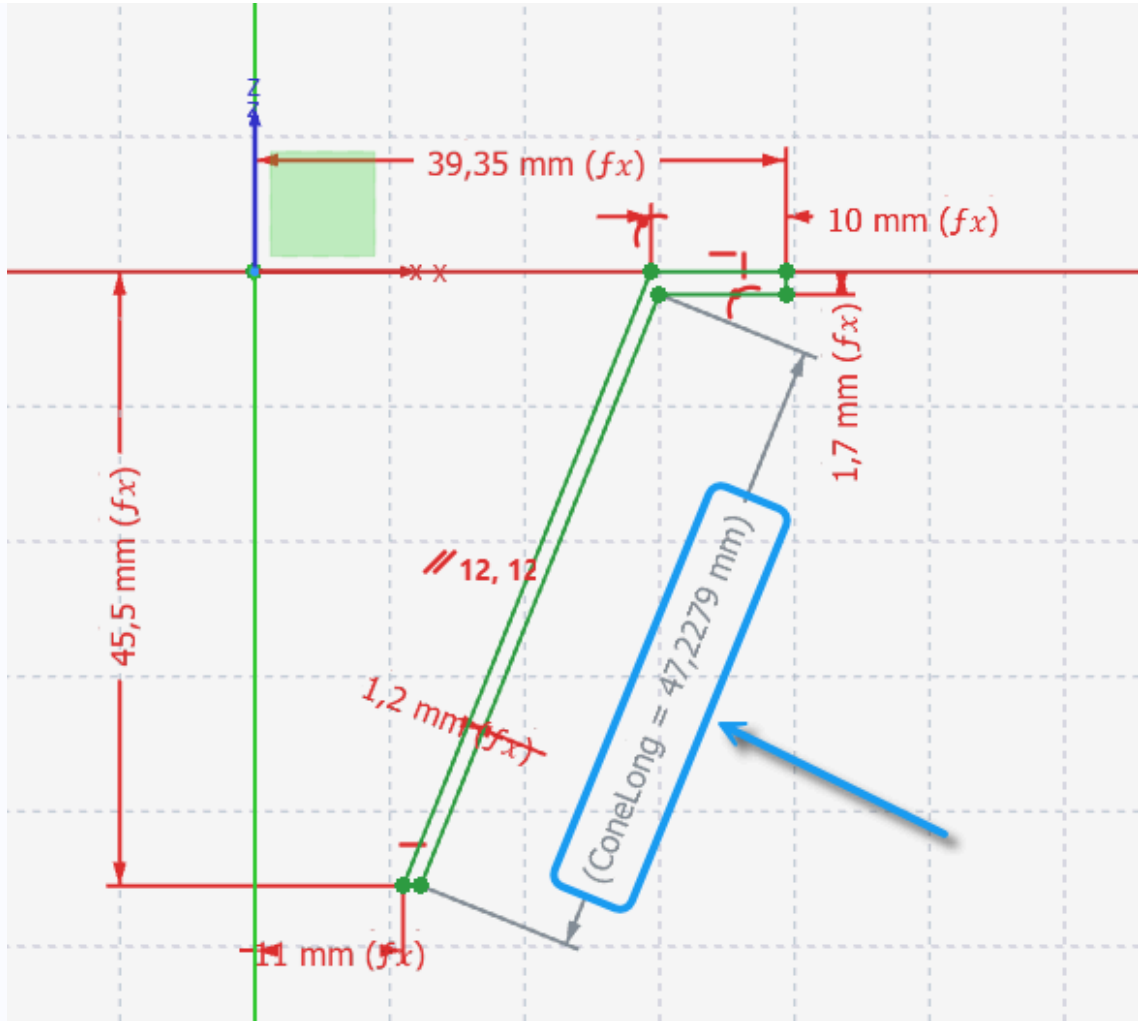
8.1.4. Récupérer une dimension

Nous allons récupérer la longueur de la génératrice du cône :






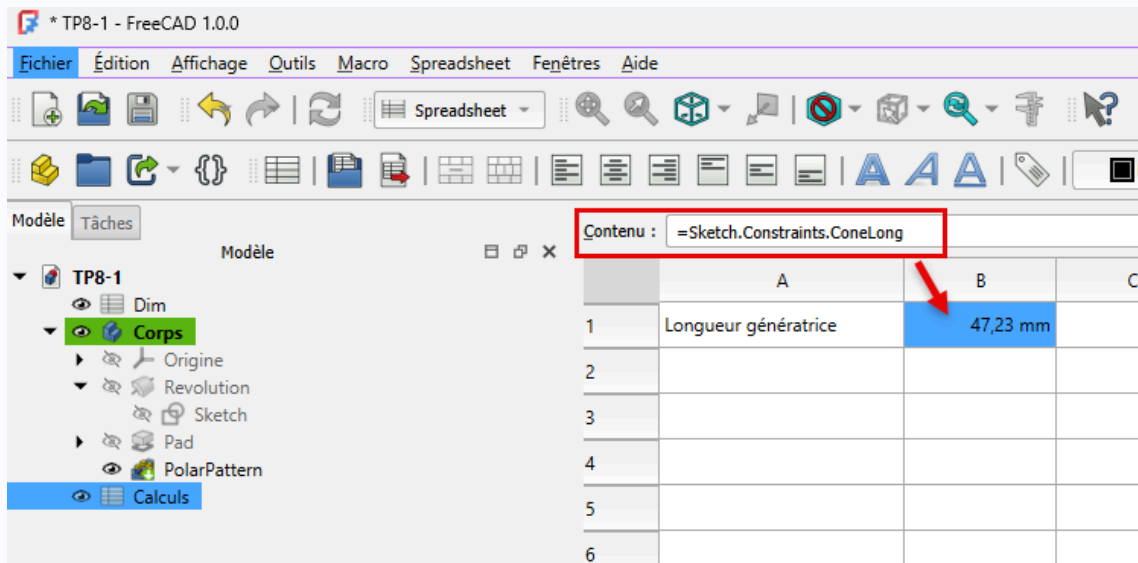
☑☑☑ Tâches à réaliser

- Ouvrir l'atelier SpreadSheet et ajouter une seconde feuille de calcul au document TP8-1 que vous renommerez Calculs ;
- Ouvrir l'esquisse Sketch utilisée pour créer la révolution ;
- Sélectionner la ligne correspondant à la génératrice extérieure du cône et créer une **référence** que vous nommerez ConeLong à l'aide d'une contrainte de dimension ;



Création de la référence ConeLong

- Afficher la feuille  Calculs ;
- Saisir en A1 :  Longueur génératrice et en B1 la référence  =Sketch.Constraints.ConeLong ;

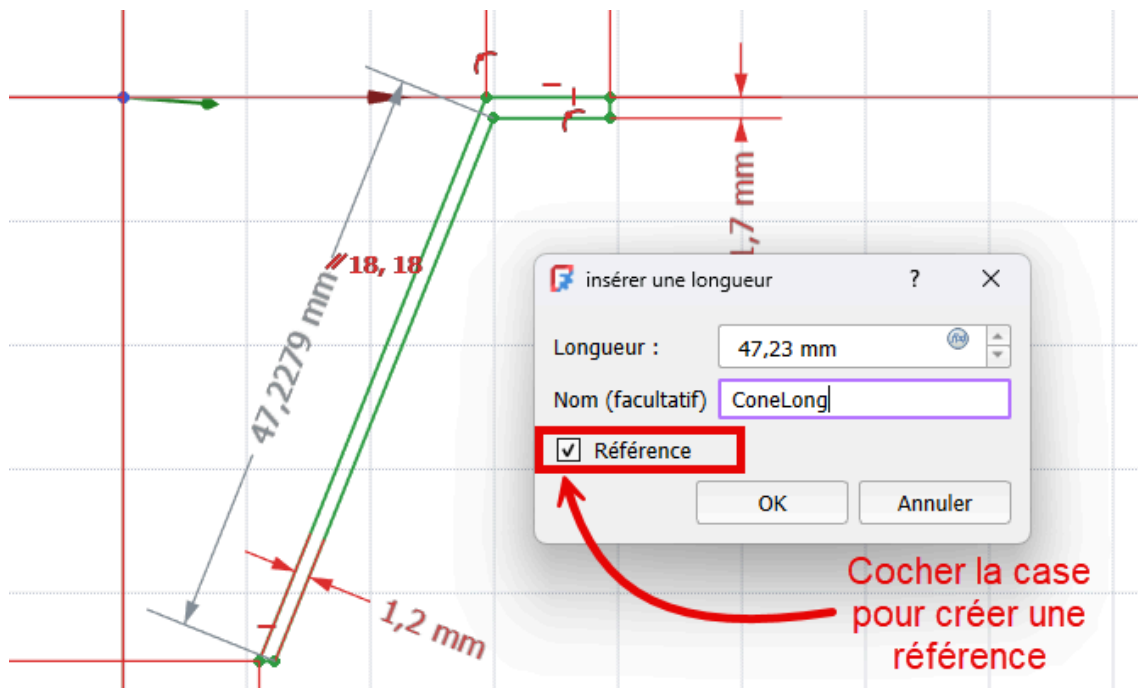


Récupération de la longueur dans la feuille de calcul



💡 Pour saisir une référence et éviter une sur-contrainte :

Il faut cocher la case référence :



Créer une référence

⚠️ Pourquoi créer une seconde feuille de calcul ?

Dans un document FreeCAD, si vous utilisez une feuille de calcul pour **définir** les propriétés géométriques d'un solide, cette feuille ne pourra pas **recupérer** des informations de ce même solide, il faut créer une seconde feuille de calcul.

8.1.5. Modification du modèle

☰ Tâches à réaliser

- Modifier une dimension dans la feuille `Dim` ;
- Vérifier que le modèle 3D est mis à jour ;
- Vérifier que la longueur de la génératrice du cône est mise à jour ;
- Dans la feuille `Calculs`, récupérer le volume du modèle à l'aide de l'expression :
`=PolarPattern.Shape.Volume`

🕒 Ne pas casser le modèle

Attention à ne pas modifier les dimensions de manière exagérée sous peine de casser le modèle...




8.1.6. 🎥 Capture vidéo



9. Atelier Draft


Atelier Draft

≈ Brouillon - Préparation

L'atelier Draft  est un atelier de dessin 2D qui propose des fonctions similaires à Inkscape, notamment :

- la création d'objets graphiques : lignes, arc, courbe de Bézières, chaînes de texte,..
- des outils de modifications : déplacement, copie, clonage, échelle, étirement, réseaux (orthogonal, polaire,...),
- etc.

Intérêt de l'atelier Draft par rapport à l'atelier Sketcher

Il existe une commande Draft vers Esquisse  qui convertit les objets Draft en esquisse Sketcher et vice versa.

- Il est donc possible de préparer un dessin dans l'atelier Draft,
- puis de le récupérer dans l'atelier Part Design sous la forme d'une esquisse, voire de le compléter dans l'atelier Sketcher ;





Méthodologie de travail dans l'atelier Draft

1. Dans un premier temps, il faut choisir un plan de travail qui peut être n'importe quel plan de l'espace ;
2. Dans ce plan de travail, on crée des objets : ligne, cercle, chaîne de texte... qu'on positionne dans le plan :
 - soit à l'aide de coordonnées globales ou relatives saisies au clavier ;
 - soit à l'aide de l'aimantation (extrémité, intersection, centre...) par rapport à une grille ou à des objets existants ;
3. On complète / modifie le dessin à l'aide des commandes de modifications ;
4. On crée enfin une esquisse ou une agrégation d'objets qui pourront être utilisées dans l'atelier Part Design ;

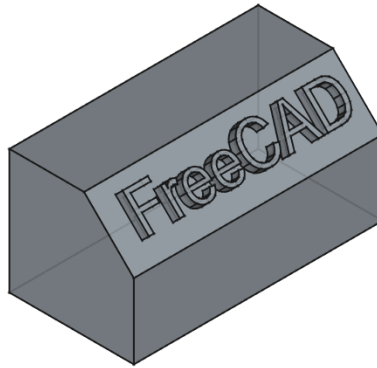
cf https://wiki.freecad.org/Draft_Workbench/fr

9.1. Forme de texte

Objectifs

- Utiliser l'atelier Draft  ;
- Utiliser les commandes [Forme à partir de texte](#)^W  et [Draft Vers Esquisse](#)^W  ;
- Utiliser la commande [Ancrer une esquisse](#)^W  dans l'atelier Sketcher 


Nous allons modéliser le solide suivant :

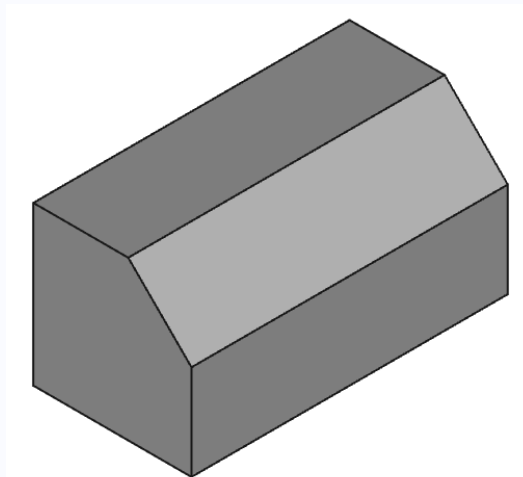


Complément

Il s'agit d'une mise à jour du tutoriel https://wiki.freecad.org/Draft_ShapeString_tutorial/fr




Travail préparatoire

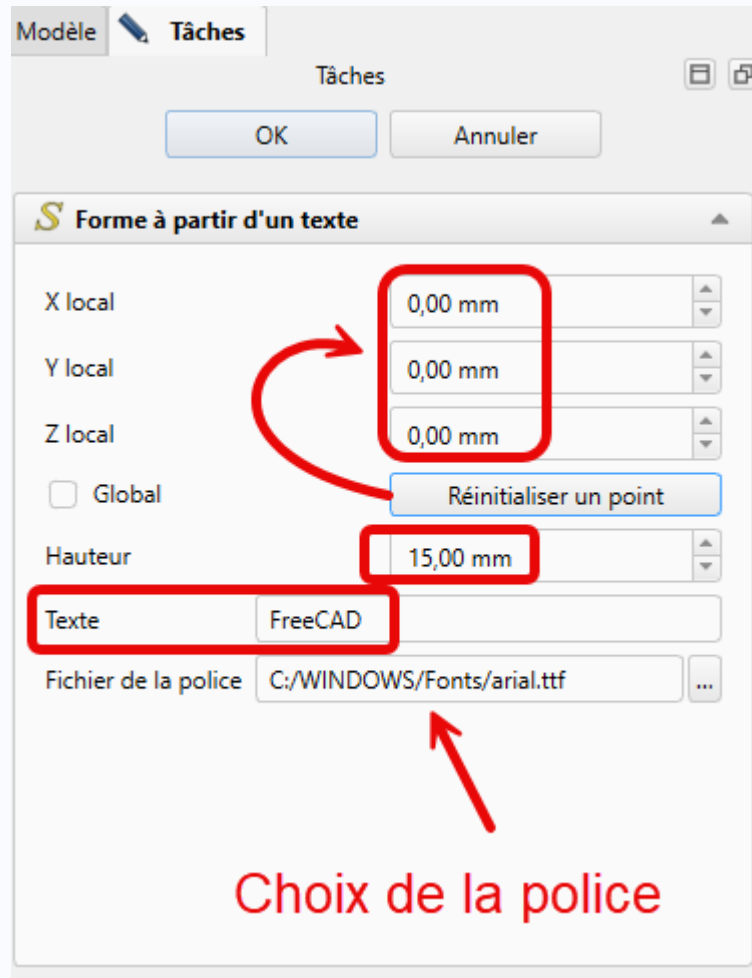
- Télécharger sur votre ordinateur le document [TP09-1-initial.FCStd](#) et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer le document sous le nom  TP9-1.FCStd ;








9.1.1. Utiliser une forme à partir de texte *S*

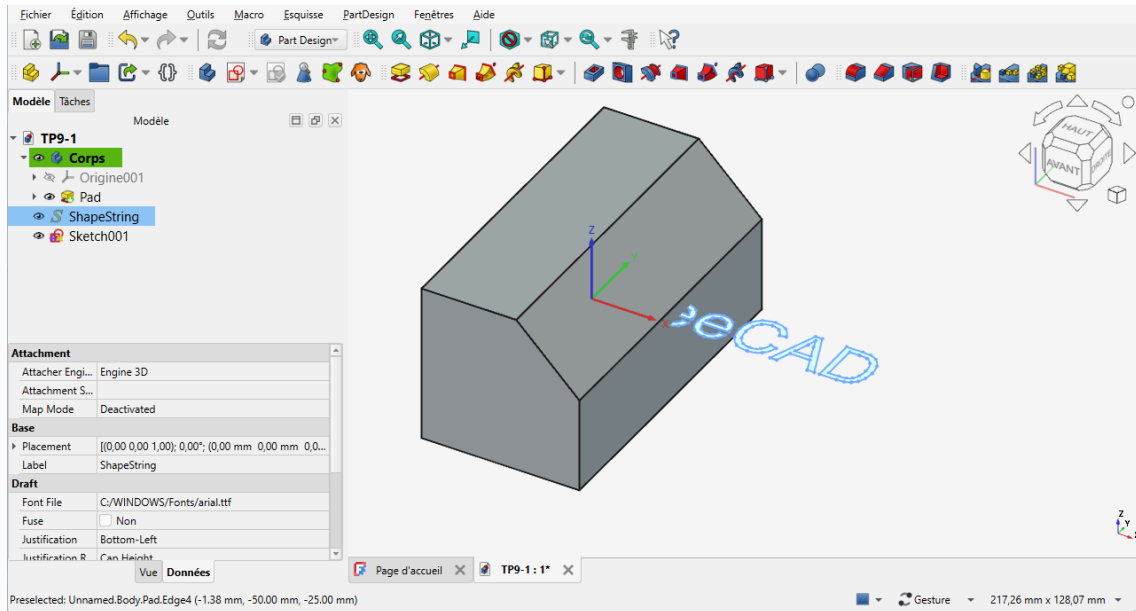
☰ Tâches à réaliser

- Sélectionner l'atelier  Draft  ;
- Choisir le plan de travail  Dessus ;
- Sélectionner la commande *S* et compléter le formulaire comme ci-dessous :



Saisie du texte

- Sélectionner  *S* ShapeString et cliquer sur la commande  pour créer une nouvelle esquisse ;
- Cliquer sur le bouton  pour masquer la grille puis revenir à l'atelier  Part Design  ;



Création de l'esquisse



Emplacement des polices

FreeCAD récupère maintenant l'emplacement par défaut des polices du système d'exploitation :

	 C:\windows\fonts
	 /Library/Fonts*
	 /usr/share/fonts/truetype/msttcorefonts/









* sur , vous pouvez trouver d'autres polices dans le dossier  /System/Library/Fonts

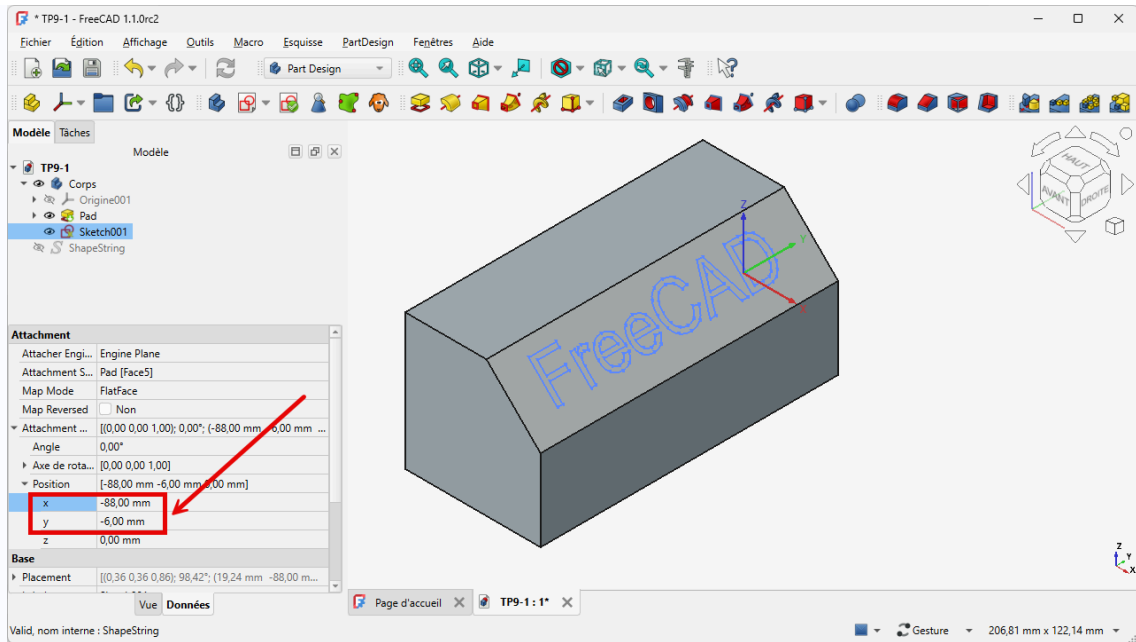
Attention au choix de la police !

Il s'agit ici de modéliser un solide en 3D à partir d'une chaîne de texte : ne pas choisir une police trop compliquée qui pourrait poser des problèmes à FreeCAD lors d'une protrusion ou d'une cavité. Par ailleurs, toutes les polices ne pourront pas être utilisées dans une protrusion  ou une cavité  à cause d'un contour non fermé ;

9.1.2. Créer la protrusion

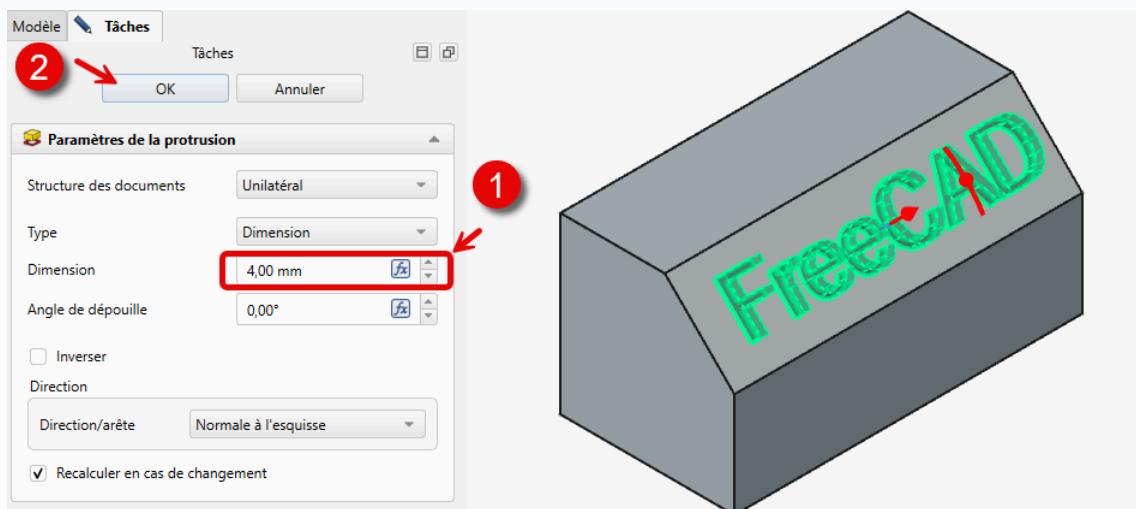
Tâches à réaliser

- Déplacer l'esquisse   Sketch001 dans  Corps, masquer   ShapeString ;
- Sélectionner le plan incliné et cliquer sur la commande Ancrer une esquisse  :
 - Sélectionner l'esquisse   Sketch001 et le mode  Face du plan ;
- Centrer le mot FreeCAD en jouant sur l'attachement de l'esquisse ;



attachement de l'esquisse

- Créer une protusion  de 4 mm ;







Création de la protusion

9.2. Import Inkscape

Objectifs du chapitre

Pourquoi vouloir importer des documents depuis Inkscape  dans FreeCAD ?


1. Lors de la réalisation du TP 9-1 ^[p.244], nous avons modélisé du texte en 3D en utilisant la commande ShapeString  de l'atelier Draft  : les possibilités restent, malgré tout, assez limitées : Inkscape  va nous permettre de réaliser des modélisations de texte en 3D plus **créatives** ;
2. On trouve sur le web un très grand nombre d'images, dessins, cliparts à télécharger. Inkscape  va nous permettre de **les exploiter dans FreeCAD**, par exemple pour une impression 3D ou un fraisage numérique à l'aide d'une CNC ;

+ Quelques bibliothèques de cliparts au format SVG sur le web

https://openclipart.org/	https://publicdomainvectors.org/	https://www.reshot.com/
https://freesvg.org/	https://pixabay.com/fr/vectors/	https://www.flaticon.com/fr/

9.2.1. Présentation d'Inkscape

Inkscape

Inkscape  est un logiciel de dessin **vectériel** utilisé pour créer des dessins, affiches, logos, illustrations,... Par opposition aux images **matricielles**, l'utilisation de dessin vectoriel permet notamment de redimensionner les images sans pixéliser, **sans perte de qualité**.

Inkscape est un logiciel libre qui fonctionne sous Linux , Mac OS  et Windows . Vous pouvez le télécharger depuis le [site d'inkscape](https://inkscape.org/fr/) ;

Le format natif d'Inkscape est le format SVG pris en charge directement par les navigateurs web récents ;












Tutoriels

- Sur le web, on trouve un grand nombre de tutoriels d'Inkscape en commençant par le site d'Inkscape lui même : <https://inkscape.org/fr/apprendre/>
- Voir aussi un manuel Inkscape en anglais : <http://tavmjong.free.fr/INKSCAPE/MANUAL/html/index.html>

Tâches à réaliser

- Si nécessaire, télécharger et installer Inkscape sur votre ordinateur depuis le [site d'Inkscape](https://inkscape.org/fr/) ;
- Pour vous aider à prendre en main Inkscape, vous pouvez aussi télécharger et imprimer sur support papier ce [mémo Inkscape](#) qui résume les principales commandes ;


Prise en charge des fichiers SVG par FreeCAD

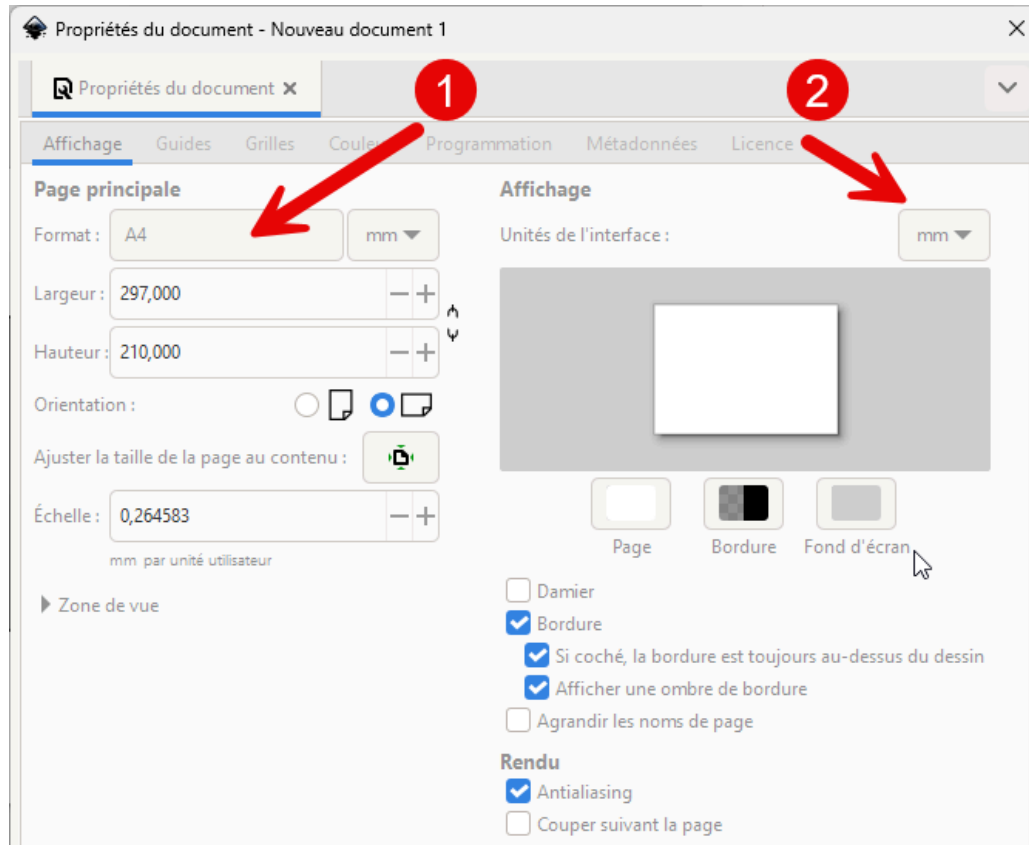
Inkscape propose différents outils (, , , , , , , ,  ...) permettant de créer différentes formes : , FreeCAD ne peut importer que les types d'objet suivants : **chemin**, **ligne**, **polygone**, **rectangle**, **ellipse**, **polyligne**. En particulier, il n'importe pas les objets **texte** : il faudra les **convertir en chemin** (path) à l'aide de la commande d'Inkscape  Chemin → Objet en chemin ;

cf [Wiki de FreeCAD](#) ;

Choix des unités

Inkscape propose de travailler : soit en pixel (px), soit en mm. Pour notre usage, il faudra travailler en **mm** :

- Lors de la création d'un nouveau document, sélectionner un modèle « **Papier** » ;
- Avec un document existant, sélectionner la commande :  Fichier → Propriétés du document et régler les paramètres ci-dessous :




Choix de l'unité

Retrouver les dimensions des objets Inkscape dans FreeCAD


Lors de la création d'objets, Inkscape prend en compte l'épaisseur du contour dans leurs dimensions, ce que ne fait pas FreeCAD.

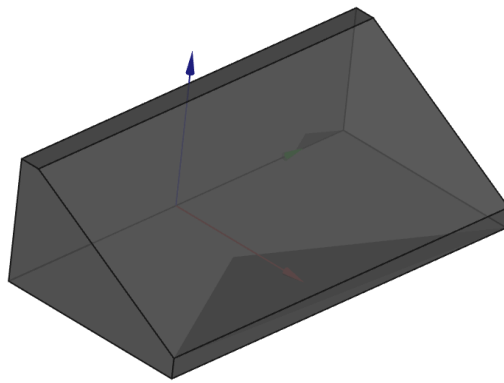
Si vous souhaitez retrouver exactement les dimensions Inkscape dans FreeCAD, il faudra :

1. fixer l'épaisseur des contours des objets à 0 mm ;
 -  Ceci aura pour conséquence de rendre ces objets invisibles dans Inkscape !
2. Réajuster si nécessaire les dimensions des objets ;
3. Enregistrer votre document Inkscape ;

9.2.2. Texte créatif

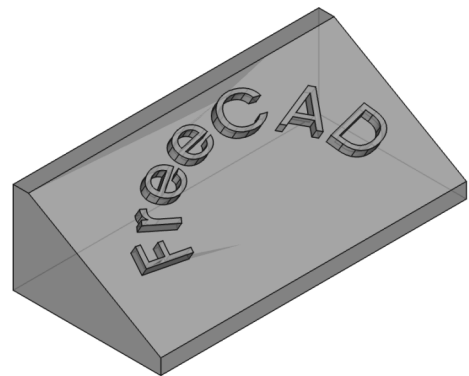
Travail préparatoire

- Télécharger sur votre ordinateur le document [TP09-2-initial.FCStd](#) et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer le document sous le nom  TP9-2.FCStd ;





Protrusion TP 9-2 : travail préparatoire

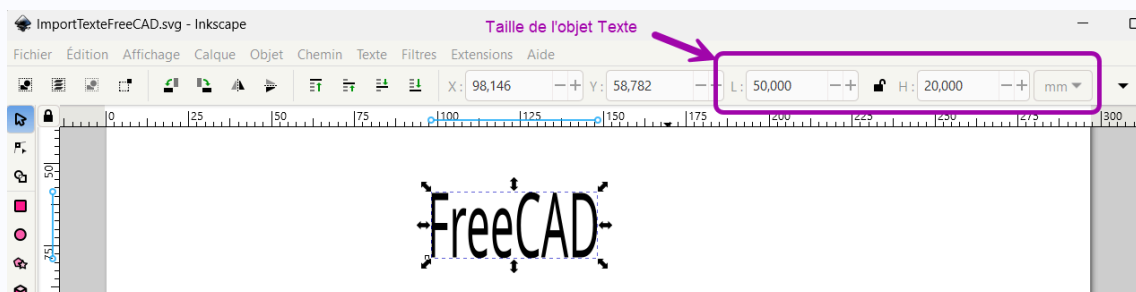
Nous allons ajouter du texte en relief sur la face inclinée du solide :



9.2.2.1. Préparation Inkscape



Tâches à réaliser

- Ouvrir Inkscape et créer un nouveau document : enregistrer ce document sous le nom «  ImportTexteFreeCAD.svg » ;
- Appuyer sur **Ctrl Maj D** et choisir un format A4 paysage des unités en mm ;
- Créer un objet texte **A** contenant le mot « FreeCAD »
- Sélectionner l'objet texte et choisir une police de caractères à l'aide du panneau  Texte et Police (**Ctrl Maj T**) ;
- Modifier la taille de l'objet : Largeur L **I** 50 mm et Hauteur H **I** 20 mm à l'aide de la barre d'outils ;









Panneau Texte et Police

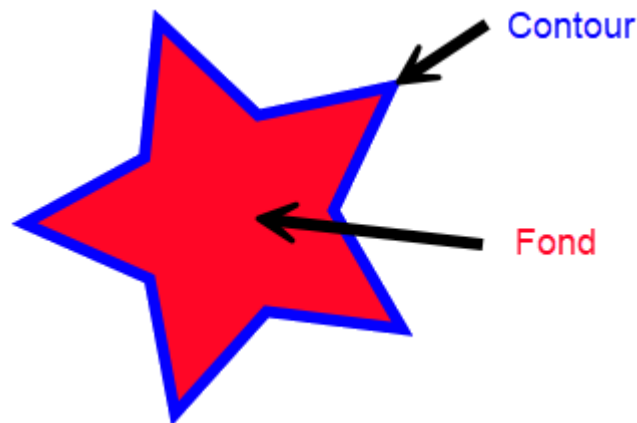
Le raccourci clavier **Ctrl Maj T** ouvre le panneau  Texte et police permettant de **changer la police du texte** : il faudra valider votre choix en cliquant sur le bouton  Appliquer en bas du panneau ;

Tâches à réaliser (suite)

- Créer un cercle  (Maintenir la touche **Ctrl** appuyée) ;
- Sélectionner le cercle et modifier la taille de cet objet : Largeur L  50 mm et Hauteur H  50 mm à l'aide de la barre d'outils ;
- À l'aide de la commande  Objet → Fond et Contour (**Ctrl Maj F**), supprimer le fond et ajouter un contour à cet objet cercle ;

Propriétés des objets dans Inkscape



Dans Inkscape, chaque objet possède un **fond** et un **contour**.






Fond et contour d'un objet Inkscape

Panneau Fond et contour

La commande  Objet → Fond et Contour (**Ctrl Maj F**) affiche le panneau  Fond et contour . Dans ce panneau :





- l'onglet **Fond** permet de supprimer le fond  ou de donner une couleur et une opacité à ce fond ;
- L'onglet **Contour** permet de supprimer le contour  ou de donner une couleur et une opacité à ce contour ;
- L'onglet **Style de contour** permet notamment de fixer l'**épaisseur du contour** et de modifier son aspect (forme, extrémités...)

Tâches à réaliser (suite)

- Sélectionner les deux objets (**Ctrl A**) et mettre le texte suivant le cercle à l'aide de la commande  Texte → Mettre suivant un chemin ;
- A l'aide des boutons  et  de la barre d'outils, placer le mot FreeCAD comme sur la figure ci-dessous ;



Texte suivant chemin

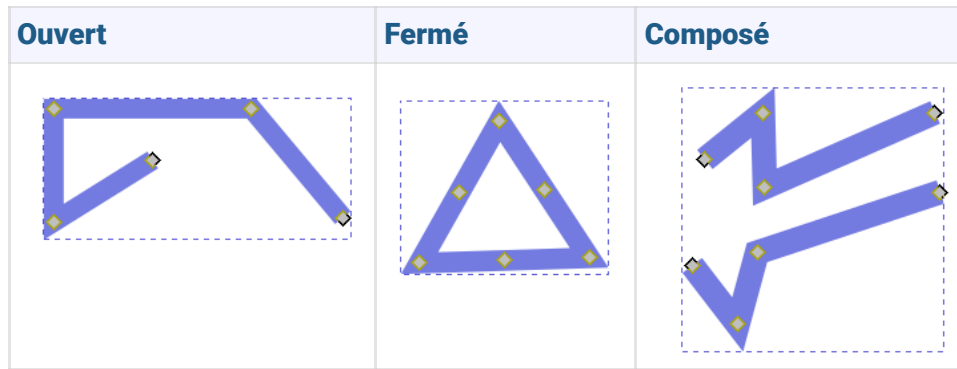
- Sélectionner l'objet Texte uniquement et le convertir en chemin à l'aide de la commande  Chemin → Objets en chemin ;
- Sélectionner l'objet Cercle et le supprimer (**Suppr**) ;
- Sélectionner l'objet Texte : supprimer son fond et lui donner un contour d'épaisseur  0.1 mm ;
- Ajuster la taille de l'objet Texte : Largeur L  80 mm et Hauteur H  30 mm à l'aide de la barre d'outils ;
- Ajuster la taille du document à la taille de l'objet texte (**Ctrl Maj R**) ;
- Enregistrer vos modifications et quitter Inkscape ;

Objet Chemin (Path)

Dans Inkscape, l'objet chemin est constitué d'un ensemble de [courbes de Bézier](#) ;

- Il peut être créé directement à l'aide des outils , ,  ou bien par conversion des autres types d'objets à l'aide de la commande  Chemin → Objets en chemin ;

- Le chemin peut être :





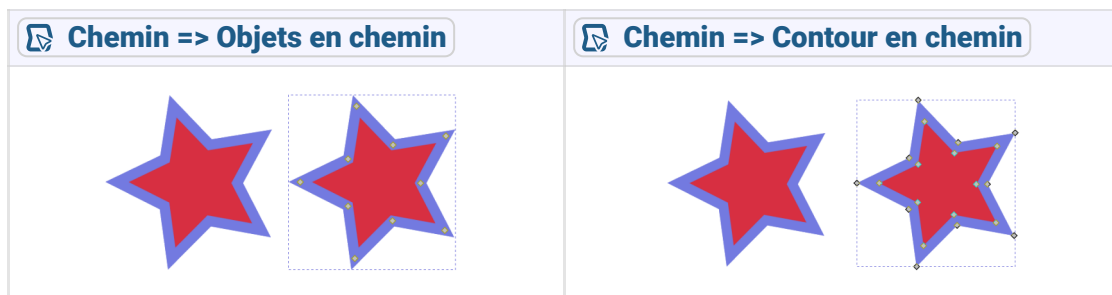
- Le bouton  permet de modifier les nœuds de la courbe de Bézier ;



Barre d'outils Nœud

Ne pas confondre :

- La commande  Chemin → Objets en chemin avec la commande  Chemin → Contour en chemin !

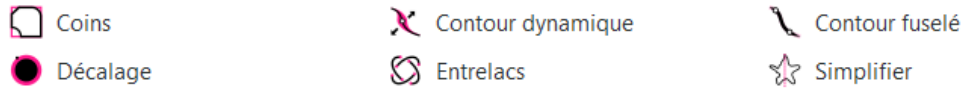


voir : <http://tavmjong.free.fr/INKSCAPE/MANUAL/html/Paths-Creating.html#Paths-From-Conversion>

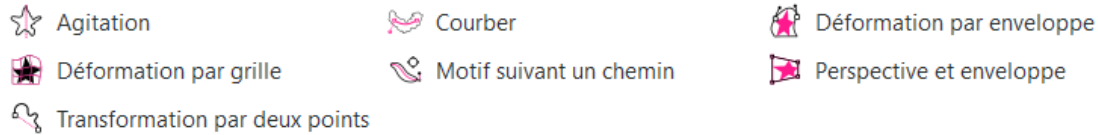
+ Effets de chemin

La commande  Chemin → Effets de chemin (**Ctrl &**) ouvre le panneau  Effets de chemin

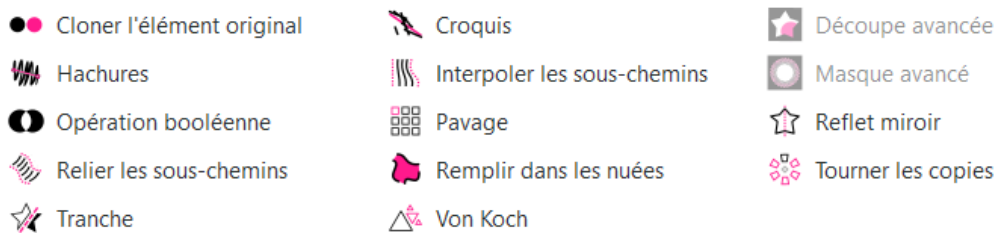
OUTILS



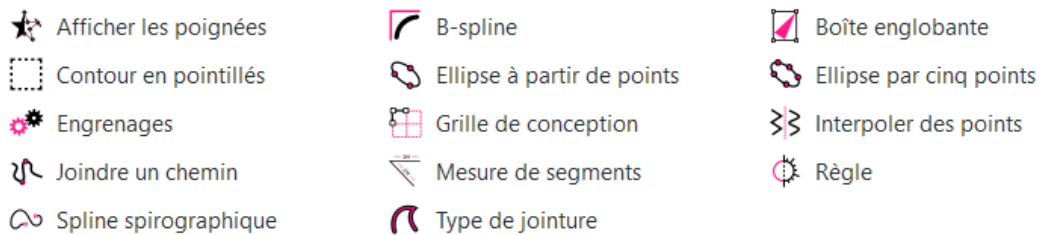
DÉFORMATION



GÉNÉRER



CONVERTIR









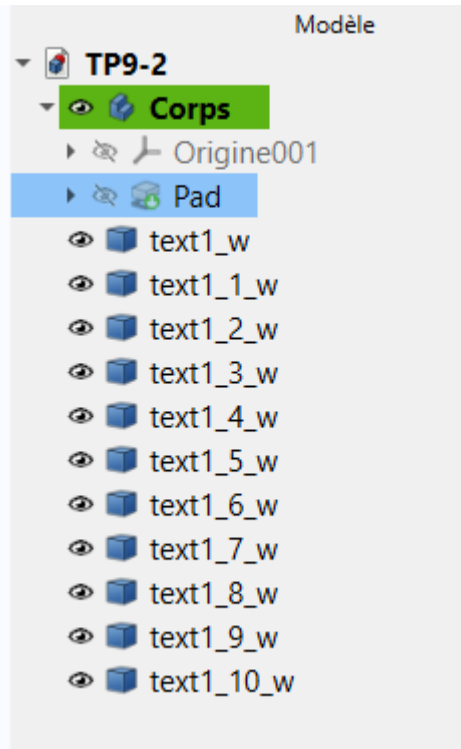
Ce panneau permet, par exemple :



9.2.2.2. Importation dans FreeCAD

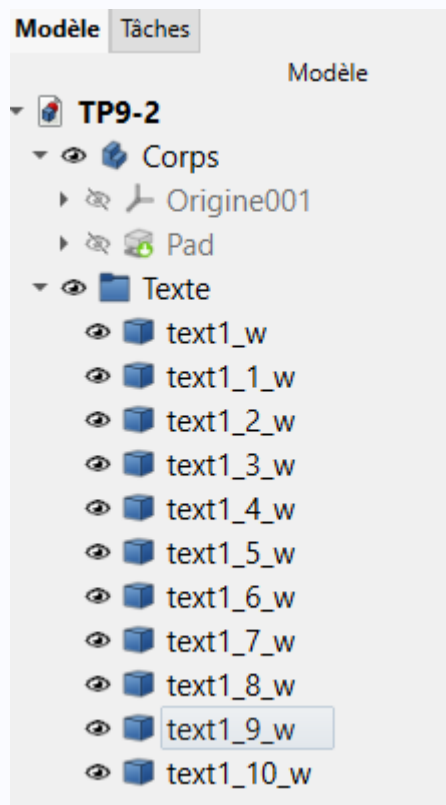
☑️ Tâches à réaliser

- Si nécessaire, ouvrir le document  TP9-2 ;
- Masquer la protrusion   Pad ;
- Importer le document «  ImportTexteFreeCAD.svg » comme  SVG as geometry (importSVG) ; FreeCAD ajoute une dizaine d'objets  ;



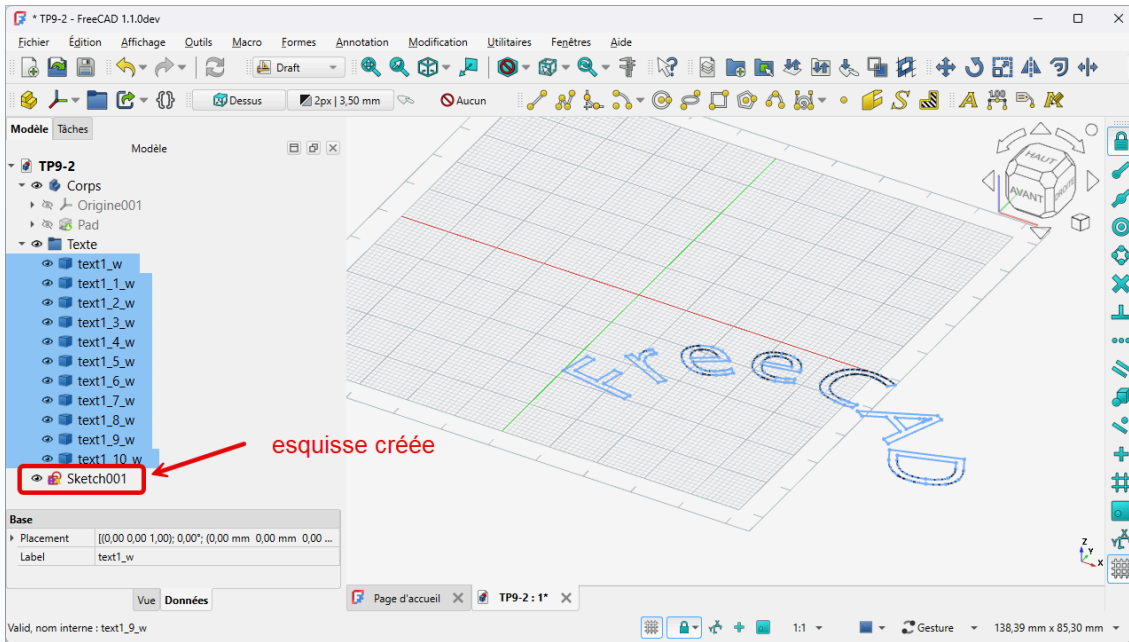
Importation du fichier SVG

- Créer un groupe^W  que vous renommerez  Texte et y glisser tous les éléments importés :












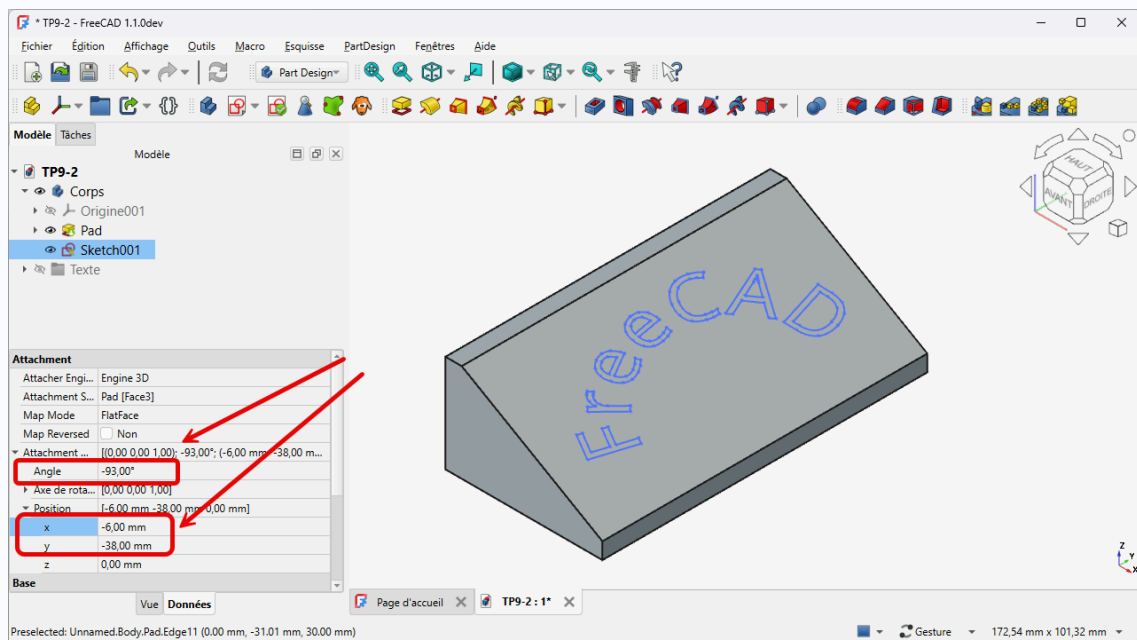
Groupe Texte

- Dans l'atelier Draft , sélectionner tous ces objets importés  et convertir l'ensemble en une seule esquisse à l'aide de la commande  ;




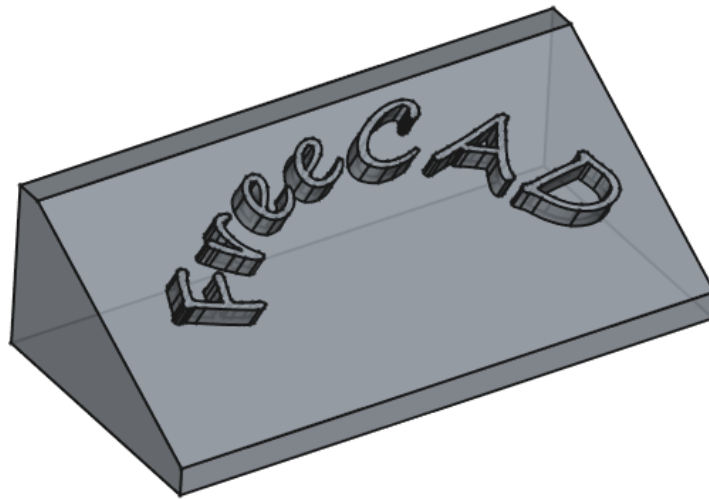
Création de l'esquisse du texte

- Masquer la grille si nécessaire et revenir dans l'atelier Part Design  ;
- Masquer et réduire le groupe  Texte ;
- Déplacer l'esquisse   Sketch001 dans le corps  Corps ;
- Réafficher la protrusion  Pad, sélectionner la face inclinée et ajouter l'esquisse   Sketch001 à cette face à l'aide de la commande Ancrer une esquisse  ;
- Repositionner le mot Freecad sur le plan incliné comme ci-dessous en modifiant les propriétés de l'attachement (angle et positions x & y) ;



Positionnement du texte sur le plan incliné

- Créer une protrusion  de 3 mm ;

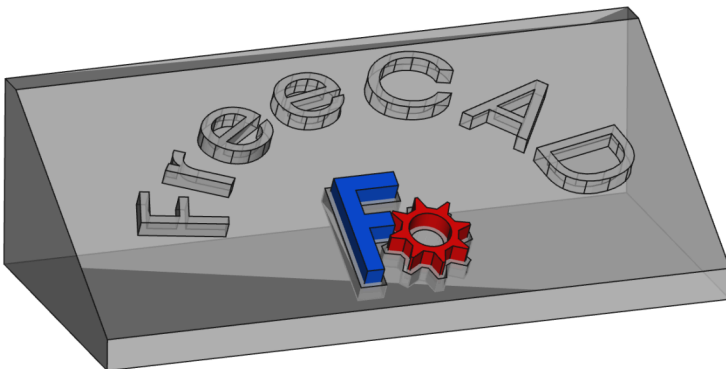


Protrusion du texte

- Enregistrer vos modifications ;

9.2.3. Récupérer un logo

Nous allons ajouter une incrustation du logo FreeCAD sur notre plan incliné ;



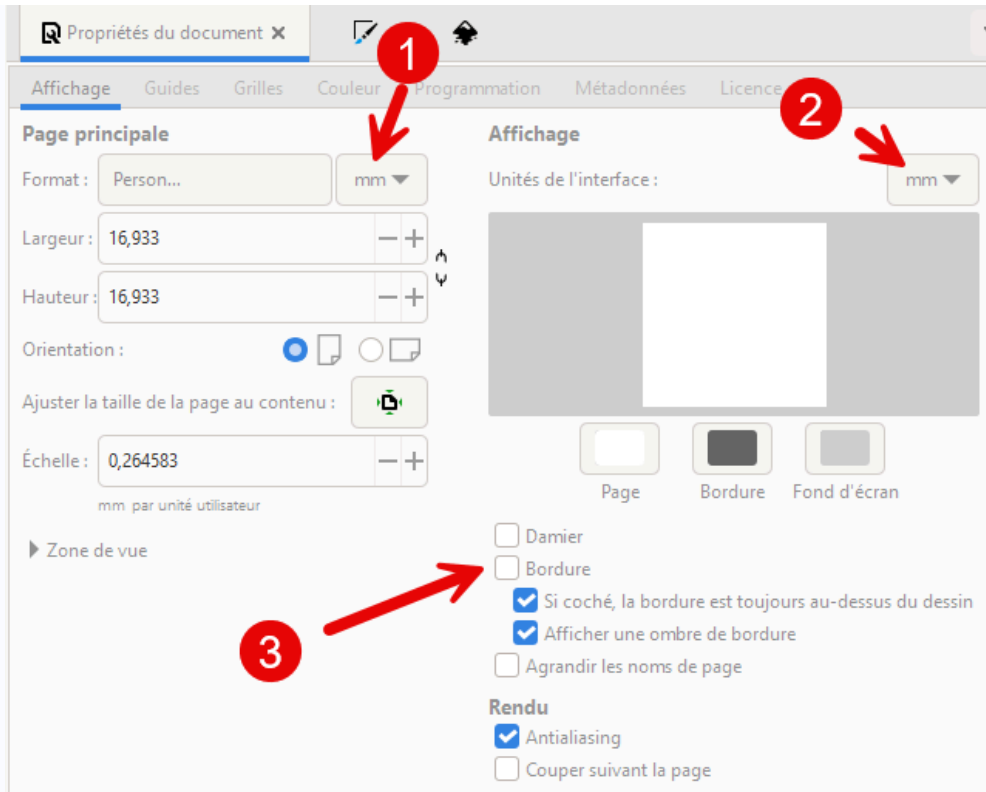
9.2.3.1. Préparation Inkscape

☑️ Tâches à réaliser

- À l'aide d'un **clic droit**, télécharger sur votre ordinateur le document [FreeCAD-logo.svg](#) et l'ouvrir dans Inkscape ;

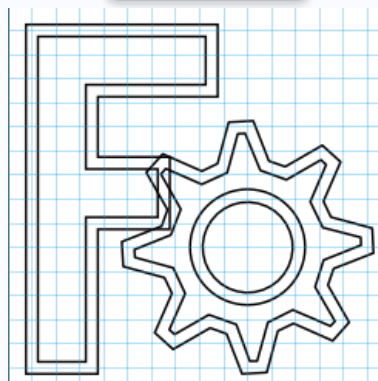


- Enregistrer le document sous le nom [ImportLogoFreeCAD.svg](#) ;
- Modifier les propriétés du document pour travailler en mm et supprimer la bordure à l'aide de la commande **Fichier** → **Propriétés du document** (**Ctrl Maj D**) ;



Propriétés du document pour travailler en mm

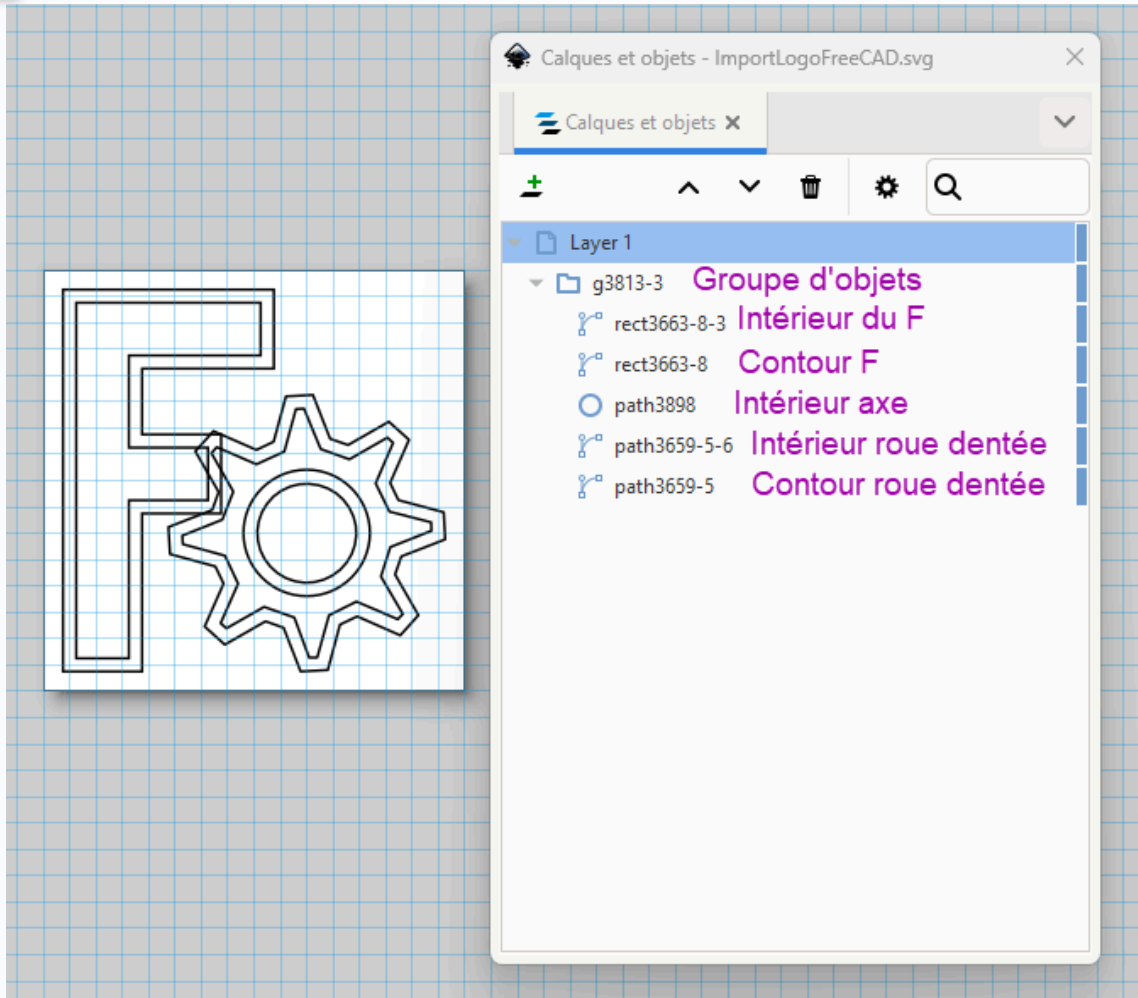
- Sélectionner l'ensemble (**Ctrl A**), supprimer le fond et donner un contour de 0.1mm à l'aide de la commande  Objet → Fond et Contour (**Ctrl Maj F**) ;



Logo sans fond et avec un contour de 0.1mm



- Afficher la structure du document à l'aide de la commande **Calques → Calques et Objets** (**Ctrl Maj L**) et identifier les différents objets :

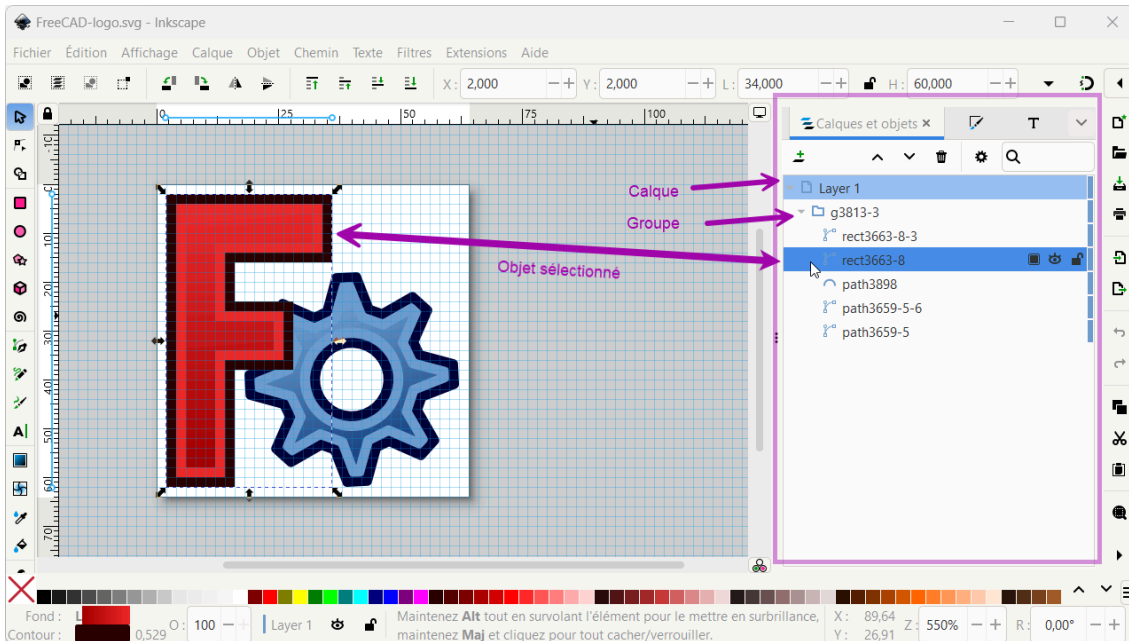


Structure du Logo

- Ajuster la taille de l'ensemble à 20 mm par 20 mm ;
- Ajuster la taille du document à la taille de la sélection (**Ctrl Maj R**) ;
- Enregistrer vos modifications et quitter Inkscape ;

Panneau Calques et Objets

La commande  Calque → Calques et objets (**Ctrl Maj R**) affiche le panneau  Calques et Objets :



- Ce panneau permet d'afficher et de modifier la structure du document Inkscape ;
- Chaque objet porte un nom, il peut être masqué, verrouillé, supprimé, dupliqué, renommé...




