

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DE TIZI-OUZOU  
FACULTE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION  
DEPARTEMENT DE GENIE-MECANIQUE



## Mémoire De Fin D'études MASTER Académique

SPECIALITE : GENIE MECANIQUE

OPTION : FABRICATION MÉCANIQUE ET PRODUCTIQUE

### ***THEME***

***Etude Et Conception De Galets D'une  
Profileuse Pour Profilé C***

Proposé et dirigé par :

-Mr. F. ASMA  
-Mr. M. BENCHERIF

Réalisé par :

-Mlle. S. HANICHE

2021/2022

## ***Remerciements.***

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon  
Directeur de mémoire, Monsieur F.ASMA. Je le  
remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*Je remercie infiniment, Monsieur M.BENCHERIF pour  
son suivi, sa disponibilité et ses conseils avisés tout au  
long de la réalisation de ce travail*

*Je tiens aussi à remercier Monsieur M. HADIOUCHE  
qui a cru en mon potentiel et m'a accueilli au sein de  
son entreprise, ainsi que Monsieur A. AMROUCHE  
pour ses interventions pédagogiques*

*Et enfin je remercie tout le personnel du département  
génie mécanique de l'UMMTO*

*À tous, je vous présente mes remerciements, mon  
respect et ma gratitude.*

## *Dédicaces*

*Je tiens à dédier ce travail*

*Tout d'abord mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A mes sœurs et mes frères pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral,*

*A mes chers amis qui ont toujours cru en moi, pour leurs appuis et leurs encouragements,*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible,*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

**SAADA**

## Sommaire :

I.	Généralités sur le profilage .....	9
I.1	Introduction .....	11
I.2	Les procédés de mise en forme.....	11
I.2.1	Laminage :.....	11
I.2.2	Estampage .....	12
I.2.3	Filage et extrusion .....	12
I.2.4	Le cintrage.....	13
I.2.5	Poinçonnage et découpage .....	13
I.2.6	L'emboutissage : .....	13
I.2.7	Pliage.....	14
I.3	Le profilage : .....	15
I.3.1	Historique sur le profilage :.....	15
I.3.2	Définition de profilage : .....	16
I.3.3	Les profilées .....	17
I.3.4	La profileuse :.....	19
I.3.5	Galets de profilage : .....	21
I.3.6	Le principe du profilage .....	22
I.3.7	Règles de conception des outillages de profilage : .....	24
I.3.8	Les capacités du profilage :.....	27
I.3.9	Les avantages de profilage : .....	27
I.3.10	Inconvénients du profilage :.....	28
I.4	Conclusion :.....	28
II.	Etude et conception des galets .....	11
II.1	Introduction : .....	30
II.2	Cahier de Charges de galets de la profileuse :.....	30
II.3	Choix des matériaux :.....	30

II.3.1	Les arbres : .....	30
II.3.2	Les galets : on a pris comme matériau l'acier Z200C12(X210Cr12) .....	32
II.3.3	La tôle : .....	33
II.4	Calcule les paramètres de la conception : .....	34
II.4.1	Calcule du diamètre de l'arbre : .....	34
II.4.2	Calcule du Diamètre minimum du galet : .....	36
II.4.3	Calcule du diamètre maximum de galet : .....	36
II.4.4	Calcule des Tailles des clavettes : .....	37
II.4.5	Calcule du nombre de passe: .....	37
II.5	Conception des galets : .....	37
II.6	Rendu des galets .....	39
II.7	Conclusion : .....	49
III.	Simulation numérique et discussion des résultats .....	30
III.1	Introduction : .....	51
III.2	Mise en forme de tôle à froid : .....	51
III.2.1	Différents modes de déformation de la tôle .....	51
III.2.2	Défauts en mise en forme des tôles métalliques .....	52
III.3	Théorie de déformation .....	52
III.3.1	Etude des solides plastiques : .....	52
III.4	Elastoplasticité tridimensionnelle .....	56
III.4.1	Critères de plasticité .....	56
III.5	Simulation et calcul : .....	58
III.5.1	Logiciels utilisés : .....	58
III.5.2	Données implémentées : .....	59
III.6	Résultats de la simulation et discussions .....	63
IV.	Conclusion générale et perspectives .....	66
IV.1	Conclusions : .....	66

## Liste des figures :

<b>Figure I-1</b> : procédé de laminage(RAJAOHSONA 2011) .....	11
<b>Figure I-2</b> : procédé d'estampage (RAJAOHSONA 2011) .....	12
<b>Figure I-3</b> : procédé de filage(MEHANI and TOUAT 2019).....	12
<b>Figure I-4</b> : procédé de cintrage(JERBI 2017) .....	13
<b>Figure I-5</b> : outils de découpage(JERBI 2017) .....	13
Figure I-6: principe du procédé d'emboutissage(MEHANI and TOUAT 2019).....	14
<b>Figure I-7</b> : procédé pliage .....	14
<b>Figure I-8</b> : schéma du principe de profilage(Altan and Tekkaya 2012) .....	16
<b>Figure I-9</b> : exemple simple d'une fleur du profilage(Halmos 2005).....	16
<b>Figure I-10</b> : profilé d'usage(Altan and Tekkaya 2012) .....	17
<b>Figure I-11</b> : différents types de profilés(MEHANI and TOUAT 2019).....	19
<b>Figure I-12</b> : profileuse à froid (Altan and Tekkaya 2012).....	20
<b>Figure I-13</b> : galets de profilage .....	22
<b>Figure I-14</b> : schéma de principe d'une profileuse(JERBI 2017) .....	22
<b>Figure I-15</b> : Organisation d'une ligne de profilage .....	23
<b>Figure I-16</b> : Retour élastique après pliage(Decultot, n.d.).....	25
<b>Figure I-17</b> : Alignement des galets (Halmos 2005).....	26
<b>Figure I-18</b> : Ondulation d'une rive due au flambage locale .....	26
<b>Figure II-1</b> : diagramme fer carbone .....	33
<b>Figure II-2</b> : paramètres de l'équation (1)(Halmos 2005).....	35
<b>Figure II-3</b> : diamètre de l'arbre en fonction de l'espacement entre stations et épaisseur de la tôle (Halmos 2005).....	36
<b>Figure II-4</b> : déplié de la fleur .....	38
<b>Figure II-5</b> : analyse contrainte dépliée .....	38
<b>Figure II-6</b> : Assemblage Station N°01 .....	39
<b>Figure II-7</b> : Assemblage station N°2 .....	40
<b>Figure II-8</b> : Assemblage Station N°03 .....	41
<b>Figure II-9</b> : Assemblage Station N°04 .....	42
<b>Figure II-10</b> : Assemblage Station N°05 .....	43
<b>Figure II-11</b> : Assemblage Station N°06 .....	44

<b>Figure II-12</b> : Assemblage Station N°07 .....	45
<b>Figure II-13</b> : Assemblage Station N°08 .....	46
<b>Figure II-14</b> : Assemblage Station N°09 .....	47
<b>Figure II-15</b> : Assemblage Station N°10 .....	48
<b>Figure III-1</b> : diagramme des déformations rencontrées en mise en forme des tôles .....	52
<b>Figure III-2</b> : essai de traction .....	53
<b>Figure III-3</b> : courbe contrainte-déformation .....	53
<b>Figure III-4</b> : modèle R.P.P .....	54
<b>Figure III-5</b> : modèle R.P.E .....	55
<b>Figure III-6</b> : modèle E.P.P .....	55
<b>Figure III-7</b> : modèle E.P.E .....	56
<b>Figure III-8</b> Comparaison des critères Von Mises et Tresca .....	58
<b>Figure III-9</b> : Station R05 DXF .....	59
<b>Figure III-10</b> : importation des galets .....	60
<b>Figure III-11</b> : propriétés tôle .....	60
<b>Figure III-12</b> : tôle maillée.....	61
<b>Figure III-13</b> : Assemblage complet .....	61
<b>Figure III-14</b> : résultats de simulation (contrainte équivalente de Von Mises) .....	63
<b>Figure III-15</b> courbe des réactions aux appuis de l'ensemble des galets de la presse .....	64
<b>Figure III-16</b> : Courbe déformation plastique équivalente en fonction de la course .....	64
<b>Figure III-17</b> : Evolution de la température de la tôle durant la simulation .....	65

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau 1</b> : Composition chimique d'un acier (42CD4) 42CrMo4 .....	31
<b>Tableau 2</b> : Caractéristiques du matériau (42CD4) 42CrMo4 .....	31
<b>Tableau 3</b> : Composition chimique d'un acier Z 200 C 12 .....	32
<b>Tableau 4</b> : Caractéristiques du matériau Z200C12(X210Cr12). .....	32
<b>Tableau 5</b> : Composition chimique d'un acier S235 .....	34
<b>Tableau 6</b> : Caractéristiques du matériau S 235.....	34

# **Introduction générale**

### **Introduction générale**

De nos jours l'industrie a pu développer de nombreux procédés afin de pouvoir fournir des produits en accord avec les attentes des clients. Parmi toutes les techniques existantes, on compte les procédés de mise en forme des tôles tel que le pliage, l'emboutissage, l'estampage, le cintrage... etc.

Nous avons porté une attention particulière au procédé de profilage qui consiste à déformer en continu une tôle métallique afin d'obtenir à sa fin un profilé ouvert (U, C, Z) ou bien fermé (Tube rond, Carré, rectangulaire). Ce dernier est un procédé très convoité d'une part pour sa cadence de production élevée et d'une autre part pour la précision et la répétabilité de la qualité du produit obtenu.

Dans notre travail nommé « Etude Et Conception De Galets D'une Profileuse Pour Un Profilé C », nous abordons le sujet de la conception et le dimensionnement des galets d'une profileuse en utilisant les moyens modernes (Logiciels de conception spécifiques au profilage) de conception qui ont su montrer leur efficacité de par leur renommé. Nous débutons notre travail par une partie bibliographique relatant les différents procédés de mise en forme ainsi que les généralités sur le profilage, puis nous passons à la partie conception des galets et leur dimensionnement en utilisant le logiciel UBECO qui est destinée spécifiquement à la conception de galets de profilage et le logiciel de conception assisté par ordinateur (CAO) SolidWorks. Après quoi nous intégrons les galets dans le logiciel de simulation par éléments finis SimuFact afin de simuler le procédé de mise en forme sous des conditions réalistes. Suivant ceci, nous dévoilons dans le 3ème chapitre, les résultats obtenus par la simulation. Enfin nous terminerons par la conclusion générale et les perspectives.

# **I. Généralités sur le profilage**

## I.1 Introduction

Dans ce chapitre Nous présentons des connaissances nécessaires sur le profilage des tôles et des notions fondamentales. Puis nous parlerons des différents procédés de mise en forme des tôles à froid et enfin nous montrerons la représentation d'une profileuse et ses diverses composantes.

## I.2 Les procédés de mise en forme

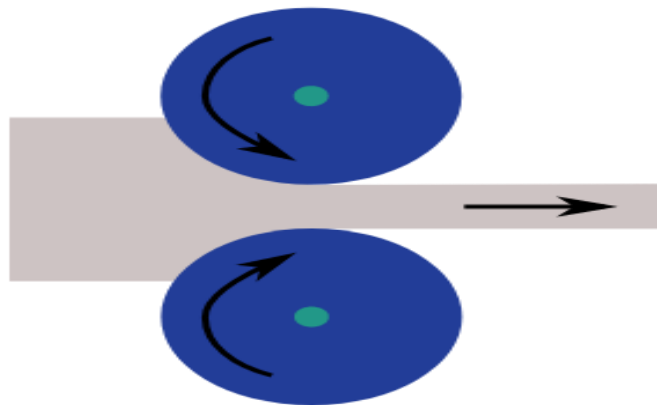
### I.2.1 Laminage :

Est un procédé de fabrication par déformation plastique qui consiste à faire traverser un matériau entre deux cylindres lisses ou cannelés tournant dans deux sens inverse appelés laminoir. Par laminage, on obtient des produit en feuille (tôle) ou des profilés (rail, barre, poutrelles).(JERBI 2017)

La réduction d'épaisseur varie de 20 à 90 % suivant la température, le type de laminoirs et le nombre de passe. On distingue le laminage à chaud et le laminage à froid.

Le laminage conduit à deux types de produits :

- Les semi-finis (blooms, billettes, brames,)
- Les finis (ronds, carrés hexagonaux, tôles, profilés...)



**Figure I-1** procédé de laminage(RAJAOHSONA 2011)

### 1.2.2 Estampage

C'est un procédé de formage par choc ou par pression d'un lopin métallique intercalé entre deux matrices dans lesquelles sont réalisées des gravures ou empreintes reproduisant la forme de la pièce à obtenir. Sous l'action des forces extérieures le métal se déforme et remplit les empreintes. L'estampage s'effectue généralement en deux opérations ébauche et finition suivie d'un ébavurage.

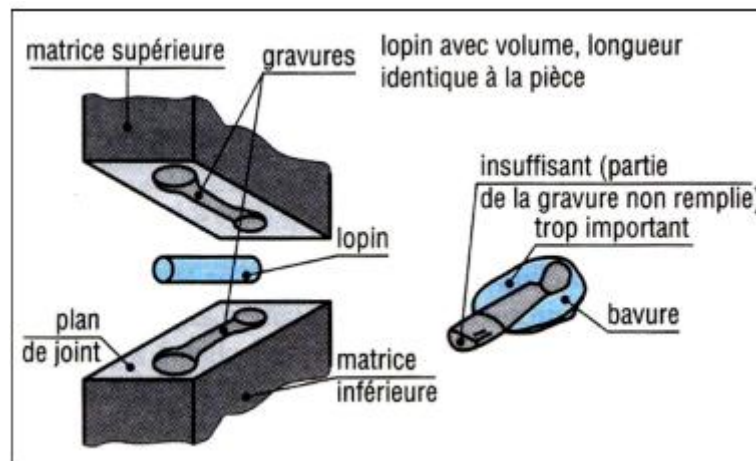


Figure I-2 : procédé d'estampage (RAJAOHSONA 2011)

### 1.2.3 Filage et extrusion

Ce procédé consiste à forcer le métal d'un lopin, d'un flan ou d'une ébauche forgée à passer dans une filière ou entre une matrice et un poinçon par choc ou par pression. Selon la malléabilité de la matière, l'opération se fait à chaud ou à froid.(JERBI 2017)

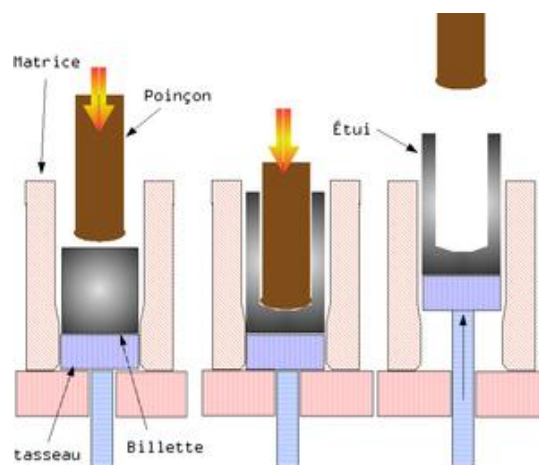


Figure I-3 : procédé de filage(MEHANI and TOUAT 2019)

### I.2.4 Le cintrage

Le cintrage consiste à déformer une tôle de manière à lui donner une courbure et à réaliser des surfaces cylindriques ou coniques. Cette déformation est réalisée par le passage des tôles entre des rouleaux convenablement étagés. (JERBI 2017)

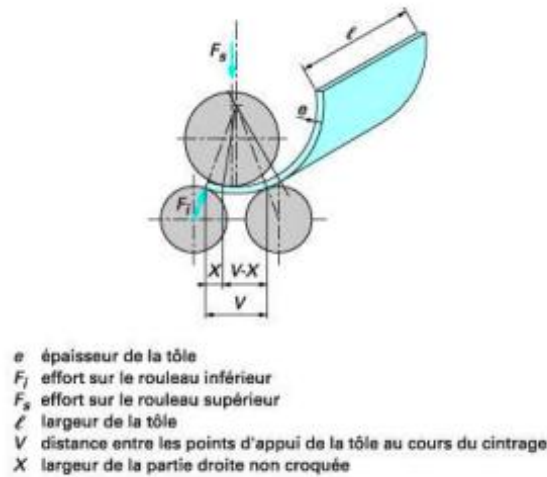


Figure I-4 : procédé de cintrage (JERBI 2017)

### I.2.5 Poinçonnage et découpage

C'est un cisailage sur un contour fermé. L'outillage est constitué d'un poinçon et d'une matrice ayant la forme de l'ajour à poinçonner ou la forme de la pièce à découper. (JERBI 2017)

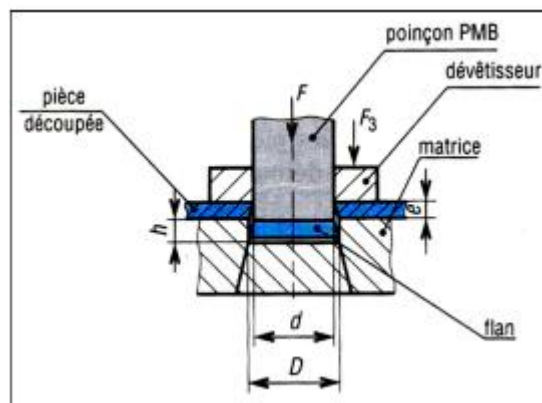


Figure I-5 : outils de découpage (JERBI 2017)

### I.2.6 L'emboutissage :

L'emboutissage est un procédé de formage qui consiste à obtenir par déformation plastique de tôles minces, des pièces de formes plus ou moins complexes, non développables en général.

L'obtention de la forme se fait par l'entraînement de la tôle sous l'action du poinçon dans la matrice. Le mouvement de la tôle est contrôlé par un serre-flan empêchant l'apparition de plis ou de déchirures sur la pièce en lui imposant une pression de retenue. L'emboutissage est l'un des procédés les plus utilisés pour la mise en forme des tôles minces dans bon nombre de secteurs d'activités tels que l'électroménager, l'emballage ou l'automobile en raison des cadences élevées admissibles.(JERBI 2017)

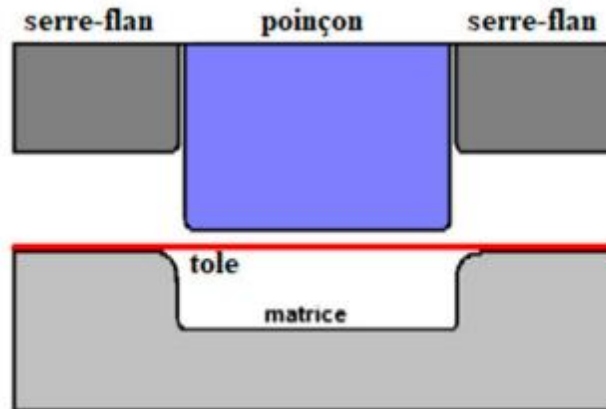


Figure I-6: principe du procédé d'emboutissage(MEHANI and TOUAT 2019)

### I.2.7 Pliage

Le pliage est une opération de déformation à froid qui consiste à déformer une tôle plane en changeant la direction de ses fibres de façon brusque suivant un angle.(JERBI 2017)

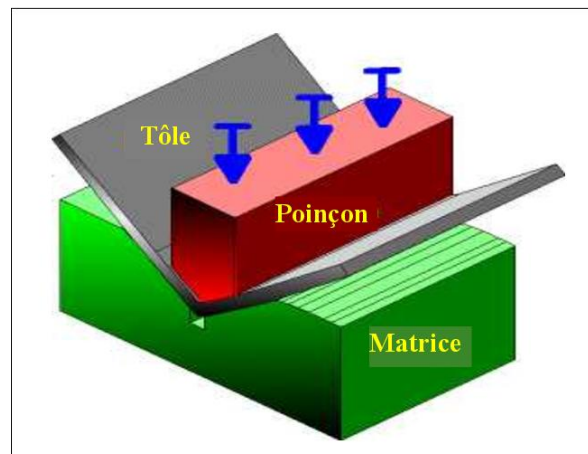


Figure I-7 : procédé pliage

### **I.3 Le profilage :**

#### **I.3.1 Historique sur le profilage :**

Les techniques pour former de larges feuilles de métal d'épaisseur uniforme n'ont pas été développées jusqu'au 1500s. Cependant, ce n'est qu'au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle que la production de masse par tôle est devenue une réalité avec l'avènement des procédés de formage d'aciers en feuille étamés pour l'industrie de la conserve. Par la suite, deux grands secteurs commerciaux ont donné le temps aux progrès du formage de feuilles, à savoir l'industrie automobile, qui a débuté vers le début du 20<sup>ème</sup> siècle, et l'industrie de l'électroménager après la Première Guerre Mondiale. Ces deux industries ont requis de grandes quantités de tôles d'acier à faible teneur en carbone. Ces besoins ont été satisfaits par le développement du laminage en tandem, une technologie pionnière dans l'industrie du papier et adoptée par la suite par l'American Rollin Mill Company (Armco) et d'autres dans l'industrie sidérurgique.(ASM International 1990)

Au cours de la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, la nécessité de réduire le poids des automobiles pour améliorer l'économie du carburant a stimulé le développement de différentes qualités d'aciers à haute résistance en plus des aciers à faible teneur en carbone et ultraléger avec une formabilité améliorée. Ces développements ont été facilités par une connaissance accrue de l'effet des pratiques d'alliage, de laminage et de recuit sur la ductilité, l'anisotropie plastique, et donc les performances d'emboutissage ainsi que sur les propriétés post formées.(ASM International 1990)

La transition du verre (principalement utilisé avant les années 1970) vers des conteneurs métalliques pour les boissons a également entraîné un boom dans les industries du laminage et du formage des tôles, d'abord pour l'acier puis pour l'aluminium

Plus récemment, des techniques de formage chaudes et superplastiques pour les alliages de feuilles d'aluminium et de magnésium ont été développées et mises en œuvre dans l'industrie automobile et dans d'autres industries.(ASM International 1990)

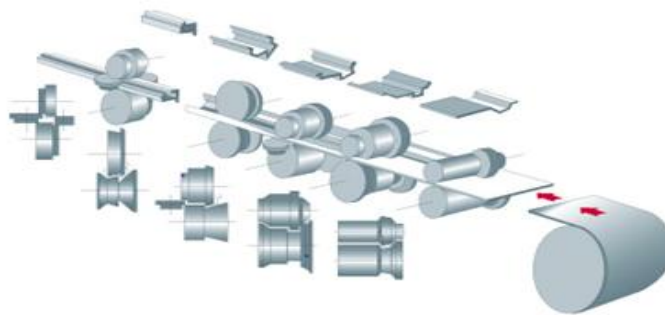
De plus, le formage classique et superplastique de titane, de nickel et d'alliages réfractaires est devenu monnaie courante dans les applications aérospatiales. Ces développements ont été facilités par des connaissances accrues sur la formabilité, l'effet du traitement préalable sur la microstructure et l'évolution de la texture dans les matériaux en feuille, et la réponse constitutive des métaux pendant le formage. Le développement de puissants codes d'éléments finis conviviaux pour la simulation et la conception de processus, l'avènement des applications de

prototypage rapide, l'adoption de la technologie des liants flexibles et l'utilisation de contrôles adaptatifs font partie des progrès les plus récents dans le domaine de formage de feuilles.(ASM International 1990) .

### I.3.2 Définition de profilage :

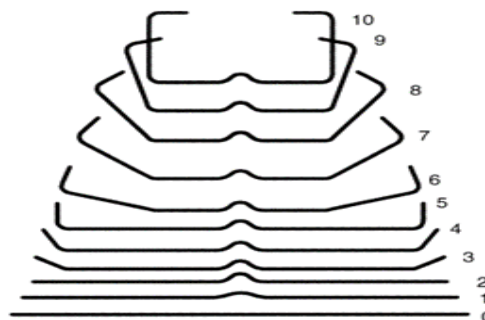
C'est un procédé qui utilise un ensemble de rouleaux placés avec précision pour effectuer un pliage incrémentiel sur une bande de métal alimentée en continu.

Les rouleaux sont montés en jeux sur un support consécutif, chaque rouleau effectue une petite étape du processus.(Halmos 2005)



**Figure I-8** : schéma du principe de profilage(Altan and Tekkaya 2012)

Les rouleaux sont soigneusement fabriqués à l'aide d'un motif en forme de fleur, qui identifie les changements séquentiels de la bande de métal. La forme de chaque rouleau est créée à partir des sections individuelles du motif de la fleur.(Ağacı n.d.)



**Figure I-9** : exemple simple d'une fleur du profilage(Halmos 2005)

La ligne de profilage, se compose principalement de :

dévidoir à l'entrée, outils de poinçonnage, un guide d'entrée de la profileuse qui peut-être soit à cassettes (permet un changement rapide de l'outillage), à barillets, duplex, ou à réglage des arbres inférieurs et supérieurs.(Halmos 2005)

### ***1.3.3 Les profilées***

#### ***a) Définition***

Les profilées Sont des produits pliés en continu, ils ont une section constante sur toute la longueur.

Il existe trois familles du profilés, la première est celle des profilés larges qui servent notamment en couverture et en bardage, la deuxième est celle des tubes qui sont donc des produits à section fermée et enfin la troisième est celle des profilés étroits, ces dernières sont des profilés du structure, des chemins de câbles ou des glissières de sécurité, ils peuvent être à section ouverte ou fermée.(SOLTANI n.d.)

#### ***b) Types de profilés***

En général, les profilés sont classés en différents types selon leur apparence, leur portance, leur méthode de production, leur procédé de fabrication et leur matériau.

Selon l'aspect des profilés, les profilés sont divisés en deux catégories :

Les profilés creux ouverts et fermés, chacun ayant des sections transversales variées et des caractéristiques particulières. (SOLTANI n.d.)



***Figure I-10 : profilé d'usage(Altan and Tekkaya 2012)***

c) Types de profilés métalliques par matériau :

• **PROFILES EN ACIER :**

Les profilés en acier occupent une place particulière et importante dans le secteur de la construction depuis toujours et aujourd'hui, malgré l'offre de matériaux plus récents sur le marché, ils restent l'un des principaux matériaux de construction. Cependant, certaines de leurs applications, telles que les portes et les fenêtres, les tables et les chaises, etc. En raison du développement de nouveaux matériaux, leur utilisation est plus limitée que jamais.(SOLTANI n.d.)

