



Parcours guidé FreeCAD

Tutoriel : débuter sur FreeCAD 1.1 - 18/10/2025 -



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

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

Réalisé avec Scenari Dokiel  ;

Licence -



Table des matières

1. Découvrir FreeCAD	9
1.1. Présentation	9
1.2. Installation	10
1.3. Interface	12
1.3.1. Ouvrir un document FCStd	12
1.3.2. Choisir le style de navigation	16
1.3.3. Identifier les principaux composants de l'interface	18
1.3.4. Régler certaines préférences	21
1.3.4.1. Rendu de l'affichage	21
1.3.4.2. Simplifier la liste des ateliers	22
1.3.4.3. Atelier Sketcher 	23
1.3.4.4. Valider vos préférences	25
1.3.5. Ré-agencer les barres d'outils	27
1.4. Modélisation paramétrique	28
2. Explorer Sketcher 	33
2.1. Interface de Sketcher	33
2.1.1. Géométrie et contraintes	34
2.1.2. Contrainte dimensionnelle 	36
2.2. Concepts spécifiques	38
2.2.1. Degrés de liberté	38
2.2.2. Contraintes auto.	40
2.2.2.1. Contraintes auto. désactivées	43
2.2.2.2. Contraintes auto. activées	44
2.2.2.3. Conclusion	45
2.2.3. Contraintes redondantes	46
2.2.4. Fermeture des esquisses	49
2.3. TP 2-1 	51
2.3.1.  Capture vidéo	56
2.4. TP 2-2 	56
2.4.1.  Capture vidéo	63
2.5. Géométries de construction	63
2.5.1.  Capture vidéo	71
2.6. TP2-4 	71
2.6.1.  Capture Vidéo	74

3. Modélisation paramétrique	75
3.1. TP 3-1 	75
3.1.1. 1 ^{ère} esquisse & fonction paramétrique	76
3.1.2. 2 ^{ème} esquisse & fonction paramétrique	77
3.1.3. 3 ^{ème} esquisse & fonction paramétrique	80
3.1.4. Modification du modèle	83
3.1.5.  Capture vidéo	84
3.2. Géométries externes	84
3.3. TP 3-2 	89
3.3.1. 1 ^{ère} esquisse & fonction paramétrique	89
3.3.2. 2 ^{nde} esquisse & fonction paramétrique	91
3.3.3.  Capture vidéo	97
3.4. Plans de référence 	97
3.4.1. Ancre : tangent à une face	99
3.4.2. Ancre : inertie 2-3	102
3.4.3. Ancre : tangent à un cylindre	105
3.4.4. Ancre : concentrique	107
3.5. TP 3-3 	110
3.5.1. 1 ^{ère} esquisse & protrusion	112
3.5.2. Plan de référence	113
3.5.3. 2 ^{ème} esquisse et protrusion	115
3.5.4. 3 ^{ème} esquisse & cavité	118
3.5.5.  Capture vidéo	119
3.6. TP 3-4 	119
3.6.1. 1 ^{er} cylindre	121
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	143
4.2. Balayage additif 	144
4.2.1. Création du balayage	146

4.2.2. Création de la 1 ^{ère} platine	149
4.2.3. Création de la 2 ^{nde} platine	150
4.2.4.  Capture vidéo	153
4.3. Hélice additive 	153
4.3.1. Jeu de variables	154
4.3.2. Création du couvercle	157
4.3.3. Création de l'hélice	158
4.3.4. Biseautage de l'hélice	160
5. Transformations	166
5.1. Symétrie 	166
5.1.1. Création de la base	167
5.1.2. Création de la paroi verticale	170
5.1.3. 1er trou dans la paroi verticale	174
5.1.4. 2 ^{ème} trou dans la paroi verticale	176
5.1.5.  Capture vidéo	178
5.2. Répétition circulaire 	178
5.2.1. Trous sur la grande platine	179
5.2.2. Trous sur la petite platine	181
5.2.3.  Capture vidéo	183
6. Finitions	185
6.1. Congé 	185
6.2. Évidement 	186
6.2.1. Fond	187
6.2.2. Épaulement intérieur	190
6.2.3. 1 ^{er} cylindre de fixation	193
6.2.4. Autres cylindres de fixation	194
6.2.5. Congés	197
6.2.6. Vérification d'intégrité du modèle	200
6.2.7.  Capture vidéo	200
7. Corps multiples	201
7.1. Sous-forme liée	201
7.2. Emboîtement	203
7.2.1. Sous-forme liée	204
7.2.2. Partie supérieure	206
7.2.3. Partie inférieure	208
7.2.4. Perçages	209
7.2.5. Vérification de l'intégrité	211
7.2.6.  Capture vidéo	211

7.3. Opérateur booléen	212
7.3.1. Travail préparatoire	213
7.3.2. Création du couvercle	214
7.3.2.1. Capture vidéo	218
7.3.3. Création du chapeau	218
7.3.3.1. Capture vidéo	220
7.3.4. Création des ailes	220
7.3.4.1. Capture vidéo	222
7.3.5. Fusion du chapeau et du couvercle	222
7.3.5.1. Capture vidéo	223
8. Spreadsheet	224
8.1. TP 8-1	225
8.1.1. Création de la feuille de calcul	226
8.1.2. 1 ^{ère} esquisse & révolution	229
8.1.3. Créations des Ergots	232
8.1.4. Récupérer une dimension	234
8.1.5. Modification du modèle	236
8.1.6. Capture vidéo	237
9. Atelier Draft	238
9.1. Forme à partir d'un texte	239
9.1.1. Créer une esquisse contenant une forme à partir de texte	240
9.1.2. Créer la protrusion	242
9.1.3. Capture vidéo	243
9.2. Import Inkscape	243
9.2.1. Présentation d'Inkscape	244
9.2.2. Travail préliminaire	245
9.2.3. Texte créatif	247
9.2.3.1. Préparation Inkscape	247
9.2.3.2. Importation dans FreeCAD	250
9.2.4. Récupérer un logo	253
9.2.4.1. Préparation Inkscape	253
9.2.4.2. Importation dans FreeCAD	256
9.2.5. Capture vidéo	261
9.3. Dessiner dans Draft	261
9.3.1. Création de l'esquisse	263
9.3.2. Attacher l'esquisse	271
9.3.3. Créer les cavités	274

9.3.4. Capture vidéo	275
9.4. Équation paramétrique	275
9.4.1. Installer la macro	276
9.4.2. Exécuter la macro	276
9.4.3. Transformer la courbe en esquisse	277
9.4.4. Fermer l'esquisse et créer la protrusion	277
9.4.5. Capture vidéo	279
10. Atelier Mesh	280
10.1. TP 10-1	281
11. Atelier TechDraw	282
11.1. Configuration de l'atelier	283
11.2. TP 11-1	285
11.2.1. Groupe de projections	285
11.2.2. Vue en coupe	287
11.2.3. Vue oblique	289
11.2.4. Cotes & annotations	290
11.2.4.1. Insertion de la direction pour la vue oblique	294
11.2.5. Vue 3D	299
11.3. TP 11-2	300
11.3.1. Vue principale & coupe	300
11.3.2. Cotes	302
11.3.3. Vue détaillée	304
11.3.3.1. Insérer une vue détaillée	306
11.3.4. Vue 3D	308
12. Atelier CAM	310
12.1. Présentation de l'atelier	310
12.2. Configuration de l'atelier	318
12.2.1. Choix des unités	319
12.2.2. Préférences des tâches	322
12.2.3. Fonctions avancées	322
12.3. Gérer les outils coupants	324
12.3.1. Gestionnaire des outils coupants	324
12.3.2. Installation de la bibliothèque « <i>Default</i> »	325
12.3.3. Créer une nouvelle bibliothèque	327
12.3.4. Créer une nouvel outil coupant	328
12.4. Usinages 2,5D	330
12.4.1. Travail préparatoire	330
12.4.1.1. Créer la tâche	330

12.4.1.2. Choisir l'outil	331
12.4.1.3. Définir le brut et l'alignement	334
12.4.1.4. Ajuster la configuration globale	337
12.4.2. Créer une 1 ^{ère} opération	339
12.4.3. Simuler le parcours	341
12.4.4. Réaliser le posttraitemet	343
12.4.5. Ajouter des opérations	344
12.4.5.1. Créer le surfaçage	344
12.4.5.2. Créer le profilage	345
12.5. Finitions de parcours	347
12.5.1. Création des attaches	347
12.6. Gravures	348
12.6.1. Gravure simple	348
12.6.1.1. Créer une nouvelle forme d'outil	348
12.6.1.2. Travail préparatoire	353
12.6.1.3. Créer la gravure	355
12.6.2. Gravure en V	358
12.6.2.1. Créer un outil vbit	358
12.6.2.2. Gravure en V	359
13. Documentation	362
13.1. Raccourcis Clavier	362
13.1.1. Vues	362
13.1.2. Affichage	363
13.1.3. Menu fichier	363
13.1.4. Menu édition	364
Glossaire	365

1. Découvrir FreeCAD

1.1. Présentation

FreeCAD  est un logiciel de CAO^[p.367], 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^[p.366].

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://parcours.lachiver.fr/FreeCAD/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://parcours.lachiver.fr/FreeCAD/Parcours.pdf>.

Attention à la taille de la version PDF

La version PDF complète 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 avec 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 « **.AppImage** » 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  FreeCAD.App dans votre dossier  Applications ;
- Sous  , changer les propriétés du fichier « .ApplImage » pour le rendre exécutables.

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.

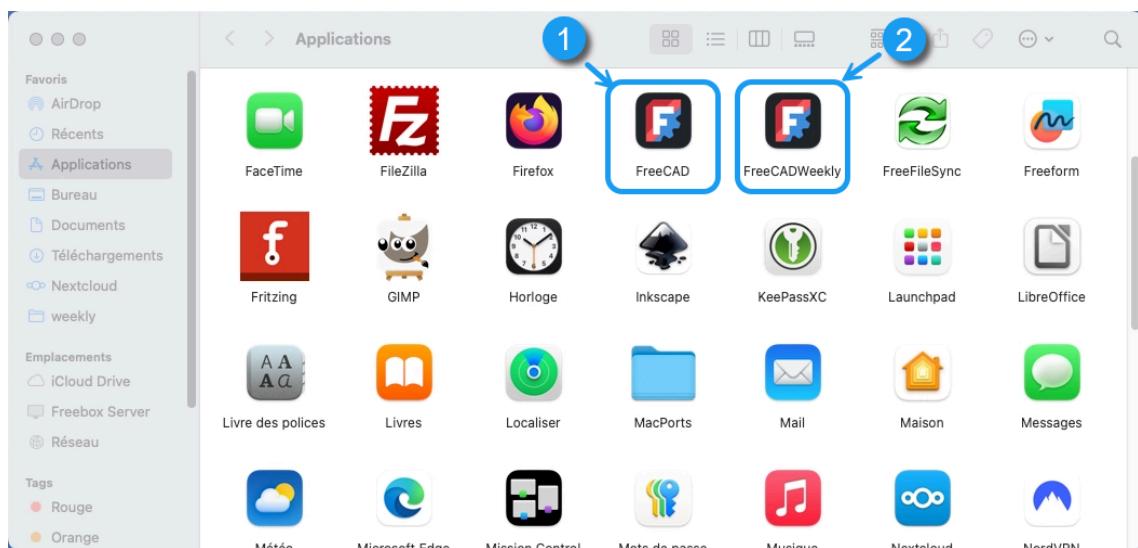
Pour connaître le numéro de la version utilisée :

- 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.

Utiliser différentes versions sur un même ordinateur

Il est tout à fait possible d'installer et d'utiliser différentes versions de FreeCAD sur un même ordinateur :

- Sous  , extraire les fichiers « .7z » dans des dossiers différents ;
- Sous  , conserver les deux versions lors de la copie puis renommer les fichiers FreeCAD.app ;



Coexistence de deux versions de FreeCAD sous Mac OS

- Sous  , les fichiers « .ApplImage » portent déjà des noms différents ;

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

1.3. Interface

Objectifs

- Découvrir et personnaliser l'interface de FreeCAD ;

1.3.1. Ouvrir un document FCStd

Objectifs de la section

- Comprendre la structure arborescente d'un document FreeCAD ;
- Savoir interagir dans l'onglet **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 « .stl » est utilisé par les logiciels du type « Slicer^[p.370] » comme Cura pour générer un fichier gcode qui sera envoyé à une imprimante 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

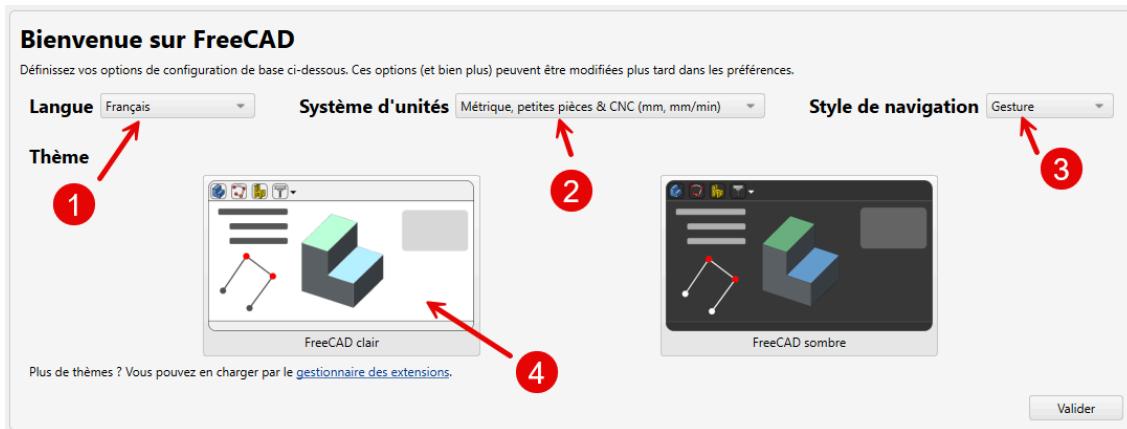
- Voir les différents [Formats de fichiers](#) en relation avec l'impression 3D ;
- FreeCAD propose un atelier CAM  permettant de produire des fichier gCode^[p.368] pour piloter une CNC^[p.366] ;

Tâches à réaliser :

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

Q Écran de bienvenue

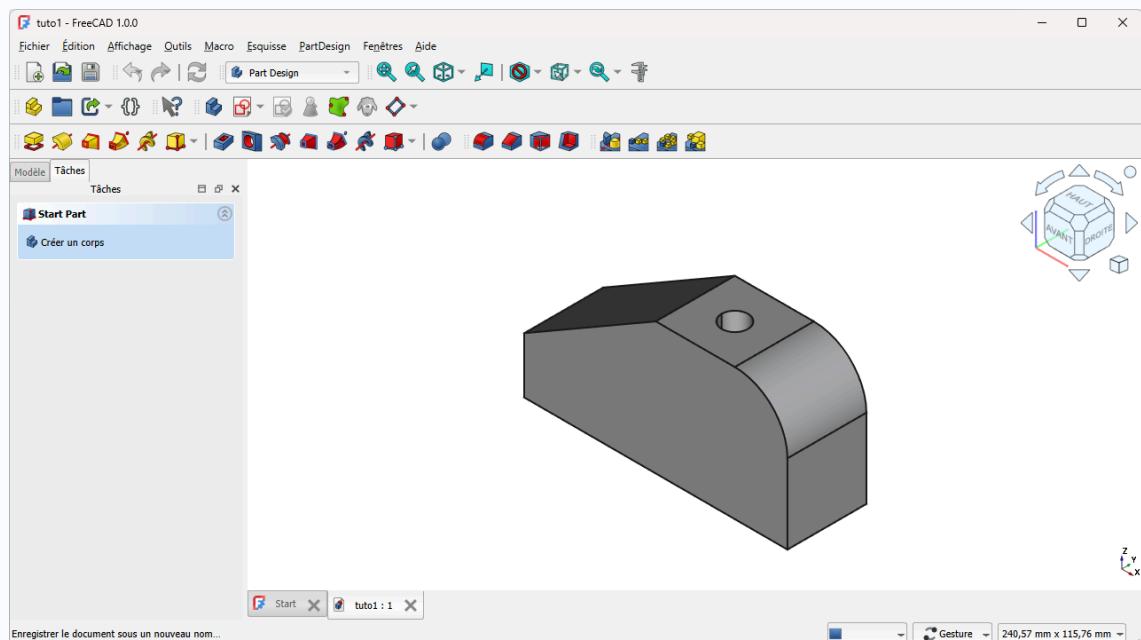
Au démarrage, par défaut, FreeCAD affiche un écran de bienvenue. Vous pouvez choisir : (1) la langue, (2) le système d'unités, (3) le style de navigation et (4) le thème :



Écran de bienvenue

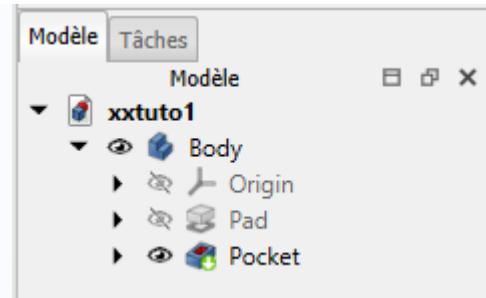
Tâches à réaliser (suite)

- Ouvrir ce document tuto1.FCStd dans FreeCAD à l'aide de la commande Fichier → Ouvrir ou du bouton .



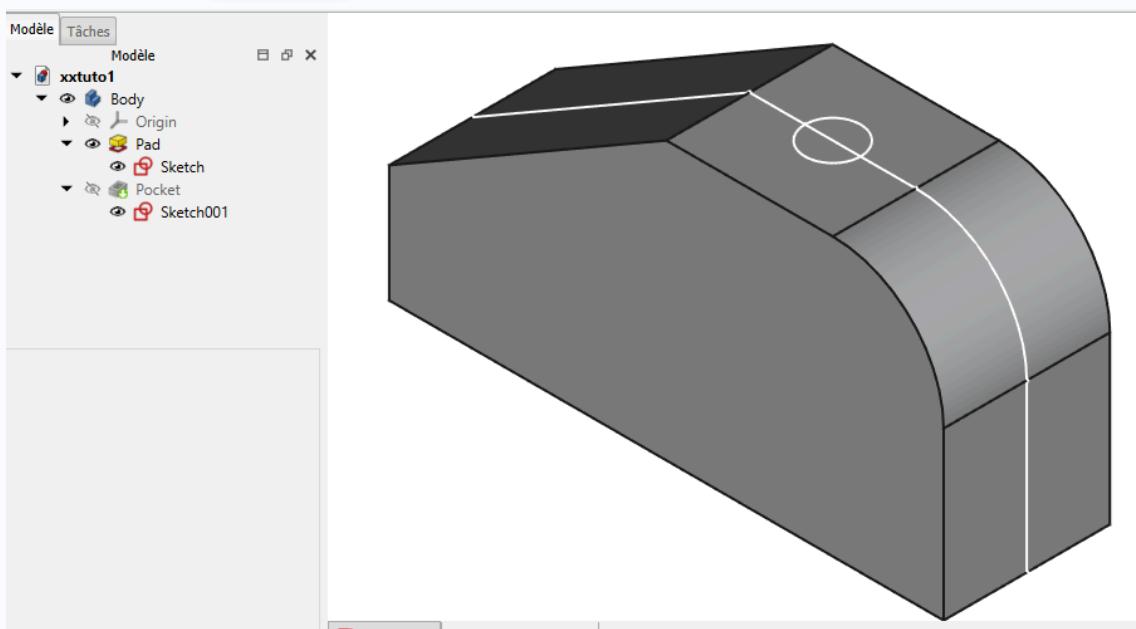
Ouverture du document tuto1

- Enregistrer ce document sous le nom xxxtuto1.FCStd, xx représentant vos initiales, à l'aide de la commande Fichier → Enregistrer Sous... ;
- Afficher l'onglet **Modèle** de la vue combinée si nécessaire ;
- Identifier le contenu de la structure arborescente du document XXtuto1 ;



Onglet **Modèle**

- Afficher Pad , Sketch et Sketch001 dans la vue 3D en cliquant sur les boutons et/ou de l'onglet **Modèle** ;



Affichage des esquisses (sketches)

xxtuto1 Structure du document xxtuto1

Body **Body**

Corps (solide) contenu dans le document  **XXtuto1** ;

Origin **Origin (masqué par défaut)**

L'objet  **Origin** contient la définition du repère lié au corps :

Pad **Pad (masqué)**

Construction intermédiaire qui a été utilisée pour modéliser « Pocket » ;

Sketch **Sketch**

Esquisse utilisée pour construire la protrusion Pad ;

Pocket **Pocket**

Construction finale de  **Body** ;

Sketch001 **Sketch001**

Esquisse utilisée pour créer la cavité dans Pad ;



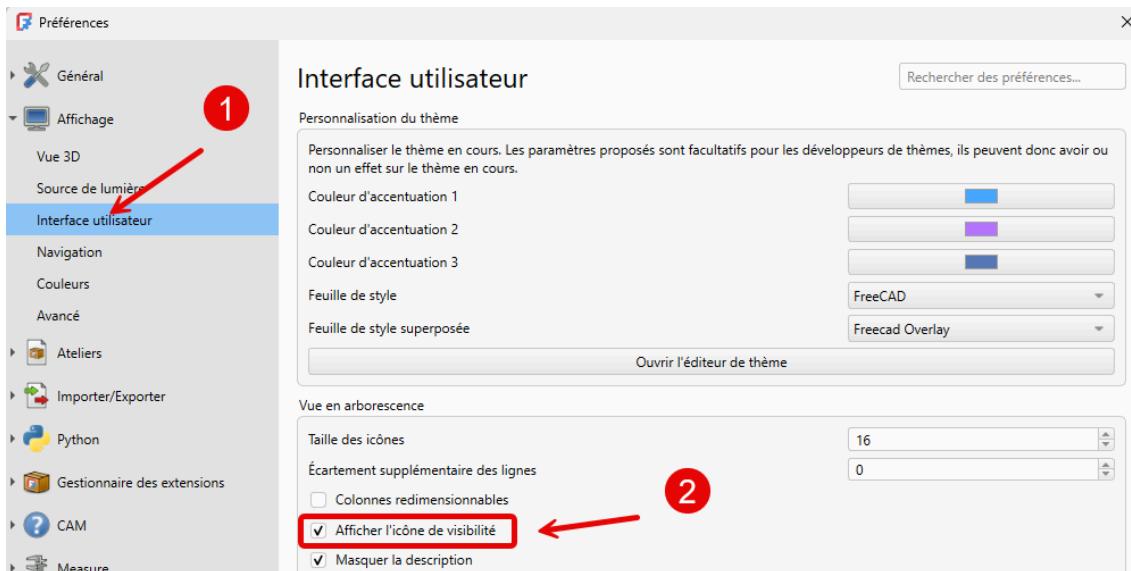
Interactions dans l'onglet Modèle :

- 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'icône de visibilité** ;

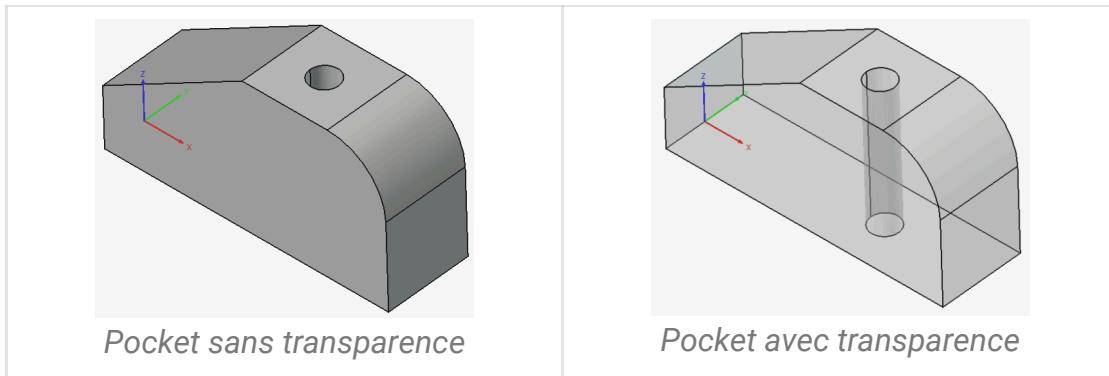


Préférences de l'interface de l'utilisateur

4. Valider

💡 Transparency

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



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 ?

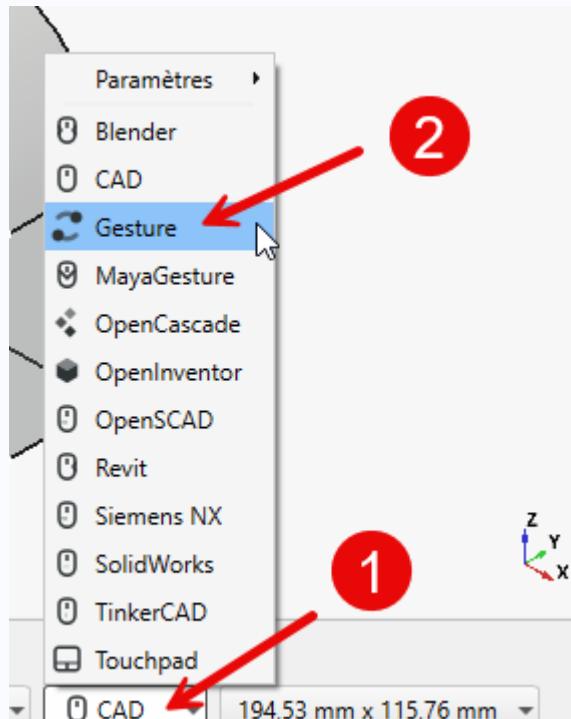
Si vous utilisez déjà d'autres logiciels comme [Blender](#) ou [TinkerCad](#), vous pouvez choisir le style de navigation correspondant ;

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

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

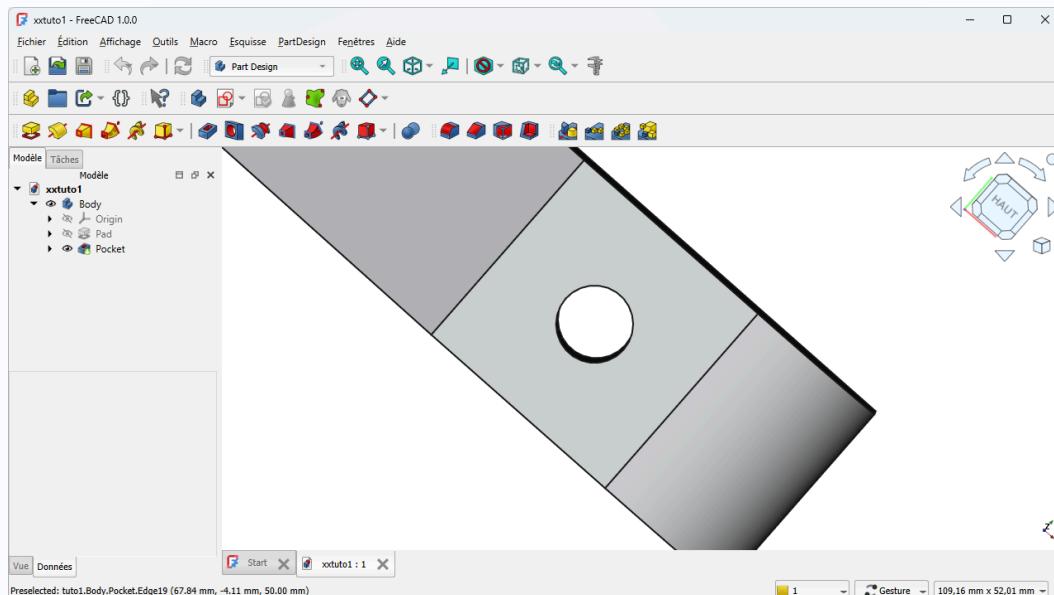
▼ Tâches à réaliser

- 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 sommet (vertex) du solide pour déplacer le centre de rotation ;



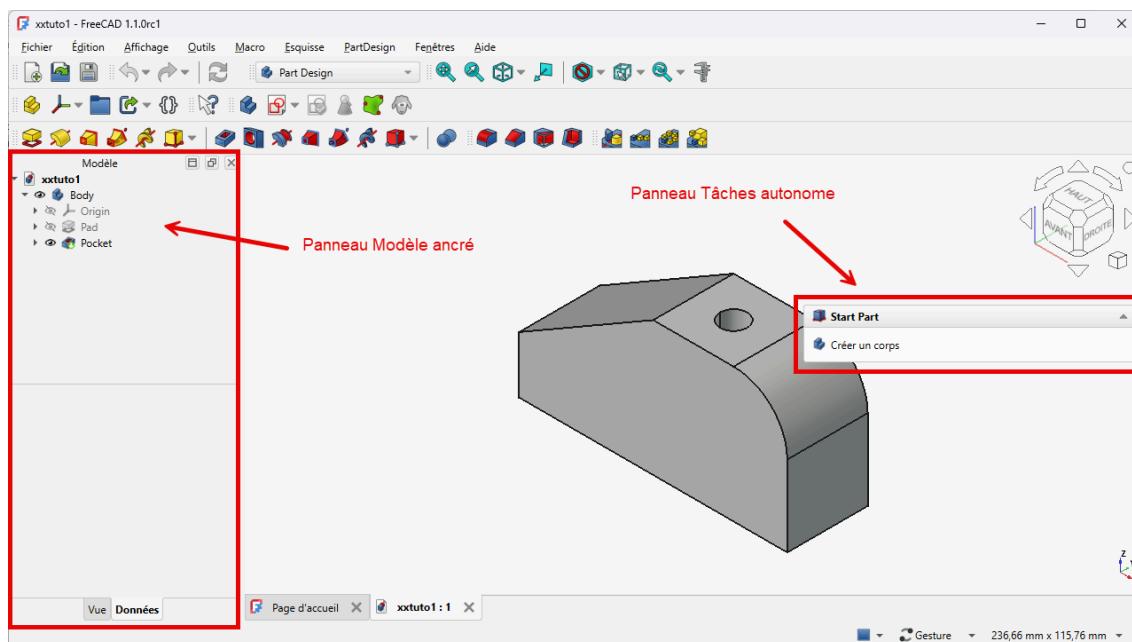
Résumé des commandes du style de navigation Gesture

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

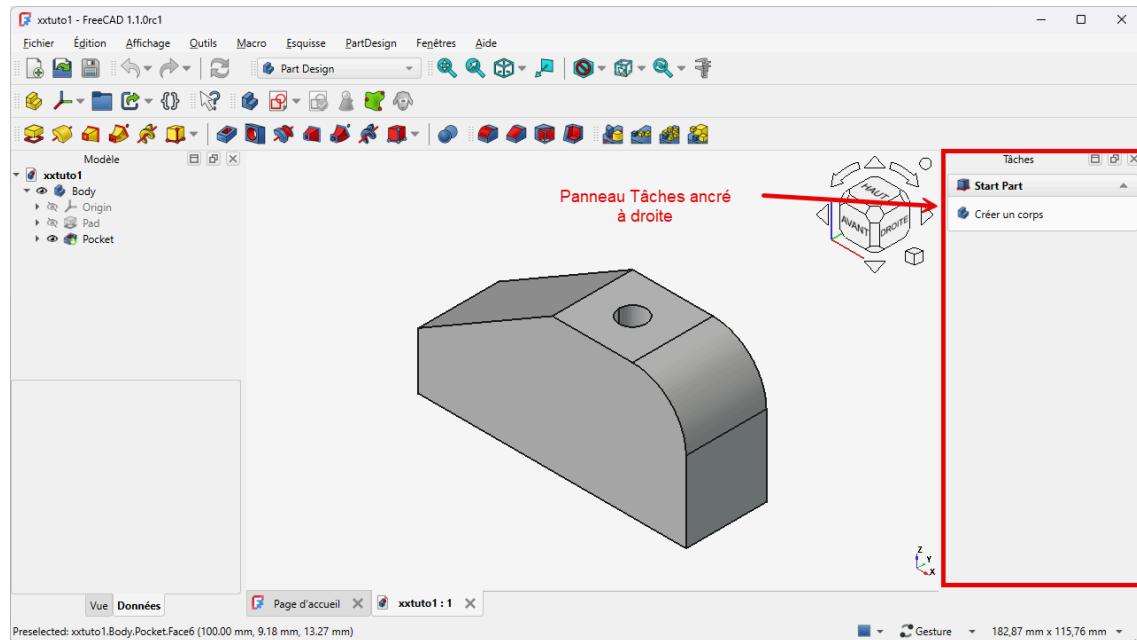
💡 Panneau Tâches autonome

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



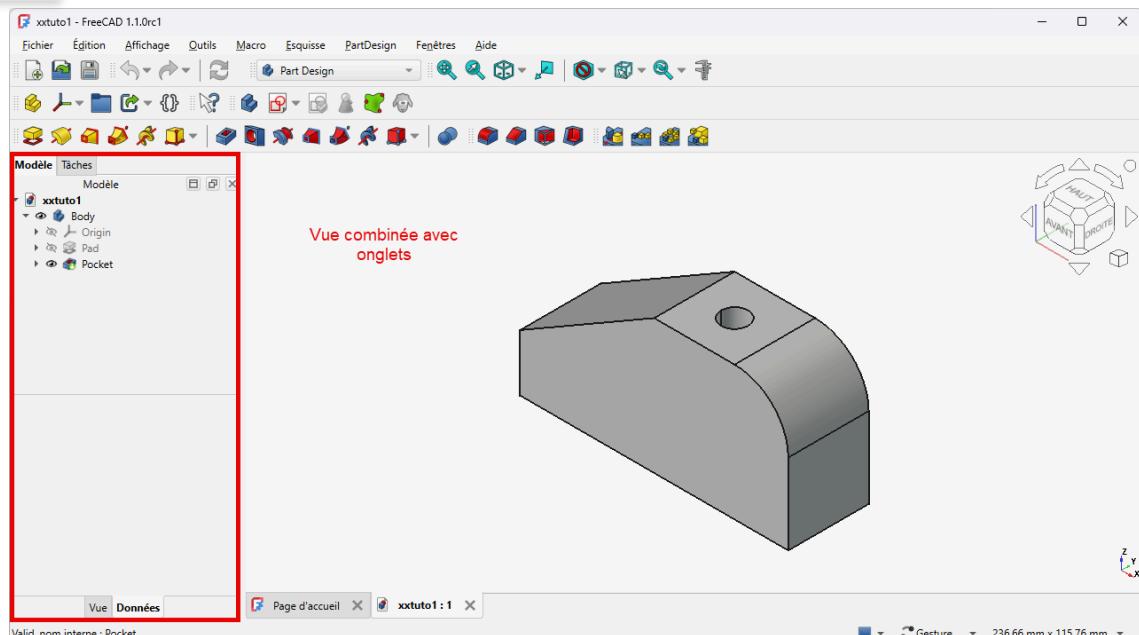
Panneau Tâches autonome

- 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

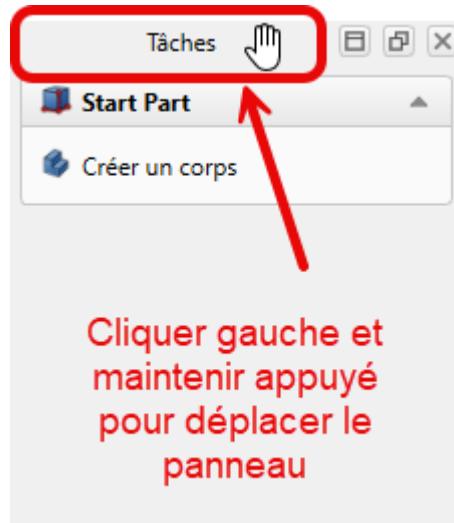
- sinon vous pouvez le combiner avec le panneau Modèle pour former deux onglets **Modèle** et **Tâches**, choix retenu dans ce parcours ;



Panneau Tâches combiné avec le panneau Modèle

💡 Déplacer le panneau Tâches

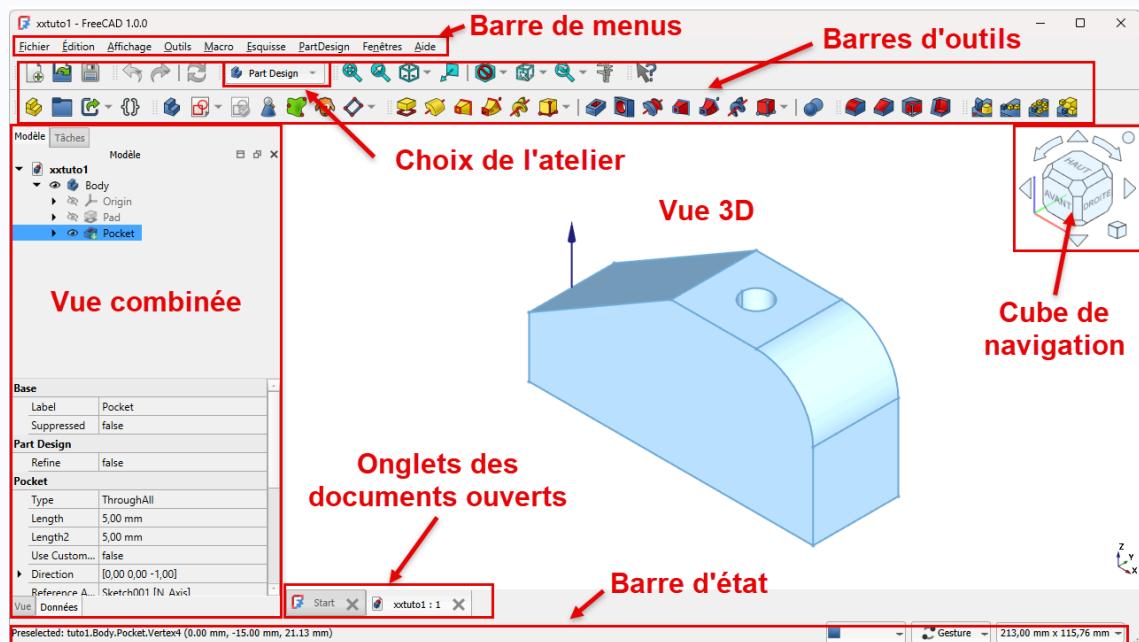
- Cliquer gauche et maintenir appuyé la barre de titre du panneau Tâches pour le déplacer :



Pour déplacer le panneau

✓ Tâches à réaliser

- Ouvrir FreeCAD et charger à nouveau le document xxuto1.FCStd si nécessaire ;
- Repérer les éléments ci-dessous de l'interface de FreeCAD :



Interface de FreeCAD

⚠️ Attention

En cas d'erreur, 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 Mac) ;
- Modifier les réglages en respectant les consignes ci-dessous ;

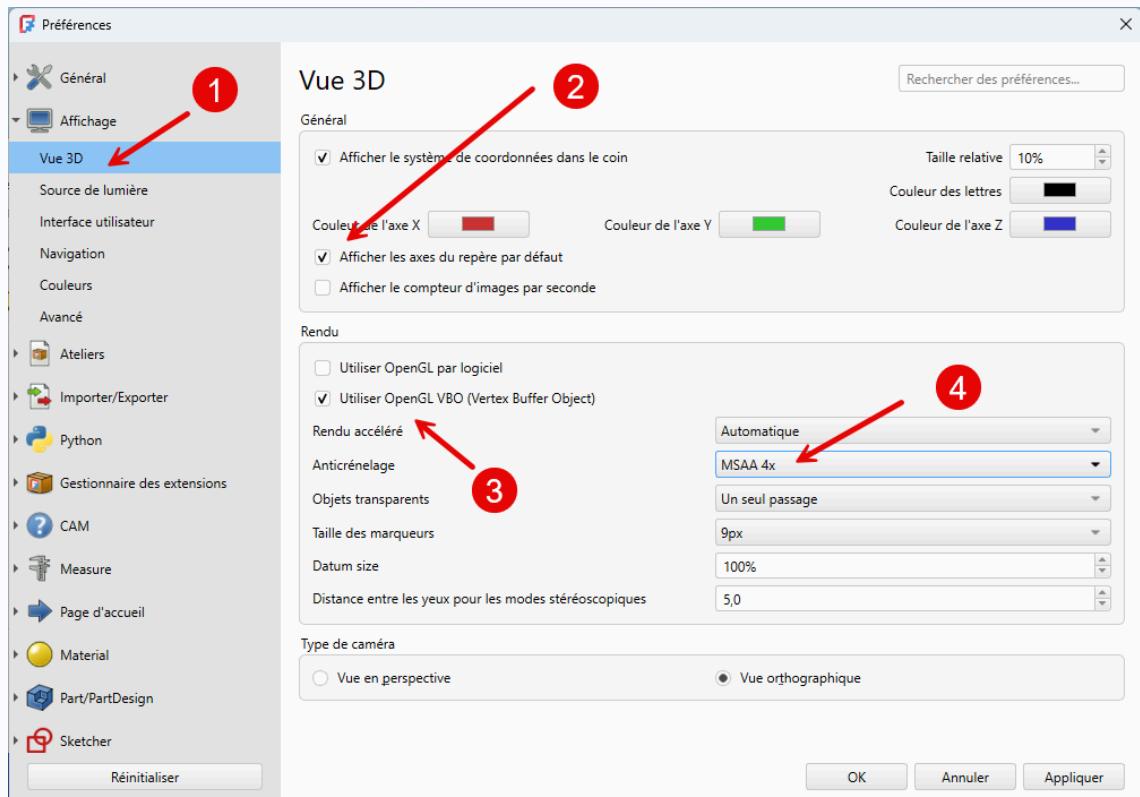
Raccourci clavier pour la commande **Édition → Préférences**



1.3.4.1. Rendu de l'affichage

Tâches à réaliser

- Optimiser l'affichage graphique ;



Rendu de l'affichage 3D

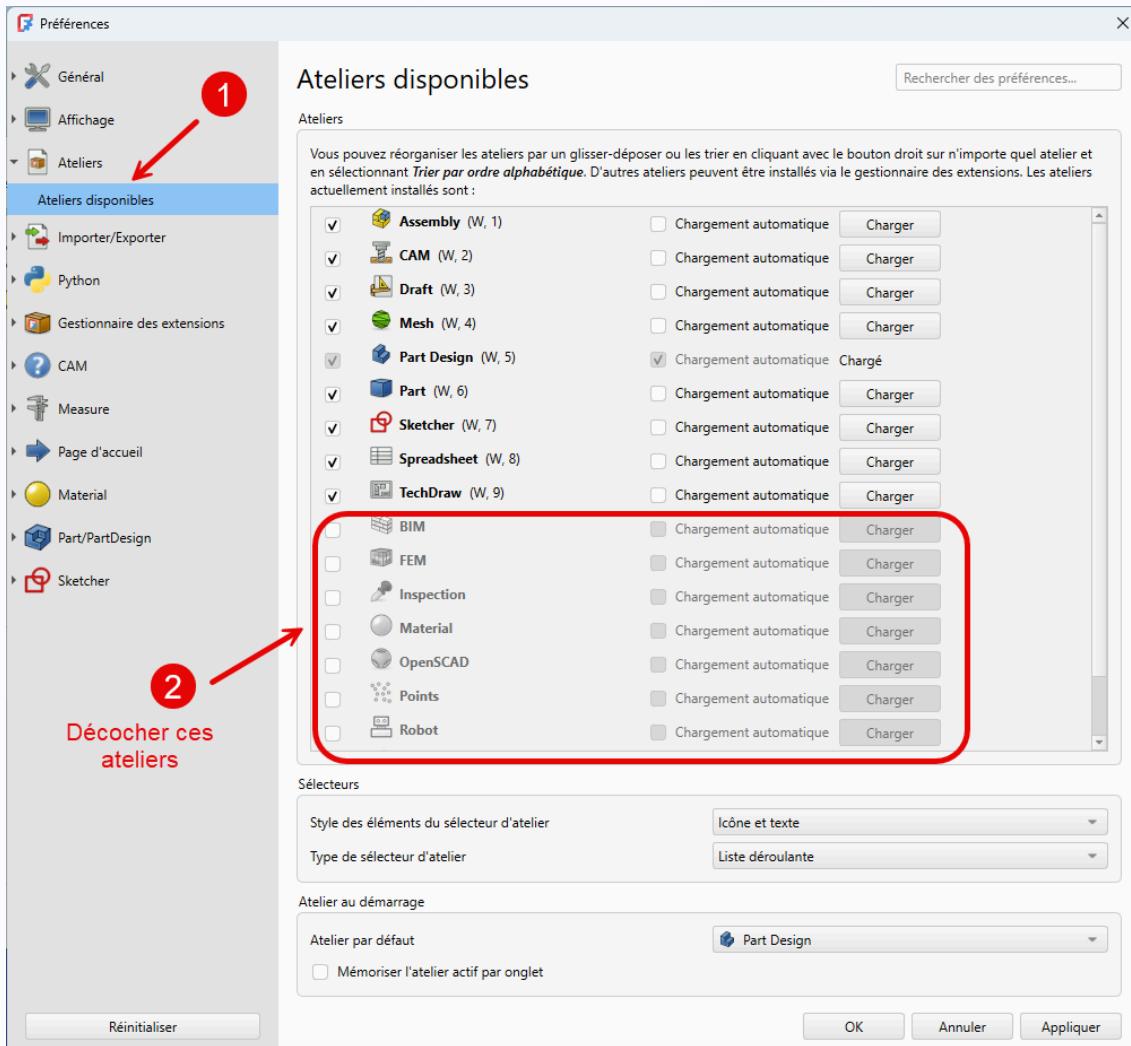
⚠️ Attention

- 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 ;

1.3.4.2. Simplifier la liste des ateliers

🕒 Tâches à réaliser

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



Préférences Atelier disponibles

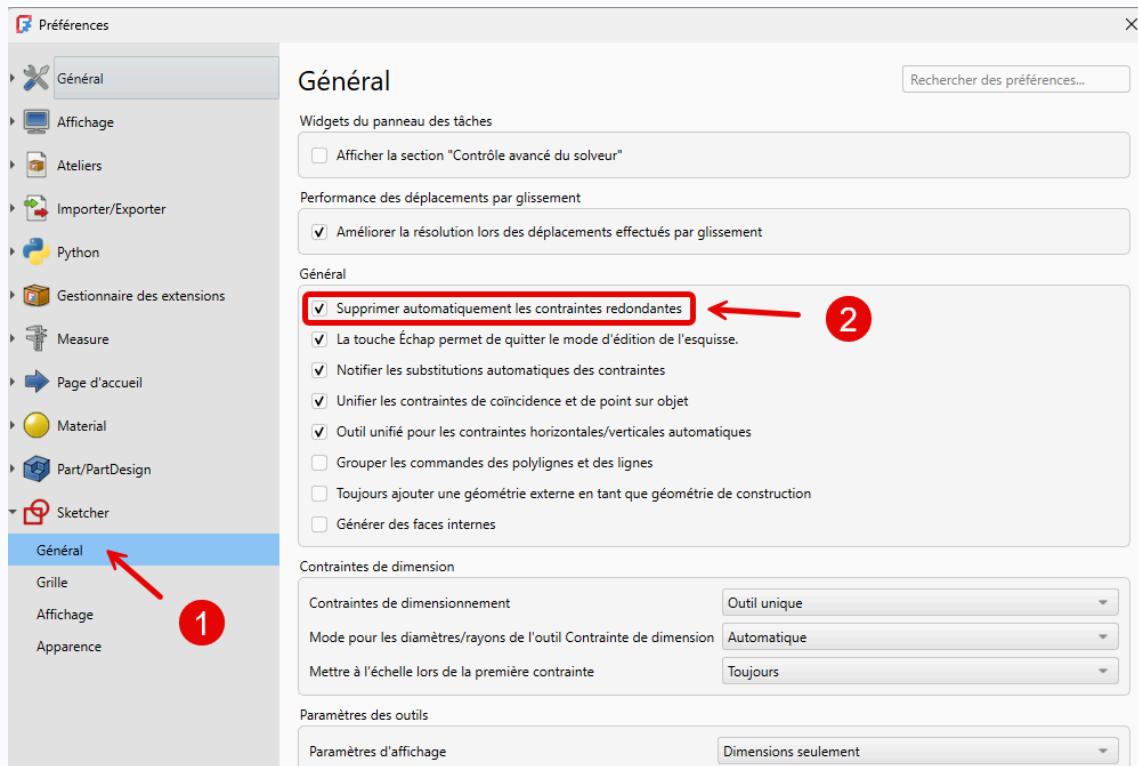
⌚ Remarque

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

1.3.4.3. Atelier Sketcher

Tâches à réaliser

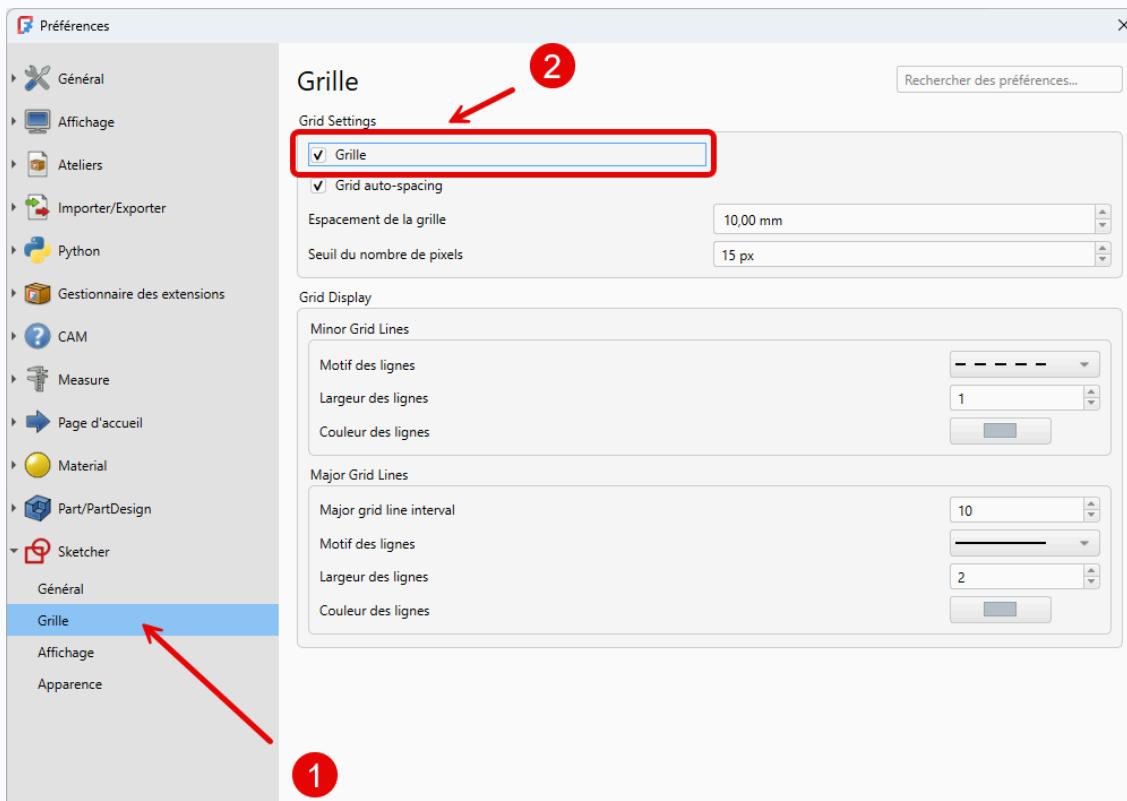
- Cocher si nécessaire la suppression automatique des redondances ;



Préférences Sketcher : suppression automatiques des contraintes redondantes

✓ Tâches à réaliser

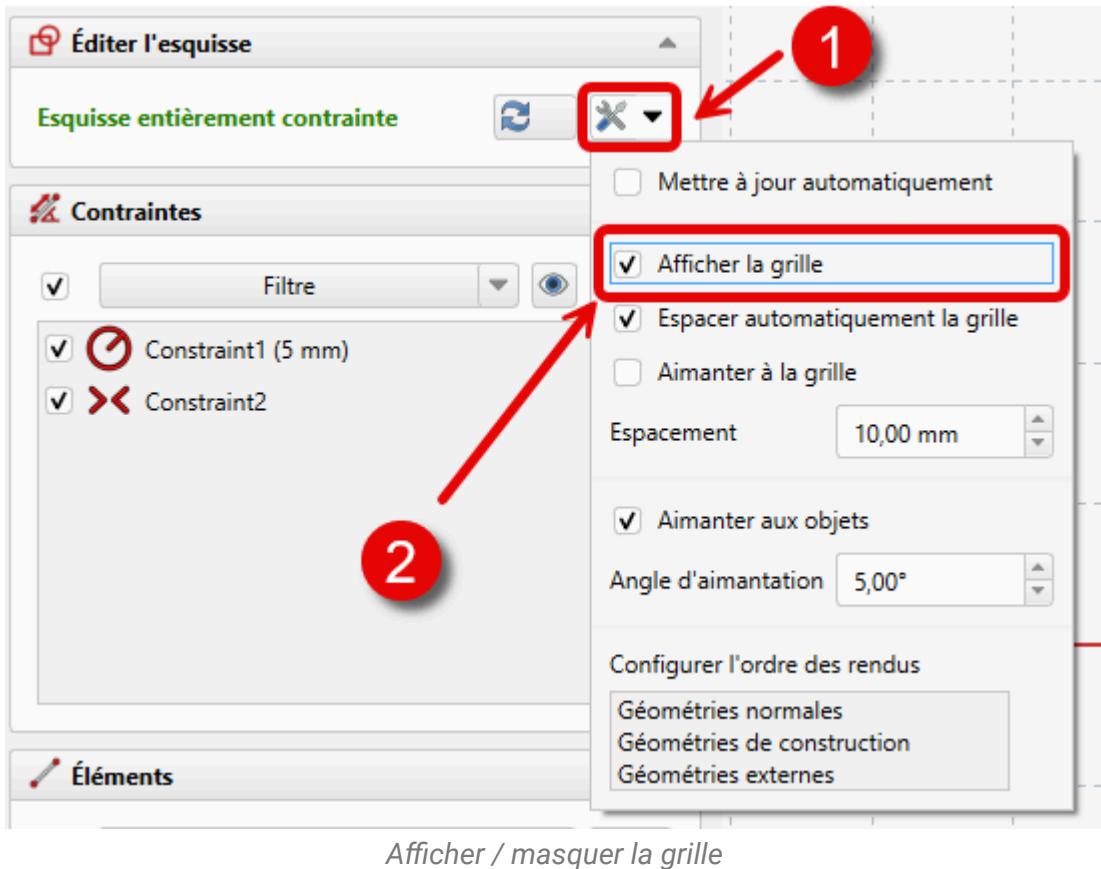
- Afficher la grille dans l'atelier Sketcher, ce qui peut aider à positionner les géométries de l'esquisse ;



Préférences Sketcher : Affichage de la grille

♀ Afficher / masquer la grille de l'atelier Sketcher

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



1.3.4.4. Valider vos préférences

Tâches à réaliser

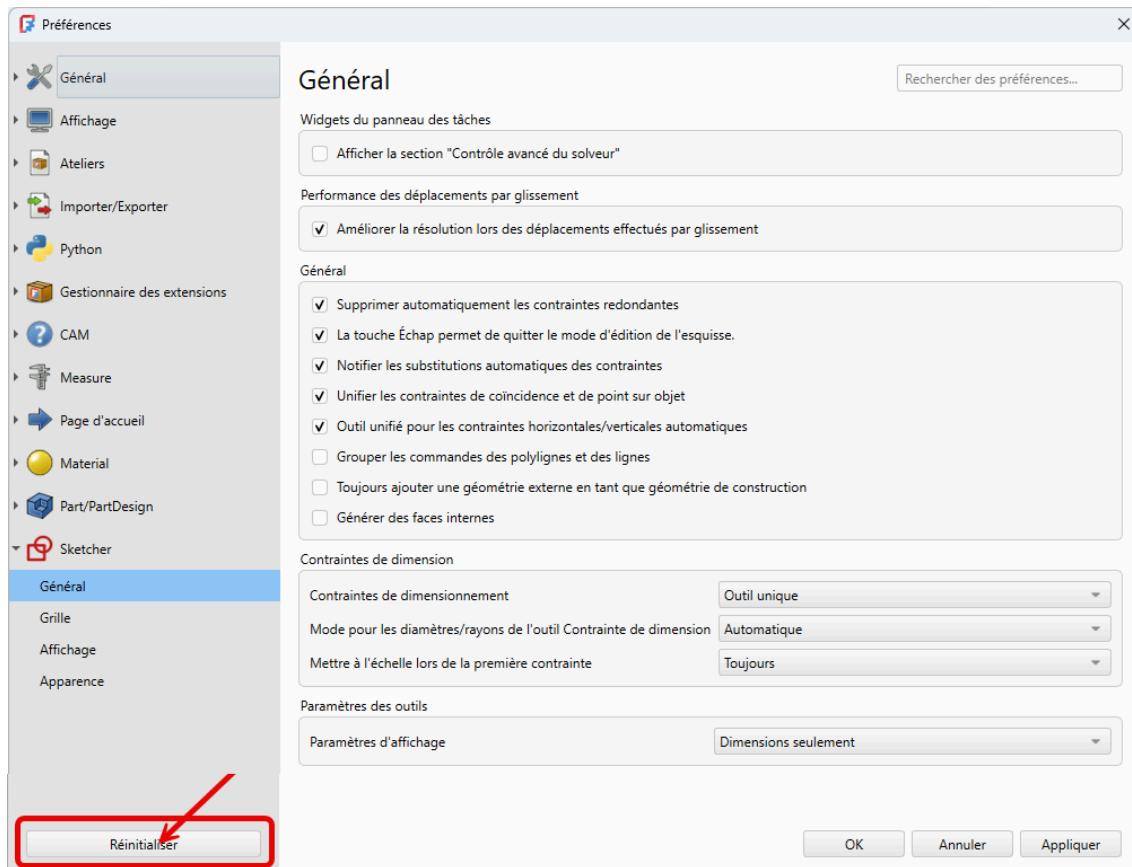
- Valider ces nouveaux réglages en cliquant sur le bouton **OK** au bas de la fenêtre **Préférences** ;
- Quitter FreeCAD sans enregistrer les modifications éventuelles dans le document **xxtuto1** ;

Si vous souhaitez réinitialiser vos préférences :

Procédure

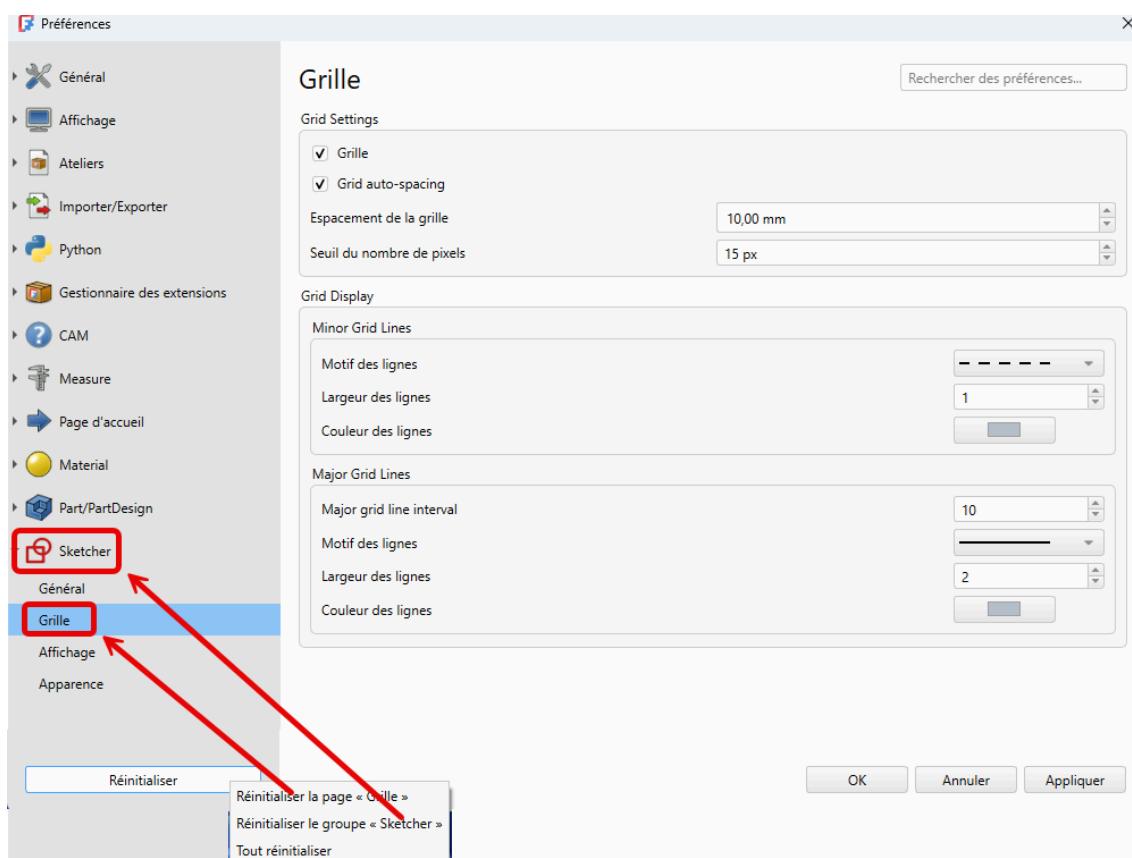
1. Sélectionner la commande **Édition → Préférences** ;

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

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 ;



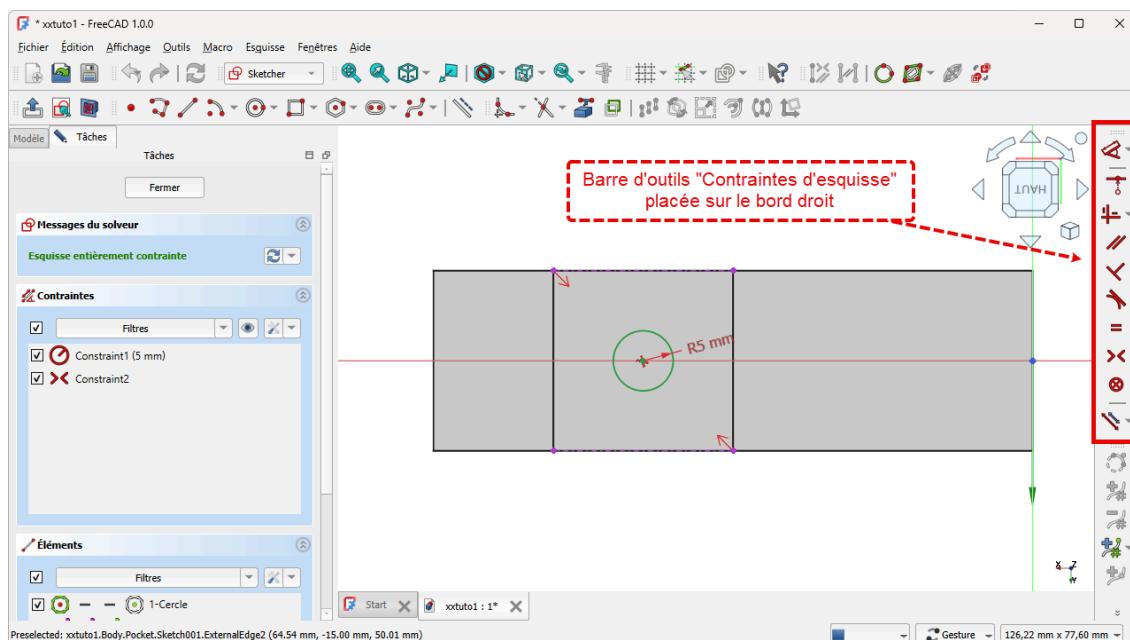
Symbol >> indiquant que la barre d'outils est tronquée

Barre d'outils tronquée

Réagencer les barres d'outils

Afin d'éviter d'avoir à cliquer sur ce bouton >> pour accéder à tous les boutons de la barre, il est conseillé :

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



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

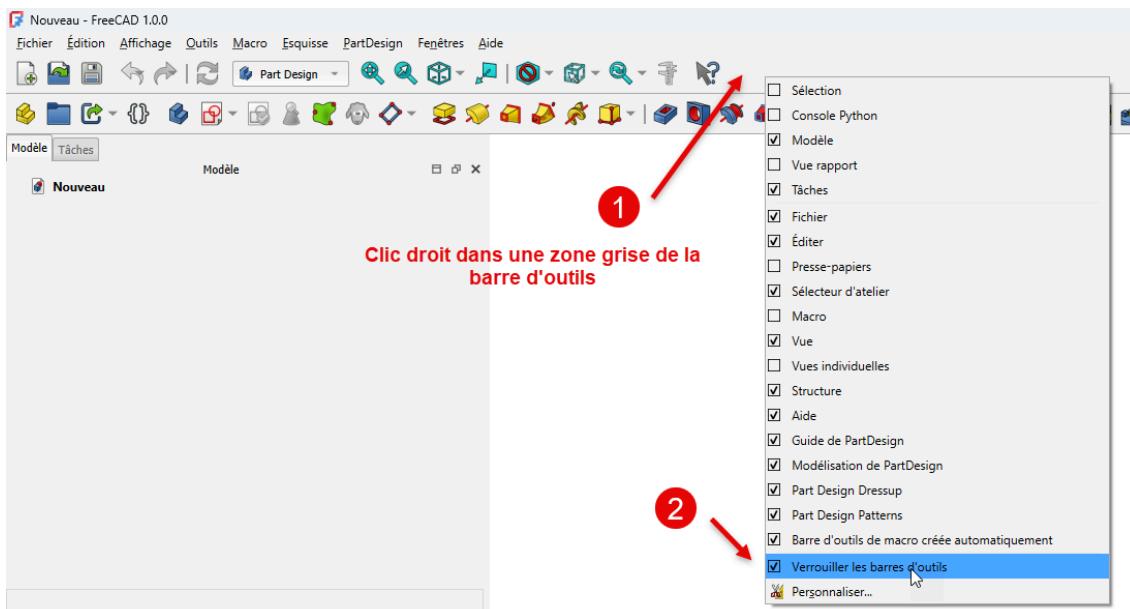
Pour déplacer une barre d'outils

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 sur un exemple très simple ;

Différents processus

FreeCAD propose deux grands processus pour modéliser un solide :

- soit combiner des objets : c'est la méthode de **Géométrie Solide Constructive (CSG)** en utilisant l'atelier **Part** 
- soit en utilisant une **modélisation paramétrique** avec l'atelier **Part Design** 

Dans la suite de ce parcours, nous allons privilégier ce second processus.

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**  dans ce document ;
3. **Création d'une esquisse**  dans ce corps ;
4. Application à l'esquisse d'une fonction paramétrique, par exemple **une protrusion**  ;

1] Création du document

☰ Tâches à réaliser

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

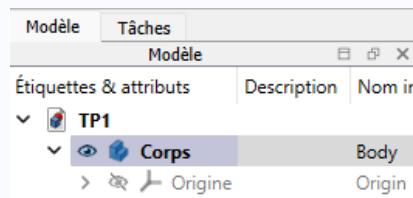
⌚ Remarque

- FreeCAD a créé un document sur votre ordinateur.

2] Création du corps

☰ Tâches à réaliser

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



Création du corps

⚠ Dans les barres d'outils, ne pas confondre et

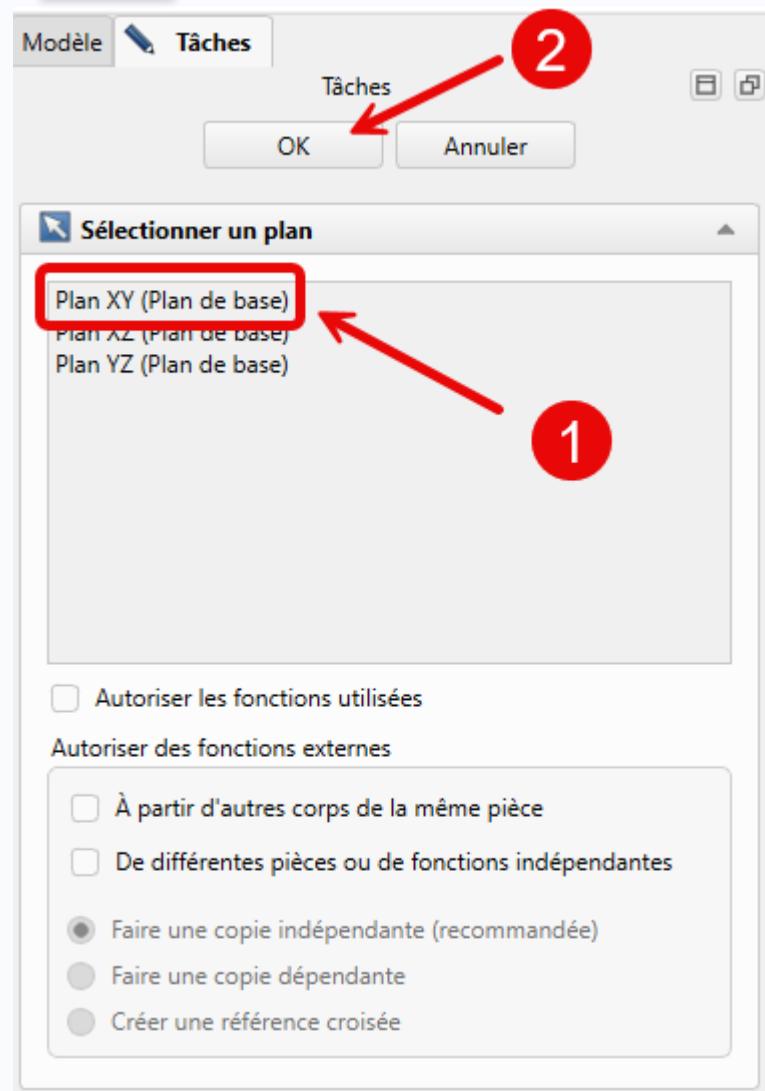
- permet de créer un corps, la première étape de la modélisation paramétrique ;
- est utilisé pour arranger différents objets dans l'espace, avec l'intention de créer des assemblages ;

3] Création de l'esquisse

☰ Tâches à réaliser

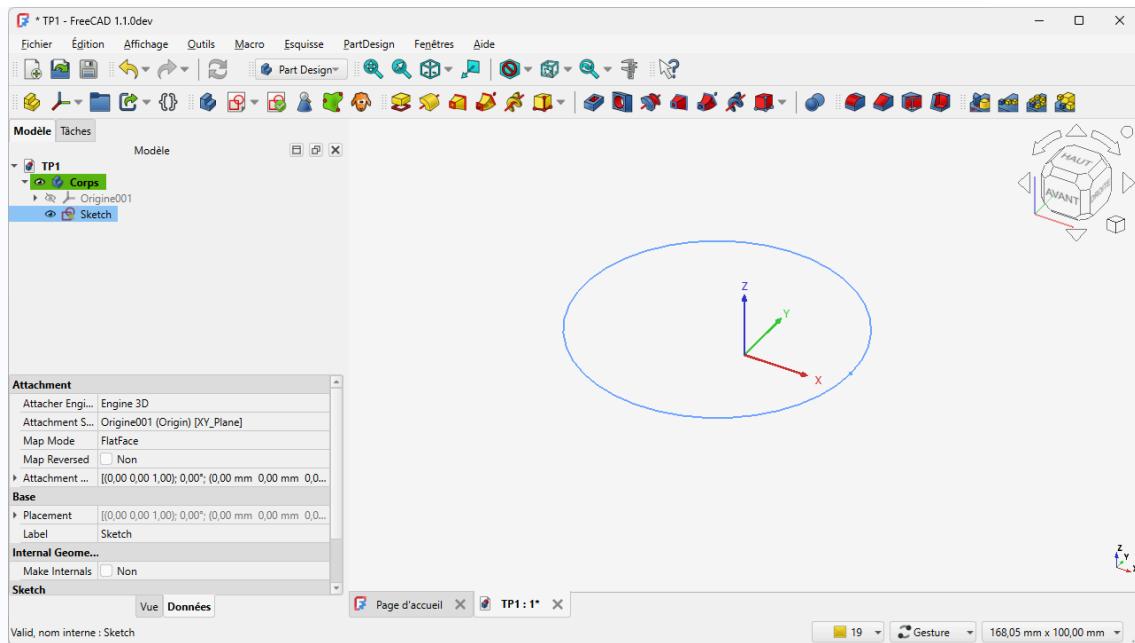
- Dans la vue , si nécessaire, sélectionner le ;
- Créer une esquisse à l'aide du bouton ;

- 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

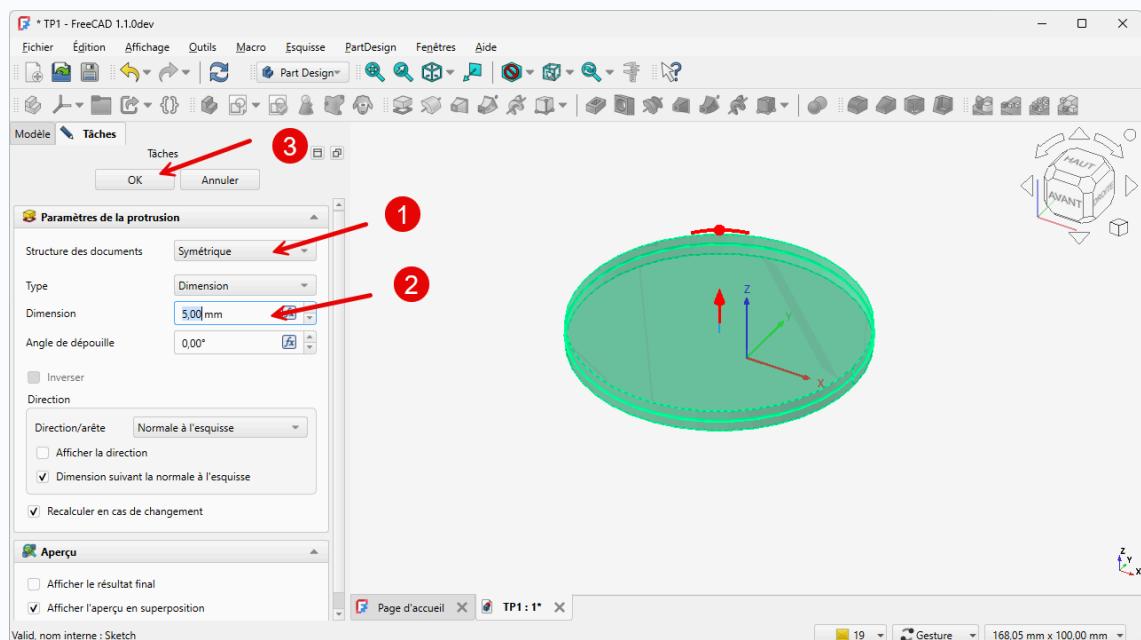
Remarque

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

4] Création du solide par protrusion

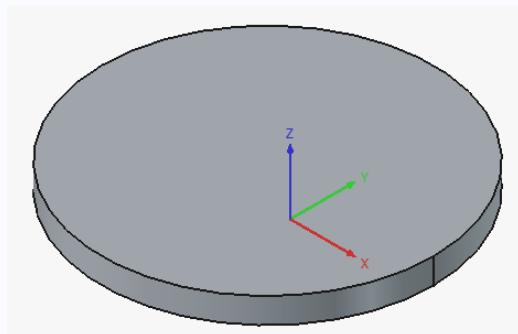
Tâches à réaliser

- Dans la vue **Modèle**, si nécessaire, sélectionner le **Sketch** ;
- Cliquer sur le bouton et créer une protrusion de 5 mm, 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 );



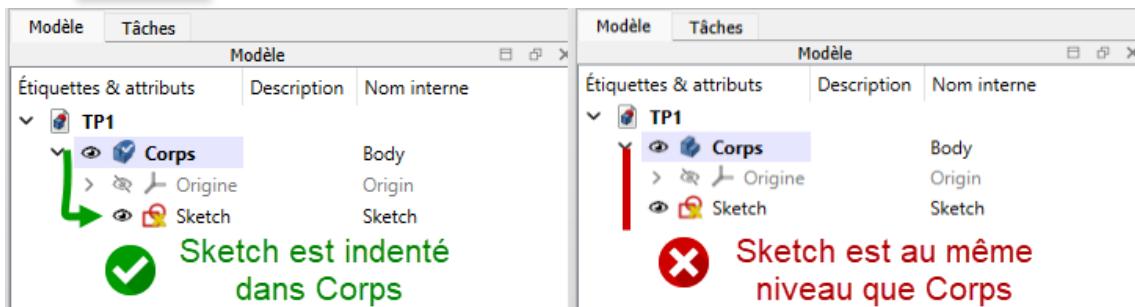
Vue 3D du solide modélisé

 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 indenté 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 ;
- Avant d'aborder la modélisation de solides complexes, avec plusieurs esquisses successives, nous allons détailler la création d'esquisses dans l'atelier **Sketcher** ;

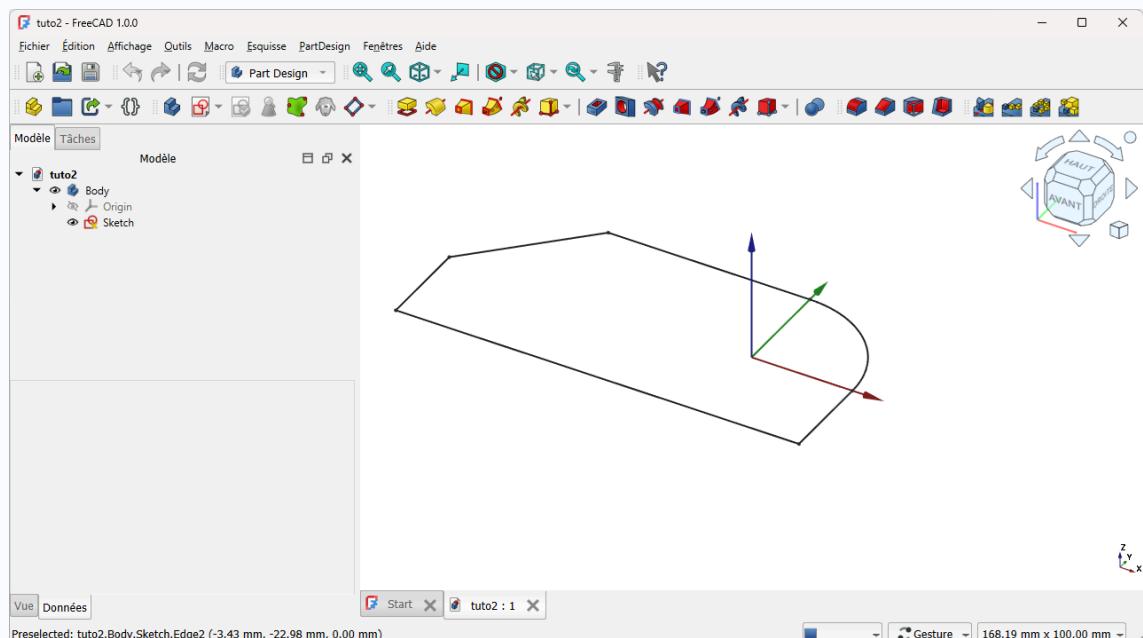
2.1. Interface de Sketcher

Objectifs

- Identifier les principaux composants de l'atelier Sketcher ;
- Utiliser la commande de **contrainte de dimension**  ;

Travail préparatoire

- Dans FreeCAD, si nécessaire, refermer les documents ouverts précédemment ;
- Télécharger le fichier **tuto2.FCStd** sur votre ordinateur ;
- Ouvrir ce document  **tuto2.FCStd** dans FreeCAD ;



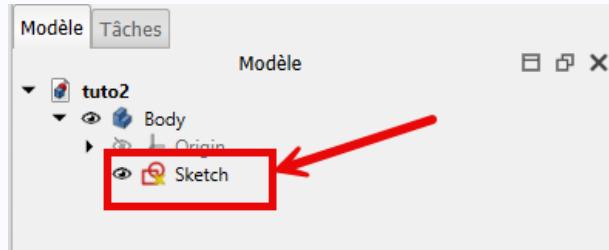
Document *tuto2*

- Enregistrer ce document sous le nom  **xxtuto2.FCStd**, **xx** représentant vos initiales, à l'aide de la commande  **Fichier → Enregistrer Sous...** ;

2.1.1. Géométrie et contraintes

✓ Tâches à réaliser

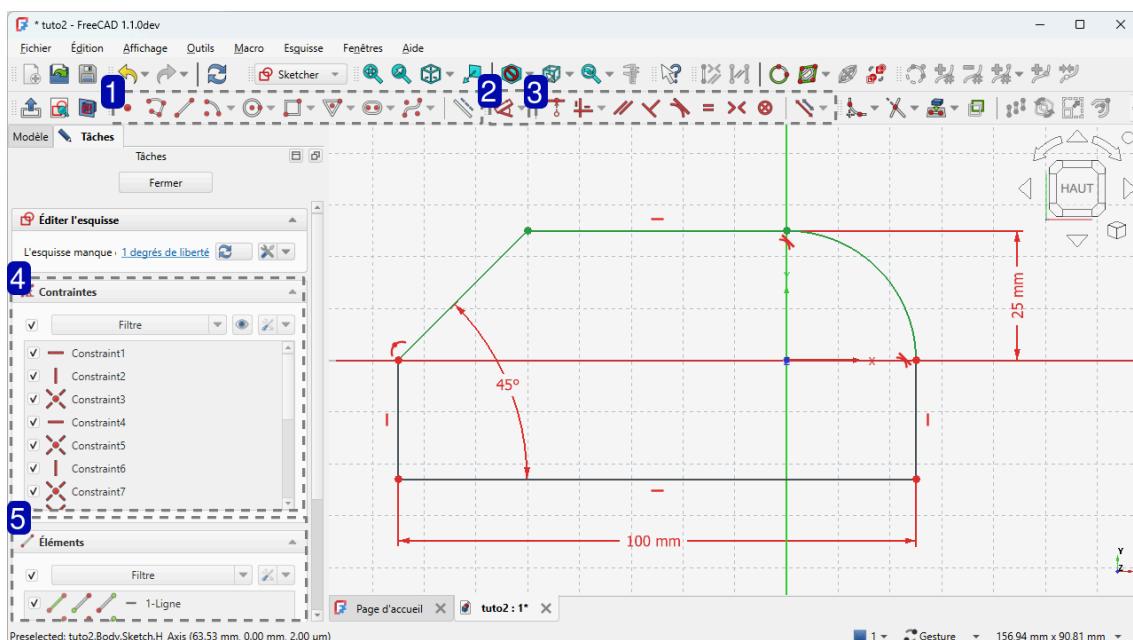
- Sélectionner l'onglet **Modèle** de la vue combinée ;
- Double-cliquer sur l'élément **Sketch** pour l'afficher dans l'atelier **Sketcher** ;



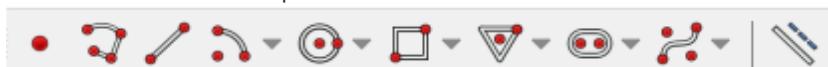
Esquisse Sketch dans Body

- 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, Polyline, Ligne, Arc, Cercle, Polygone, Trou oblong, B-Spline ;

2. Contrainte de dimension



Bouton déroulant permettant d'ajouter des contraintes dimensionnelles ;

⚠ Si vous ne voyez pas le bouton :

- Selectionner la commande Édition → Préférences puis la rubrique Sketcher → Général et vérifier que les **contraintes des dimensions** est réglée à Outil unique ;



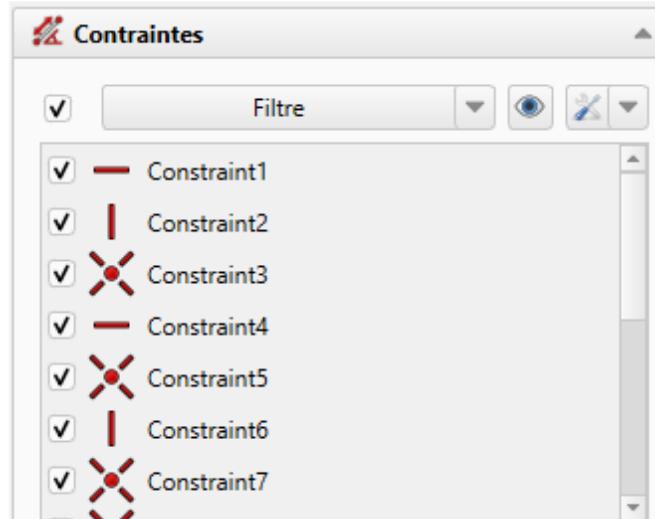
Réglage des contraintes des dimensions

3. Contraintes géométriques



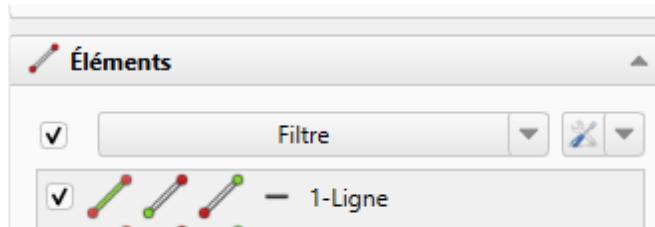
Barre d'outils permettant d'ajouter des contraintes géométriques : Coïncidence, Horizontale / Verticale, Parallèle, Perpendiculaire, Égalité, Tangence, Symétrie ;

4. Panneau Contraintes



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

5. Panneau Éléments



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

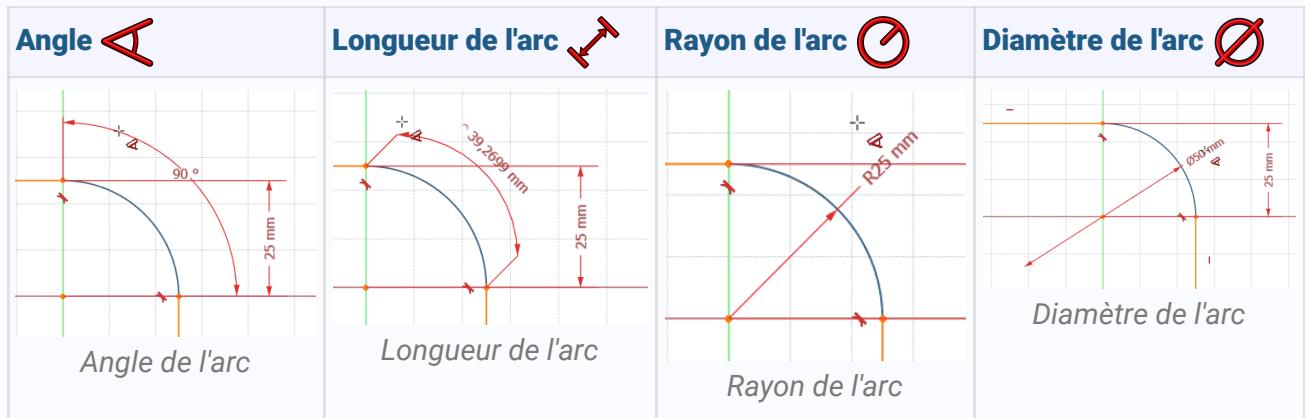
2.1.2. Contrainte dimensionnelle

Tâches à réaliser

- Si nécessaire, ouvrir  xxtuto2 dans FreeCAD et afficher l'esquisse  Sketch dans l'atelier  Sketcher ;
- Sélectionner la commande , puis cliquer gauche sur la ligne inclinée et déplacer le pointeur de la souris : vérifier que vous pouvez saisir au choix :

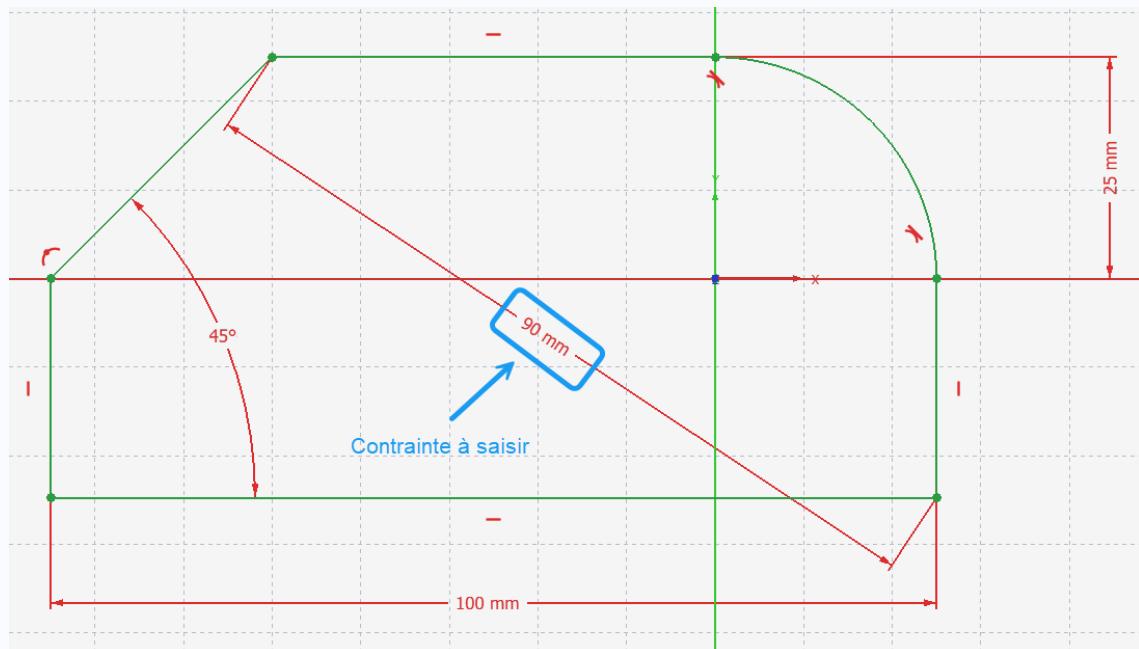


- Annuler la dernière action ( **CTRL Z** ou  **Z** sous  si nécessaire ;
- Sélectionner à nouveau la commande , puis cliquer gauche sur l'arc de cercle et appuyer plusieurs fois sur la touche  **M** : vérifier que vous pouvez saisir au choix :



- Annuler la dernière action ( **CTRL Z** ou  **Z** sous  si nécessaire et refermer l'atelier Sketcher  ;

- Saisir la contrainte dimensionnelle  entre les deux points ci-dessous :

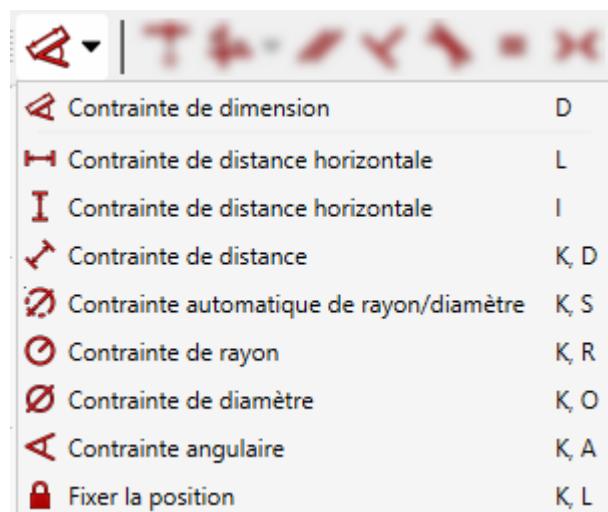


Pour saisir la contrainte de longueur entre deux points :

- Cliquer sur la contrainte de dimension 
- Cliquer successivement sur chaque extrémité,
- 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  puis de sélectionner directement la contrainte souhaitée ;



Bouton déroulant de contrainte de dimension

💡 Quitter la commande ✎

- Dans l'atelier Sketcher, le clic droit permet de quitter la commande de contrainte (ou de géométrie) en cours !

💡 Raccourci clavier à retenir !

Dans l'atelier Sketcher, le raccourci **D** lance la commande contrainte de 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 ✎ ;



Messages 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) ;

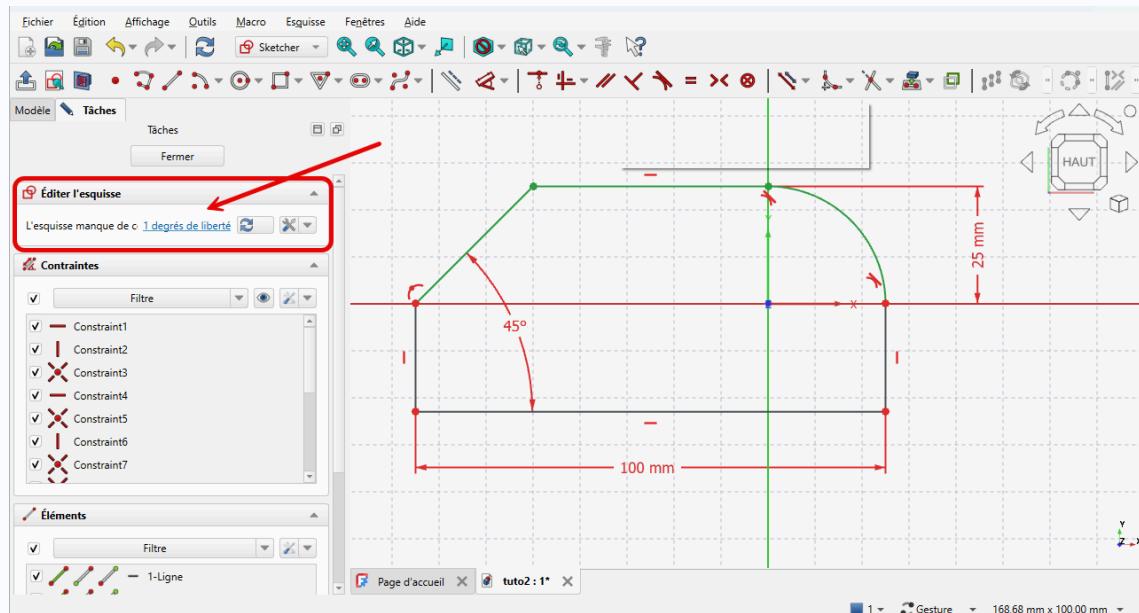
⚠ Dans l'atelier Sketcher

- 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 **Mac**) 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	 Éditer l'esquisse L'esquisse manque : <u>1 degrés de liberté</u>   
5	 Éditer l'esquisse L'esquisse manque : <u>2 degrés de liberté</u>   
9	 Éditer l'esquisse Esquisse entièrement contrainte   

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 auto.

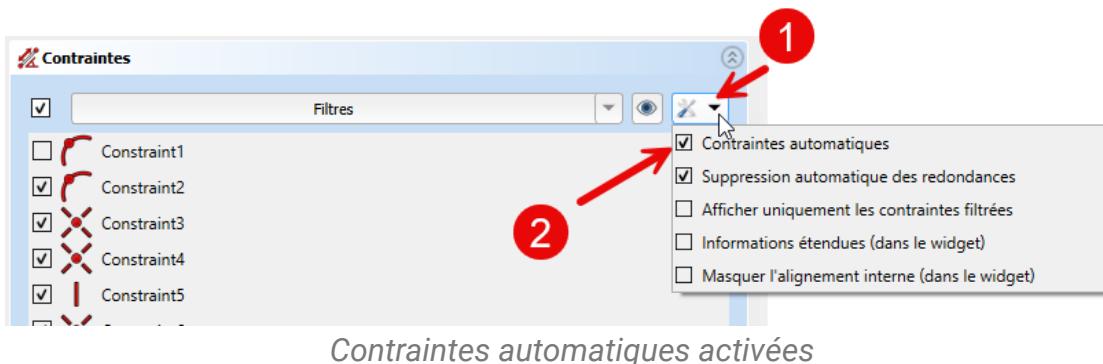
Objectifs :

- Comprendre le fonctionnement et l'intérêt du réglage Contraintes automatiques dans l'atelier   ;
- Identifier les icônes associées au pointeur de la souris lors de la création d'éléments géométriques ;
- Crée une polygone  ;
- Crée un arc .

Contrainte automatique

Dans l'atelier Sketcher, le bouton déroulant du panneau Contrainte 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**.



⚠️ 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 les symboles de contraintes.

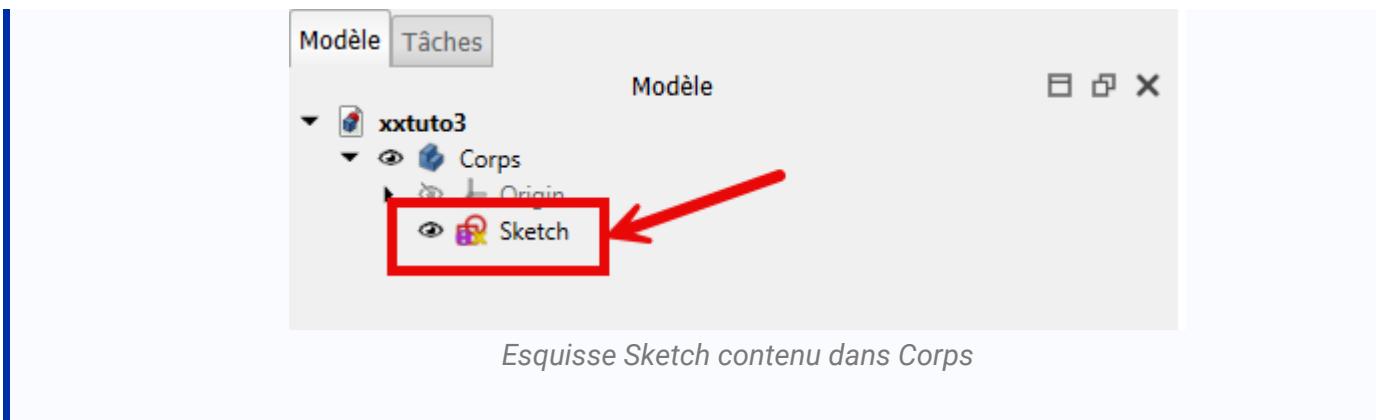
📎 A retenir :

Tableau des principales contraintes automatiques

Icones	Contraintes automatiques
	Le point créé coïncidera avec le point existant
	Le point créé appartiendra à la ligne, cercle, arc existant.
	Le point créé fera que la ligne ainsi créée sera horizontale
	Le point créé fera que la ligne ainsi créée sera verticale

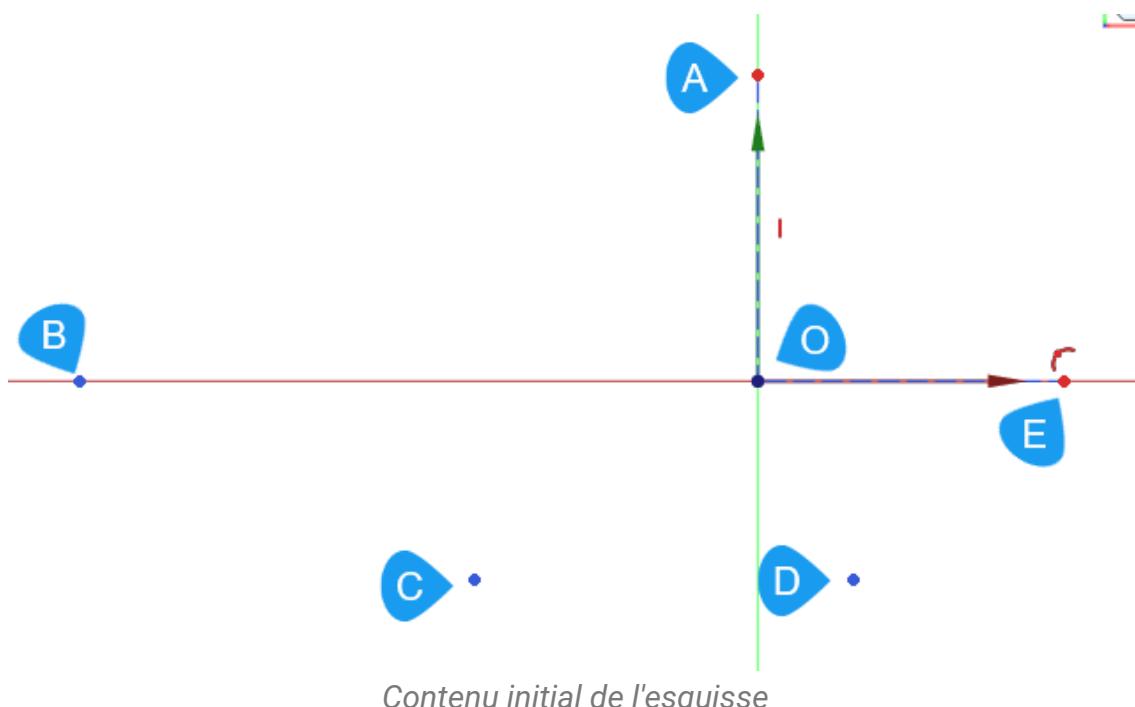
🕒 Tâches à réaliser

- 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](#) ;

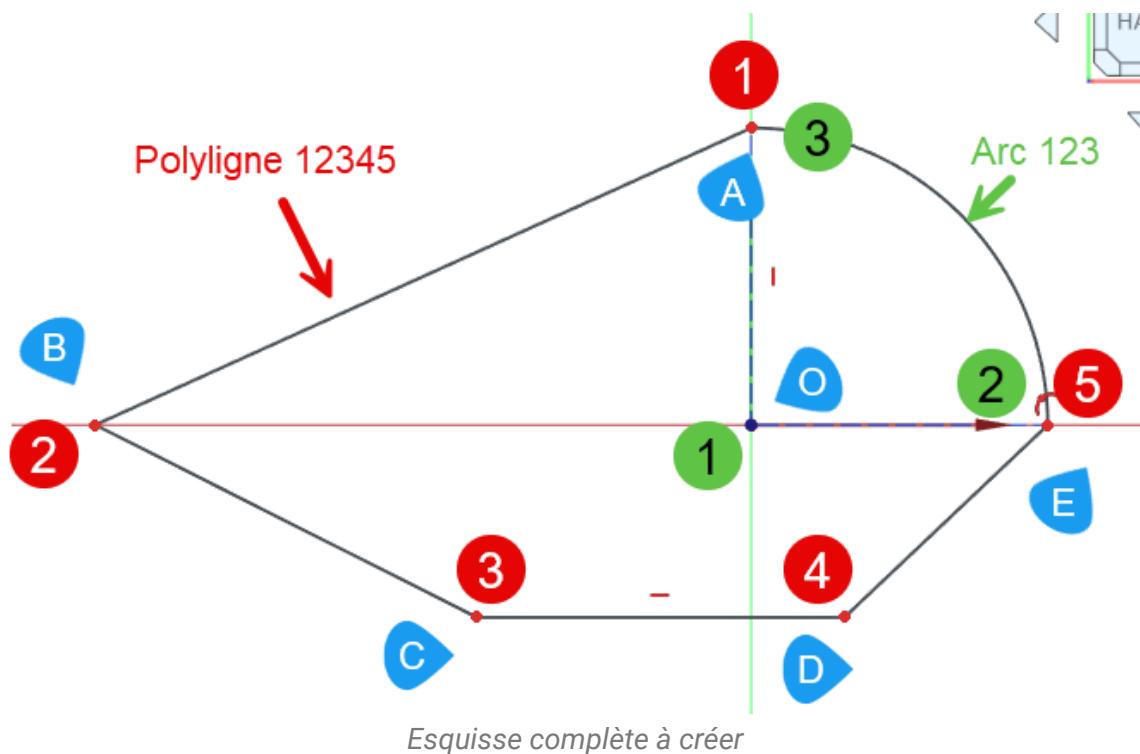


Explications :

- 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 :



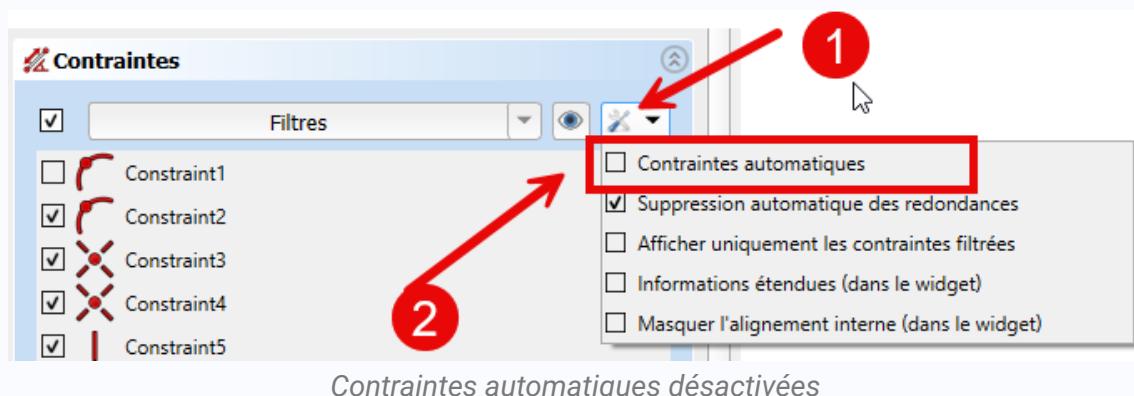
- Nous allons construire l'esquisse ci-dessous constituée d'un polygone ABCDE et d'un arc EA, une première fois avec le mode Contraintes automatiques désactivées, puis une seconde fois avec le mode Contraintes automatiques activées ;



2.2.2.1. Contraintes auto. désactivées

✓ Tâches à réaliser

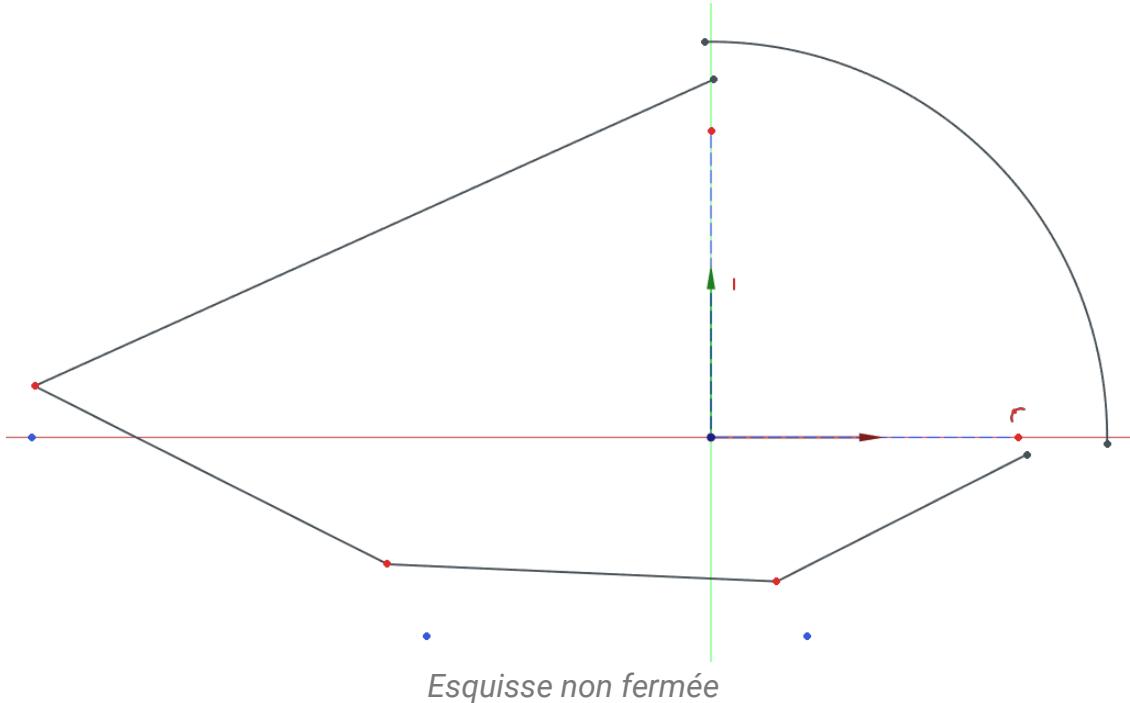
- Si nécessaire, ouvrir l'esquisse Sketch du document xxtuto3 dans l'atelier Sketcher ;
- Cliquer sur le bouton déroulant du panneau Contraintes et décocher Contraintes automatiques ;



- Créer une polyligne joignant les points A, B, C, D, E, ; (Cliquer droit deux fois pour sortir de la commande Polyligne);
- 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 :

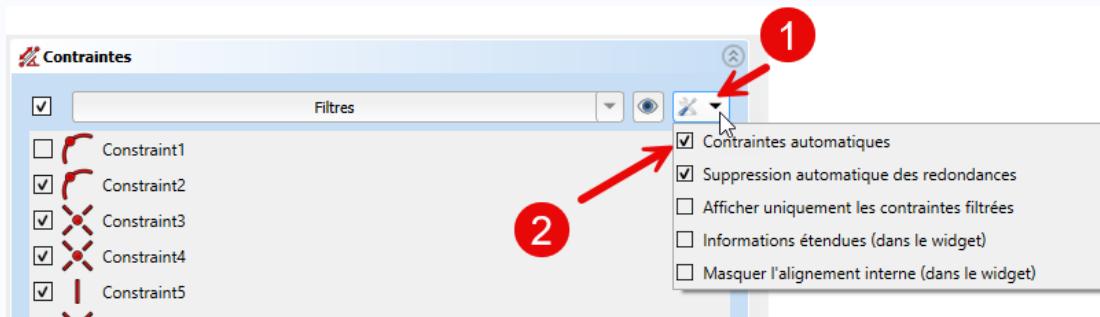
- l'arc n'est pas accroché à la polyligne ;
- tous les segments de la polyligne peuvent se déplacer sans contraintes ;
- idem pour l'arc ;



2.2.2.2. Contraintes auto. activées

☰ Tâches à réaliser

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



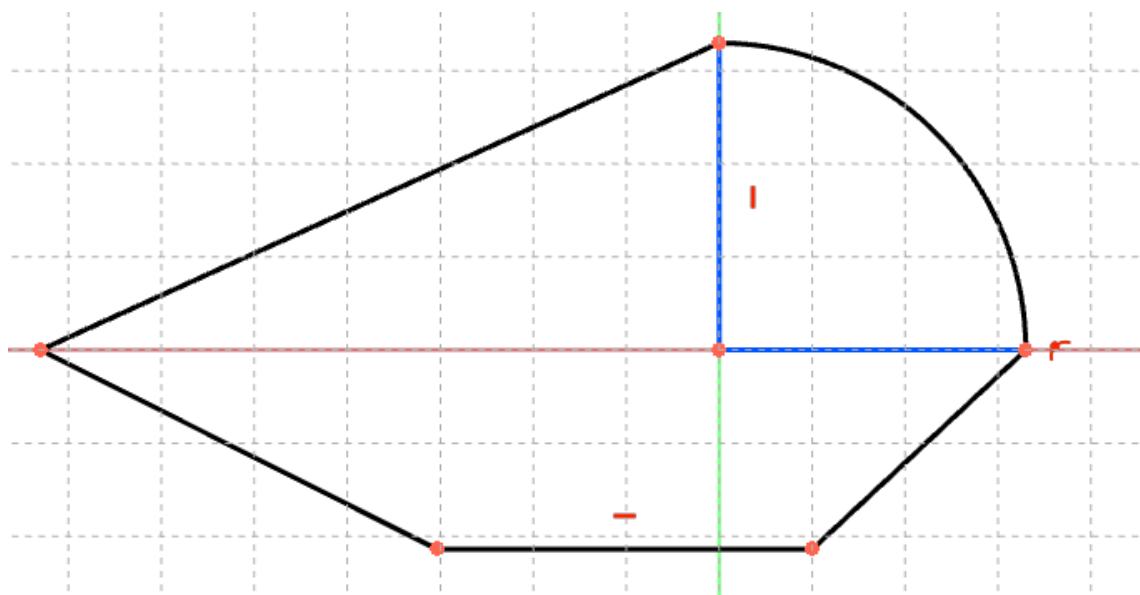
- Créer une polyligne joignant les points A, B, C, D, E, en observant attentivement le pointeur de la souris lors de la création de la polyligne ;
- Cliquer droit deux fois pour sortir de la commande Polyligne ;
- Créer un arc en cliquant successivement les points O, E, A en observant attentivement le pointeur de la souris lors de la création de l'arc ;

- 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 ;



2.2.2.3. Conclusion



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 raté 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 ;

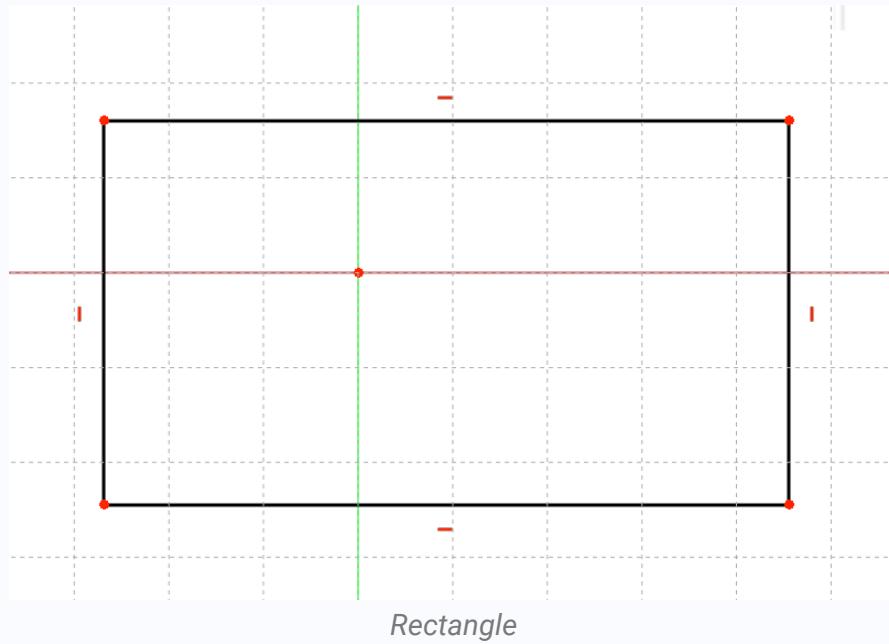
2.2.3. Contraintes redondantes

Objectifs

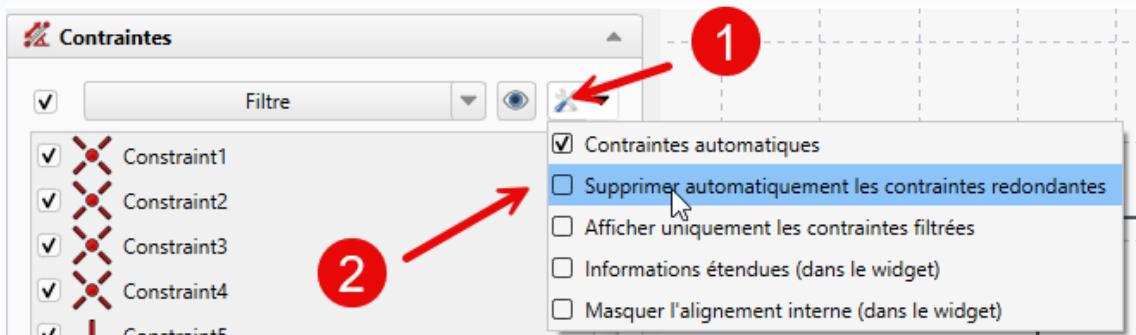
- Comprendre et utiliser le réglage Suppression automatique des contraintes redondantes ;
- Utiliser la géométrie Rectangle
- Utiliser la contrainte Symétrie

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 comme ci-dessous :

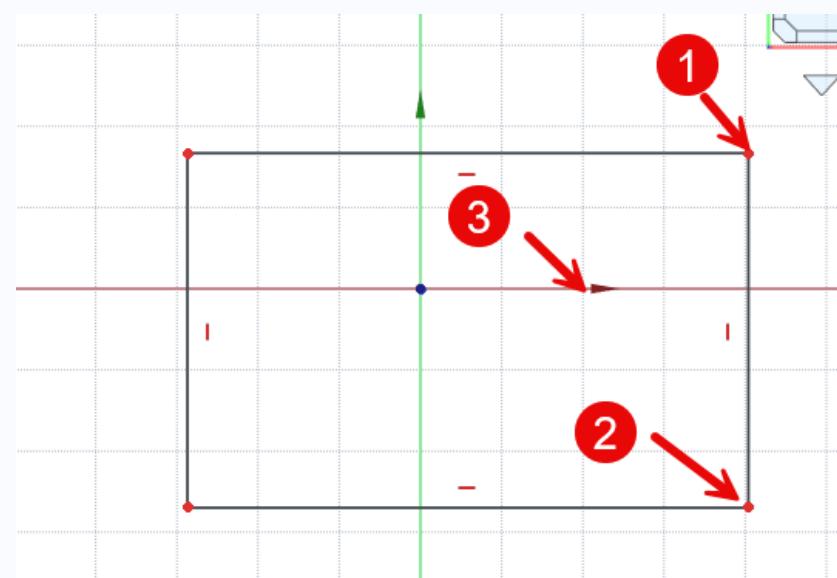


- Cliquer sur le bouton déroulant
- du panneau
- Contraintes et décocher la case Supprimer automatiquement les contraintes redondantes ;



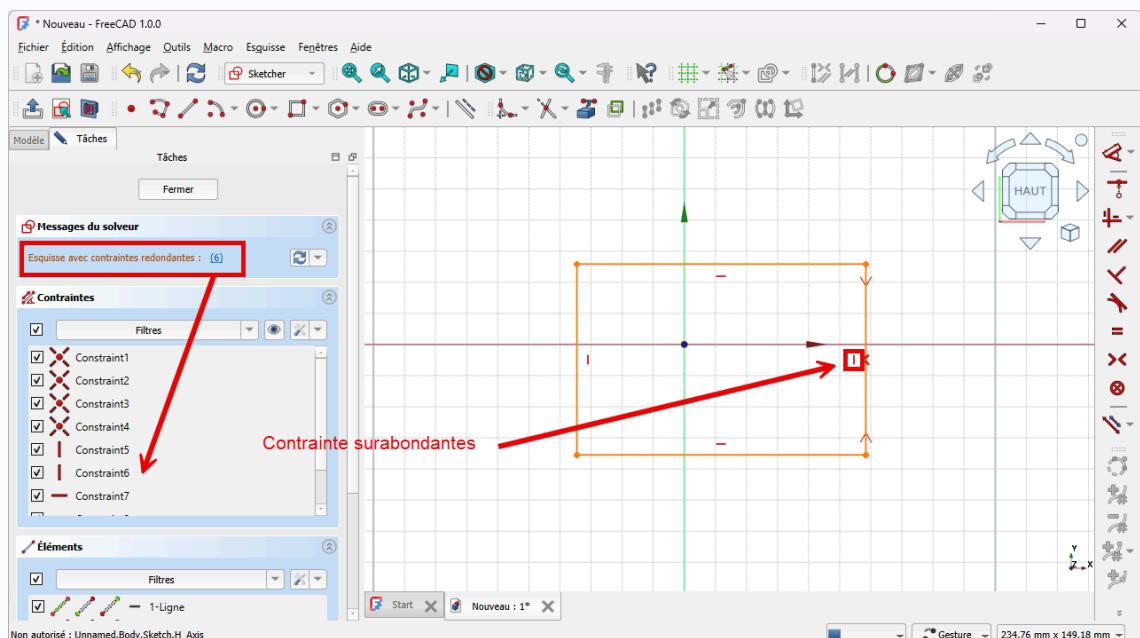
- Cliquer sur la contrainte symétrie

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



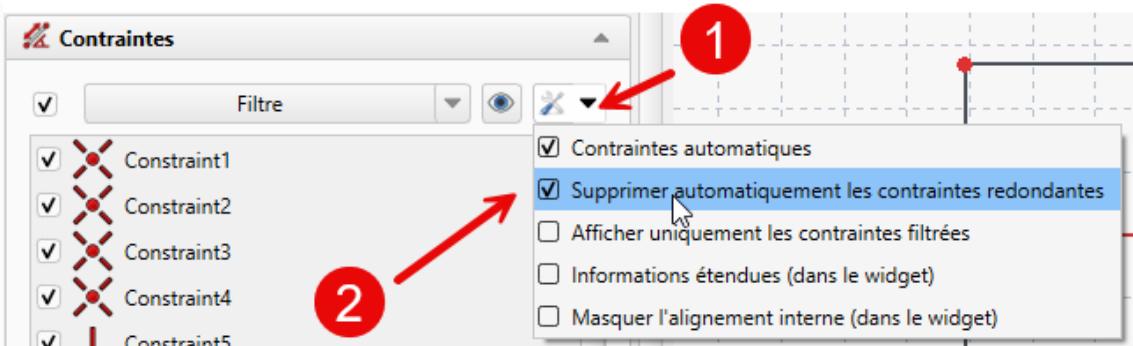
Contrainte de symétrie de 2 points par rapport à un axe

- Que constatez vous ?



Message d'erreur

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

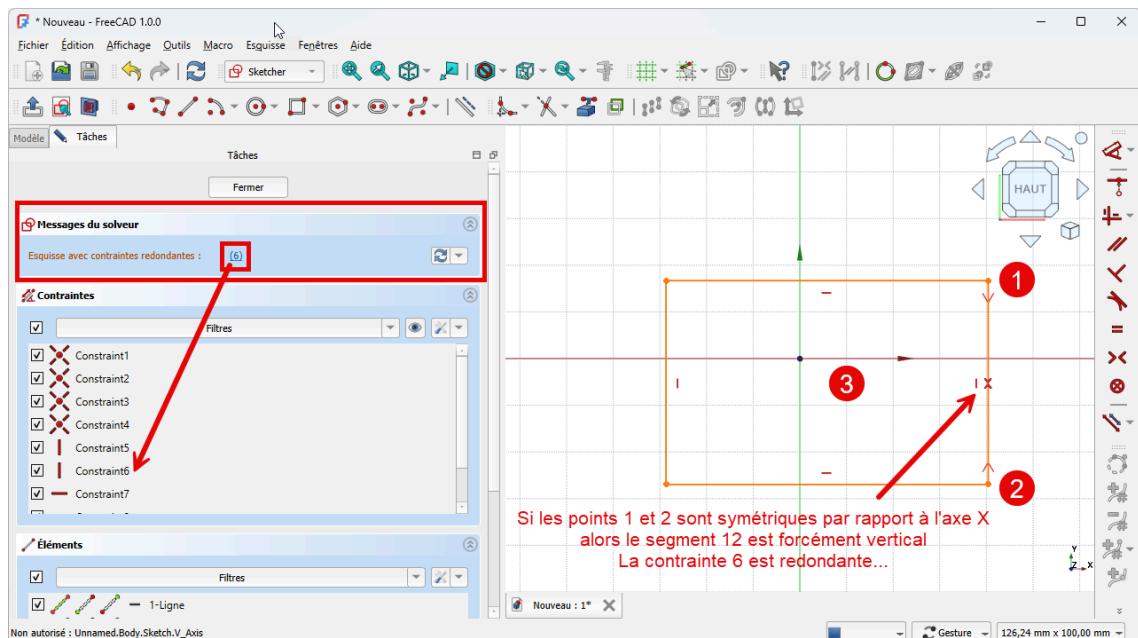


Suppression automatique des contraintes redondantes activée

- 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



Explanation de l'erreur

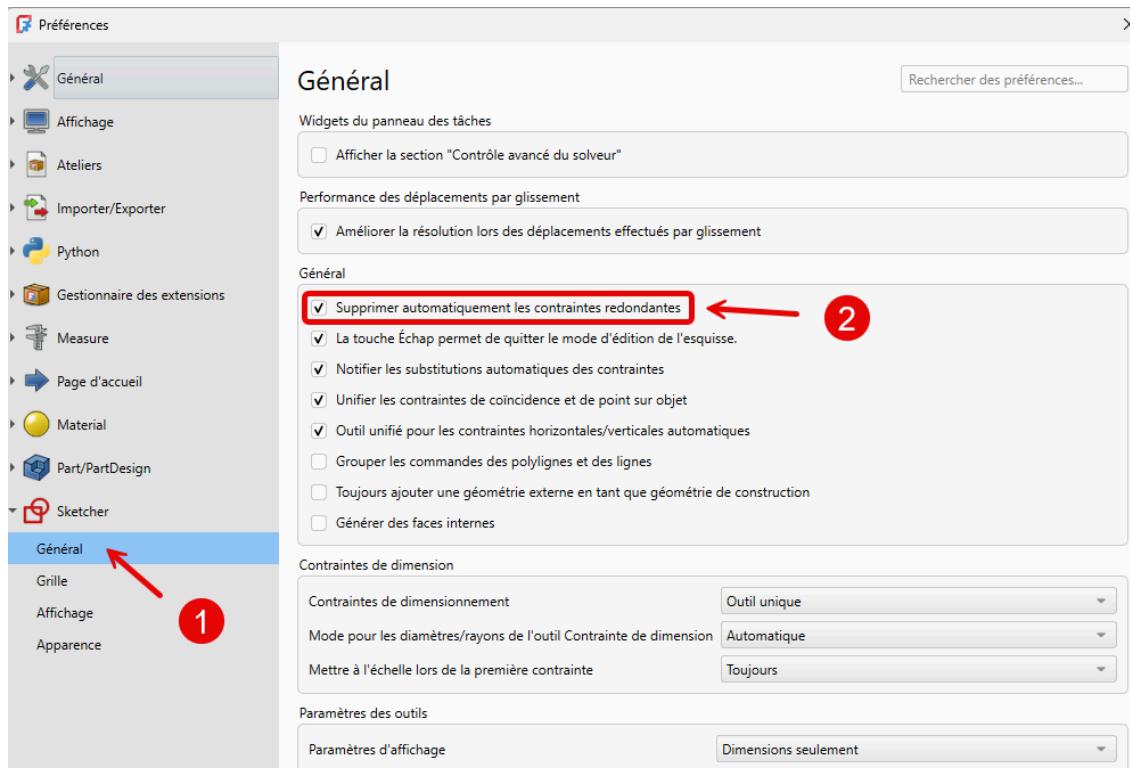
2. ce qui est surabondant par rapport à la contrainte verticale qui a été créée au moment de la création du rectangle
3. ce qui explique le message d'erreur lorsque le réglage Supprimer automatiquement les contraintes redondantes du solveur n'est pas activé.

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 (4) ci-dessous des préférences de l'atelier Sketcher :



Préférences Sketcher : suppression automatiques des contraintes redondantes

2.2.4. Fermeture des esquisses

Objectifs

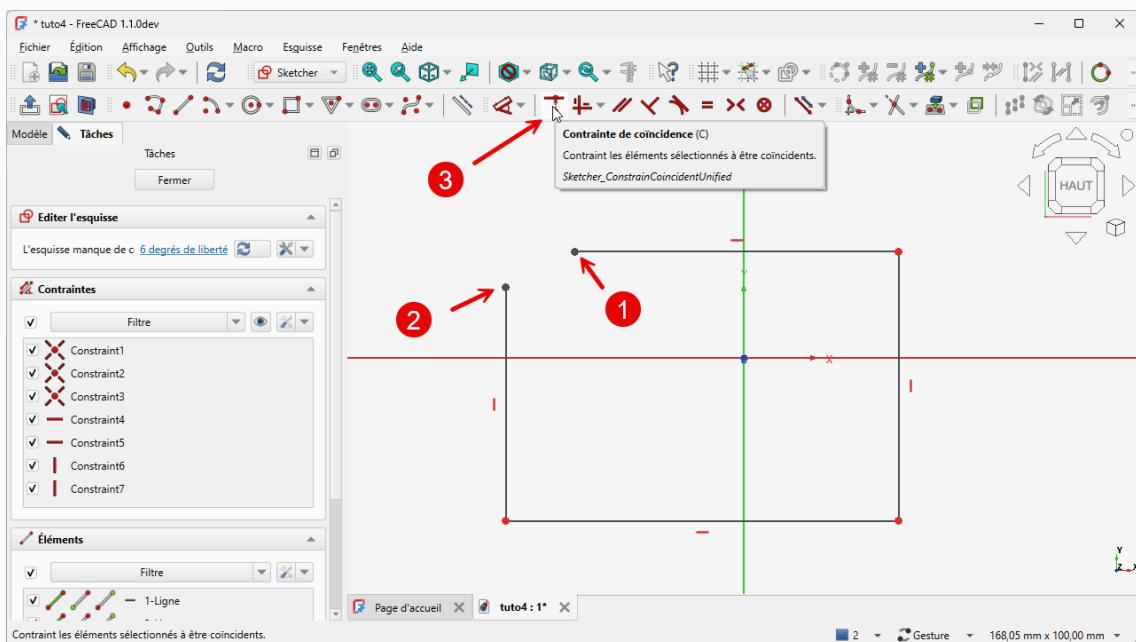
- Comprendre l'enjeu de la fermeture des esquisses ;
- Connaître les bonnes pratiques pour obtenir des esquisses fermées ;
- Utiliser une [contrainte de coïncidence](#)  ;

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 ;
- 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 côté 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

- Quitter l'atelier Sketcher et appliquer à nouveau la commande Protrusion ;
- Conclusion : La plupart des fonctions paramétriques : protrusion, révolution, cavité... appliquées à une esquisse **nécessite que cette esquisse soit fermée**.