9.2.3.2. Importation dans FreeCAD



Tâches à réaliser

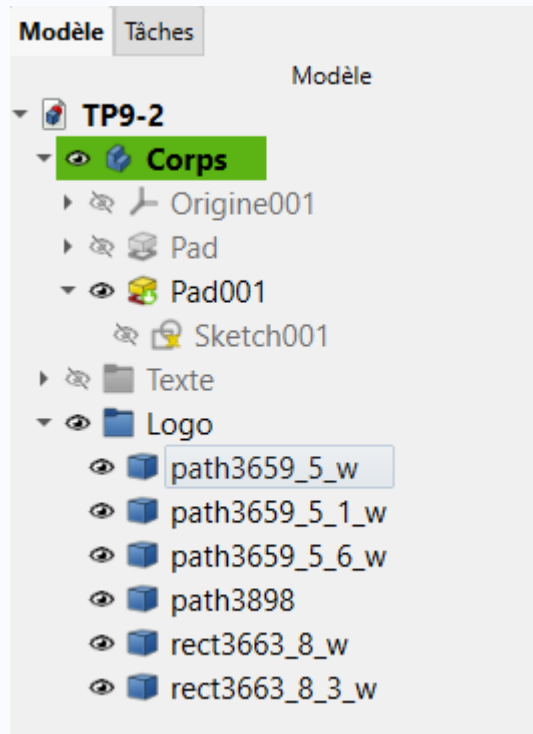
- Si nécessaire, ouvrir le document  TP9-2 créé précédemment dans FreeCAD ;

9.2.3.2.1. Création de l'empreinte


Tâches à réaliser





- Importer le document «  ImportLogoFreeCAD.svg » comme  SVG as geometry (importSVG) : FreeCAD ajouté 6 objets  ;







- Créer un groupe   Logo et y glisser les 6 objets importés :

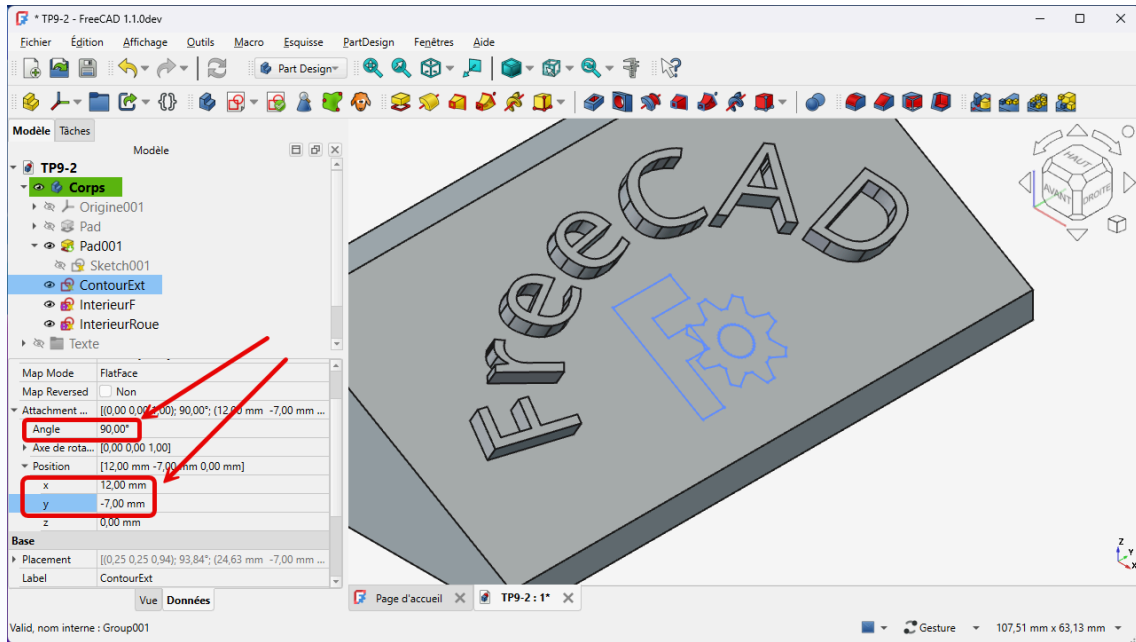


Création du groupe Logo





- Masquer  Pad001 ;
- Dans l'atelier Draft , à l'aide de la commande , créer les 3 **esquisses** suivantes que vous renommerez comme ci-dessous :

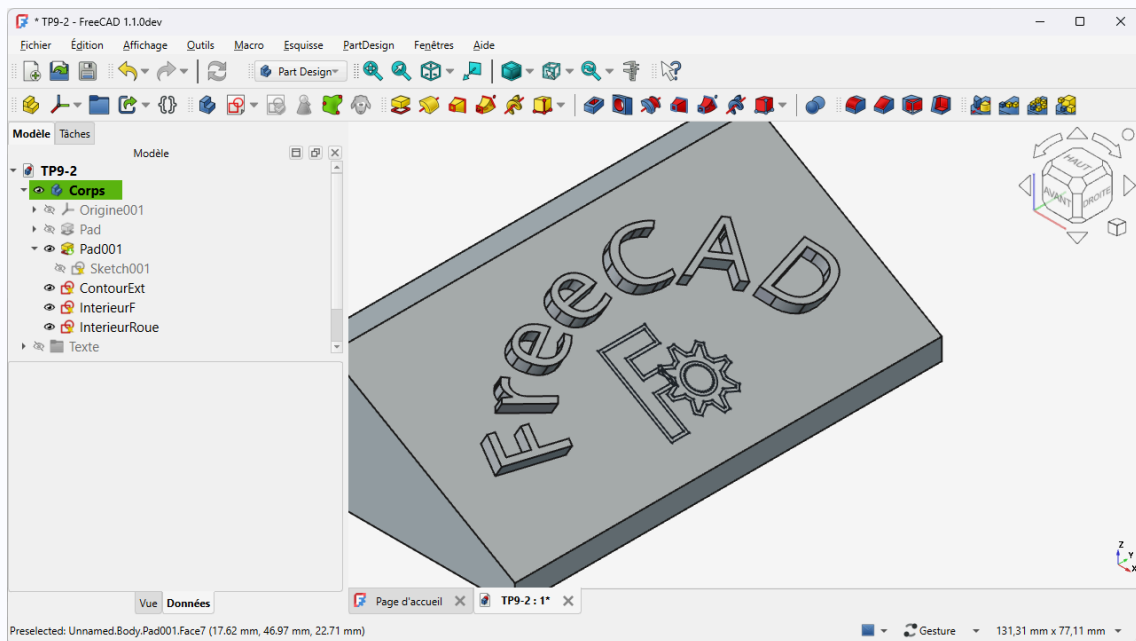
Objets Sélectionnés	Nom des esquisses
 rect3663_8_w ,  path3659_5_w  path3659_5_1_w	 ContourExt
 rect3663_8_3_W	 InterieurF
 path3659_5_6_w et  path3898	 InterieurRoue

- Dans l'atelier Part Design , masquer  Logo et déplacer les 3 esquisses dans  Corps ;
- Réafficher  Pad001 ;
- Sélectionner la face inclinée et ajouter l'esquisse  Contour_ext à cette face à l'aide de la commande  ;
- Repositionner l'esquisse sur le plan incliné en modifiant les **propriétés de l'attachement** : angle et positions x & y ;






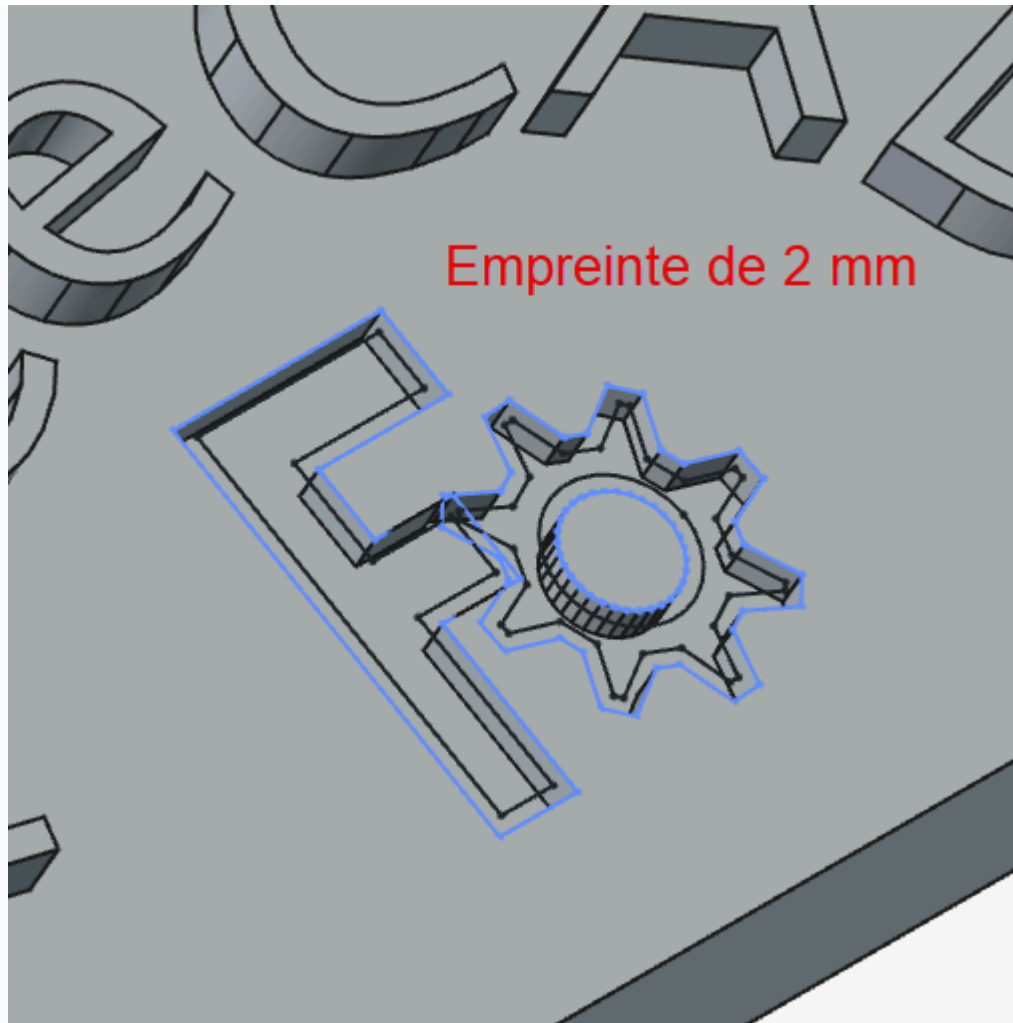
Décalage de l'esquisse sur le plan incliné

- Répéter les deux dernières opérations pour les esquisses   Interieur_F et   Interieur_Roue et en appliquant le même déplacement ;



Esquisses positionnées sur le plan incliné




- Sélectionner l'esquisse   Contour_ext et créer une cavité  de 2 mm ;

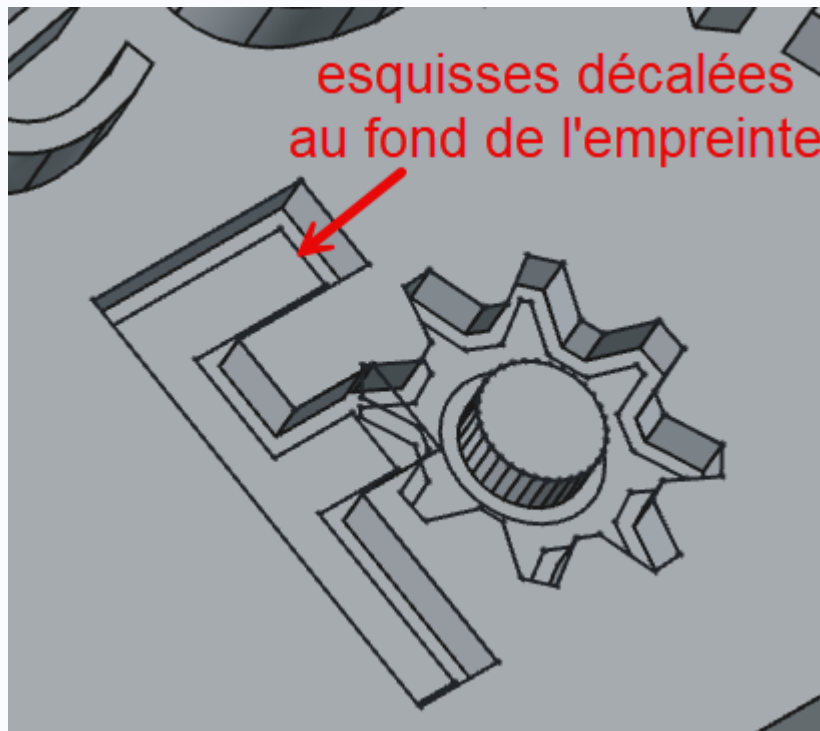


Empreinte pour les inserts






9.2.3.2.2. Création des inserts

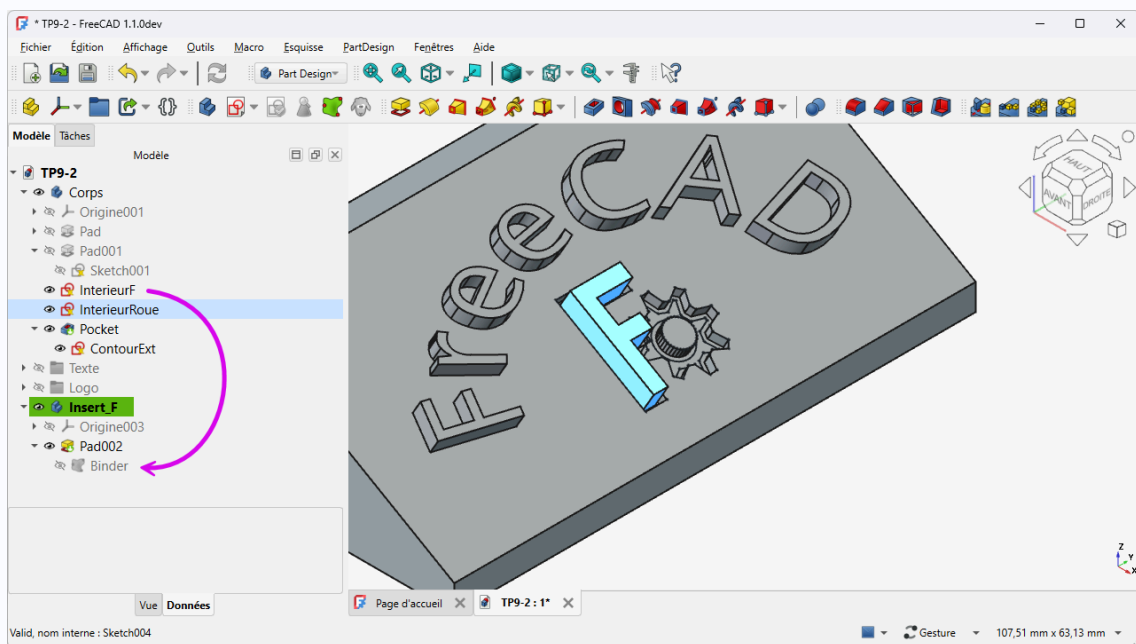
Tâches à réaliser

- Modifier l'attachement  $z = -2 \text{ mm}$ des 2 esquisses  `Interieur_F` et  `Interieur_Roue` pour les placer au fond de la cavité créée précédemment ;




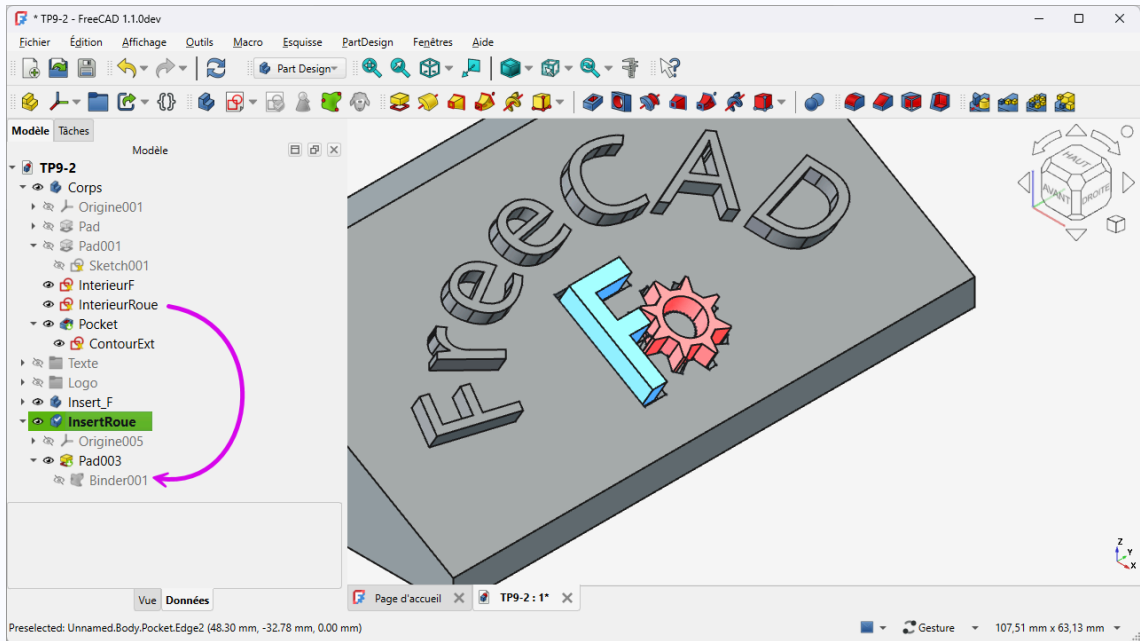
Esquisses décalées au fond de l'empreinte

- Créer un nouveau corps  que vous renommerez  `Insert_F` ;
- Ajouter un forme liée  de l'esquisse  `InterieurF` dans ce nouveau corps ;
- Ajouter une protrusion  de 5 mm de cette forme liée ;



Protrusion de l'insert F

- Donner une couleur bleue à ce nouveau corps à l'aide de la commande  Affichage → Apparence et en modifiant sa lumière diffuse ;
- Répéter le même processus pour l'intérieur de la roue ;










- Enregistrer vos modifications ;

9.2.4. Capture vidéo

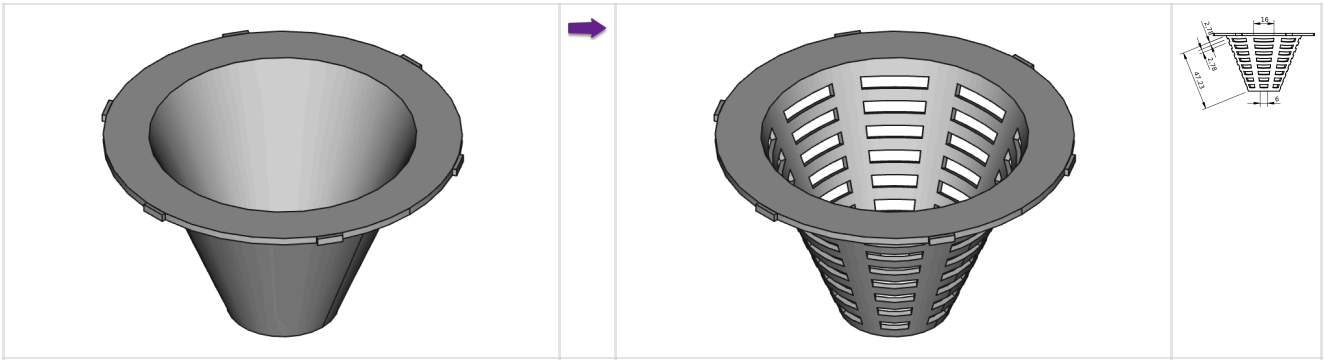


9.3. Dessin 2D


Objectifs

- Utiliser l'atelier Draft , notamment :
 - Utiliser la commande **Basculer en mode construction** ^W  ;
 - Utiliser les commande **ligne** ^W , **polyligne** ^W  ;
 - Utiliser l'**aimantation** ^W ,  ...
 - Utiliser la commande **Réseau orthogonal** ^W ,

Nous allons ajouter une grille au solide modélisé lors du TP 8-1 [p.230] :



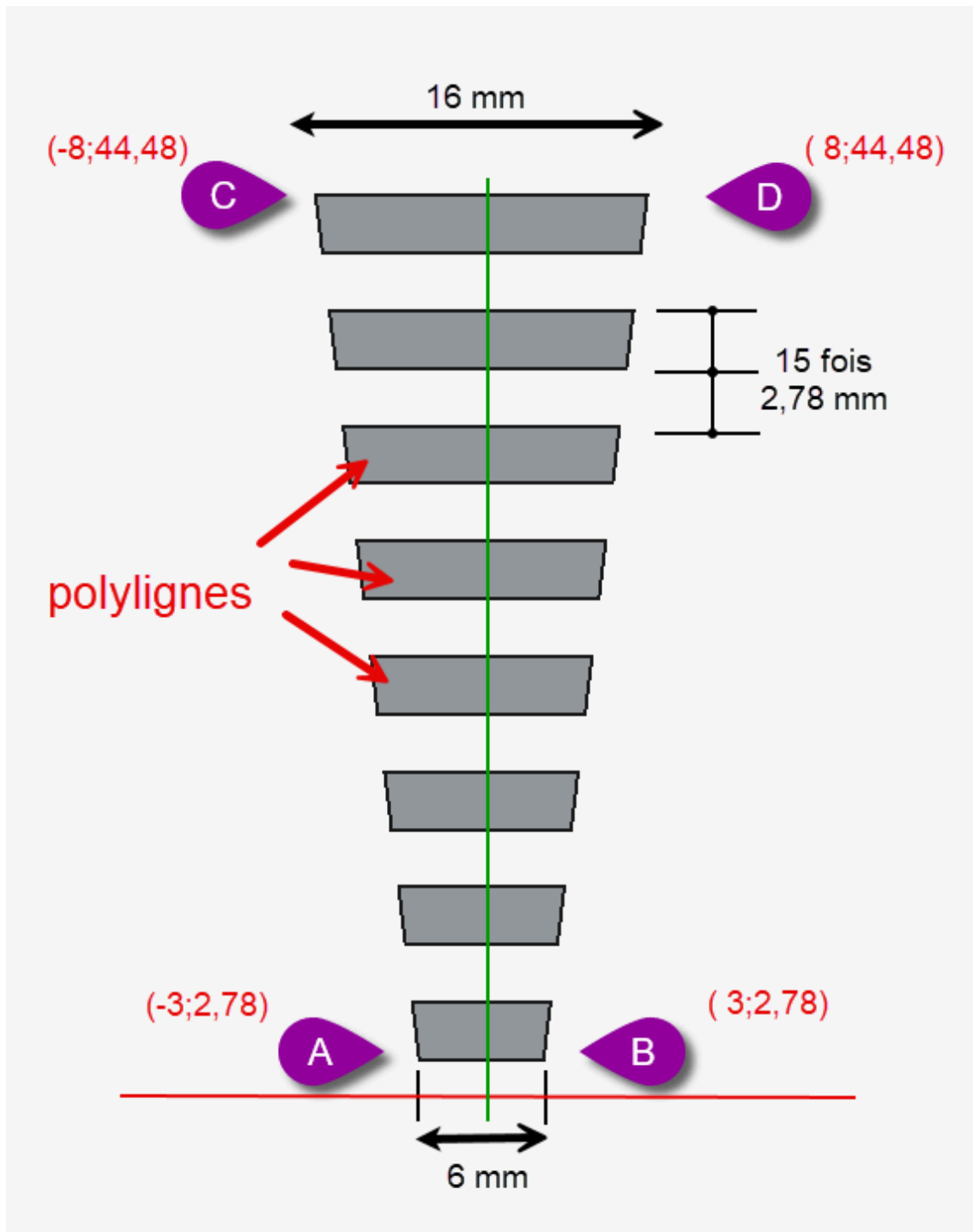
☑☑☑ Travail préparatoire

- Télécharger sur votre ordinateur le document [TP09-3-initial.FCStd](#) et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer le document sous le nom  TP9-3.FCStd ;









9.3.1. Création de l'esquisse




Nous allons créer l'esquisse suivante dans l'atelier Draft  :



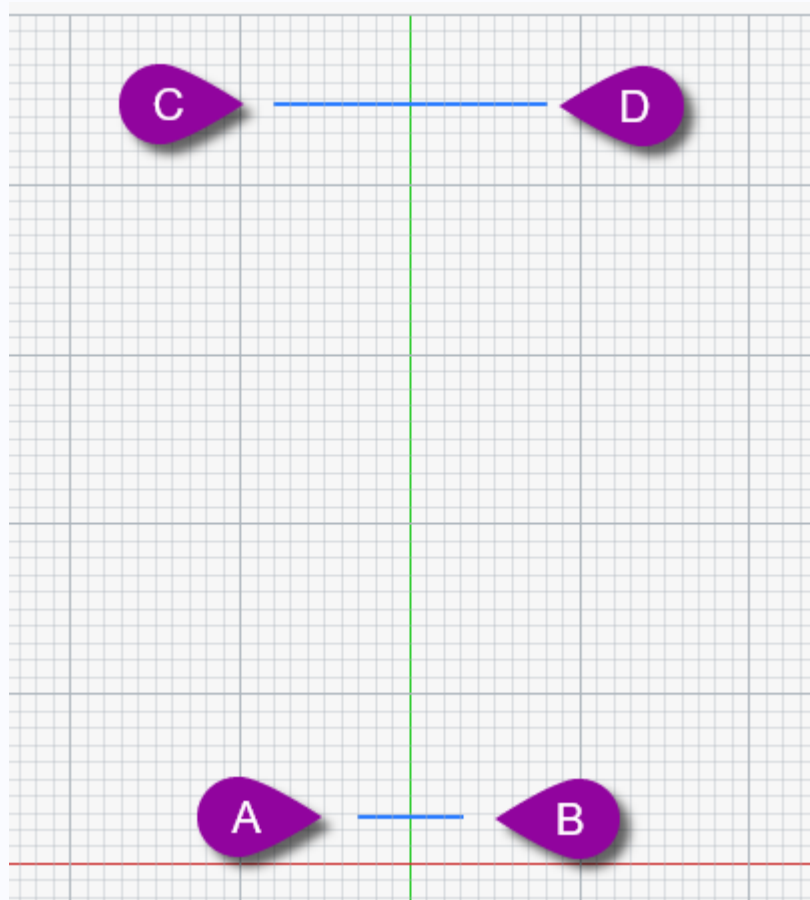
Esquisse à créer

☰ Tâches à réaliser

- Dans l'atelier  Part Design , masquer  PolarPattern ;
- Ouvrir l'atelier Draft  ;
- Sélectionner le plan de travail  Dessus et la vue de dessus  ;

- Si nécessaire, afficher la grille  de l'atelier Draft ;
- Basculer en mode construction  ;
- Créer les segments de ligne [AB] et [CD] à l'aide de la commande  et des coordonnées des points A, B, C, D :

	X en mm	Y en mm
A	-3	2.78
B	3	2.78
C	-8	44,48
D	8	44,48



Lignes AB et CD

Aide : Saisie des points A & B

Ligne

X local 1

Y local 1

Z local

Longueur 2

Angle 2

Relatif (R)

Global (G)

Continuer (N) ✓

Saisie du point A

Ligne

X local 3

Y local

Z local

4

Longueur 4

Angle



Relatif (R)

Global (G)

Continuer (N)

Saisie du point B

Tâches à réaliser (suite)

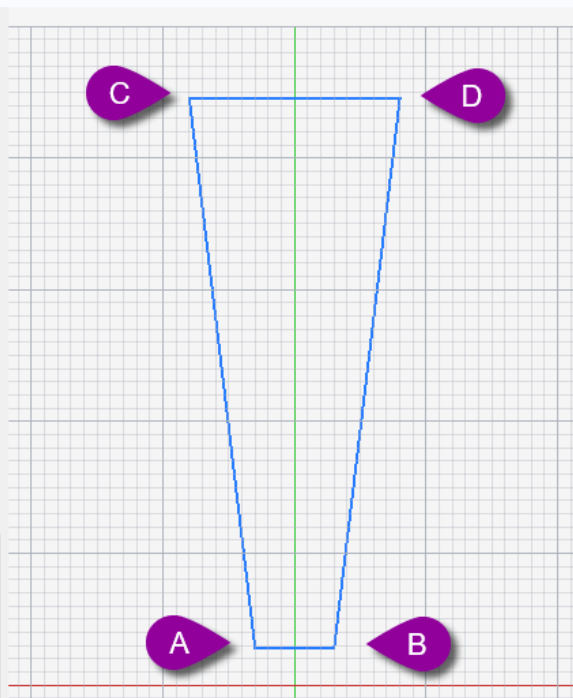
- Créer les segments de ligne [AC] et [BD] à l'aide de la commande  et de l'aimantation Extrémité  ;

Modèle Tâches

Modèle


TP9-3




- Dim
- Corps
 - Origine001
 - Revolution
 - Sketch
 - Pad
 - PolarPattern
 - Calculs
 - Construction
 - Line
 - Line001
 - Line002
 - Line003




Création des lignes AC et BD

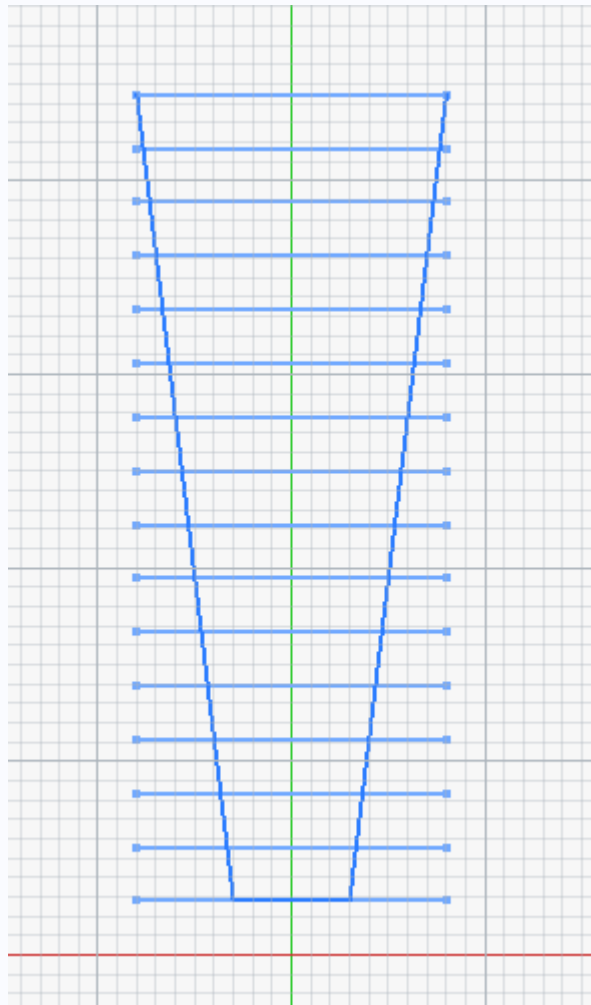
Aide

Pour saisir un point en utilisant le mode aimantation Extrémité  :

1. Activer l'aimantation  dans la barre d'outils ;
2. Approcher le curseur  de la souris de l'extrémité de la ligne et cliquer lorsque l'icône de la souris affiche l'icône d'aimantation  et que le point jaune apparaît ;

Tâches à réaliser (suite)

- Répéter 16 fois la ligne de la CD vers le bas avec un delta Y de -2.78 mm à l'aide de la commande Réseau orthogonal  ;

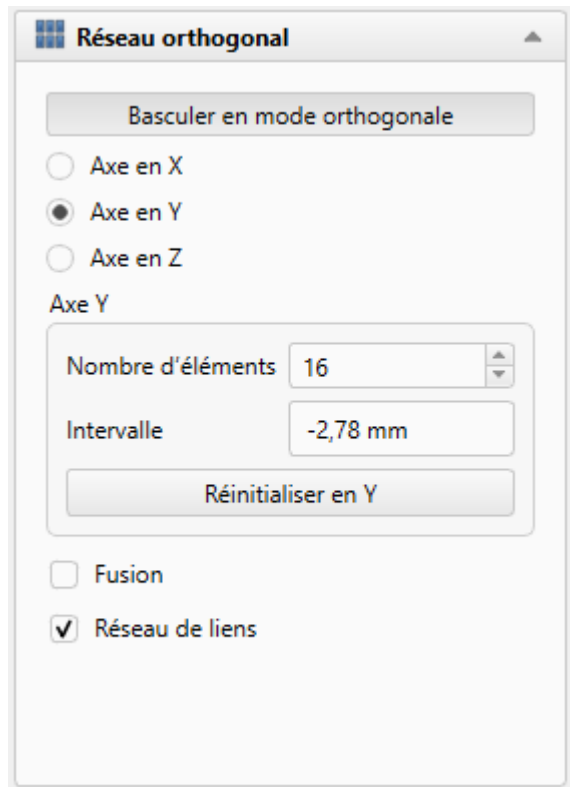


Réseau orthogonal de la ligne CD






Aide :

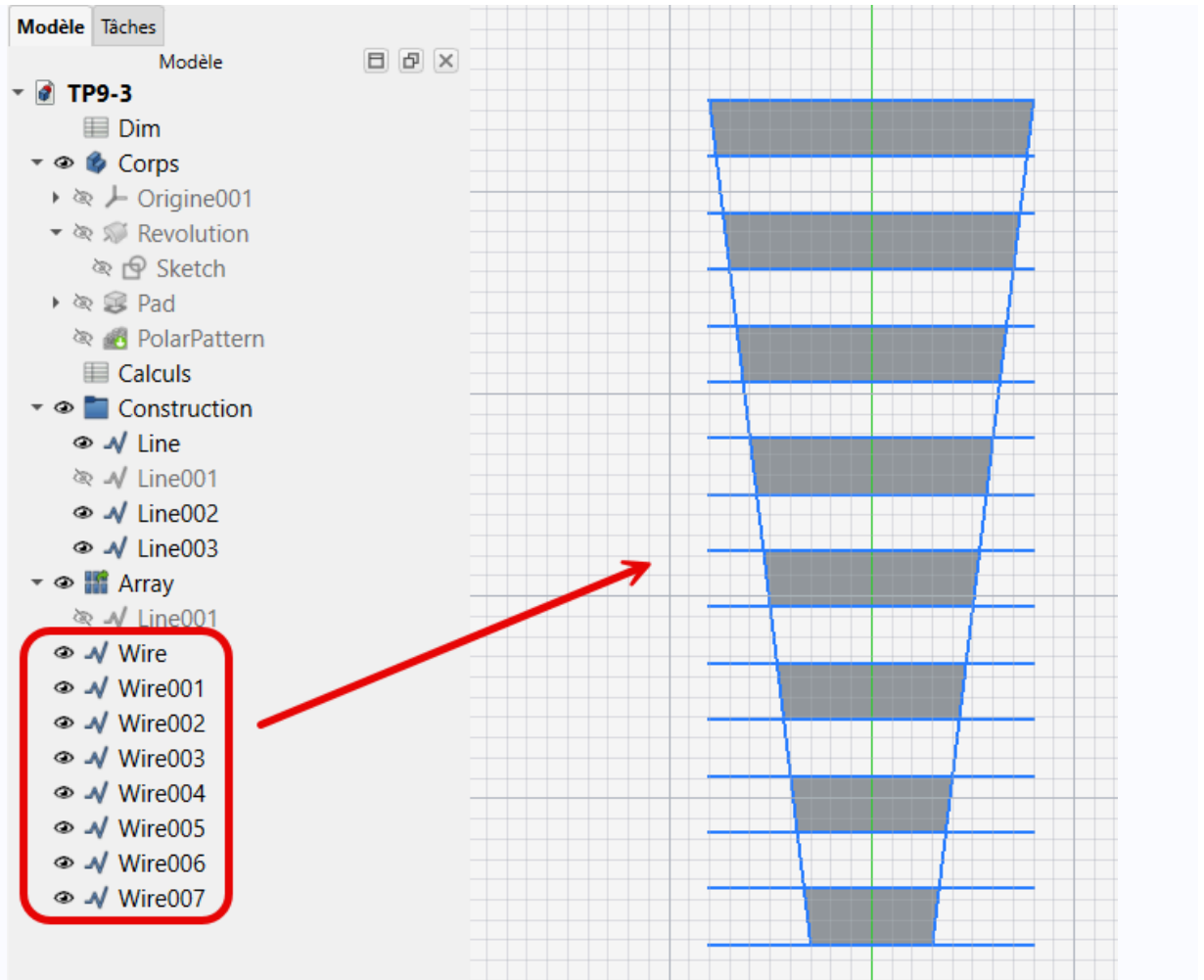
Pour créer le réseau orthogonal, saisir les paramètres suivants :



Paramètres de création du réseau orthogonal

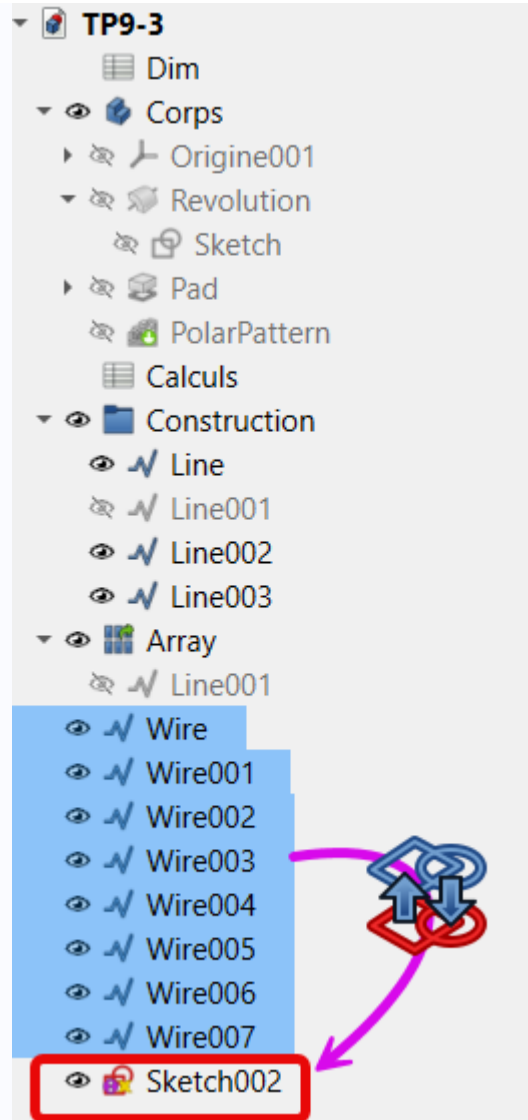
Tâches à réaliser (suite)

- Quitter le mode construction en cliquant sur le bouton  ;
- Créer les 8 polygones fermés à l'aide de la commande  en utilisant l'aimantation intersection  ;



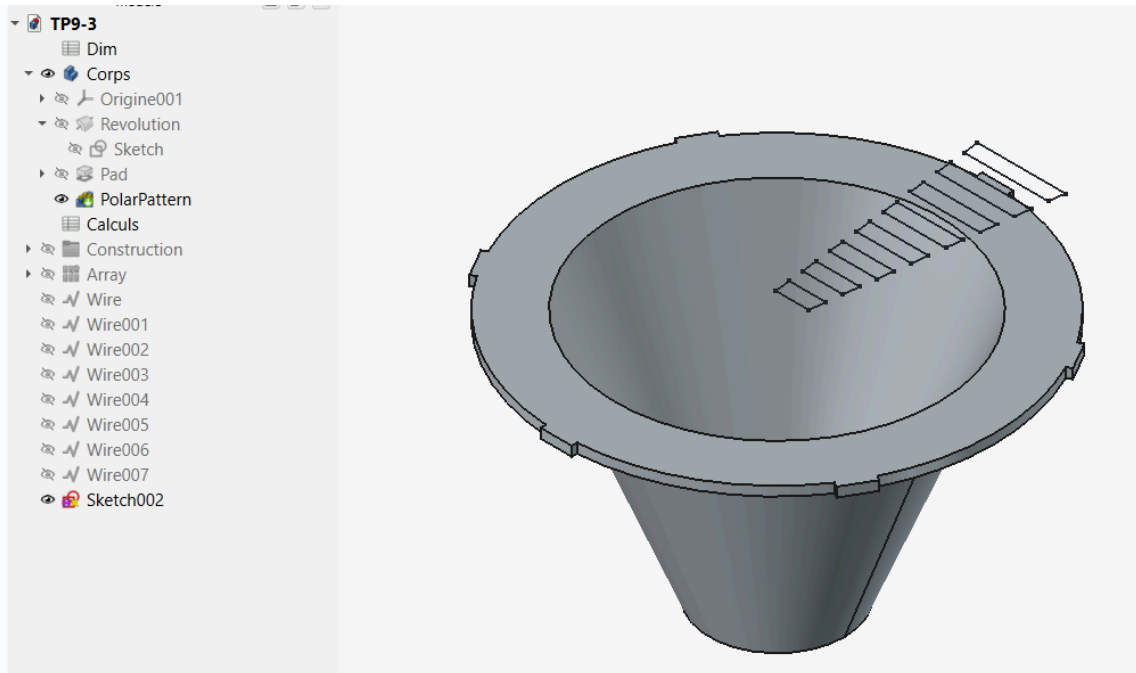
Création des polygones

- Sélectionner les 8 polygones et créer une esquisse à l'aide de la commande  ;



Conversion des 8 polygones en une esquisse

- Revenir à l'atelier Part Design ;
- Masquer les constructions de l'atelier Draft et réafficher PolarPattern en Vue isométrique ;









Affichage de l'esquisse en vue isométrique

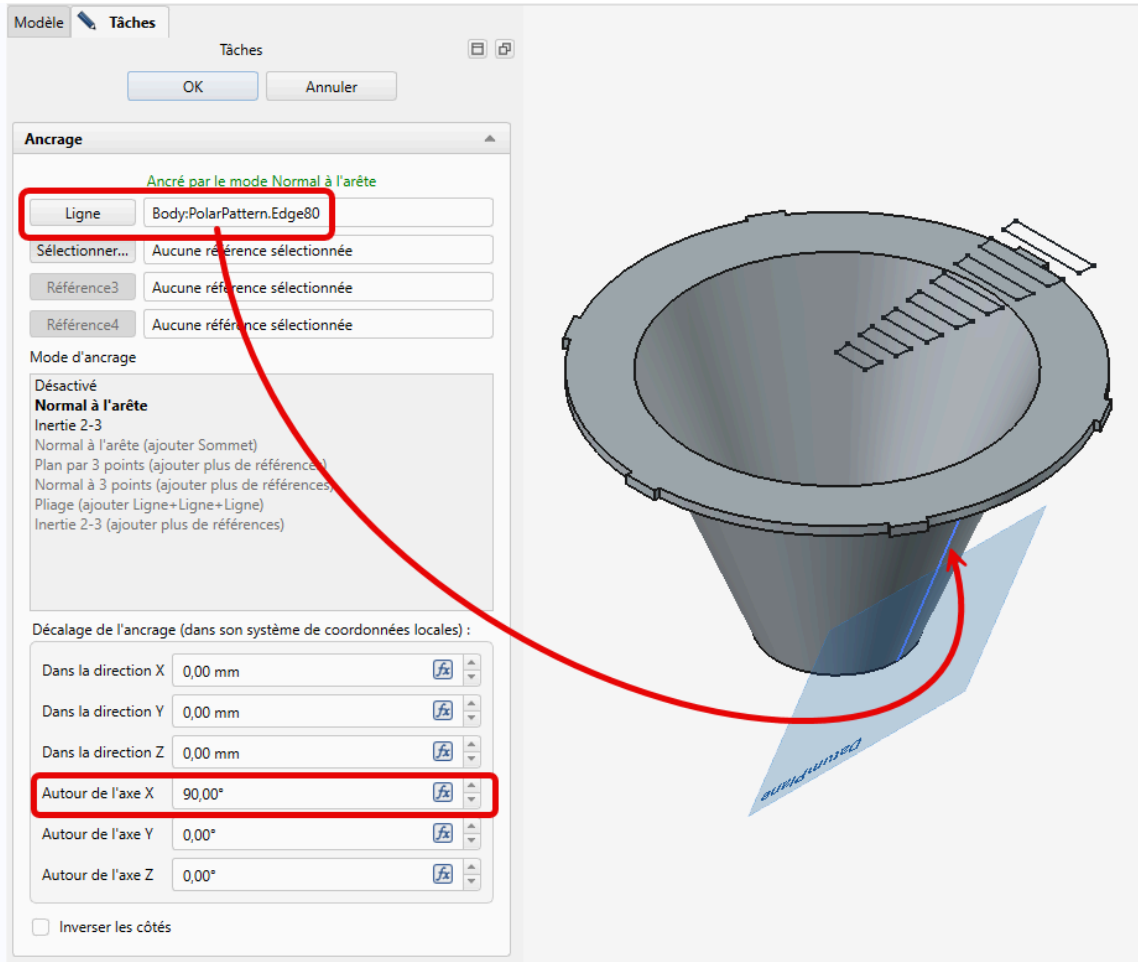
9.3.2. Attacher l'esquisse

Nous allons attacher l'esquisse à un plan tangent au cône ;



Tâches à réaliser

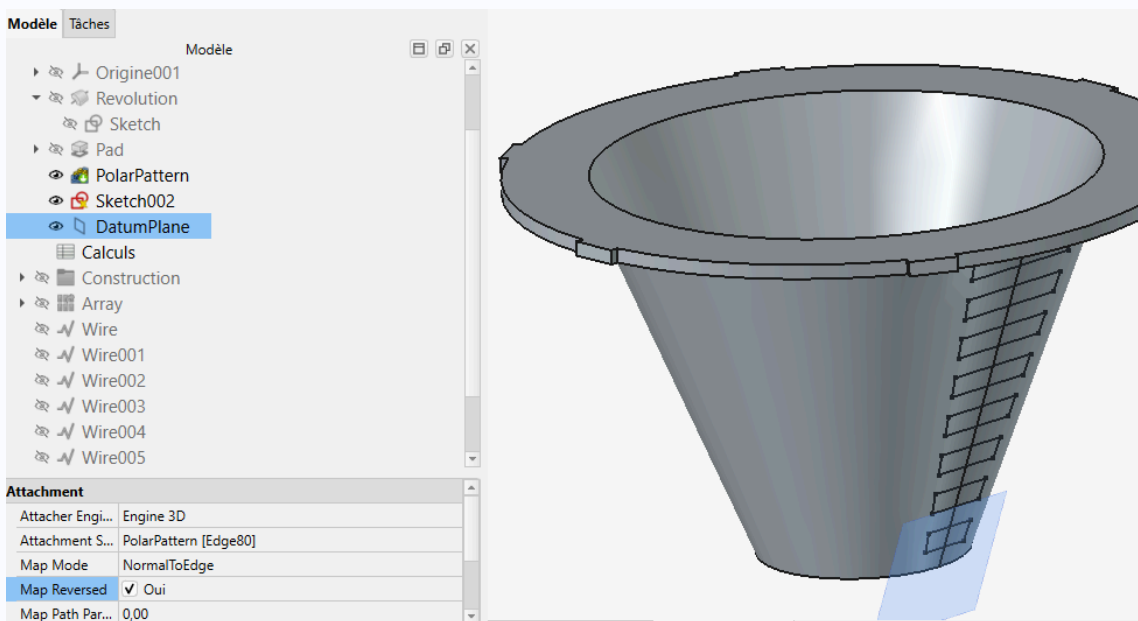
Dans l'atelier PartDesign  :

- Si nécessaire, activer   Corps ;
- Glisser l'esquisse   Sketch002 dans l'arborescence de   Corps ;
- Créer un plan de référence normal à la génératrice extérieure du cône puis réaliser une rotation de 90° autour de l'axe X pour le rendre tangent au cône ;



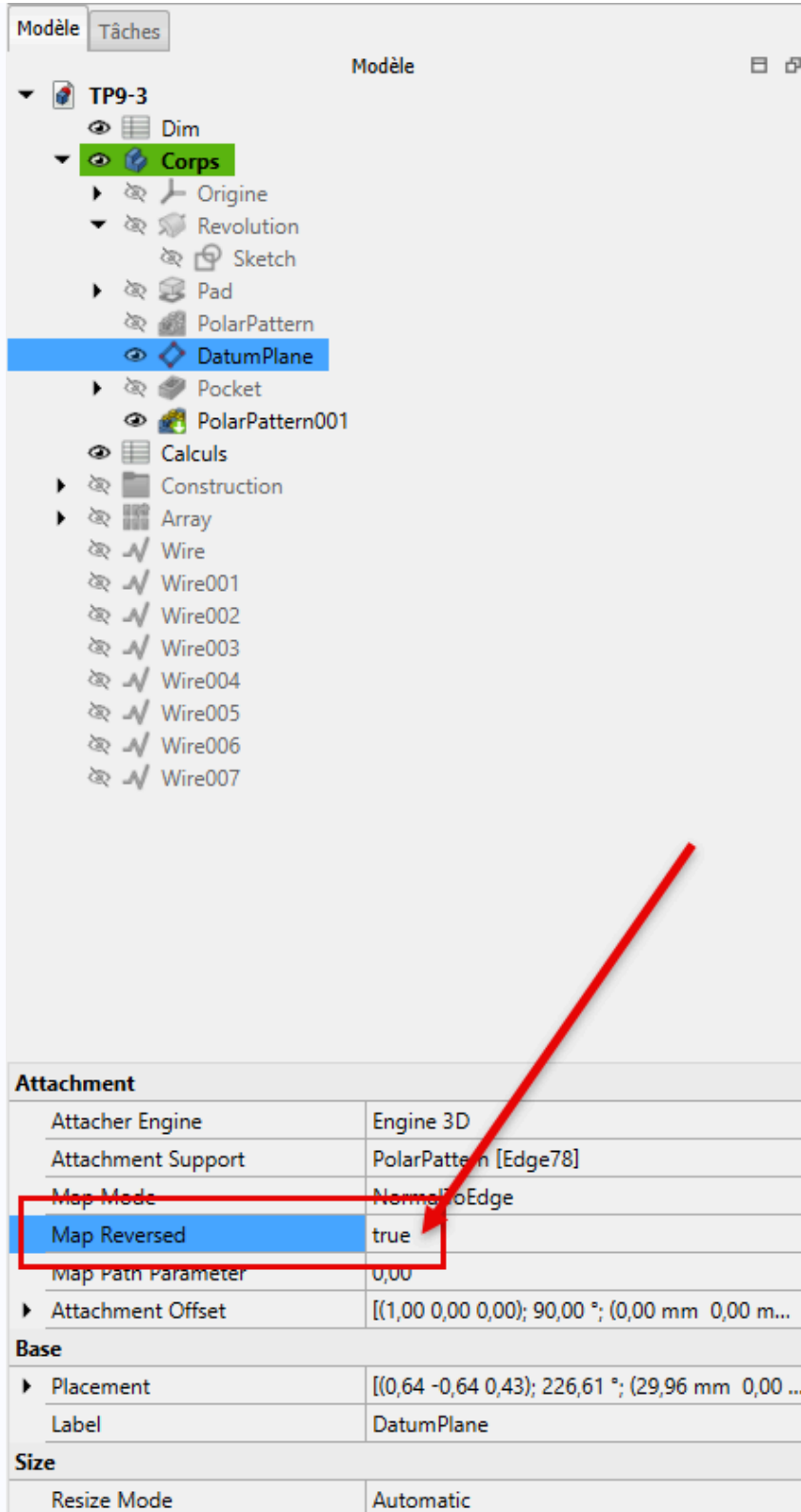
Création du plan de référence

- Accrocher l'esquisse  Sketch002 à ce plan de référence à l'aide de la commande Ancrer une esquisse  ;



Ancrage de l'esquisse au plan de référence

- Si l'esquisse se retrouve au-dessus du cône, inverser le paramètre «  Map Reversed » du plan de référence ;





The screenshot shows the 'Modèle' tree in FreeCAD. The 'DatumPlane' object is selected and highlighted in blue. Below the tree is a table of properties for the selected object.