• **PROFILES GALVANISES :**

Galvaniser un profilé signifie ajouter une couche de zinc métallique sur la surface du profilé, ce qui empêche la rouille à l'air humide. Ce type de profilé est utilisé à l'extérieur et dans les zones à forte humidité ainsi que dans les espaces ouverts tels que les parkings qui sont à la vue du public, en raison de son bel aspect et de sa grande résistance à la corrosion et de la possibilité d'utiliser des capuchons en plastique pour les sections du profilé.(SOLTANI n.d.)

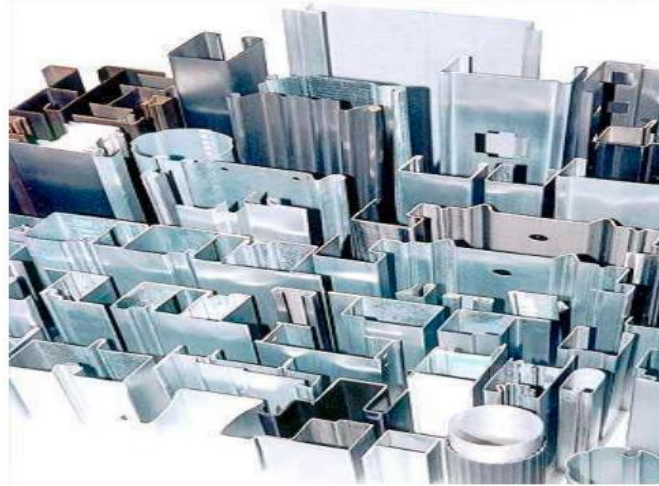
• **EN ACIER INOXYDABLE :**

Ces types de profilés sont fabriqués en acier inoxydable et présentent une grande résistance à la corrosion. Ils ont également un plus bel aspect que les autres profilés, c'est pourquoi, outre l'environnement humide, ils sont également utilisés dans la fabrication de dispositifs décoratifs(SOLTANI n.d.).

Les profilés en acier inoxydable ont différentes qualités telles que les profilés en acier 304, 316, 309, 321, 420, etc. Les plus utilisés d'entre eux sont les grades 304 et 316.

• **PROFILES EN ALUMINIUM :**

La ductilité, la résistance à la corrosion, la beauté et la légèreté, tout en ayant une résistance, sont des caractéristiques qui font des profilés en aluminium l'un des plus utilisés dans le secteur de la construction et dans d'autres industries. De plus, l'utilisation de ce type de profilé pour les portes et fenêtres permet d'éviter les pertes d'énergie.(SOLTANI n.d.)



**Figure I-11** différents types de profilés(MEHANI and TOUAT 2019)

d) Fabrication des profilés

La fabrication des profilés est réalisée sur des machines à plier à froid, appelée profileuse ou ligne de profilage à froid.

Les formes des profilés peuvent être soit des formes simples ou très complexes, plus la forme est complexe il faudra un nombre important d'opération de formage pour obtenir la forme définitive du produit.(SOLTANI n.d.)

**I.3.4 La profileuse :**

Le profilage à froid sur machine à galets appelées profileuse est un cas particulier de pliage progressif ou un feuillard est plié lors de sa progression entre des galets. Les profileuses peuvent posséder plus d'une dizaine de cages. Les produits profilés sont réalisés à partir de tôles planes en feuille ou en bobine, de largeur constante sans limitation dans leurs caractéristiques mécaniques.(RAJAOHSONA 2011)

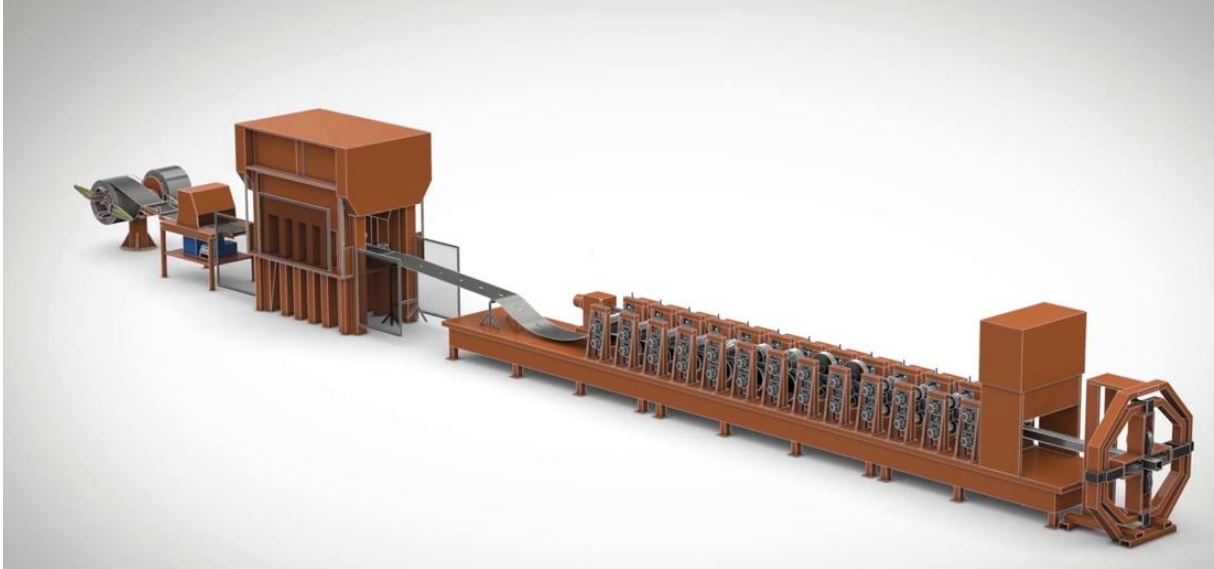
La profileuse fait passer le matériau à travers une série de matrices accouplées pour obtenir une forme uniforme.

À chaque étape de l'opération, la pièce est pliée petit à petit jusqu'à ce qu'elle atteigne la forme souhaitée.(RAJAOHSONA 2011)

La machine se compose d'un :

- Dérouleur simple ou bien automatisé.
- D'une table d'entrée pour le feuillard.
- Des têtes de profilage (axe supérieur, axe inférieur, support des galets).

- Du dévrièreur.
- Boite de sortie table de récupération du profil.
- L'armoire électrique.



*Figure I-12 : profileuse à froid (Altan and Tekkaya 2012)*

Les profileuses ont généralement un certain nombre d'unités de profilage individuelles à double broche montées sur une plaque de base, sur lesquelles les rouleaux sont montés et alignés. Des entretoises sont utilisées pour fixer les rouleaux en position inexacte sur les broches. (RAJAOHSONA 2011)

Le réglage vertical de la position de l'arbre supérieur permet de l'adapter à des rouleaux spécifiques et à l'épaisseur du matériau. Il existe de nombreux styles de support de broche pour les profileuses, le plus populaire étant le support de broche de type extérieur. Les machines hors-bord ont des boîtiers qui supportent les deux extrémités des arbres de broche. Le logement extérieur est généralement réglable le long des broches, réduisant la distance entre les supports pour s'adapter aux petites formes de calibre épais. La manière dont les unités de profilage sont montées sur une plaque de base commune détermine largement les types de formes formées sur une machine particulière. Les types les plus courants de profileuses à galets sont les suivants :

- Les machines à usage unique, qui sont conçues pour un profilé de section ou un jeu d'outils particulier et ne sont pas normalement conçues pour un changement de rouleau aisé.
- Les machines standard/conventionnelles, dont les supports extérieurs sont facilement démontables, ce qui permet de changer d'outil pour produire différents profils.

- Les machines côte à côte, qui permettent de produire plusieurs profils en ayant plus d'un jeu d'outils monté sur l'arbre de la broche en même temps.
- Les machines à double tête, qui possèdent deux ensembles séparés de boîtiers et d'arbres de rouleaux qui se font face. Les logements sont montés sur un mécanisme de plaque réglable de sorte qu'ils peuvent être déplacés pour modifier la largeur totale tout en conservant le même profil pour la formation des bords.
- Les machines rafles ont des boîtiers et des arbres de broche avec un jeu particulier d'outils à rouleaux montés dessus. Cependant, plusieurs unités de formage sont sur des radeaux ou des sous-plateaux qui peuvent être retirés de la base de la profileuse. Lors du changement d'outil, ces plateaux individuels sont retirés et des plateaux de remplacement sont installés avec un outillage qui a été configuré hors ligne.(Halmos 2005)
- Les machines à entraînement universel comportent une série de boîtes d'engrenages à vis sans fin avec des sorties qui transfèrent la source d'énergie aux arbres de galets individuels par le biais d'un accouplement universel à double articulation.

Ils existent Plusieurs types de profileuses, Les machines à profiler se caractérisent par leur dimension, leur hauteur de travail, leur alimentation, et leur avancement.

Parmi les profileuses existantes : les profileuses de gouttière, les profileuses à cardans, les profileuses à couventine, les profileuses à pince. Et notamment il y a divers marques de profileuses tels que : CBM Machines, CHERNGJI, COMESOR, DALLAN, DIMECO, DIMOS, PROFICAL, DREISTERN, EURO PROFIL FRANCE, GASPARINI, FICEP, JIDET, JOUANEL.(JERBI 2017)

### ***1.3.5 Galets de profilage :***

Les galets de profilage, élément qui se monte sur une ligne de profilage à froid, peuvent être soit en acier Z CDV 12, Z 200 C 12, Ampco Métal ou en acier prétraité...

Ils sont soit monobloc, ou assemblés par vis, les galets peuvent être en plusieurs parties, d'ailleurs de plus en plus du les moyens de production moderne CNC, ils sont coupés, afin de faciliter l'usinage sur la machine-outil...

Les galets peuvent être de petite taille, quelques kilos, à de très gros galets une centaine de kilos.(MEHANI and TOUAT 2019)

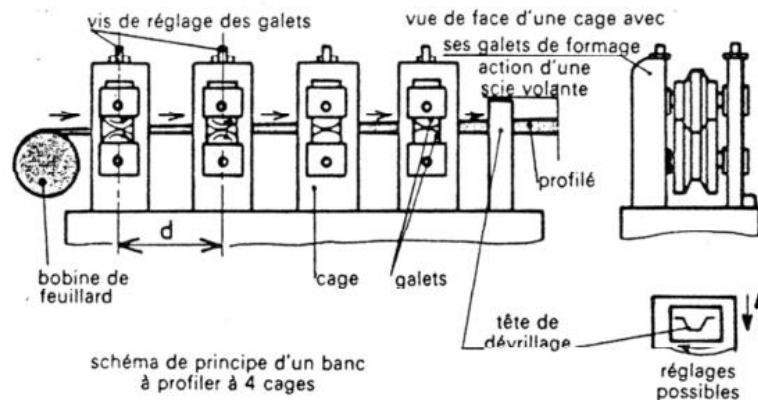
Les galets sont montés sur des têtes de profilage, (arbres inférieurs + arbres supérieurs). Le passage de la tôle dans la tête de profilage donnera un profilé, après passage dans les diverses têtes de la ligne de profilage à froid.



*Figure I-13 : galets de profilage*

### ***1.3.6 Le principe du profilage***

Le principe de profilage c'est de faire passer entre les galets (inférieurs et supérieurs) une tôle et à partir d'une force de formage nécessaire qu'on applique sur cette dernière on essaye de faire former la tôle pour obtenir la forme voulue. Le nombre de passes dépend de la complexité de la forme et de la précision voulue.(RAJAOHSONA 2011)



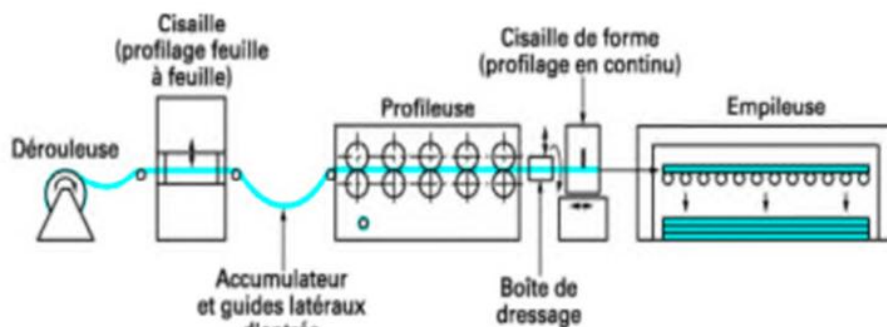
*Figure I-14 : schéma de principe d'une profileuse(JERBI 2017)*

Le profilage d'un produit sur une machine définie est essentiellement caractérisé par :

- La fleur de profilage.
- Le nombre de passes ou de têtes utilisées.
- La distance du plan de profilage.
- La position verticale de la tôle dans la profileuse.
- Le jeu entre les galets.
- La lubrification.

a) Les éléments d'une ligne de profilage

Une ligne de profilage est constituée par un ensemble d'appareils permettant l'alimentation de la machine, le déroulage des bobines, le planage, le raboutage, le guidage, et principalement, le profilage puis le dressage, le débitage, l'empilage des produits. (Makhloufi and Hamri 2018)



*Figure I-15 : Organisation d'une ligne de profilage*

e) Nombre des dispositions des stations :

Les machines à profiler comportent un nombre plus ou moins important de stations. Les plus simples en comportent 4, les plus compliquées en comportent 30 ou d'avantage. La distance qui sépare deux stations consécutives est différente suivant la puissance de la machine pour des raisons de conception, mais cette distance est aussi fonction de la hauteur maximale du profilé que la machine produira. Plus cette hauteur est importante plus la distance entre deux stations est grande. Il n'y a pas de règle absolue dans ce domaine. Il est rare que cette distance soit ajustable. (Makhloufi and Hamri 2018)

f) Réglage des arbres en hauteur

L'arbre supérieur est presque toujours réglable en hauteur, l'arbre inférieur est souvent fixe. Il existe toutefois toutes les autres possibilités : les deux arbres fixes, les deux réglables, l'inférieur réglable. Il est bien entendu que la possibilité de régler les arbres en hauteur suppose un système de transmission du mouvement du moteur d'entraînement suffisamment souple, par exemple l'usage des engrenages.

g) Vitesse d'entraînement

Les machines simples sont prévues avec des vitesses de rotation d'arbre identiques, alors que les machines plus évoluées ont en général des vitesses de rotation différentes pour les arbres supérieurs et inférieurs. Il existe enfin des machines pour lesquelles chaque arbre est équipé d'un moteur à courant continu. Certaines machines ont une seule vitesse de travail, d'autres sont totalement réglables en vitesse. L'augmentation de la vitesse de travail (jusqu'à 120 m/min) ne présente pas d'intérêt majeur (Makhloufi and Hamri 2018)

***1.3.7 Règles de conception des outillages de profilage :***

a) Nombre de passes et écartement entre tête :

Pour déterminer ce nombre de passes, on procède à la conception de la « **fleur de profilage** » Cela consiste à dessiner le produit dans sa section terminale, puis à dessiner successivement les passes précédentes de façon à ramener progressivement la forme du profil à la section linéaire de la bande d'origine.

Lorsque le concepteur opère des choix parmi les nombreuses possibilités qui s'offrent à lui, il se doit de respecter un certain nombre de règles s'il veut obtenir une qualité finale du produit satisfaisante. Ces règles ont parfois pour conséquence d'accroître le nombre de têtes et la longueur de la profileuse.(MEHANI and TOUAT 2019)

Pour limiter les phénomènes parasites, il faut choisir une progression de l'angle de pliage d'une tête à l'autre suffisamment faible. Une autre solution consiste à accroître la distance entre les têtes. Cependant, du fait que le travail du métal a tendance à se concentrer au voisinage des galets plutôt qu'à se faire progressivement entre les têtes

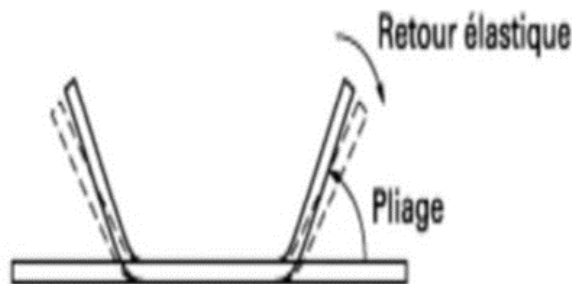
Le nombre de passes peut varier de façon importante selon que l'on forme les plis séquentiellement ou simultanément. Dans la mesure du possible on prévoit, tout d'abord, une déformation de la partie centrale de la bande, puis des déformations relatives aux parties latérales de celle-ci.

*h) Rayon de pliage rapporté à l'épaisseur :*

Le rayon de pliage est imposé par la fonctionnalité du profilé. Cependant il y a lieu de prendre en considération les difficultés rencontrées lors du profilage. Celles-ci sont plus directement liées au rapport rayon sur épaisseur qui doit être maintenu dans une certaine fourchette.

Lorsque ce rapport devient trop grand, on se heurte au phénomène du retour élastique qui induit principalement des difficultés dans la maîtrise des angles. Ce phénomène est amplifié lorsqu'on utilise des aciers à faible limite d'élasticité.

Lorsque le rapport rayon sur épaisseur devient petit, le travail par allongement de l'acier et de ses revêtements de protection devient très sévère. Si cet allongement dépasse le seuil admissible par les matériaux, il se produit des casses ou des fissurations. Les fissurations des revêtements de protection conduisent généralement à l'accélération de la corrosion dans ces zones. Pour les matériaux durs comme l'acier inox, il est recommandé d'avoir un rapport  $R_i/e = 1$ , nous considérons le cas le plus défavorable  $R_i=e=1\text{mm}$ . (Makhloufi and Hamri 2018)



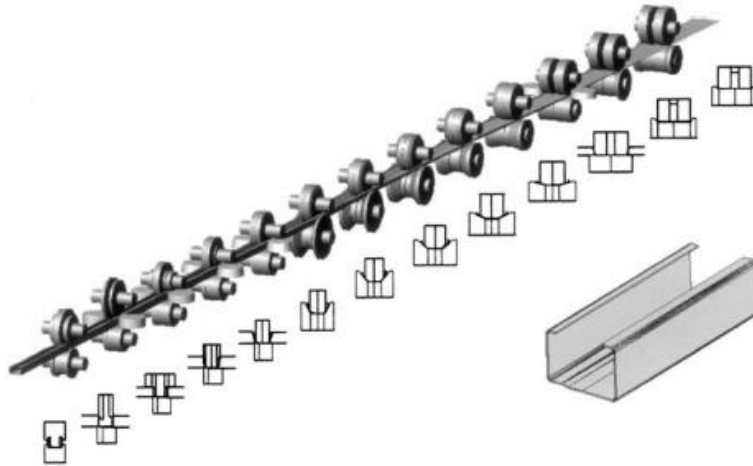
**Figure I-16 :** Retour élastique après pliage (Decultot, n.d.)

*i) Alignement des galets :*

Il est important que les points de pliage coïncident parfaitement d'une passe à l'autre. Dans le cas contraire, les zones déjà pliées sont redressées, tandis que le rayon n'est plus régulier le long du pli. Il s'ensuit une modification du retour élastique et de l'angle résultant en sortie de profileuse. (MEHANI and TOUAT 2019)

Lorsque la conception des galets ne permet pas d'ajuster aisément leur position latérale, il est alors nécessaire de tenir compte dans l'établissement des plans du léger allongement

transversal, dit de membrane (ou encore de la fibre moyenne), qui se produit dans les plis et qui décale ceux-ci latéralement. Ainsi, la largeur finale du profilé développé est un peu plus importante que la largeur de la bobine de départ. Cet allongement doit, en général, être estimé par l'expérience.



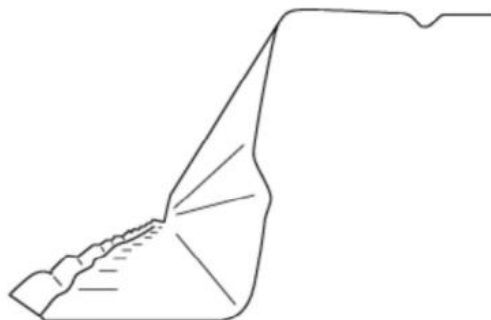
**Figure I-17 :** Alignement des galets (Halmos 2005)

j) Hauteur de retombée de bord :

La hauteur de retombée de bord correspond à la distance entre le bord et le premier pli. La règle est que cette distance ne soit ni trop importante ni trop réduite.

Si la hauteur de retombée de bord est trop importante, on obtient des ondulations de cette rive par le phénomène de flambage.(MEHANI and TOUAT 2019)

Si l'on diminue trop la retombée de rive, on ne disposera pas d'assez de prise pour la former. Le minimum généralement admis est de six fois l'épaisseur



**Figure I-18 :** Ondulation d'une rive due au flambage locale

### ***1.3.8 Les capacités du profilage :***

Le profilage est un processus très souple. Ceci se retrouve dans ses capacités de production dans les formes réalisable.

- ❖ ***Des épaisseurs*** : elles peuvent varier entre 0.15mm et 12mm
- ❖ ***Des largeurs*** : il n'y a pas de valeur minimale.
- ❖ ***Des longueurs*** : il n'existe pas de maximum pour la longueur des profilés.

(RAJAOHSONA 2010)

### ***1.3.9 Les avantages de profilage :***

Le profilage est un procédé rentable pour façonner des bobines de métal en profils personnalisés. Il est utilisé par plusieurs industries pour produire des composants pour les automobiles et les appareils ménagers, les avions et les industries de la construction.(SOLTANI n.d.)

#### ***➤ Efficacité***

La vitesse du profilage est due aux longues bobines de métal qu'il utilise et qui sont rapidement introduites dans la machine de profilage. Comme la machine s'alimente automatiquement, il n'y a pas besoin de surveillance humaine, ce qui réduit le coût de la main-d'œuvre. Le poinçonnage et l'encochage pendant le pré chargement évitent les opérations secondaires.

#### ***➤ Flexibilité***

Il est facile de produire des sections transversales complexes et compliquées à partir de métaux ferreux et non ferreux. Dans certains procédés, il n'est pas possible de façonner un métal qui a été peint, plaqué ou revêtu. Le profilage peut facilement les façonner, quel que soit le type de finition.

#### ***➤ Les Qualité***

Les Produits sont plus uniformes et cohérents sur une série complète. Les tolérances sont très étroites et les dimensions extrêmement précises. Les contours sont nets et propres et ne présentent pas de marques de découpe ou de déformations.

#### ***➤ Longueur des pièces***

Comme le métal est introduit dans la machine, il est possible de produire n'importe quelle longueur en utilisant le même outillage pour n'importe quelle pièce.

### ➤ *Moins de déchets*

Le profilage produit un à trois pour cent de déchets pour chaque cycle de production, ce qui est bien moins que tout autre procédé de travail du métal. La faible quantité de déchets réduit le coût du travail des métaux coûteux.

### ➤ *Répétabilité*

L'un des problèmes majeurs du pliage du métal est la contrainte résiduelle, qui affecte négativement la Répétabilité. Le traitement rapide du profilage permet aux métaux de conserver leur contrainte résiduelle ainsi que toute perte de contrôle du cordon de soudure.

### ***1.3.10 Inconvénients du profilage :***

- Encombrement important de la profileuse.
- Economique seulement avec une production importante (coûts de l'outillage + machine importants).
- Le profilé aura toujours une forme constante sur toute sa longueur.(JERBI 2017)

## **I.4 Conclusion :**

Ce premier chapitre nous a permis d'appréhender les différents procédés de mise en forme de tôle à froid puis des connaissances nécessaires sur le profilage et le principe de fonctionnement de ce dernier. Dans le chapitre suivant, nous passerons à l'étude et la conception des galets de la profileuse. On citera les équations utilisées pour le dimensionnement des différents composants.

## **II. Etude et conception des galets**

## II.1 Introduction :

Ce chapitre présente l'étude et la conception d'une profileuse. Nous commençons par la présentation d'un cahier de charges de cette dernière, puis nous parlerons du choix des matériaux, la fleur de la déplié et le dimensionnement des galets et des arbres qui représentent les parties actives de la profileuse. Au final, nous terminerons par la conception 3D des galets.

## II.2 Cahier de Charges de galets de la profileuse :

La profileuse est composée de plusieurs galets qui sont conçues de telle sorte à ce que la mise en forme de la tôle se fasse progressivement. Plusieurs problèmes peuvent donc en découler pour sa conception à savoir la transmission du mouvement à tous les galets, les formes des galets ainsi que la découpe de la tôle pour avoir la longueur souhaitée.

- Une profileuse à **24 galets**, de diamètre intérieur  $D_{int} = 50mm$
- Longueur de ligne de profilage  $L = 3050mm$  pour profiler une tôle (d'épaisseur  $e = 1mm$ , de Longueur  $L = 6000mm$ , de largeur  $l = 219mm$ )
- Type de profilé= profilé en C

## II.3 Choix des matériaux :

Pour chaque composant de la profileuse, on y a associé un matériau convenable suivant différentes caractéristiques :

La condition à prendre en compte pour le choix des matériaux est :

La limite élastique des deux matériaux Z200C12(X210Cr12) et (42CD4) 42CrMo4 doit être supérieur à la limite élastique du matériau de la tôle utilisé S235 pour ne pas déformer les galets.

$$Re_{Z200C12} > Re_{S235} \quad \text{avec} \quad 850N/mm^2 > 235N/mm^2$$

$$Re_{42CD4} > Re_{S235} \quad \text{avec} \quad 750 N/mm^2 > 235N/mm^2$$

### II.3.1 Les arbres :

Est le nom que porte le cylindre d'acier positionné horizontalement, sur lequel sont montés les différents galets, on a pris l'acier 42CD4 (AFNOR) (EN42CrMo4).

a) Composition chimique :

**Tableau 1 :** Composition chimique d'un acier (42CD4) 42CrMo4(MEHANI and TOUAT 2019)

C	Cr	Mo	S	Mn	P	Si
0.38-0.45	0.90-1.20	0.15-0.30	≤ 0.035	0.60-0.90	≤ 0.035	0.40 Maxi

**Tableau 2 :** Caractéristiques du matériau (42CD4) 42CrMo4.(MEHANI and TOUAT 2019)

Propriétés	Valeur	Unité
Module d'élasticité	210000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficient de poisson	0,3	
Module de cisaillement	79000	N/mm <sup>2</sup>
Masse volumique	7800	Kg/ m <sup>3</sup>
Limite de la traction	1000	N/mm <sup>2</sup>
Limite d'élasticité	750	N/mm <sup>2</sup>
Conductivité thermique	14	W/(m.k)
Chaleur spécifique	440	J/(Kg.k)

b) Propriétés :

42CrMo4 Est un acier de construction faiblement allié au chrome- molybdène pour trempe et revenu.