Aide

Pour appliquer la contrainte de coïncidence , cliquer sur les deux points pour les sélectionner puis cliquer sur le bouton ;

Bonnes pratiques

- Privilégier l'utilisation de polygone 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

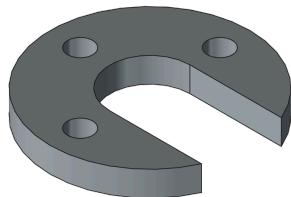
- Une esquisse peut être entièrement contrainte sans être fermée ;

2.3. TP 2-1 🔍

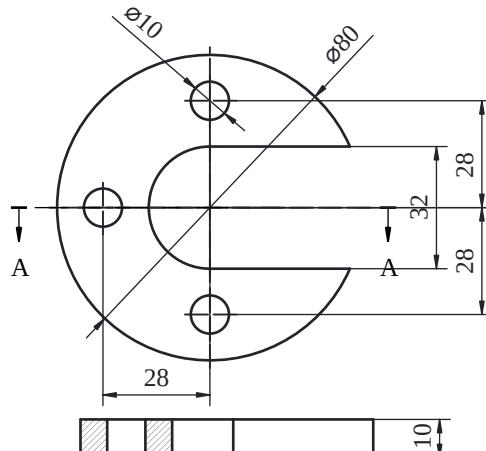
🎯 Objectifs

- Utiliser les géométries : Cercle^W , Ligne^W , Arc par son centre^W 
- Utiliser la contrainte géométrique d'égalité^W 
- Exploiter les contraintes automatiques lors de la création de ces géométries ;
- Utiliser la commande Ajuster^W 
- Utiliser la contrainte de dimension^W 

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

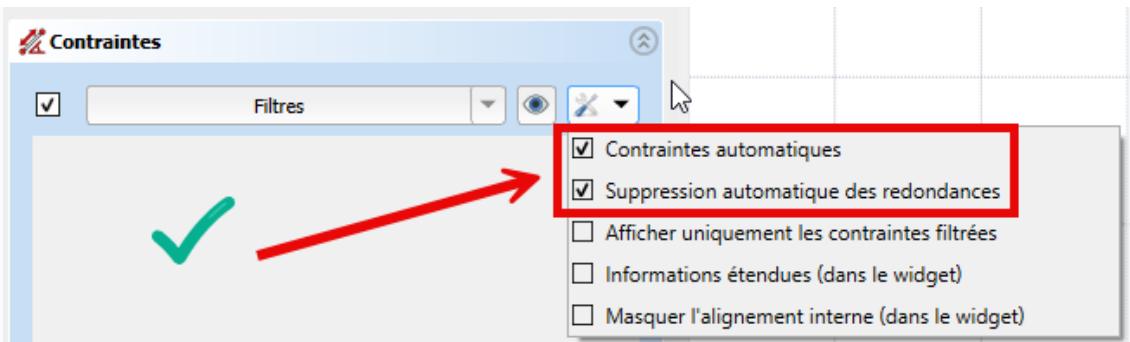


TP2-1



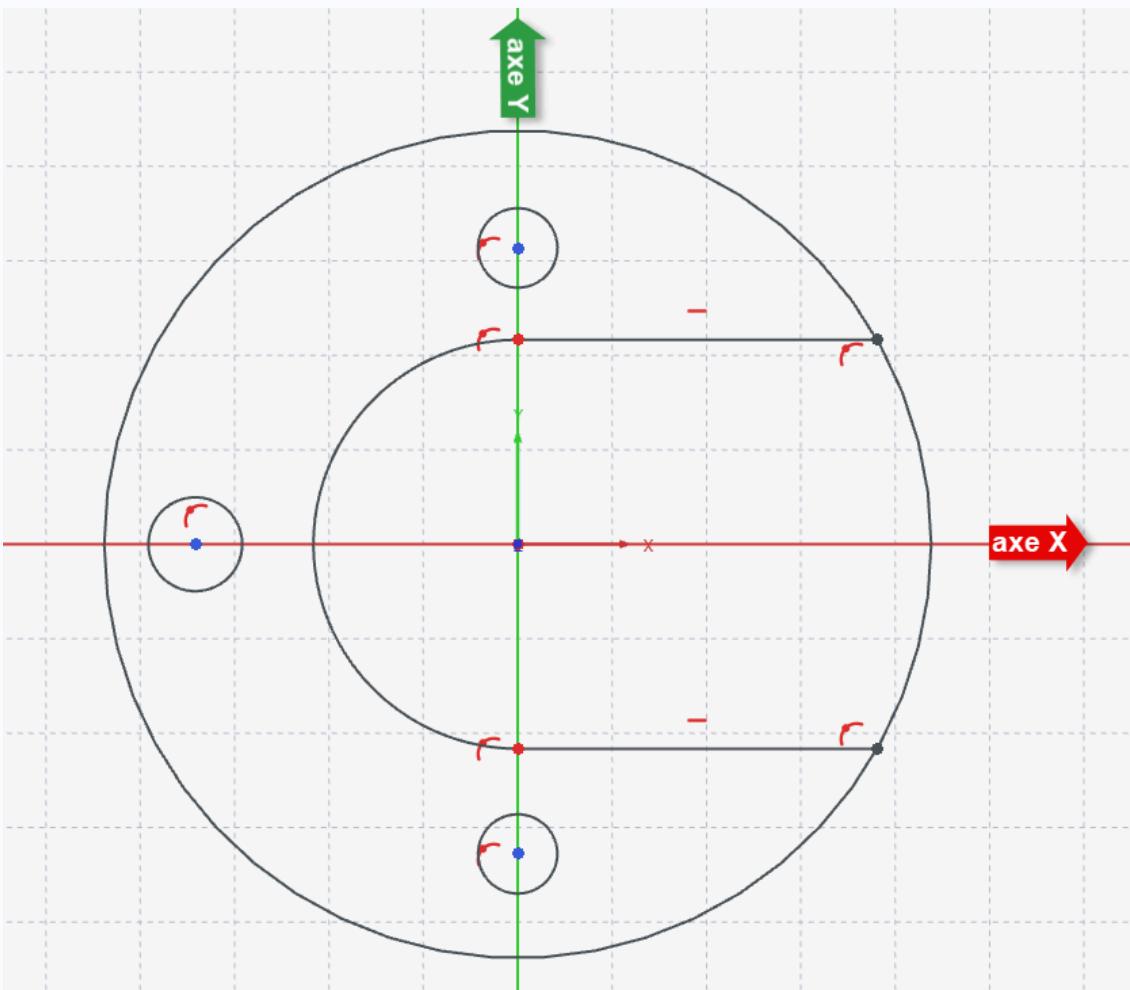
🕒 Tâches à réaliser

- Dans FreeCAD, si nécessaire, refermer les documents ouverts précédemment ;
- Créer un nouveau document  TP2-1 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 :

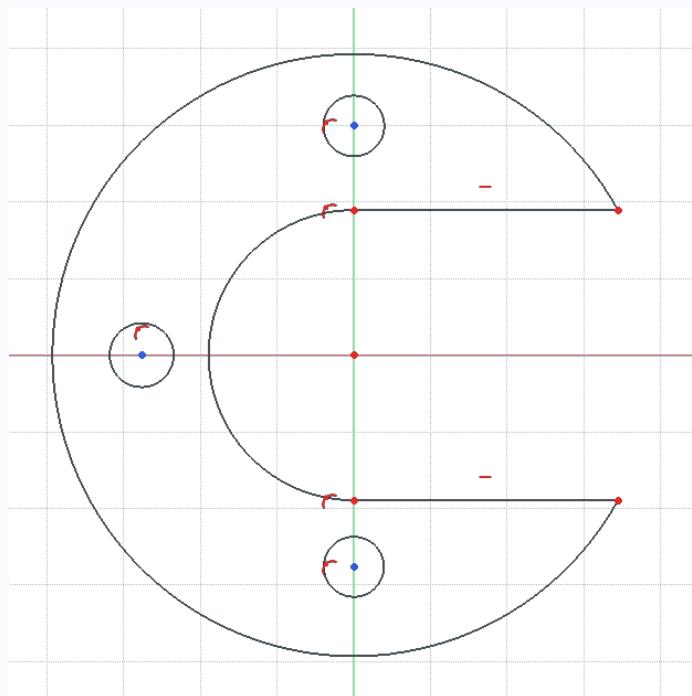
Tableau des contraintes automatiques à exploiter

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
cercle	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 :

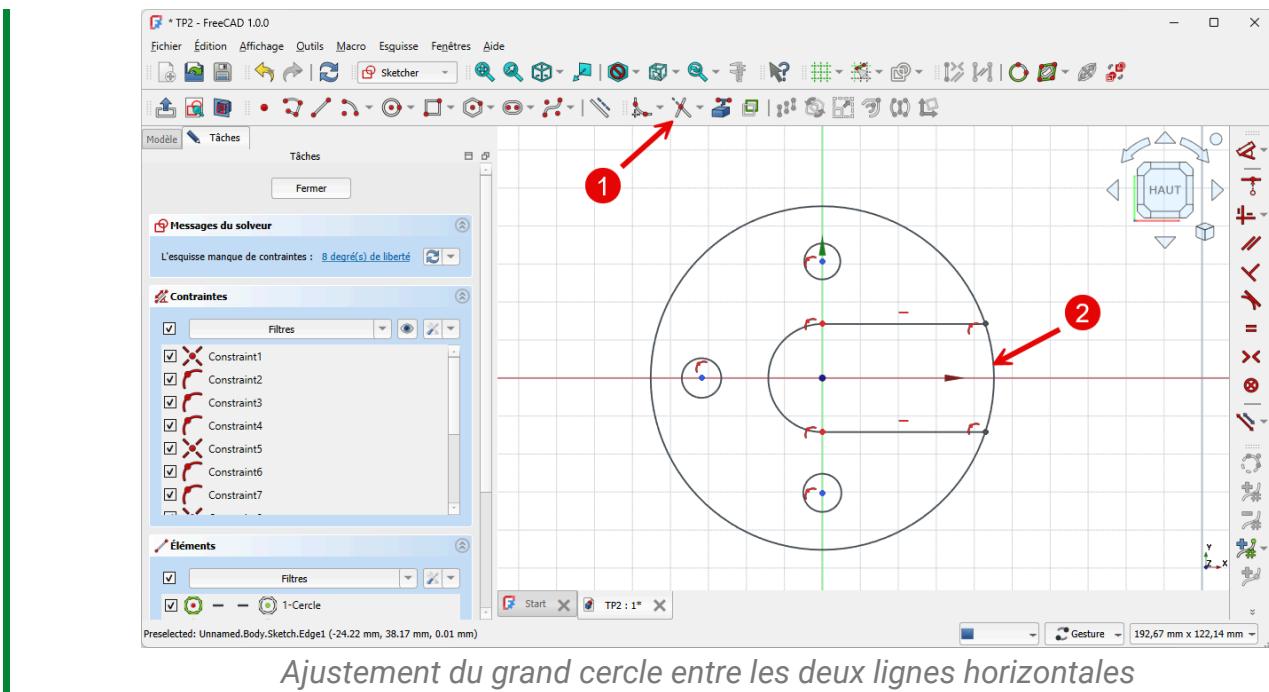
Ajustement du grand cercle



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

💡 Aide :

Pour ajuster le grand cercle, il suffit de cliquer sur la commande  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

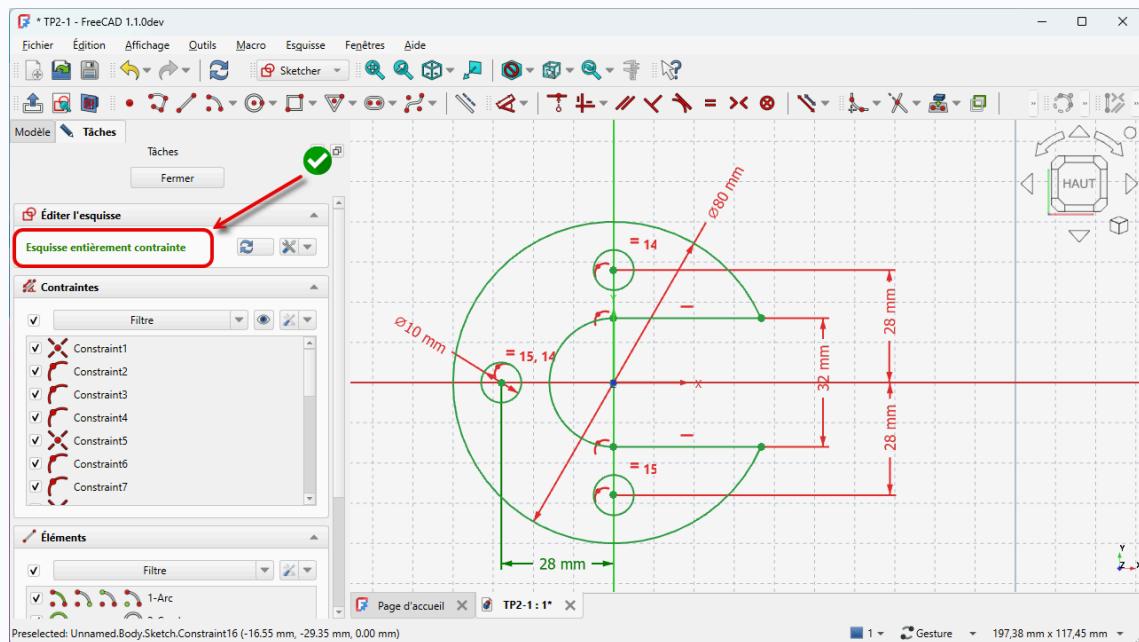
Si vous utilisez directement le bouton pour contraindre la dimension du grand cercle, devenu un arc après l'ajustement, FreeCAD proposera de saisir le rayon et non le diamètre : appuyer sur la touche pour saisir le diamètre ;

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

- Cliquer sur le bouton , puis cliquer le centre d'un petit cercle pour fixer la distance de centre par rapport à l'origine : FreeCAD déduira de la position du cercle la distance verticale ou horizontale à saisir ;

▼ Tâches à réaliser (suite et fin)

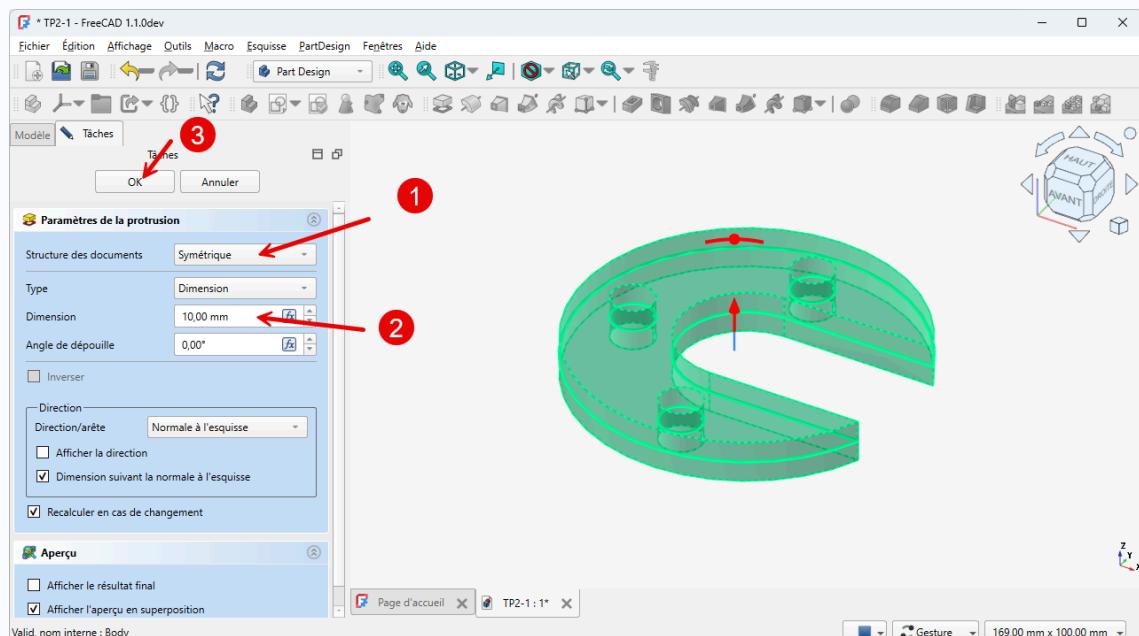
- Vérifier que l'esquisse est bien entièrement contrainte ;



Esquisse entièrement contrainte

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

Création de la proéusion



Paramètres de la proéusion

2.3.1. ➤ Capture vidéo

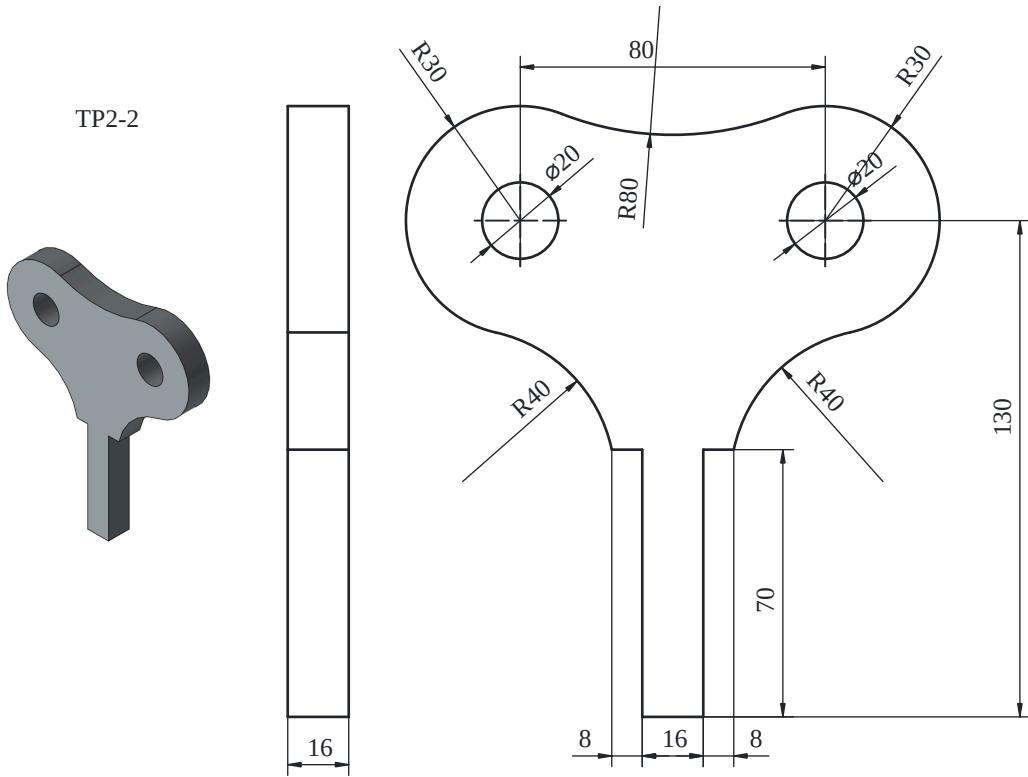


2.4. TP 2-2 🔑

🔗 Objectifs

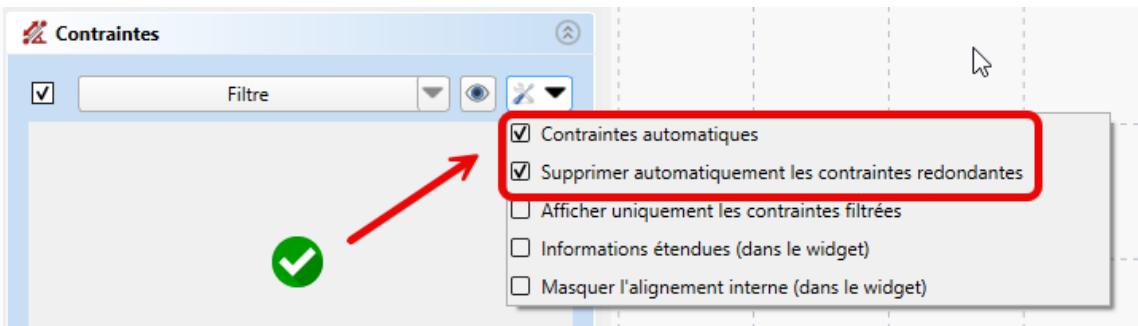
- Utiliser les géométries : polygone^W , arc 3 points^W ;
- Utiliser les contraintes géométriques : symétrie^W , tangente^W ;

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



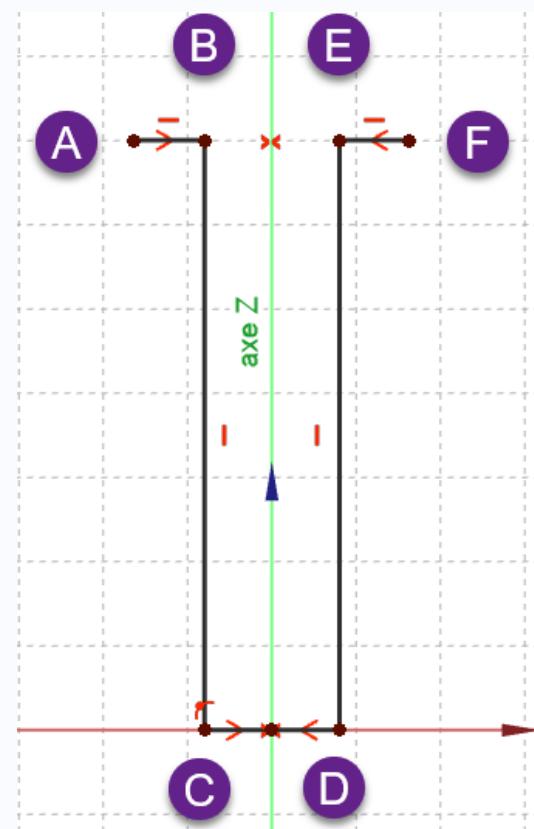
🕒 Tâches à réaliser

- 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 cochées ;



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)



- 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

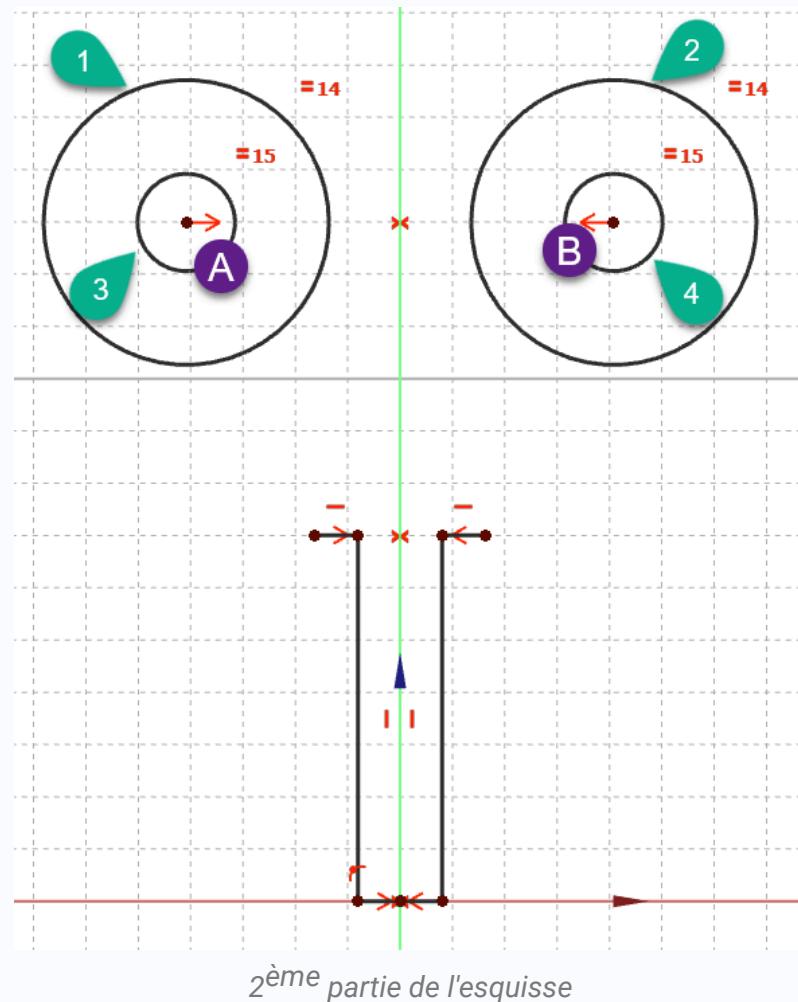
Géométrie	Points	Contraintes automatiques
Polygone	Point B	—
	Point C	↗ sur l'axe X
	Point D	↗ sur l'axe X
	Point E	
	Point F	—

💡 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 :



- 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 ;

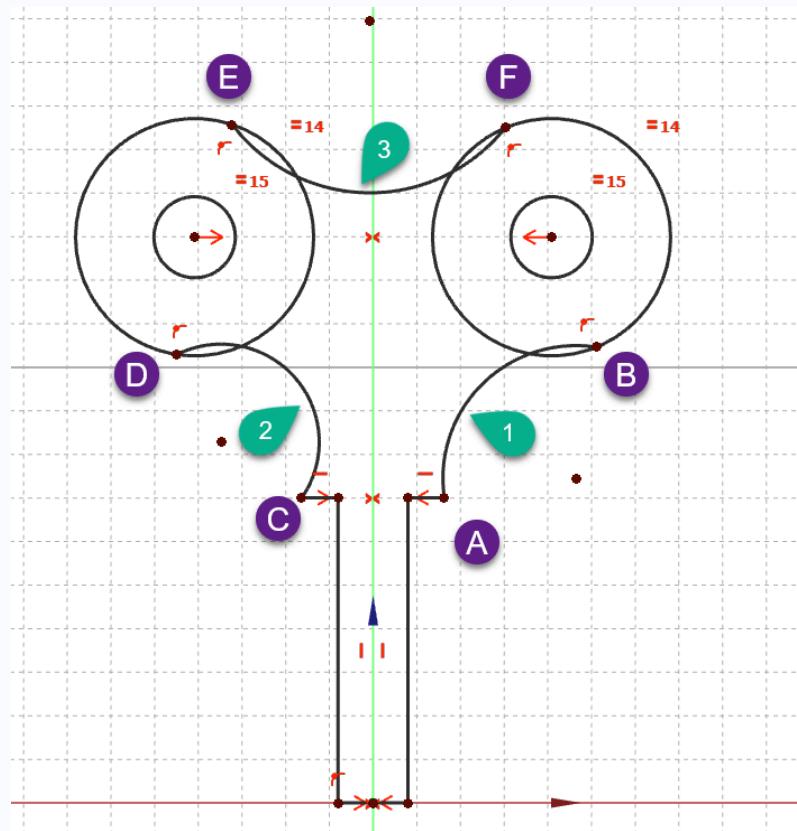
Aide :

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 :



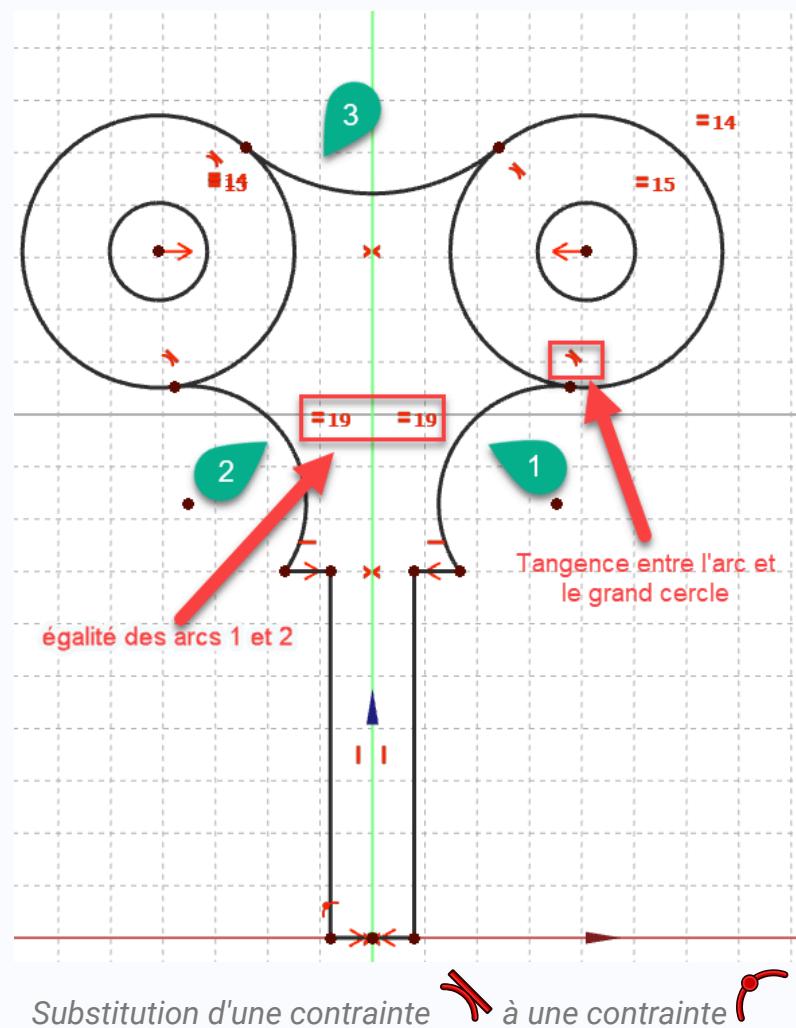
Aide :

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)

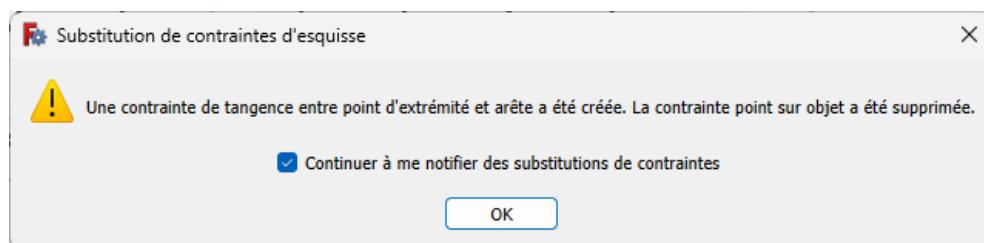
- Utiliser la contrainte d'égalité entre les arcs 1 et 2 ;
- Utiliser la contrainte de tangence respectivement entre l'arc 1 et le grand cercle de droite, entre l'arc 2 et le grand cercle de gauche, entre l'arc 3 et les deux grands cercles ;



Substitution de contraintes

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

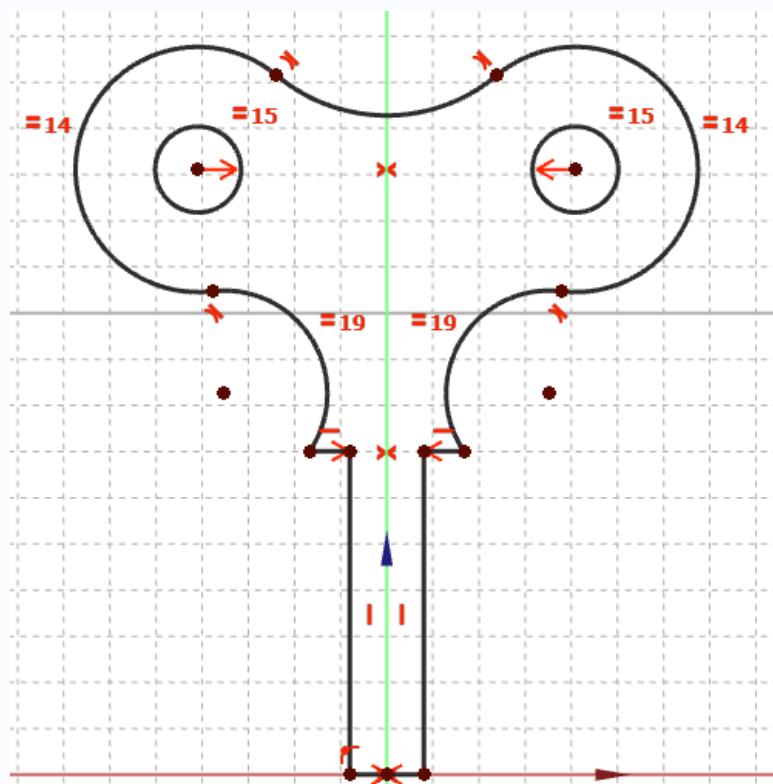
Valider la boîte de dialogue :



Message de FreeCAD lors d'une substitution de contrainte

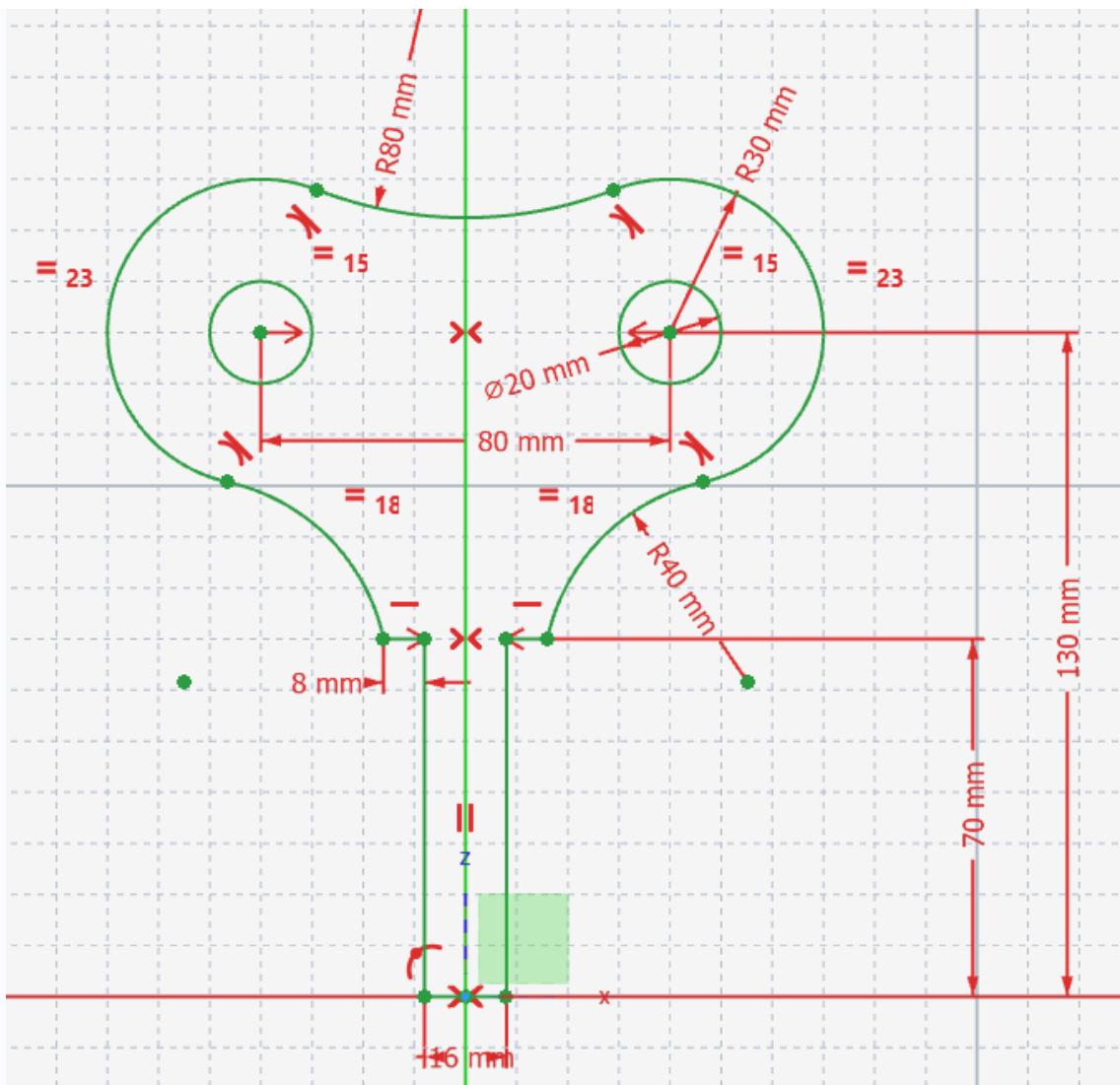
Tâches à réaliser (suite et fin)

- Ajuster les deux grands cercles ;



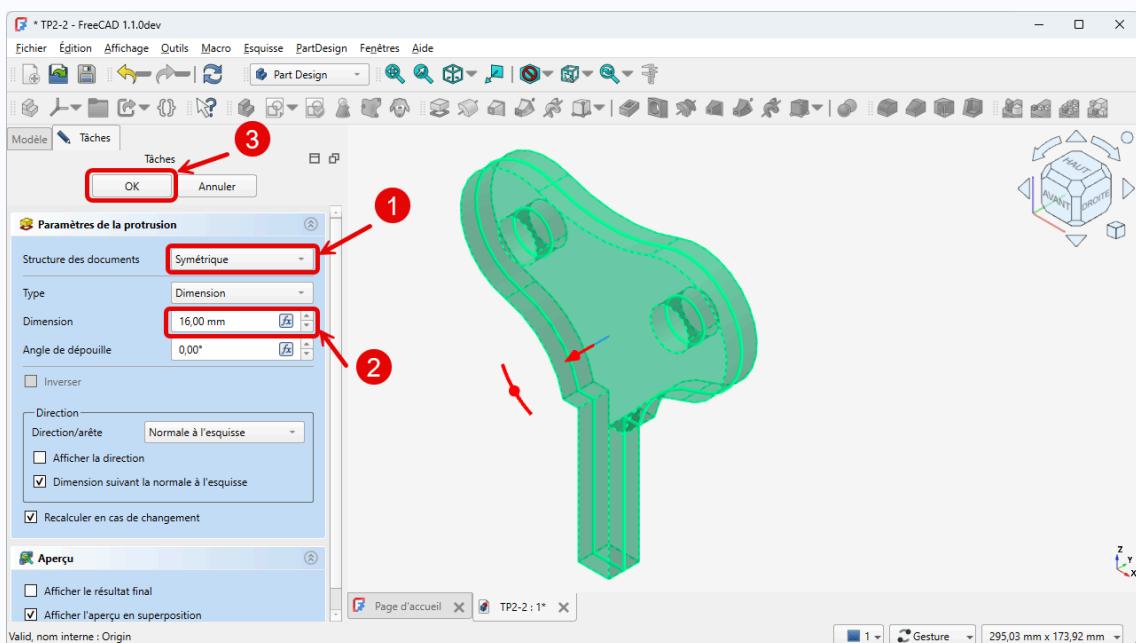
Ajustement des grands cercles

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



Esquisse avec les contraintes dimensionnelles

- Fermer l'esquisse et créer une protrusion de 16 mm symétrique ;



2.4.1. Capture vidéo



2.5. Géométries de construction

Objectifs

- Différencier géométrie de définition 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 de définition** et les **géométries de construction** :

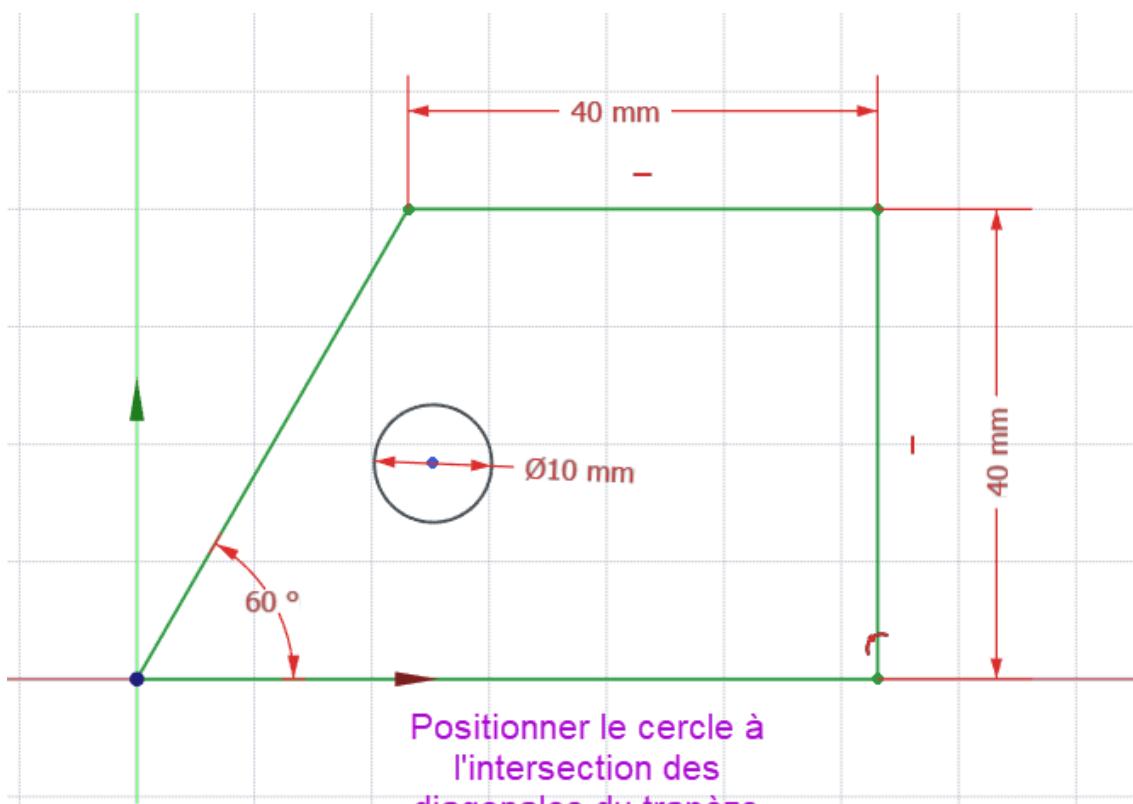
- Les géométries (de définition) sont utilisées par les fonctions paramétriques 3D (protrusion, révolution...) pour « créer / supprimer de la matière » ;
- Les géométries de construction aident à définir les contraintes et les géométries de définition à l'intérieur de l'esquisse elle-même, **elles ne 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 ;

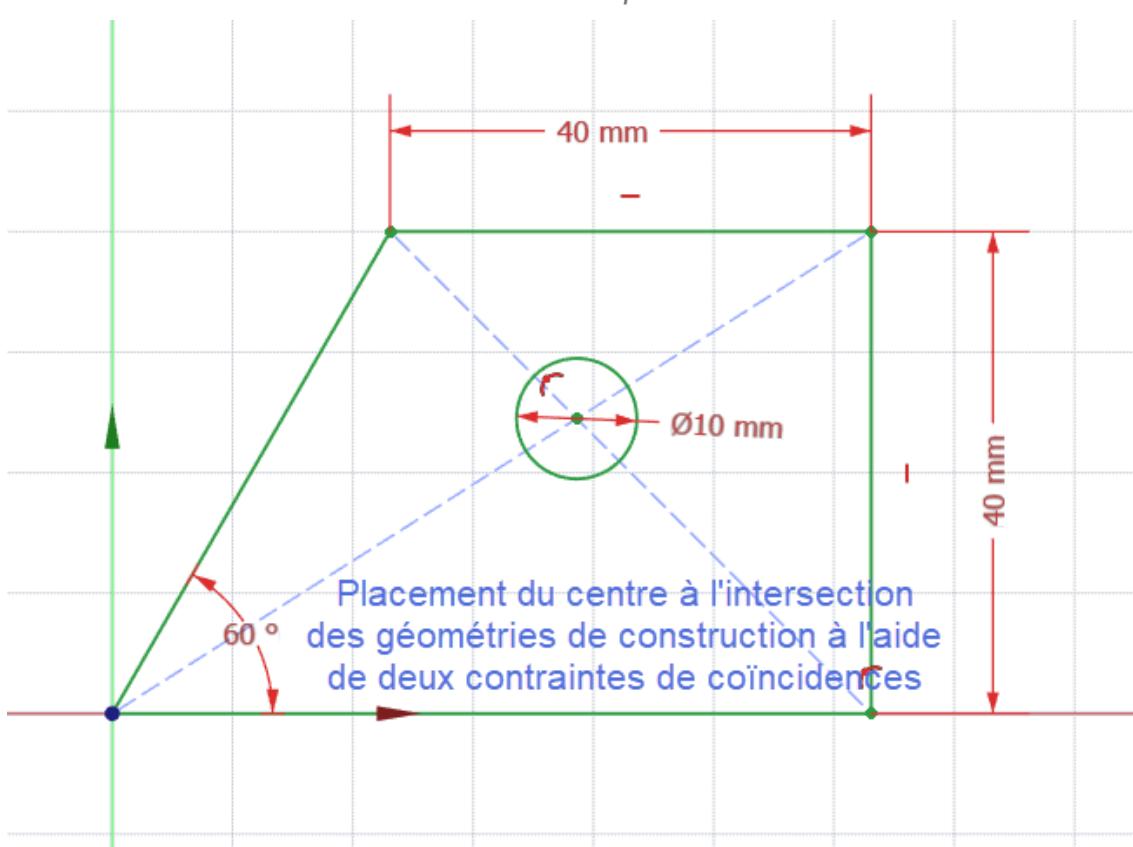
Par exemple :

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



Centre du cercle à positionner

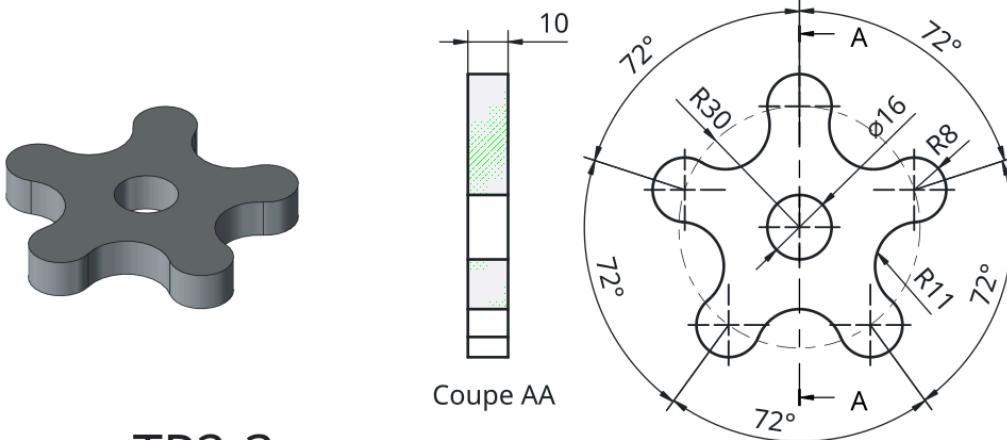


Placement du centre à l'intersection des diagonales à l'aide de 2 contraintes de coïncidence

Conseil

Pour construire des géométries de construction, il faut utiliser la commande **Activer / désactiver la géométrie de construction**  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

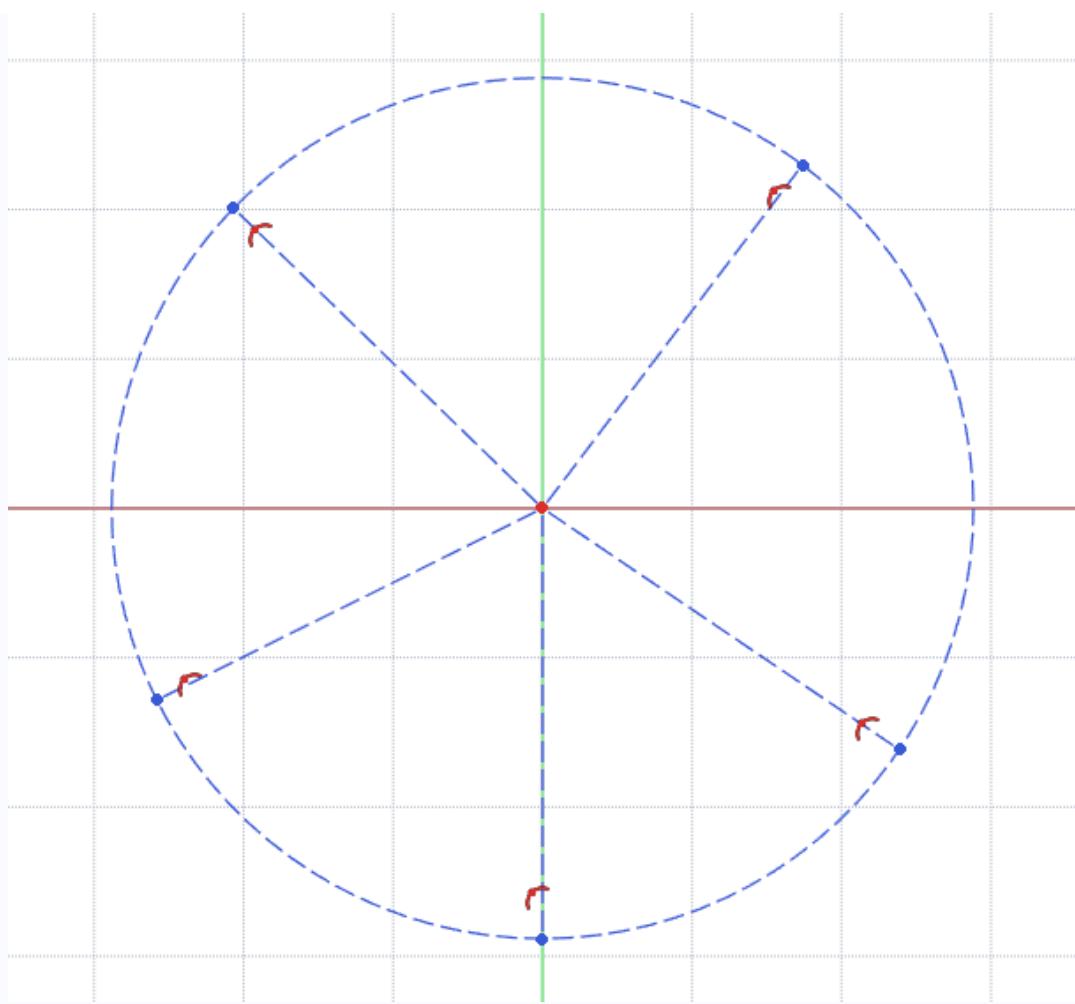
Tâches à réaliser : géométries de construction

- 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 :

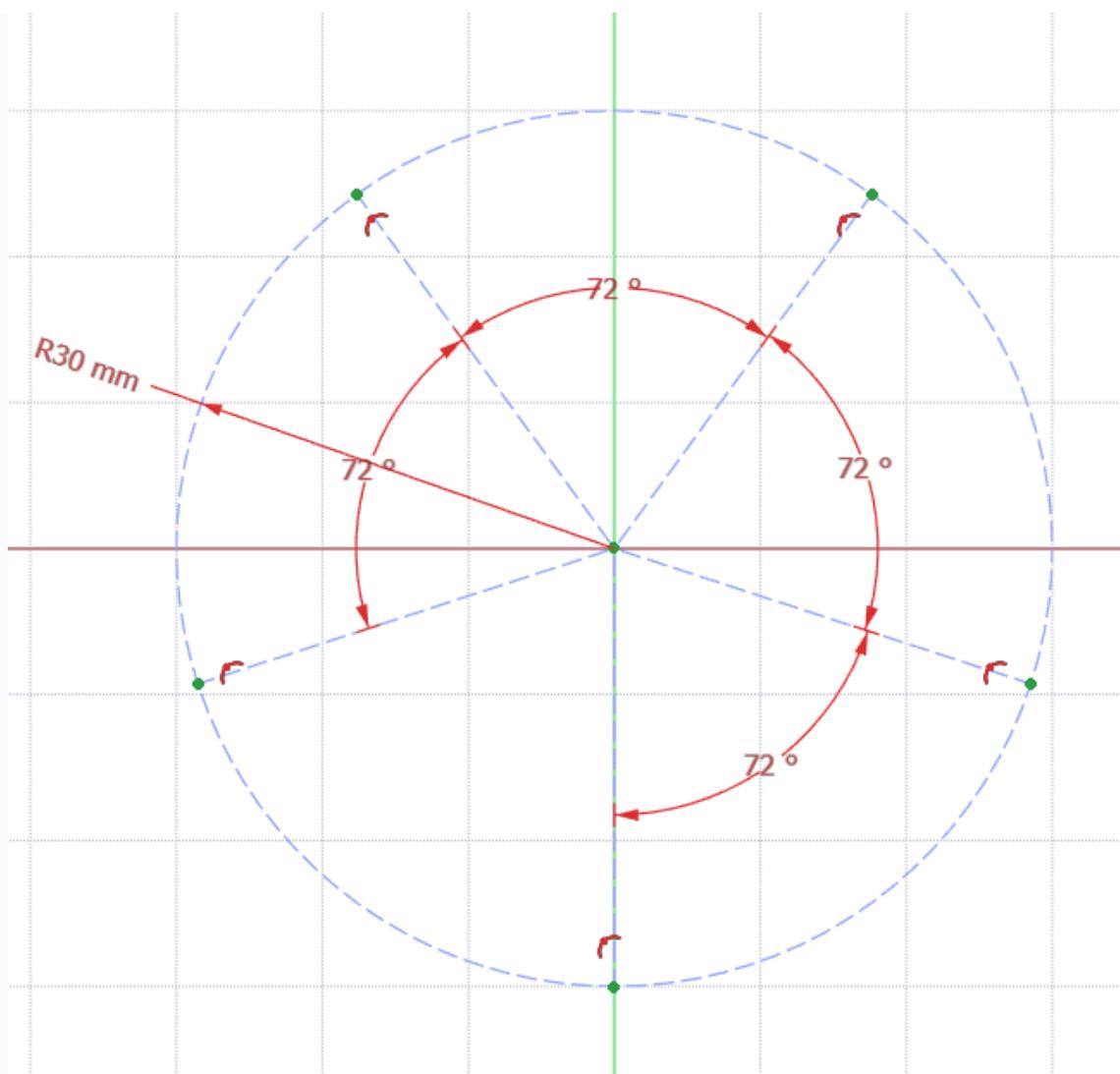


Barre d'outils : géométries de construction

- 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° ;

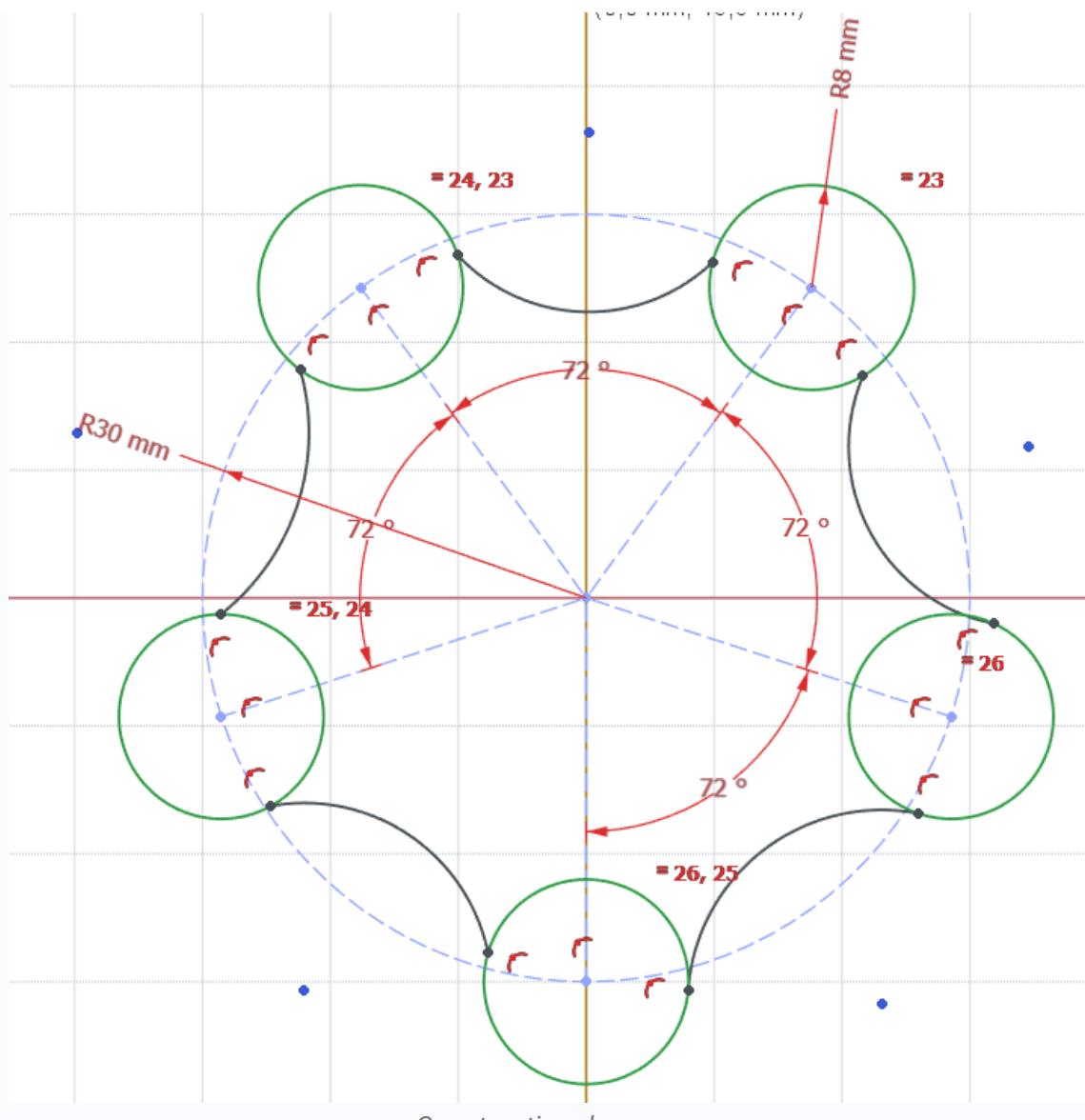


Aide :

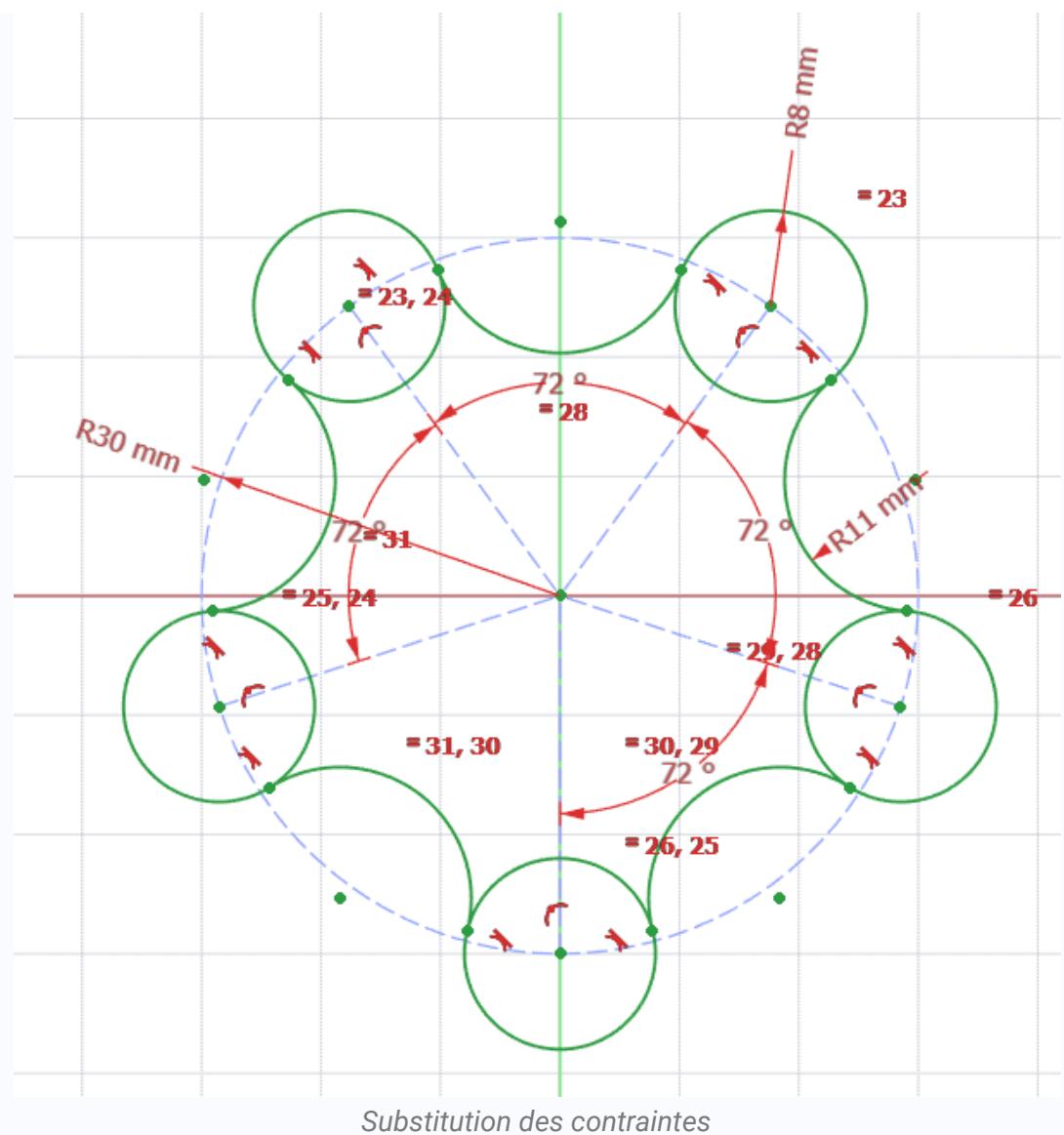
- Utiliser la contrainte automatique pour l'origine des 5 lignes ;
- Utiliser la contrainte automatique sur le cercle pour l'extrémité des 5 lignes ;

Tâches à réaliser : géométries de définition

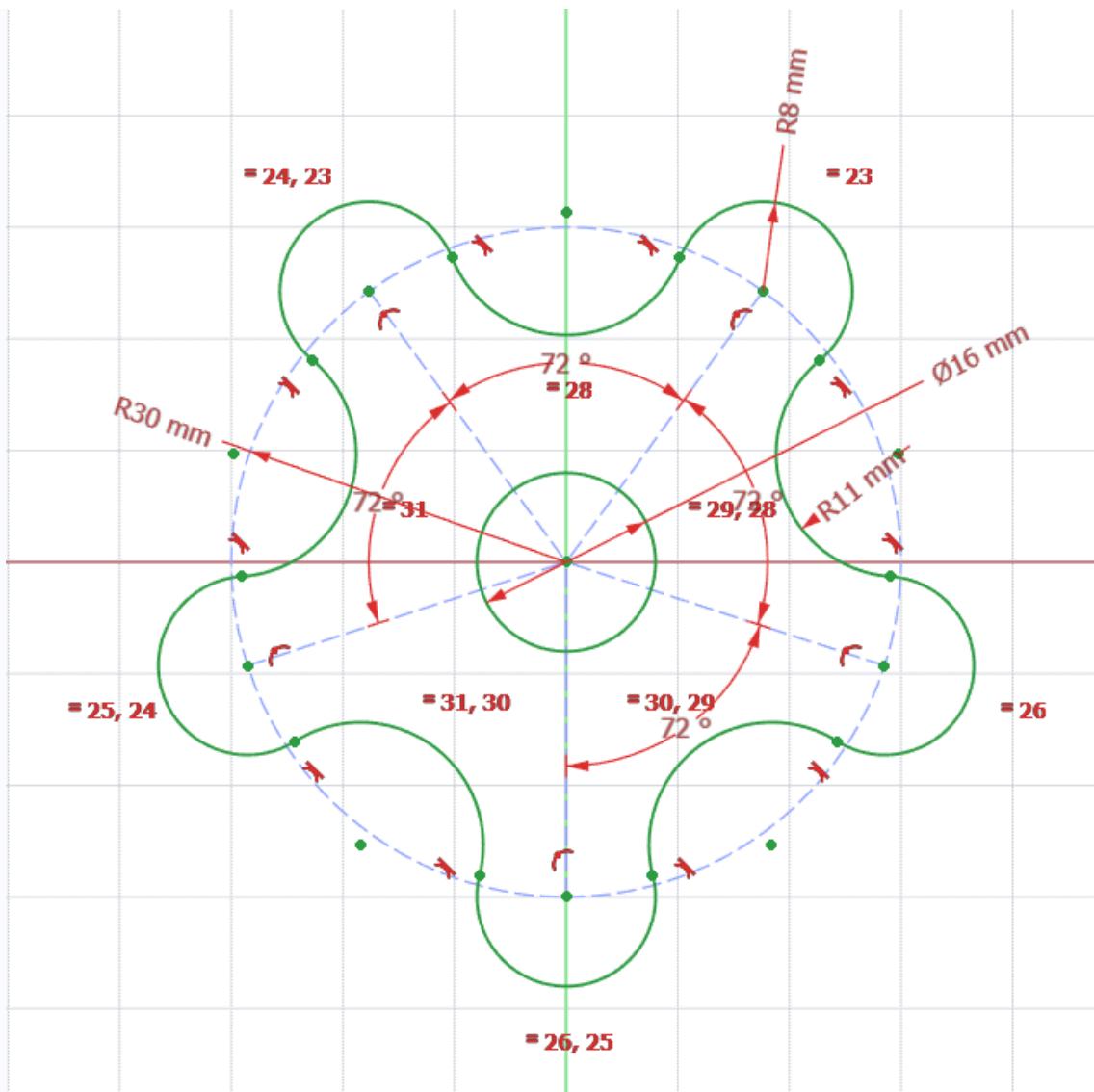
- Cliquer sur le bouton de la barre d'outils Géométries d'esquisse pour revenir en mode géométries de définition ;
 - Les boutons de la barre d'outils se recolorent en blanc,
- Créer 5 cercles égaux de rayon 8 mm centrés sur l'extrémité de chaque ligne de construction ;
- Créer 5 arcs 3 points en prenant soin d'exploiter la contrainte automatique pour les extrémités de ces arcs : chaque extrémité d'arc doit se trouver sur un cercle ;



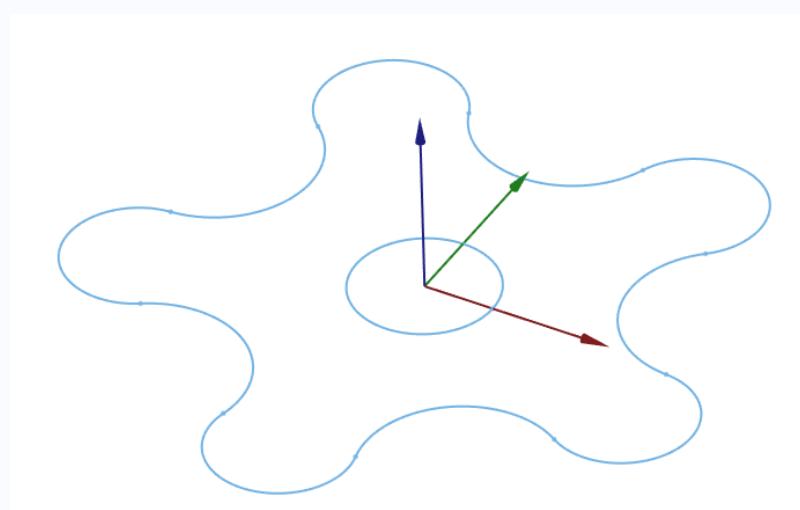
- Rendre tangents ces arcs aux cercles à l'aide de la contrainte de tangence  ;
- Vérifier que le contour extérieur est fermé ;
- Fixer le rayon de ces arcs à  11 mm ;



- 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 ;

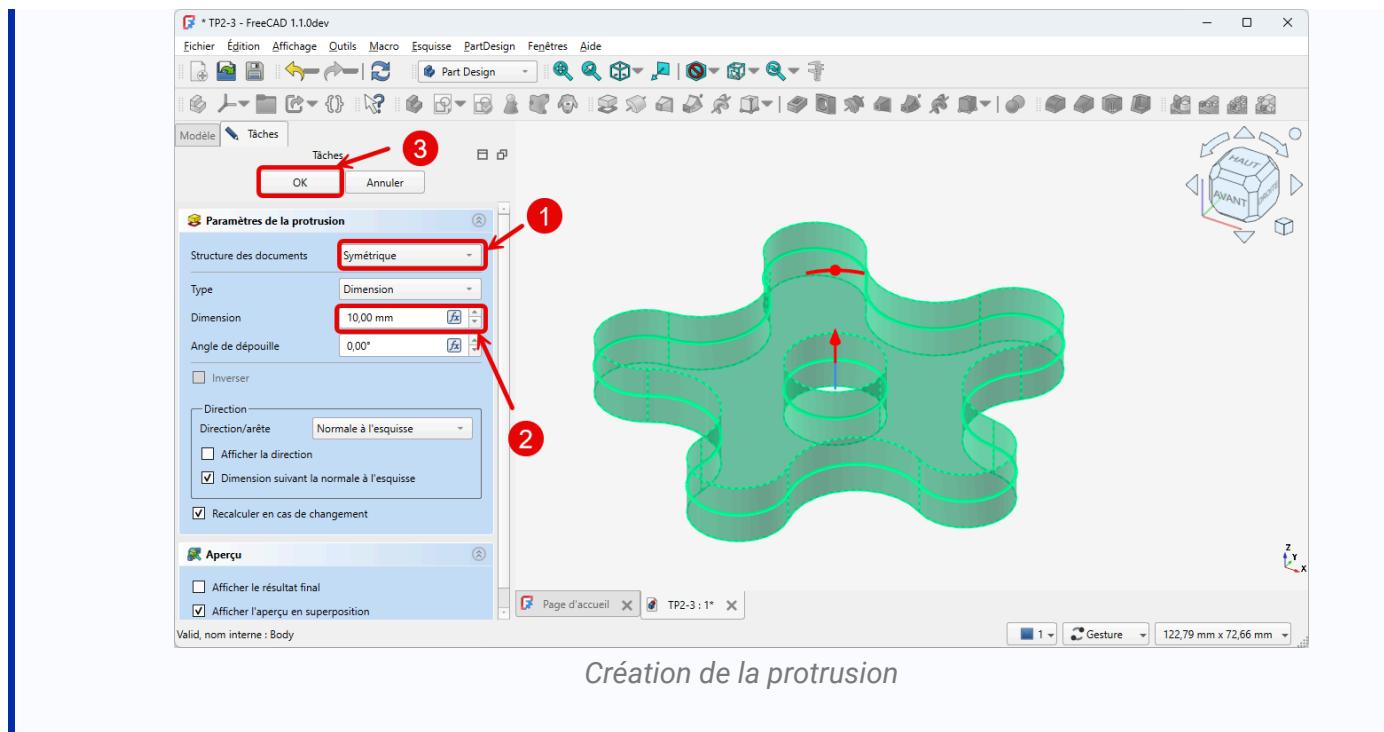


- Fermer l'atelier Sketcher  et vérifier que les lignes de construction n'apparaissent pas dans la vue 3D ;



Esquisse

- Appliquer une protrusion  de 10 mm symétrique ;



2.5.1. ➔ Capture vidéo

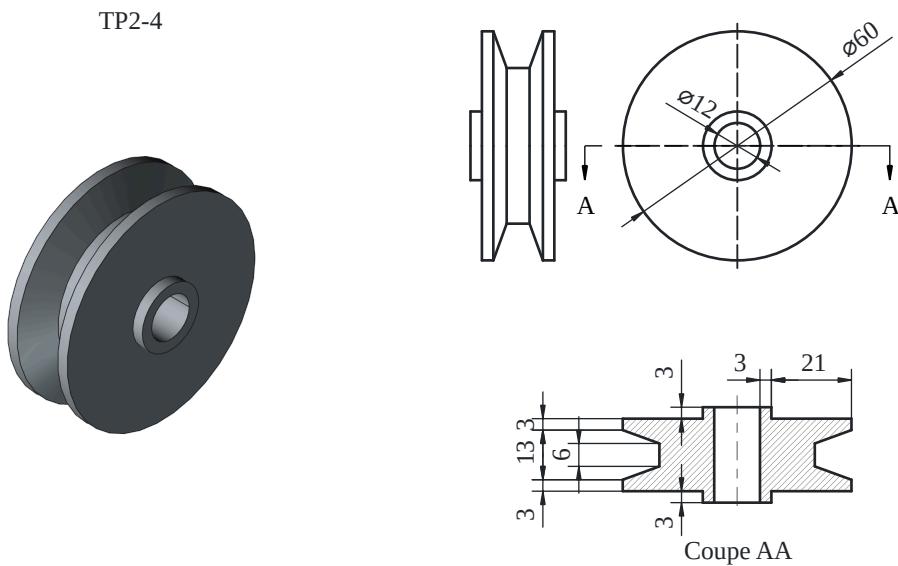


2.6. TP2-4

⌚ Objectifs

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

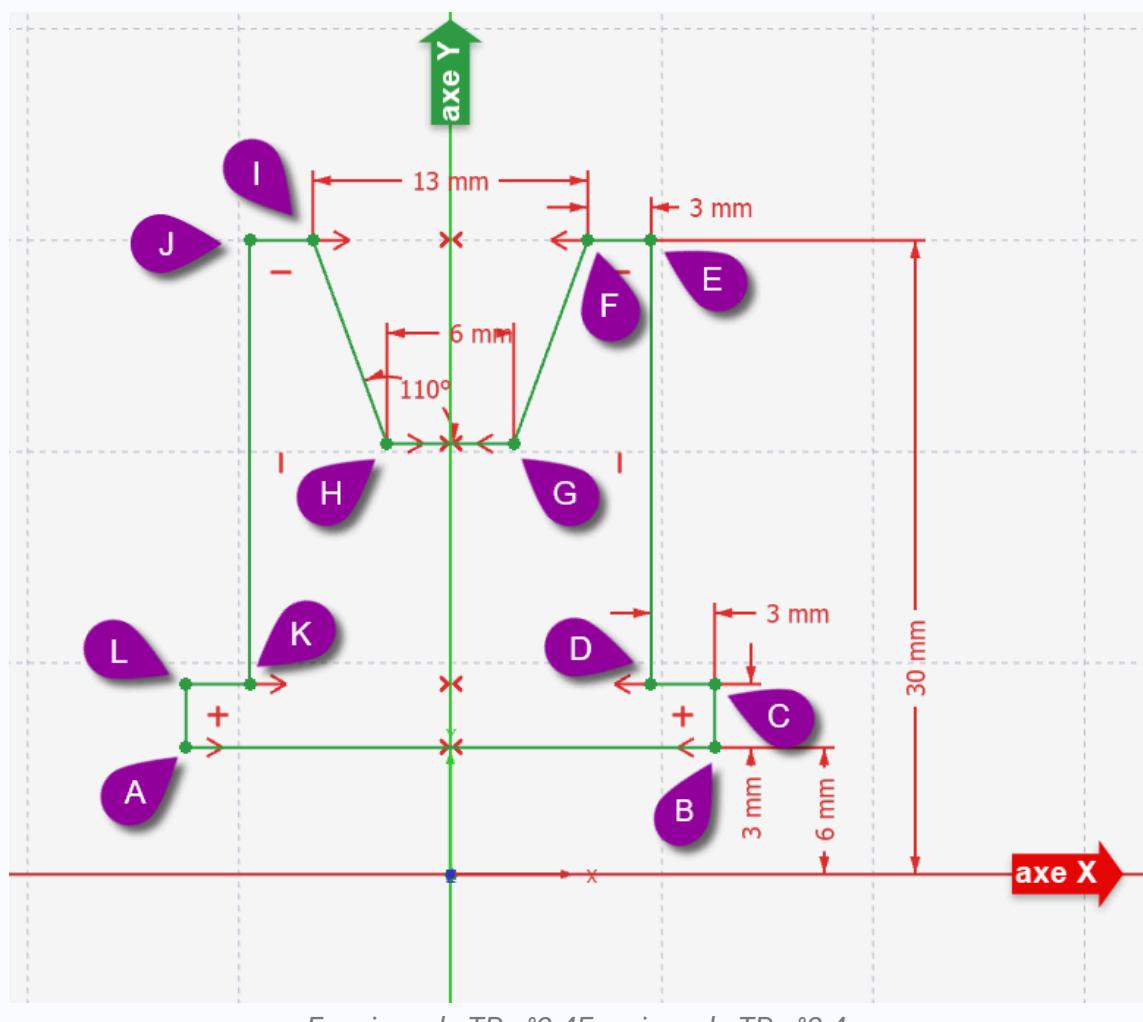
Nous allons modéliser le solide suivant : (cf. [TP2-4-Plan.pdf](#))



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

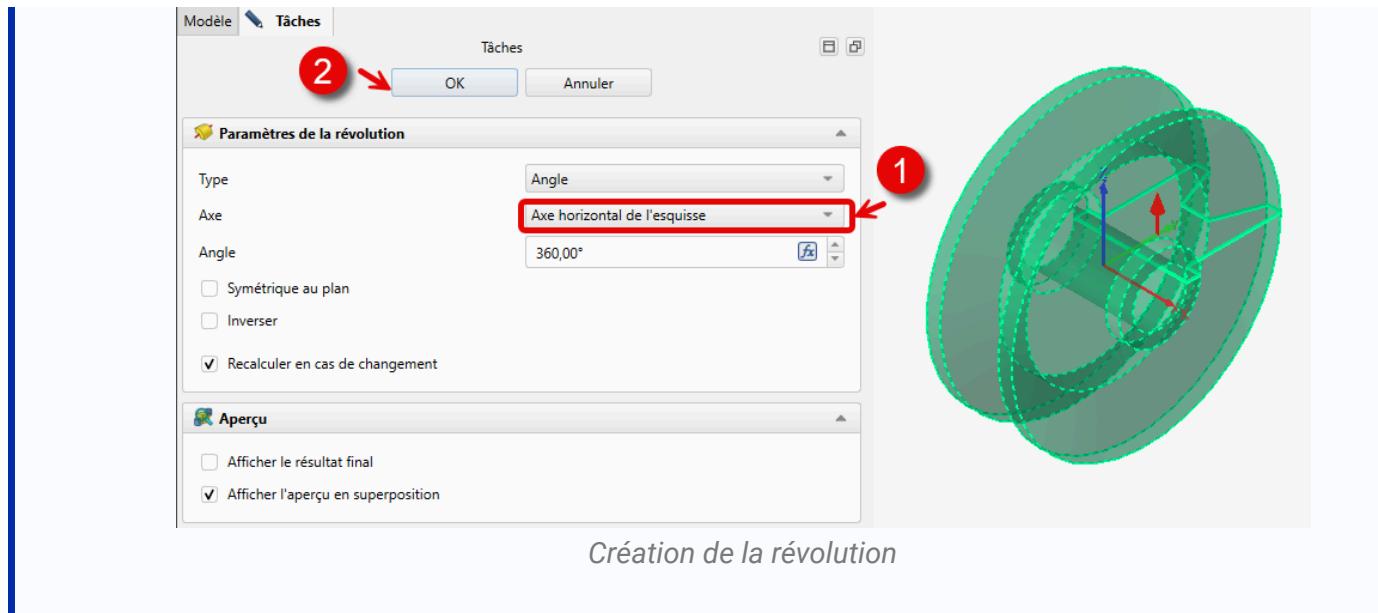


Aide :

- 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 Part Design , à partir de l'esquisse, créer une révolution autour de l'axe d'esquisse horizontal ;



▶ Capture vidéo



2.6.1. ▶ Capture Vidéo

TP 2-4

3. Modélisation paramétrique

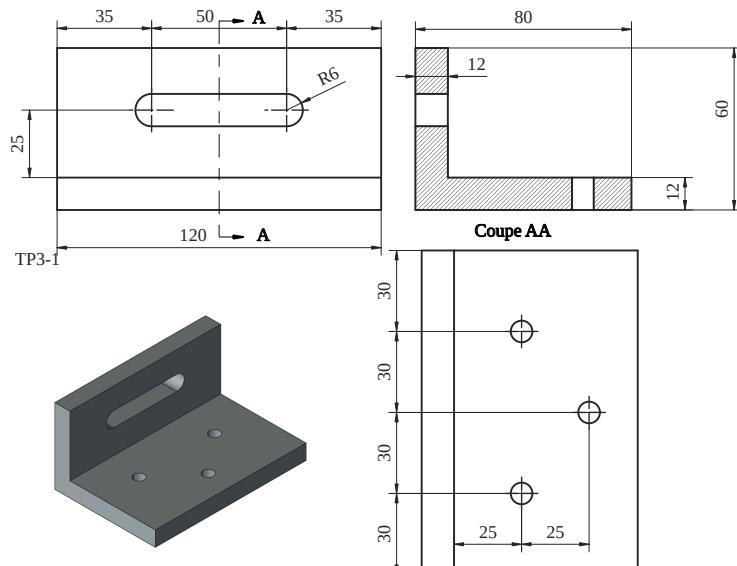
Après avoir exploré l'atelier Sketcher , nous allons expérimenter la construction **cumulative** de la modélisation paramétrique dans l'atelier Part Design ;

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** dans l'atelier Sketcher ;
- Utiliser une nouvelle fonction paramétrique : la commande **Cavité** de l'atelier Part Design ;

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

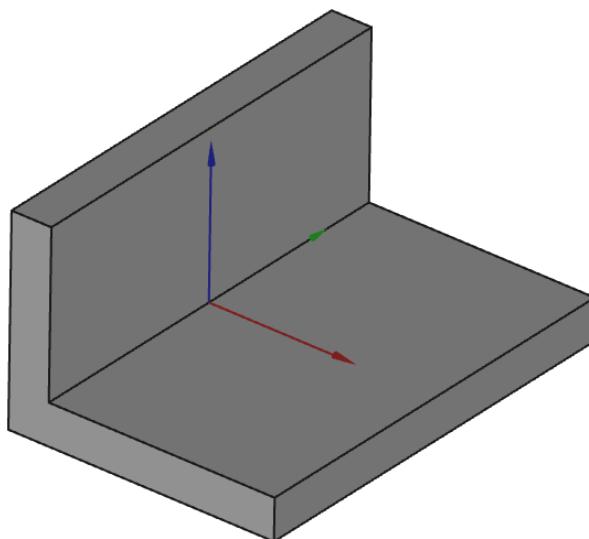


Tâches préliminaires

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

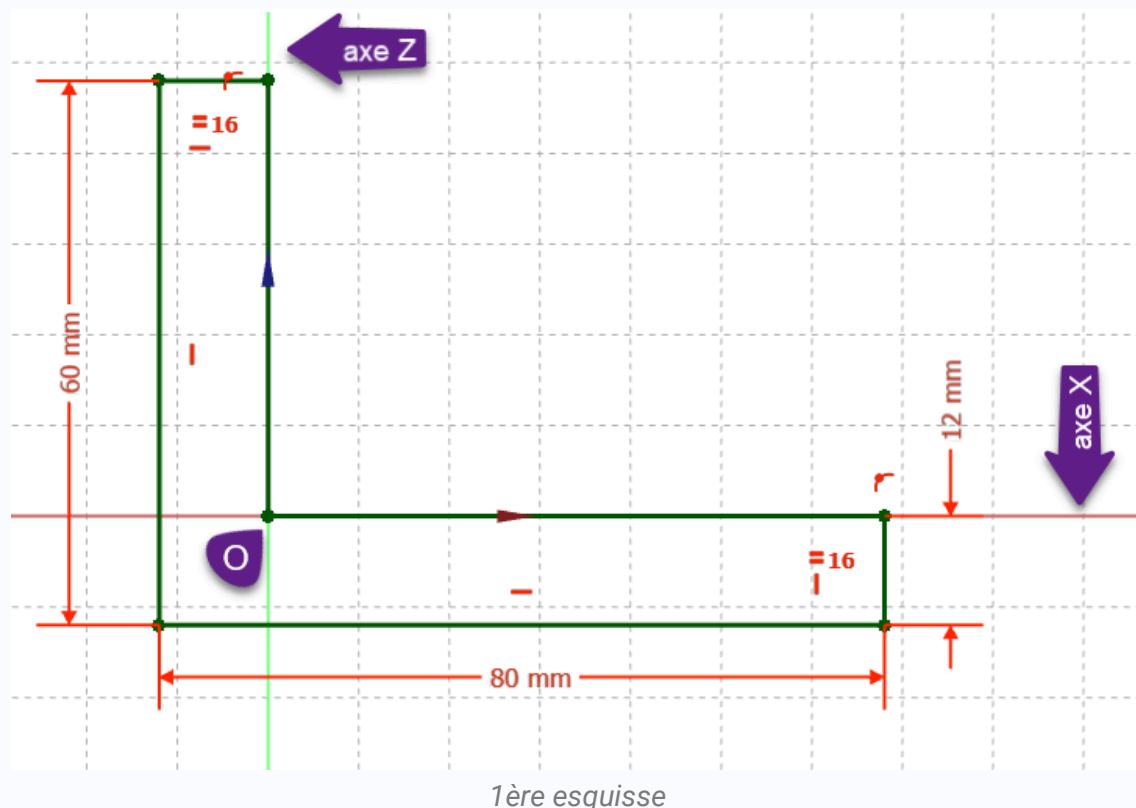
3.1.1. 1^{ère} esquisse & fonction paramétrique

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

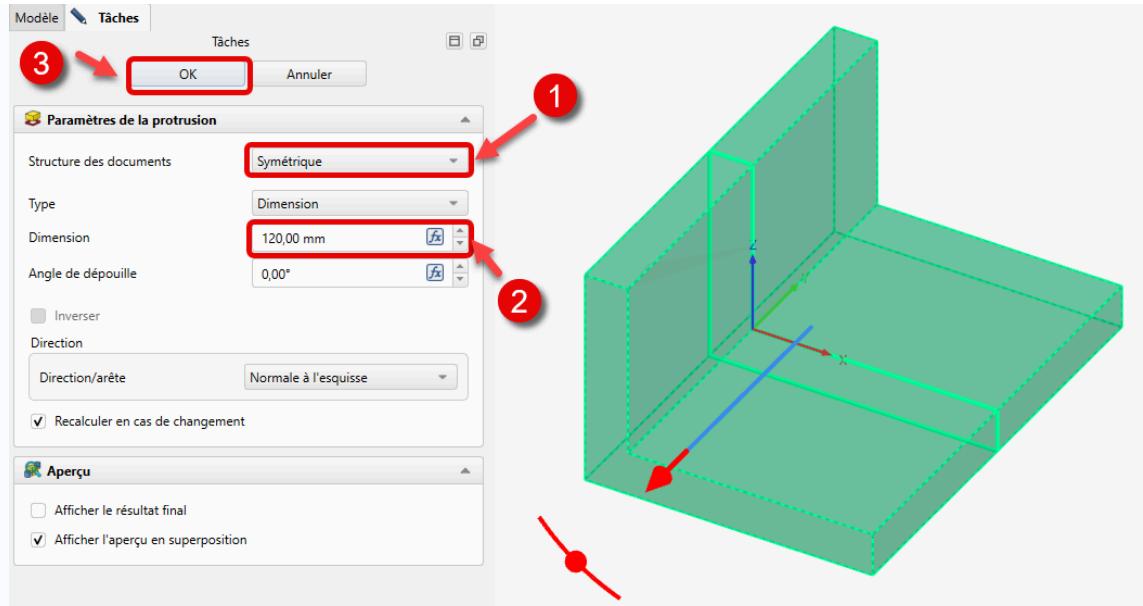


■ Tâches à réaliser

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



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



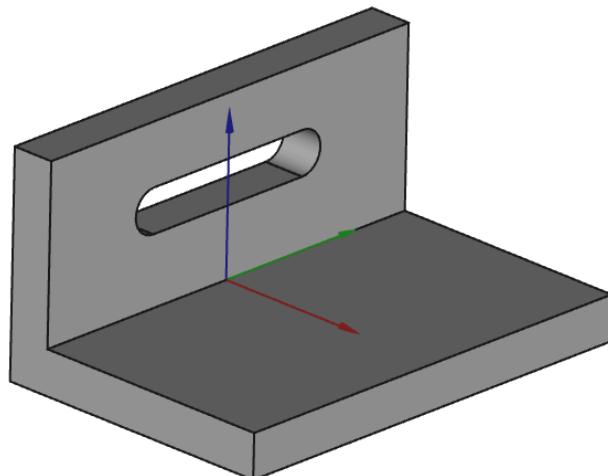
Création de la protraction

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.

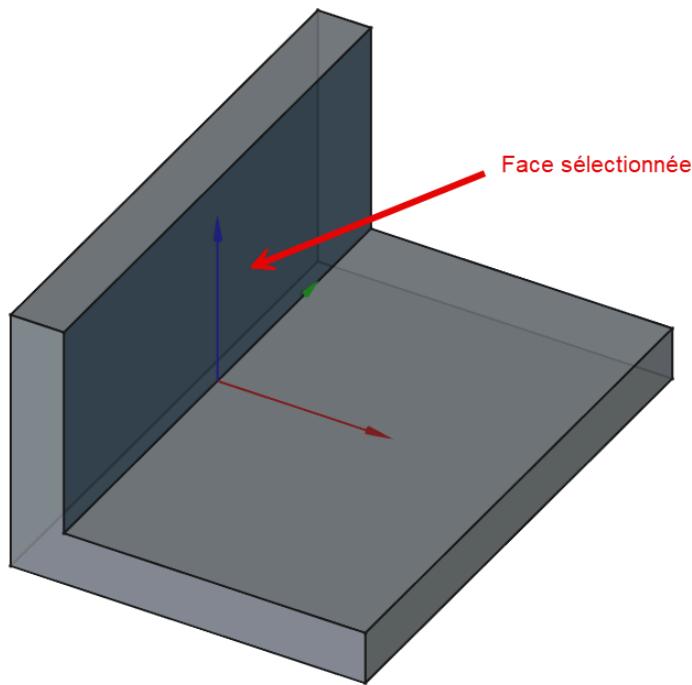
3.1.2. 2^{ème} esquisse & fonction paramétrique

2^{ème} étape : nous allons ajouter le trou oblong :

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

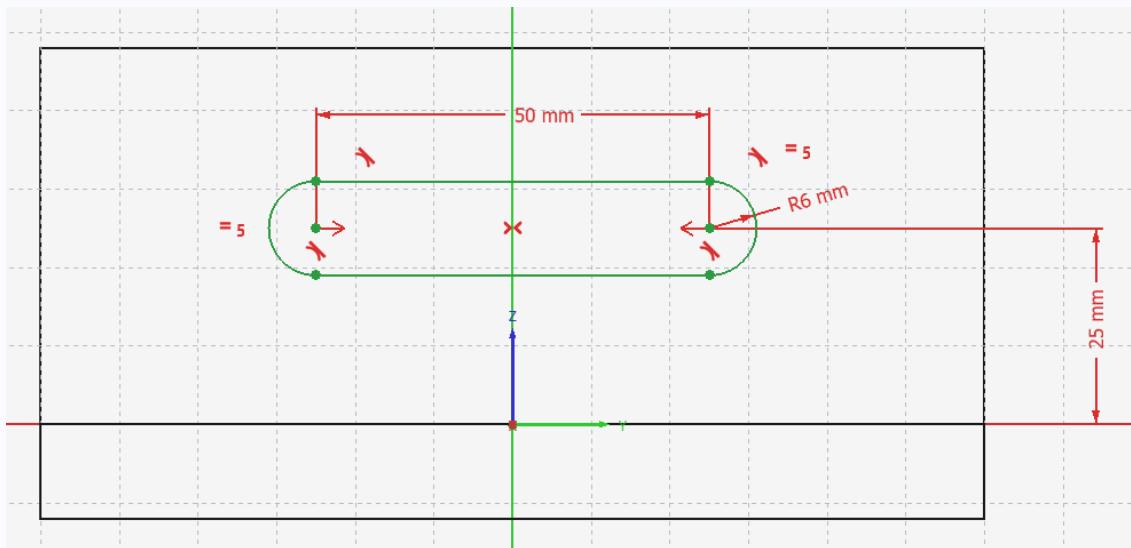
☰ Tâche à réaliser

- Sélectionner la face verticale suivante :



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

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

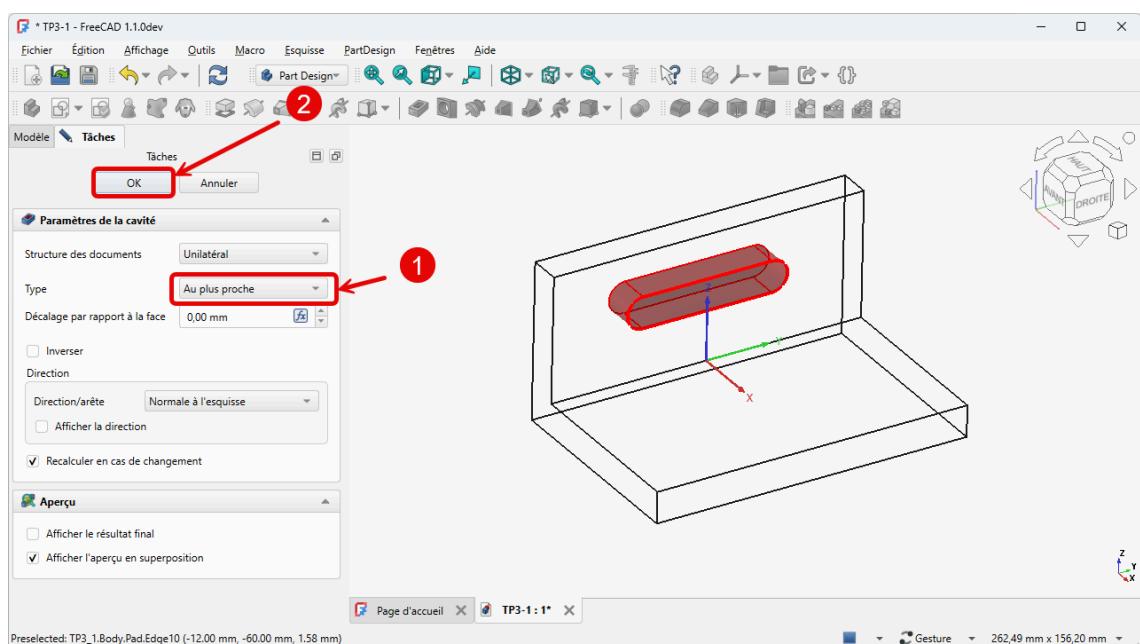


Esquisse n°2 pour le trou oblong

- Dans l'atelier  Part Design  , sélectionner cette esquisse et créer une cavité  :

Aide

- Pour sélectionner la face support de l'esquisse, il suffit de cliquer gauche sur la face ;
- Pour créer la trou oblong, sélectionner la commande  ;
- Utiliser les contraintes de symétrie  , distance verticale  et distance horizontale  pour positionner le trou oblong ;
- Pour vérifier le positionnement de l'esquisse, vous pouvez utiliser la vue isométrique  (Touche  du pavé numérique) ;
- Pour la commande  , sélectionner le type  Le plus proche) ;



Paramètre de la cavité

« Attachment » de l'esquisse

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

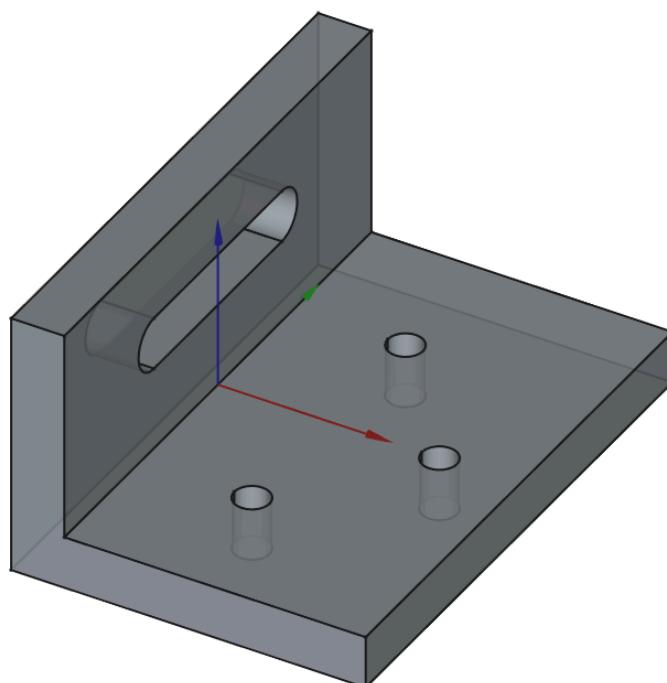
Attachment	
Attacher Engine	Engine Plane
Attachment Support	Pad [Face1]
Map mode	Flattrace
Map Reversed	false
▶ Attachment Offset	[(0,00 0,00 1,00); 0,00 °; (0,00 mm 0,00 mm 0,00 mm)]
Base	
▶ Placement	[(0,71 0,00 0,71); 180,00 °; (0,00 mm 0,00 mm 0,00 mm)]
Label	Sketch001
Internal Geometry	
Make Internals	false
Sketch	
▶ Constraints	[50,00 mm; 6,00 mm; 25,00 mm]
External Geometry	
Arc Fit Tolerance	0,000001000000000000

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. 3ème esquisse & fonction paramétrique

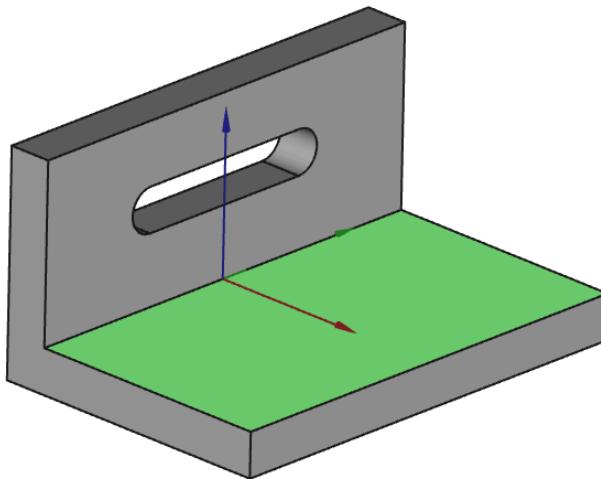
Dernière étape : nous allons ajouter les trois trous :



Vue 3 D du modèle

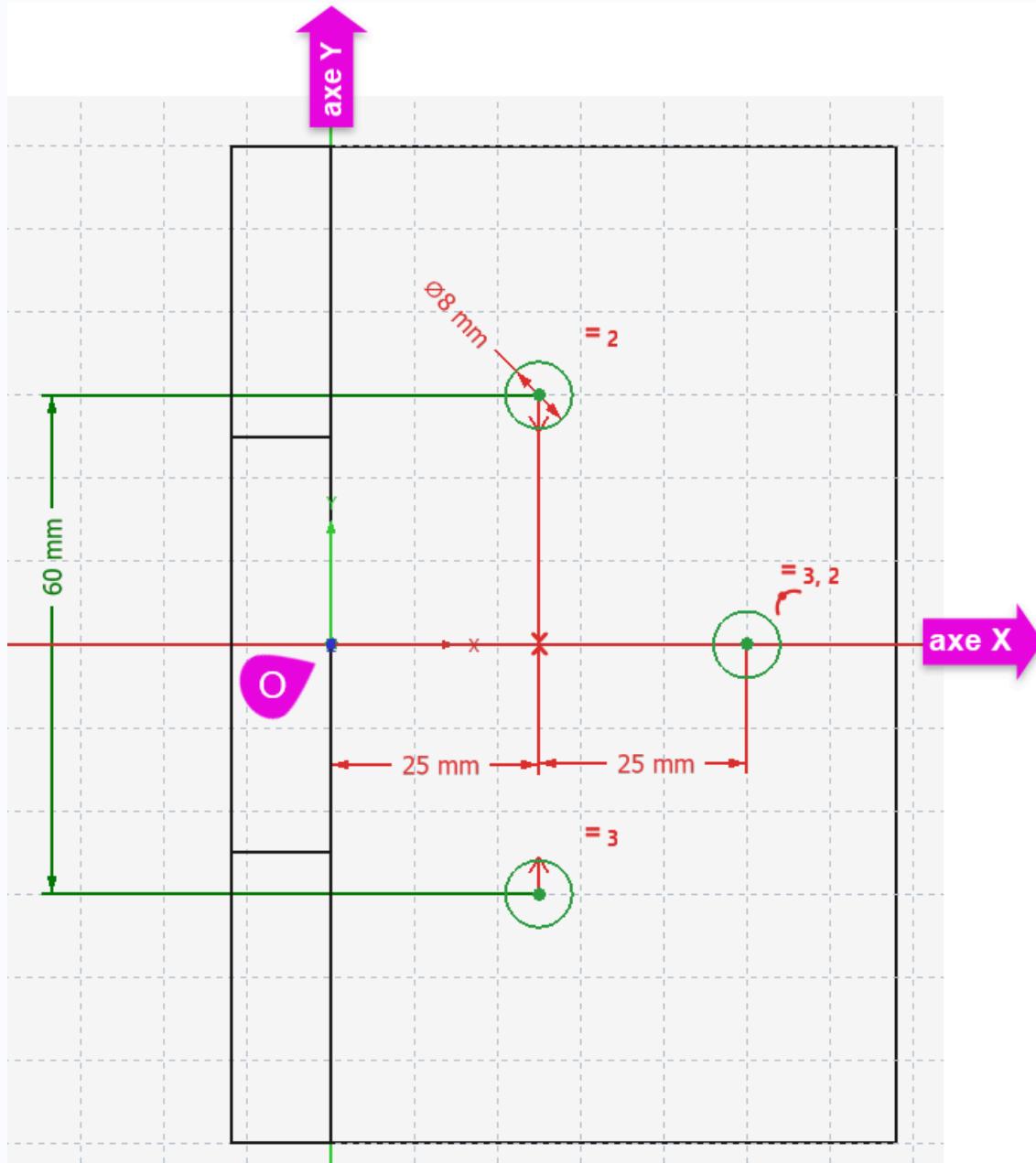
▼ Tâche à réaliser

- 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  :

Aide :

Pour la commande , sélectionner le type  Le plus proche ;

« Attachment » de l'esquisse

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

Attachment	
Attacher Engine	Engine 3D
Attachment Support	Pocket [Face2]
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)]
Base	
► Placement	[(0,00 0,00 1,00); 180,00 °; (0,00 mm -0,00 mm -0,00 mm)]
Label	Sketch002
Internal Geometry	
Make Internals	false
Sketch	
► Constraints	[60,00 mm; 8,00 mm; 25,00 mm; 25,00 mm]
External Geometry	
Arc Fit Tolerance	0,000001000000000000

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

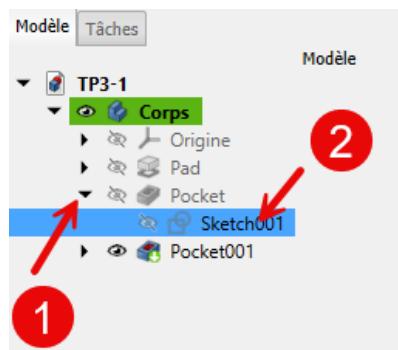
Grâce à la modélisation paramétrique, il est très facile de modifier le modèle.

☰ Tâches à réaliser

- Passer le rayon du trou oblong à 8 mm ;

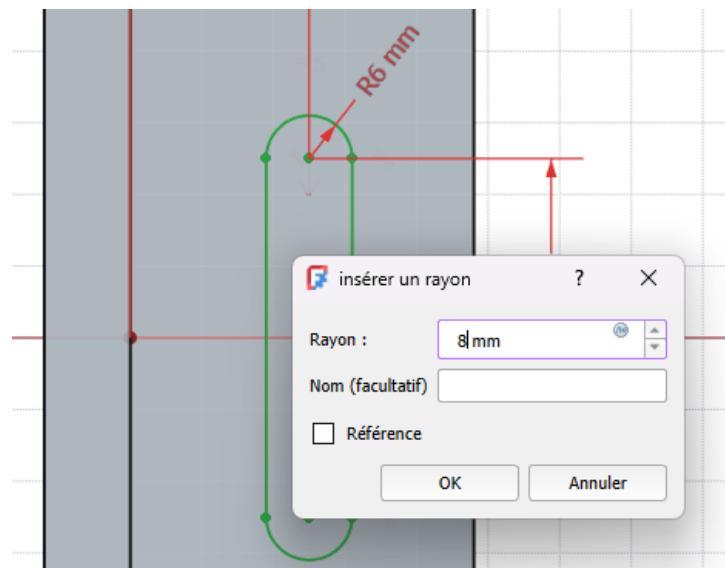
💡 Aide

- 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. Nous allons découvrir dans ce chapitre les géométries externes.

Objectifs

- Découvrir le concept de Géométrie externe ;

⚠ La commande Géométrie externe disparait

FreeCAD 1.1 remplace la commande **Géométrie externe**  par deux commandes **Sketcher Intersection**   et **Sketcher Projection**   ;

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** 
- 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** 

Remarque

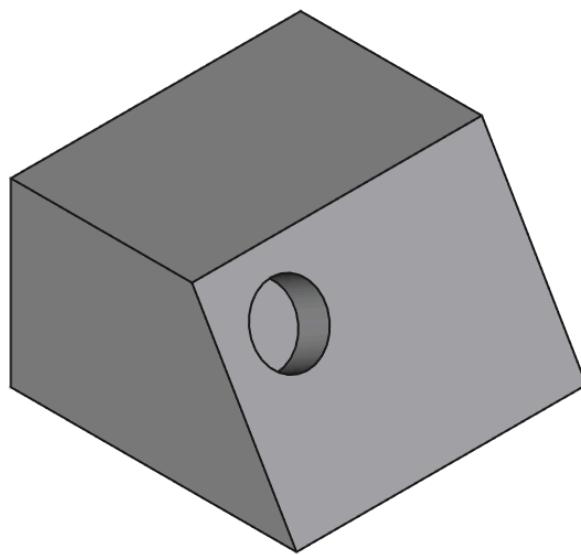
- La couleur par défaut des géométries externes est la couleur **magenta** ;
- La géométrie externe est créée en tant que **géométrie de définition** ou **géométrie de construction** en fonction de l'état du bouton de Géométrie  de l'atelier  Sketcher ;

État du bouton	Nature de la géométrie externe créée
	 Géométries de définition
	 Géométries de construction

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

Tâches à réaliser :

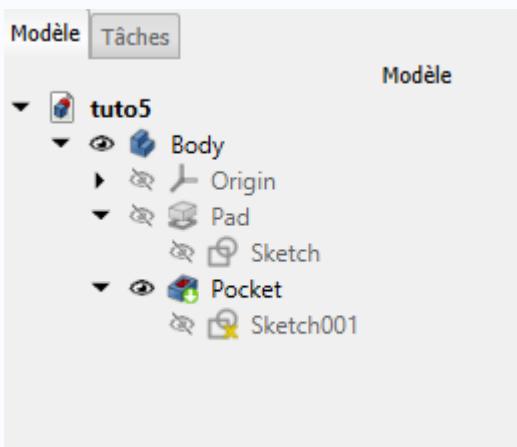
- Dans FreeCAD, si nécessaire, refermer les documents ouverts précédemment ;
- Télécharger le fichier **tuto5.FCStd** sur votre ordinateur ;
- Ouvrir ce document  **tuto5.FCStd** dans FreeCAD ;



Vue 3D du modèle [tuto5.FCStd](#)

Le modèle contient :

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



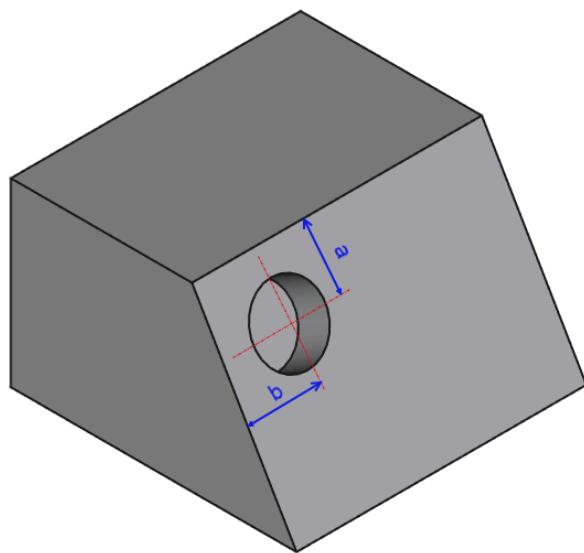
Structure du modèle [tuto4.FCStd](#)

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 ;



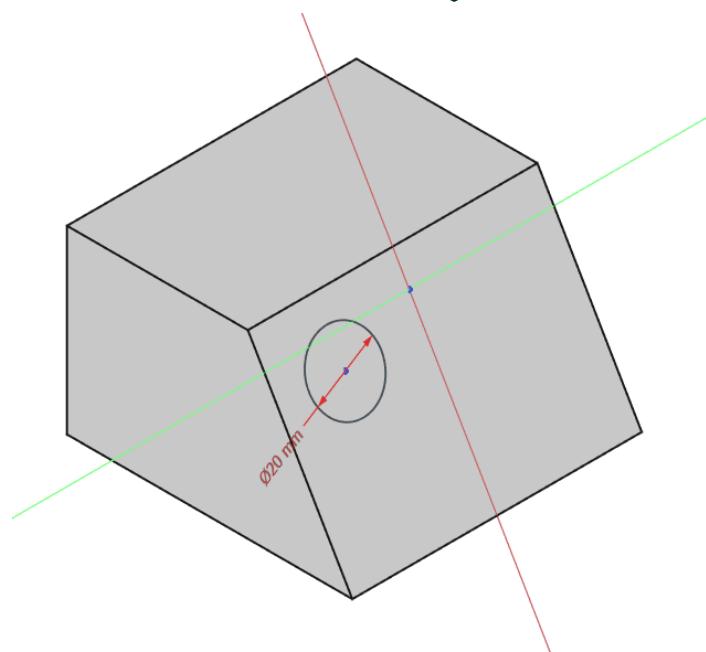
Dimensions à contraindre

❖ 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);



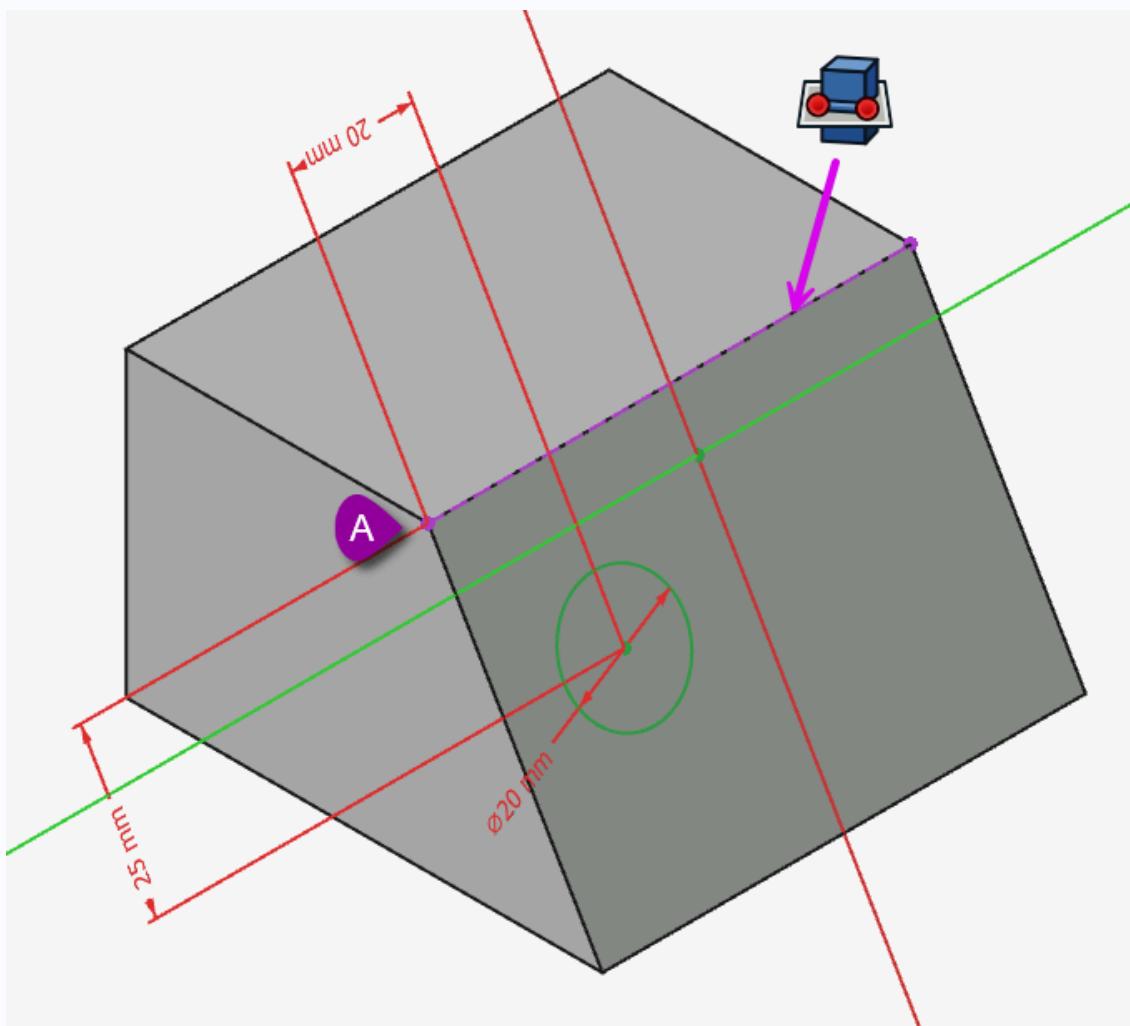
Vue isométrique de l'esquisse Sketch001

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 ;

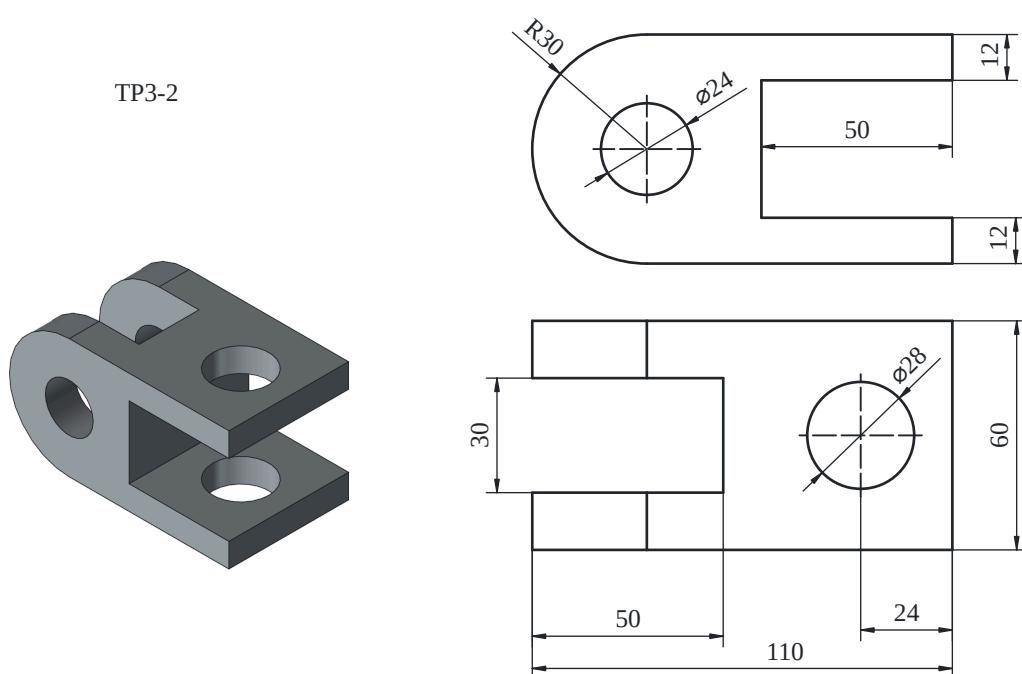


3.3. TP 3-2 🔒

⌚ Objectifs

- Créer et utiliser une géométrie externe à l'aide de la commande Sketcher Intersection  ;
- Utiliser la commande Crée 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)



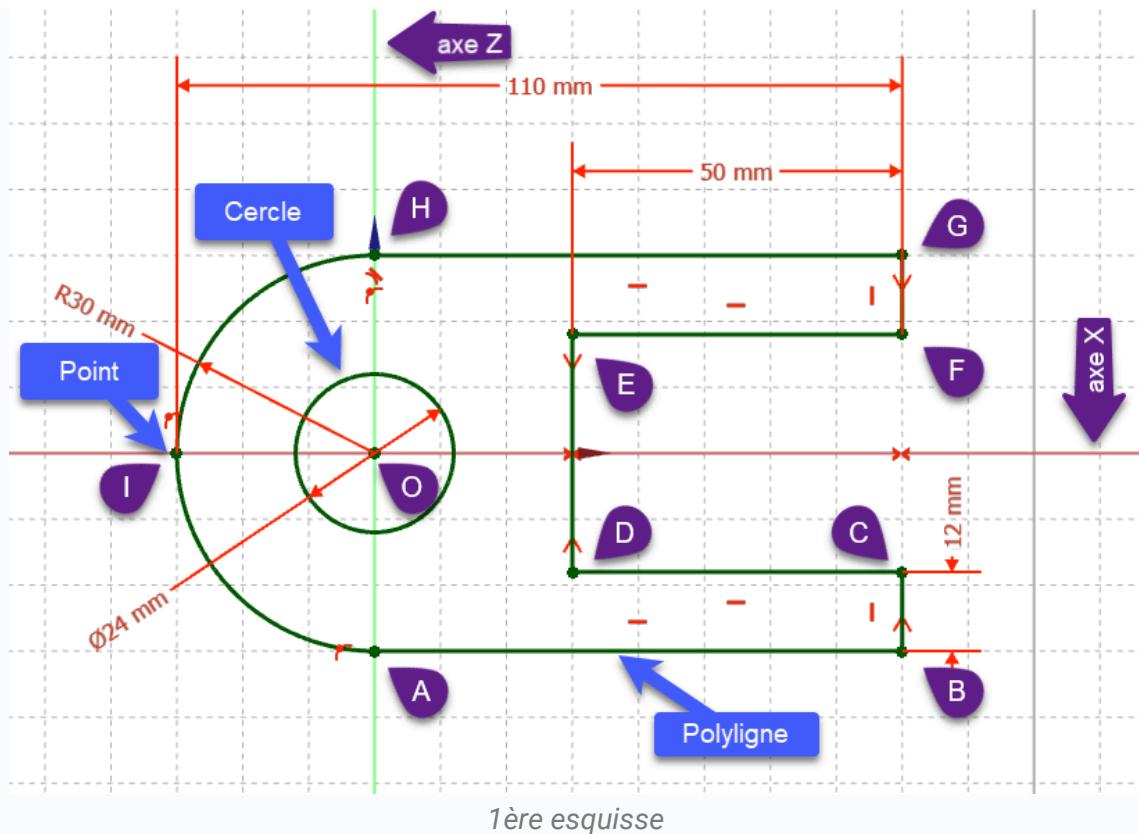
🕒 Tâches préliminaires

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

3.3.1. 1ère esquisse & fonction paramétrique

🕒 Tâches à réaliser

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



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 ;

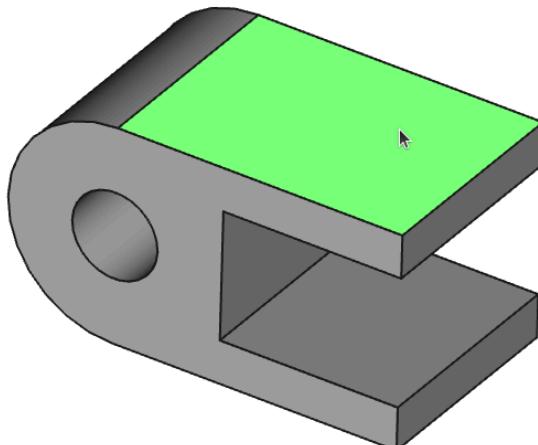
☰ Tâches à réaliser (suite)

- 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 & fonction paramétrique

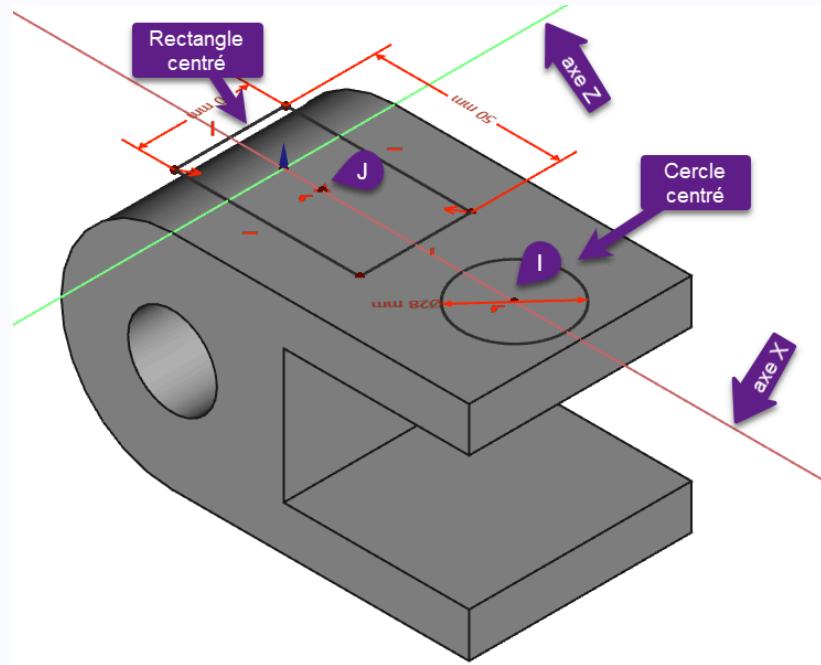
☰ Tâches à réaliser

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



Sélection de la face pour la 2^{nde} 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 :



Vue isométrique  de la 2^{nde} esquisse 1^{ère} étape

- Saisir les dimensions du cercle et du rectangle ;

Aide :

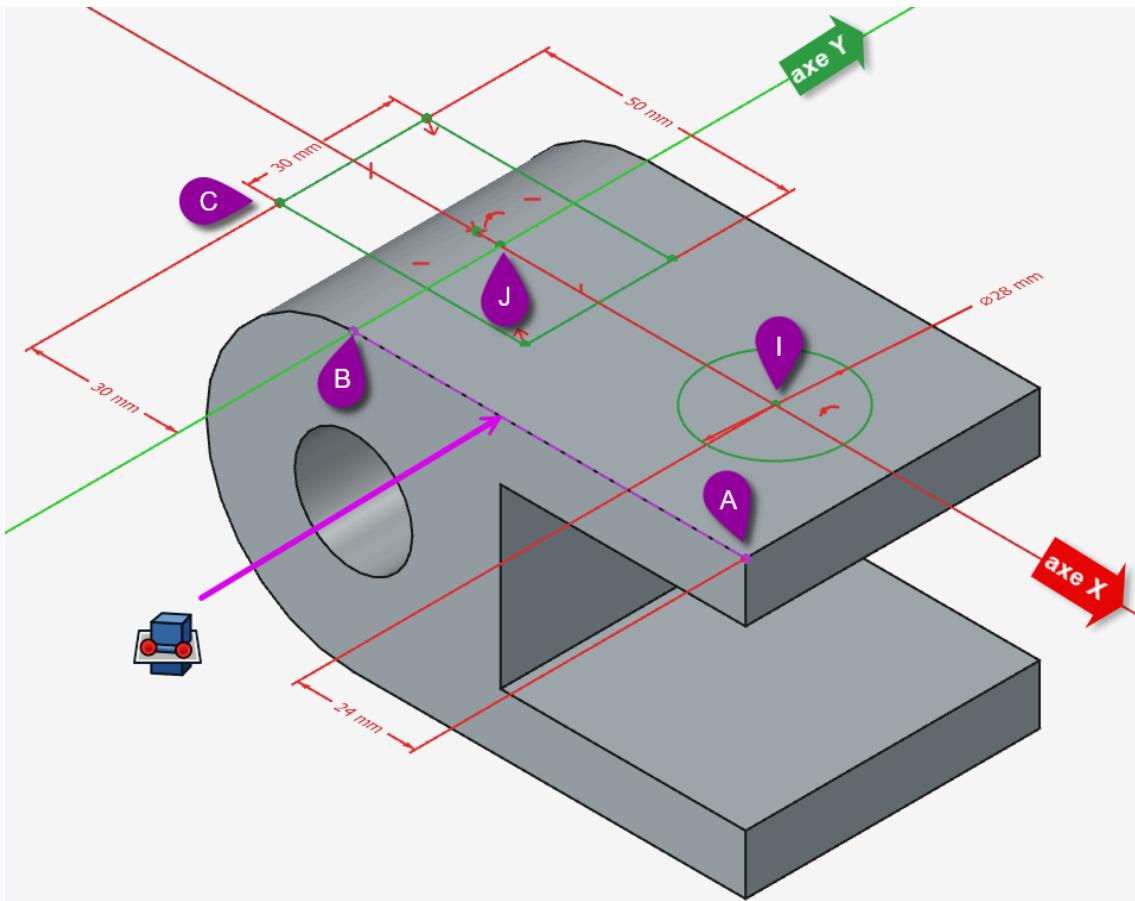
- Appuyer sur la touche  du pavé numérique pour basculer en vue isométrique  ;

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^[p.369] [AB] ;



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

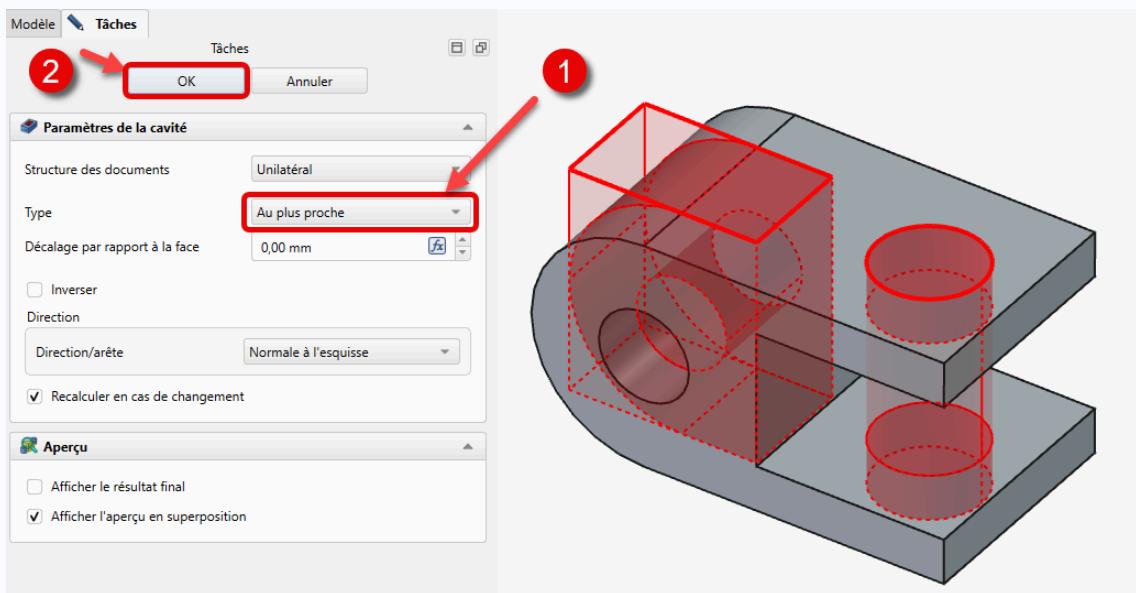
- Constraining the position of the circle center and the rectangle;
- Verify that the sketch is fully constrained and exit the workshop Sketcher ;

Aide :

- To position the circle on the X axis, select points I and A;
- To position the rectangle border, select vertices B and C;

☰ Tâches à réaliser (suite)

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



Création de la 2^{nde} 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	$[(0,00\ 0,00\ 1,00);\ 0,00^\circ;\ (0,00\ mm\ 0,00\ mm\ 0,00\ mm)]$
Angle	0,00 °
Axe de rotation	[0,00 0,00 1,00]
x	0,00
y	0,00
z	1,00
Position	[0,00 mm 0,00 mm 0,00 mm]
x	0,00 mm
y	0,00 mm
z	0,00 mm
Base	
Placement	$[(0,00\ 0,00\ 1,00);\ 180,00^\circ;\ (0,00\ mm\ 0,00\ mm\ 30,00\ mm)]$
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	0,000001000000000000

Position
de la face 7

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	Fait pivoter l'esquisse autour d'un axe local défini.

3.3.3. Capture vidéo



3.4. Plans de référence

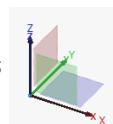
Objectifs

- 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

\simeq 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 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.