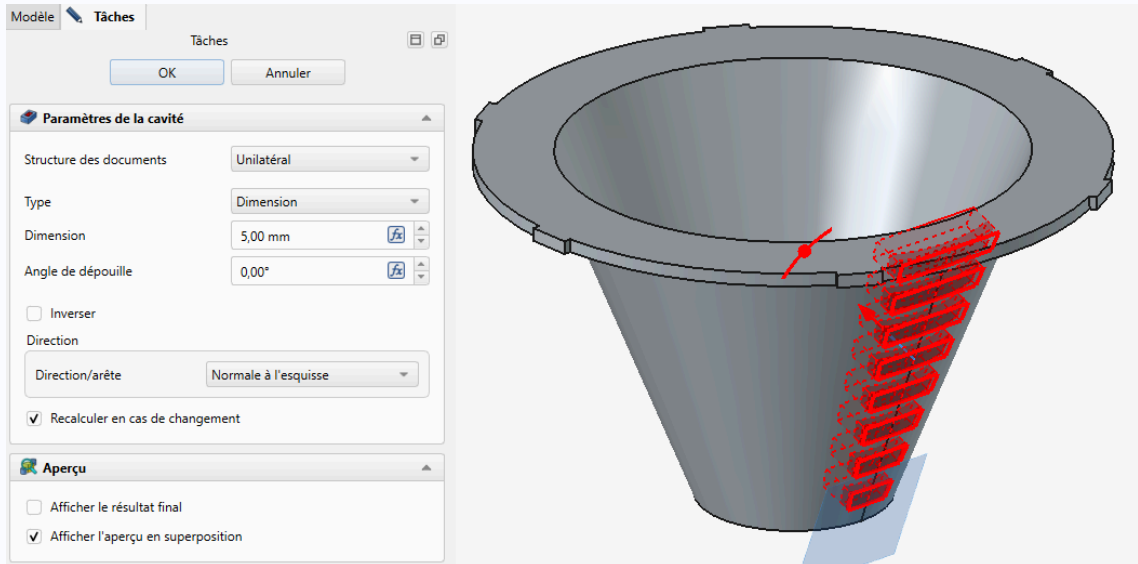
Attachment	
Attacher Engine	Engine 3D
Attachment Support	PolarPattern [Edge78]
Map Mode	NormalToEdge
Map Reversed	true
Map Path Parameter	0,00
Attachment Offset	[(1,00 0,00 0,00); 90,00 °; (0,00 mm 0,00 m...
Base	
Placement	[(0,64 -0,64 0,43); 226,61 °; (29,96 mm 0,00 ...
Label	DatumPlane
Size	
Resize Mode	Automatic

Inversion du plan de référence



9.3.3. Créer les cavités

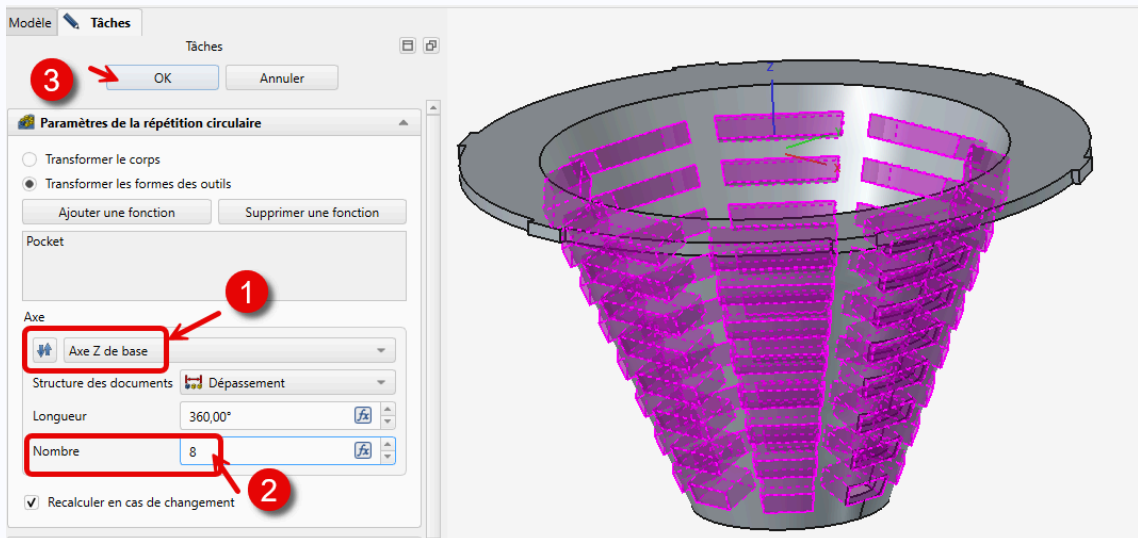
☰ Tâches à réaliser

- Masquer le plan de référence ;
- Sélectionner l'esquisse  **Sketch002** et créer une cavité  de 5 mm ;



Création de la cavité

- Sélectionner  **Pocket** et créer une répétition circulaire  de 8 exemplaires autour de l'axe Z ;








Répétition circulaire de Pocket

9.3.4. Capture vidéo

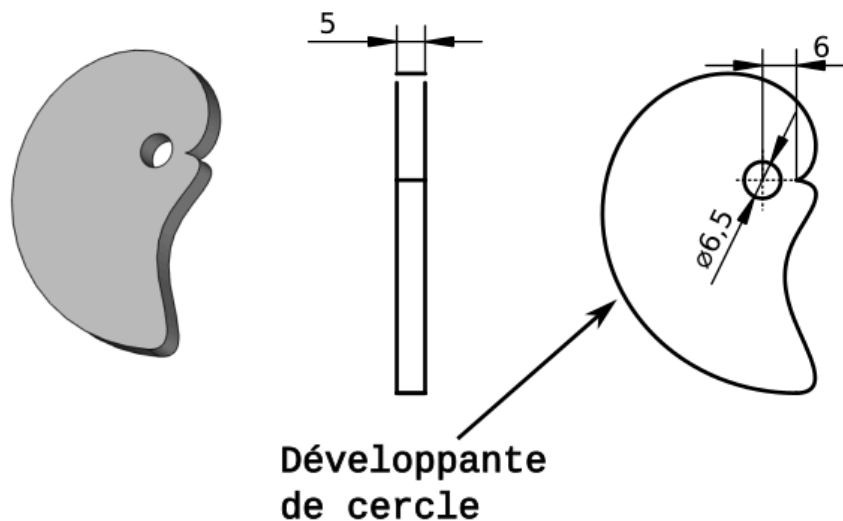


9.4. Équation paramétrique

Objectifs :

- Installer une macro à l'aide du [gestionnaire d'extensions](#)^W  ;
- Exécuter une [macro](#)^W ;
- Convertir une courbe en esquisse  dans l'atelier Draft  ;
- Utiliser une [B-spline](#)^W  dans l'atelier Sketcher  ;

Nous allons modéliser le solide suivant (cf TP 9-4) :



Il s'agit d'une pince excentrique utilisée pour bloquer les pièces à usiner sur une CNC. Voir les exemples suivants :

- <https://www.lairdubois.fr/creations/17125-pinces-anti-clothoide-pour-cnc.html> ;
- Le chapitre « 5 - Pincexcentriques » de la page : https://www.mekanika.io/fr_BE/blog/apprentissage-1/le-guide-ultime-des-systemes-de-fixation-pour-cnc-22


Ci-dessous, l'équation paramétrique de la courbe « Développante de cercle » (ou anti-clothoïde) utilisée :

$$x = a \times (\cos(t) + t \times \sin(t))$$

$$y = a \times (\sin(t) - t \times \cos(t))$$


source : <https://mathcurve.com/courbes2d/developpantedecercle/developpantedecercle.shtml> ;

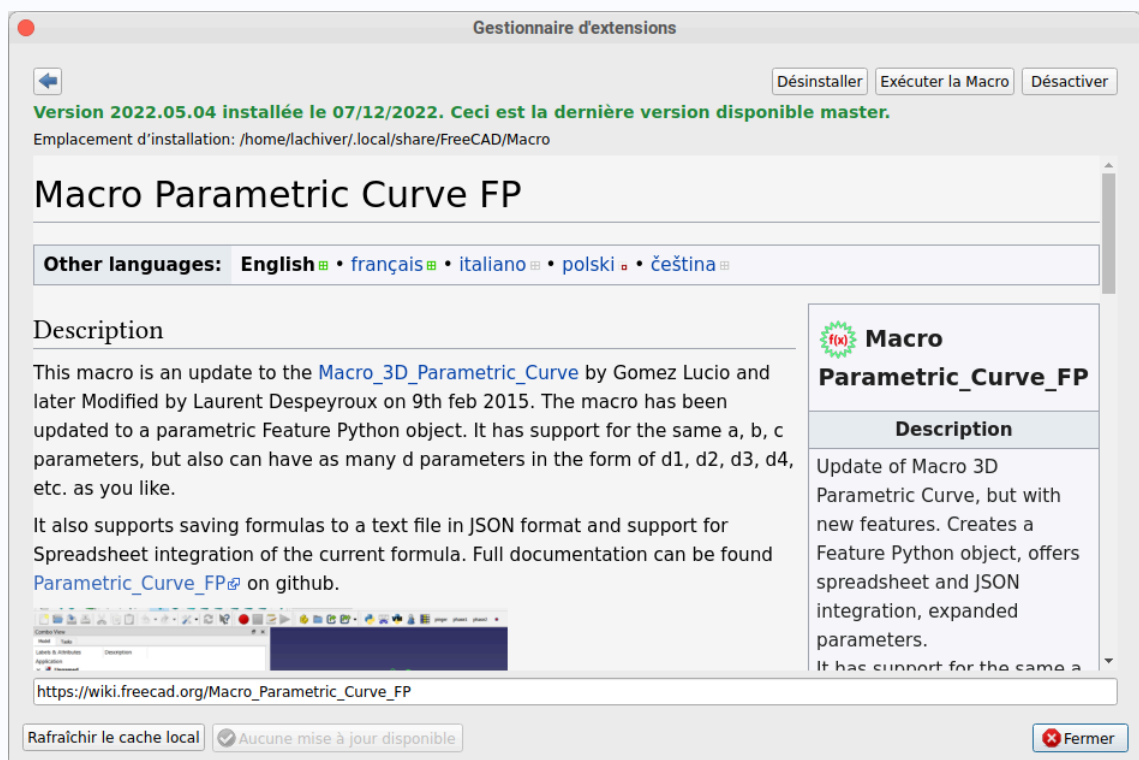
☰ Travail préparatoire

- Créer un nouveau document TP9-4 et ajouter un nouveau corps  ;

9.4.1. Installer la macro



☰ Tâches à réaliser

- Installer la macro  **Parametric Curve FP** à l'aide de commande  Outils -- Gestionnaire d'addons  ;

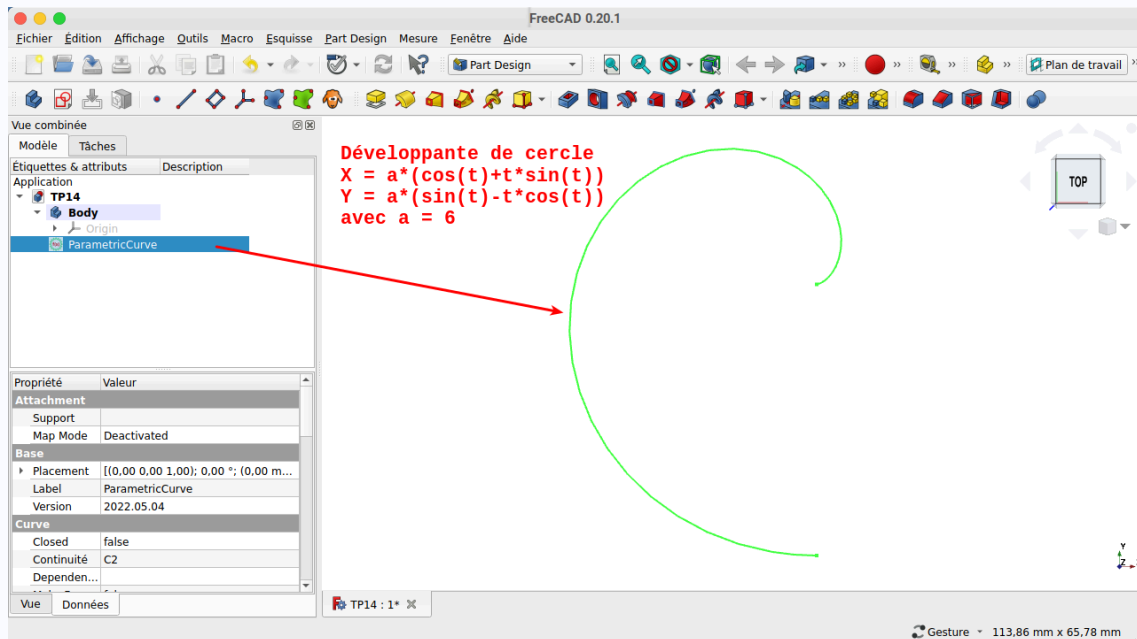


9.4.2. Exécuter la macro

☰ Tâches à réaliser



- Exécuter la macro , modifier la formule  para_curve avec les paramètres suivants :
 - a : 6
 - X : $a * (\cos(t) + t * \sin(t))$
 - Y : $a * (\sin(t) - t * \cos(t))$
 - t_min : 0.0
 - interval : 0.1

- o $t_{max} : 2 * \pi$



9.4.3. Transformer la courbe en esquisse




☑ Tâches à réaliser

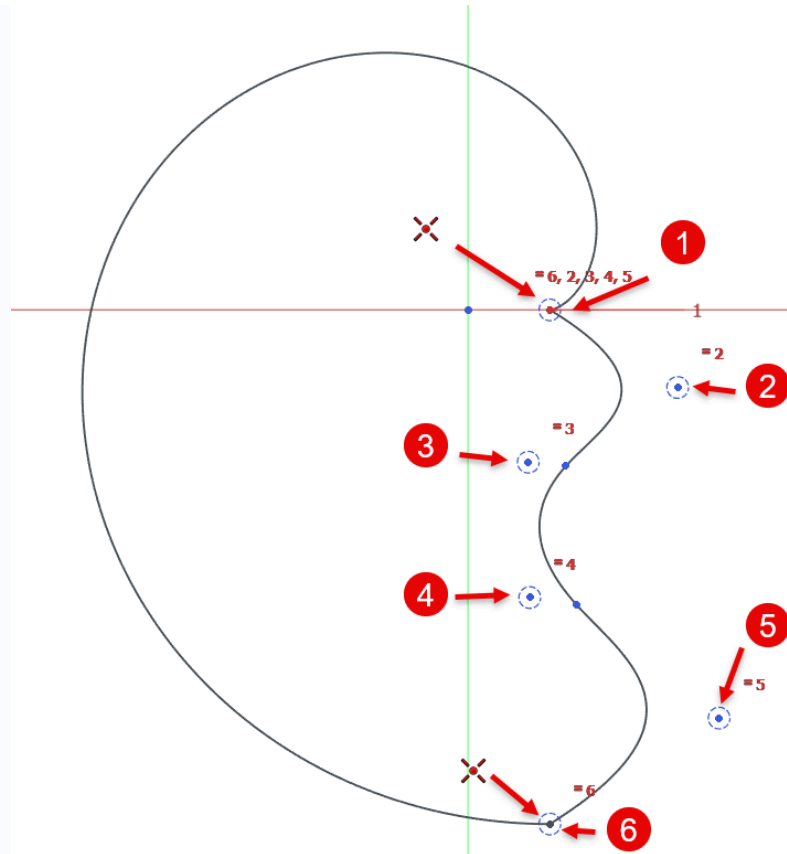
- Sélectionner l'atelier Draft  ;
- Sélectionner la courbe et la transformer en esquisse  ;
- Déplacer l'esquisse dans l'arborescence du corps ;
- Masquer la courbe ;

9.4.4. Fermer l'esquisse et créer la protrusion

Nous allons ajouter une B-spline  pour fermer l'esquisse et pouvoir créer la protrusion ;

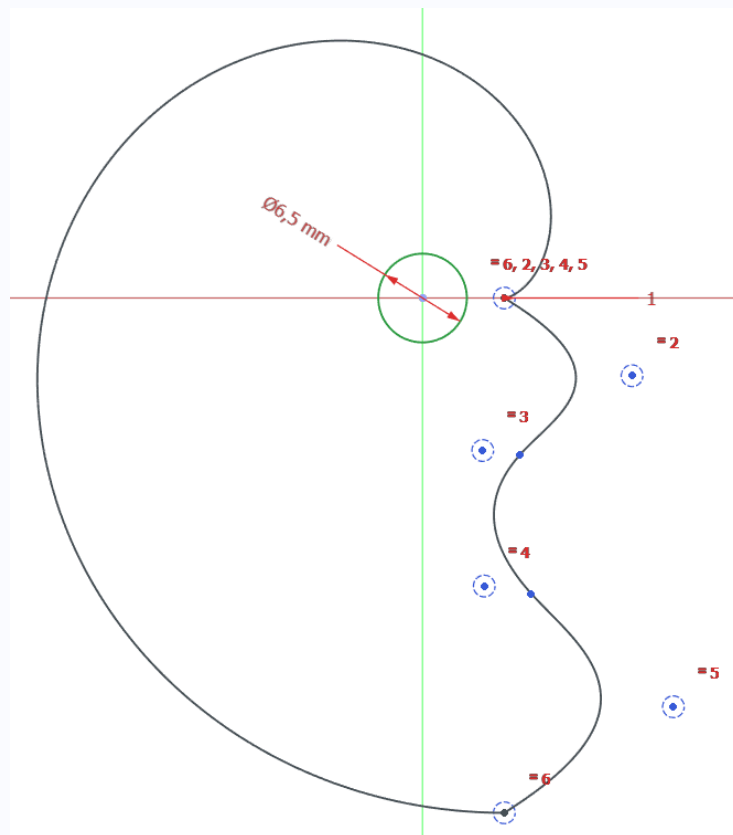
☑ Tâches à réaliser


- Ouvrir l'esquisse  dans l'atelier Sketcher ;
- Ajouter une B-spline  à 6 points de contrôle en utilisant une contrainte automatique  pour les extrémités afin de fermer le contour extérieur de l'esquisse ;

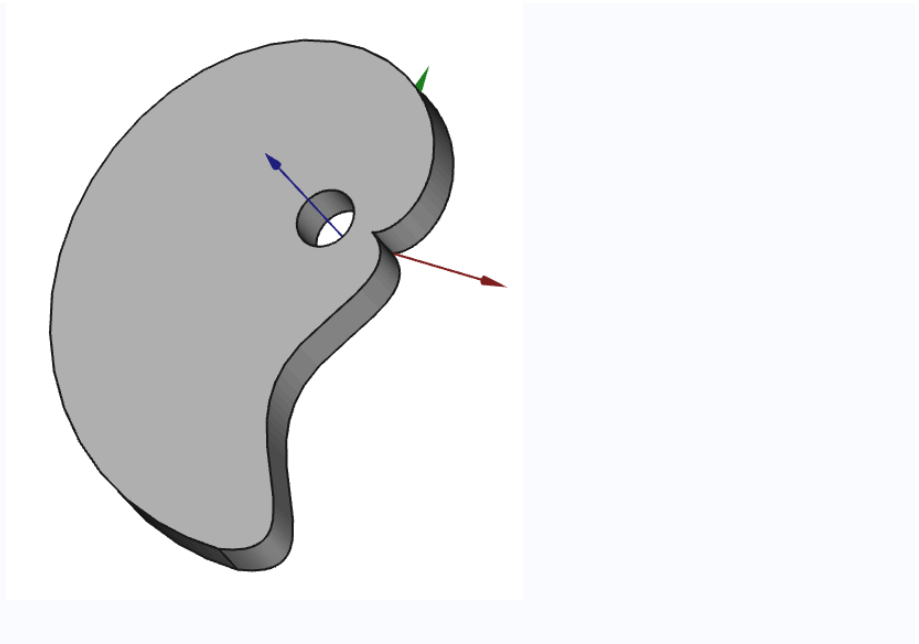


B-spline de fermeture

- Ajouter un cercle  de diamètre \varnothing 6,5 mm centré à l'origine ;



- Fermer l'esquisse et ajouter une protrusion  de 5 mm ;



Simplifier les informations sur les B-Spline

Par défaut, FreeCAD affiche différentes informations sur la B-spline que vous pouvez masquer à l'aide du bouton déroulant  :



Affiche / masque le polygone de définition de la B-spline ; cf. Wiki



Affiche / masque le degré de la B-spline ; cf Wiki



Affiche / masque le peigne de courbure d'une courbe B-spline ; cf Wiki



Affiche / masque la multiplicité des nœuds ; cf Wiki


9.4.5. Capture vidéo







10. Atelier Mesh

Objectifs

En vue d'une impression 3D, dans le cadre de ce parcours, nous n'exploiterons que les commandes suivantes de l'atelier Mesh  :

- Créer un maillage à partir d'une forme^W  ;
- Exporter un maillage^W  permettant de créer un fichier au format STL ;

Mesh

≈ Maillage

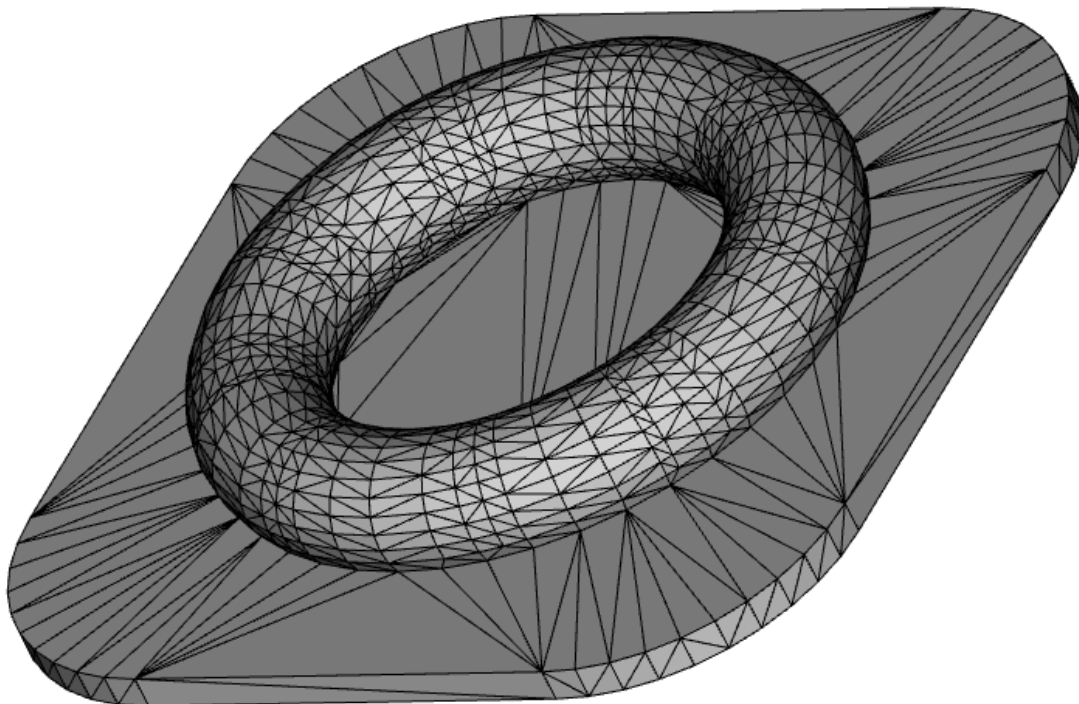
Un **mesh** ou **maillage** est un objet tridimensionnel constitué de sommets, d'arêtes et de faces organisés en polygones sous forme de fil de fer dans une infographie tridimensionnelle. Les faces se composent généralement de triangles, de quadrilatères ou d'autres polygones convexes simples, car cela simplifie le rendu. Les faces peuvent être combinées pour former des polygones concaves plus complexes, ou des polygones avec des trous.

source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mesh_\(objet\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mesh_(objet))

Le processus permettant de passer d'un modèle d'un solide à son maillage s'appelle la **tessellation** .


Maillage d'un solide

Mesh (maillage)





Atelier Mesh







L'atelier Mesh  manipule des maillages triangulés. Les maillages (mesh en anglais) sont un type particulier d'objets 3D, composés de triangles connectés par leurs arêtes et leurs sommets (aussi appelés vertices).

Cet atelier permet notamment de créer rapidement des maillages à partir de modèle de solide.

cf https://wiki.freecad.org/Mesh_Workbench/fr

10.1. TP 10-1

Tâches à réaliser

- Si nécessaire, activer l'atelier  Mesh Design à l'aide de l'onglet **Ateliers** de la commande  Outils → Personnaliser ;
- Télécharger le fichier [exempleMesh.FCStd](#) et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Dans l'atelier  Mesh Design, créer un maillage de l'objet  Pad à l'aide de la commande  ;
- Créer un fichier  Pad.stl du maillage à l'aide de la commande .

Pour mieux visualiser le maillage :

- Masquer l'objet  Pad ;



11. Atelier TechDraw

Dans FreeCAD, la modélisation du solide s'effectue essentiellement dans la **vue 3D** mais il est parfois nécessaire de produire des documents de communication.



Dessin Technique

Un dessin technique est une **représentation graphique normalisée** d'un objet, d'un système ou d'un ouvrage qui permet de communiquer de manière précise et sans ambiguïté des informations nécessaires à la fabrication, à l'assemblage ou à la compréhension d'un objet ou d'un système.

Caractéristiques principales :

- Respecte des normes précises (comme ISO ou ANSI) pour garantir une compréhension universelle ;
- Utilise des vues (en plan, de face, de côté, en coupe) pour montrer tous les détails nécessaires ;
- Inclut souvent des cotes, des légendes, des matériaux, des tolérances, etc...

Atelier TechDraw

L'atelier TechDraw  est utilisé pour produire des dessins techniques de base à partir de modèles 3D créés notamment avec PartDesign .

- Chaque dessin est une **feuille** pouvant contenir diverses **vues** d'objets pouvant être dessinés : corps, groupe d'objets ;
- Les dessins résultants peuvent être utilisés pour des éléments tels que la documentation, les instructions de fabrication, les contrats, les permis, etc...

cf. https://wiki.freecad.org/TechDraw_Workbench/fr

- Des dimensions, des sections, des zones hachurées, des annotations et des symboles SVG peuvent être ajoutés à la feuille, qui peuvent ensuite être exportés vers différents formats tels que DXF, SVG et PDF.

Objectifs du chapitre

- Créer des plans : groupe de projections, coupe, dessin de détail de modèles 3D ;
- Cotation et annotations des plans ;



11.1. Configuration de l'atelier

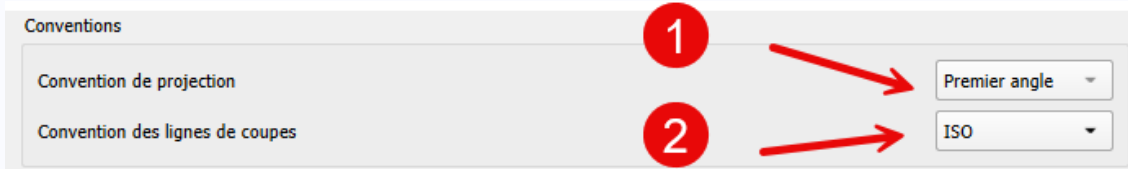
Objectifs

- Régler les [préférences de l'atelier TechDraw](#) ^W ;

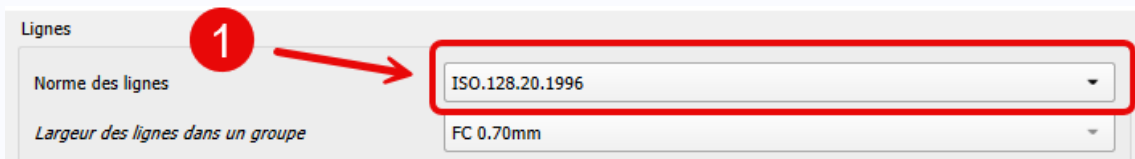


Tâches à réaliser

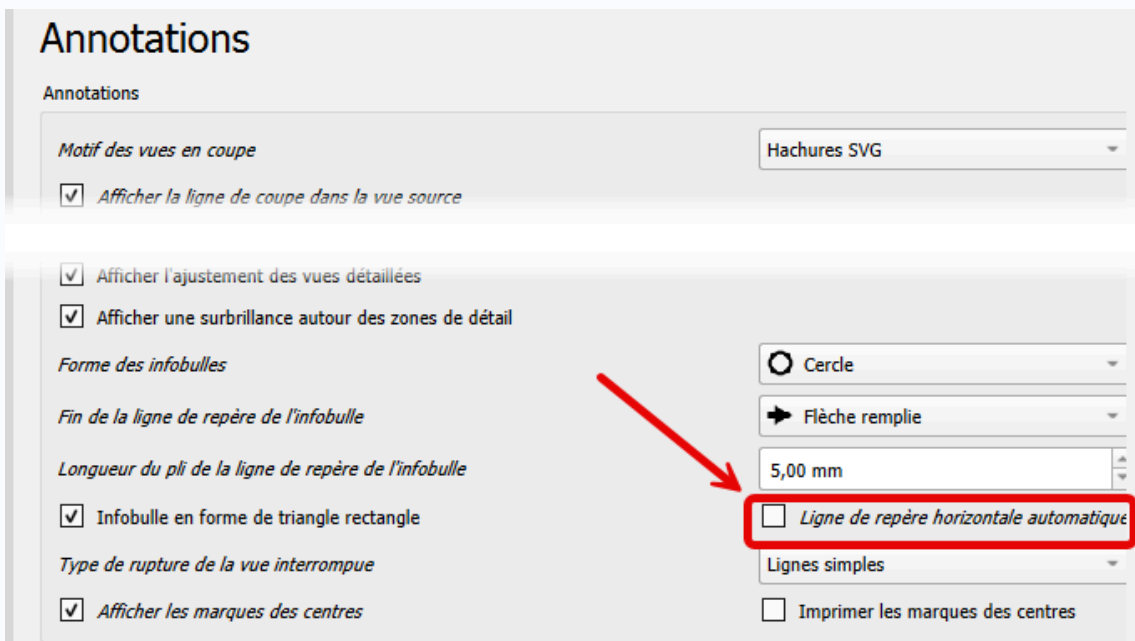
- Ouvrir l'atelier TechDraw  et sélectionner la commande  Édition → Préférences ;
- Modifier / vérifier les réglages ci-dessous ;
 - Rubrique **Général** : Conventions européennes :



- Rubrique **Annotations** : normes européennes pour les lignes :



- Rubrique **Annotations** : décocher ligne de repère horizontale automatique :



Désactiver Ligne de repère horizontale automatique



- Rubrique **Couleurs** : fond blanc pour les pages et les faces :

Couleurs Rechercher des préférences...

Couleurs

<i>Lignes normales</i>	<input type="color" value="#000000"/>	<i>Lignes cachées</i>	<input type="color" value="#000000"/>
<i>Présélections</i>	<input type="color" value="#FFA500"/>	<i>Faces coupées</i>	<input type="color" value="#CCCCCC"/>
<i>Lignes centrales</i>	<input type="color" value="#000000"/>	<i>Sommets</i>	<input type="color" value="#000000"/>
<i>Couleur des contours des vues détaillées</i>	<input type="color" value="#000000"/>	<i>Lignes des repères</i>	<input type="color" value="#000000"/>
Couleur de la grille	<input type="color" value="#000000"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <i>Faces transparentes</i>	<input type="color" value="#FFFFFF"/>
Soulignement des modèles	<input type="color" value="#0000FF"/>		
<input type="checkbox"/> Clair sur sombre			#ffffff
<input type="checkbox"/> Monochrome	<input type="color" value="#000000"/>	<i>Couleur des feuilles</i>	<input type="color" value="#FFFFFF"/>

Remarque : les éléments en *italiques* sont les valeurs par défaut des nouveaux objets. Ils n'ont aucun effet sur les objets déjà en place.

+ Rappel des conventions

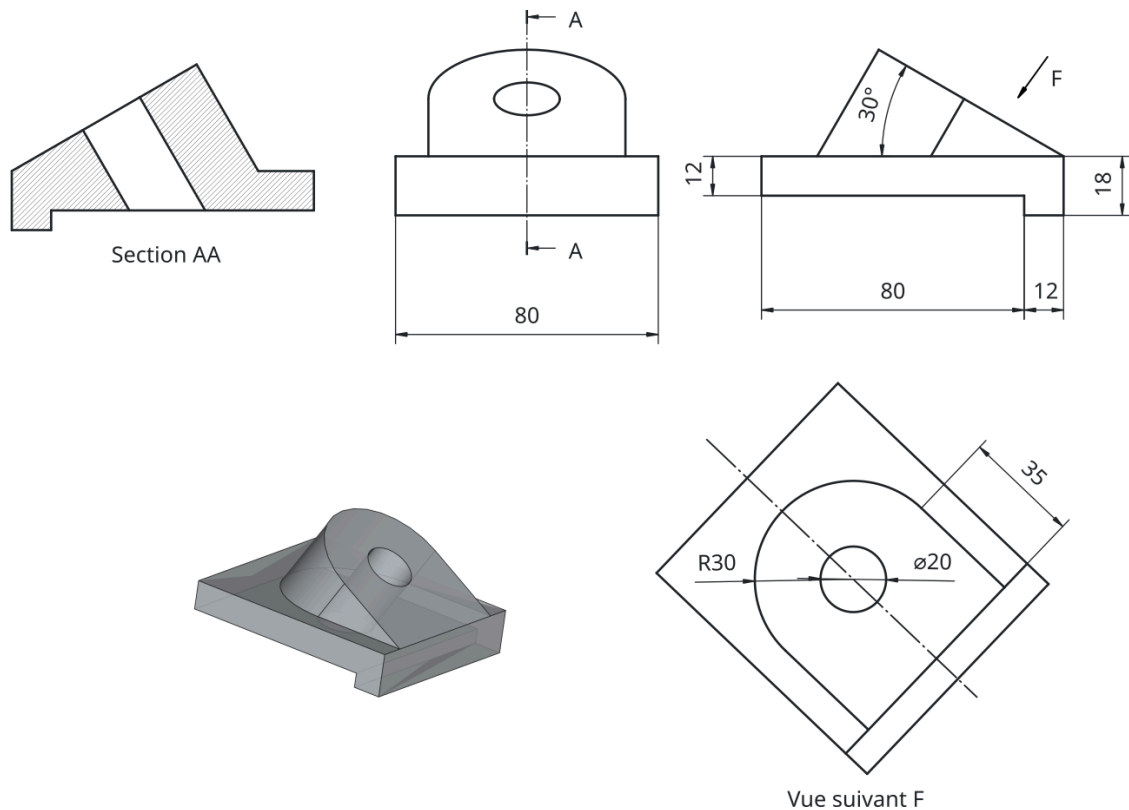
- La norme ANSI est surtout utilisée en Amérique du Nord, la norme ISO dans le reste du monde, notamment en Europe ;

Aspect	ISO	ANSI
Projection	1 ^{er} angle	3 ^{ème} angle
Formats	Série A (mm)	Série ANSI (pouces)
Unités	Système métrique	Pouces ou métrique
Normes associées	ISO 128, 129, 216, 3098	ASME Y14.x



11.2. TP 11-1

Nous allons ajouter une feuille contenant le **dessin technique** de définition du solide modélisé lors du TP 3-3 :



Feuille de dessin TechDraw

Objet créé par l'atelier TechDraw. FreeCAD propose différents modèles de feuille :



- de différentes tailles : A0 à A4 ;
- orientation : Portrait ou Paysage (**landscape**) ;
- avec ou sans cartouche (**blank**) ;

cf. https://wiki.freecad.org/TechDraw_PageDefault/fr

11.2.1. Groupe de projections

Objectifs

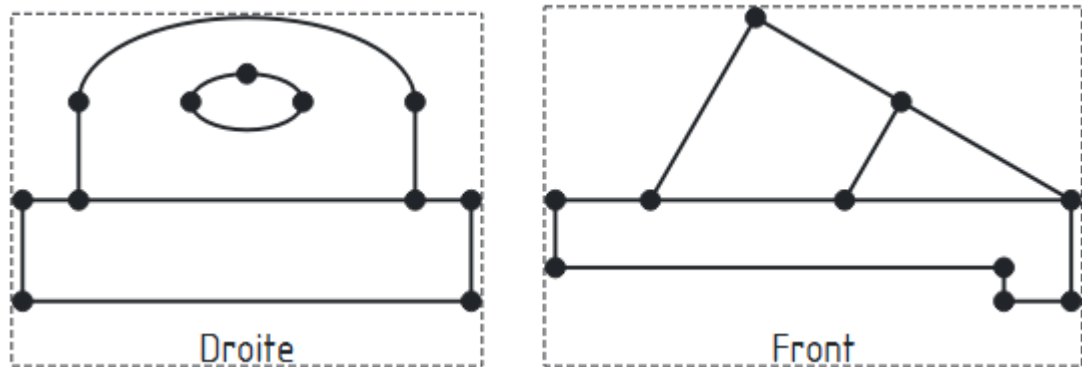
Dans l'atelier TechDraw , utiliser les commandes :

-  Feuille à partir d'un modèle ^W pour ajouter une feuille de dessin ;
-  Insérer une vue ^W ;



Tâches à réaliser

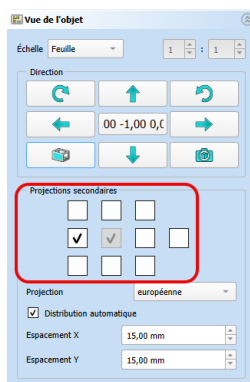
- Télécharger le fichier [TP11-1-initial.FCStd](#) sur votre ordinateur et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer ce document sous le nom TP11-1.FCStd ;
- Dans l'atelier TechDraw , créer une feuille au format **A3, Paysage, sans cartouche** à l'aide de la commande Feuille à partir d'un modèle ;
- Sélectionner l'objet Pocket dans l'onglet **Modèle** et crée la vue groupe de projections ci-dessous à l'aide la commande Insérer une vue ;



Vue : Groupe de projections

Truc & astuce

- Pour créer la feuille, sélectionner le modèle A3_Landscape_blank.svg contenu dans le sous-dossier ISO ;
- Pour créer la vue groupe de projections : sélectionner la vue de face et la vue de droite ;



11.2.2. Vue en coupe


Objectifs

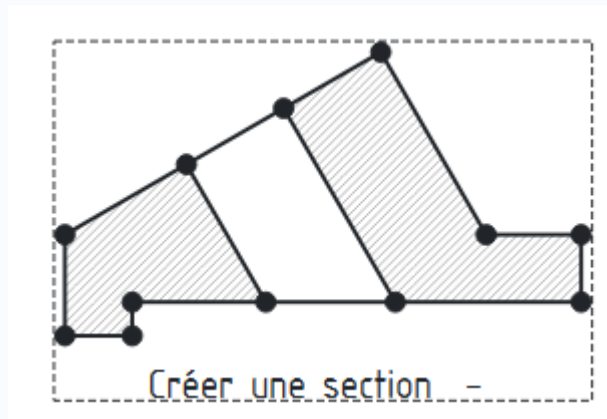
Dans l'atelier TechDraw , utiliser les commandes :

- Insérer une vue en coupe ^W pour insérer une coupe ;



☰ Tâches à réaliser (suite)

- Sélectionner la vue de droite et créer la vue en coupe ci-dessous à l'aide de la commande  Insérer une vue en coupe ;



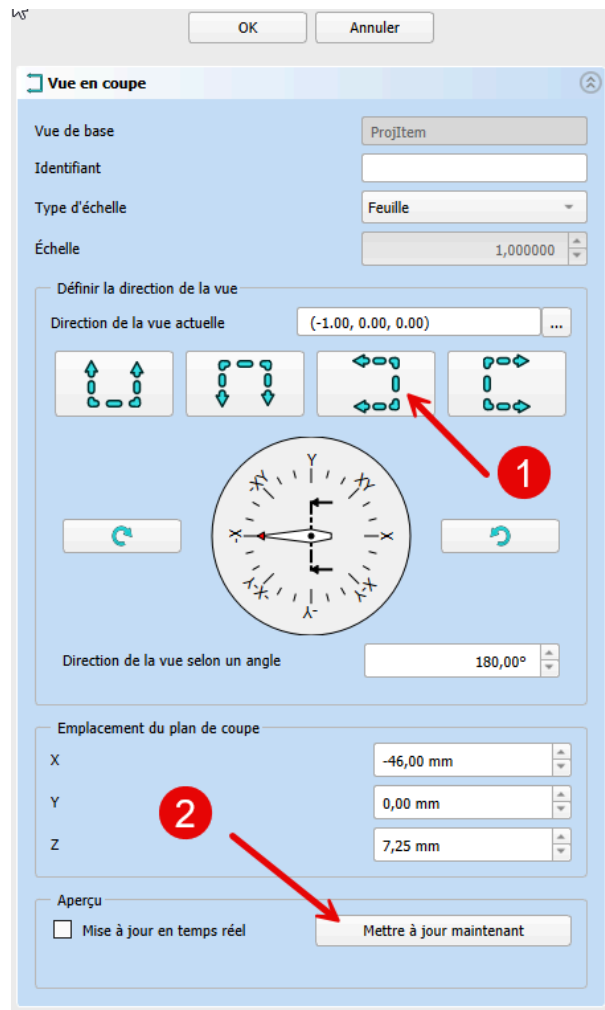
Vue en coupe

- Repositionner les vues ;



Truc & astuce

- Sélectionner la direction de la vue ;
- Cliquer sur le bouton **Mettre à jour maintenant** pour afficher la vue ;



Paramètres de la vue en coupe

11.2.3. Vue oblique

Objectifs

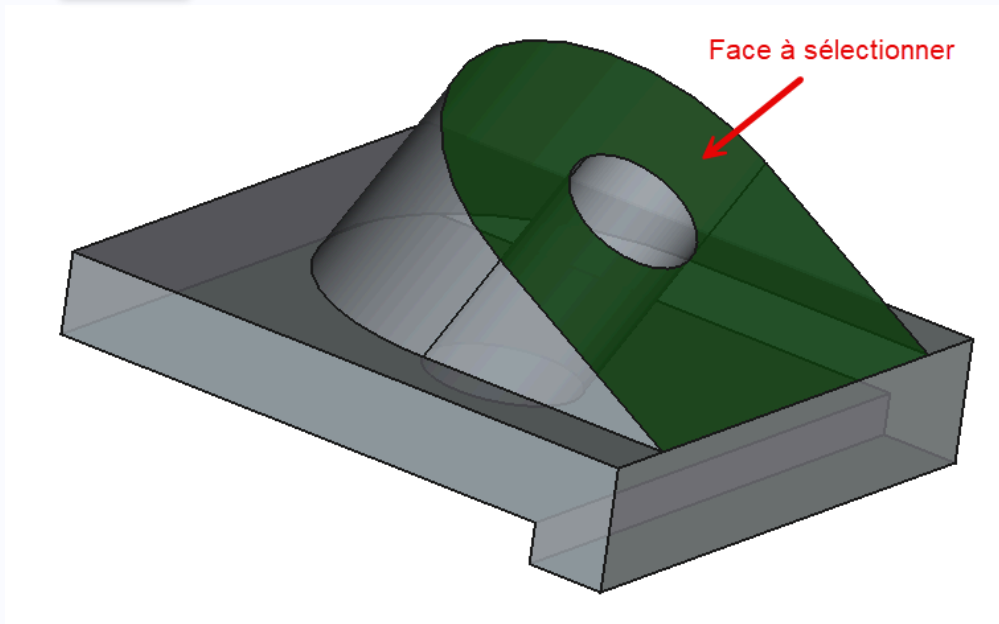
Dans l'atelier TechDraw , utiliser les commandes :

-  Insérer une vue ^W pour créer une projection suivant une face ;





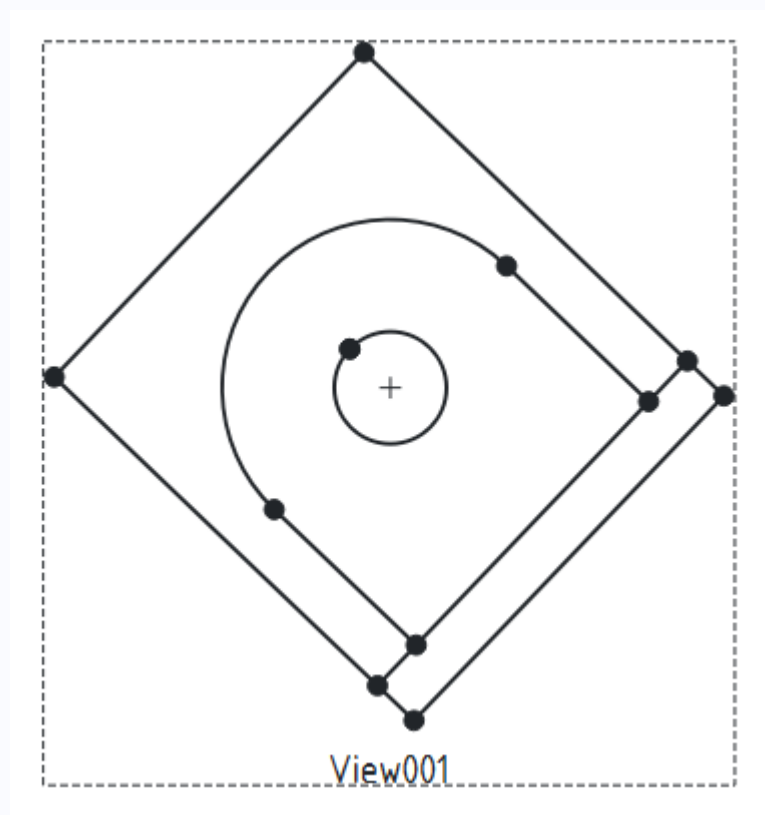
Tâches à réaliser (suite)

- Afficher l'onglet **TP11-1** contenant la vue 3D du modèle et sélectionner la face inclinée supérieure ;



Face à sélectionner

- Revenir à l'onglet contenant la feuille de dessin, sélectionner à nouveau la commande  **Vue** et cliquer sur le bouton  pour créer la vue ci-dessous :







Vue suivant F




11.2.4. Cotes & annotations

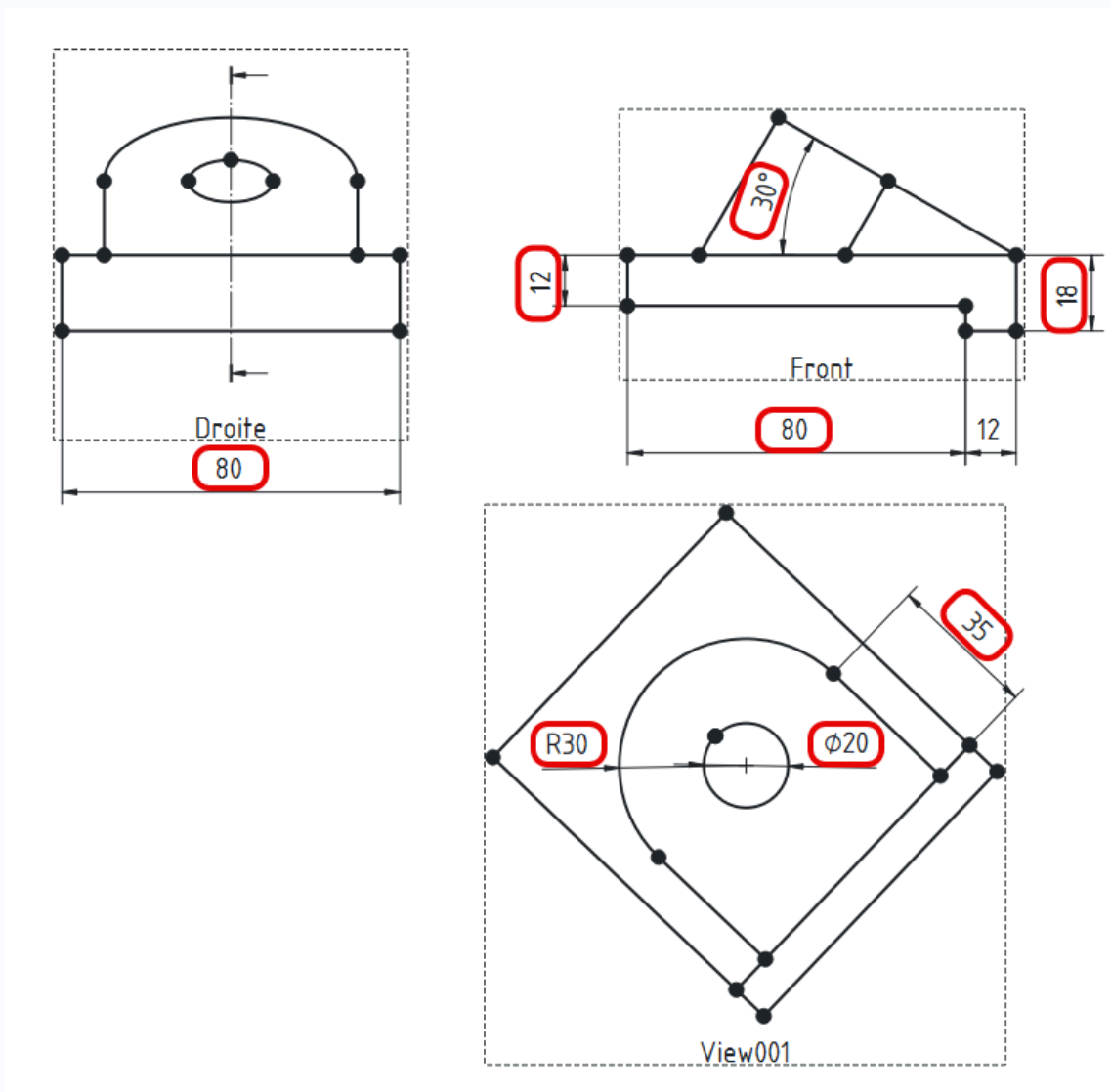
Objectifs

Utiliser les commandes de l'atelier TechDraw  :

-  Insérer une cote ^W pour ajouter des cotes au dessin ;
-  Insérer une ligne centrale entre deux lignes ^W pour ajouter un axe de symétrie ;
-  Insérer une ligne à une vue ^W pour ajouter une flèche de direction ;
-  Insérer une annotation ^W ;

Tâches à réaliser

- A l'aide de la commande  Insérer une cote, ajouter les cotes suivantes :



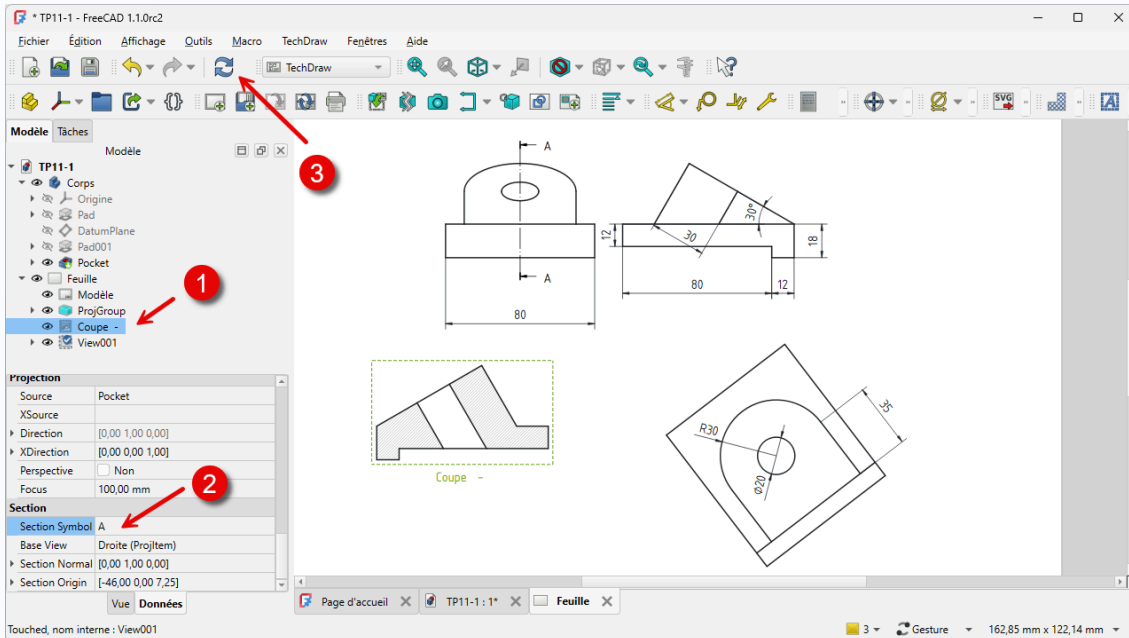


Éviter la détection de surface


Pour éviter la cotation de surface non désirée, placer provisoirement les cotes en dehors des cadres : vous pourrez les repositionner en fin de tâches ;