Il présente une bonne trempabilité à l'huile, bonne résistance aux surcharges à l'état traité.

C'est un acier à usinabilité améliorée.(MEHANI and TOUAT 2019) . En plus de ses caractéristiques mécaniques performantes, cet acier a été choisi aussi pour sa disponibilité en vente et chez les ateliers de fabrication.

**II.3.2 Les galets : on a pris comme matériau l'acier Z200C12(X210Cr12)**

a) Composition chimique :

**Tableau 3 : Composition chimique d'un acier Z 200 C 12(MEHANI and TOUAT 2019)**

Carbone	Chrome	Tungstène	Manganèse
2.10%	12%	0.70%	0.3%

**Tableau 4 : Caractéristiques du matériau Z200C12(X210Cr12).(MEHANI and TOUAT 2019)**

Propriétés	Valeur	Unité
Module d'élasticité	210000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficient de poisson	0,3	
Module de cisaillement	76923,08	N/mm <sup>2</sup>
Masse volumique	7800	Kg/ m <sup>3</sup>
Limite de la traction	1000	N/mm <sup>2</sup>
Limite d'élasticité	850	N/mm <sup>2</sup>
Conductivité thermique	0, 46	W/ (m.k)

b) Propriétés :

Acier au chrome pour trempe à l'huile ou à l'air, de grande stabilité dimensionnelle avec résistance élevée à l'usure et bonne tenue de coupe.

Bonne résistance à l'abrasion. . En plus de ses caractéristiques mécaniques performantes, cet acier a été choisi aussi pour sa disponibilité en vente et chez les ateliers de fabrication.

c) Traitement thermique de l'acier Z200

Les traitements thermiques sont constitués par un certain nombre d'opérations combinées de chauffage et de refroidissement ayant pour le but :

-Améliorer les caractéristiques des matériaux et rendre ceux –ci plus favorables à un emploi donné, à partir des modifications suivantes :

- Augmentation de la résistance à la rupture et de la limite élastique  $R_{em}$ ,  $R_e$ .
- Augmentation de la dureté permettant à des pièces de mieux résister à l'usure ou aux chocs.

La première étape de traitement thermique de l'acier Z200 est la trempe de la pièce qui consiste à chauffer la pièce à une température (930-980°C) et l'y maintenir pendant une certaine période.

En sachant que(LUGAN Aciers 2005) :

- Pour une épaisseur <20mm, T= 20min

- Pour une épaisseur >20mm, nous rajoutons 1min/mm supplémentaire  
L'équation si dessous nous montre comment calculer le temps de maintien.

$$T = 20 + (1 \cdot e) \tag{1}$$

Avec

- $e$  : épaisseur de la matière
- $T$  : temps de maintien

Après la trempe, nous nous attendons à avoir une amélioration des caractéristiques mécaniques des galets, une augmentation de la dureté vers 63 -65 HRC sera la preuve de cette amélioration.

$$e = \frac{(D_{ext} - D_{int})}{2} \tag{2}$$

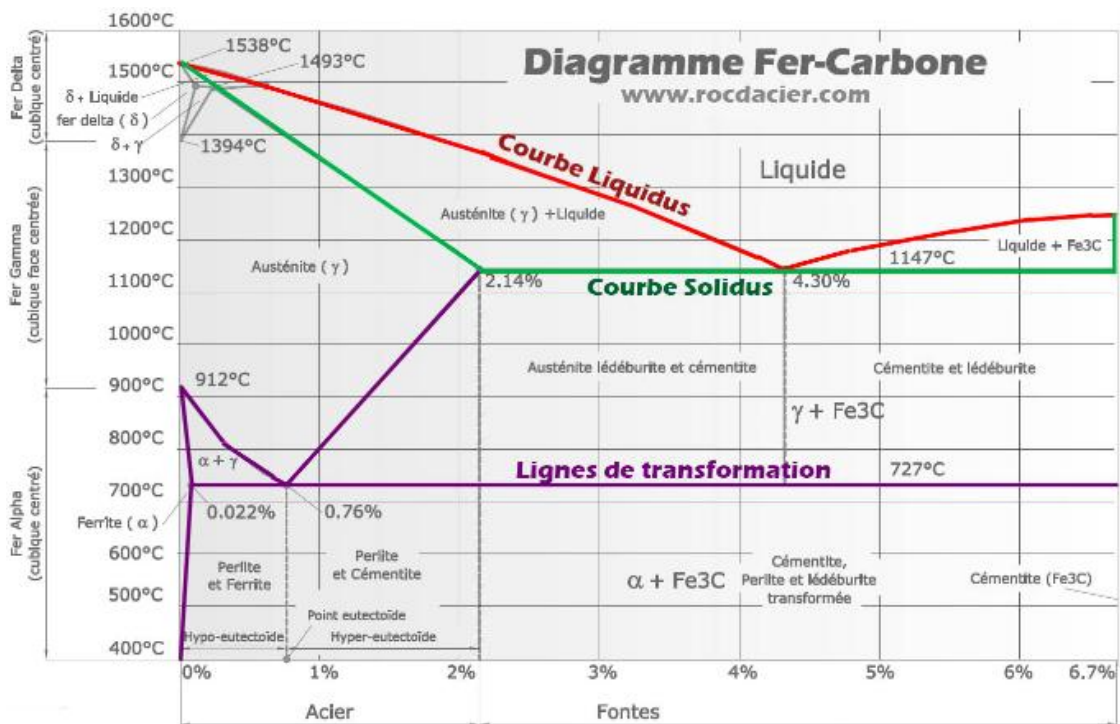


Figure 0-1 : diagramme fer carbone

### II.3.3 La tôle :

Qui va être soumise au profilage, on a pris comme matériau l'acier non allié à usage général S235.

a) Composition chimique :

**Tableau 5 :** Composition chimique d'un acier S235(Brandegger 2004)

Carbone	Manganèse	Phosphore	Souffre	Azote
0.22%	1.60%	0.05%	0.05%	0.05%

**Tableau 6 :** Caractéristiques du matériau S 235

Propriétés	Valeur	Unité
Module d'élasticité	205000	MPa
Coefficient de Poisson	0.3	
Masse volumique	7800	kg/m <sup>3</sup>
Résistance à la rupture	340	MPa
Résistance à la traction	340	MPa
Limite élastique à la traction	235	MPa

b) Propriétés :

Le S235 est un acier de construction normalisé à faible teneur en carbone qui présente une bonne soudabilité, une bonne résistance aux chocs.

## II.4 Calcule les paramètres de la conception :

### II.4.1 Calcule du diamètre de l'arbre :

On peut retrouver dans la littérature plusieurs tentatives dans le but de créer une loi empirique afin de dimensionner les composants standards des profileuses, l'une des plus pertinentes est l'équation proposée par George T. Halmos pour calculer les diamètres d'arbres appropriés.(Halmos 2005)

$$DIA = 1,46[0,173 * \sqrt[3]{L} + 0,47 + 0,7 + a * b * c * d * e * f * g * h * n\sqrt{t} * \sqrt{\frac{y}{50}}]^4 \quad (1)$$

$$DIA=50mm \approx 2''$$

Après avoir calculé le diamètre de l'arbre nous avons projeté cette valeur sur le diagramme de la **Figure II-3**, représentant le diamètre de l'arbre en fonction de l'épaisseur de la tôle et de l'espacement entre stations. Ce dernier a été obtenu en projetant la valeur du diamètre de l'arbre sur l'épaisseur de la tôle (e=1mm) puis nous projetant encore cette valeur sur l'axe (X) pour obtenir l'espacement entre les galets.

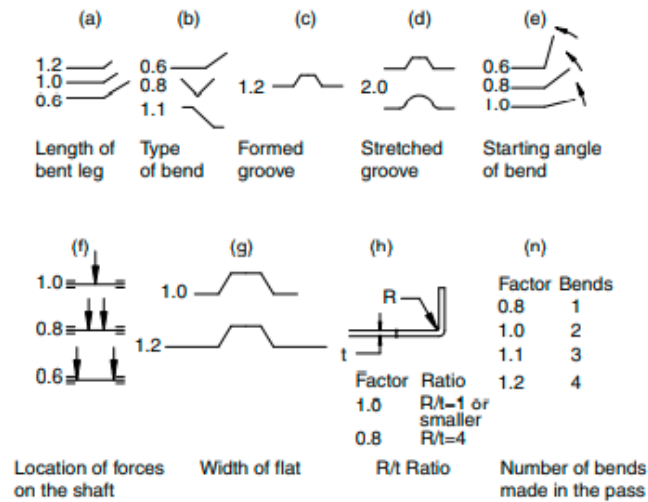


Figure 0-2 : paramètres de l'équation (1)(Halmos 2005)

**Avec :**

**L**= longueur de l'arbre

**t**= épaisseur du matériau

**Y**=limite d'élasticité

**a**=longueur de pliage

**b**=type de pliage

**c**=rainure formée

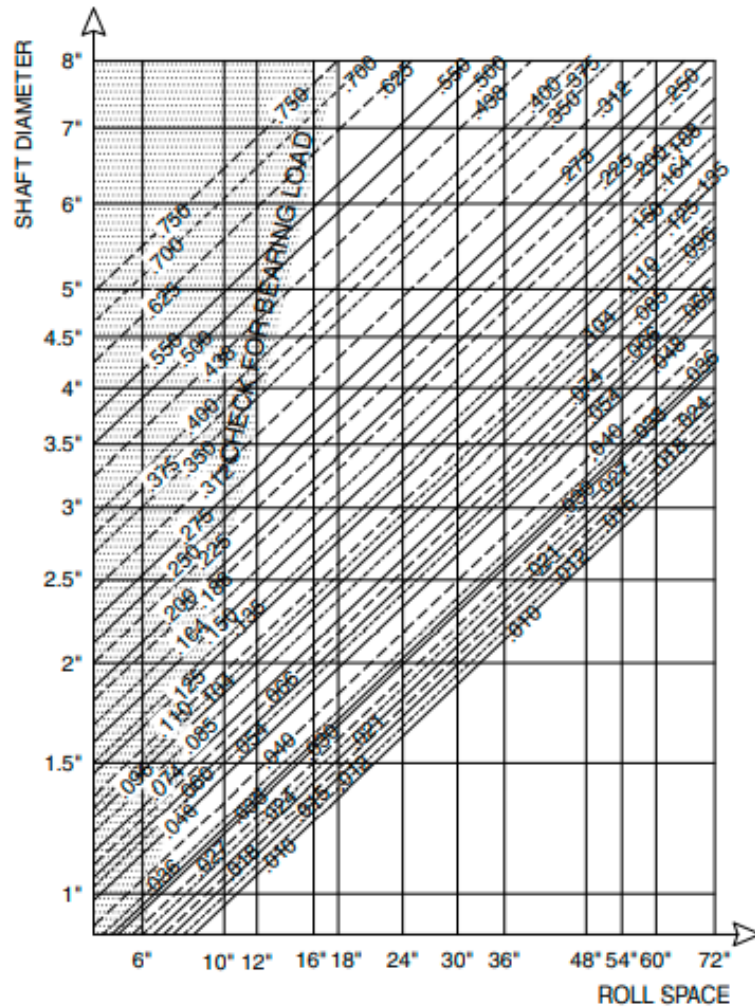
**d**=rainure étirée

**e**=angle de départ du pliage

**f**=localisation des forces sur l'arbre

**g**=largeur

**n**=nombre de coude



d : diamètre de l'arbre

$S_t$  : Épaisseur de la paroi de l'entretoise(Halmos 2005)

#### II.4.4 *Calcul des Tailles des clavettes :*

$$W = 0.34d^{0.65} + 0.000506(D_{max}^{1.43})4.8t^{0.51} \quad (4)$$

W : largeur de la clé

d : diamètre de l'arbre

$D_{MAX}$  : le plus grand diamètre du rouleau

t : épaisseur du métal(Halmos 2005)

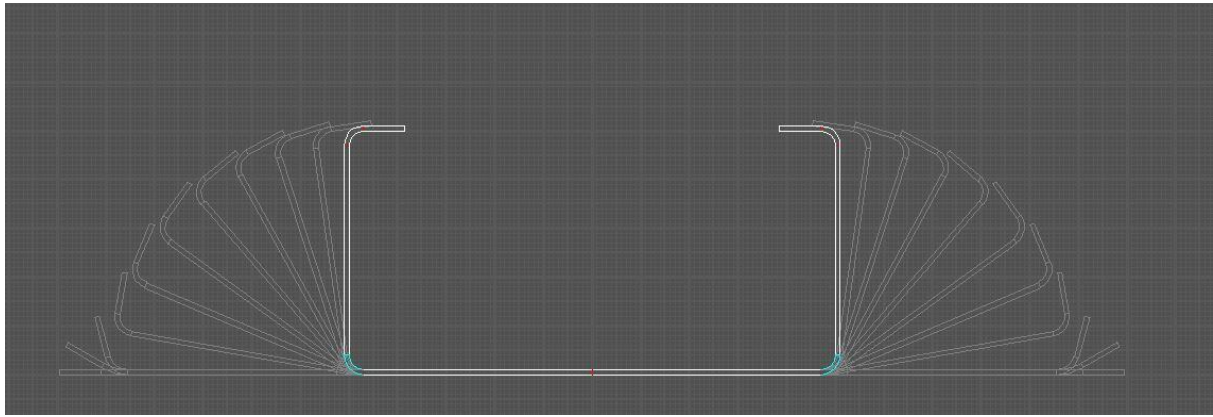
#### II.4.5 *Calcul du nombre de passe:*

$$n = \left[ 0.237h^{0.8} + \frac{0.834}{t^{0.87}} + \frac{\alpha}{90} \right] \left[ \frac{Y^{2.1}}{0.003U} \right]^{0.15} s(1 + 0.5z) + e + f + 5zs \quad (5)$$

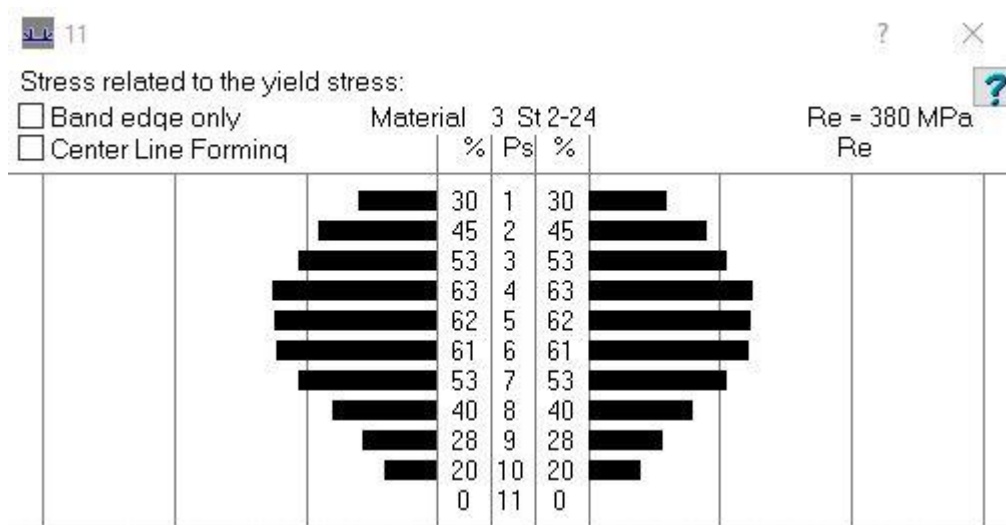
### II.5 Conception des galets :

Les galets de profilage sont l'un des éléments principaux qui compose une ligne de profilage. Ils représentent la partie active de la machine et sont responsables du pliage et de la mise en forme de la tôle.

La conception des galets du profilage a été réalisée dans un premier temps, avec le logiciel UBECO, qui est un logiciel spécifiquement conçu pour la conception des galets de profilage en prenant compte du matériau de la tôle, de son épaisseur, les dimensions et la forme de notre profilé.




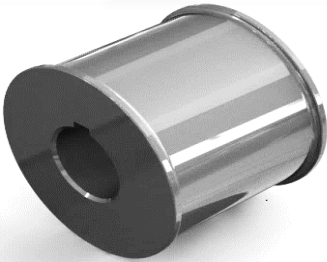

*Figure 0-4 :déplié de la fleur*

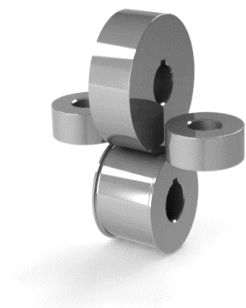


*Figure 0-5 :analyse contrainte dépliée*

Puis nous somme passer ensuite sur le logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) SolidWorks .nous avons exporté les dessins 2D des galets vers ce dernier, afin de concevoir les pièces en 3D et procéder à l'assemblage des stations et la mise en plan de tous les composants, ce dernier est destiné à l'esquisse des idées rapidement et avec précision. Le logiciel offre des outils de modélisation volumique pour la conception assistée par ordinateur mais aussi des fonctionnalités spécialement développées pour l'ingénierie **assisté par ordinateur (IAO)**.

**II.6 Rendu des galets**

<b>STATION01</b>	Galet Supérieur	
	Galet Inférieur	
	Galet Gauche- Droite	



*Figure 0-6 : Assemblage Station N°01*

<b>STATION 02</b>	Galet Supérieur	
	Galet inférieur	



*Figure 0-7 : Assemblage station N°2*

<b>STATION 03</b>	Galet Supérieur	
	Galet inférieur	

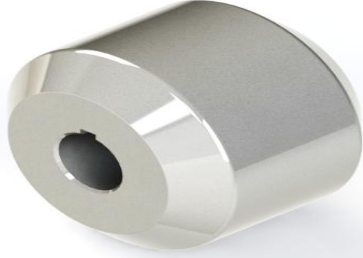



*Figure 0-8 : Assemblage Station N°03*

<b>STATION 04</b>	Galet Supérieur	
	Galet inférieur	

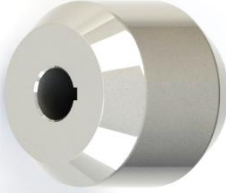


*Figure 0-9 : Assemblage Station N°04*

<b>STATION 05</b>	Galet Supérieur	
	Galet inférieur	

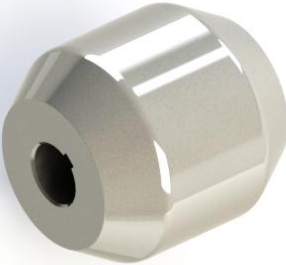



*Figure 0-10 : Assemblage Station N°05*

<b>STATION 06</b>	Galet Supérieur	
	Galet inférieur	

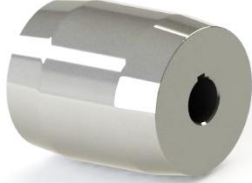
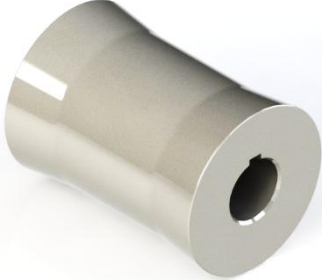


*Figure 0-11 : Assemblage Station N°06*

<b>STATION 07</b>	Galet Supérieur	
	Galet inférieur	



**Figure 0-12 : Assemblage Station N°07**

<b>STATION 08</b>	Galet Supérieur	
	Galet inférieur	


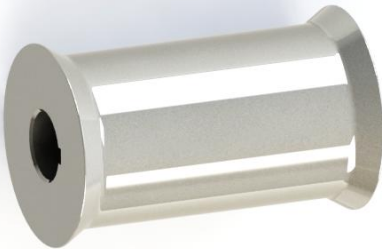


*Figure 0-13 : Assemblage Station N°08*

<b>STATION 09</b>	Galet Supérieur	
	Galet inférieur	



*Figure 0-14 : Assemblage Station N°09*

<b>STATION 10</b>	Galet Supérieur	
	Galet inférieur	



*Figure 0-15 : Assemblage Station N°10*

## **II.7 Conclusion :**

Dans ce deuxième chapitre nous avons présenté le choix des matériaux ainsi que les dimensions de certains composants de la profileuse et des règles de conception des outillages de profilage, puis nous avons terminé par la conception des galets et leurs rendus.

### **III. Simulation numérique et discussion des résultats**

### **III.1 Introduction :**

Dans ce chapitre nous parlerons de la mise en forme des tôles à froid ainsi que des différents modes de déformation, puis nous montrerons les principaux critères de plasticités (Isotrope et Anisotrope). Par la suite nous entamerons la partie simulation en définissant les étapes suivies lors de la préparation du modèle jusqu'au lancement du calcul. Cette partie aura pour rôle dans un premier temps, de vérifier la conformité de la forme du profil obtenu et l'optimisation des jeux et dépouilles dans un second temps. Puis nous mettrons en évidence les résultats obtenus pour enfin finir par une conclusion.

### **III.2 Mise en forme de tôle à froid :**

Nous parlons ici de la mise en forme à partir des produits plats et minces, appelés flans, par déformation plastique de pièces à température ambiante. Les principaux avantages de ce type de procédés sont : la faible perte de matière, la réalisation de formes complexes et les bonnes propriétés mécaniques. Les difficultés sont liées à la prise en compte du retour élastique lors de l'étape de mise en forme mais également la prédiction de l'apparition de défauts tels que les plis, la striction, la rupture.

Les difficultés sont liées à la prise en compte du retour élastique lors de l'étape de mise en forme mais également la prédiction de l'apparition de défauts tels que les plis, la striction, la rupture.

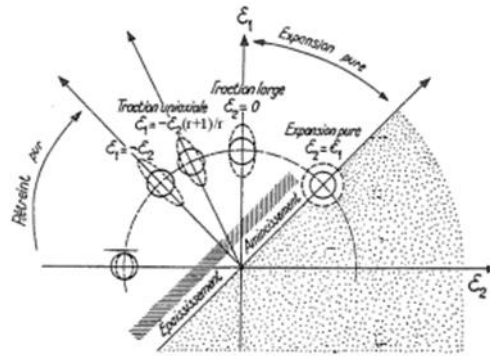
#### ***III.2.1 Différents modes de déformation de la tôle***

La figure indique la répartition des différents modes de déformation dans le plan  $(\epsilon_1, \epsilon_2)$ ,  $\epsilon_1$  correspond aux déformations principales maximales tandis qu' $\epsilon_2$  aux déformations principales minimales ( $\epsilon_1 \geq \epsilon_2$ ).

Selon ce diagramme, la tôle peut subir des déformations en bi-expansion ou expansion pure ( $\epsilon_1 > \epsilon_2 > 0$ ), en traction large ( $\epsilon_1 > 0, \epsilon_2 = 0$ ) ou en traction uniaxiale ( $\epsilon_1 > 0, \epsilon_2 < -\epsilon_1$ ).

La tôle peut ainsi être sollicitée dans plusieurs modes de déformations de façon simultanée ou alternée lors de sa mise en forme.

Dans le cas particulier de la traction uniaxiale,  $\epsilon_1 = (-r+1/r) * \epsilon_2$ , où  $r$  est le coefficient d'anisotropie présenté par la suite. Pour un matériau isotrope,  $r=1$ , d'où  $\epsilon_1 = -2\epsilon_2$ . L'espace situé en bas et droite de la première bissectrice est éliminé par la convention  $\epsilon_1 > \epsilon_2$ . La limite entre la traction et la compression est le cas de cisaillement pur défini par  $\epsilon_1 = -\epsilon_2$



**Figure III-1** : diagramme des déformations rencontrées en mise en forme des tôles

### III.2.2 Défauts en mise en forme des tôles métalliques

Lors de la mise en forme des tôles métalliques, divers défauts apparaissent sur les pièces, ces derniers peuvent être catégorisés en deux :

Les défauts globaux et les défauts locaux dont la définition est comme suit :

Un défaut global concerne la géométrie finale de la pièce. A l'issue de l'opération de mise en forme d'une tôle, par exemple par emboutissage, la géométrie finale obtenue après enlèvement des outils peut ne pas correspondre exactement à la forme recherchée.

Un défaut local concerne des zones plus ou moins réduites de la pièce, où une diminution nette de l'épaisseur, voire rupture, peut apparaître. La striction localisée en est un exemple. D'autres phénomènes plus rares, comme la rupture différée en est un autre.

Ces défauts sont le résultat de ces phénomènes : le retour élastique, striction et le plissement.

## III.3 Théorie de déformation

Il s'agit ici de trouver la force à appliquer pour déformer la tôle afin de pouvoir dimensionner les différents éléments constituant la profileuse à galets.

La tôle ne se déformera qu'une fois plastifiée, c'est-à-dire hors du domaine élastique. On est donc en face d'un problème d'élastoplasticité.

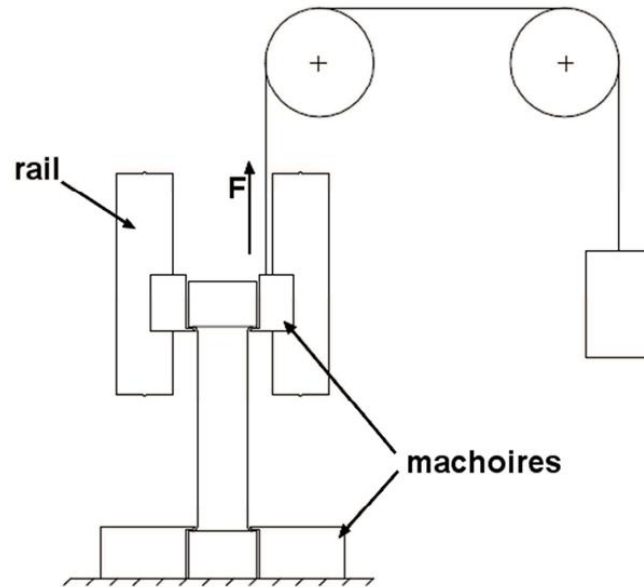
### III.3.1 Etude des solides plastiques :

Afin de mieux comprendre le phénomène de la plastification, cette étude nous est utile.