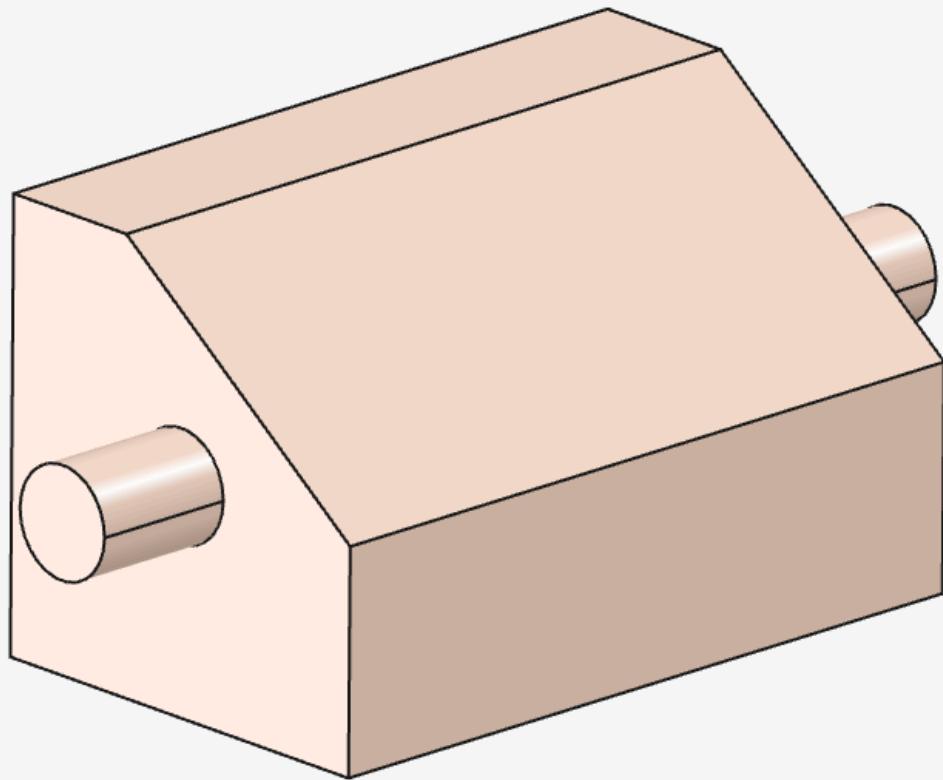
⚠️ Attention

- 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 [tutoplanreference.FCStd](#) sur votre ordinateur ;
- Ouvrir ce document  tutoplanreference.FCStd dans FreeCAD ;



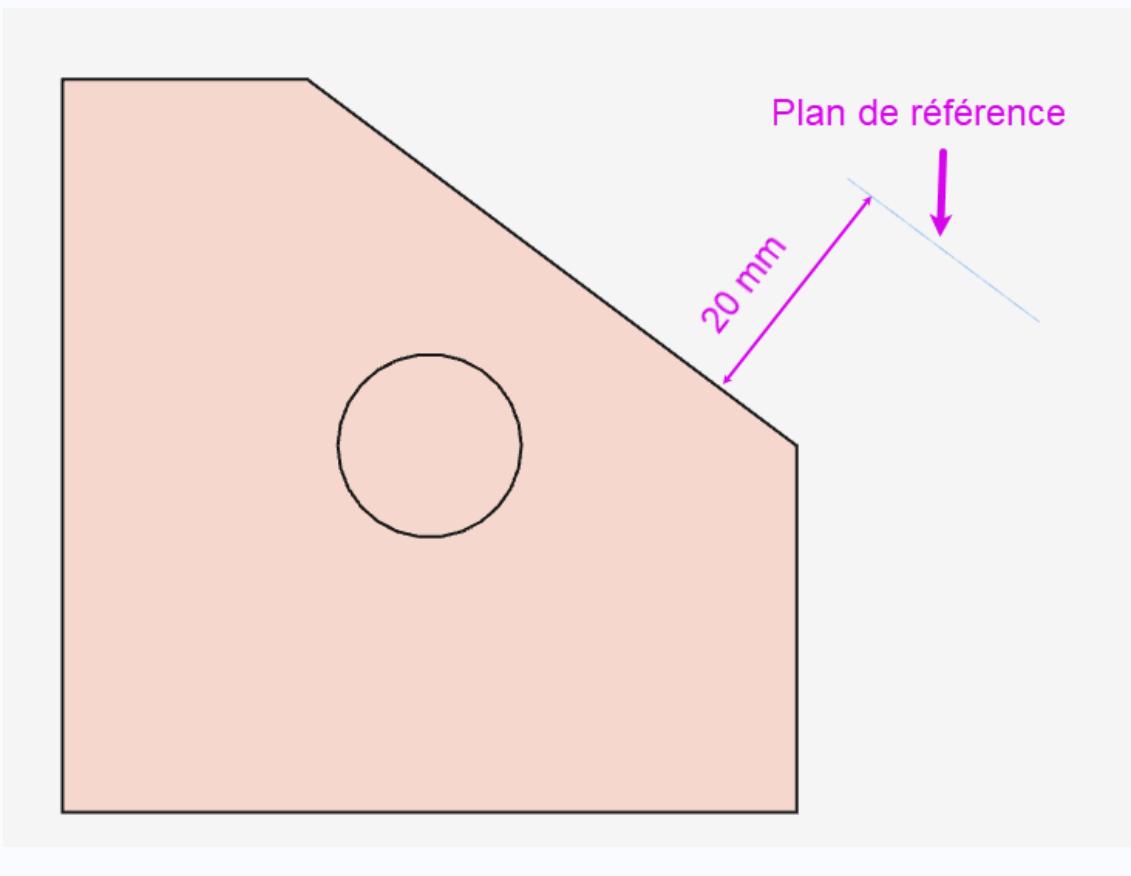
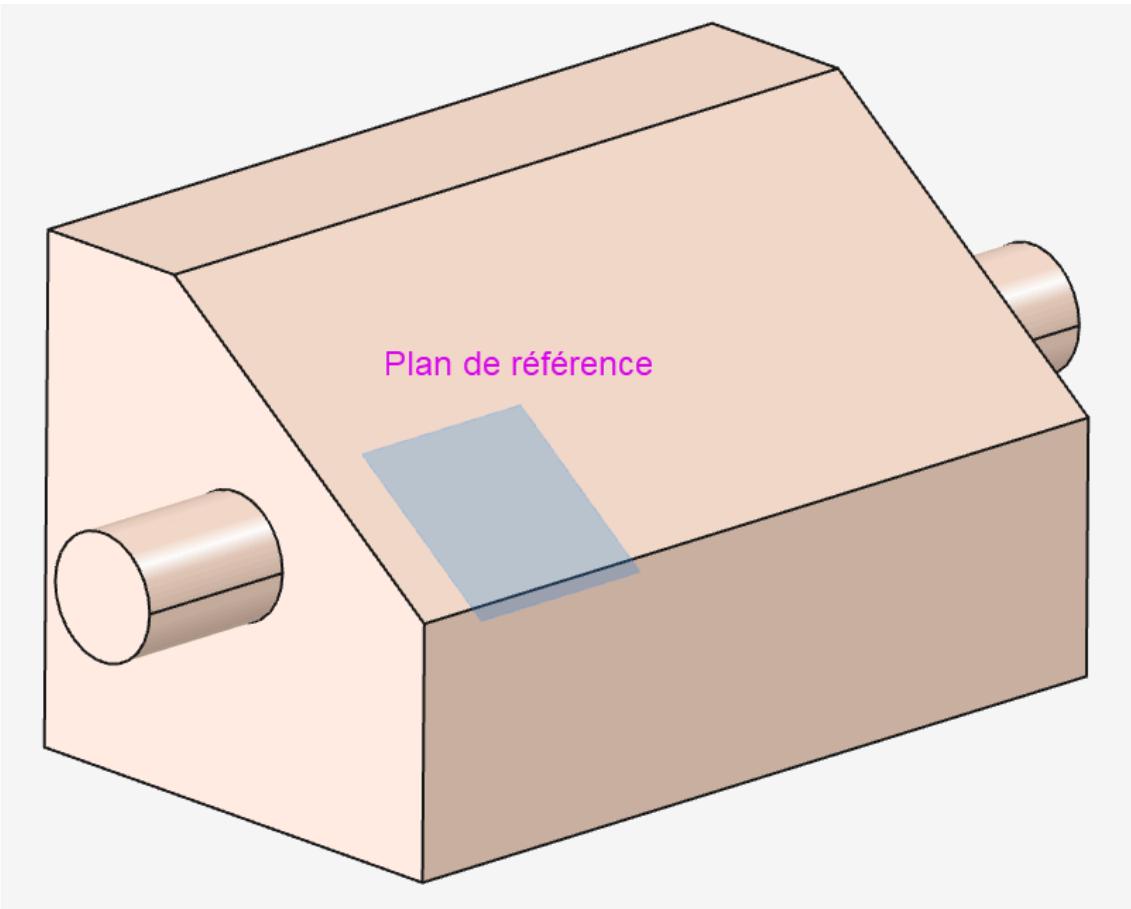
Vue 3D tutoplanreference

3.4.1. Ancrage : tangent à une face

Travail à réaliser

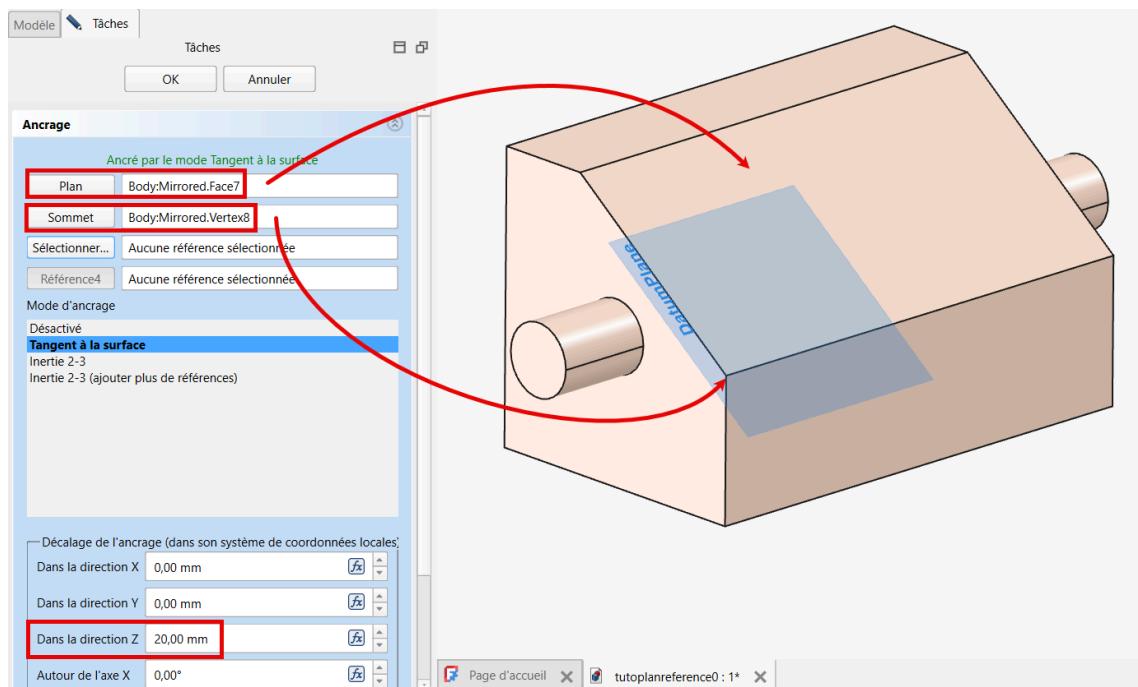
- Construire un plan de référence parallèle au plan incliné distant de 20 mm et dont l'origine est placée sur le coin inférieur gauche du plan incliné ;

Plan parallèle à une face avec origine décalée



Aide

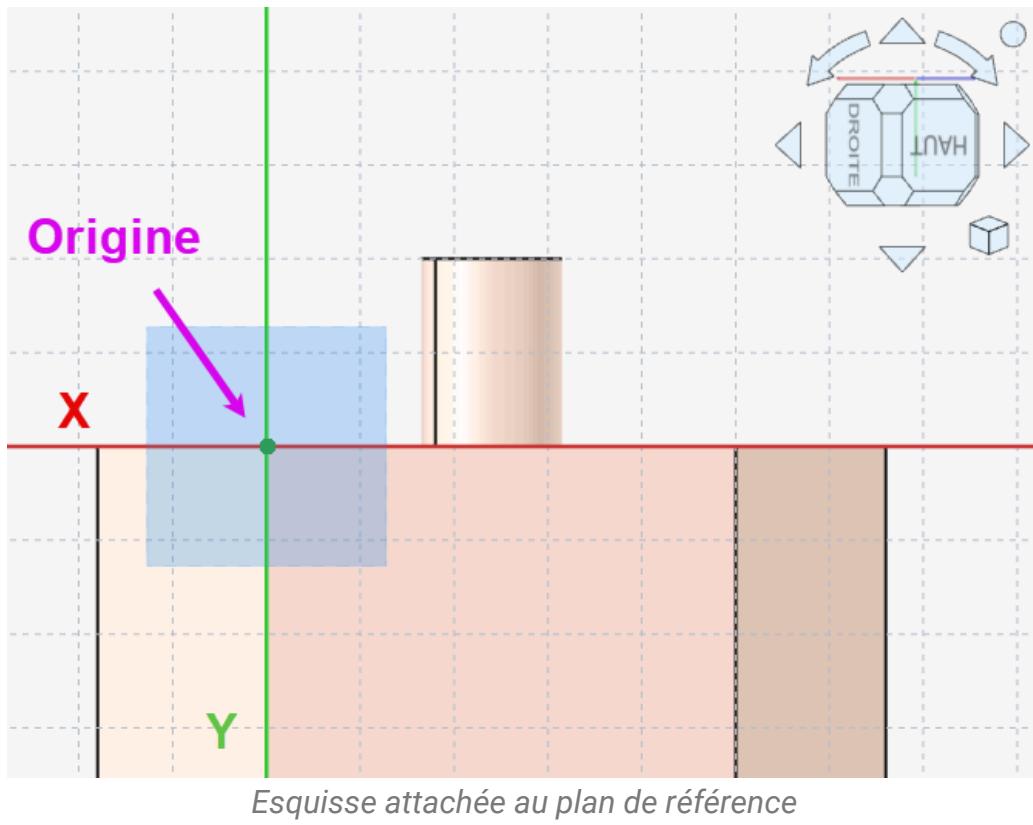
- Si nécessaire, activer le corps avant de créer le plan de référence ;
- Sélectionner la face inclinée ;
- Appuyer sur la touche **Ctrl** (***** sous **Mac**) et sélectionner le sommet (vertex) inférieur gauche du plan incliné ;
- Cliquer sur le bouton puis sélectionner la commande **Plan de référence**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

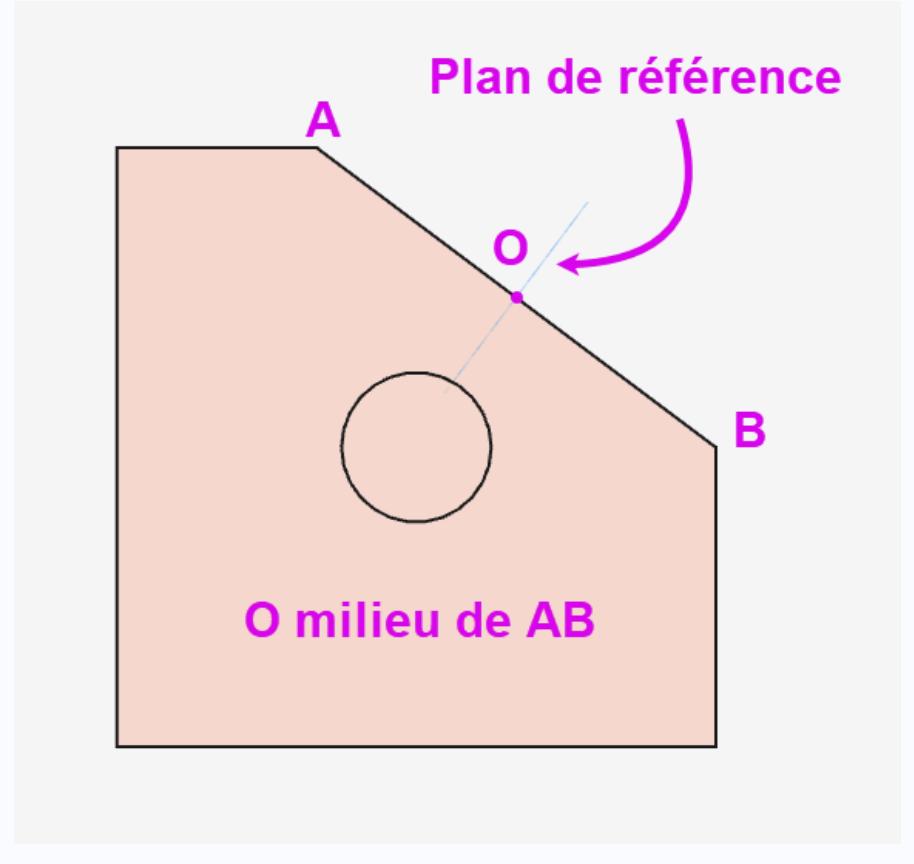
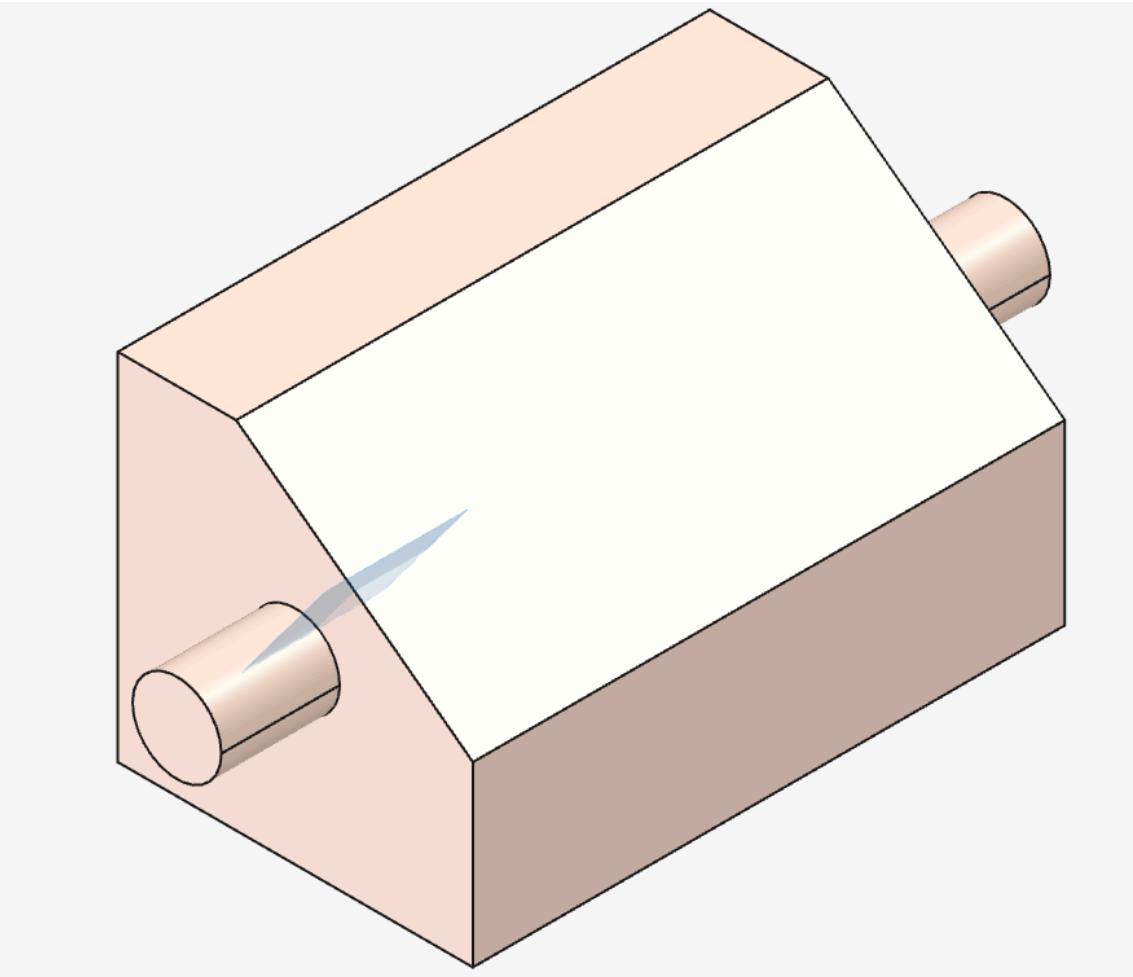


3.4.2. Anchorage : inertie 2-3

Travail à réaliser

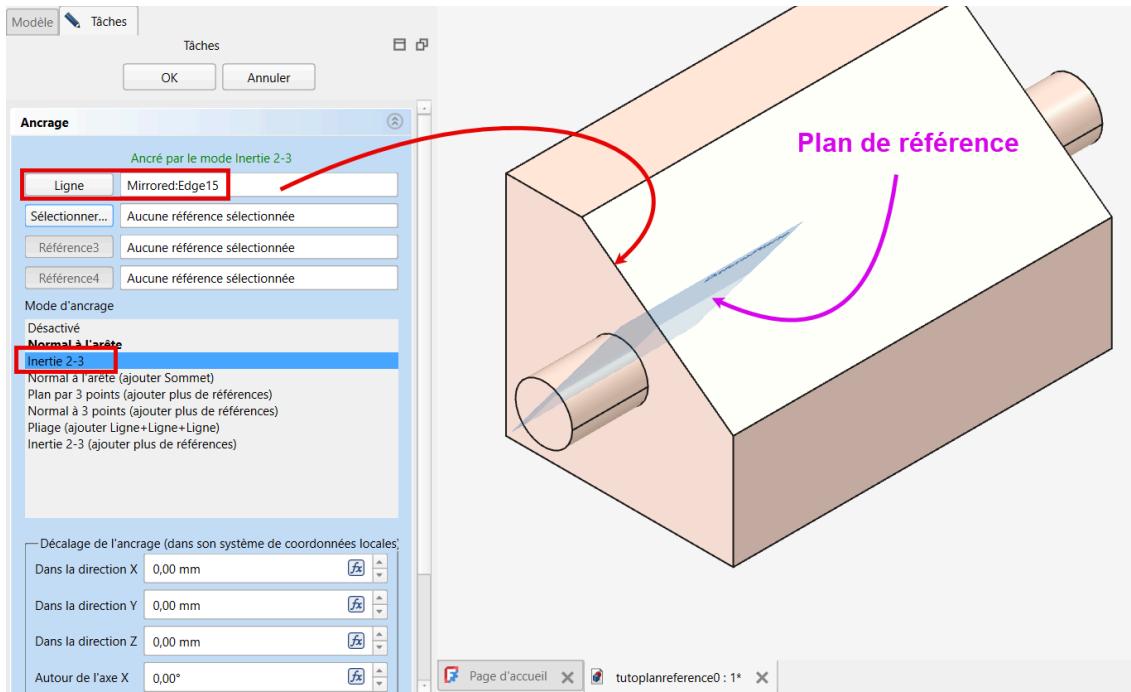
- Reprendre le fichier  tutoplanreference.FCStd initial ;
- Construire un plan de référence perpendiculaire à une arête avec son origine au milieu de l'arête :

Plan de référence normal à une arête



Aide

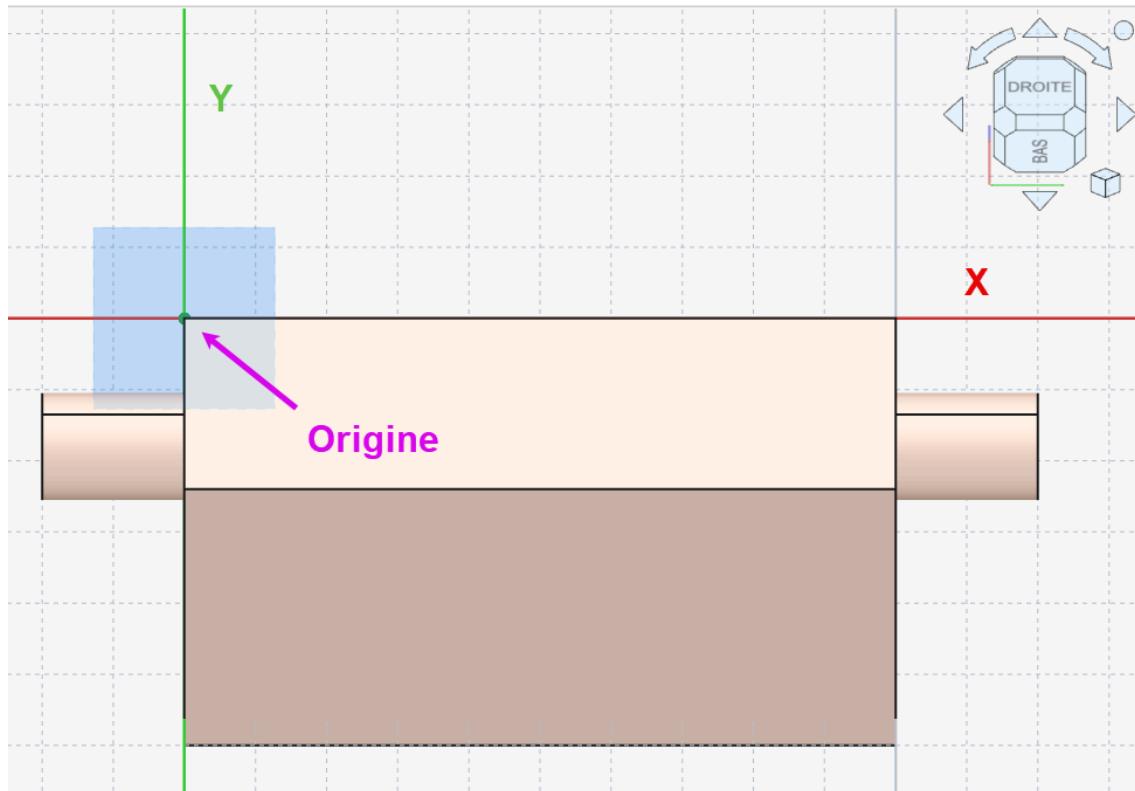
- Sélectionner l'arête ;
- Cliquer sur la commande Plan de référence  ;
- Saisir le mode d'accrochage  :



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 :



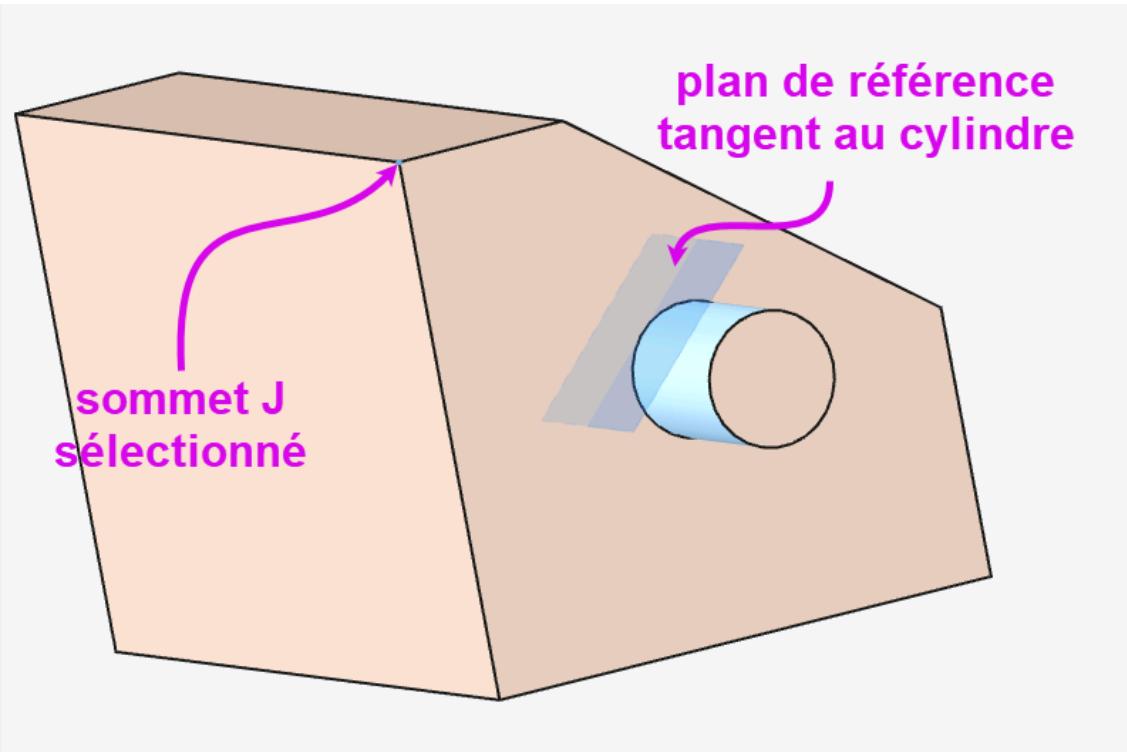
Esquisse ancrée au plan de référence

3.4.3. Ancrage : tangent à un cylindre

Travail à réaliser

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

Plan de référence tangent à un cylindre

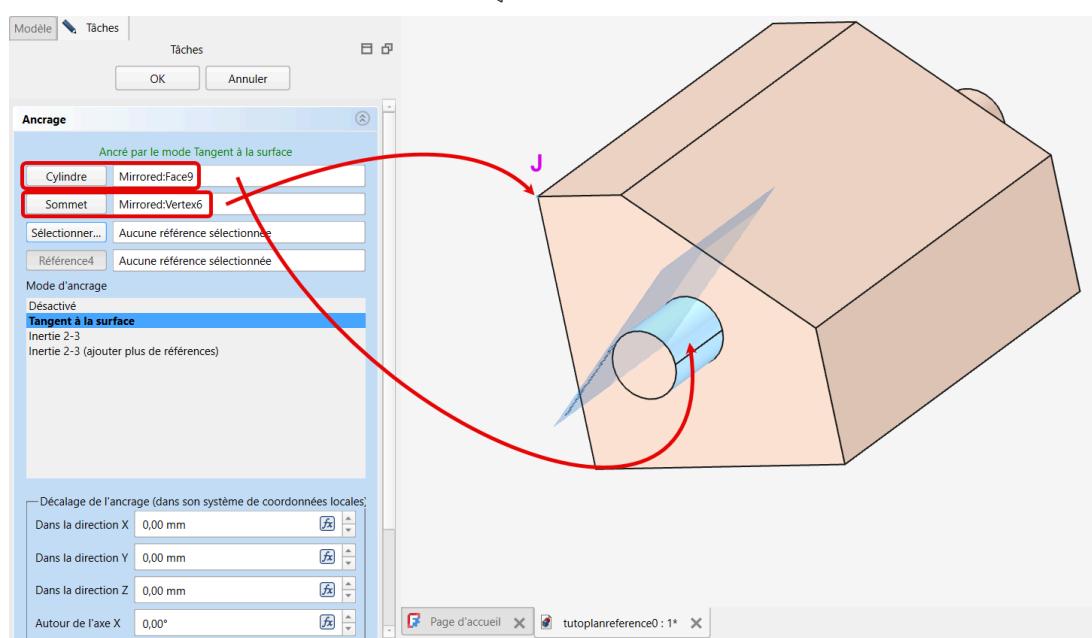


Remarque

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.

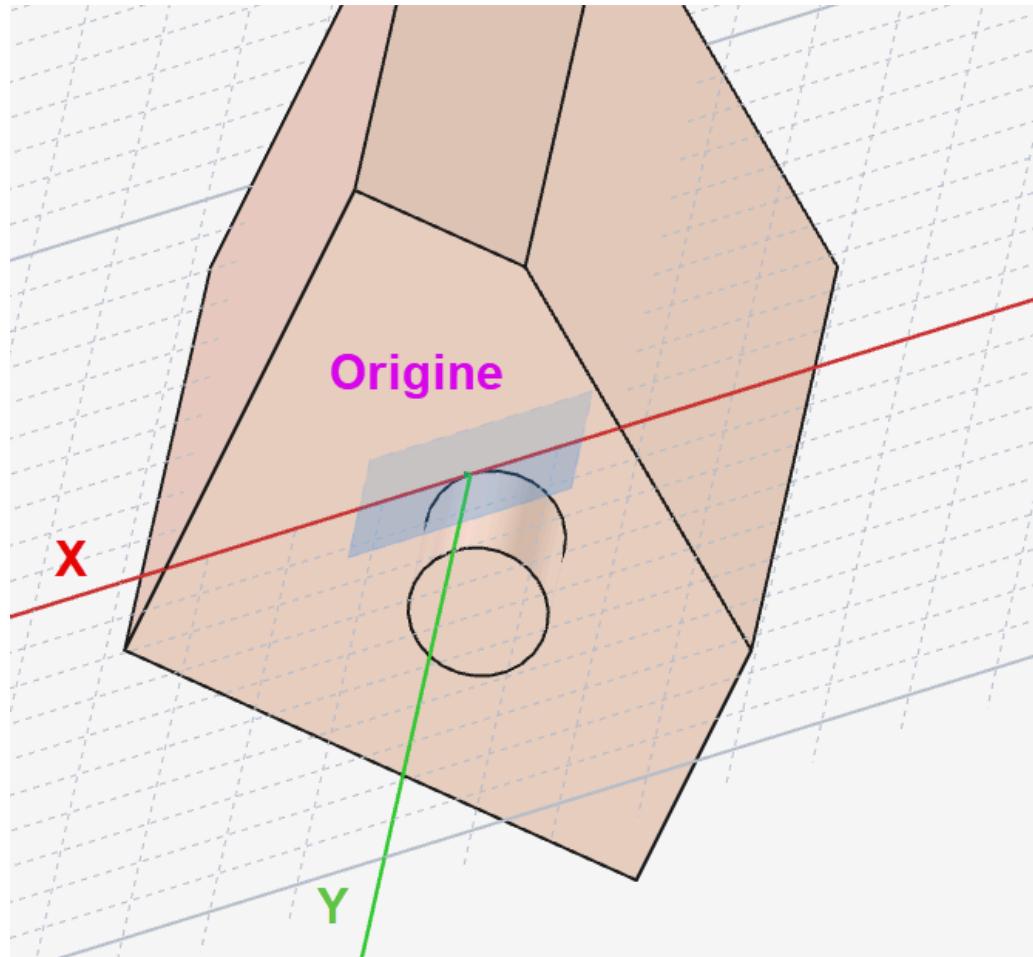
Aide

- 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 :



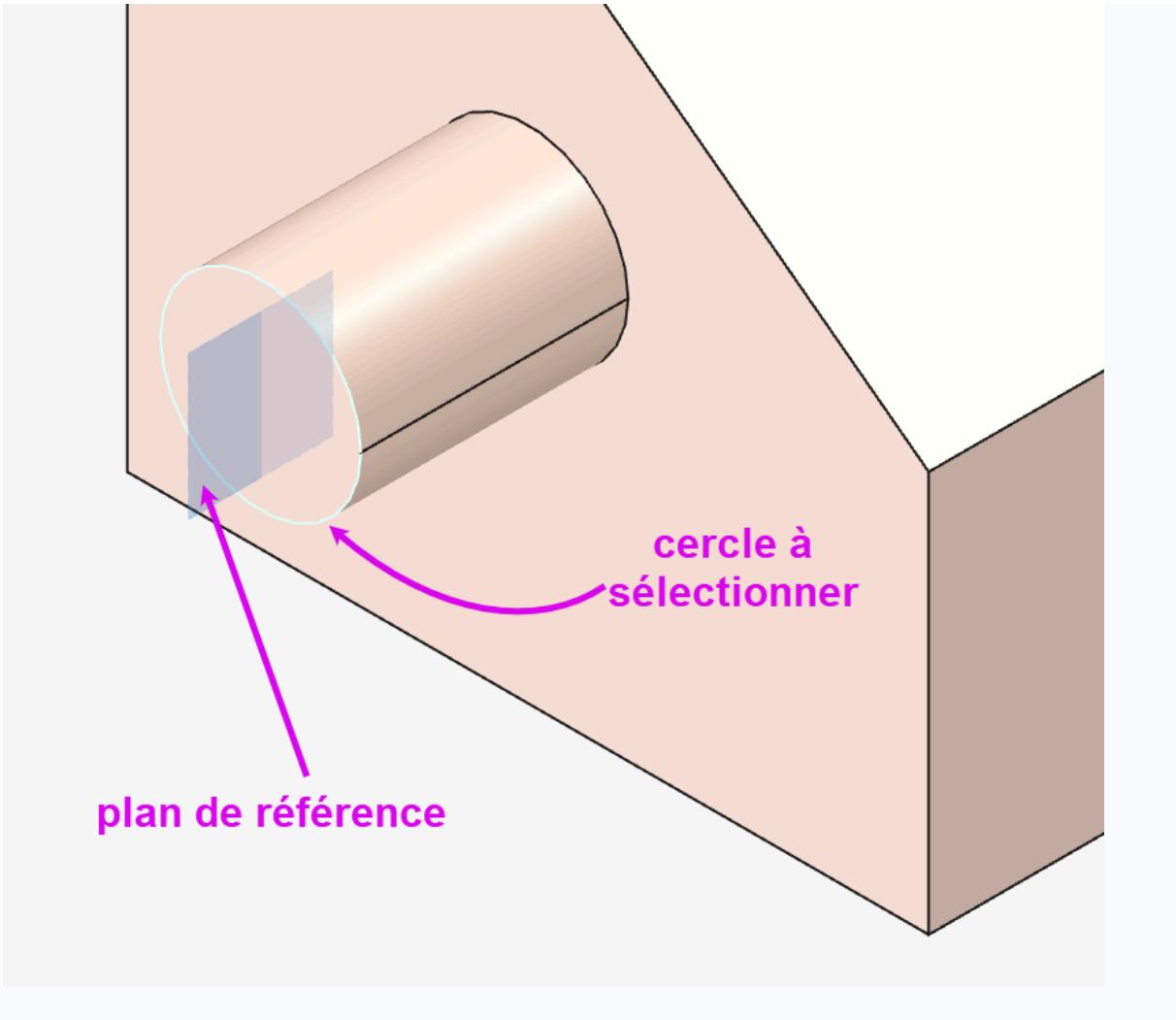
Esquisse attachée au plan de référence

3.4.4. Ancrage : concentrique

Travail à réaliser

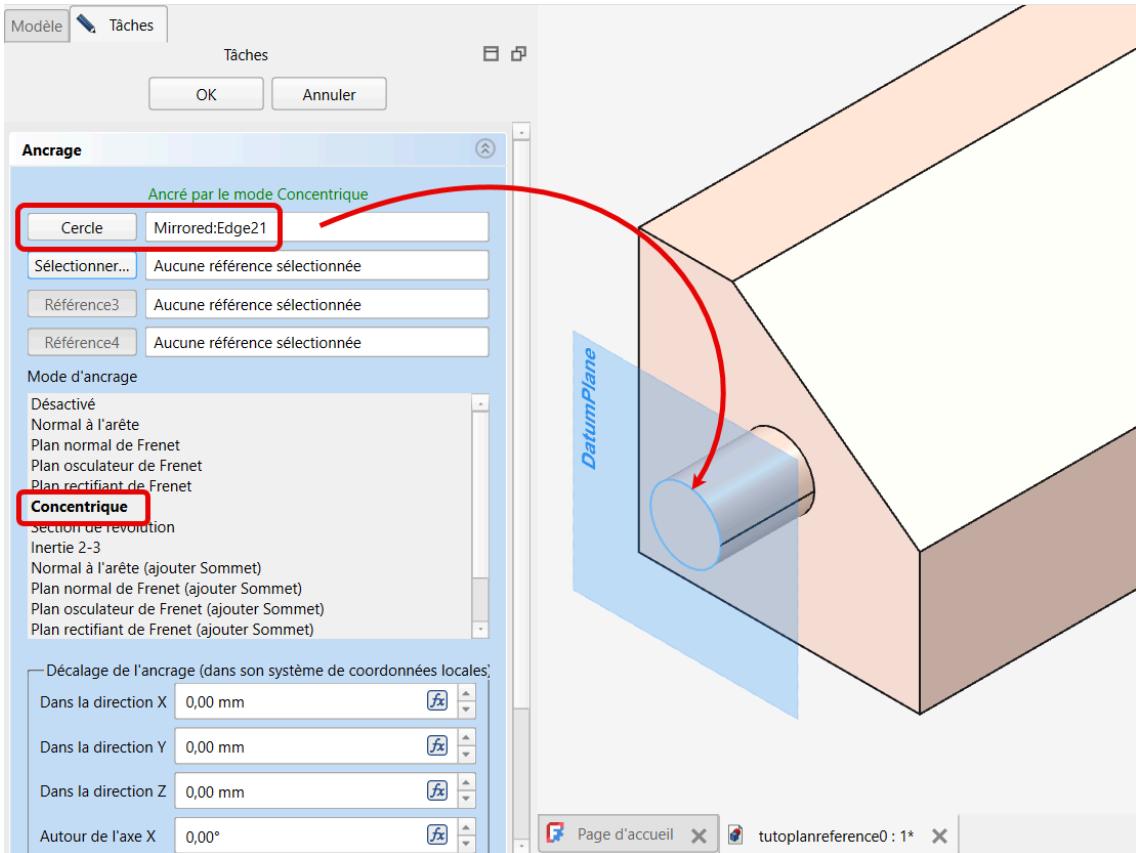
- Reprendre le fichier  tutoplanreference.FCStd initial ;
- Construire un plan de référence médian au cylindre avec son origine centrée sur son extrémité :

Ancrage concentrique



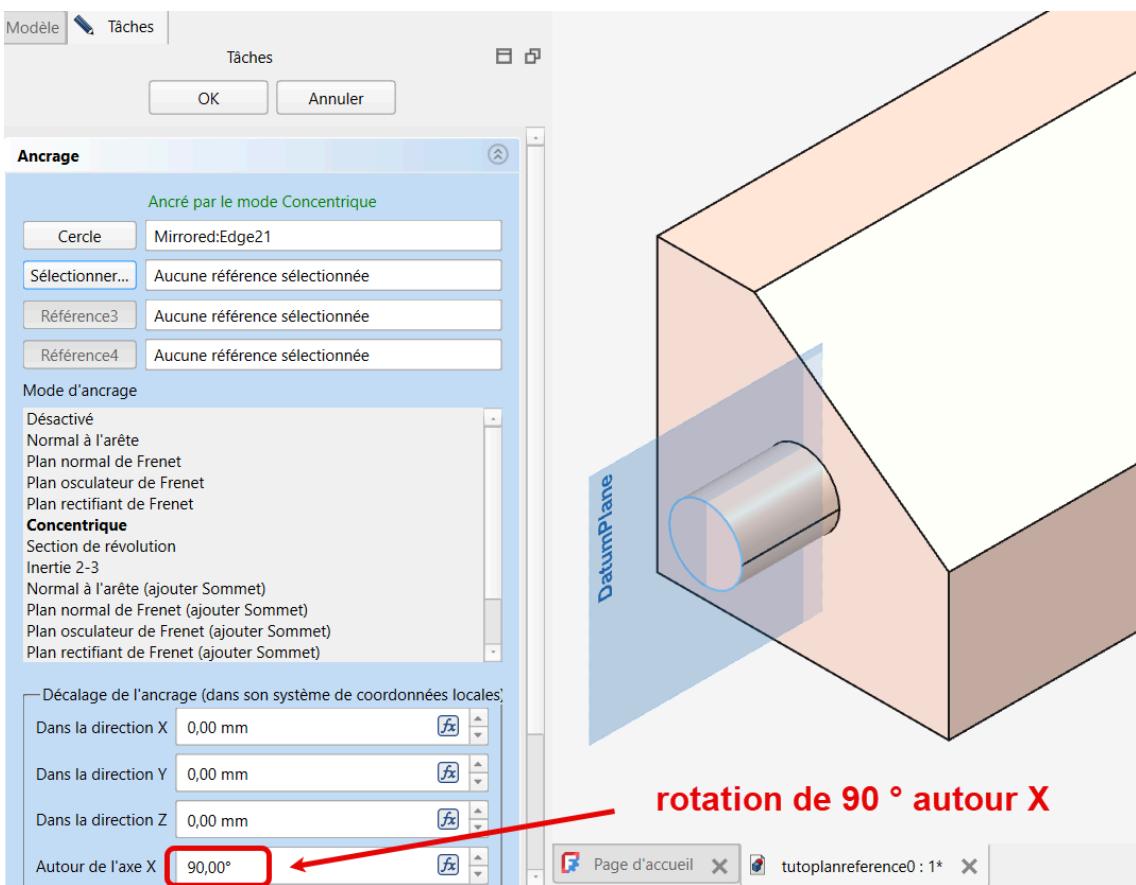
💡 Truc & astuce

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



Ancre : concentrique

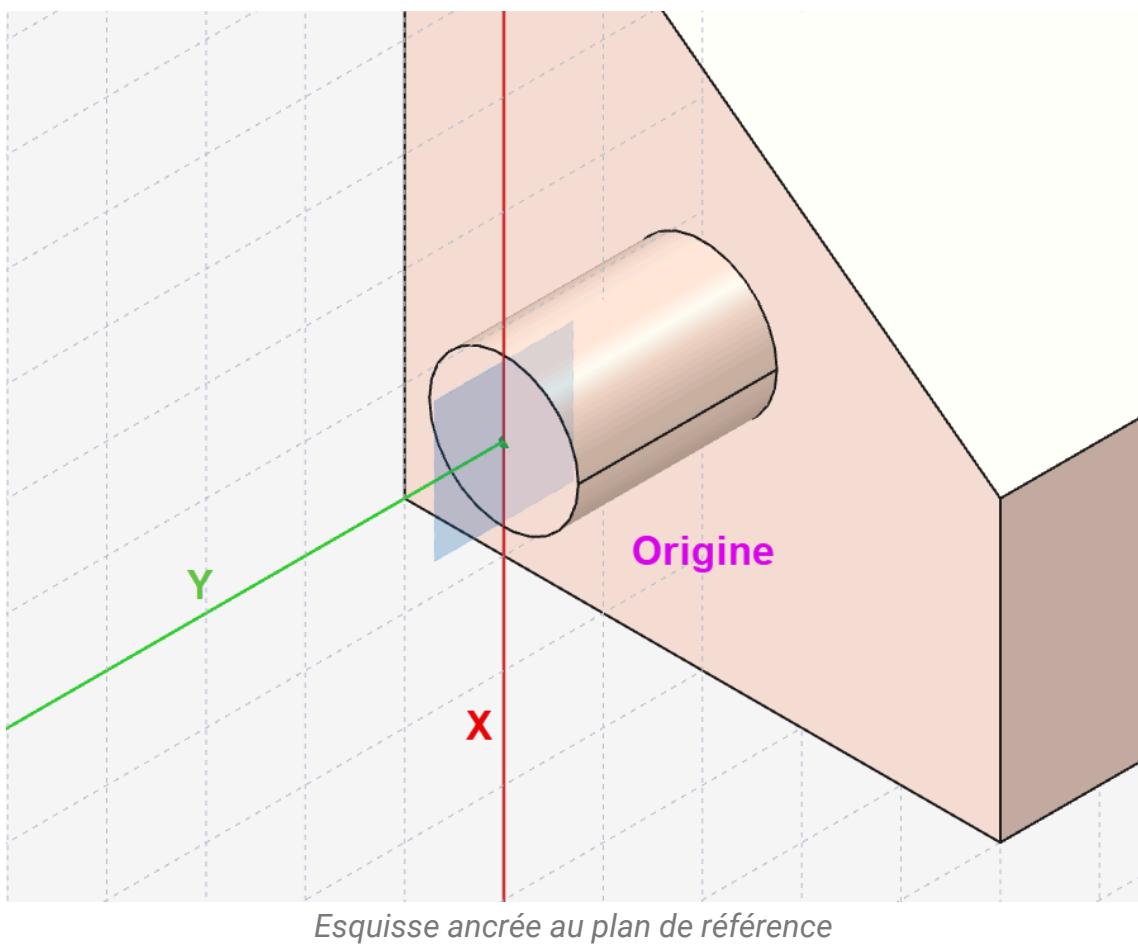
- Appliquer une rotation du plan de référence de 90 ° autour de l'axe X ;



rotation de 90 ° autour 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 :

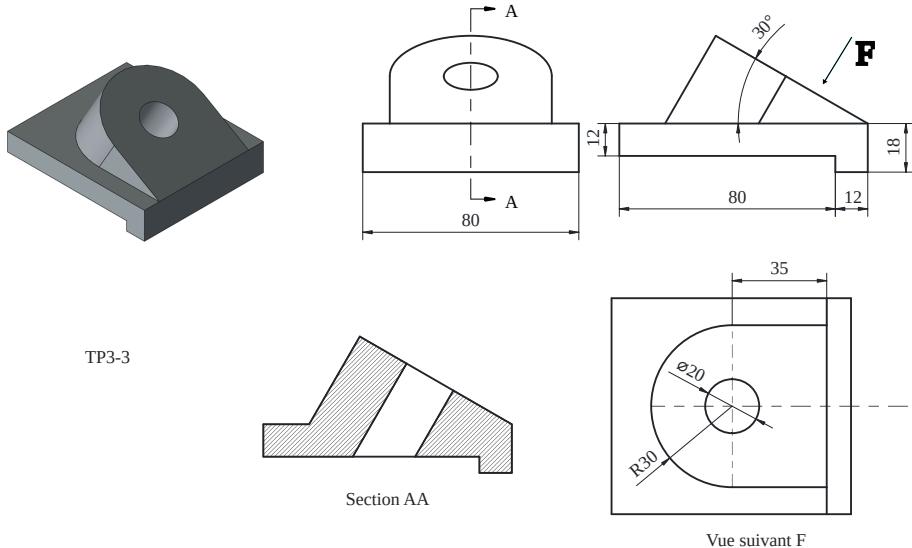


3.5. TP 3-3

Objectifs

- Utiliser la commande Part Plan de référence  ;
- Utiliser des géométries externes obtenues par la commande  ;

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



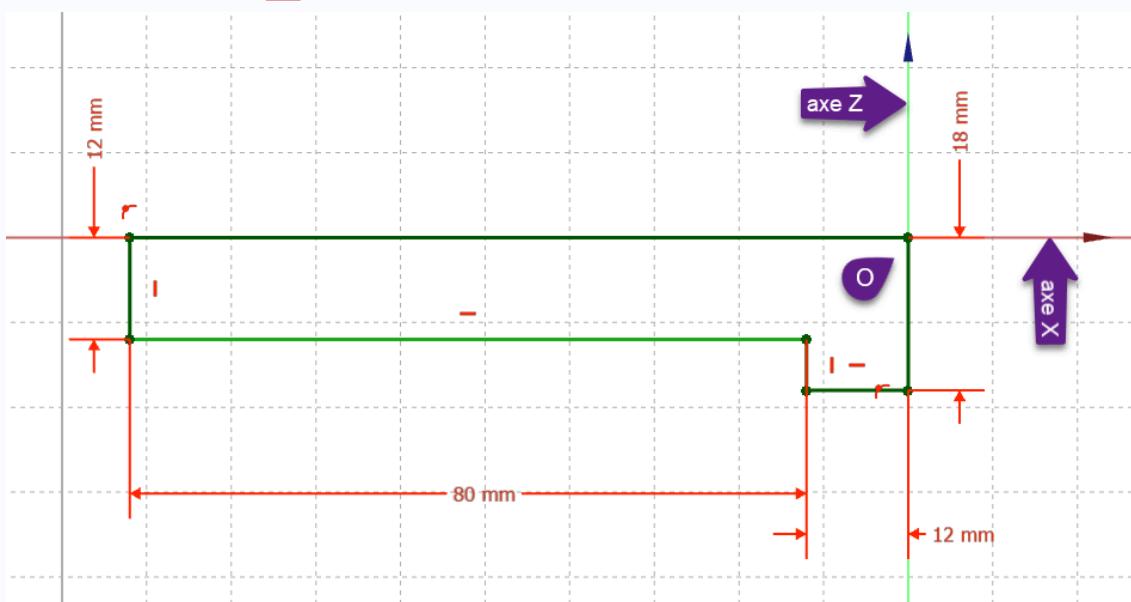
Tâches préliminaires

- 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 & protrusion

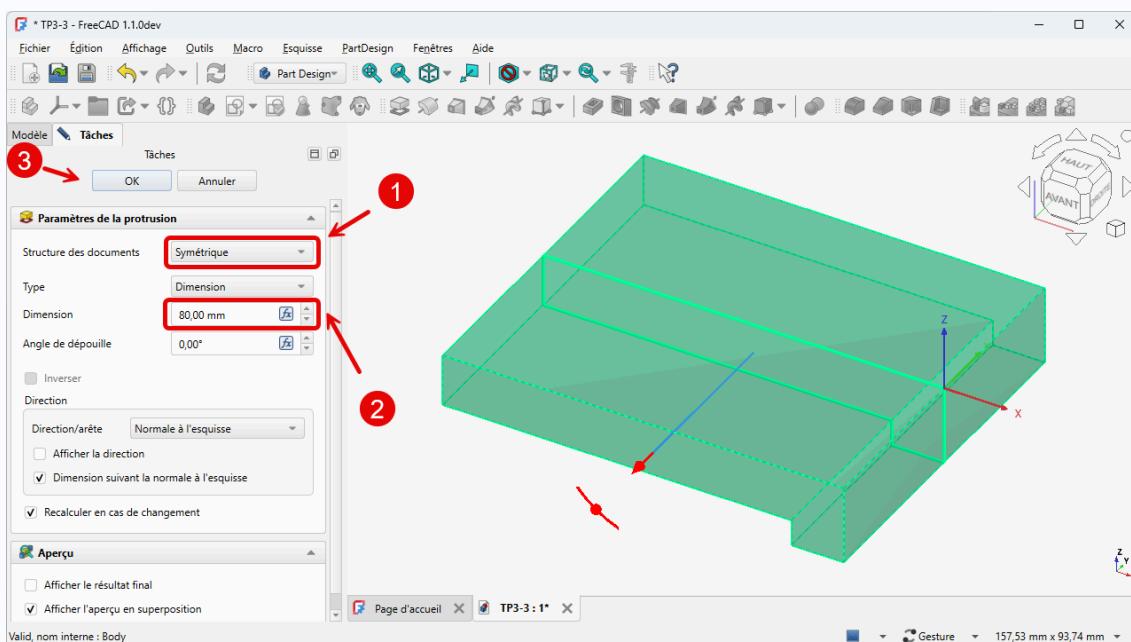
Tâches à réaliser

- Dans l'atelier Sketcher, créer l'esquisse ci-dessous à l'aide d'un polygone :



1^{ère} esquisse du TP 3-3

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



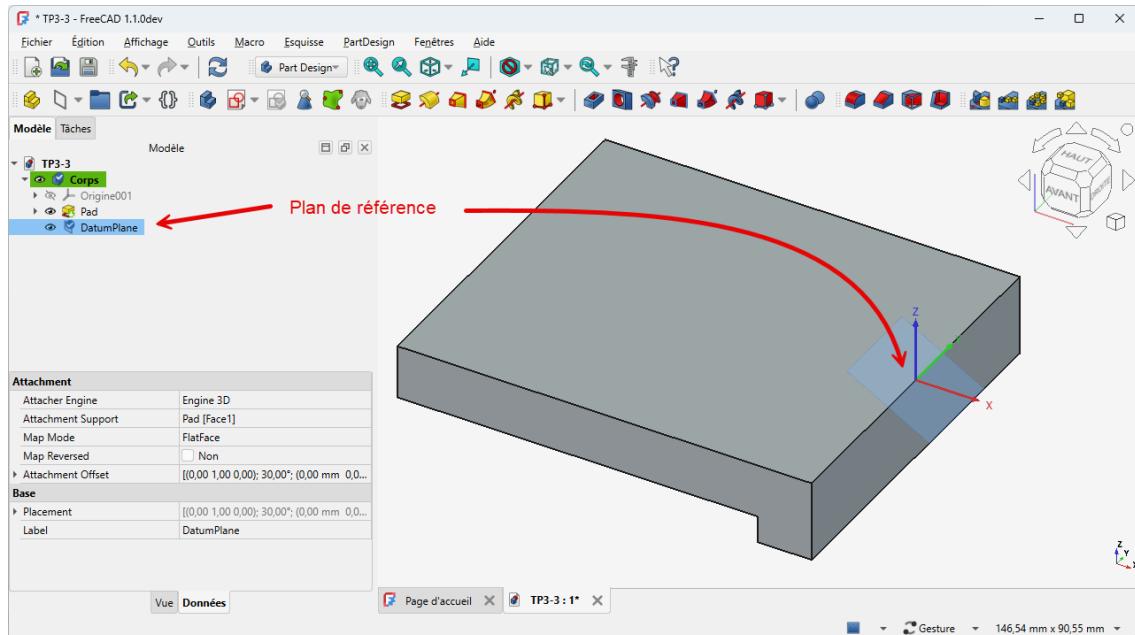
1^{ère} protrusion du TP 3-3

3.5.2. Plan de référence

Objectifs

Nous allons créer le plan de référence  ci-dessous :

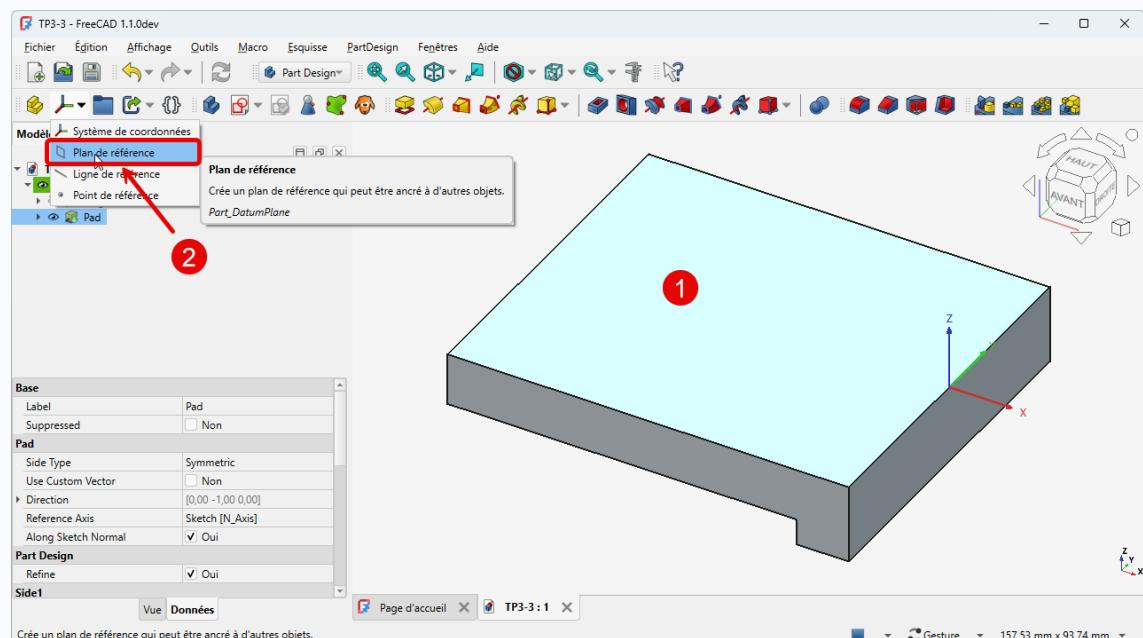
Plan de référence à créer



Vue isométrique du plan de référence

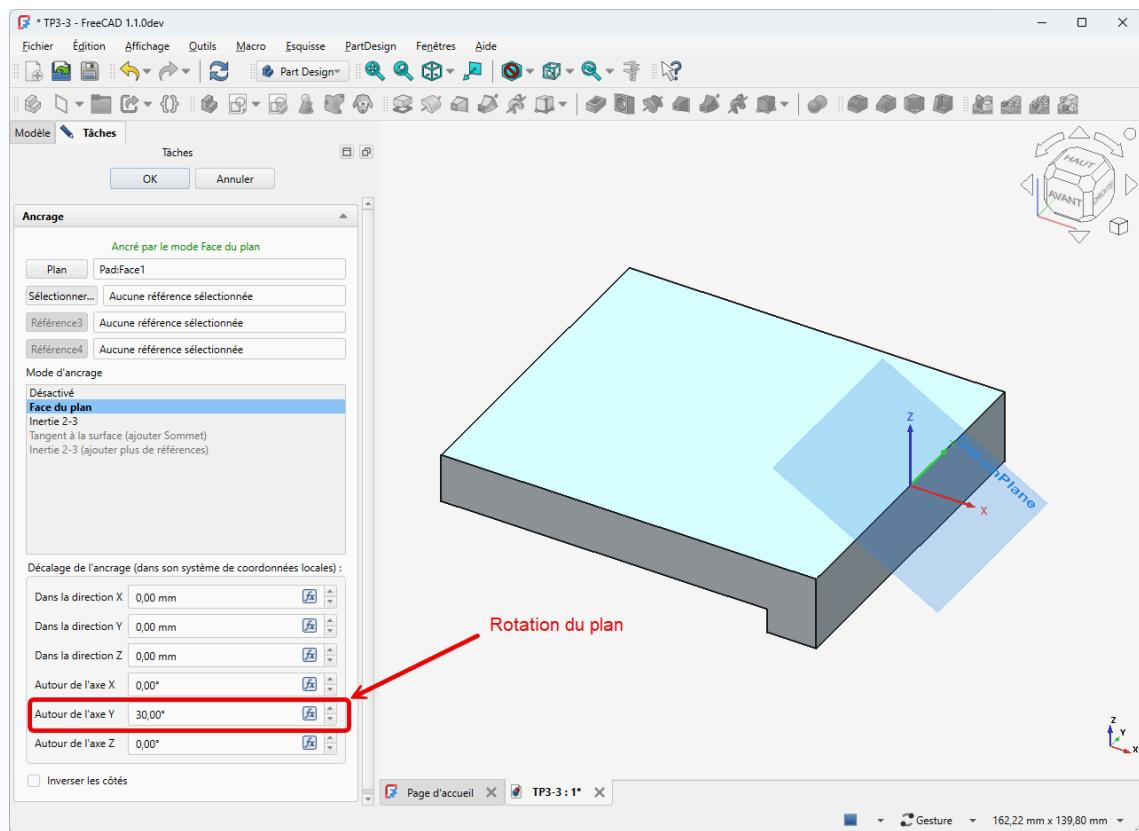
Tâches à réaliser

- 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 ;

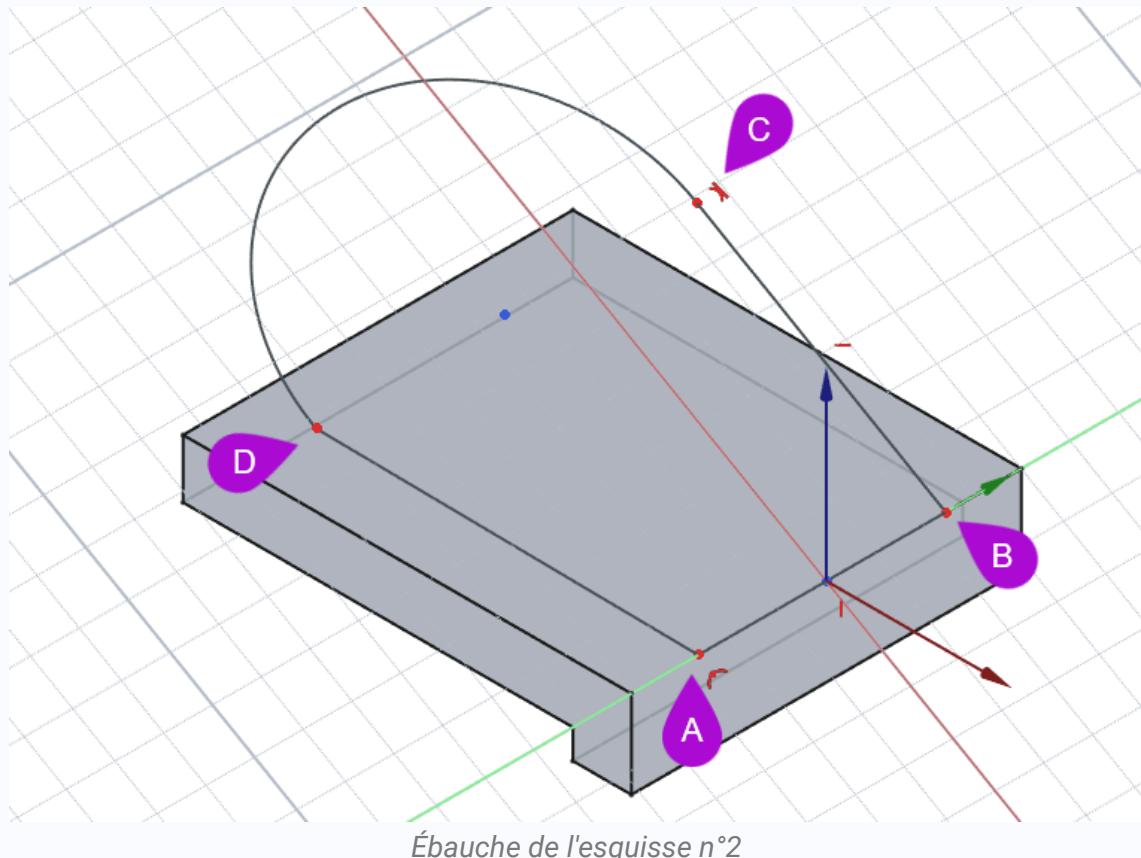


Création du plan de référence - 2

3.5.3. 2^{ème} esquisse et protrusion

✓ Tâches à réaliser

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



♀ Aide :

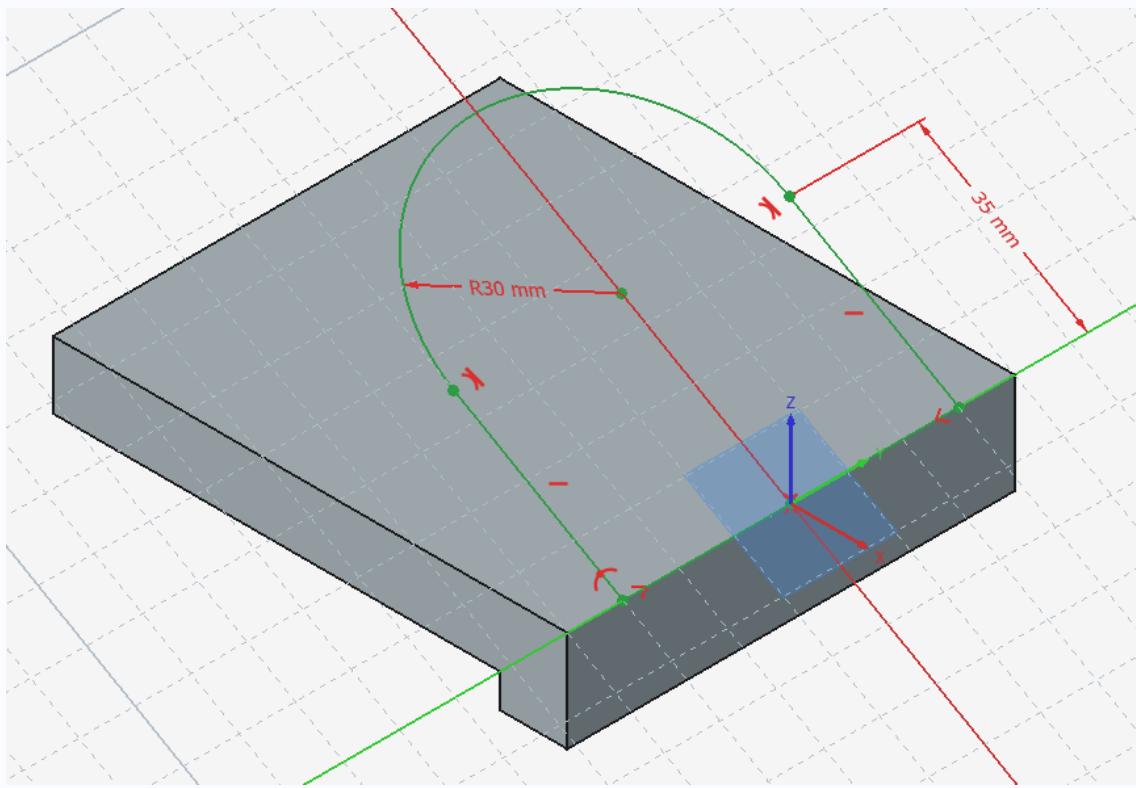
- Dans l'onglet **Modèle**, masquer le plan de référence à l'aide du bouton  pour mieux voir l'esquisse ;
- Passer en vue  pour mieux visualiser la position de l'esquisse (touche );

Tableau des contraintes auomatiques

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 pour insérer un arc tangent au segment BC
	Point A	Appuyer 2 fois sur la touche pour revenir au mode par défaut avec le point A pour fermer le contour

🕒 Tâches à réaliser (suite)

- Finaliser l'esquisse comme ci-dessous :



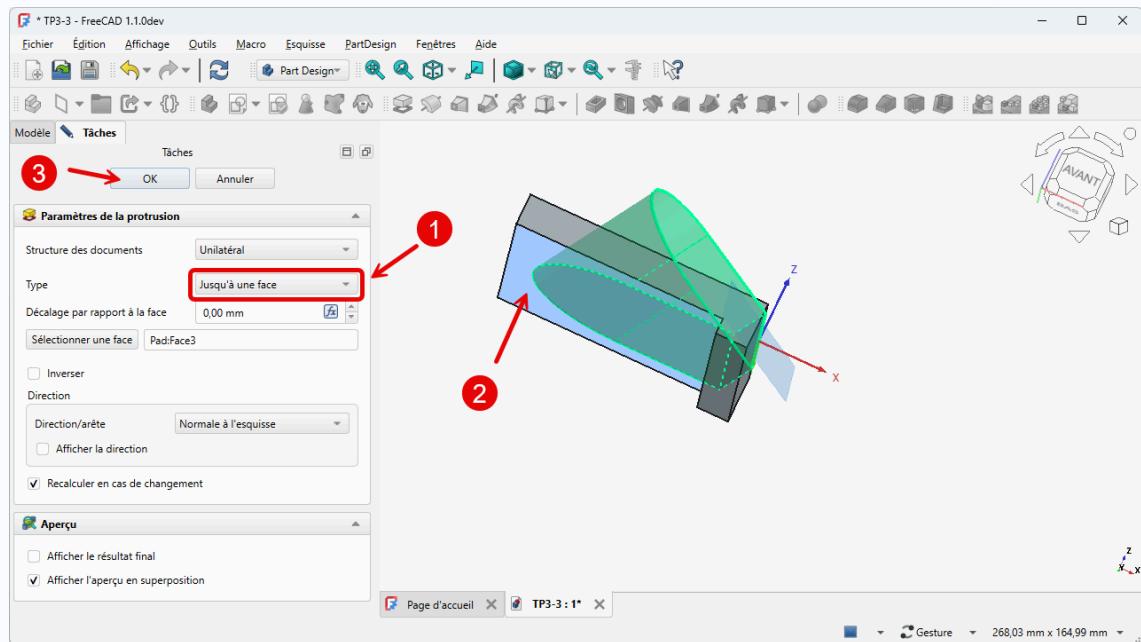
💡 Aide :

- 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;

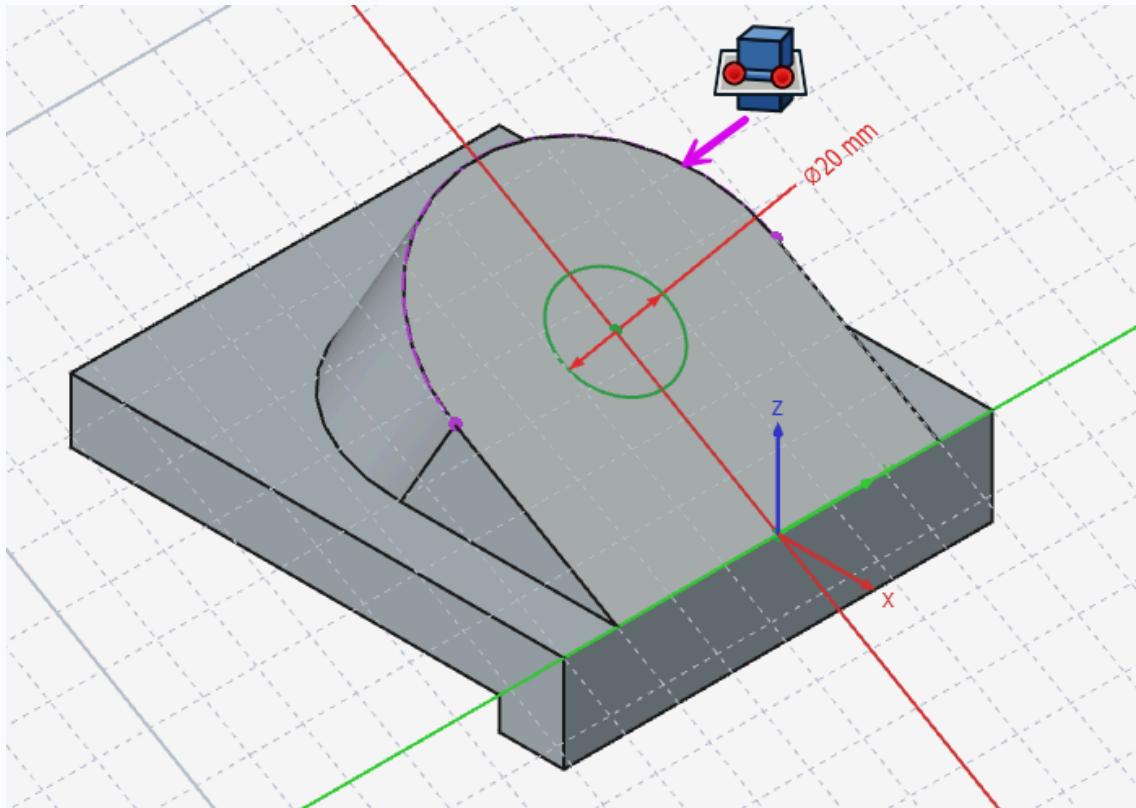


Protrusion de l'esquisse n°2

3.5.4. 3ème esquisse & cavité

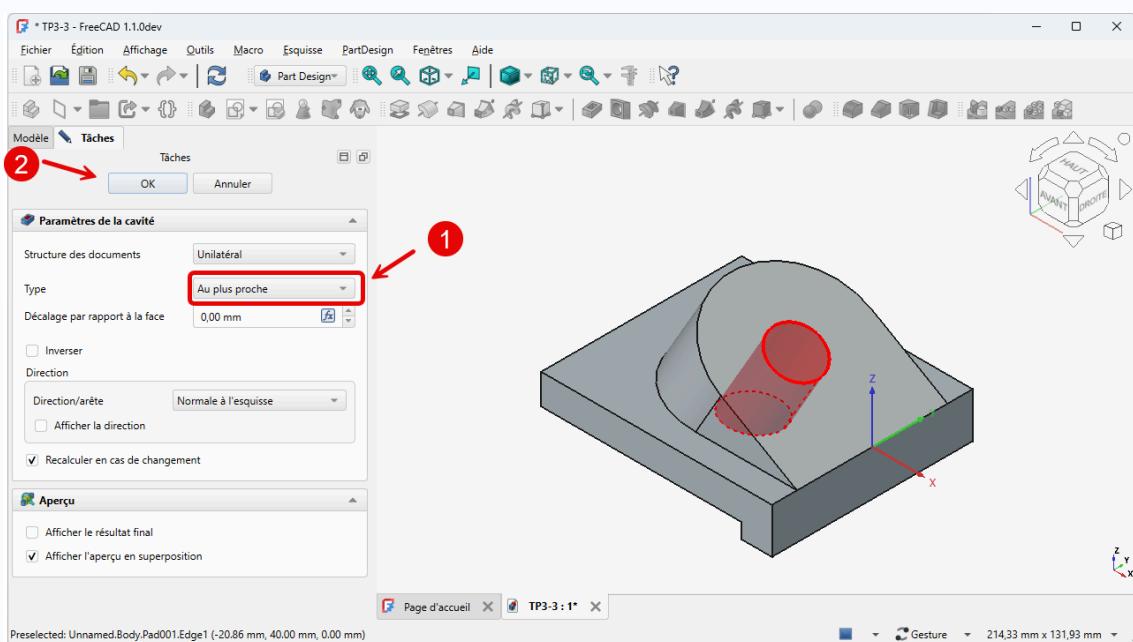
Tâche à réaliser

- 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^[p.369] 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



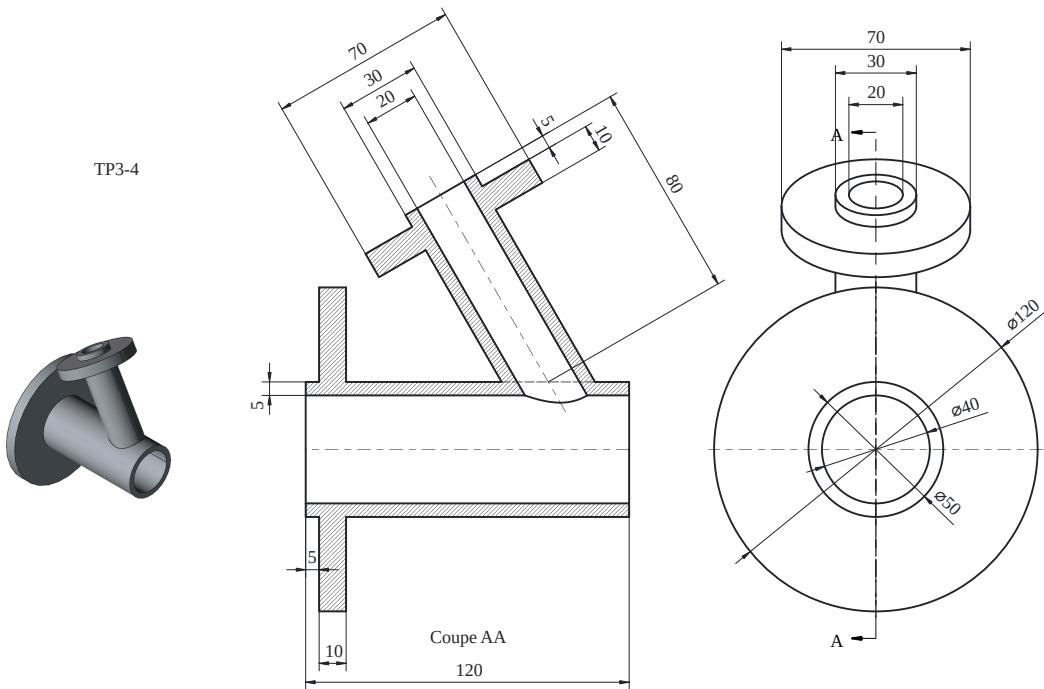
3.6. TP 3-4 🔍

🎯 Objectifs

Dans l'atelier  Part Design, utiliser les commandes :

- Utiliser la commande Révolution 
- Décalage & rotation d'un plan de référence 

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



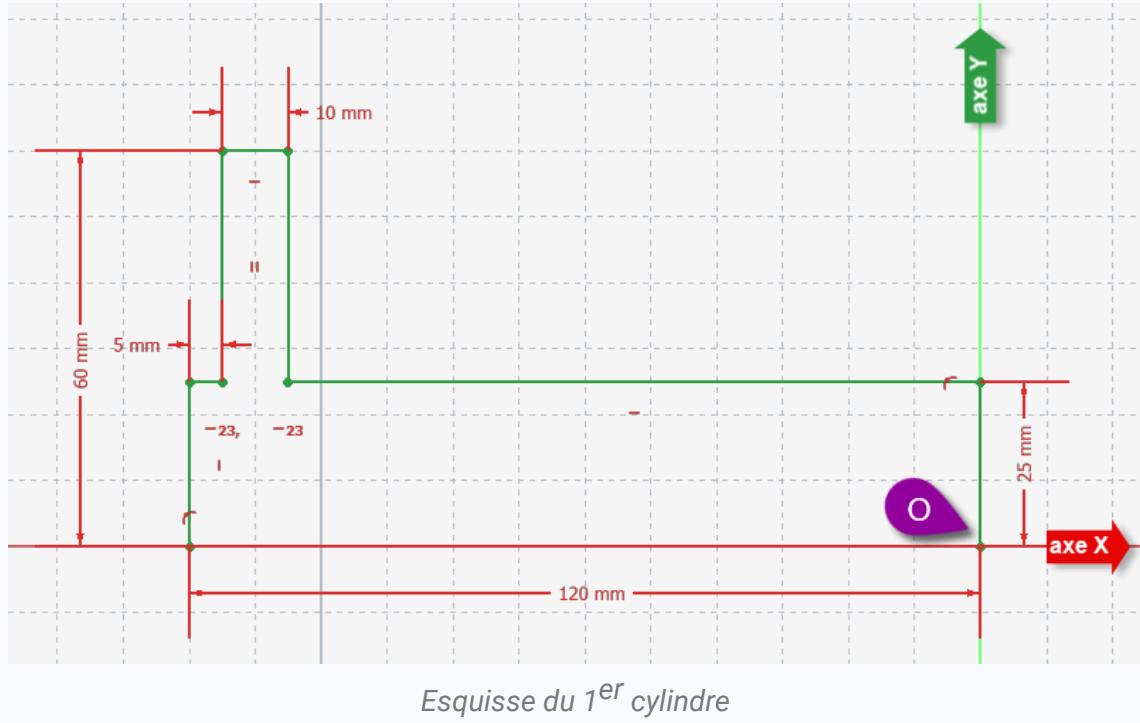
☰ Tâches à réaliser

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

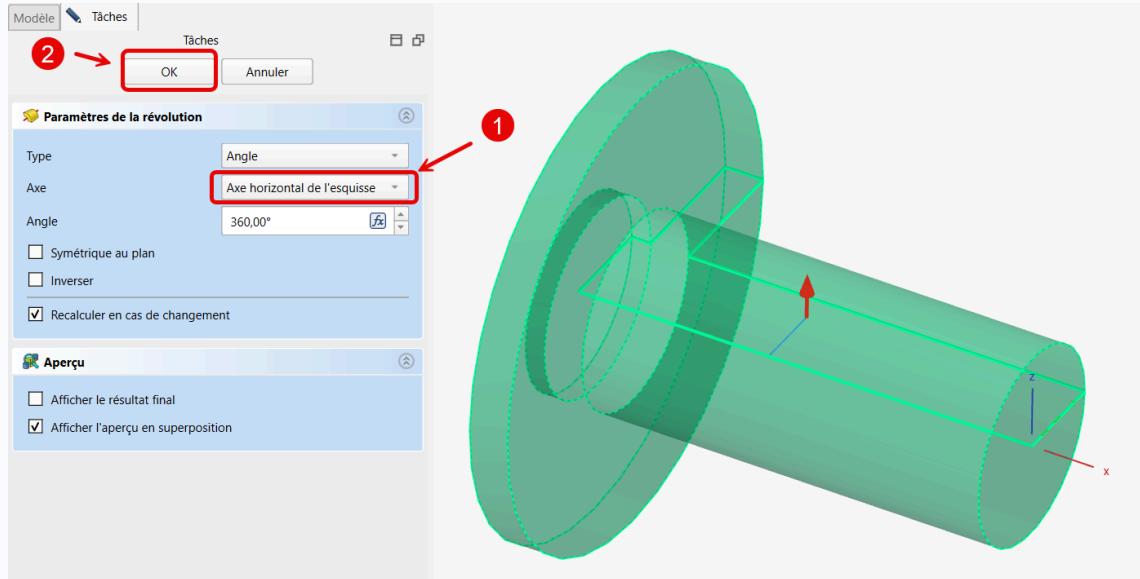
3.6.1. 1^{er} cylindre

✓ Tâches à réaliser

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



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



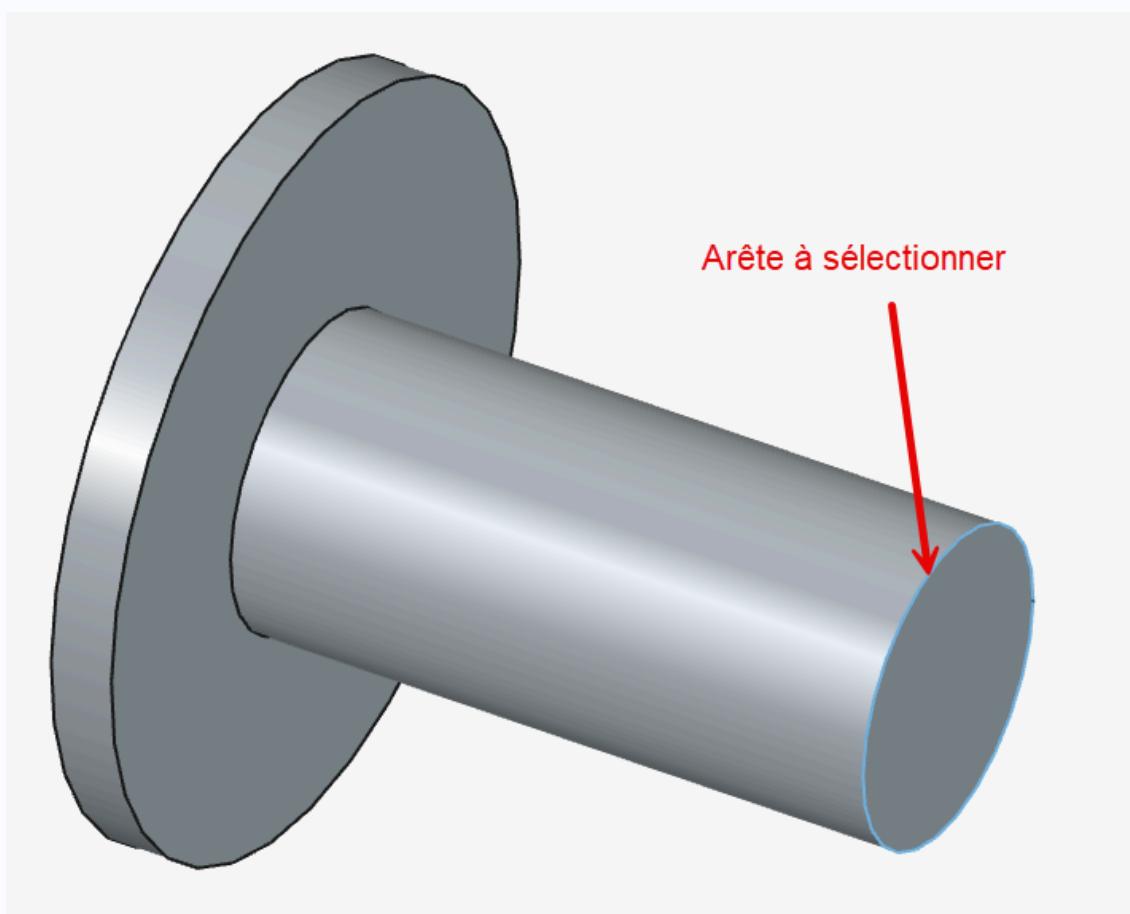
Aide

- Utiliser une polylinéaire  pour créer l'esquisse ;

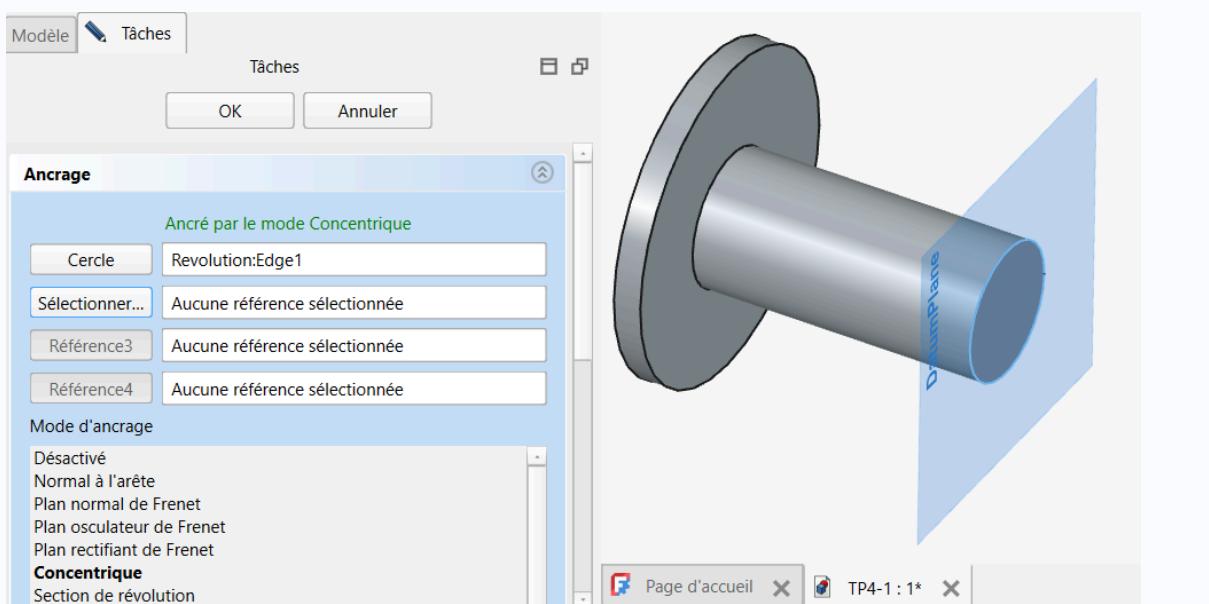
3.6.2. Plan de référence

✓ Tâches à réaliser

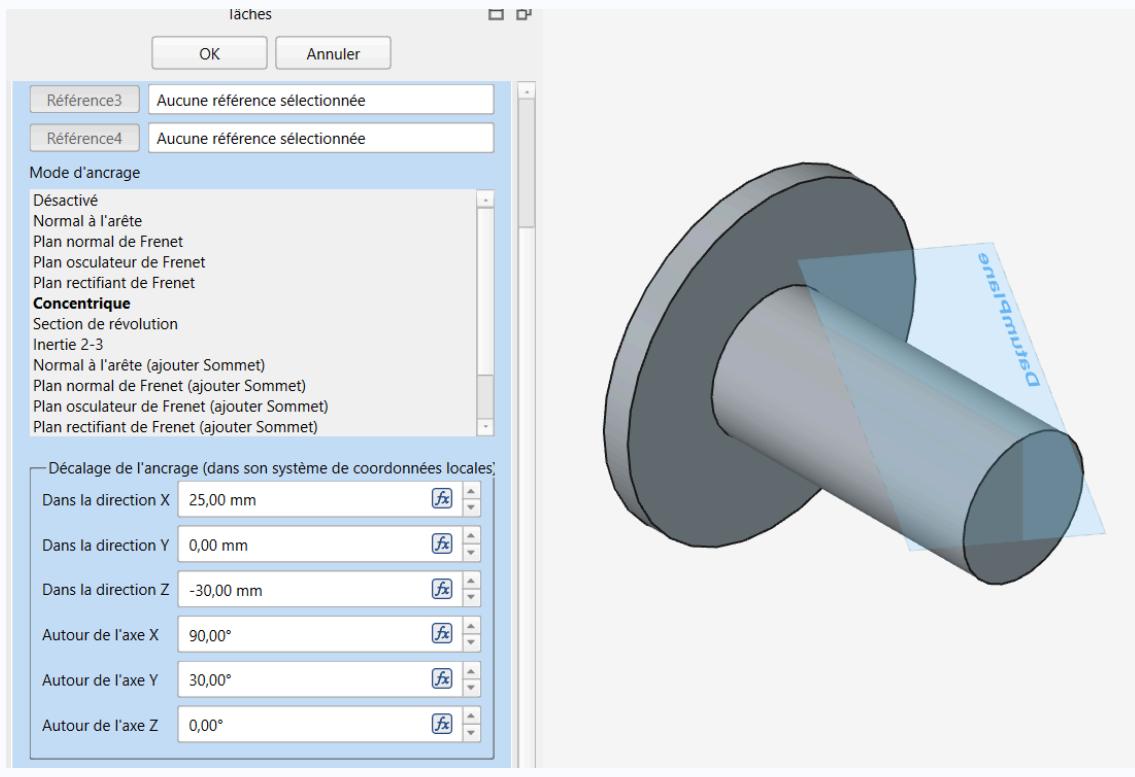
- Sélection l'arête circulaire du cylindre à l'extrémité du corps ;



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

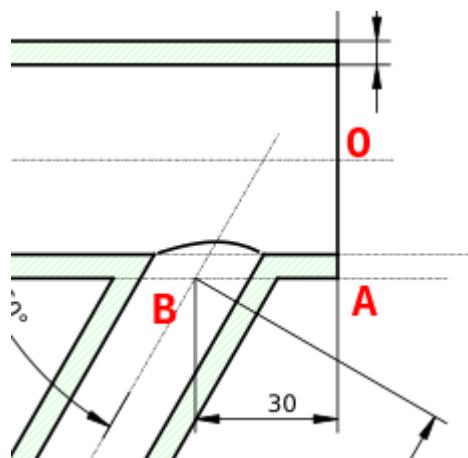


- Décaler et pivoter ce plan de référence comme ci-dessous :



Ω 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

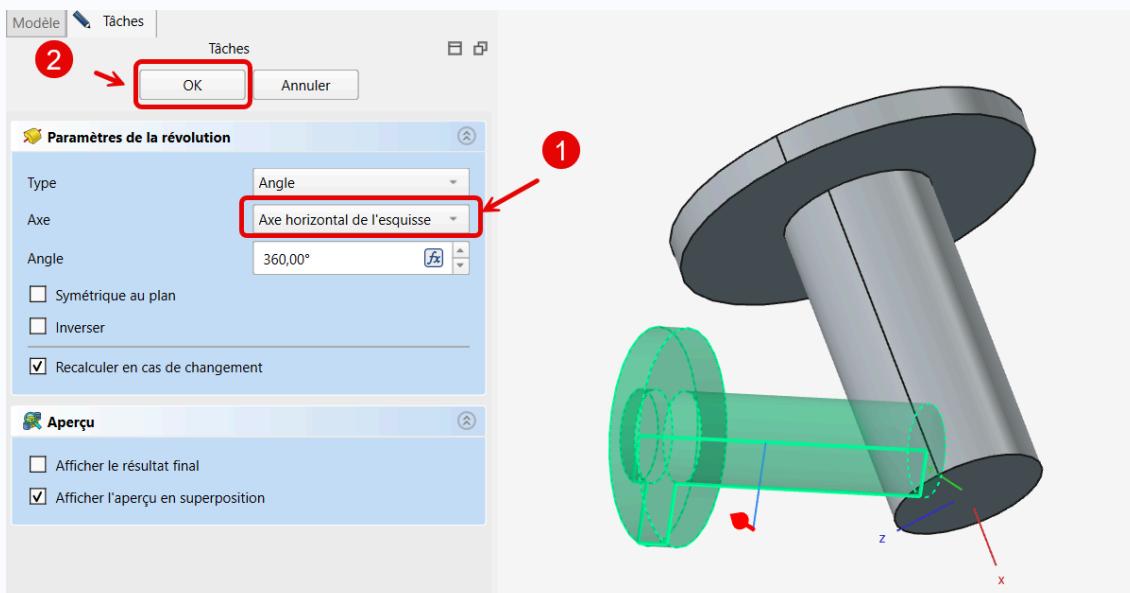
✓ Tâches à réaliser (suite)

- 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

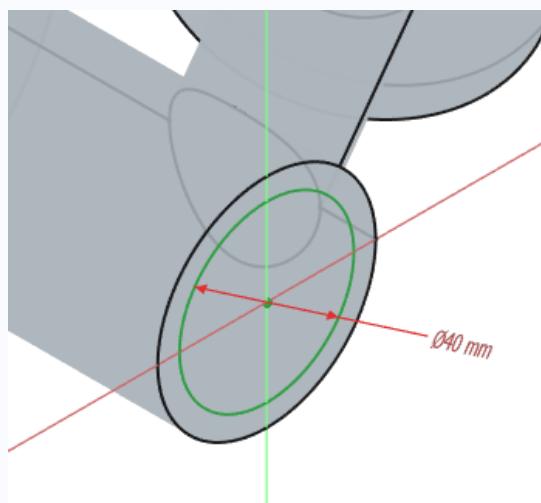
Aide

- 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 puis ;
- La contrainte de 20 mm est approximative : elle assure la pénétration du second cylindre dans le premier ;

3.6.4. Cavités

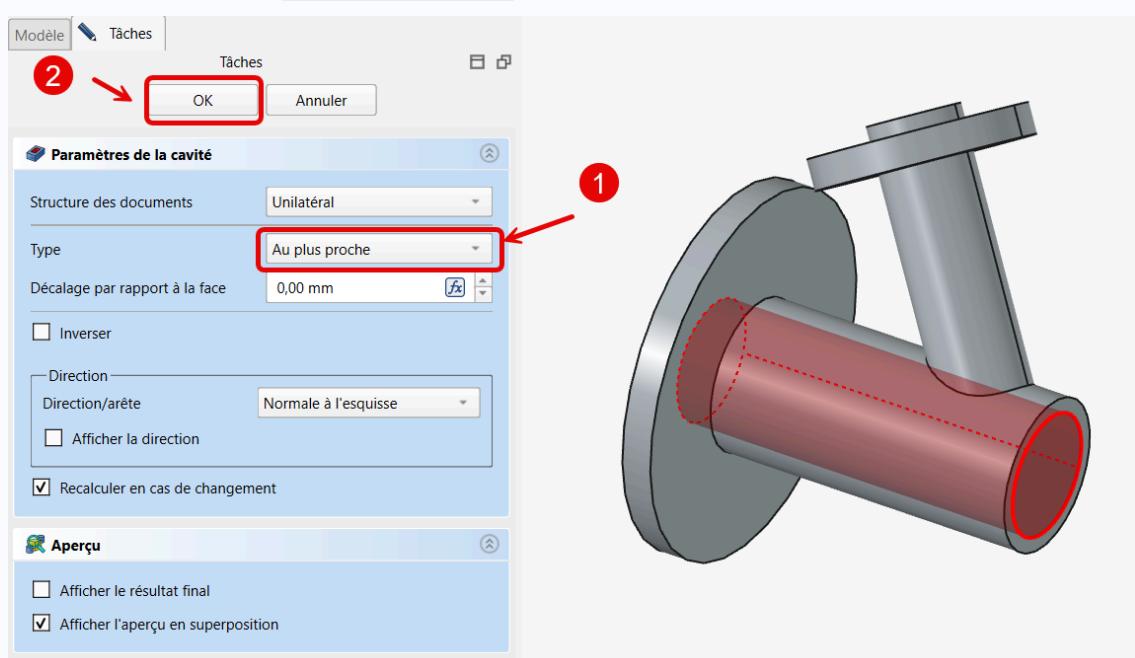
Tâches à réaliser

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



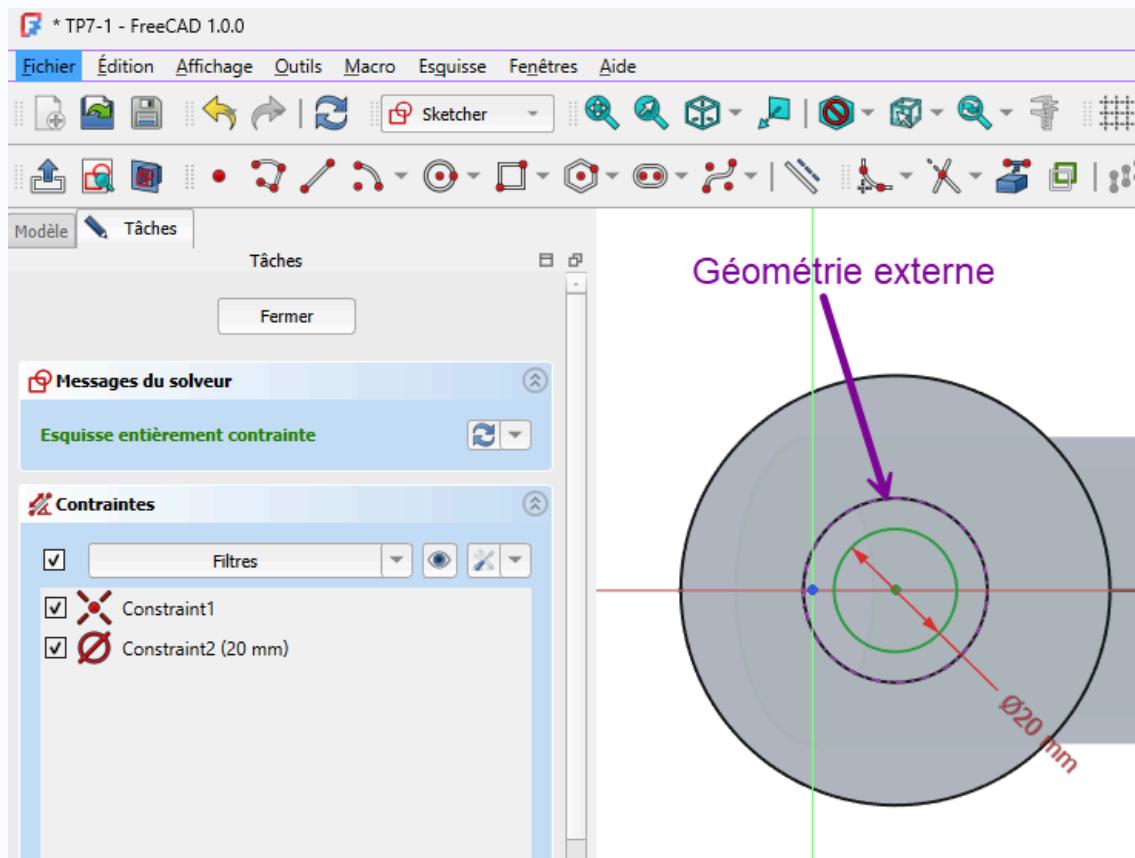
Cavités : esquisse sur la face en bout du 1^{er} cylindre

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



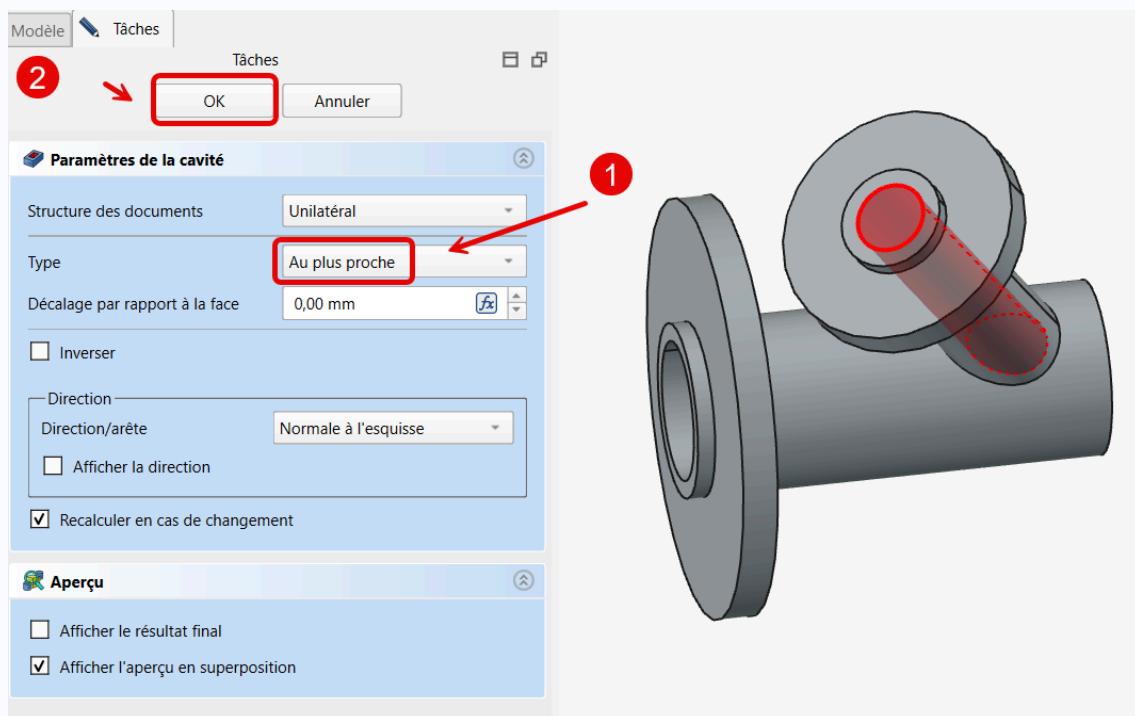
Création de la cavité sur le 1^{er} cylindre

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



Cavités : esquisse sur la face en bout du 2nd cylindre

Créer un 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^[p.369] par intersection ;

3.6.5. Capture vidéo



4. Fonctions paramétriques

Pour le moment, nous avons utilisé deux fonctions paramétriques :

- deux fonctions additives : la protrusion  et la révolution 

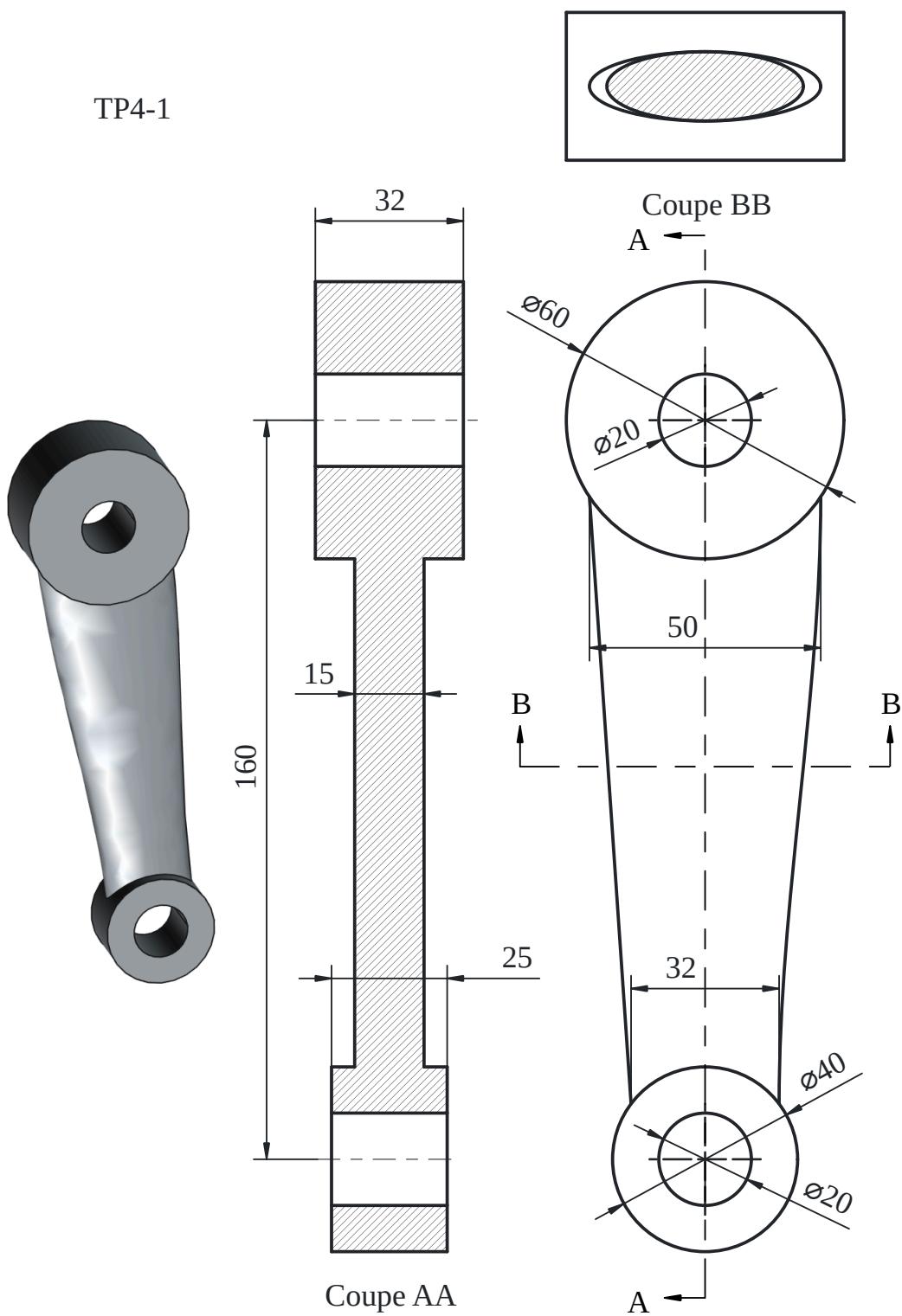
Dans ce chapitre, nous allons découvrir d'autres fonctions paramétriques.

4.1. Lissage additif

Objectifs

- Utiliser la commande **Lissage additif**^W  de l'atelier 
- Utiliser la commande **Ellipse par centre**^W 
- Créer et utiliser des **géométries externes par projection** ^W  et **par intersection** ^W 

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



Remarque

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



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

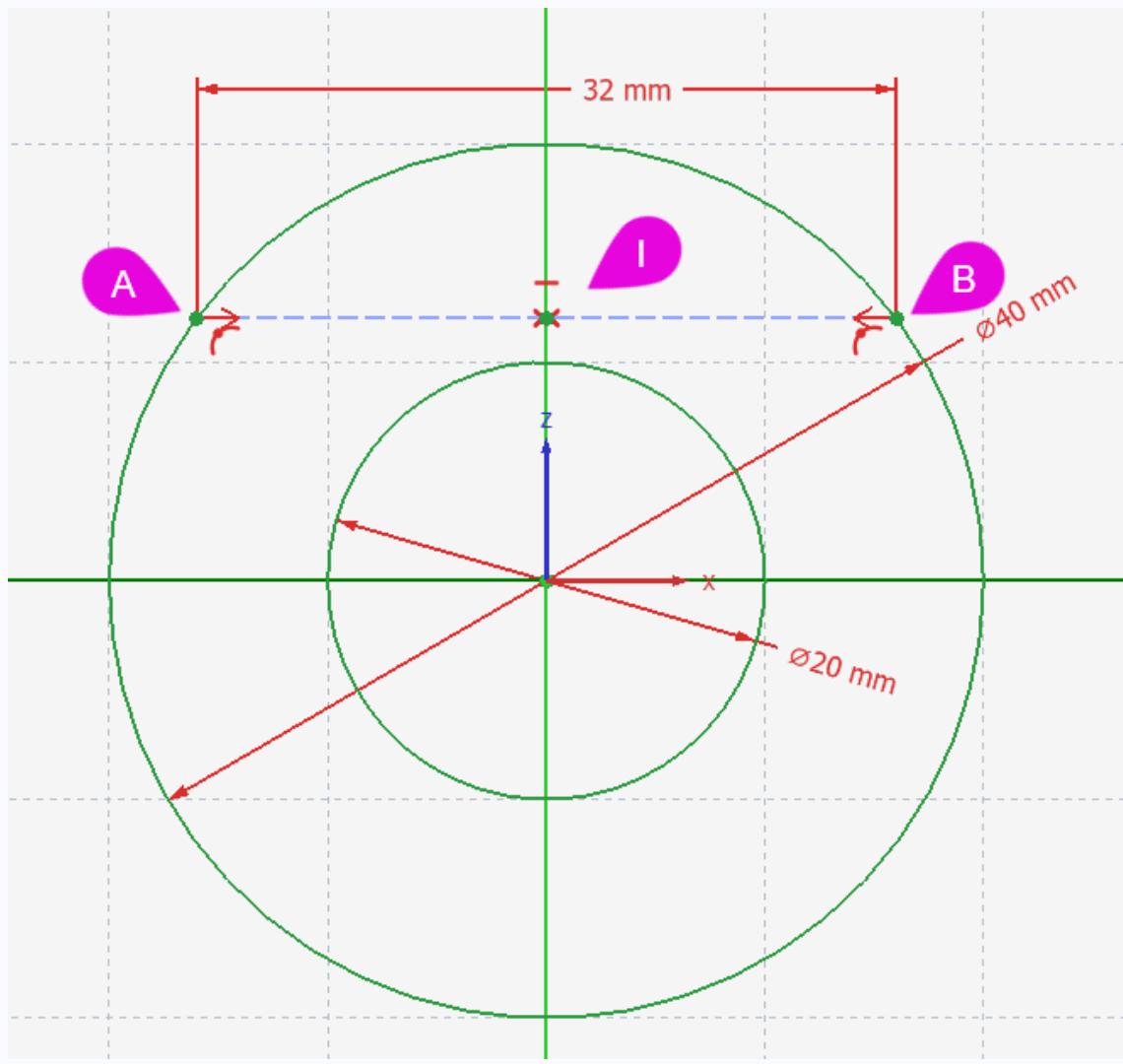
☰ Tâches préliminaires

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

4.1.1. Esquisse des cylindres

Esquisse du cylindre inférieur

- Créer l'esquisse  ci-dessous dans le plan XZ constituée de deux cercles  et d'un point  I milieu de la corde AB :



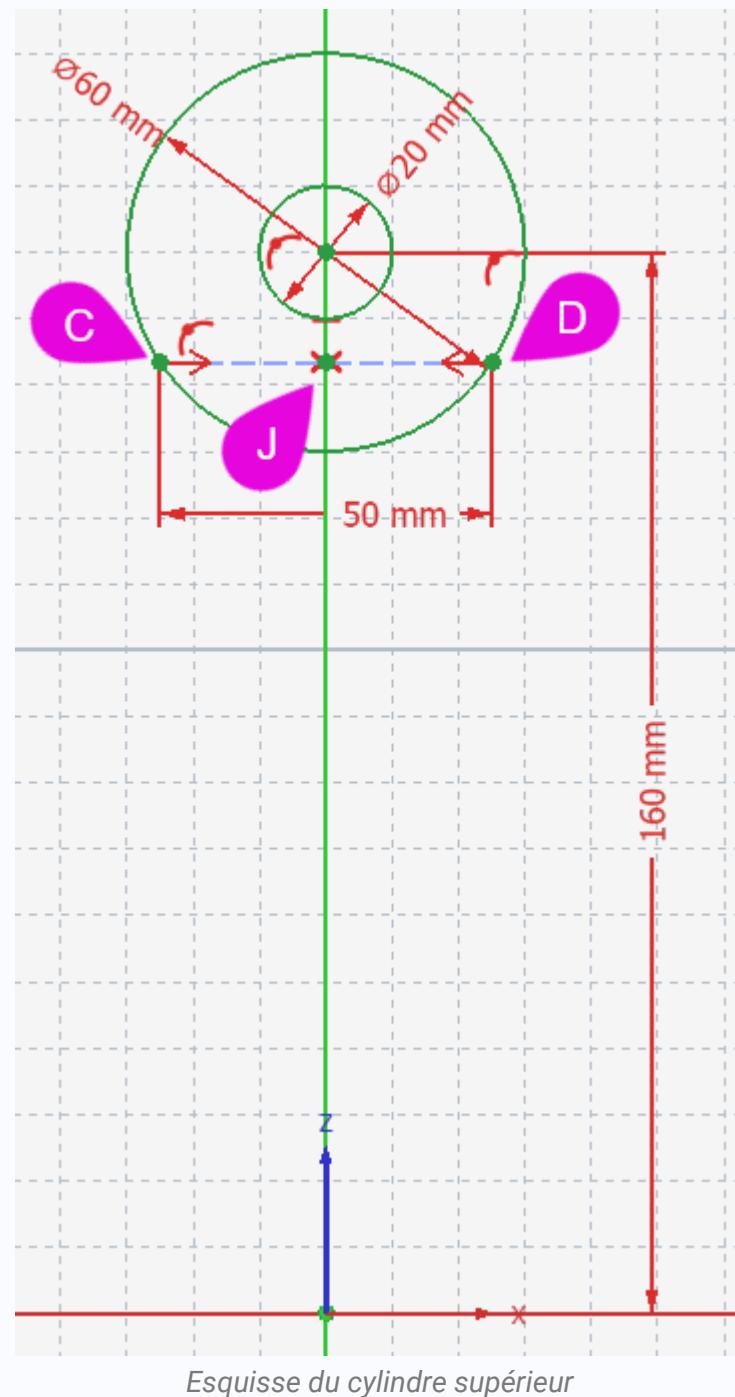
- Renommer l'esquisse  Cylinf ;

Attention

- La corde AB doit être une géométrie de **construction**^[p.368] pour ne pas être prise en compte lors de la création de la protrusion du cylindre ;
- Le point I doit être une géométrie de **définition**^[p.369] pour être visible dans la vue 3D : il permet de positionner le bas de la nervure ;

Esquisse du cylindre supérieur

- Créer l'esquisse  ci-dessous dans le plan XZ constituée de deux cercles  et d'un point  J milieu de la corde CD :



- Renommer l'esquisse  CylSup ;

⚠️ Attention

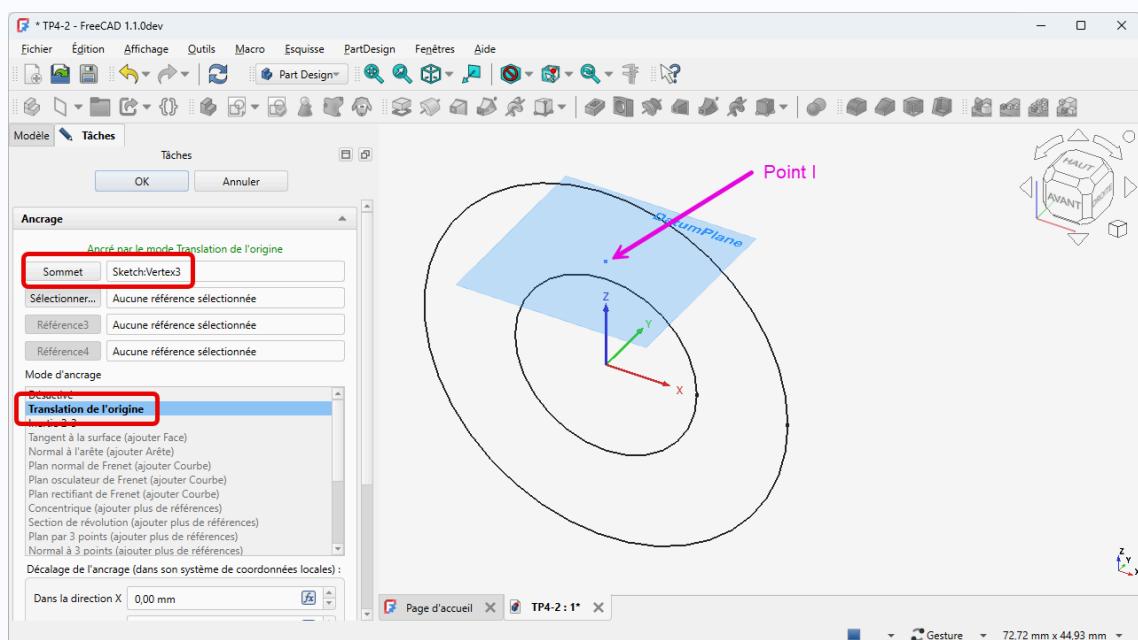
Comme précédemment :

- La corde CD doit être une géométrie de **construction**^[p.368] pour ne pas être prise en compte lors de la création de la protrusion du cylindre ;
- Le point J doit être une géométrie de **définition**^[p.369] pour être visible dans la vue 3D : il permet 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

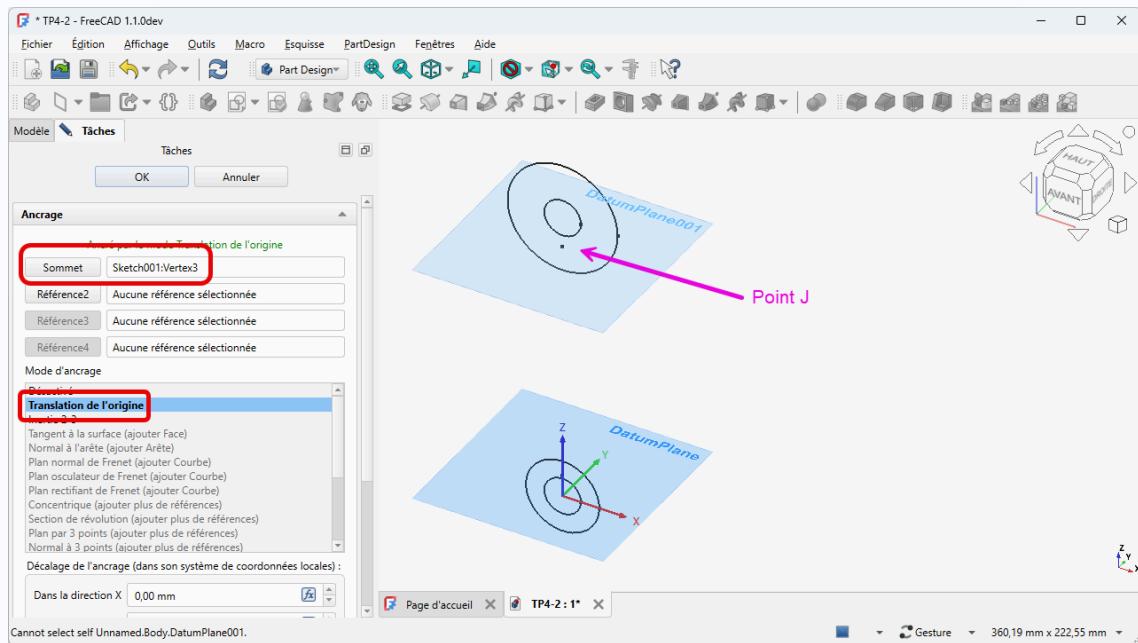
- Renommer ce plan  **PlanInf** ;

❓ 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 



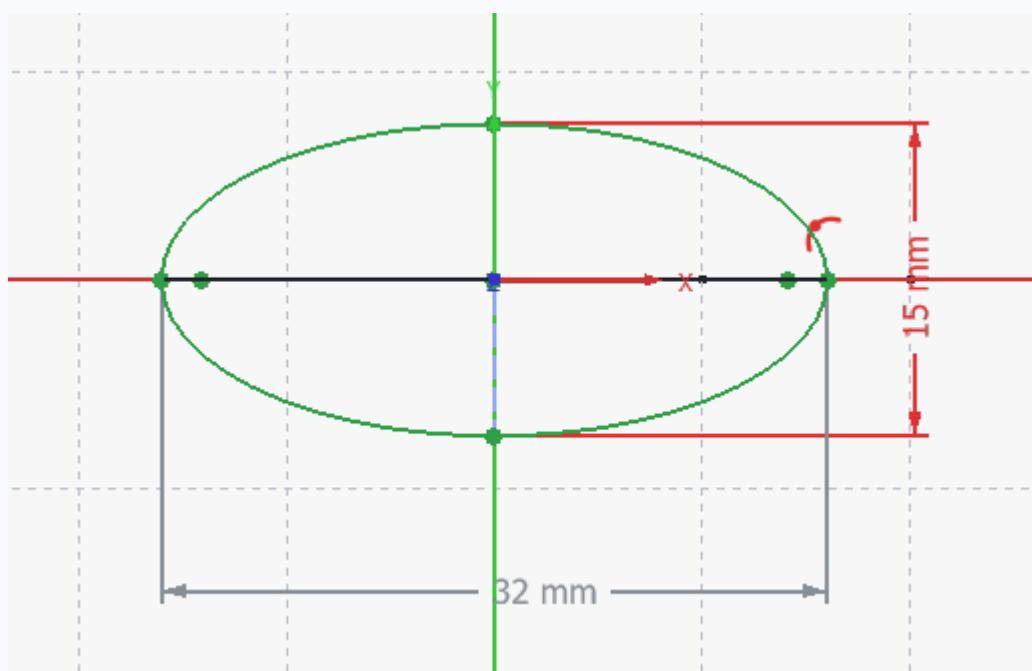
Plan de référence pour le haut de la nervure

- Renommer ce plan  PlanSup ;

4.1.3. Création de la nervure

✓ Ellipse inférieure

- Sélectionner le plan de référence  PlanInf et créer l'esquisse ci-dessous contenant une ellipse par son centre  ;



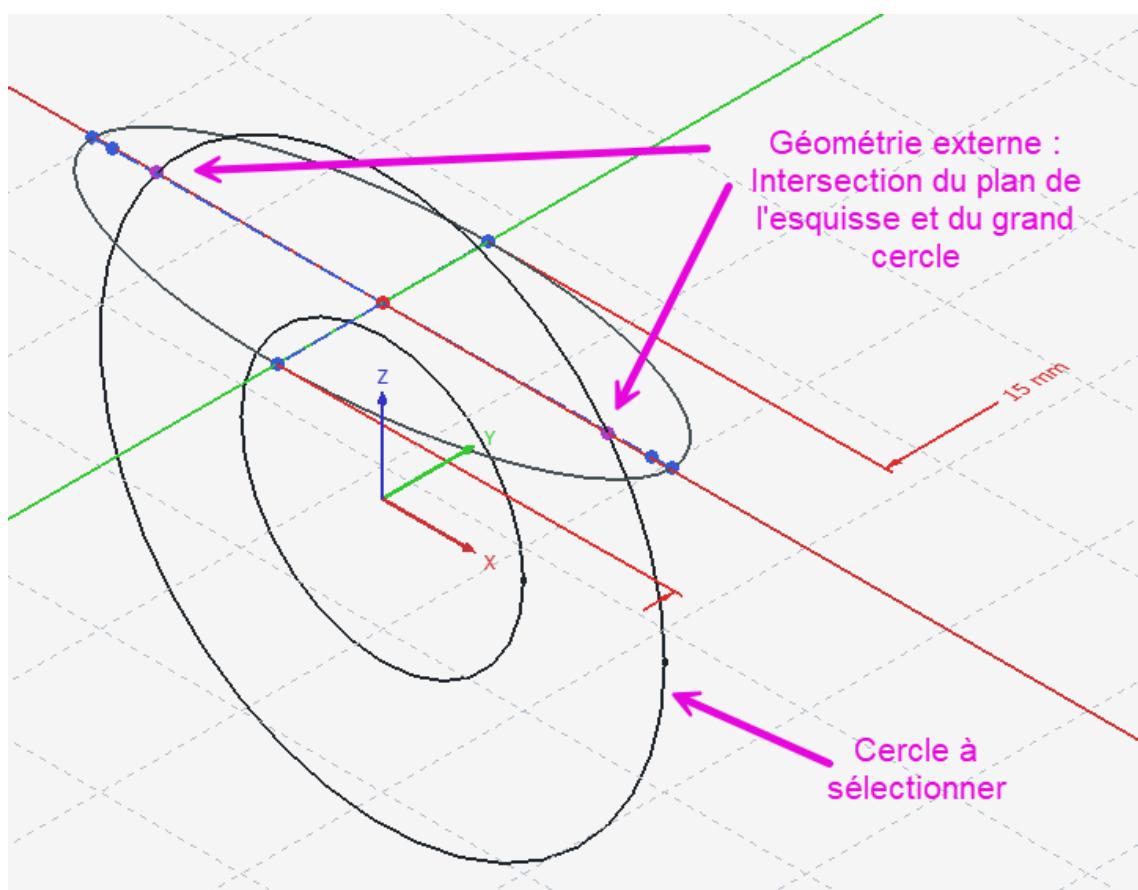
- Renommer l'esquisse EllipselInf ;

Attention

- Contraindre l'extrémité du grand axe sur l'axe X ;
- Saisir directement la longueur 15 mm du petit axe ;
- Ne pas saisir la longueur 32 mm du grand axe de l'ellipse mais définir géométriquement l'extrémité du grand axe : voir ci-dessous ;

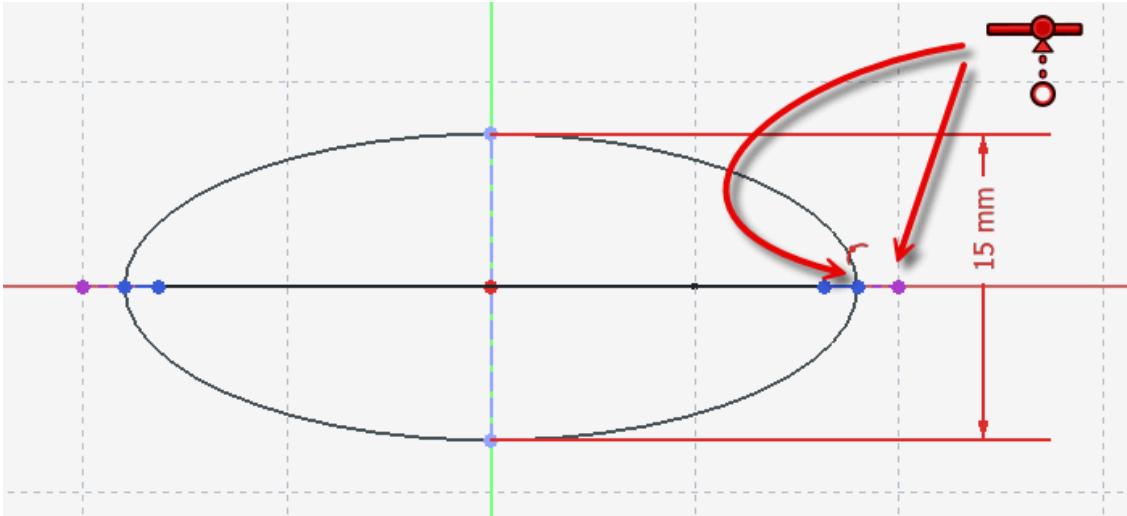
Aide : définir géométriquement l'extrémité du grand axe

- Pour y voir plus clair, masquer les plans de référence et l'esquisse CylSup ;
- Basculer en vue isométrique touche 0 du clavier numérique ou cliquer sur le bouton ;
- Cliquer sur le bouton Bascule en géométrie de construction ;
- Cliquer sur le bouton Création d'une géométrie externe de construction^[p.369] par intersection et sélectionner le grand cercle du cylindre inférieur :



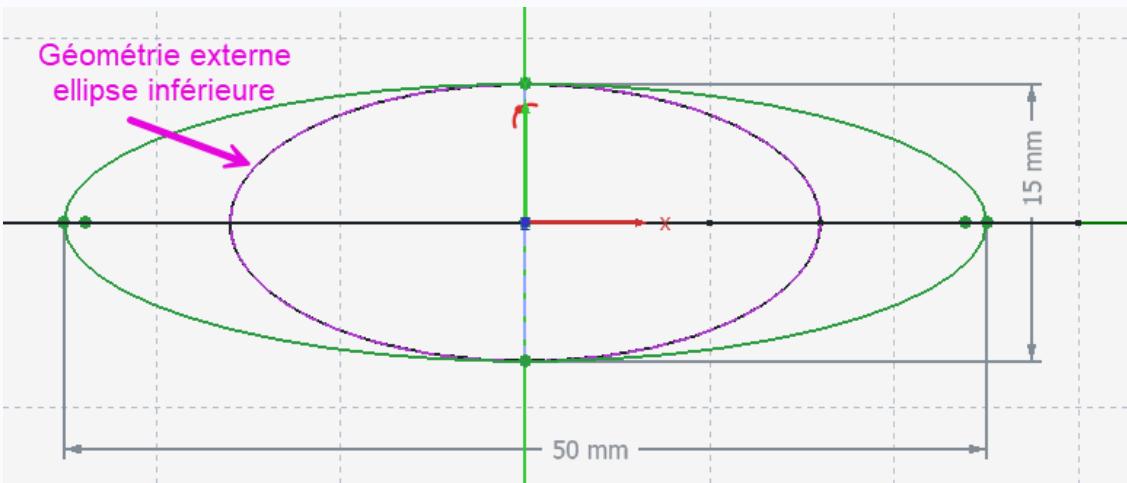
Détermination géométrique du grand axe de l'ellipse

- Basculer en affichage Haut (touche 2 du clavier numérique) et contraindre une extrémité du grand axe sur l'un des deux points de la géométrie externe ;



Ellipe supérieure

- Réafficher l'esquisse **CylSup** ;
- Sélectionner le plan de référence **PlanSup** et créer l'esquisse ci-dessous :



- Renommer l'esquisse **EllipseSup** ;

⚠️ Attention

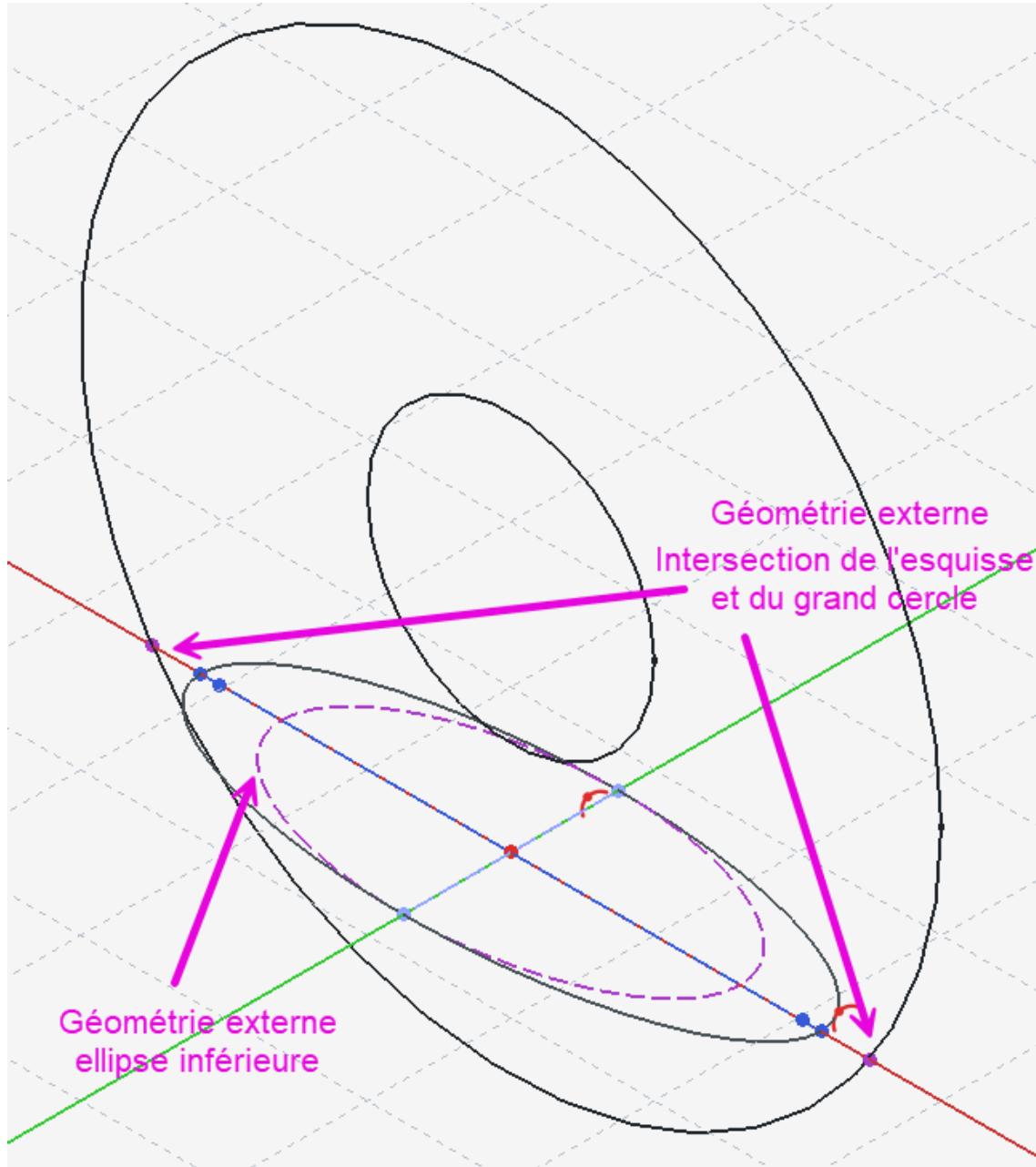
- Contraindre l'extrémité du grand axe sur l'axe X ;
- Ne pas saisir les dimensions des axes : les extrémités du grand axe et du petit axe de l'ellipse doivent être définies géométriquement : voir ci-dessous :

💡 Aide : petit axe de l'ellipse

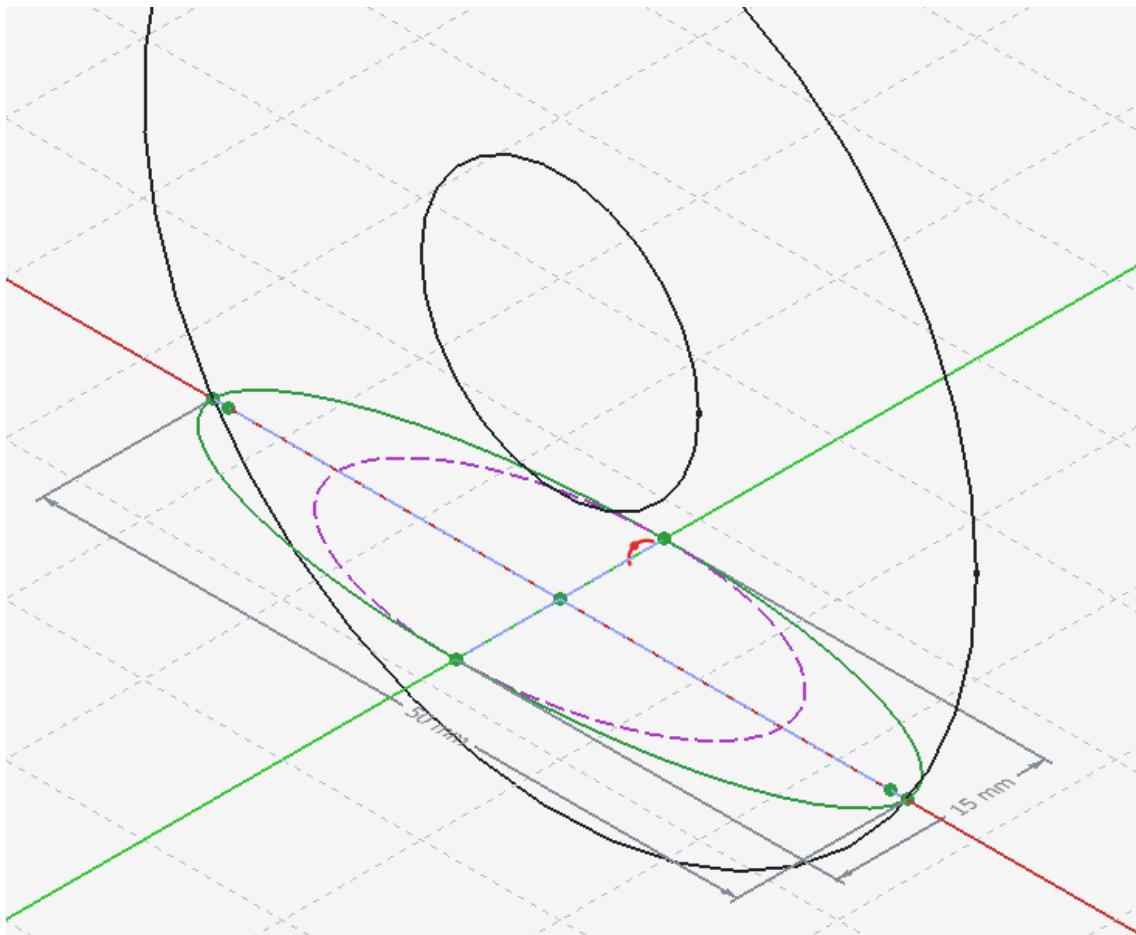
- Cliquer sur le bouton Bascule en géométrie de construction  ;
- Cliquer sur la commande **Création d'une géométrie externe de construction**^[p.369] par projection  et sélectionner l'ellipse inférieure ;
- Contraindre l'extrémité du petit axe sur la géométrie externe de l'ellipse inférieure ;

Aide : grand axe de l'ellipse

- Basculer en vue isométrique touche **0** du clavier numérique ou cliquer sur le bouton 
- Cliquer sur le bouton **Création d'une géométrie externe de construction**^[p.369] par intersection  et sélectionner le grand cercle du cylindre supérieur :



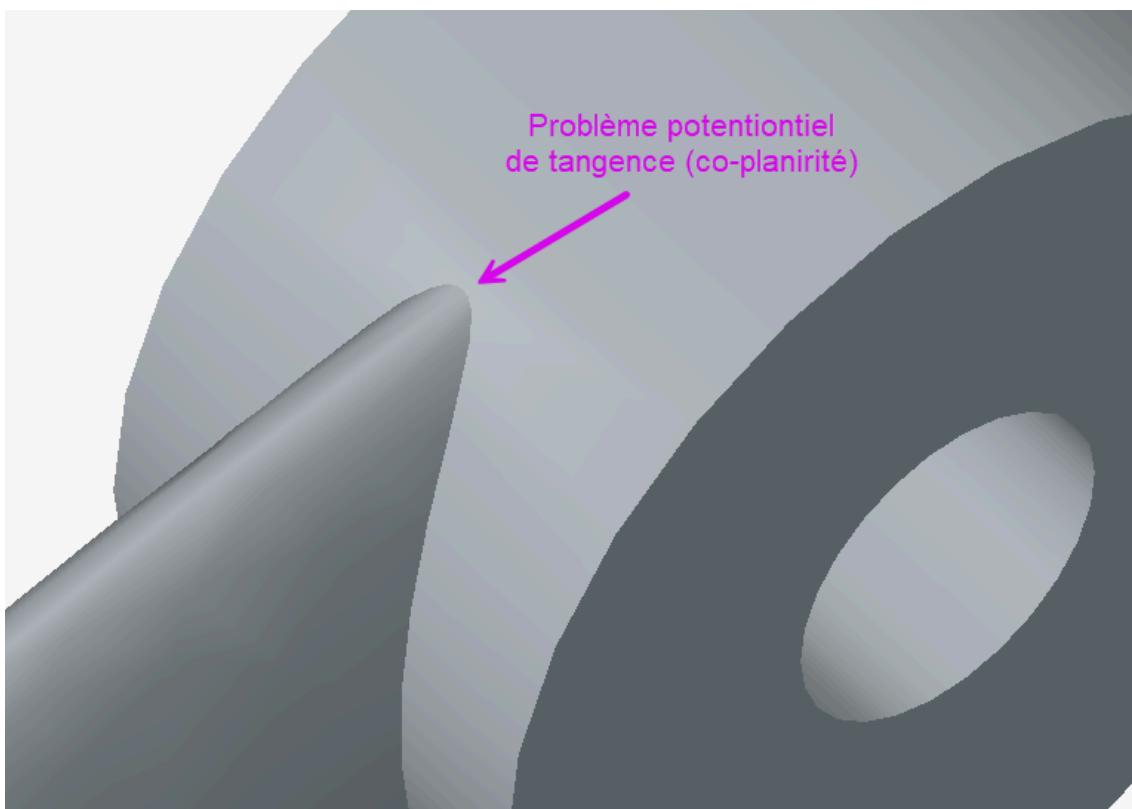
- Construire une extrémité du grand axe sur l'un des deux points ;



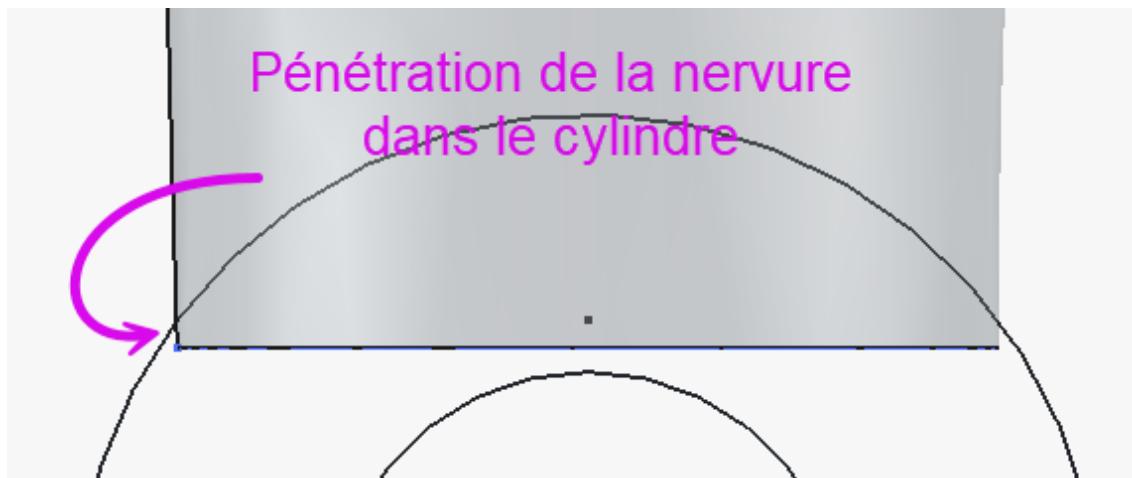
Vue isométrique de l'esquisse de l'ellipse supérieure

⚠ Problème de tangence potentiel

La jonction des cylindres avec la nervure risque de poser des problèmes de tangence :

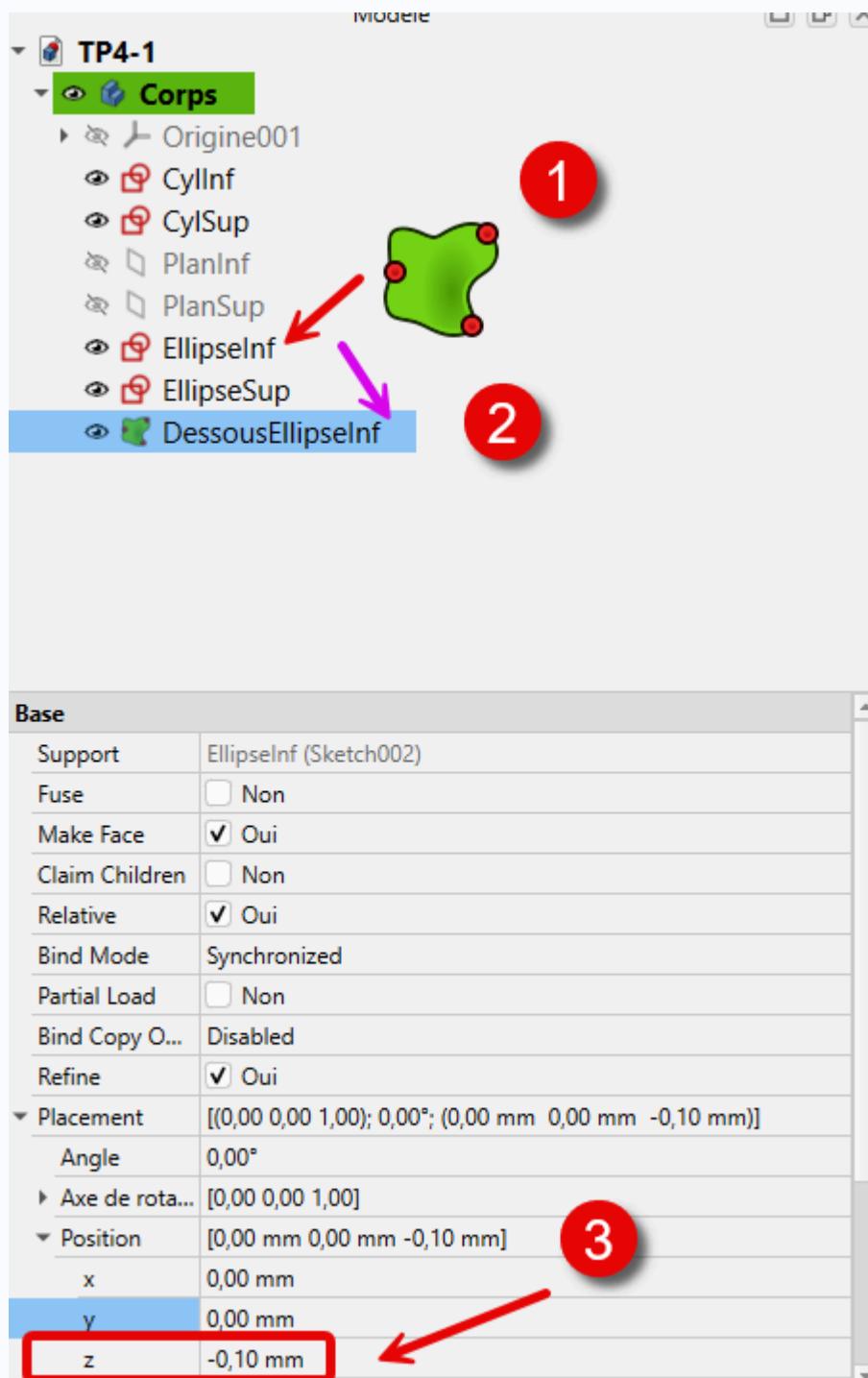


Nous allons faire pénétrer la nervure légèrement dans les cylindres :



Tâches à réaliser

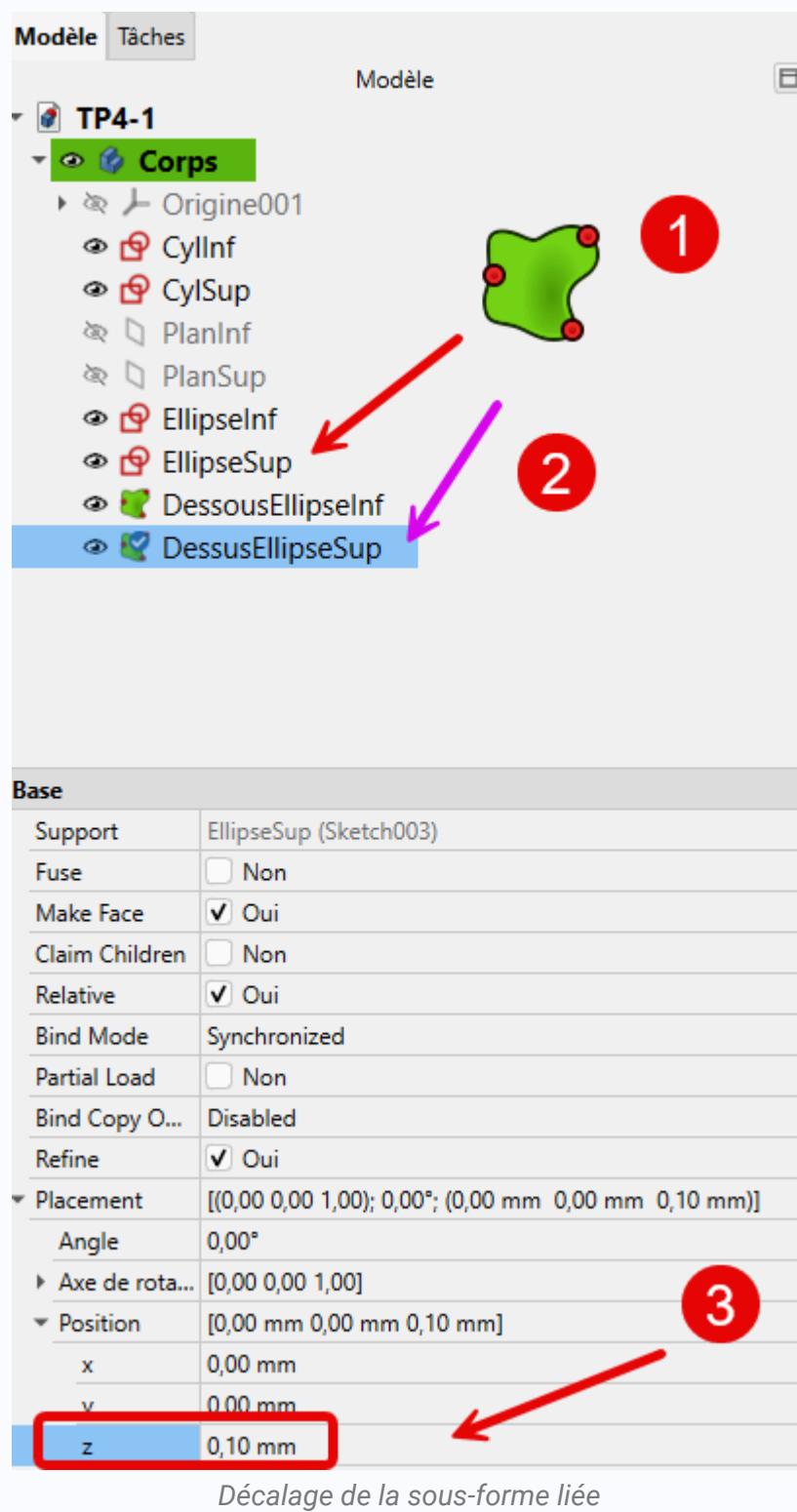
- Dans l'onglet **Modèle**, sélectionner l'ellipse  EllipseInfl et créer une sous-forme liée  de cette esquisse :
- Modifier la position de cette sous-forme liée comme ci-dessous :



Décalage de la sous-forme liée

- Renommer cette sous-forme liée  DessousEllipseInfl ;

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



The screenshot shows the FreeCAD interface with the 'Modèle' tab selected in the top bar. The model tree on the left lists the following components under 'TP4-1 / Corps': Origine001, CylInf, CylSup, PlanInf, PlanSup, EllipseInf, EllipseSup, DessousEllipseInf, and DessusEllipseSup. The 'DessusEllipseSup' item is highlighted with a blue selection bar at the bottom of its row.