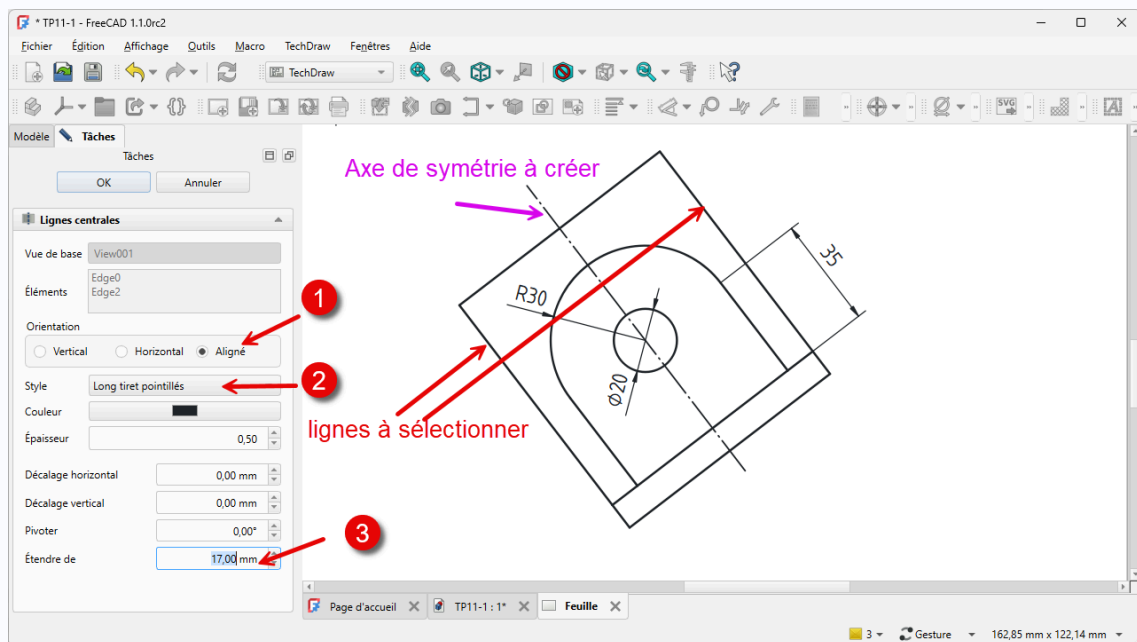
Tâches à réaliser

- Ajouter la lettre A pour repérer la section :



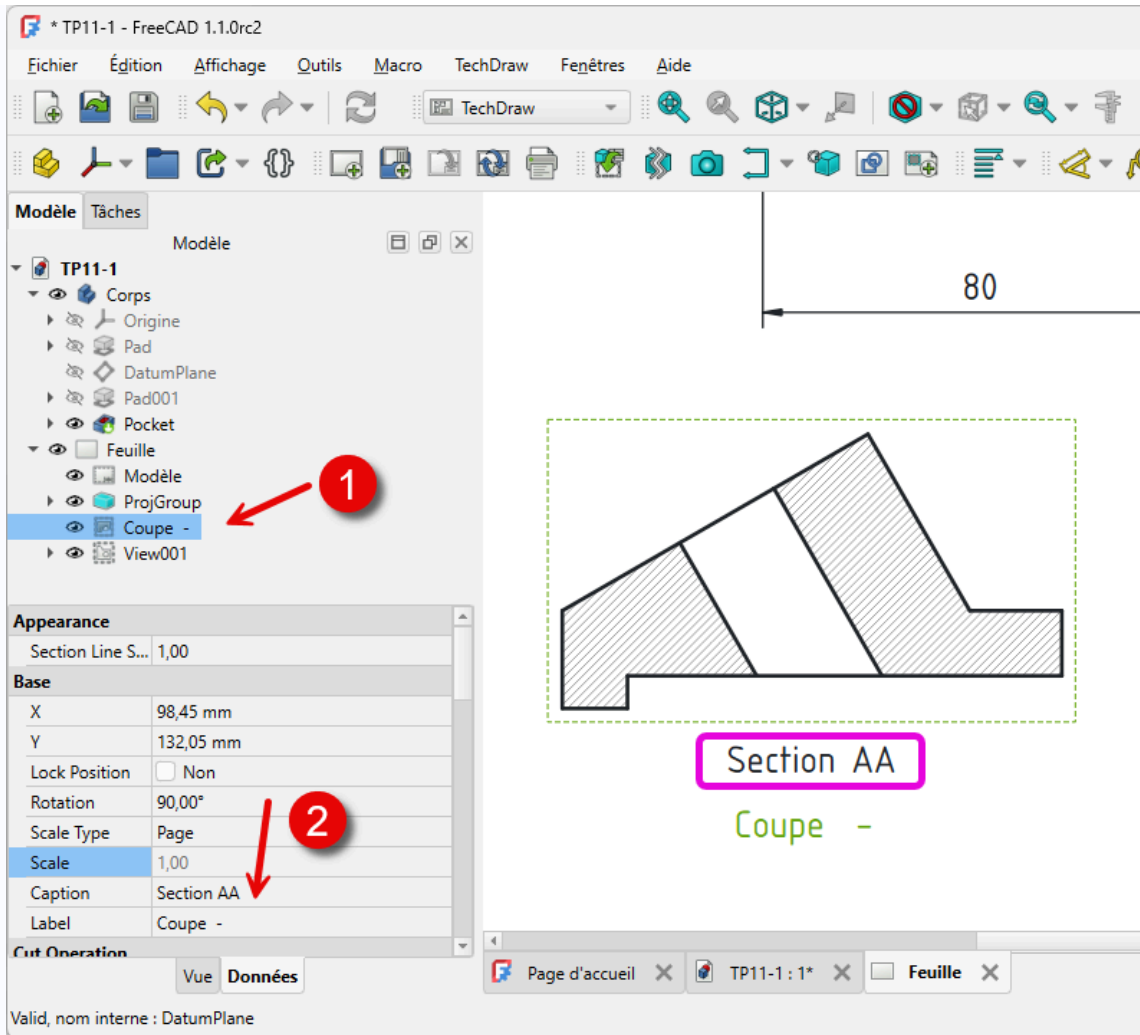
Repère de section

- Ajouter un axe de symétrie à la vue suivant F à l'aide de la commande  Ajouter une ligne centrale entre deux lignes :



Axe de symétrie à créer

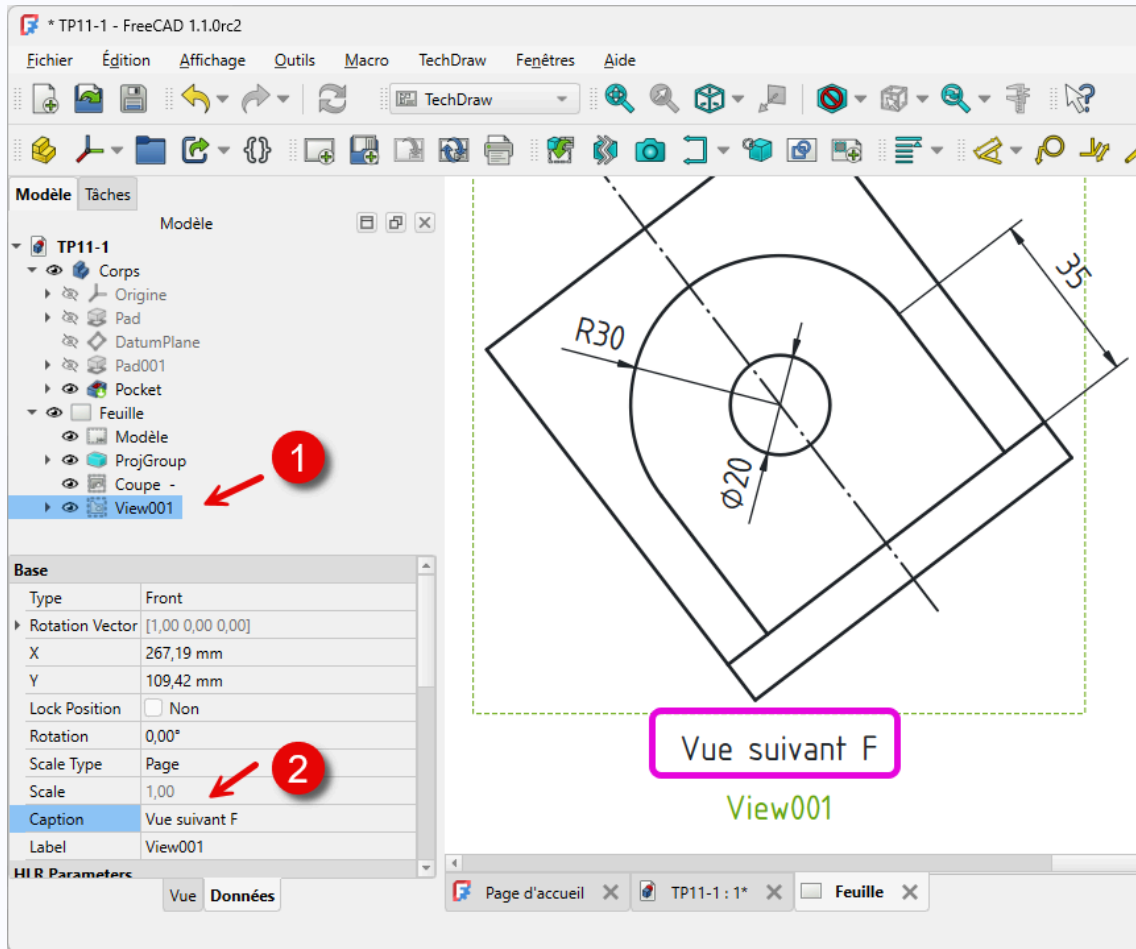
- Ajouter une légende (caption) « Section AA » à la vue en coupe ;



Légende de la section

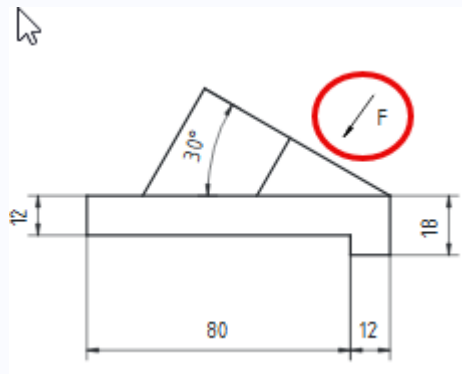


- Ajouter une légende « **Vue suivant F** » à la vue projection du plan inclinée :



Légende *Vue suivant F*

- Ajouter une flèche montrant la direction de la projection de la vue oblique :



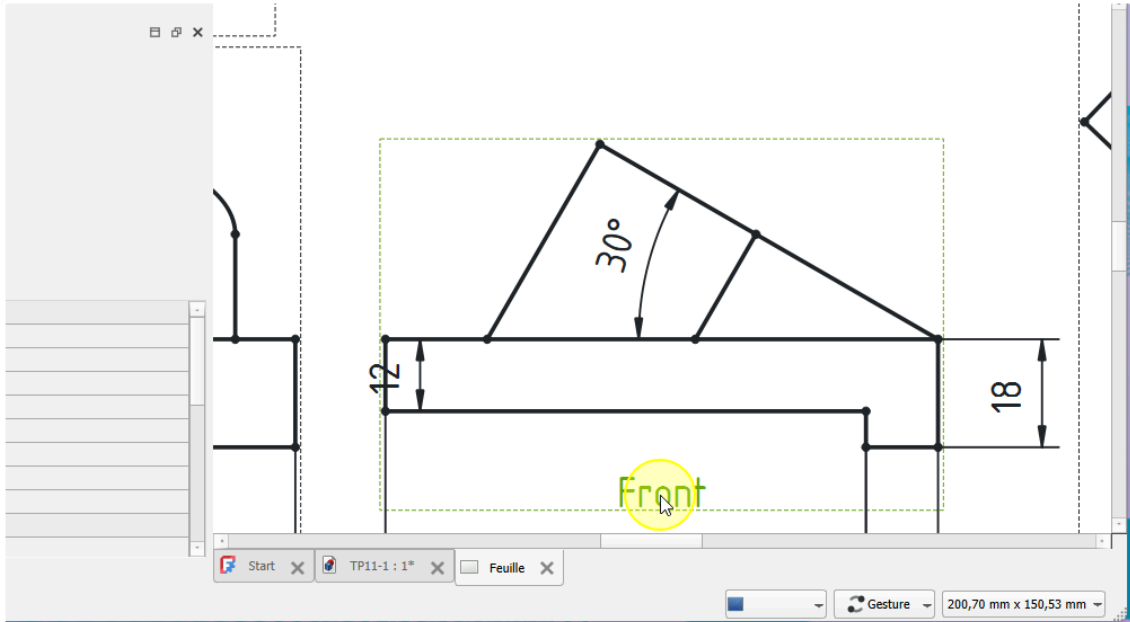


11.2.4.1. Insertion de la direction pour la vue oblique

Pour insérer la flèche montrant la direction de la projection de la vue suivant F

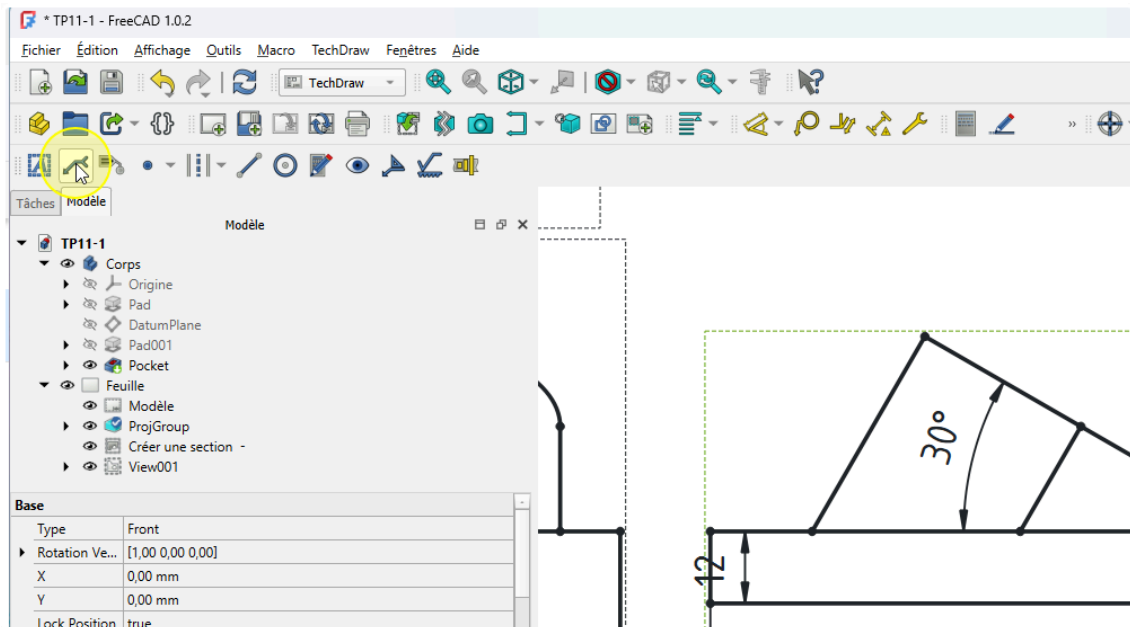
Procédure

1. Sélectionner la vue de face



Sélection de la vue

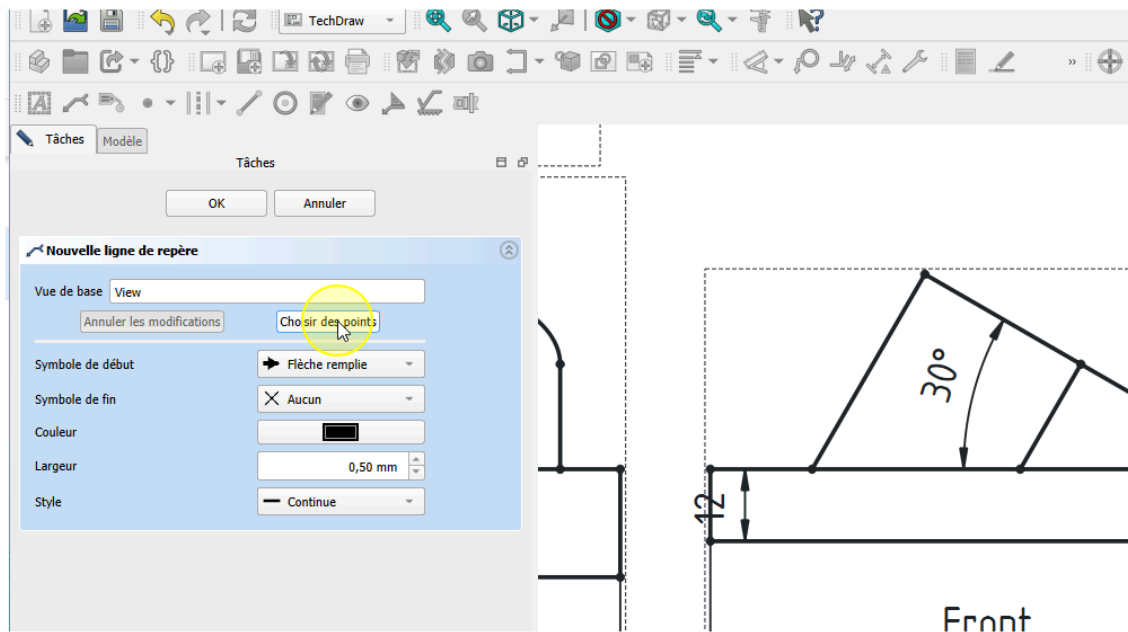
2. Cliquer sur la commande  Ajouter une ligne de repère à la vue ;



Sélectionner la commande Ligne de repère

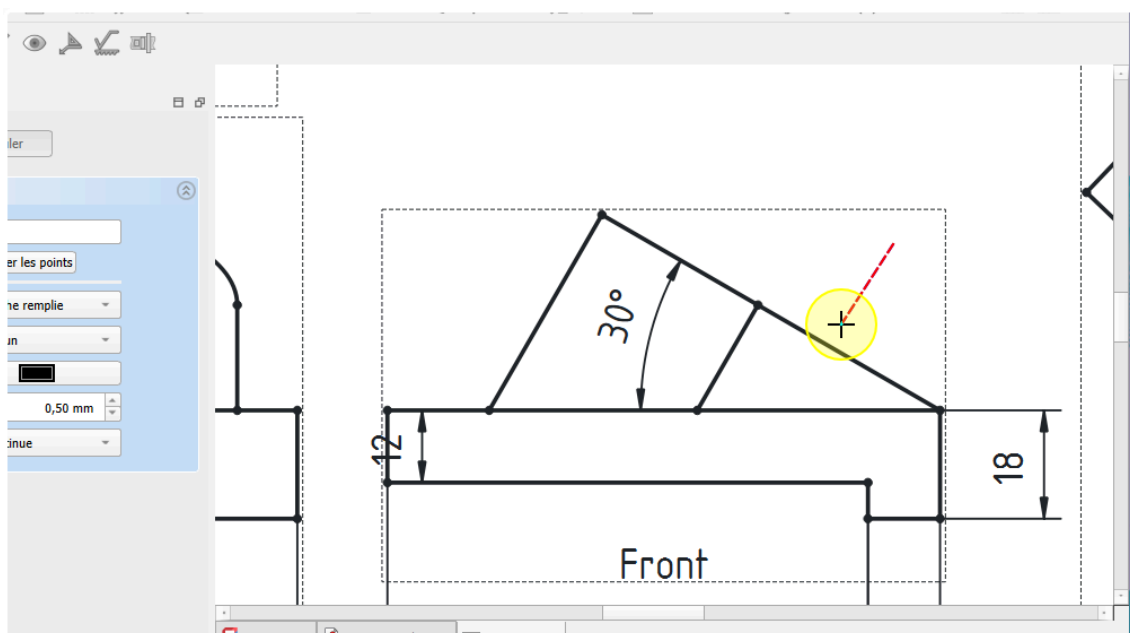


3. Cliquer sur le bouton choisir des points ;



Cliquer sur le bouton Choisir des points

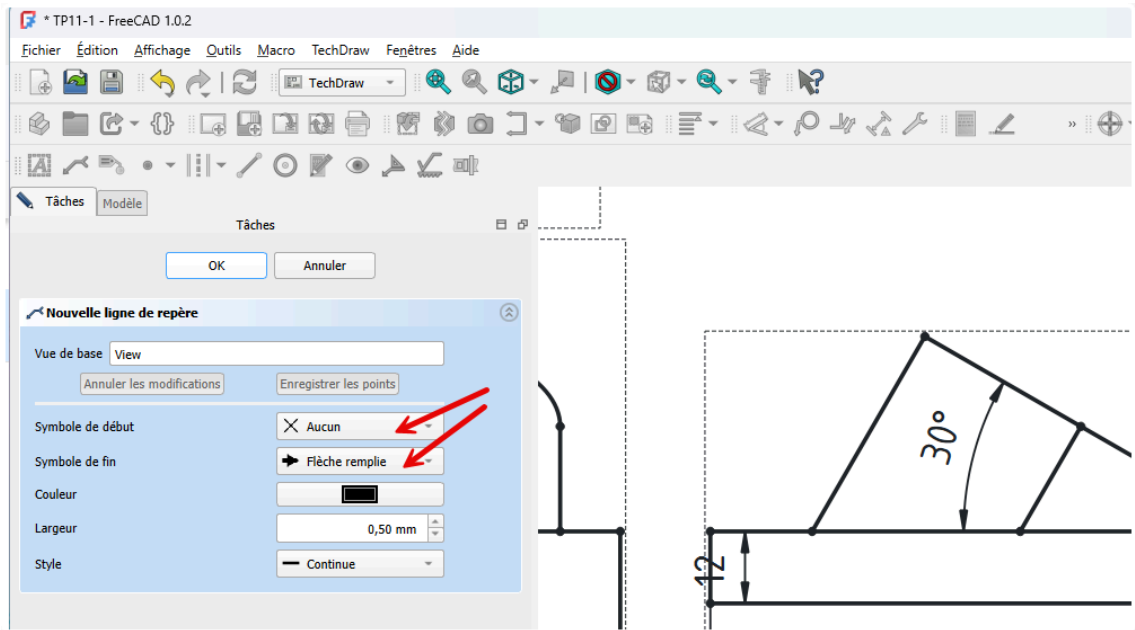
4. Cliquer gauche pour saisir le premier point et double-cliquer gauche pour saisir le deuxième point de la flèche et clôturer la saisie ;



Saisir les points du repère

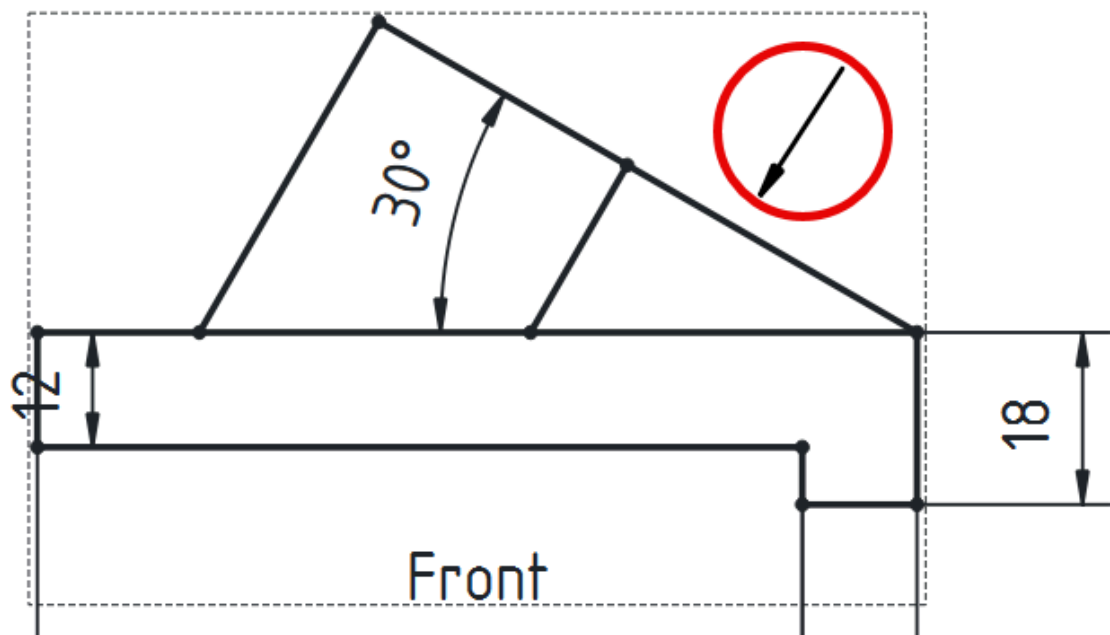


5. Si nécessaire ajuster le symbole de début et de fin ;



Ajuster les symboles de début et de fin

6. Valider



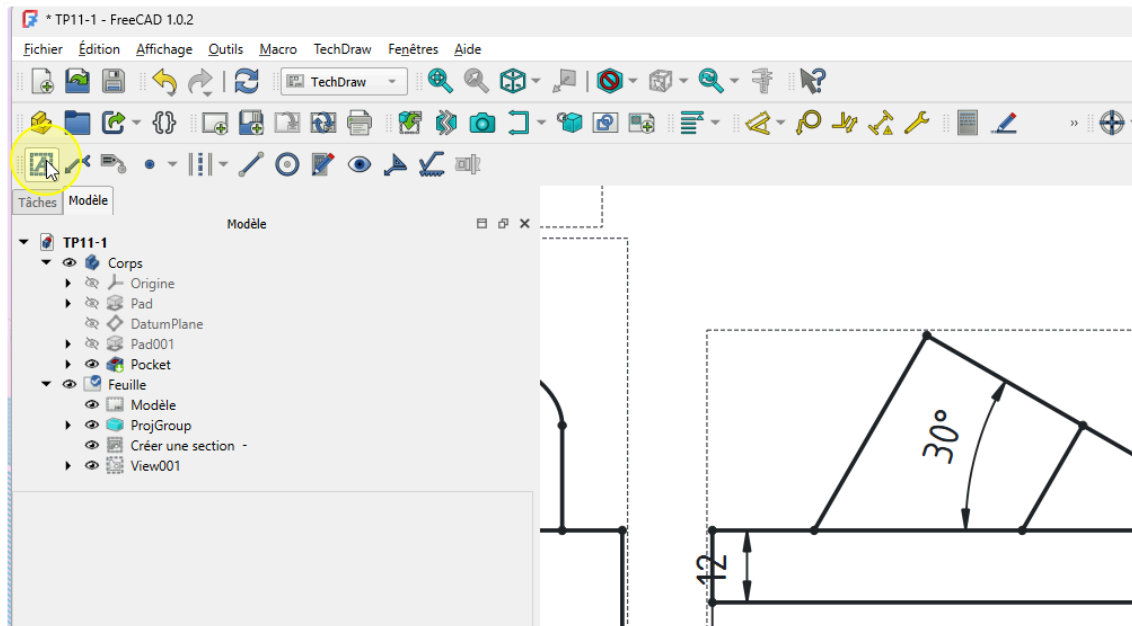
Insertion de la flèche



Pour insérer la lettre F

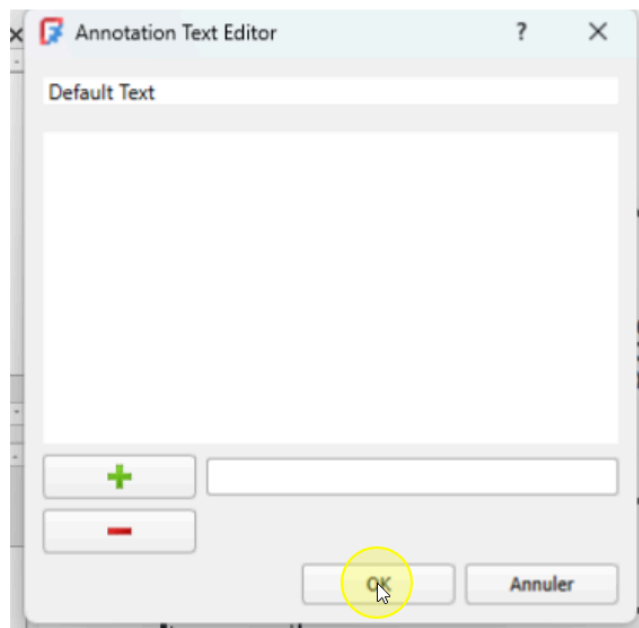
Procédure

1. Cliquer le sur bouton  Insérer une annotation ;



Cliquer sur la commande Annotation

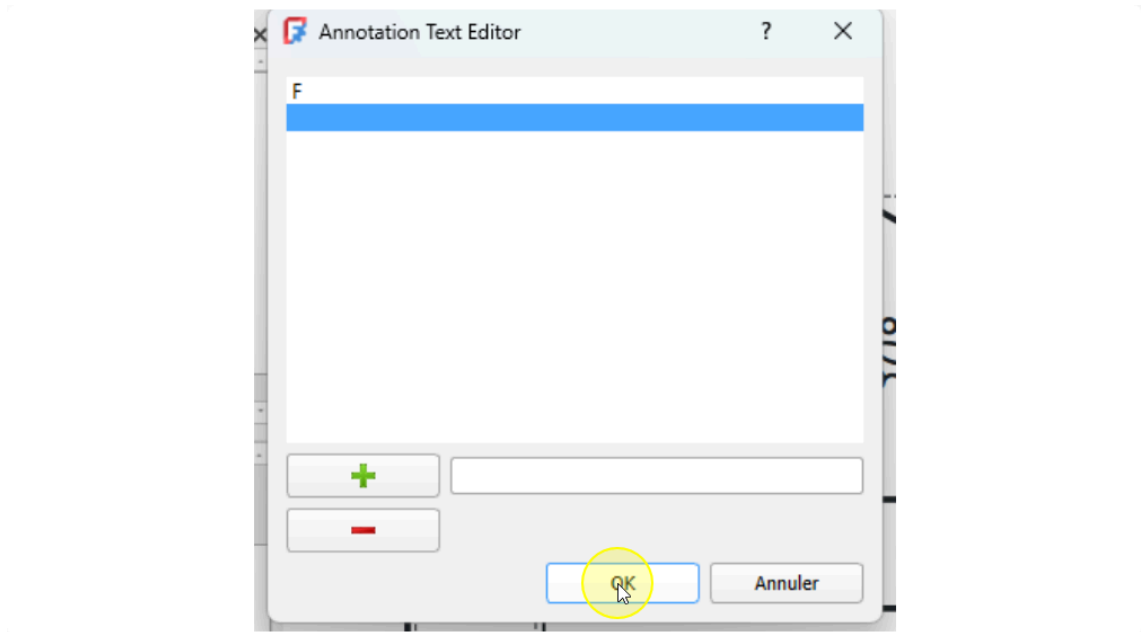
2. Double cliquer sur l'annotation ;



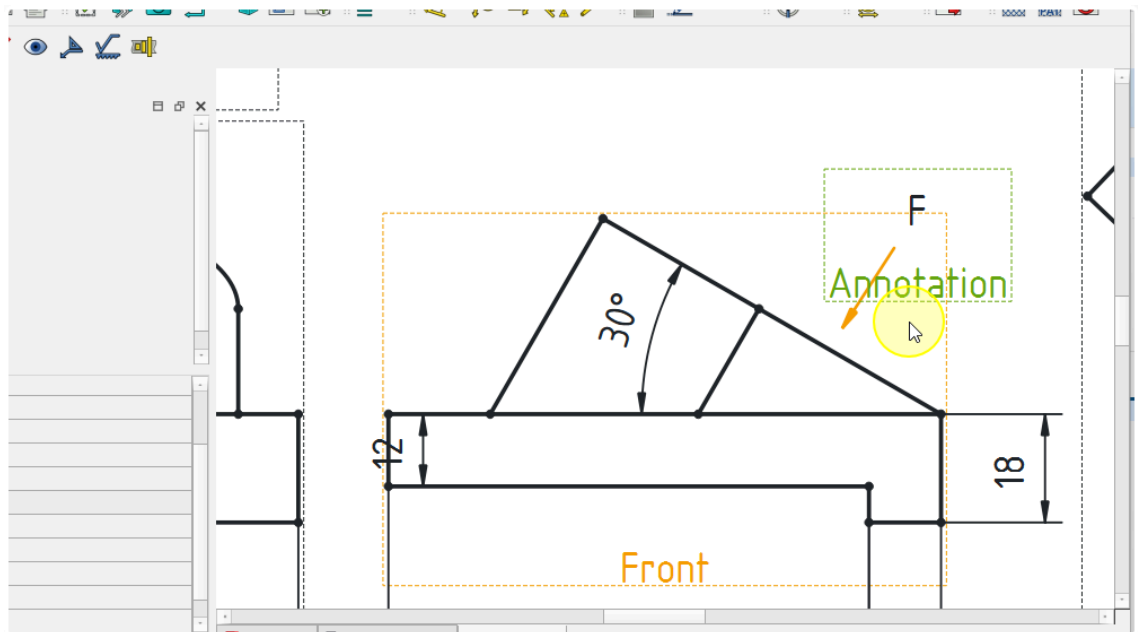
Édition de l'annotation



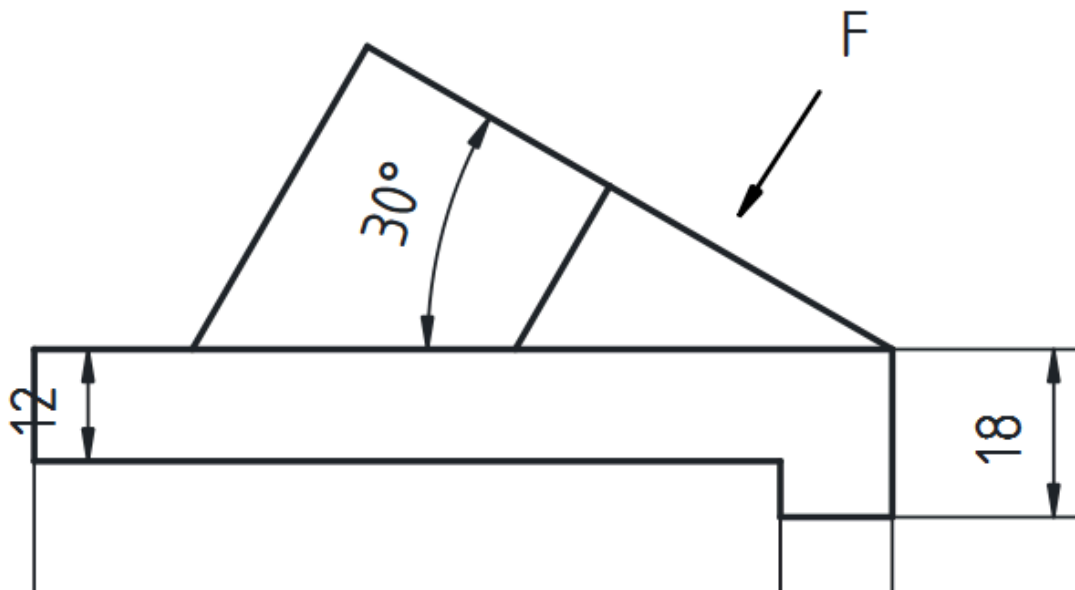
3. Modification de l'annotation et valider



4. Positionner l'annotation ;




Positionner la lettre F





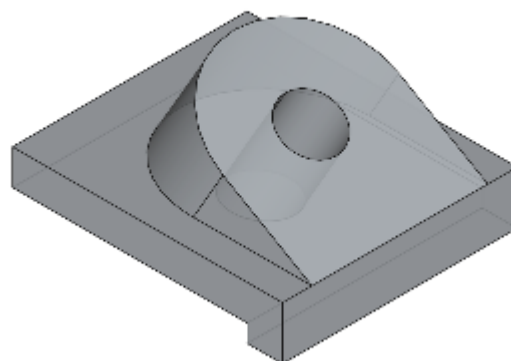
11.2.5. Vue 3D

Objectifs

- Ajouter une vue 3D au dessin technique ;
- Utiliser la commande  **Vue active** W ;

Tâches à réaliser

- Sélectionner l'onglet **TP11-1** et afficher une vue isométrique  du modèle ;
- Revenir à l'onglet **Feuille** et sélectionner la commande  insérer une vue ;

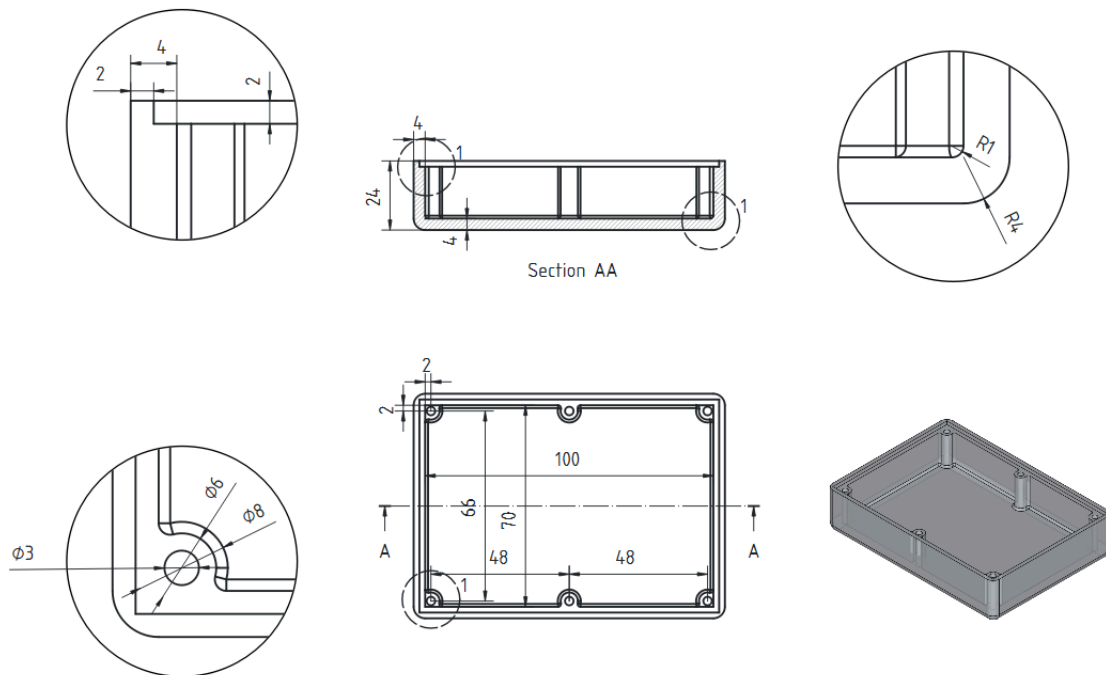


Vue active



11.3. TP 11-2

Nous allons ajouter une feuille contenant le **dessin technique** de définition du solide modélisé lors du TP 6-2 :





Dessin technique du TP 6-2

Ce dessin technique contiendra plusieurs vues de détail ;







11.3.1. Vue principale & coupe

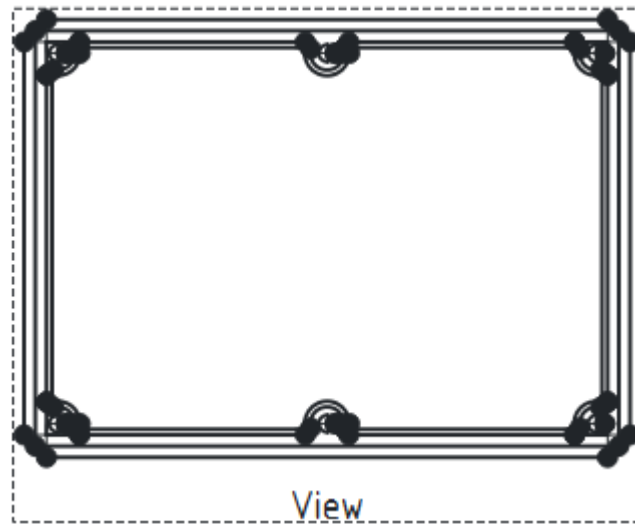
Objectifs

Dans l'atelier TechDraw , utiliser les commandes :

-  **Feuille à partir d'un modèle** ^W pour ajouter une feuille de dessin ;
-  **Insérer une vue** ^W ;

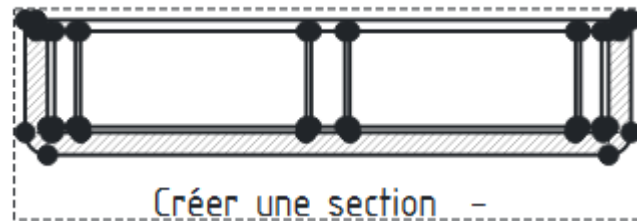
Tâches à réaliser

- Télécharger le fichier [TP11-2-initial.FCStd](#) sur votre ordinateur et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer ce document sous le nom  **TP11-2.FCStd** ;
- Dans l'atelier TechDraw , créer une feuille au format **A3, Paysage, sans cartouche** à l'aide de la commande  **Feuille à partir d'un modèle** ;
- Sélectionner l'objet  **Fillet001** dans l'onglet  **Modèle** et crée la vue groupe de projections ci-dessous à l'aide la commande  **Insérer une vue** ;



Vue principale

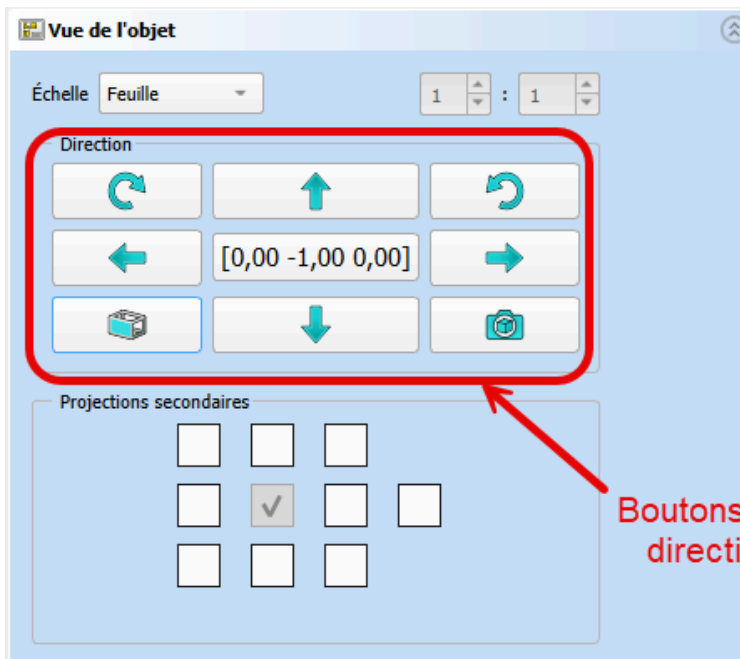
- Sélectionner la vue et insérer la vue en coupe  ci-dessous :



Vue en coupe

Truc & astuce

- Pour choisir la direction de la vue principale, utiliser les boutons de direction de l'onglet Tâches :



Boutons permettant de choisir la direction de la vue principale





11.3.2. Cotes

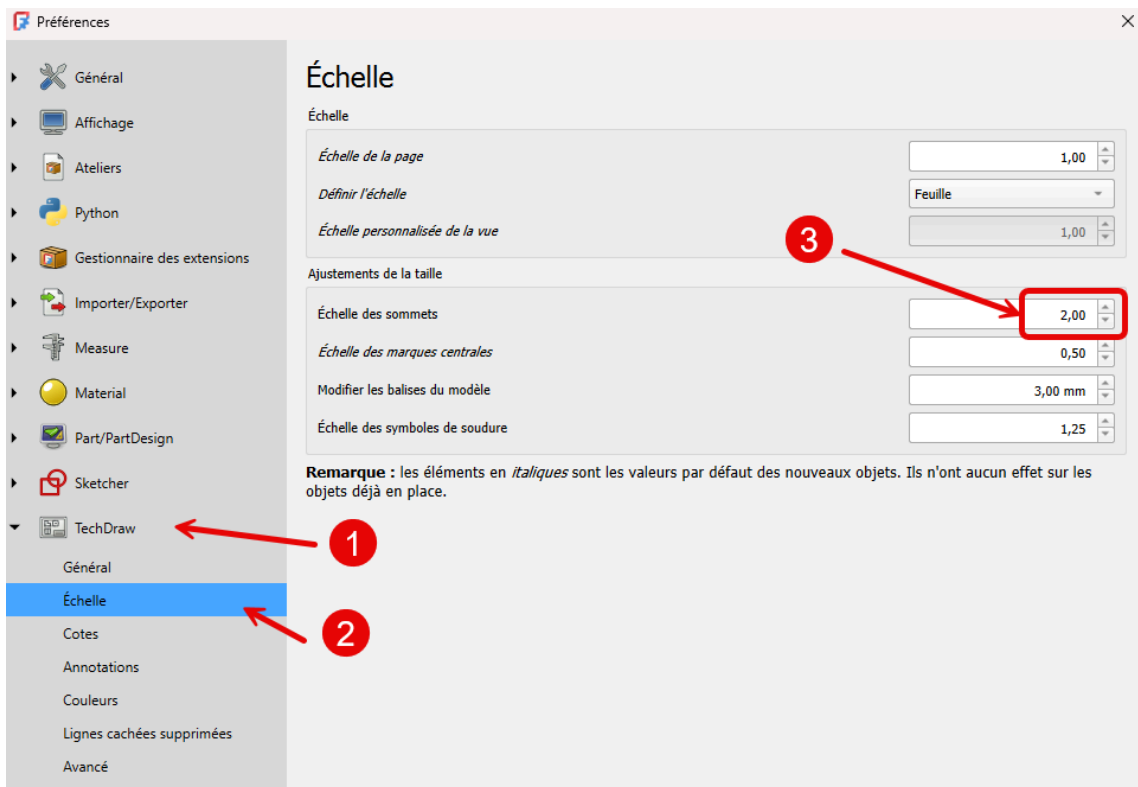
Objectifs

Utiliser les commandes de l'atelier TechDraw  :

-  Insérer une cote ^W pour ajouter des cotes au dessin ;

Taille des points de saisie pour la cotation


- Si la taille des points pour la saisie des cotes est trop grosse, vous pouvez la diminuer : Il faut sélectionner la commande  Édition → Préférences, rubrique TechDraw → Échelle et diminuer la valeur de  l'échelle des sommets ;

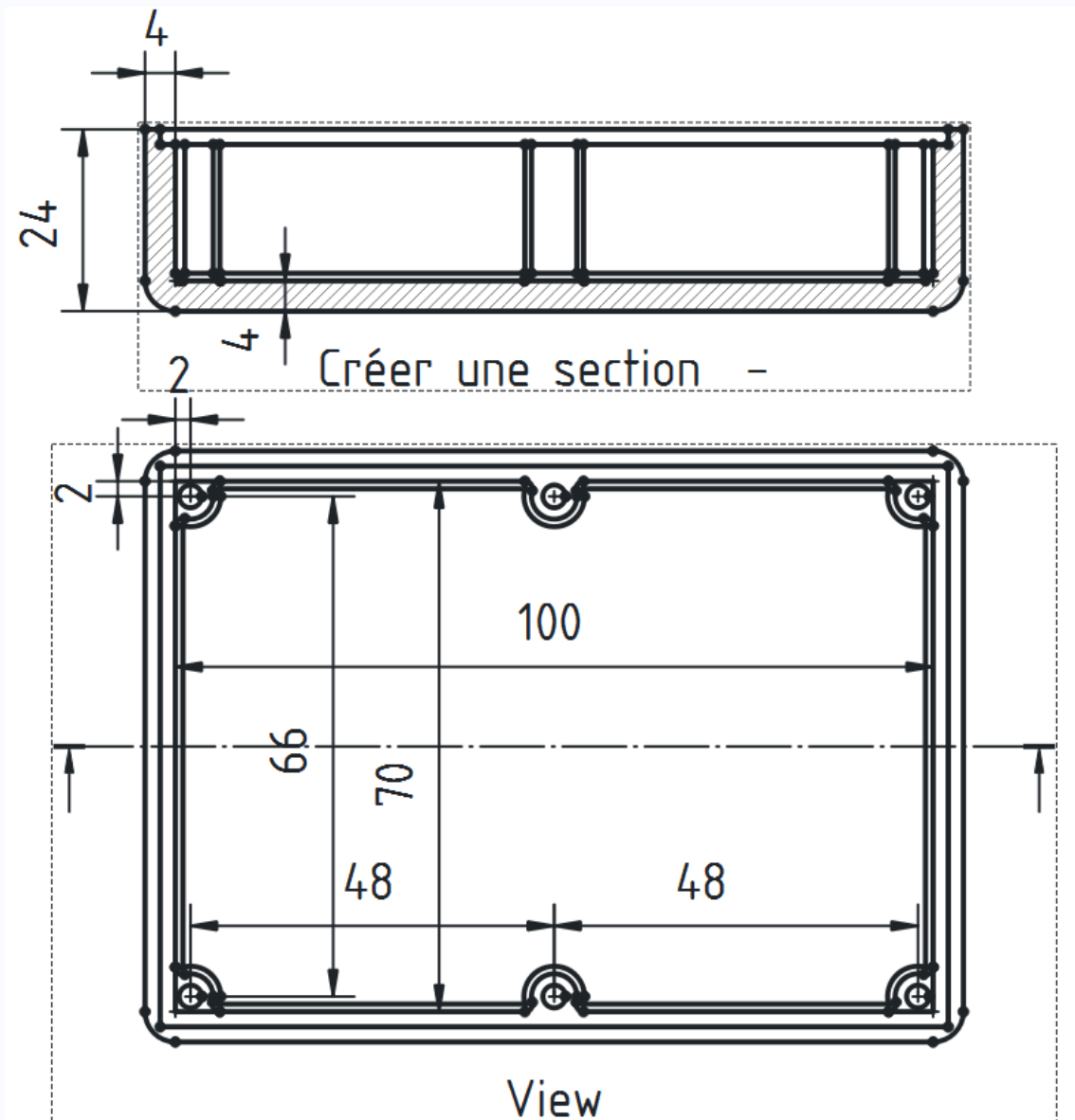


Échelle des sommets (tailles des points de sélection pour la cotation)



Tâches à réaliser

- A l'aide de la commande  Insérer une cote, ajouter les cotes suivantes :



Cotation de la vue principale et de la coupe

- Ajouter la lettre A pour repérer la section et ajouter une légende (caption) « Section AA » à la vue en coupe ;

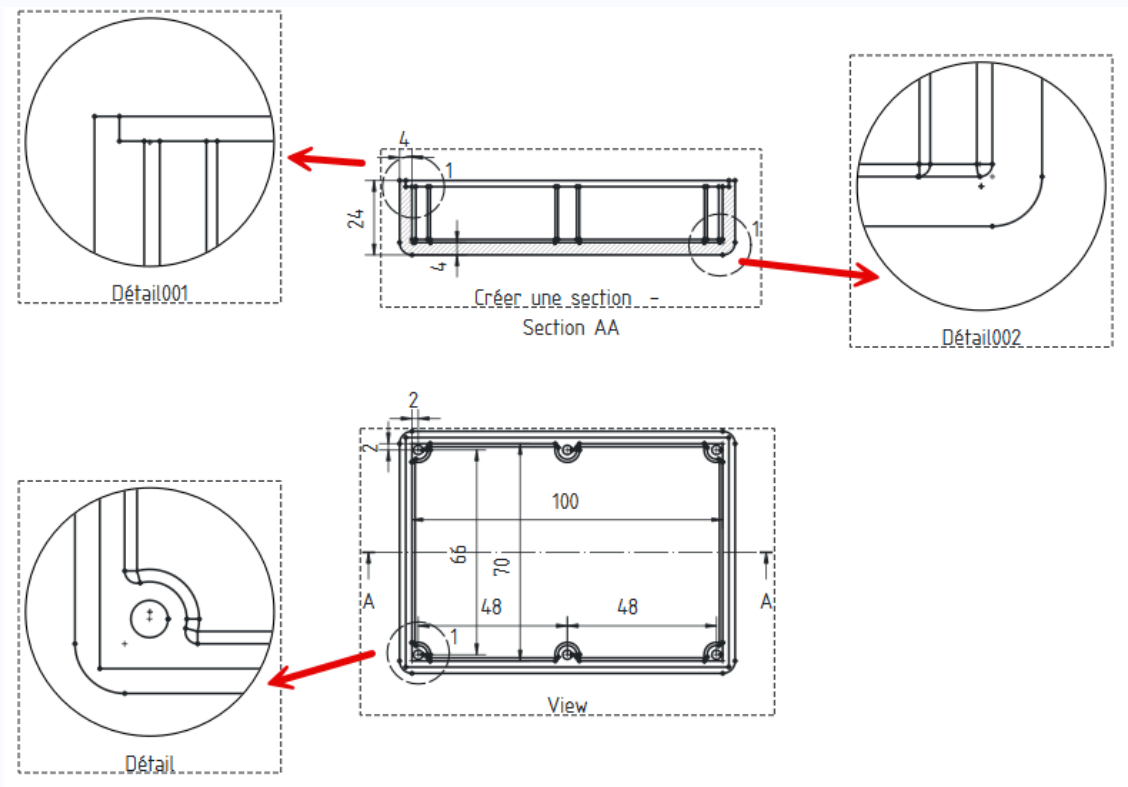
11.3.3. Vue détaillée

Objectifs

- Utiliser la commande  Vue détaillée W ;

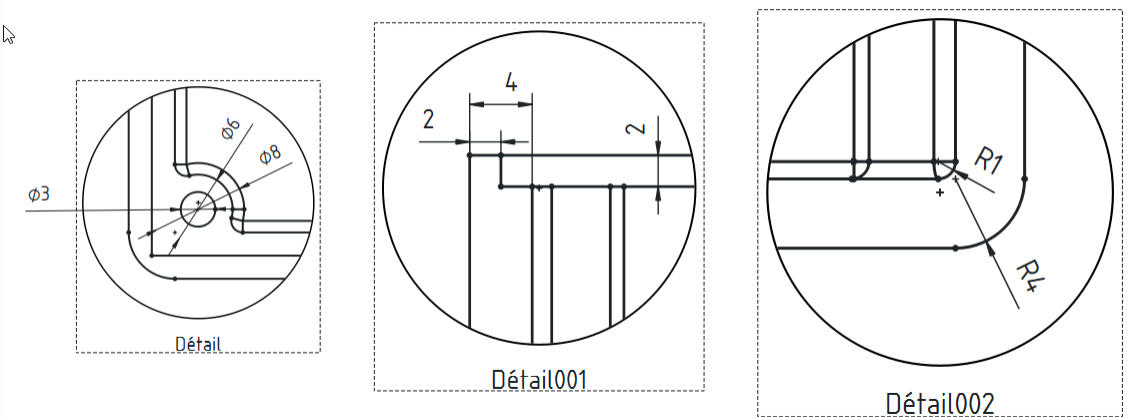
≡ Tâches à réaliser

- Ajouter les vues détaillées ci-dessous :



Vues détaillées à créer

- Compléter la cotation des vues détaillées comme ci-dessous :