#### c) Analyse des résultats expérimentaux.

L'expérience se porte sur l'essai de traction. Rappelons rapidement cette expérience ainsi que les résultats : une éprouvette constituée d'un matériau homogène isotrope est encastré dans un

bâti rigide à l'une de ses extrémités tandis que l'autre extrémité est soumise à une force imposé F comme le montre la figure suivante :

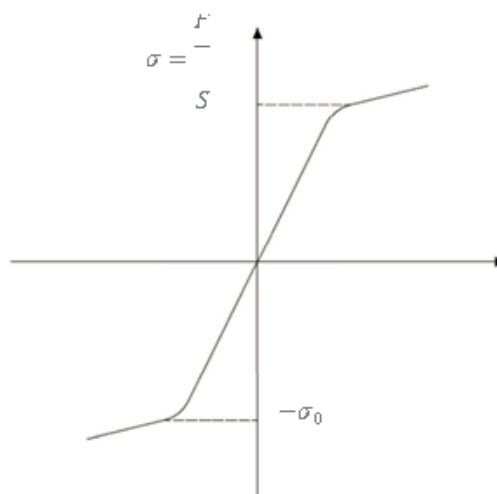


**Figure III-2 : essai de traction**

$\Delta l$  Etant l'allongement de la partie utile, on impose F et on en déduit la contrainte ainsi que la déformation suivant les formules

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Ceci nous permet ainsi d'obtenir la courbe contrainte-déformation qui suit :



**Figure III-3 : courbe contrainte-déformation**

Tant que  $\sigma$  ne dépasse pas une valeur  $\sigma_0$ , il existe une relation de proportionnalité entre la contrainte et la déformation :

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (2)$$

Avec E : module d'élasticité (ou module d'Young) ;

$\sigma_0$  : limite d'élasticité

Le domaine d'élasticité du barreau est le segment  $[-\sigma_0; \sigma_0]$

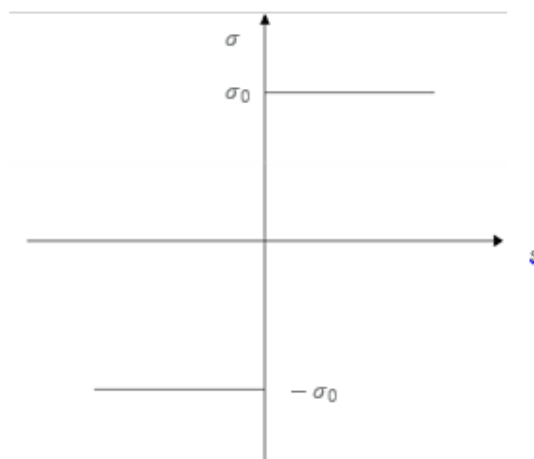
Soit  $F_0 = \sigma_0 * S$  ; si l'effort de traction dépasse la valeur  $F_0$ , notant  $F_1$  lorsque la contrainte atteint  $\sigma_1 > \sigma_0$ , il y a donc plastification du matériau.

*d) Modélisation de l'essai de traction*

En pratique, on remplace la courbe expérimentale précédente par une courbe théorique à base de portion de droite. Suivant l'hypothèse qui est faite sur l'allure de cette dernière courbe, on définit plusieurs modèles qui serviront aux calculs.

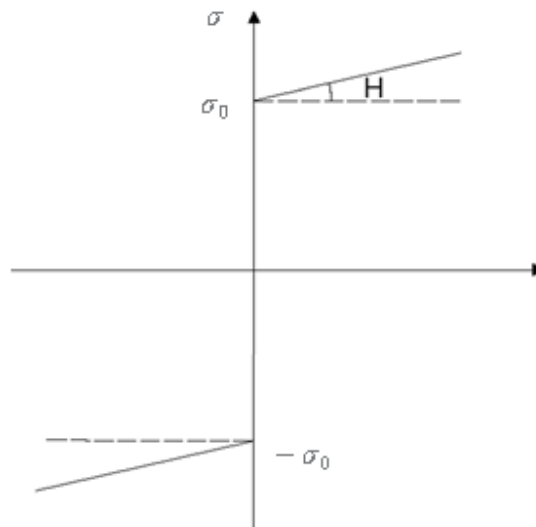
*e) Modèle rigide plastique parfait (R.P.P)*

La déformation élastique sont négligées, seules les déformations plastique sont considérées on obtient alors l'allure qui suit :



**Figure III-4 : modèle R.P.P**

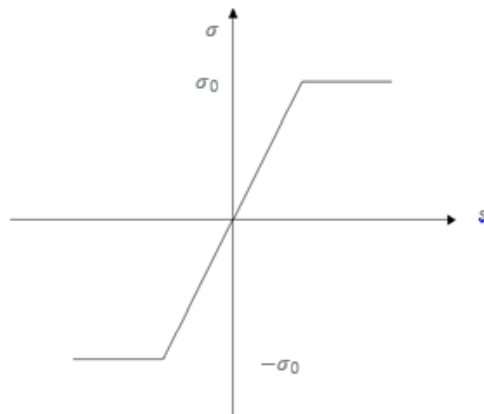
f) Modèle rigide plastique avec écrouissage (R.P.E)



**Figure III-5 : modèle R.P.E**

g) Modèle élastoplastique parfaite (E.P.P)

Cette fois, on suppose qu'il peut y avoir élasticité puis plasticité, on obtient alors :



**Figure III-6 : modèle E.P.P**

h) Modèle élastoplastique avec écrouissage (E.P.E)

On suppose que lorsque la limite d'élasticité est atteinte, on a à nouveau un comportement élastique mais avec une raideur beaucoup plus faible.

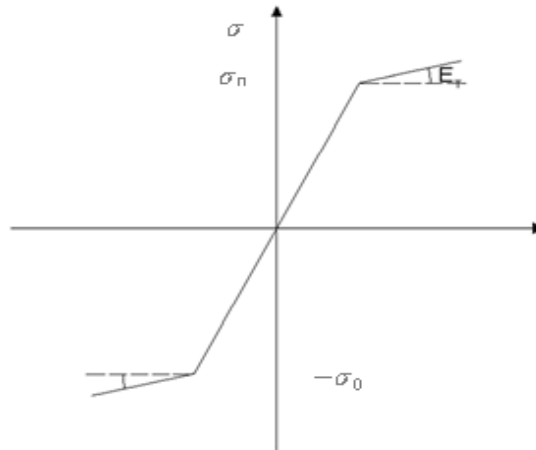


Figure III-7 : modèle E.P.E

### III.4 Elastoplasticité tridimensionnelle

La lame est assimilée à une plaque car seule l'épaisseur est négligée par rapport aux autres dimensions. L'étude revient donc à une étude d'élastoplasticité de plaque, soit une élastoplasticité tridimensionnelle.

Cependant, vu la complexité des équations pour cette étude, il est préférable, à l'aide d'hypothèses mécanique raisonnables, de se ramener à l'élastoplasticité bidimensionnelle. pour se faire donc, pour tous ce qui suivra, nous ferons l'hypothèse de la déformation plane.

#### i) Rappel de la déformation plane

L'hypothèse qui définit ce problème se porte sur le tenseur des déformations qui est de la forme :

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & 0 \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Cette hypothèse implique, concernant le tenseur des contraintes qui d'écrit :

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & 0 \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & U \\ 0 & 0 & a_{33} \end{pmatrix} \text{ Avec } \sigma_{33} = \frac{1}{2}(\sigma_{11} + \sigma_{22}) \quad (4)$$

#### III.4.1 Critères de plasticité

Est un critère permettant de savoir sous des sollicitations données, si une pièce se déforme plastiquement ou si elle reste dans le domaine élastique. De nombreuses études expérimentales ont montré la validité des critères principaux : critère de **Von Mises**, **Tresca** ou **Hill**.

j) Critère Von Mises

La déformation se produit lorsque l'énergie de distorsion maximale est égale à l'énergie de distorsion à la déformation dans un essai de traction uniaxiale. On suppose que l'élasticité se produit lorsque la résistance à la traction de l'arbre est supérieure à celle de l'arbre.

Le critère de Von Mises s'écrit :

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2} \quad (5)$$

La contrainte équivalente peut aussi être décrite en termes de contraintes de traction et de cisaillement agissant sur trois plans orthogonaux arbitraires

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{yy})^2 + 6(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{xy}^2)} \quad (6)$$

k) Critère de Tresca

La rupture se produit lorsque la contrainte de cisaillement maximale est égale à la contrainte de cisaillement à la rupture dans un essai de traction uniaxiale.

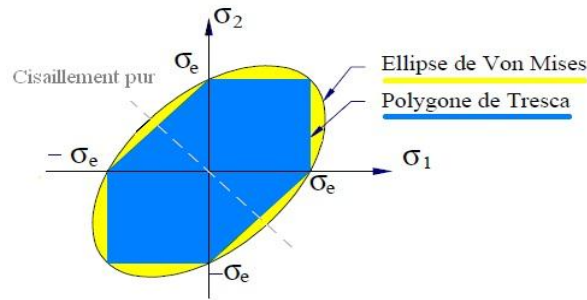
$$\tau_{\max} = \tau_y \quad (7)$$

Critère de Tresca s'écrit :

$$\sigma_e = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2} \quad (8)$$

Et la contrainte critique de cisaillement est liée à la limite d'élasticité uniaxiale s'écrit comme suit :

$$\tau_{oct0} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_Y)^2 + (\sigma_Y)^2} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_Y \quad (9)$$



**Figure III-8** Comparaison des critères Von Mises et Tresca

l) Critère de Hill :

Le critère de Hill est le critère de plasticité le plus connu et le plus ancien en plasticité des matériaux anisotropes et plus particulièrement des matériaux métalliques.

Hill utilise une fonction quadratique avec des coefficients d'anisotropie qui d'écrivent les valeurs des coefficients d'anisotropie et la contrainte d'écoulement pour différentes orientations par rapport à la direction de laminage.

Ce critère s'écrit :

$$\varphi(\sigma) = \left[ \frac{F}{2}(\sigma_{33} - \sigma_{22})^2 + \frac{G}{2}(\sigma_{11} - \sigma_{33})^2 + \frac{H}{2}(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + L\sigma_{23}^2 + M\sigma_{13}^2 + N\sigma_{12}^2 \right]^{1/2} = \bar{\sigma} \quad (10)$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2} \sigma : H : \sigma} \quad (11)$$

### III.5 Simulation et calcul :

#### III.5.1 Logiciels utilisés :

Après avoir obtenu les cotes des galets sur le logiciel de profilage **UBECO**, nous avons réalisé leur conception 3D sur SolidWorks et pris le soin d'assembler les différents galets pour chaque station, puis à partir des assemblages, nous avons enregistré leur quart en DXF suivis après par un post traitement sur **AUTOCAD 2D**.

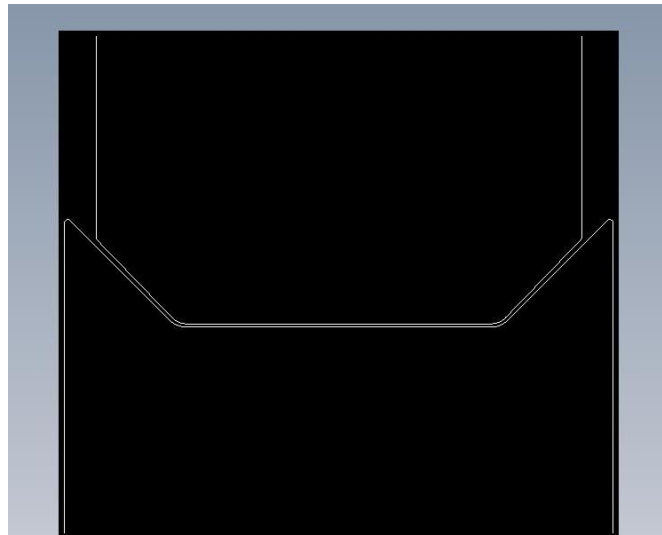
Afin de procéder à la simulation du procédé de profilage, nous utilisons le logiciel de simulation par éléments fini **SimuFact Forming** qui est un logiciel adapté aux procédés de mise en forme à chaud et à froid.

### ***III.5.2 Données implémentées :***

Nous commençons par importer les différentes stations sous format DXF dans **SimuFact** puis nous les assignons à une presse définie antérieurement. (Figure 9)

Les données comprennent :

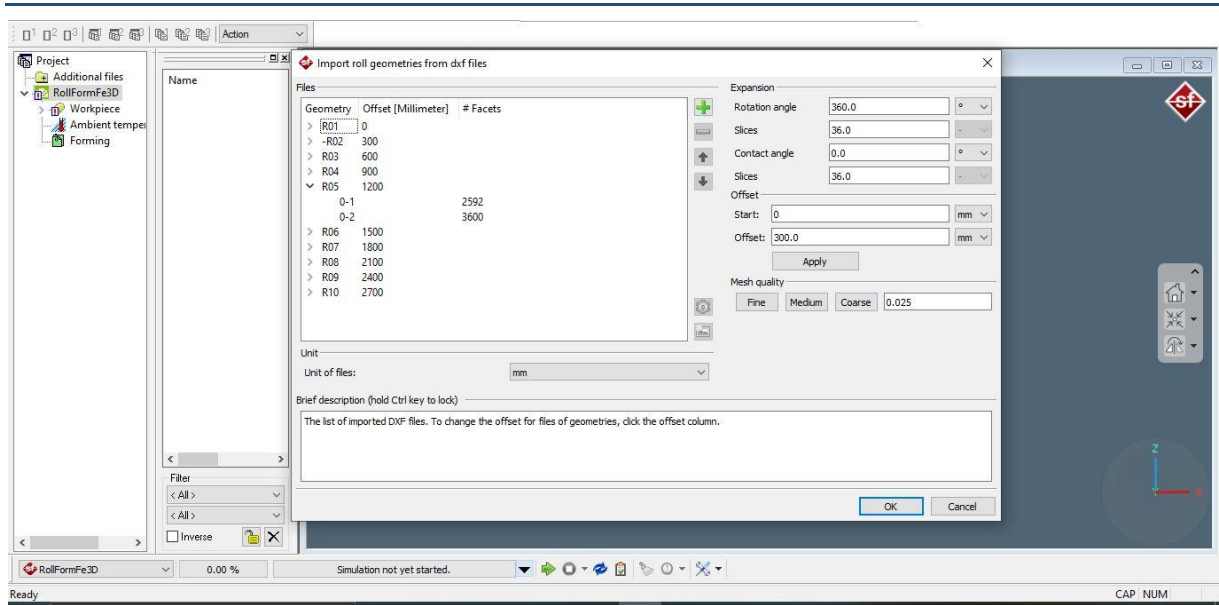
- Les galets (Format DXF)
- La température des galets (Température ambiante)
- La tôle
- Le matériau de la tôle
- La température de la tôle
- Propriétés de la presse
- Propriétés de contact entre la tôle et les galets
- Temps de calcul (Step time)



***Figure III-9 : Station R05 DXF***

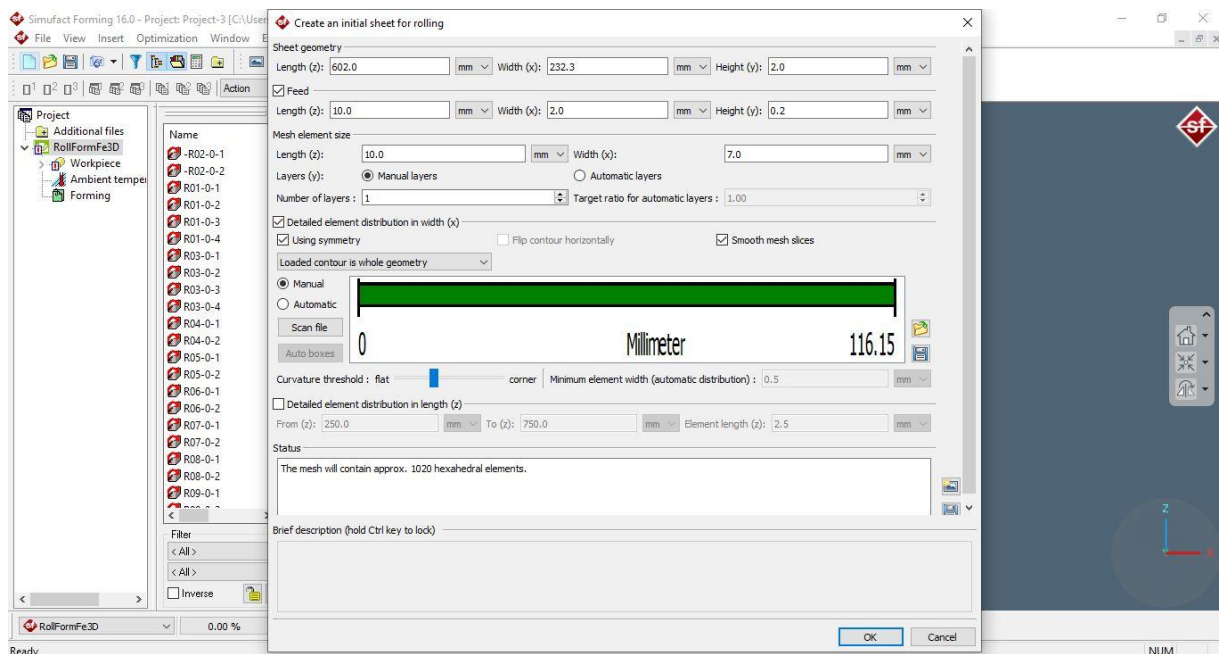
Nous choisirons ensuite la taille des éléments pour mailler les galets ainsi que le choix de la géométrie (Extrusion Révolution sur 90° ou 360°).

## Chapitre III : Simulation Numérique et Discussion des Résultats



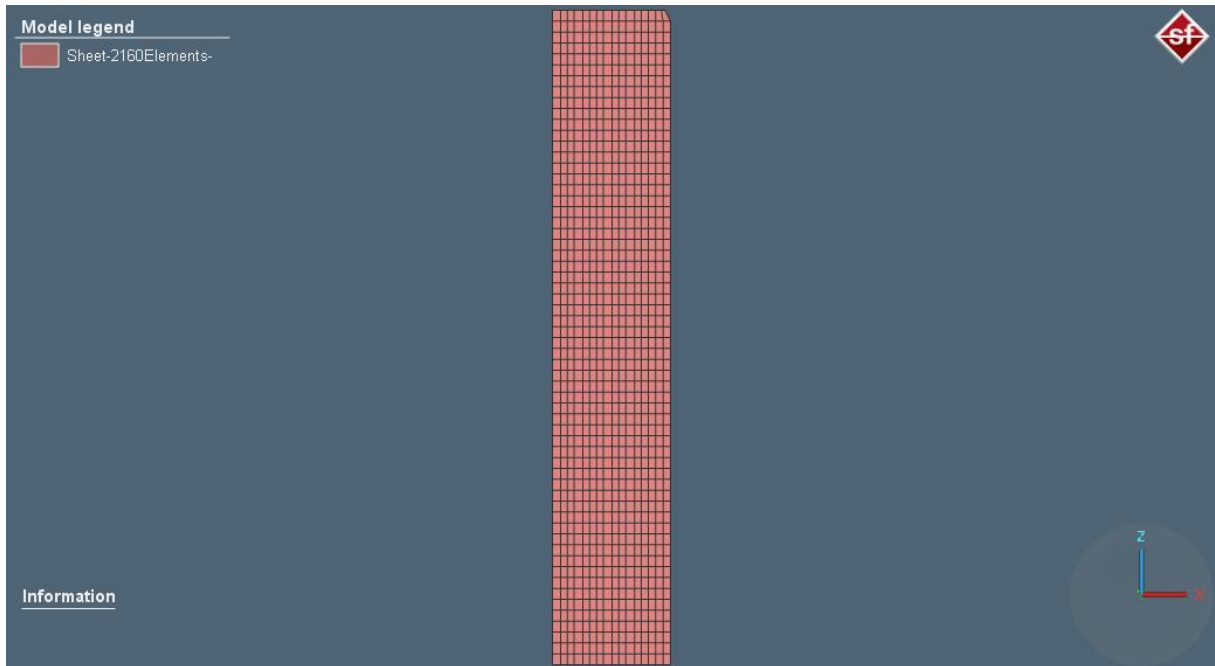
*Figure III-10 : importation des galets*

Nous définissons ensuite le profilé et les dimensions du flanc pour la simulation en important la section du profilé. Nous finirons cette étape avec les données pour le maillage, le matériau et la température des galets et de la tôle. (Figure 11)



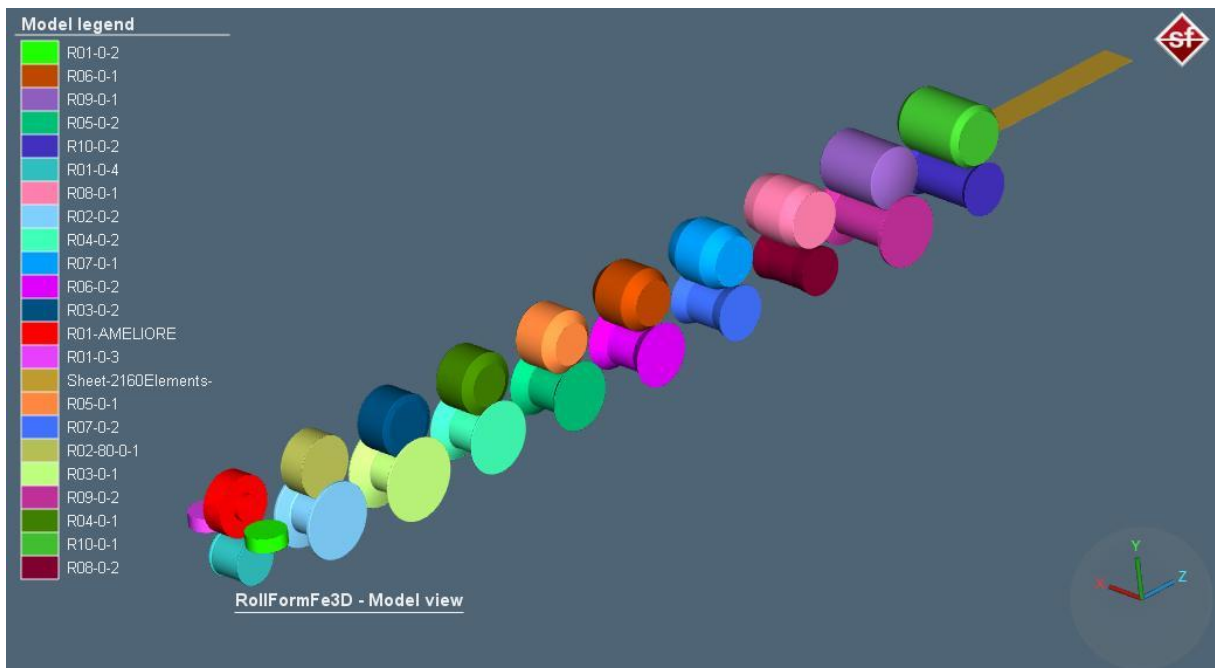
*Figure III-11 : propriétés tôle*

La figure ci-dessous (Figure 12) montre la tôle maillée, dans cette étape nous avons entré les dimensions du flan de la tôle ainsi que la longueur considérée et les paramètres de maillage (Figure 11).



*Figure III-12 : tôle maillée*

La figure ci-dessous (Figure 13) montre l'assemblage avec tous ses composants.



*Figure III-13 : Assemblage complet*

Pour ce qui est du pas de temps à définir, la documentation de **Simufact** fournit l'équation avec laquelle nous le calculons, ce dernier est en fonction de la course des galets ainsi que de la taille de l'élément caractéristique (plus petit élément) dans le maillage de la tôle :

$$dt = \frac{L}{0.5 \cdot l_e} \quad (12)$$

Avec :

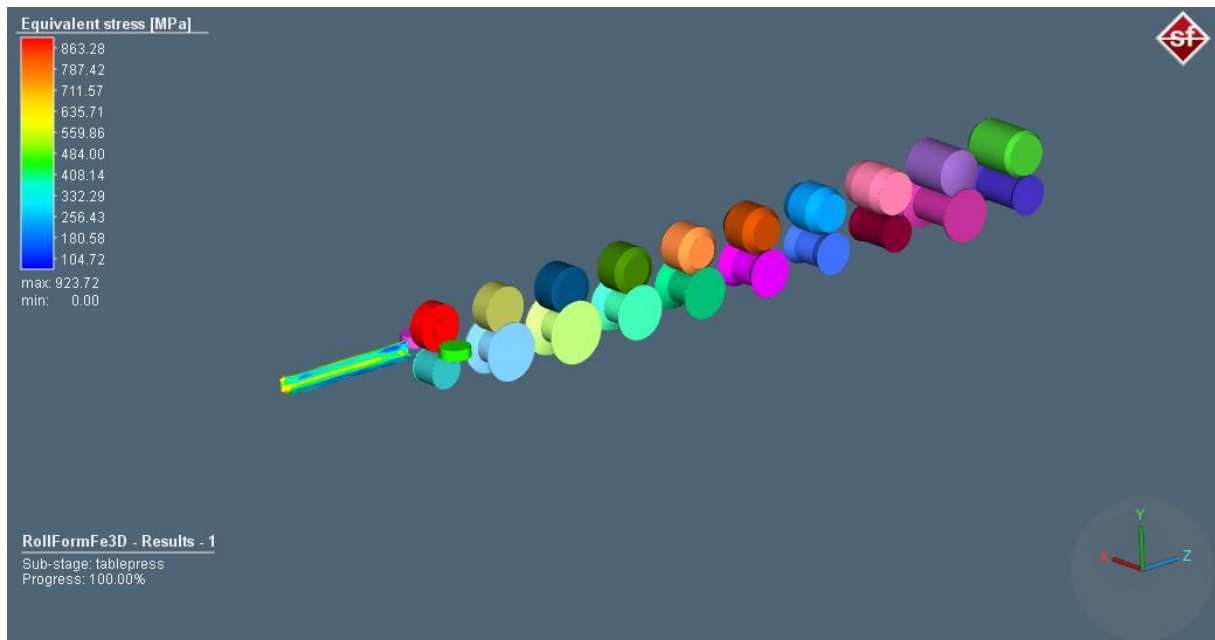
- $dt$  : le pas de temps ;
- $L$  : course (longueur parcourue par la tôle)
- $l_e$  ; Longueur caractéristique d'un élément du maillage de la tôle

0.5 est un coefficient qui détermine la précision du calcul, pour une plus grande précision du model, une valeur **<0.5** peut être utilisée, au détriment d'un temps de calcul plus élevé.