On the right, there is a preview of a green 3D model with three red circular features. A red arrow points from the number 1 to the preview. A pink arrow points from the number 2 to the 'DessusEllipseSup' item in the model tree. A red box highlights the 'z' value in the 'Position' section of the properties panel, and a red arrow points from the number 3 to this highlighted field.

Base

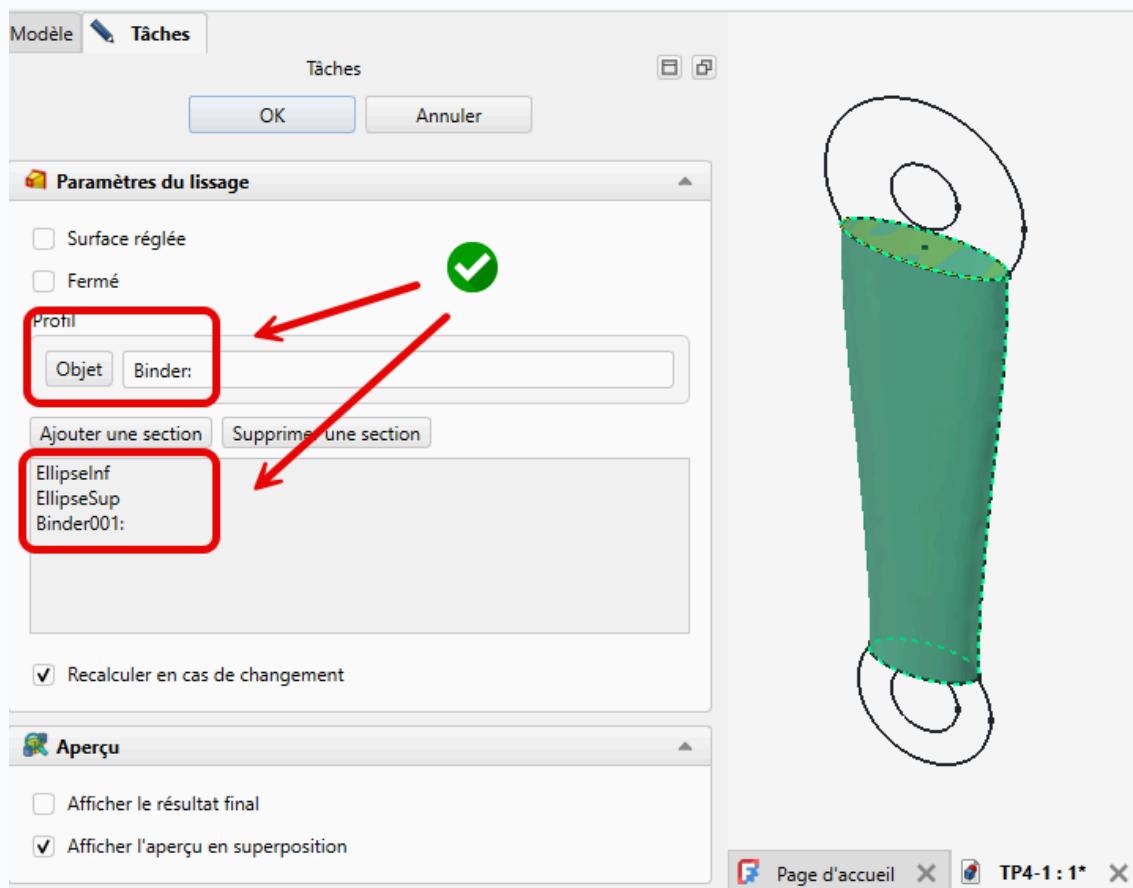
Support	EllipseSup (Sketch003)
Fuse	<input type="checkbox"/> Non
Make Face	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Claim Children	<input type="checkbox"/> Non
Relative	<input checked="" type="checkbox"/> Oui
Bind Mode	Synchronized
Partial Load	<input type="checkbox"/> Non
Bind Copy O...	Disabled
Refine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

Décalage de la sous-forme liée

- Renommer cette sous-forme liée  DessusEllipseSup ;

- Sélectionner dans l'ordre suivant :  DessousEllipselInf,  EllipselInf,  EllipseSup

 DessusEllipseSup et cliquer sur la commande Lissage additif : 

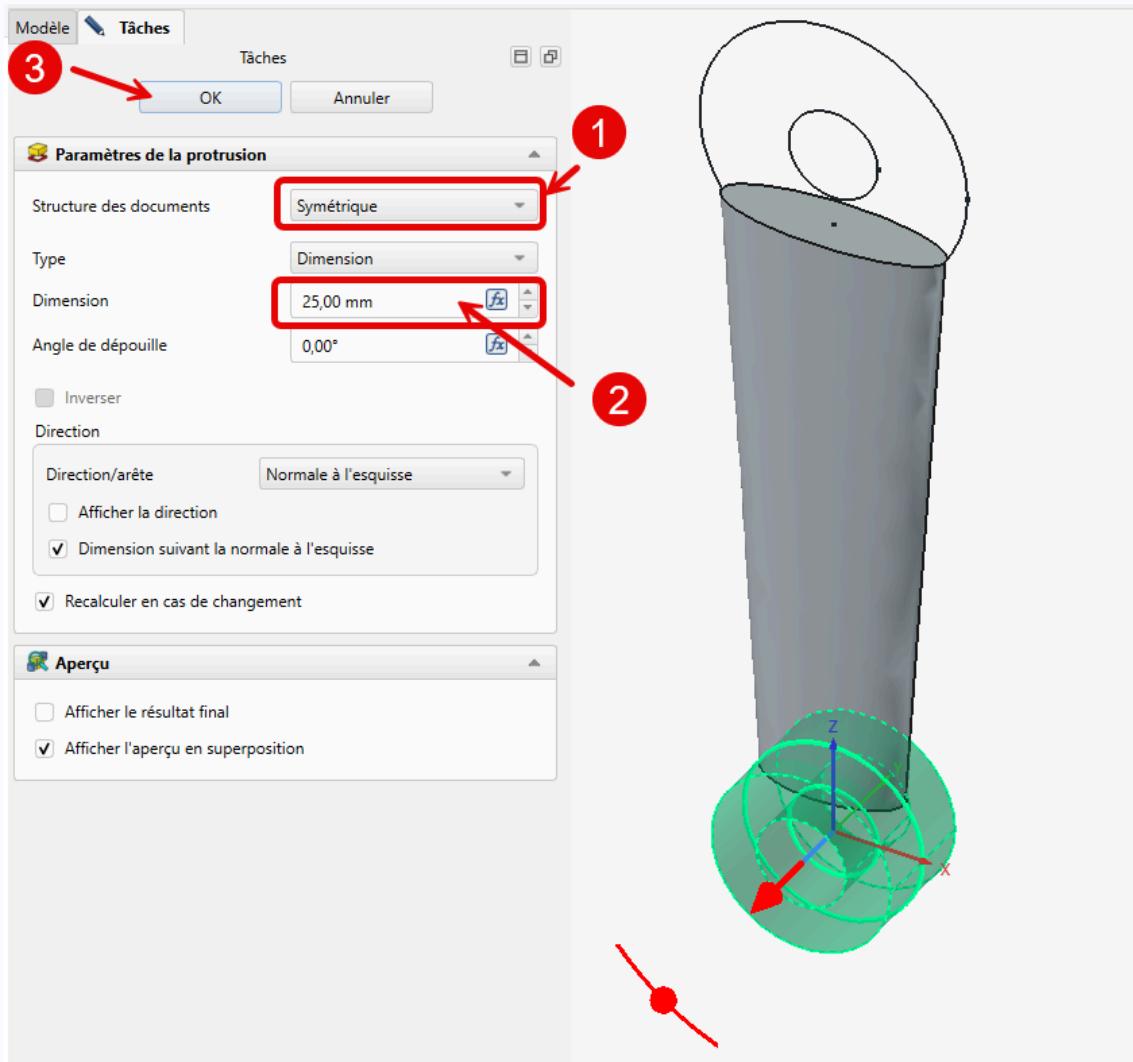


Lissage de la nervure

4.1.4. Création des cylindres

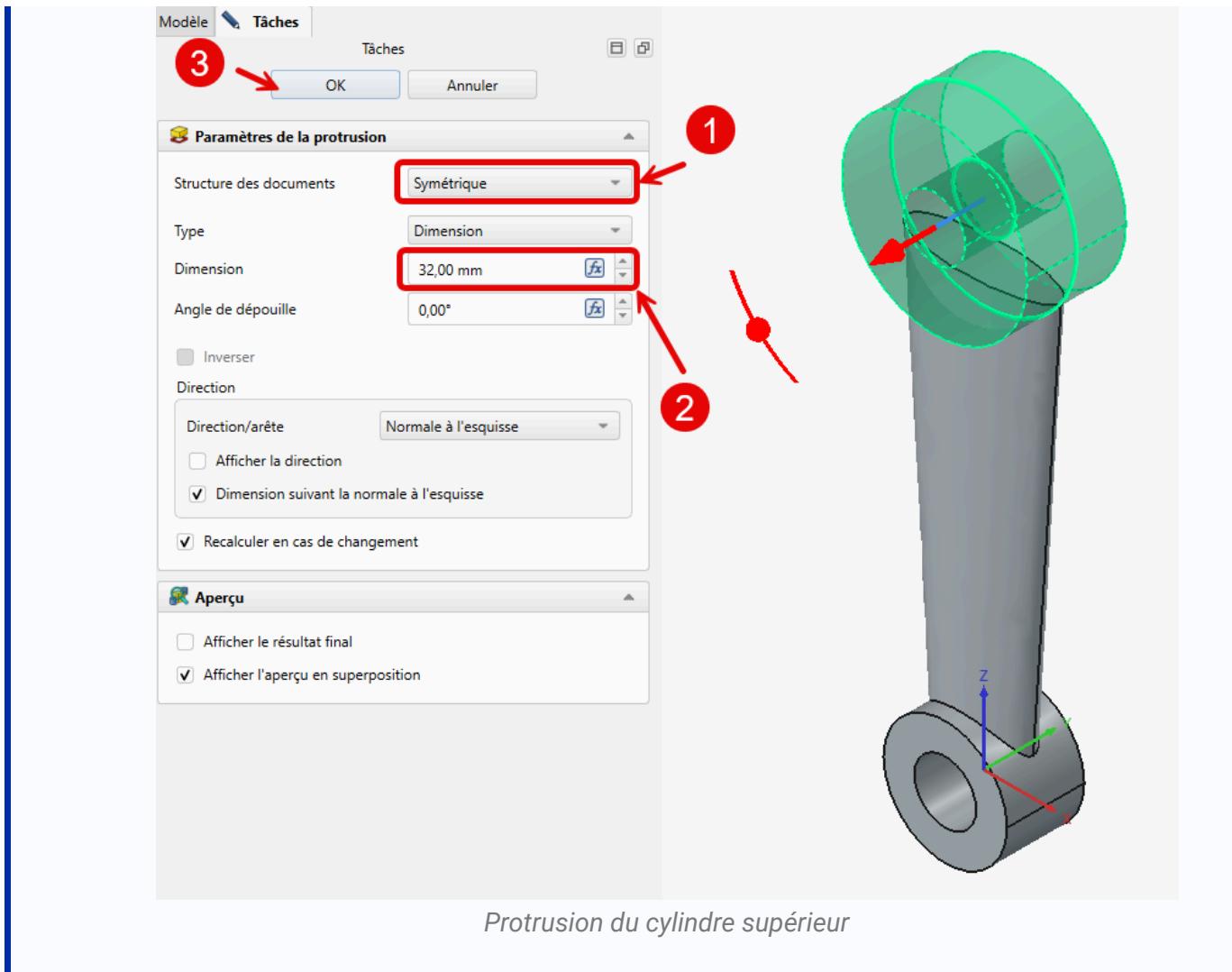
Tâches à réaliser

- 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 ;

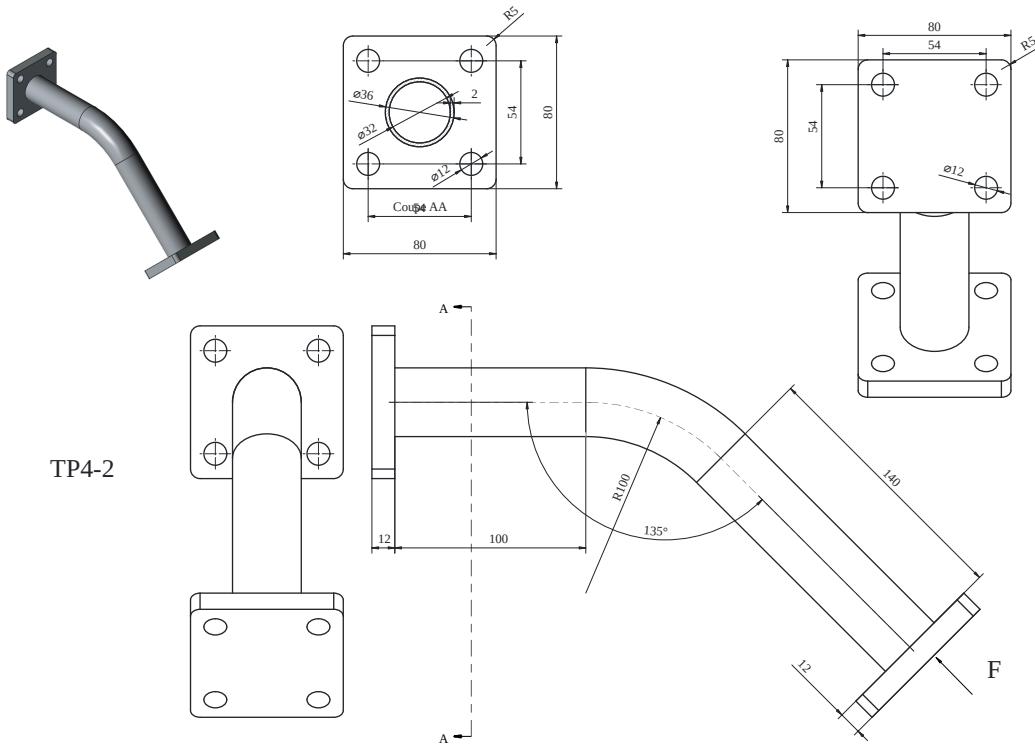


4.2. Balayage additif

Objectifs

- Utiliser la commande **Balayage Additif**  dans l'atelier  ;
- Utiliser la commande **Rectangle arrondi**  et **Copie Carbone**  de l'atelier  ;

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



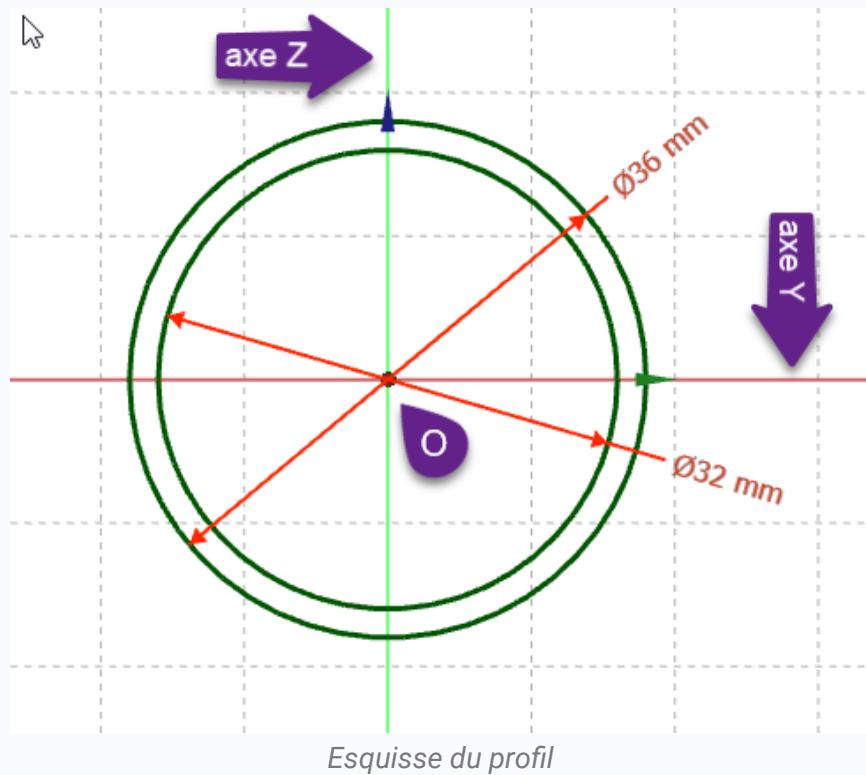
☰ Tâches préliminaires

- 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 renomerez  Profil ;

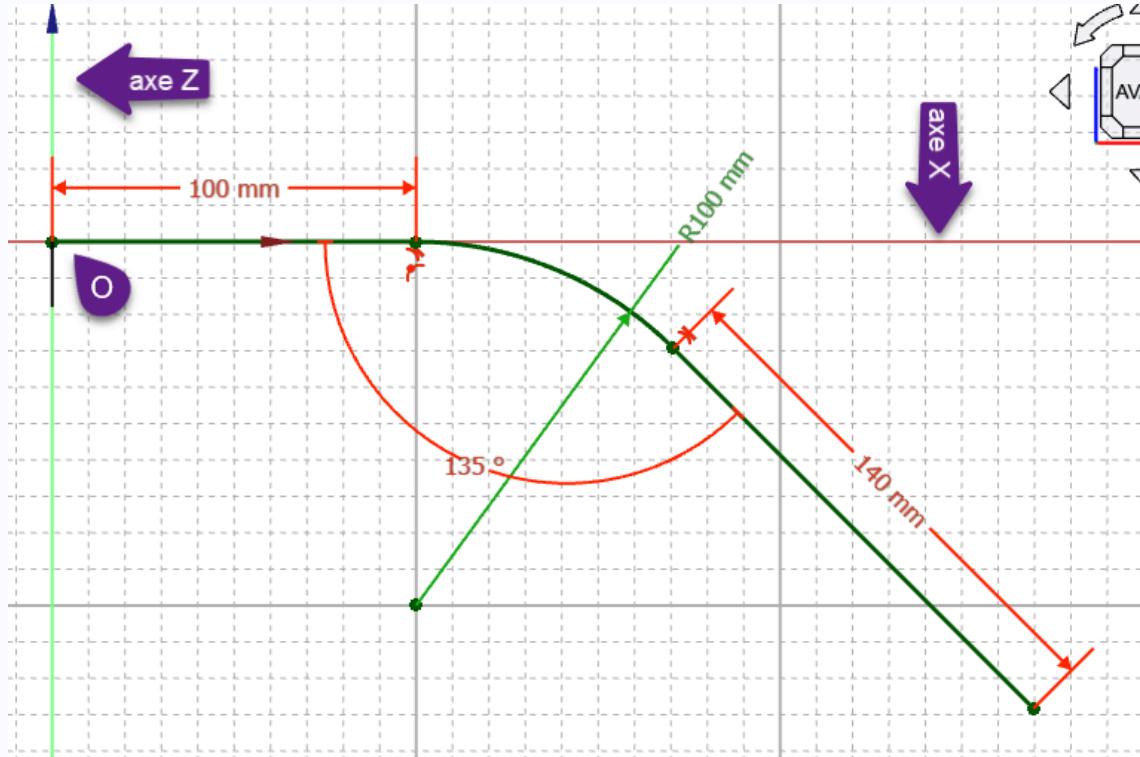


💡 Aide :

- Utiliser la contrainte automatique de coïncidence  pour positionner le centre des cercles ;
- Pour renommer l'esquisse, cliquer droit sur l'esquisse dans la vue **Modèle** et sélectionner la commande  Renommer (ou bien appuyer sur la touche **F2** sous  ou );

▼ Tâches à réaliser (suite)

- Créer une 2^{nde} esquisse  ci-dessous dans le plan XZ que vous renomerez  Chemin

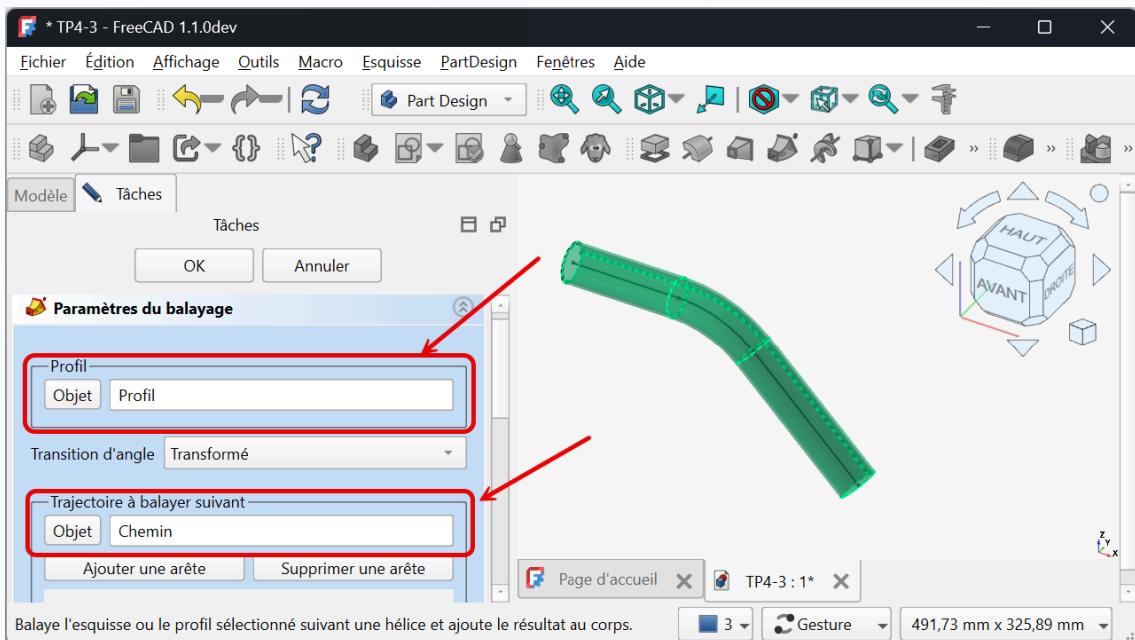


Aide :

- 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 ;



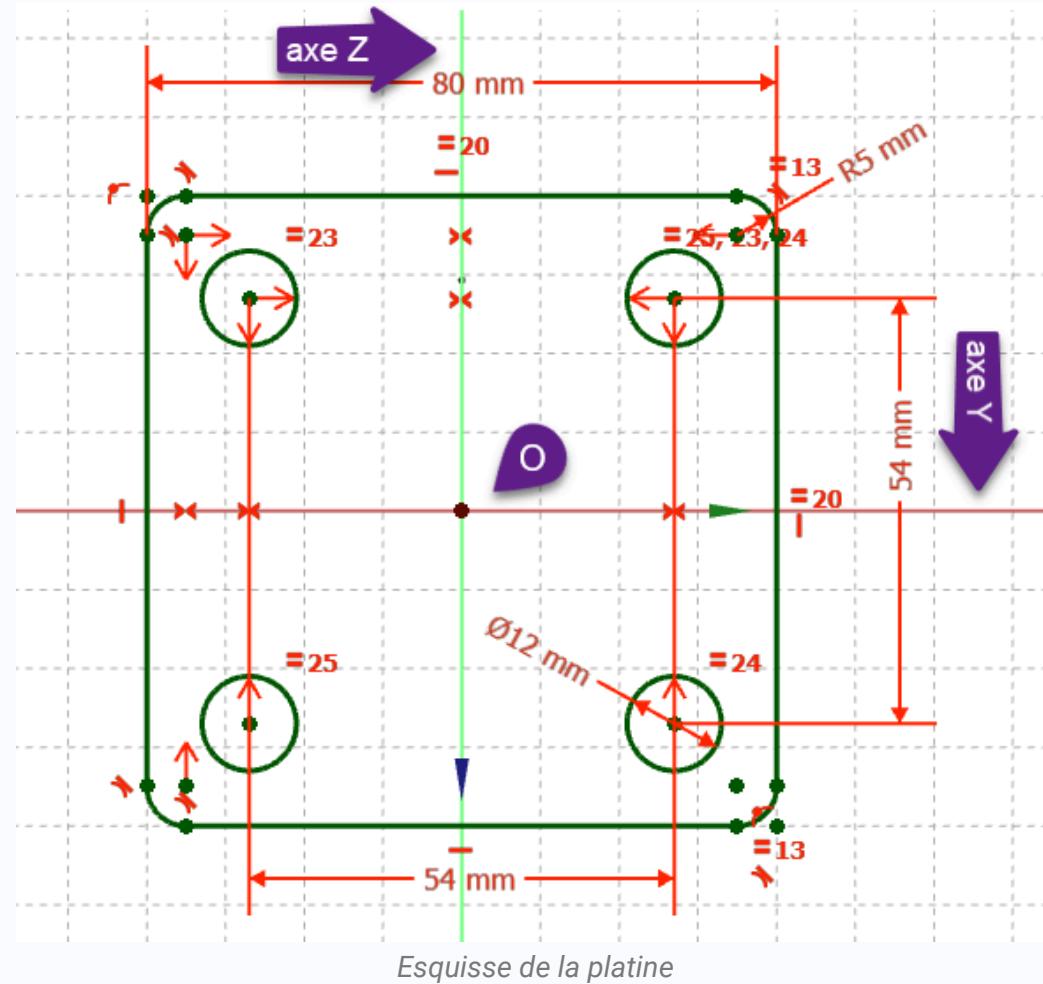
💡 Aide :

- Appuyer sur la touche **Ctrl** (**⌘** sous ) sous , sélectionner le  profil et le  chemin puis cliquer sur la commande  ;

4.2.2. Création de la 1^{ère} platine

✓ Tâches à réaliser

- Sélectionner la face extrême située à l'origine et créer l'esquisse  ci-dessous ;

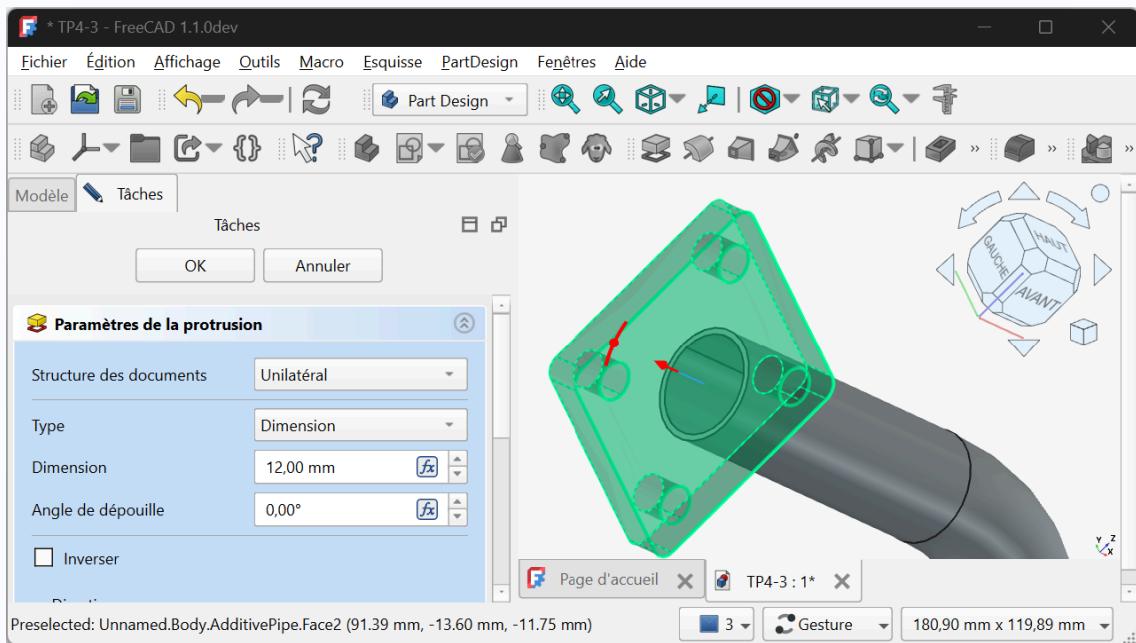


💡 Aide :

- Sélectionner la face située à l'origine pour créer l'esquisse ;
- Masquer provisoirement  AdditivePipe pour construire l'esquisse ;
- Utiliser la géométrie Rectangle arrondi  pour créer le contour extérieur de l'esquisse ;

▼ Tâches à réaliser (suite)

- Créer une protrusion  de 12 mm ;



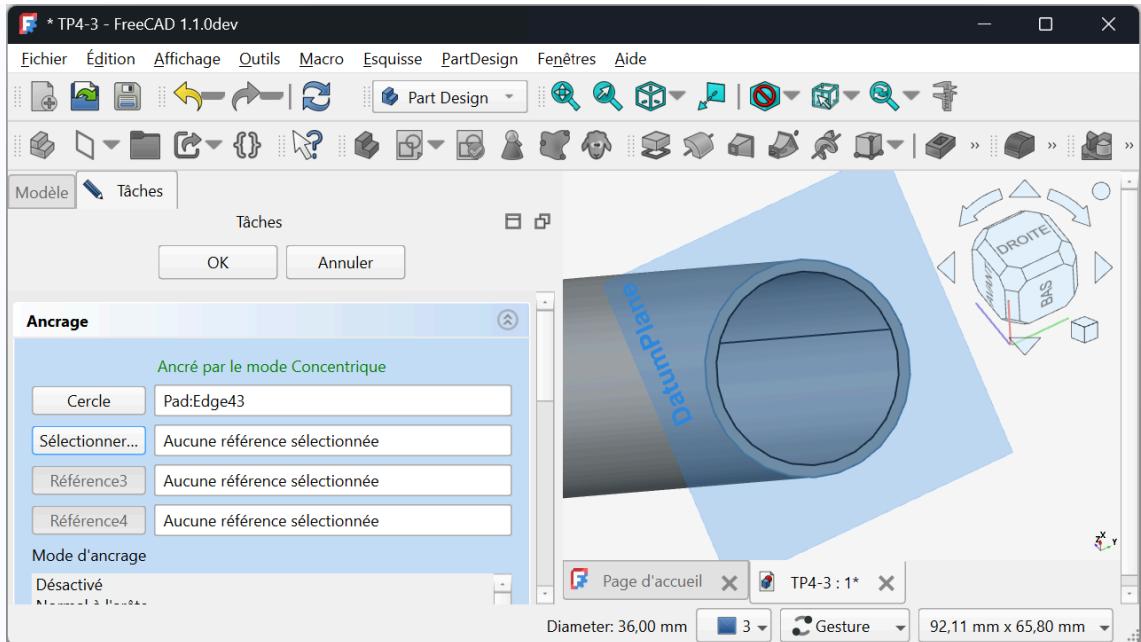
4.2.3. Crédation de la 2^{nde} platine

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 circonference 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 ;

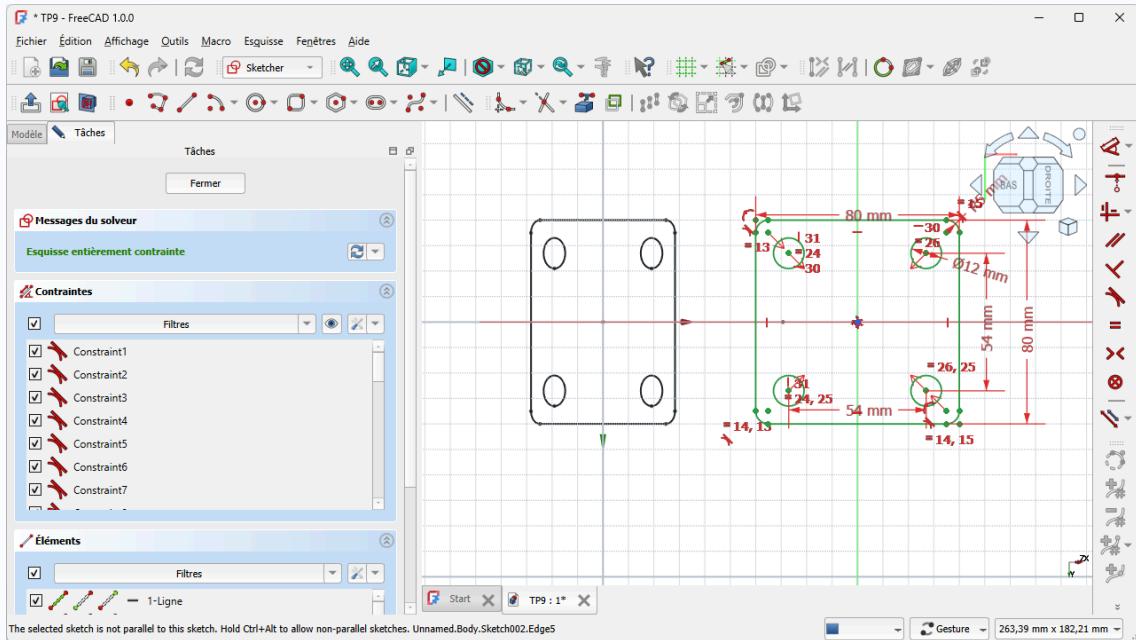
Pourquoi sélectionner la circonference extérieure pour créer le plan de référence ?

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

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

✓ Tâches à réaliser

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



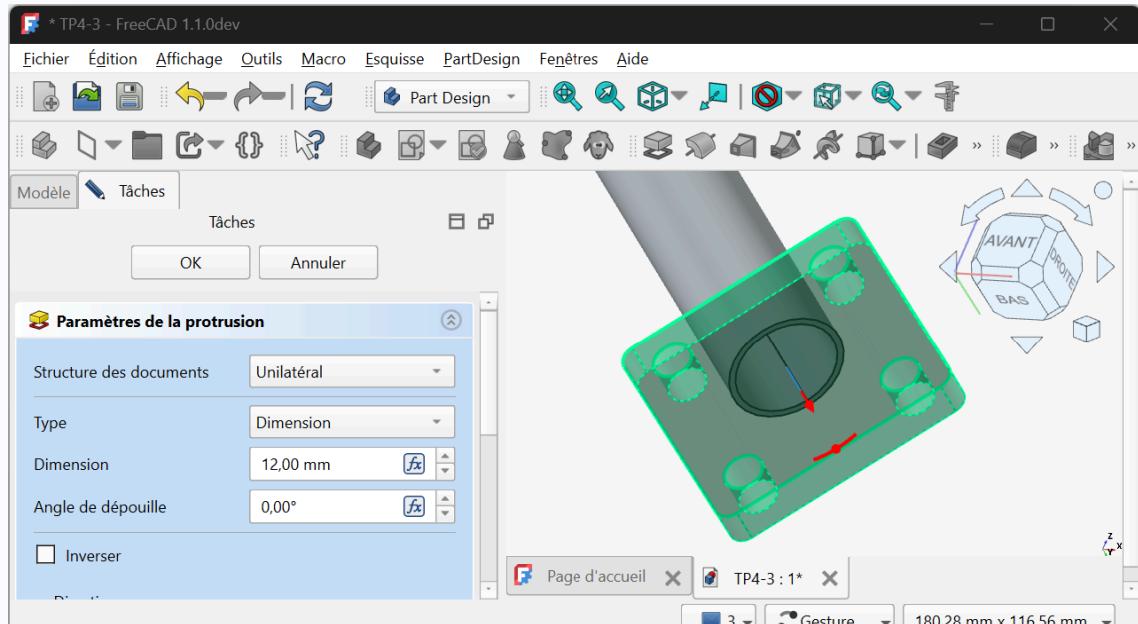
💡 Aide :

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



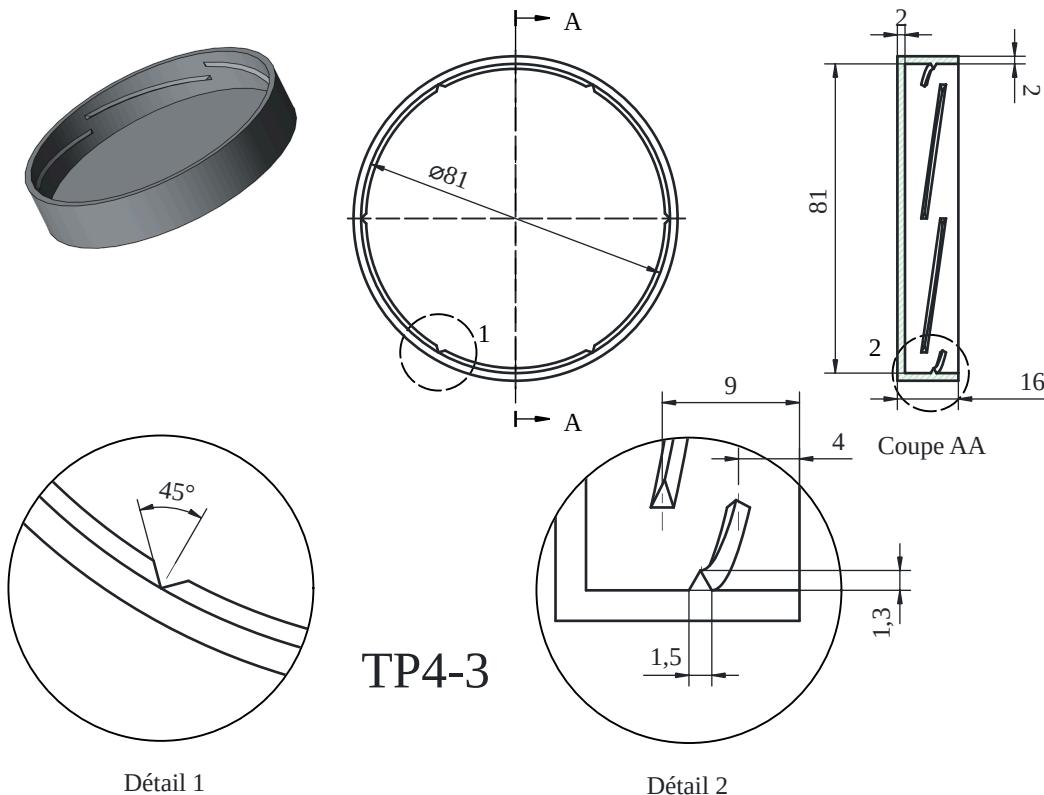
4.2.4. ⏯ Capture vidéo

4.3. Hélice additive 🎈

🎯 Objectifs

- Utiliser la fonction paramétrique  Hélice additive ^W ;
- 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.224] ;

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 :

Modèle Tâches

Modèle

TP4-3

Corps

Origine001

Dim

Base

Label	Dim
Couv DInt	81,00 mm
Couv Ep Cote	2,00 mm
Couv Ep Sup	2,00 mm
Couv Ht	16,00 mm
Filet Ht	1,30 mm
Filet Larg	1,50 mm
Filet Nb	6
Filet Zinf	4,00 mm
Filet Zsup	9,00 mm

Jeu de variables à saisir

- Renommer ce jeu de variables **Dim** ;

💡 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 ;

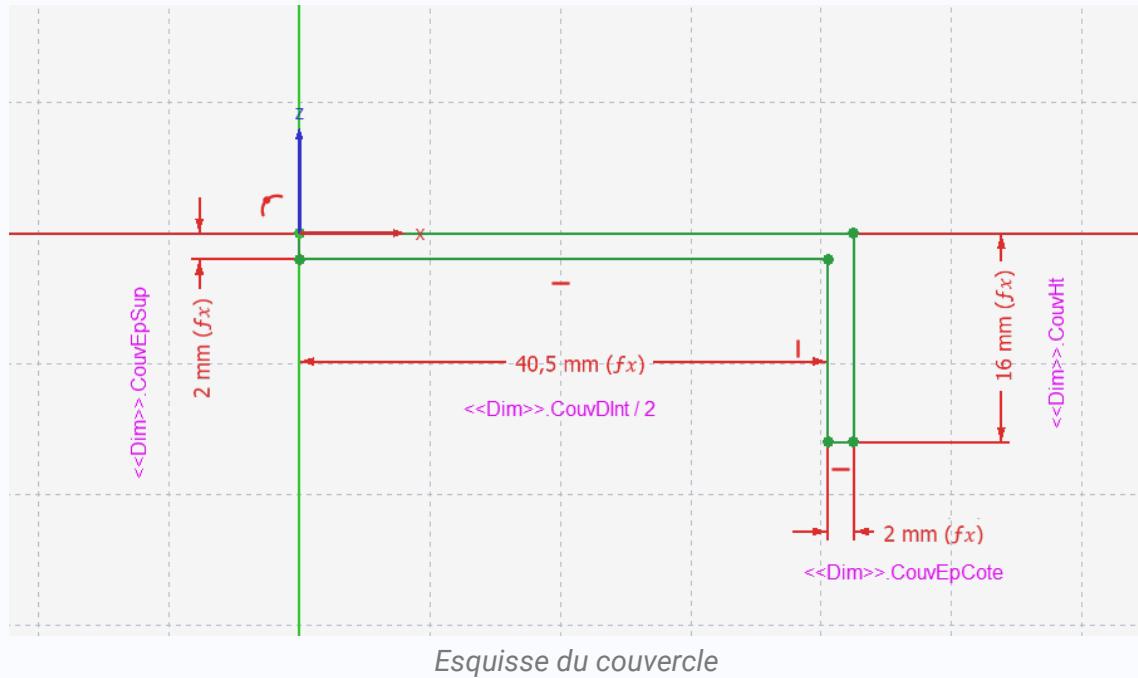
⚠ Type de variable

- 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 pour saisir les contraintes dimensionnelles ;



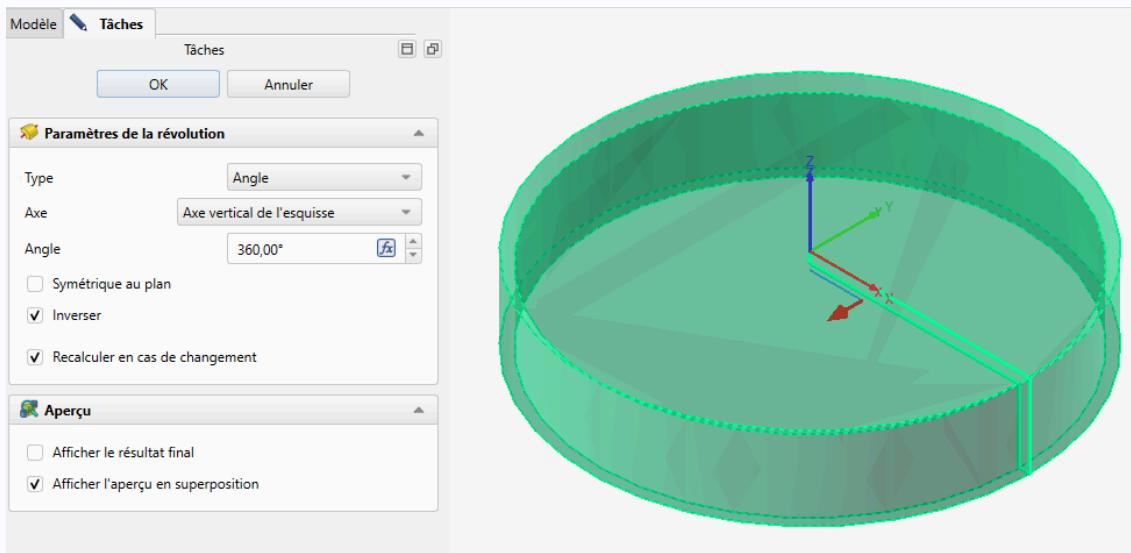
💡 Utiliser la complétion automatique

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 ;

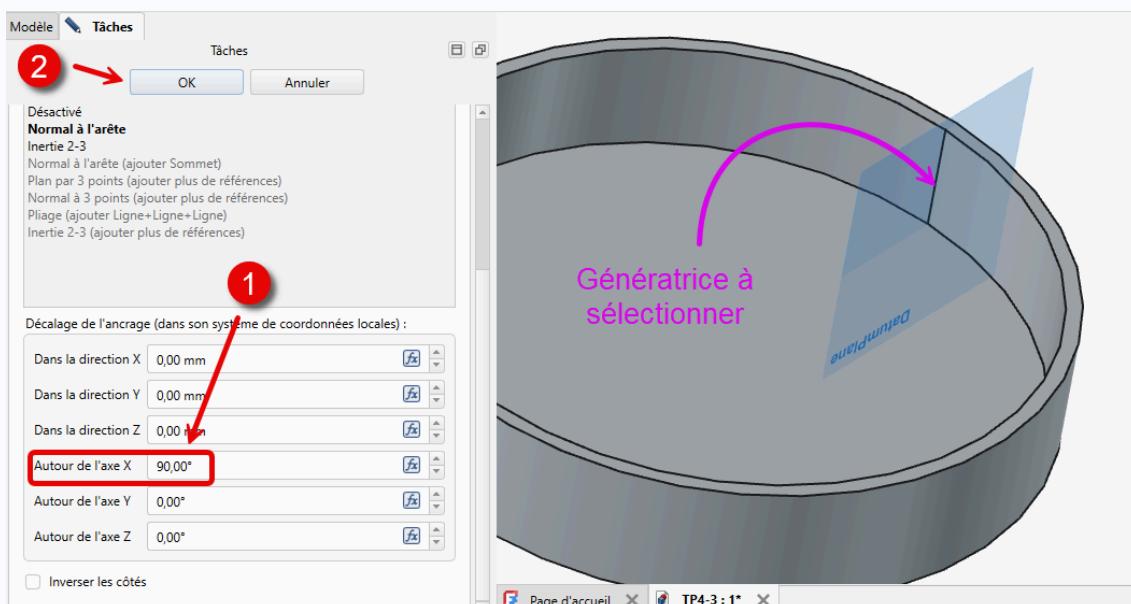


Création de la révolution

4.3.3. Crédit de l'hélice

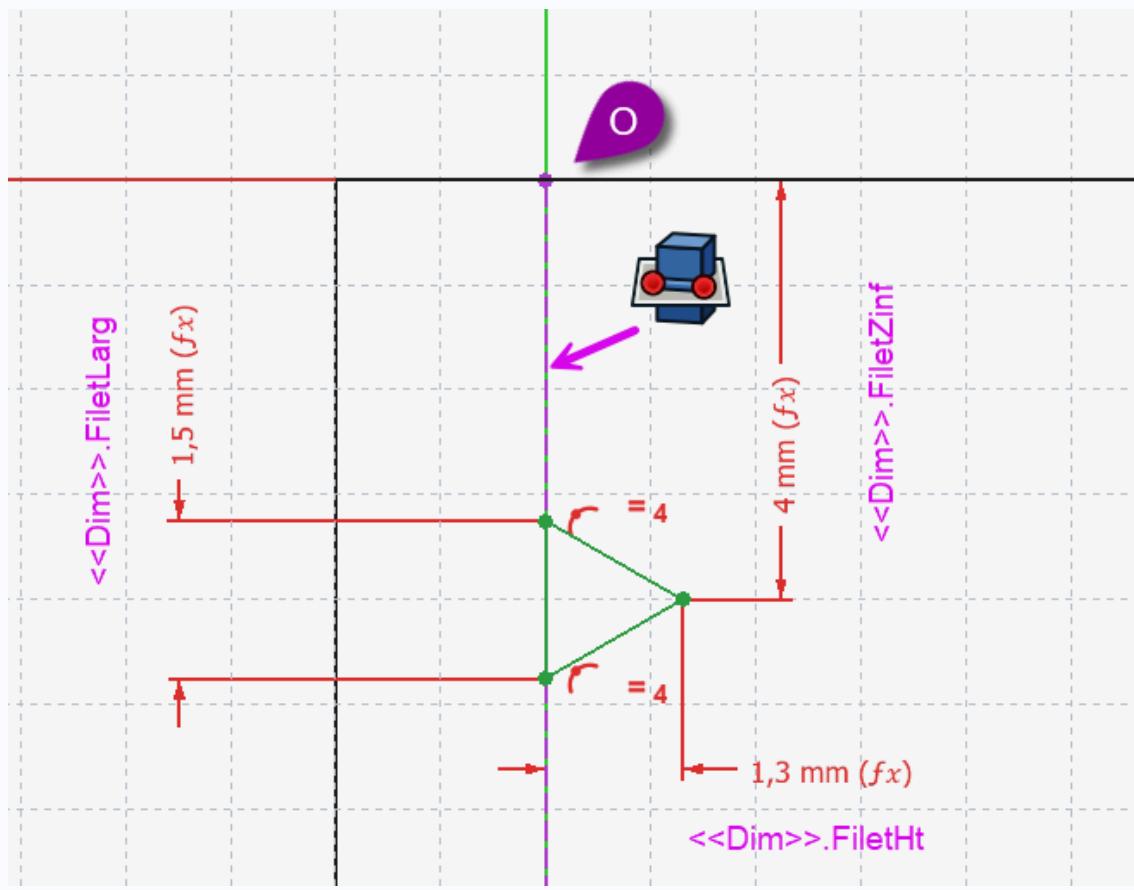
✓ Tâches à réaliser

- 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 polygone à 3 cotés :

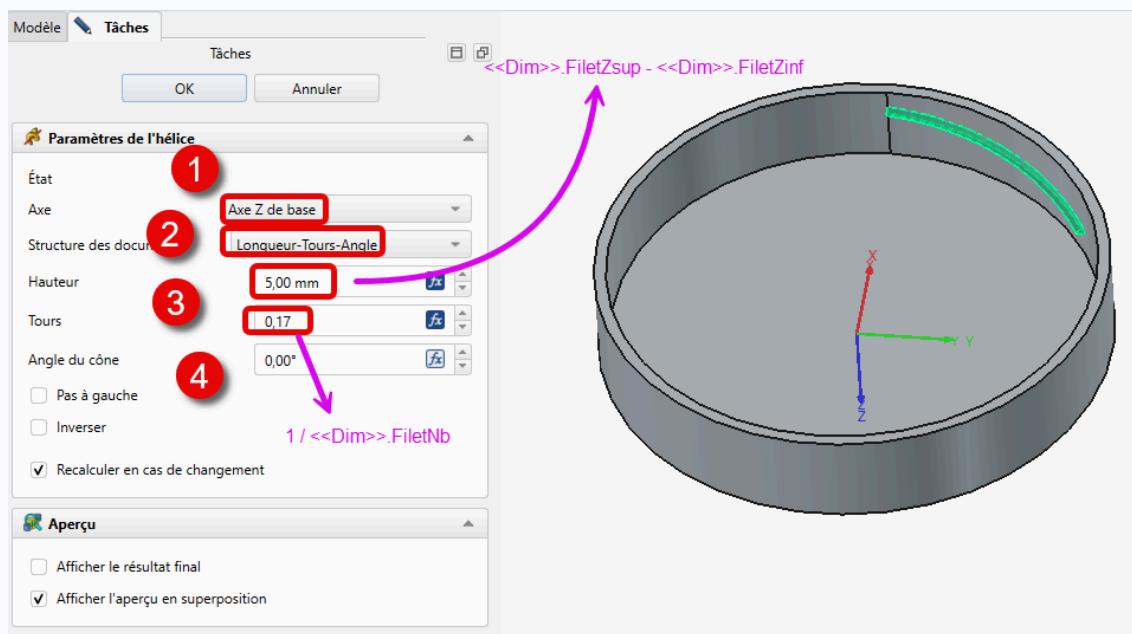


Aide

- 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^[p.369] d'intersection  ;

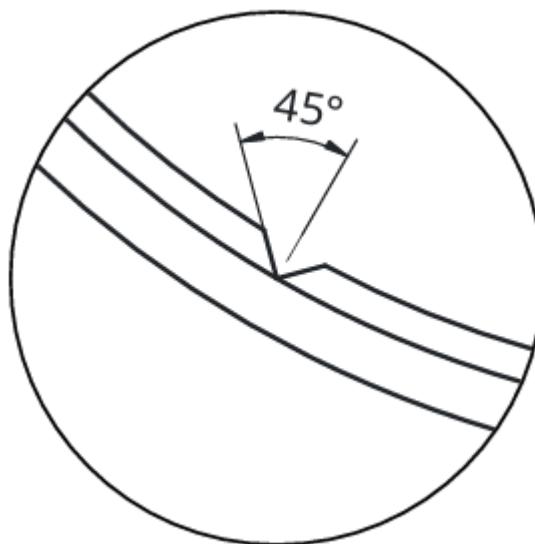
☰ Tâches à réaliser

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



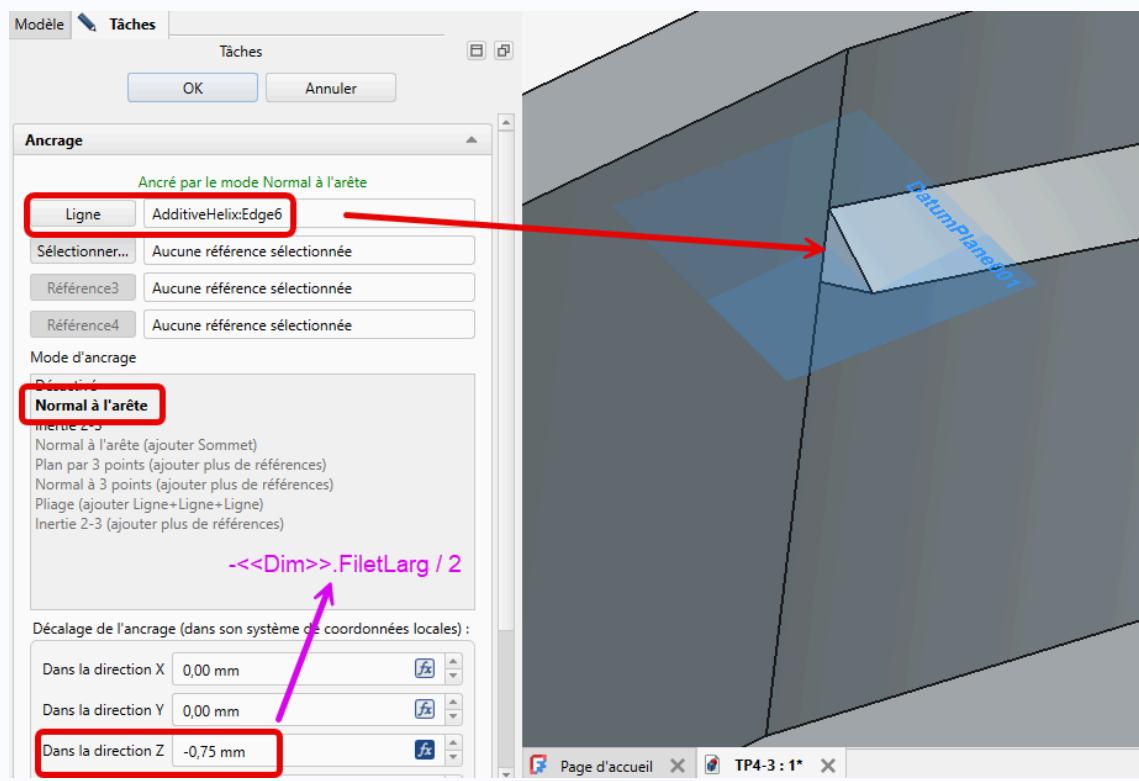
4.3.4. Biseautage de l'hélice

Nous allons biseauter les 2 extrémités de l'hélice :



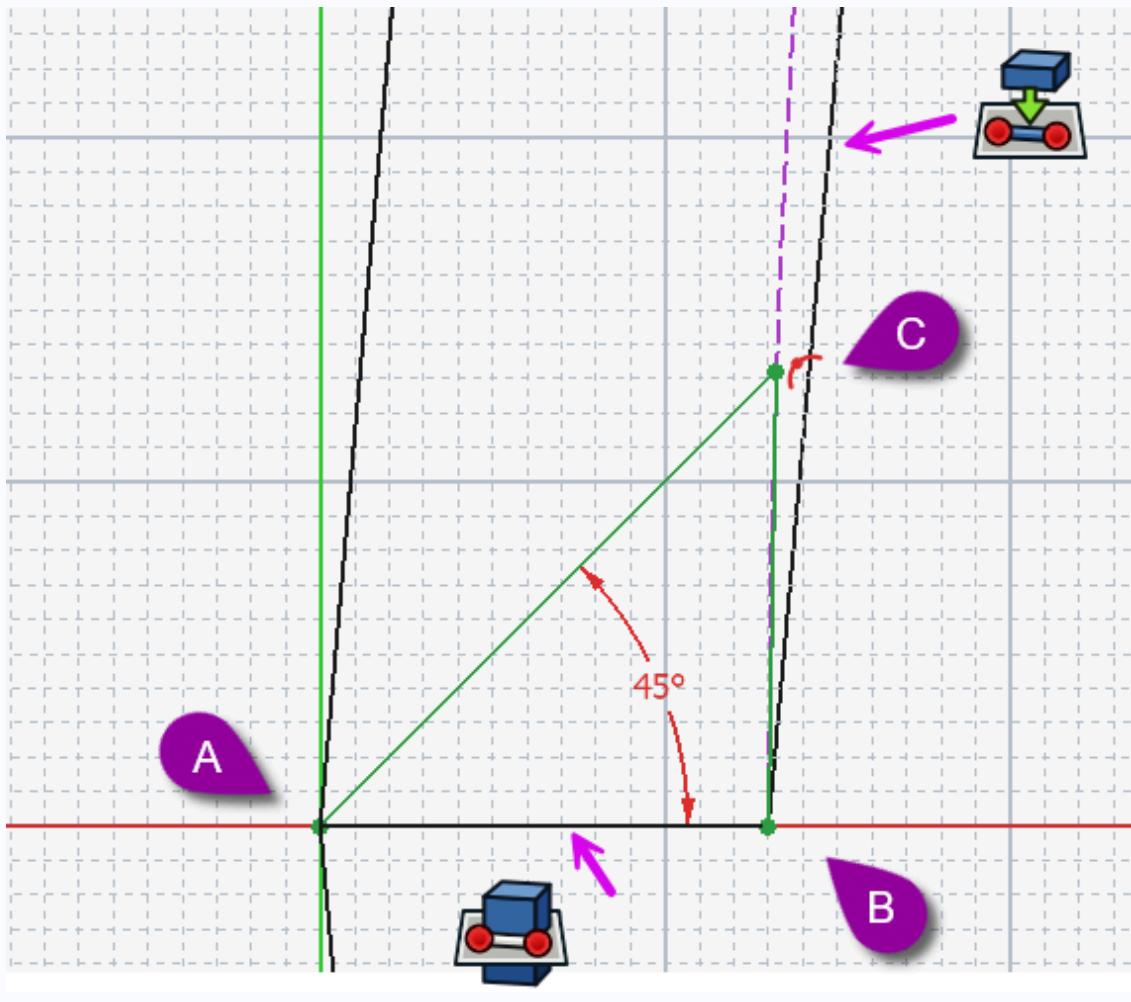
▼ Tâches à réaliser

- Sélectionner la base de l'hélice et créer un plan de référence ;



Plan de référence pour la création du biseau

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

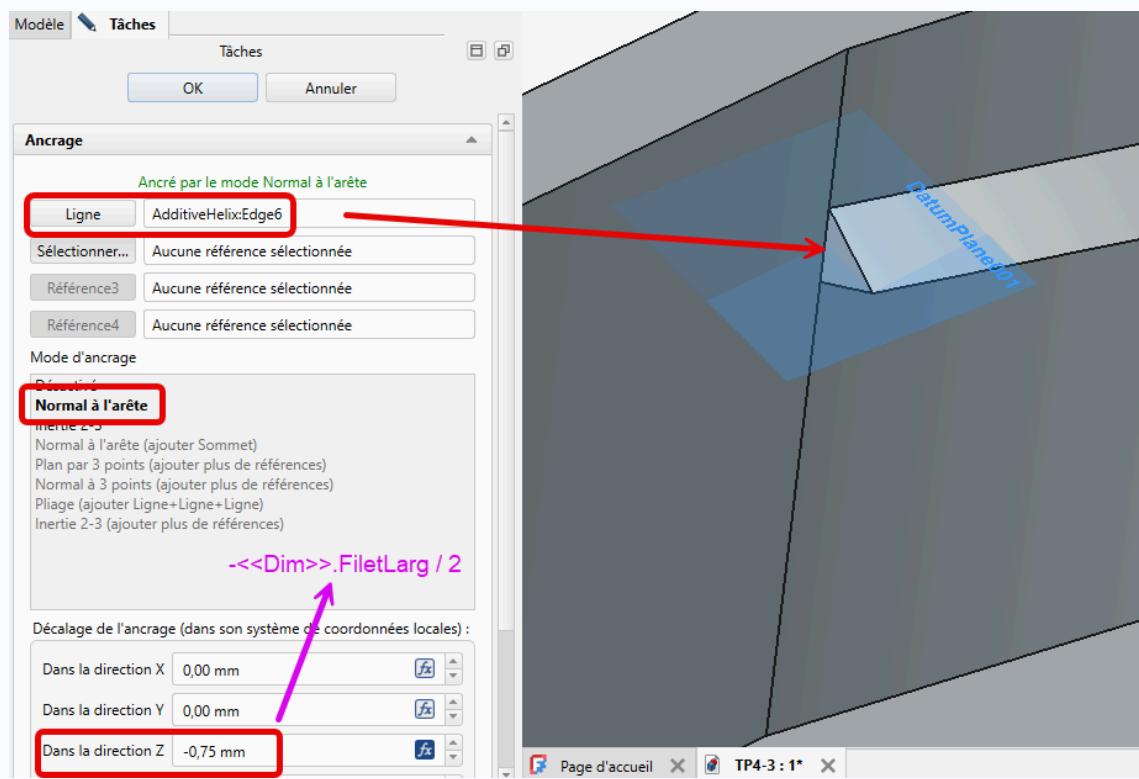


Aide

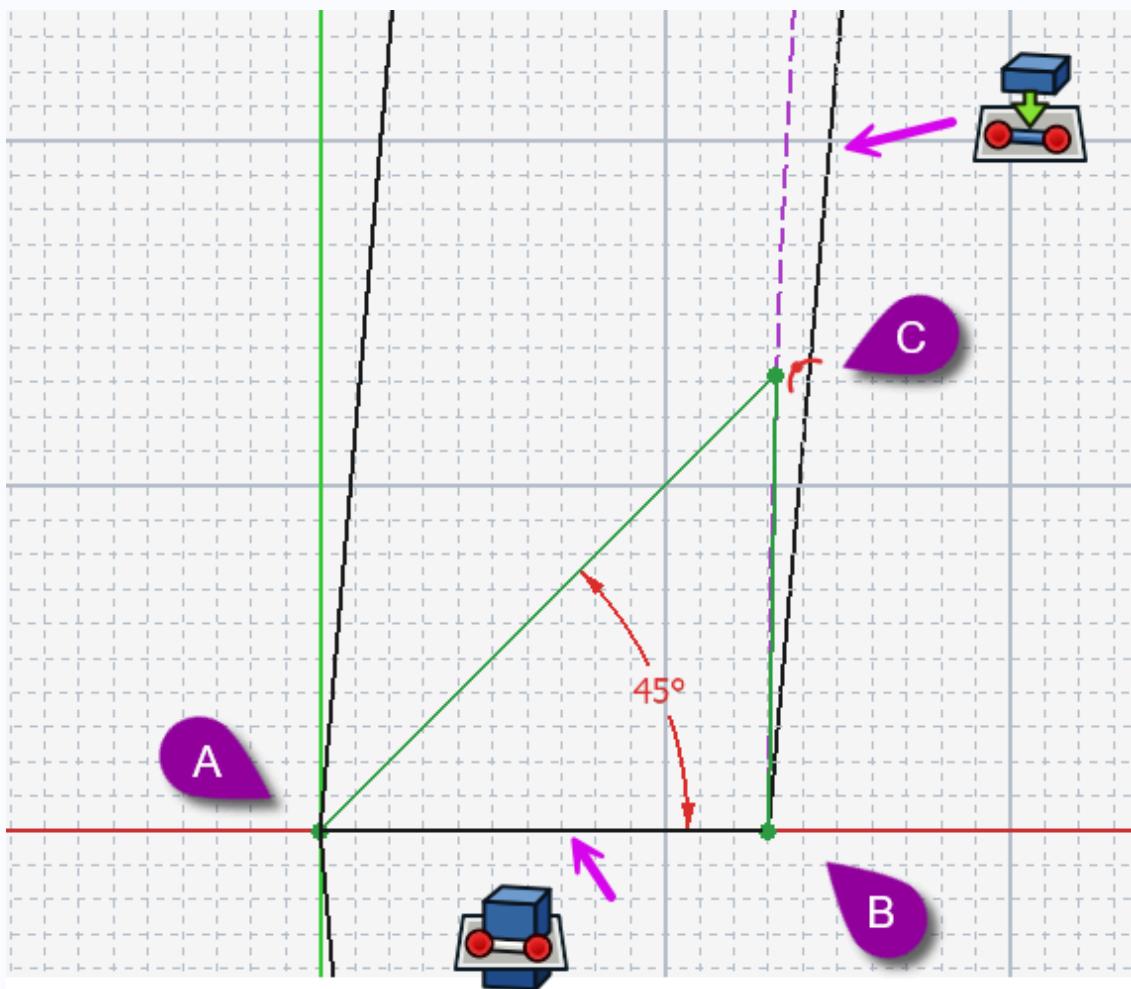
- Construire un triangle quelconque puis créer deux géométries externes pour positionner les points ABC à l'aide de contraintes de coïncidences ;

▼ Tâches à réaliser

- Sélectionner la base de l'hélice et créer un plan de référence ;

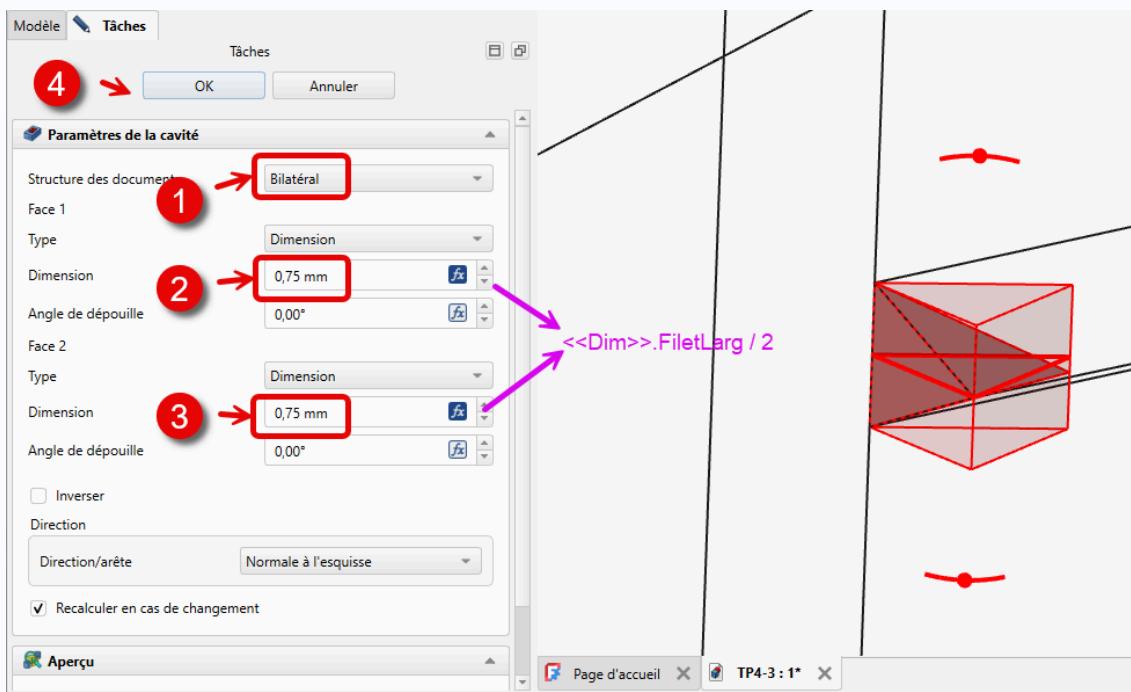


- Sélectionner ce plan de référence et créer l'esquisse ci-dessous constituée d'une polyligne ABC :



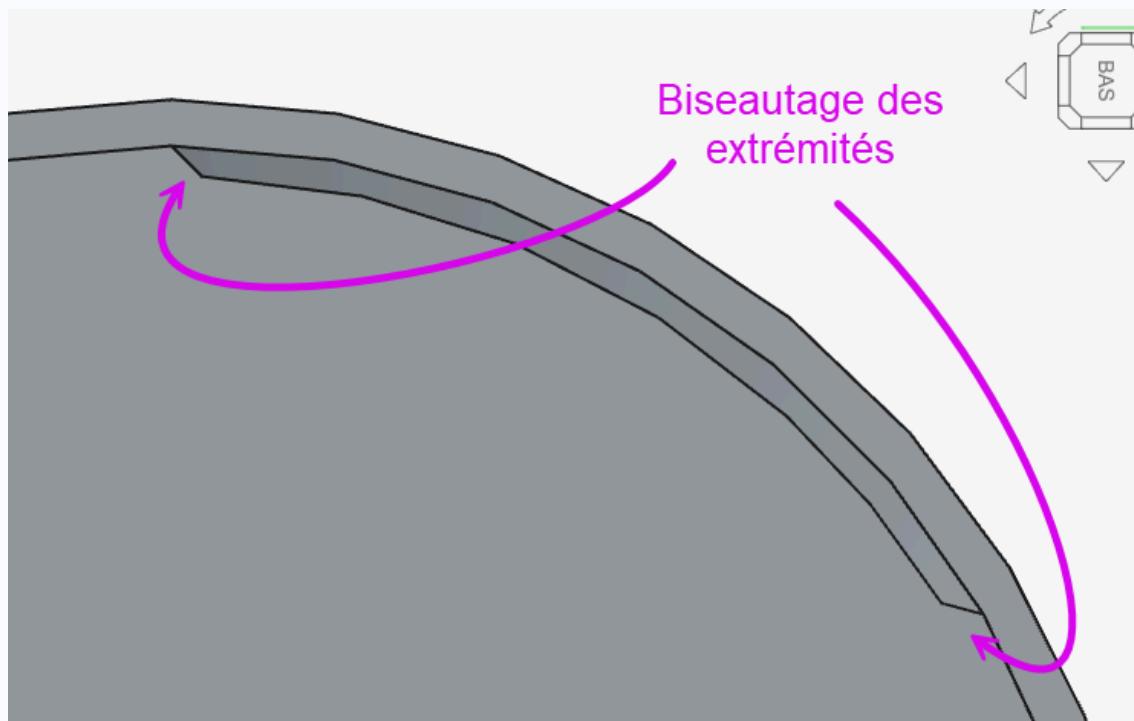
Esquisse pour le biseautage

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



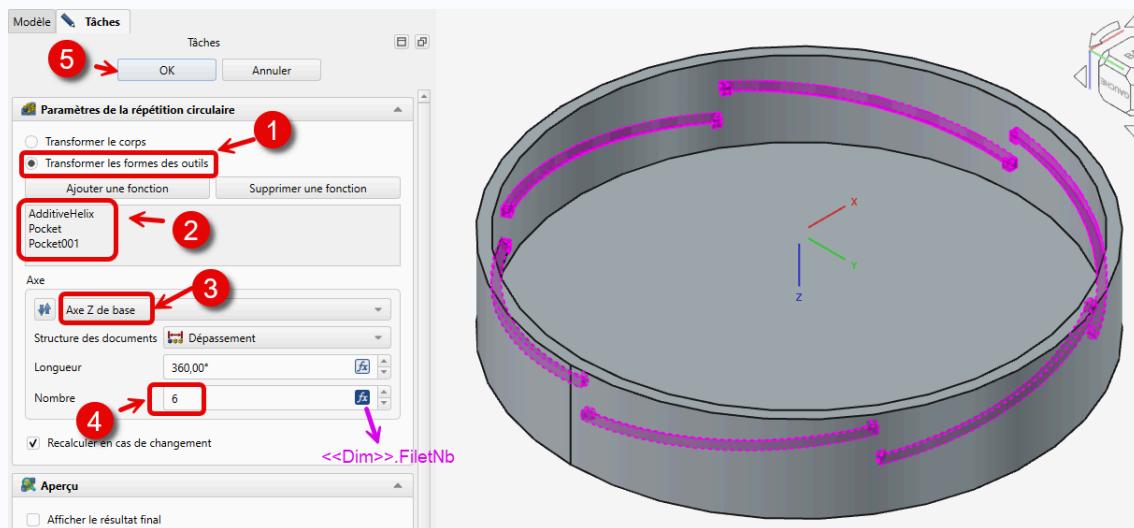
Création du biseau à l'aide d'une cavité

- 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 :



♀ Aide

- Sélectionner la commande répétition circulaire puis ajouter successivement les 3 fonctions , , et :

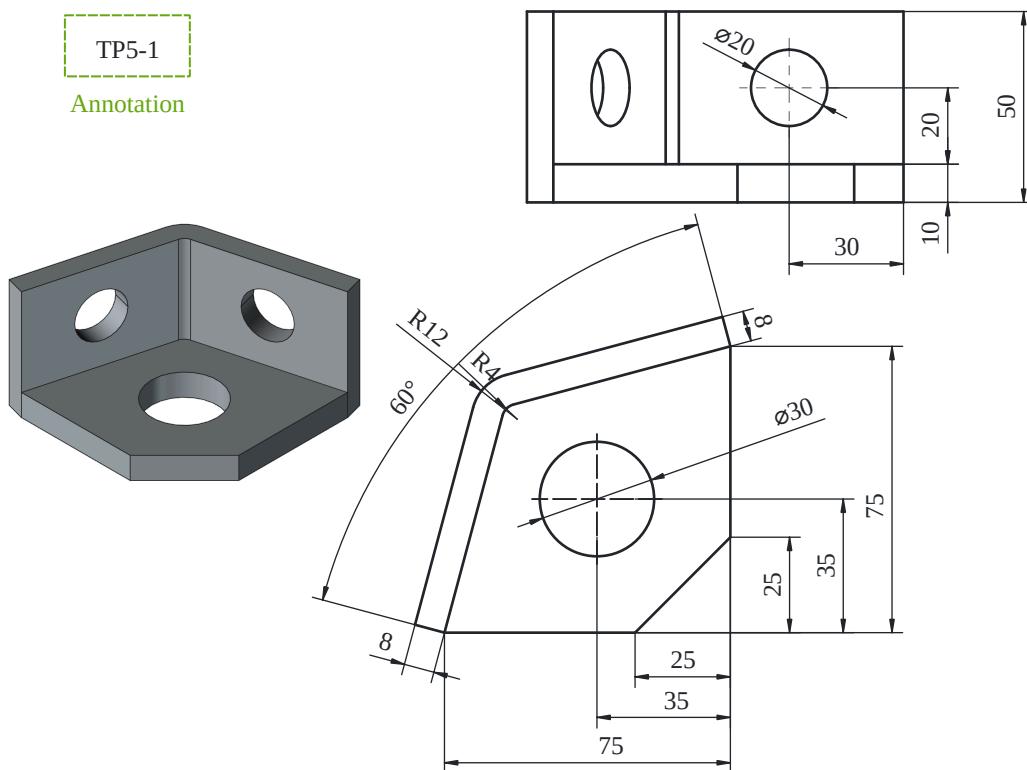
5. Transformations

5.1. Symétrie

Objectifs

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

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



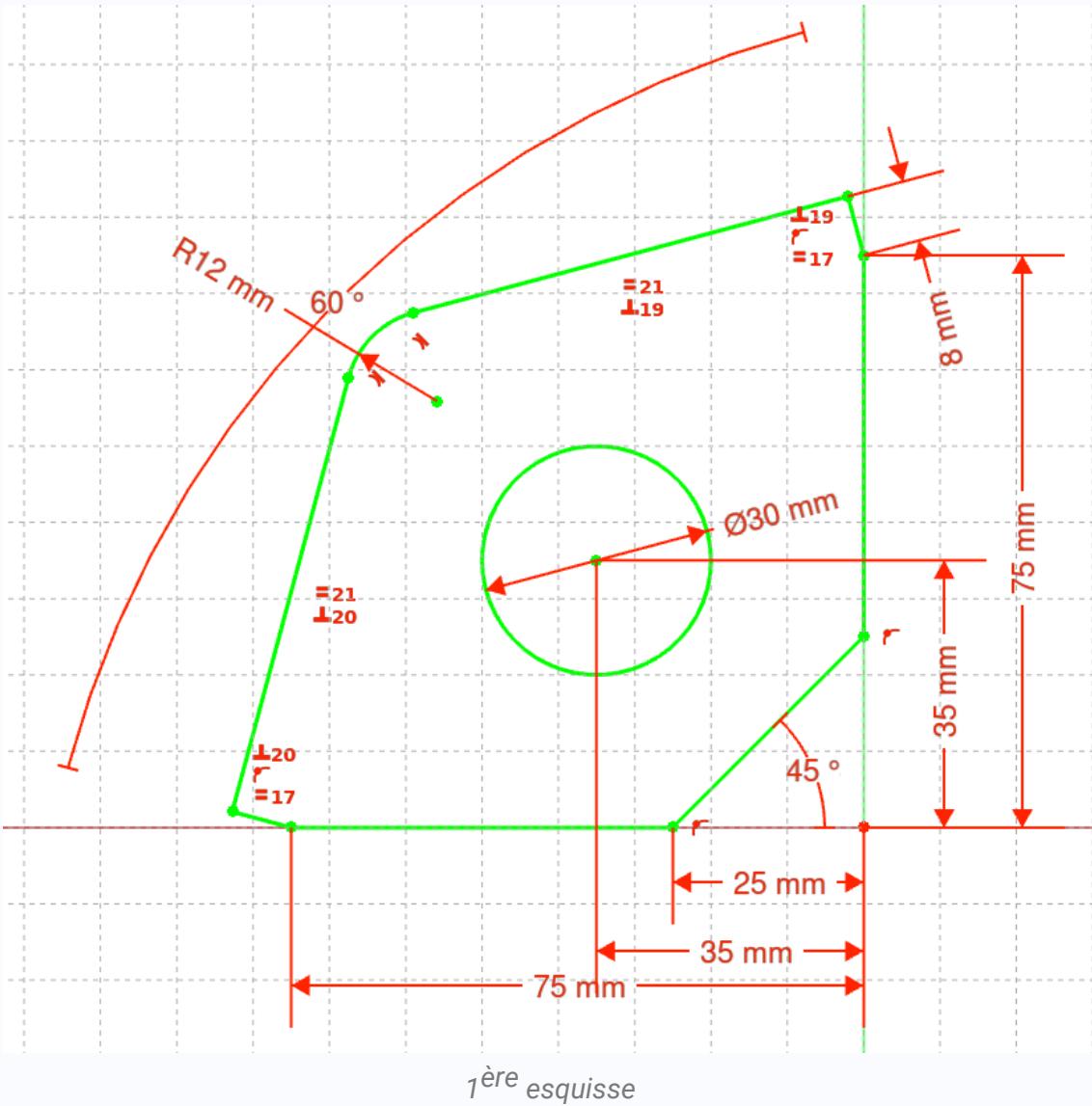
Tâches préliminaires

- Créer un nouveau document  TP5-1 dans FreeCAD ;
- Sélectionner l'atelier  **PartDesign** et 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 ;

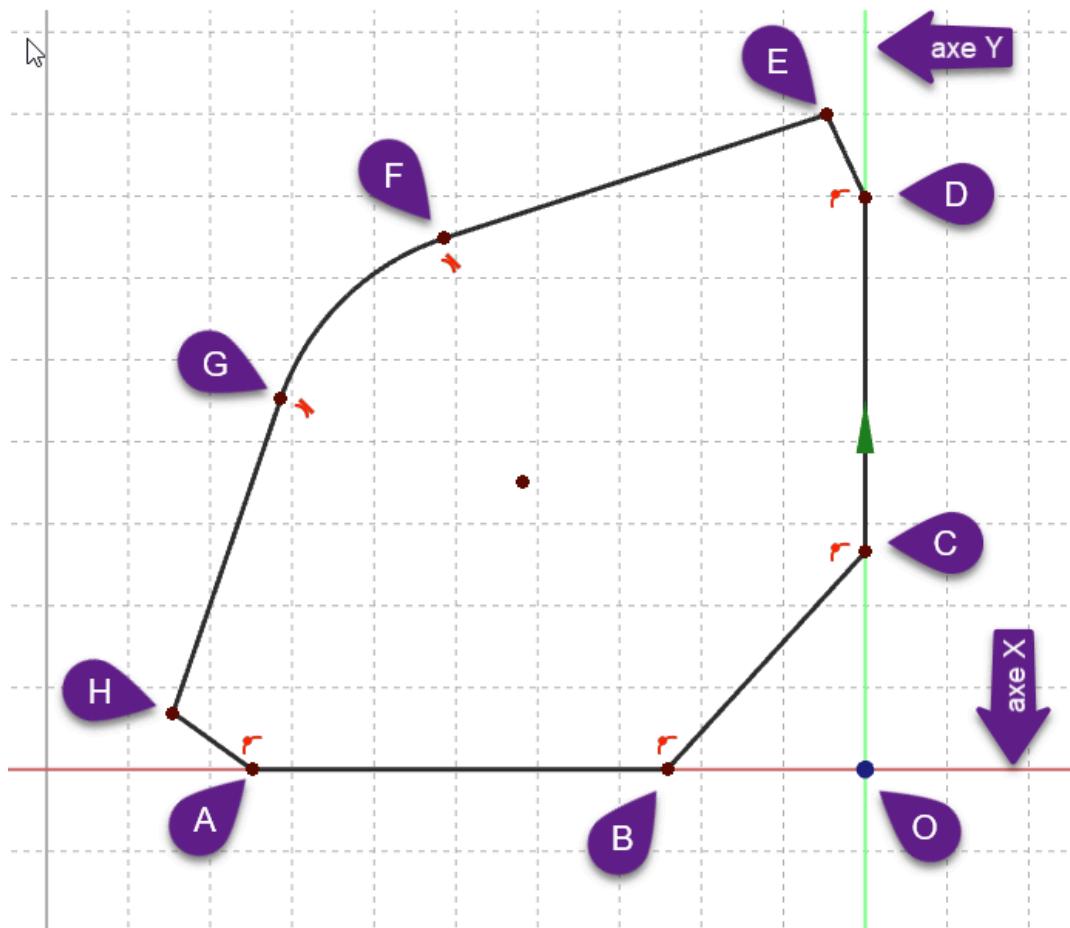
Contour approximatif de la 1^{ère} esquisse

Tableau des contraintes automatiques à exploiter

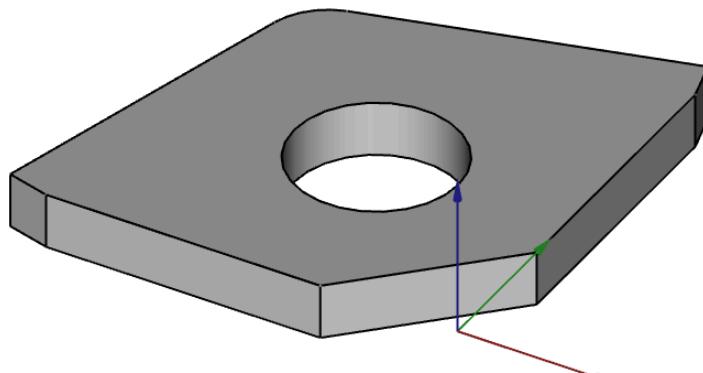
Géométries	Points	Contraintes automatiques
Polygone	A, B	⌞ sur l'axe X
	C,D	⌞ sur l'axe Y
	E, F	Aucune contrainte
	G	Appuyer 3 fois sur M pour créer un arc tangent au segment précédent
	H	Aucune contrainte
	A	⌞ avec le point A pour fermer la polygone

- Ajouter la contrainte d'égalité $=$ respectivement entre [GH]&[EF] et entre [ED]&[HA]
- Ajouter la contrainte \neq respectivement entre [DE]&[EF] et entre [GH]&[HA] ;
- Ajouter la contrainte d'angle \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 \square , \square , \square ;

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

Tâches à réaliser - suite

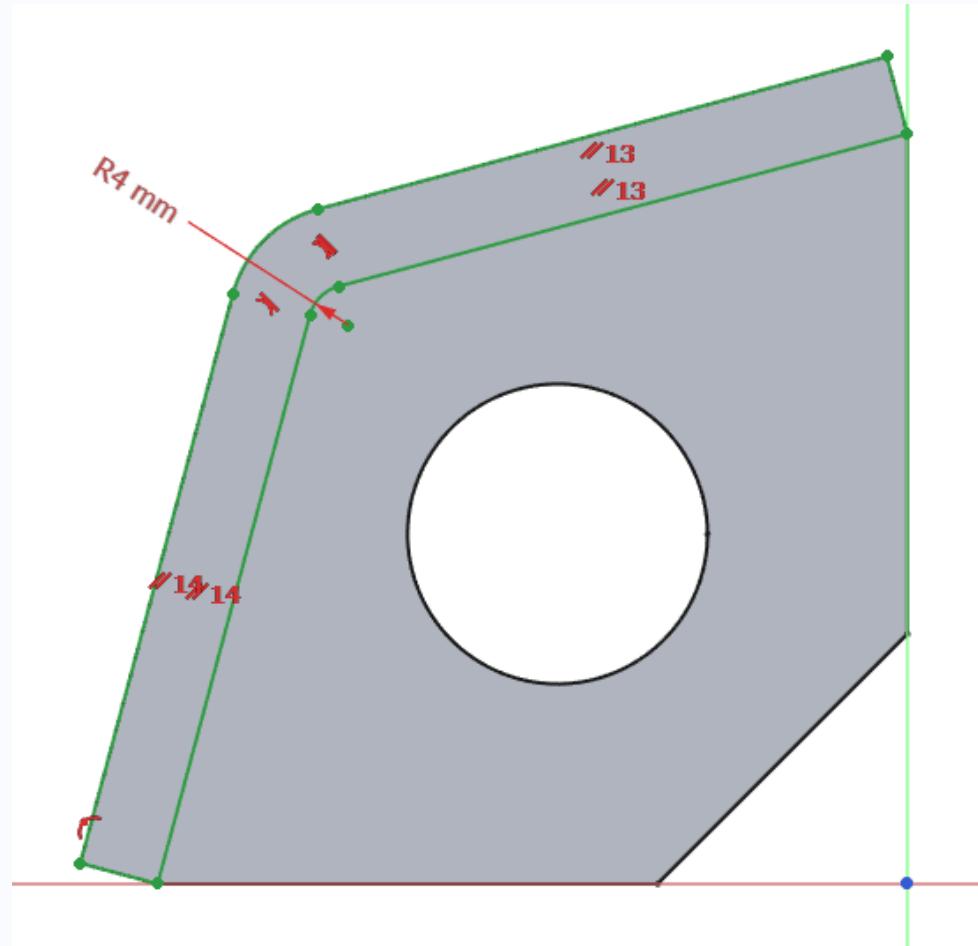
Créer une **protrusion**  de 10 mn **inversée** ;



5.1.2. Création de la paroi verticale

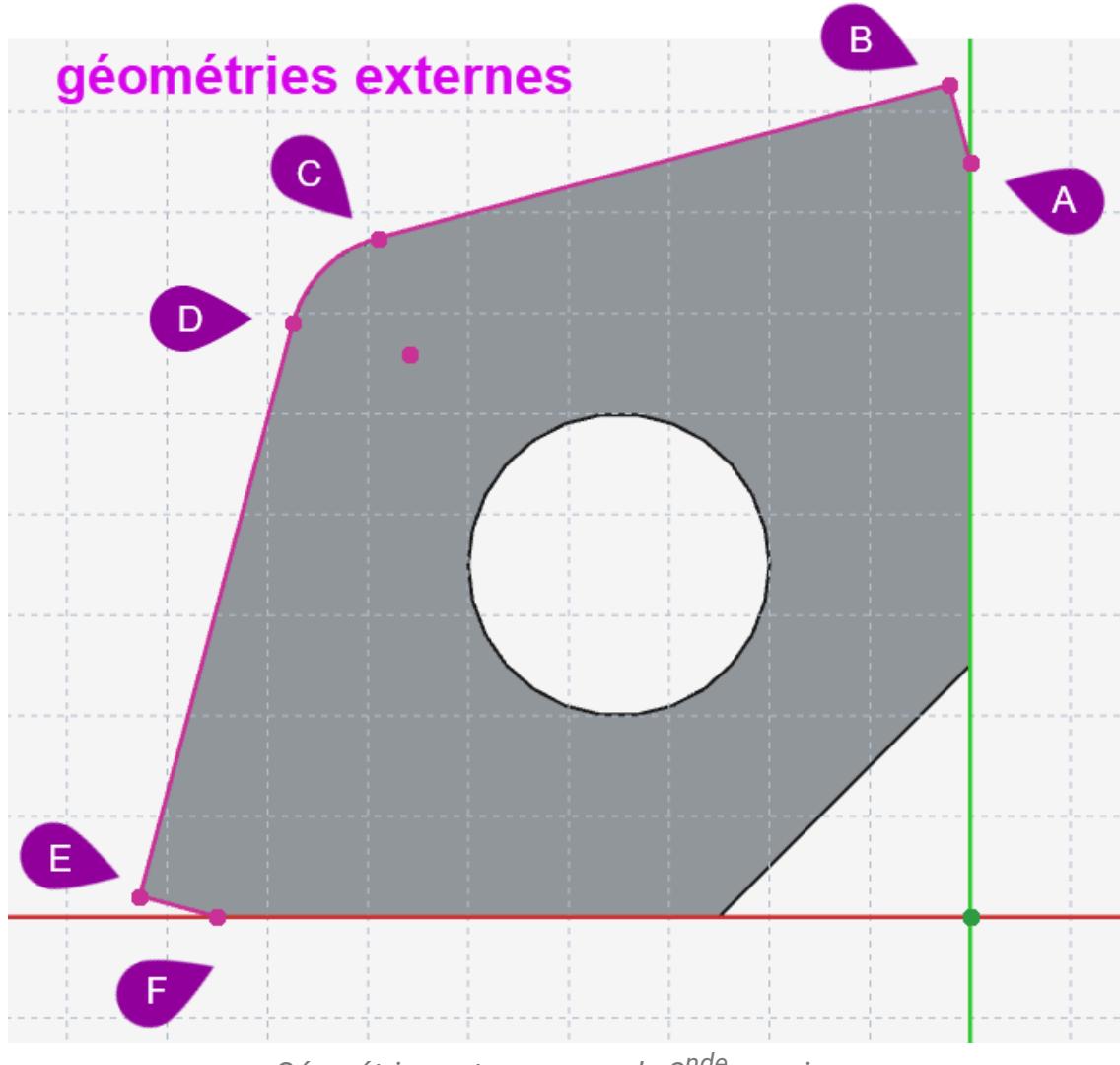
✓ Tâches à réaliser

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



💡 Aide

- Vérifier que vous êtes en mode définition ;
- Créer la géométrie externe de définition^[p.369] ABCDEF à l'aide de commandes  ;



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

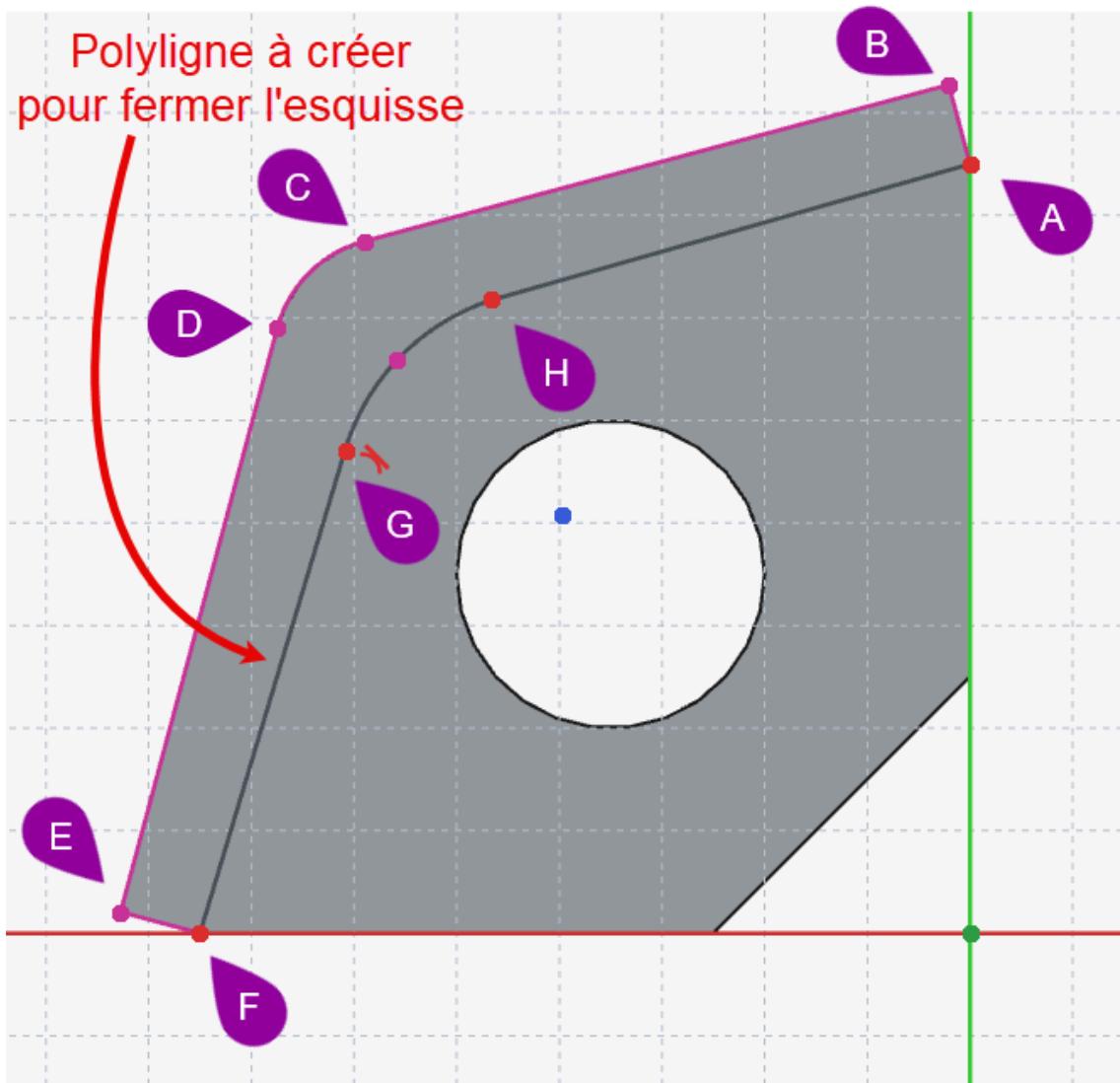
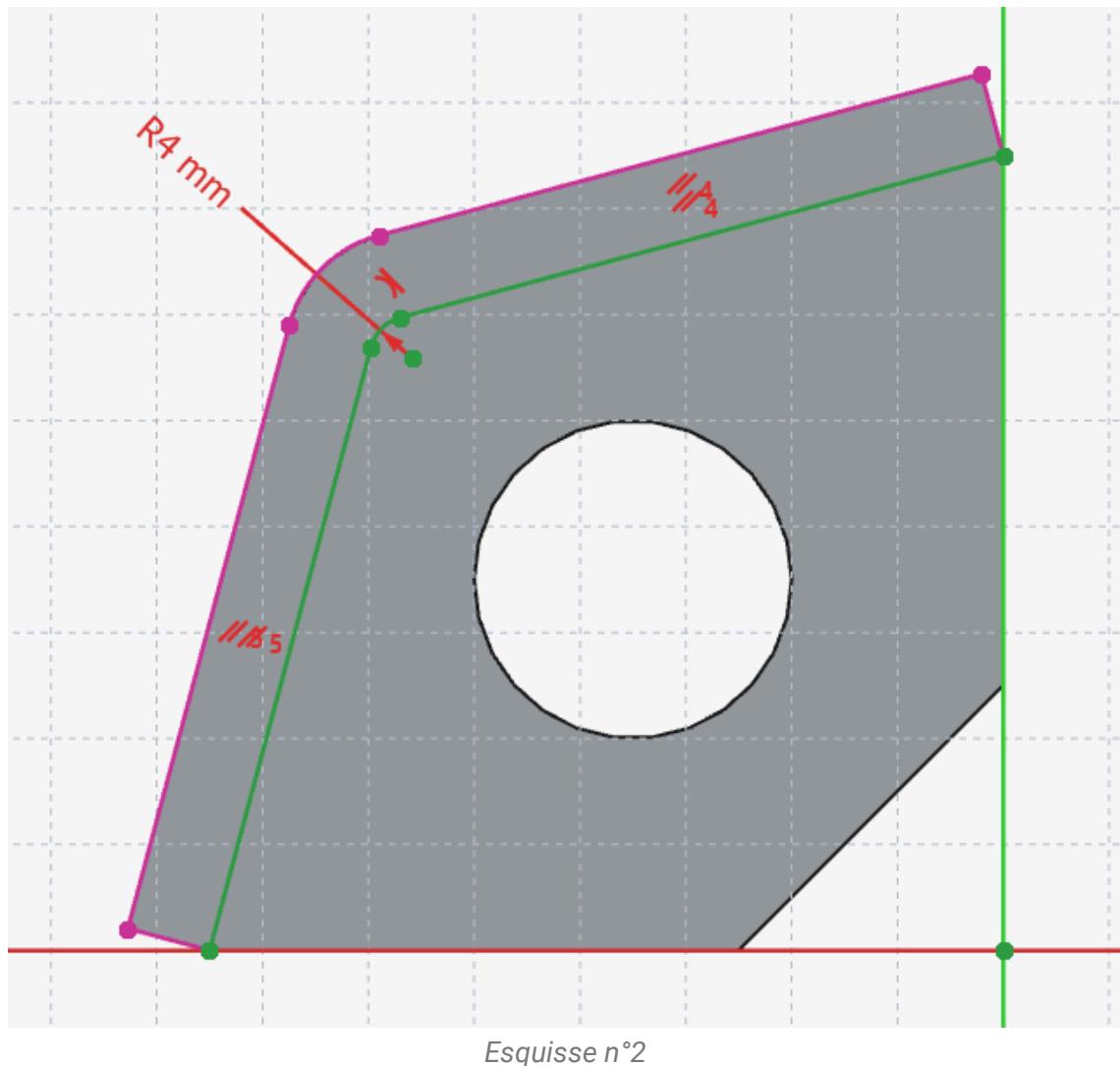


Tableau des contraintes automatiques à exploiter

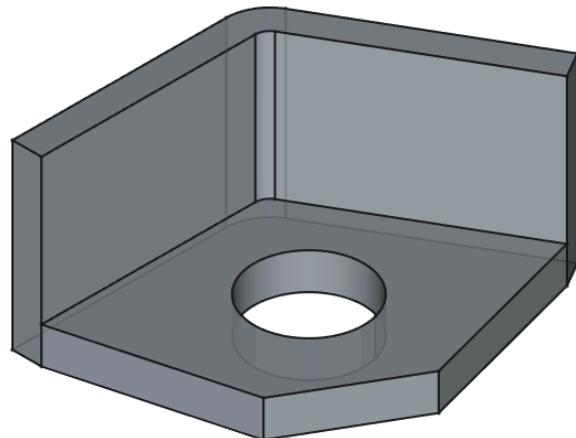
Géométries	Points	Contraintes automatiques
Polyligne	F	avec le point F de la géométrie externe
	G	Aucune contrainte
	H	Appuyer 3 fois sur pour créer un arc tangent au segment précédent ;
	A	Appuyer 2 fois sur pour revenir au mode par défaut ; avec le point A de la géométrie externe

- 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 ;



▼ Tâches à réaliser - suite

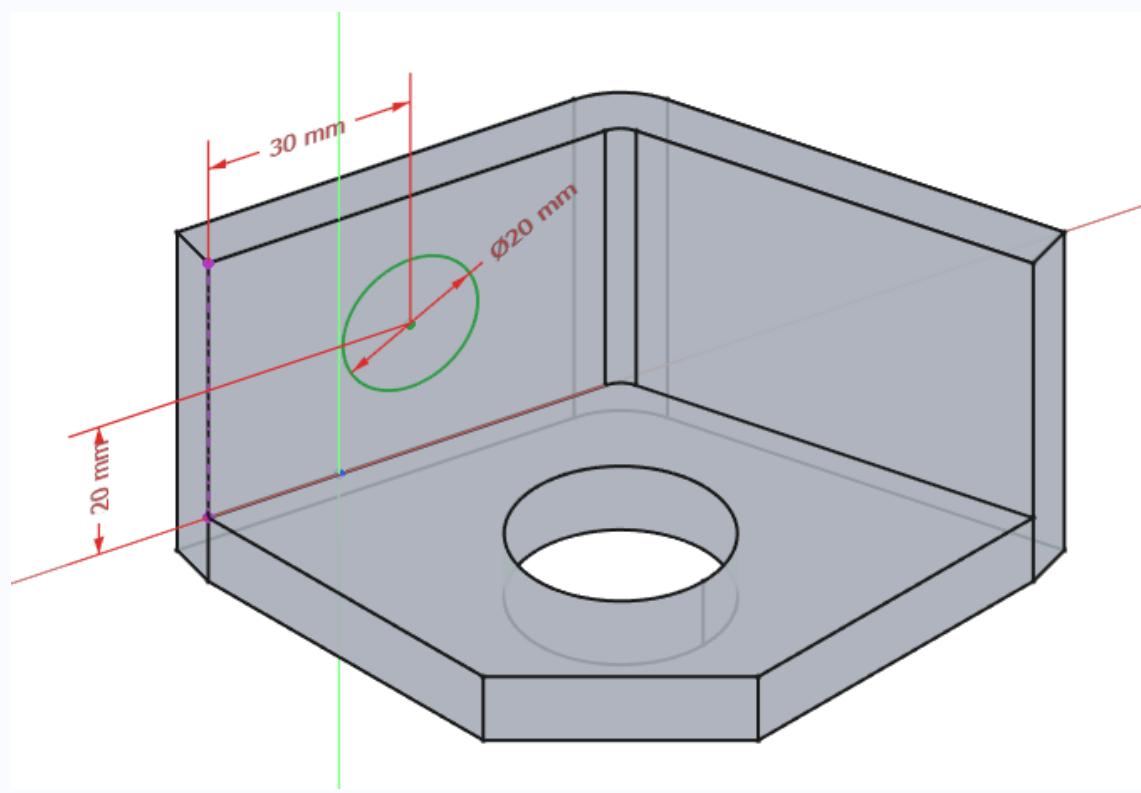
- Créer une protrusion  de 40 mm ;



5.1.3. 1er trou dans la paroi verticale

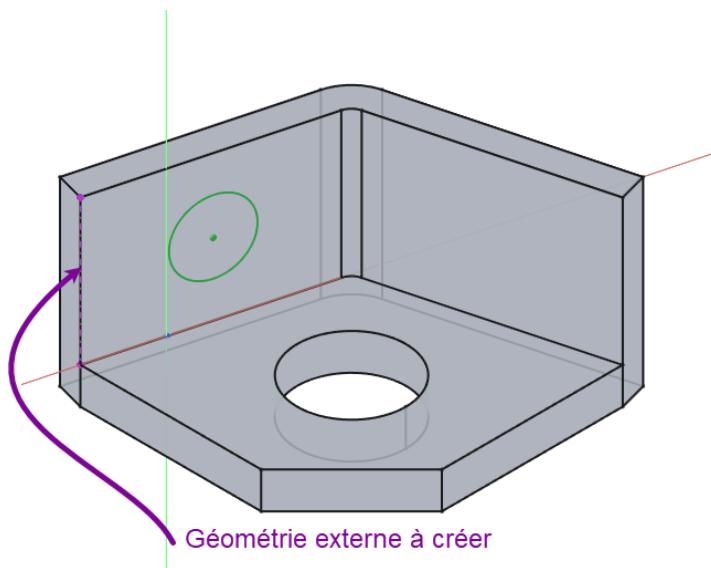
▼ Tâches à réaliser

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



💡 Quelques conseils

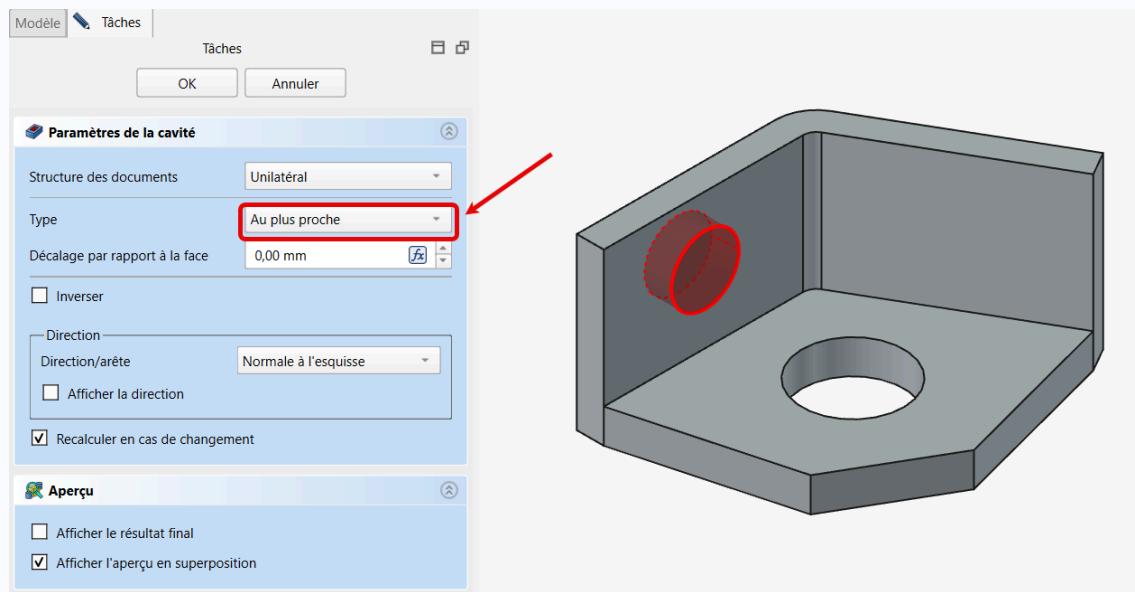
- Basculer en vue isométrique (0) pour mieux visualiser la position du cercle ;
- Basculer en mode Géométrie de construction et créer la géométrie externe de construction^[p.369] ci-dessous à l'aide de la commande ;



- Revenir en mode géométrie de définition^[p.369] et créer le cercle centré , contraindre le diamètre et la position de son centre à l'aide la géométrie externe ;

🕒 Tâches à réaliser - suite

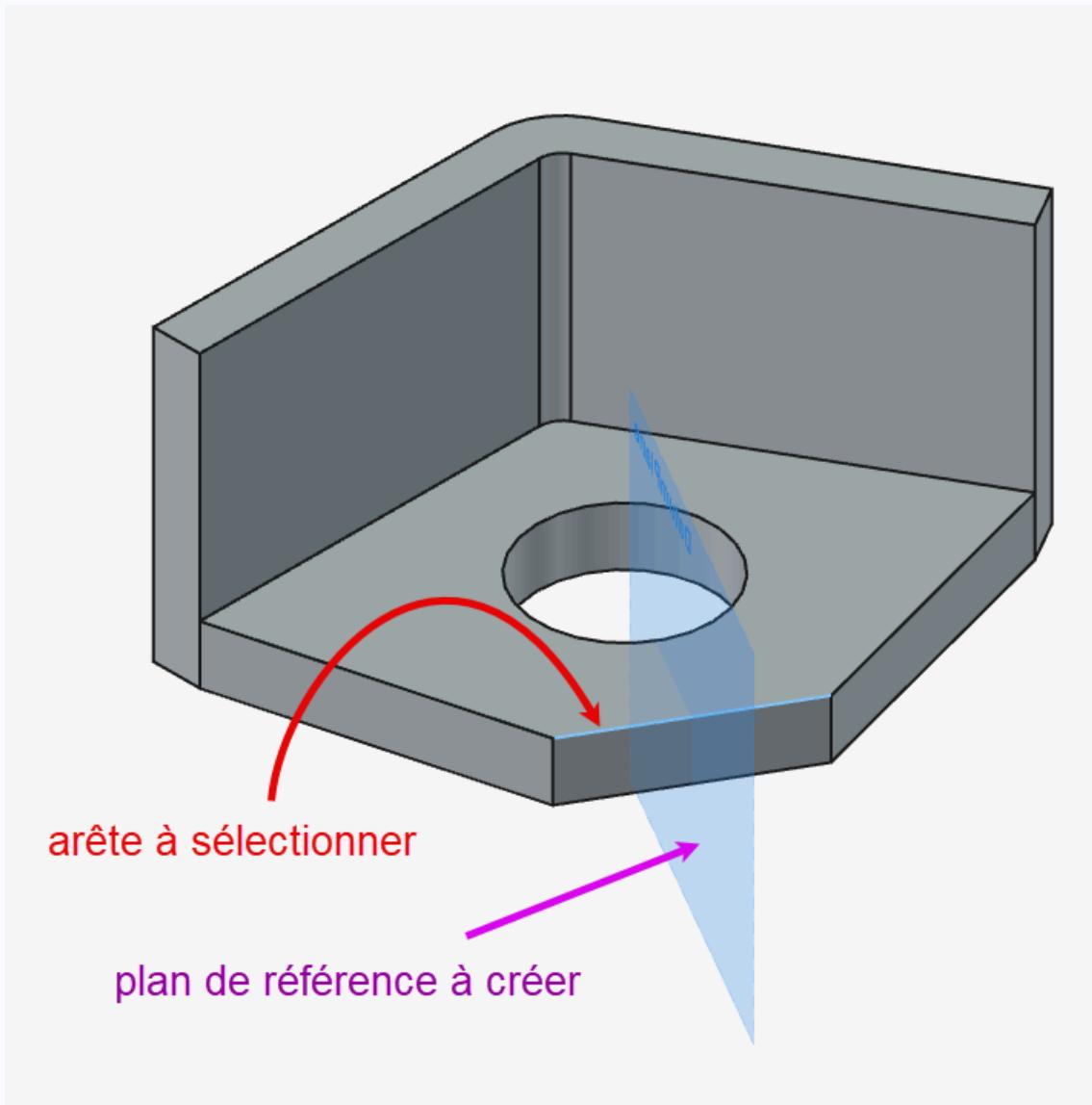
- Créer une cavité du type le plus proche ;



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

☒ Tâches à réaliser

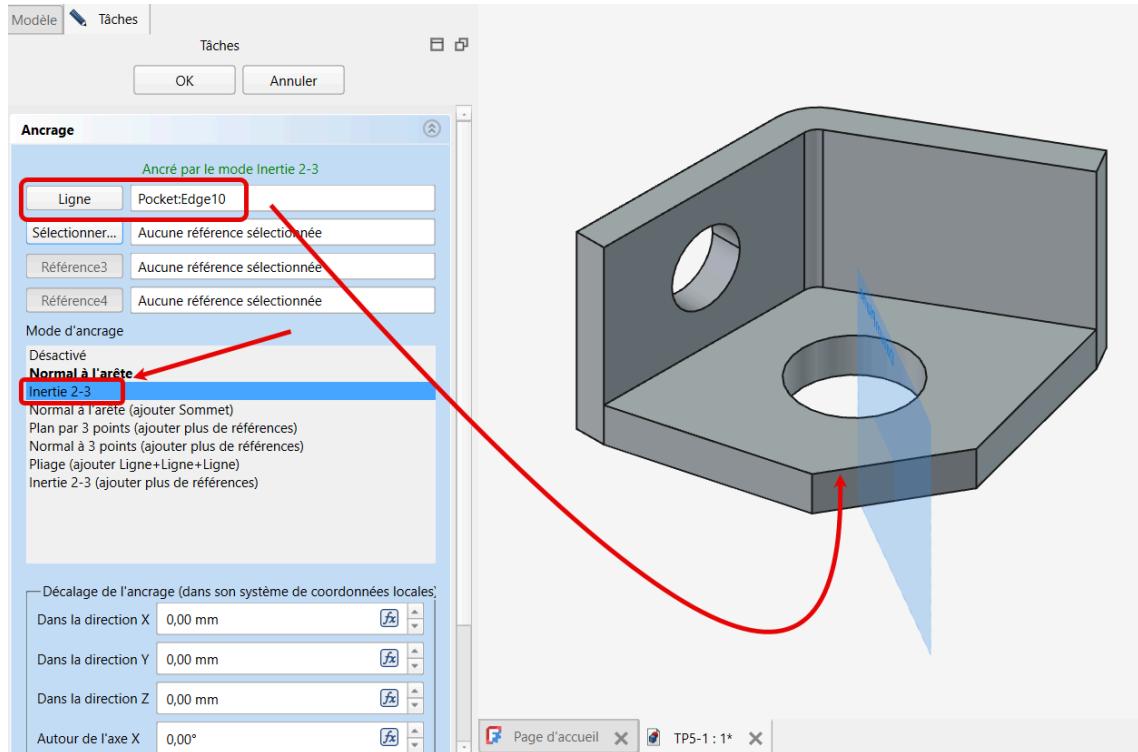
- Créer un plan de référence normal  à l'arête et passant par le milieu I de cette arête ;



Plan de référence à créer

♀ Aide pour créer le plan de référence :

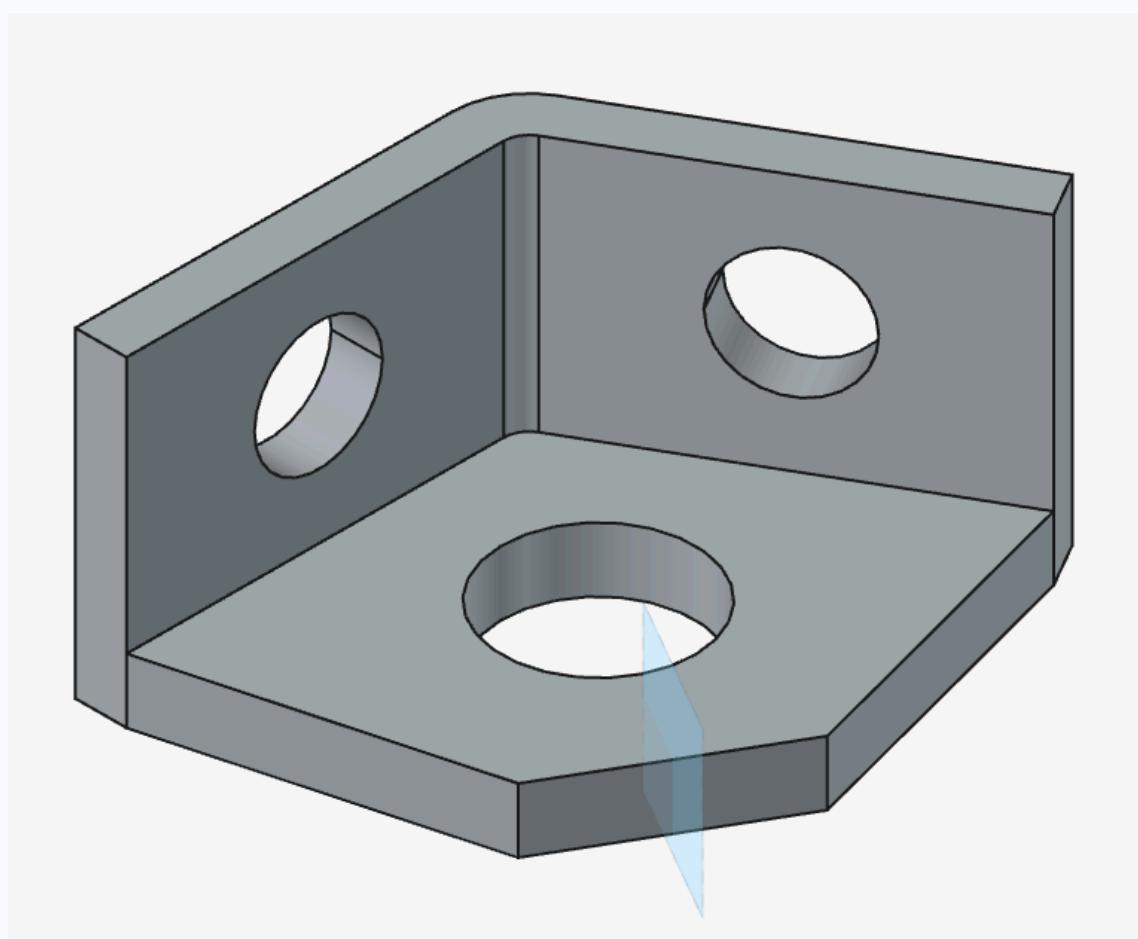
- Sélectionner l'arête ;
- Sélectionner la commande  ;
- Sélectionner le mode d'accrochage  Inertie 2-3 ;



Création de plan de référence

▼ Tâches à réaliser (suite)

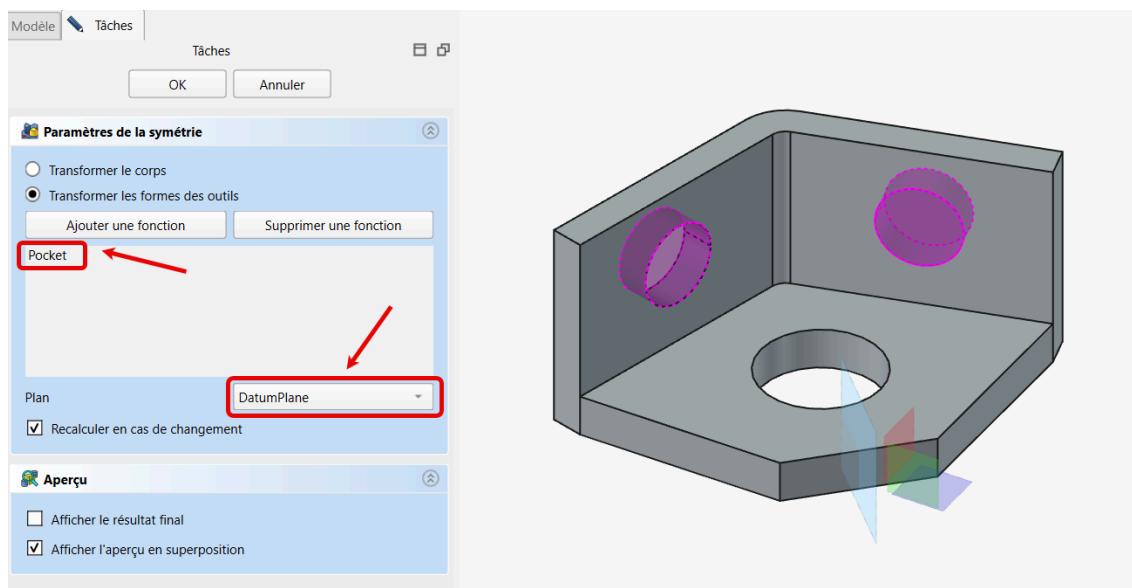
- Créer une symétrie de par rapport à ce plan de référence ;



Symétrie de Pocket

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

5.1.5. Capture vidéo



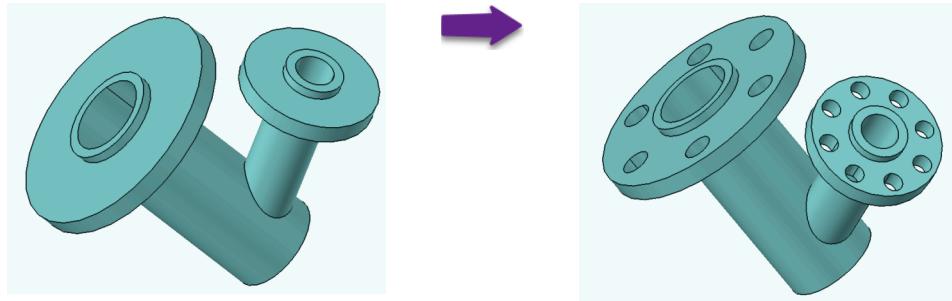
5.2. Répétition circulaire

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](#))



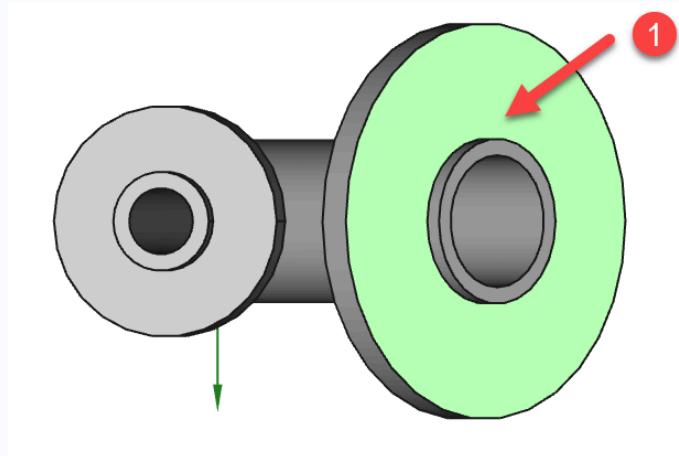
☰ Tâches à réaliser

- 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

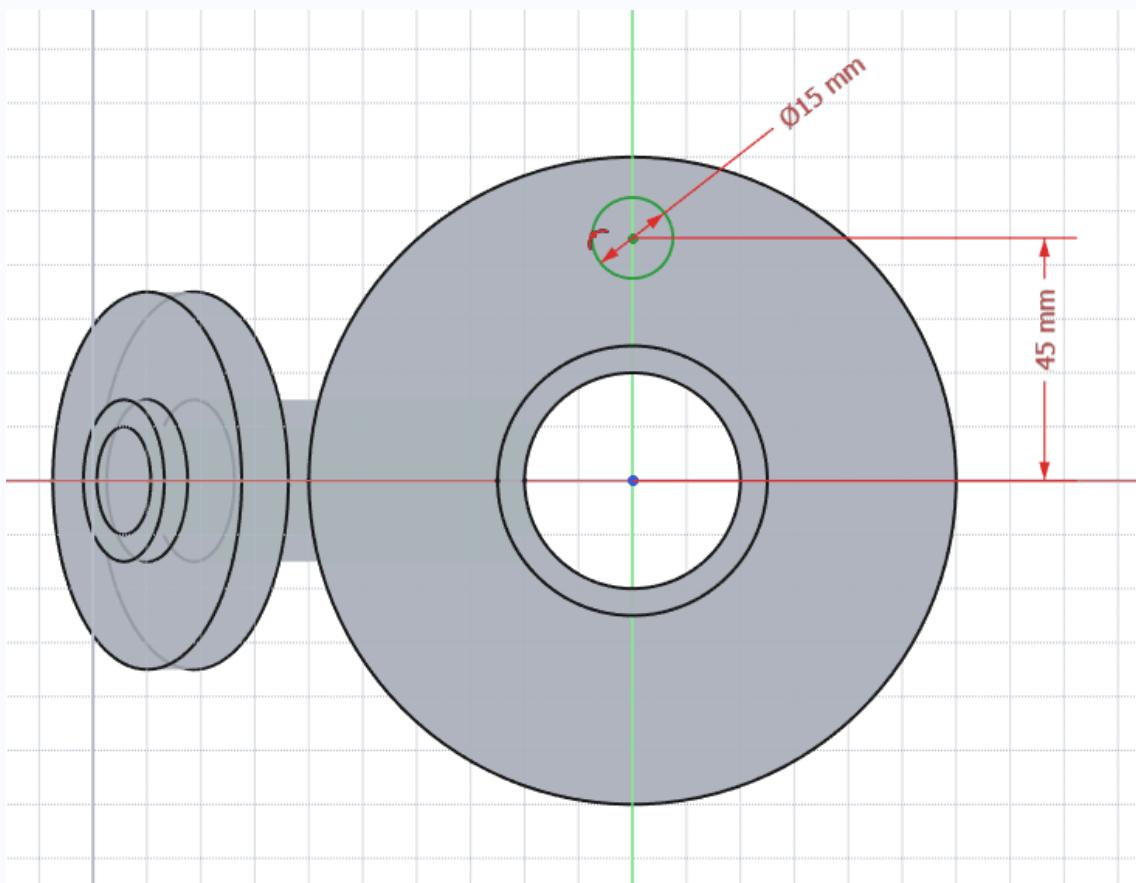
☰ Tâches à réaliser

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



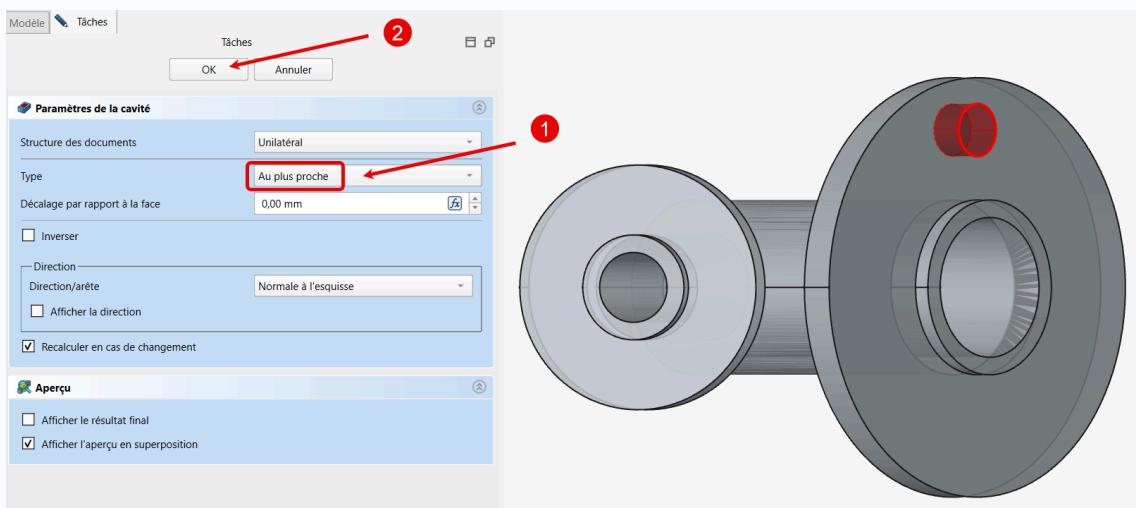
Face à sélectionner

- Créer l'esquisse  ci-dessous :



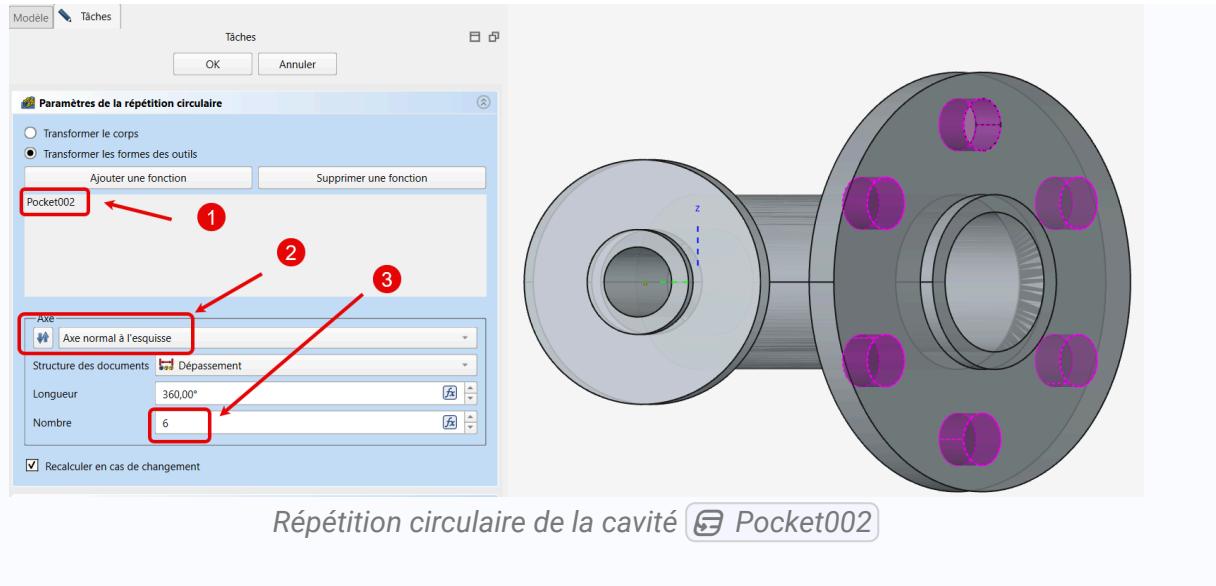
Tâches à réaliser

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



Création de la cavité sur la grande platine

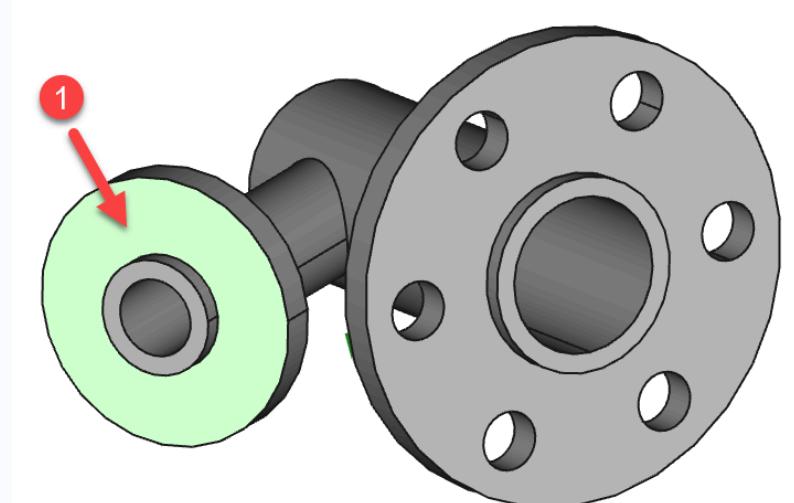
- Créer une répétition circulaire  en sélectionnant la cavité que vous venez de créer avec 6 occurrences ;



5.2.2. Trous sur la petite platine

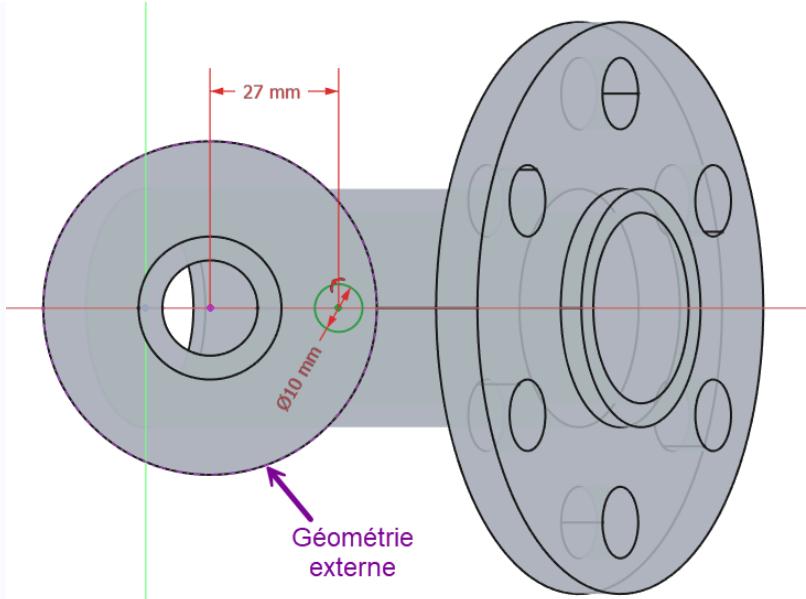
Tâches à réaliser

- Sélectionner la face externe de la petite platine :