Vues détaillées cotées

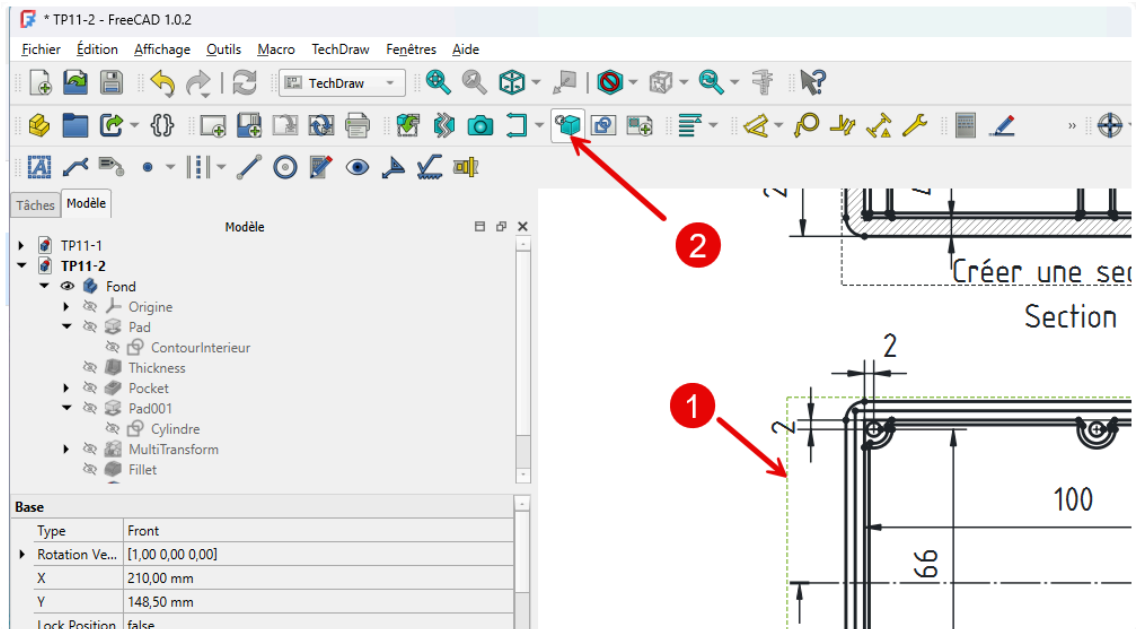


11.3.3.1. Insérer une vue détaillée

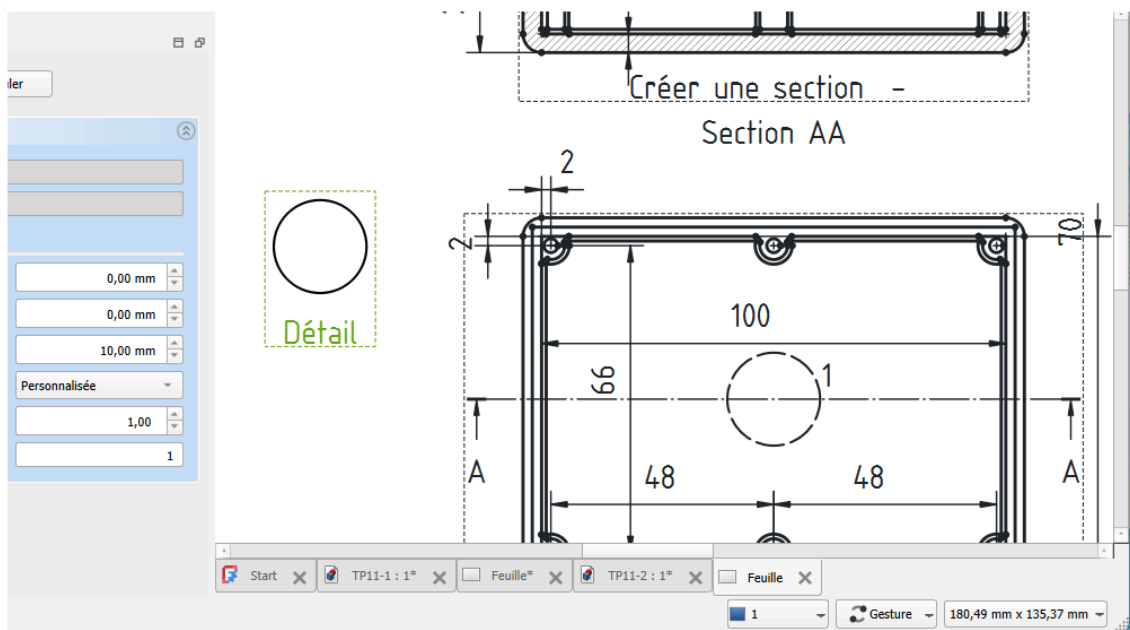
Pour insérer une vue détaillée

Procédure

1. Sélectionner la vue de base pour la vue détaillée et sélectionner la commande  ;

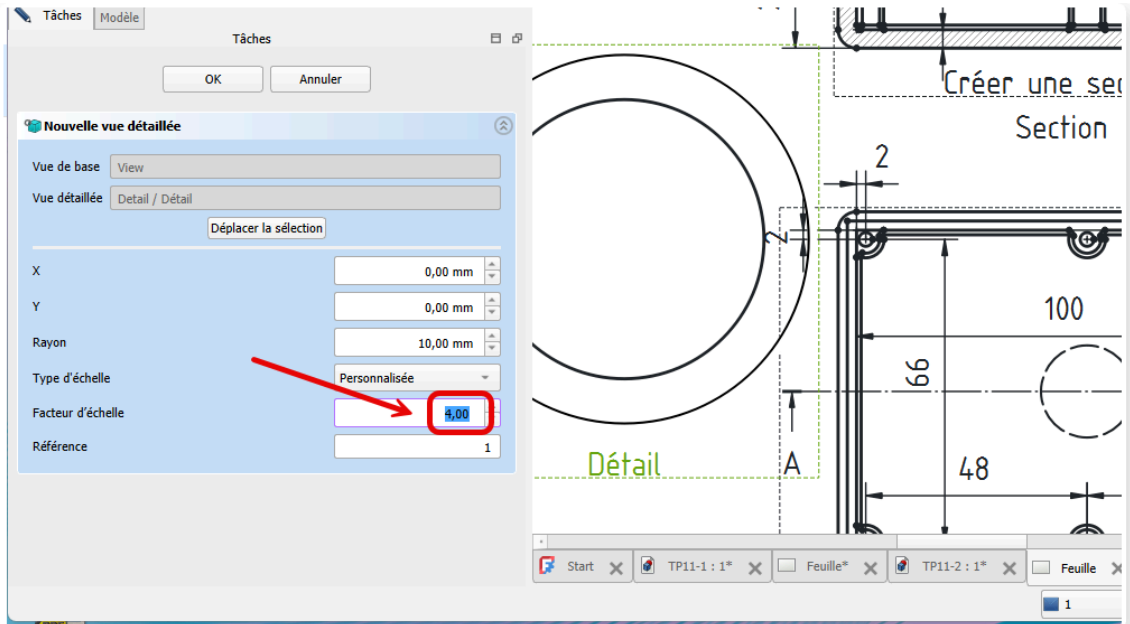


2. Déplacer la vue détaillée en dehors de la vue de base ;

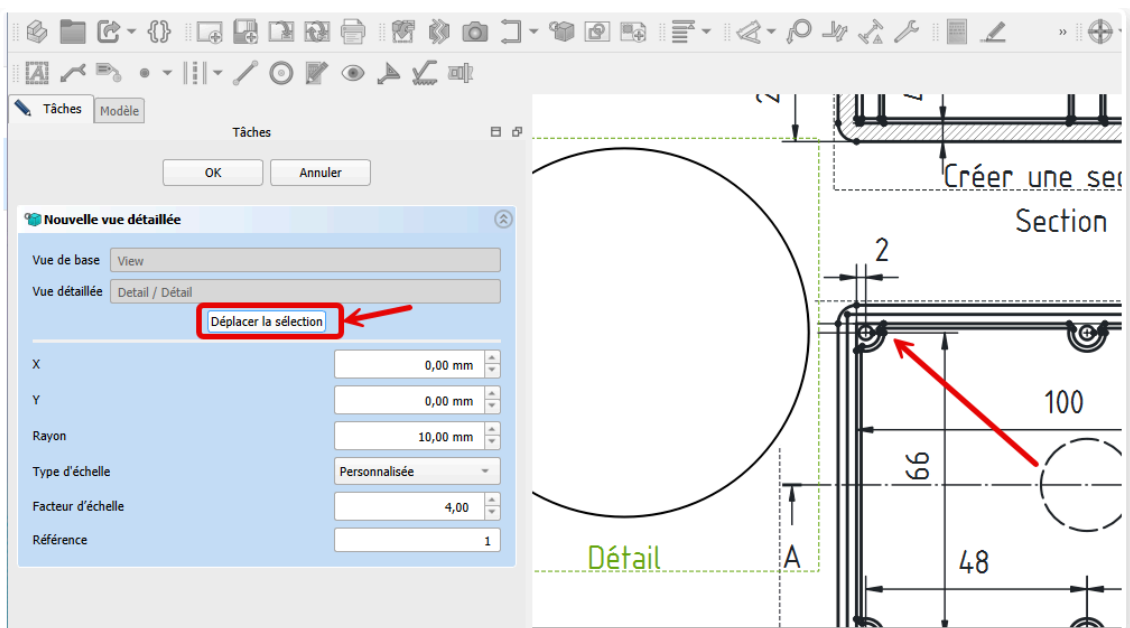




3. Régler le facteur d'échelle de la vue détaillée ;



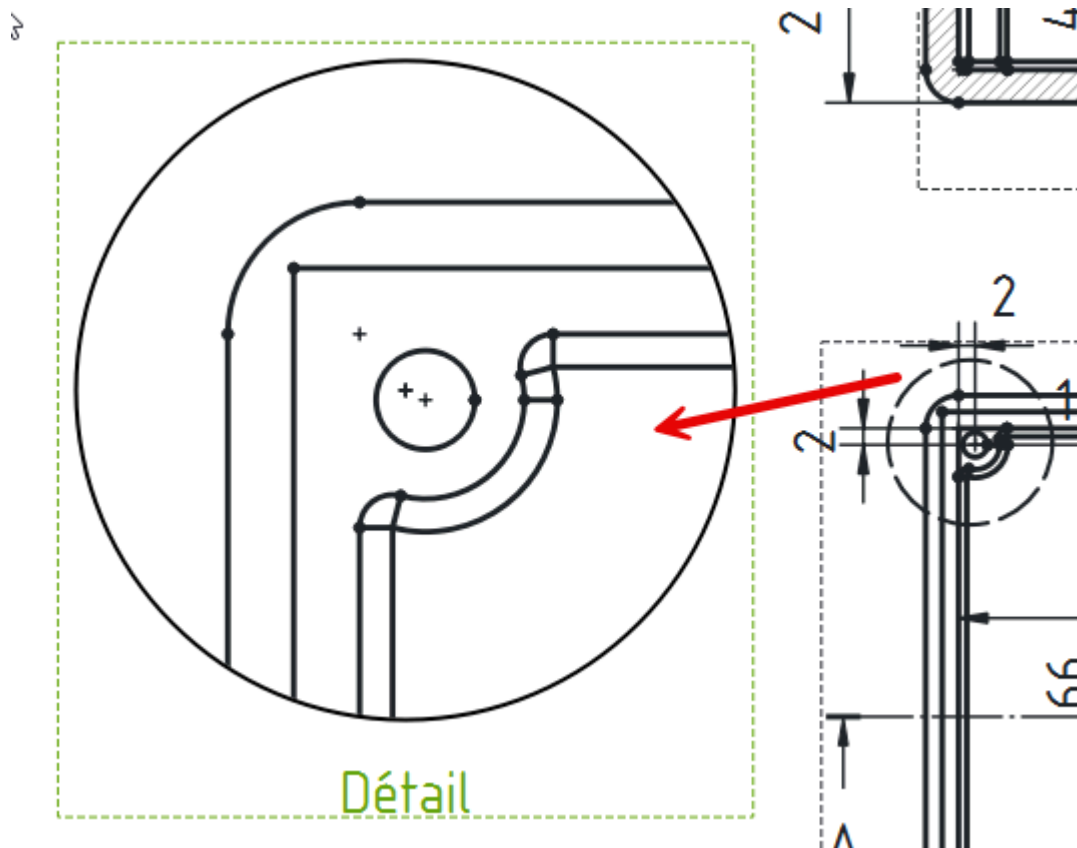
4. Cliquer sur le bouton 'Déplacer la sélection' et sélectionner la zone à détailler ;



Si nécessaire, actualiser l'affichage à l'aide du raccourci clavier **F5** ;



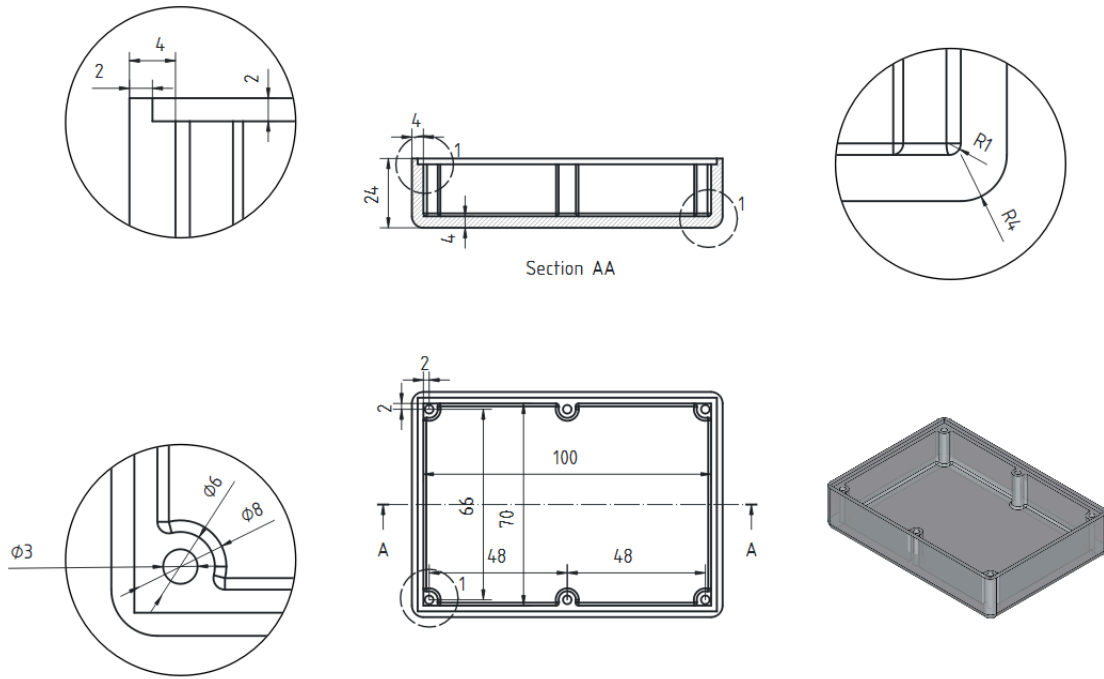
Résultat



11.3.4. Vue 3D

Tâches à réaliser


- Sélectionner l'onglet **TP11-2** et afficher une vue isométrique du modèle ;
- Revenir à l'onglet **Feuille** et sélectionner la commande insérer une vue ;



Dessin technique du TP 6-2

12. Atelier CAM

Objectifs

- Utiliser l'atelier CAM  pour programmer des opérations d'usinage dans un environnement de fabrication **personnelle**, à savoir l'utilisation d'une CNC type 3018 de dimensions 300 x 200 mm ;

Environnement professionnel

Dans un environnement professionnel, les concepts et procédures décrits dans ce parcours restent applicables, seules les données d'application (dimensions, vitesses...) seront à adapter ;

Attention à la sécurité !

Une mauvaise programmation dans l'atelier CAM peut entraîner des dommages matériels (casse d'outils, dégradation de la CNC, détérioration de la pièce...) et/ou humains (blessure de l'opérateur) : la **sécurité** est donc un enjeu spécifique et essentiel de cet atelier.

En particulier, les opérations effectuées dans l'atelier CAM ne connaissent pas les mécanismes de serrage utilisés pour fixer la pièce à votre CNC : la **simulation** vous permettra de vérifier les parcours que vous générez avant d'envoyer le code à votre machine.









12.1. Présentation de l'atelier

Atelier CAM

≈ Atelier Path

Anciennement atelier PATH, la finalité de l'**atelier CAM** ^W est de générer, à partir d'une modélisation 3D ou 2D, un programme, une liste d'instructions, pour une **machine-outil à commande numérique** (CNC) permettant d'usiner la pièce modélisée ;

Grandes étapes de la FAO dans FreeCAD

1. **Modéliser** un solide dans l'atelier  PartDesign  (3D) ou un chemin dans l'  atelier Draft  (2D) ;
2. Créer une **tâche**  dans l'  atelier CAM  :
 - à partir d'un brut de matière (stock),
 - d'un contrôleur d'outils,
 qui décrira une suite d'opérations (surfaçage, poche, perçage, profilage, gravure...) à réaliser ;
3. Visualiser une **simulation** de la tâche  afin de vérifier le bon déroulement des opérations ;
4. Réaliser un **post-traitement** qui générera un fichier G-CODE adapté à votre machine CNC afin d'y être exécuté ;

Fabrication 2.5D & 3D

- En FAO 2.5D, l'outil se déplace essentiellement dans un plan horizontal (axes X et Y). L'axe vertical (Z) est utilisé « par paliers » : chaque passe se fait à une profondeur fixe, ce qui limite la géométrie usinable à des formes découpées par niveaux, sans inclinaisons complexes ;
- À l'inverse, en FAO 3D, l'outil se déplace **simultanément** sur les trois axes (X, Y et Z), permettant ainsi de réaliser des surfaces continues et complexes avec des variations fluides de profondeur et de courbure ;

La plupart des opérations proposées dans l'atelier CAM sont conçues pour une fraiseuse/routeur CNC standard à 3 axes (XYZ) simples et sont donc limitées à une fabrication 2.5D.



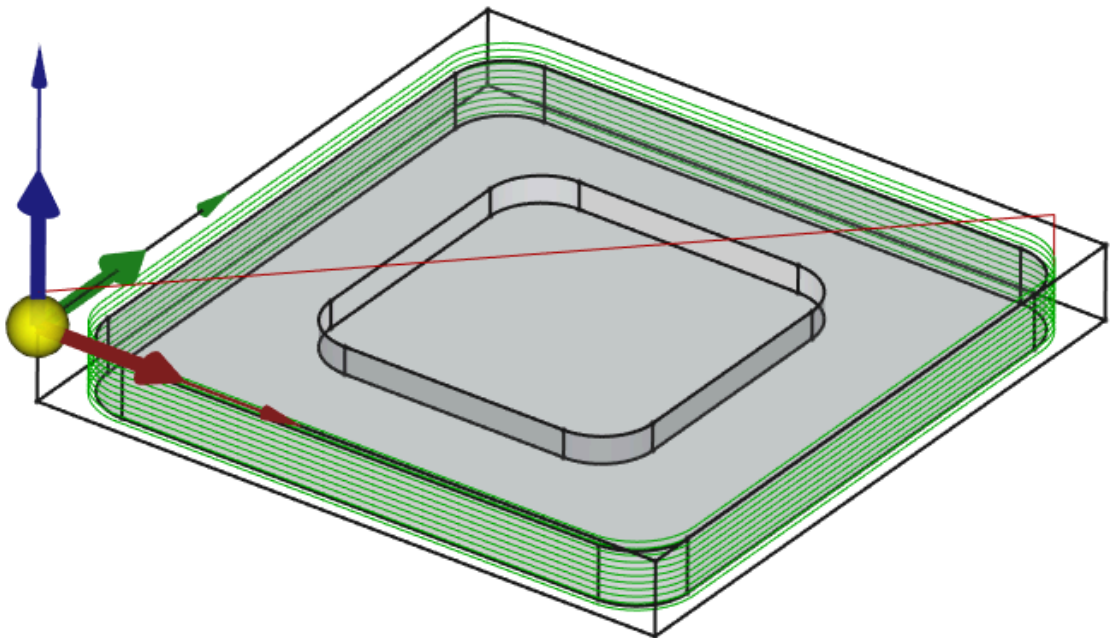
Principaux usinages gérés

- Usinage 2.5D

-  Profilage

https://wiki.freecad.org/CAM_Profile/fr

- L'outil suit le **périmètre d'une forme** (contour externe ou interne).
- Peut être utilisé pour **découper complètement une pièce** ou pour créer des **détails précis** sur les bords.
- Permet de définir la **profondeur de coupe** et le **décalage latéral** par rapport au tracé.
- Peut inclure des **rampes d'entrée/sortie** pour éviter les marques d'arrêt brutales sur la pièce.
- Prend en charge le **multi-passes** si la profondeur de coupe est trop importante pour être réalisée en une seule passe.

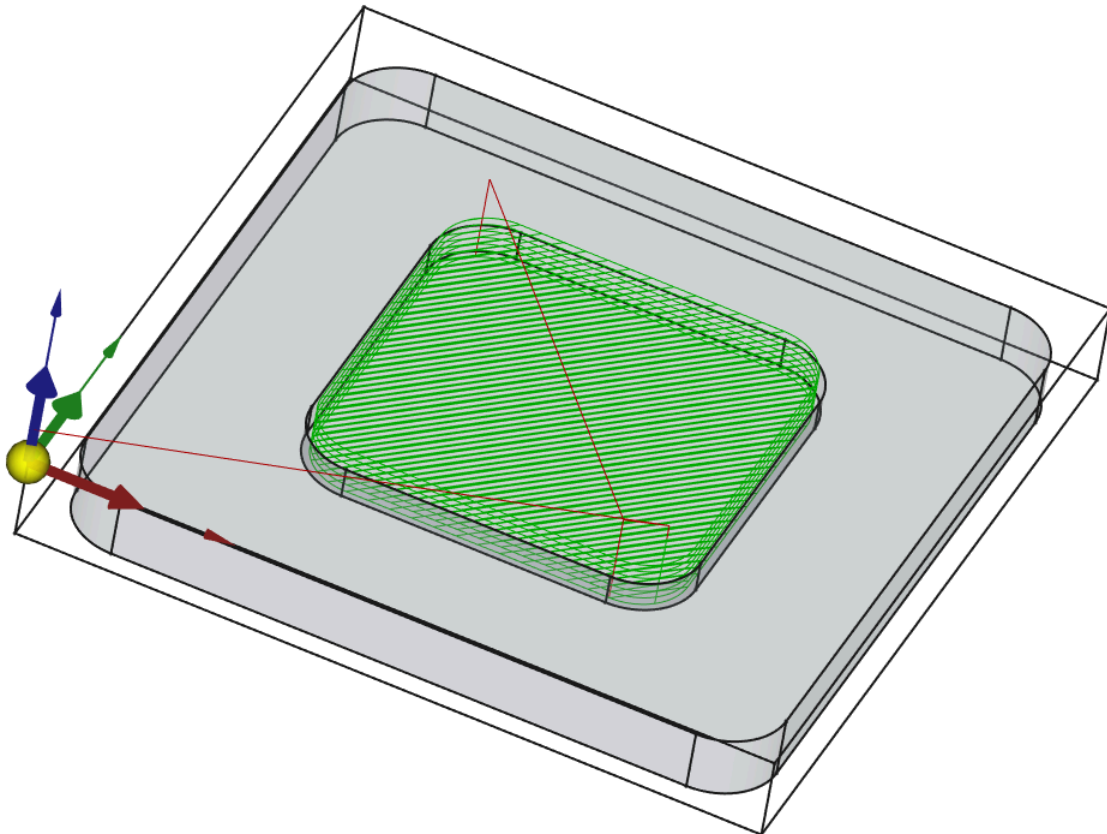


Exemple de profilage


-  Poche

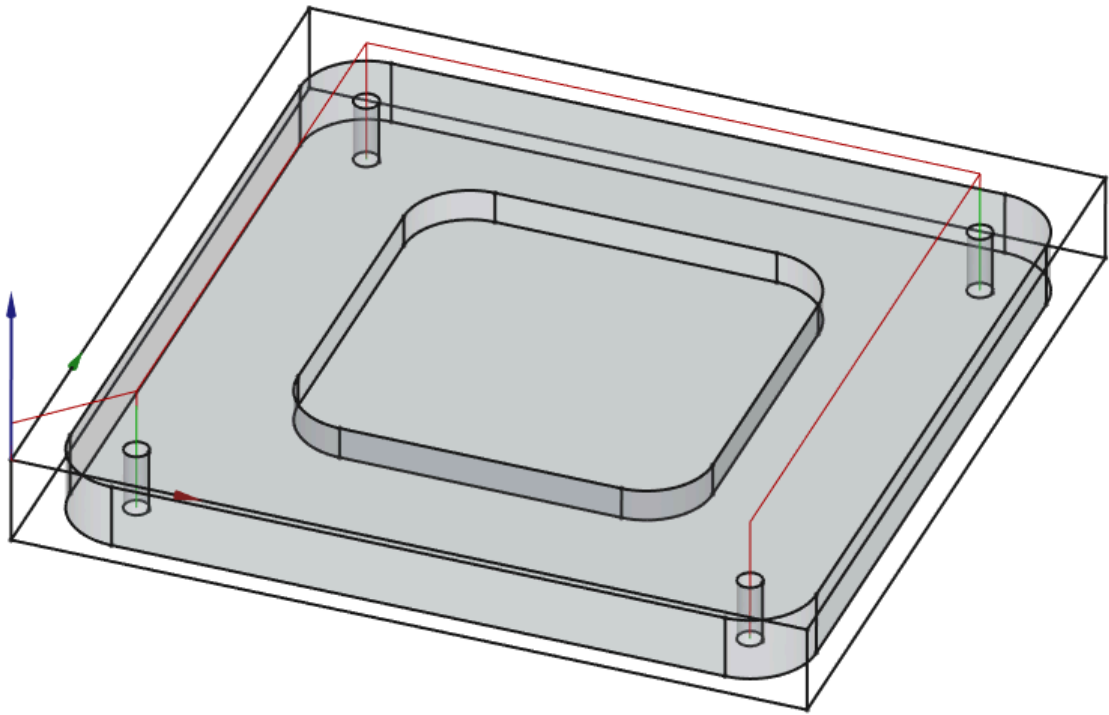
https://wiki.freecad.org/CAM_Pocket_Shape/fr

- Creuse une **zone fermée** en retirant toute la matière à l'intérieur.
- Peut être utilisée pour réaliser des **trous, poches rectangulaires ou formes complexes**.
- Possibilité de définir la **profondeur de coupe** et le **nombre de passes** (si la profondeur est trop grande pour être retirée en une seule fois).
- Différentes stratégies de parcours d'outil, comme :
 - **Linéaire** : l'outil avance en lignes parallèles.
 - **Spirale** : suit un mouvement circulaire progressif.
 - **Zigzag** : suit un motif en va-et-vient pour optimiser l'enlèvement de matière.



Exemple Créer une poche

-  Perçage
 - https://wiki.freecad.org/CAM_Drilling/fr
 - Permet de forer des **trous précis** aux emplacements définis.
 - Fonctionne sur des **points spécifiques** (comme les centres de cercles).
 - Possibilité de définir :
 - **Profondeur du trou** (perçage total ou partiel).
 - **Nombre de passes** (pour percer progressivement).
 - **Type d'entrée** (perçage direct, perçage progressif, etc.).
 - **Retrait de l'outil** entre les passes (pour évacuer les copeaux).



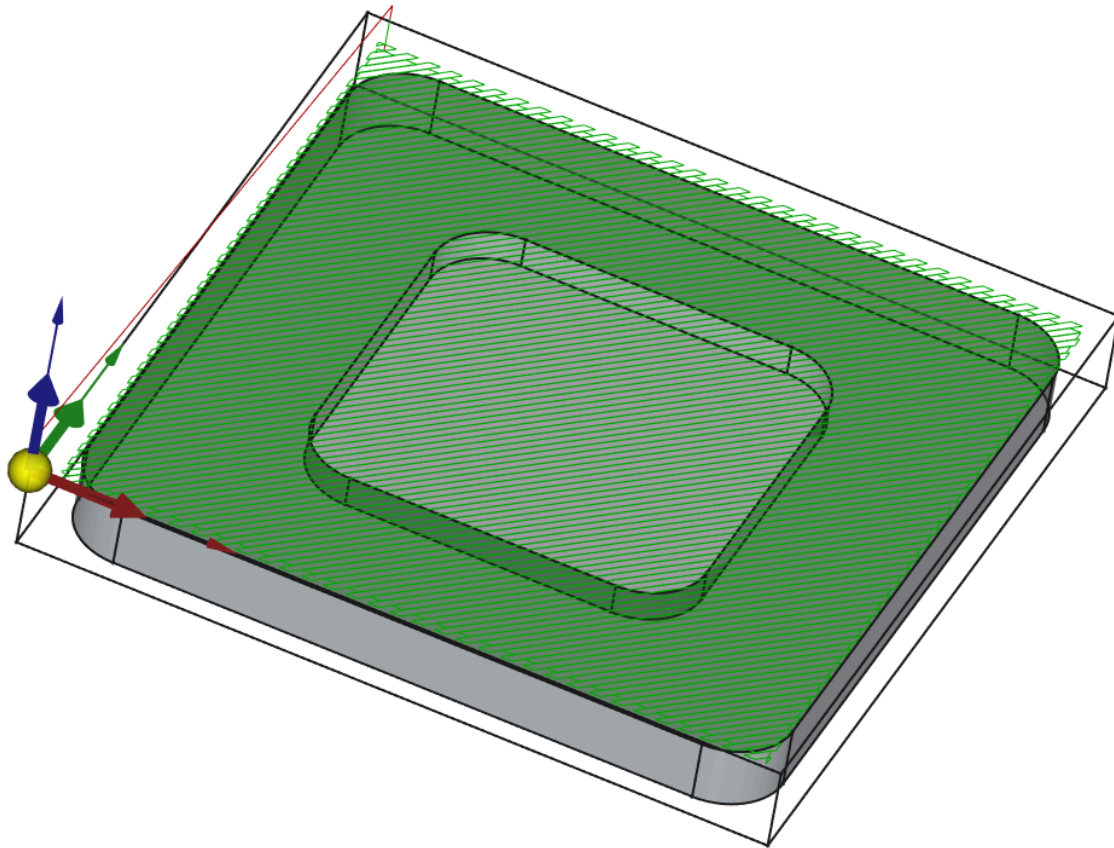
Perçage




Surfaçage

https://wiki.freecad.org/CAM_MillFace/fr

- Retire une **couche uniforme** de matière sur une surface.
- Sert à **créer une surface plane et régulière** sur une pièce brute.
- Permet de définir :
 - **Profondeur de coupe** (épaisseur de matière à enlever).
 - **Recouvrement** (chevauchement des passes pour éviter les irrégularités).
 - **Stratégie de parcours** (zigzag, lignes parallèles, spirale, etc.).
- Souvent utilisé comme **première opération d'usinage** pour préparer la pièce avant d'autres opérations.




Exemple Surfaçage

-  Détourage hélicoïdale

https://wiki.freecad.org/CAM_Helix/fr

- Permet de **creuser un trou circulaire** sans nécessiter de perçage préalable.
- L'outil descend progressivement en **spirale** jusqu'à la profondeur définie.
- Évite les contraintes mécaniques liées aux plongées verticales brusques.
- Peut être utilisé avec **des fraises droites ou en bout** (contrairement au perçage qui nécessite un foret).
- Offre une **meilleure finition** et un **meilleur enlèvement de copeaux** par rapport à un perçage traditionnel.

-  Détourage adaptatif

https://wiki.freecad.org/CAM_Adaptive/fr

Méthode avancée d'usinage permettant de découper un contour en optimisant l'engagement de l'outil avec la matière.

- Suit le contour d'une pièce comme un **détourage classique**, mais avec une **stratégie d'usinage optimisée**.
- Utilise une **approche adaptative** pour **réduire l'usure de l'outil** et optimiser l'usinage.
- Évite les mouvements brusques et privilégie des trajectoires **fluides et progressives**.
- Permet d'**augmenter la vitesse d'usinage** tout en préservant la fraise.
- Réduit l'accumulation de matière coupée et améliore l'**évacuation des copeaux**.

- Usinage 2D

-  Graver

- https://wiki.freecad.org/CAM_Engrave/fr

- Utilise une fraise de type **pointue** ou une fraise cylindrique.
 - Suit **exactement** le tracé du contour sélectionné.
 - Idéal pour graver du texte ou des formes avec une **profondeur constante**.
 - Ne prend pas en compte l'épaisseur du trait ou la largeur de la coupe, ce qui signifie que la gravure aura toujours la largeur de l'outil utilisé.

-  Graver en V

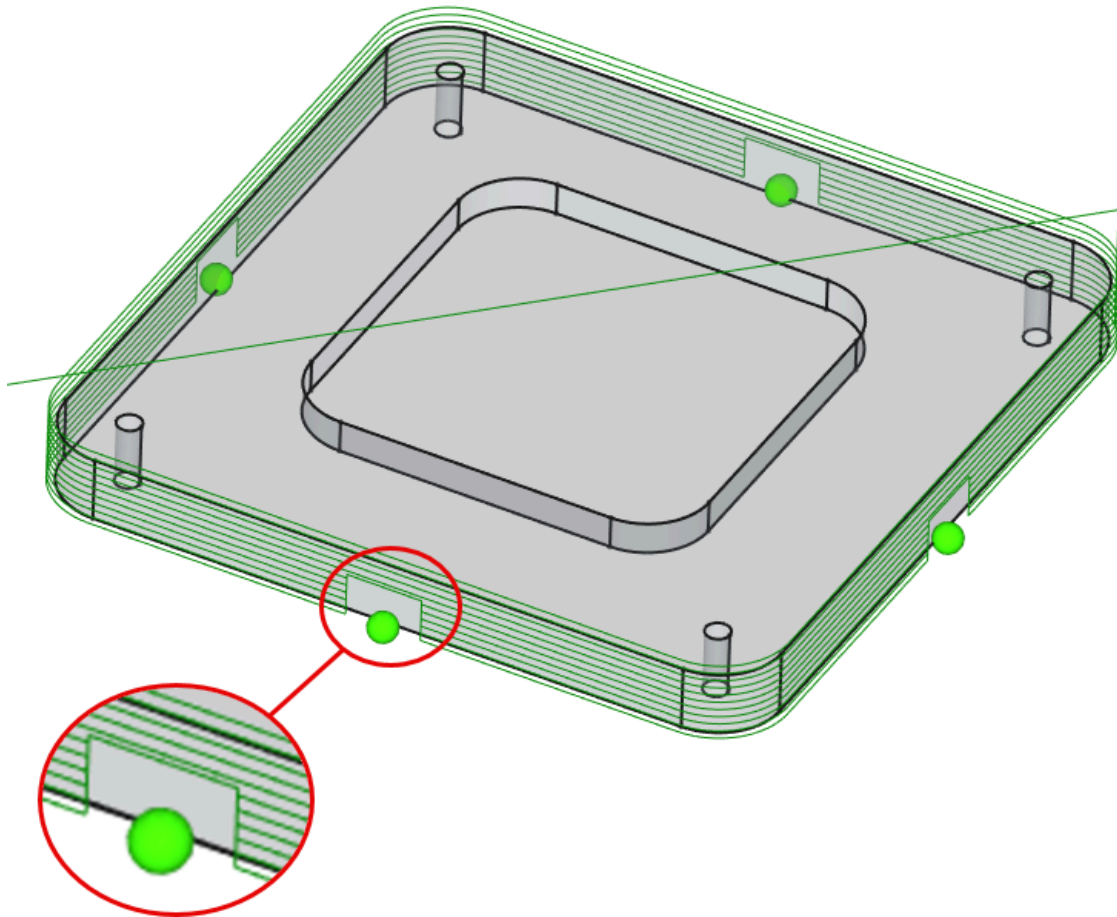
- https://wiki.freecad.org/CAM_Vcarve/fr

- Conçue pour une **fraise en V**.
 - Ajuste automatiquement la **profondeur de coupe** pour élargir ou rétrécir la gravure en fonction de la géométrie de la forme gravée.
 - Idéal pour des **lettres avec des variations de largeur**, des reliefs décoratifs ou des incrustations précises.
 - Produit un effet de **biseau** sur les bords de la gravure, donnant un rendu plus esthétique.

-  Finitions

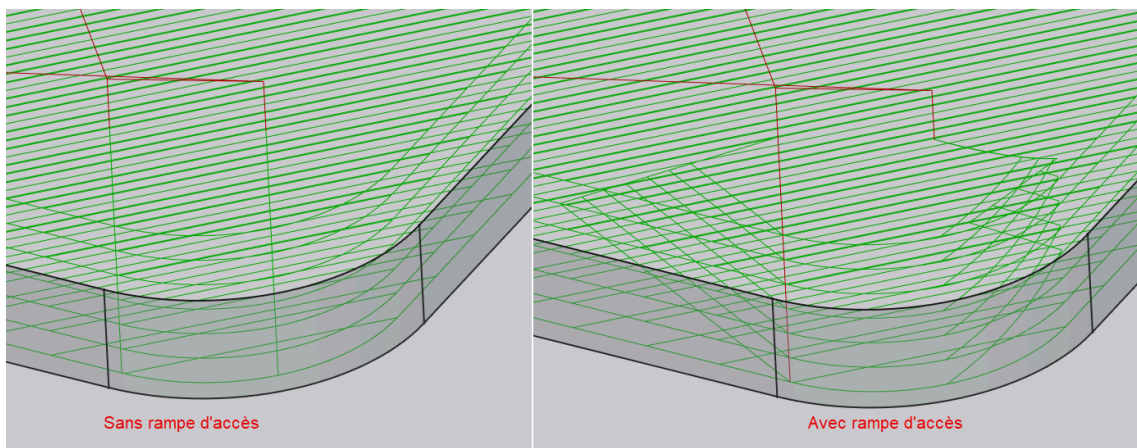
- Attaches

- Ajoute des **attaches (tabs)** à un parcours d'usinage, généralement lors d'une opération de **détourage**.
 - Lorsque l'on découpe complètement une pièce dans un matériau brut, elle risque de se détacher avant la fin de l'usinage, ce qui peut entraîner des vibrations, des dommages ou même un mauvais positionnement.
 - Les **attaches** sont de petites **sections non usinées** qui maintiennent temporairement la pièce en place jusqu'à la fin de l'opération. Elles doivent ensuite être retirées manuellement, par ponçage ou coupe.



Finition de parcours : attaches

- Rampe d'entrée
 - permet d'ajouter une entrée en **rampe** au parcours d'usinage.
 - Plutôt que de plonger l'outil directement à la verticale dans la matière (ce qui peut l'endommager ou créer des vibrations), l'entrée en **rampe** fait plonger l'outil de façon **progressive** et **en douceur**, ce qui réduit les efforts de coupe et augmente la durée de vie de l'outil.



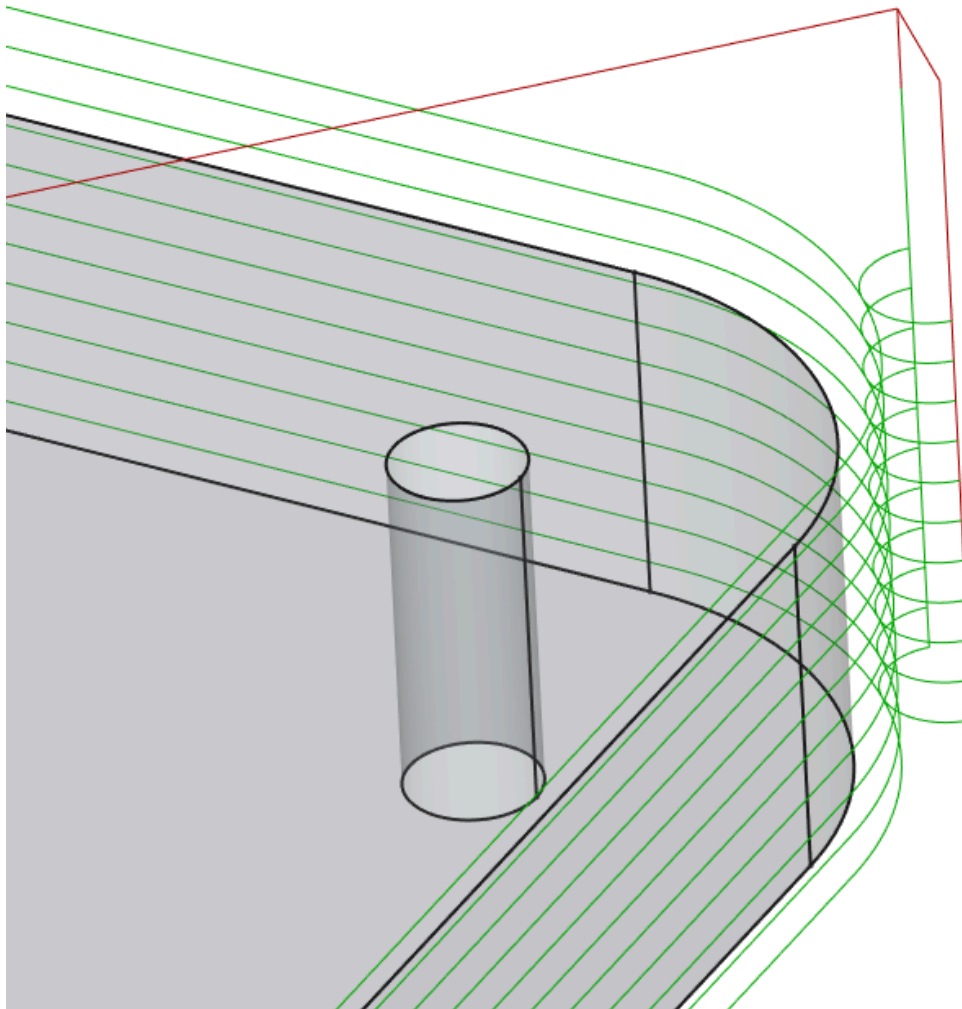
Finition de parcours : Rampe d'entrée

- Entrée / sortie

Permet d'ajouter des mouvements spécifiques d'**entrée** et de **sortie** au parcours d'usinage.

Par défaut, l'outil peut entrer ou sortir **verticalement**, ce qui peut causer des marques sur la pièce, générer des vibrations ou accélérer l'usure de l'outil.

L'opération **Entrée/Sortie** permet d'ajouter un mouvement progressif et contrôlé pour améliorer la qualité de coupe et la durabilité des outils.



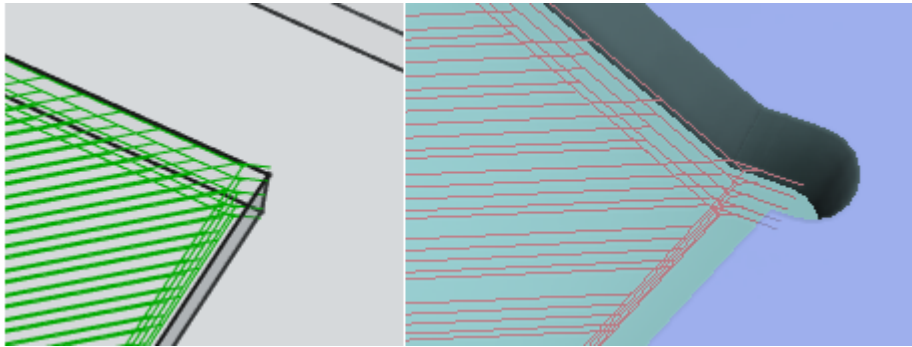
Finition de parcours : entrée / sortie

- Dégager les angles




utilisée pour **ajouter des dégagements arrondis** aux coins internes d'une pièce usinée avec une fraise cylindrique.

Quand on usine une pièce avec une fraise cylindrique, les coins internes ne peuvent jamais être parfaitement **carrés** à cause de la forme de l'outil. Cela peut poser problème si la pièce doit s'assembler avec une autre (par exemple, pour un assemblage bois de type tenon-mortaise).

L'opération **Dogbone** ajoute de petits arrondis ou dégagements aux coins internes, permettant ainsi un meilleur ajustement des pièces.






Finition de parcours : Dégager des angles

- Usinage 3D (expérimental)
 -  Évider en 3D
https://wiki.freecad.org/CAM_Pocket_3D/fr
 -  Surfacier en 3D
https://wiki.freecad.org/CAM_Surface/fr
 -  Ligne de niveau
https://wiki.freecad.org/CAM_Waterline/fr

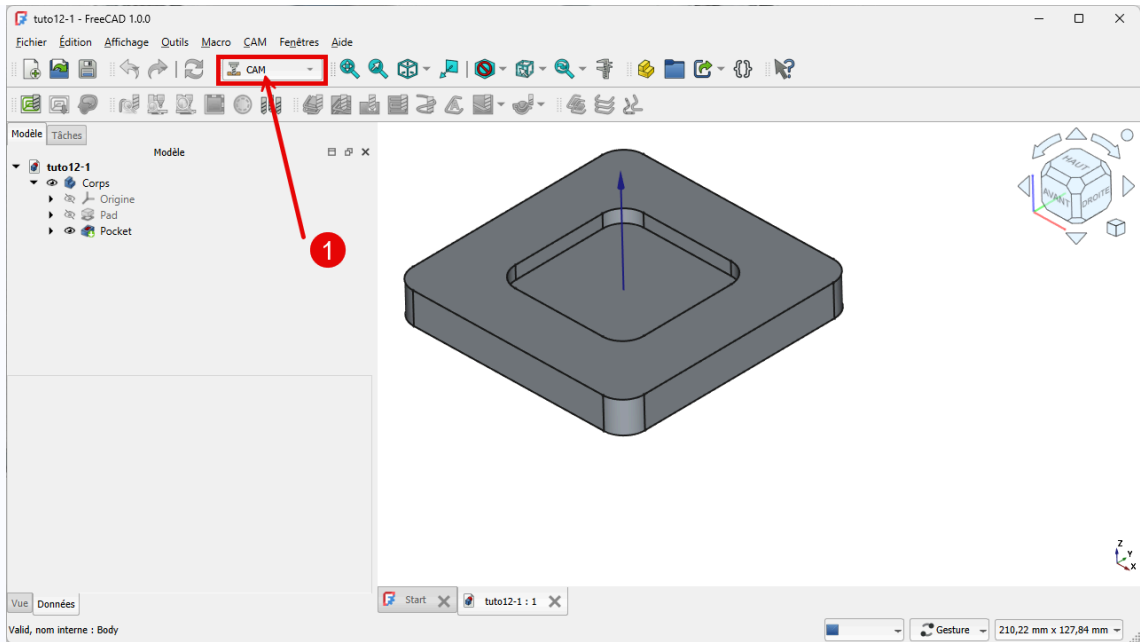
12.2. Configuration de l'atelier

Objectifs

- L'utilisation de l'atelier  CAM nécessite une adaptation de la configuration générale de FreeCAD ;
- De plus, nous allons définir plusieurs réglages de l'atelier  CAM afin de ne pas avoir à le refaire pour chaque nouvelle tâche  ;



Tâches préliminaires

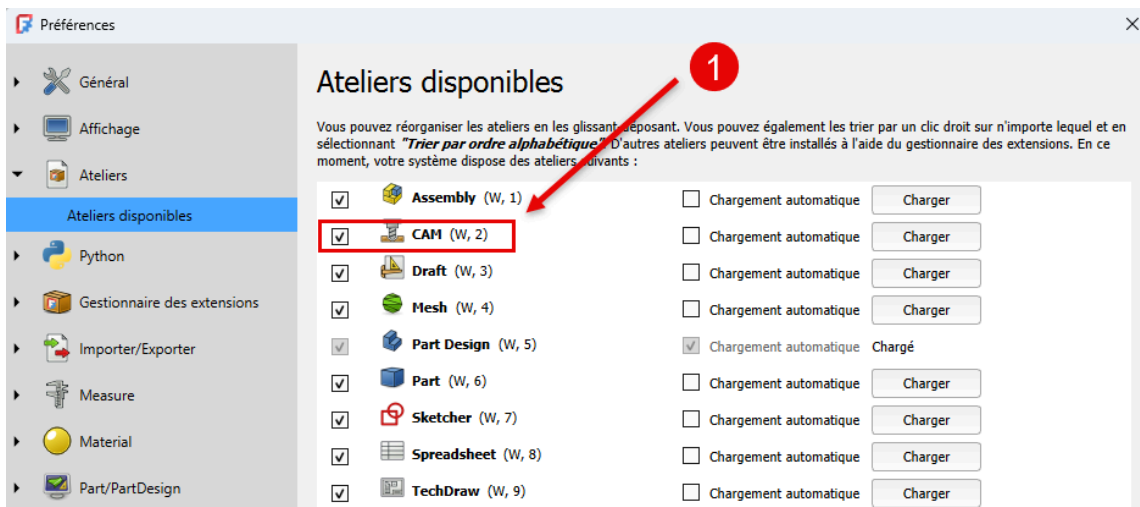
- Télécharger le fichier  `tuto12-1-initial.FCStd` sur votre ordinateur et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer le document sous le nom  `tuto12-1` ;
- Sélectionner l'atelier CAM  ;



Tuto12-1 initial

+ Si vous ne trouvez pas CAM dans la liste déroulante des ateliers :


- Sélectionner la commande  Préférences → Ateliers → Ateliers disponibles ;
- Cocher  CAM ;

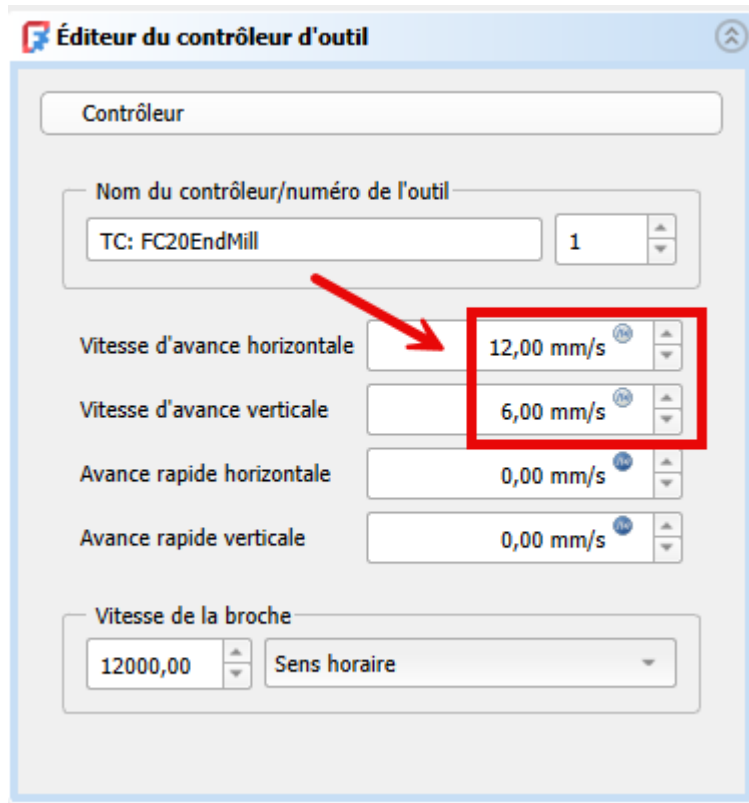


Rendre disponible l'atelier CAM

Choix des unités


Système d'unité Standard

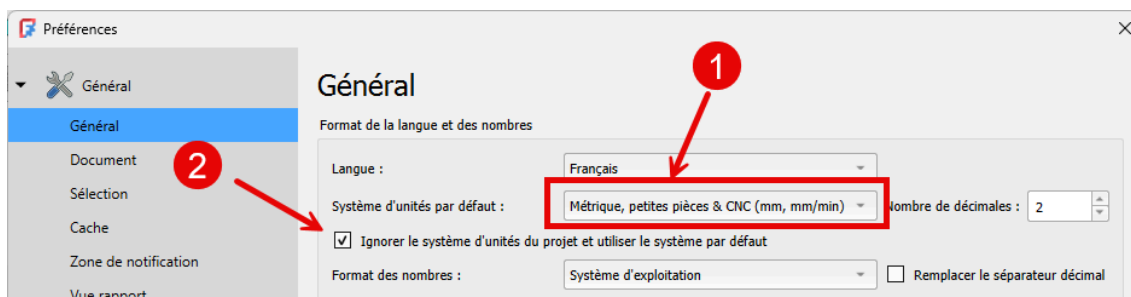
Avec le système d'unités  Standard, FreeCAD utilise le **mm** pour les longueurs et la seconde **s** pour le temps : les vitesses d'avance des outils devraient être saisies en **mm/s**, ce qui n'est pas habituel dans l'univers de la fabrication mécanique et risque d'entraîner des erreurs de saisie.



Système d'unités  Standard : saisie des vitesses d'avance en mm/s

Tâche à réaliser


- Sélectionner la commande  Préférences → Général → Général ;
- Modifier le réglage comme ci-dessous :

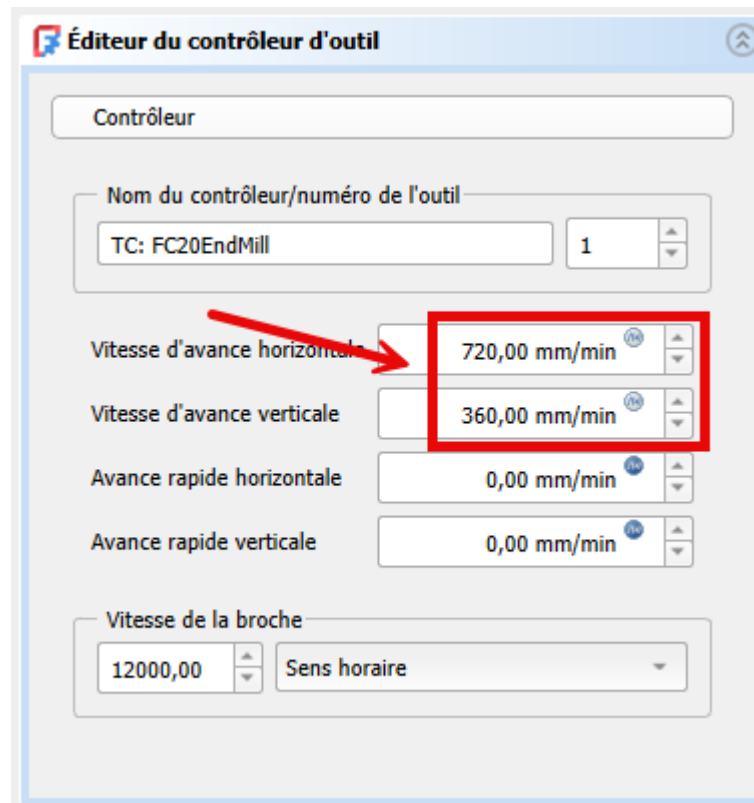


Choix du système d'unités « Métrique, petites pièces & CNC »



Système d'unités Métrique, petites pièces & CNC

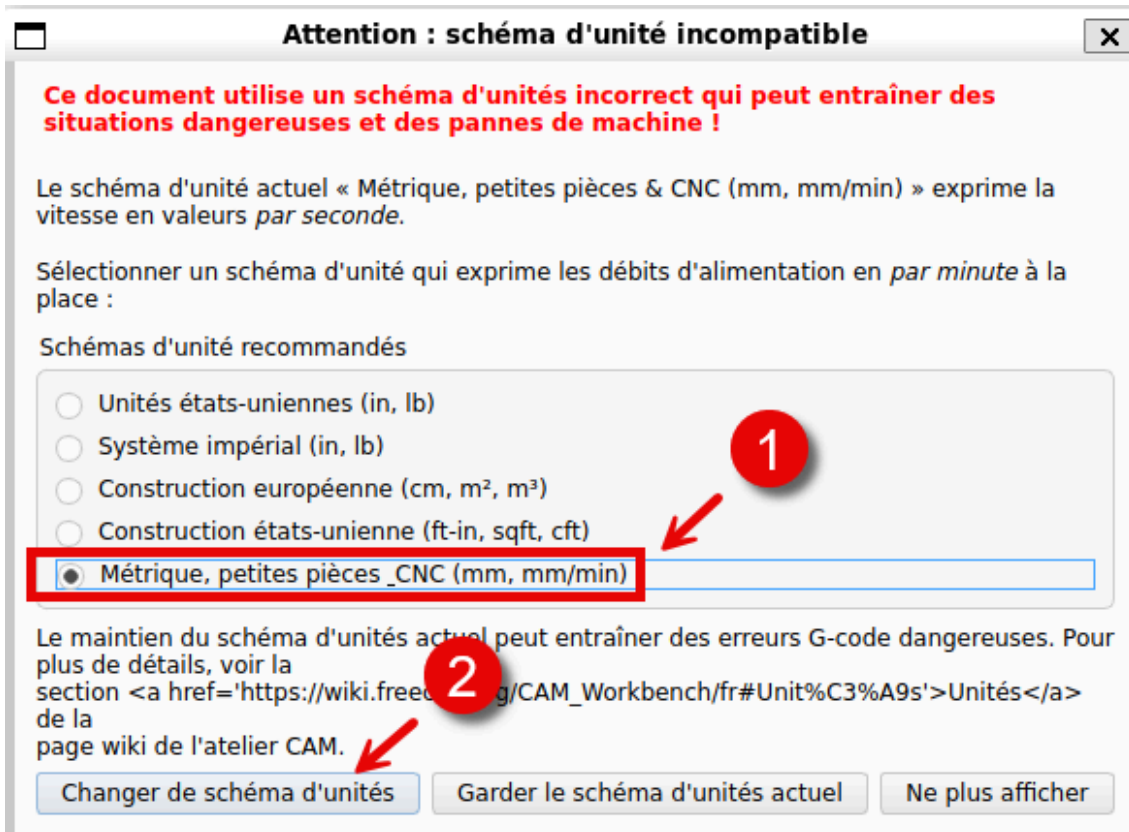
Avec le système d'unités  Métrique, petites pièces & CNC, les vitesses d'avance des outils seront saisies en mm/minute : les valeurs enregistrées dans le projet resteront codées en mm et s.