### III.6 Résultats de la simulation et discussions

Après avoir calculé et appliqué les données d'entrée et déterminer les données de sortie, nous avons lancé notre simulation en prenant soin d'aligner tous les galets inférieurs au même niveau afin de pouvoir régler plus facilement nos stations, réduisant ainsi la fenêtre juste aux galets supérieurs.

Après quelques réglages préliminaires de jeux entre les galets supérieurs et inférieurs de chaque station, nous avons pu aboutir aux résultats suivants :

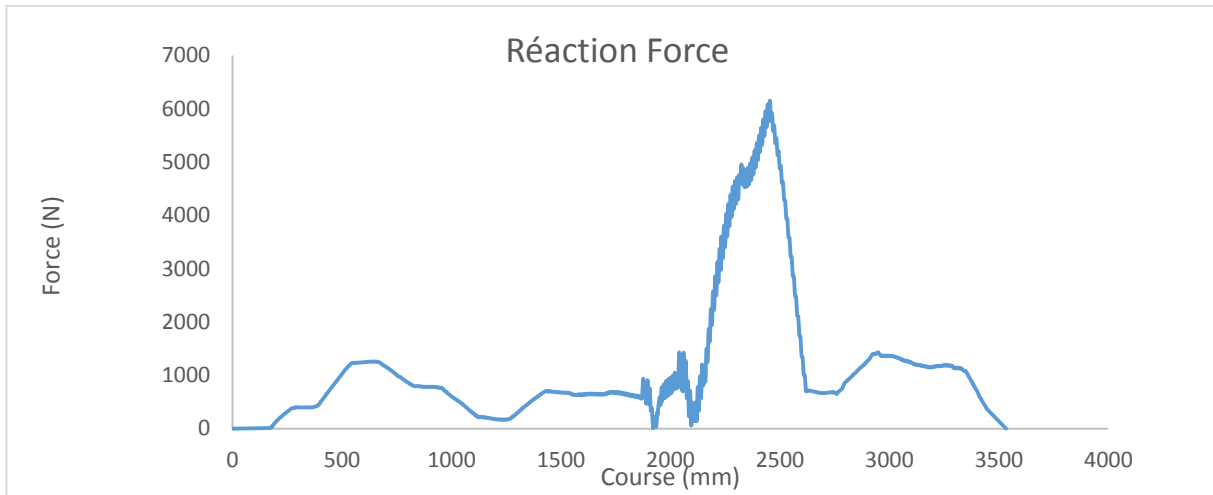


*Figure III-14 : résultats de simulation (contrainte équivalente de Von Mises)*

Comme nous pouvons le constater sur la figure si dessus, la contrainte équivalente de Von Mises atteint un maximum de **863.28 MPa** en fin de course. En sachant que la contrainte maximale  $R_{max} = 480\text{MPa}$ , nous en concluons que la tôle ne résistera pas à un tel effort, car elle dépasse de loin sa résistance maximale en traction. Cette élévation de contrainte très importante est due notamment à une compression additionnelle de la tôle provoquée par deux principaux paramètres :

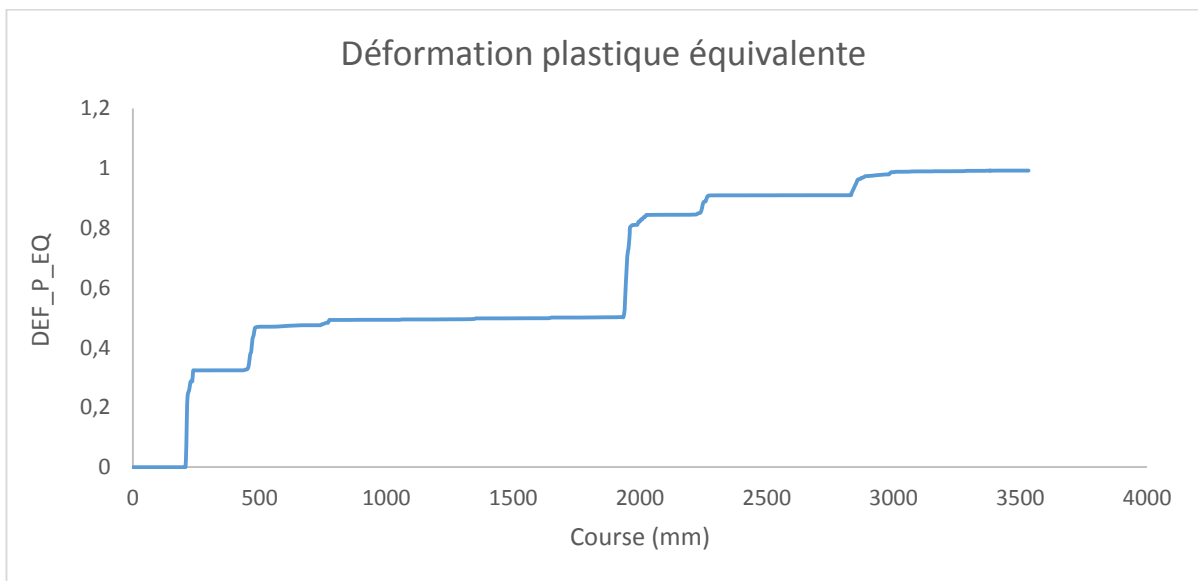
- Le **jeu** entre galets supérieurs et tôle
- Les **dépouilles** sur les extrémités des galets supérieurs

Ces deux paramètres cités ci-dessus, permettent de réduire considérablement l'amplitude des contraintes en réduisant la sollicitation en compression induite par l'écrasement des galets sur la tôle tout le long du processus de profilage.



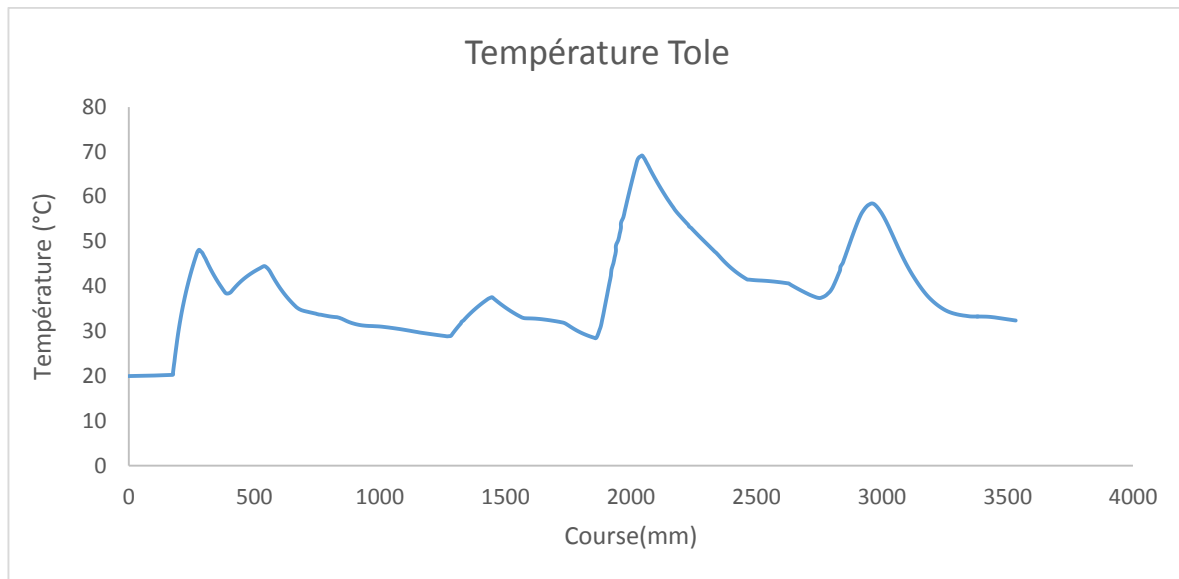
**Figure III-15** courbe des réactions aux appuis de l'ensemble des galets de la presse

La figure ci-dessus montre la somme des réactions entre galets supérieurs et inférieurs pour l'ensemble de la machine. On y constate des pics dans l'amplitude de la force, ces derniers témoignent de la présence d'un effort important dès lors que la tôle passe entre les galets.



**Figure III-16** : Courbe déformation plastique équivalente en fonction de la course

La figure 16 montre l'évolution de la déformation plastique équivalente tout au long de la course de la tôle, cette évolution est graduelle et augmente à chaque passage de la tôle dans une station démontrant ainsi la présence d'une déformation plastique permanente causée par le formage de la tôle.



**Figure III-17 :** Evolution de la température de la tôle durant la simulation

Grace au logiciel de simulation par élément finis SimuFact, nous avons pu suivre l'évolution de la température de la tôle durant le processus de profilage. En notant que pendant la mise en forme de la tôle, nous constatons que le matériau se déforme plastiquement et engendre ainsi une déformation permanente, d'autre part cette dernière donne naissance à son tour a une libération d'énergie sous forme de chaleur.

## **IV. Conclusion générale et perspectives**

### IV.1 Conclusions :

Le but de notre étude était de concevoir des galets d'une profileuse pour réaliser un profilé **C**. Dans un premier temps, nous avons procédé à la déplier du profilé tout en veillant à ne pas dépasser la contrainte maximale admissible du matériau de la tôle. Par la suite, nous avons pu déduire les dimensions des galets et tout ceci en utilisant le logiciel **Ubeco**. La prochaine étape logique a été de dessiner l'ensemble des galets grâce au logiciel de conception assisté par ordinateur (CAE) **SolidWorks**, ainsi que leurs DXF et les mises en plans des pièces et des assemblages des stations. Pour au final en arriver à la simulation par élément finis du procédé de profilage avec **SimuFact**.

La simulation numérique du procédé, nous a permis de voir plus en détail le processus et les phénomènes qui y sont montrés. Après avoir analysé et discuter les résultats obtenus, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes :

- Les galets conçus, sont en effet capables de reproduire le profilé désiré.
- Les résultats de simulations montrent une élévation importante de la contrainte équivalente de Von Mises qui dépasse largement la contrainte maximal admissible du matériau de la tôle, provoquant ainsi sa rupture, mais ce problème peut toutes fois être régler en calibrant les jeux entre les galets ainsi qu'augmenter les dépouilles de certains galets et ceci afin de réduire la charge appliquée (Compression) sur la tôle.
- La courbe des réactions des forces de la machine ainsi que le suivie de l'évolution de la contrainte équivalente de Von Mises, peuvent être un moyen très efficace pour calibrer les jeux entre galets et leurs dépouilles.
- Le logiciel de simulation SimuFact nous a permis de constater le changement de température occasionné par les déformations plastiques, qui s'explique par une libération d'énergie sous forme de chaleur causée par la rupture des liaisons internes du matériau.

En perspective, nous pourrions continuer le calibrage des jeux et la modification des dépouilles de certains galets afin de situer la maximale de la contrainte équivalente de Von Mises obtenue en simulation, sous la limite admissible (Contrainte maximale en traction).

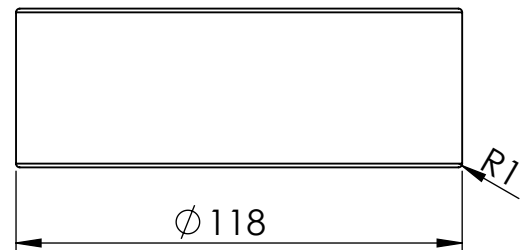
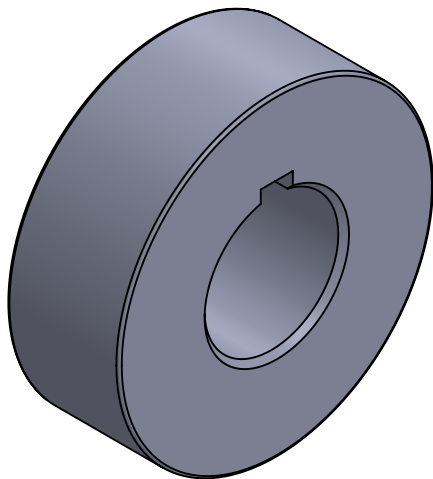
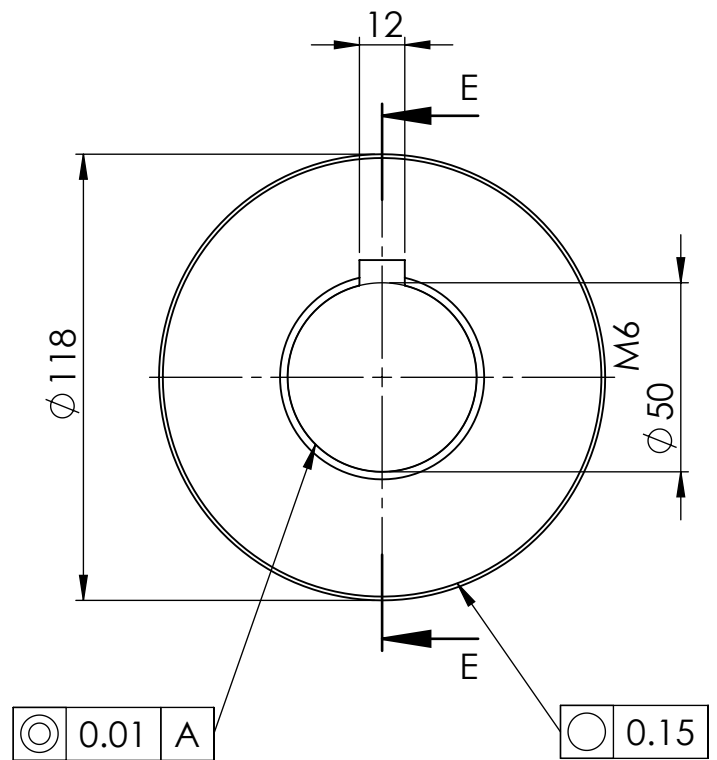
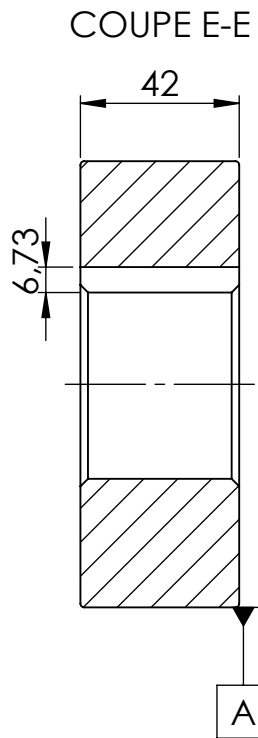
Continuer la conception du reste des organes de la machine (le bâti, les axe, transmission, partie débitage.) et réfléchir à l'automatisation du processus.

## **V. Références bibliographiques**

## V.1 Liste des références :

- Ağacı, Bilgi. n.d. 'Roll Forming Fundamental Manufacturing Processes Study Guide, DV06PUB5 -1'. Accessed 25 July 2022.
- Altan, Taylan, and A. Erman Tekkaya, eds. 2012. *Sheet Metal Forming: Processes and Applications*. Materials Park, Oh: ASM International.
- ASM International, ed. 1990. *ASM Handbook*. 10th edition. Materials Park, Ohio: ASM International.
- Berner, Sebastian, Martin Storbeck, and Peter Groche. 2011. 'A Study on Flexible Roll Formed Products Accuracy by Means of FEA and Experimental Tests'. In *AIP Conference Proceedings*, 1353:345–50. American Institute of Physics.
- Brandegger, Roland. 2004. 'Predicting Stress and Strain in Roll Formed Profiles: Three Methods to Help Prevent Roll Tool Modifications'. *Fabricator* 34 (5): 56–57.
- Decultot, Nicolas. n.d. 'Formage incrémental de tôle d'aluminium: étude du procédé à l'aide de la mesure de champs et identification de modèles de comportement', 251.
- Galdos, L., J. Larranaga, L. Uncilla, H. Lete, and G. Arrixabalaga. 2009. 'Process Simulation and Experimental Tests of Cold Roll Forming of a U-Channel Made of Different Ultra High Strength Steel'. In *Rollform09. 1st International Congress on Roll Forming*.
- Halmos, George T. 2005. *Roll Forming Handbook*. Crc Press.
- JERBI, Mourad. 2017. 'Procédés de Mise En Forme'. Support cours, Nabeul: Institut Supérieur Des Etudes Technologiques De Nabeul.
- LUGAN Aciers. 2005. '26 Aciers d'outillage Z 200'. France: LUGAN Aciers.
- Makhloufi, Lydia, and Okba Hamri. 2018. 'Conception Des Galets D'une Profileuse De Tôles.' Mémoire de fin d'étude, Bejaia: Université abderrahmane mira béjaia.
- MEHANI, Djamila, and Amel TOUAT. 2019. 'Conception d'une Profileuse et Étude Du Procédé de Profilage – Simulation d'un Galet Soumis à La Fatigue'. Mémoire de fin d'étude, Tizi Ouzou: Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- RAJAOHSONA. 2011. 'Etude et Conception d'une Profileuse à Galets Pour Lames de Volet Roulants'. Mémoire de fin d'étude, Madagascar: Université d'ANTANANARIVO.
- RAJAOHSONA, TOJO HERIMIRIJA. 2010. 'ETUDE ET CONCEPTION D'UNE PROFILEUSE POUR LAME DE VOULET ROULANT'. UNIVERSITE D'ANTANANARIVO.
- SOLTANI. n.d. 'What Are Construction Profiles?' *Vestadezh* (blog). Accessed 17 July 2022. <https://vestadezh.co/2021/08/03/what-are-construction-profiles/>.

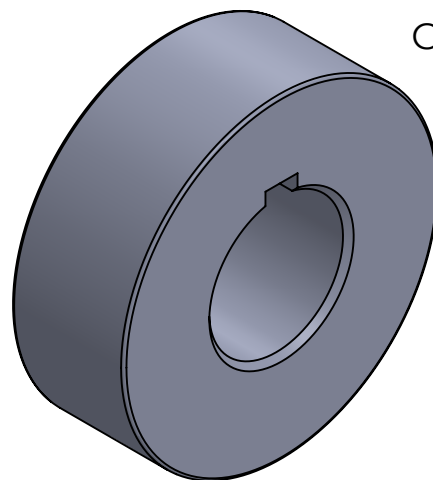
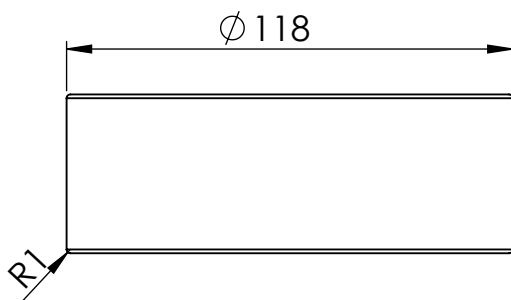
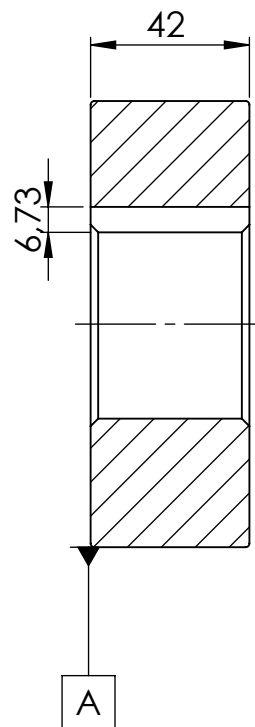
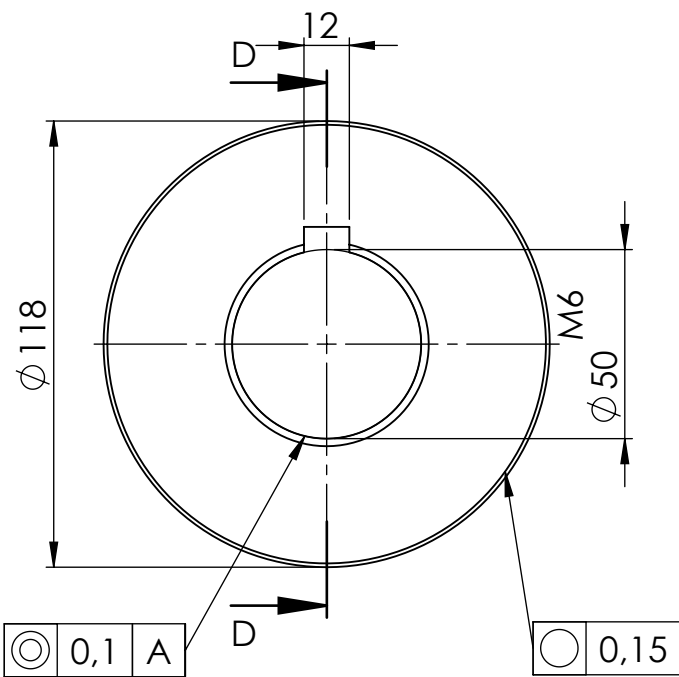
## **VI. Annexe**



**Remarque:**

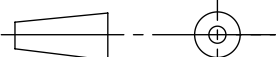


-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

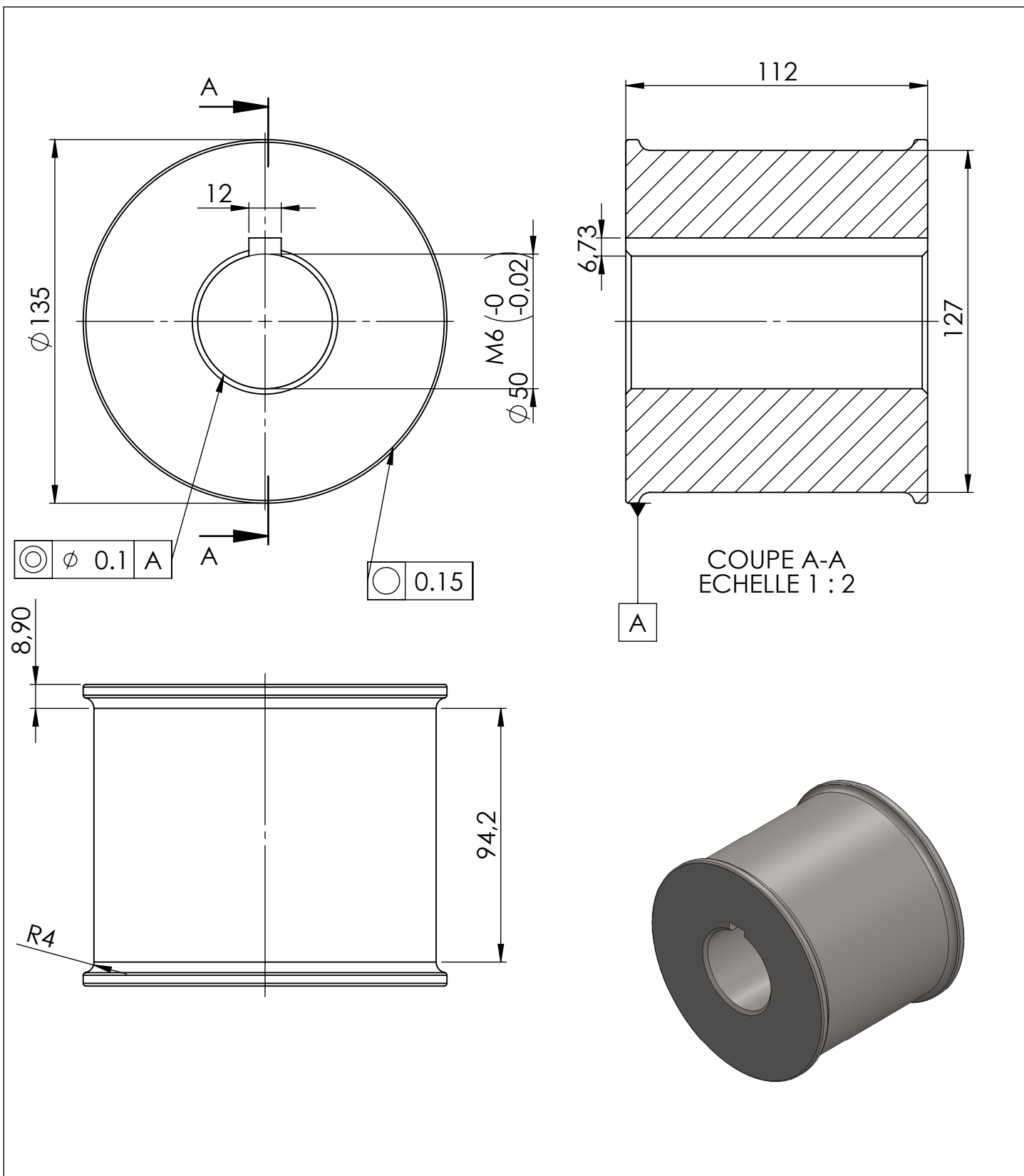
1	G-D-S01	STATION 01	Tous les rayons non mentionnés =R1	<b>Z200C12</b>
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/2</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		



COUPE D-D

Remarque:  
-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à  $\pm 0.4$

1	G-G-S01	STATION 01	Tous les rayons non mentionnés = R1	<b>Z200C12</b>
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle : 1/2</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		 