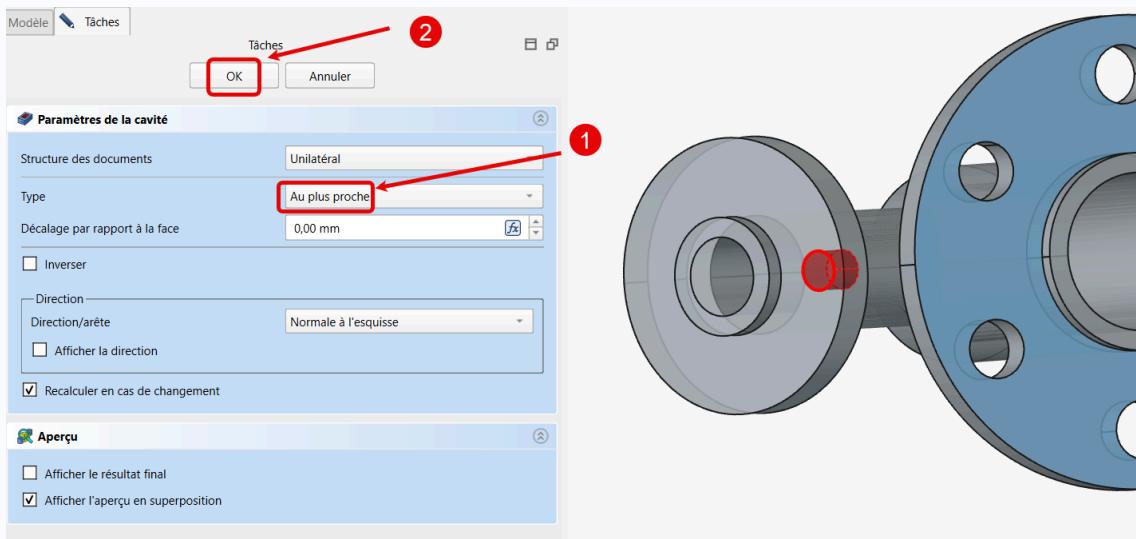
Face à sélectionner

- Créer l'esquisse ci-dessous ;



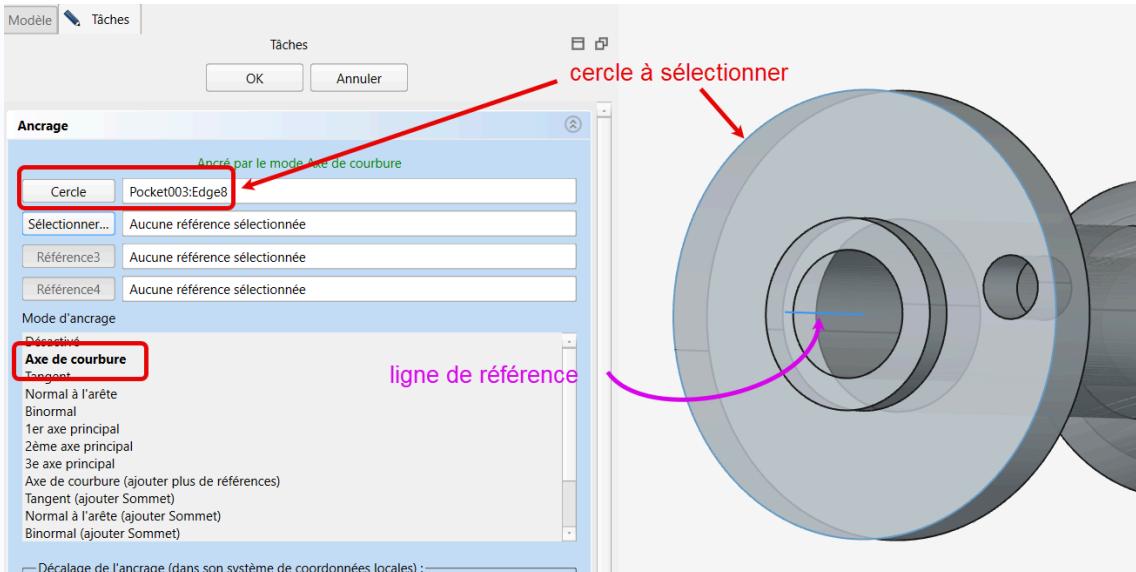
Esquisse à créer

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



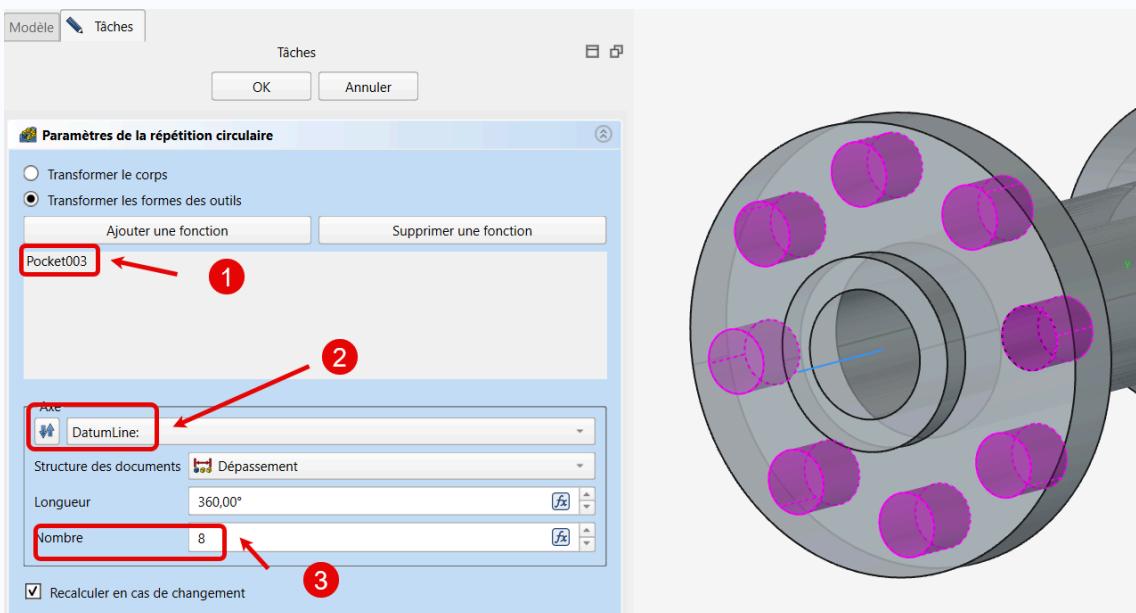
Création de la cavité

- 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



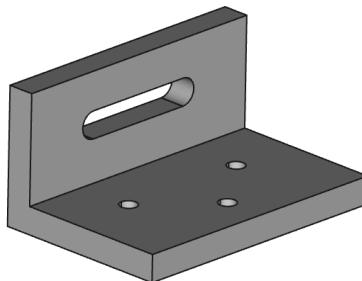
6. Finitions

6.1. Congé

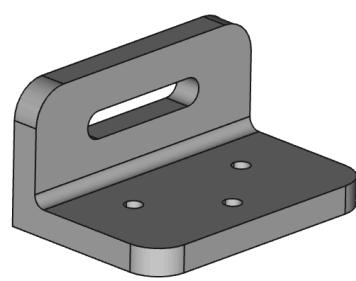
Objectifs

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

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



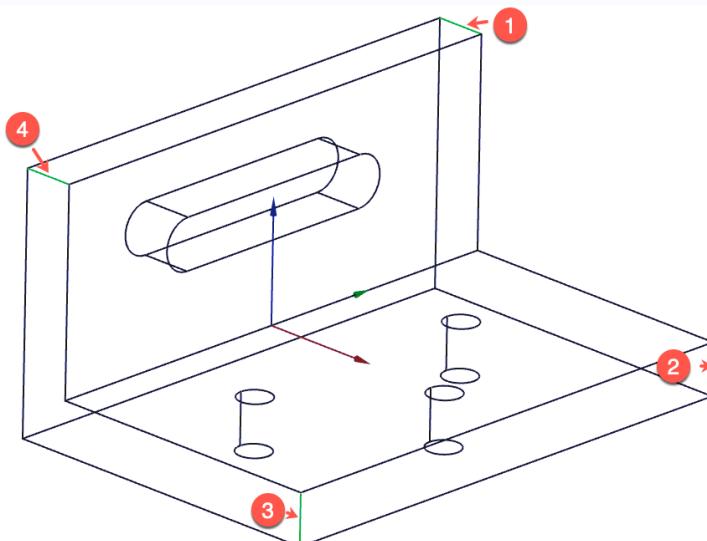
Modèle version initiale



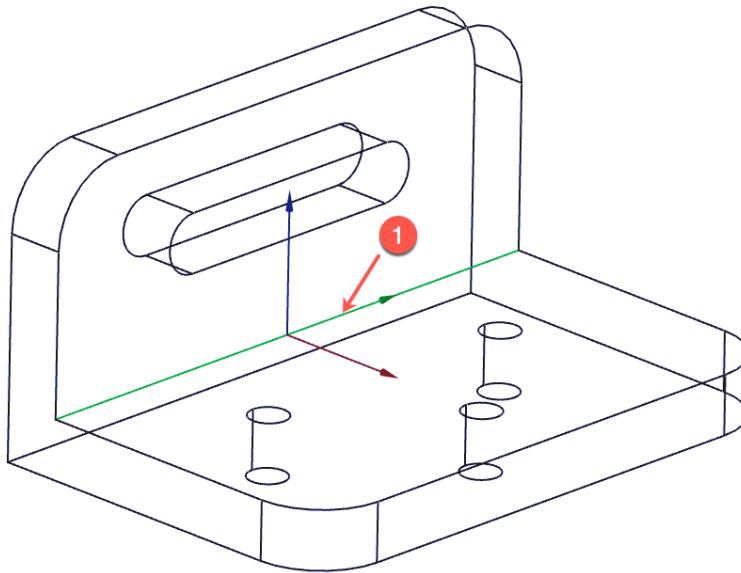
Modèle version finale

Tâches à réaliser

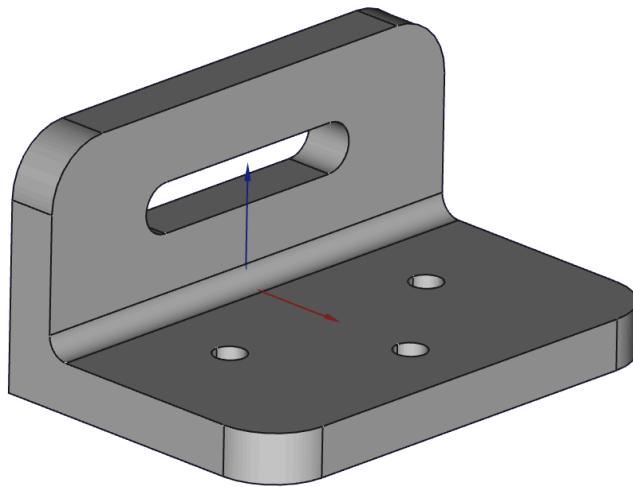
- Télécharger le fichier  [TP6-1-initial.FCStd](#) sur votre ordinateur et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer le document sous le nom  TP6-1 ;
- Basculer en affichage filaire  à l'aide de la commande  Affichage → Style de représentation → Filaire ou du raccourci clavier  puis  du clavier alphanumérique ;
- 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  puis  du clavier alphanumérique) ;



Aide :

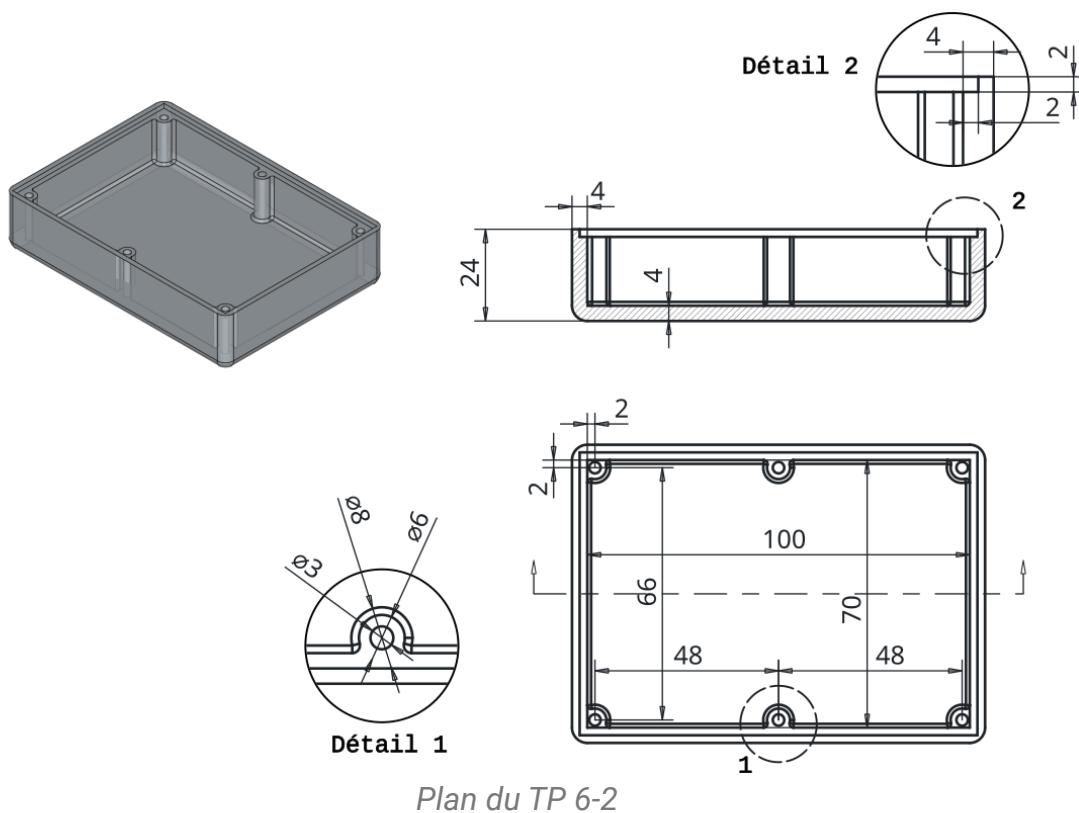
- Pour sélectionner plusieurs arêtes en même temps, appuyer sur la touche  ( sous 

6.2. Évidement

Objectifs

- Utiliser les commandes **Évidement^W** , **Transformation multiple^W**  de l'atelier  ;
- Utiliser des expressions mathématiques pour définir des propriétés ou des contraintes ;

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



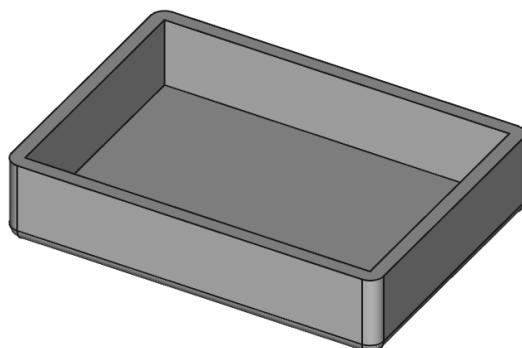
Plan du TP 6-2

☰ Tâches préliminaires

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

6.2.1. Fond

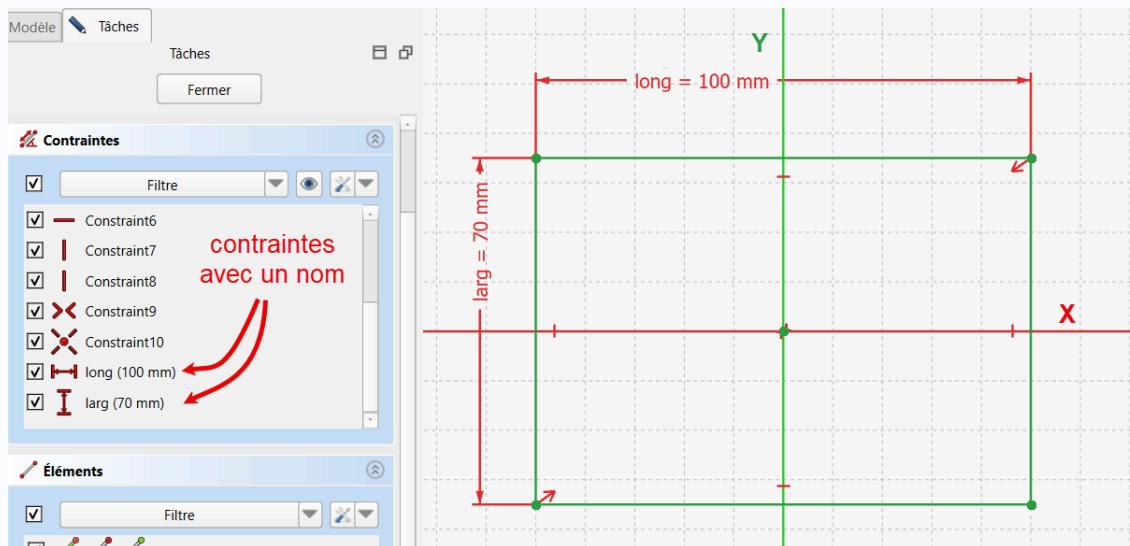
1^{ère} étape : nous allons modéliser le fond de la boîte :



1^{ère} étape de la modélisation

✓ Tâches à réaliser

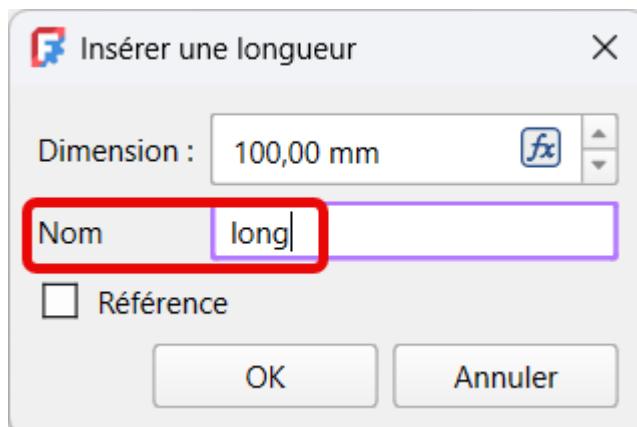
- Créer l'esquisse ci-dessous dans le plan XY à l'aide d'un rectangle centré en donnant les noms **long** et **larg** aux deux contraintes dimensionnelles ;



Esquisse de la boîte avec deux contraintes avec nom

💡 Aide :

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



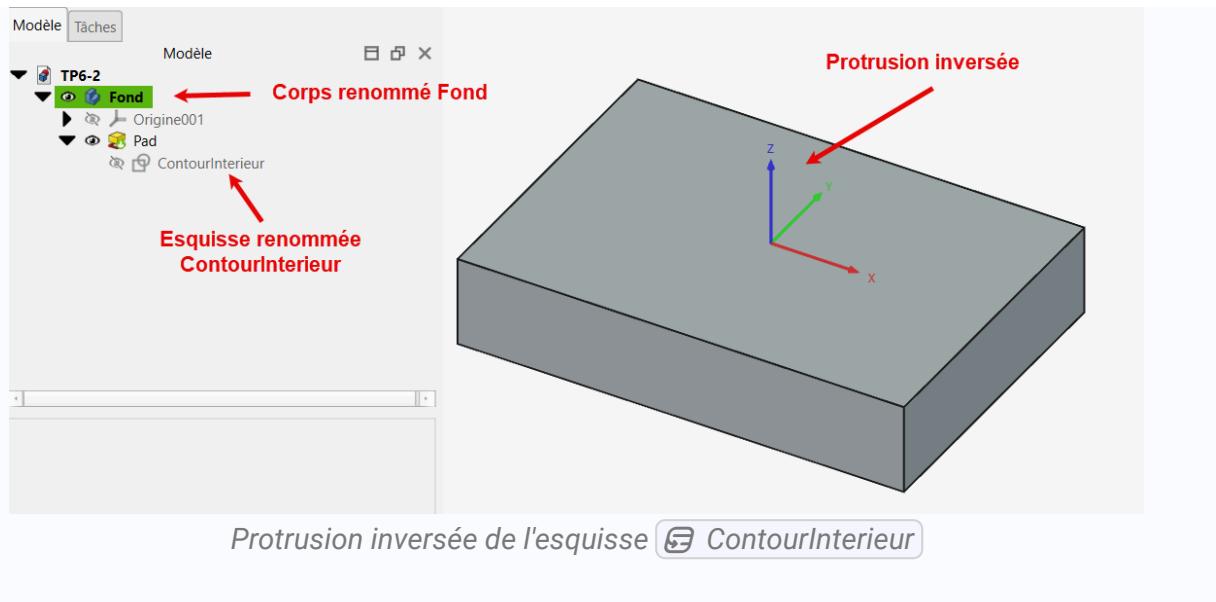
Saisie d'un nom pour une contrainte dimensionnelle

⌚ 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 en ;
- Créer une protrusion de 20 mm, ;



Aide :

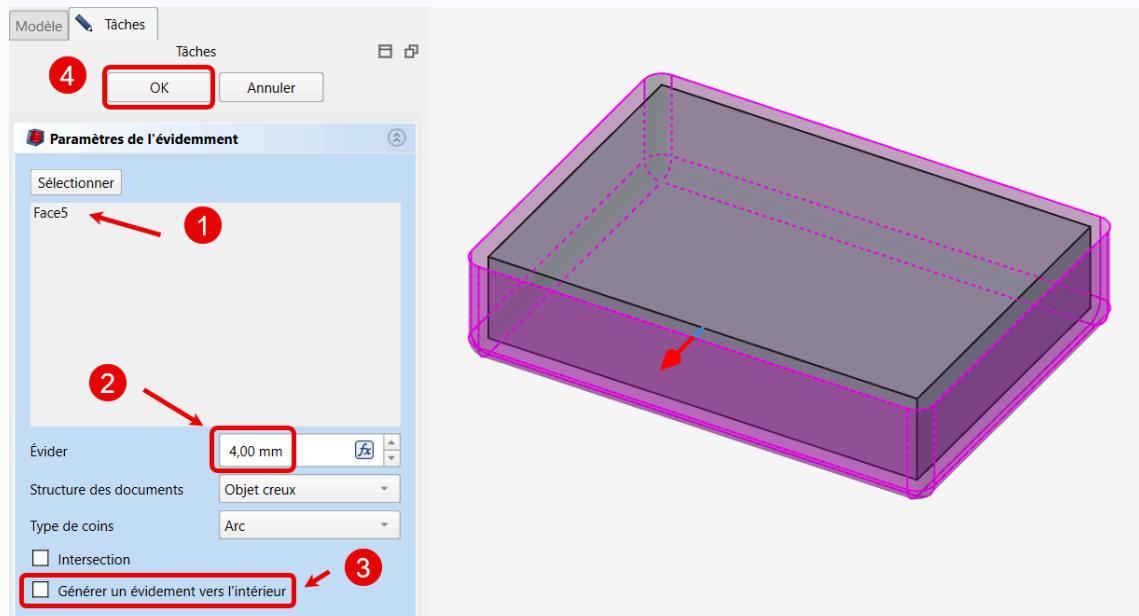
- Pour renommer l'esquisse, dans la vue **Modèle**, cliquer droit sur **Sketch** et sélectionner la commande **Renommer** (ou bien appuyer sur **F2** sous ou);

Pourquoi inverser la protrusion ?

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

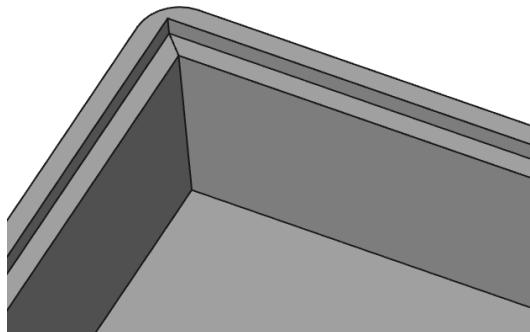
Tâches à réaliser (suite)

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



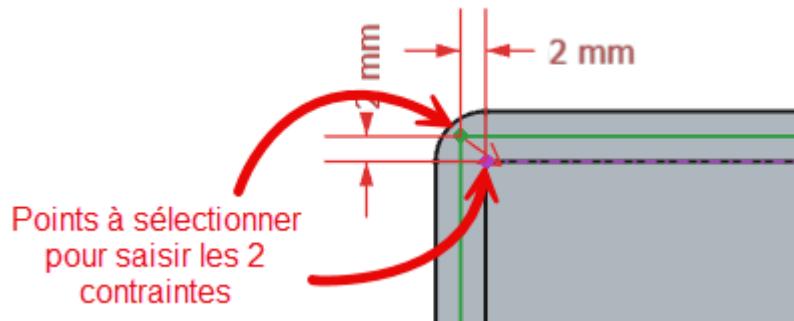
6.2.2. Épaulement intérieur

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



💡 Aide :

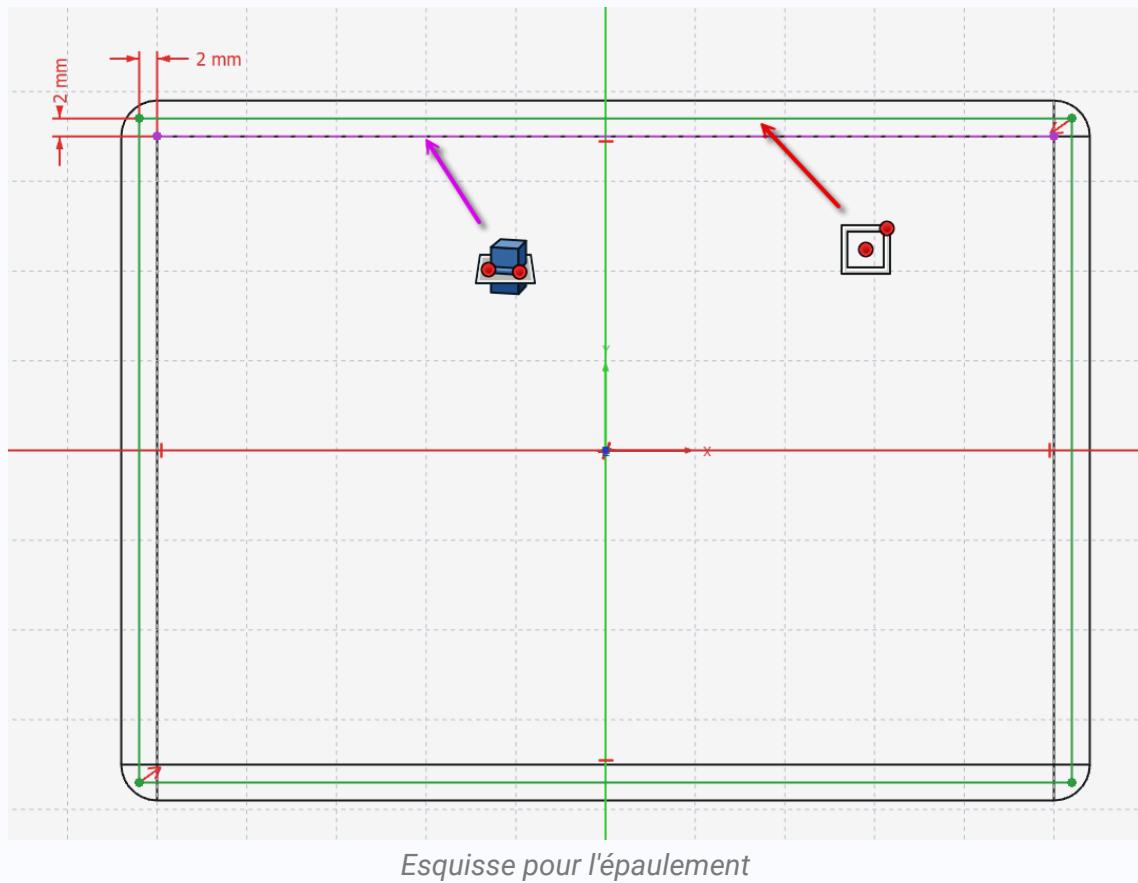
- Utiliser une géométrie externe pour positionner le rectangle  de l'esquisse ;



Points à sélectionner pour saisir les deux contraintes de 2 mm

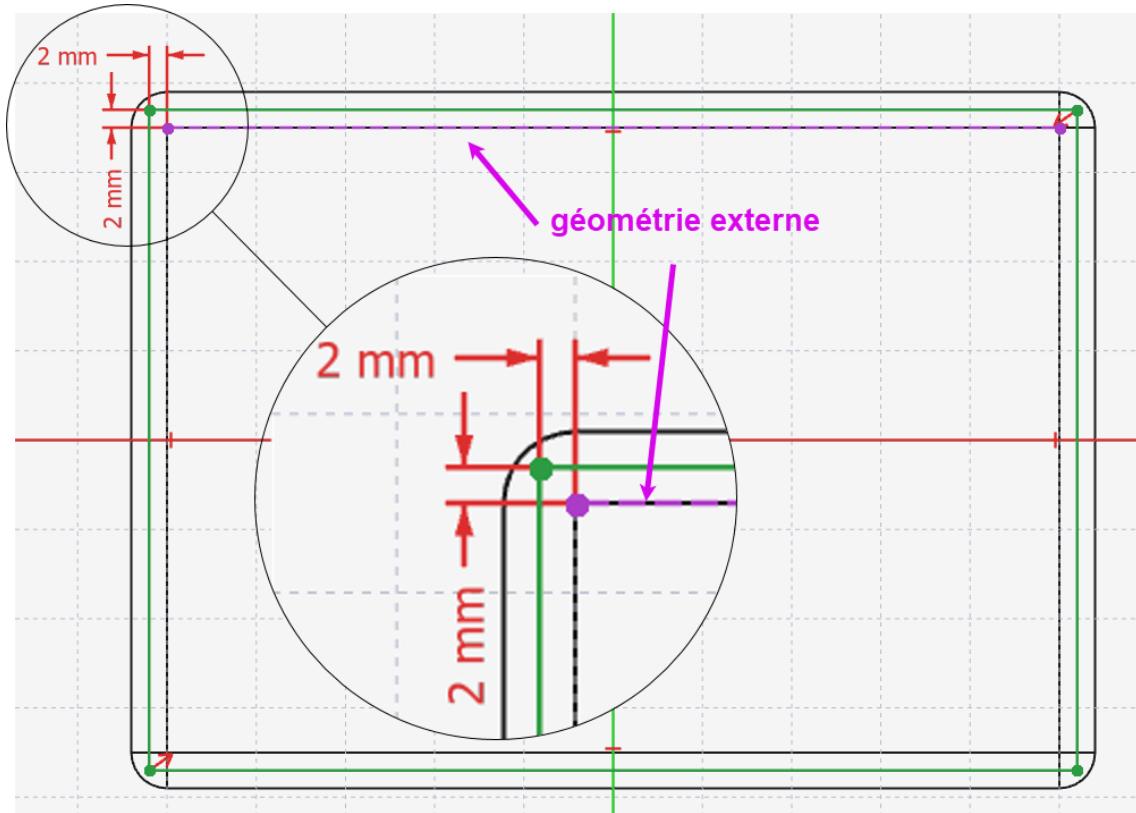
✓ Tâches à réaliser

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



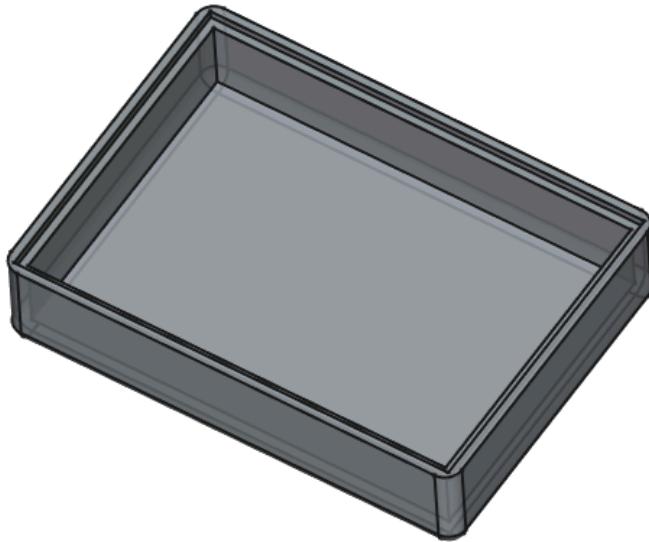
💡 Aide

- Utiliser une géométrie externe de construction^[p.369] par intersection  pour positionner le rectangle  de l'esquisse ;



☰ Tâches à réaliser

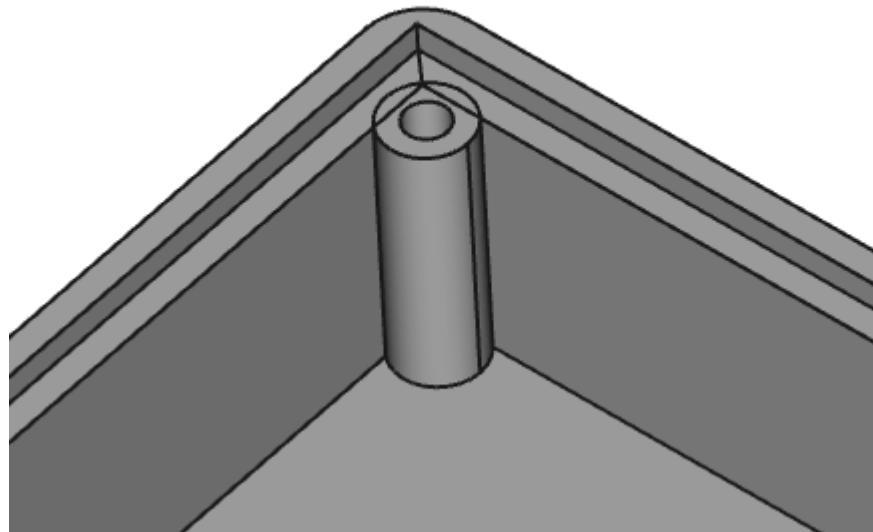
- Créer une cavité  de 2 mm :



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

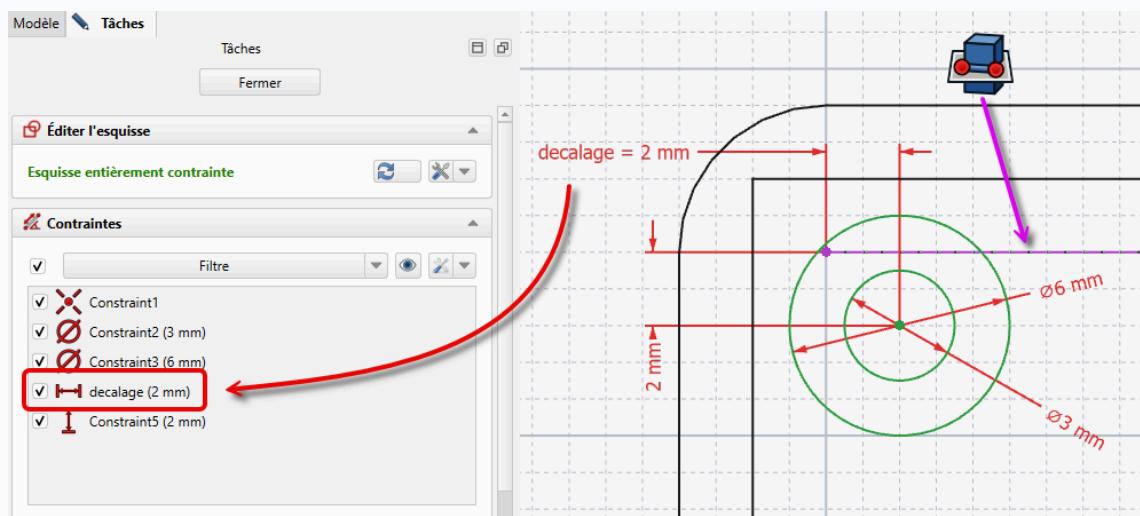
6.2.3. 1^{er} cylindre de fixation

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



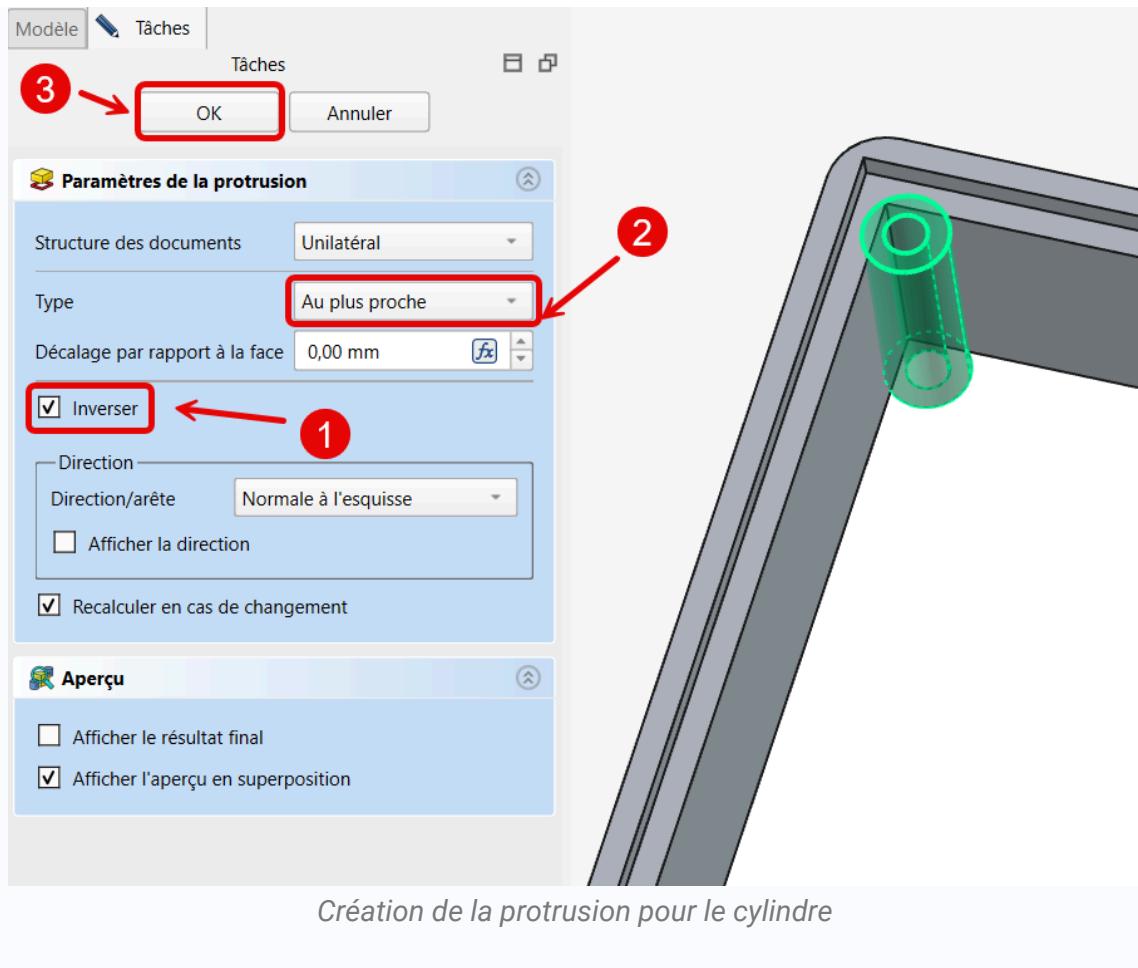
▼ Tâches à réaliser

- Sélectionner la face horizontale supérieure de l'épaulement et créer l'esquisse ci-dessous en donnant le nom **decalage** 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, ;



Pourquoi « inversé » ?

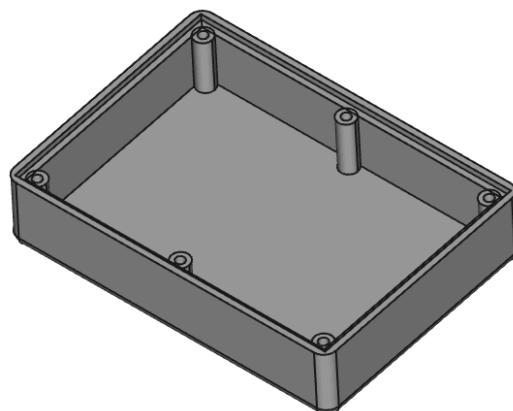
- Pour orienter la protrusion vers le bas (vers le Z négatif)

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

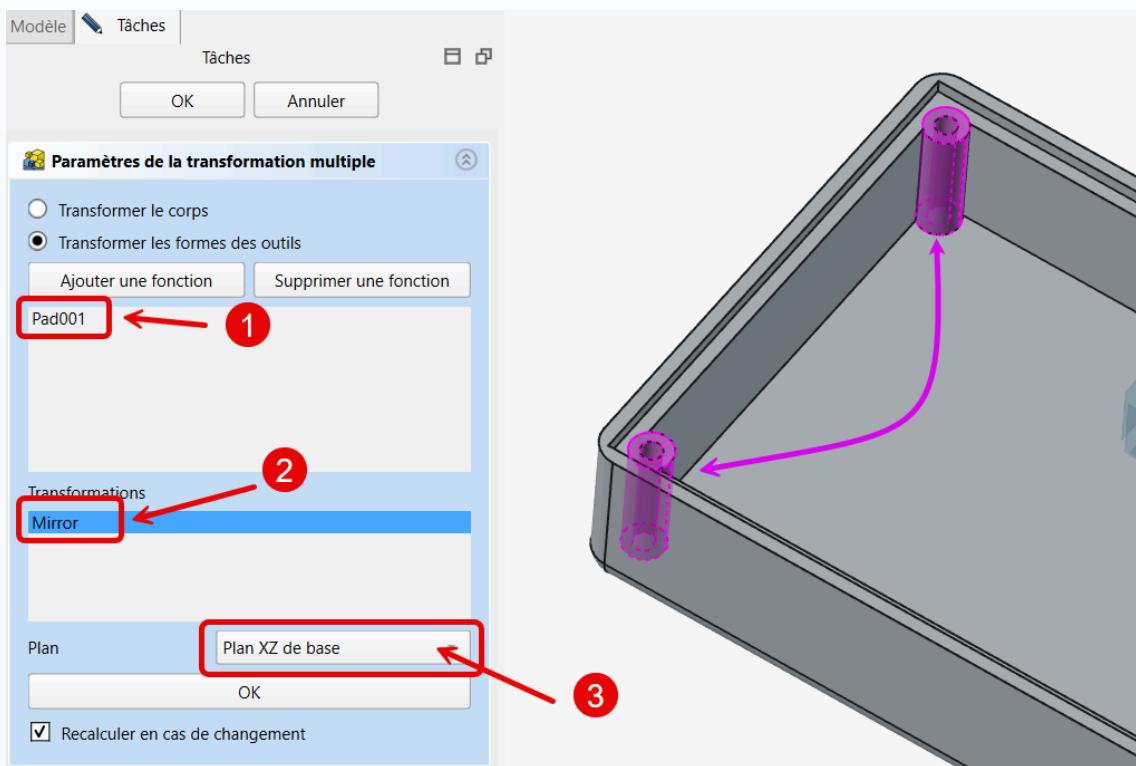
4^{ème} étape : à l'aide d'une transformation multiple , nous allons créer les 5 autres cylindres ;



Création des 6 cylindres

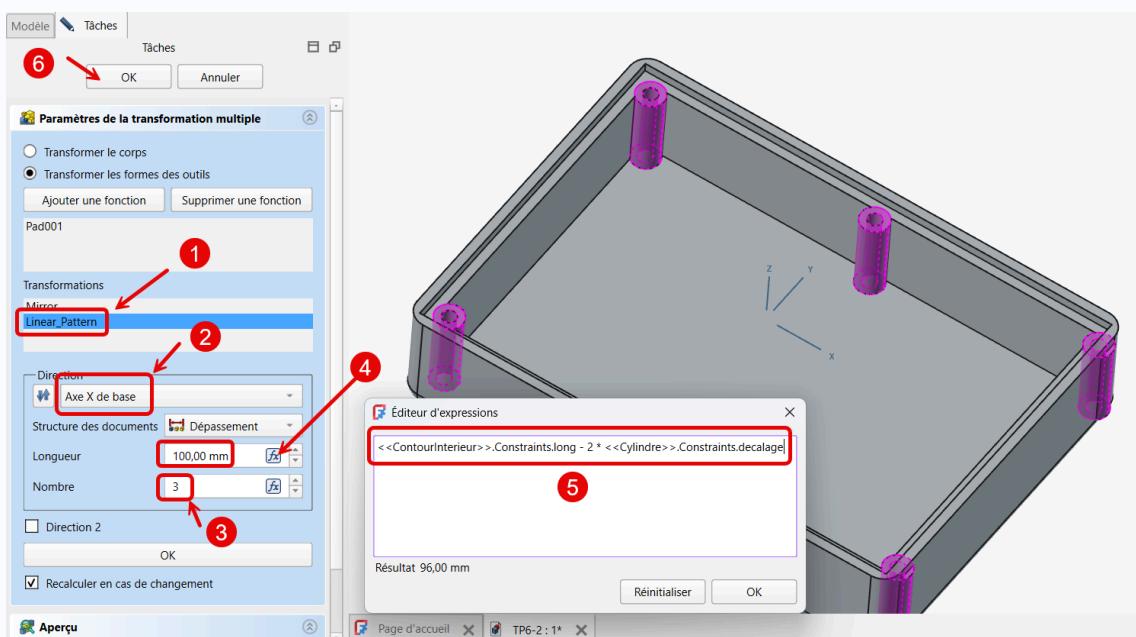
▼ Tâches à réaliser

- 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 **fx** et saisir la formule
`<<ContourInterieur>>.Constraints.Long - 2 * <<ContourInterieur>>.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



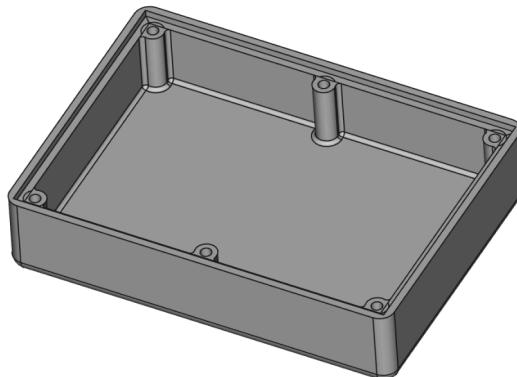
cf. expressions mathématiques

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...

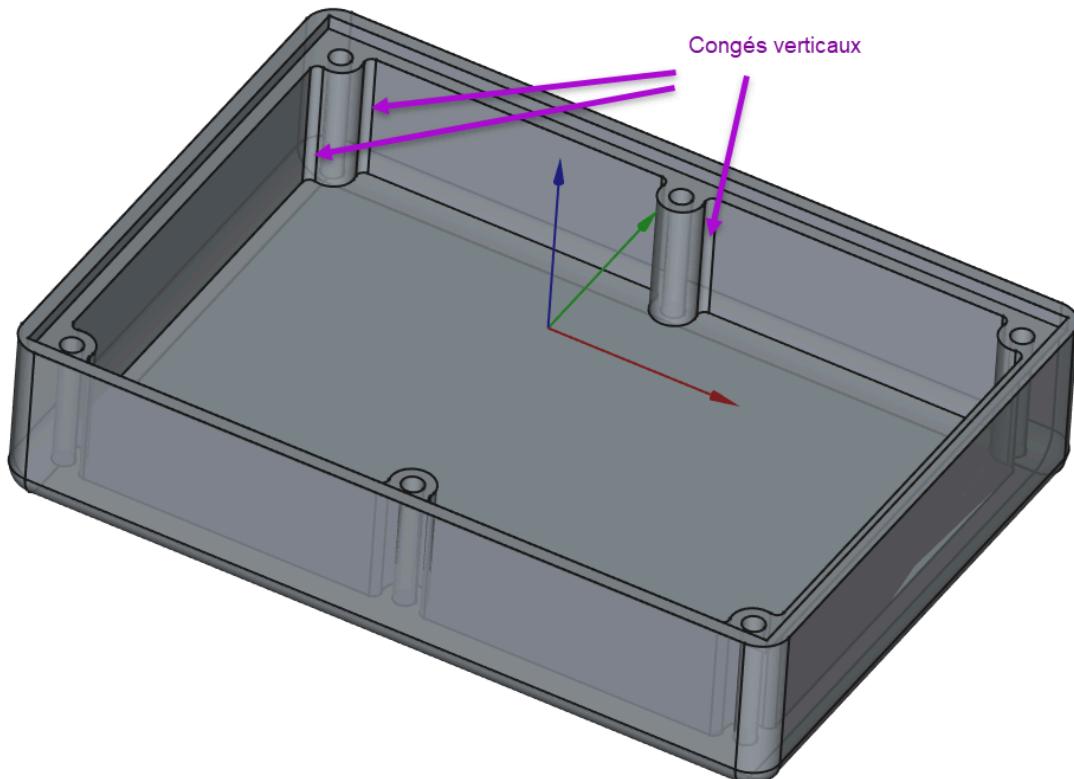
6.2.5. Congés

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 ;

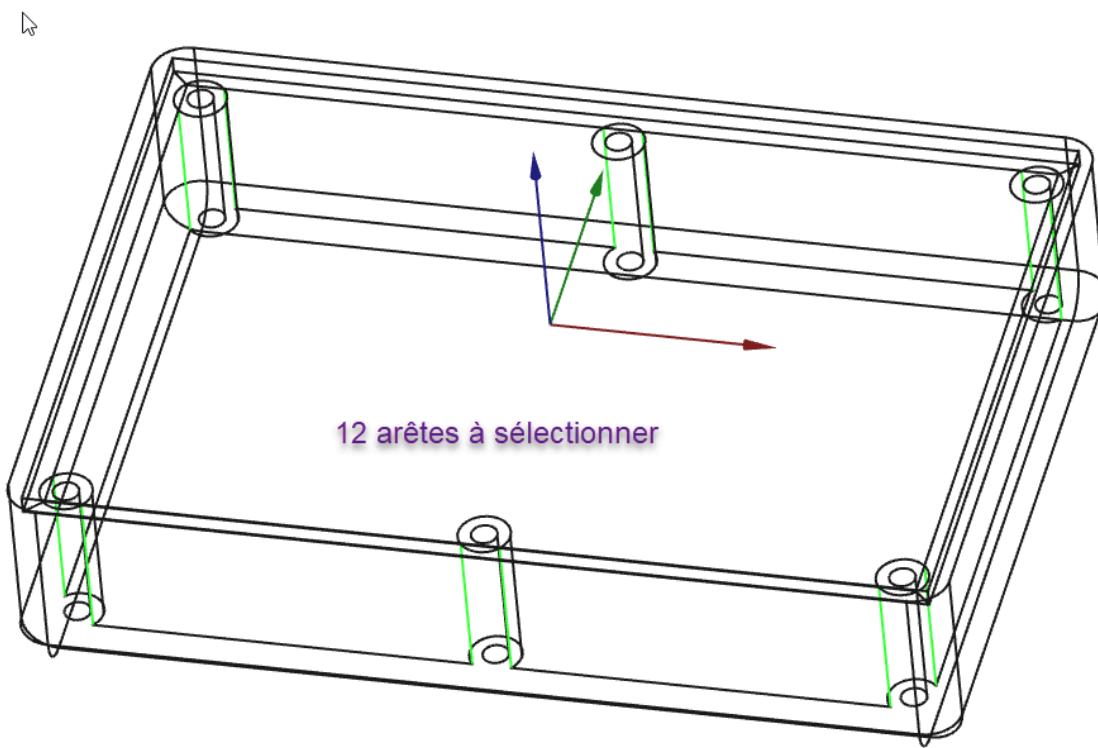


Congés verticaux

💡 Aide :

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

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



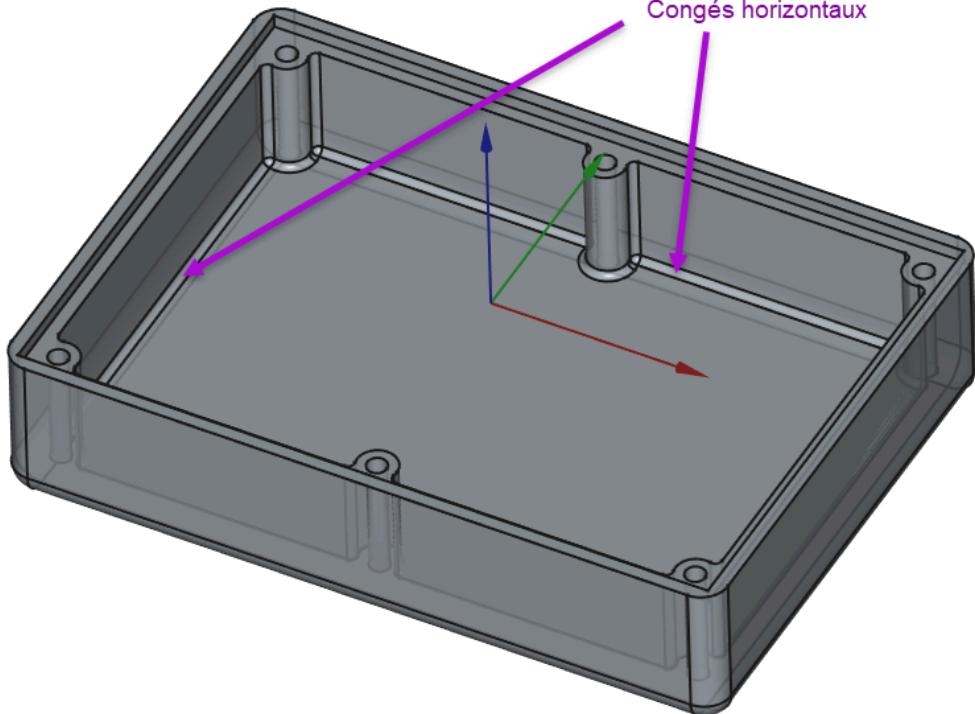
Sélection des arêtes pour les congés vitaux

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 Apple) .

Tâches à réaliser (suite)

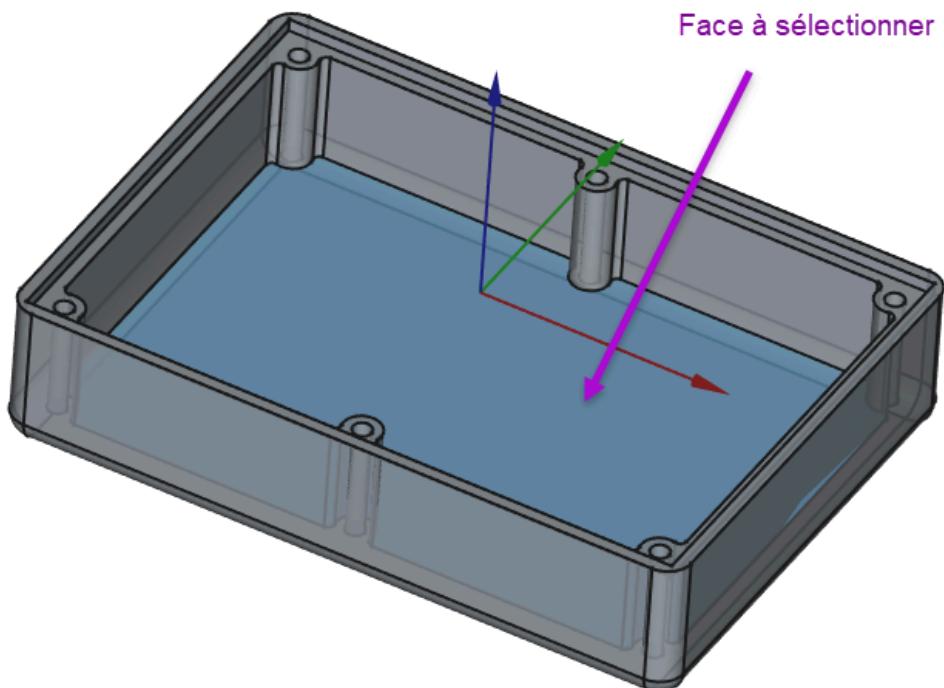
- Revenir si nécessaire en affichage filaire ombré (V puis 7 du clavier alphanumérique) ;
- Sélectionner le fond de la boîte et créer des congés de 1 mm ;



Congés horizontaux

ⓘ Aide :

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

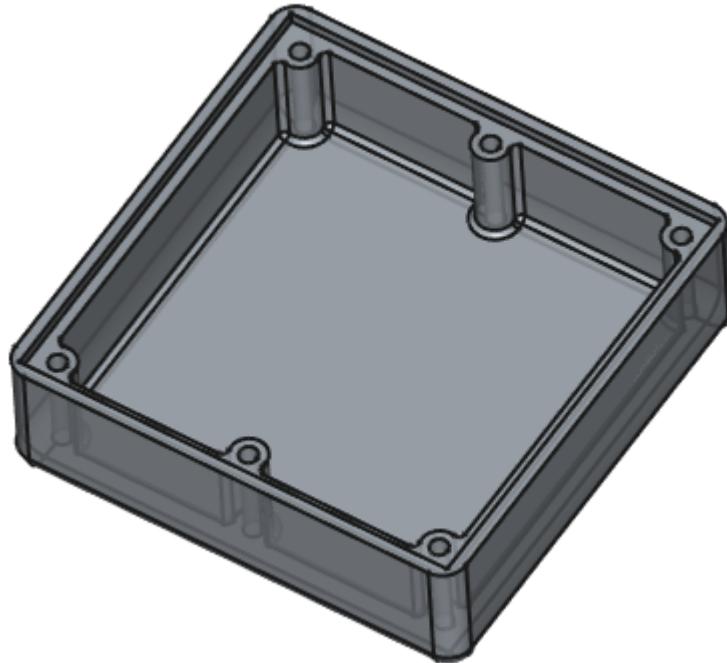


Sélection pour les congés horizontaux

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

TP6-2.mp4



7. Corps multiples

7.1. Sous-forme liée

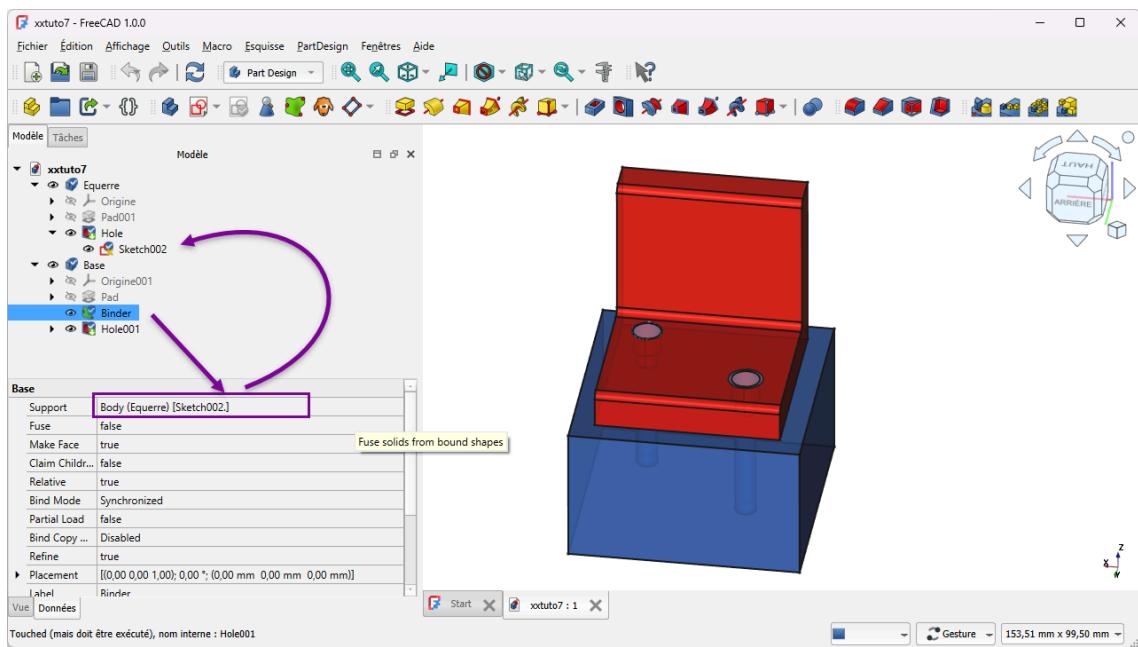
Objectif

- 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 !!!**

Explanations

- 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

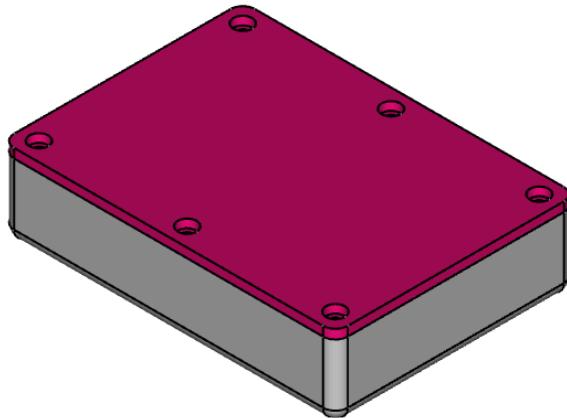
FreeCAD propose une seconde commande : la sous-forme liée  qui offre plus de souplesse. En particulier, la sous-forme liée  peut lier des géométries provenant de différents corps ;

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

7.2. Emboîtement

Nous allons ajouter un couvercle à notre boîte modélisée lors du TP6-2^[p.186]. (cf. [TP7-1-Plan.pdf](#))

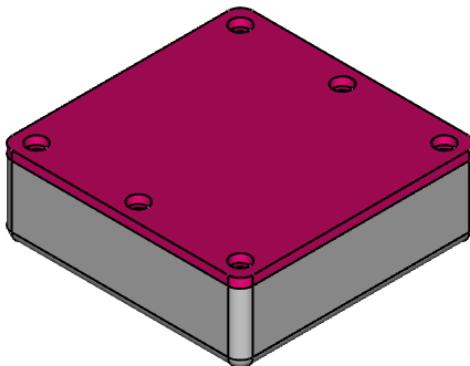
Travail à réaliser



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



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 ;

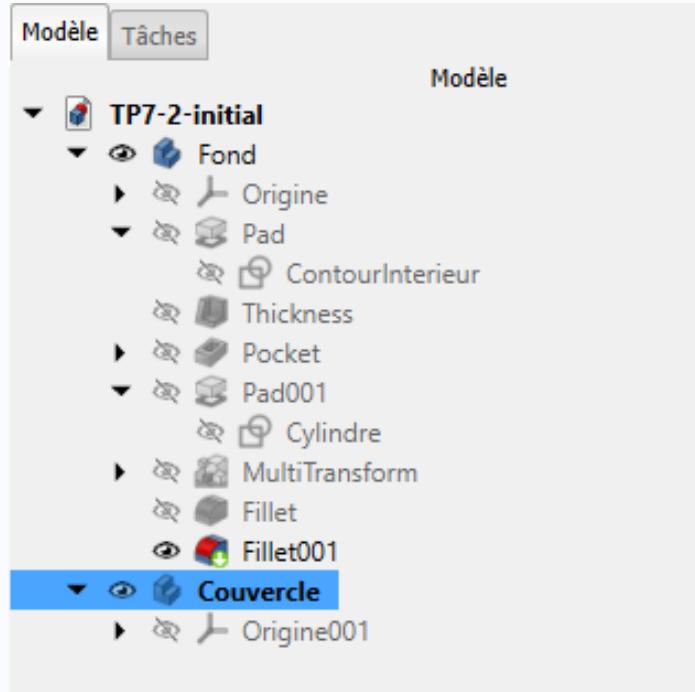
Tâches à réaliser

- 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

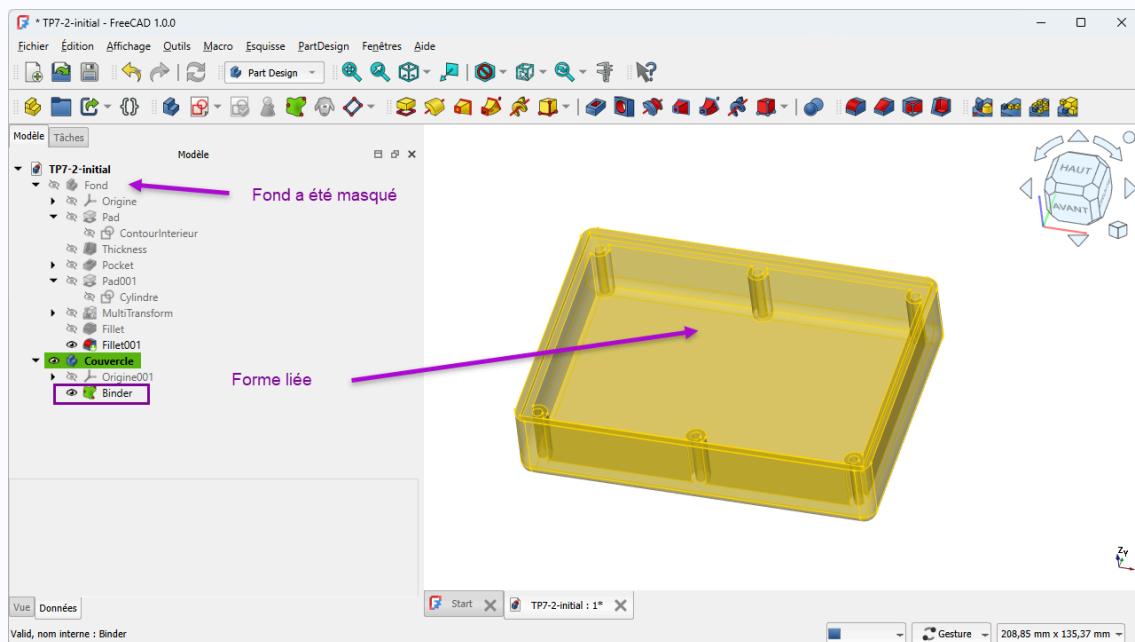
✓ Tâches à réaliser

- Ajouter un 2nd corps  que vous renomerez  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 Multitittransform 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 ?

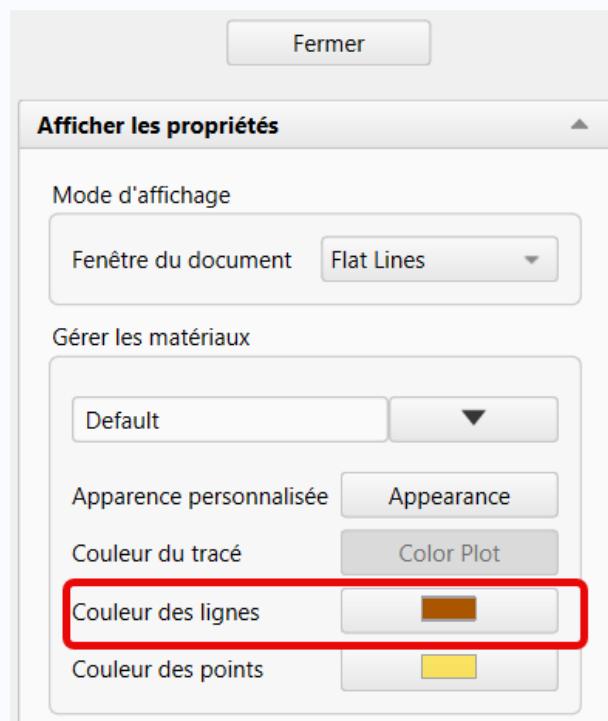
- Nous n'avons pas besoin de la définition des congés (Fillet), juste les dimensions du fond et de la position des trous ;

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 ;



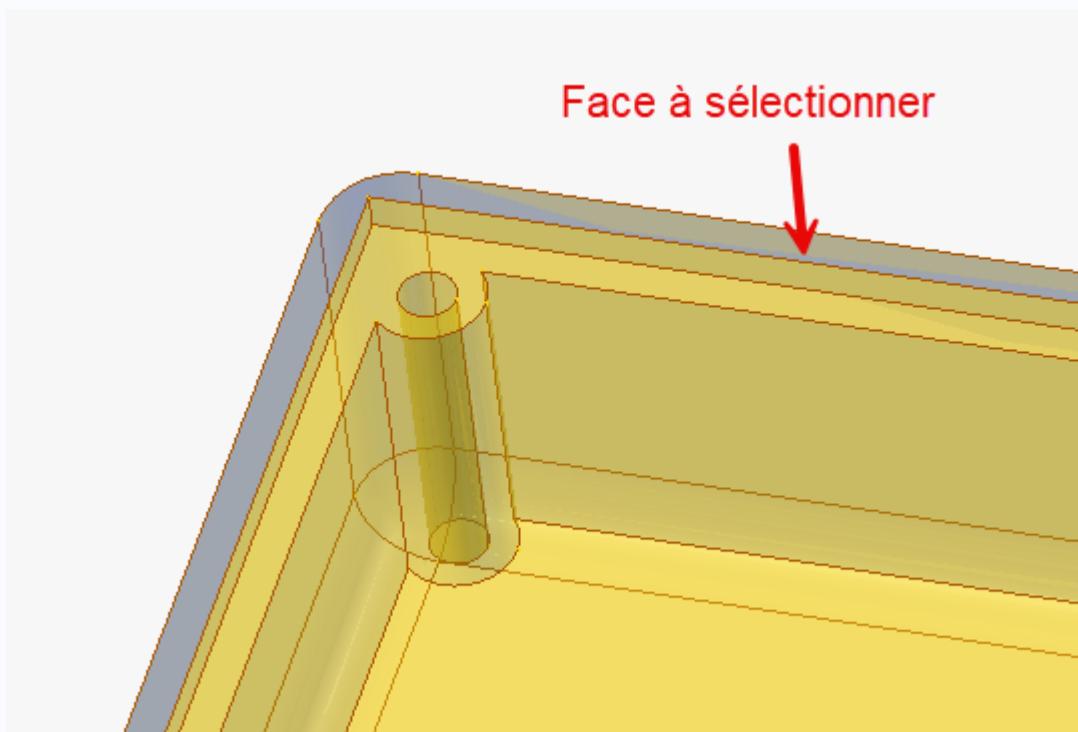
Choix de la couleur des lignes des



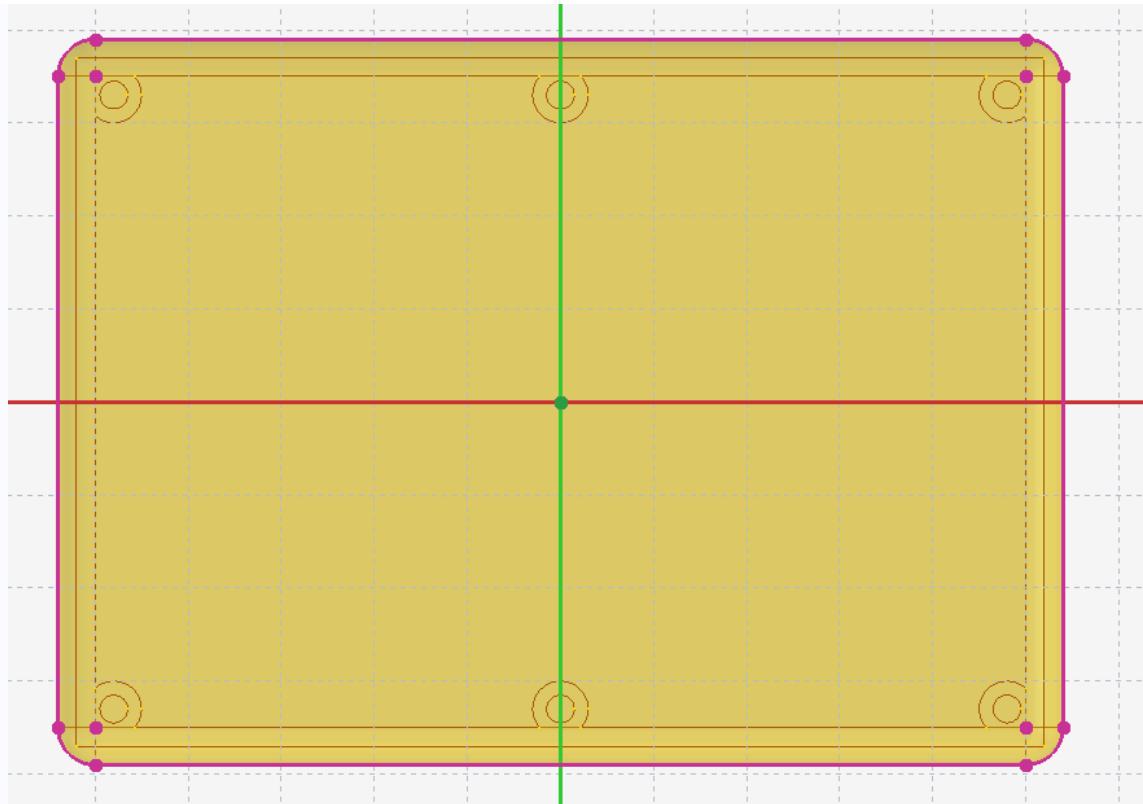
7.2.2. Partie supérieure

☰ Tâches à réaliser

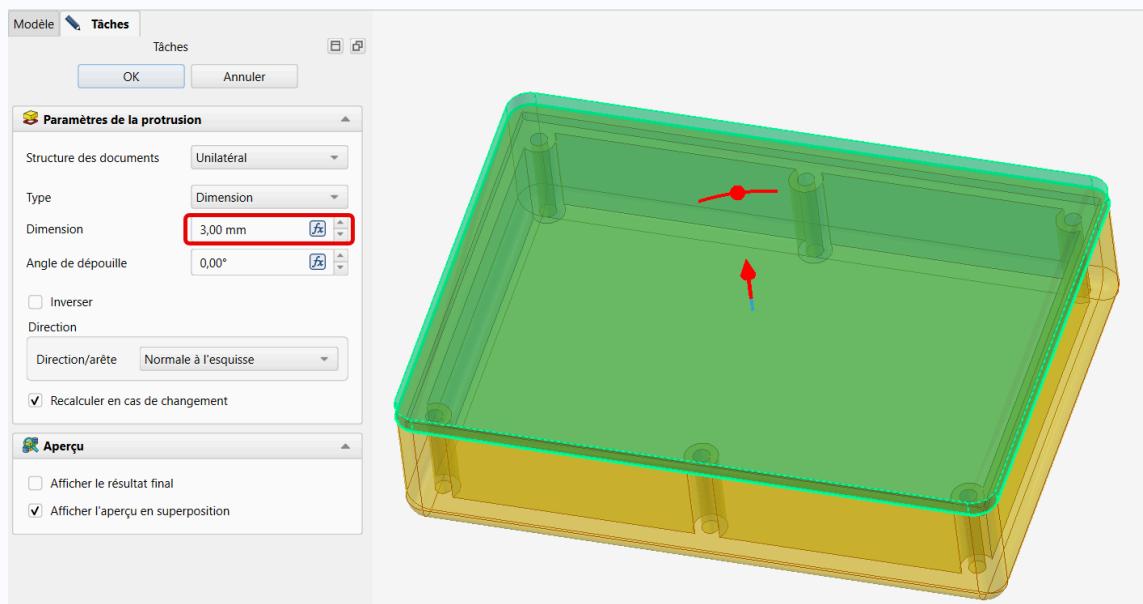
- Sélectionner la face supérieure de la sous-forme liée et ajouter une nouvelle esquisse



- Créer l'esquisse ci-dessous à l'aide de géométries externes de définition^[p.369] par intersection

*Esquisse de la partie supérieure du couvercle*

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

*Protrusion de la partie supérieure du couvercle*

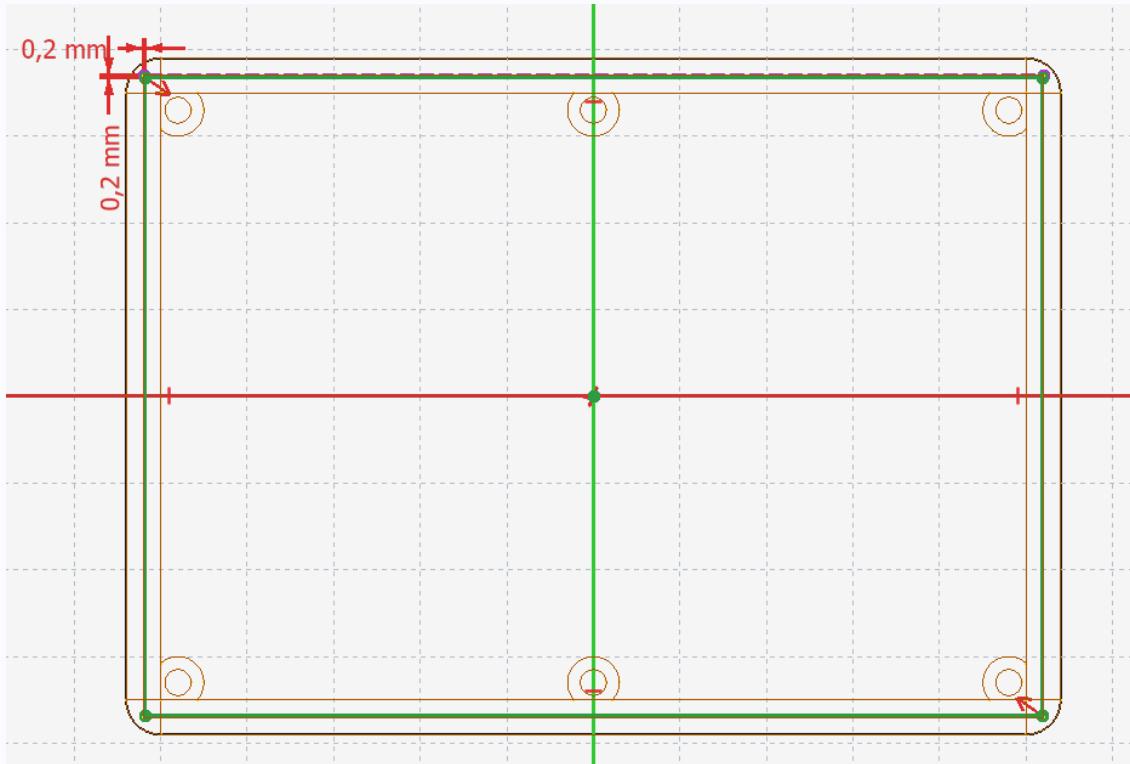
Aide pour la construction de l'esquisse

- Vérifier que vous êtes en Mode géométrie de **définition** (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

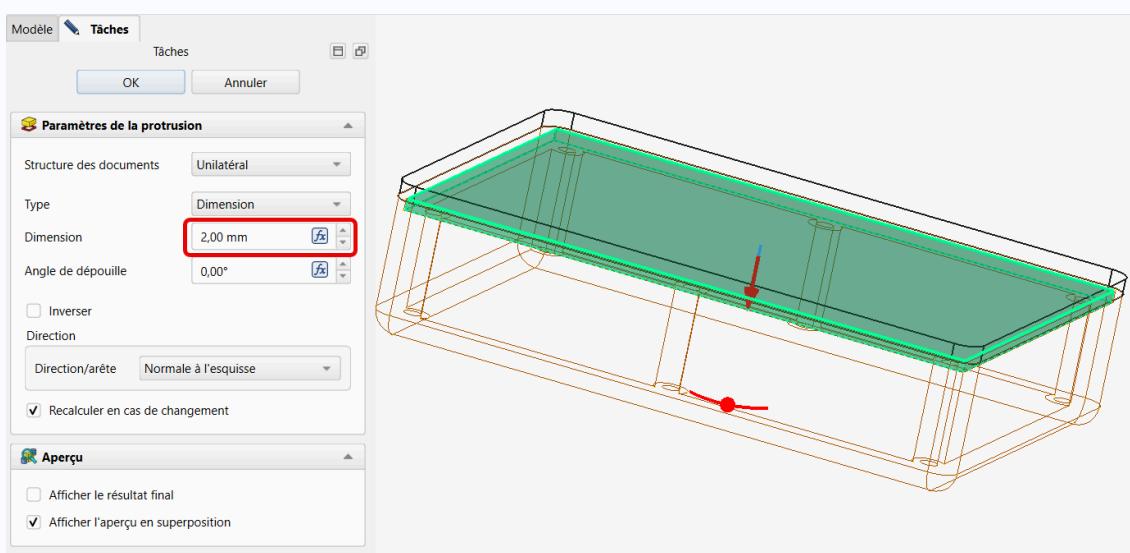
✓ Tâches à réaliser

- 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

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

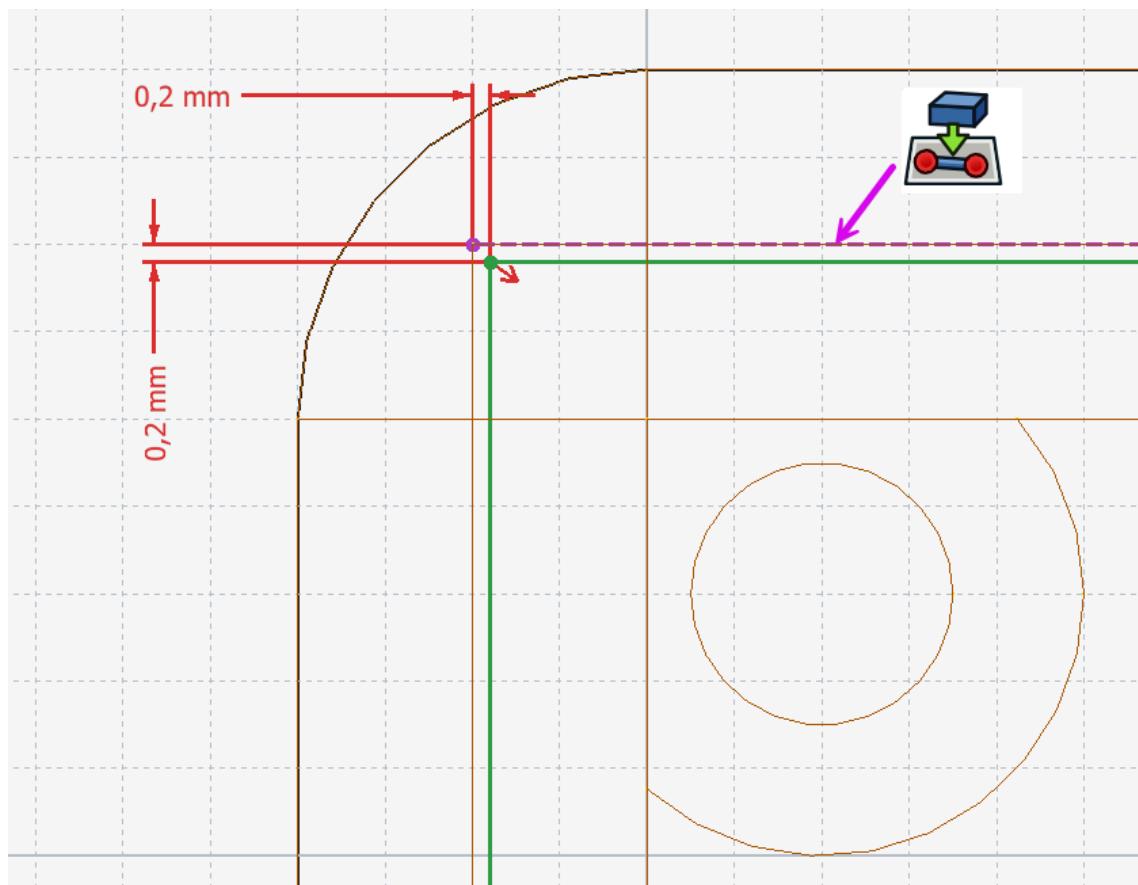


Protrusion de la partie inférieure du couvercle

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

Aide

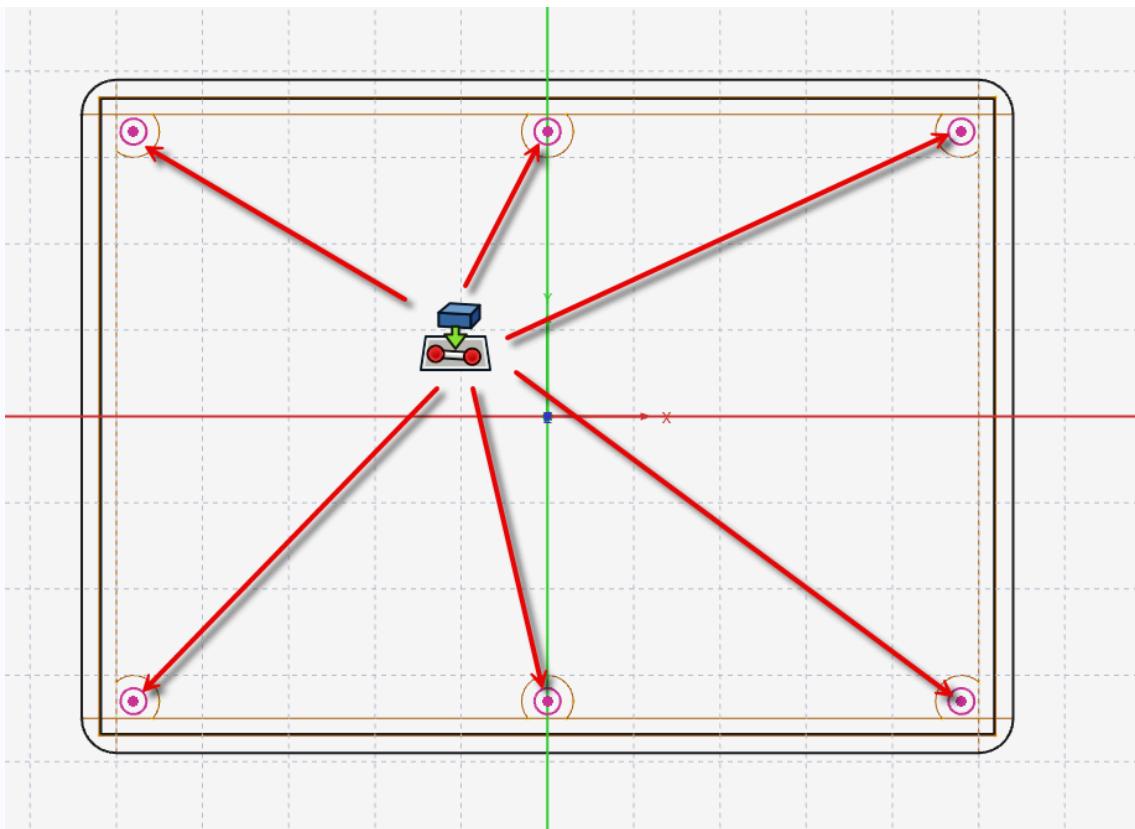
- Réafficher l'objet Binder si nécessaire ;
- Basculer en affichage filaire
- Créer une géométrie externe de construction^[p.369] par projection pour créer les deux contraintes de 0,2 mm correspondant au jeu prévu pour l'emboîtement de la partie basse du couvercle dans le fond de la boîte ;



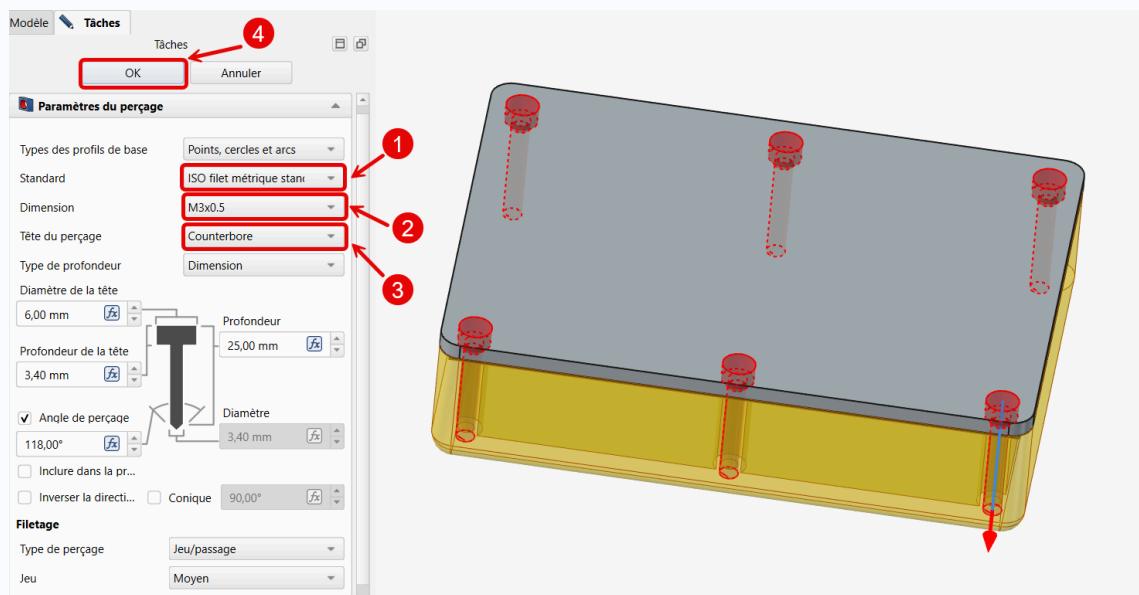
7.2.4. Perçages

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 de définition ;

*Esquisse pour le perçage*

- 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 ;

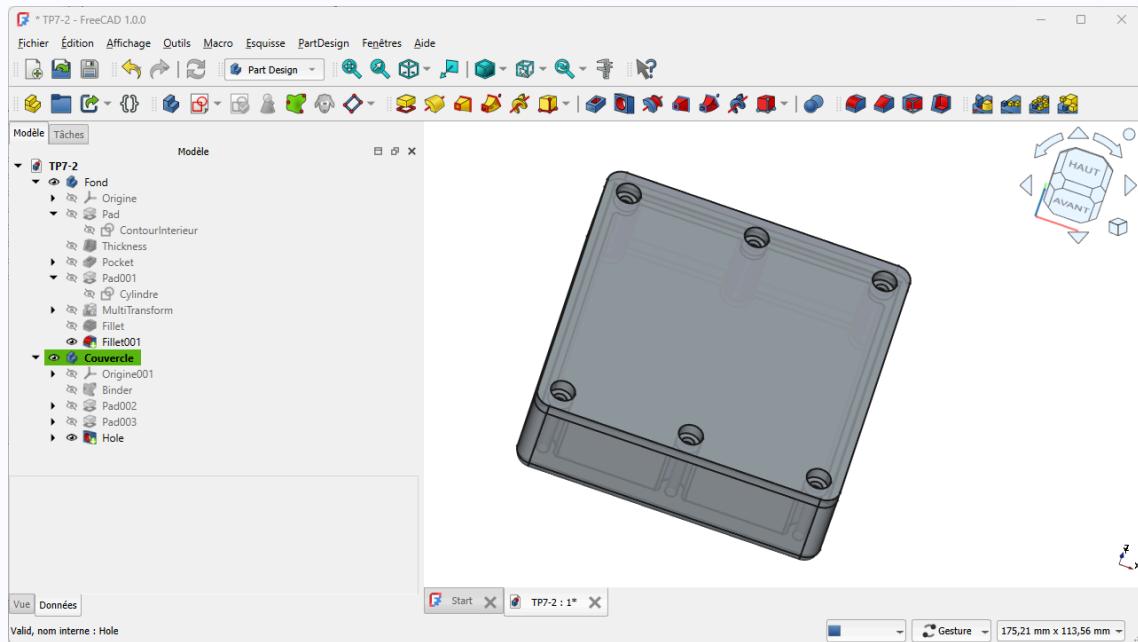
💡 Aide pour construire l'esquisse

- Réafficher l'objet Binder  si nécessaire ;
- Basculer en affichage filaire  ;
- Créer les 6 géométries externes de définition par projection  pour créer les 6 cercles ;

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

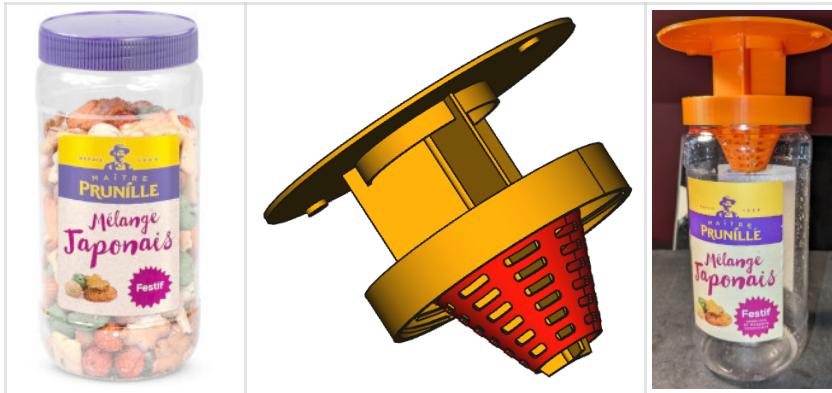


7.3. Opérateur booléen

Conseil

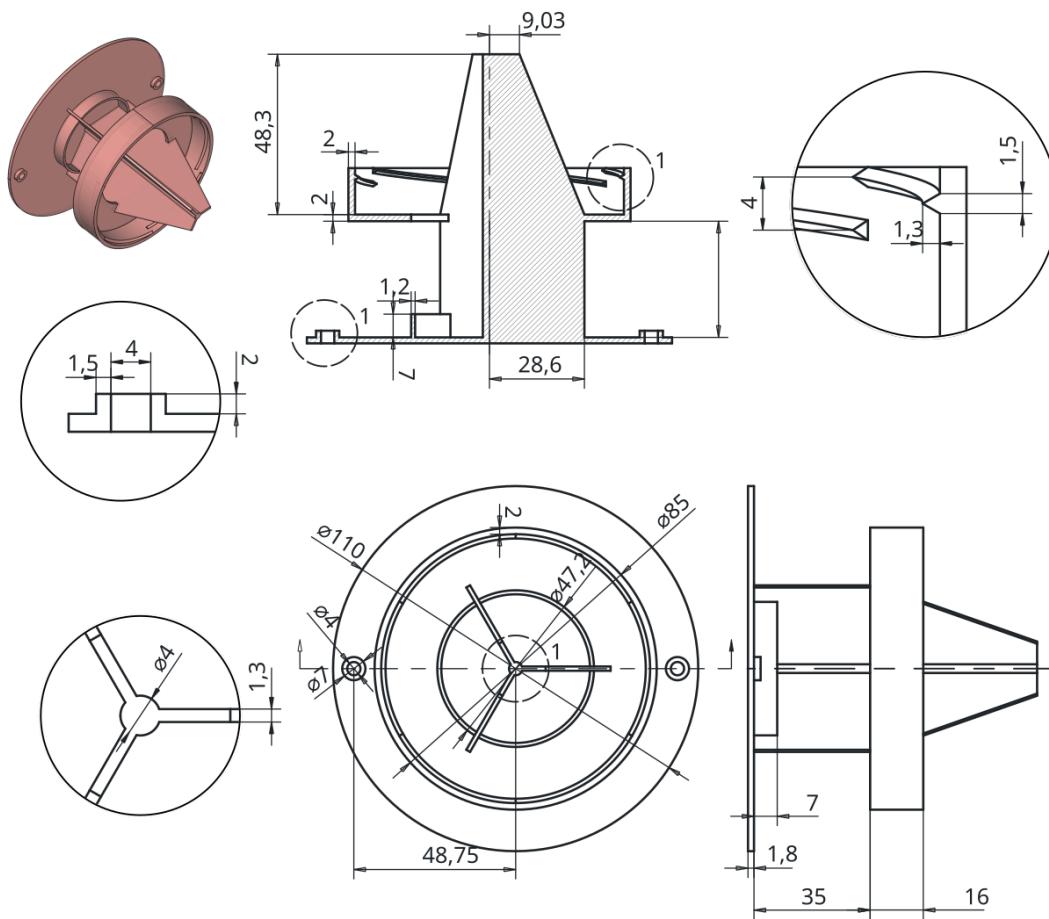
Dans ce TP, nous utilisons une feuille de calcul . Si vous ne connaissez pas bien l'atelier SpreadSheet , je vous invite à consulter le chapitre 8 ^[p.224] et à réaliser le TP 8-1 ^[p.225] avant de démarrer ce TP 7-3.

Nous allons créer un couvercle qui recevra le cône filtre du TP 9-3 et qui se vissera sur une boîte en plastique récupérée (emballage du commerce) pour créer un piège à frelons et guêpes :



Plan

cf [TP7-3-Plan.PDF](#)



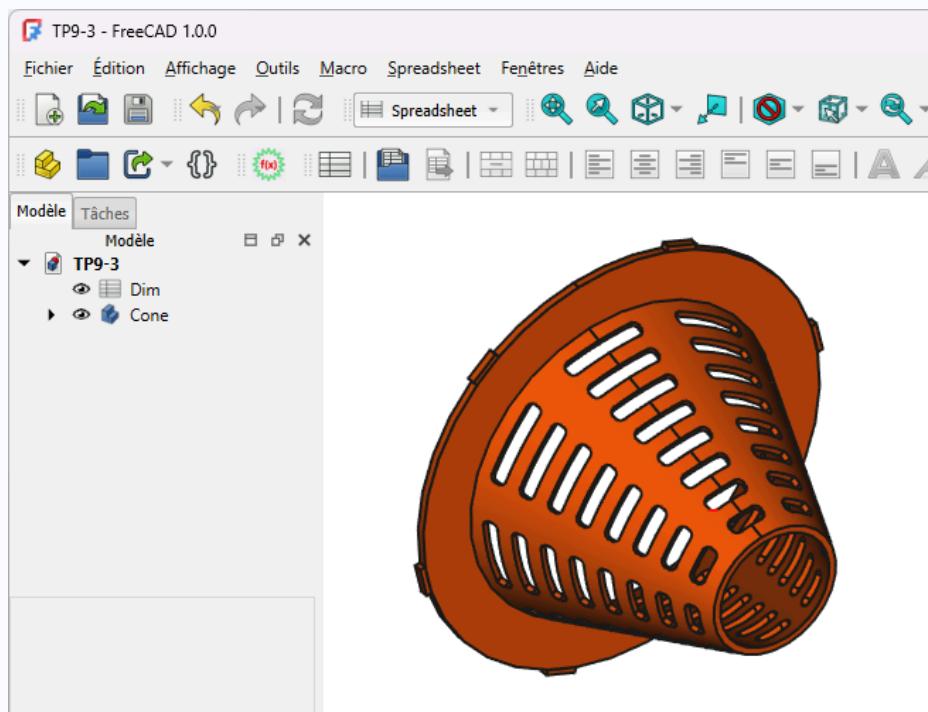
Objectifs

- Utiliser la fonction paramétrique Hélice additive  ;
- Utiliser une sous-forme liée  d'un corps ;
- Utiliser la commande Opérateur booléen  ;

7.3.1. Travail préparatoire

Tâches à réaliser

- Télécharger le fichier FreeCAD [TP7-3-initial](#) et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer le fichier sous le nom  TP7-3 ;



Contenu du fichier TP7-3-initial

Ce fichier FreeCAD contient :

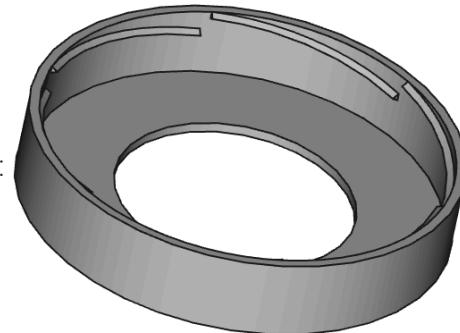
- le cône filtre modifié par rapport au TP 9-3 pour faciliter l'impression 3D et permettre une recalcul complet de la grille en cas de modification des valeurs dans la feuille de calcul ;
- une feuille de calcul  Dim contenant les dimensions utilisées dans la modélisation ;

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Dimensions de la boîte récupérée										
2	Diamètre extérieur (BoitDiam)	78,20 mm		Diamètre Chapeau (ChapeauDiam)	110,00 mm						
3	Nombre de filetages (BoitNbFiletage)	6		Epaisseur Chapeau (ChapeauEp)	1,80 mm						
4	Distance supérieure filetage (BoitHSupFiletage)	5,00 mm		Diamètre Fixation (ChapeauTrocDiam)	4,00 mm						
5	Distance inférieure filetage (BoitHInfFiletage)	9,00 mm		Distance centre fixation (ChapeauDistTrocFixation)	48,75 mm	<- Valeur calculée					
6	Hauterie filetage (BoitHttFiletage)	1,30 mm		Epaisseur renfort fixation (ChapeauEpTrocFixation)	1,50 mm						
7	Largeur filetage (BoitLargFiletage)	1,50 mm		Hauterie Renfort trou fixation (ChapeauHttTrocFixation)	2,00 mm						
8				Hauterie nervure (ChapeauHttNervure)	7,00 mm						
9	Cône			Epaisseur Nervure (ChapeauEpNervure)	1,20 mm						
10	Diamètre disque ext (ConeDiskDiam)	78,20 mm		Diamètre ext nervure (ChapeauDiamNervure)	47,20 mm	<- Valeur calculée					
11	Hauterie totale (ConeHttTotal)	45,30 mm									
12	Largeur disque (ConeLargDisk)	10,00 mm		Couvercle							
13	Épaisseur disque (ConeEpDisk)	1,50 mm		Distance Chapeau Couvercle (CouvercleChapeau)	35,00 mm						
14	Hauterie ergot (ConeHttErgot)	1,00 mm		Diamètre intérieur couvercle (CouvDiamInt)	81,00 mm	<- Valeur calculée					
15	Largeur ergot (ConeLargErgot)	5,80 mm		Epaisseur couvercle (CouvEp)	2,00 mm						
16	Petit diamètre intérieur du cône (ConePetitDiamInt)	21,50 mm		Diamètre ouverture couvercle (CouvDiamOuverture)	47,20 mm	<- Valeur calculée					
17	Épaisseur cône (ConeEp)	1,20 mm		Hauterie Couvercle (CouvHtt)	16,00 mm						
18	Largeur max des fentes de la grille (GrilleLargMax)	15,00 mm									
19	Largeur min des fentes de la grille (GrilleLargMin)	6,00 mm		Alles							
20	Nombre de fentes (GrilleNbFentes)	8		largeur ale intérieur (AileGrLarg)	28,60 mm	<- Valeur calculée					
21	Angle du cône (AngleCone)	22,05°	<- Valeur calculée	Haut ale intérieur (AileHtt)	48,30 mm	<- Valeur calculée					
22	long de la génératrice du cône (ConeLongGeneratrice)	47,26 mm	<- Valeur calculée	Petite largeur ale (AilePetLarg)	9,03 mm	<- Valeur calculée					
23	Espacement entre éléments de la grille (GrilleEspacement)	2,78 mm	<- Valeur calculée	Dia! Cylinder Liaison Ailes (DiamLiaisonAile)	4,00 mm						
24	Rayon arrondi des fentes de la grille (GrilleCorgel)	1,00 mm		ep. Aile (AileEp)	1,30 mm						
25											

Pour travailler confortablement :

- Télécharger et imprimer sur support papier le tableau des dimensions avec les alias : [TP7-3-dim au format PDF](#) ;

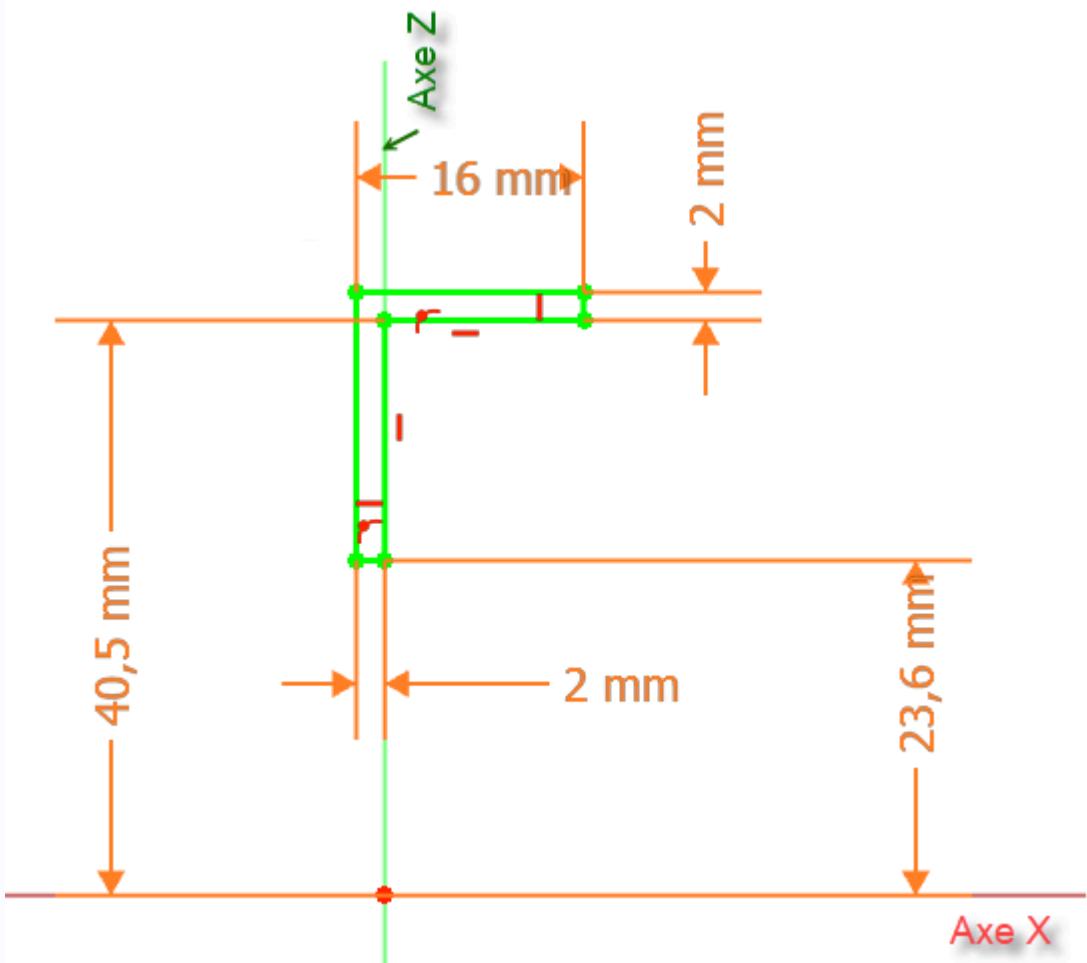
7.3.2. Création du couvercle



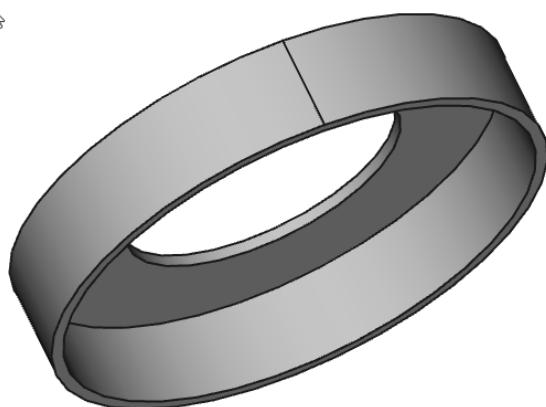
Nous allons modéliser la partie qui se visse sur l'emballage :

Tâches à réaliser

- Dans la vue combinée, masquer le cône à l'aide de la **barre d'espace** ;
- Créer un nouveau corps que vous renommez **Couvercle** (clic droit puis renommer) ;
- Créer l'esquisse ci-dessous dans le plan XZ en utilisant les alias de la feuille Dim pour définir les contraintes dimensionnelles ;

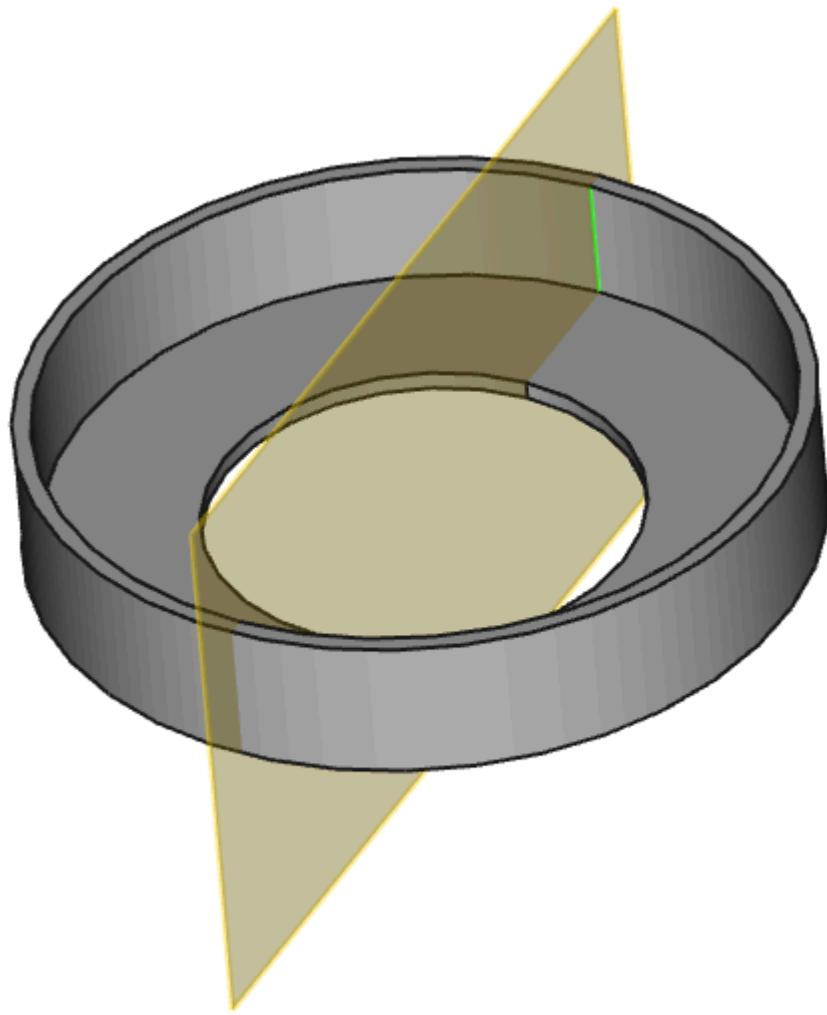


- Créer une révolution autour de l'axe X ;

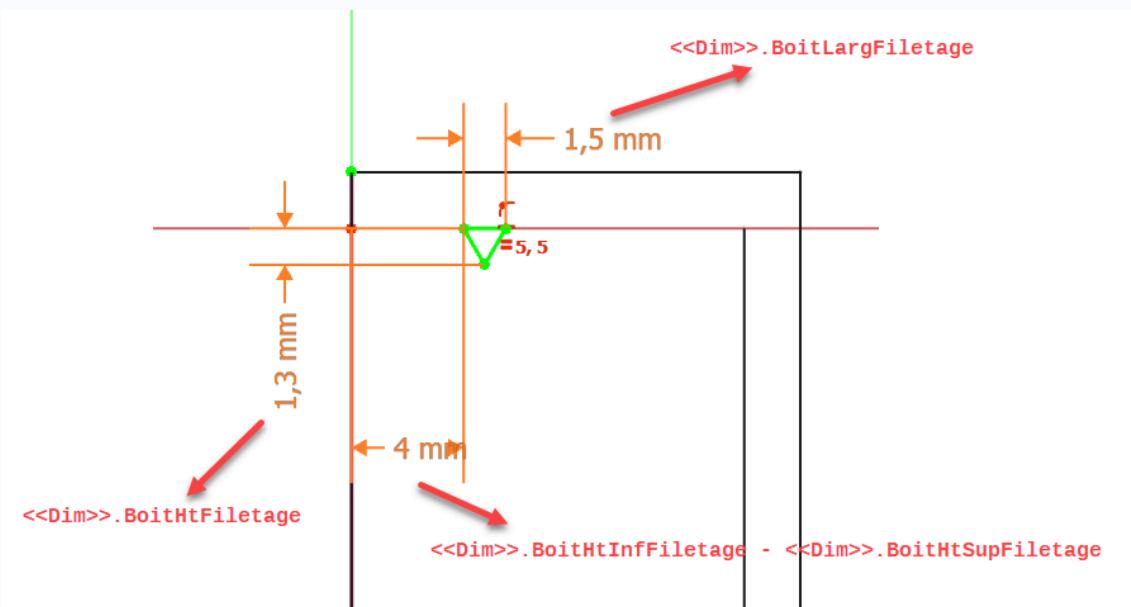


Tâches à réaliser

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



- Basculer en affichage filaire et créer l'esquisse ci-dessous dans ce plan de référence :

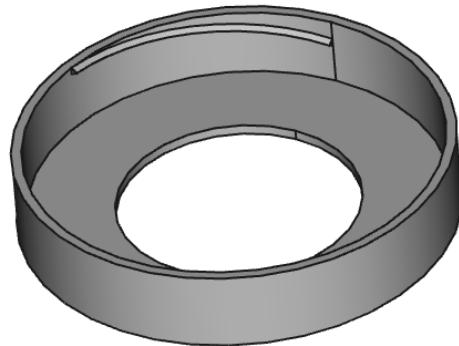


- Masquer le plan de référence dans la vue combinée pour mieux visualiser votre esquisse ;

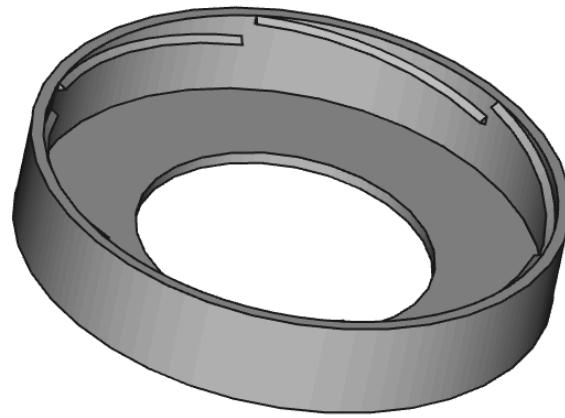
▼ Tâches à réaliser

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

Axe	Axe X	
Mode	Hauteur - Tours - Angles	
Hauteur	$<<Dim>>.BoitHtInfFiletage$	4 mm
	-	
	$<<Dim>>.BoitHtSupFiletage$	
Tours	$1/<<Dim>>.BoitNbFiletage$	0.17
Angle du cône	0°	



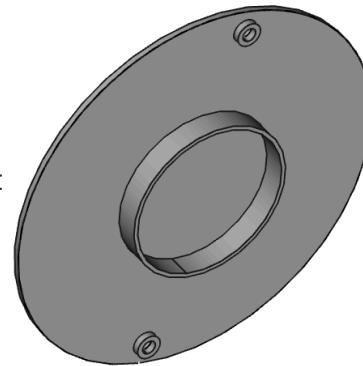
- Sélectionner l'hélice et créer une répétition circulaire  : autour de l'axe X, 6 occurrences sur 360° ;



7.3.2.1. Capture vidéo

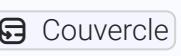


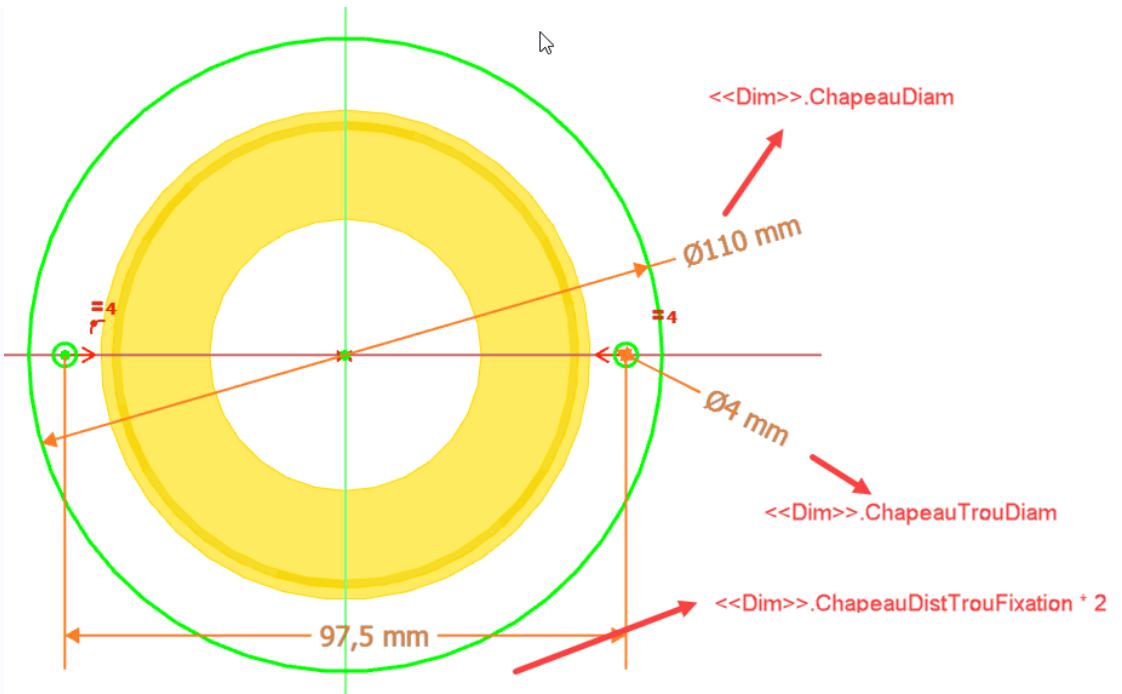
7.3.3. Création du chapeau



Nous allons maintenant modéliser le chapeau du piège :

Tâches à réaliser

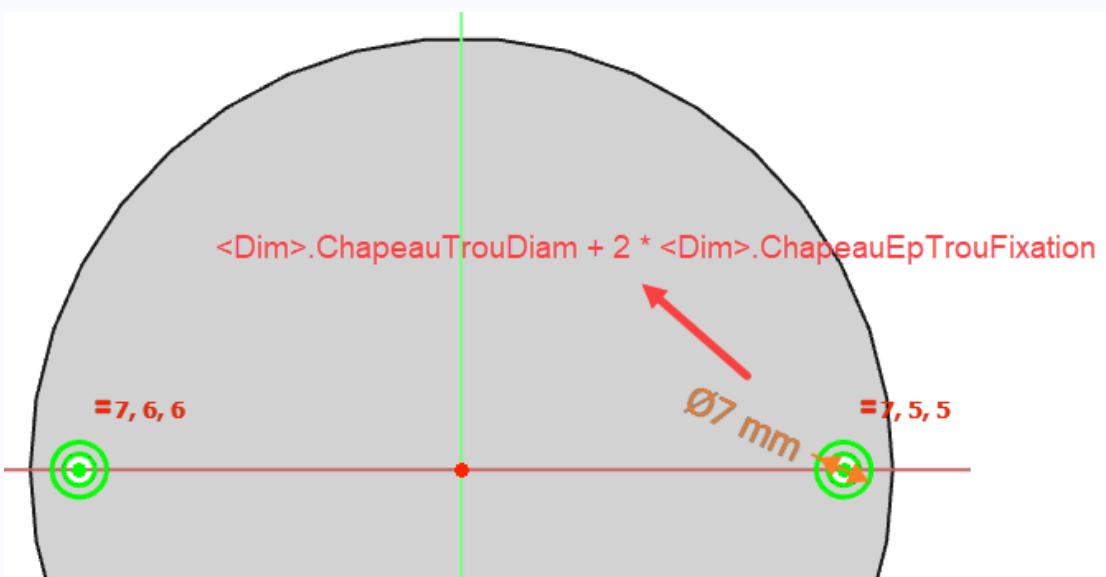
- Créez un nouveau corps  que vous renommez  Chapeau ;
- Créez une forme liée  du  Couvercle , puis masquer le couvercle ;
- Sélectionnez la face plate de la forme liée et créer un plan de référence  ;
- Décaler ce plan de référence sur l'axe Z de la distance  `<<Dim>>.CouvDistChapeau` ;
- Créez l'esquisse  ci-dessous attachée à ce plan de référence ;



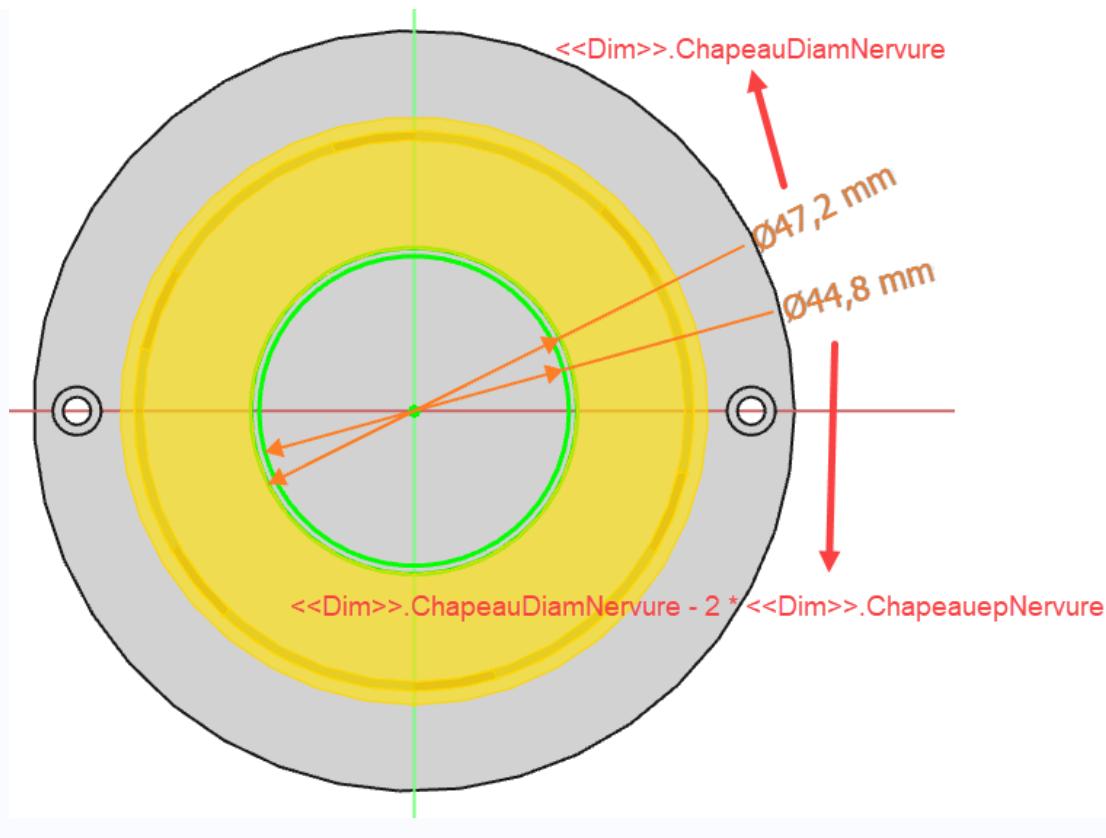
- Créer une protrusion d'épaisseur (I) Dim.ChapeauEp ;

Tâches à réaliser

- Créer l'esquisse ci-dessous en sous-face du chapeau puis une protrusion d'épaisseur (I) <Dim>.ChapeauHtTrouFixation pour créer les renforts des trous de fixation ;



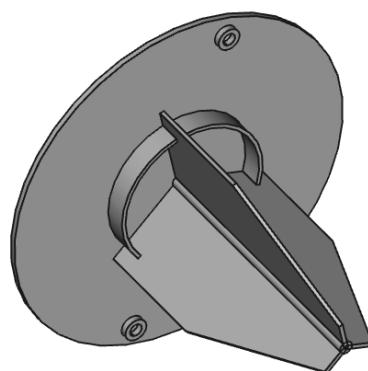
- Créer l'esquisse ci-dessous en sous-face du chapeau puis une protrusion d'épaisseur (I) <Dim>.ChapHtNervure pour créer la nervure ;



7.3.3.1. Capture vidéo



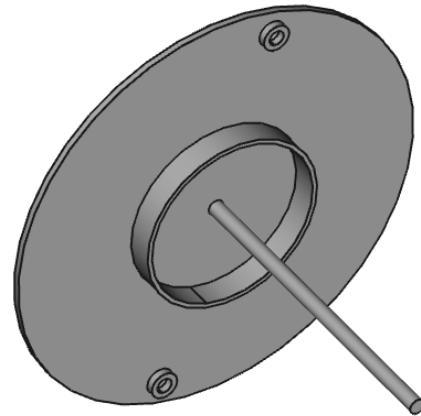
7.3.4. Création des ailes



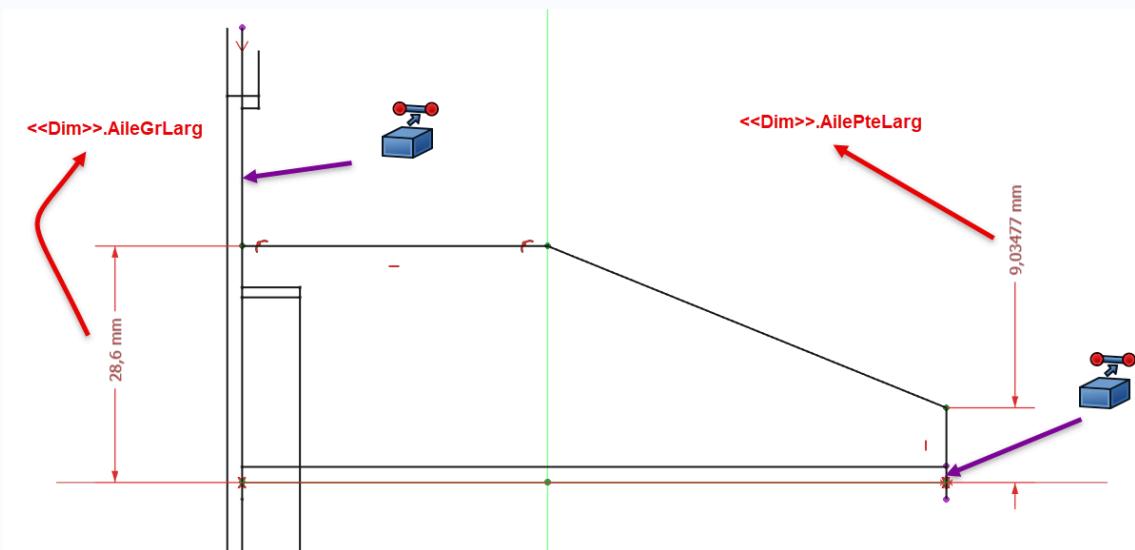
Nous allons maintenant ajouter les ailes au chapeau :

▼ Tâches à réaliser

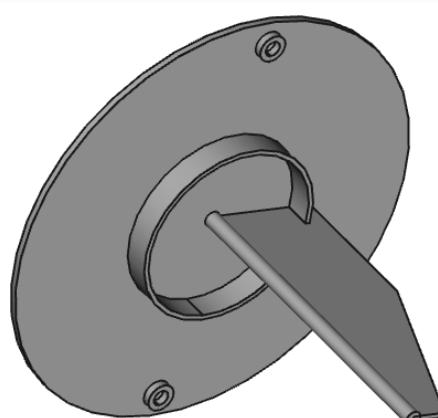
- Créer le cylindre de liaison de diamètre DiamLiaisonAile et de longueur $\text{CouvDistChapeau} + \text{CouvEp} + \text{AileHt}$ à l'aide d'une esquisse  et d'une protrusion  ;



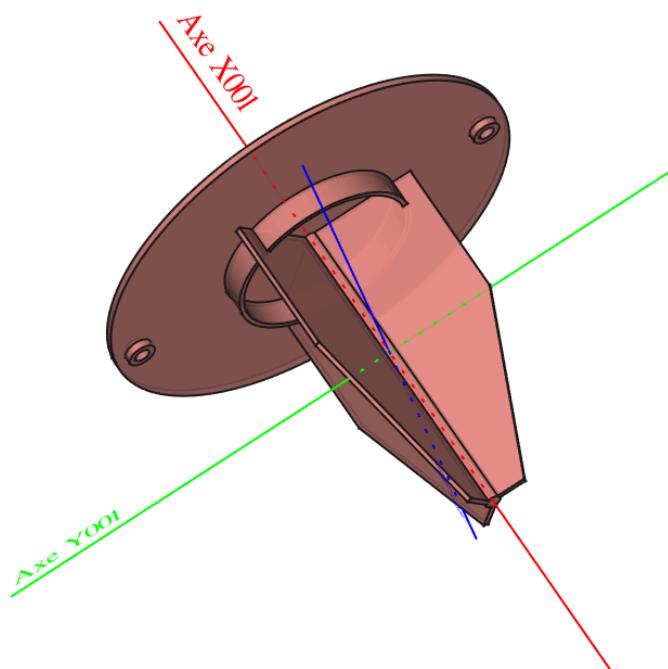
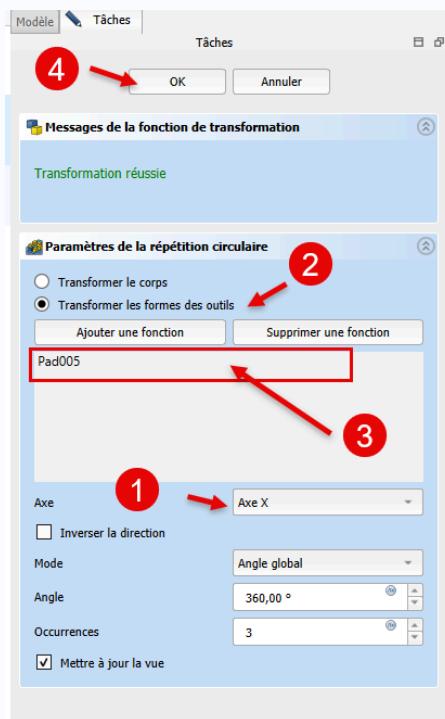
- Basculer en affichage filaire  et créer l'esquisse  ci-dessous dans le plan XY ;



- Revenir en affichage filaire ombré  et créer une protrusion  symétrique d'épaisseur AileEp ;



- Créer une répétition circulaire  autour de l'axe X de 3 occurrences sur 360°

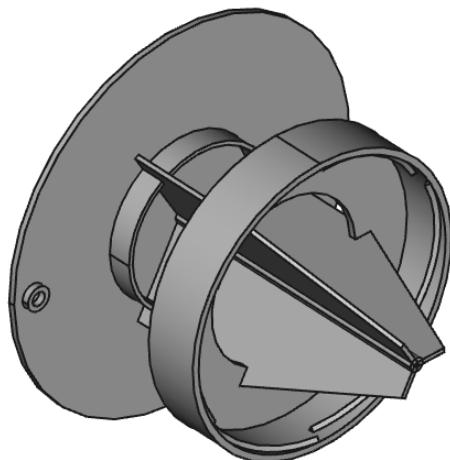


7.3.4.1. Capture vidéo



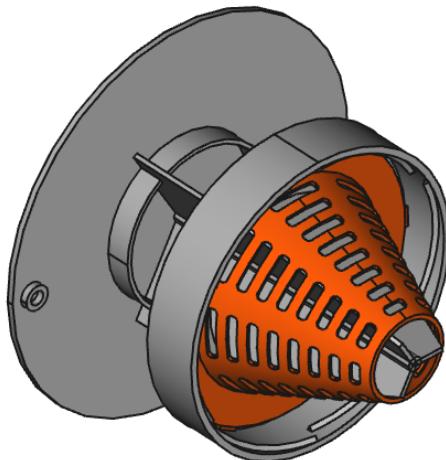
7.3.5. Fusion du chapeau et du couvercle

Nous allons maintenant fusionner le couvercle et le chapeau :



🕒 Tâches à réaliser

- Dans la vue combinée, afficher le couvercle ;
- Si nécessaire, activer le chapeau ;
- Sélectionner la commande Opérateur booléen  et ajouter le couvercle ;
- Afficher le cône pour visualiser le piège à frelons complet ;



7.3.5.1. ⏴ 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

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Disque								
2	Diamètre	78,70 mm					Alias : DisqDiam		
3	Largeur	10,00	DisqDiam						
4	Épaisseur	1,70 mm							
5	Cône								
6	Hauter 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									

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.

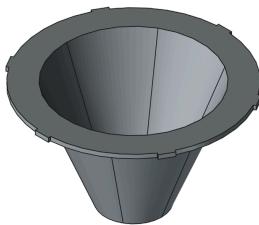
cf https://wiki.freecadweb.org/Spreadsheet_Workbench/fr

8.1. TP 8-1

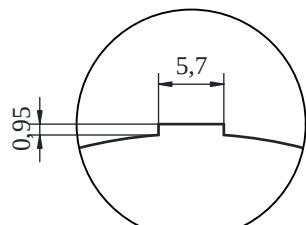
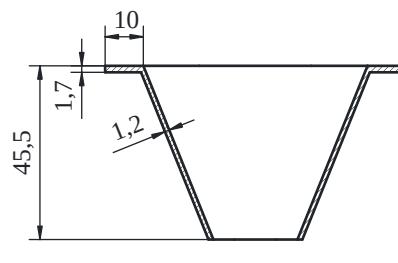
Objectifs

- 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 ;

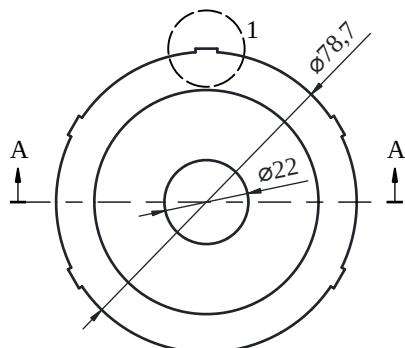
Nous allons modéliser le solide suivant (cf. [TP8-1-Plan](#)) en utilisant une feuille de calcul contenant toutes les dimensions du modèle.



TP8-1



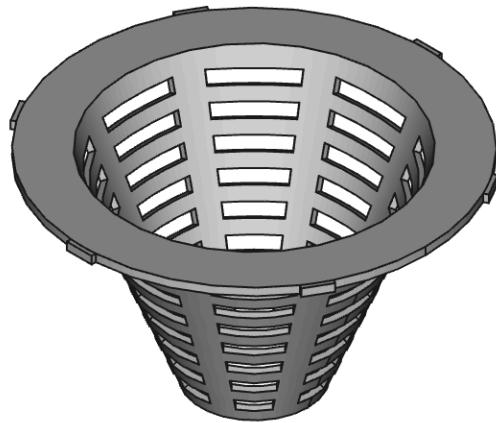
Détail 1





Complément

Ce modèle sera complété au chapitre Draft  TP 9-3 pour devenir la 1^{ère} pièce 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 ;

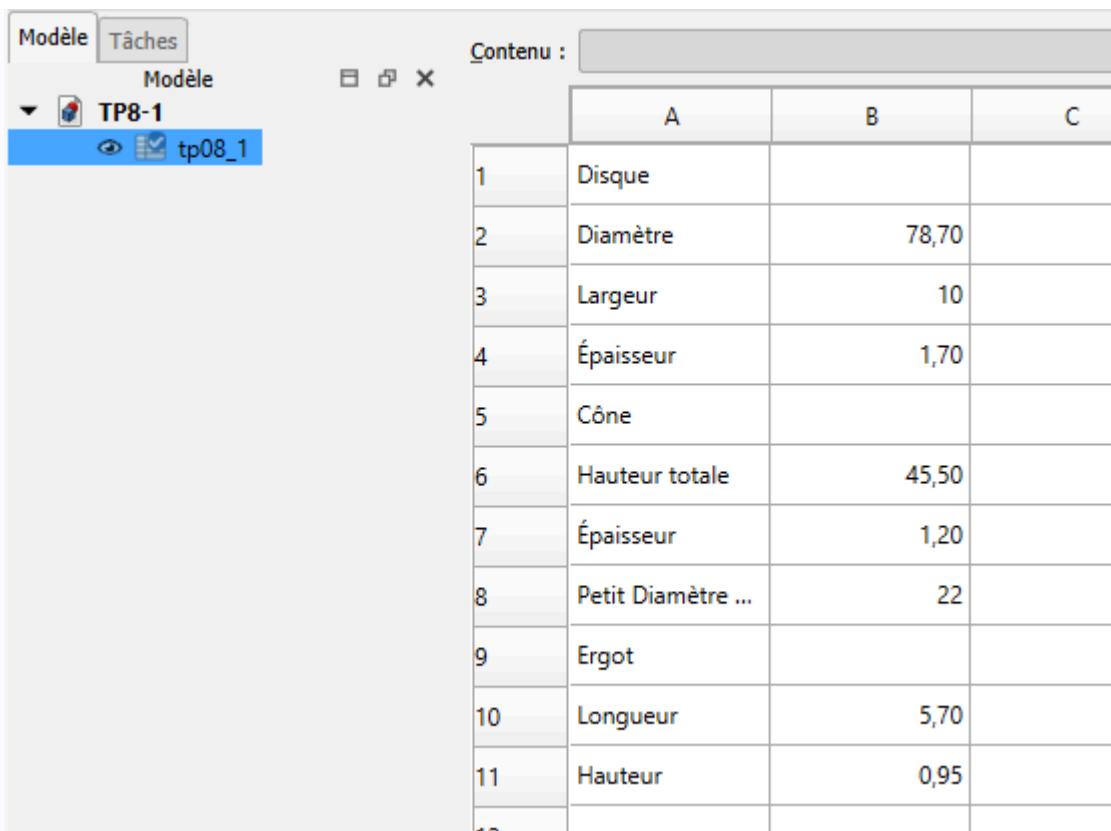
Remarque

- Le fichier  tp08-1.csv est une feuille de calcul au format CSV^[p.368] contenant les dimensions nécessaires à la modélisation du solide.
- Nous l'utilisons ici simplement pour gagner du temps de saisie.