Système d'unités  Métrique, petites pièces & CNC : saisie des vitesses d'avance en mm/min

Avertissement


Si vous ne réalisez pas ce réglage, vous verrez apparaître le message ci-dessous lors de la première saisie d'une opération :

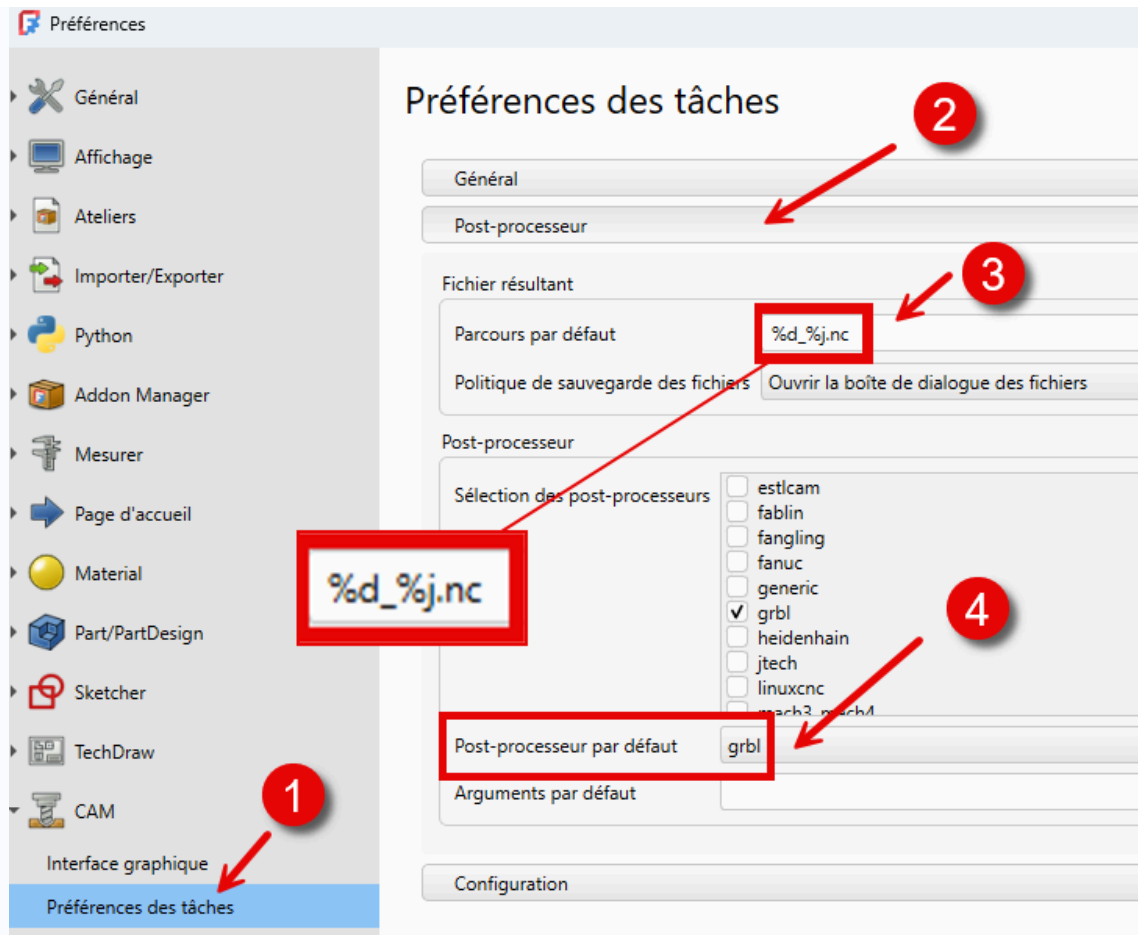


Avertissement : choix du système d'unités

Préférences des tâches


Tâches à réaliser

- Sélectionner la commande  Préférences → CAM → Préférences des tâches ;
- Cliquer sur la rubrique :
 - saisir le Parcours par défaut : pour le fichier résultant,
 - saisir le post-processeur par défaut : ;



Fichier résultant & choix du post-processeur

Fichier résultant `%d_%j.nc`


- Lors de la création du fichier g-code, FreeCAD reprendra le nom du fichier FCStd, suivi du nom de la tâche  et ajoutera l'extension « .nc » ;
- Il faudra peut-être adapter cette extension à votre environnement de travail ;

Post-processeur

- Il faut remplacer `grbl` par le post-processeur de votre environnement de production ;
- Vous pouvez décocher les autres post-processeurs non utilisés ;

Équipements




Emplacement des bibliothèques d'outils

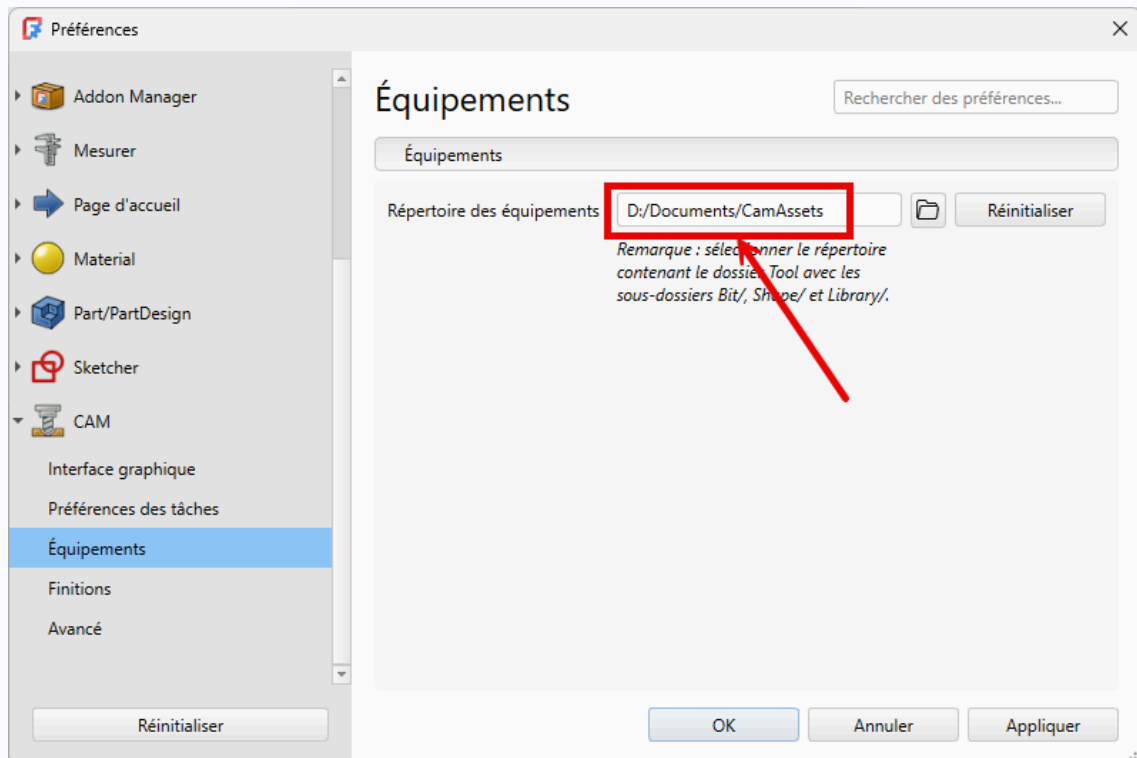
Par défaut, l'atelier CAM  de FreeCAD crée un dossier `CamAssets` pour gérer les bibliothèques d'outils :

- sous  : `C:\users\votrelogin\AppData\Roaming\FreeCAD\V1-1\CamAssets\Tools` ;
- sous  : `/Users/votrelogin/Library/Application Support/FreeCAD/V1-1/CamAssets/Tools` ;
- sous  : `/home/votheregin/.local/share/FreeCAD/V1-1/CamAssets/Tools` ;

Ce dossier caché est difficile d'accès : nous allons créer et utiliser un dossier CamAssets dans notre espace personnel ;

☰ Emplacement des bibliothèques d'outils

- Créer un dossier « CamAssets » dans votre espace personnel, par exemple :
 - sous  : `C:\users\yourlogin\Documents\CamAssets` ;
 - sous  : `/Users/yourlogin/Docuemnts/CamAssets` ;
 - sous  : `/home/yourlogin/Documents/CamAssets` ;
- Sélectionner la commande `Préférences → CAM → Équipements` et modifier l'emplacement :





Emplacement du dossier CamAssets

Fonctions avancées


OpenCAMlib

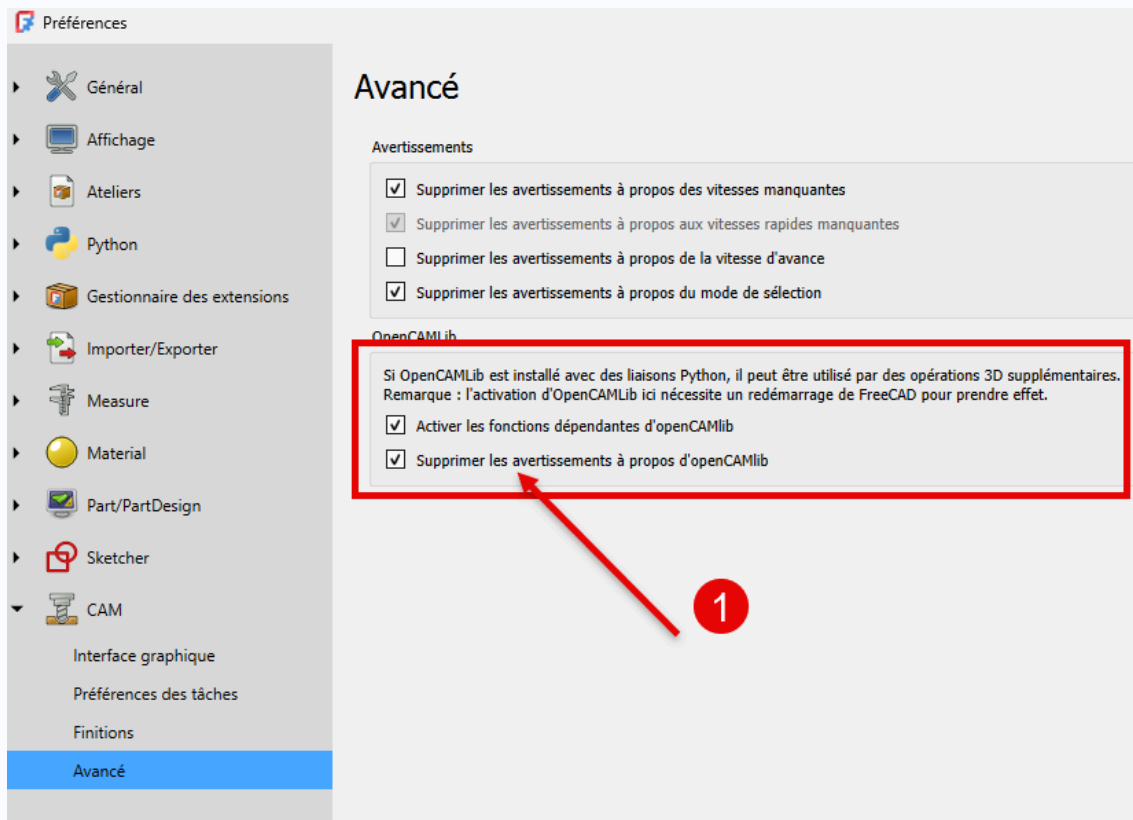
OpenCamLib (OCL) est une bibliothèque open source conçue pour fournir des algorithmes de fabrication assistée par ordinateur (FAO). Dans FreeCAD, elle est utilisée pour des opérations expérimentales de l'atelier CAM, notamment les opérations de surfacage 3D et de lignes de niveau.

- L'opération **Surfage 3D**  permet de générer des parcours d'outils pour usiner des surfaces complexes en 3D.
- L'opération **Lignes de niveau**  génère des parcours d'outils suivant des contours horizontaux à différentes hauteurs, ce qui est particulièrement utile pour l'usinage de pièces avec des variations de hauteur.

Pour utiliser ces fonctionnalités avancées, il est nécessaire d'activer les fonctions expérimentales de l'atelier CAM.

☰ Tâches à réaliser

- Sélectionner la commande  Édition → Préférences... → CAM → Avancé ;
- Cocher les cases comme sur la figure ci-dessous :





Activer les fonctionnalités avancées

12.3. Gérer les outils coupants

Objectifs

- Créer et gérer une bibliothèque d'outils ;

Bibliothèque « Default »




Lors de la première utilisation d'outils dans l'atelier CAM , FreeCAD crée une bibliothèque **Default** dans le dossier  CamAssets. Cette bibliothèque n'est pas adaptée à l'utilisation d'une CNC personnelle et aux exemples proposés dans ce parcours ;

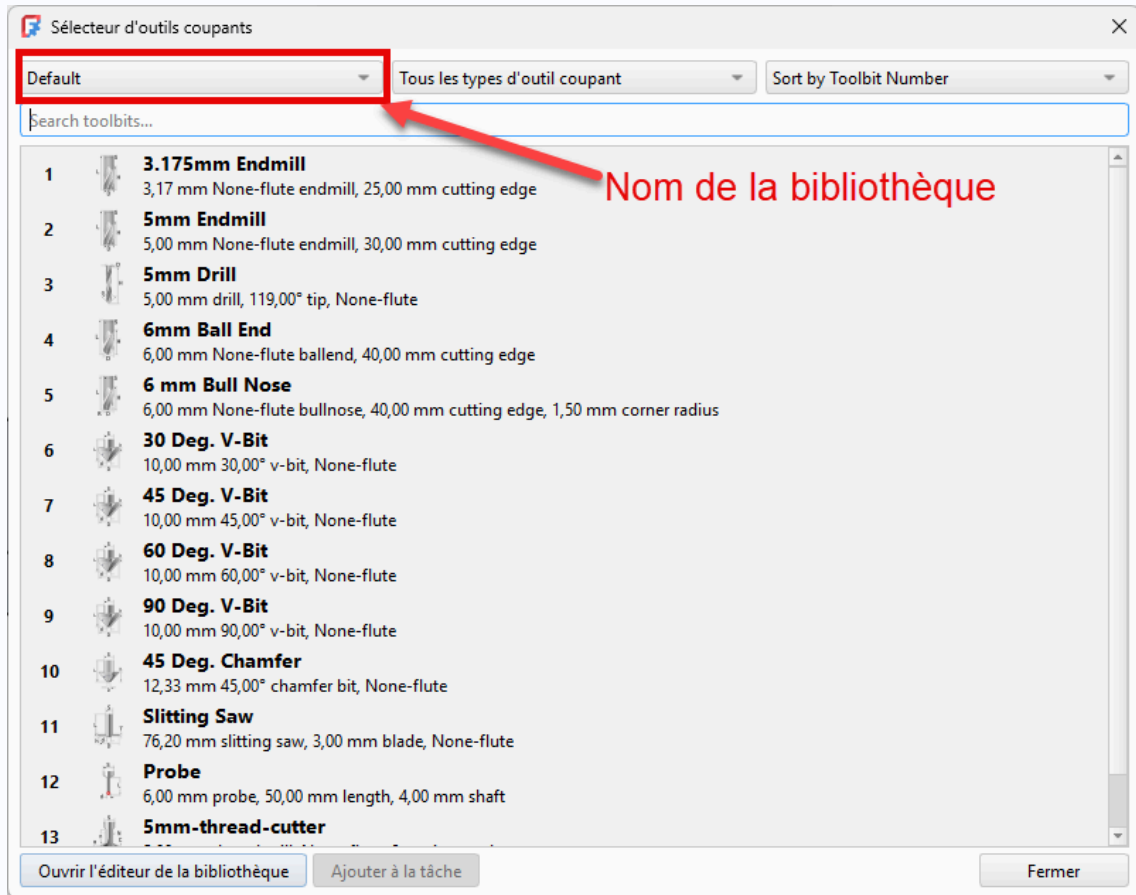
Avant de créer une première tâche , nous allons :

- Créer une nouvelle bibliothèque ;
- Ajouter un outil coupant à cette bibliothèque ;

Sélecteur d'outils coupants

☰ Tâches à réaliser

- Dans l'atelier CAM , cliquer sur la commande **Sélecteur d'outils coupants**  :
- FreeCAD ouvre une nouvelle fenêtre  **Sélecteur d'outils coupants** :



Sélecteur d'outils coupants

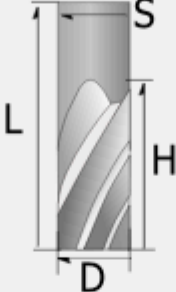
- Cliquer droit sur le 1er outil et sélectionner la commande  **Edit**



FreeCAD ouvre une seconde fenêtre  Éditeur des paramètres des outils coupants :

Éditeur des paramètres des outils coupants [X]

Outil coupant



Outil coupant

Libellé : 3.175mm Endmill

Identifiant : 3.175mm_Endmill

Numéro de l'outil : 1

Propriétés

Spindle direction: Forward

Material: HSS

Cutting edge height (H): 25,00 mm

Diameter (D): 3,17 mm

Flutes: 4

Length (L): 45,00 mm

Shank diameter (S): 3,17 mm

Chipload: 0,00 mm


OK Annuler

Paramètres de l'outil

Caractéristiques géométriques


- Le sélecteur d'outils coupants gère principalement les propriétés **géométriques** des outils : forme, dimensions ;
- D'autres propriétés (attributs) peuvent être saisies comme le nombre de dents (flutes), le matériau utilisé pour l'outil, l'avance par dent mais ces informations ne sont pas directement utilisées par FreeCAD pour la création du fichier G-Code ;

Caractéristiques mécaniques

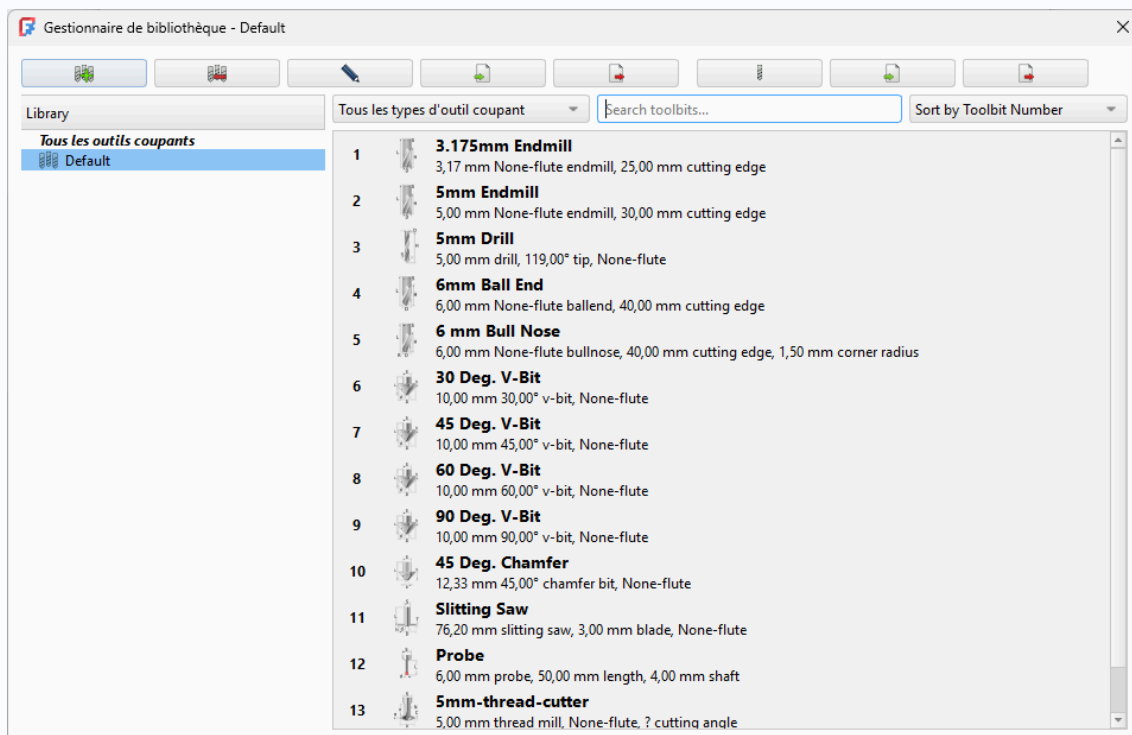
Un même outil pouvant être utilisé dans différents contextes, les caractéristiques **mécaniques** (vitesses d'avance et vitesse de coupe) seront définis avec le contrôleur d'outils de la tâche  ;


Créer une bibliothèque

Tâches à réaliser

- Si nécessaire, afficher le sélecteur d'outils coupants  et cliquer sur le bouton **Ouvrir l'éditeur de la bibliothèque** en bas de la fenêtre :




FreeCAD ouvre une nouvelle fenêtre **Gestionnaire de bibliothèque** :

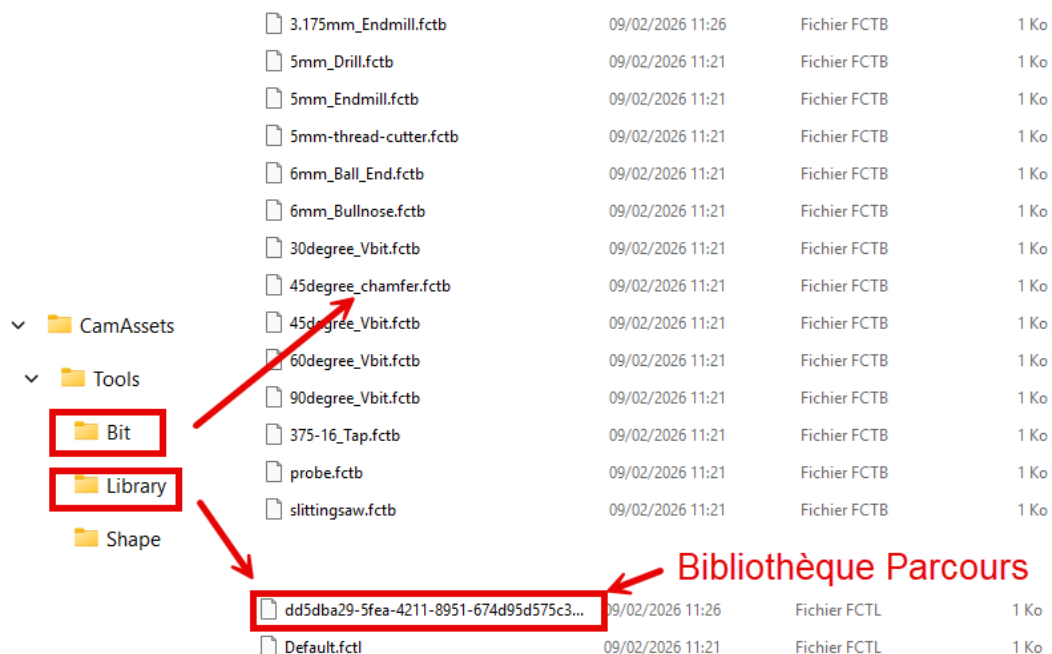


















- Créer une nouvelle bibliothèque d'outils « **Parcours** » en cliquant sur le bouton  ;

Contenu du dossier CamAssets

FreeCAD a créé dans le dossier  CamAssets un dossier  Tools et trois sous-dossiers :

 Bit	Contient l'ensemble des fichiers outils « .fctb »	Chaque fichier fctb contient la description de l'outil (nom, description, dimensions, forme...)
 Library	Contient un fichier « .fctl » par bibliothèque	Chaque fichier .fctl contient la liste des outils de la bibliothèque. On y retrouve le fichier default.fctl
 Shape	Contient les formes d'outils créées par l'utilisateur	Ce dossier est vide et sera utilisé éventuellement pour créer de nouvelles formes d'outils



	3.175mm_Endmill.fctb	09/02/2026 11:26	Fichier FCTB	1 Ko
	5mm_Drill.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	5mm_Endmill.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	5mm-thread-cutter.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	6mm_Ball_End.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	6mm_Bullnose.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	30degree_Vbit.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	45degree_chamfer.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	45degree_Vbit.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	60degree_Vbit.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	90degree_Vbit.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	375-16_Tap.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	probe.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	slittingsaw.fctb	09/02/2026 11:21	Fichier FCTB	1 Ko
	dd5dba29-5fea-4211-8951-674d95d575c3...	09/02/2026 11:26	Fichier FCTL	1 Ko
	Default.fctl	09/02/2026 11:21	Fichier FCTL	1 Ko



Structure de CamAssets



Créer une nouvel outil coupant

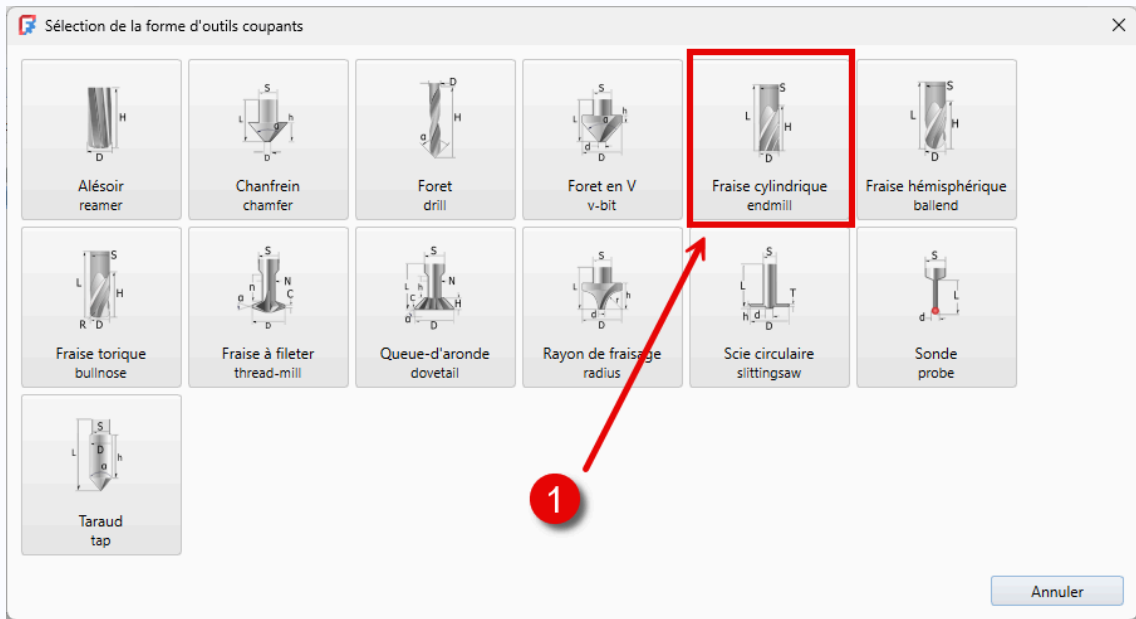
Objectifs

- Créer un nouvel outil coupant à partir de la forme  Fraise cylindrique proposée par FreeCAD ;

Tâches à réaliser

- Si nécessaire, sélectionner la commande  Cam → Gestionnaire de la bibliothèque des outils coupants de la barre de menus ;
- Sélectionner la bibliothèque  Parcours ;

- Créer un nouvel outil coupant à l'aide du bouton  :
- saisir la forme  Fraise cylindrique :



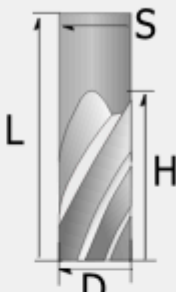
Choix de la forme d'outil



- Double-cliquer sur l'outil et saisir son libellé **FC20EndMill** et ses propriétés géométriques :

Éditeur des paramètres des outils coupants

Outil coupant



Outil coupant

Libellé : FC20EndMill

Identifiant : aac4b21e-4193-49f7-a411-81dc5c2f2a7e

Numéro de l'outil : 1

Propriétés

Spindle direction: Forward

Material: HSS

Cutting edge height (H): 12,00 mm

Diameter (D): 2,00 mm

Flutes: 2

Length (L): 38,00 mm

Shank diameter (S): 3,17 mm

Chipload: 0,00 mm

OK Annuler

Saisie des caractéristiques du nouvel outil

- Cutting Edge Length (H) = 12 mm,
- Diameter (D) = 2 mm,
- Length (L) = 38 mm,
- Shank Diameter (S) = 3.175 mm,

- Refermer la fenêtre ;

Emplacement du nouvel outil :



- FreeCAD a ajouté un fichier fctb dans le sous-dossier  Bit ;

Remarque

- Il est possible de créer de nouvelles formes d'outils. Voir la section [Créer une nouvelle forme d'outil](#) [p.355] ;

12.4. Usinages 2,5D






Objectifs

- Mettre en œuvre les différentes étapes de l'atelier CAM  pour des usinages 2,5D sur un modèle 3D ;
- Utiliser la commande [Créer une tâche](#)  W

12.4.1. Travail préparatoire

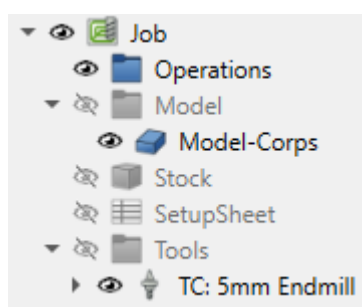
Créer la tâche

Tâches à réaliser

- Sélectionner l' atelier CAM  si nécessaire ;
- Cliquer sur la commande [Créer une tâche](#)  et sélectionner le Corps 1 du document  tuto12-1 ;
- Parcourir les différents onglets de la tâche **sans rien modifier pour le moment** puis refermer l'onglet  en cliquant sur le bouton ;







Contenu de Job

FreeCAD a ajouté un objet  Job dans l'arborescence du document (onglet  Modèle).




Contenu de la tâche dans l'onglet Modèle

Cet objet  Job contient :


- le dossier  Operations : contiendra la suite des opérations d'usinage ;
- le dossier  Model : contient un **clone** du modèle sélectionné lors de la création de la tâche  ;
- l'élément  Stock : contient la définition du brut de la pièce ;
- l'élément  SetupSheet : contient une [feuille de configuration](#) ^W ;
- le dossier  Tools : contient la liste des outils coupants utilisés ;

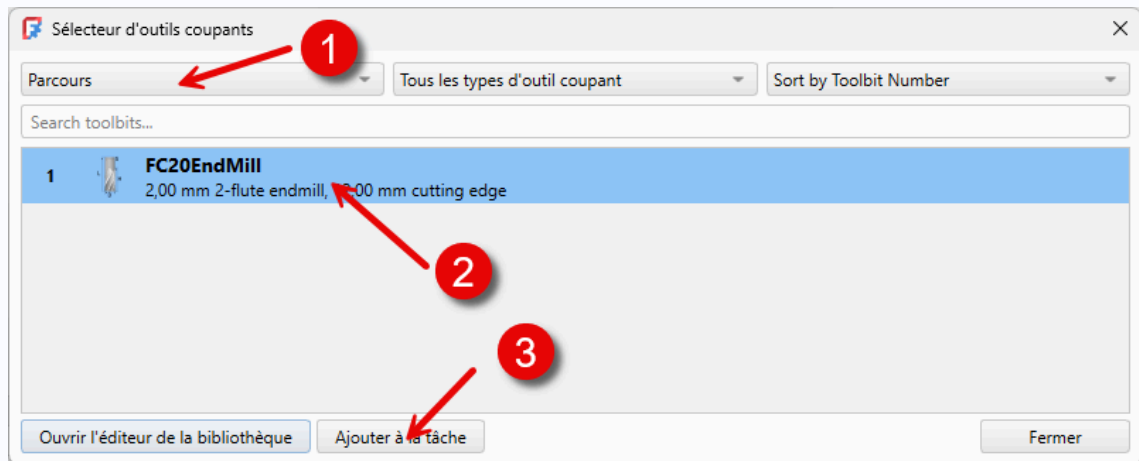
Choisir l'outil

Objectifs



- Sélectionner l'outil coupant pour la tâche  ;
- Définir les caractéristiques mécaniques de l'outil ;

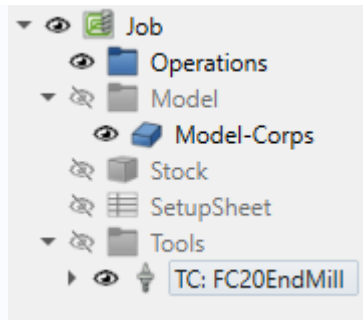
Tâches à réaliser

- Afficher le **sélecteur d'outils** à l'aide du bouton  de la barre d'outils ;
- Sélectionner la bibliothèque  Parcours et ajouter l'outil **FC20EndMill** à la tâche puis refermer la fenêtre ;



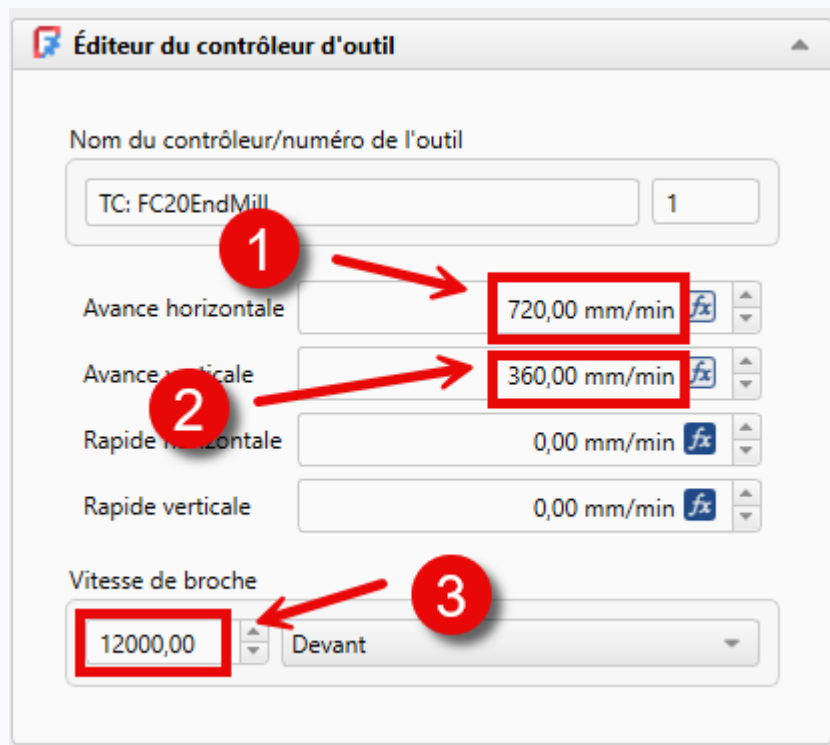
Ajout de l'outil à la tâche

- Ouvrir le sous-dossier  Tools dans l'onglet **Modèle** et supprimer  TC : TC 5mm EndMill ;






 FC20EndMill ajouté à la tâche

- Double-cliquer sur l'outil  dans l'onglet **Modèle** pour afficher le [contrôleur d'outils](#) ^W  ;
- Saisir les paramètres **mécaniques** de l'outil :



Contrôleur d'outil

- vitesse d'avance horizontale :  720 mm/min,
 - vitesse d'avance verticale :  360mm /min,
 - vitesse de la broche  12000 tours/min;
- Valider ;

Attention à la sécurité


Les paramètres saisis ci-dessus correspondent à l'utilisation d'une CNC personnelle, d'une fraise carbure à deux dents et à du bois tendre comme matière à usiner ;

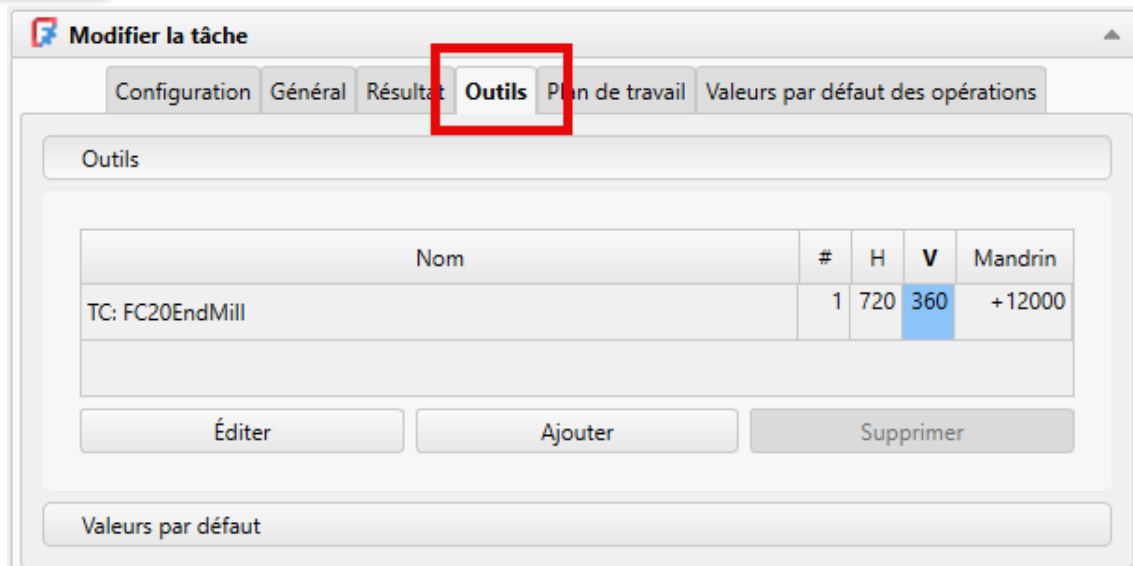
- Si vous souhaitez réaliser l'usinage, il faudra **impérativement** adapter ces paramètres mécaniques à votre environnement de production.

Vitesses d'avance rapide

Les vitesses d'avance rapide seront définies dans la feuille de configuration ;

Afficher le contrôleur d'outils


Pour afficher le contrôleur d'outils , on peut aussi double-cliquer sur la tâche  puis sélectionner l'onglet **Outils** ;

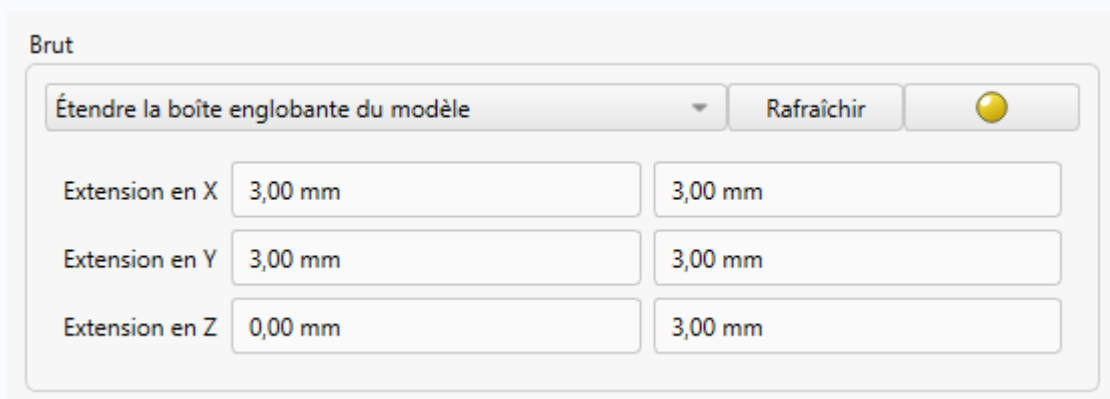


Accès au contrôleur d'outils

Définir le brut et l'alignement

Tâches à réaliser

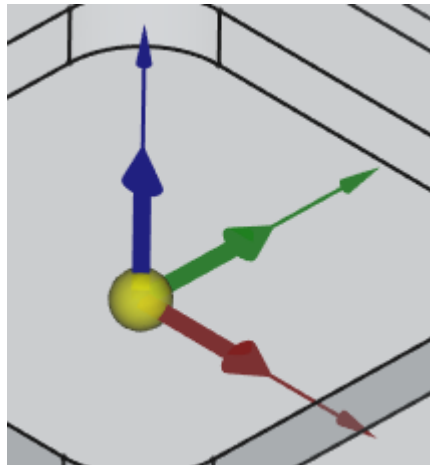
- Double-cliquer sur l'élément  Job et sélectionner l'onglet **Configuration** ;
- Définir le brut comme ci-dessous et valider :



Définition du brut (stock)

Identifier le sens des extensions en X, Y, Z

- La première colonne correspond aux valeurs X, Y, Z négatives, la seconde colonne aux valeurs positives ;
- Le repère permet d'identifier le sens des axes :



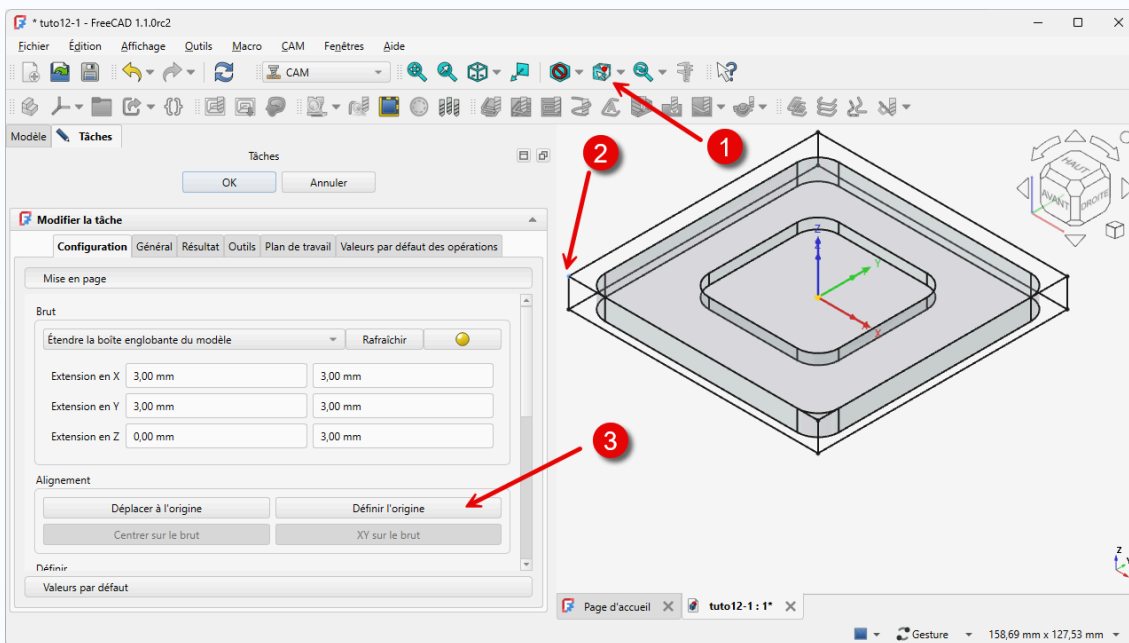
Sens du repère O - X (Rouge) - Y (Vert) - Z (Bleu)

Tâches à réaliser (suite)

- Si nécessaire, double-cliquer sur l'élément  Job et sélectionner à nouveau l'onglet

Configuration ;

- Sélectionner le sommet (vertex) comme ci-dessous et cliquer sur le bouton **Définir l'origine** ;

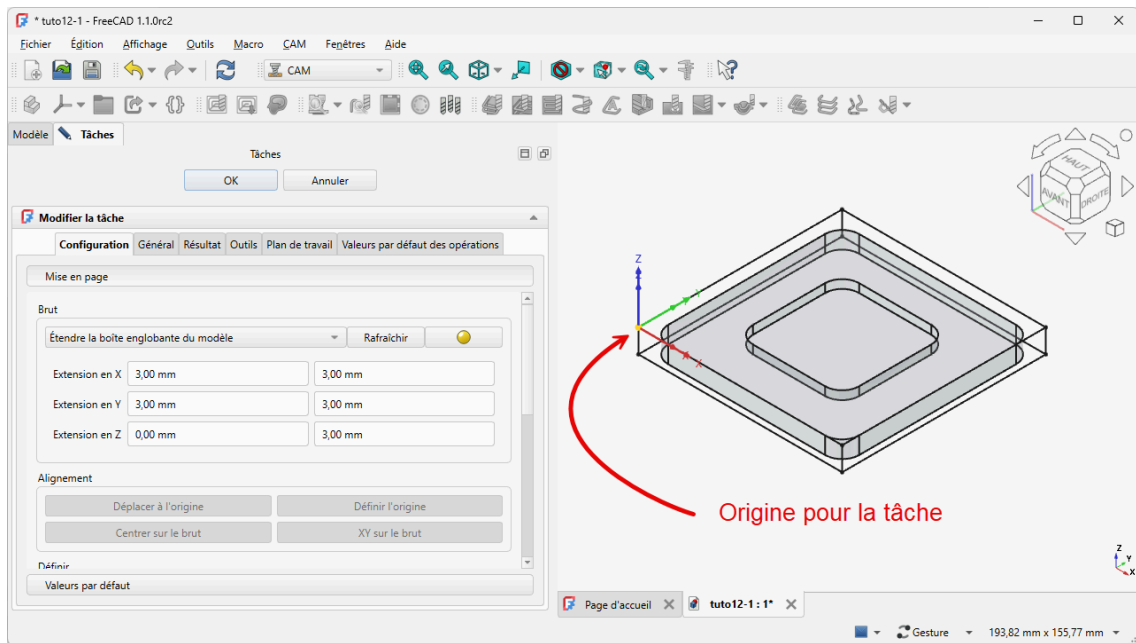


Définir l'origine pour la CNC

Comprendre la commande **Définir l'origine** ;

Par défaut, FreeCAD prend pour origine des opérations d'usinage, l'origine utilisée pour la modélisation du corps : cette origine ne correspond pas, sauf exception, à l'origine qui sera utilisée pour le réglage des opérations d'usinages sur la CNC.



- La commande **Définir l'origine** modifie le repère du **clone du corps** utilisé pour la programmation de la CNC ;

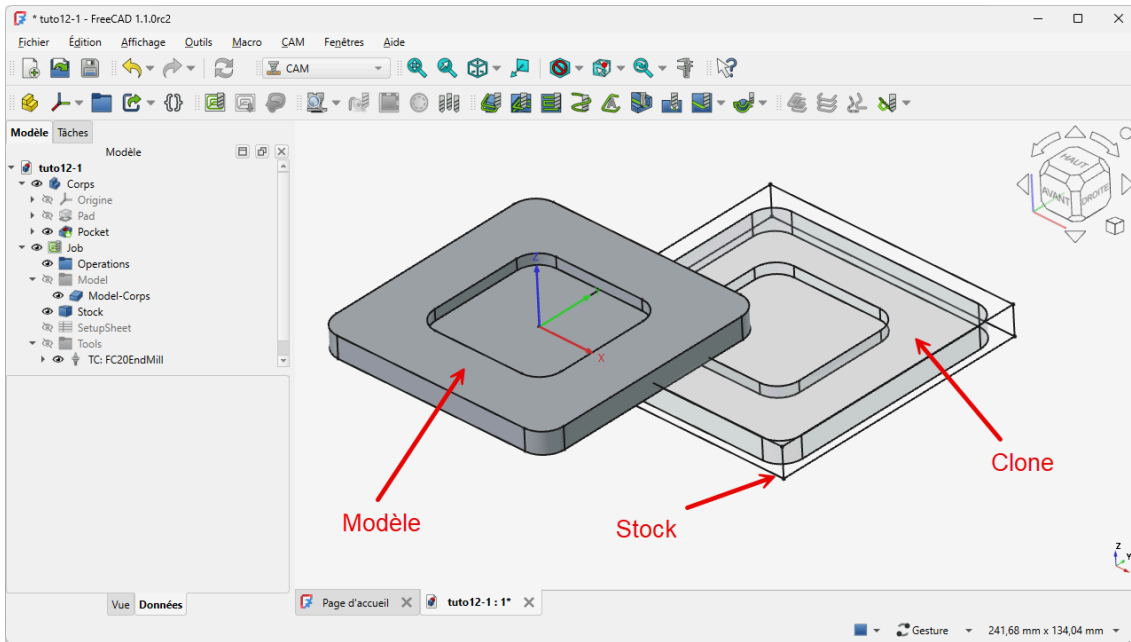


Nouvelle origine pour la tâche

Modèle et clone du modèle

Si vous affichez le modèle  Corps dans la vue 3D, il apparaîtra décalé : **Ne pas s'en préoccuper** :

- l'atelier  PartDesign utilisera le modèle pour le modifier si nécessaire ;
 - toute modification du modèle se répercutera sur le clone,
- l'atelier  CAM utilisera le repère du clone pour la définition des opérations d'usinage ;

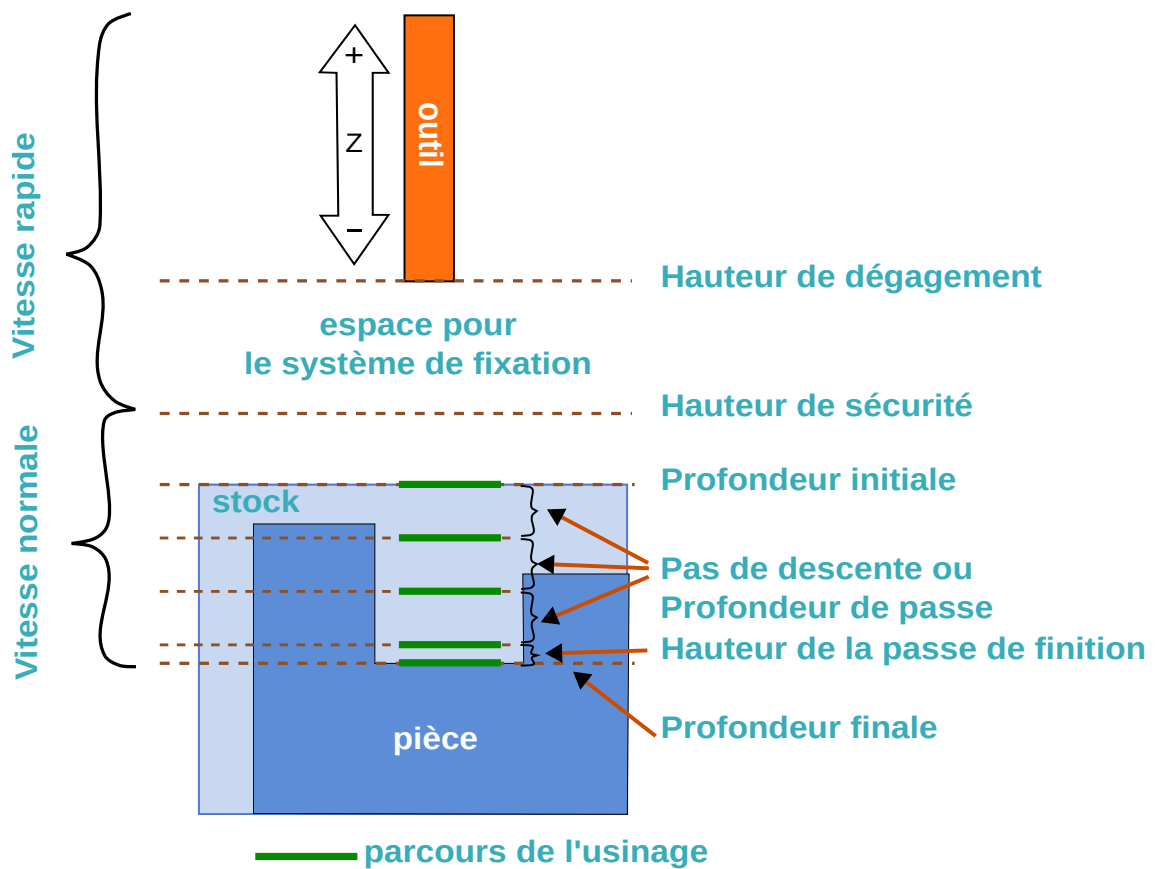


Corps et son clone utilisé pour la tâche CAM

Ajuster la configuration globale

Objectifs

- Vérifier et/ou modifier la hauteur de dégagement et la hauteur de sécurité de la tâche  ;



- Par défaut, FreeCAD fixe la profondeur de passe (pas de descente) à la valeur d'un diamètre de l'outil : nous allons réduire cette valeur à $\frac{1}{2}$ diamètre de l'outil ;

- Saisir les vitesses d'avance rapide : elles dépendent des caractéristiques mécaniques de la CNC, pour une CNC GRBL voir les paramètres \$110, \$111, \$112 ;

Hauteur de dégagement

≈ Clearance Height

Correspond à la hauteur à laquelle l'outil se déplace en mode rapide **G0** lorsqu'il n'est pas en train d'usiner.

- Elle est utilisée pour éviter les collisions avec la pièce ou les brides de fixation ;
- C'est la hauteur à laquelle l'outil revient entre deux opérations ou déplacements non coupants ;
- Elle doit être suffisamment élevée pour assurer un dégagement sûr, mais pas trop pour éviter des déplacements inutiles qui allongent le temps d'usinage ;

Hauteur de sécurité

≈ Safe height

Hauteur à laquelle l'outil se déplace entre les passes d'usinage, mais uniquement dans une même opération ;

- Hauteur intermédiaire, utilisée pour les petits déplacements rapides à l'intérieur d'une même opération ;
- Permet d'éviter d'aller trop haut inutilement, réduisant ainsi le temps de cycle ;
- Elle est souvent juste au-dessus de la pièce, mais assez haute pour éviter les collisions avec la surface ;



Différencier hauteur de dégagement et hauteur de sécurité

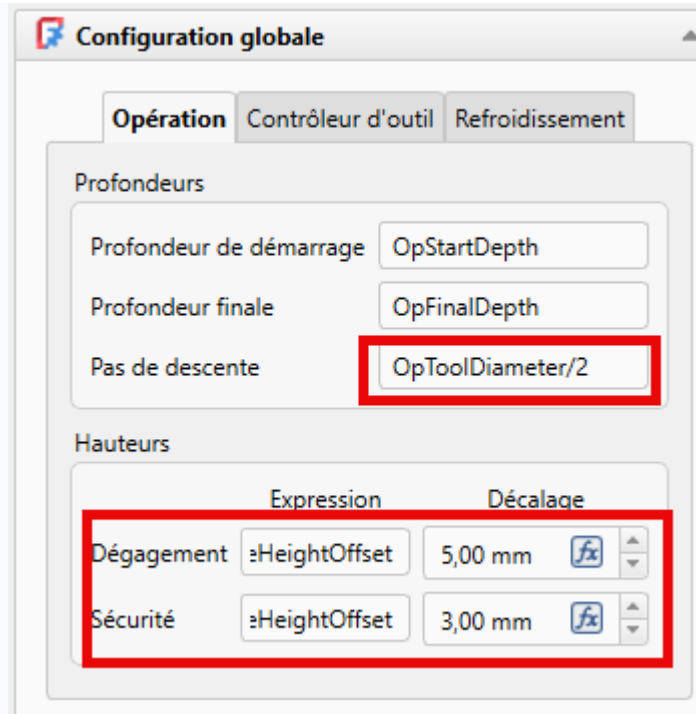
Par exemple, si l'outil doit percer plusieurs trous dans une pièce :

1. Il descend jusqu'à la profondeur de coupe pour percer.
2. Il remonte à la **Hauteur de sécurité** (Safe Height) pour se déplacer au prochain trou sans usiner.
3. S'il doit se déplacer sur une longue distance (par exemple, pour un autre groupe de trous), il remonte à la **hauteur de dégagement** (Clearance Height).