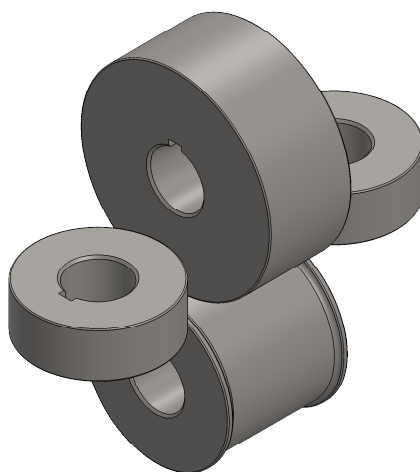
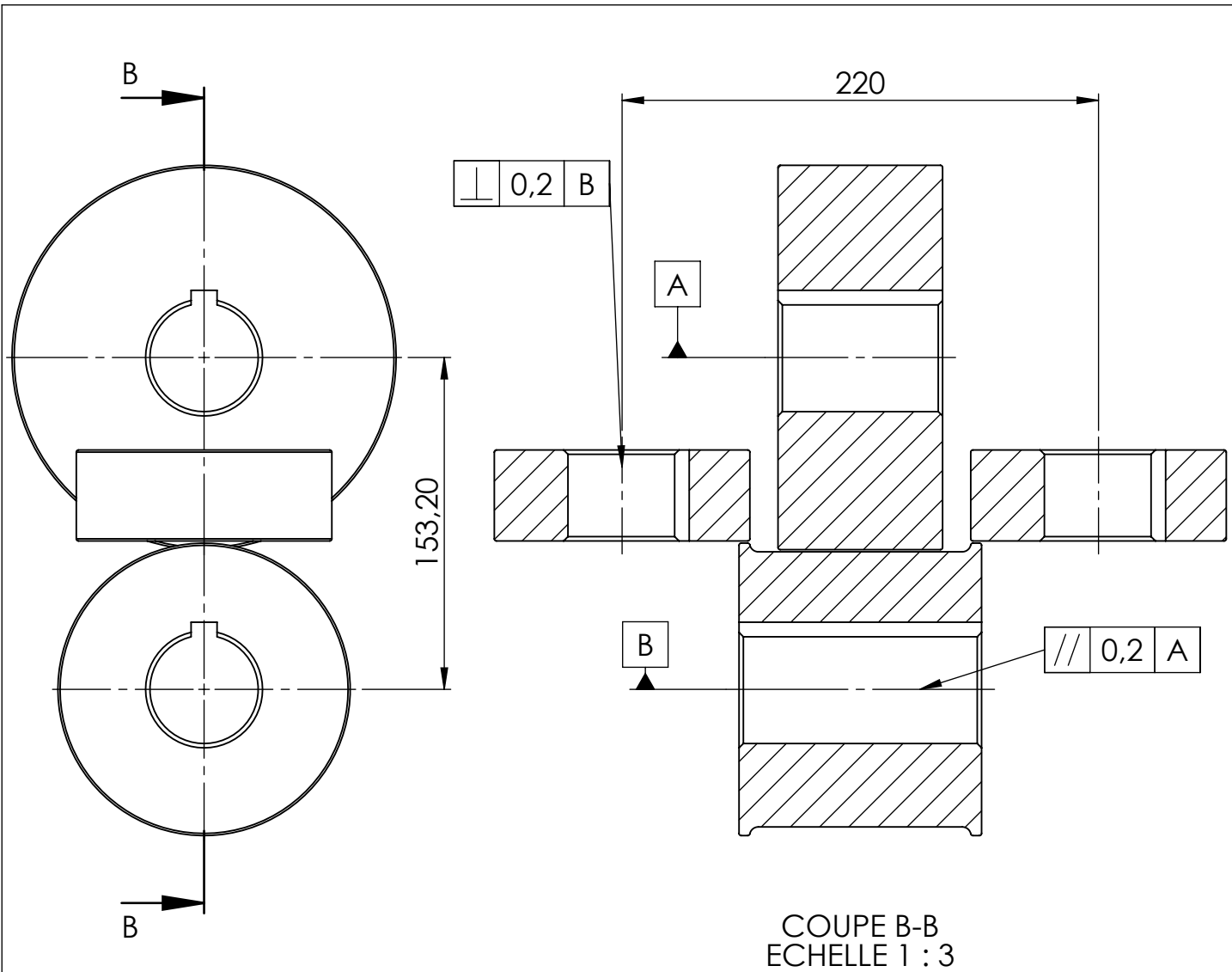


COUPE A-A  
ECHELLE 1 : 2

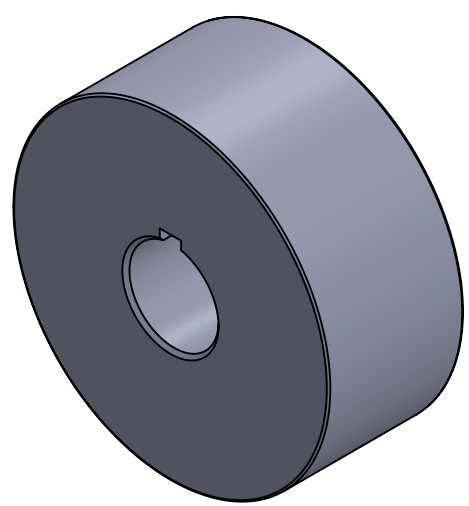
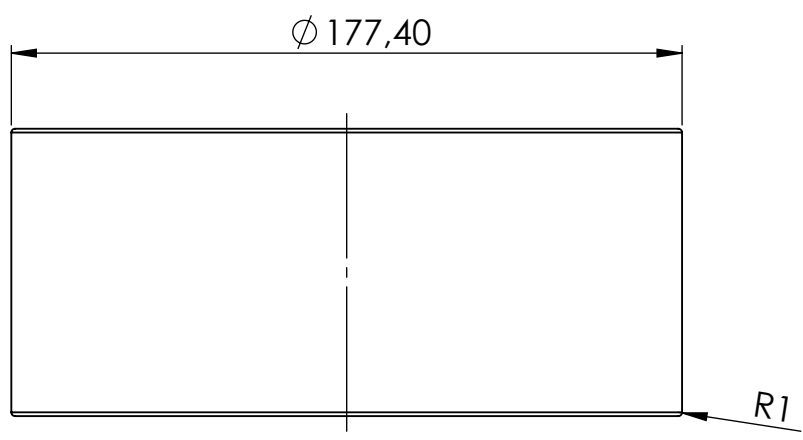
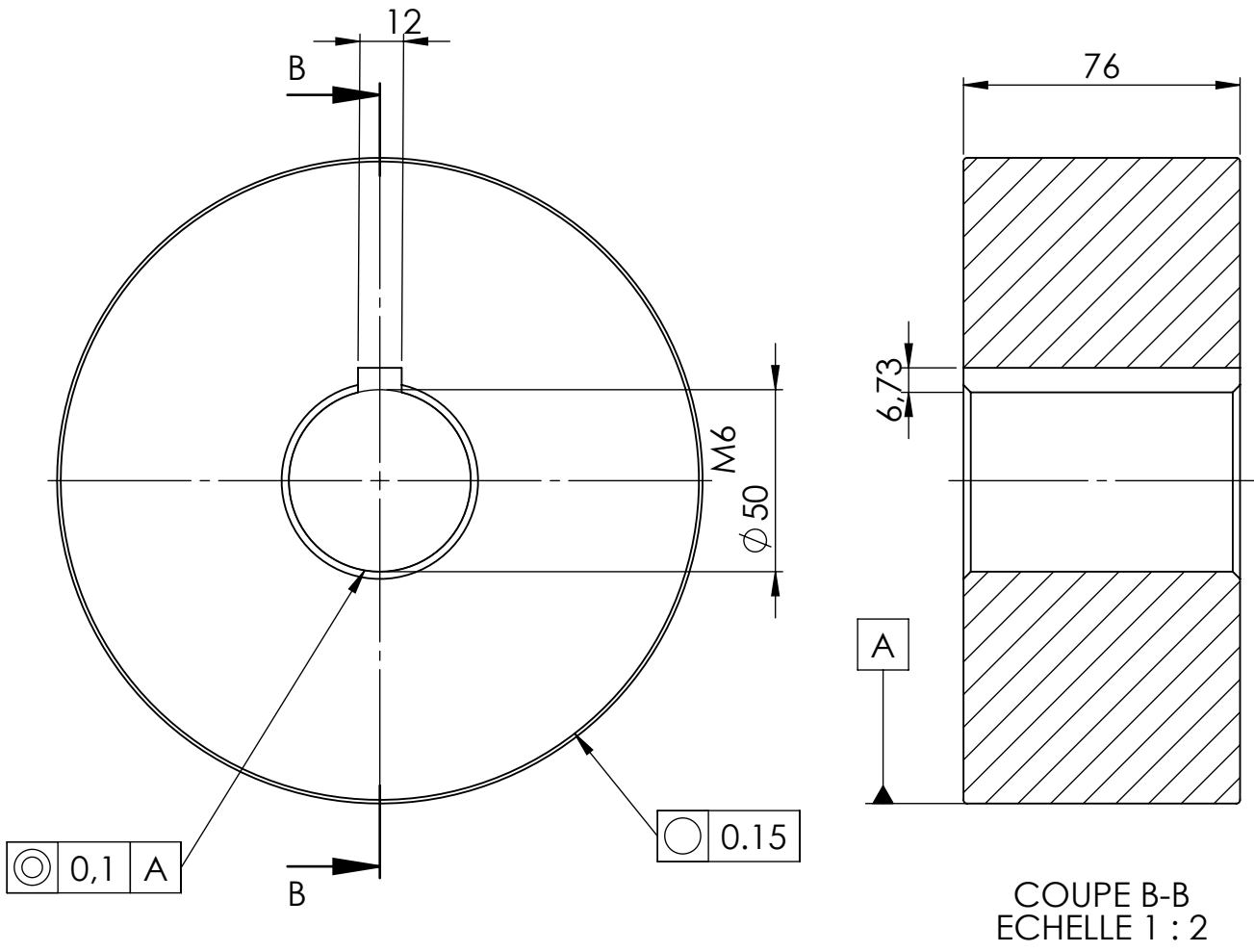
**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

1	<b>G-INF</b>	<b>STATION 01</b>	tous les rayons non mentionnés =R1	<b>Z200C12</b>
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/2</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		

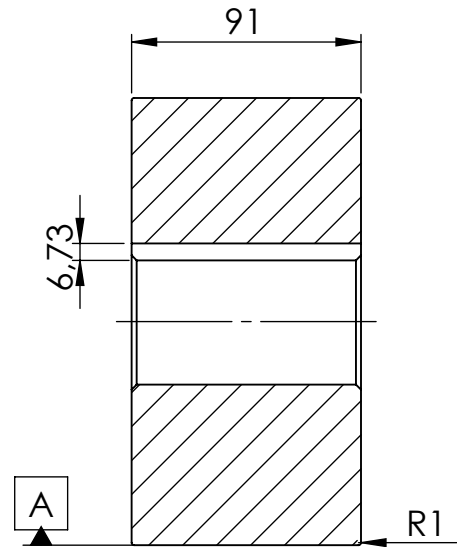
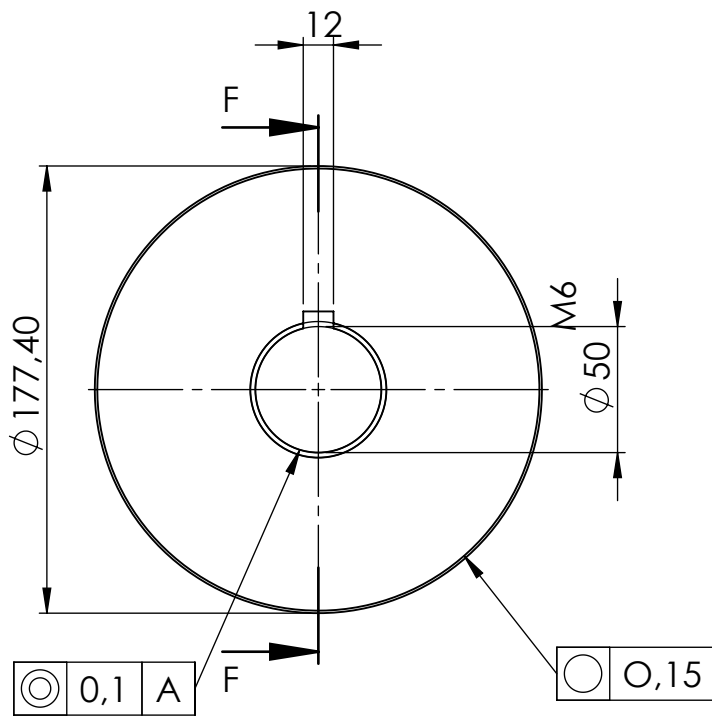


1	<b>S01-00</b>	<b>STATION 01</b>	Tous les rayons non mensionnés =R1	<b>Z200C12</b>
<i>NBR</i>	<i>REP</i>	<i>DESIGNATION</i>	<i>OBSERVATION</i>	<i>MATIERE</i>
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		

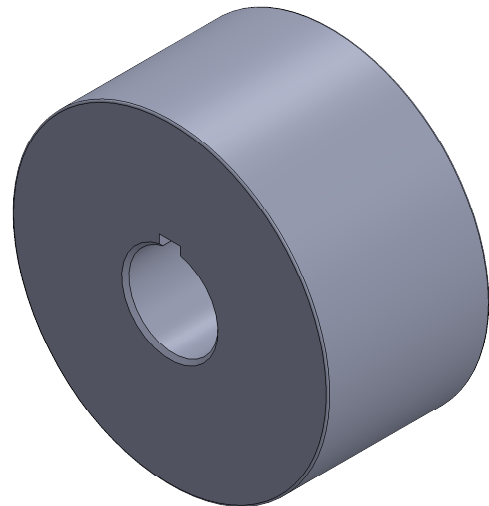
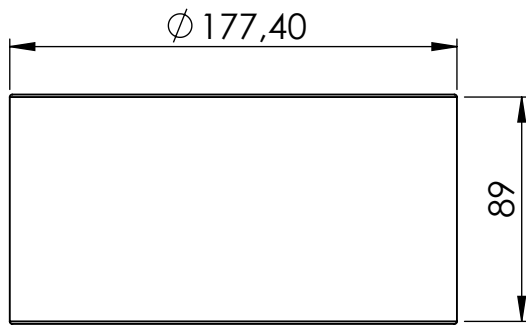


**Remarque:**  
 -les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

1	G-sup-S01	STATION 01	Tous les rayons non mentionnés =R1	<b>Z200C12</b>
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/2</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		



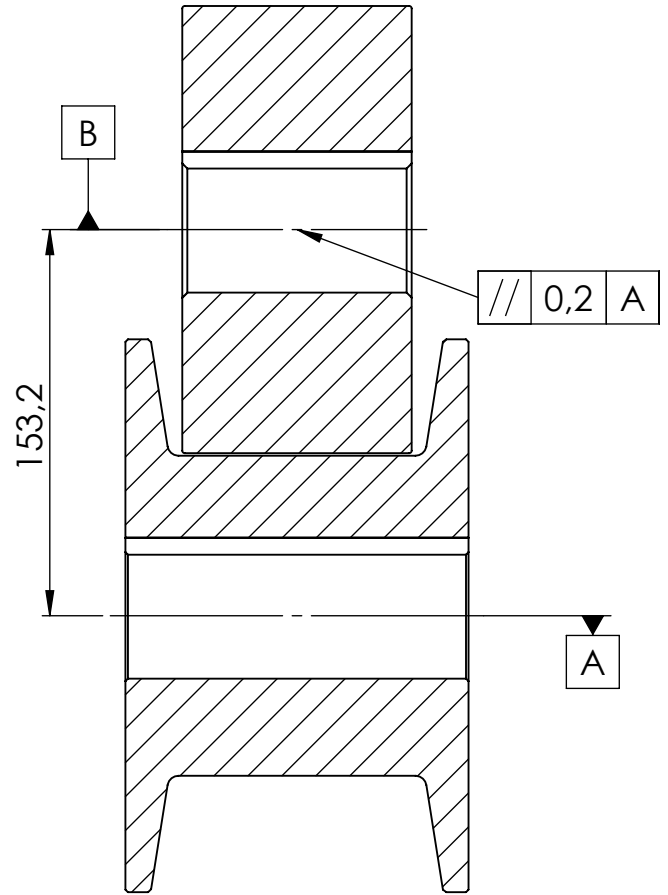
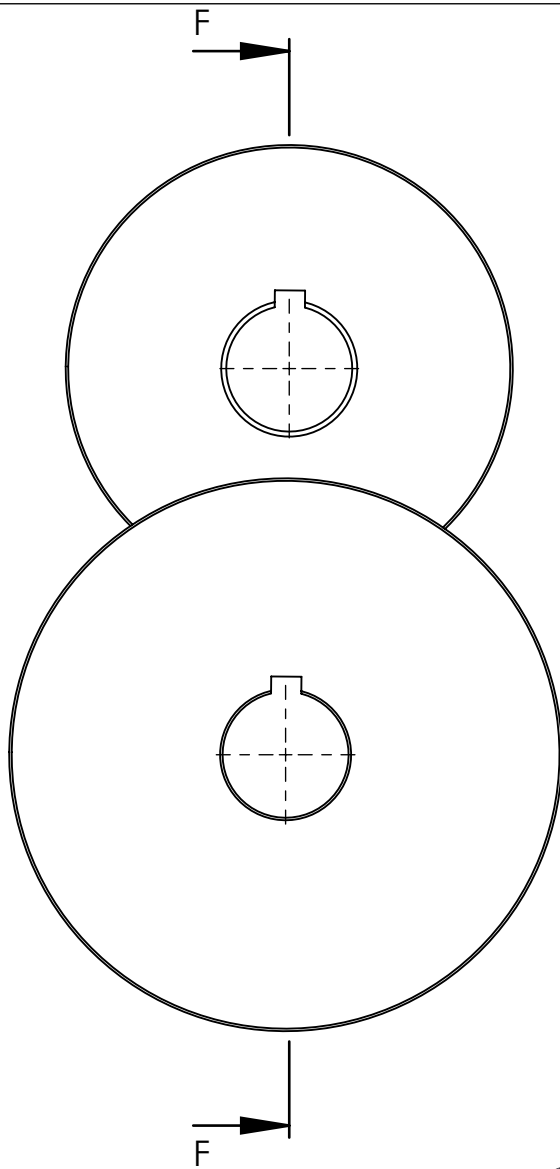
COUPE F-F  
ECHELLE 1 : 3



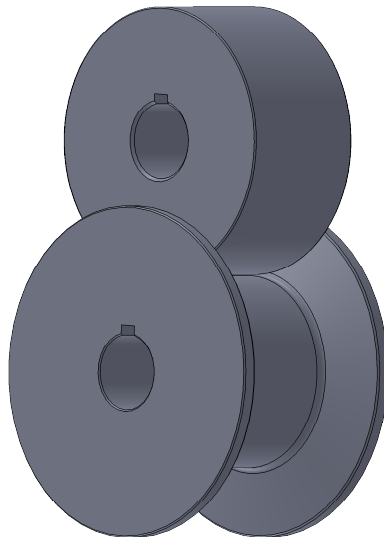
**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

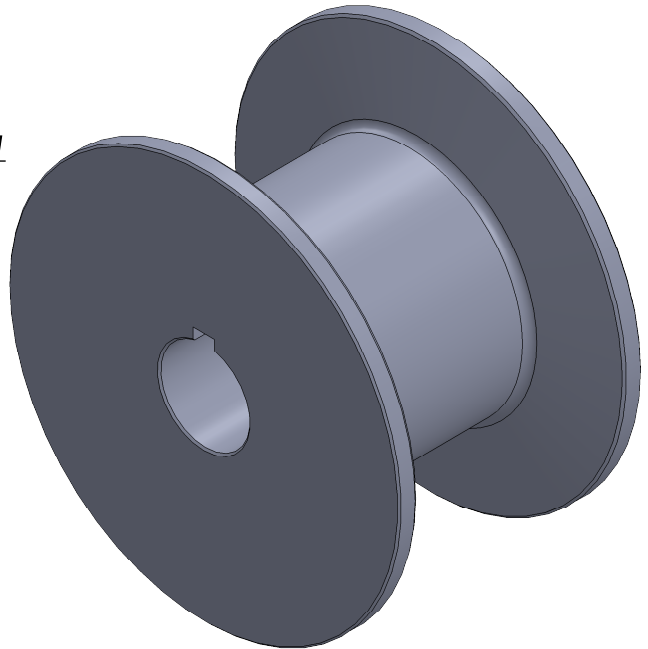
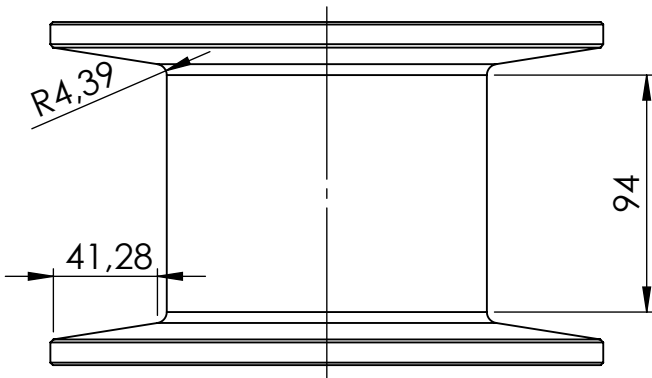
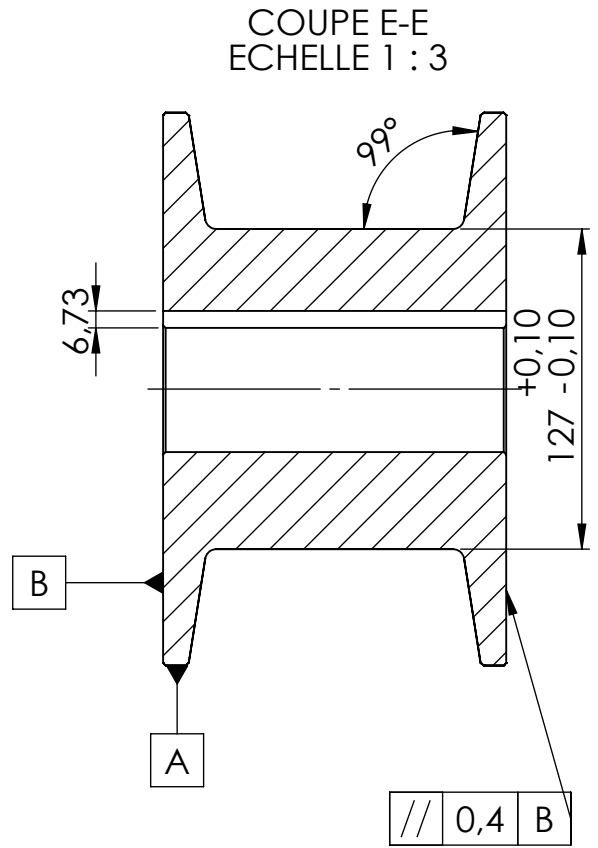
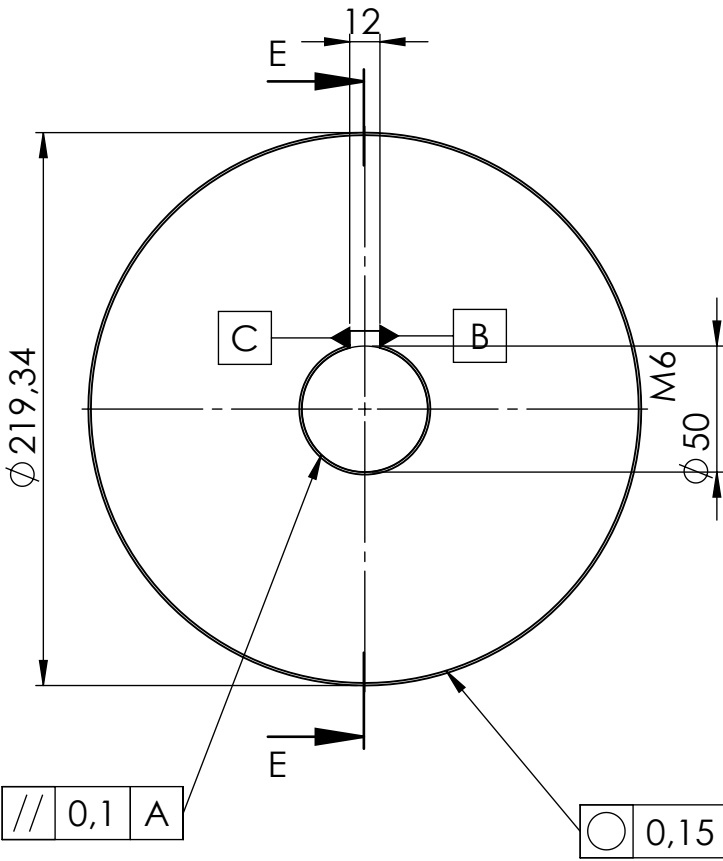
1	G-SUP-S02	STATION 02	Tous les rayons non mentionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		