8.1.1. Crédit 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 ;

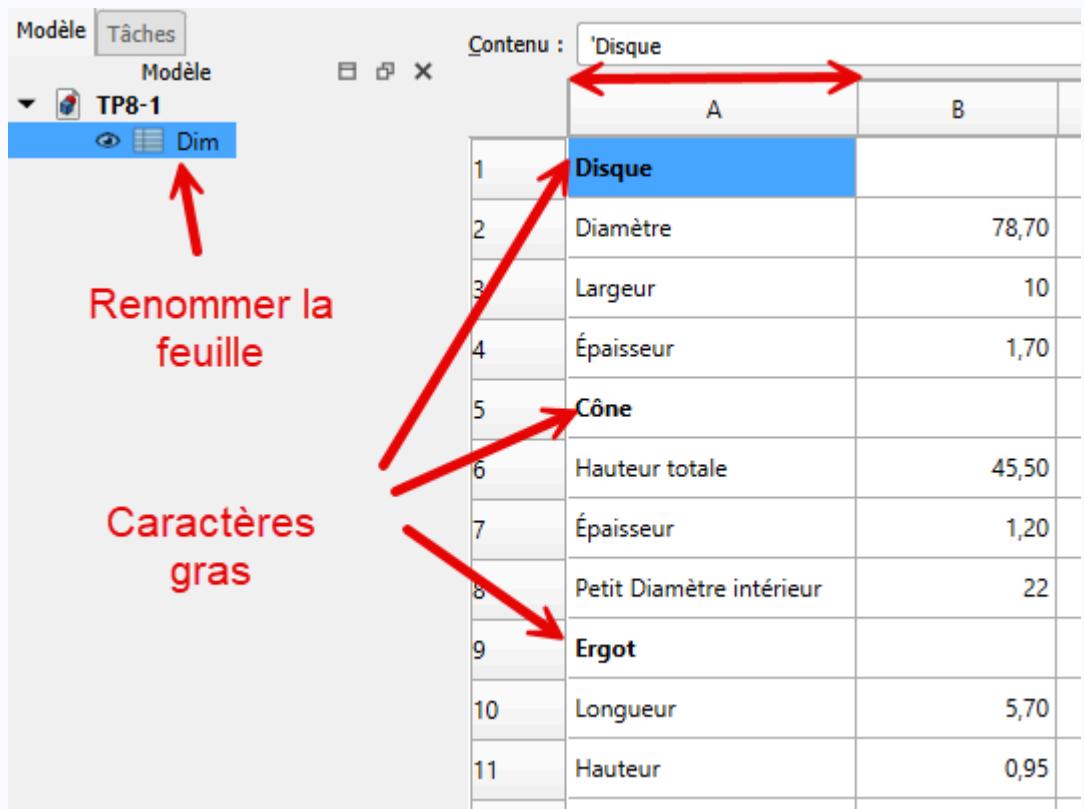


The screenshot shows the FreeCAD Spreadsheet interface with the following table:

	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 :



The screenshot shows the FreeCAD Spreadsheet interface with the following table after renaming and styling:

Renommer la feuille (Rename sheet) is shown with an arrow pointing to the sheet tab.

Caractères gras (Bold characters) is shown with an arrow pointing to the bolded header row.

The table has a header row with bolded text and a header cell 'A' with a double-headed red arrow indicating it spans two columns.

	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



- 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
			<i>Alias</i>	

- Enregistrer votre document ;

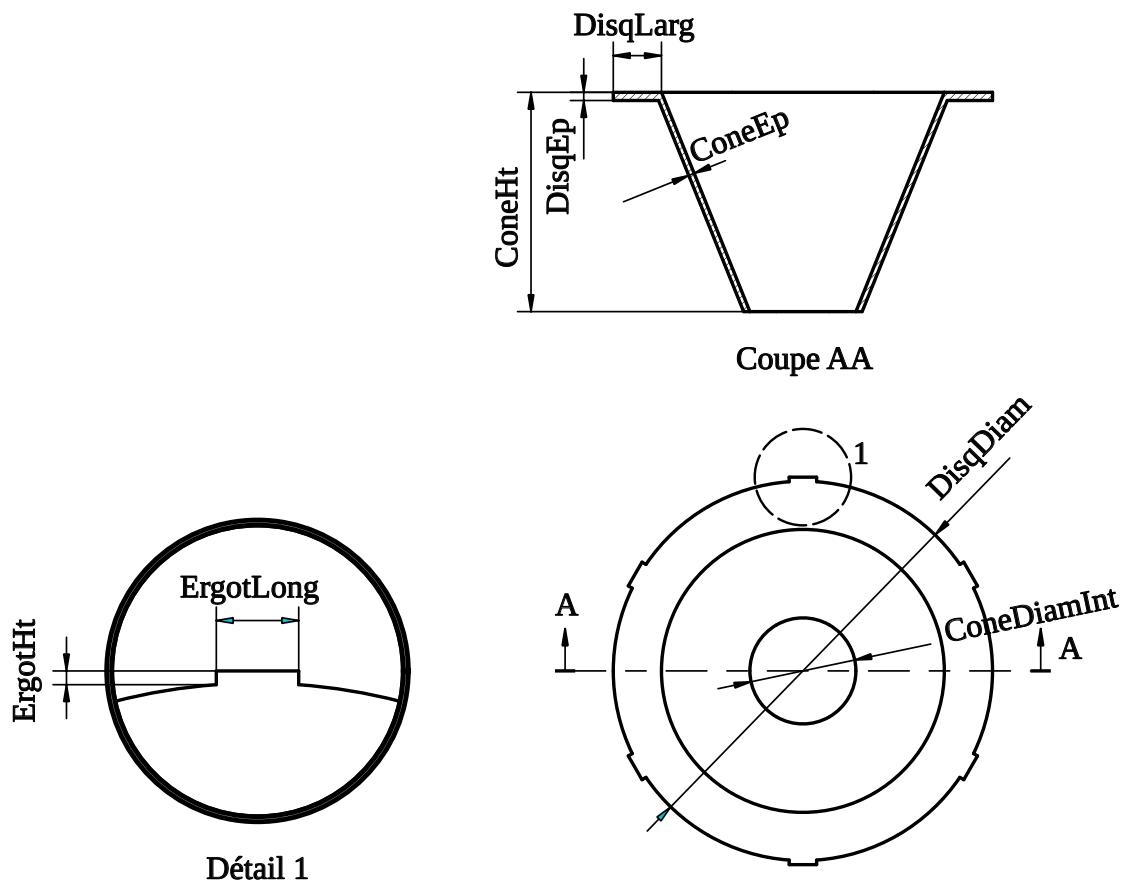
💡 Pour saisir un alias :

- 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



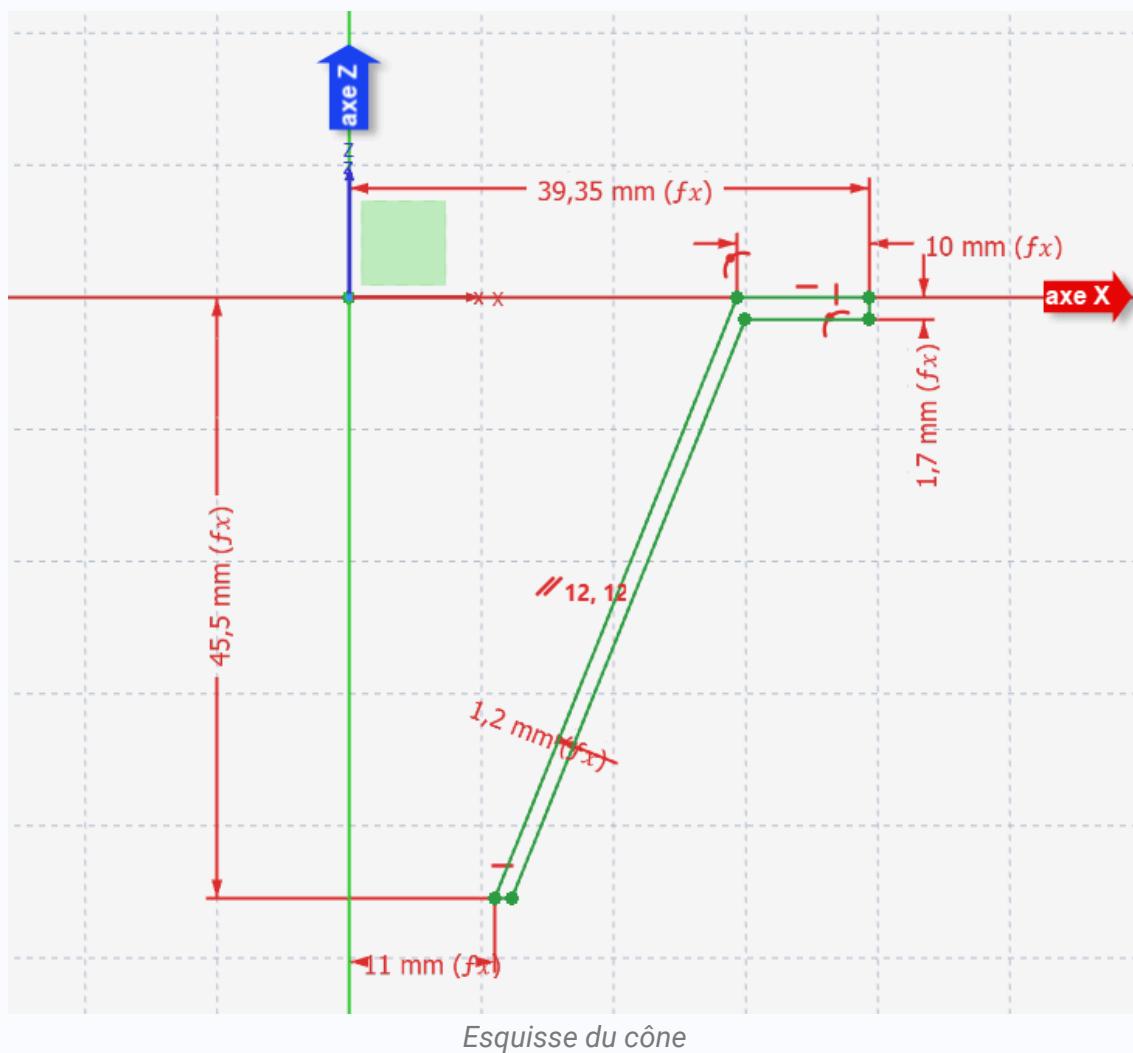
8.1.2. 1^{ère} esquisse & révolution

Tâches à réaliser

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

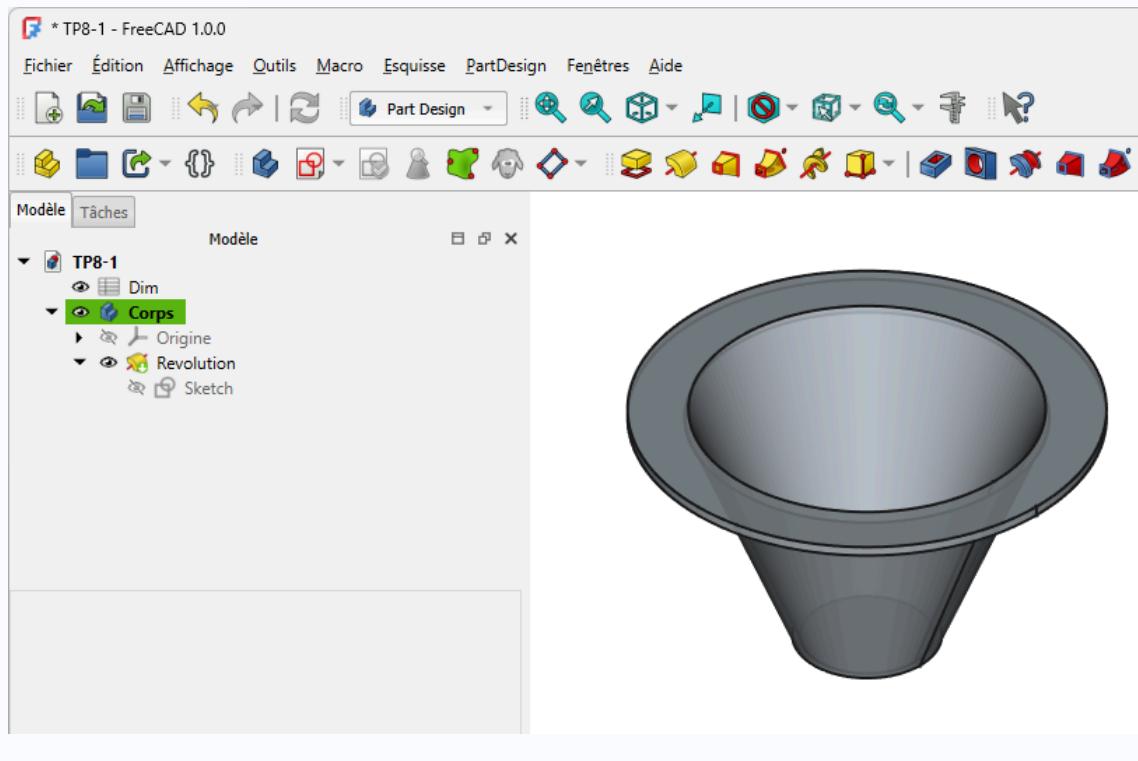


- Créer l'esquisse ci-dessous à l'aide d'une polyligne  et saisir les contraintes via les alias de la feuille de calcul :





- 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 :

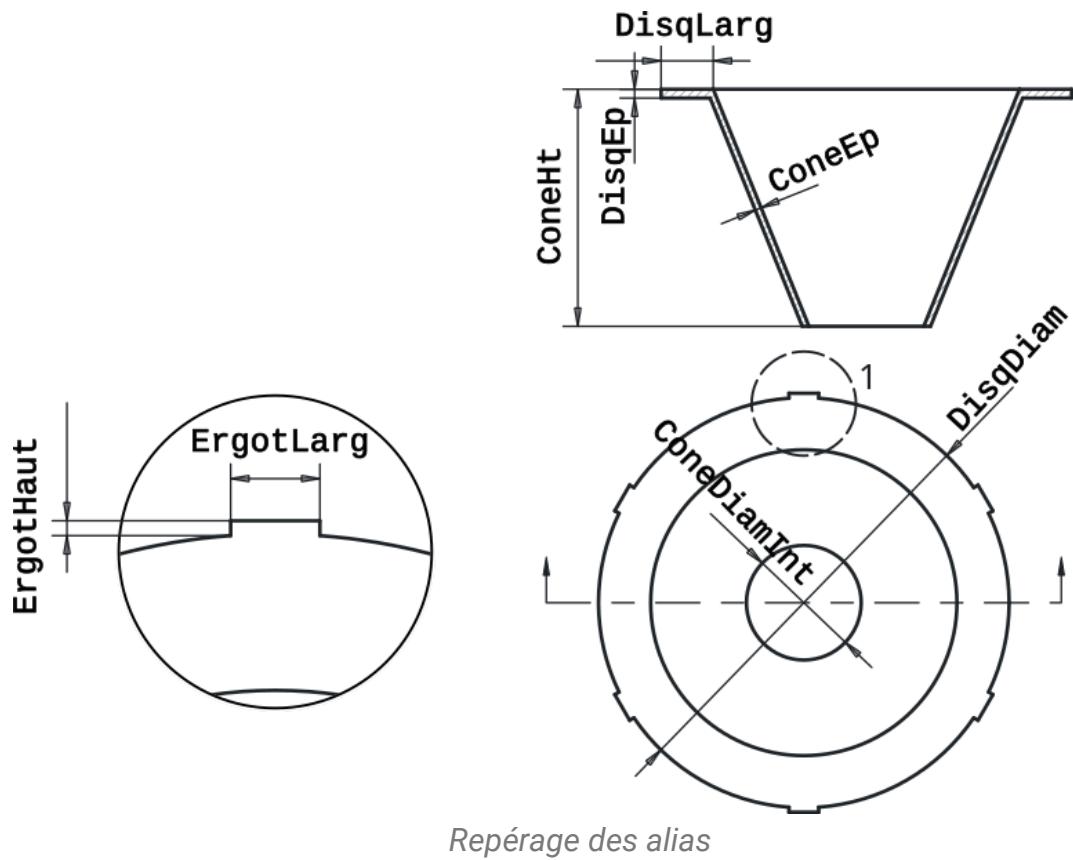
- soit cliquer sur le bouton 
- soit appuyer sur la touche =,

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

- saisir  : 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  : FreeCAD affiche la liste des alias qui commence par Dis : sélectionner l'alias souhaité à l'aide des flèches du curseur ;



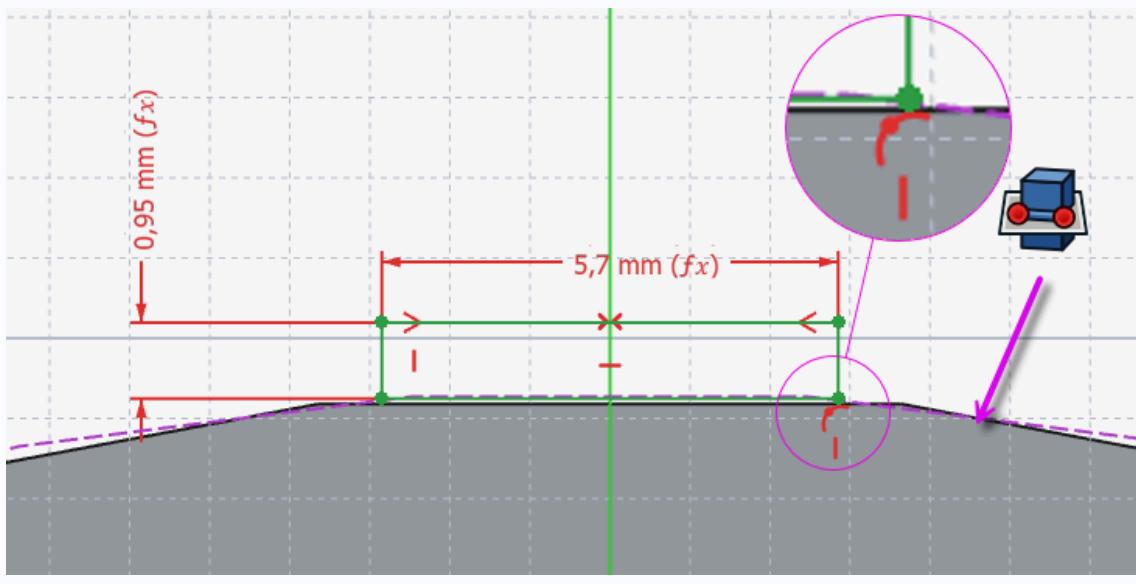
💡 Correspondance entre les données de la feuille et les dimensions du modèle



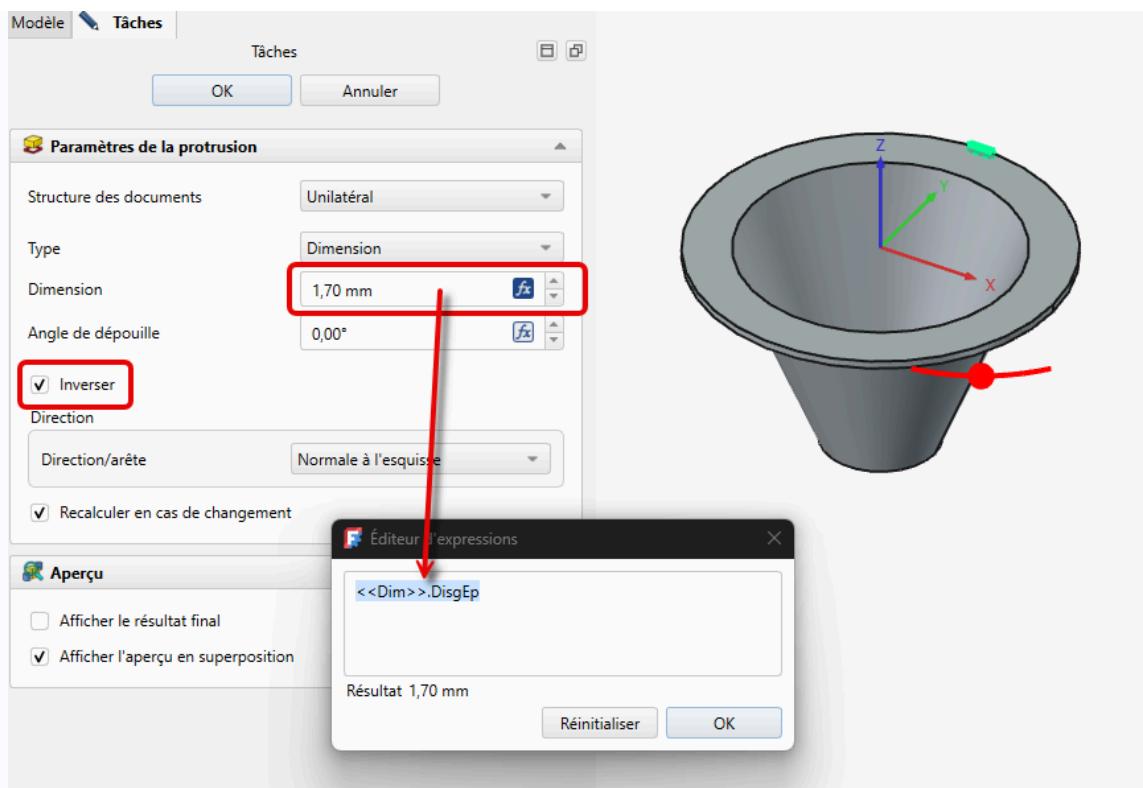
8.1.3. Créations des Ergots

🕒 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 ;

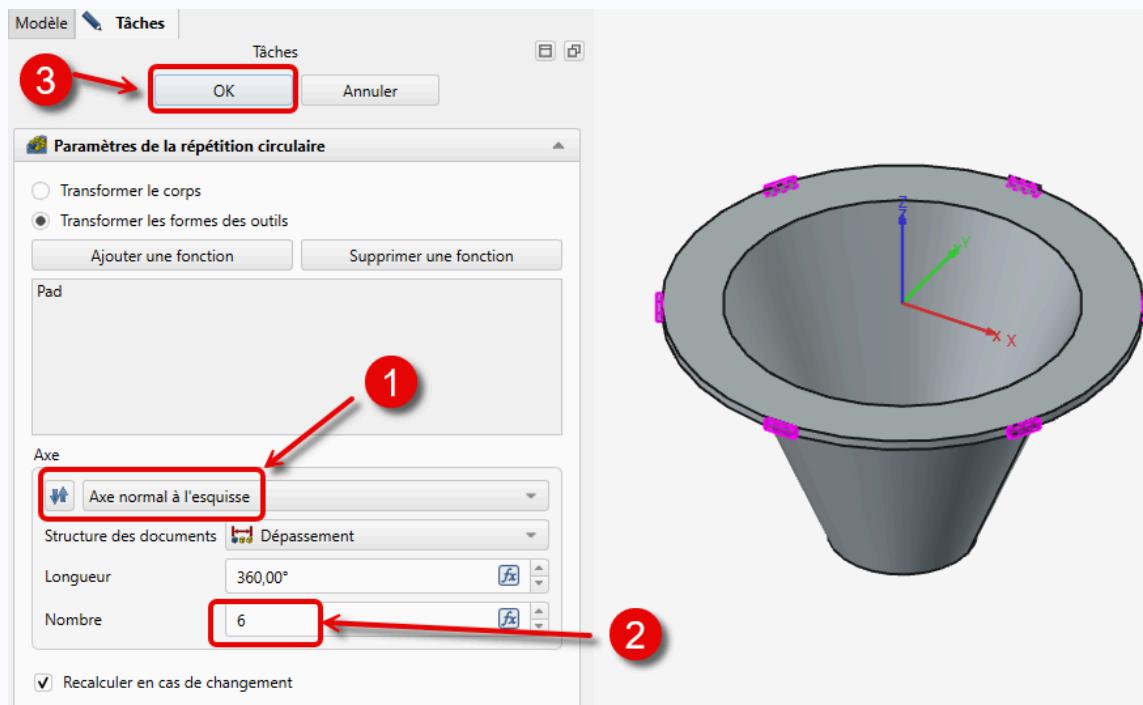


- Créer une protrusion inversée et d'épaisseur l'alias DisqEp ;



Protrusion de l'ergot

- Créer une répétition circulaire de 6 éléments ;



Répétition circulaire de l'ergot

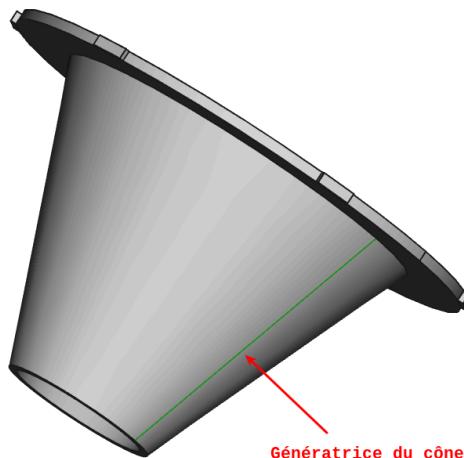
Aide

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



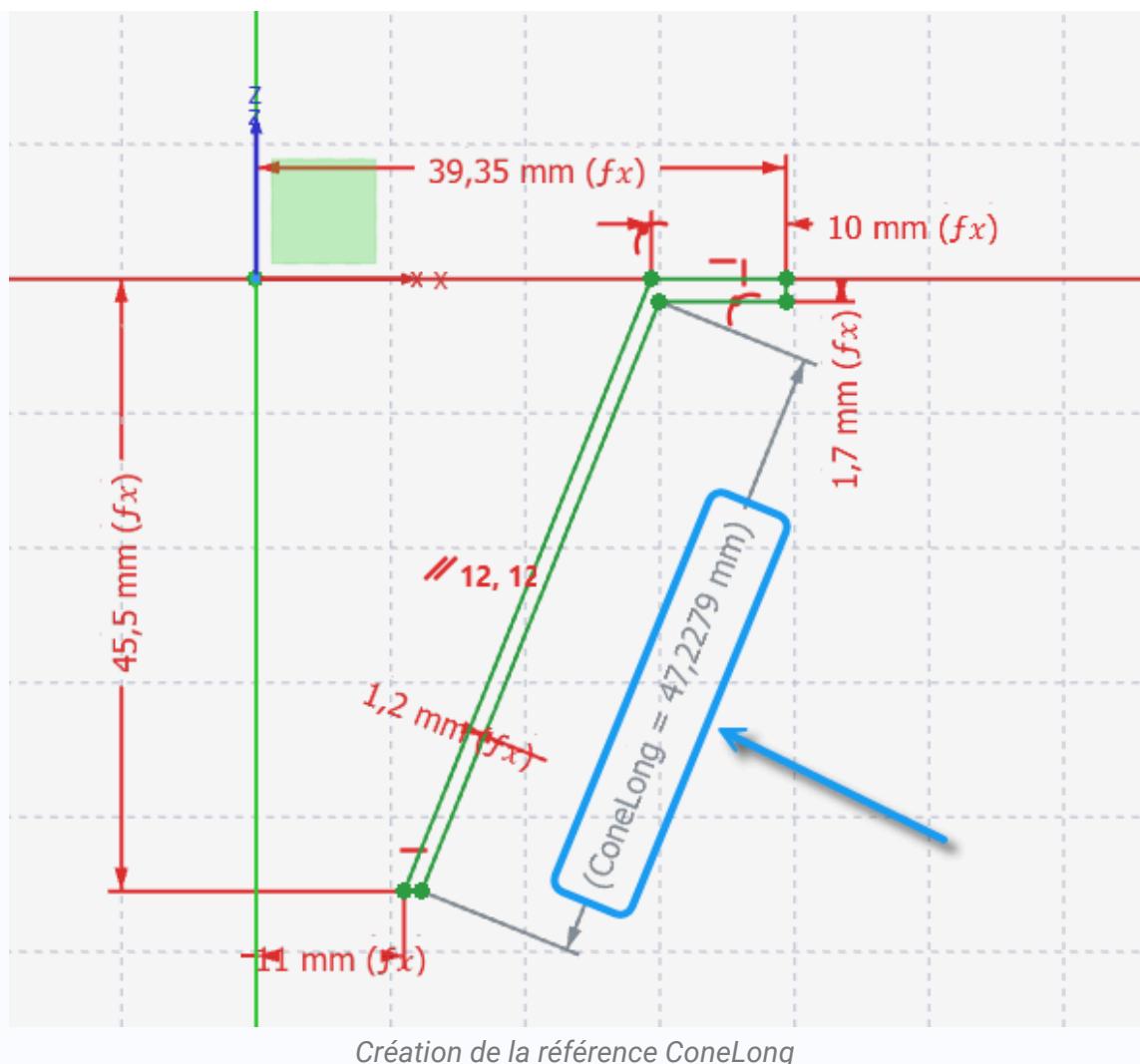
8.1.4. Récupérer une dimension

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 renomerez 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 ;



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

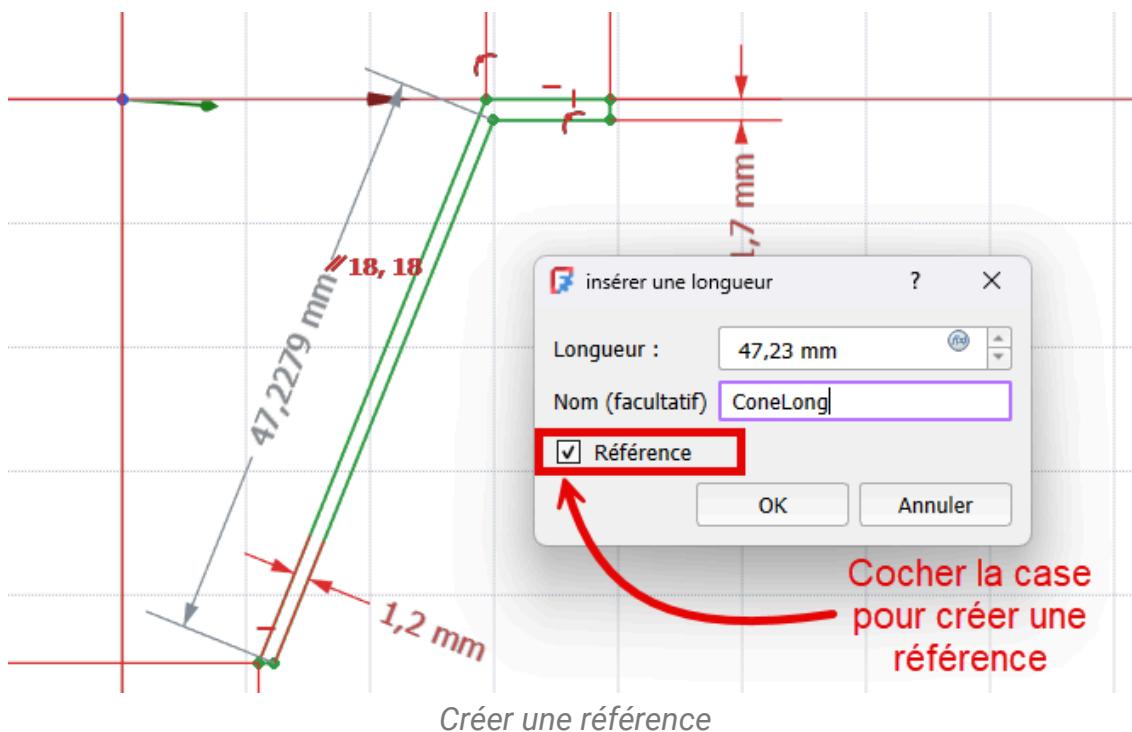
	A	B	C
1	Longueur génératrice	47,23 mm	
2			
3			
4			
5			
6			

Récupération de la longueur dans la feuille de calcul



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

Il faut cocher la case 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 récupérer 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 **Feuille** ;
- 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 Béziers, 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.freecadweb.org/Draft_Workbench/fr

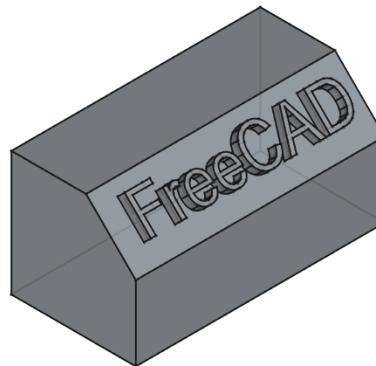


9.1. Forme à partir d'un texte

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 :

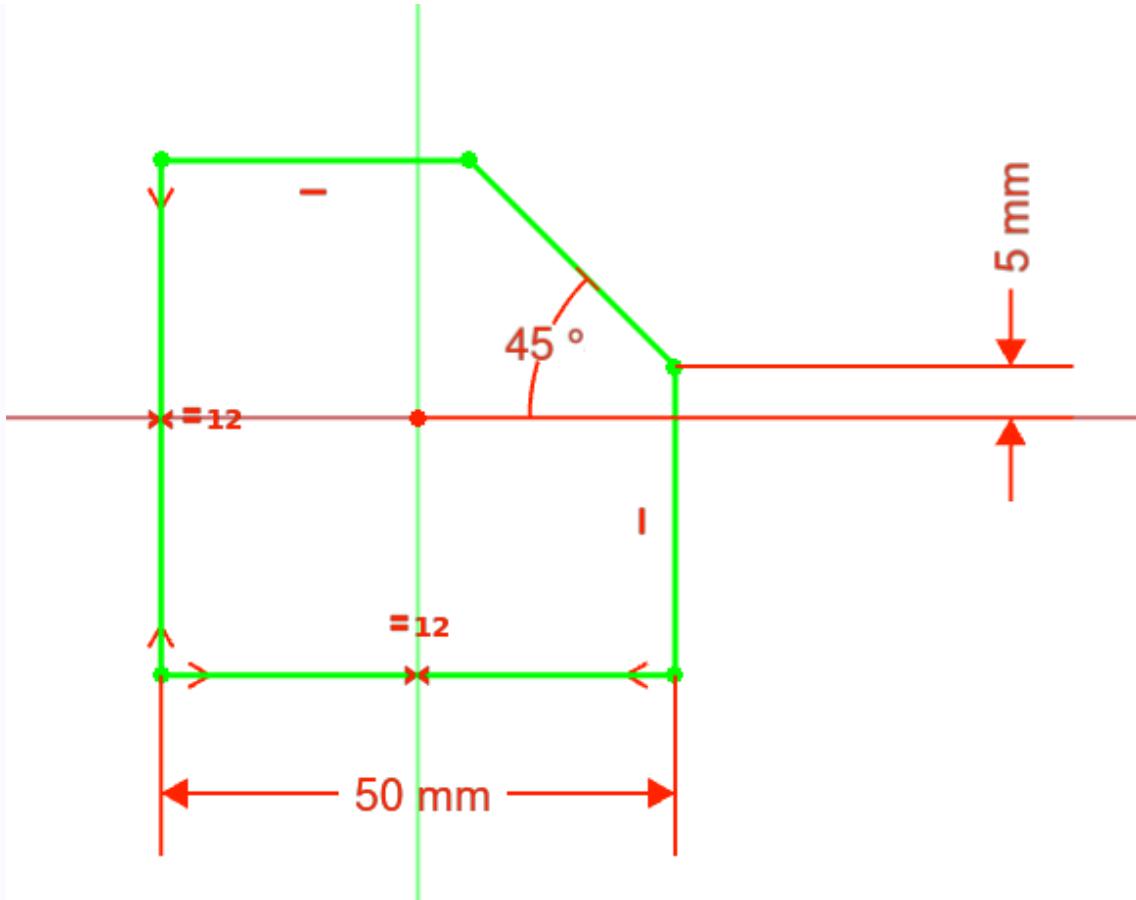


Complément

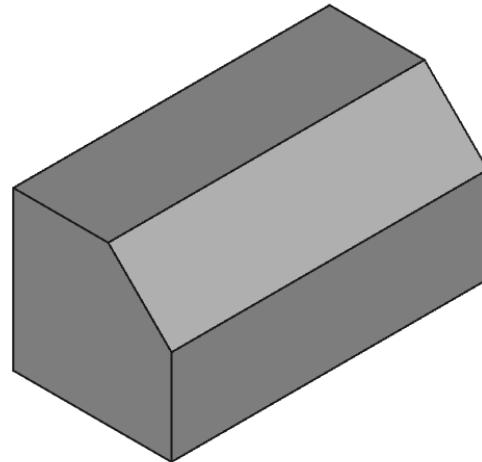
Il s'agit d'une mise à jour du tutoriel https://wiki.freecadweb.org/Draft_ShapeString_tutorial/fr

Travail préparatoire

- Créer un nouveau document  TP9-1 dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps  et l'esquisse  ci-dessous dans le plan ZX ;



- Créer une protrusion de 100 mm symétrique ;



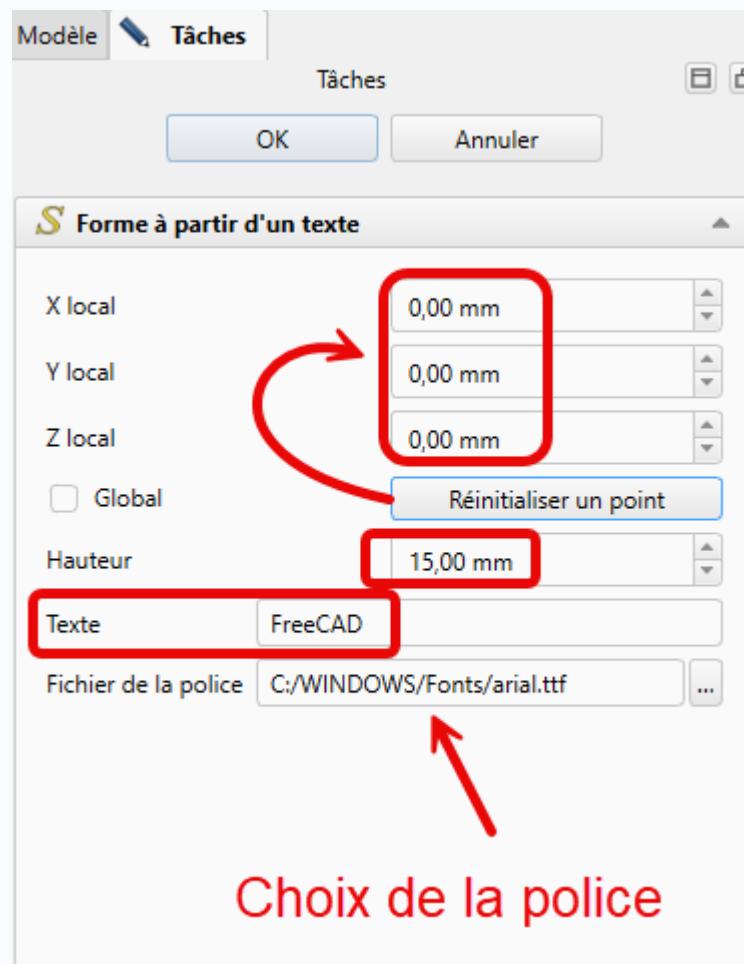
9.1.1. Créer une esquisse contenant une forme à partir de texte

Tâches à réaliser

- Sélectionner l'atelier Draft ;
- Choisir le plan de travail Dessus ;

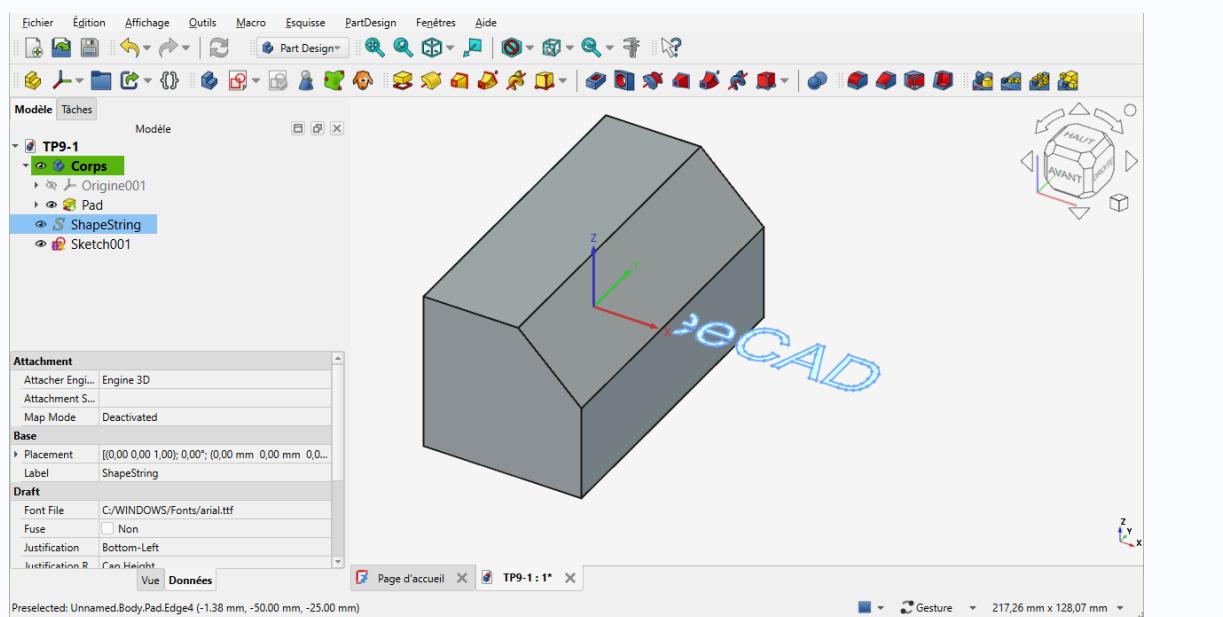


- Sélectionner la commande et compléter le formulaire comme ci-dessous :



Saisie du texte

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





Création de l'esquisse

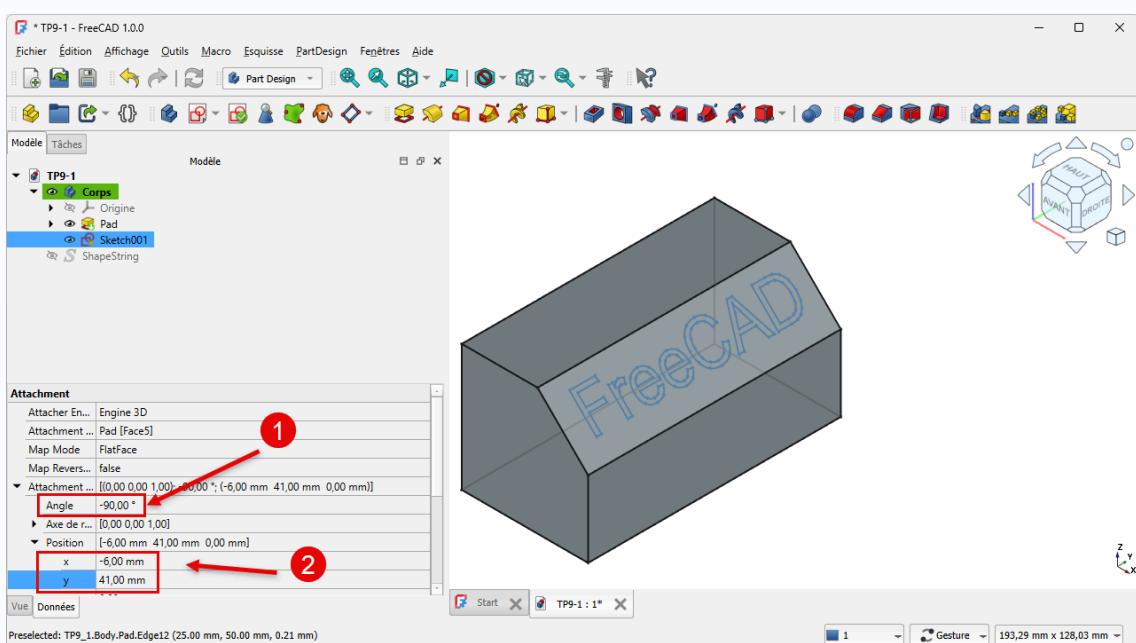
⚠ Attention au choix de la police !

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 utilisées dans une protrusion ou une cavité à cause d'un contour non fermé ;

9.1.2. Créer la protrusion

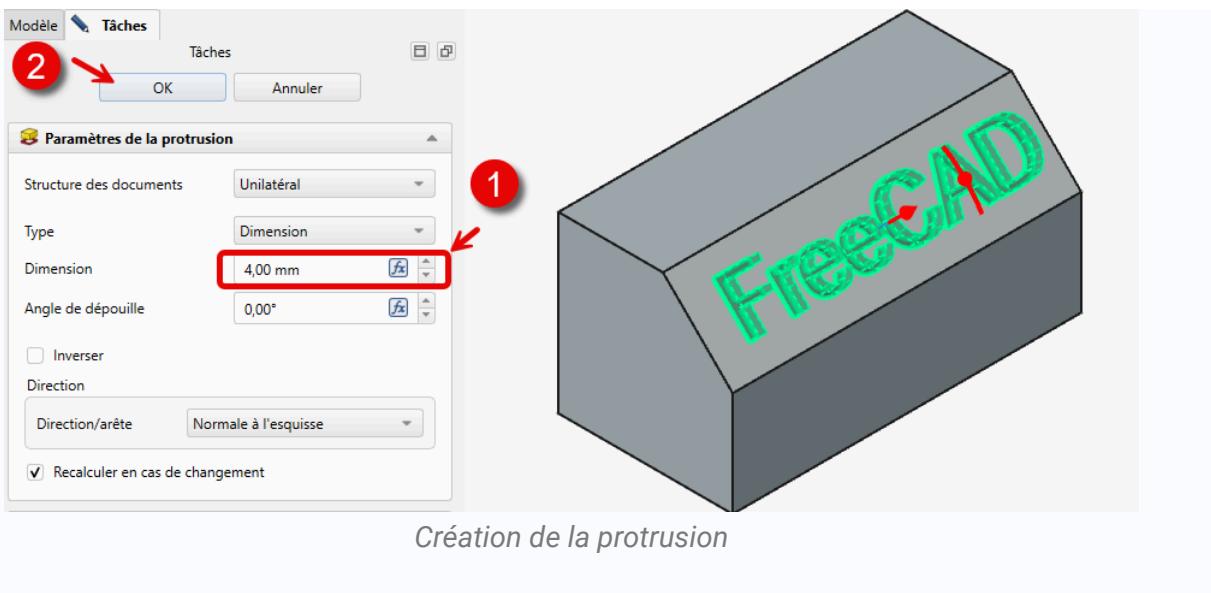
🕒 Tâches à réaliser

- 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 ;
- Faire pivoter et centrer le mot FreeCAD en jouant sur l'attachement de l'esquisse ;



Attachement de l'esquisse

- Créer une protrusion de 4 mm ;



9.1.3. ⚡ Capture vidéo



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.239], nous avons modélisé du texte en 3D en utilisant la commande ShapeString S 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 [p.366] ;

✚ 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 **vectoriel** 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](#) ;

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](#) ;
- 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

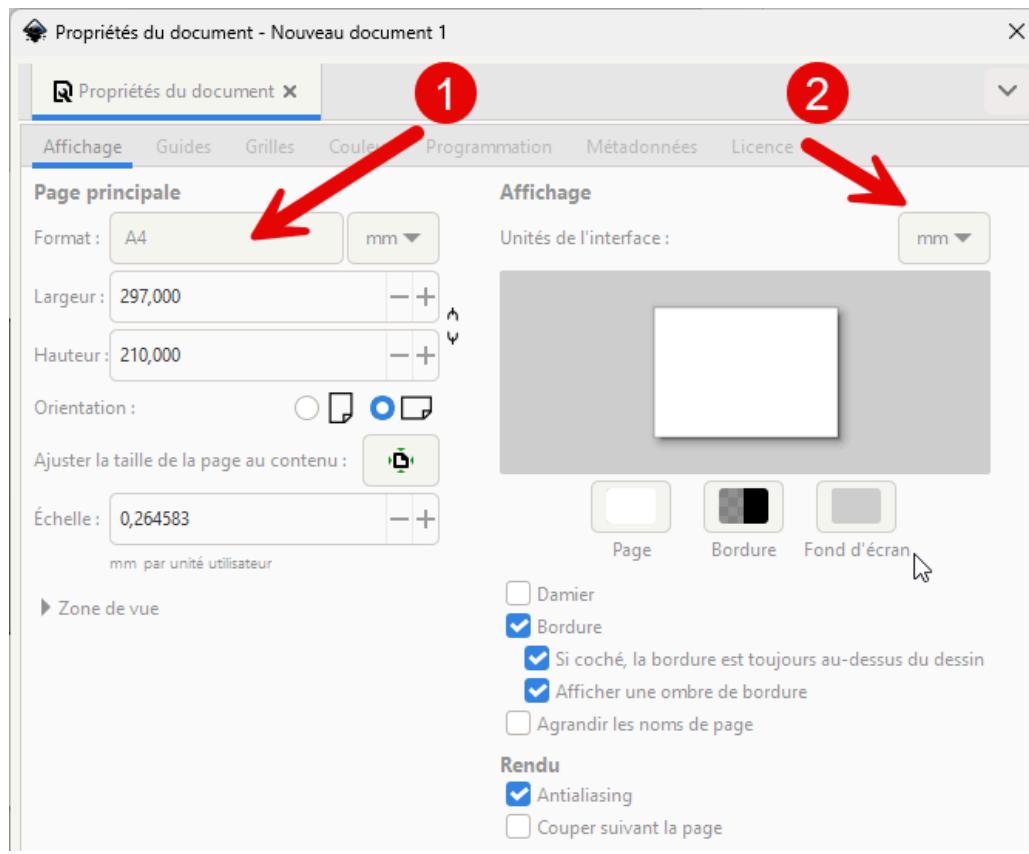
Inkscape propose différents outils (, , , , , , ,  ...) permettant de créer différentes formes :  , FreeCAD ne peut importer que les types d'objet suivants : **chemin, ligne, polygone, rectangle, ellipse, polyligne**. En particulier, il n'importe pas les objets **texte** : il faudra les **convertir en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

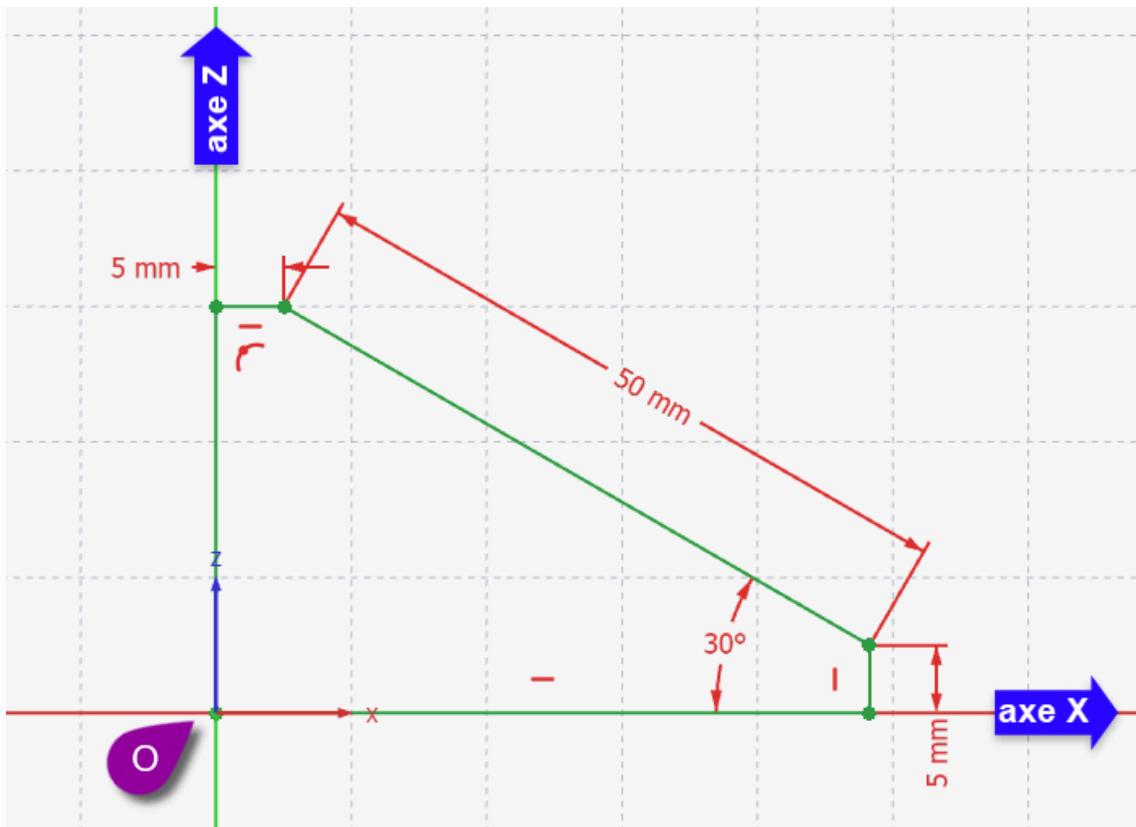
Si vous souhaitez retrouver exactement les dimensions Inkscape dans FreeCAD, il faudra :

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. Travail préliminaire

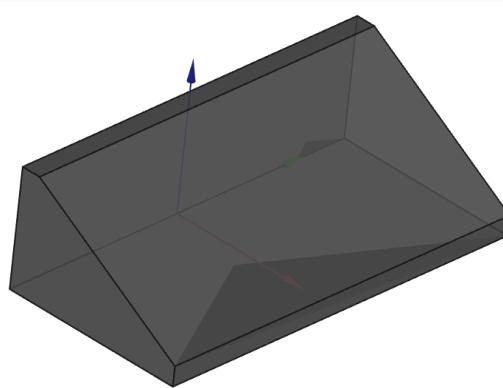
✗ Tâches à réaliser

- Créer un nouveau document **TP9-2** dans FreeCAD ;
- Créer un nouveau corps et l'esquisse ci-dessous dans le plan XZ ;



Esquisse TP9-2 travail préparatoire

- Créer une protrusion symétrique de 100 mm ;



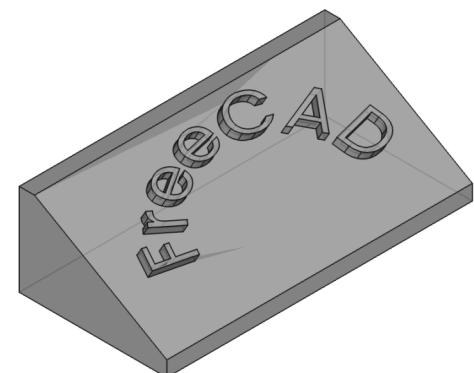
Protrusion TP 9-2 : travail préparatoire

- Enregistrer vos modifications ;



9.2.3. Texte créatif

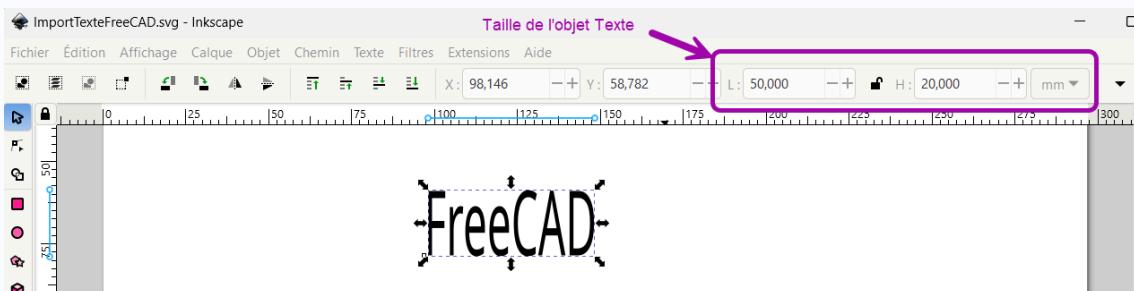
Nous allons ajouter du texte en relief sur la face inclinée du solide :



9.2.3.1. 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 **50 mm** et Hauteur H **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 ;

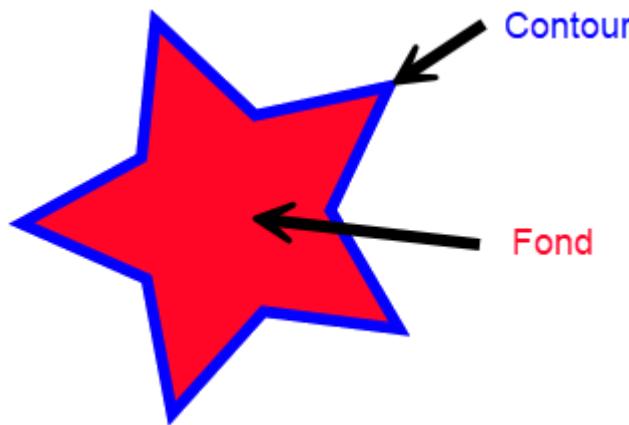
▼ Tâches à réaliser (suite)

- 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 **x** ou de donner une couleur et une opacité à ce fond ;
- L'onglet **Contour** permet de supprimer le contour **x** 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 ;





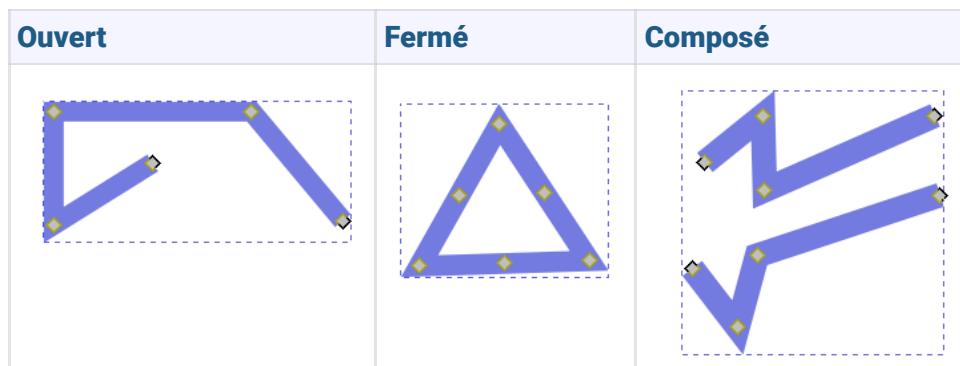
Texte suivant chemin

- 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 :



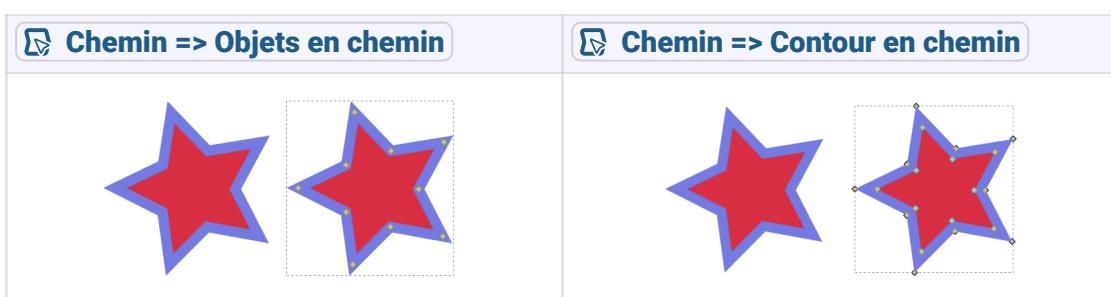
- Le bouton permet de modifier les noeuds de la courbe de Bézier ;



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		
Coins	Contour dynamique	Contour fuselé
Décalage	Entrelacs	Simplifier
DÉFORMATION		
Agitation	Courber	Déformation par enveloppe
Déformation par grille	Motif suivant un chemin	Perspective et enveloppe
Transformation par deux points		
GÉNÉRER		
Cloner l'élément original	Croquis	Découpe avancée
Hachures	Interpoler les sous-chemins	Masque avancé
Opération booléenne	Pavage	Reflet miroir
Relier les sous-chemins	Remplir dans les nuées	Tourner les copies
Tranche	Von Koch	
CONVERTIR		
Afficher les poignées	B-spline	Boîte englobante
Contour en pointillés	Ellipse à partir de points	Ellipse par cinq points
Engrenages	Grille de conception	Interpoler des points
Joindre un chemin	Mesure de segments	Règle
Spline spirographique	Type de jointure	

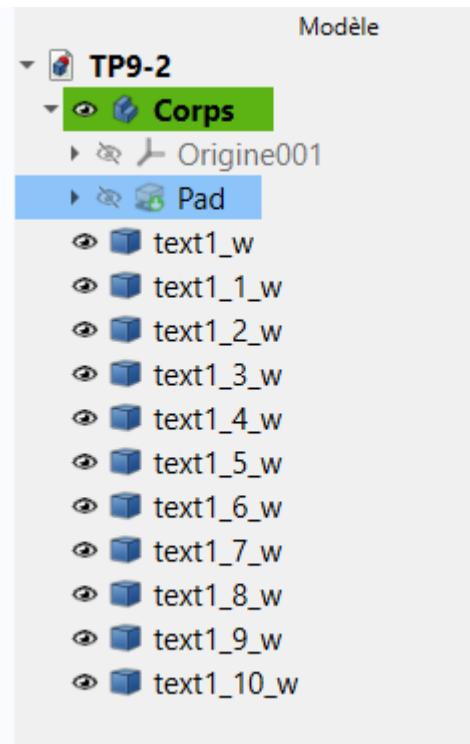
Ce panneau permet, par exemple :



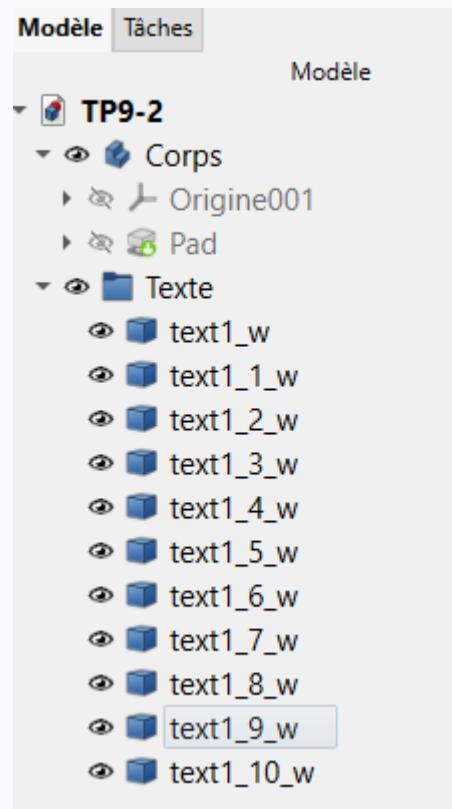
9.2.3.2. Importation dans FreeCAD

Tâches à réaliser

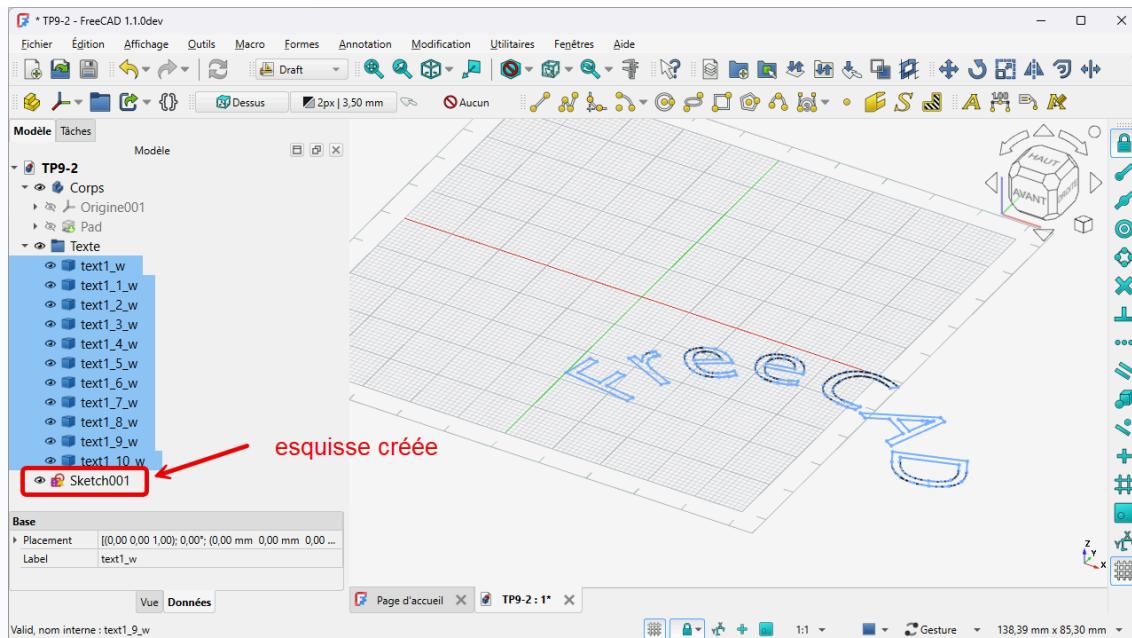
- Si nécessaire, ouvrir le document TP9-2 créé précédemment dans FreeCAD ;
- Masquer la protrusion Pad ;
- Importer le document « ImportTexteFreeCAD.svg » comme SVG as geometry (importSVG) ; FreeCAD ajoute une dizaine d'objets ;

*Importation du fichier SVG*

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

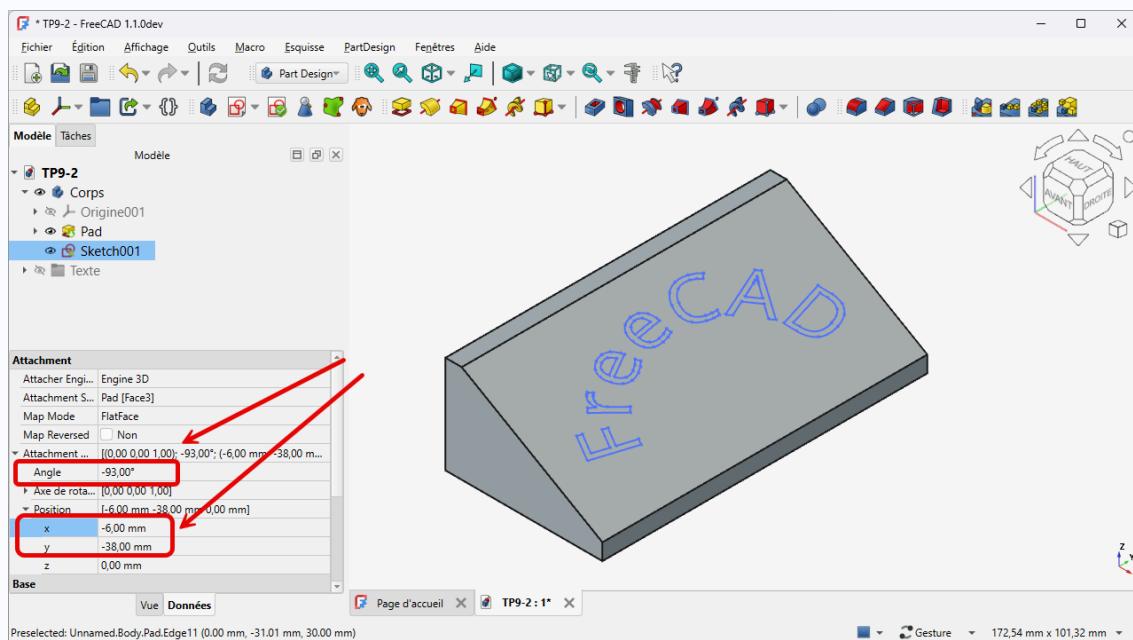
*Groupe Texte*

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



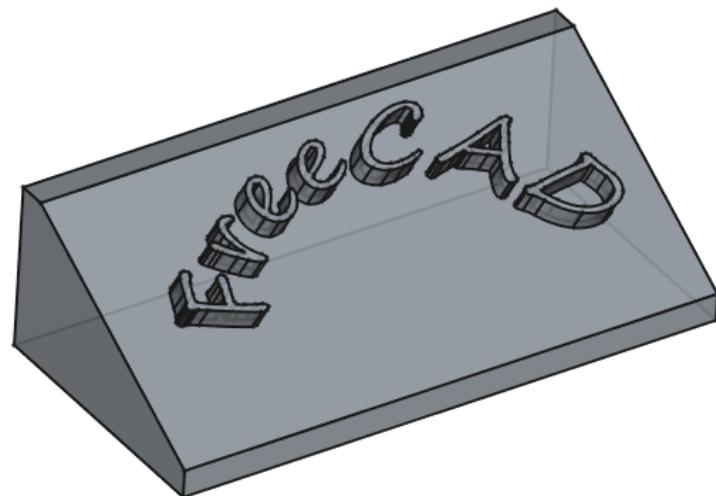
Création de l'esquisse du texte

- 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

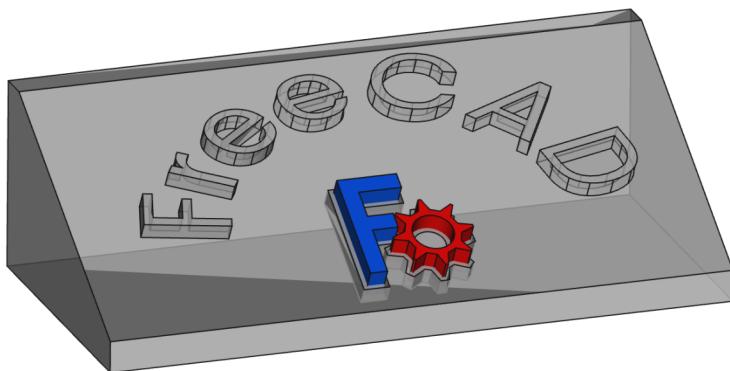
- Créer une protrusion **Pad** de 3 mm ;

*Protrusion du texte*

- Enregistrer vos modifications ;

9.2.4. Récupérer un logo

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



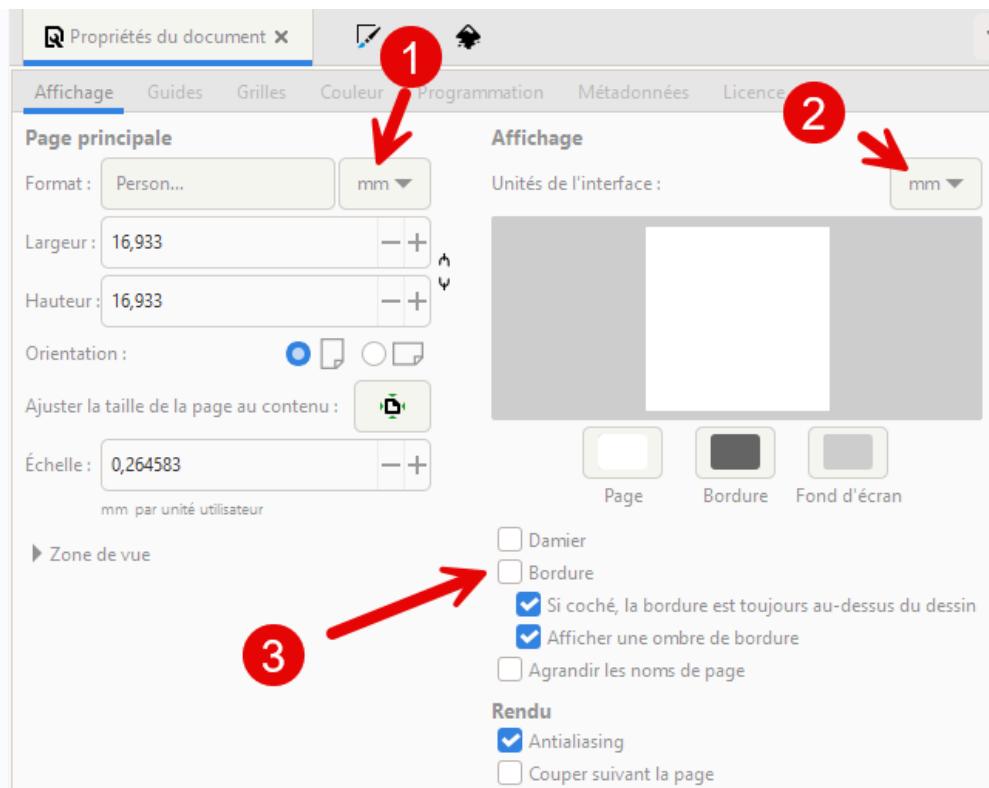
9.2.4.1. Préparation Inksc ape

Tâches à réaliser

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

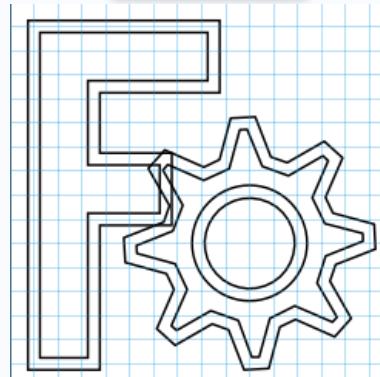


- Enregistrer le document sous le nom [ImportLogoFreeCAD.svg](#) ;
- Modifier les propriétés du document pour travailler en mm et supprimer la bordure à l'aide de la commande [Fichier → Propriétés du document](#) (**Ctrl Maj D**) ;



Propriétés du document pour travailler en mm

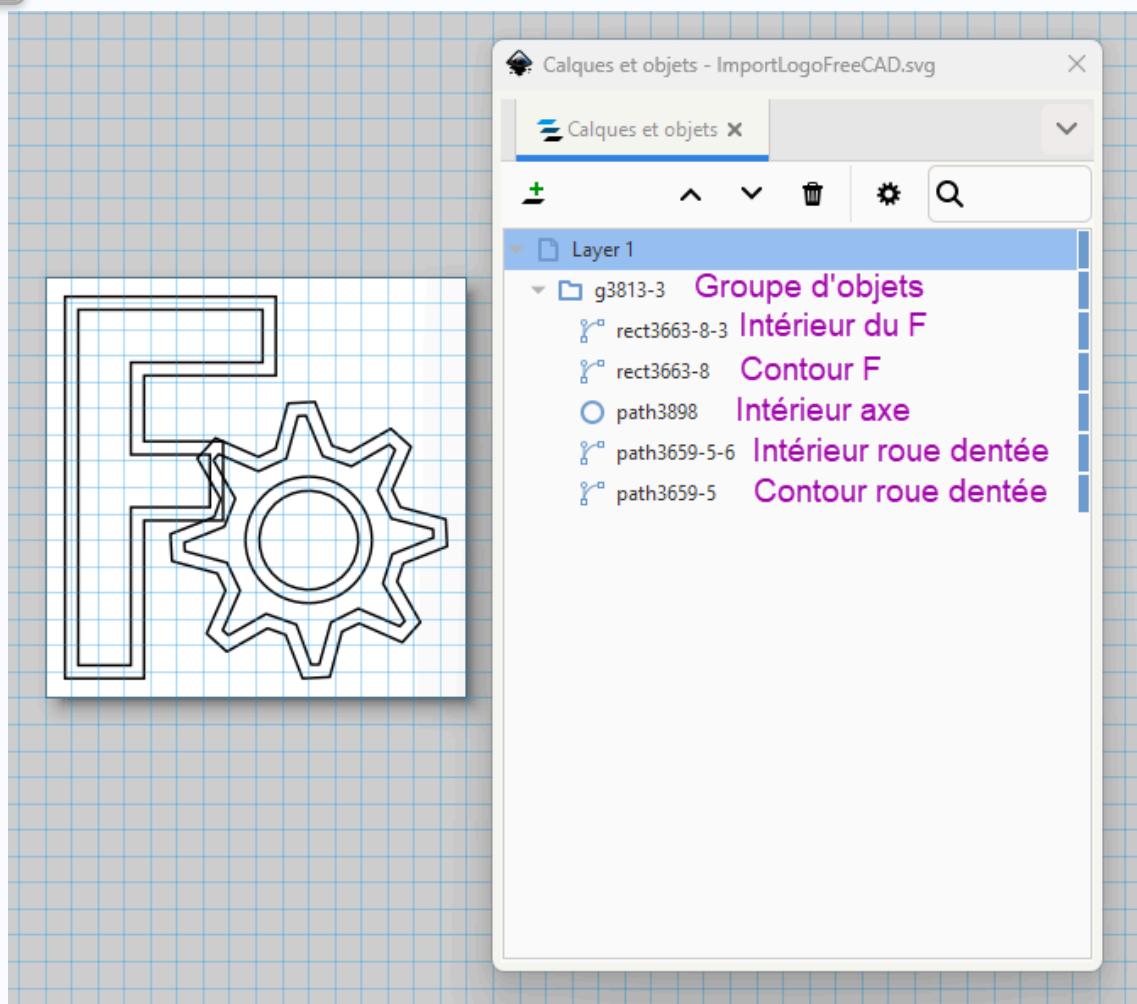
- Sélectionner l'ensemble (**Ctrl A**), supprimer le fond et donner un contour de 0.1mm à l'aide de la commande **Objet → Fond et Contour** (**Ctrl Maj F**);



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 :



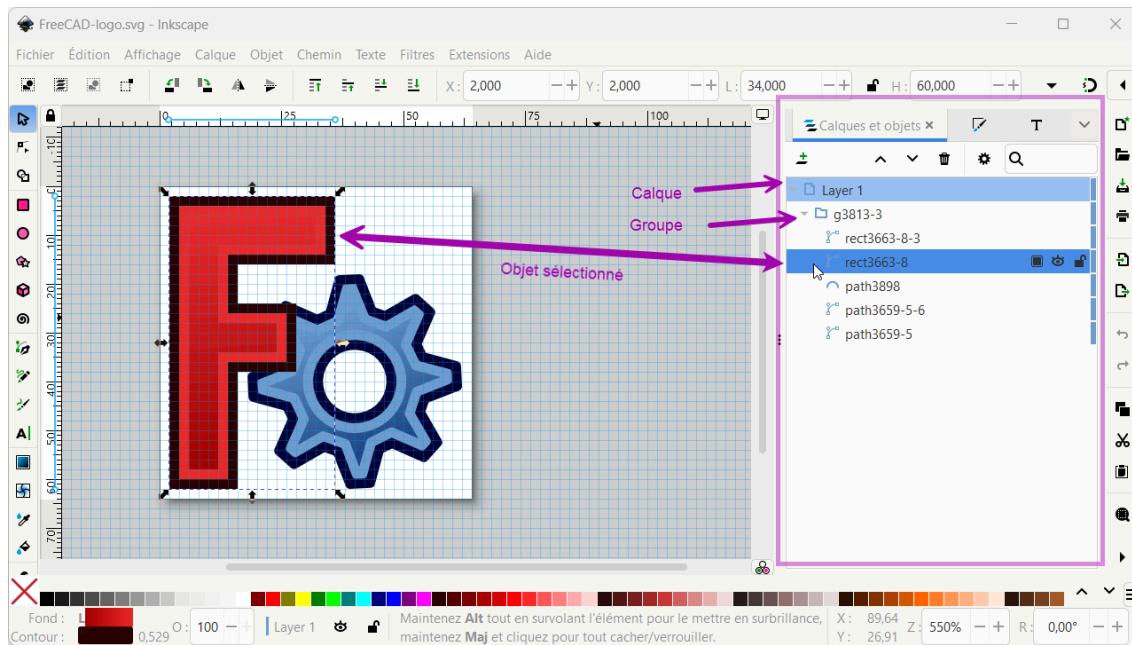
Structure du Logo

- 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...

9.2.4.2. Importation dans FreeCAD

Tâches à réaliser

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

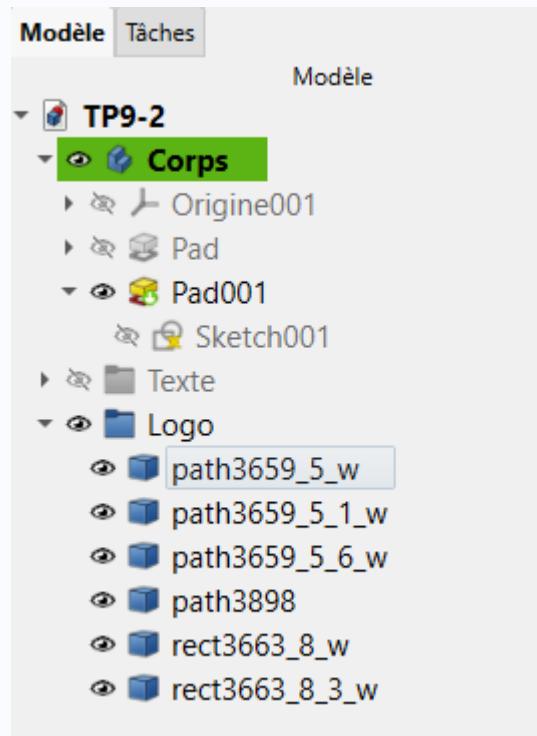
9.2.4.2.1. Crédit de l'empreinte

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 :

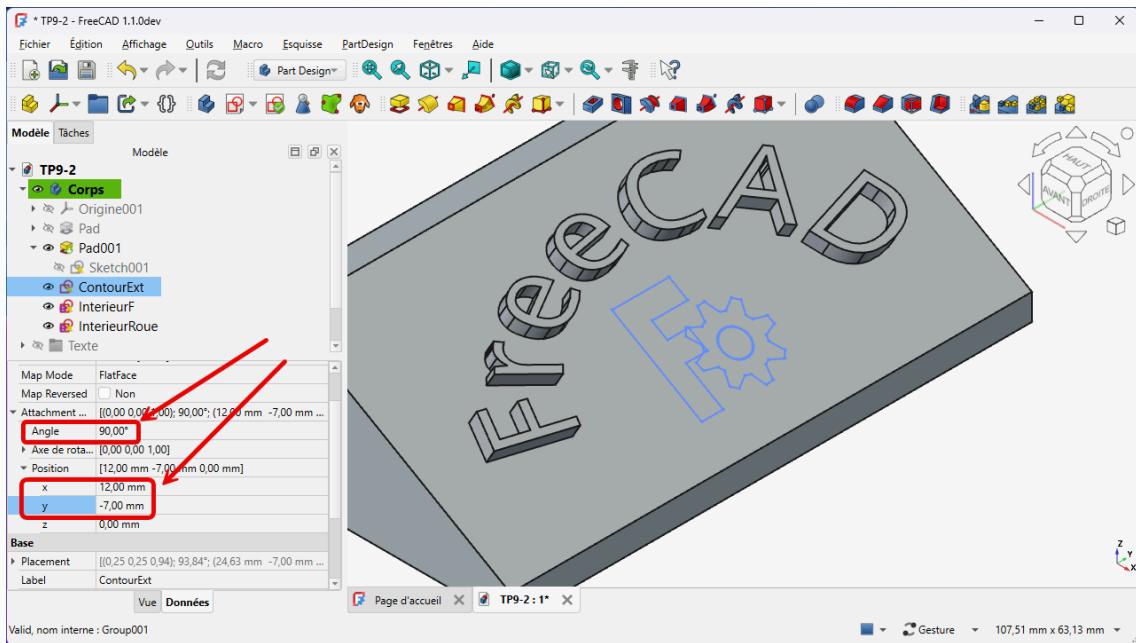


Création du groupe Logo

- Dans l'atelier Draft , à l'aide de la commande , créer les 3 esquisses suivantes que vous renomerez comme ci-dessous :

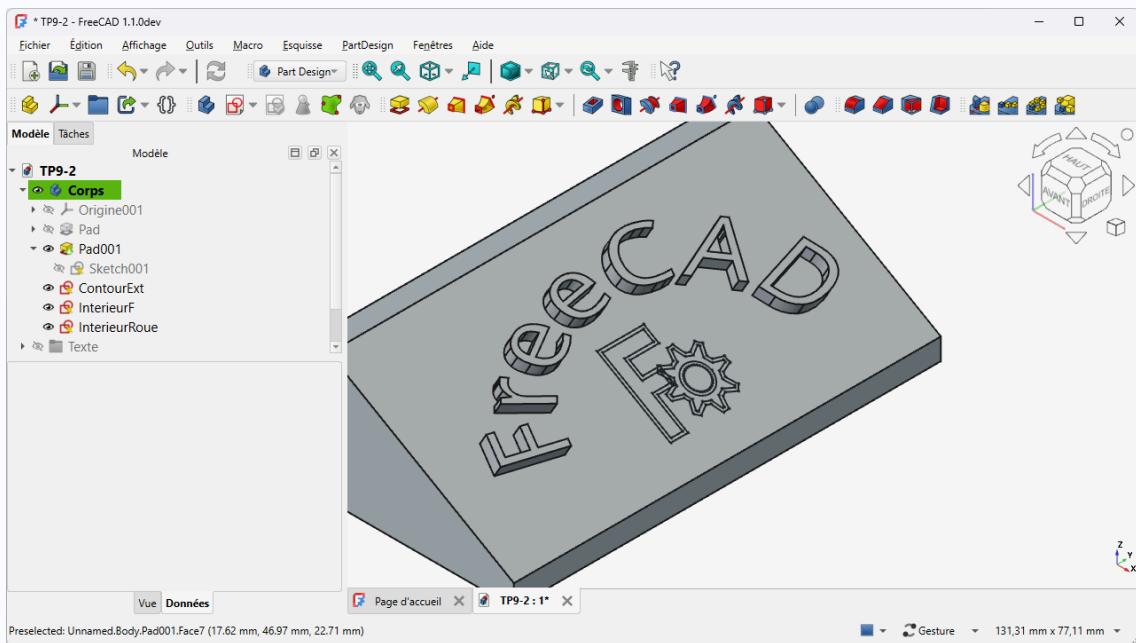
Objets Sélectionnés	Nom des esquisses
rect3663_8_w , path3659_5_w path3659_5_1_w	ContourExt
rect3663_8_3_W	InterieurF
path3659_5_6_w et path3898	InterieurRoue

- Dans l'atelier Part Design , masquer les objets importés et déplacer les 3 esquisses dans Corps ;
- 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 ;



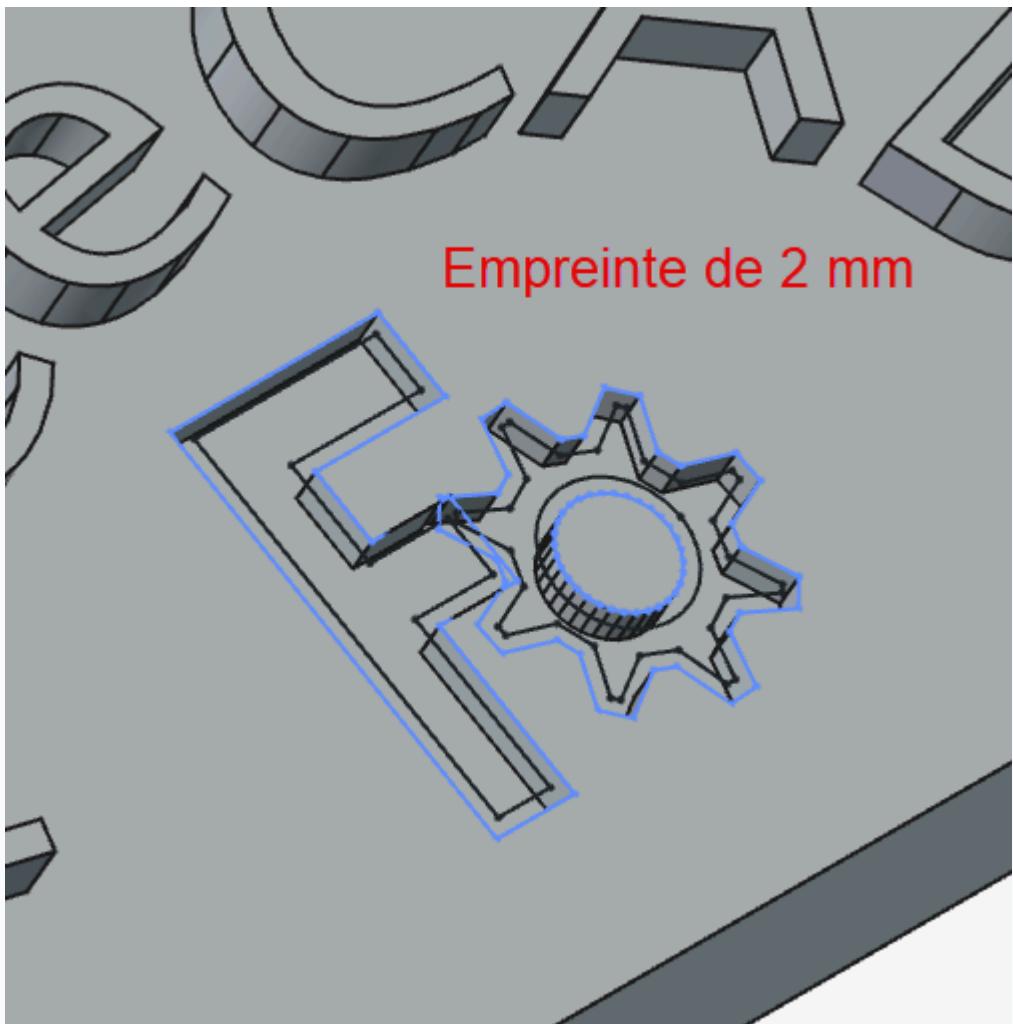
Décalage de l'esquisse sur le plan incliné

- 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** ;



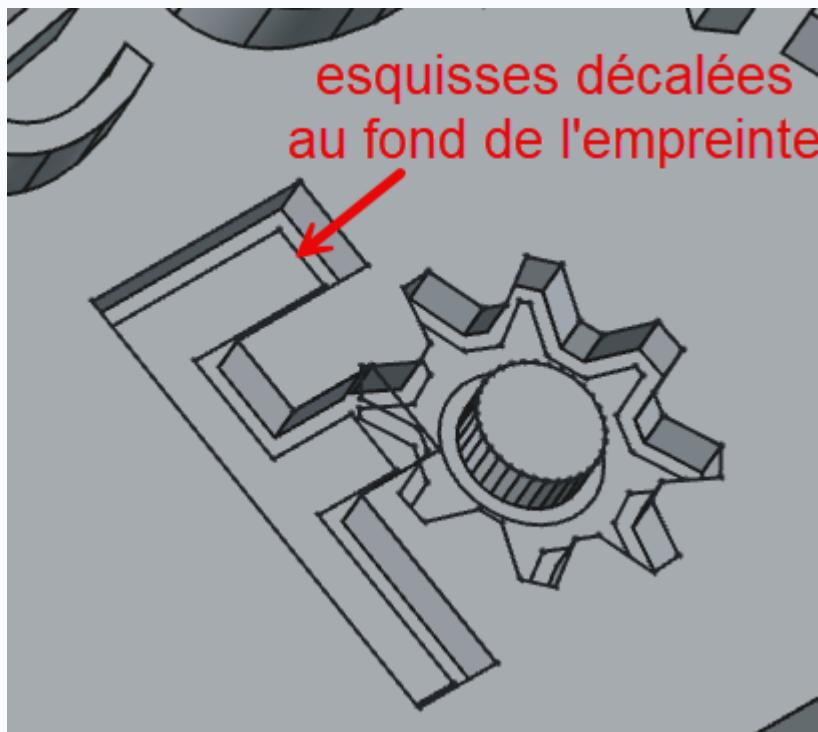
Empreinte pour les inserts



9.2.4.2.2. Création des inserts

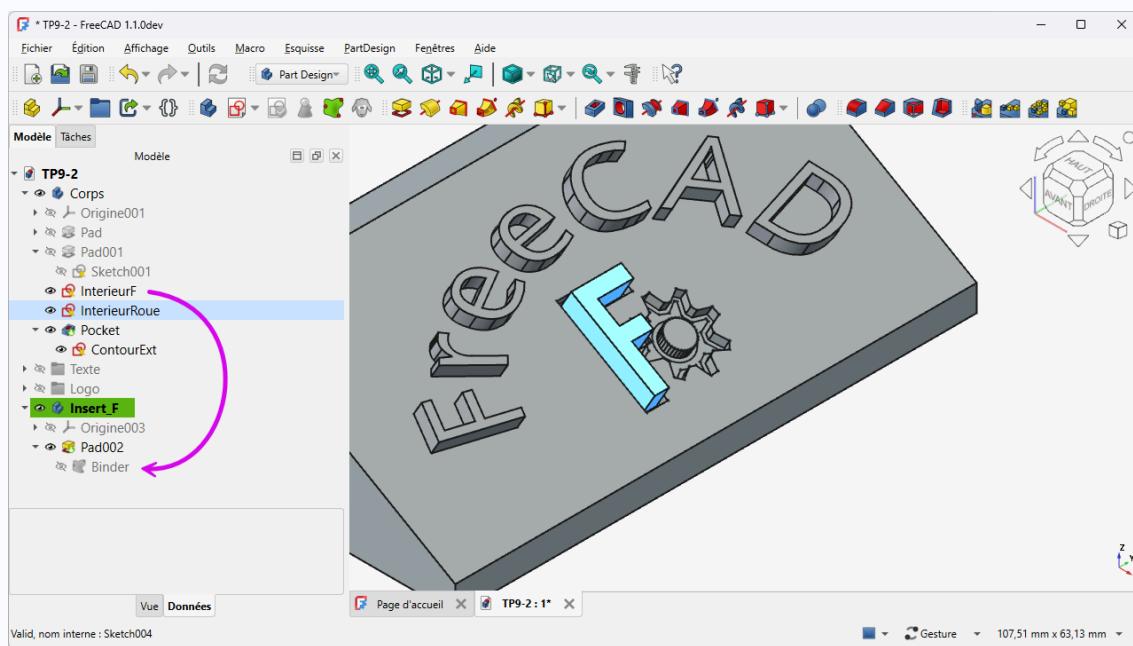
✓ Tâches à réaliser

- Modifier l'attachement z = -2 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

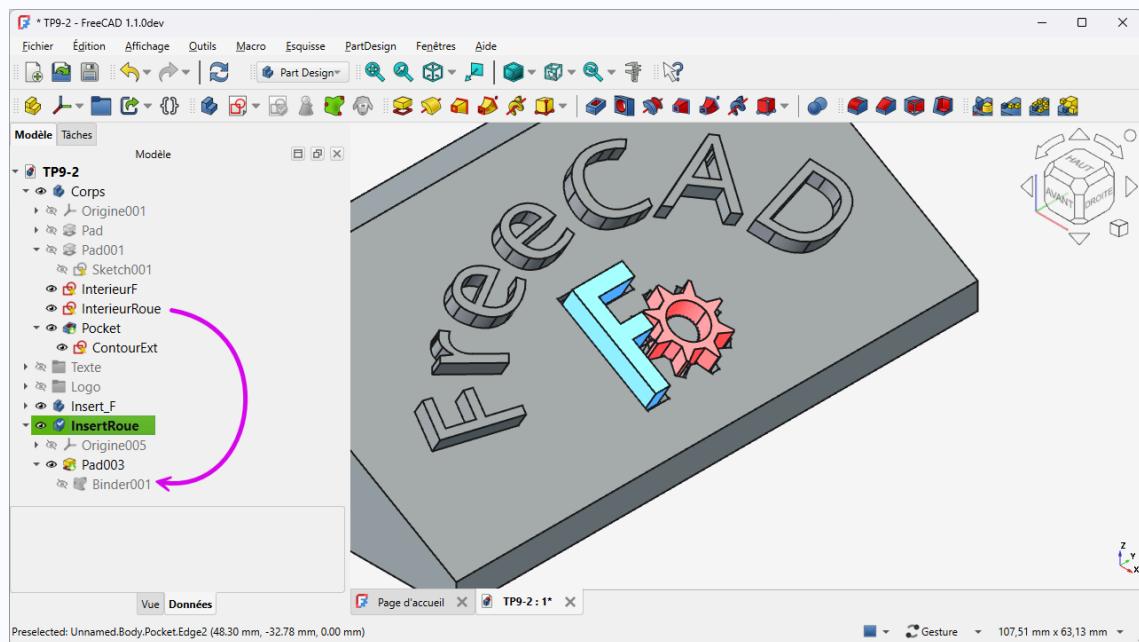
- Créer un nouveau corps que vous renommez Insert_F ;
- Ajouter un forme liée de l'esquisse InterieurF dans ce nouveau corps ;
- Ajouter une protrusion de 5 mm de cette forme liée ;



Protrusion de l'insert F



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



- Enregistrer vos modifications ;

9.2.5. Capture vidéo



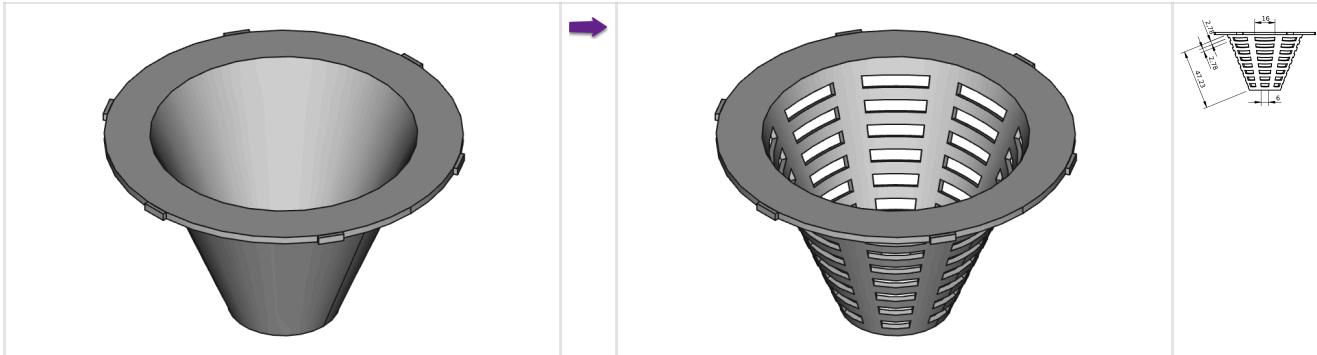
9.3. Dessiner dans Draft

Objectifs

- Utiliser l'atelier Draft , notamment :
 - Utiliser la commande **Basculer en mode construction** ;
 - Utiliser la commande **ligne** et **polygone** ;
 - Utiliser l'aimantation , la commande Réseau ;
 - Utiliser la commande ;



Nous allons ajouter une grille au solide modélisé lors du TP 8-1 [p.225] :

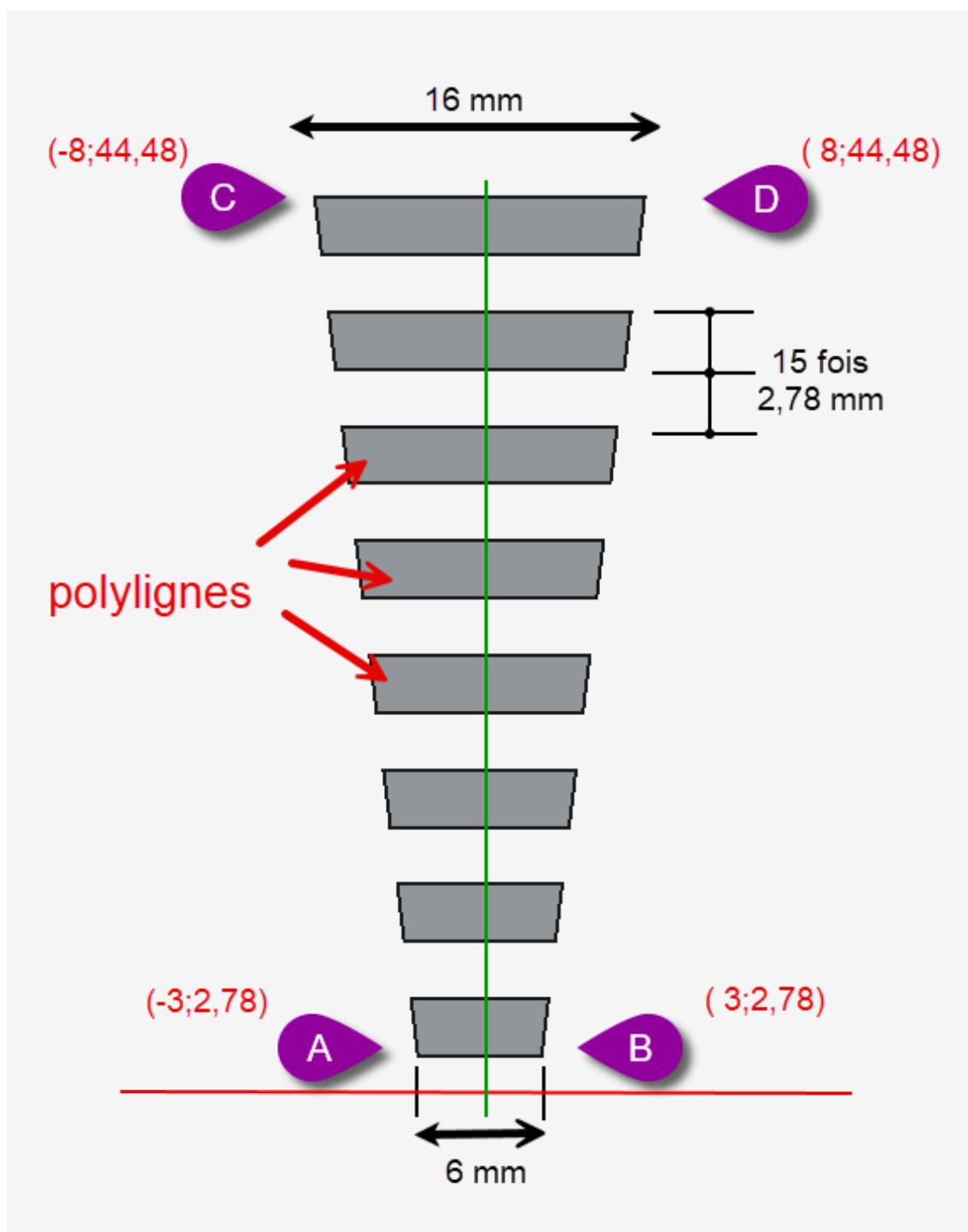


☰ Travail préparatoire

- Télécharger sur votre ordinateur le document [TP9-3-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 :



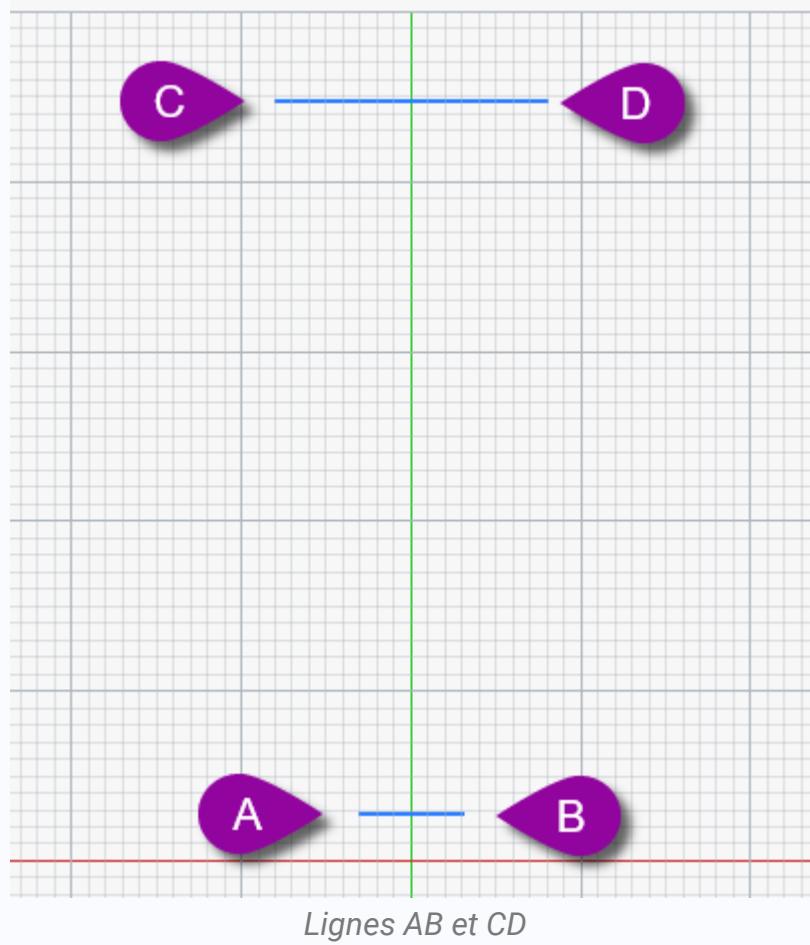
Tâches à réaliser

- Dans l'atelier Part Design, masquer PolarPattern à l'aide de la barre d'espacement ;
- Ouvrir l'atelier Draft ;
- Sélectionner le plan de travail 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





Aide :

Pour saisir la ligne AB :

1. Cliquer sur la commande ;

2. Compléter le formulaire comme ci-dessous :

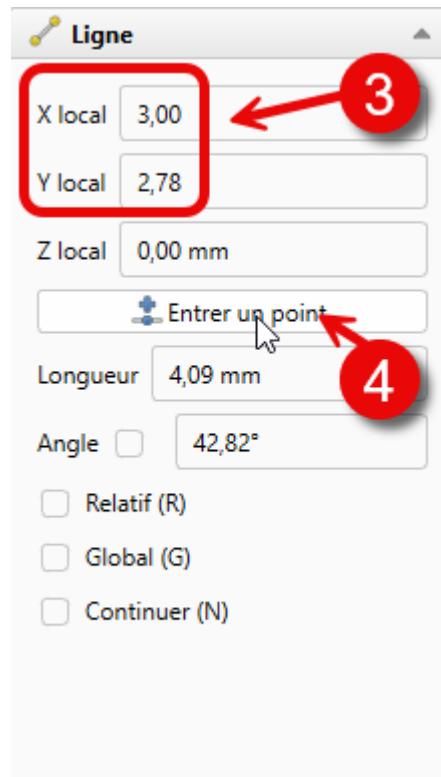


Saisie du point A

3. Vérifier la création du point dans la vue 3D ;



4. Compléter le formulaire comme ci-dessous :

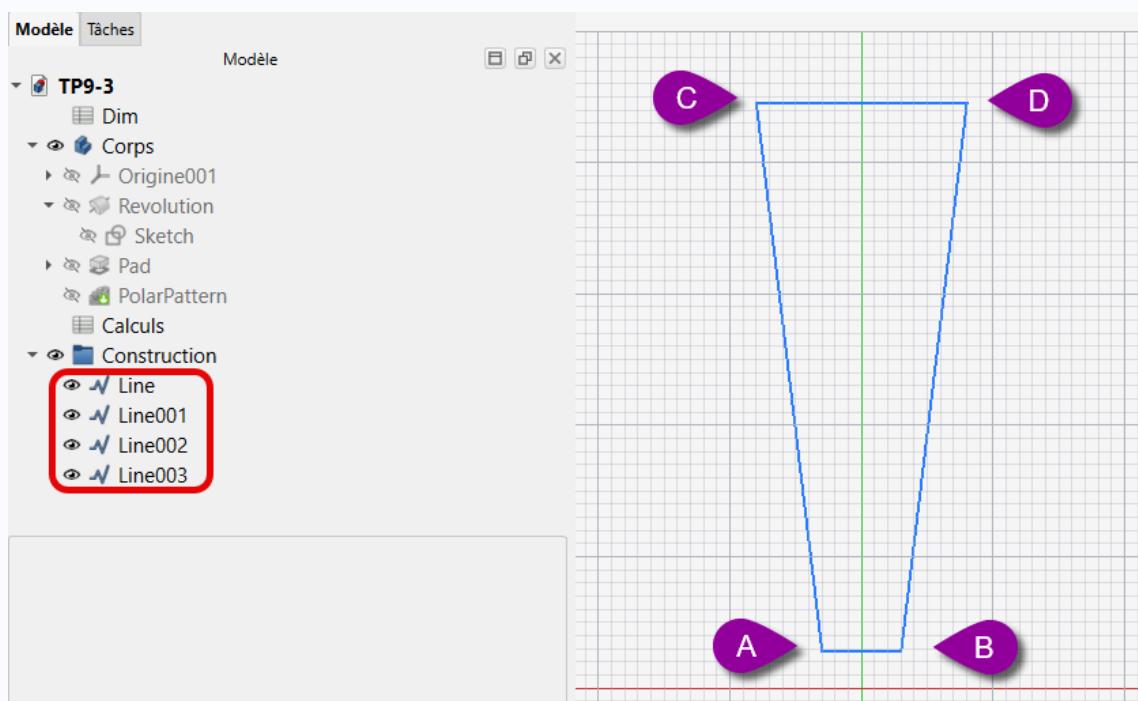


Saisie du point B

5. Vérifier la création de la ligne dans la vue 3D ;

☰ Tâches à réaliser (suite)

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





Création des lignes AC et BD

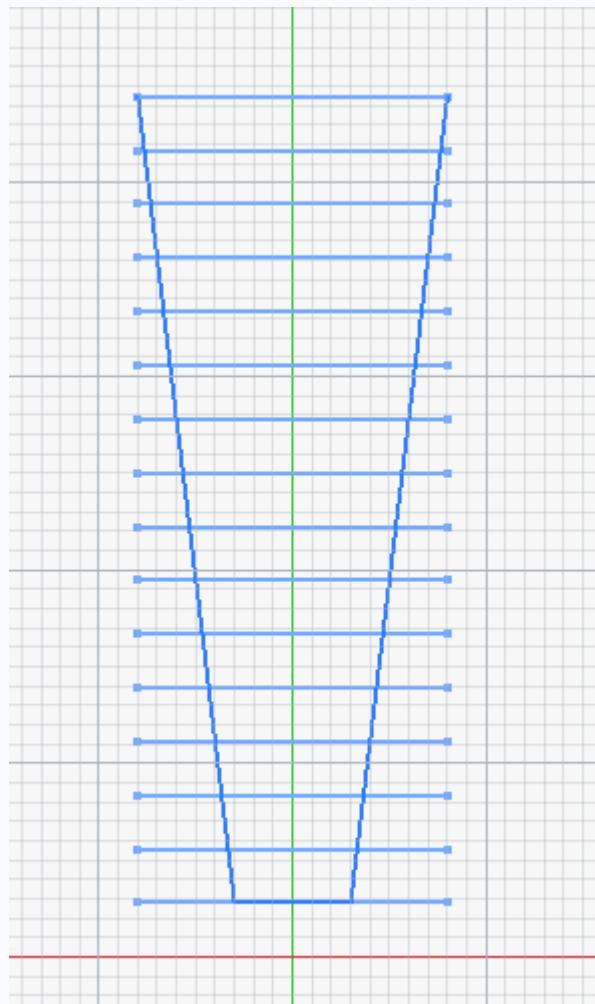
Aide

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'icone de la souris affiche l'icone d'aimantation

Tâches à réaliser (suite)

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



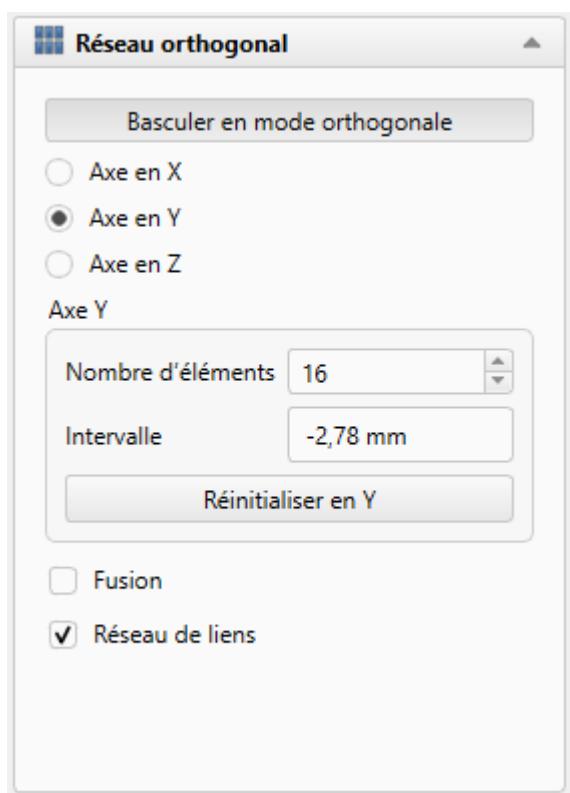
Réseau orthogonal de la ligne CD



?

Aide :

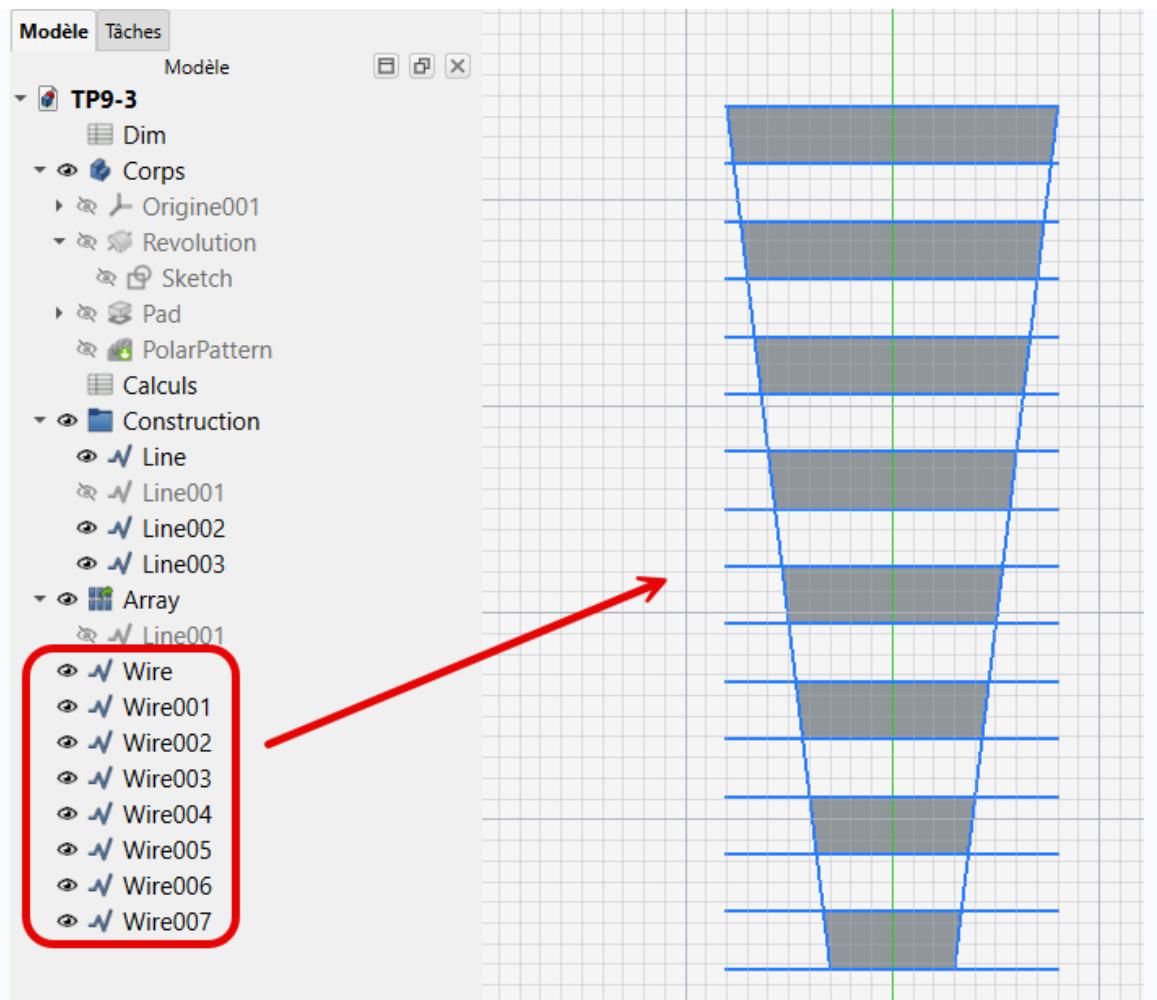
Pour créer le réseau orthogonal, saisir les paramètres suivants :



Paramètres de création du réseau orthogonal

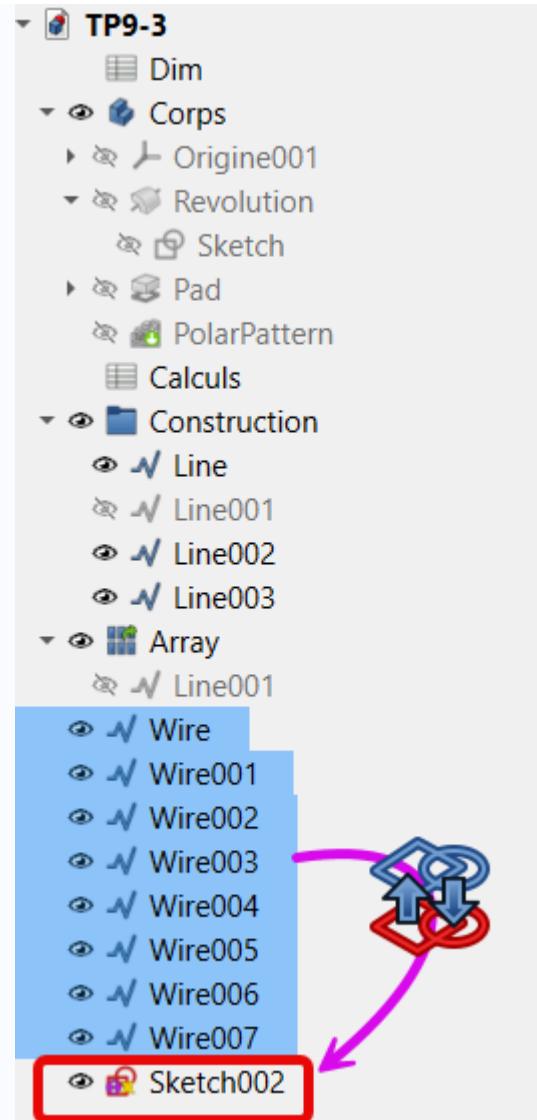
☰ Tâches à réaliser (suite)

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



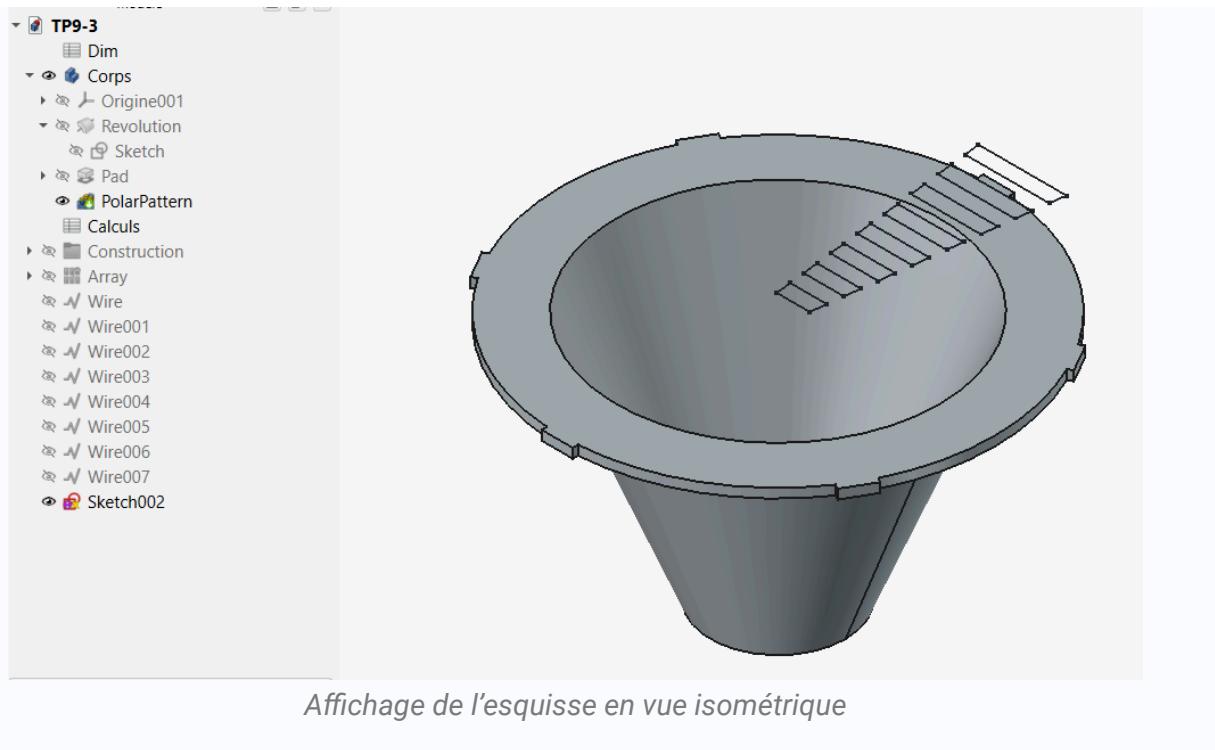
Création des polylinnes

- Sélectionner les 8 polylinnes 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

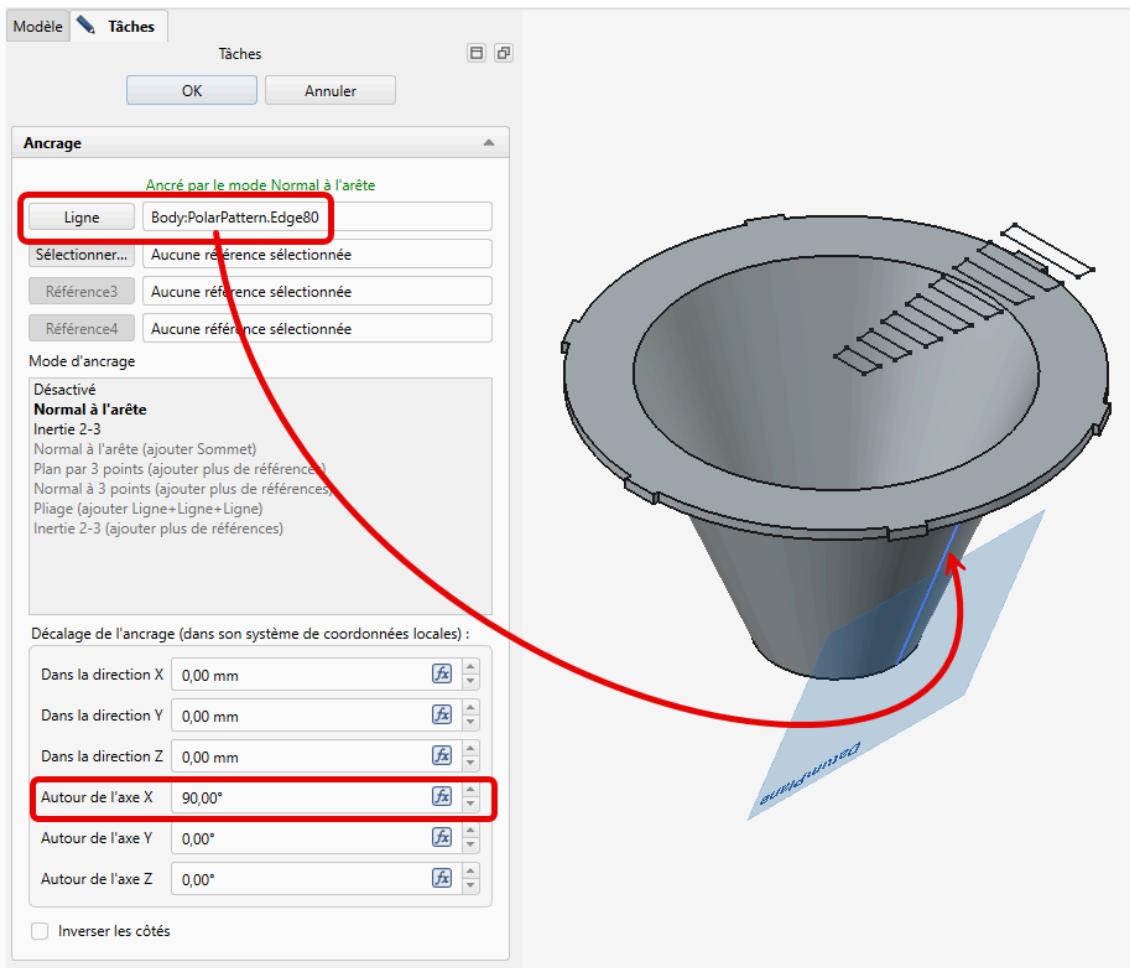
9.3.2. Attacher l'esquisse

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

✓ Tâches à réaliser

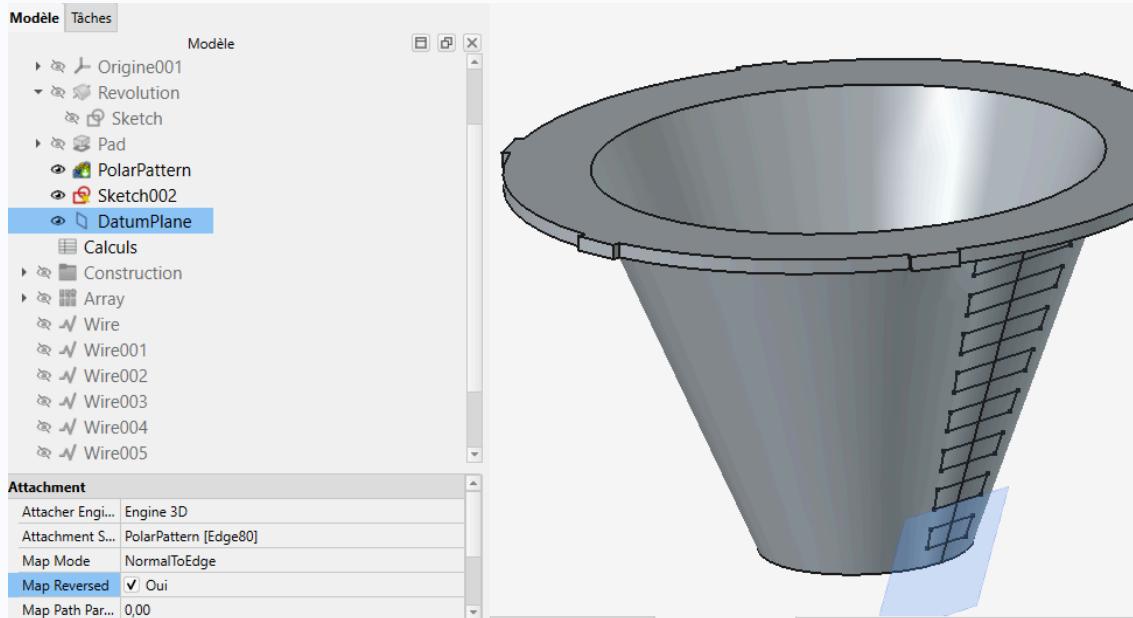
Dans l'atelier PartDesign :

- 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 le sketch003 à ce plan de référence à l'aide de la commande ;



Ancre 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 ;



Modèle Tâches Modèle

TP9-3

- Dim
- Corps**
 - Origine
 - Revolution
 - Sketch
 - Pad
 - PolarPattern
 - DatumPlane**
 - Pocket
 - PolarPattern001
- Calculs
- Construction
- Array
 - Wire
 - Wire001
 - Wire002
 - Wire003
 - Wire004
 - Wire005
 - Wire006
 - Wire007

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

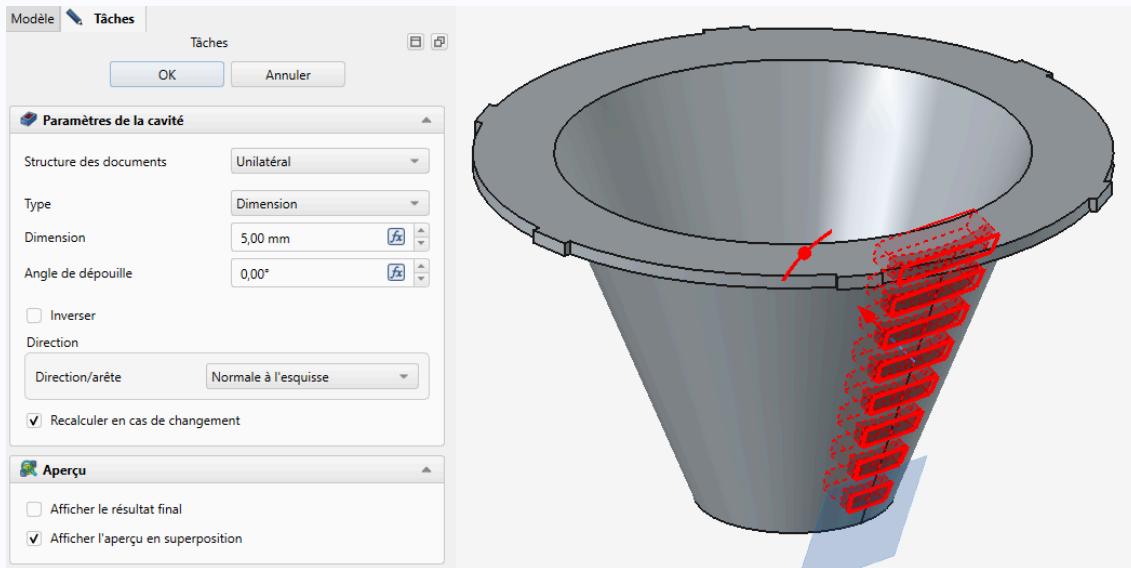
Resize Mode	Automatic
-------------	-----------

Inversion du plan de référence

9.3.3. Créez les cavités

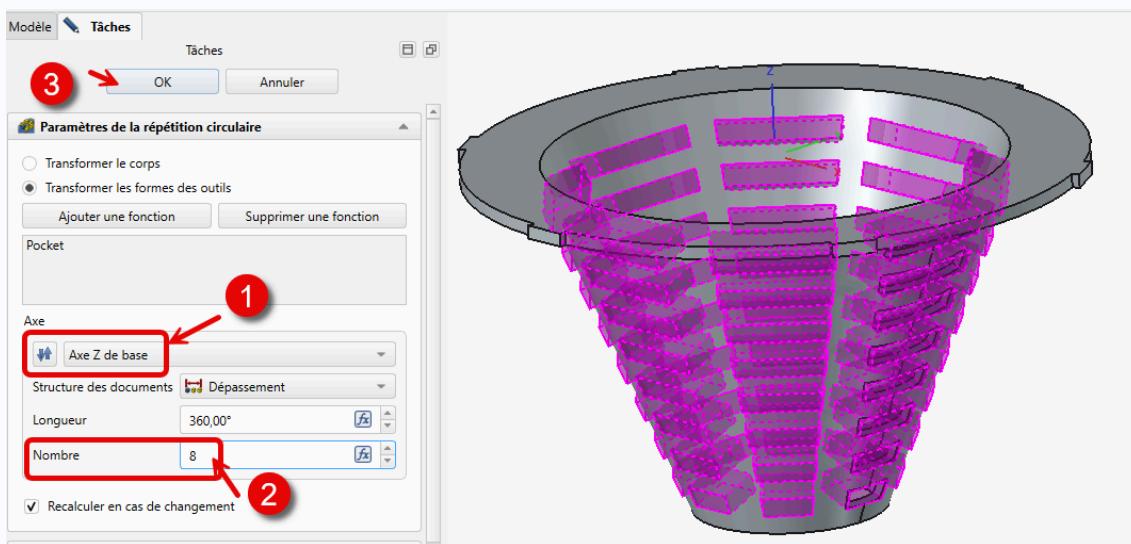
✓ Tâches à réaliser

- 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

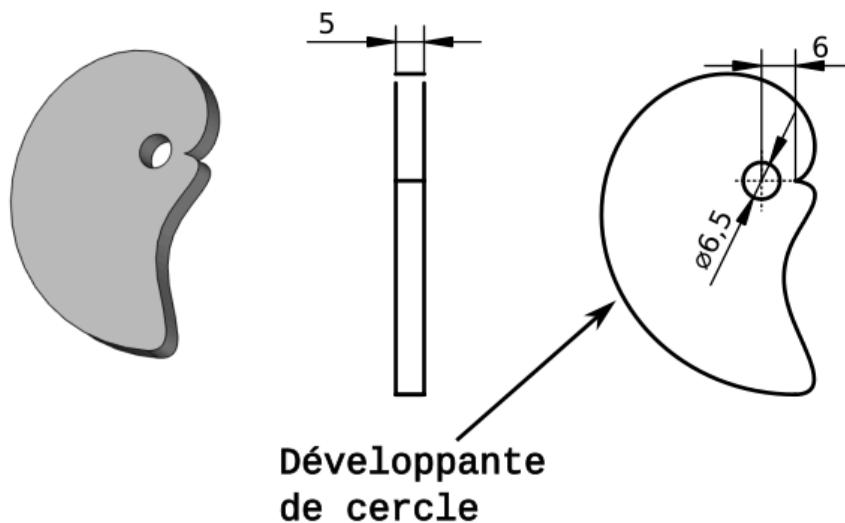


9.3.4. ➤ Capture vidéo



9.4. Équation paramétrique

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^[p.366]. Voir les exemples suivants :

- <https://www.lairdubois.fr/creations/17125-pinces-anti-clothoide-pour-cnc.html> ;
- Le chapitre « 5 - Pinces excentriques » 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 :

$$\begin{aligned}x &= a \times (\cos(t) + t \times \sin(t)) \\y &= a \times (\sin(t) - t \times \cos(t))\end{aligned}$$

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

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 ;

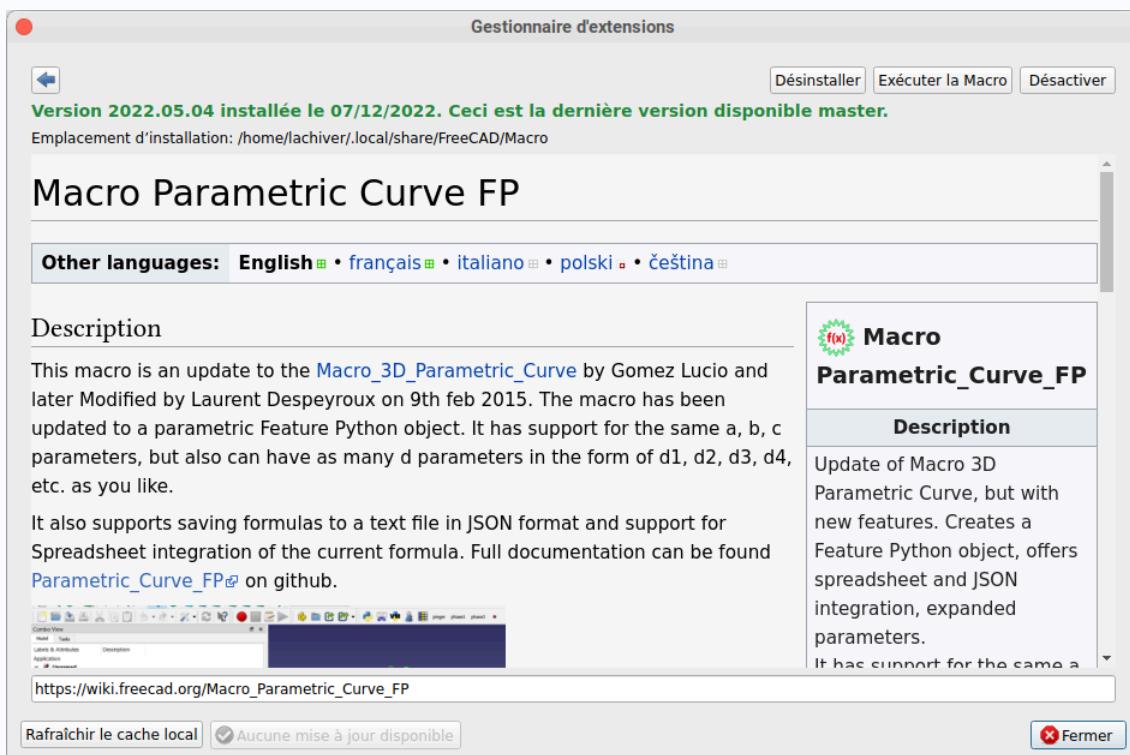
✓ Travail préparatoire

- 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 ;



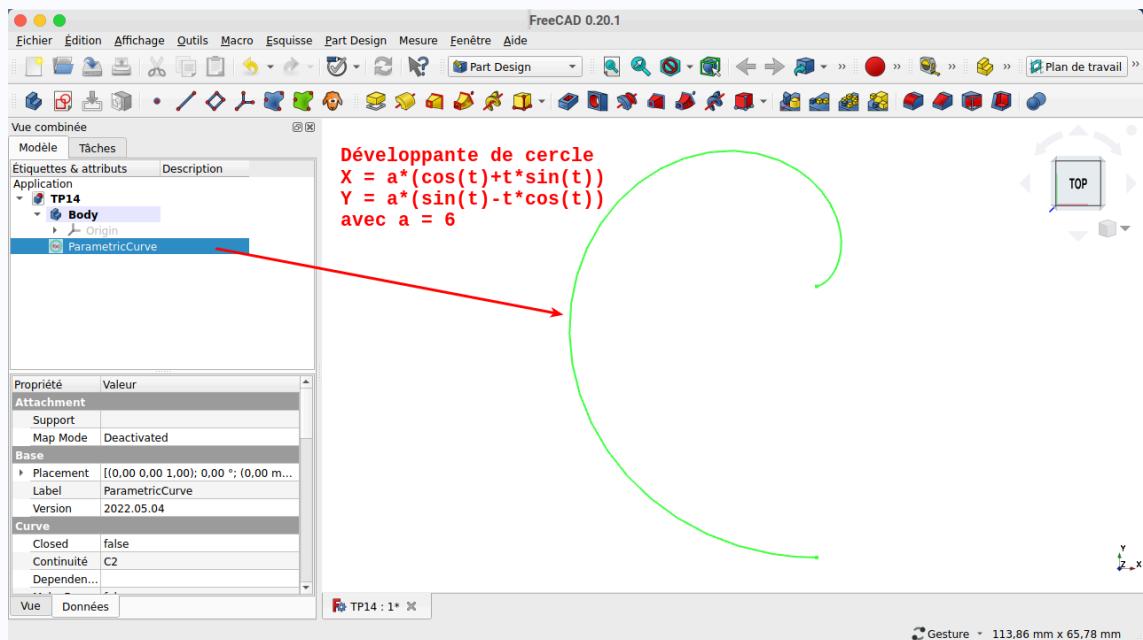
9.4.2. Exécuter la macro

✓ 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



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



9.4.3. Transformer la courbe en esquisse

❖ Tâches à réaliser

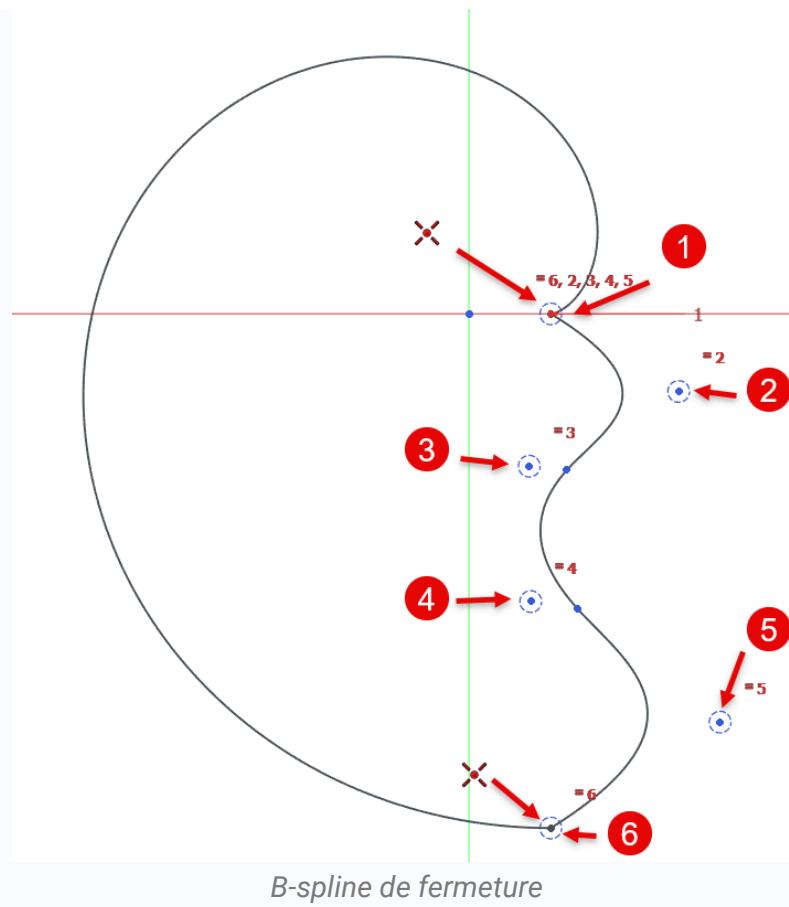
- Sélectionner l'atelier Draft ;
- Sélectionner la courbe et la transformer en esquisse ;
- Déplacer l'esquisse dans l'arborescence du corps ;
- Masquer la courbe ;

9.4.4. Fermer l'esquisse et créer la protrusion

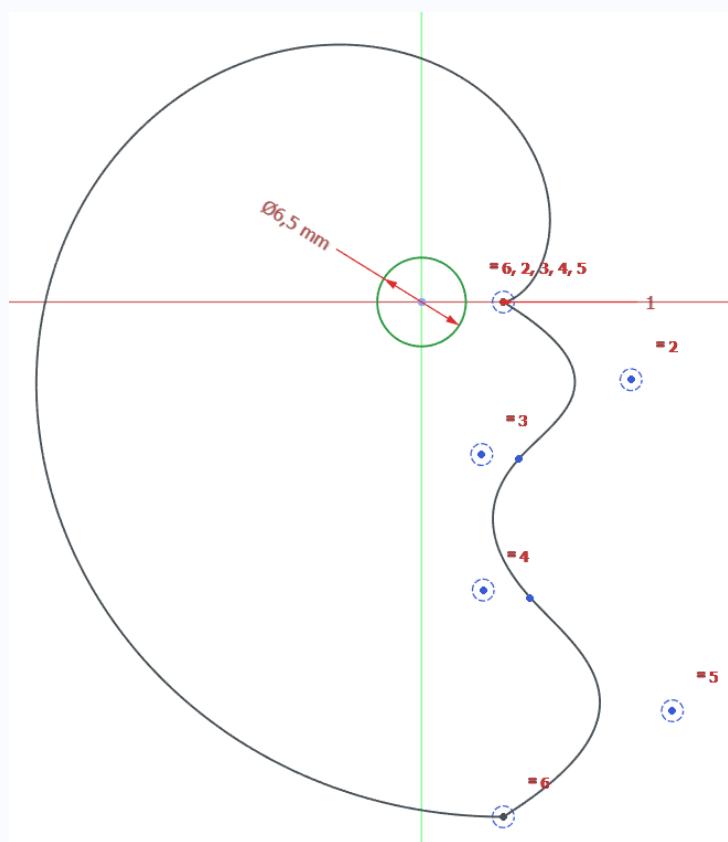
Nous allons ajouter une B-spline pour fermer l'esquisse et pouvoir créer la protrusion ;

❖ Tâches à réaliser

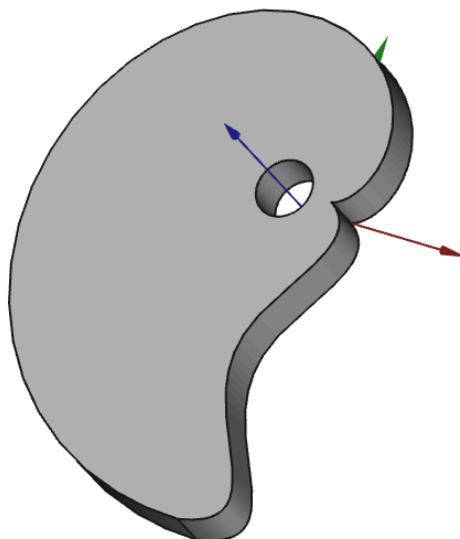
- Ouvrir l'esquisse dans l'atelier Sketcher ;
- Ajouter une B-spline à 6 points de contrôle en utilisant une contrainte automatique pour les extrémités afin de fermer le contour extérieur de l'esquisse ;



- Ajouter une cercle  de diamètre  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  :

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

Mesh

 Maillage

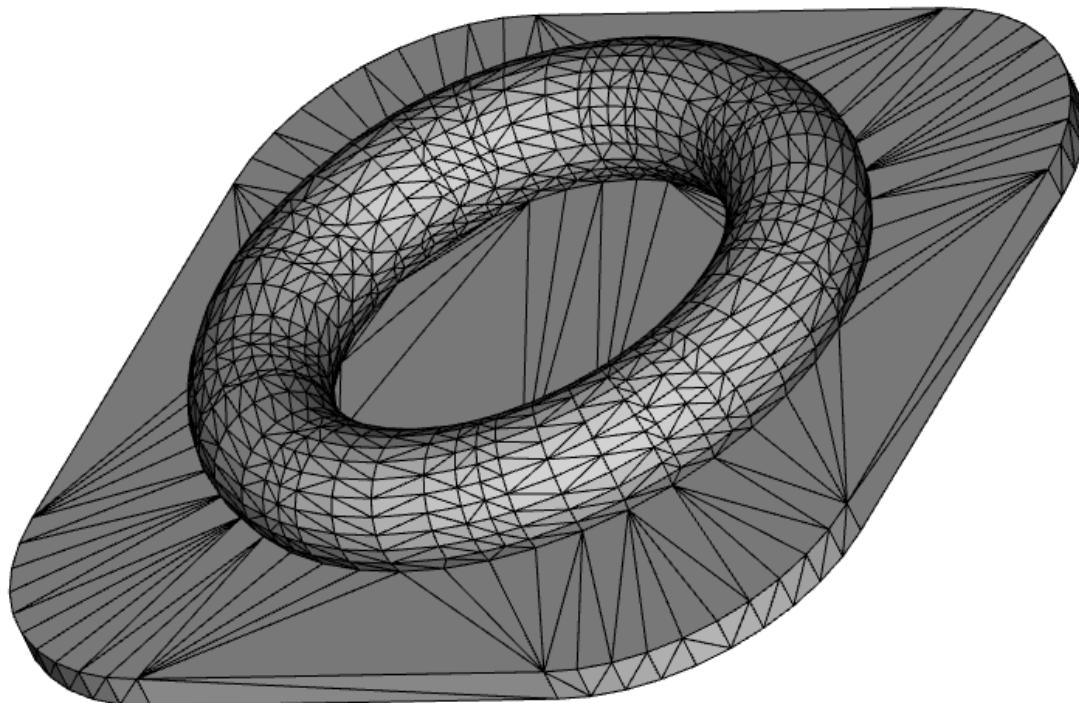
Un **mesh** ou **maillage** est un objet tridimensionnel constitué de sommets, d'arêtes et de faces organisés en polygones sous forme de fil de fer dans une infographie tridimensionnelle. Les faces se composent généralement de triangles, de quadrillatères ou d'autres polygones convexes simples, car cela 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 **tesselation**.