Ajuster correctement ces paramètres permet d'optimiser l'usinage en équilibrant **sécurité** et **efficacité**.

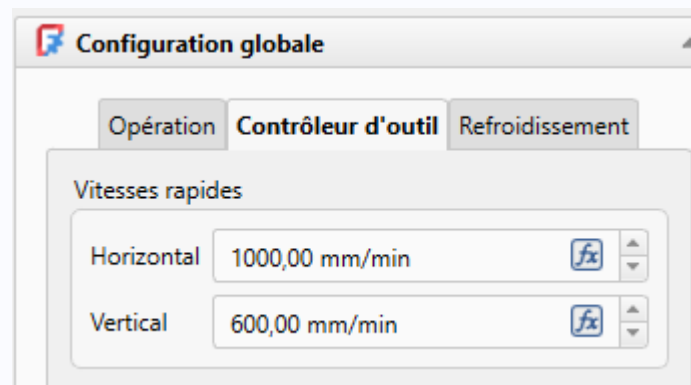
Tâches à réaliser

- Dans la vue modèle, double-cliquer sur l'élément  SetupSheet et sélectionner la rubrique **Configuration globale** (tout en bas de la boîte de dialogue 😊)
- Saisir le nouveau pas de descente :  OpToolDiameter/2 ;
- Modifier si nécessaire les hauteurs de dégagement et de sécurité en fonction de votre dispositif de fixation de la pièce ;



Pas de descente et hauteurs

- Sélectionner l'onglet **Contrôleur d'outil** et saisir les vitesses d'avance rapide correspondant à votre CNC ;




Configuration des avances rapides



- Valider ;

12.4.2. Poche

Objectif

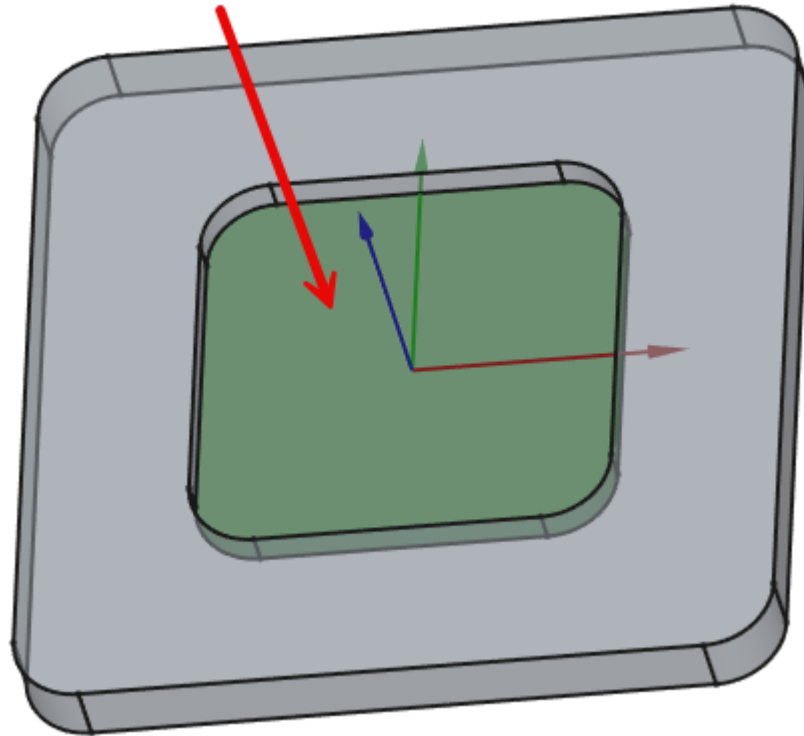
-  Créer une poche ^W ;

Tâches à réaliser

- Dans l'atelier  CAM, sélectionner le fond de la poche à créer et cliquer sur la commande **Créer une poche**  ;



Face à sélectionner



Face à sélectionner pour créer la poche

- Section **Opération**, saisir un motif : **Décalage du zigzag** et un pourcentage de recouvrement de **70** ;

Opération

Contrôleur d'outil: TC: FC20EndMill

Mode de refroidissement: None

Mode de coupe: Avalant

Motif: Décalage du zigzag

Angle: 45,00 °

Pourcentage de recouvrement: 70

Extension de la passe: 0,00 mm

Utiliser le point de départ

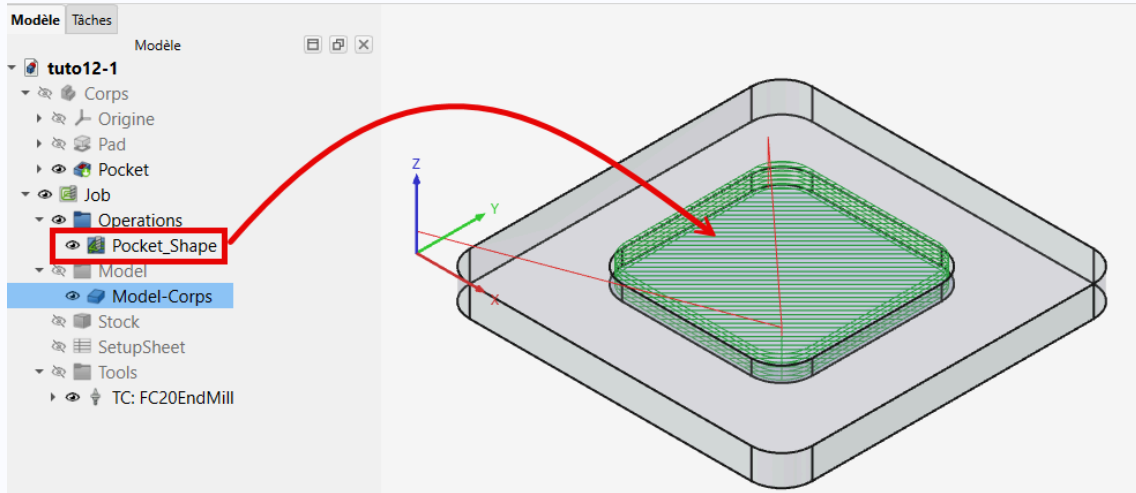
Utiliser le contour

Trajet minimum




Utiliser l'usinage de reprise

Paramètres de l'opération Poche

- Valider



Poche

FreeCAD a ajouté un élément  Pocket_Shape dans le sous-dossier  Operation de  Job ;

Choix du motif Décaler du zigzag

- Le motif ZigZag est le plus rapide mais ne permet pas de suivre le profil de la poche ;

Autres rubriques de Pocket_Shape




- **Géométrie de base** : permet d'ajouter d'autres entités à la tâche ;
- **Extensions** : permet d'ajouter des zones supplémentaires usinées au-delà de la forme sélectionnée, pour garantir un évidement complet et fiable ;
- **Profondeurs** : Permet notamment d'ajuster la profondeur de 1ère passe et de dernière passe
- **Hauteurs** : Permet d'ajuster l'hauteur de dégagement et de sécurité par rapport à la la feuille de configuration ;

12.4.3. Simuler le parcours

Depuis la version 1.0.0, FreeCAD propose deux simulateurs de parcours :

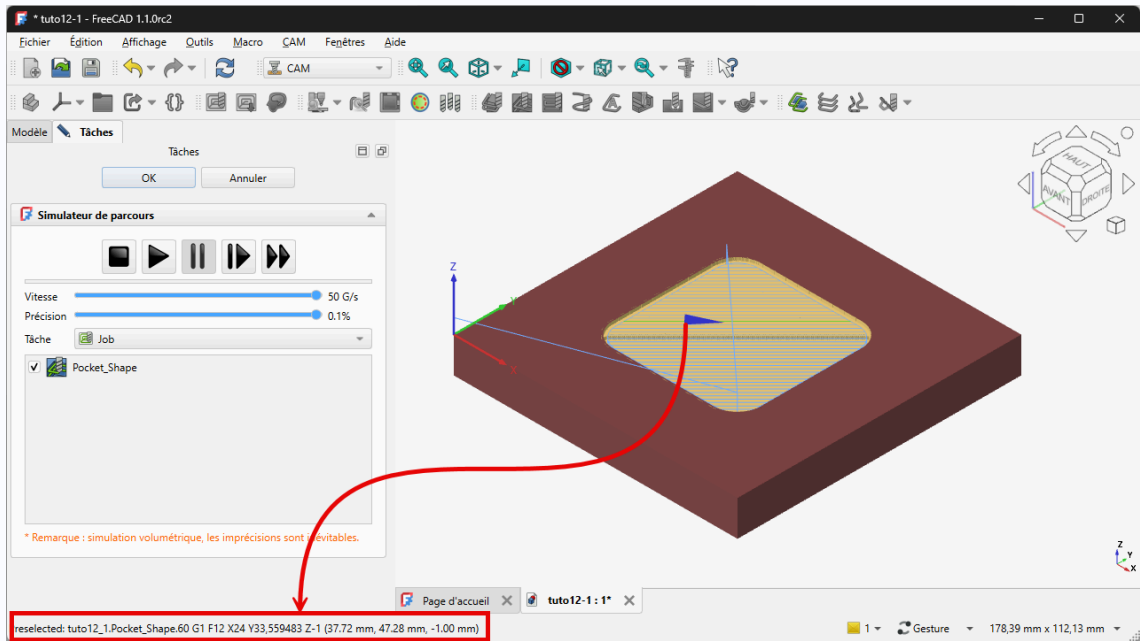
- le **simulateur GL** ^W plus précis et rapide ;
- le **simulateur de parcours « historique »** ^W ;

Tâches à réaliser

- Cliquer sur le bouton **Simuler le parcours**  et sélectionner le simulateur historique ;
- Lancer le simulateur en cliquant sur le bouton  ;
- Mettre la simulation en pause en cliquant sur le bouton  ;

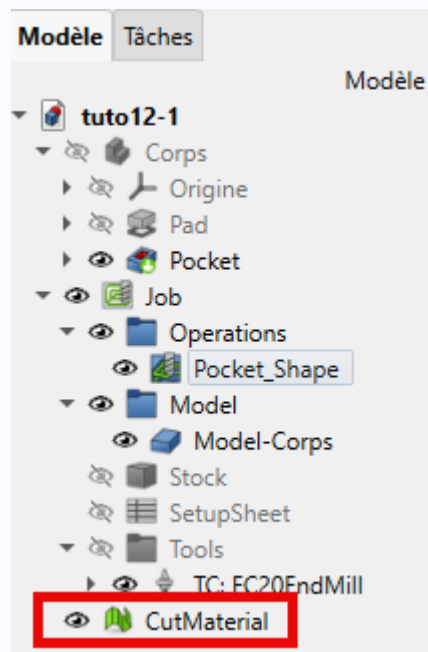


- Approcher le pointeur de la souris sur une ligne du parcours et observer la barre d'état :



G-Code correspondant à la ligne sélectionnée du parcours

- Valider l'onglet **Tâche** : FreeCAD a ajouté un élément **CutMaterial** dans l'arborescence du document :





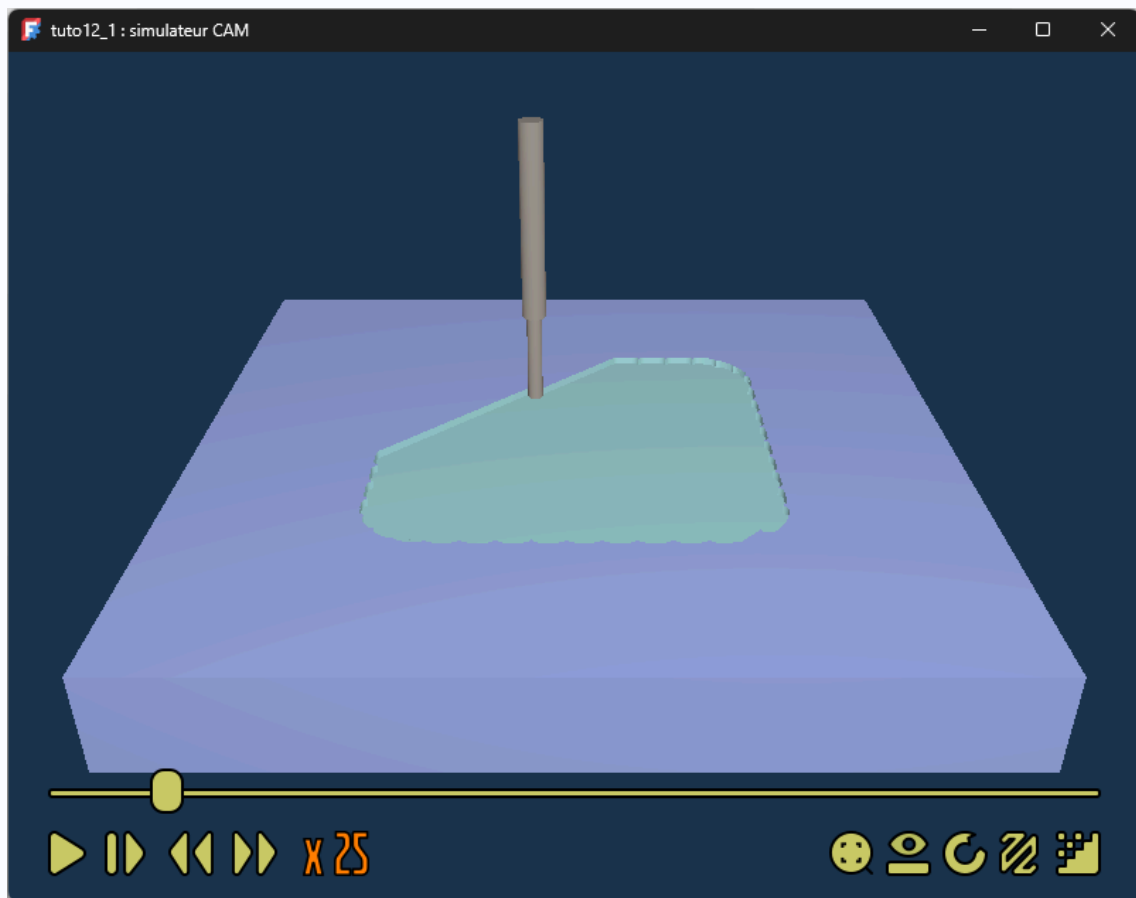
Élément CutMaterial

💡 Truc & astuce

Vous pouvez masquer ou supprimer cet élément **CutMaterial** sans conséquence pour votre modélisation ;

☰ Tâches à réaliser

- Cliquer sur le bouton **Simulateur GL**  ;
- Lancer le simulateur en cliquant sur le bouton  : Ouvre une nouvelle fenêtre :



Commandes du simulateur GL


- Tester les différents boutons de commande ;
- Refermer la fenêtre du simulateur

🔍 Contrôler la vue 3D du simulateur GL

- Zoom : utilisez la molette de la souris ;
- Panoramique : maintenez le bouton du milieu de la souris ou Maj et déplacez le curseur ;
- Rotation : maintenez le bouton du milieu de la souris enfoncé, puis appuyez et maintenez le bouton gauche de la souris et déplacez le curseur ;

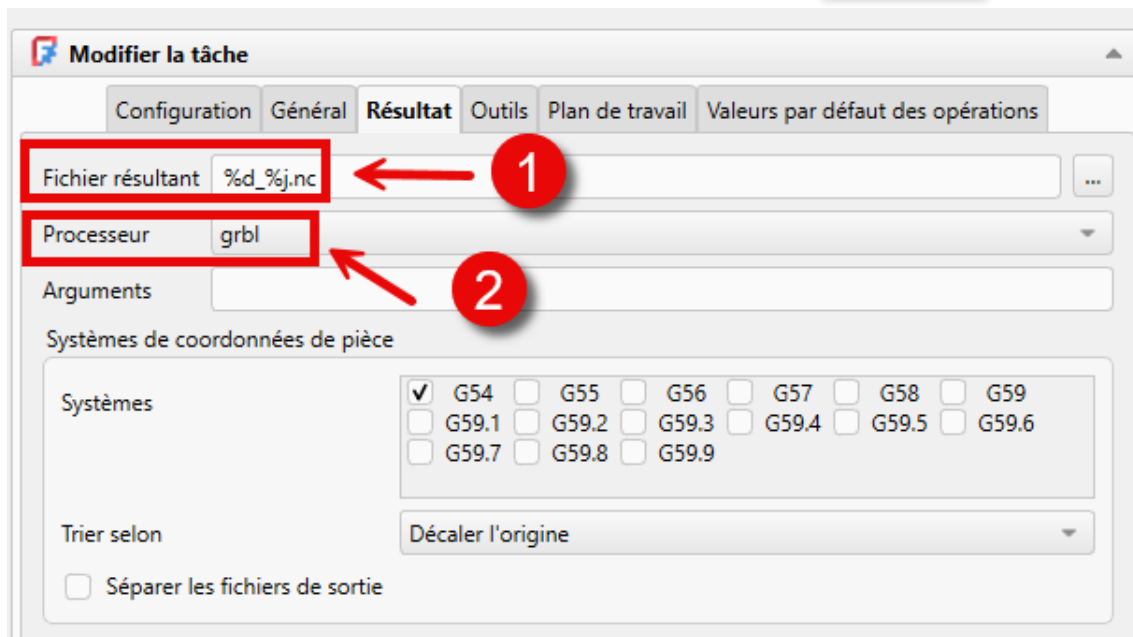
12.4.4. Réaliser le posttraitement

🎯 Objectif

- Utiliser la commande **Post-traitement**  afin de créer le fichier G-code de la programmation de l'usinage ;

Tâches à réaliser

- Double-cliquer sur la tâche  et vérifier les paramètres de l'onglet **Résultats** :

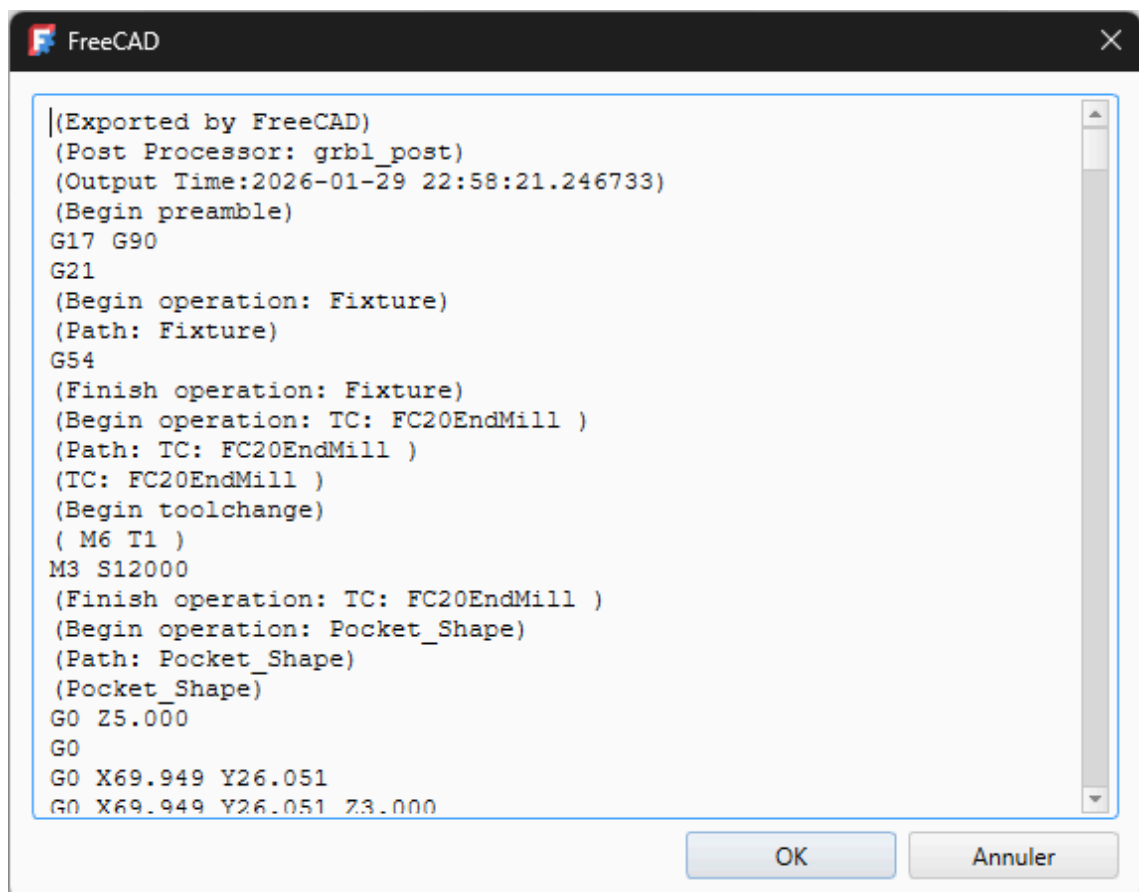


Paramètres du post-traitement


Ces paramètres ont été définis au § Configuration de l'atelier ^[p.320] ;

- Sélectionner la tâche  dans l'onglet **Modèle** et cliquer sur le bouton **Post-Traiter**  :

1. FreeCAD ouvre une fenêtre contenant le fichier G-Code de la tâche ;





Fichier G-Code de la tâche

- FreeCAD a créé un fichier  tuto12-1-poche_Job.nc dans le dossier contenant le fichier FCStd : c'est ce fichier qu'il faudra envoyer à votre CNC pour réaliser l'usinage ;






12.4.5. Ajouter des opérations

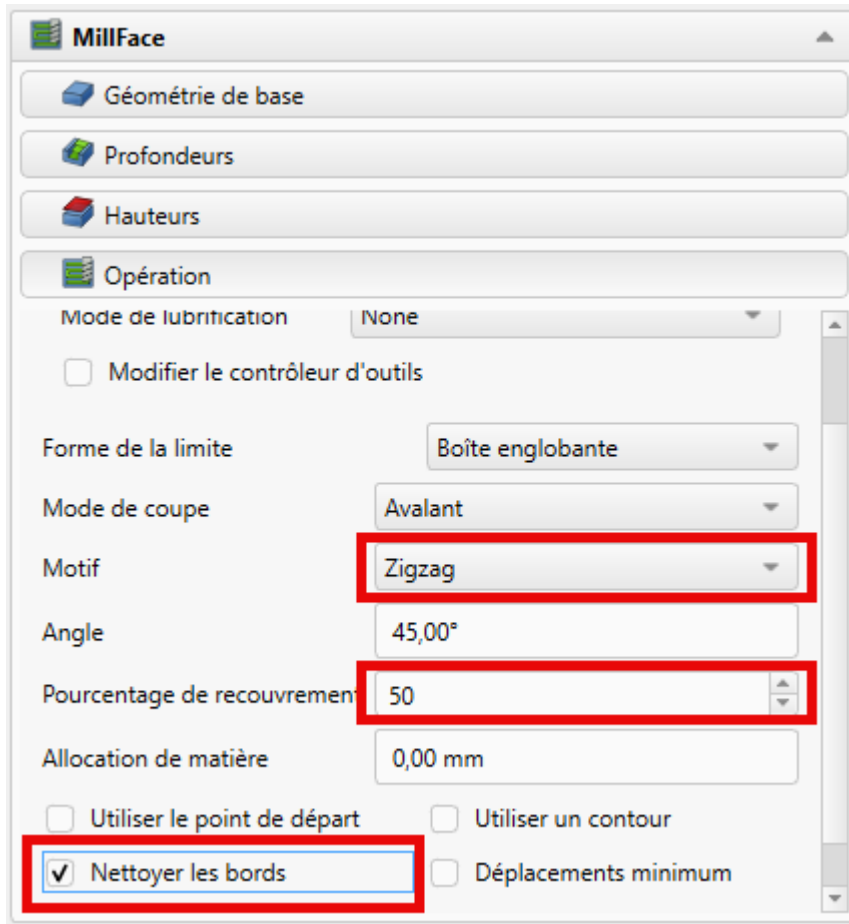
12.4.5.1. Créer le surfaçage

Objectif


- Utiliser l'usinage 2,5D **Surfaçage**  W 


Tâches à réaliser


- Sélectionner la face supérieure du clone et sélectionner la commande **Surfaçage** 
- Section  **Opération**, saisir un motif , un  pourcentage de recouvrement de  50 et cocher **nettoyer les bords** ;




MillFace

 Géométrie de base

 Profondeurs

 Hauteurs

 **Opération**

Mode de lubrification

Modifier le contrôleur d'outils

Forme de la limite

Mode de coupe

Motif

Angle

Pourcentage de recouvrement

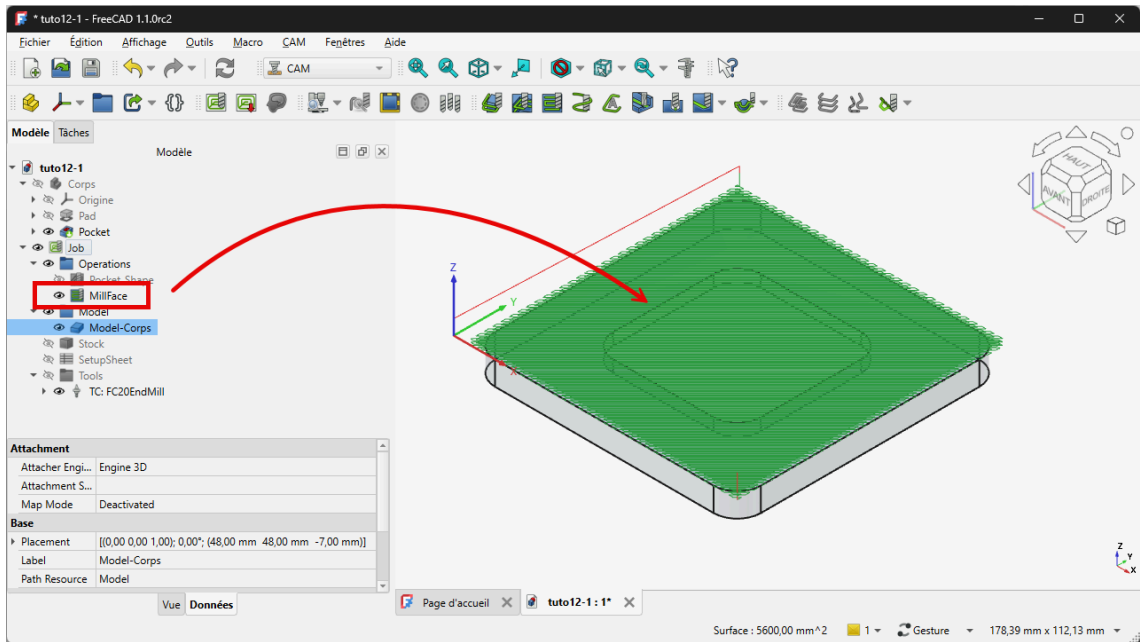
Allocation de matière

Utiliser le point de départ Utiliser un contour

Nettoyer les bords Déplacements minimum

Paramètres du surfaçage

- Valider



Surfacage

FreeCAD a ajouté un élément  MillFace dans le sous-dossier  Operation de  Job ;

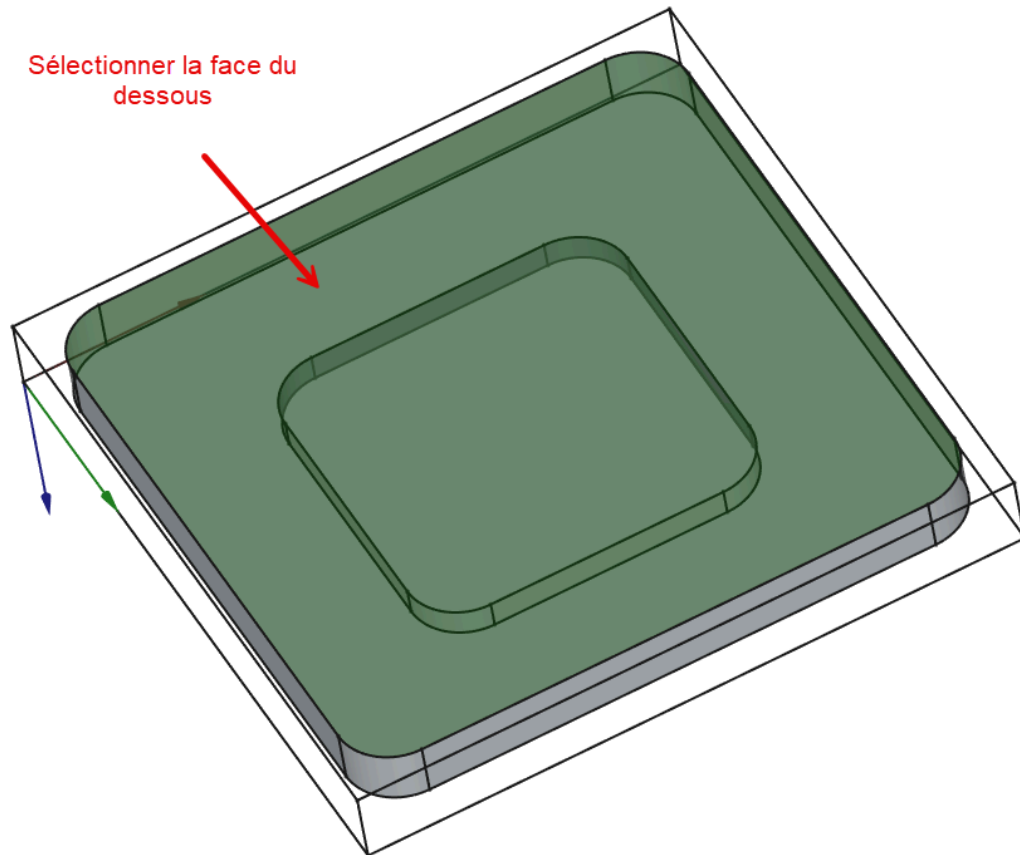
12.4.5.2. Créer le profilage

Objectif

- Utiliser l'usinage 2,5D **Profilage**   ;

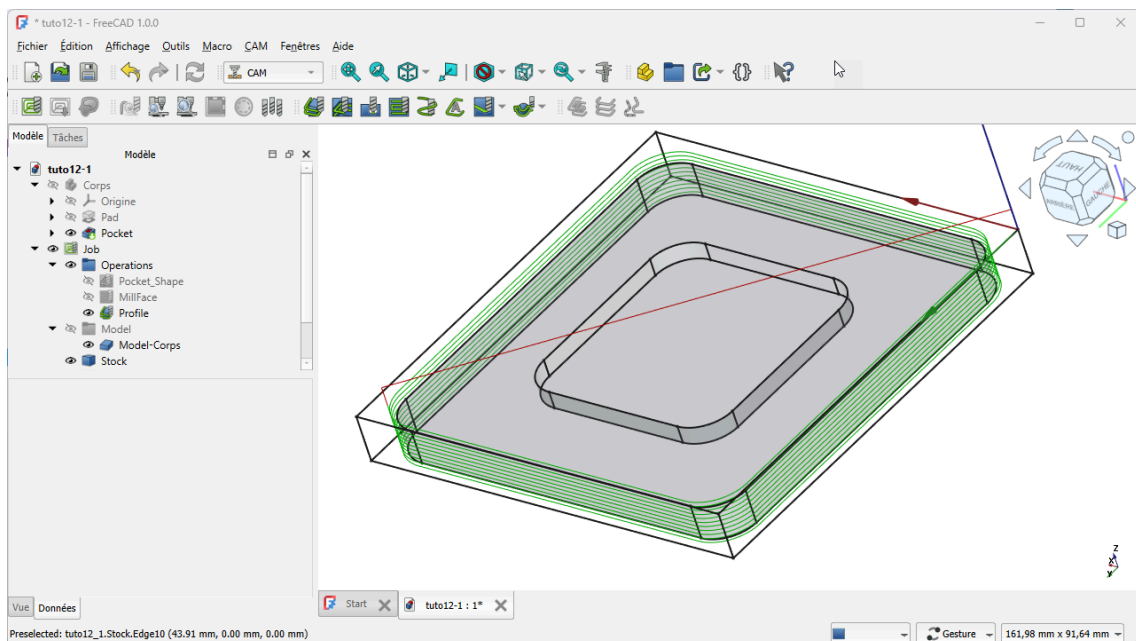
Tâches à réaliser

- Sélectionner la face du dessous du clone et sélectionner la commande Profiler  ;



Sélection de la face du dessous pour le profilage

- Valider



Profilage

FreeCAD a ajouté un élément  Profile dans le sous-dossier  Operation de  Job ;

12.5. Finitions de parcours

Objectifs

- Utiliser des finitions de parcours  ;



12.5.1. Création des attaches

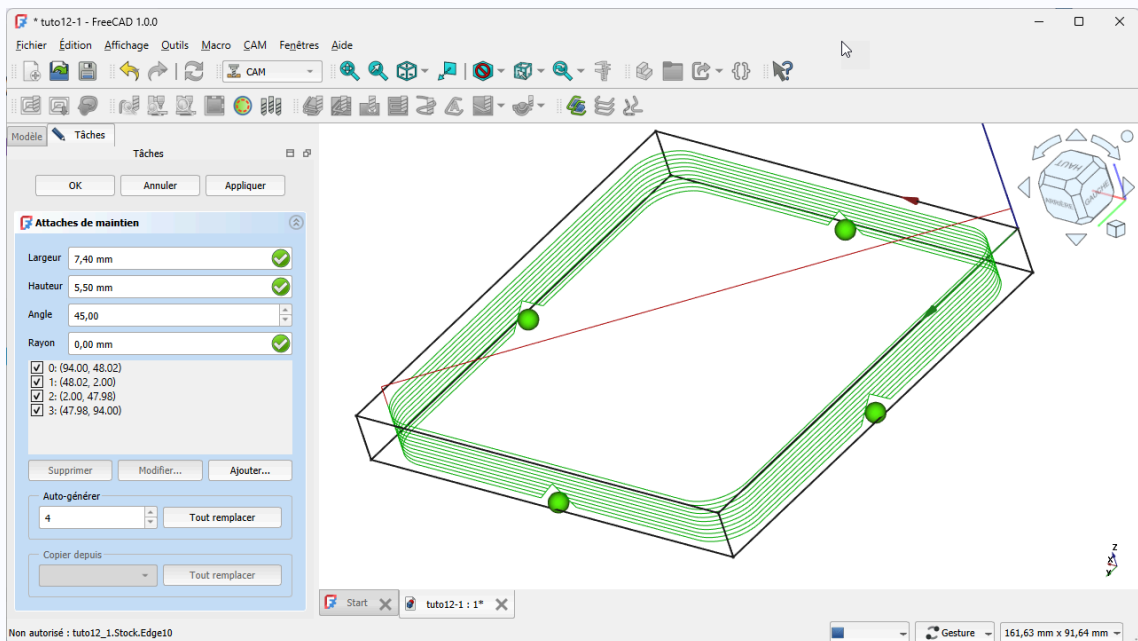
Objectif

- Utiliser une opération Finition de parcours  Attaches ^W ;

Nous allons créer des attaches afin d'éviter que la pièce ne se détache avant la fin de l'usinage, ce qui pourrait entraîner des vibrations, des dommages ou même un mauvais positionnement.

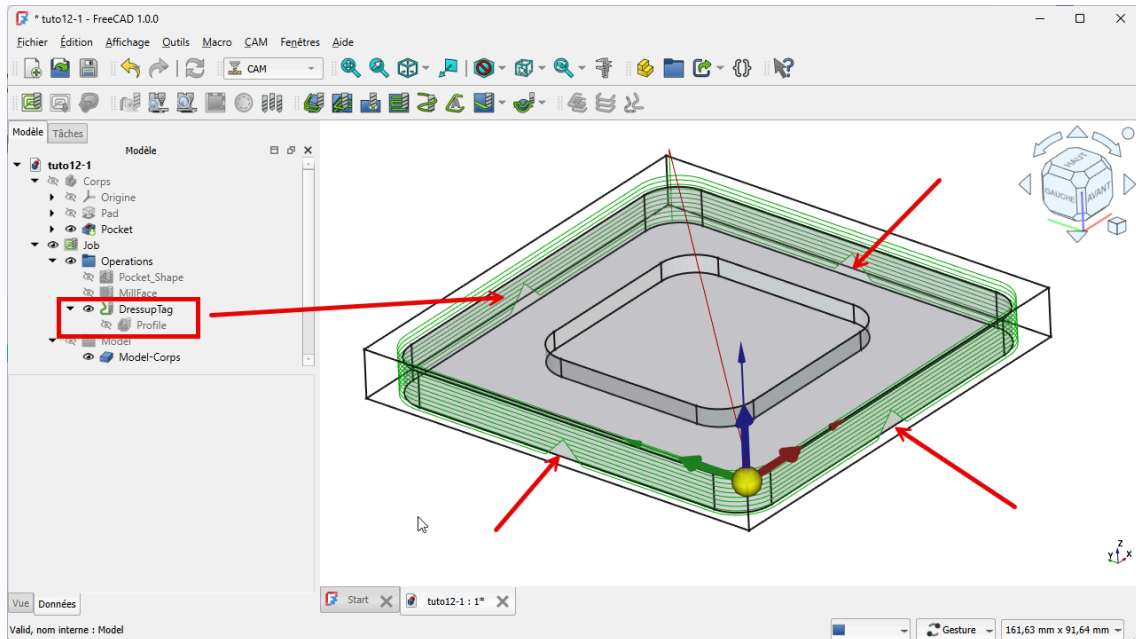
Tâches à réaliser (suite)

- Dans l'onglet **Modèle**, sélectionner l'opération  Profile puis sélectionner la commande  CAM → Finitions de parcours → Attache de la barre de menus ;







Finition Attaches sur l'opération de profilage

- Valider ;



Finition attaches appliquée à Profile

Ajout de la finition DressupTag

- FreeCAD a ajouté un élément  DressupTag dans le sous-dossier  Operation de  Job :  Profile est devenu un sous-élément de DressupTag
- Pour supprimer, une finition de parcours, il suffit de supprimer la finition dans l'onglet **Modèle** ;

12.6. Gravures

Objectifs

- Mettre en œuvre les différentes étapes de l'atelier CAM  pour des usinages 2D ;

12.6.1. Forme d'outil

≈ Tool Shape

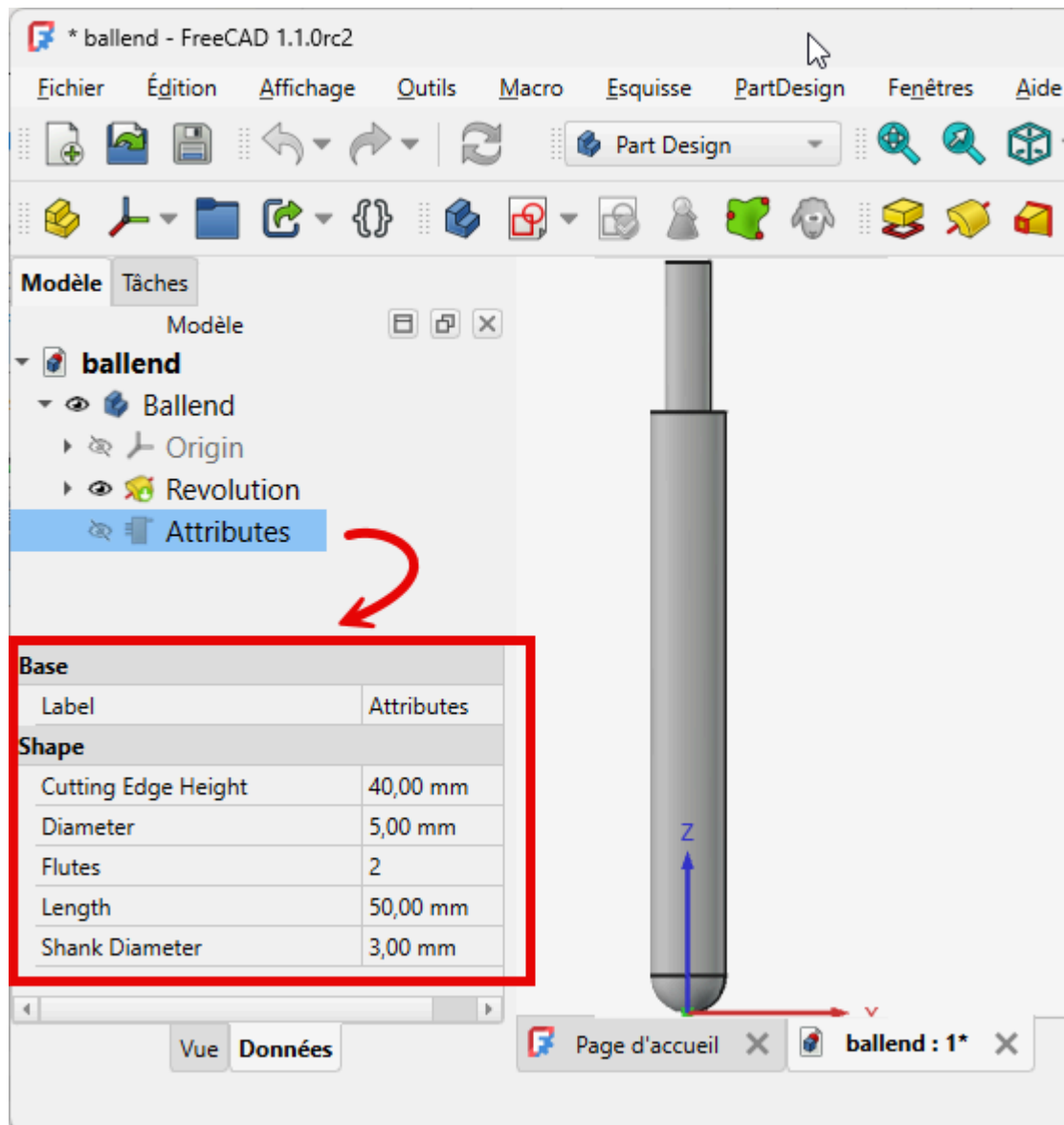
Une forme d'outil est définie par deux fichiers :

- un fichier FreeCAD contenant la modélisation 3D de l'outil ,
- un fichier SVG contenant le dessin de l'outil utilisé dans la fenêtre du choix de la forme ;



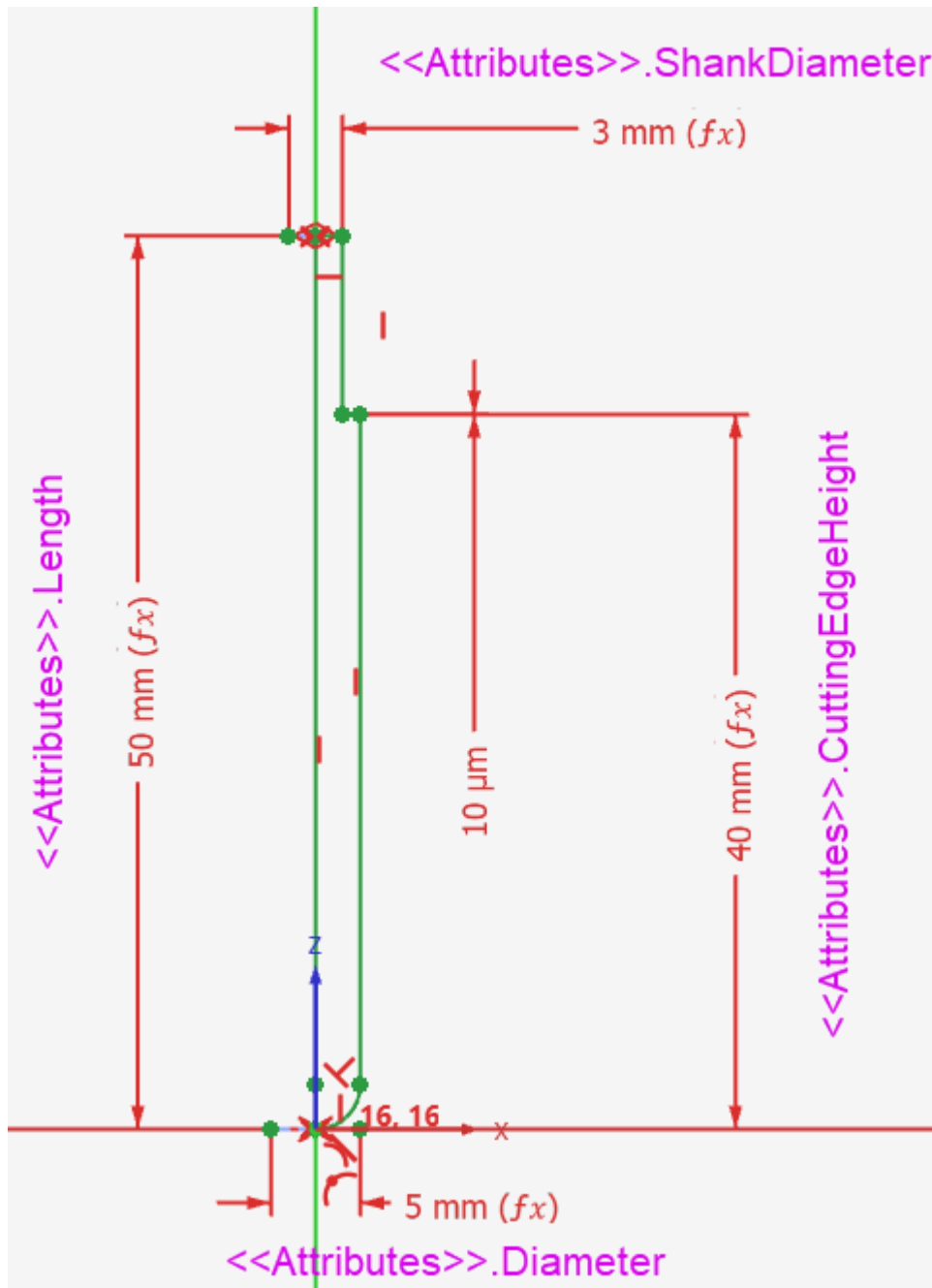
Fichier FreeCAD

Le fichier FreeCAD doit contenir un objet  **Attributes** listant les attributs de la forme de l'outil :



Fichier FreeCAD de la forme d'outil ballend

L'esquisse sera définie à partir de ces attributs :



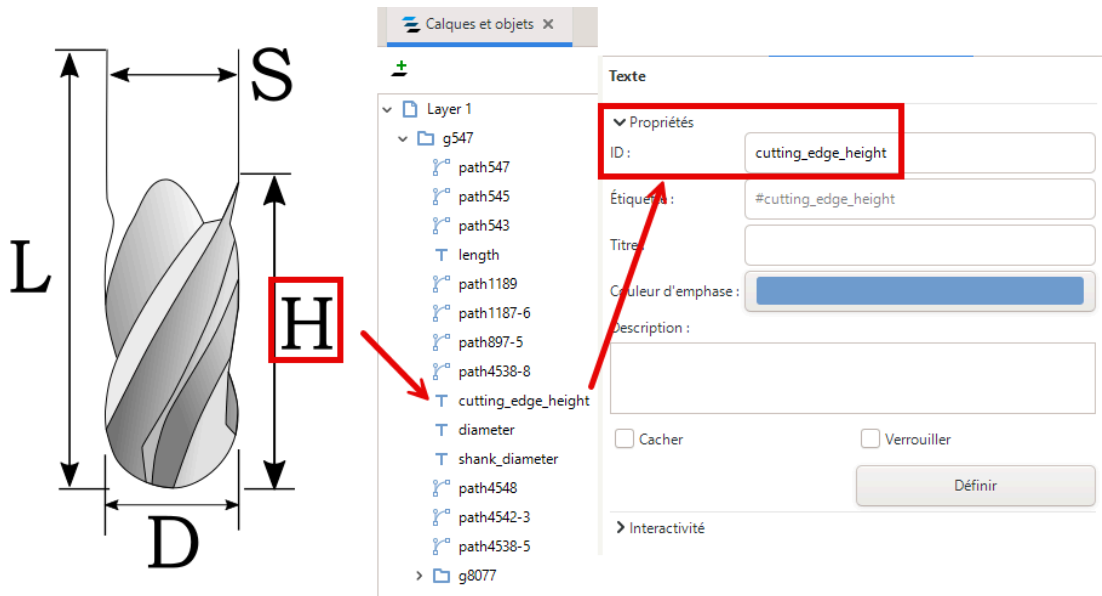
Esquisse de la forme d'outil ballend

Diagramme SVG

Le dessin SVG devra contenir un label (objet Texte) pour chaque attribut. L'ID de ce label devra correspondre au nom de l'attribut :

- un caractère `_` avant chaque lettre majuscule,
- tout en caractères minuscules,

Par exemple, *CuttingEdgeHeight* dans FreeCAD devient *cutting_edge_height* dans Inkscape.