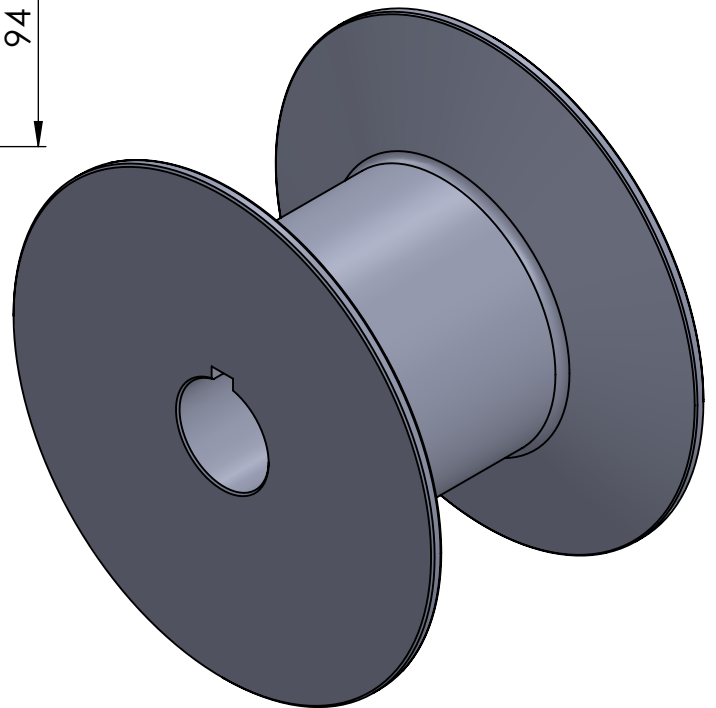
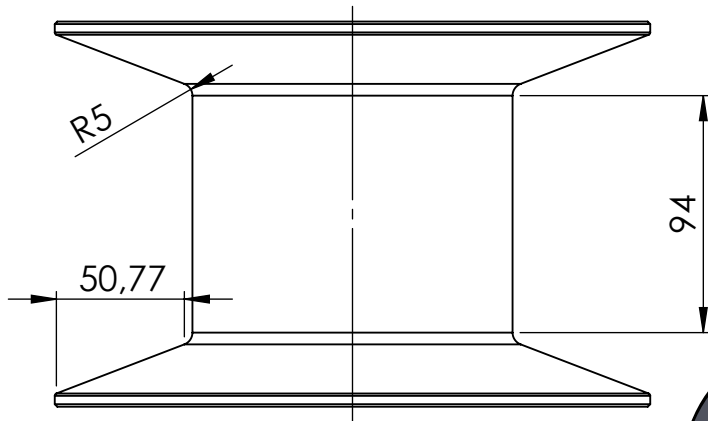
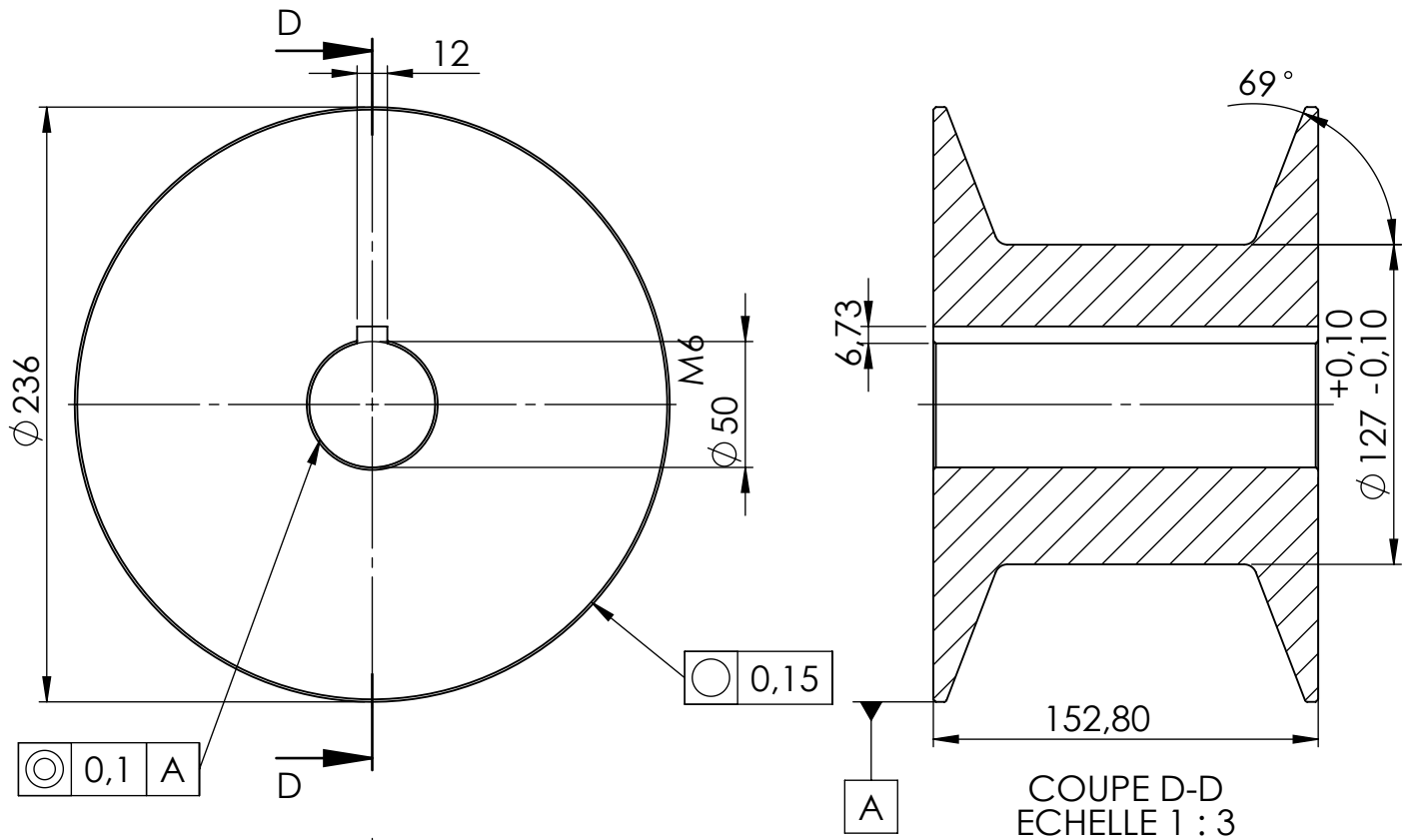
COUPE F-F  
ECHELLE 1 : 3



1	S02-00	STATION 02	Tous les rayons non monsionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		







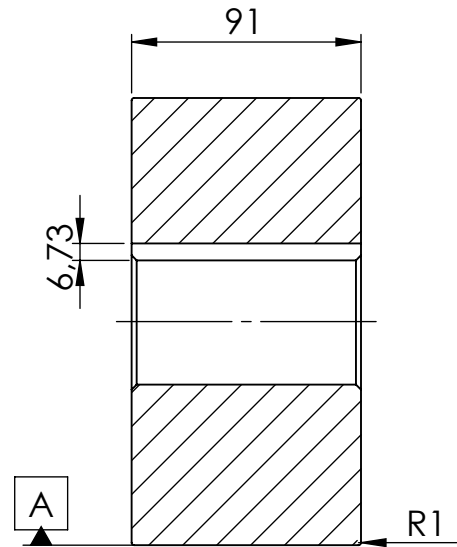
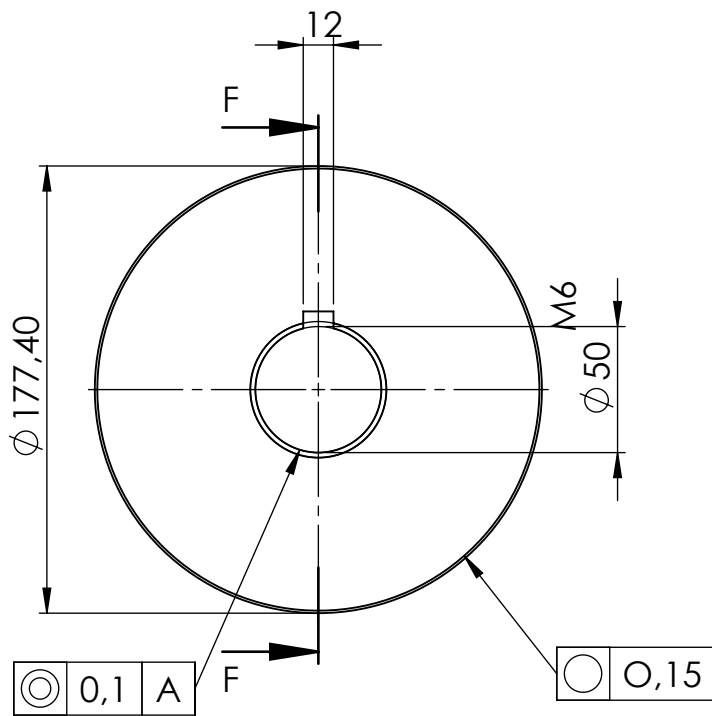
1	G-INF-S02	STATION 02	tous les rayons non monsionné =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
 		<b>SAADA HANICHE</b>		 



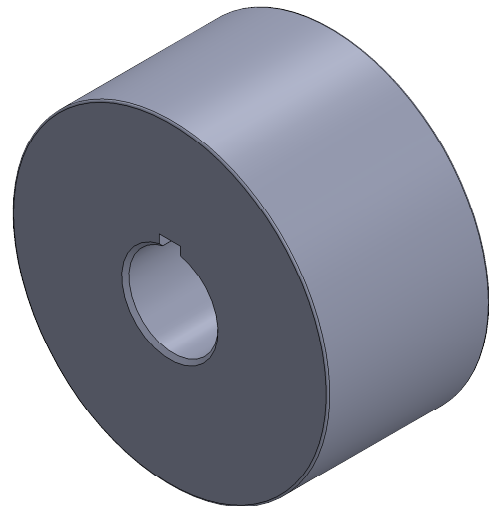
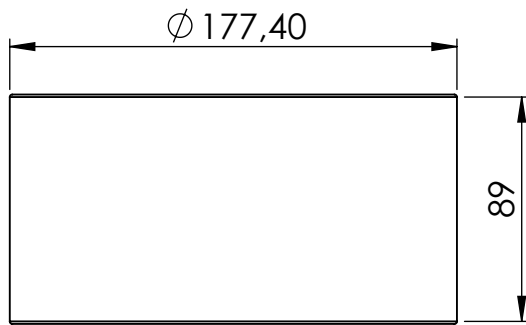
**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

1	G-INF-S03	STATION 03	Tous les rayons non mentionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
 		<b>SAADA HANICHE</b>		 



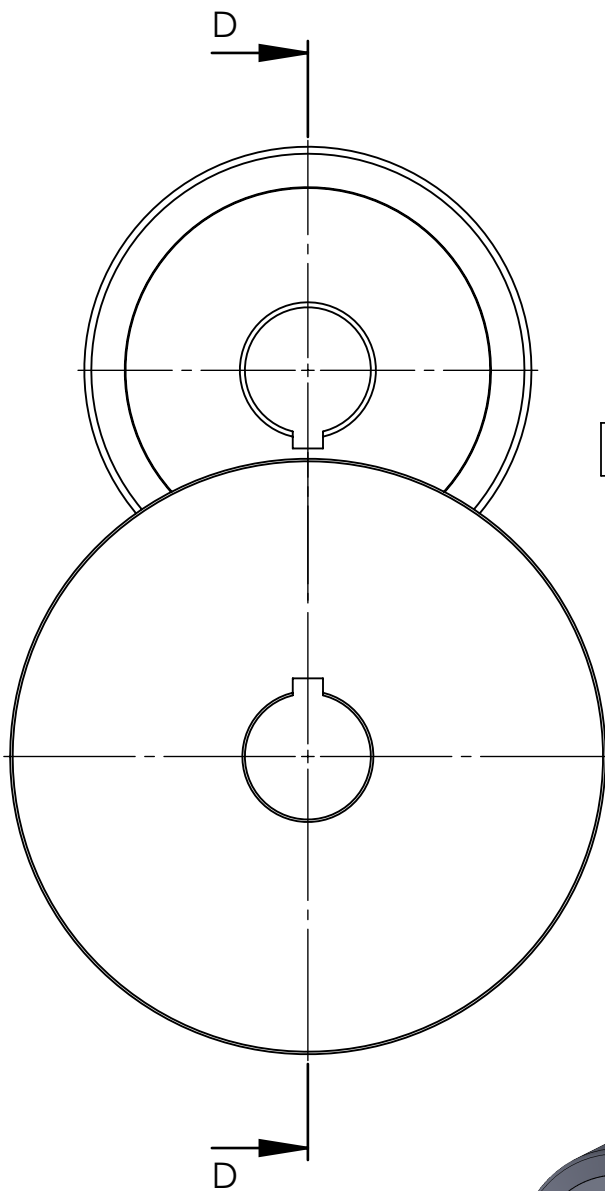
COUPE F-F  
ECHELLE 1 : 3



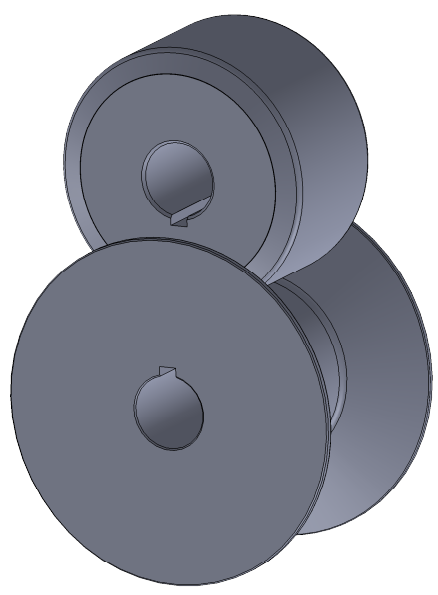
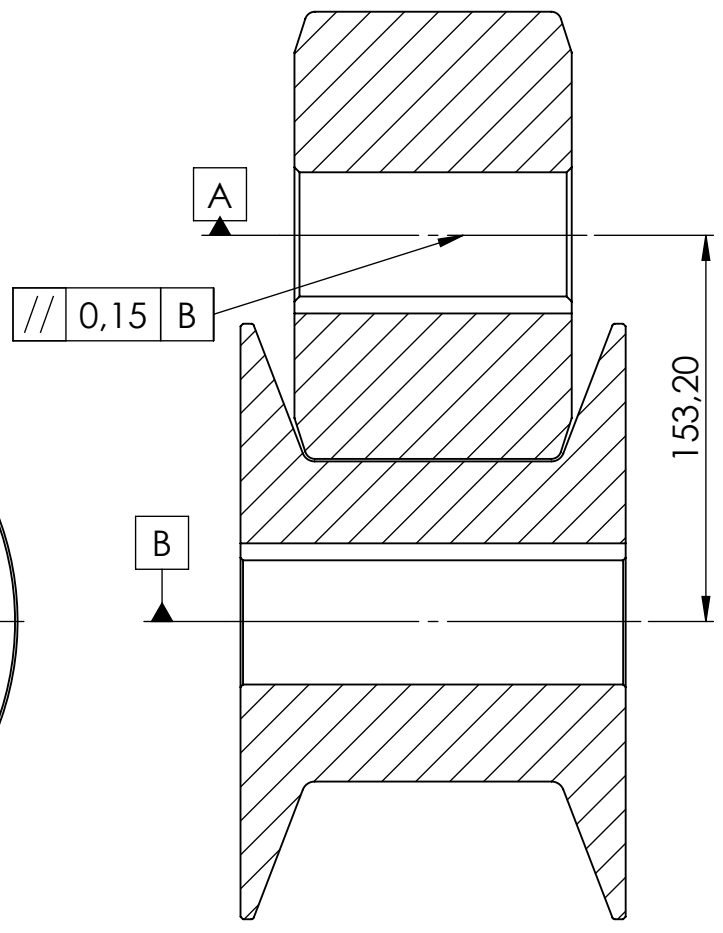
**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

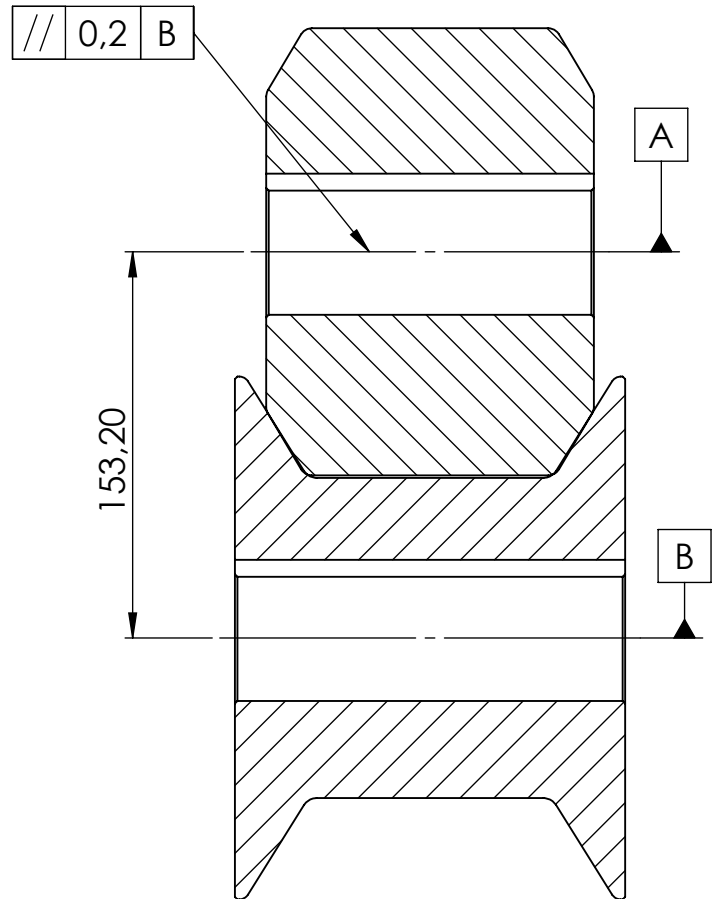
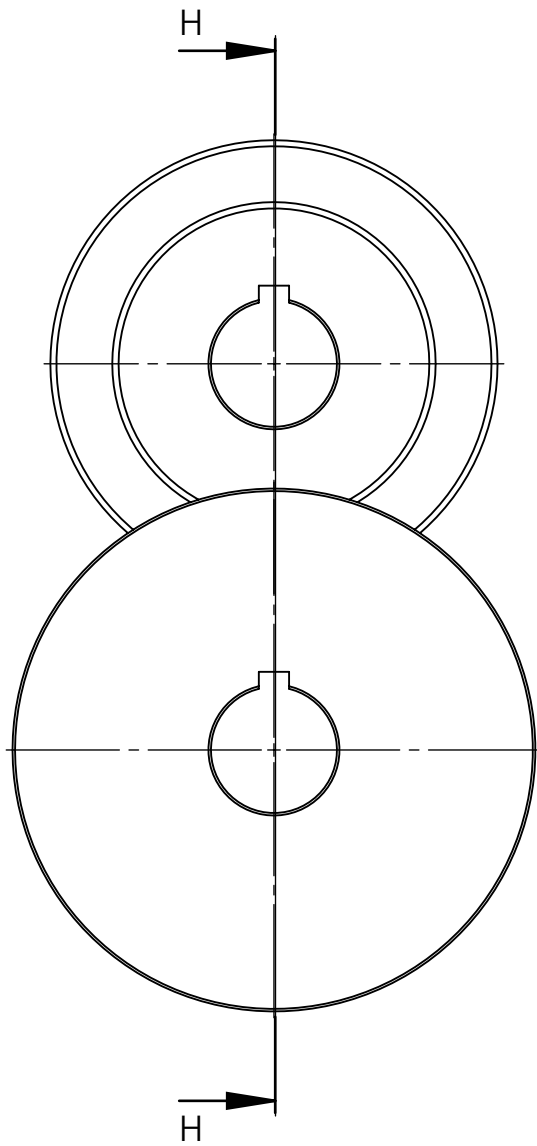
1	G-SUP-S02	STATION 02	Tous les rayons non mentionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		



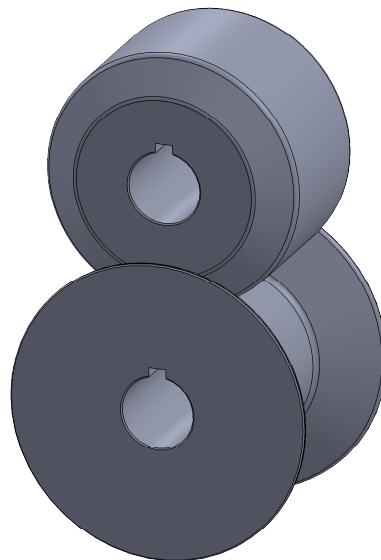
COUPE D-D  
ECHELLE 1 : 3



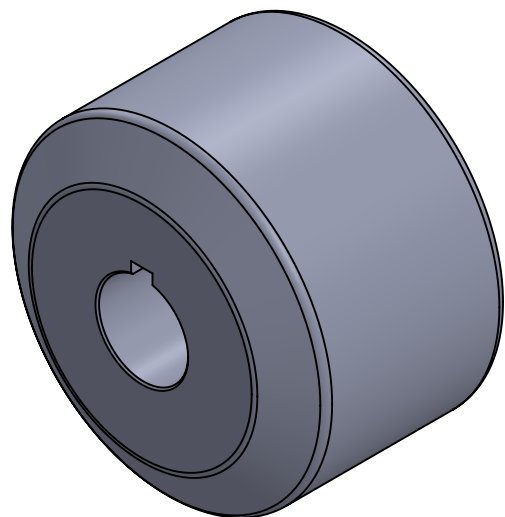
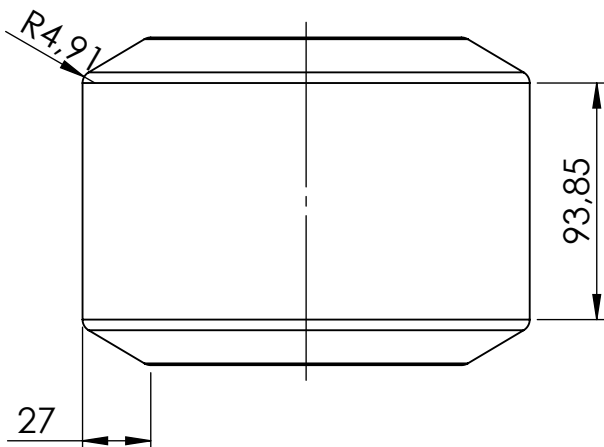
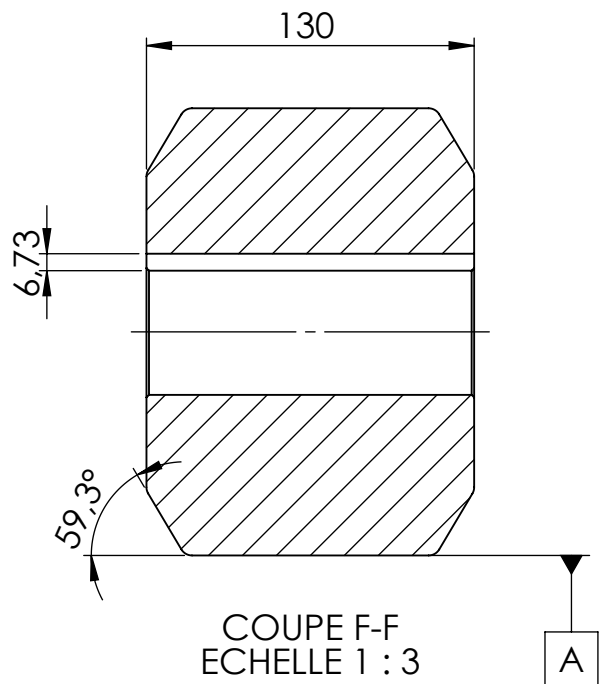
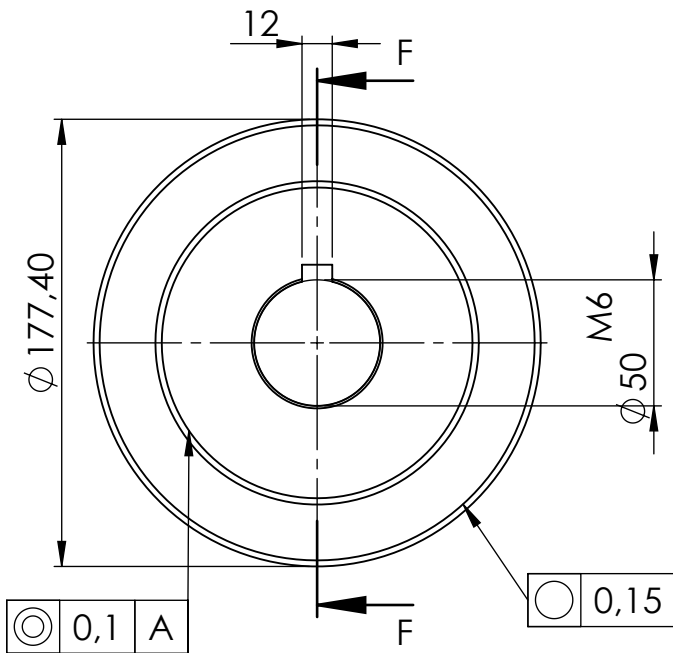
1	S03-00	STATION 03	Tous les rayons non monsionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<i>Echelle :1/3</i>		GALETS PROFILE C		DATE: 12/09/2022
		SAADA HANICHE		



COUPE H-H  
ECHELLE 1 : 3

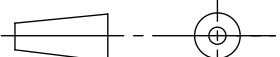




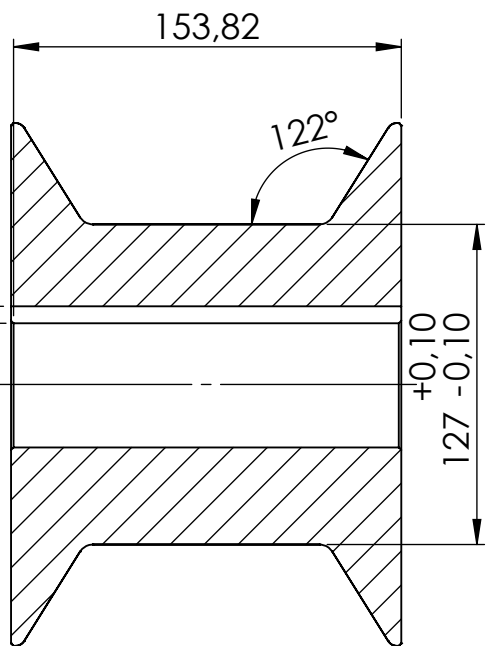
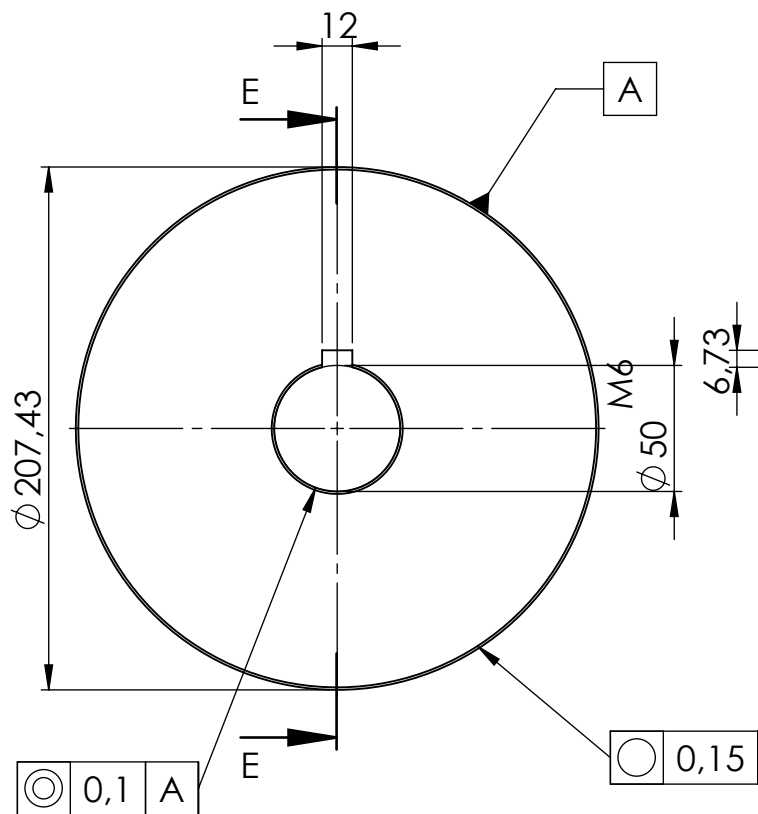
1	S04-00	STATION 04	Tous les rayons non monsionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<i>Echelle :1/3</i>		GALETS PROFILE C		DATE: 12/09/2022
		SAADA HANICHE		