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.freecadweb.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 : documentation, plans de fabrication, documents contractuels ou administratifs...

L'atelier TechDraw  permet de produire des **dessins techniques** à partir de modèles 3D, créés notamment avec PartDesign .

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...

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.

FreeCAD propose deux commandes permettant d'ajouter une feuille de dessin à un document FreeCAD :

-  ajoute une feuille à l'aide du fichier modèle spécifié dans les préférences de l'atelier TechDraw ;
-  feuille ajouté à l'aide du fichier de modèle sélectionné dans une boîte de dialogue ;

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

Objectifs du chapitre

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



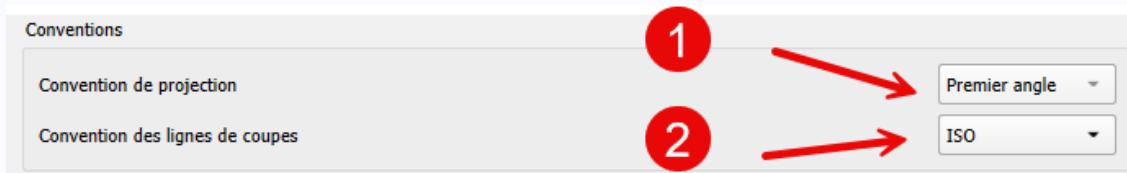
11.1. Configuration de l'atelier

Objectifs

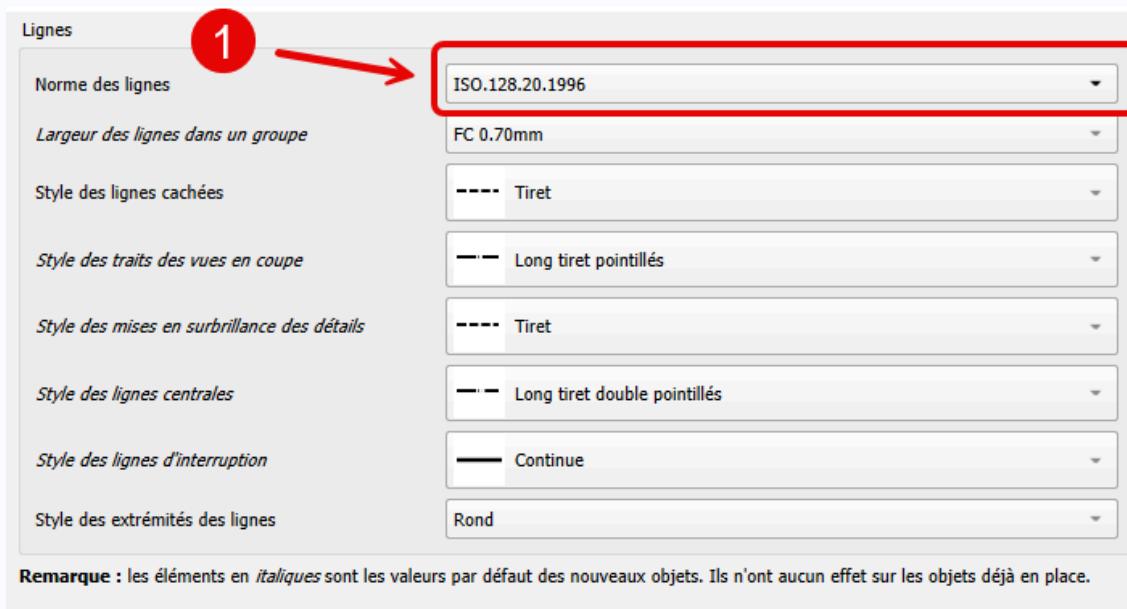
- Régler les préférences de l'atelier TechDraw W ;

Tâches à réaliser

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

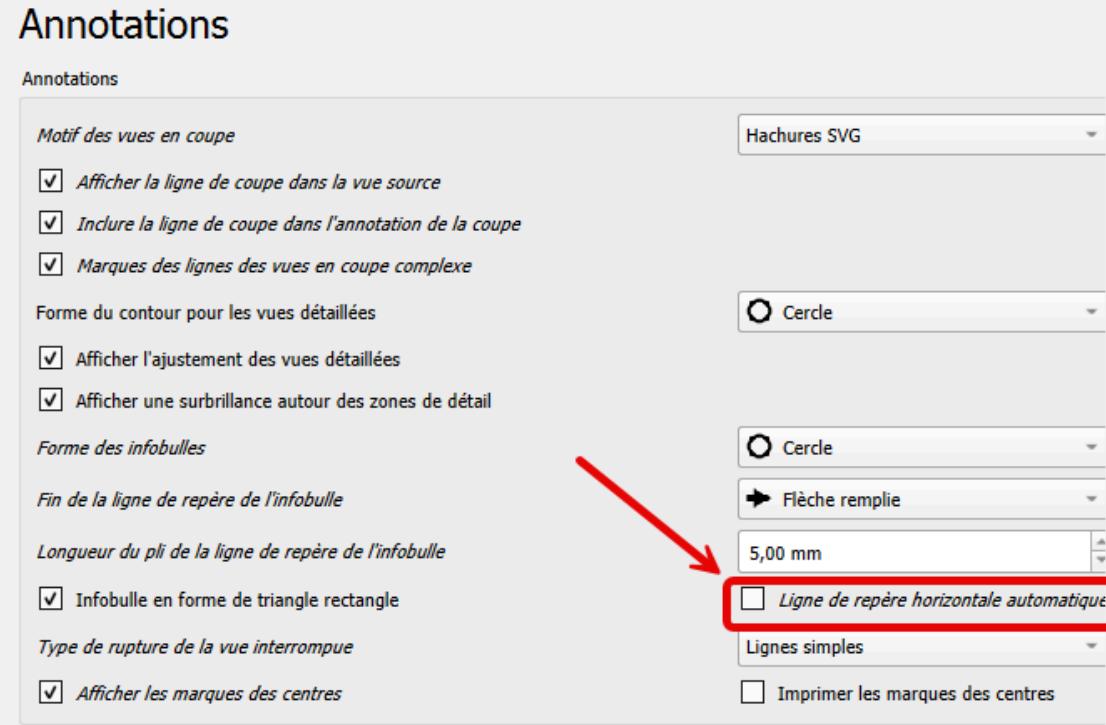


- Rubrique **Annotations** : normes européennes pour les lignes :



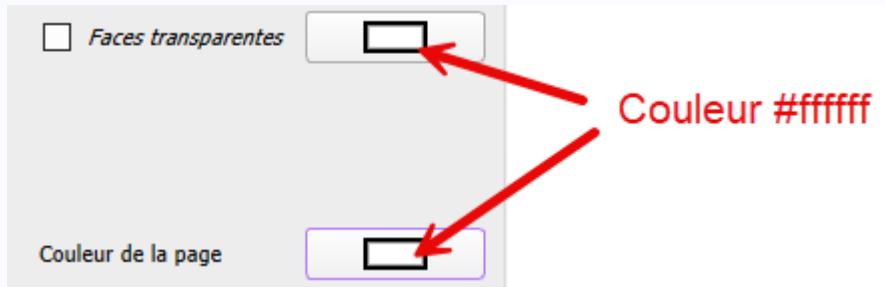


- Rubrique **Annotations** : décocher ligne de repère horizontale automatique :



Désactiver Ligne de repère horizontale automatique

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



+ Rappel des conventions

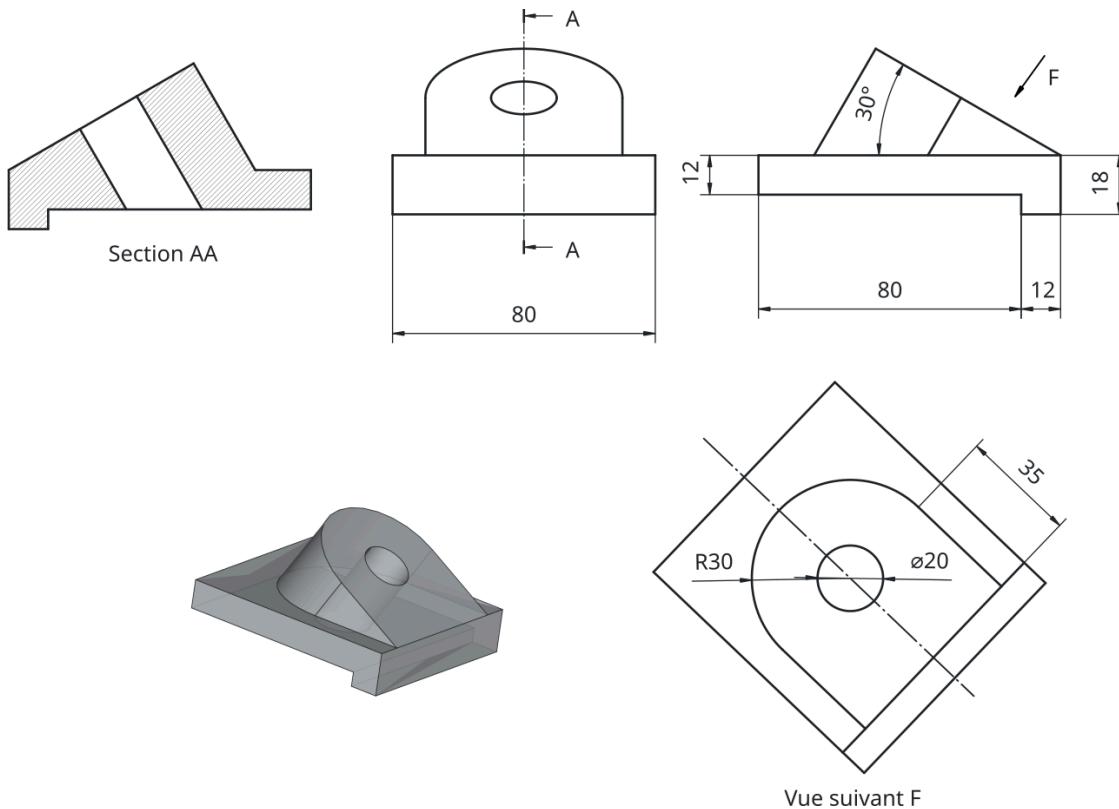
- La norme ANSI est surtout utilisée en Amérique du Nord, la norme ISO dans le reste du monde, notamment en Europe ;

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

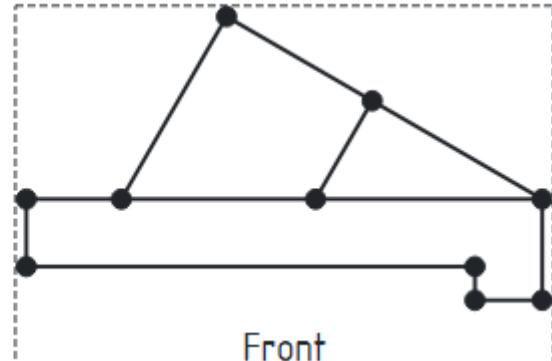
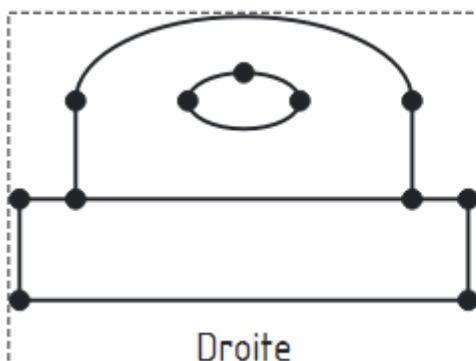
Dans l'atelier TechDraw , utiliser les commandes :

- Feuille à partir d'un modèle [W](#) pour ajouter une feuille de dessin ;
- Insérer une vue [W](#) ;



✓ Tâches à réaliser

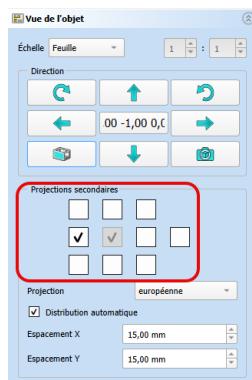
- Télécharger le fichier [TP3-3.FCStd](#) sur votre ordinateur et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer ce document sous le nom [TP11-1.FCStd](#) ;
- Dans l'atelier TechDraw , créer une feuille au format A3, Paysage, sans cartouche à l'aide de la commande Feuille à partir d'un modèle ;
- Sélectionner 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

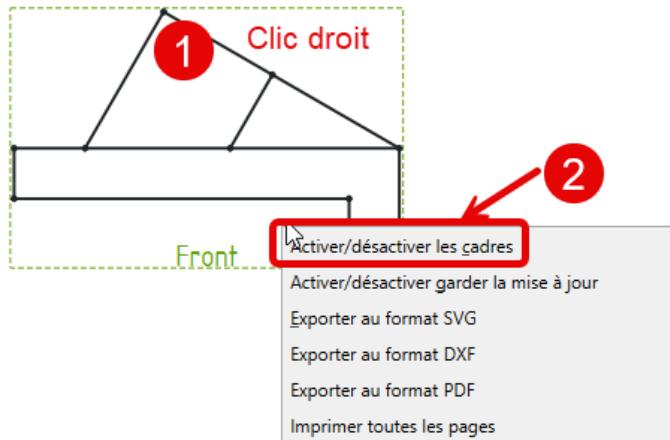
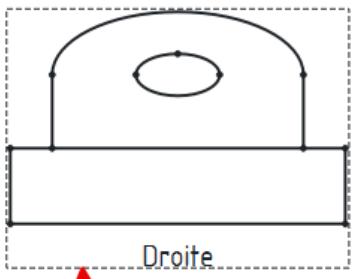
💡 Truc & astuce

- Pour créer la feuille, sélectionner le modèle [A3_Landscape_blank.svg](#) ;
- Pour créer la vue groupe de projections : sélectionner la vue de face et la vue de droite ;



⌚ Cadres autour des vues

Par défaut, FreeCAD affiche des cadres autour des vues que vous pouvez **activer / désactiver** à l'aide d'un clic droit sur une vue ou de la commande [TechDraw → Vues de TechDraw → Activer / désactiver les cadres de vues](#) ;



Activer / désactiver les cadres autour des vues

11.2.2. Vue en coupe

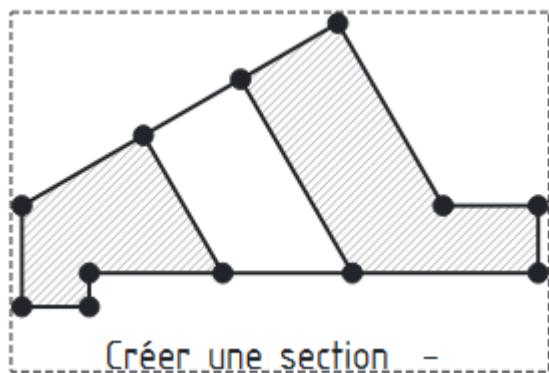
Objectifs

Dans l'atelier TechDraw , utiliser les commandes :

- Insérer une vue en coupe 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 ;



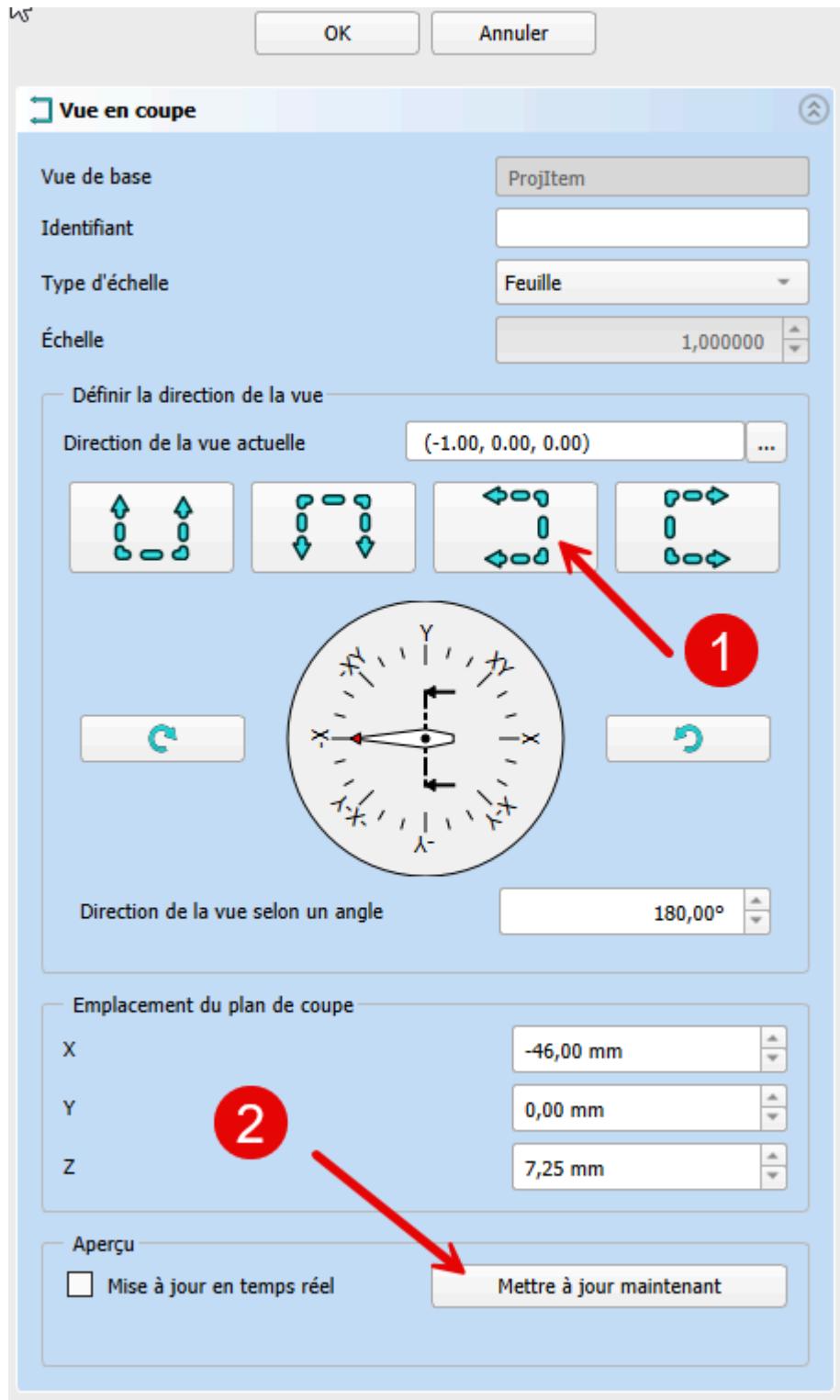
Vue en coupe

- 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

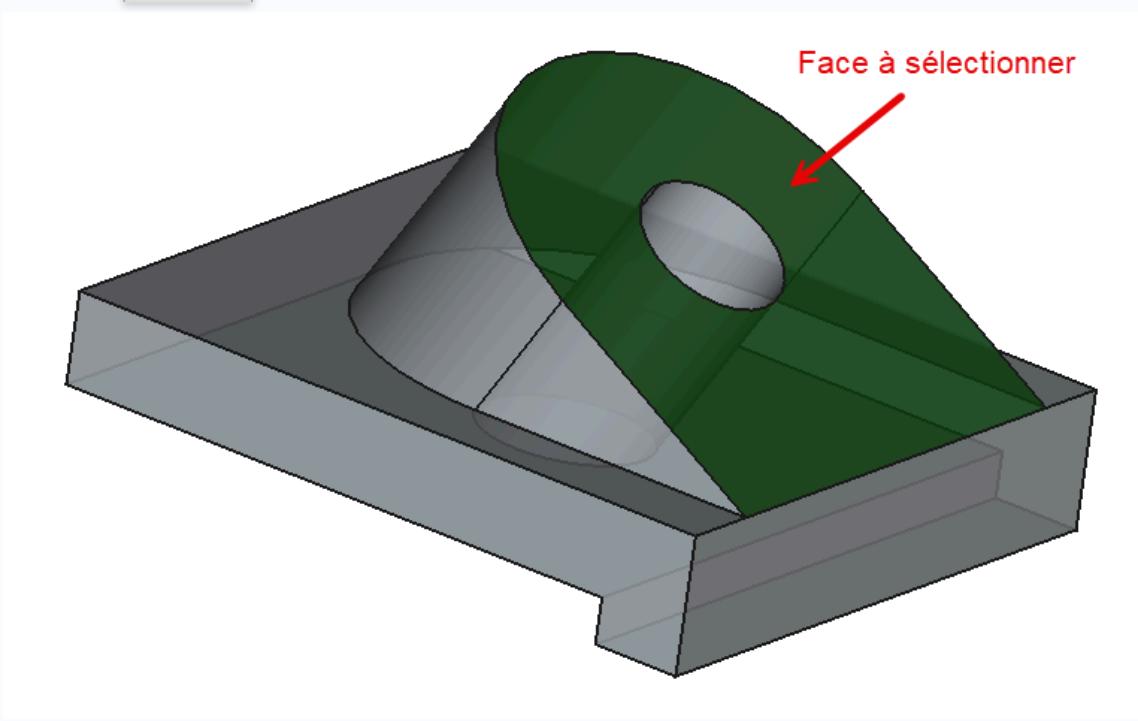
Objectifs

Dans l'atelier TechDraw , utiliser les commandes :

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

Tâches à réaliser (suite)

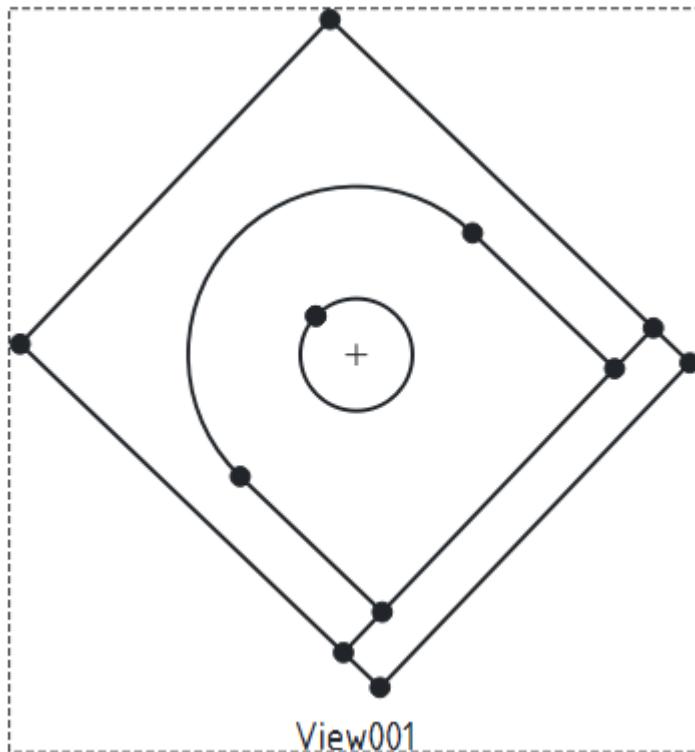
- Afficher l'onglet **TP11-1** contenant la vue 3D du modèle et sélectionner la face inclinée supérieure ;



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

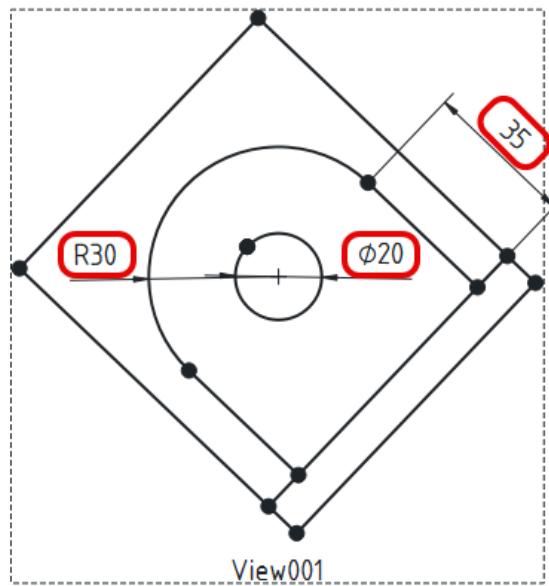
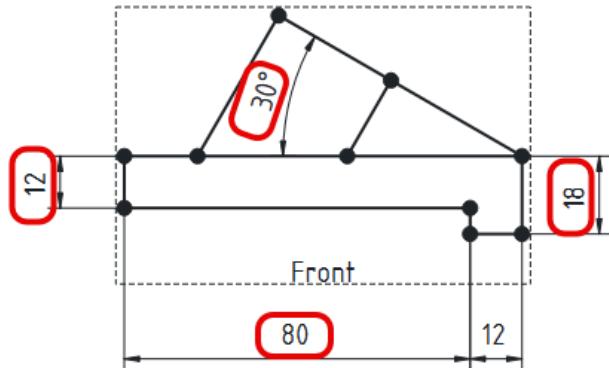
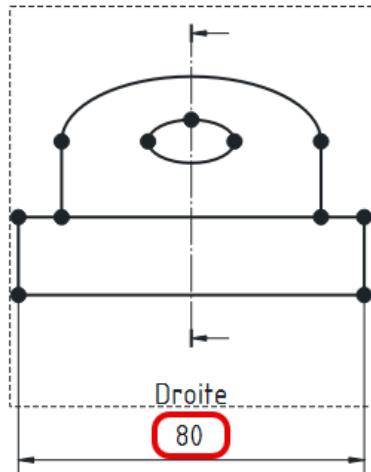
Utiliser les commandes de l'atelier TechDraw :

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



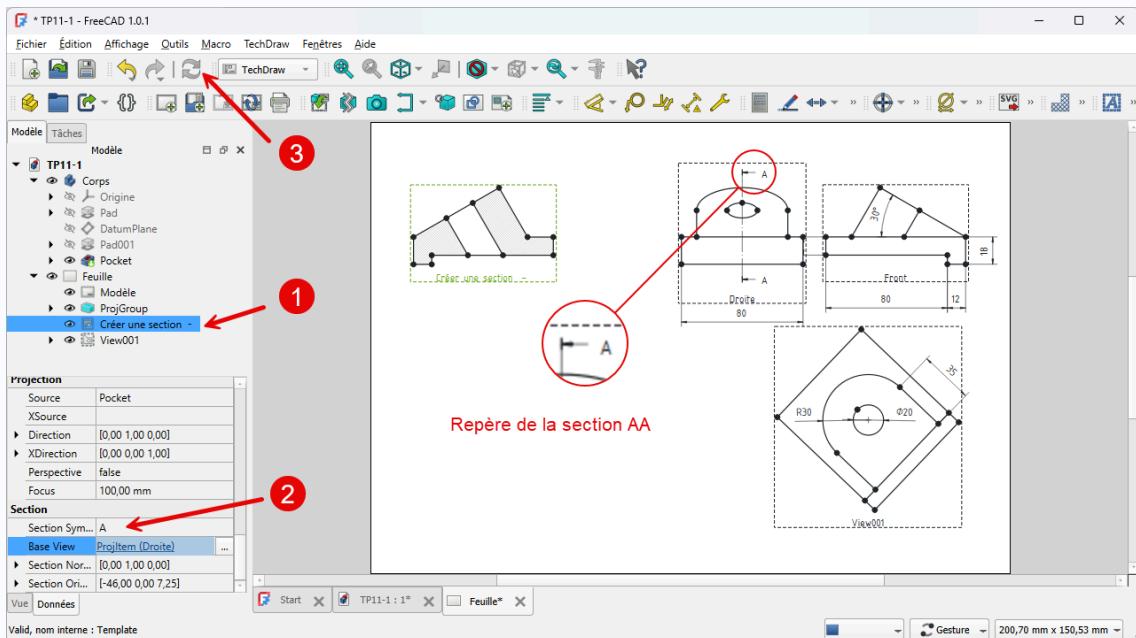
✓ Tâches à réaliser

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

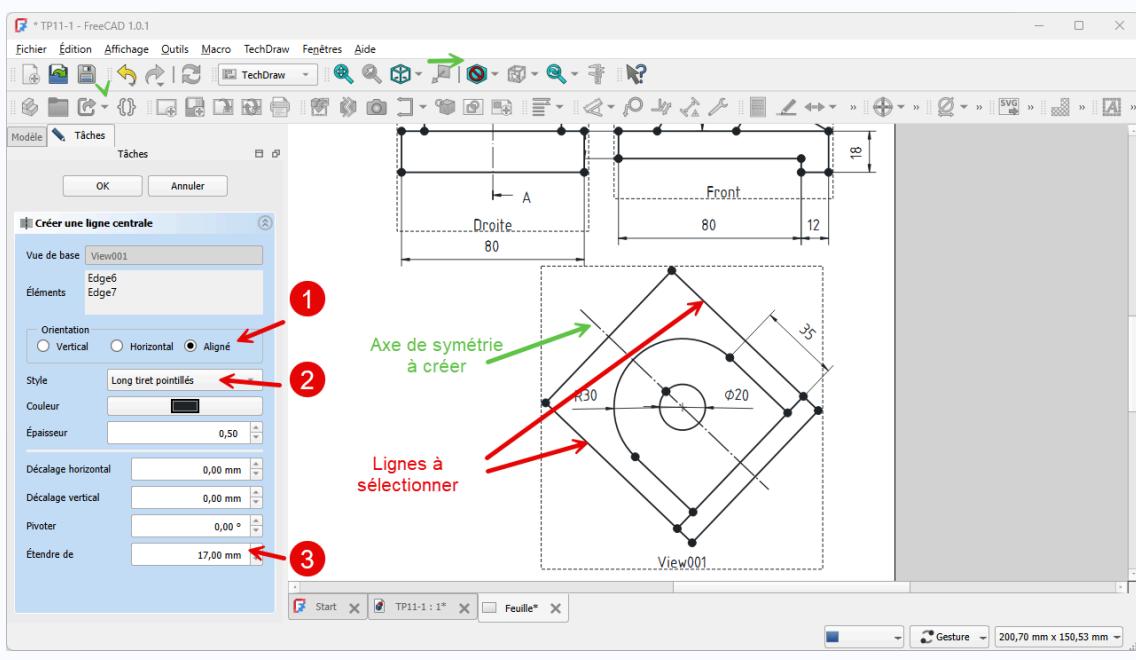




- Ajouter la lettre A pour repérer la section :



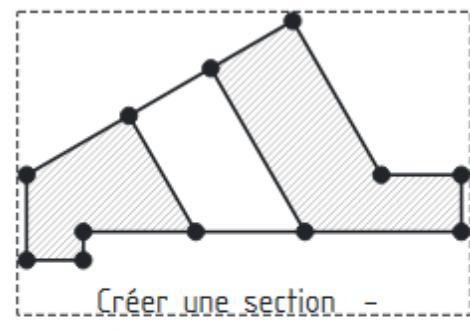
- Ajouter un axe de symétrie à la vue suivant F à l'aide de la commande Ajouter une ligne centrale entre deux lignes :



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



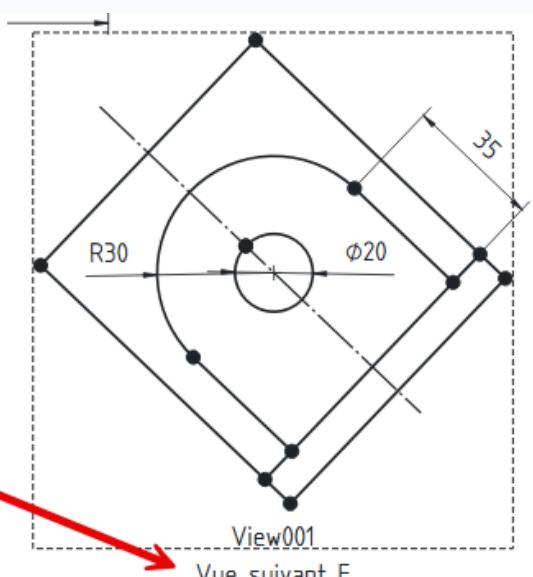
Appearance	
Section Line...	1,00
Base	
X	74,35 mm
Y	228,37 mm
Lock Position	false
Rotation	90,00 °
Scale Type	Page
Scale	1,00
Caption	Section AA
Label	Créer une section -



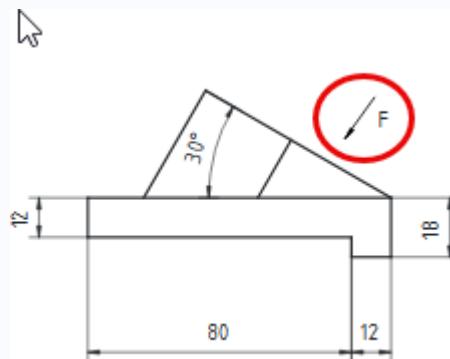
- Ajouter une légende « Vue suivant F » à la vue projection du plan inclinée :

Base	
Type	Front
Rotation Ve...	[1,00 0,00 0,00]
X	326,96 mm
Y	101,15 mm
Lock Position	false
Rotation	0,00 °
Scale Type	Page
Scale	1,00
Caption	Vue suivant F
Label	view001

HLR Parameters	
Coarse View	false
Smooth Visi...	true
Seam Visible	false
Iso Visible	false
Hard Hidden	false
Smooth Hid...	false
Seam Hidden	false
Iso Hidden	false



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



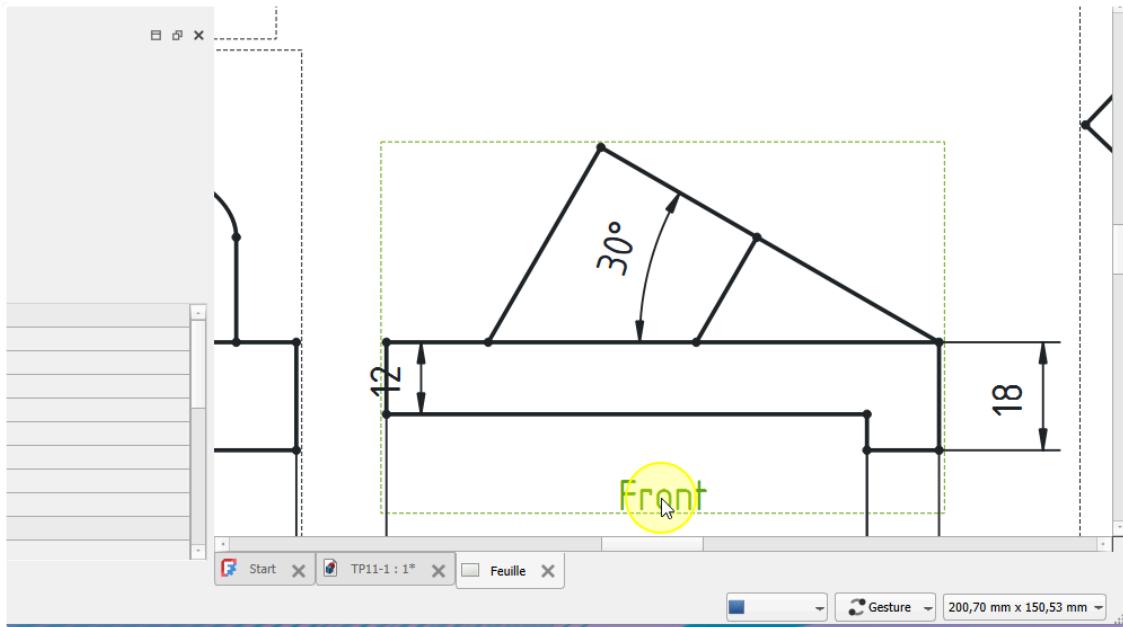


11.2.4.1. Insertion de la direction pour la vue oblique

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

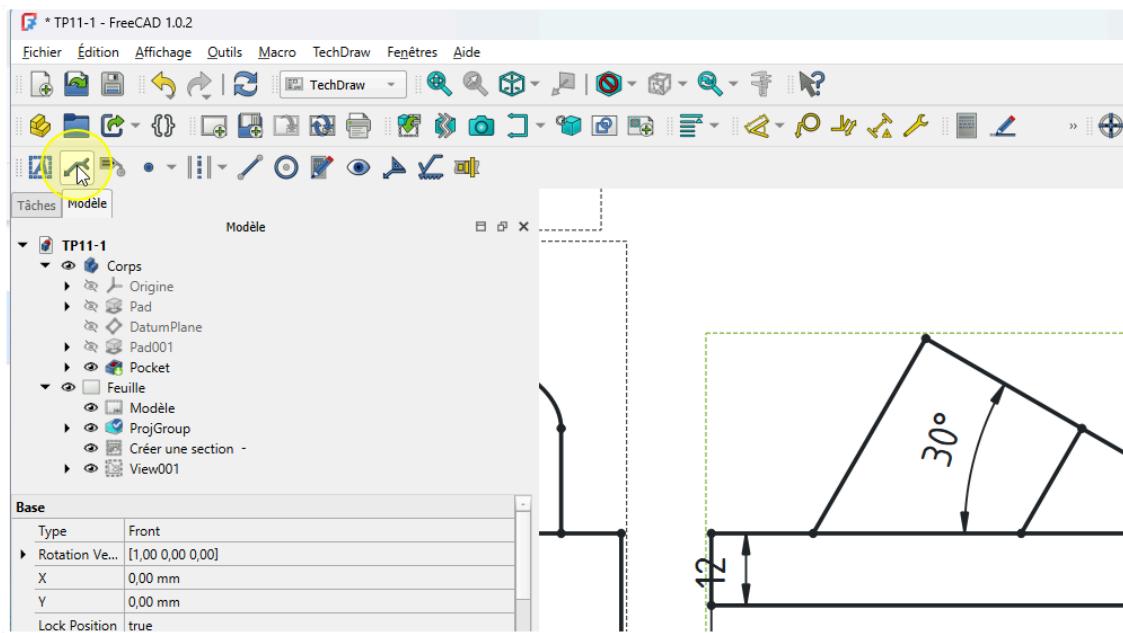
Procédure

1. Sélectionner la vue de face



Sélection de la vue

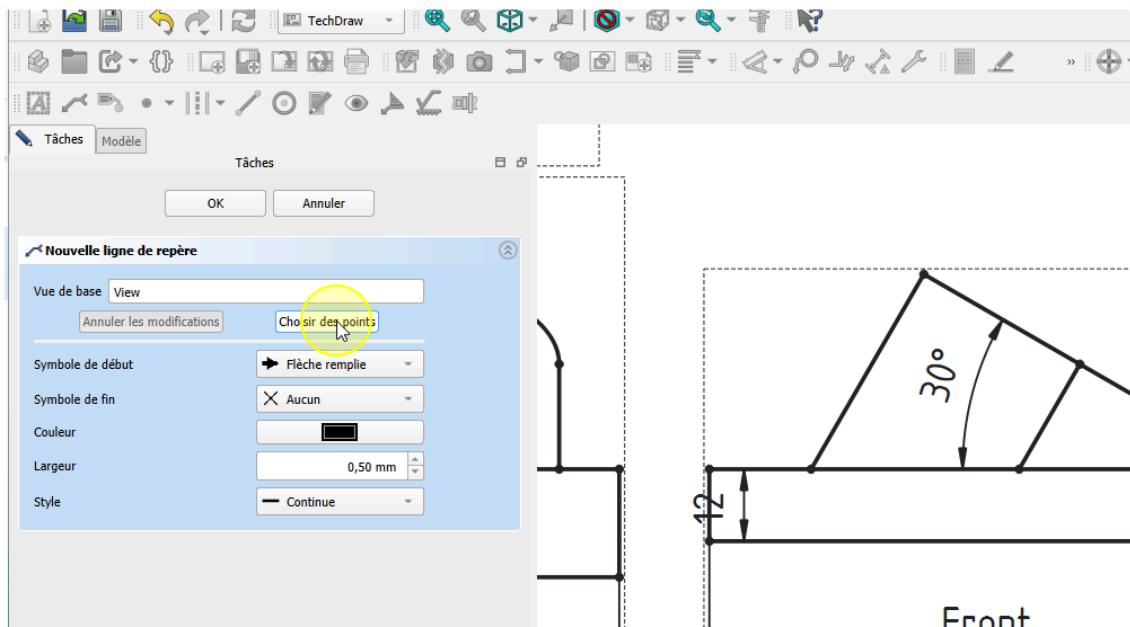
2. Cliquer sur la commande Ajouter une ligne de repère à la vue ;



Sélectionner la commande Ligne de repère

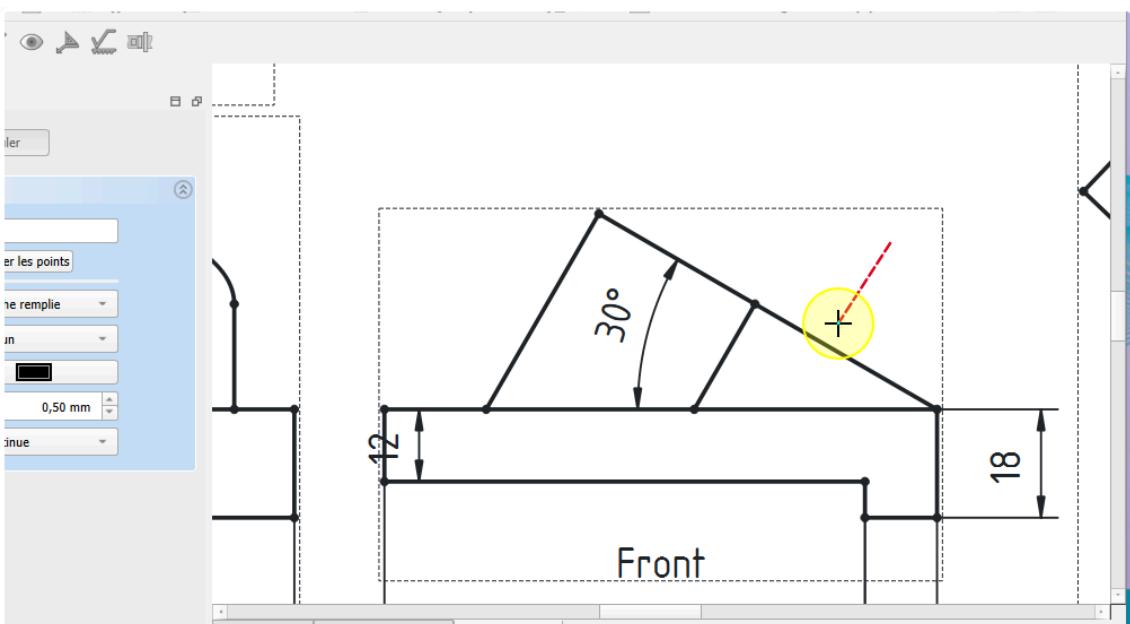


3. Cliquer sur le bouton [choisir des points] ;



Cliquez sur le bouton Choisir des points

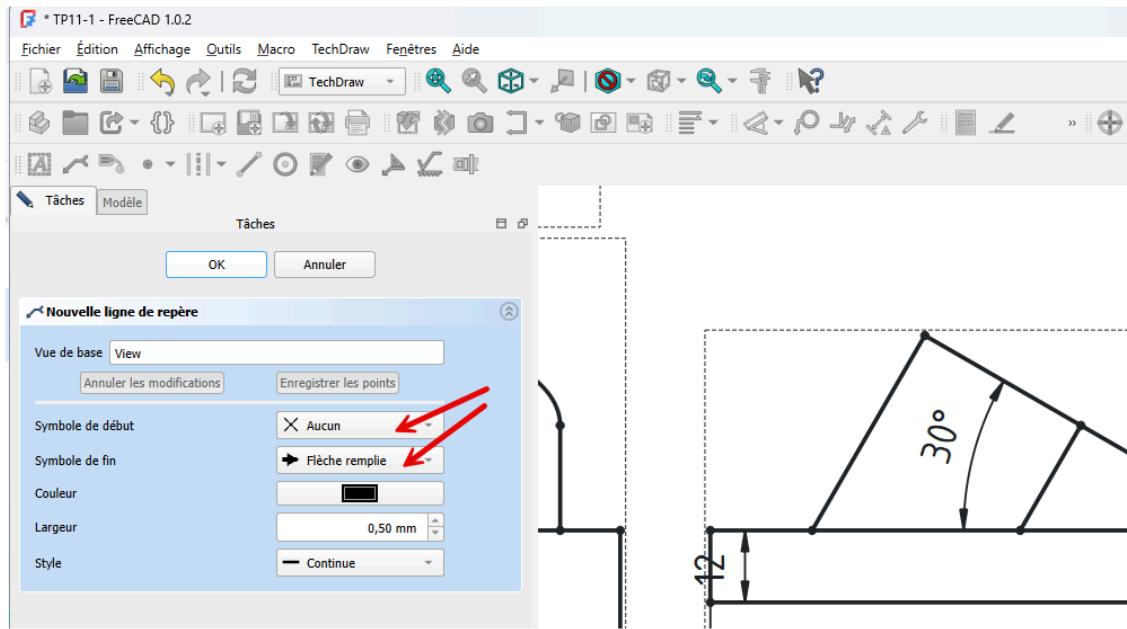
4. Cliquer gauche pour saisir le premier point et double-cliquer gauche pour saisir le deuxième point de la flèche et clôturer la saisie ;



Saisir les points du repère

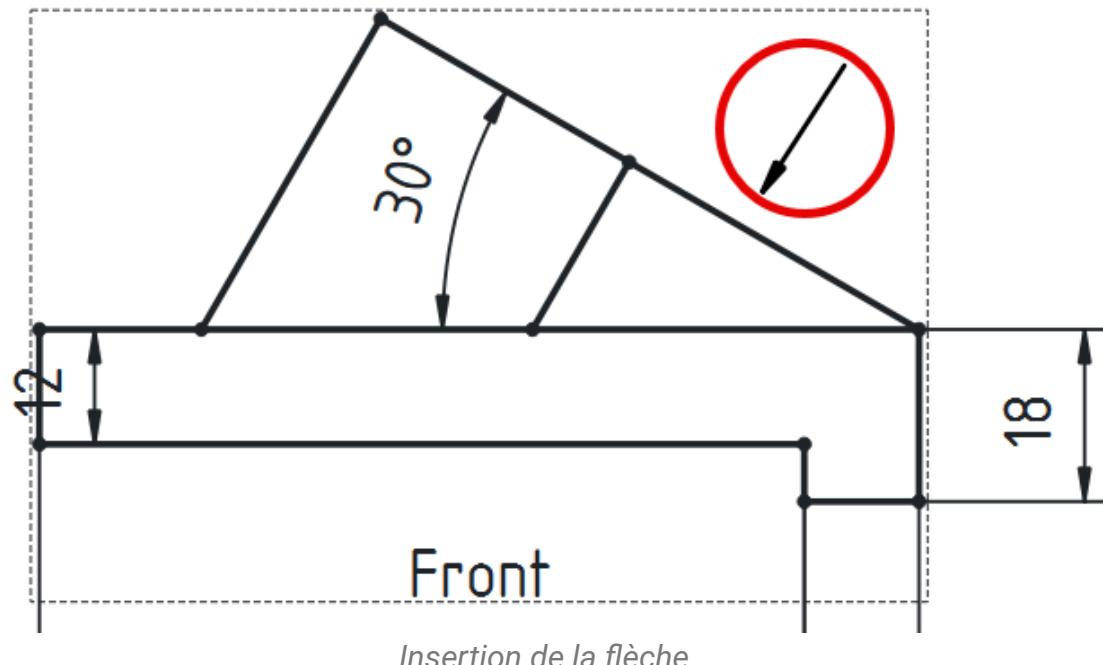


5. Si nécessaire ajuster le symbole de début et de fin ;



Ajuster les symboles de début et de fin

6. Valider



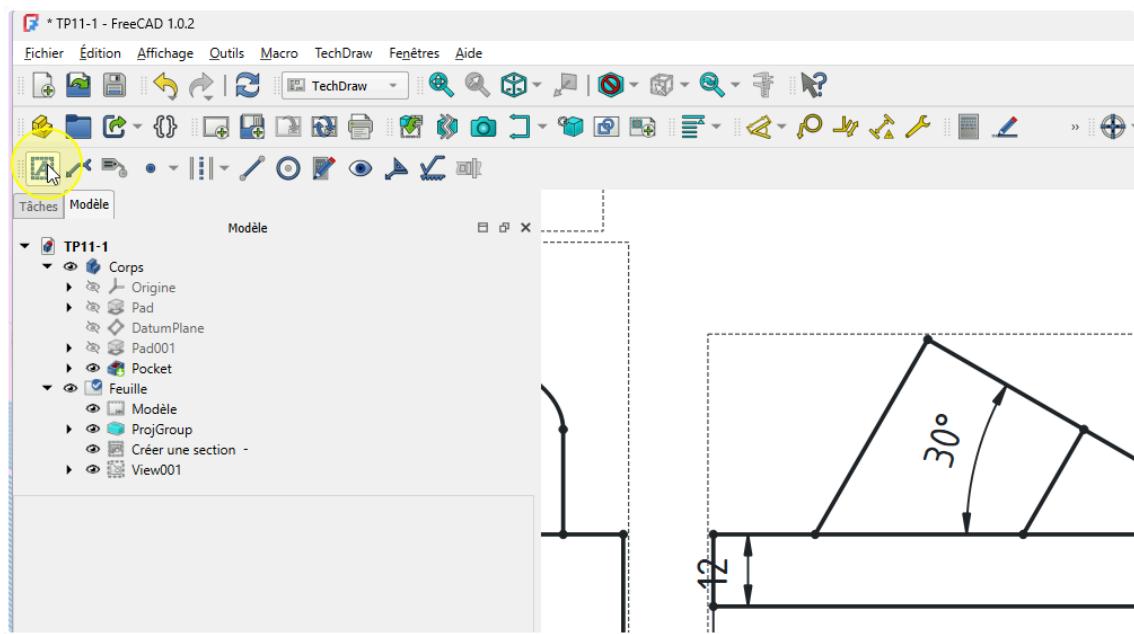
Insertion de la flèche



Pour insérer la lettre F

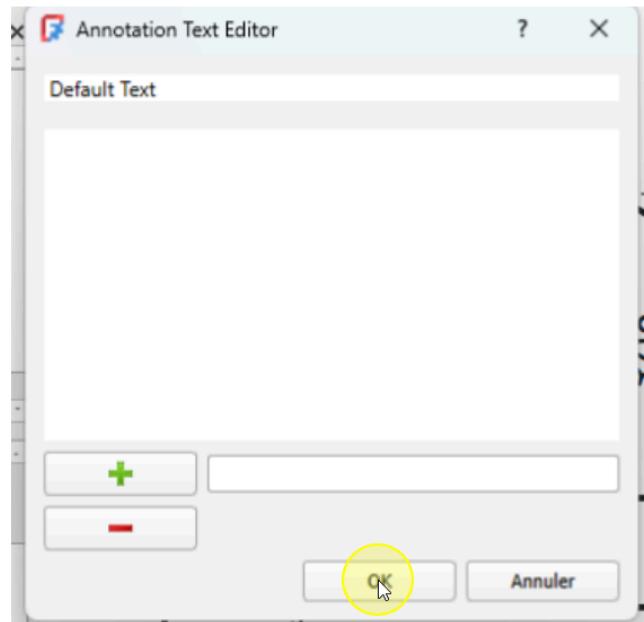
Procédure

1. Cliquer le sur bouton Insérer une annotation ;



Cliquez sur la commande Annotation

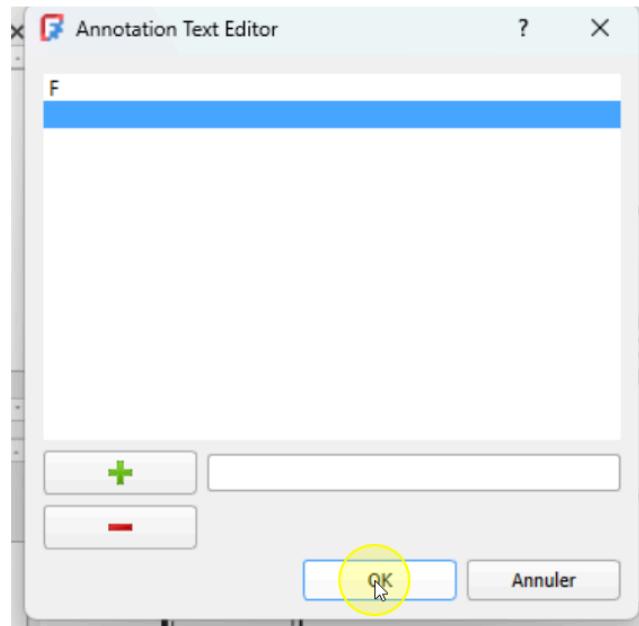
2. Double cliquer sur l'annotation ;



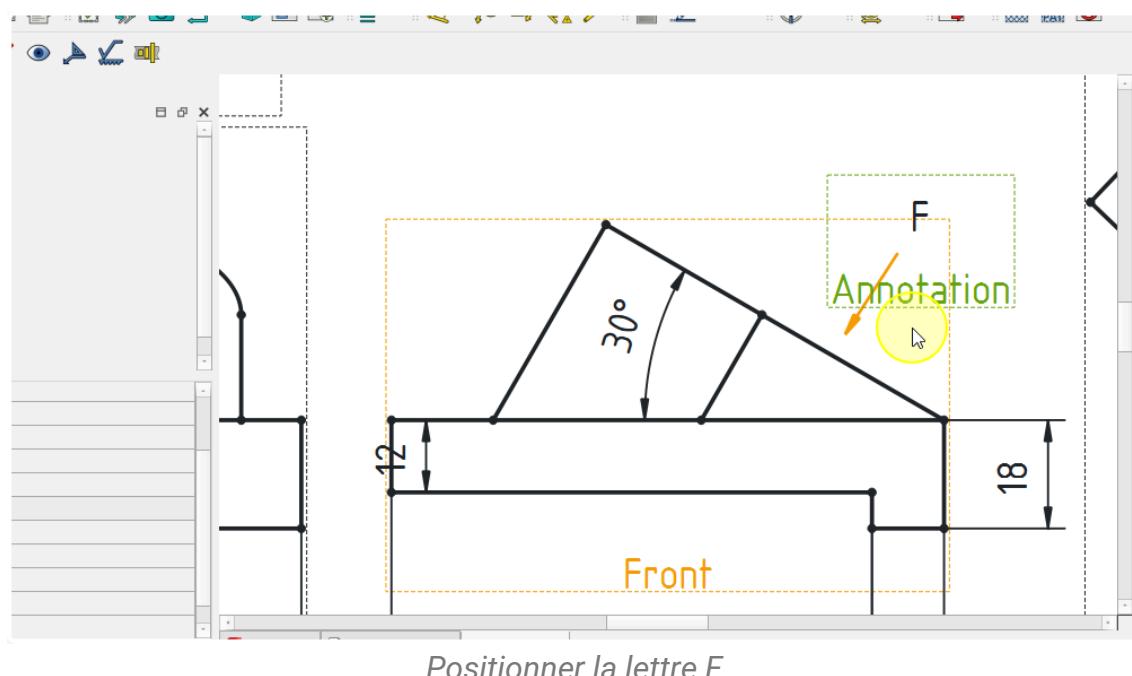
Édition de l'annotation



3. Modification de l'annotation et valider

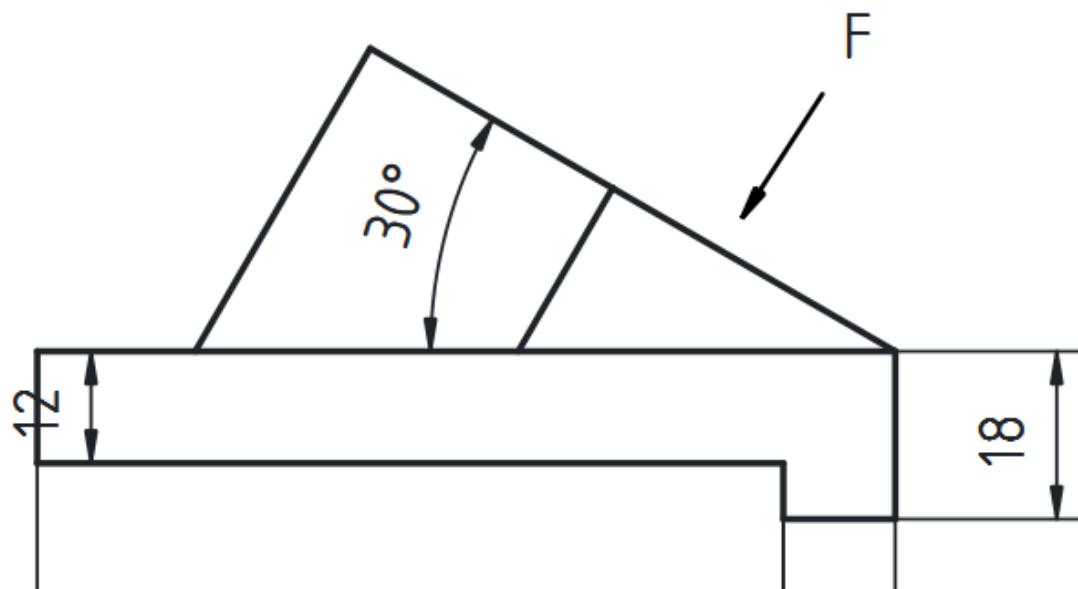


4. Positionner l'annotation ;





5. Masquer les cadres à l'aide d'un clic droit sur la vue ;



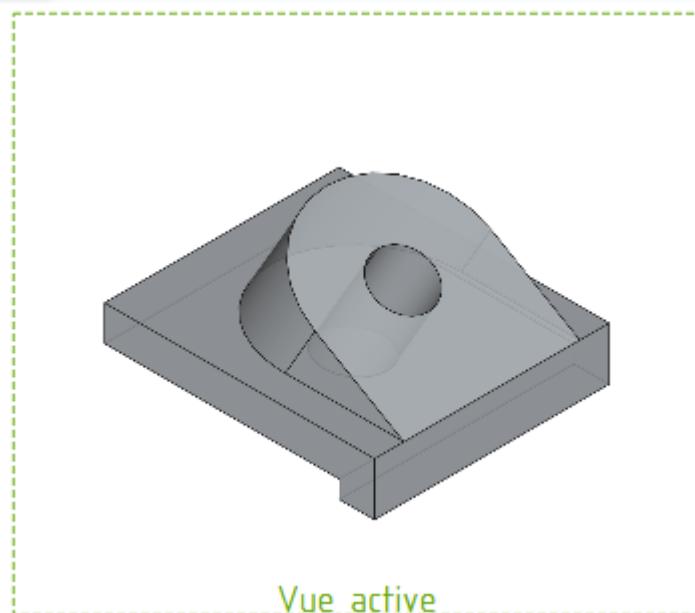
11.2.5. Vue 3D

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 ;



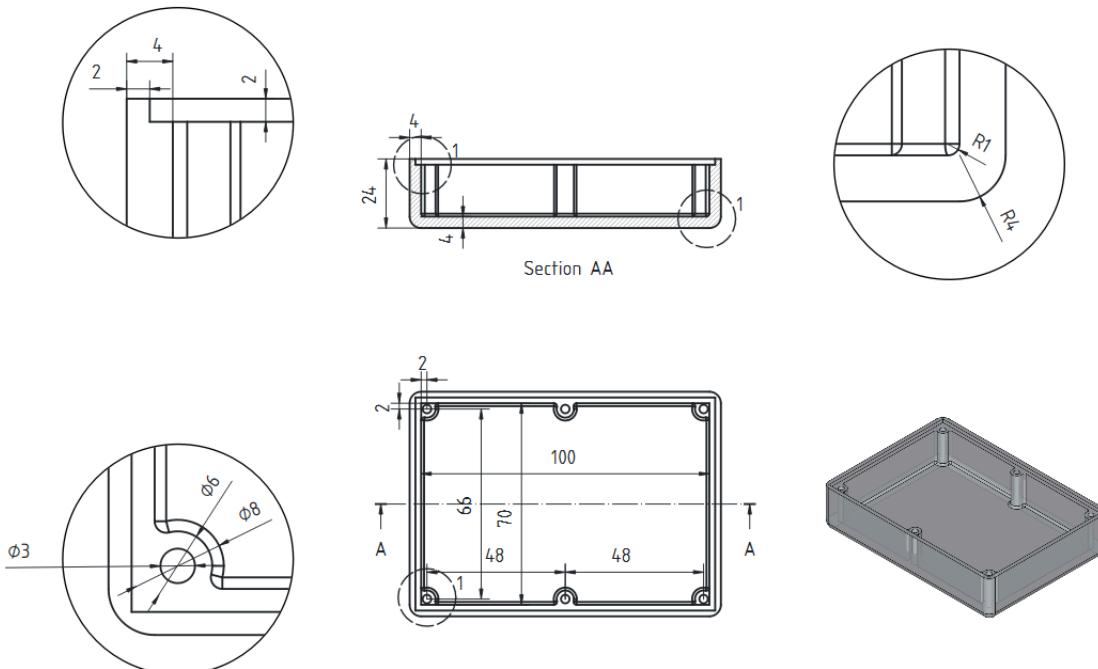
- Activer les cadres de vue si nécessaire et repositionner les vues dans la feuille ;



- Désactiver les cadres de vues après le repositionnement ;

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 :

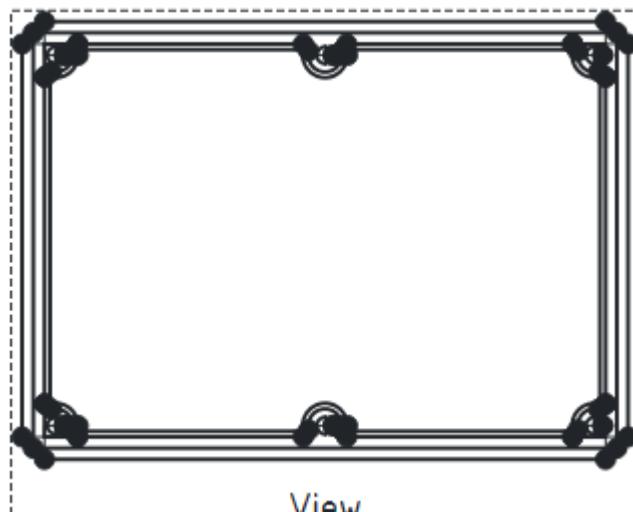
- Feuille à partir d'un modèle** pour ajouter une feuille de dessin ;
- Insérer une vue** ;

Tâches à réaliser

- Télécharger le fichier **TP6-2.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** ;

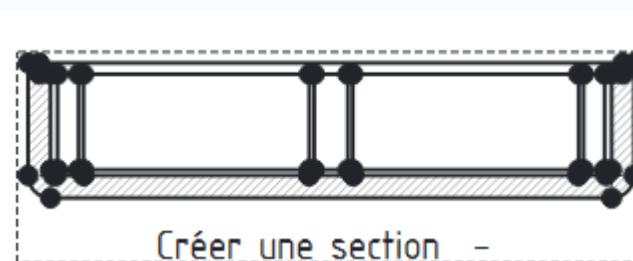


- Sélectionner l'objet Fillet001 dans l'onglet **Modèle** et crée la vue groupe de projections ci-dessous à l'aide la commande Insérer une vue ;



Vue principale

- Sélectionner la vue et insérer la vue en coupe ci-dessous :

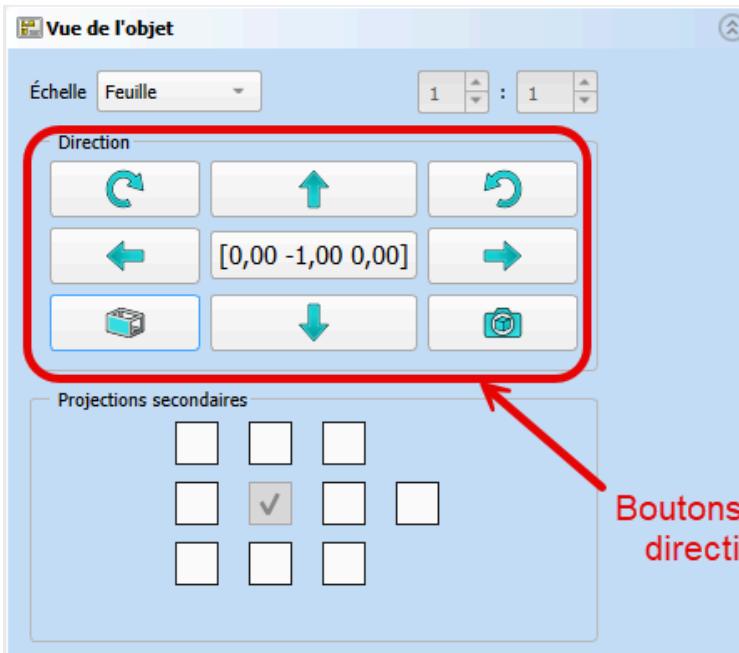


Vue en coupe



💡 Truc & astuce

- Pour choisir la direction de la vue principale, utiliser les boutons de direction de l'onglet Tâches :



11.3.2. Cotes

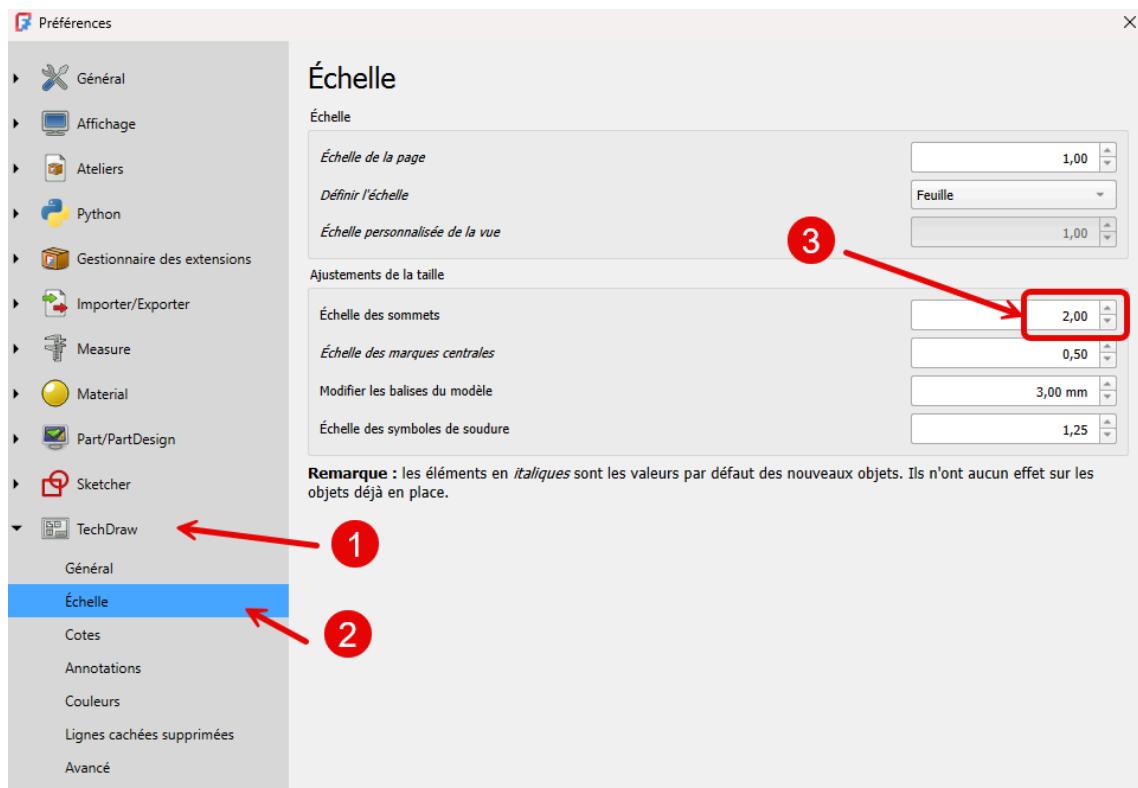
🎯 Objectifs

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 ;

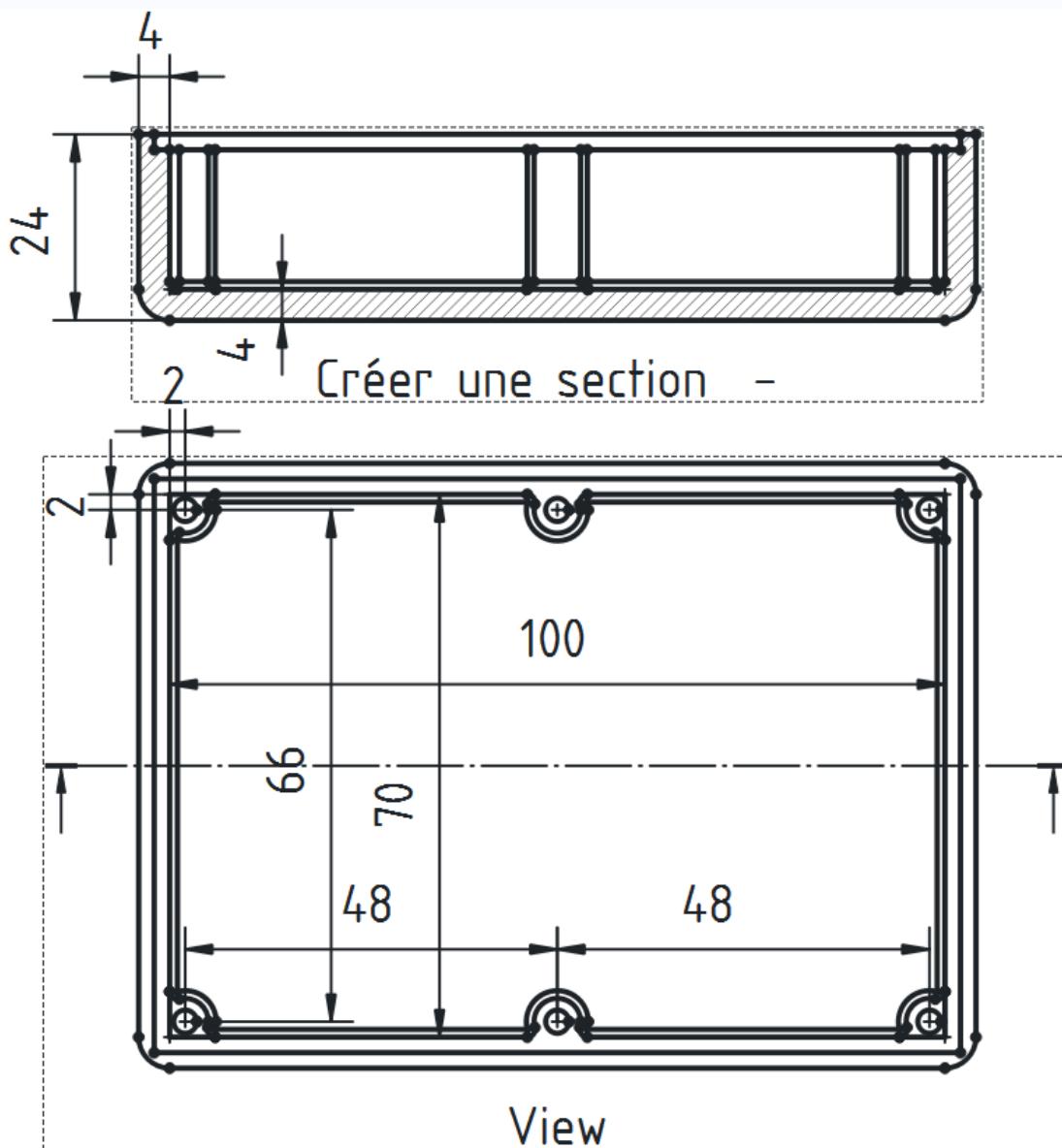


Échelle des sommets (tailles des points de sélection pour la cotation)



☰ Tâches à réaliser

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



- 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

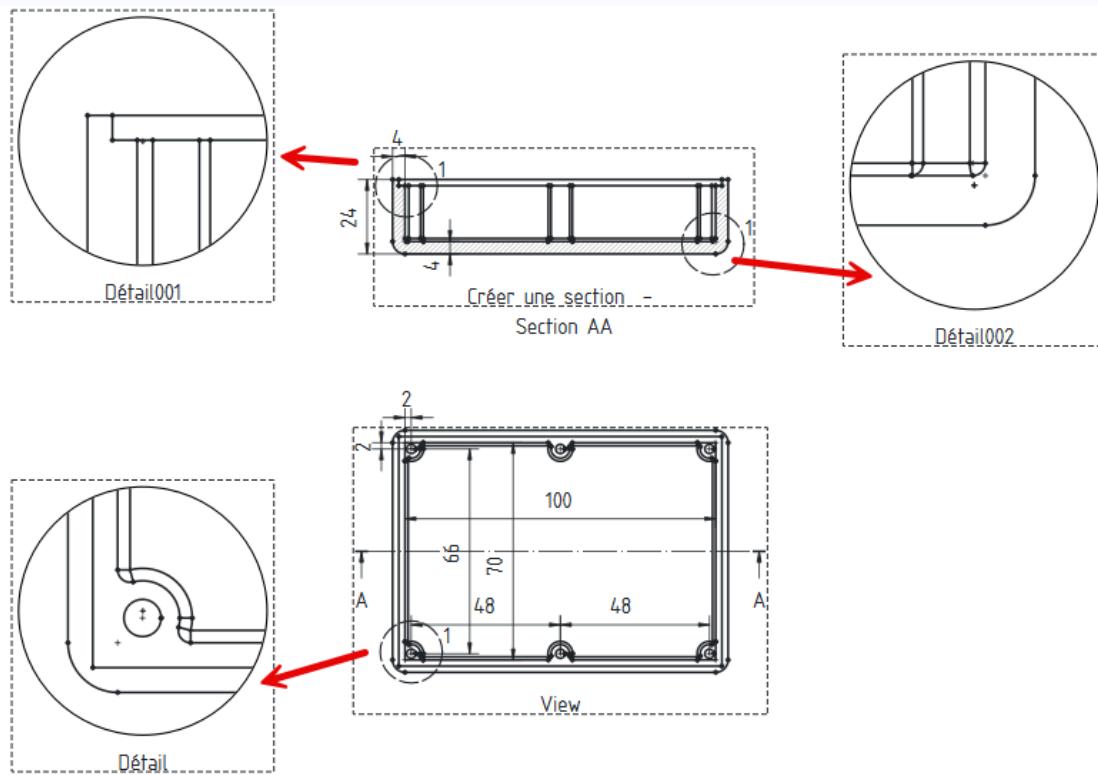
🎯 Objectifs

- Utiliser la commande Vue détaillée W ;



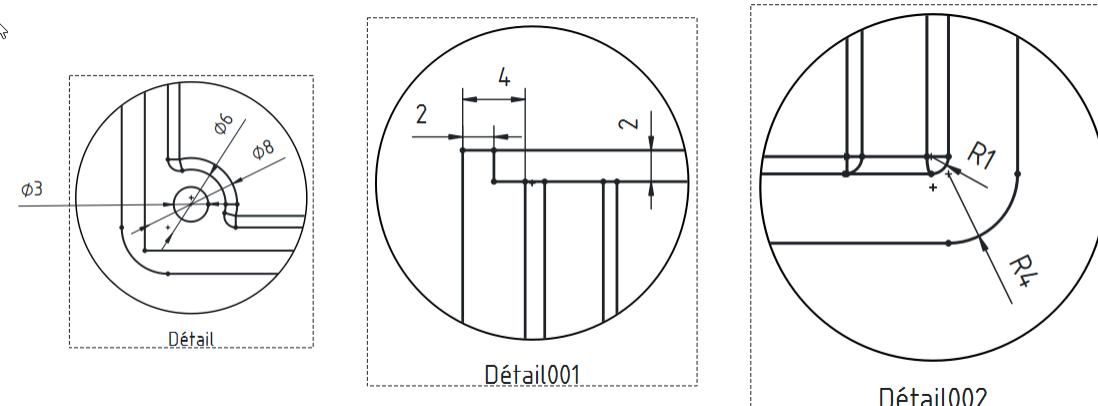
▼ Tâches à réaliser

- Ajouter les vues détaillées ci-dessous :



Vues détaillées à créer

- Compléter la cotation des vues détaillées comme ci-dessous :



Vues détaillées cotées

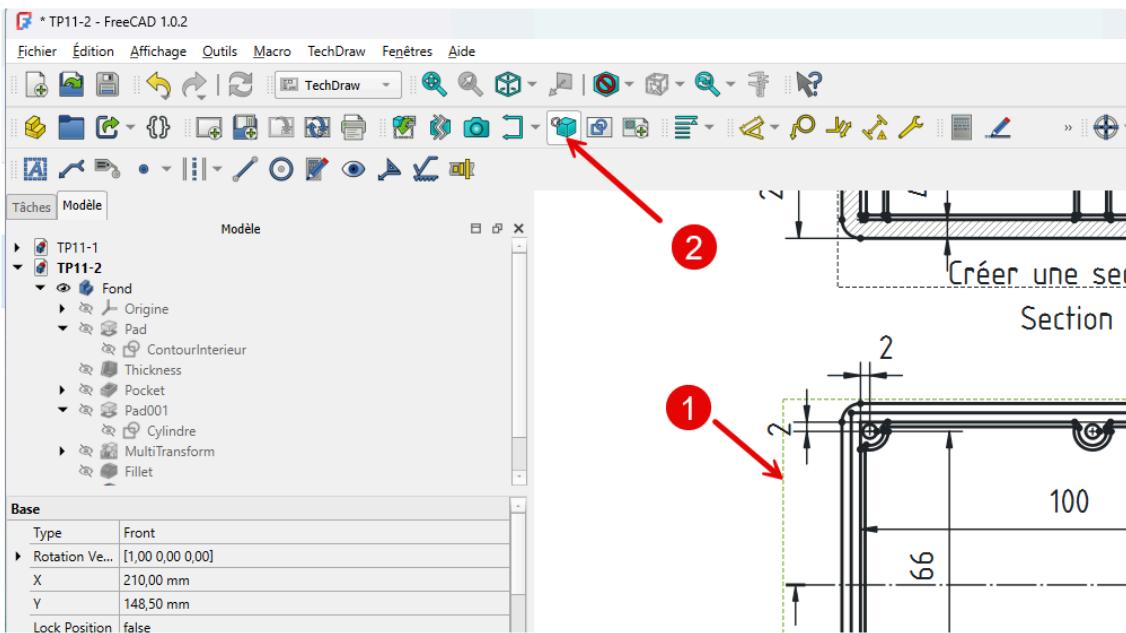


11.3.3.1. Insérer une vue détaillée

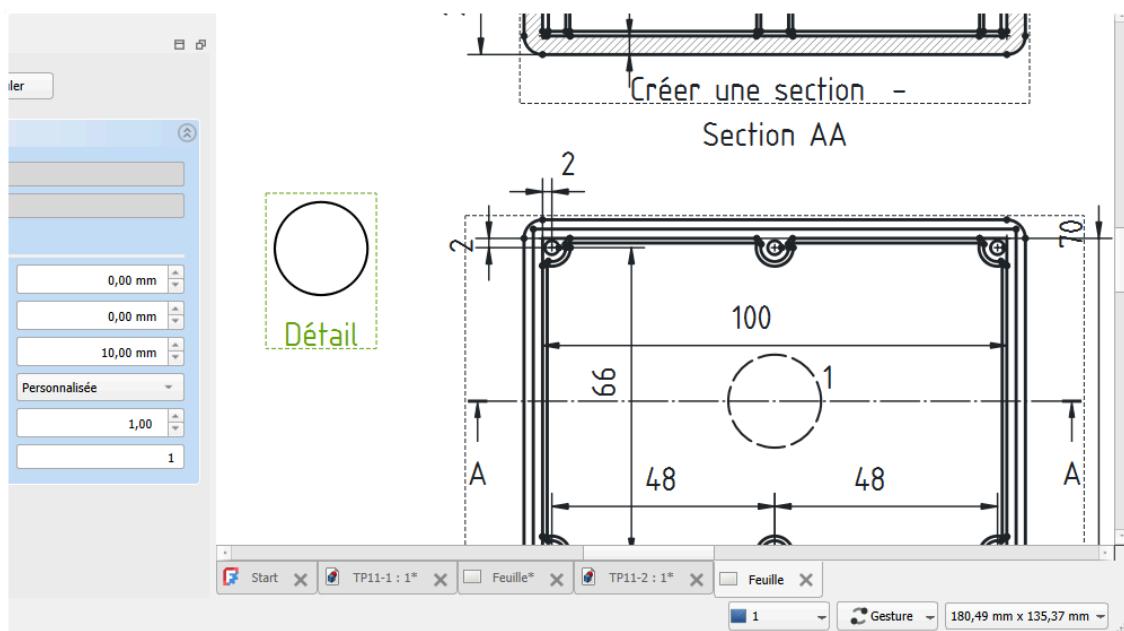
Pour insérer une vue détaillée

Procédure

1. Sélectionner la vue de base pour la vue détaillée et sélectionner la commande ;

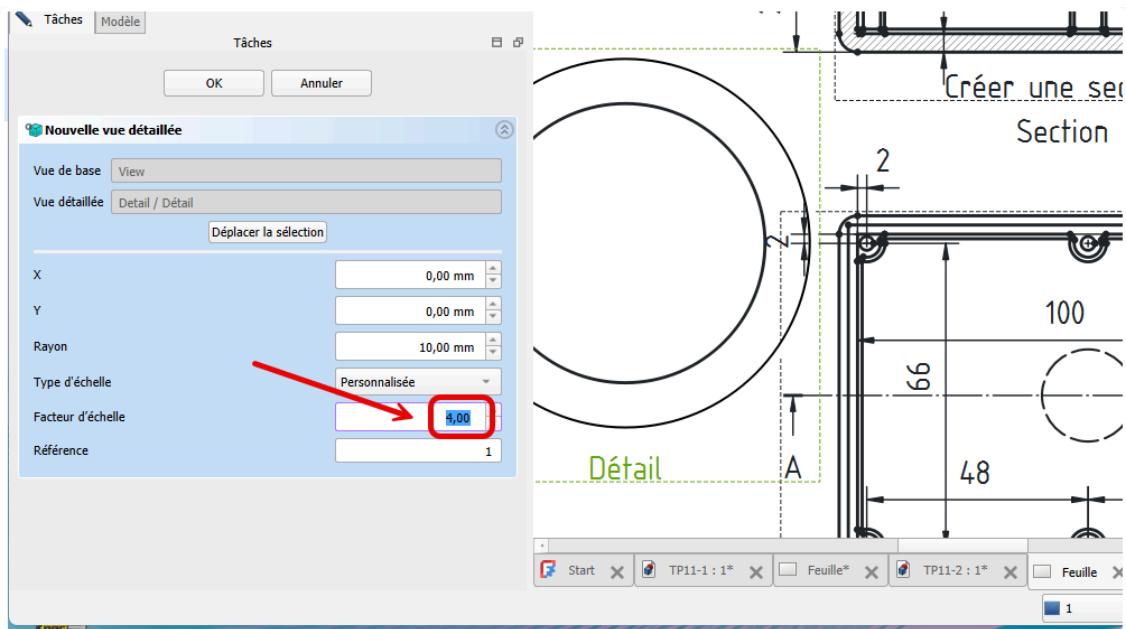


2. Déplacer la vue détaillée en dehors de la vue de base ;

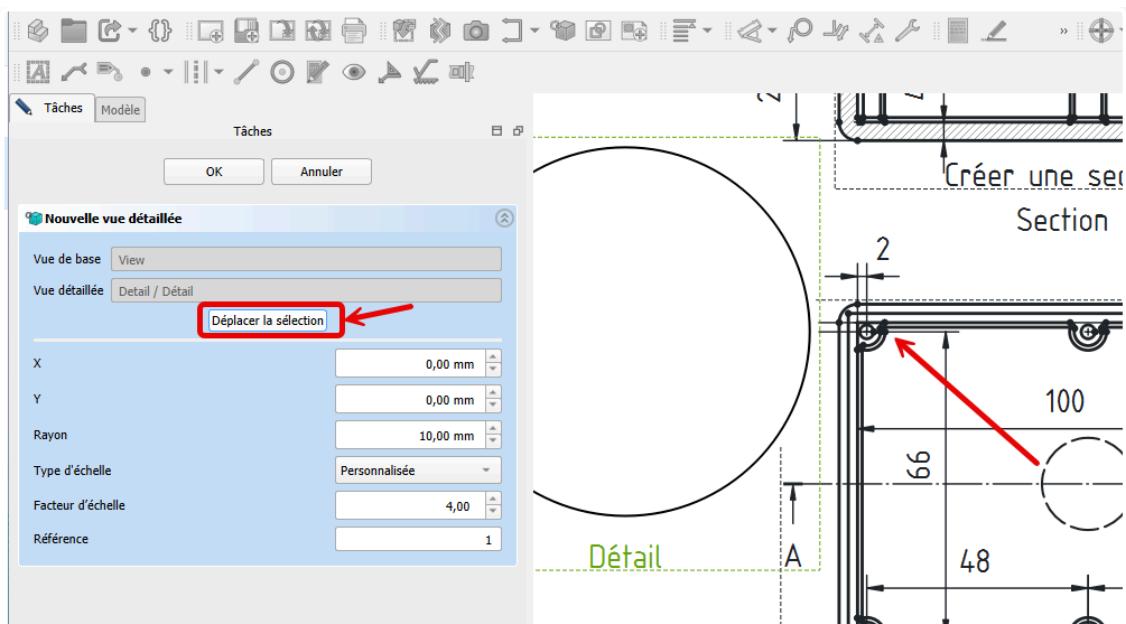




3. Régler le facteur d'échelle de la vue détaillée ;



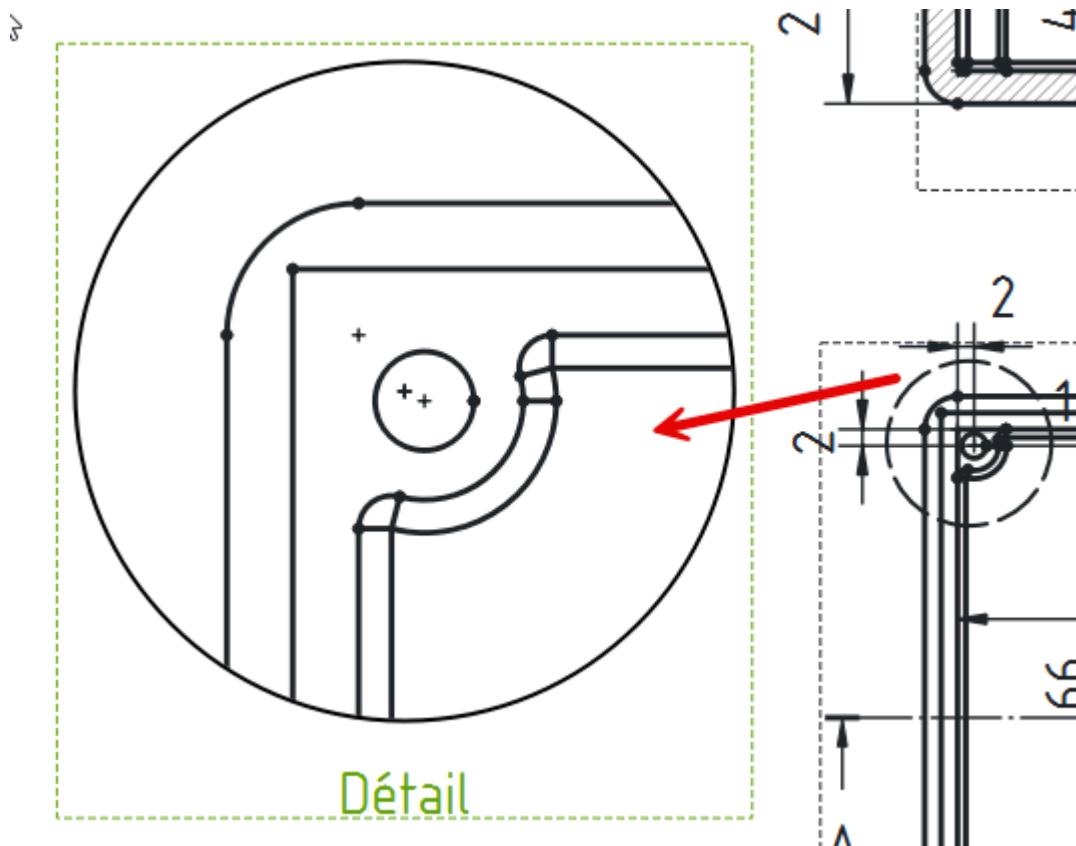
4. Cliquer sur le bouton **Déplacer la sélection** et sélectionner la zone à détailler ;



Si nécessaire, actualiser l'affichage à l'aide du raccourci clavier **F5** ;



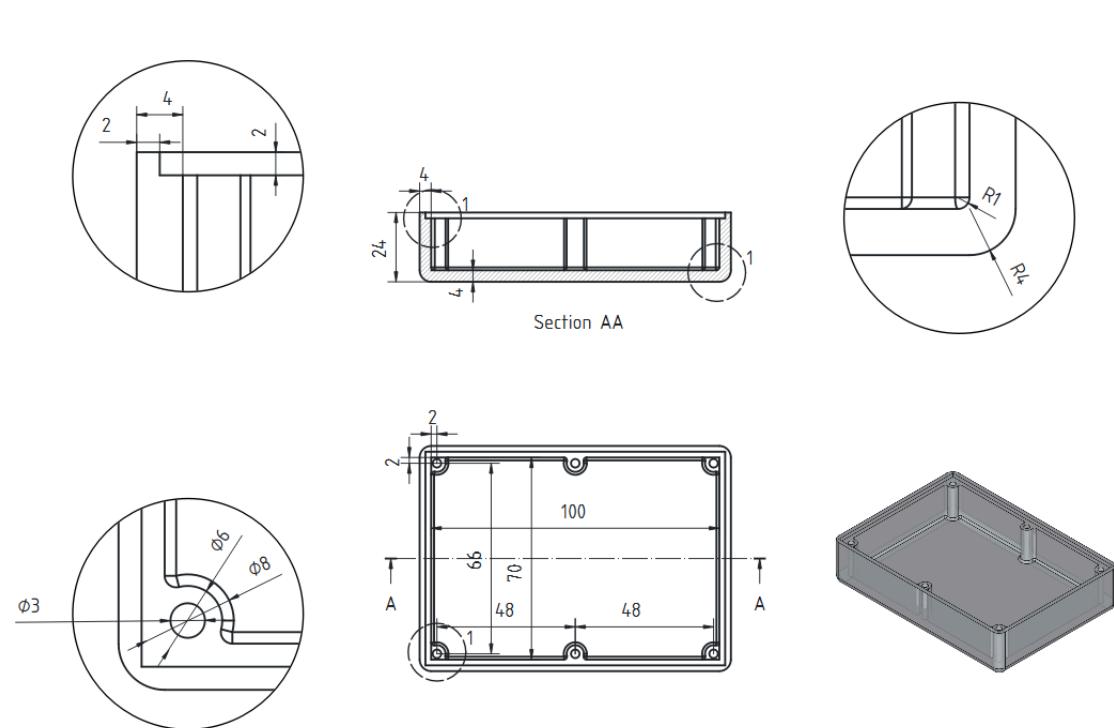
Résultat



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 ;
- Activer les cadres de vue si nécessaire et repositionner les vues dans la feuille ;
- Désactiver les cadres de vue après le repositionnement ;



Dessin technique du TP 6-2



12. Atelier CAM

Objectifs

- Utiliser l'atelier CAM^[p.366]  pour programmer des opérations d'usinage dans un environnement de fabrication **personnelle**, à savoir l'utilisation d'une CNC^[p.366] 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**  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**^[p.370] qui générera un fichier G-CODE^[p.368] 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 ;

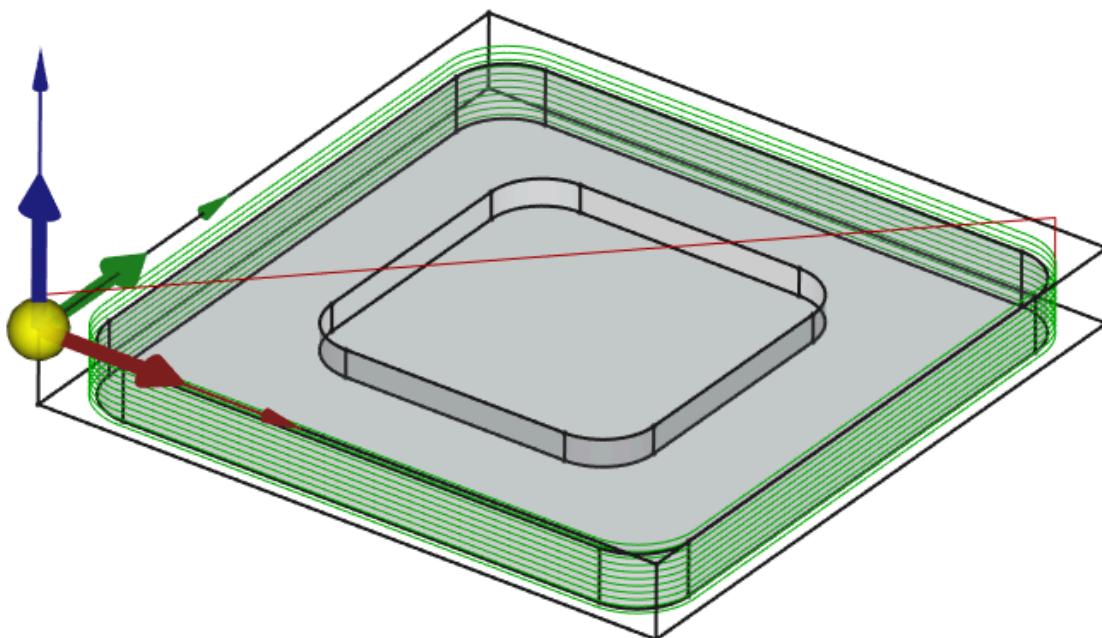
La plupart des opérations proposées dans l'atelier CAM sont conçues pour une fraiseuse/routeur CNC standard à 3 axes (XYZ) simples et sont donc limitées à une fabrication 2.5D.

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.



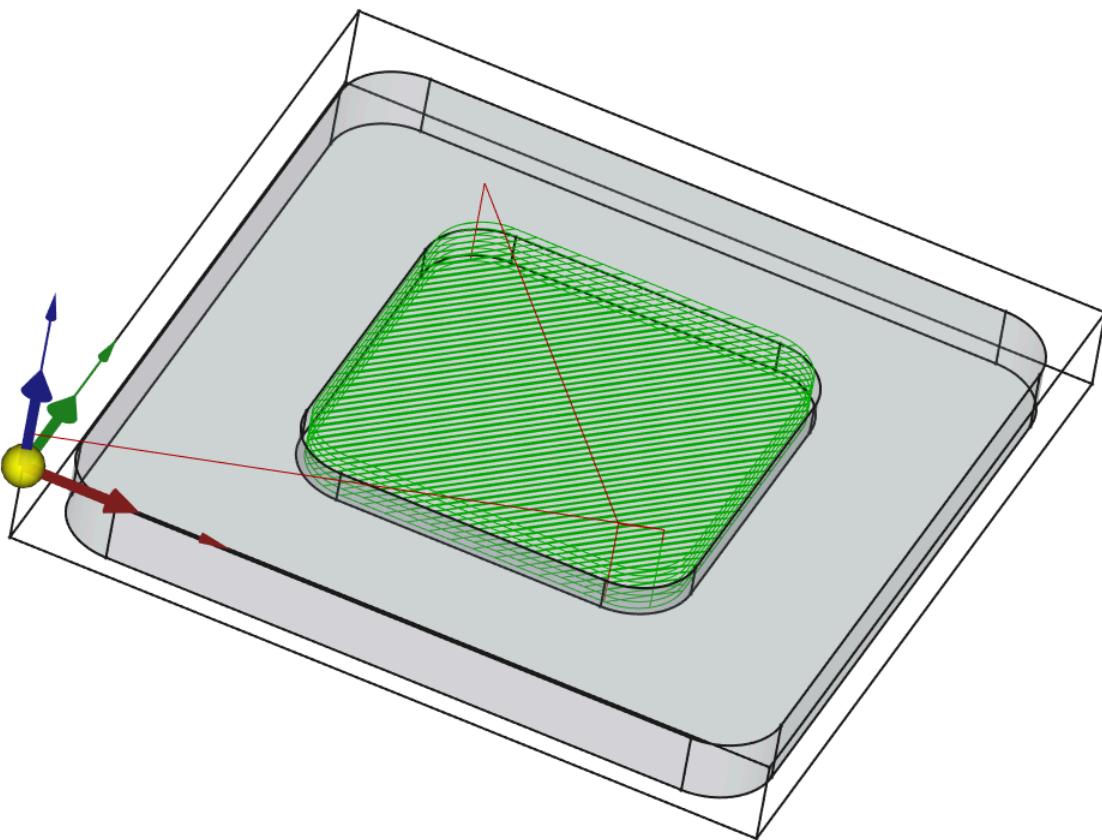
Exemple de profilage

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.

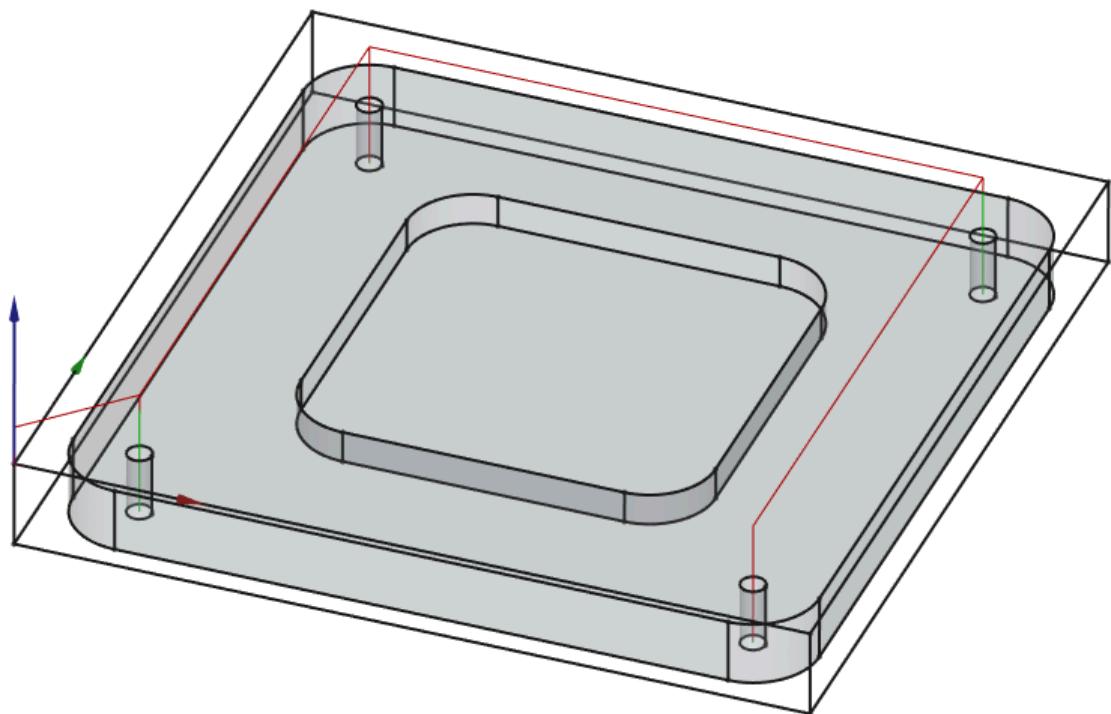


Exemple Créez une poche

-  **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).

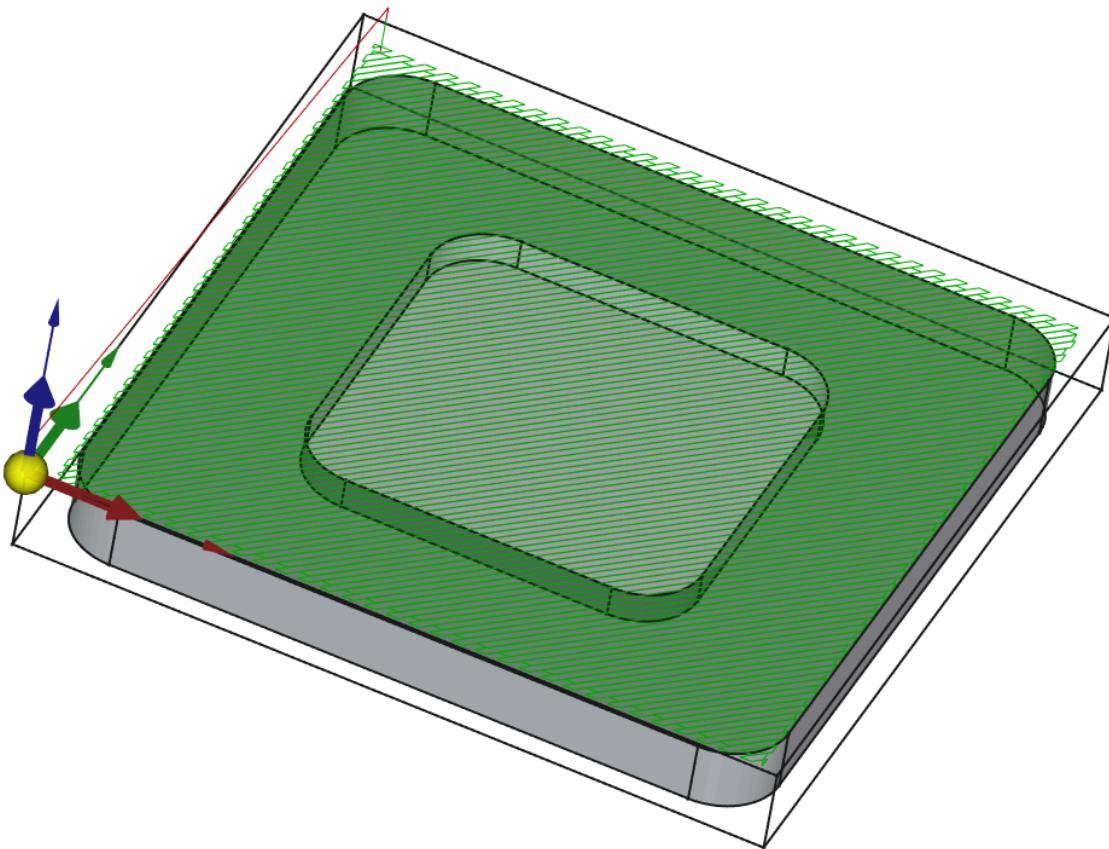


Perçage

-  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

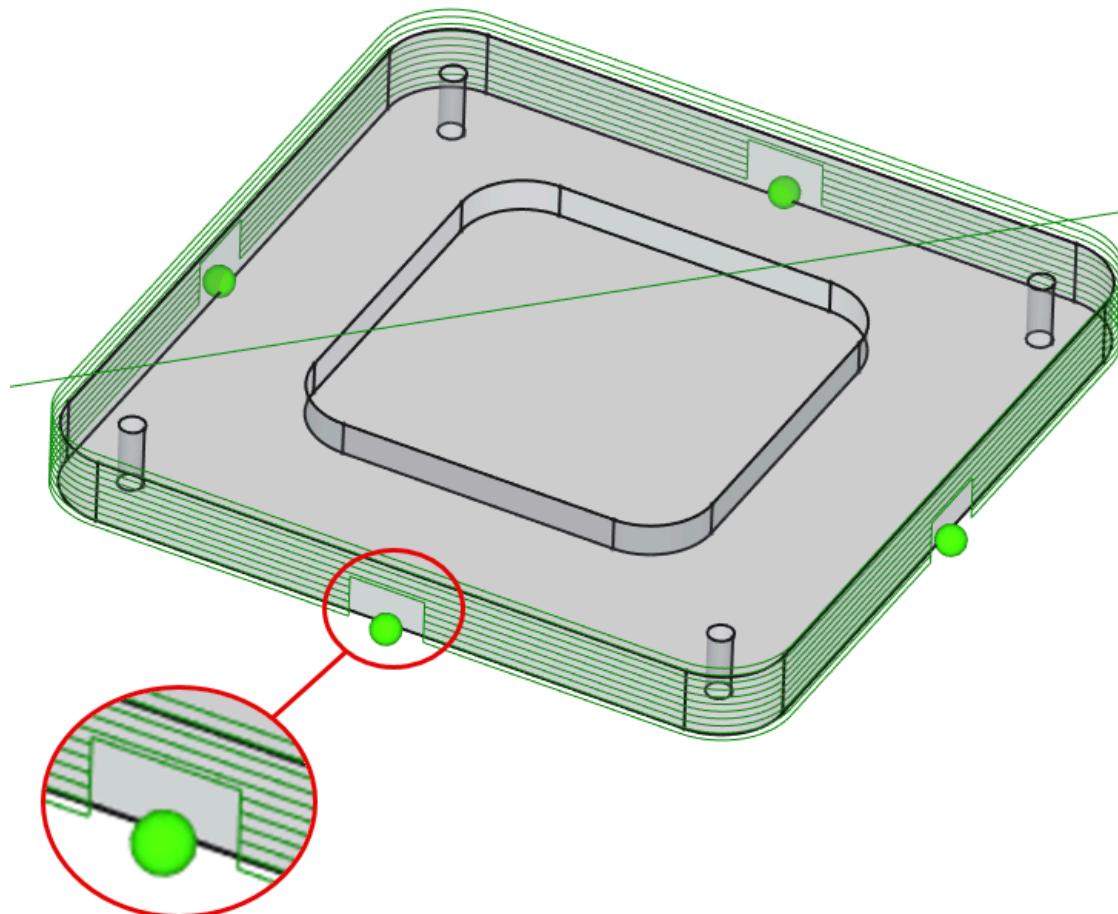
https://wiki.freecad.org/CAM_Vcarve/fr

- 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

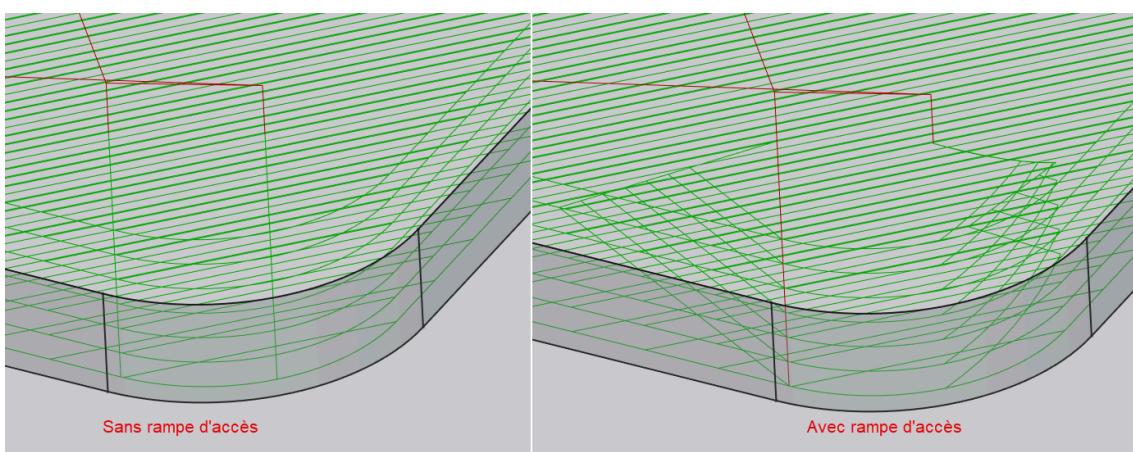
- Attaches

- 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.



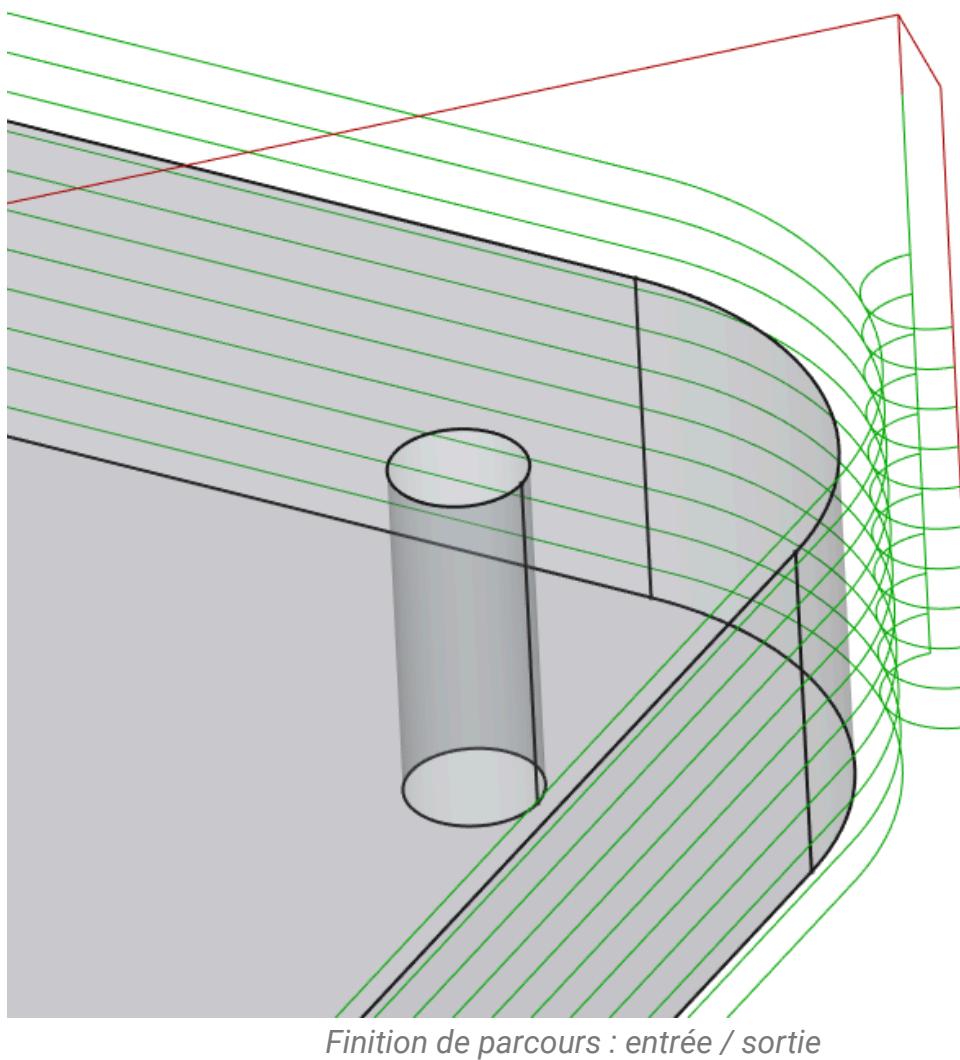
Finition de parcours : Rampe d'entrée

- 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.

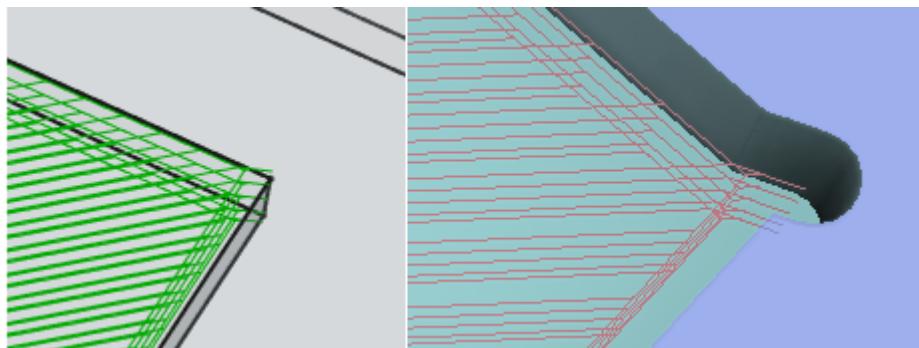


- Dégager les angles

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
 - Surfacer en 3D
https://wiki.freecad.org/CAM_Surface/fr
 - Ligne de niveau
https://wiki.freecad.org/CAM_Waterline/fr

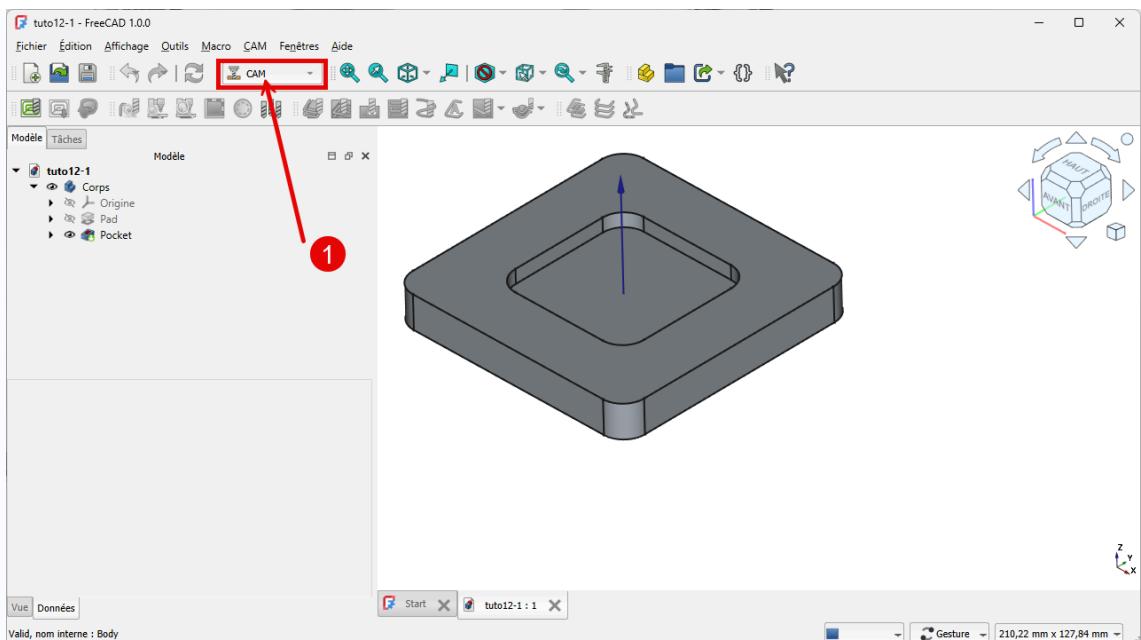
12.2. Configuration de l'atelier

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

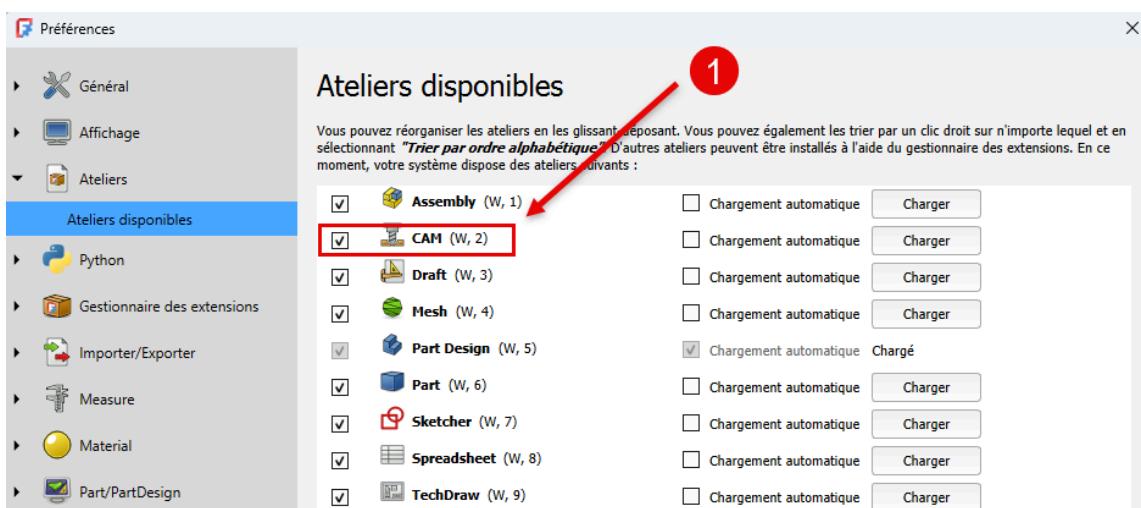
- Télécharger le fichier [tuto12-1-initial.FCStd](#) sur votre ordinateur et l'ouvrir dans FreeCAD ;
- Enregistrer le document sous le nom [tuto12-1](#) ;
- Sélectionner l'atelier CAM ;



Tuto12-1 initial

Si vous ne trouvez pas **CAM** dans la liste déroulante des ateliers :

- Sélectionner la commande **Préférences** → **Ateliers** → **Ateliers disponibles** ;
- Cocher ;

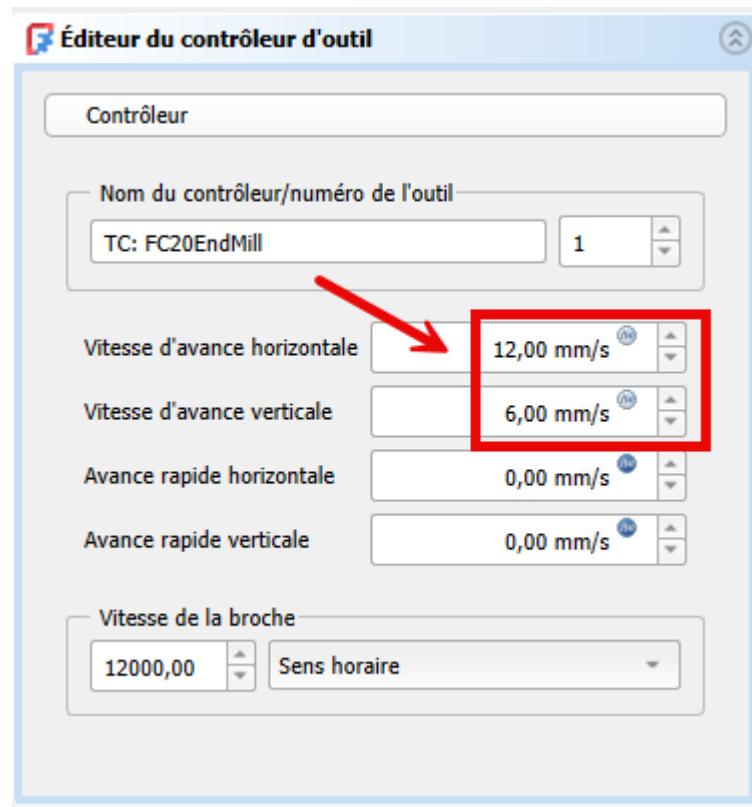


Rendre disponible l'atelier CAM

12.2.1. Choix des unités

Système d'unité Standard

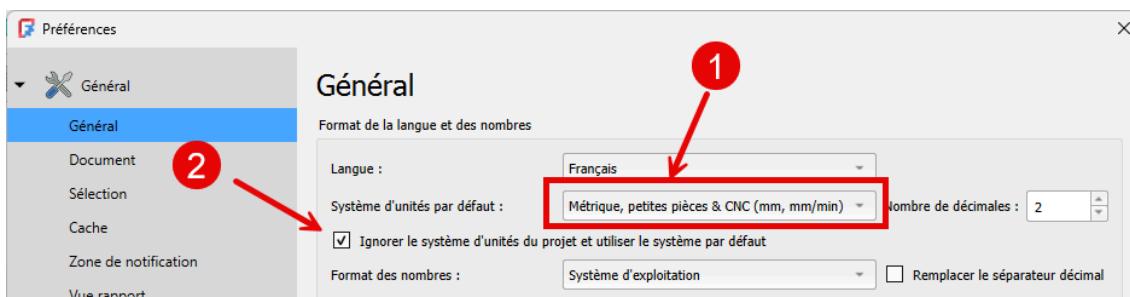
Avec le système d'unités **Standard**, FreeCAD utilise le **mm** pour les longueurs et la seconde **s** pour le temps : les vitesses d'avance des outils devraient être saisies en **mm/s**, ce qui n'est pas habituel dans l'univers de la fabrication mécanique et risque d'entraîner des erreurs de saisie.



Système d'unités Standard : saisie des vitesses d'avance en mm/s

Tâche à réaliser

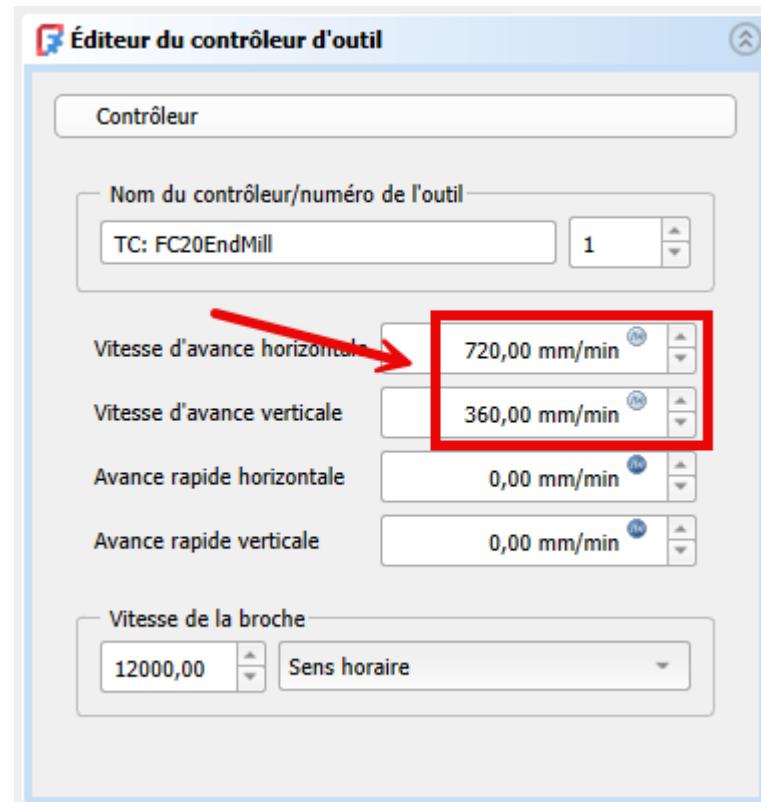
- Sélectionner la commande Préférences → Général → Général ;
- Modifier le réglage comme ci-dessous :



Choix du système d'unités « Métrique, petites pièces & CNC »

Système d'unités Métrique, petites pièces & CNC

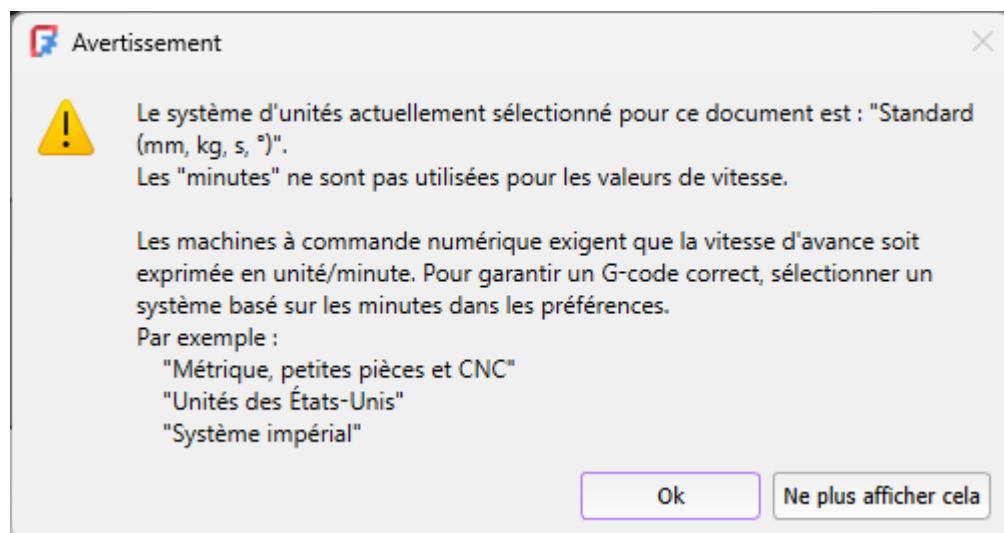
Avec le système d'unités  Métrique, petites pièces & CNC, les vitesses d'avance des outils seront saisies en mm/min : les valeurs enregistrées dans le projet resteront codées en mm et s.