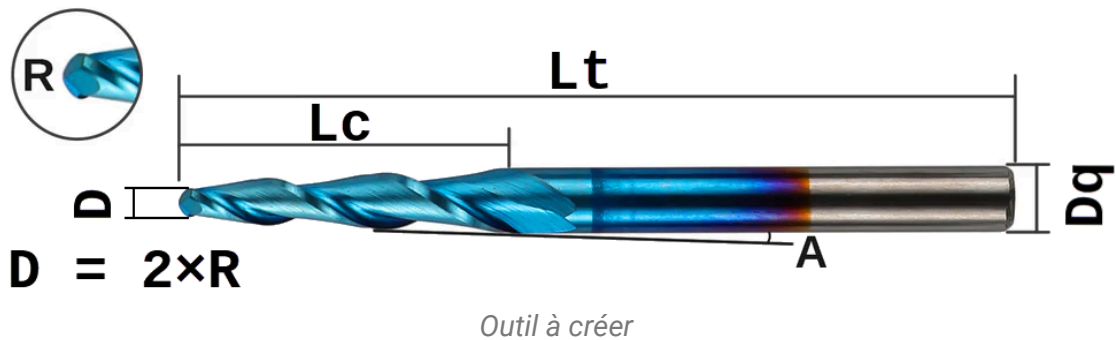


cf. <https://github.com/knipknap/better-tool-library/blob/main/docs/shape.md>

12.6.2. Créer une nouvelle forme d'outil

Objectifs



- Créer une nouvelle *forme d'outil* ^W :

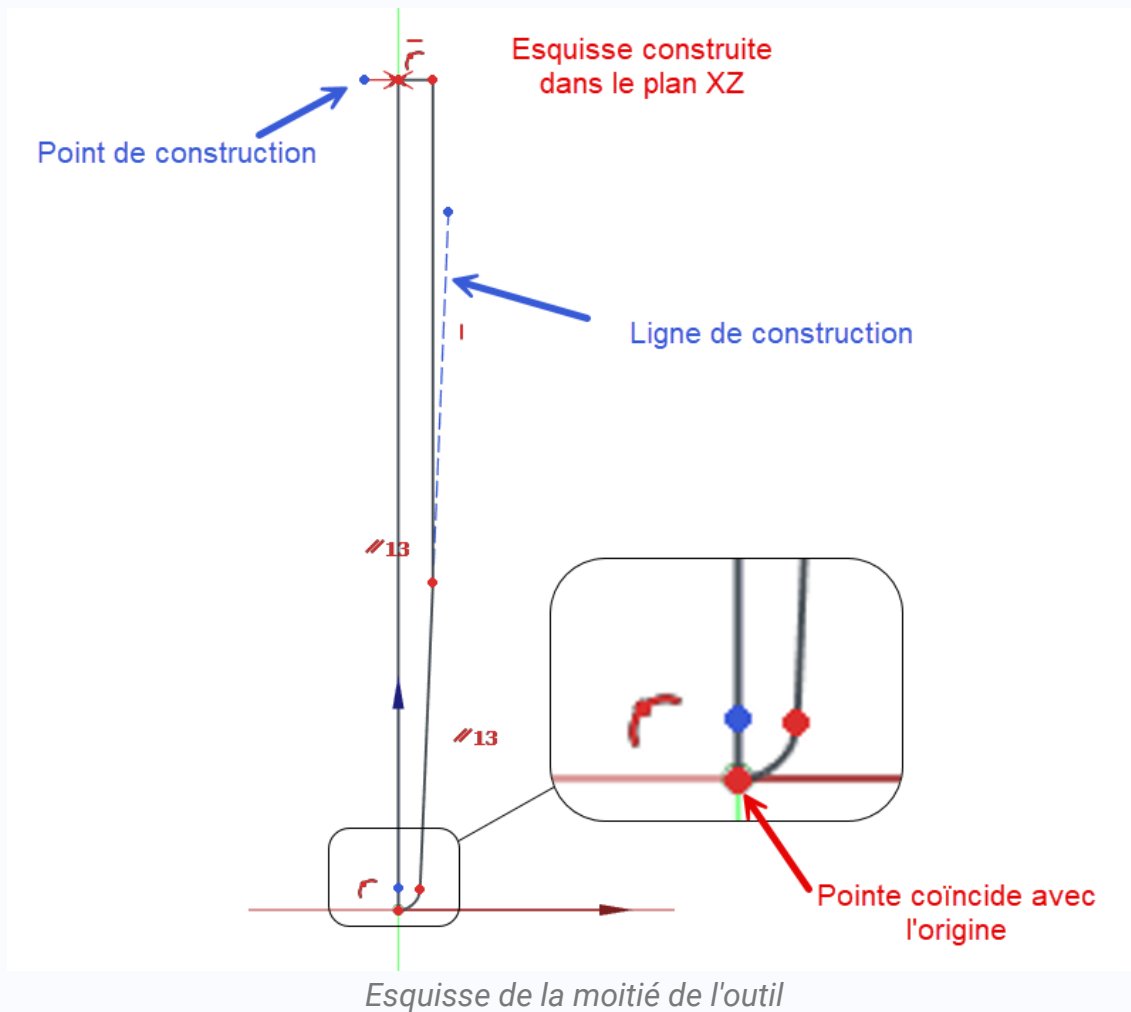






Tâches à réaliser

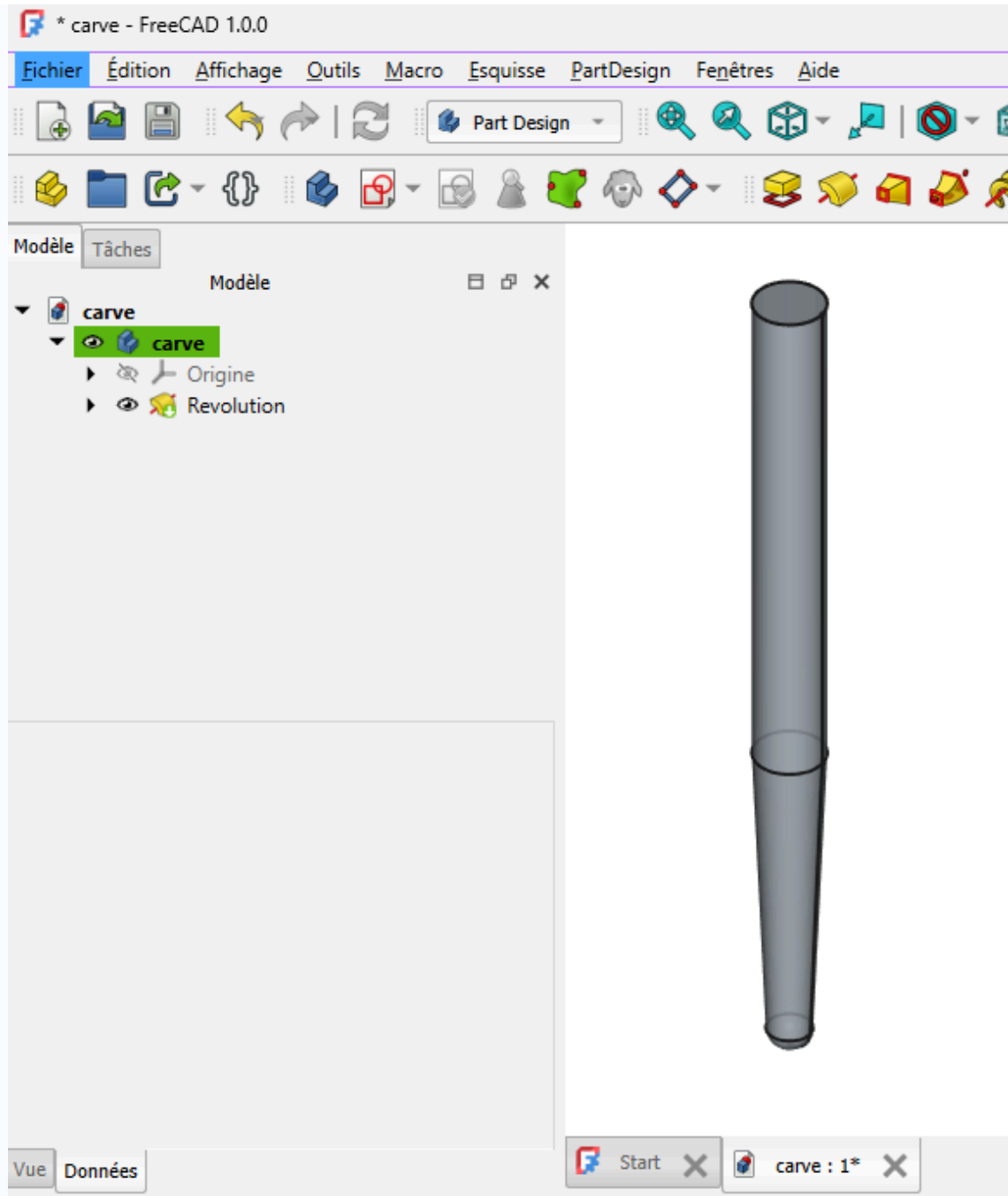
- Télécharger sur votre ordinateur le fichier [carve-initial.FCStd](#) et le fichier [carve_initial.svg](#) à l'aide d'un clic droit ;

- Ouvrir le fichier carve-initial.FCStd dans FreeCAD :

Le document FreeCAD contient un corps  carve et une esquisse  Sketch dans le plan XZ :

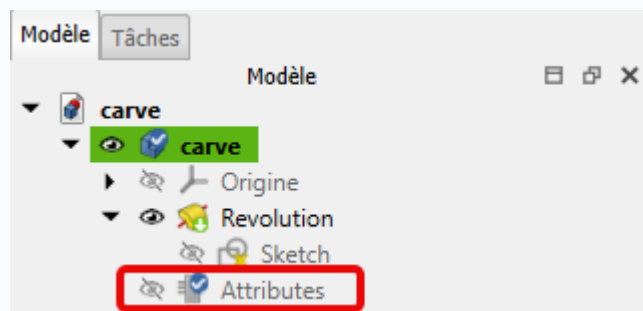


- Enregistrer sous le nom  carve dans le sous-dossier  Shape de votre dossier  CamAssets/Tools/ ;
- Si nécessaire ouvrir l'atelier Part Design  ;
- Créer une révolution  de l'esquisse autour de l'axe vertical de l'esquisse ;




Révolution de l'esquisse

- Ouvrir l'atelier CAM , sélectionner l'esquisse  Sketch dans la vue en arborescence et sélectionner la commande  CAM → Utilitaires → Conteneur d'attributs d'outil coupant de la barre de menus :

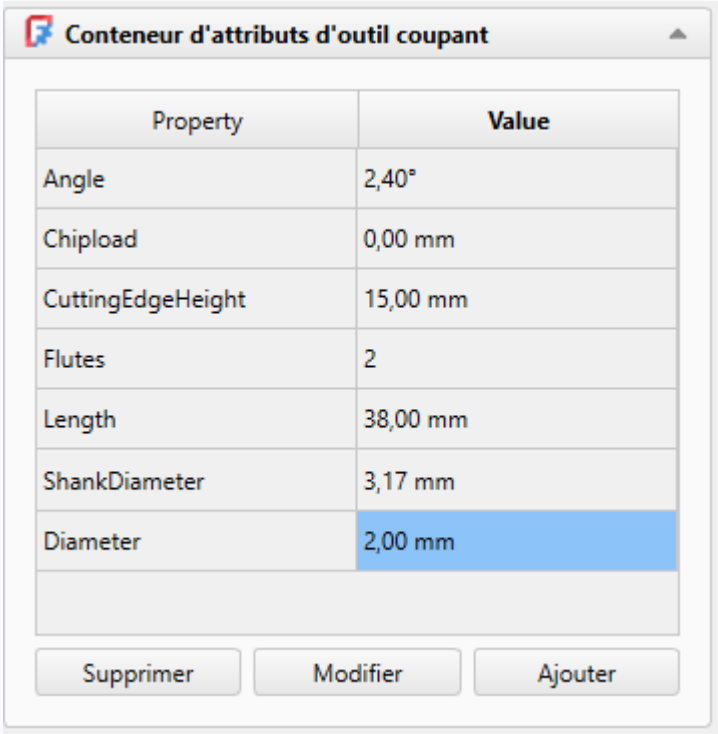


Ajout du conteneur d'attributs

- Double-cliquer sur  **Attributs** et ajouter les propriétés suivantes :

Nom	Groupe	Type	Énumérations	Info-bulle
Diameter	Shape	Length		2 fois le rayon de la pointe
CuttingEdgeHeight	Shape	Length		Longueur coupante
Length	Shape	Length		Longueur totale
ShankDiameter	Shape	Length		Diamètre de queue
Angle	Shape	Angle		Angle de la pointe
Chipload	Attribut	Length		Avance par dent
Flutes	Attribut	Integer		Nombre de dents



- Dans le volet Modèle compléter les valeurs d' **Attribute** :

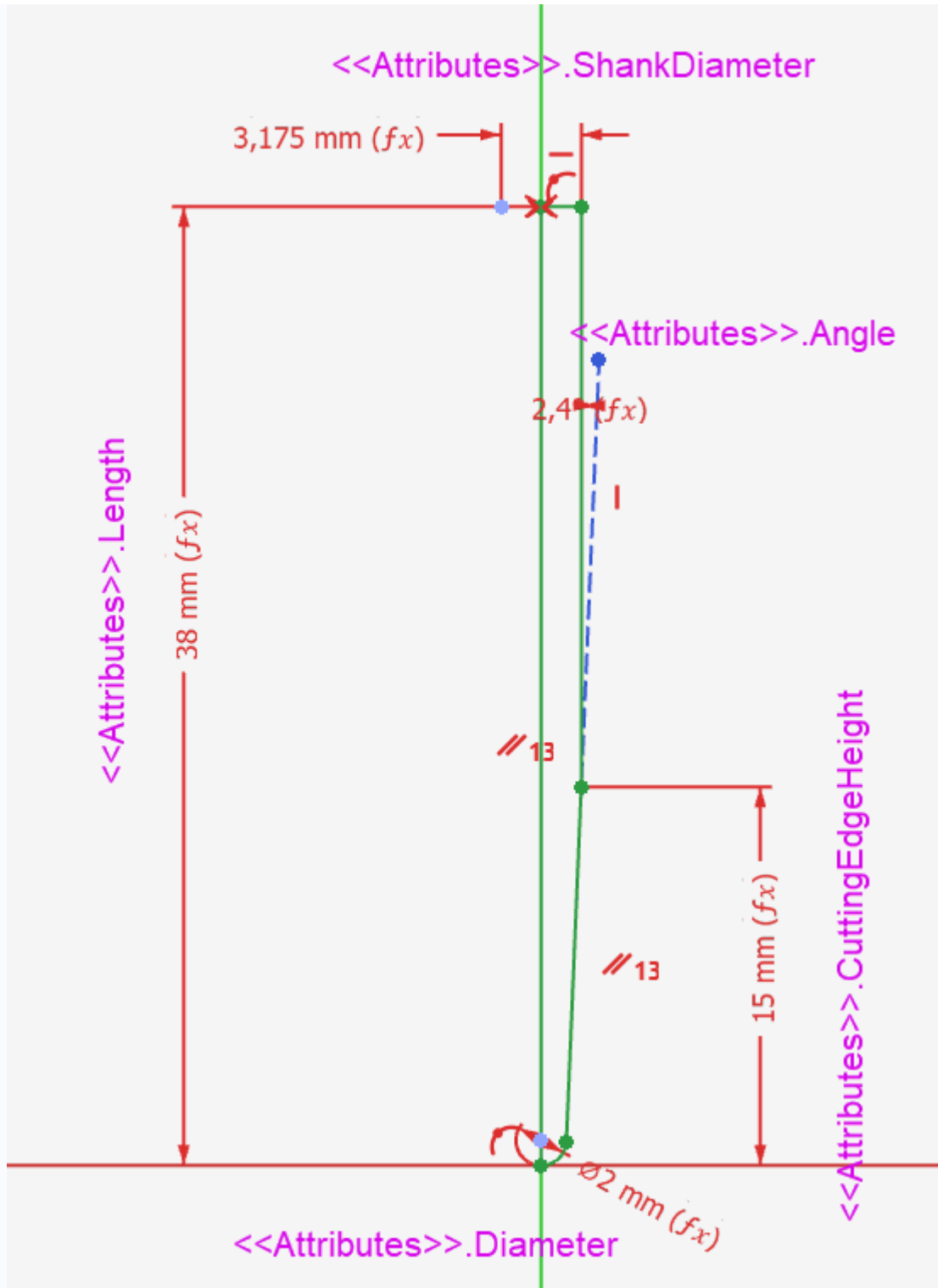


Property	Value
Angle	2,40°
Chipload	0,00 mm
CuttingEdgeHeight	15,00 mm
Flutes	2
Length	38,00 mm
ShankDiameter	3,17 mm
Diameter	2,00 mm



Supprimer Modifier Ajouter

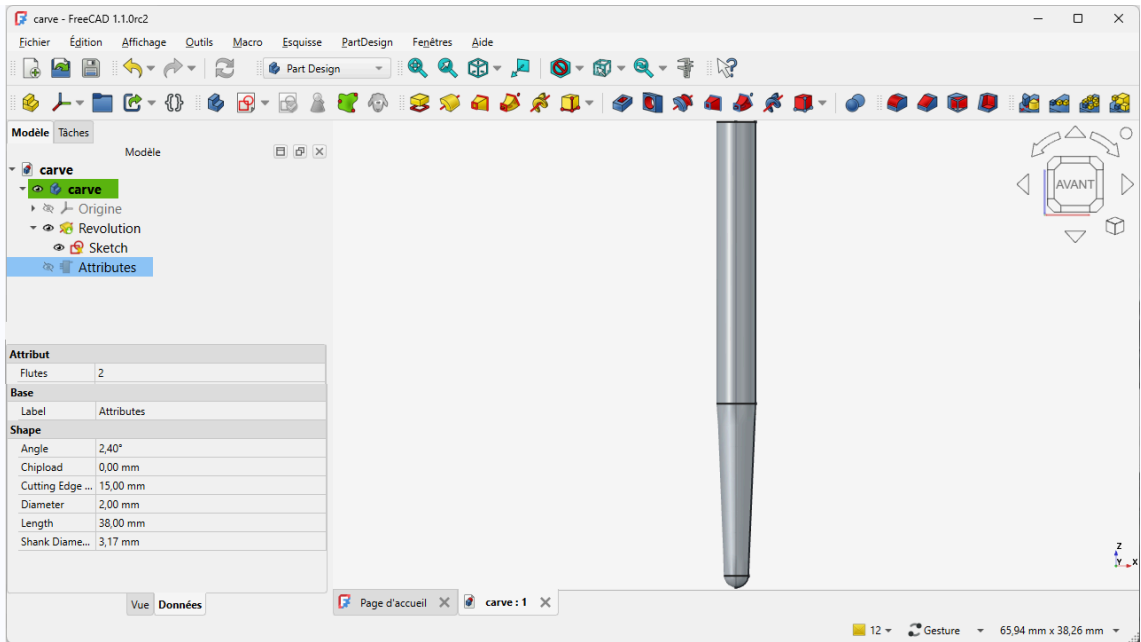
Valeur des attributs

- Revenir à l'atelier PartDesign  et contraindre les dimensions de l'esquisse  à partir des valeurs d'Attributs ;



Contraintes dimensionnelles

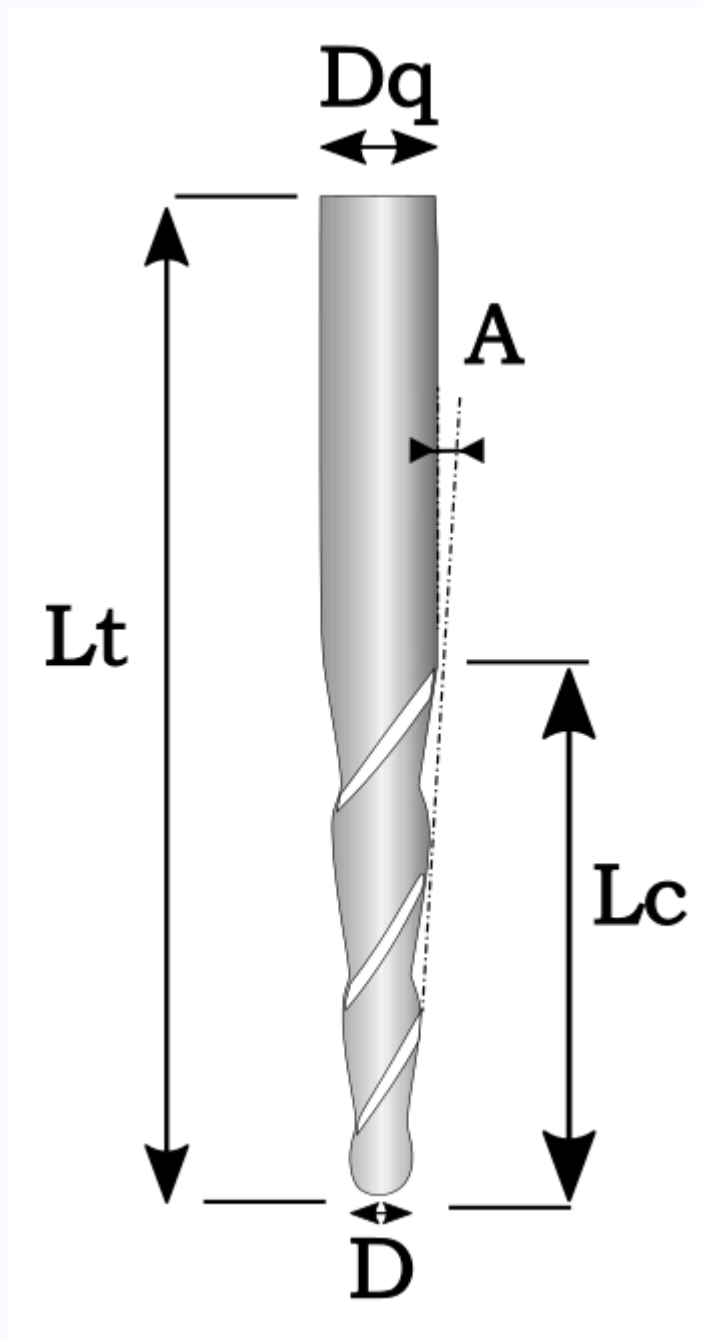
- Afficher la vue 3D avec une vue de face , cliquer sur la commande  et désactiver l'affichage des axes de coordonnées si nécessaire ;



- Enregistrer votre document **carve**

📋 Tâches à réaliser

- Ouvrir le fichier carve_initial.svg dans Inkscape ;






Le dessin contient 5 objets Texte :

- Modifier les ID de ces 5 objets en respectant les consignes du tableau ci-dessous :



Étiquette	ID
#text1	shank_diameter
#text2	length
#text3	angle
#text4	diameter

#text5

cutting_edge_height

- Enregistrer le dessin sous le nom  carve.svg dans le sous-dossier  Shape de votre dossier  CamAssets/Tools/ ;

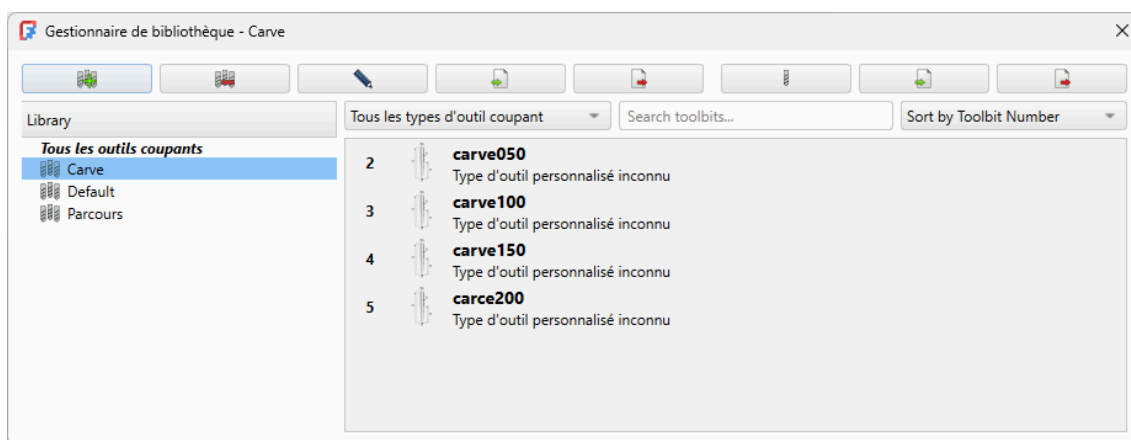
Modifier l'ID des objets Texte

- Sélectionner l'objet Texte et afficher les propriétés de l'objet à l'aide du raccourci clavier  ;
- Saisir l'ID ;
- Cliquer sur le bouton  pour enregistrer votre modification ;

Objectifs

- Créer une nouvelle bibliothèque CARVE d'outils en utilisant la forme carve que vous venez de créer ;

Désignation	D(mm)	Lc (mm)	A	Dq (mm)	Lt (mm)
carve050	0.5	15	5.2°	3.175	38
carve100	1	15	4.3°	3.175	38
carve150	1.5	15	3.4°	3.175	38
carve200	2	15	2.4°	3.175	38






12.6.3. Gravure simple

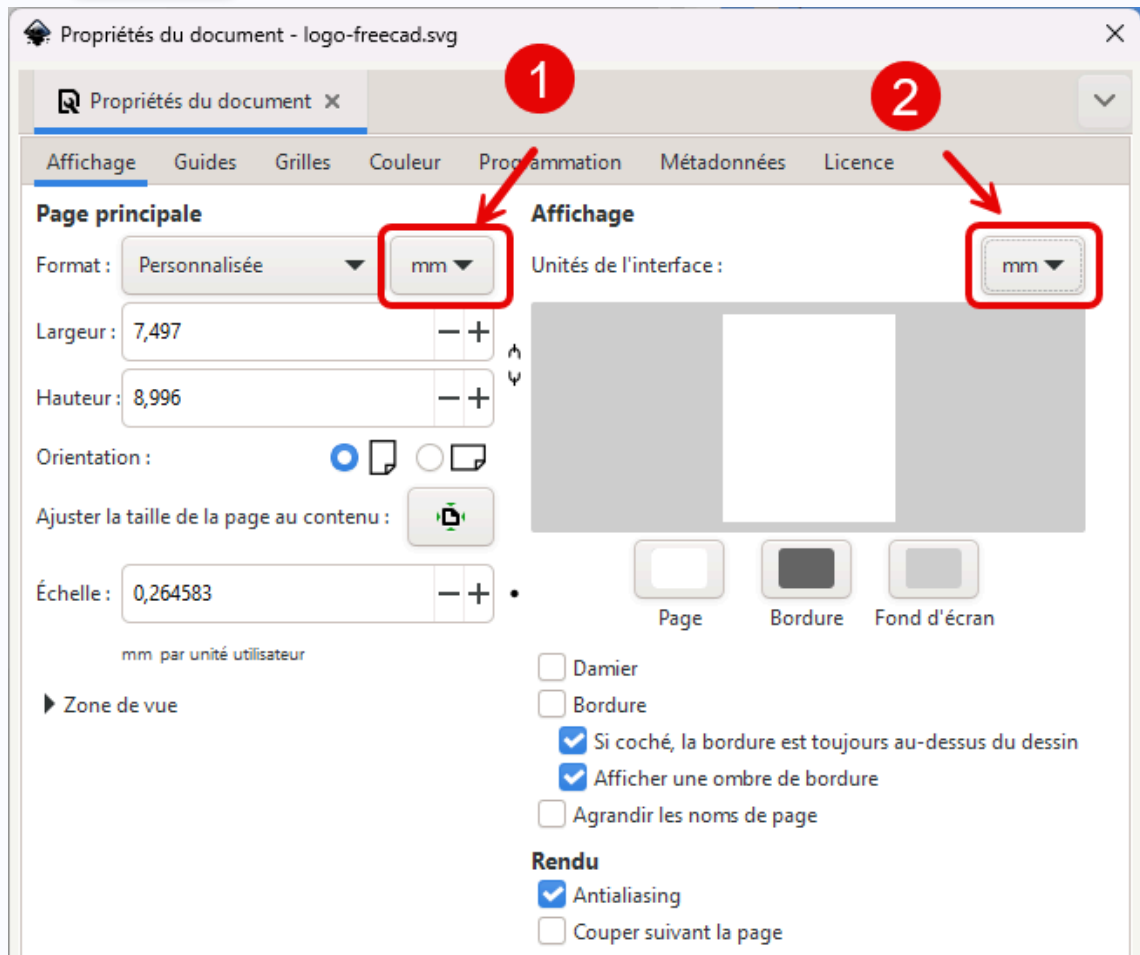
12.6.3.1. Travail préparatoire

Objectifs





- Modifier le logo de FreeCAD (taille, fond, contour, conversion en chemins) pour pouvoir le graver ;

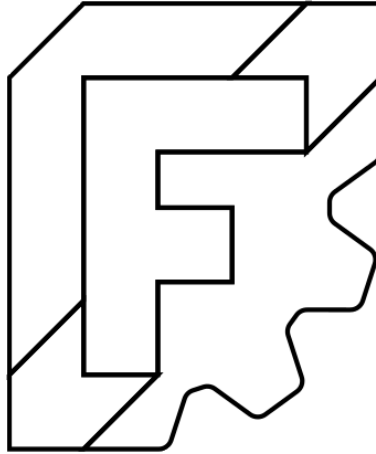
☰ Tâches à réaliser

- Télécharger l'image  à l'aide d'un clic droit sur votre ordinateur ;
- Ouvrir cette image dans Inkscape  ;
- Modifier les propriétés du document pour travailler en mm à l'aide du raccourci **Ctrl Maj D** (sous  **⌘ Maj D**) ;



Choix des unités en mm



- Sélectionner le contenu à l'aide d'un **Ctrl A** (sous  **⌘ A**) et fixer la largeur de l'ensemble à 80 mm en respectant les proportions ;
- Ajuster le taille du document à la sélection à l'aide du raccourci **Ctrl Maj R** (sous  **⌘ Maj R**) ;
- Supprimer le fond et ajouter un contour noir de 1mm ;
- Dégroupier le document à l'aide du raccourci **Maj Ctrl G** (sous  **⌘ Maj G**) pour transformer le groupe en 4 chemins séparés ;
- Enregistrer le document sous le nom  importLogoFreeCAD.svg ;

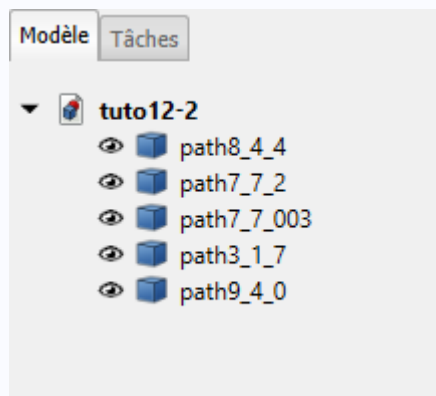


- Quitter Inkscape ;



12.6.3.2. Créer la gravure




Tâche à réaliser

- Créer un nouveau document  tuto12-2 dans FreeCAD ;
- Importer le fichier  importLogoFreeCAD.svg en sélectionnant l'option SVG as geometry ;




Import du fichier svg

- Dans l'atelier Draft , sélectionner les 5 chemins et créer une esquisse à l'aide de la commande  ;
- Masquer les 5 chemins ;

- Dans l'atelier CAM  et créer une nouvelle tâche  :
 - choisir l'esquisse  Sketch comme modèle,
 - définir le stock :

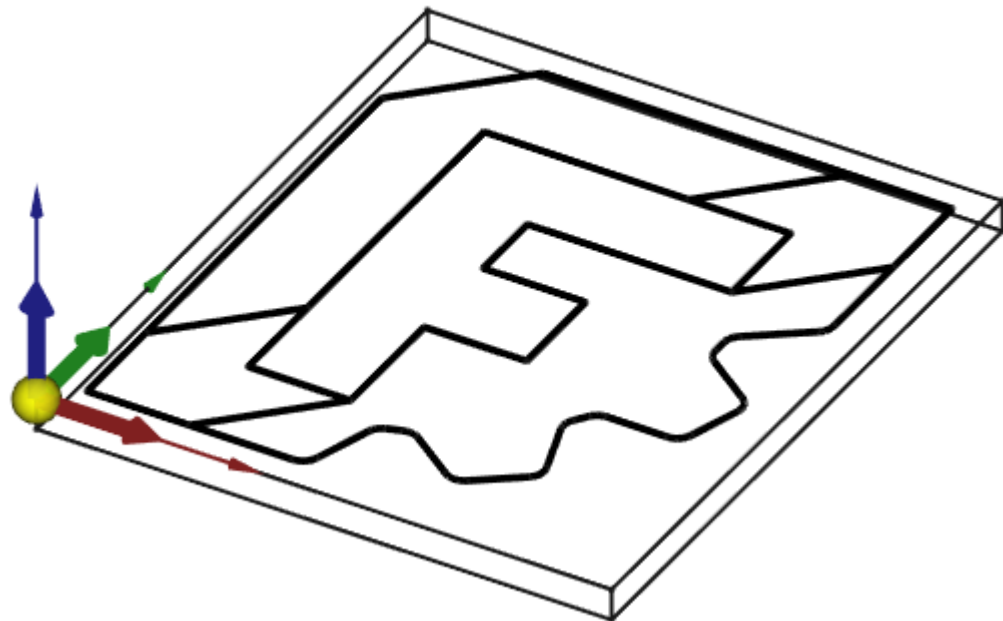
Brut



Extension de la boîte englobante du modèle Rafraîchir 

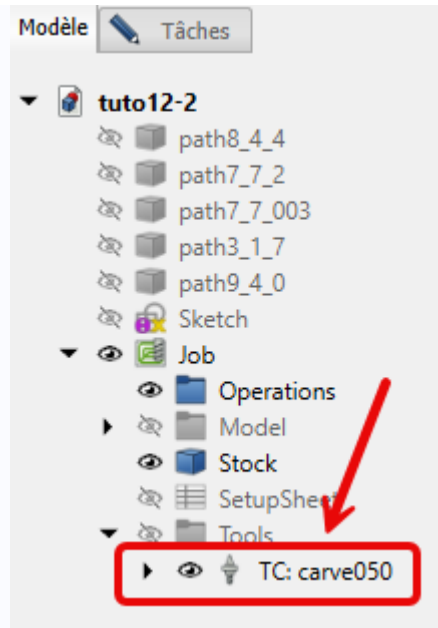
Extension en X	5,00 <input checked="" type="checkbox"/>	5,00 mm <input checked="" type="checkbox"/>
Extension en Y	5,00 mm <input checked="" type="checkbox"/>	5,00 mm <input checked="" type="checkbox"/>
Extension en Z	5,00 mm <input checked="" type="checkbox"/>	0,00 mm <input checked="" type="checkbox"/>

Définition du stock

- Définir l'origine :

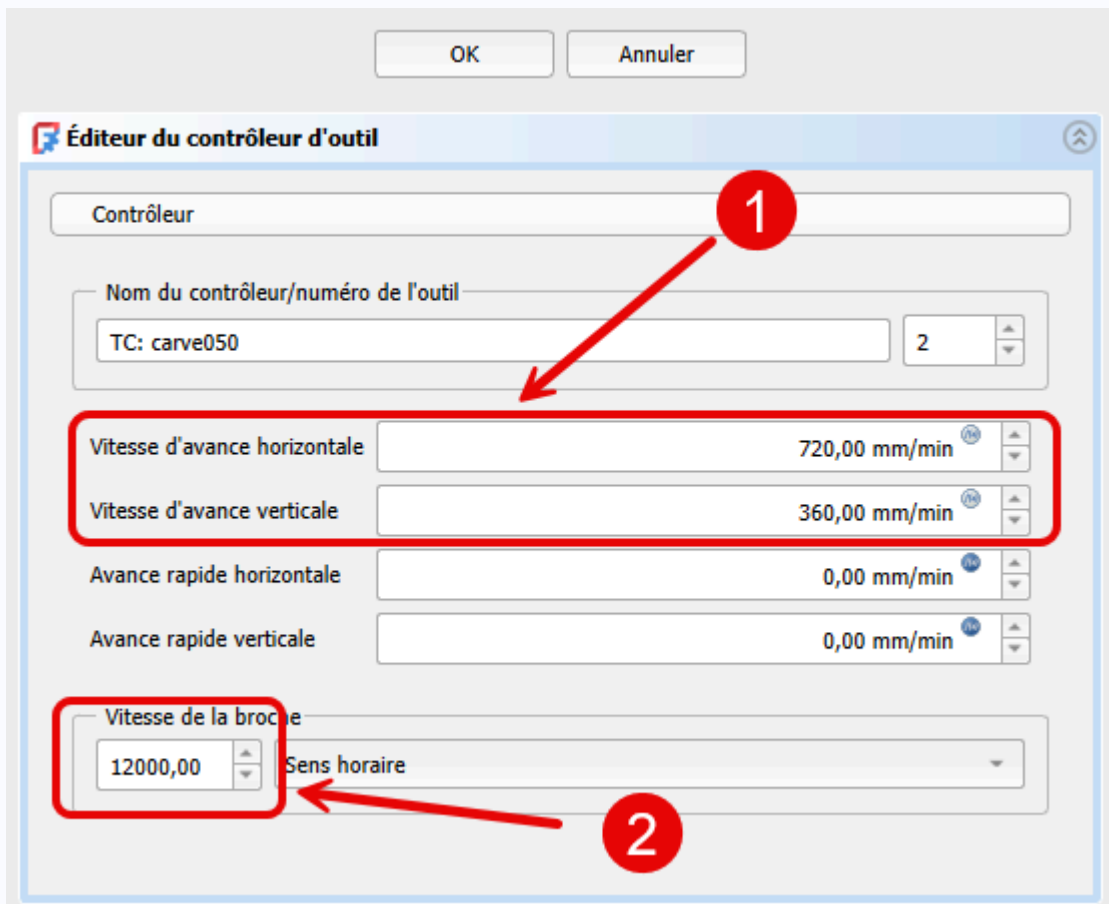
*Choix de l'origine*

- Ajouter l'outil  carve050 créé précédemment comme outil par défaut et supprimer l'outil  TC Default Tool ;







Choix de l'outil

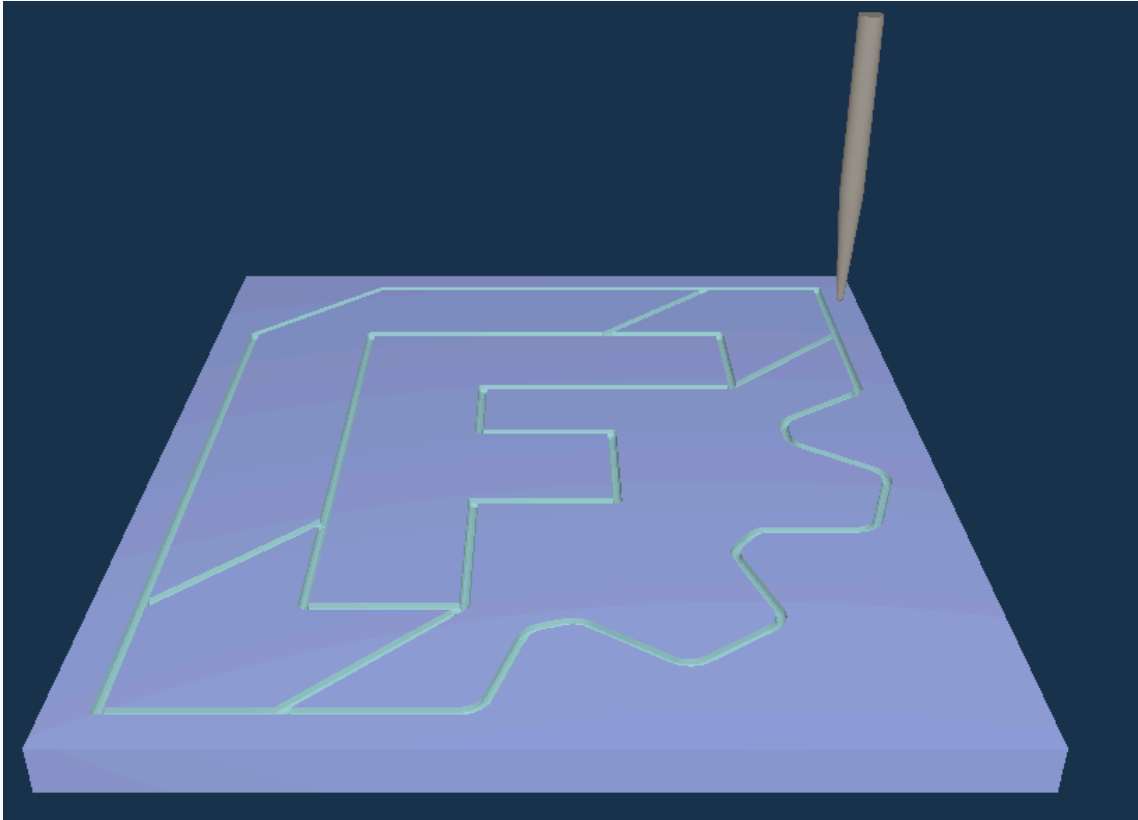
- Fixer les propriétés mécaniques de l'outil ;



Saisie des propriétés mécaniques de l'outil

- Modifier l'élément  SetupSheet pour fixer le pas de descente à  OpToolDiameter/2 et modifier si nécessaire les hauteurs de dégagement, de sécurité et les vitesses d'avance rapide ;
- Sélectionner le modèle  Model-Sketch et sélectionner la commande Gravure  ;

- Simuler le parcours  ;



Simulation du parcours

- Sélectionner la tâche  dans l'onglet **Modèle** et cliquer sur le bouton **Post-Traiter** ^W  pour créer le fichier G-Code ;

Positionner la gravure

- Les extensions en X et en Y du stock permettent de positionner horizontalement la gravure ;
- Par défaut, FreeCAD utilise l'attribut Diameter de l'outil pour définir la profondeur de la gravure ;

12.6.4. Gravure en V

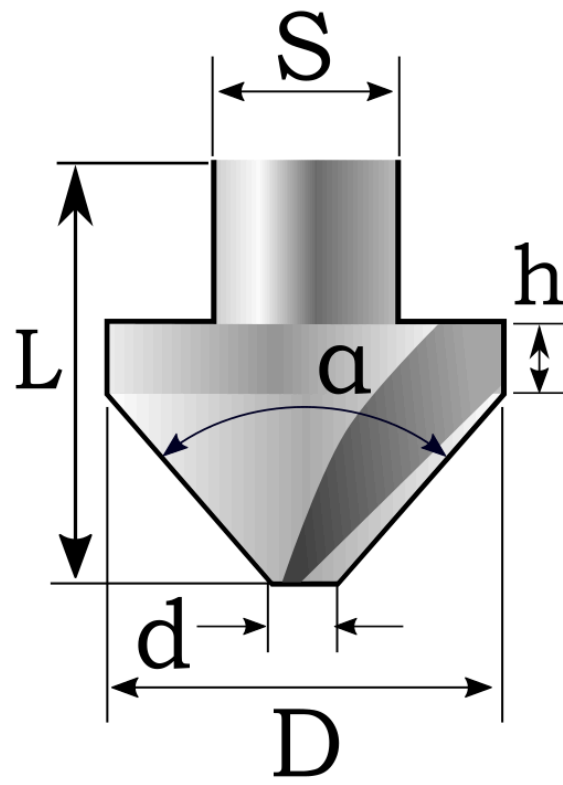
12.6.4.1. Créer un outil vbit

Objectifs

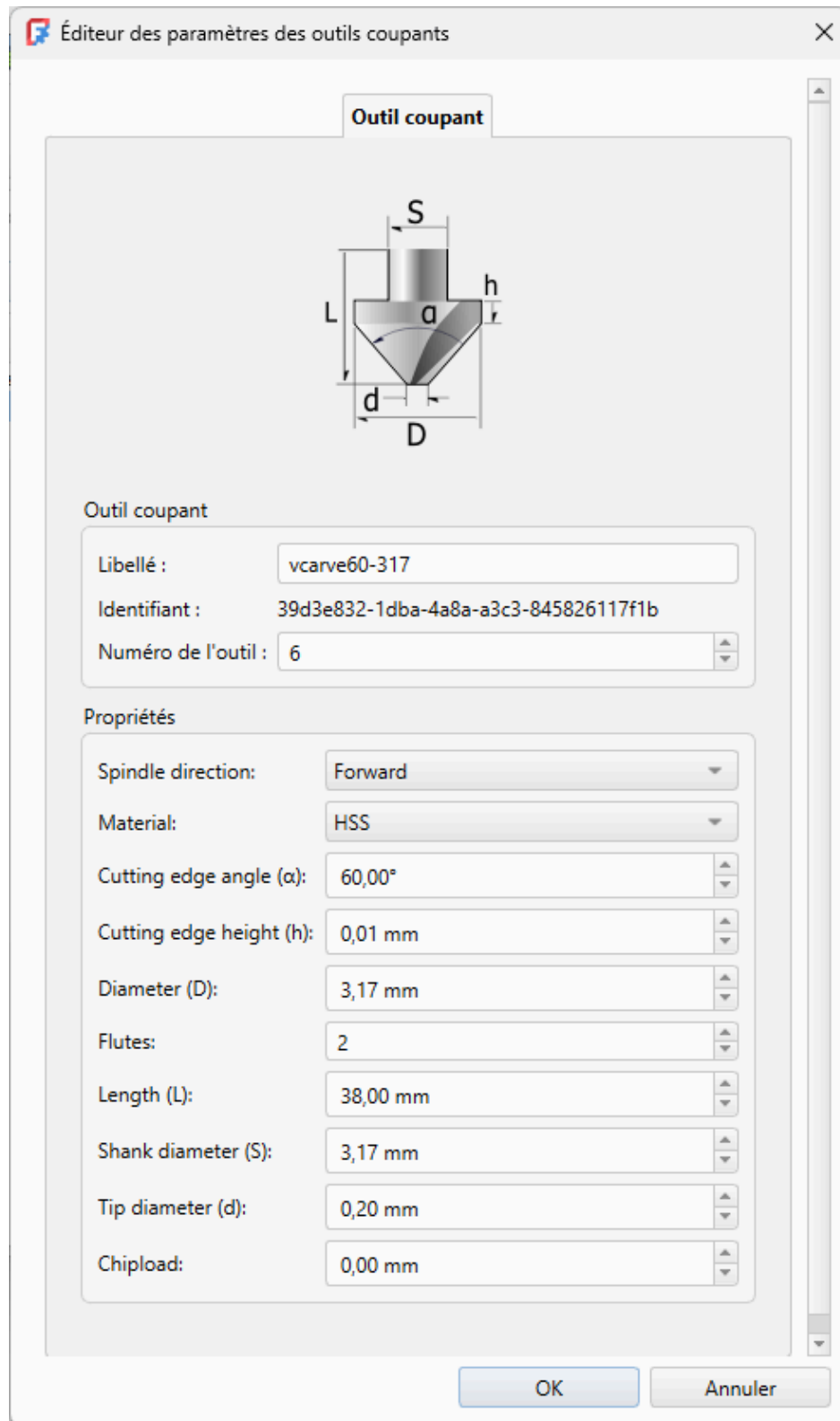
- Créer un nouvel outil vbit à partir d'une forme v-bit fournie par FreeCAD ;

Tâches à réaliser (suite)

- Ouvrir FreeCAD et créer un nouveau document  tuto12-3 ;
- Ouvrir le gestionnaire des outils coupants  de l'atelier CAM , créer une nouvelle bibliothèque  vcarve et ajouter un nouvel outil  vcarve60-317 à cette bibliothèque à partir de la forme v-bit ;



- Compléter les des dimensions comme ci-dessous :



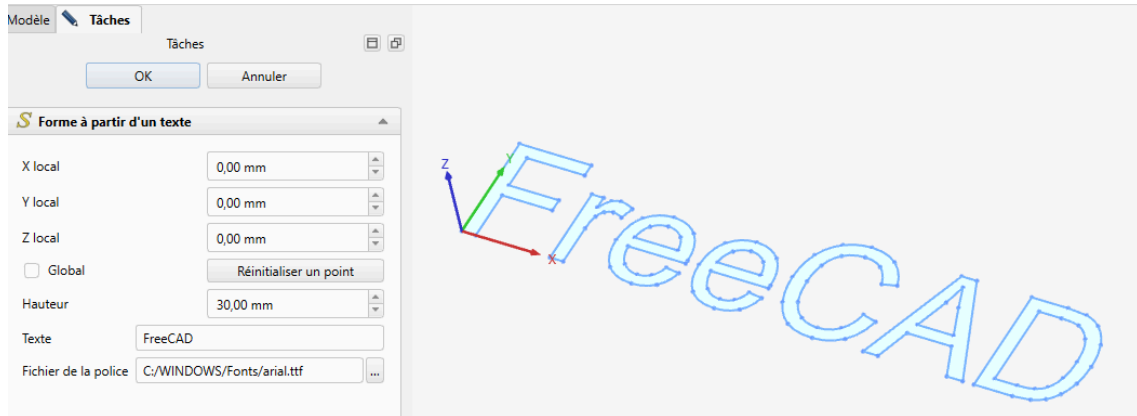
CutterEdgeAngle : 60°, CuttingEdgeLenght : 0.01 mm, Diameter : 3.175 mm, Length : 38 mm, ShankDiameter : 3.175 mm, TipDiameter : 0.2 mm ;

- Enregistrer votre document et redémarrer FreeCAD afin que la nouvelle bibliothèque vcarve apparaisse dans le gestionnaire des outils coupants ;




12.6.4.2. Gravure en V

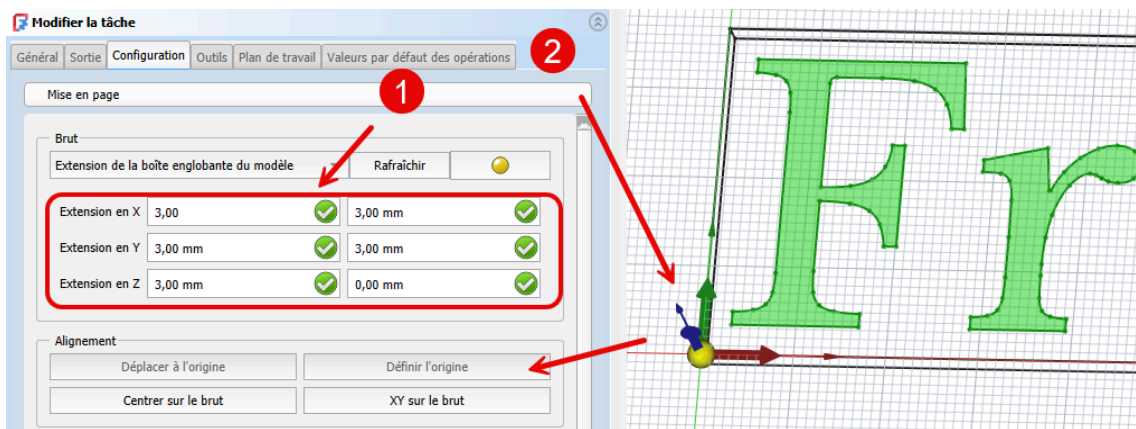
Taches à réaliser

- Sélectionner l'atelier  Draft  ;
- Sélectionner la commande Forme à partir d'un texte  et compléter le formulaire comme ci-dessous :



Shape String

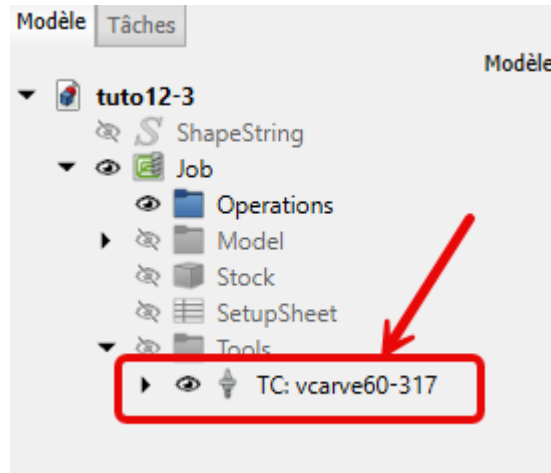
- Sélectionner l'atelier CAM  et créer une tâche  ;
 - choisir l'esquisse  Shapestring comme modèle,
 - définir le stock et l'origine :



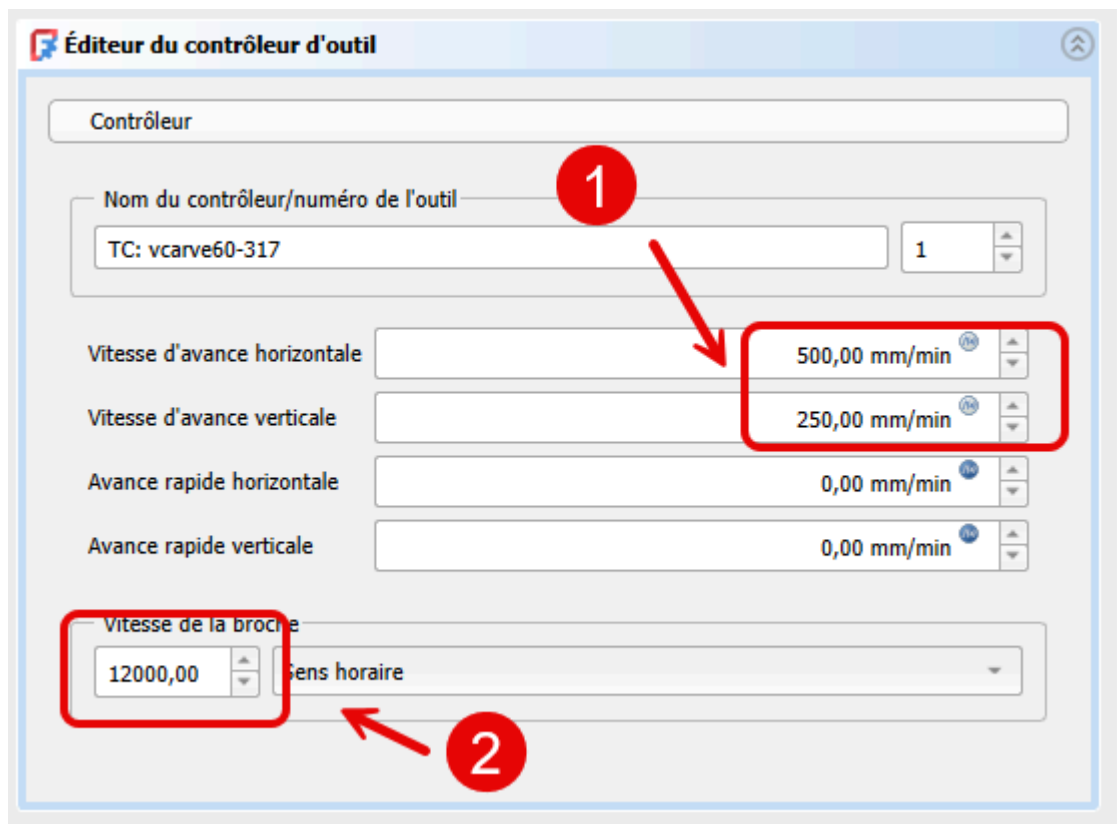
Définition du stock et de l'origine








- Ajouter l'outil  vcarve60-317 créé précédemment comme outil par défaut ;

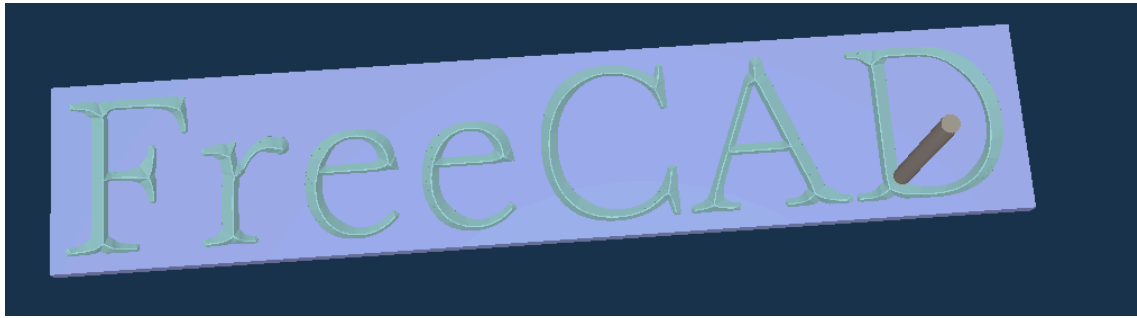


- Fixer les propriétés mécaniques de l'outil ;





Propriétés mécaniques de l'outil

- Modifier l'élément  SetupSheet pour fixer le pas de descente à  $OpToolDiameter/2$ et modifier si nécessaire les hauteurs de dégagement, de sécurité et les vitesses d'avance rapide ;
- Sélectionner le modèle  Model-ShapeString et sélectionner la commande Gravure en V  ;
- Simuler le parcours Cliquer  ;



Gravure en V

- Sélectionner la tâche  dans l'onglet **Modèle** et cliquer sur le bouton **Post-Traiter** ^W  pour créer le fichier G-Code ;

Positionner la gravure

- Les extensions en X et en Y du stock permettent de positionner horizontalement la gravure ;
- Par défaut, FreeCAD utilise l'extension en Z du dessous pour définir la profondeur de la gravure ;

13. Documentation

Wiki FreeCAD

Accueil	Part Design	Sketcher	Draft
Spreadsheet	CAM	Mesh	TechDraw

Sites Internet

- [Wiki FreeCAD](#) ;
- [Forum FreeCAD](#) - [Forum français](#) ;
- [Chaîne YouTube de tutoriels _jpWillm](#) ;
- [Manuel FreeCAD](#) ;
- [Comment utiliser FreeCAD](#) ;
- [Tutoriel Sketcher Christoph Blauer](#) cf [Forum FreeCAD](#) ;
- [FreeCAD for Makers \(tour d'horizon en anglais\)](#) ;

Tutoriels


- https://wiki.freecad.org/Creating_a_simple_part_with_PartDesign/fr
- https://wiki.freecad.org/Basic_Part_Design_Tutorial/fr
- https://wiki.freecad.org/Toothbrush_Head_Stand/fr
- <https://grabcad.com/quentin.plisson-1/tutorials> ;

13.1. Raccourcis Clavier












13.1.1. Vues

Touches du clavier numérique

<p>4</p> <p>Vue arrière</p> 	<p>5</p> <p>Vue de dessous</p> 	<p>6</p> <p>Vue de gauche</p> 
<p>1</p> <p>Vue avant</p> 	<p>2</p> <p>Vue de dessus</p> 	<p>3</p> <p>Vue de droite</p> 




0 Vue isométrique 		
---	--	--

V puis touches du clavier alphanumérique

V puis 1* Comme actuellement 	V puis 2* Points 	V puis 3* Filaire 	V puis 4* ligne cachée 	V puis 5* Pas d'ombrage 	V puis 6* Ombré 	V puis 7* Filaire ombré 
V puis O* Vue orthographique 	V puis P* Vue en perspective 	V puis F* Afficher tout 	V puis S* Afficher la sélection 	V puis U* Vue Undocked 	V puis D* Vue Docked 	
* ne pas presser les deux touches en même temps						




13.1.2. Affichage

Réglémentaire

Affichage	 & 	
Sélection par boîte	Maj B	Maj B
Plein écran	Alt F11	Opt F11
Zoom sur la boîte de sélection	Ctrl B	Cmd B
Rotation gauche	Maj ←	Maj ←
Rotation droite	Maj →	Maj →
Zoom +	Ctrl +	Cmd +
Zoom -	Ctrl -	Cmd -




13.1.3. Menu fichier

Réglémentaire

Fichier	 & 	
Nouveau	Ctrl N	Cmd N
Ouvrir	Ctrl O	Cmd O
Sauvegarder	Ctrl S	Cmd S
Fermer	Alt F4	Cmd W
Imprimer	Ctrl P	Cmd P

13.1.4. Menu édition

Réglementaire

Édition	 & 	
Copier	Ctrl C	Cmd C
Coller	Ctrl V	Cmd V
Couper	Ctrl X	Cmd X
Supprimer	Del	Backspace
Annuler	Ctrl Z	Cmd Z
Rétablir	Ctrl Y	Maj Cmd Z
Recalculer (Actualiser)	F5	Cmd R

13.2. Raccourcis Atelier Sketcher

13.2.1. Raccourcis généraux

Raccourci	Action
Esc	Annuler l'outil / désélectionner / quitter l'esquisse
Ctrl + Z	Annuler (Undo)
Ctrl + Y	Rétablir (Redo)
Suppr	Supprimer la géométrie ou la contrainte sélectionnée
Ctrl + A	Tout sélectionner
Ctrl + C / Ctrl + V	Copier / Coller
Ctrl + X	Couper
Barre espace	Afficher / masquer un élément sélectionné

13.2.2. Outils de dessin (géométrie)

Raccourci	Outil
L	Ligne
P	Polyligne
R	Rectangle
C	Cercle
A	Arc (centre + extrémités)
S	Fente (slot)
E	Ellipse

O	Cercle par 3 points
B	B-spline
G	Basculer géométrie normale ↔ construction

13.2.3. Contraintes géométriques

Raccourci	Contrainte
H	Horizontale
V	Verticale
T	Tangente
C	Concentrique
P	Parallèle
O	Perpendiculaire
E	Égale
S	Symétrie
L	Coïncidence
F	Fixe

13.2.4. Contraintes dimensionnelles

Raccourci	Contrainte
D	Distance
R	Rayon
∅	Diamètre (<i>selon clavier</i>)
A	Angle
Shift + H	Distance horizontale
Shift + V	Distance verticale