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 :



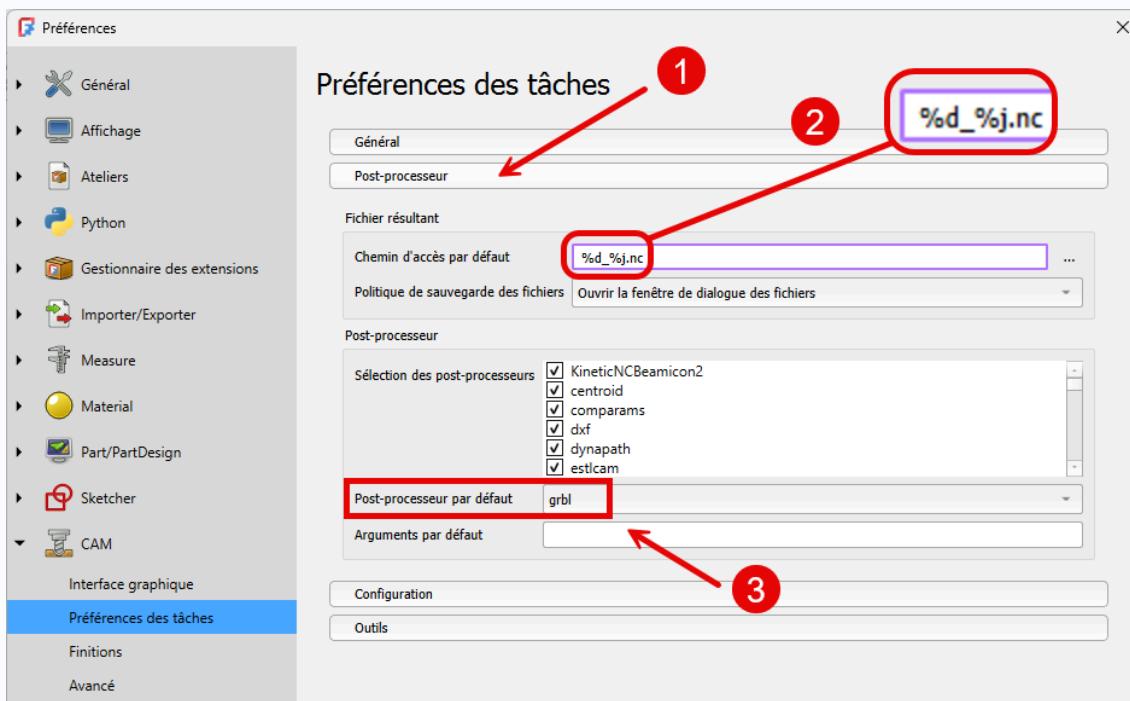
Avertissement : choix du système d'unités



12.2.2. Préférences des tâches

✓ Tâches à réaliser

- Sélectionner la commande Préférences → CAM → Préférences des tâches ;
- Cliquer sur la rubrique Post-processeur :
 - saisir le chemin d'accès par défaut : %d_%j.nc pour le fichier résultant,
 - saisir le post-processeur par défaut : grbl ;



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 faudra peut-être remplacer grbl par le post-processeur de votre environnement de production ;

12.2.3. Fonctions avancées

📎 OpenCAMlib

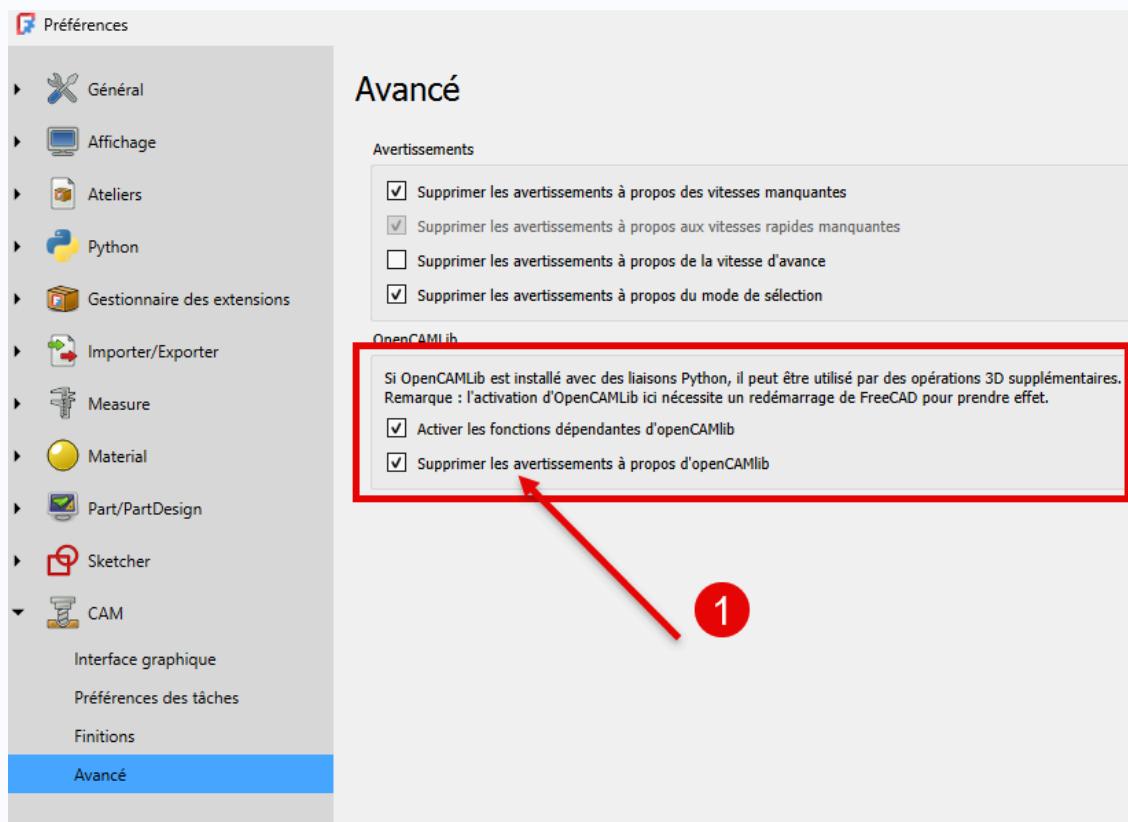
OpenCamLib (OCL) est une bibliothèque open source conçue pour fournir des algorithmes de fabrication assistée par ordinateur (FAO). Dans FreeCAD, elle est utilisée pour des opérations expérimentales de l'atelier CAM, notamment les opérations de surfaçage 3D et de lignes de niveau.

- L'opération **Surfaçage 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

FreeCAD propose une bibliothèque « **Default** » d'outils coupants à installer. Cette bibliothèque n'est pas adaptée à l'utilisation d'une CNC personnelle et aux exemples proposés dans ce parcours ;

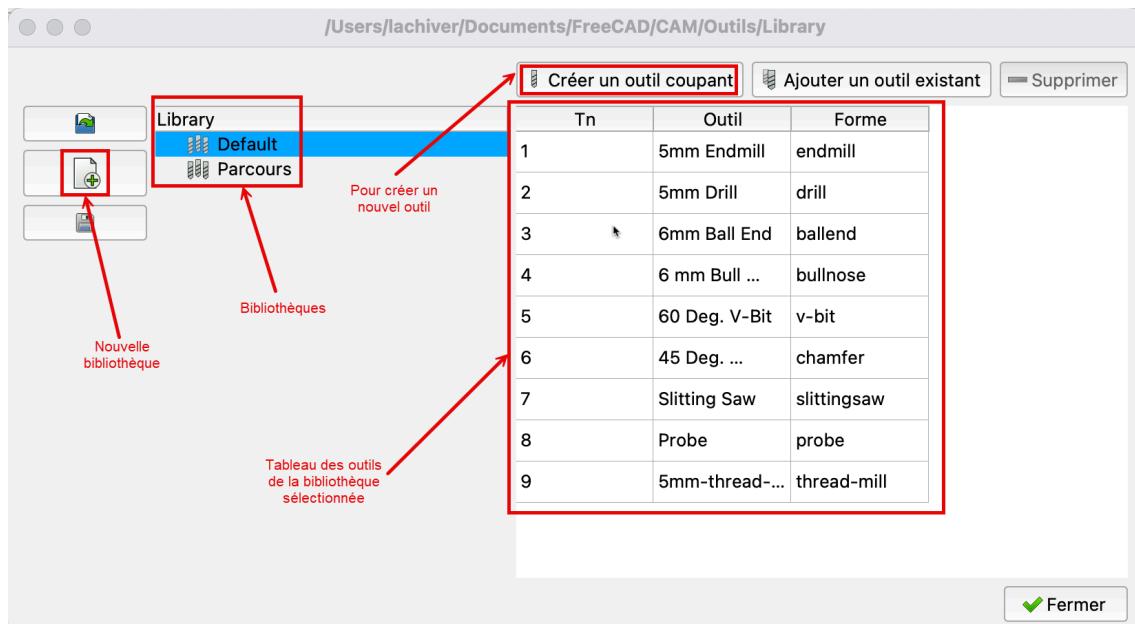
Avant de créer une première tâche  , nous allons :

- Installer la bibliothèque « **Default** » ;
- Créer une nouvelle bibliothèque ;
- Ajouter un outil coupant à cette bibliothèque ;

12.3.1. Gestionnaire des outils coupants

Remarque

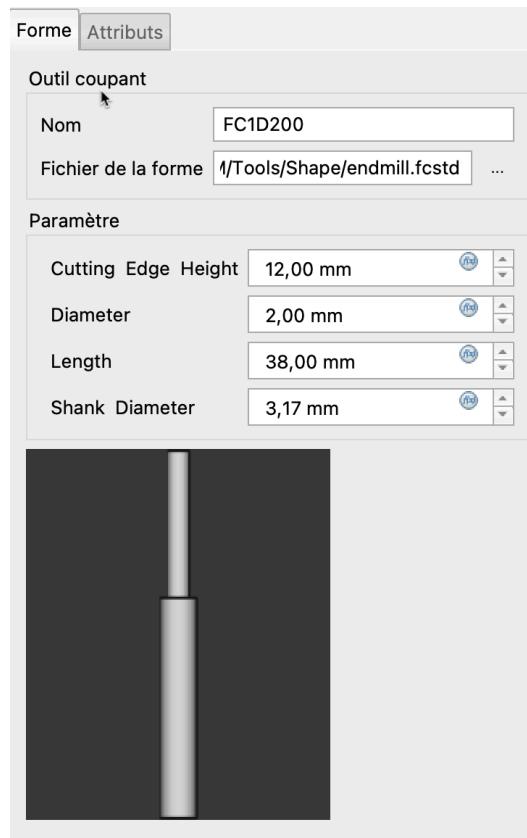
Le **Gestionnaire des outils coupants**  permet de créer, gérer, organiser les outils coupants dans FreeCAD.



Gestionnaire des outils coupants

Pour afficher / modifier les propriétés géométriques de l'outil :

Double-cliquer sur l'outil dans le tableau : FreeCAD ouvre une seconde fenêtre permettant de visualiser et/ou modifier les propriétés géométriques de l'outil : forme, longueur utile, diamètre, longueur totale, diamètre de queue...

*Forme et dimensions de l'outil*

Caractéristiques géométriques

- Le gestionnaire d'outils coupants gère principalement les propriétés **géométriques** des outils : forme, dimensions ;
- D'autres propriétés (attributs) peuvent être saisies comme le nombre de dents, le matériau utilisé pour l'outil, l'avance par dent^[p.366] 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 ;

12.3.2. Installation de la bibliothèque « Default »

Objectif

Par défaut, FreeCAD installe les outils dans un sous-dossier du dossier Macro ;

- sous : C:\users\otrelogin\AppData\Roaming\FreeCAD\Macro ;
- sous : /Users/otrelogin/Library/Application Support/FreeCAD/Macro ;
- sous : /home/otrelogin/.local/share/FreeCAD/Macro ;

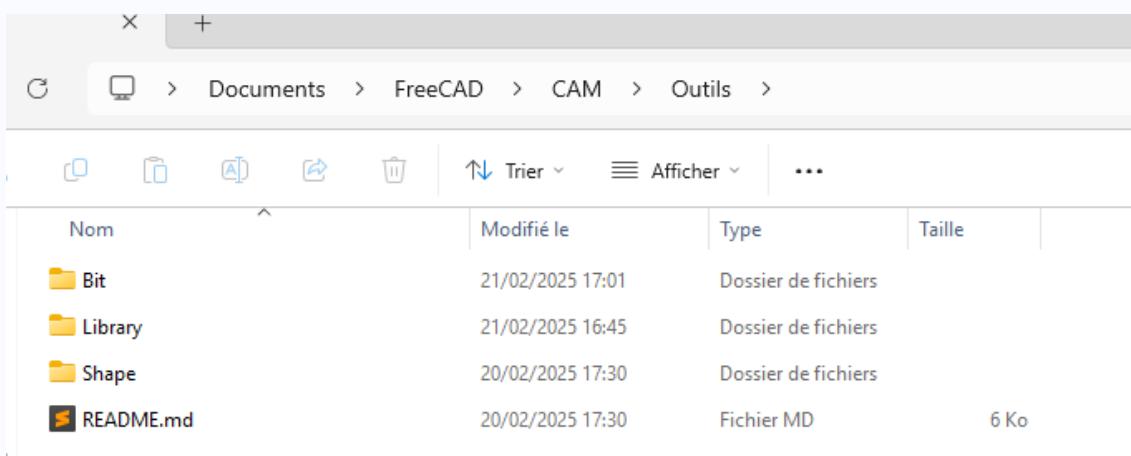
Ce dossier n'est pas facile d'accès.

- Nous allons installer le dossier Outils dans un sous-dossier de l'espace personnel ;



☰ Tâches à réaliser

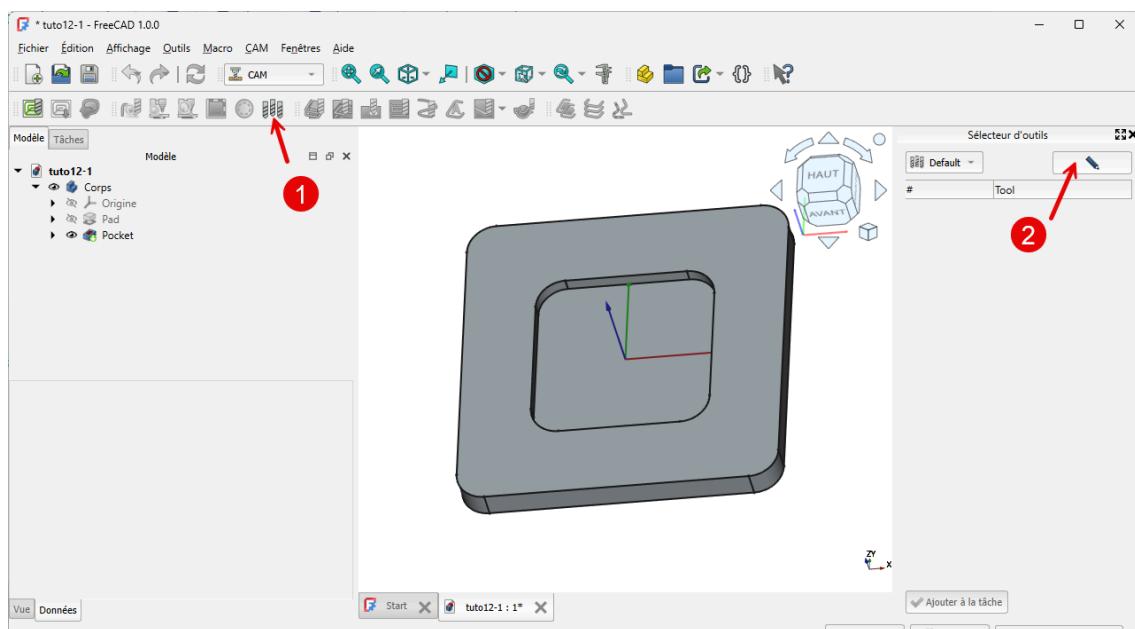
- Créer un dossier CAM et un sous-dossier Outils dans votre espace personnel. Par exemple :
 - sous : C:\users\votrelogin\Documents\FreeCAD\CAM\Outils ;
 - sous : /Users/votrelogin/Documents/FreeCAD/CAM/Outils ;
 - sous : /home/votrelogin/Documents/FreeCAD/CAM/Outils ;
- Sélectionner la commande CAM → Gestionnaire des outils coupants de la barre de menus ;
- Valider la création d'un dossier de travail pour les outils et sélectionner le sous-dossier Outils créé précédemment pour y installer la bibliothèque d'outils Default ;
- Valider la création des sous-dossiers Bit, Library et Shape et ajouter les exemples ;



Dossier outils contenant les bibliothèques d'outils coupants

💡 Accéder au gestionnaire d'outils coupants

Pour accéder à ce gestionnaire, on peut aussi cliquer sur le bouton Sélecteur d'outils coupants de la barre d'outils puis cliquer sur le bouton Éditer ;



Accès au gestionnaire d'outils via le sélecteur d'outils coupants

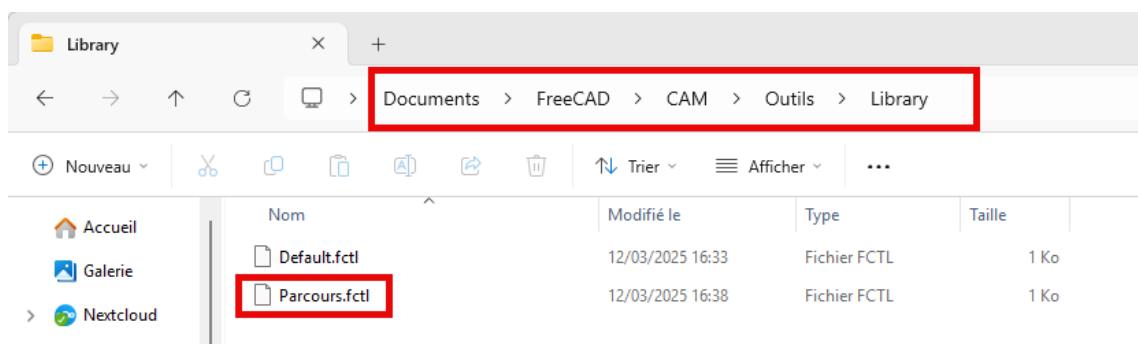
12.3.3. Créer une nouvelle bibliothèque

Tâches à réaliser

- Si nécessaire, sélectionner la commande Cam → Gestionnaire des outils coupants ;
- Créer une nouvelle bibliothèque d'outils « Parcours » en cliquant sur le bouton

Emplacement de la nouvelle bibliothèque :

- FreeCAD a ajouté un fichier Parcours.fctl dans le sous-dossier Library ;



Création de la bibliothèque d'outils Parcours

Affichage de la nouvelle bibliothèque

Pour faire apparaître la nouvelle bibliothèque Parcours dans le sélecteur d'outils , il faut quitter et rouvrir FreeCAD ;



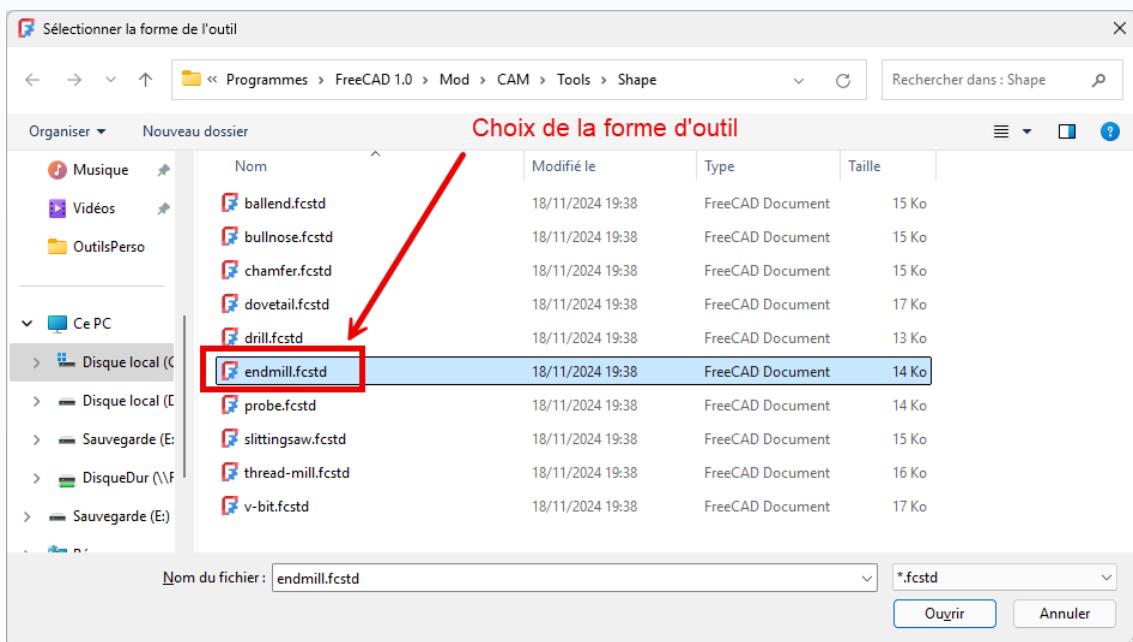
12.3.4. Créer une nouvel outil coupant

Objectifs

- Créer un nouvel outil coupant à partir d'une forme proposée par FreeCAD ;

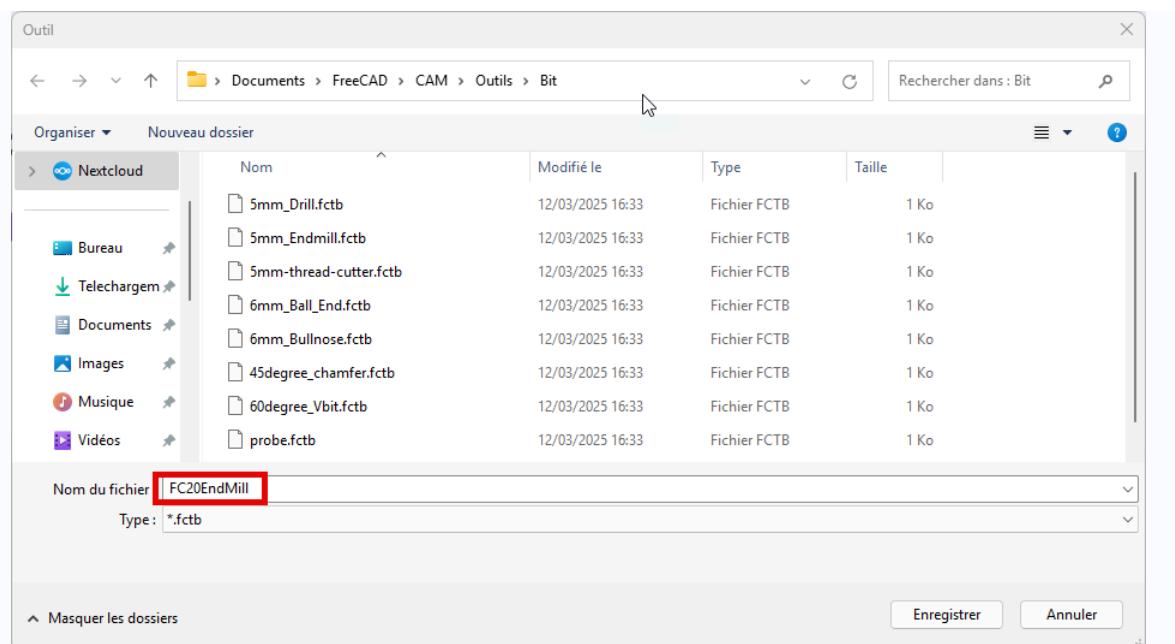
Tâches à réaliser

- Si nécessaire, sélectionner la commande Cam → Gestionnaire 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 (shape) :

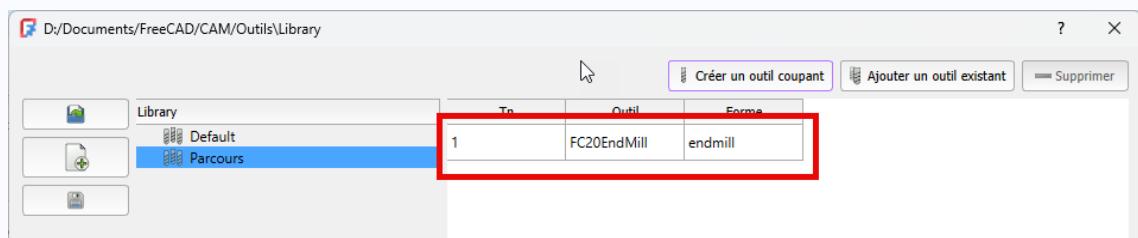


Choix de la forme de l'outil

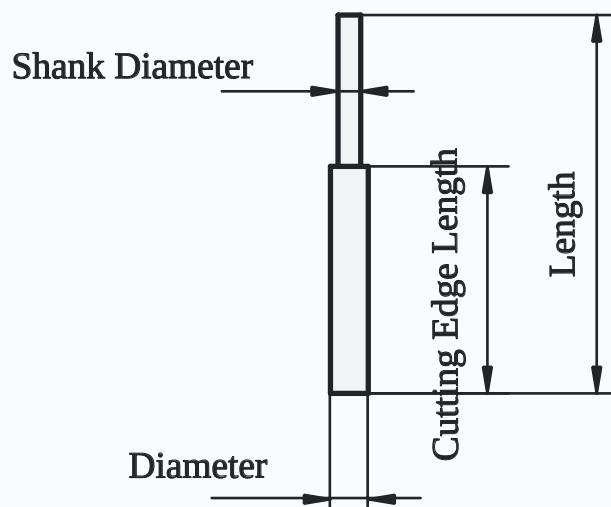
- saisir le nom du fichier : ;



- Double-cliquer sur l'outil coupant **FC20EndMill** :



- Modifier les propriétés géométriques de l'outil :
 - Cutting Edge Length = 12 mm,
 - Diameter = 2 mm,
 - Length = 38 mm,
 - Shank Diameter = 3.175 mm,



- Refermer la fenêtre ;



💡 Emplacement du nouvel outil :

- FreeCAD a ajouté un fichier FC20EndMill.fct1 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 \[p.348\]](#) ;

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 ;

12.4.1. Travail préparatoire

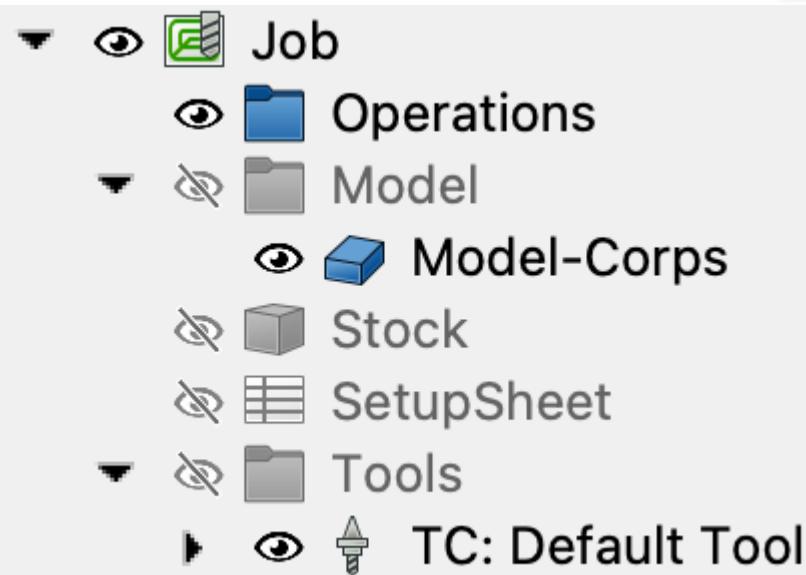
12.4.1.1. Créer la tâche

🕒 Tâches à réaliser

- Sélectionner l' atelier CAM si nécessaire ;
- Cliquer sur la commande et sélectionner le corps du document tuto12-1 ;
- Parcourir les différents onglets de la tâche **sans rien modifier pour le moment** puis refermer l'onglet **Tâches** 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 ;

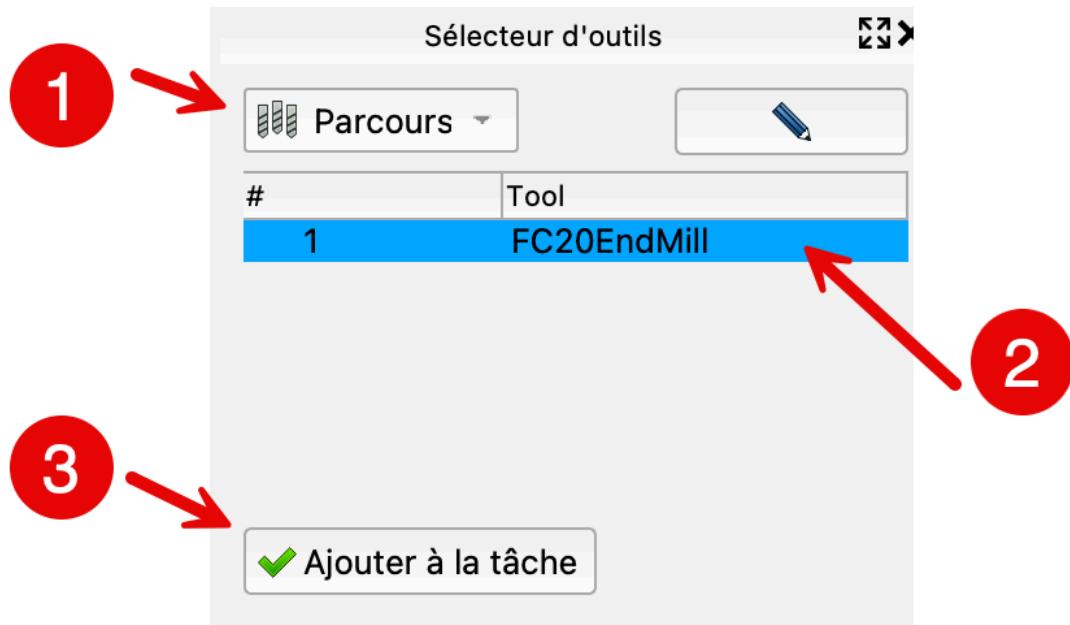
12.4.1.2. Choisir l'outil

Objectifs

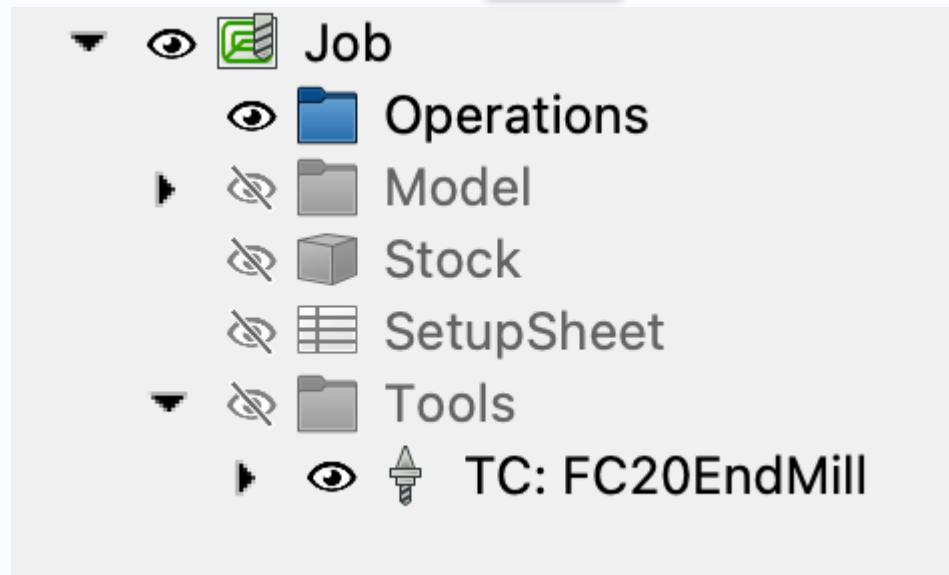
- Sélectionner l'outil coupant pour la tâche  ;
- Définir les caractéristiques mécaniques de l'outil ;

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 ;



- Ouvrir le sous-dossier Tools dans l'onglet **Modèle** et supprimer TC : Default Tool ;



Outil Default Tool supprimé & FC20EndMill ajouté

- Double-cliquer sur l'outil TC :FC20EndMill dans l'onglet **Modèle** pour afficher le [contrôleur d'outils](#) ;
- Saisir les paramètres mécaniques de l'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 ;

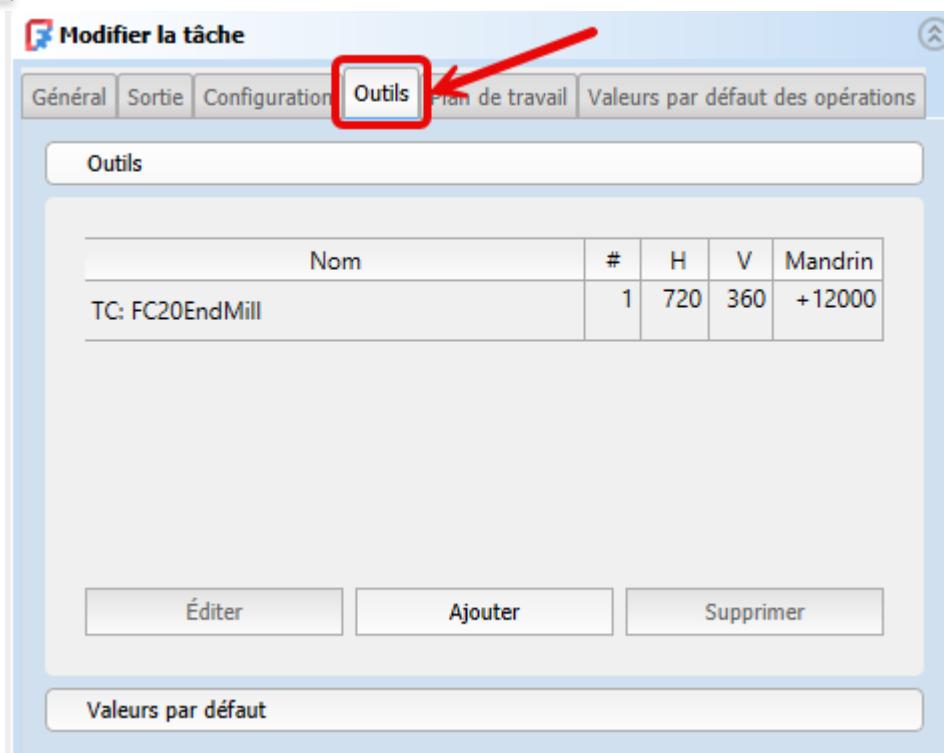
- Si vous souhaitez réaliser l'usinage, il faudra **impérativement** adapter ces paramètres mécaniques à votre environnement de production.

💡 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** ;



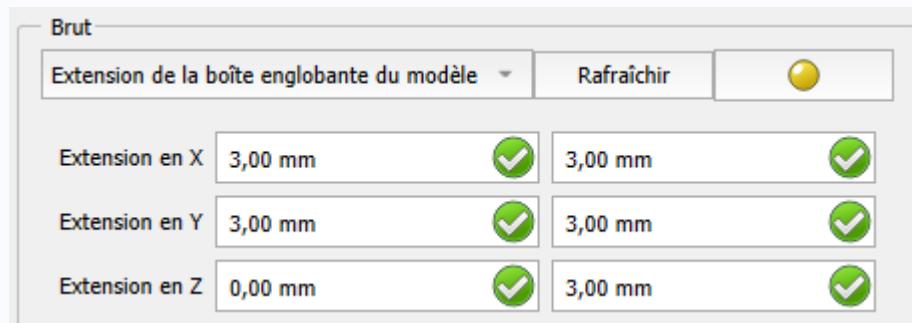
Accès au contrôleur d'outils



12.4.1.3. Définir le brut et l'alignement

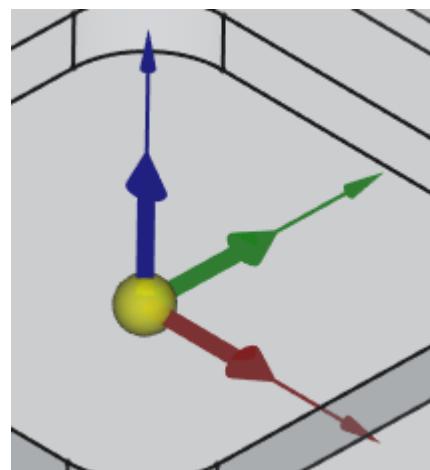
☰ Tâches à réaliser

- Double-cliquer sur l'élément Job et sélectionner l'onglet **Configuration** ;
- Définir le brut comme ci-dessous et valider :



💬 Identifier le sens des extensions en X, Y, Z

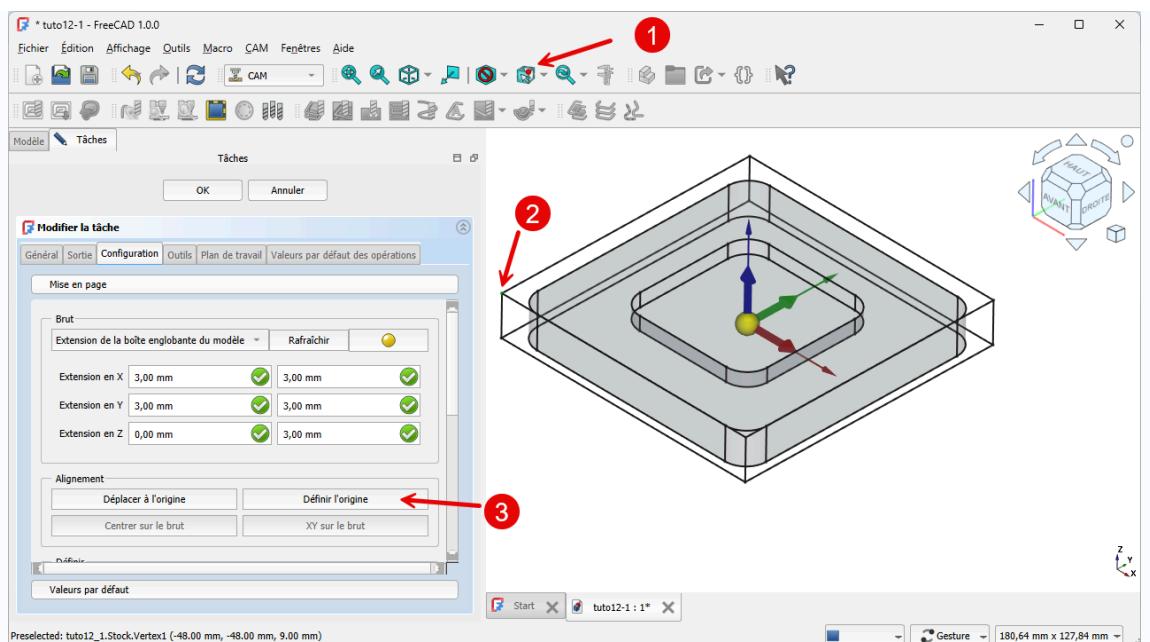
- La première colonne correspond aux valeurs X, Y, Z négatives, la seconde colonne aux valeurs positives ;
- Le repère permet d'identifier le sens des axes :



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** ;
- Selectionner le sommet (vertex) comme ci-dessous et cliquer sur le bouton **Définir l'origine** ;

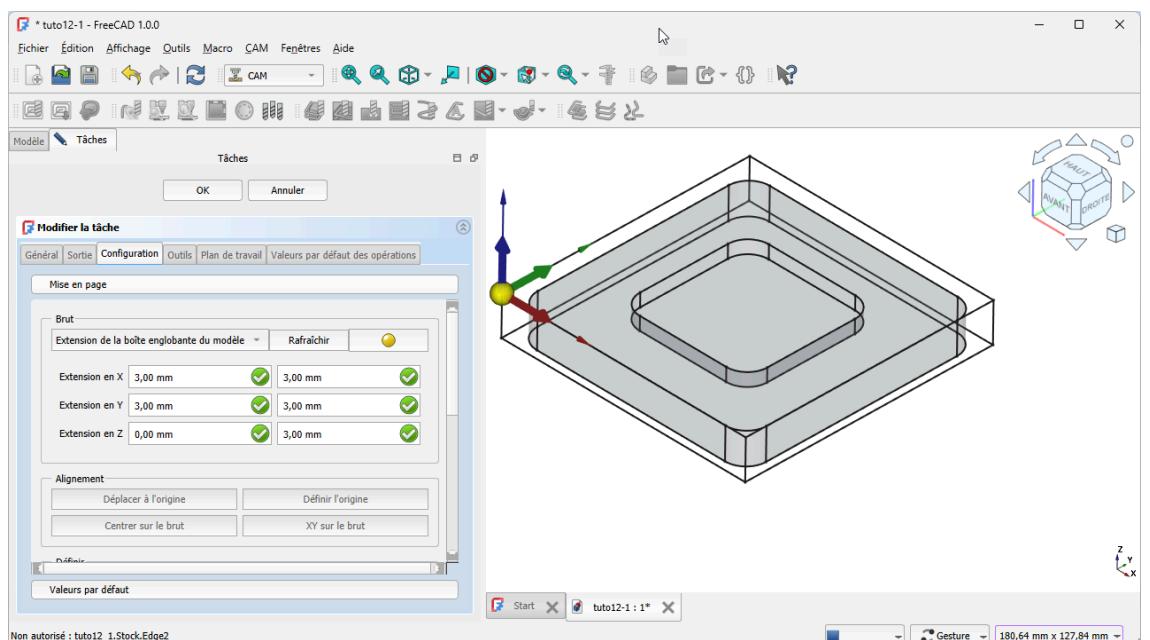


Définir l'origine pour la CNC

💡 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 ;

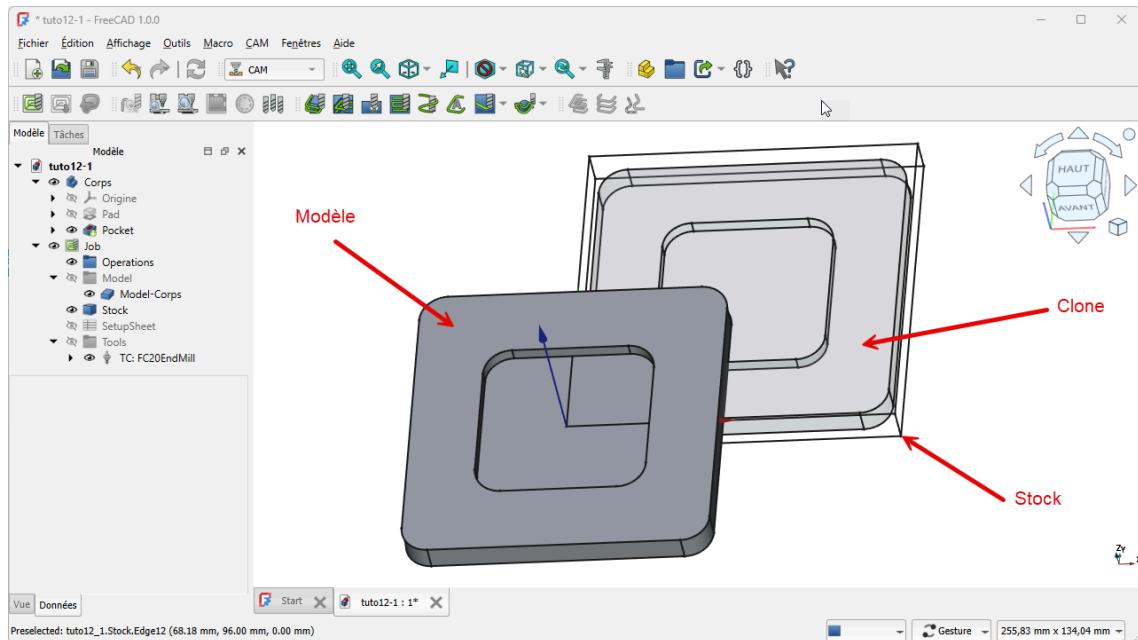




Modèle et clone du modèle

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 ;

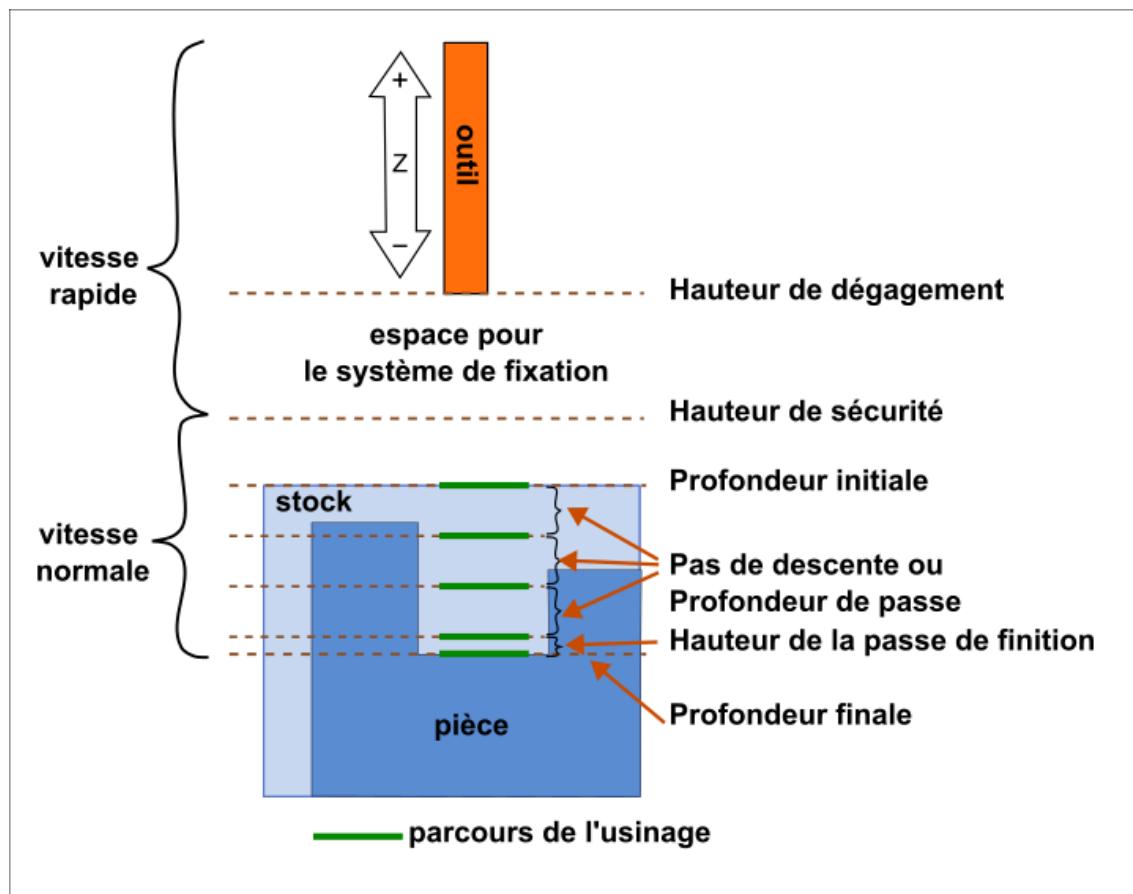


Corps et clone du corps utilisé pour la tâche CAM

12.4.1.4. 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

\approx 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

\approx 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

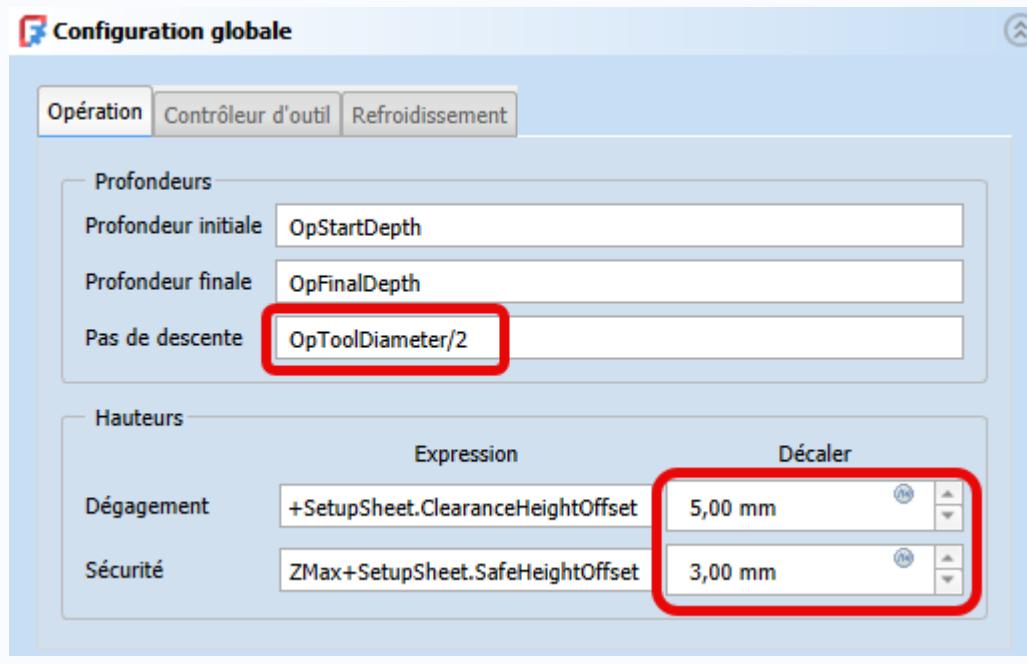
Par exemple, si l'outil doit percer plusieurs trous dans une pièce :

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**.

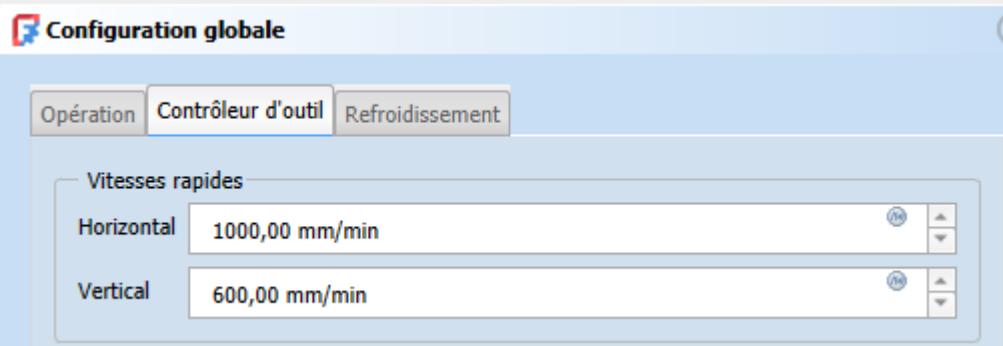
Tâches à réaliser

- Dans la vue modèle, double-cliquer sur l'élément SetupSheet et sélectionner la rubrique **Configuration globale** ;
- 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 ;



- Valider ;

12.4.2. Créer une 1^{ère} opération

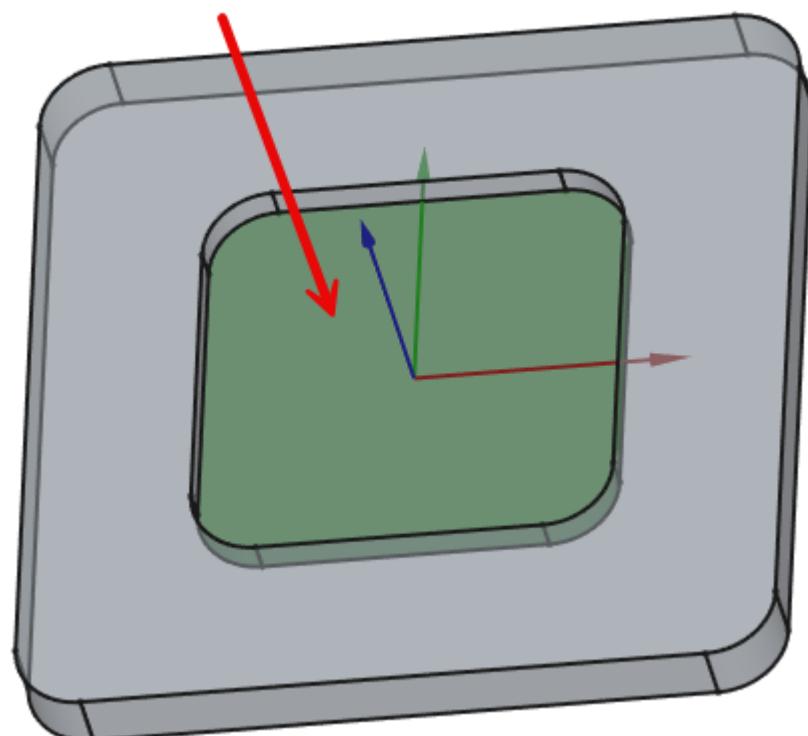
Objectif

- 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** ;

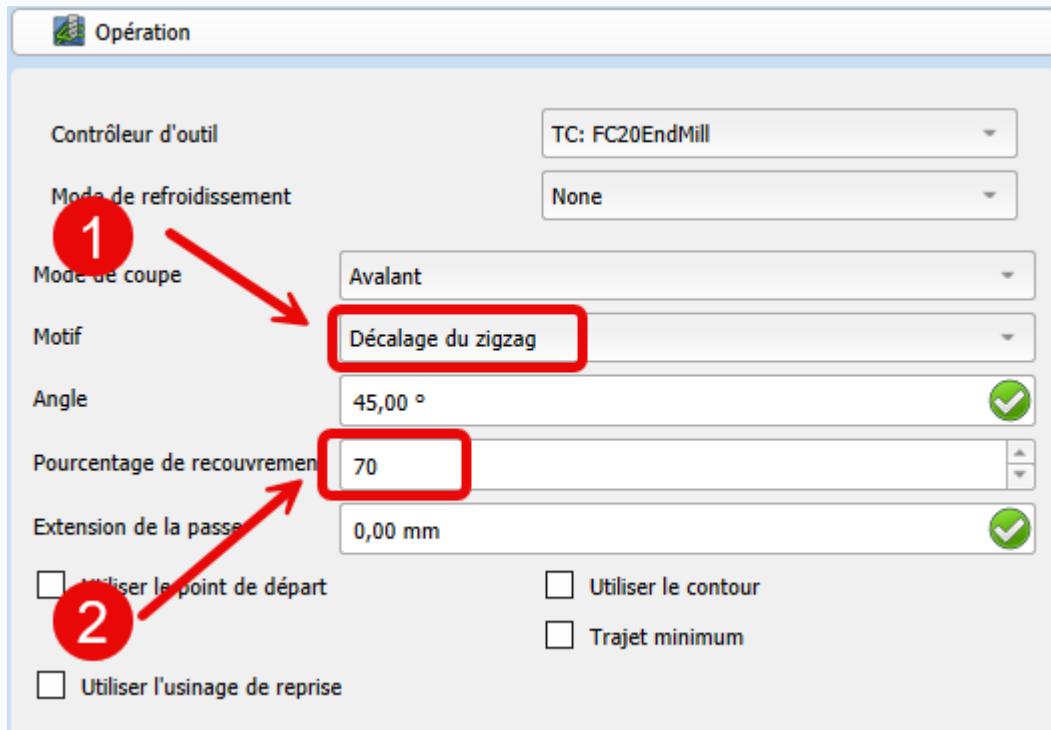
Face à sélectionner



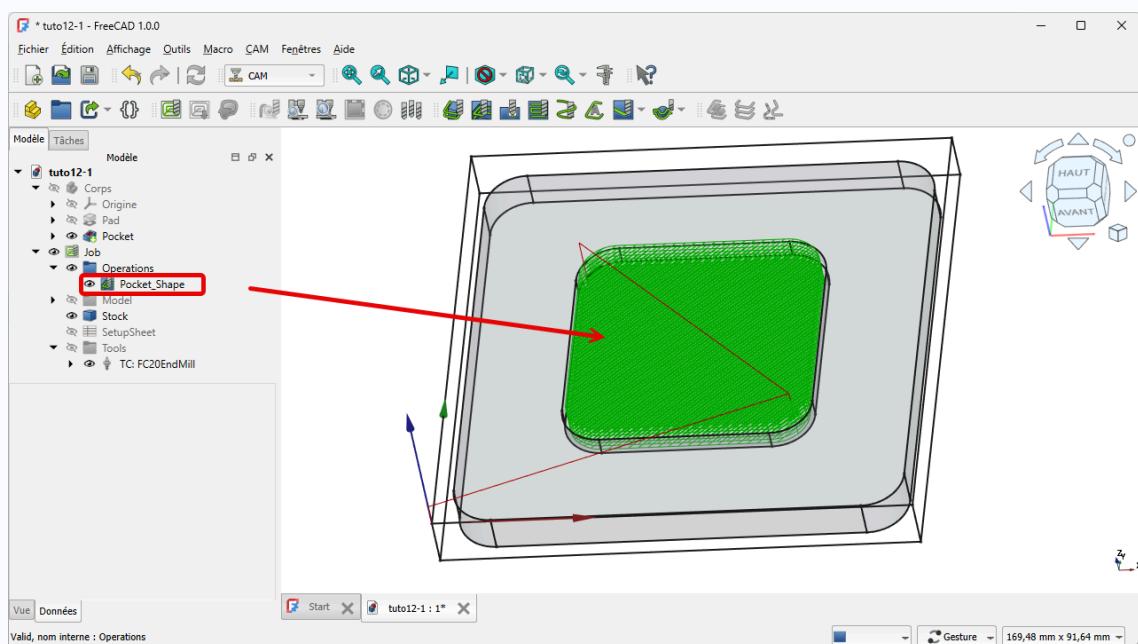
Face à sélectionner pour créer la poche



- Section Opération, saisir un motif : Décalage du zig-zag et un pourcentage de recouvrement de 70 ;



- Valider



FreeCAD a ajouté un élément Pocket_Shape dans le sous-dossier Opération 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 ;

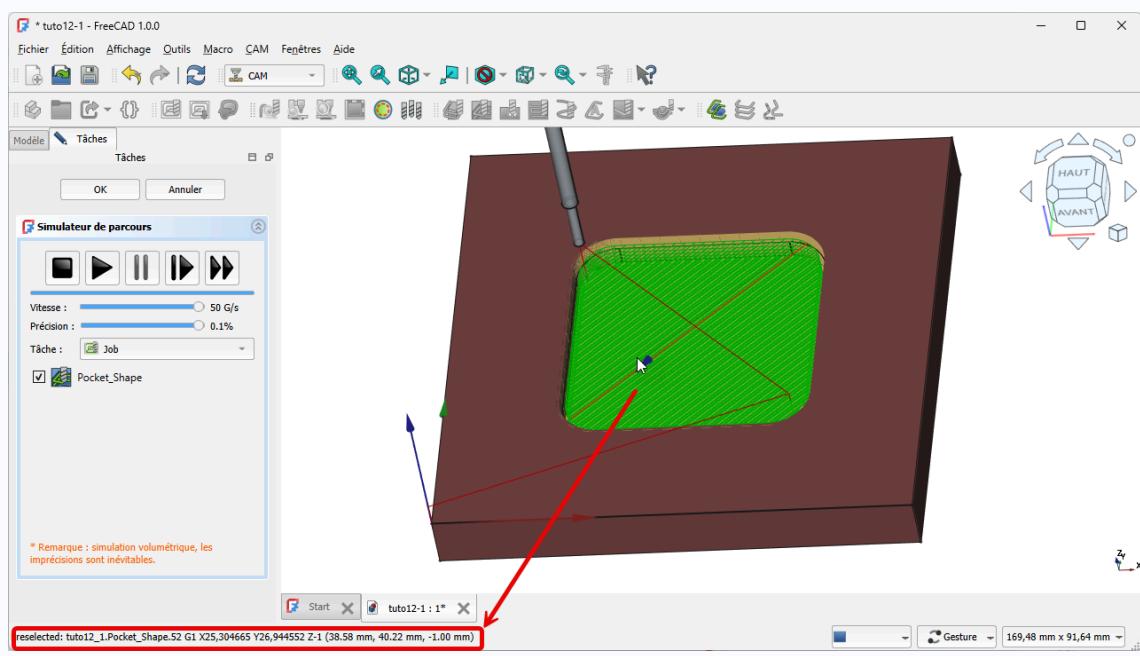
12.4.3. Simuler le parcours

Depuis la version 1.0.0, FreeCAD propose deux simulateurs de parcours:

- le [simulateur de parcours](#) W de base ;
- le [simulateur GL](#) W plus précis et rapide ;

☒ Tâches à réaliser

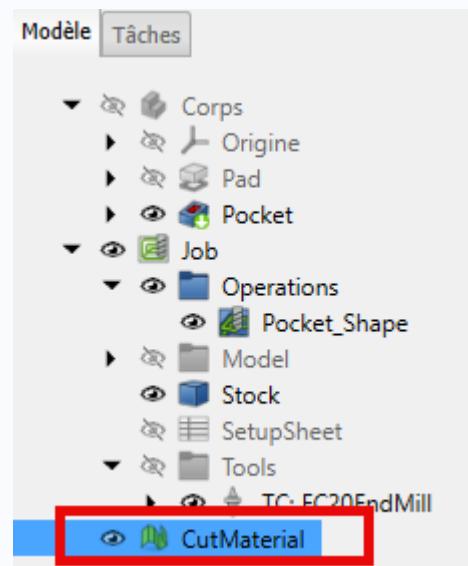
- Cliquer sur le bouton **Simuler le parcours**  ;
- Lancer le simulateur en cliquant sur le bouton  ;
- Mettre la simulation en pause en cliquant sur le bouton  ;
- Approcher le pointeur de la souris sur une ligne du parcours et observer la barre d'état :



G-Code correspondant à la ligne sélectionnée du parcours



- Valider l'onglet **Tâche** : FreeCAD a ajouté un élément **CutMaterial** dans l'arborescence du document :



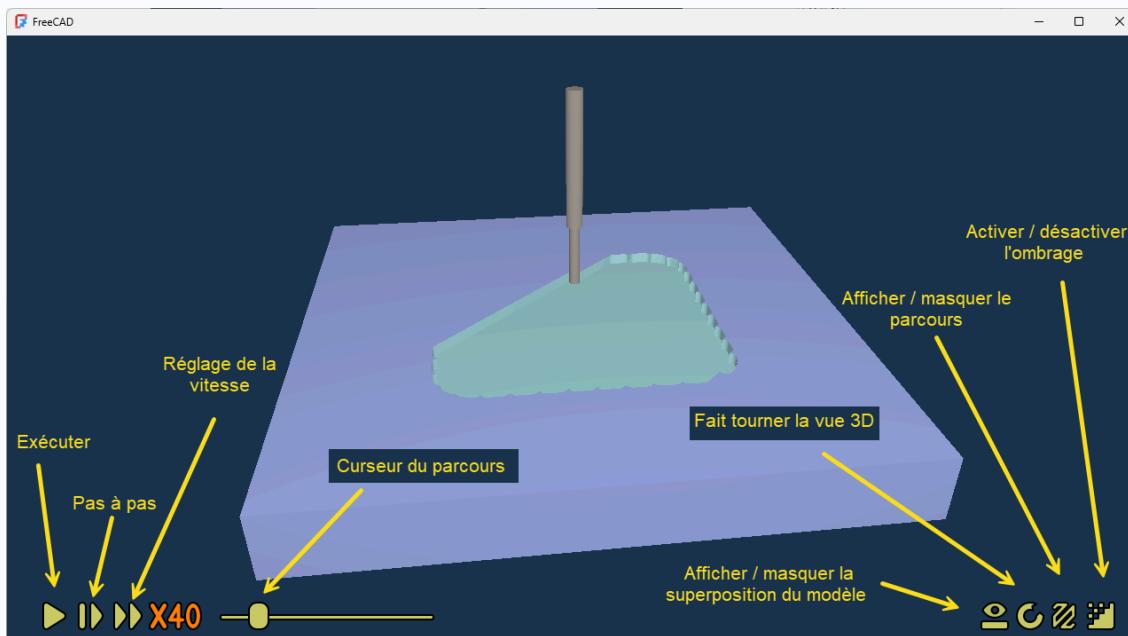
Élément CutMaterial

💡 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

- Refermer la fenêtre du simulateur

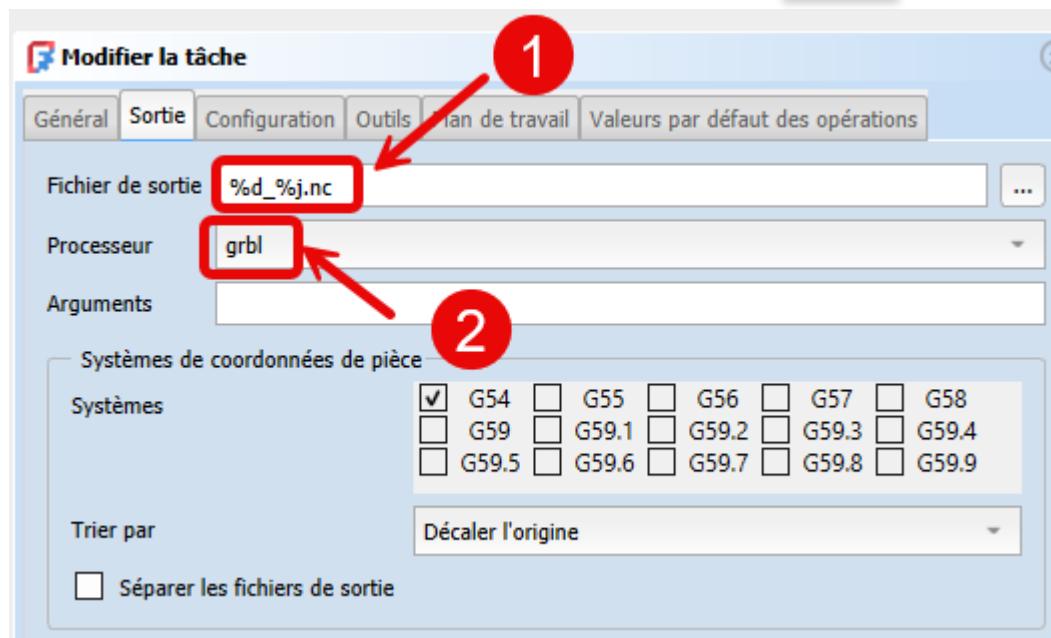
12.4.4. Réaliser le posttraitemet

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 **Sortie** :



Paramètres du post-traitement

Ces paramètres ont été définis au § Configuration de l'atelier^[p.318] ;



- Sélectionner la tâche dans l'onglet **Modèle** et cliquer sur le bouton Post-Traiter W :

1. FreeCAD ouvre une fenêtre contenant le fichier G-Code de la tâche ;

```

|(Exported by FreeCAD)
(Post Processor: script_module)
(Output Time:2025-03-18 22:10:50.972786)
(Begin preamble)
G17 G90
G21
(Begin operation: Fixture)
(Path: Fixture)
G54
(Finish operation: Fixture)
(Begin operation: TC: FC20EndMill)
(Path: TC: FC20EndMill)
(TC: FC20EndMill)
(Begin toolchange)
( M6 T1 )
M3 S12000
(Finish operation: TC: FC20EndMill)
(Begin operation: Pocket_Shape)
(Path: Pocket_Shape)
(Pocket_Shape)
G0 Z5.000
G0
G0 X69.949 Y26.051
G0 X69.949 Y26.051 Z3.000
G1 X69.949 Y26.051 Z-2.000 F360.000
G3 X71.966 Y30.331 Z-2.000 I-4.942 J4.944 K0.000 F720.000
G1 X65.669 Y24.034 Z-2.000 F720.000
G2 X63.372 Y24.000 Z-2.000 I-1.495 J23.359 K0.000 F720.000
G1 X72.000 Y32.628 Z-2.000 F720.000
G1 X72.000 Y34.890 Z-2.000 F720.000
G1 X61.110 Y24.000 Z-2.000 F720.000

```

Fichier G-Code de la tâche

2. 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

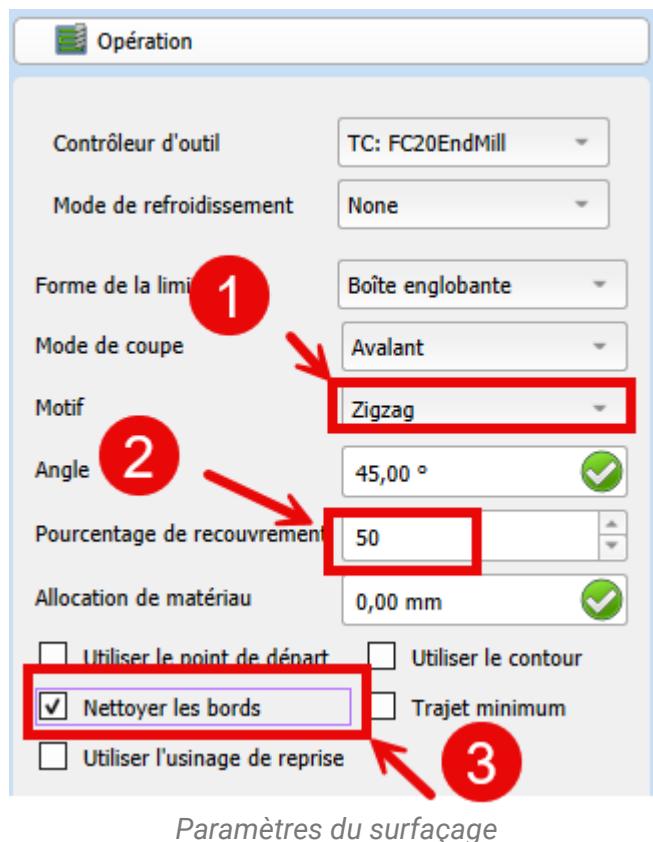
12.4.5.1. Créer le surfacage

Objectif

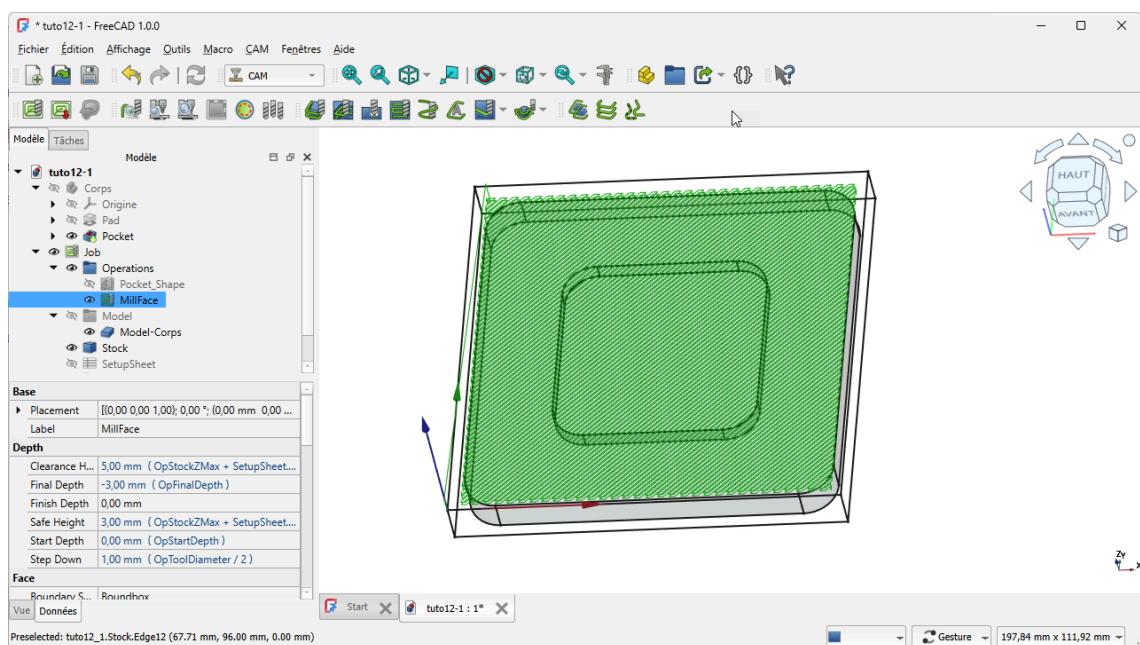
- Utiliser l'usinage 2,5D Surfaçage W ;

Tâches à réaliser

- Sélectionner la face supérieure du clone et sélectionner la commande Surfaçage ;
- Section Opération, saisir un motif Zigzag, un pourcentage de recouvrement de 50 et cocher nettoyer les bords ;



- Valider



FreeCAD a ajouté un élément MillFace dans le sous-dossier Operation de Job ;

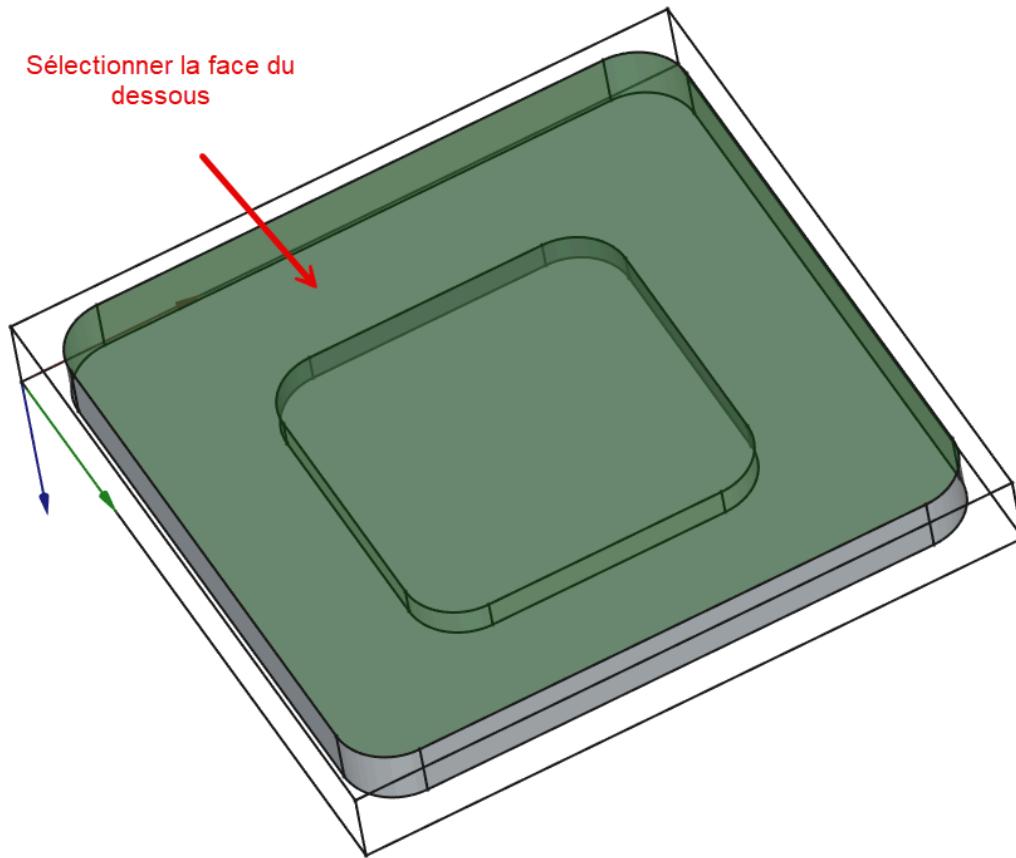
12.4.5.2. Créer le profilage

- Objectif
- Utiliser l'usinage 2,5D Profilage ;



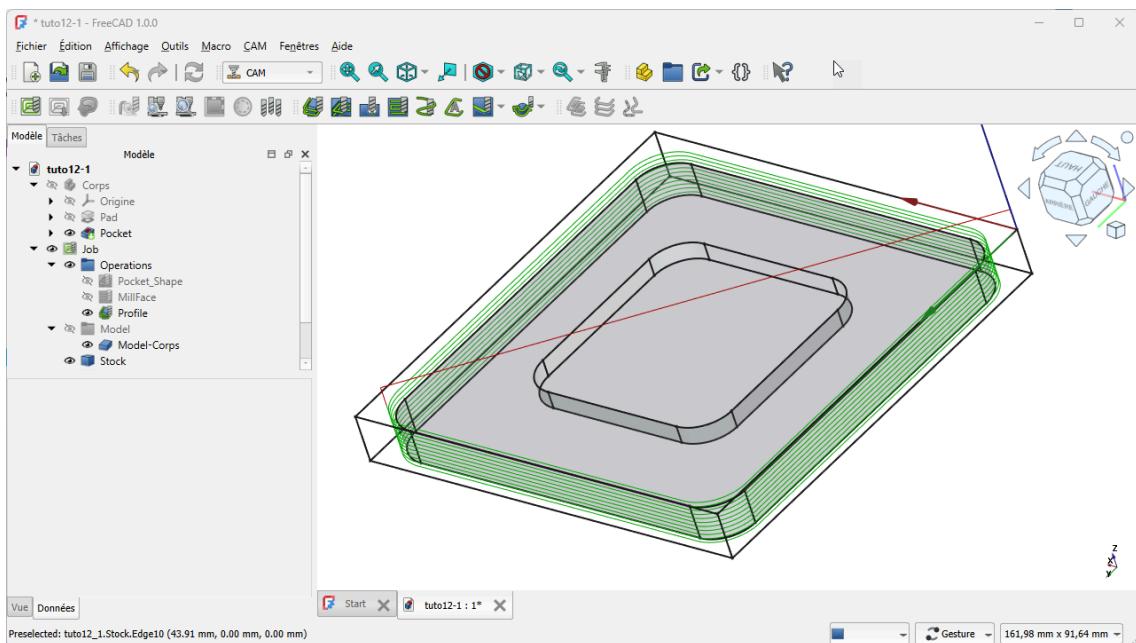
Tâches à réaliser

- 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. Crédit des attaches

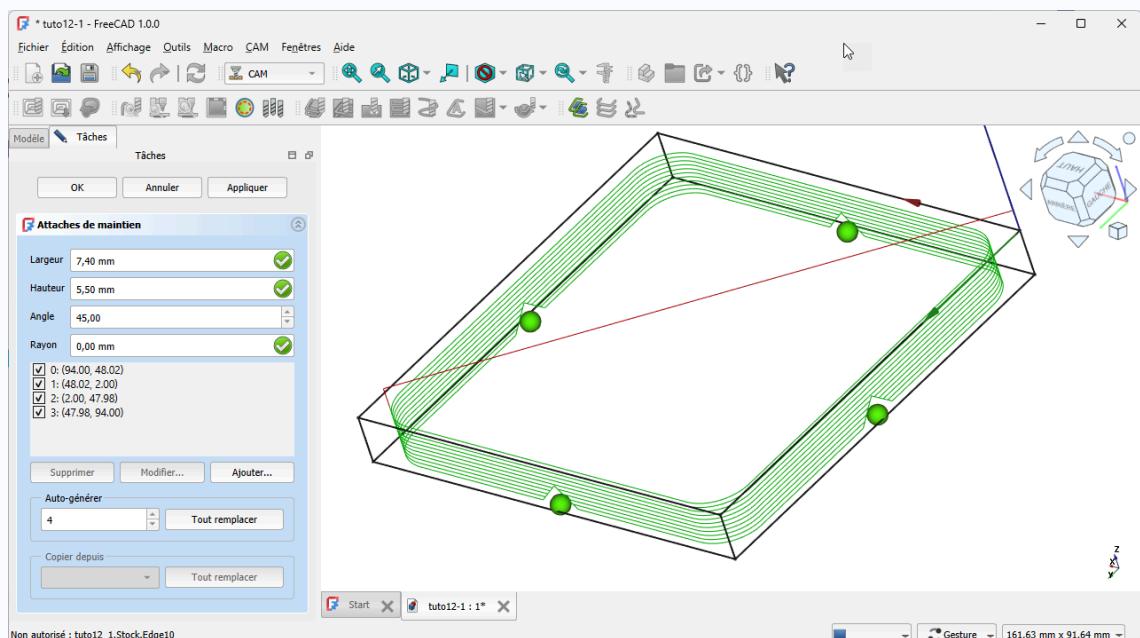
Objectif

- 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.

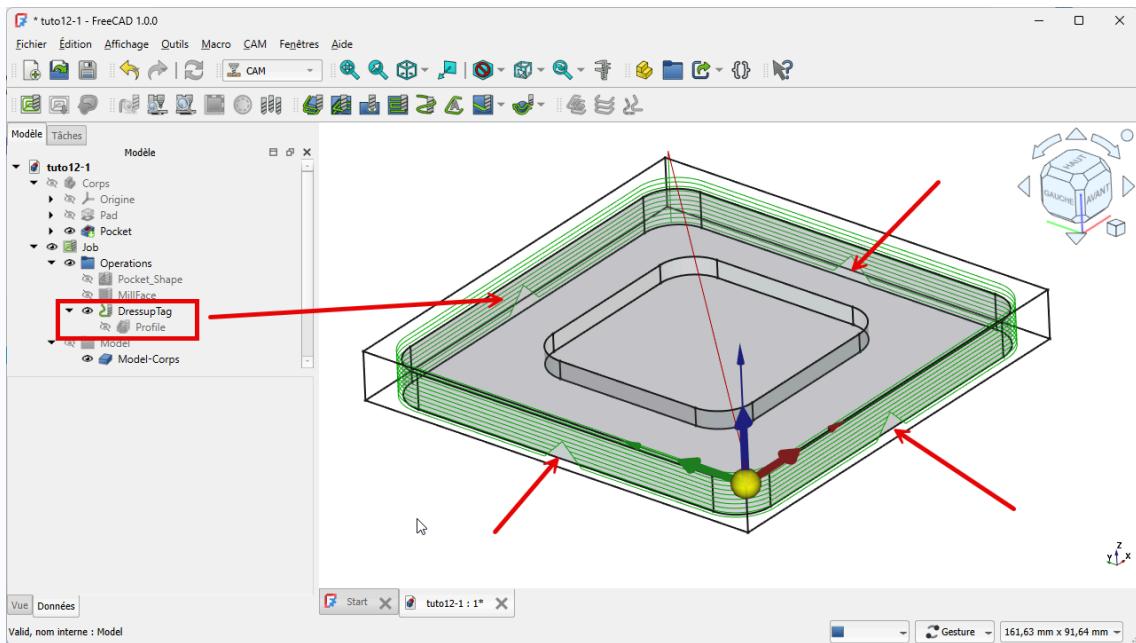
Tâches à réaliser (suite)

- Dans l'onglet **Modèle**, sélectionner l'opération Profile puis sélectionner la commande CAM → Finitions de parcours → Attaché de la barre de menus ;



Finition Attachés 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 ;

12.6. Gravures

Objectifs

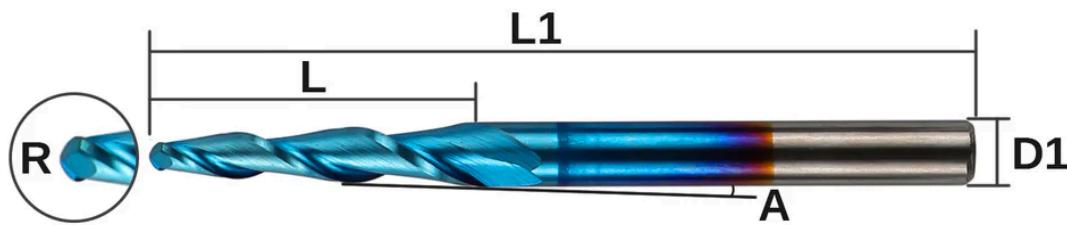
- Mettre en œuvre les différentes étapes de l'atelier CAM pour des usinages 2D ;

12.6.1. Gravure simple

12.6.1.1. Créer une nouvelle forme d'outil

Objectifs

- Créer une nouvelle forme d'outil W :

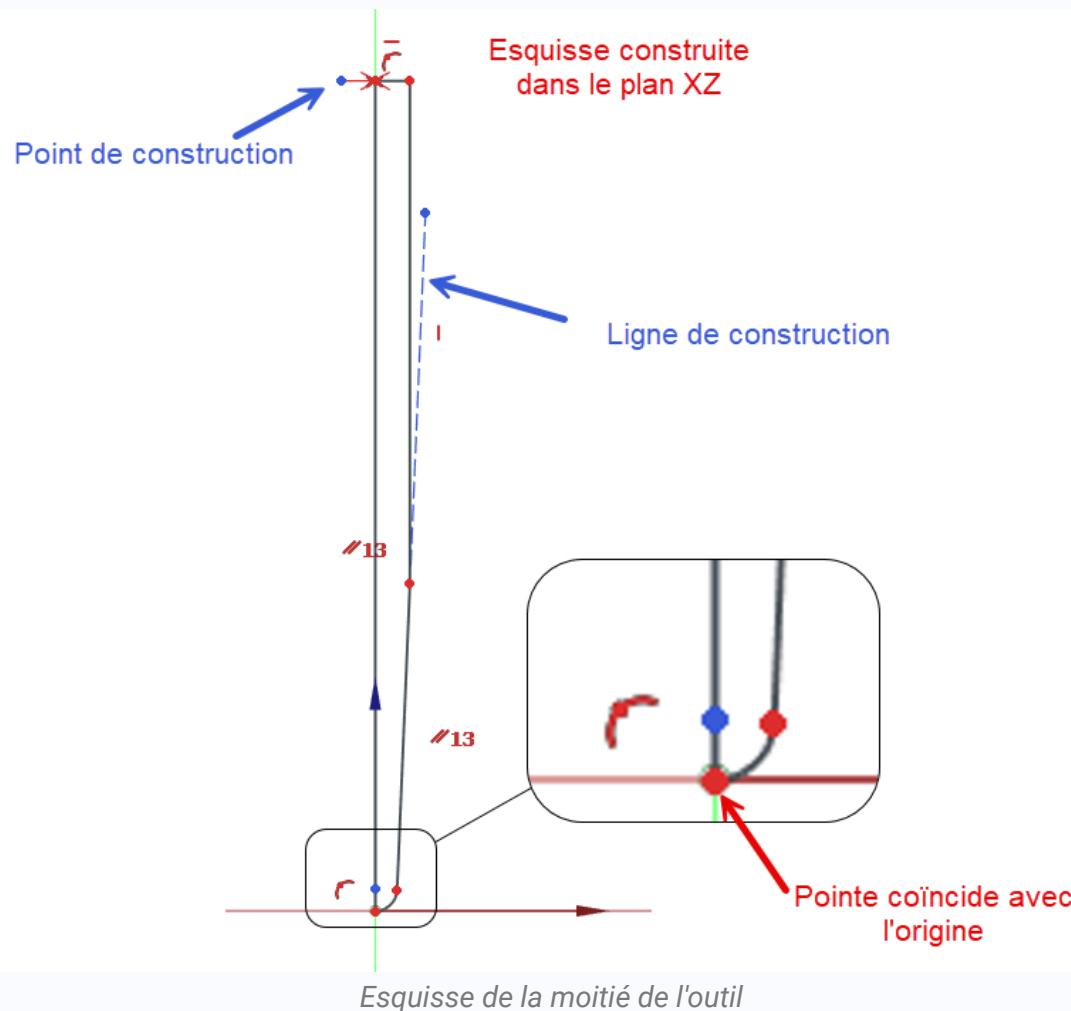


Outil à créer

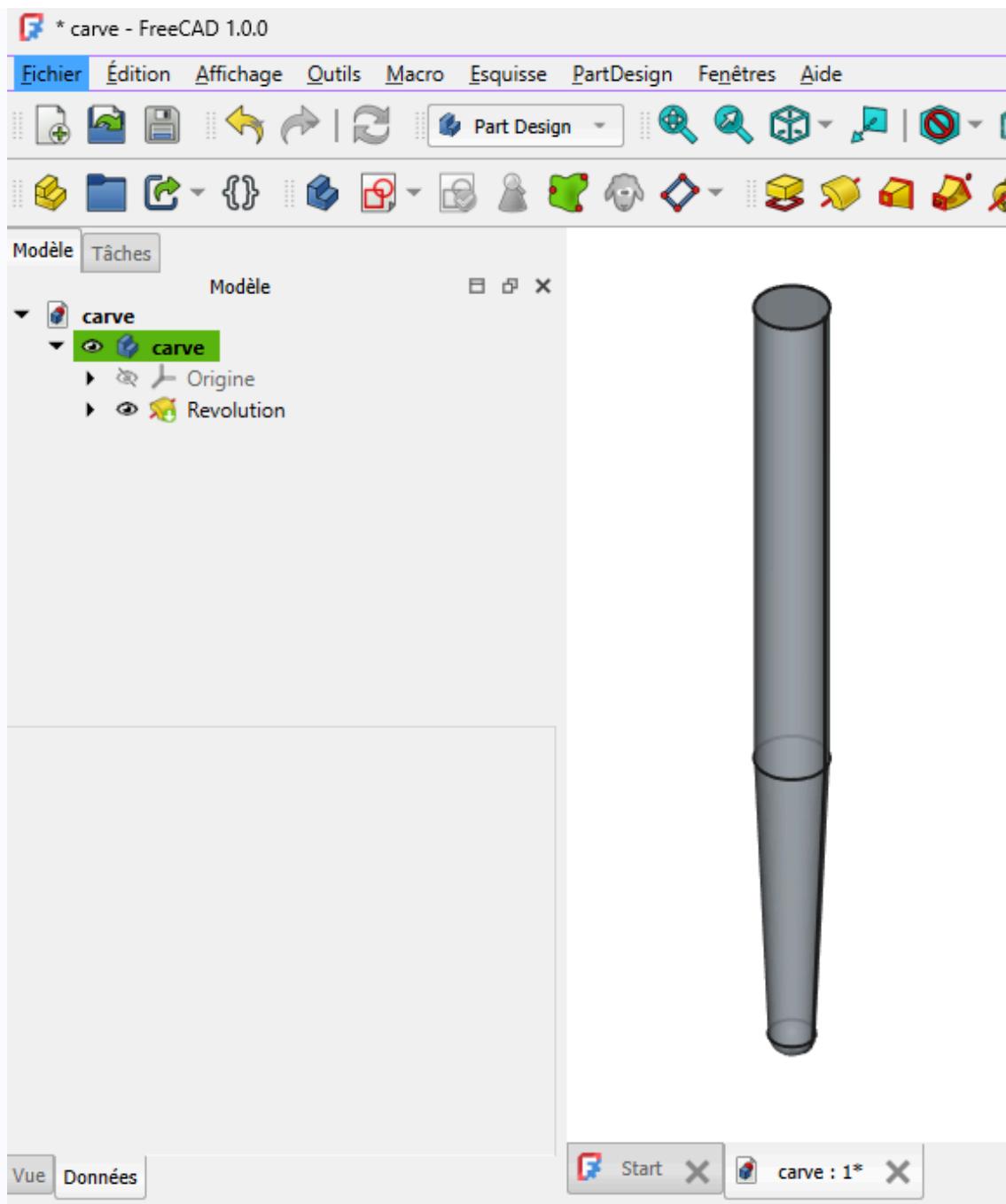
✓ Tâches à réaliser

- Télécharger sur votre ordinateur le fichier [carve-initial.FCStd](#) et l'ouvrir dans FreeCAD ;

Ce document contient un corps   **carve** et une esquisse   **Sketch** dans le plan XZ :

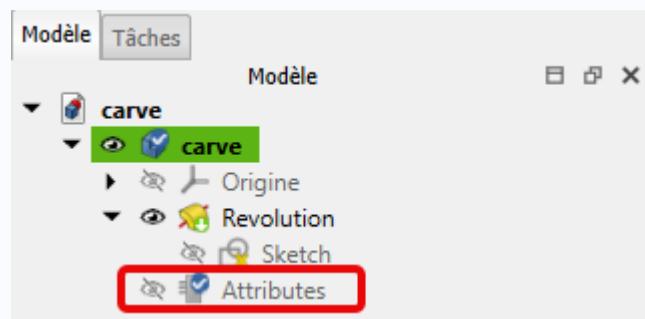


- Enregistrer sous le nom  **carve** dans le sous-dossier  **Shape** de votre dossier  **Outils** ;
- Si nécessaire ouvrir l'atelier Part Design  ;
- Créer une révolution  de l'esquisse autour de l'axe vertical de l'esquisse ;



Révolution de l'esquisse

- Ouvrir l' atelier CAM  , sélectionner l'esquisse dans la vue en arborescence et sélectionner la commande  CAM → Utilitaires → Conteneur d'attributs d'outil coupant de la barre de menus :

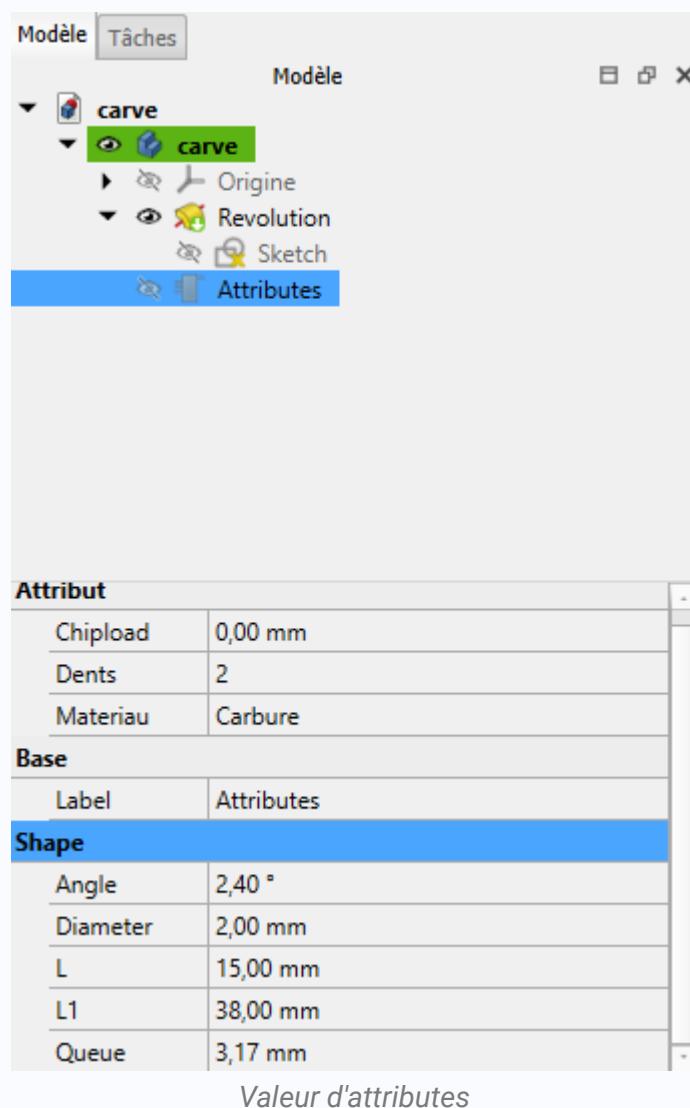


Ajout du conteneur d'attributs

- Double-cliquer sur **Attributes** et ajouter les propriétés suivantes :

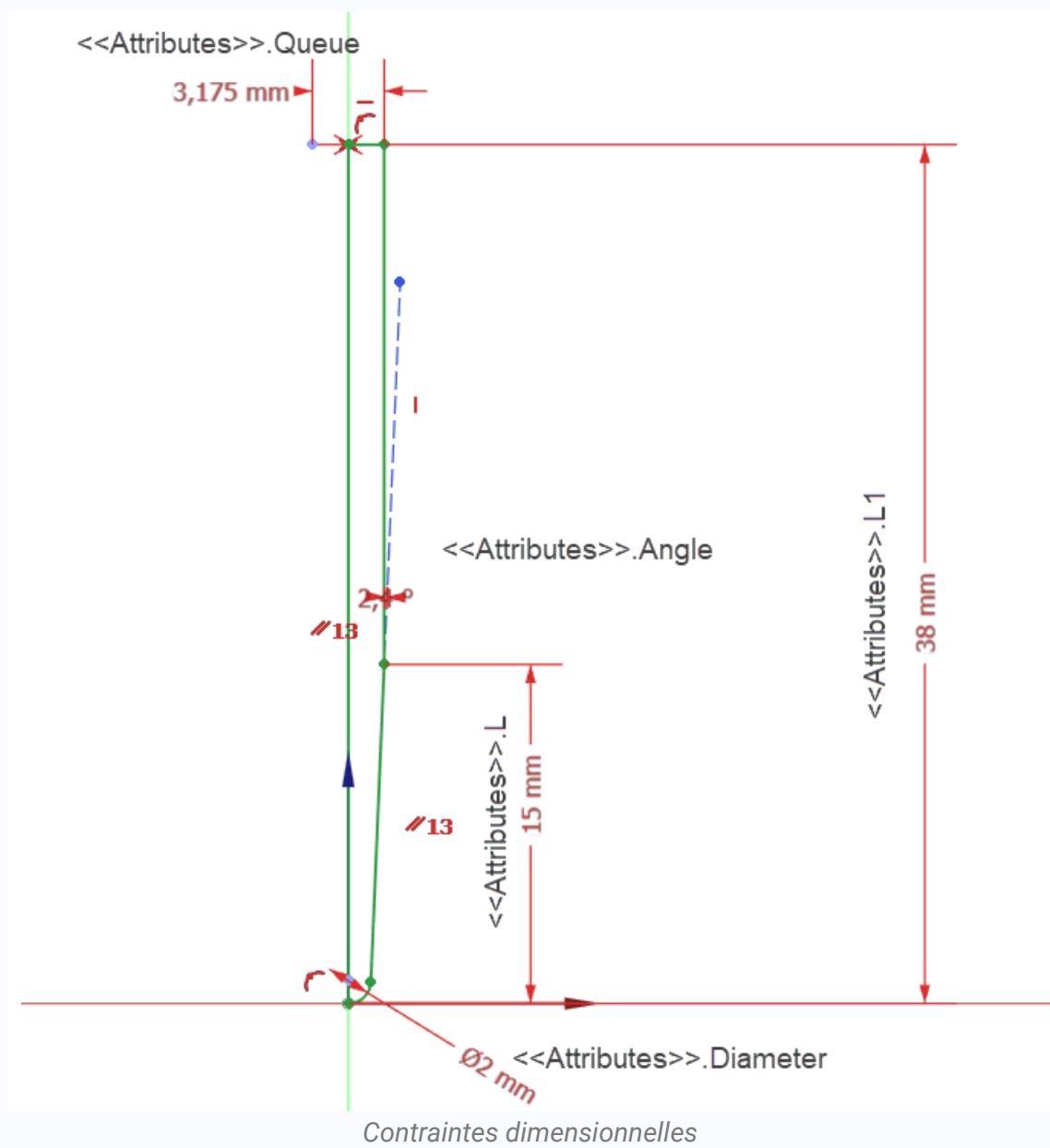
Nom	Groupe	Type	Énumérations	Info-bulle
Diameter	Shape	Length		2 fois le rayon de la pointe
L	Shape	Length		Longueur coupante
L1	Shape	Length		Longueur totale
Queue	Shape	Length		Diamètre de la queue
Angle	Shape	Angle		Angle de la pointe
Chipload	Attribut	Length		Avance par dent
Dents	Attribut	Integer		Nombre de dents
Materiau	Attribut	Enumeration	Carbure, Acier rapide	Matériau de l'outil

- Dans le volet Modèle compléter les valeurs d'**Attribute** :

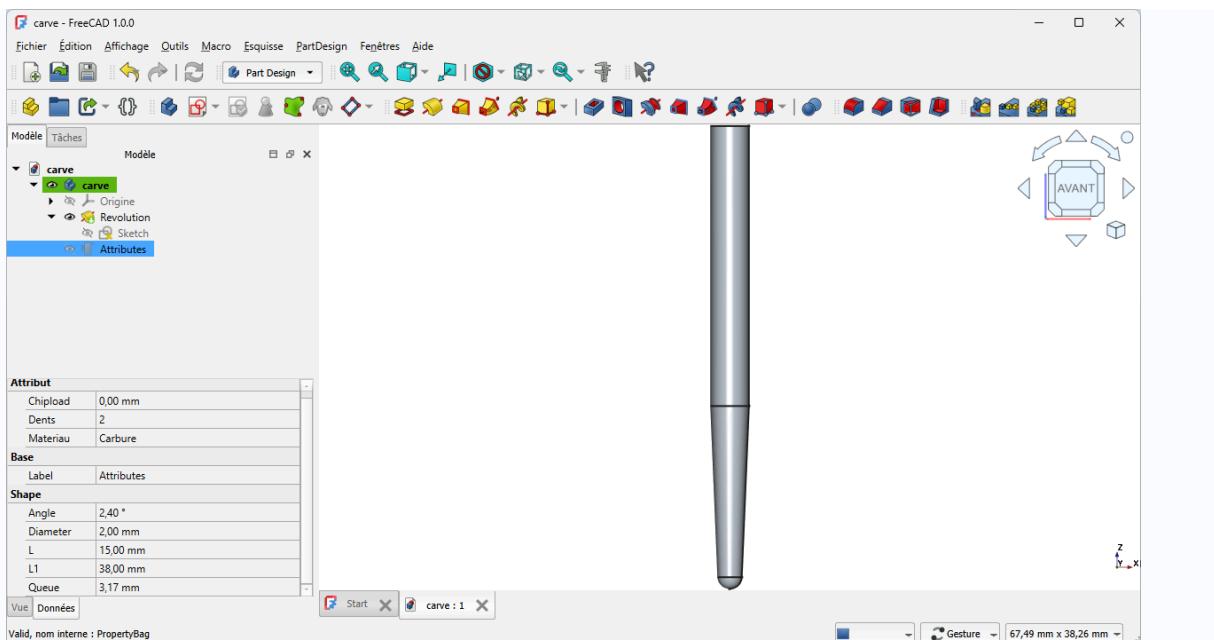




- Revenir à l'atelier PartDesign et contraindre les dimensions de l'esquisse à partir des valeurs d'Attributes ;



- 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 vcarve ;

Objectifs

- Créer une nouvelle bibliothèque CARVE d'outils en utilisant la forme carve que vous venez de créer ;

Désignation	R (mm)	L (mm)	A	D1 (mm)	L1 (mm)
carve025	0.25	15	5.2°	3.175	38
carve050	0.5	15	4.3°	3.175	38
carve075	0.75	15	3.4°	3.175	38
carve100	1	15	2.4°	3.175	38

Choix de la forme carve

- Pour le choix de la forme d'outils, FreeCAD propose la liste des fichiers situés dans le sous-dossier .../Mod/CAM/Tools/Shape/ du dossier d'installation de FreeCAD ;
- Il faut choisir ici, le fichier carve créé précédemment et situé dans le sous-dossier Shape de votre dossier Outil ;

12.6.1.2. Travail préparatoire

Objectifs

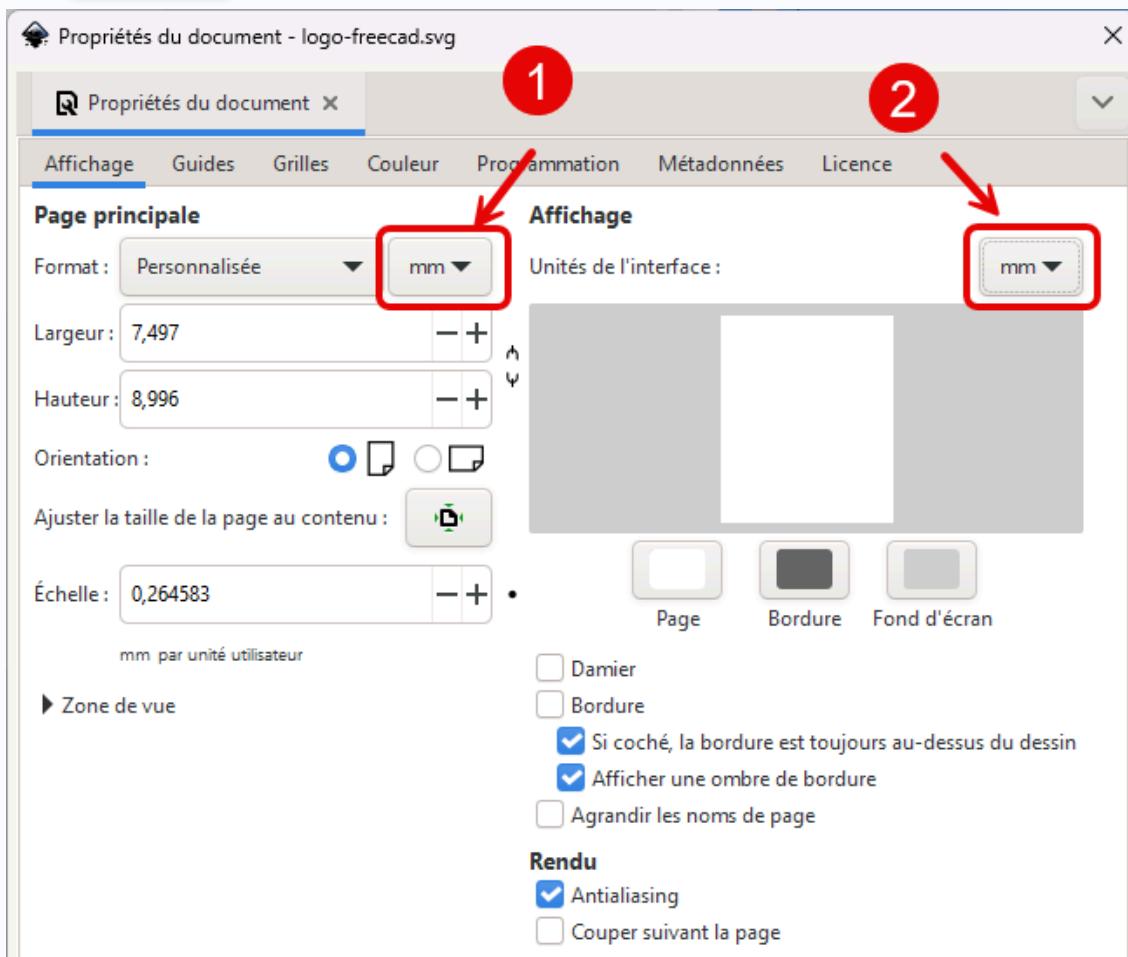
- Modifier le logo de FreeCAD (taille, fond, contour, conversion en chemins) pour pouvoir le graver ;

Tâches à réaliser

- Télécharger l'image à l'aide d'un clic droit sur votre ordinateur ;
- Ouvrir cette image dans Inkscape ;

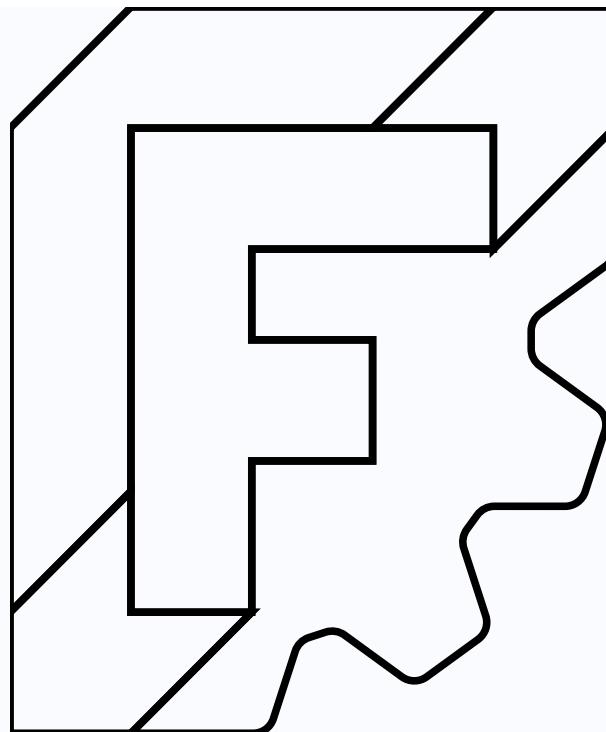


- Modifier les propriétés du document pour travailler en mm à l'aide du raccourci **Ctrl Maj D** (sous **⌘ Maj D**) ;



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 la 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 ;

12.6.1.3. Créez la gravure

Tâche à réaliser

- Créez un nouveau document tuto12-2 dans FreeCAD ;
- Importez le fichier importLogoFreeCAD.svg en sélectionnant l'option SVG as geometry ;

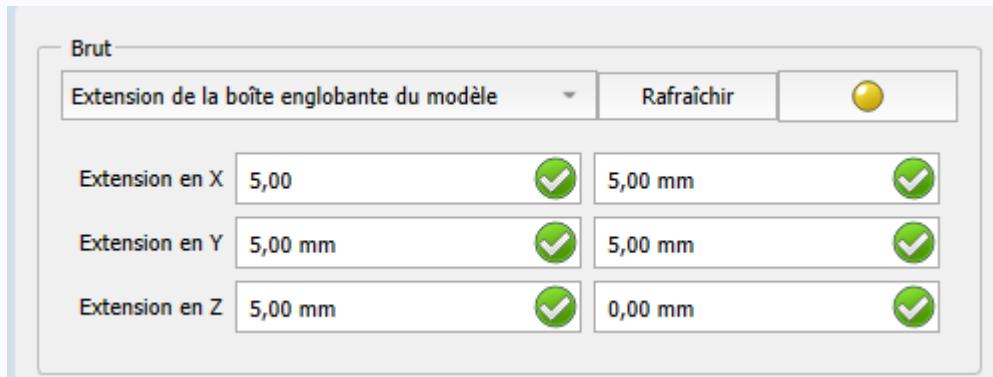


Import du fichier svg

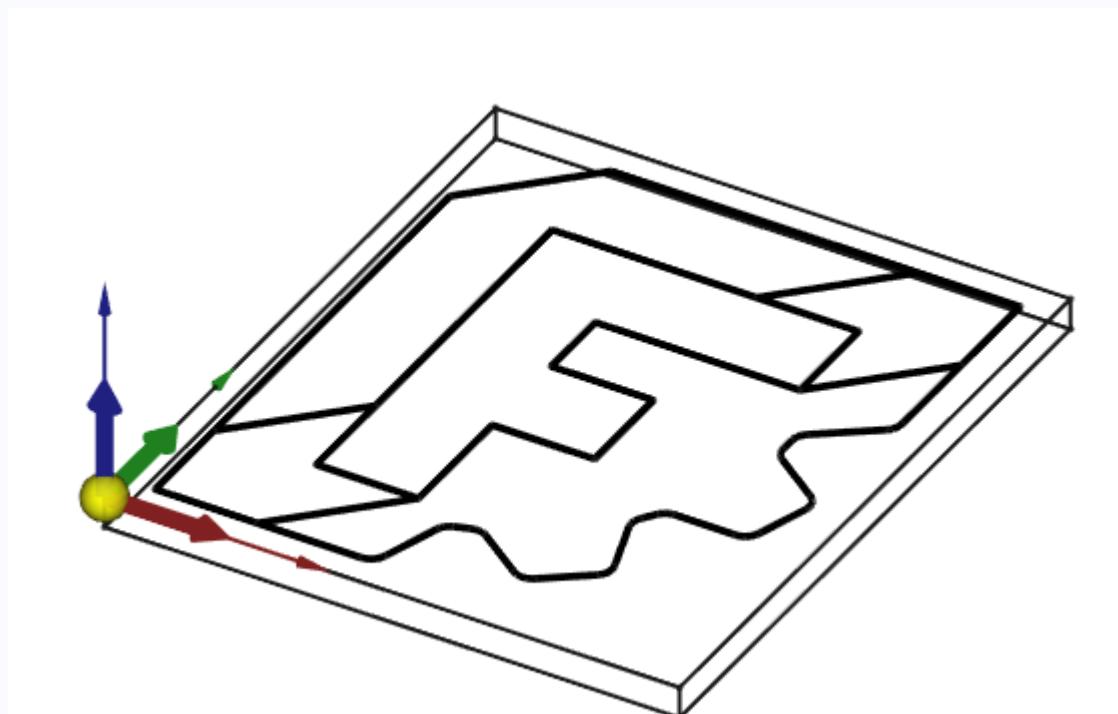
- Dans l'atelier Draft , sélectionnez les 5 chemins et créez une esquisse à l'aide de la commande ;
- Masquez les 5 chemins ;



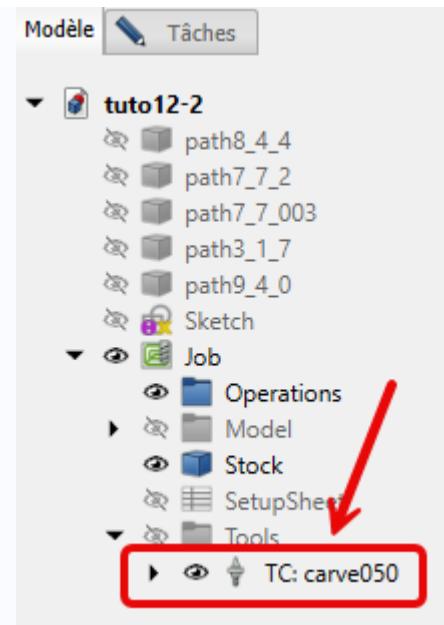
- Dans l'atelier CAM et créer une nouvelle tâche :
 - choisir l'esquisse Sketch comme modèle,
 - définir le stock :

*Définition du stock*

- Définir l'origine :

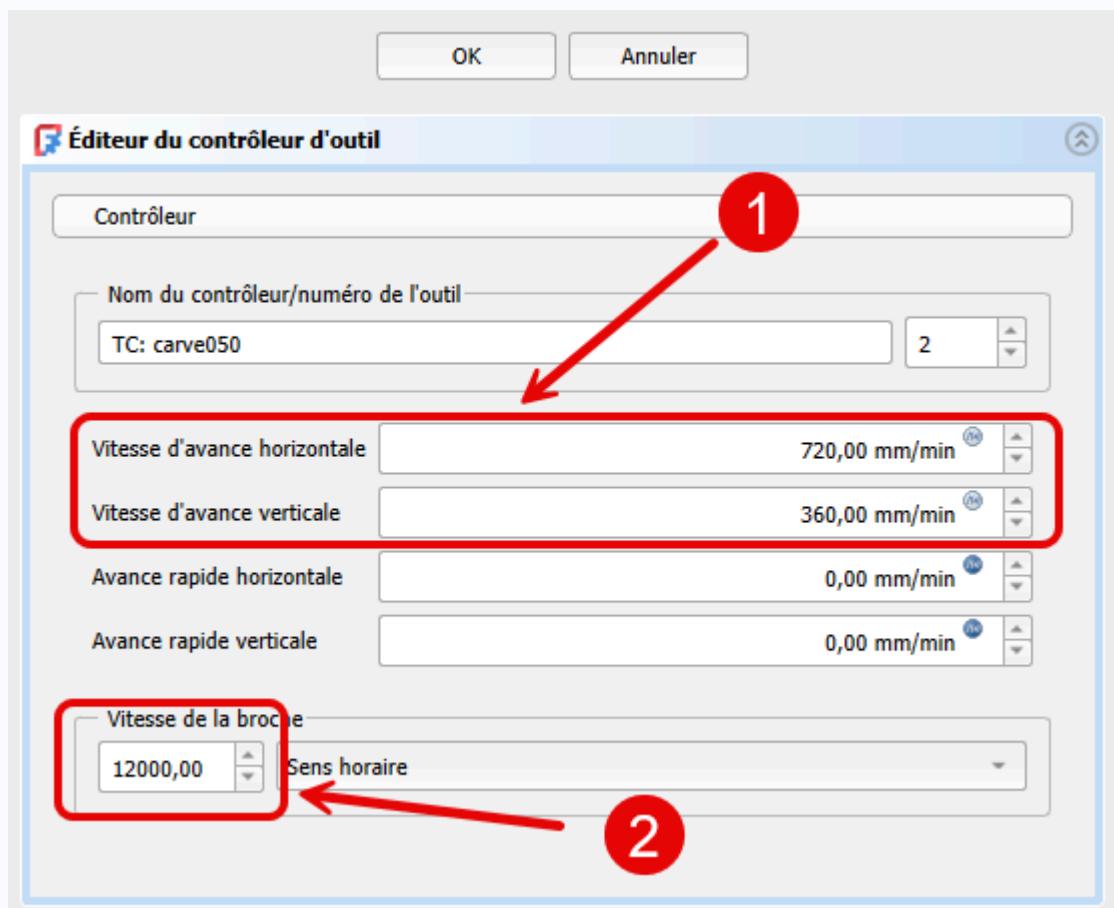
*Choix de l'origine*

- 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 ;

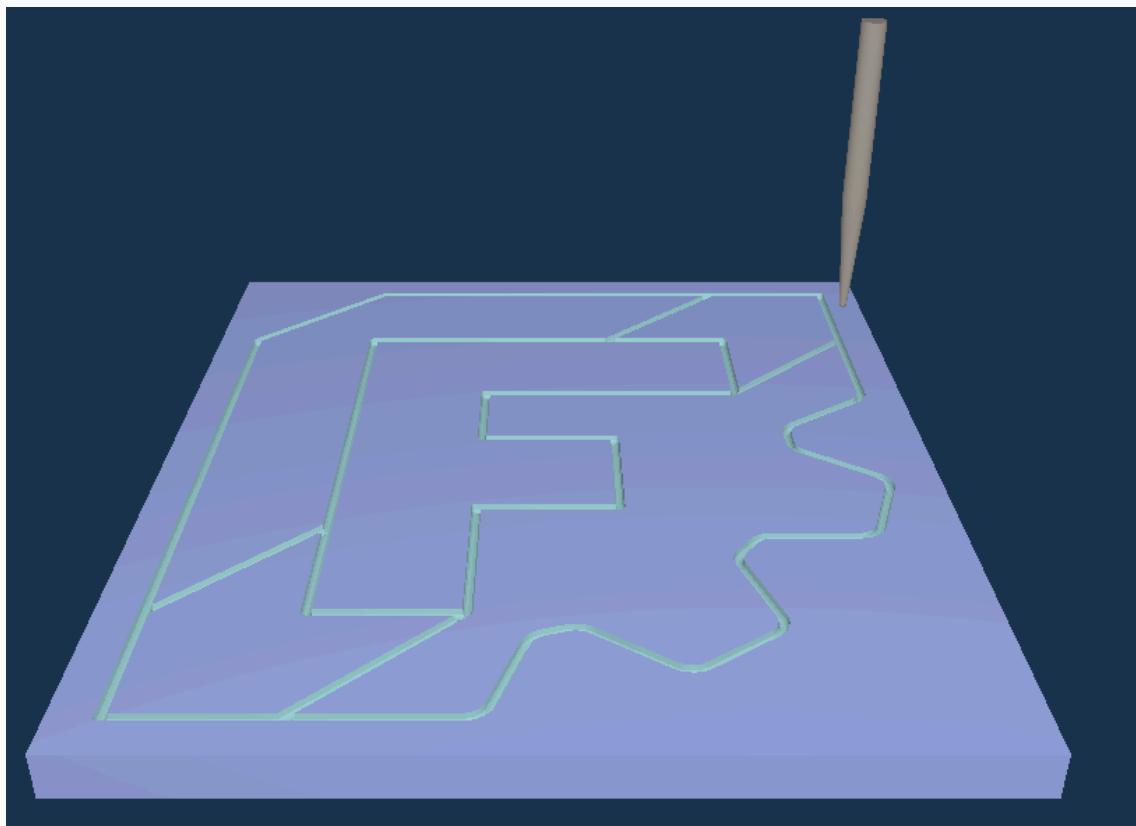


Saisie des propriétés mécaniques de l'outil

- 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 Cliquer ;



Simulation du parcours

- Sélectionner la tâche dans l'onglet **Modèle** et cliquer sur le bouton Post-Traiter 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 ;

12.6.2. Gravure en V

12.6.2.1. Créer un outil vbit

👁️ Objectifs

- Créer un nouvel outil vbit à partir d'une forme v-bit fournie par FreeCAD ;

👁️ Tâches à réaliser

- Télécharger le fichier [v-bit.fcstd](#) sur votre ordinateur à l'aide d'un clic droit ;
- Copier ce fichier dans le sous-dossier Shape de votre dossier personnel Outils ;

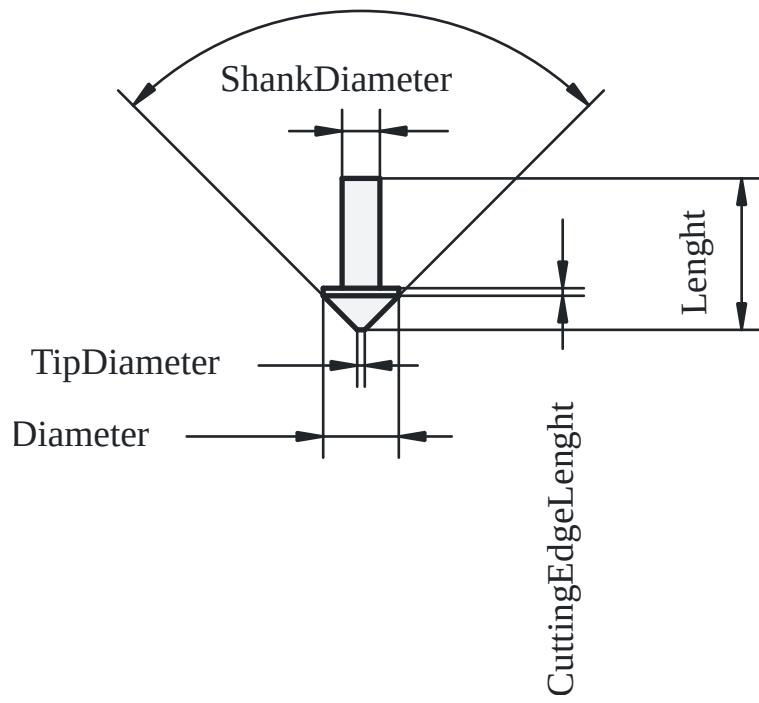
Q Emplacement d'origine du fichier v-bit.fcstd

- Ce fichier **v-bit.fcstd** est en fait fourni par FreeCAD,
 - sous : **C:\Program Files\FreeCAD 1.0\Mod\CAM\Tools\Shape** » ;
 - sous : **/Applications/FreeCAD.app/Contents/Resources/Mod/CAM/Tools/Shape/** ;
 - sous : sous-dossier **.../Mod/CAM/Tools/Shape/** du dossier d'installation de FreeCAD ;

eye 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 ;

CuttingEdgeAngle



Forme d'outil v-bit

- Compléter les dimensions comme ci-dessous : **CutterEdgeAngle** : 60°, **CuttingEdgeLength** : 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 ;

12.6.2.2. Gravure en V

eye Tâches à réaliser

- Télécharger une police de caractères avec serif depuis le site <https://fonts.google.com/> ;
- Extraire le contenu du fichier zip dans le sous-dossier **Polices** de votre espace personnel ;
- Sélectionner l'atelier **Draft** ;

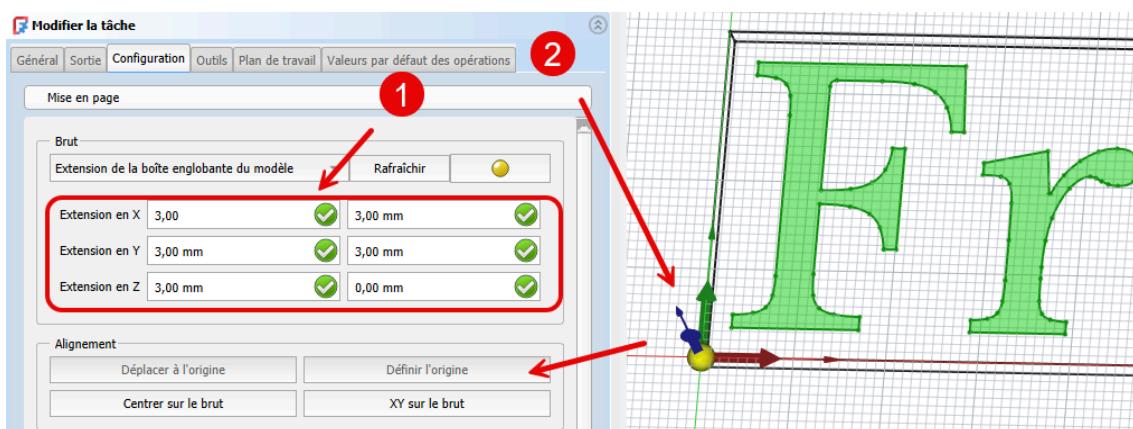


- Sélectionner la commande et compléter le formulaire comme ci-dessous :



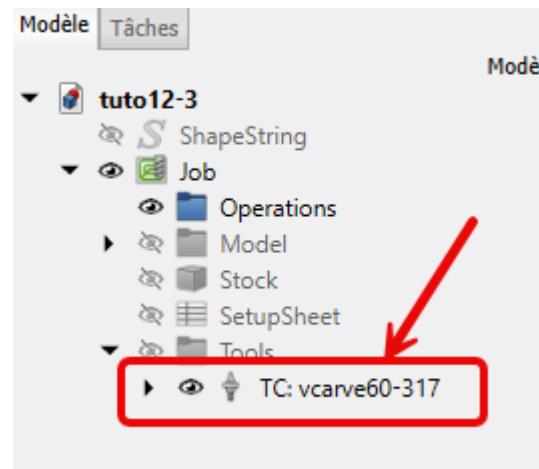
Forme à partir d'un texte (ShapeString)

- Sélectionner l'atelier CAM et créer une tâche
 - choisir l'esquisse Shapestring comme modèle,
 - définir le stock et l'origine :

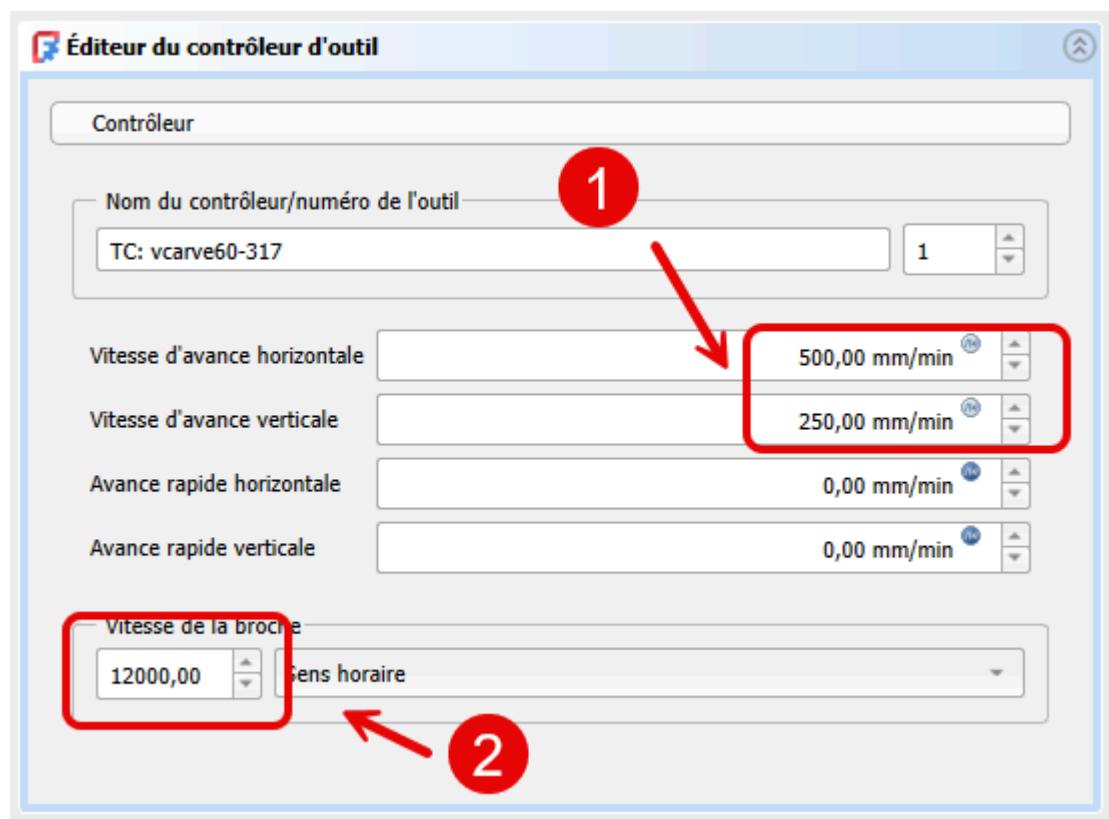


Définition du stock et de l'origine

- Ajouter l'outil 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

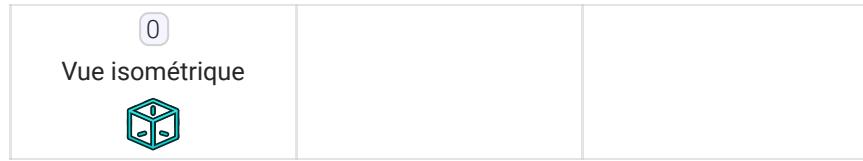
- https://wiki.freecadweb.org/Creating_a_simple_part_with_PartDesign/fr
- https://wiki.freecadweb.org/Basic_Part_Design_Tutorial/fr
- https://wiki.freecadweb.org/Toothbrush_Head_Stand/fr
- <https://grabcad.com/quentin.plisson-1/tutorials> ;

13.1. Raccourcis Clavier

13.1.1. Vues

Touches du clavier numérique

4 Vue arrière 	5 Vue de dessous 	6 Vue de gauche 
1 Vue avant 	2 Vue de dessus 	3 Vue de droite 



💡 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

💡 Réglementaire

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

💡 Réglementaire

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
Rétablissement	Ctrl Y	Maj Cmd Z
Recalculer (Actualiser)	F5	Cmd R

Glossaire

Atelier CAM

≈ Atelier Path

Anciennement atelier PATH, la finalité de l'**atelier CAM**  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 ;

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 Béziers, chaînes de texte,..
- des outils de modifications : déplacement, copie, clonage, échelle, étirement, réseaux (orthogonal, polaire,...),
- etc.

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.

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...) ;

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...

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.

FreeCAD propose deux commandes permettant d'ajouter une feuille de dessin à un document FreeCAD :

-  ajoute une feuille à l'aide du fichier modèle spécifié dans les préférences de l'atelier TechDraw ;
-  feuille ajouté à l'aide du fichier de modèle sélectionné dans une boîte de dialogue ;

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

**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.

Avance par dent
≈ Chipload

s'exprime en mm/dent : c'est l'épaisseur de matériau qui est coupée par chaque dent au fur et à mesure que l'outil se déplace dans la pièce ;

Vitesse d'avance (mm/min) = Nombre de dents x Avance par dent (mm/dent) x vitesse de la broche (tours/min)

**CAM - computer-aided
manufacturing**
**≈ FAO - Fabrication
assistée par ordinateur**

Le but de la fabrication assistée par ordinateur ou FAO (en anglais, computer-aided manufacturing ou CAM) est d'écrire le fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique. Ce fichier va décrire précisément les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la pièce demandée.

**CNC - Computer Numerical
Control**
**≈ MOCN - machine-outil à
commande numérique**

machine-outil dotée d'une commande numérique pilotée par un ordinateur

Conception Assistée par Ordinateur
*≈ en anglais : CAD
 Computer-Aided Design*

voir
https://fr.wikipedia.org/wiki/Conception_assist%C3%A9e_par_ordinateur

Contrainte automatique

Dans l'atelier Sketcher, le bouton déroulant du panneau Contrainte 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.

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

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...

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

Format de fichier CSV

Un fichier CSV (Comma-Separated Values) est un format de fichier texte utilisé pour représenter des données tabulaires (comme dans un tableau ou une base de données) sous forme de lignes et de colonnes.

- Chaque ligne représente un enregistrement (une ligne de table).
- Les colonnes sont séparées par un délimiteur (virgule ou point-virgule ou tabulation...)

Format FCStd

≈ Format FreeCAD

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

forme liée

≈ ShapeBinder

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

G-Code

Le format G-CODE est le format utilisé pour la programmation des machines à commande numérique. Il a été normalisé en 1980 mais il n'a pas évolué depuis. La plupart des fabricants ne le respectent pas de manière stricte et ont ajouté des spécificités. cf. [Page Wikipedia](#)

Géométrie de construction

Dans une esquisse, on distingue les **géométries de définition** et les **géométries de construction** :

- Les géométries (de définition) sont utilisées par les fonctions paramétriques 3D (protrusion, révolution...) pour « créer / supprimer de la matière » ;
- Les géométries de construction aident à définir les contraintes et les géométries de définition 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 ;

Géométrie de construction

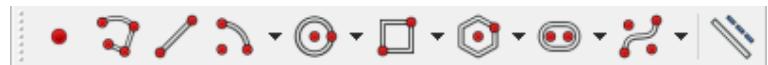
Créée à l'aide des commandes de la barre d'outils :



- Ces géométries ne sont pas visibles en dehors de l'atelier Sketcher  ;
- Elles sont ignorées par les fonctions paramétriques 3D ;

Géométrie de définition

Créée à l'aide des commandes de la barre d'outils :



- Ces géométries sont visibles en dehors de l'atelier Sketcher ;
- Elles sont utilisées par les fonctions paramétriques 3D (protrusion, révolution, cavité...) pour « créer / supprimer de la matière » ;

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** ;
- 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** ;

Géométrie externe de construction

Créée à l'aide de la commande géométrie externe d'intersection ou de projection : l'atelier Sketcher doit être en mode Géométrie de construction :

**Géométrie externe de définition**

Créée à l'aide de la commande géométrie externe d'intersection ou de projection : l'atelier Sketcher doit être en mode Géométrie de définition

**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 ;

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))

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.

Post-traitement

Chaque contrôleur CNC utilise un format de fichier G-code spécifique. Le **post-traitement**^W permet de convertir le format G-Code interne de FreeCAD au format adapté au contrôleur de votre CNC.

Slicer**≈ logiciel de tranchage**

Le slicer joue le rôle d'intermédiaire entre le modèle 3D et l'imprimante 3D : il permet de convertir le modèle importé au format STL en une série de couches fines et génère un fichier G-code, contenant toutes les instructions pour l'imprimante 3D.

Exemple de Slicer :

- [Ultimaker Cura](#) (propriétaire gratuit) ;
- [Slic3R](#) (libre)
- [Simplify3D](#) (payant) ;
- ...

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.
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.