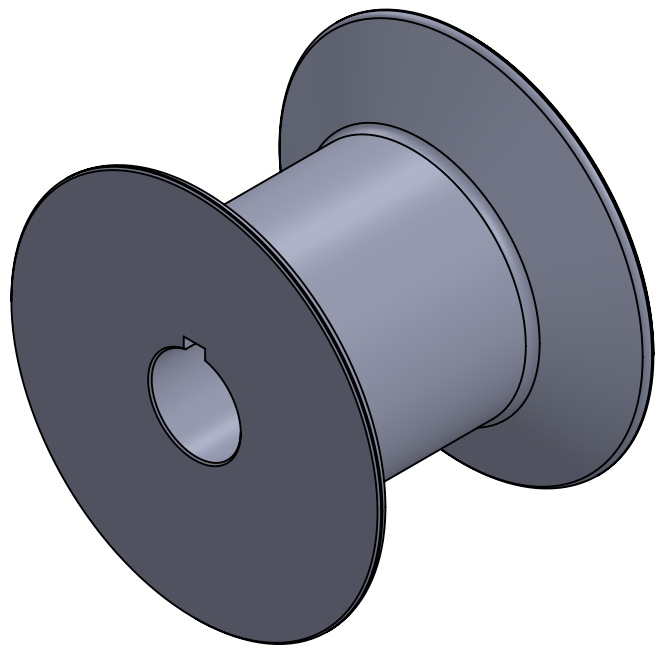
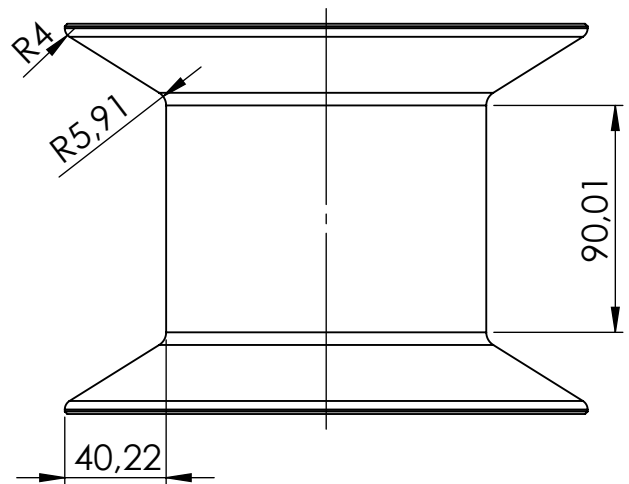
**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

1	G-sup-S04	STATION 04	Tous les rayons non mentionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		 



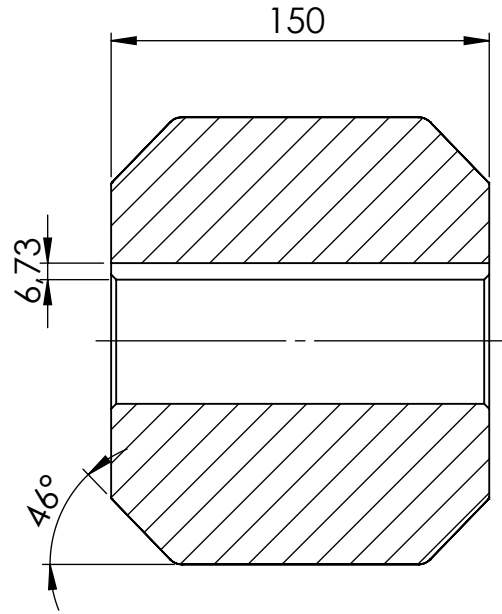
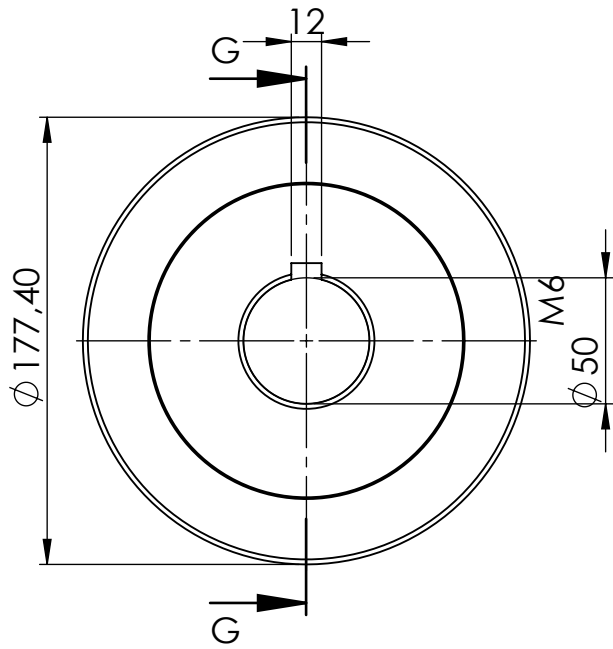
COUPE E-E  
ECHELLE 1 : 3



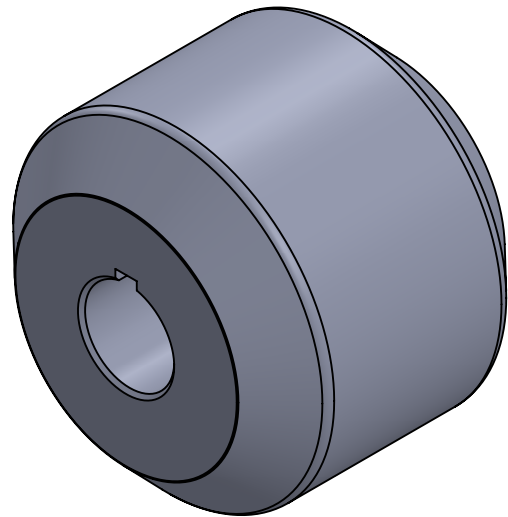
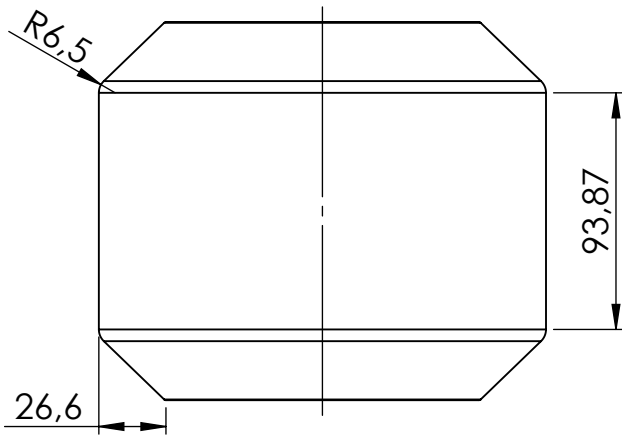
**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

1	<b>G-INF</b>	<b>STATION 04</b>	tous les rayons non mentionnés =R1	<b>Z200C12</b>
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		

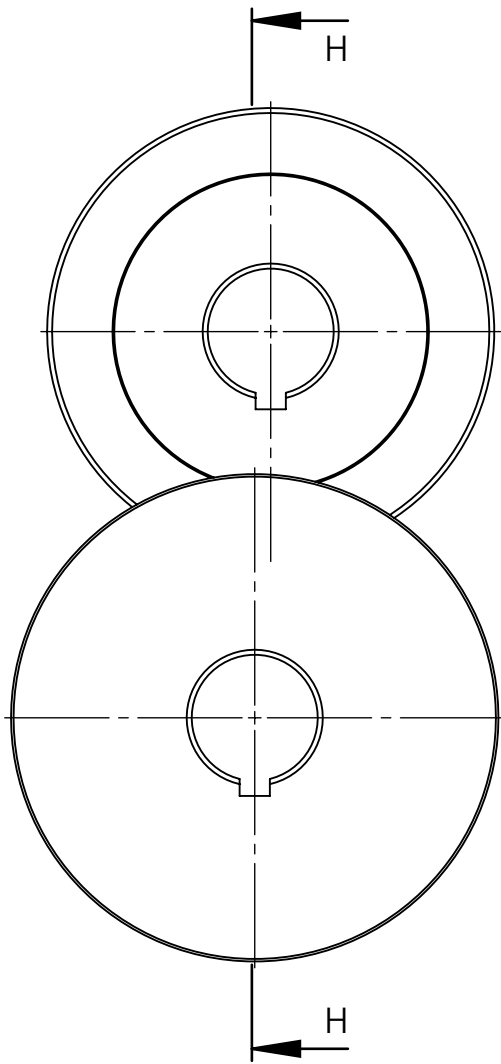


COUPE G-G  
ECHELLE 1 : 3

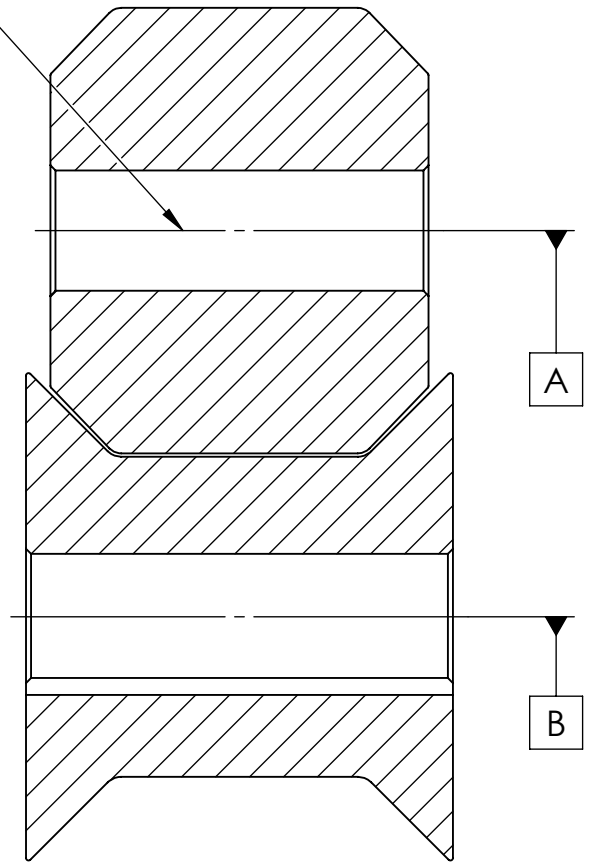


Remarque:  
-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à +ou- 0.4

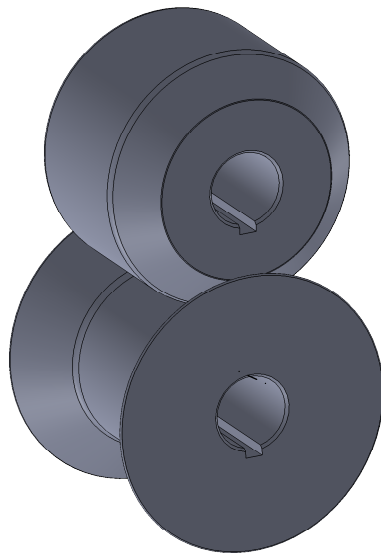
1	G-sup-S05	STATION 05	Tous les rayons non mentionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		



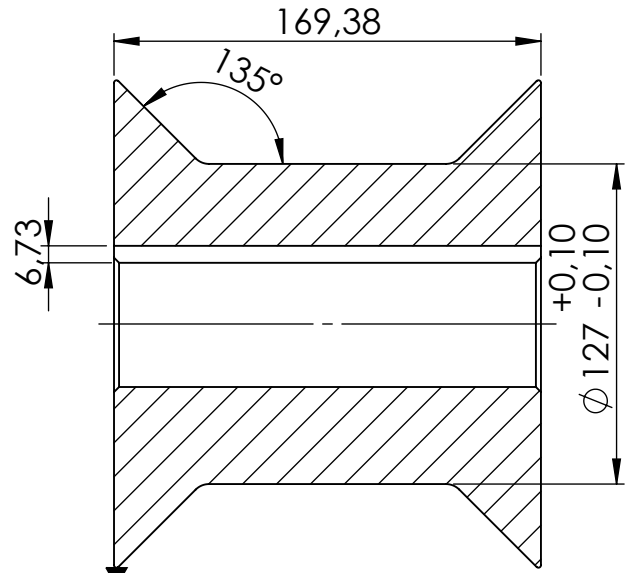
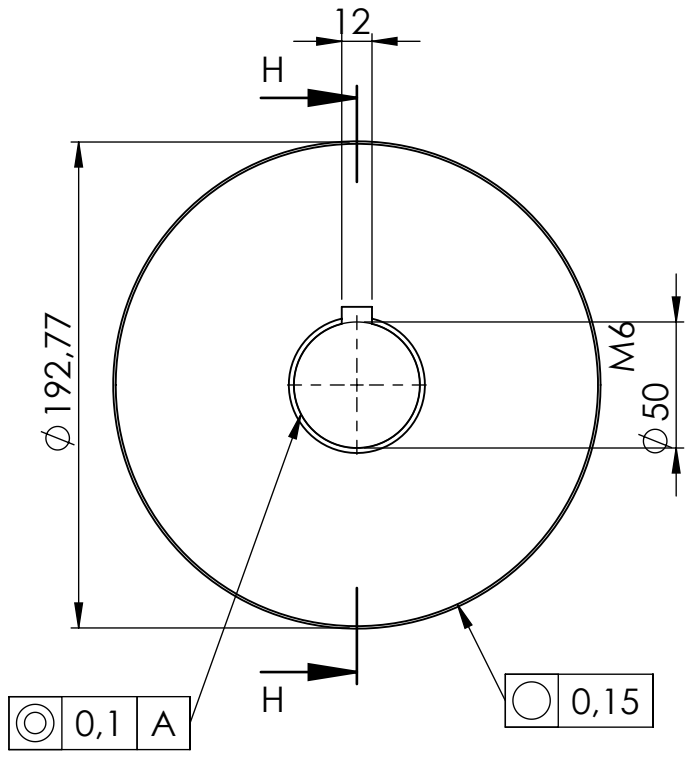
// 0,2 B



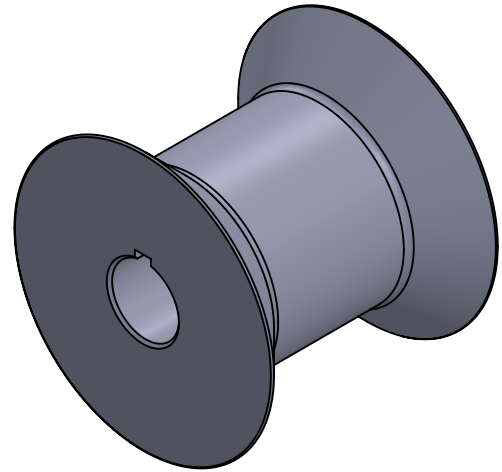
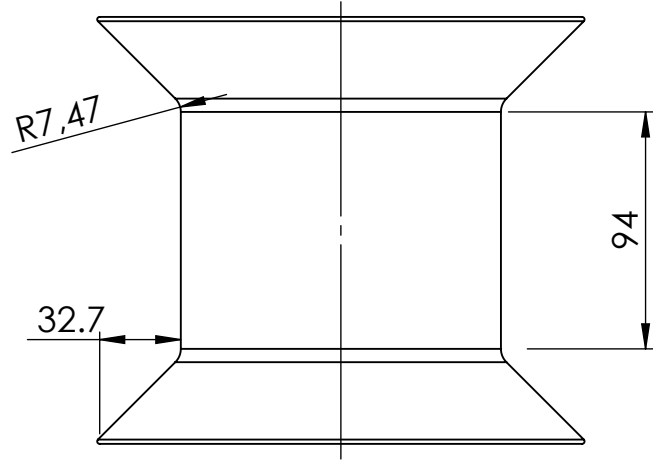
COUPE H-H  
ECHELLE 1 : 3



1	S05-00	STATION 05	tous les rayons non monsionné =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
Echelle :1/3		GALETS PROFILE C		DATE: 12/09/2022
		SAADA HANICHE		



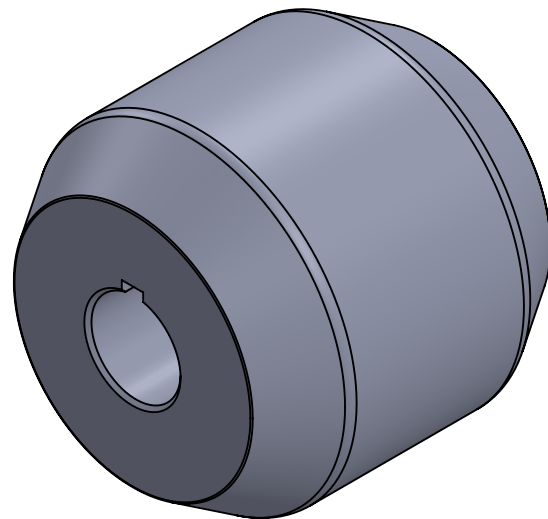
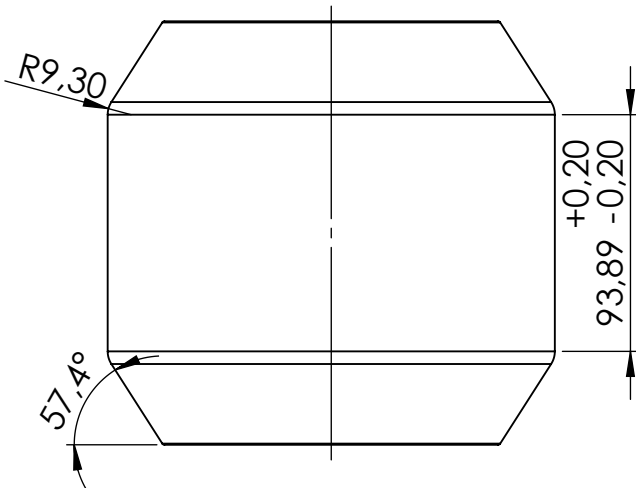
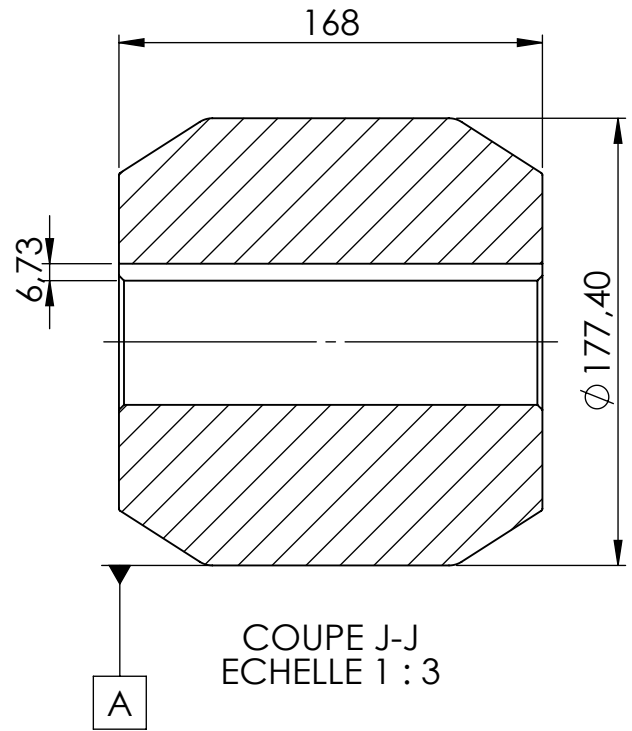
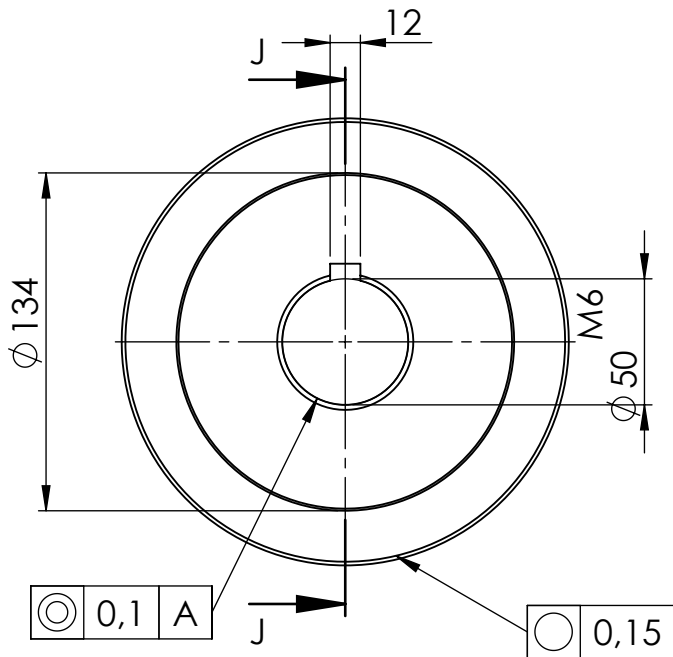
COUPE H-H  
ECHELLE 1 : 3



**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

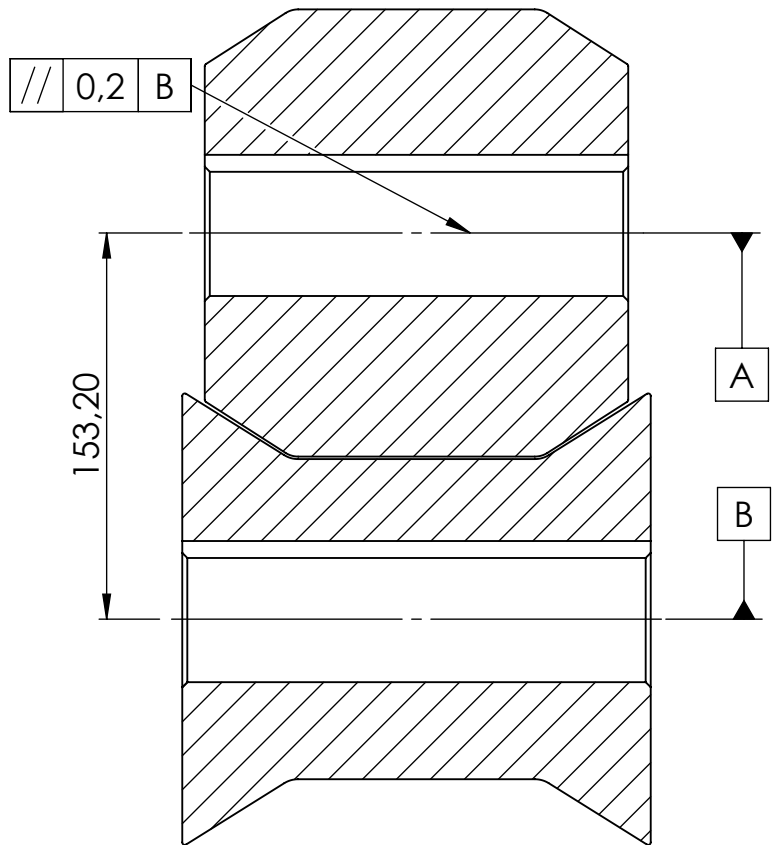
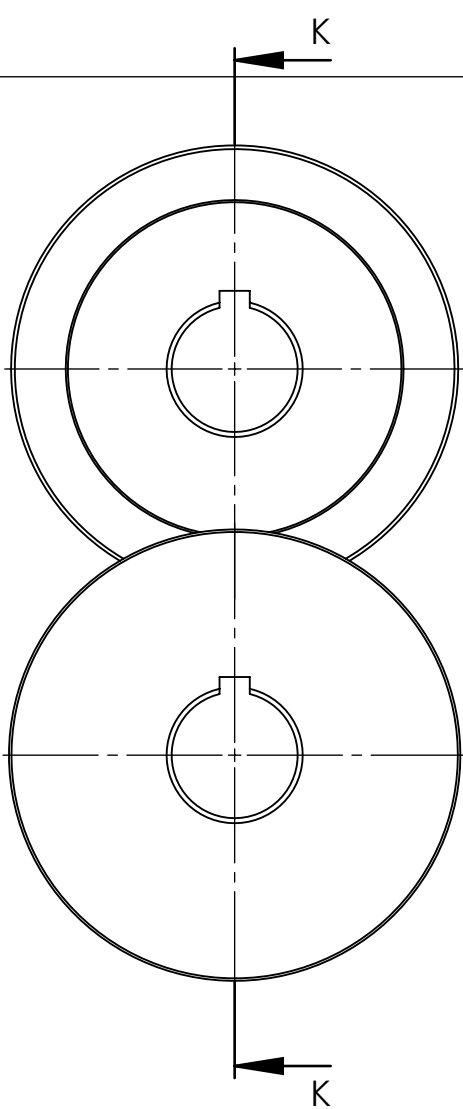
1	G-INF-S05	STATION 05	Tous les rayons non mentionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		



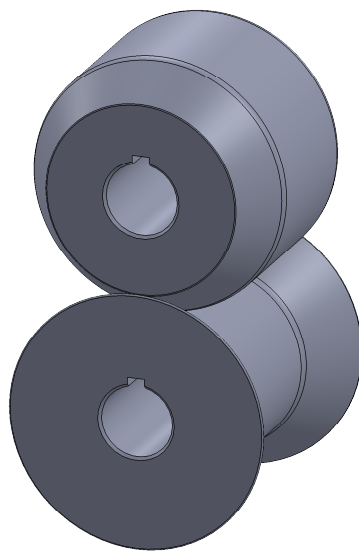
**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

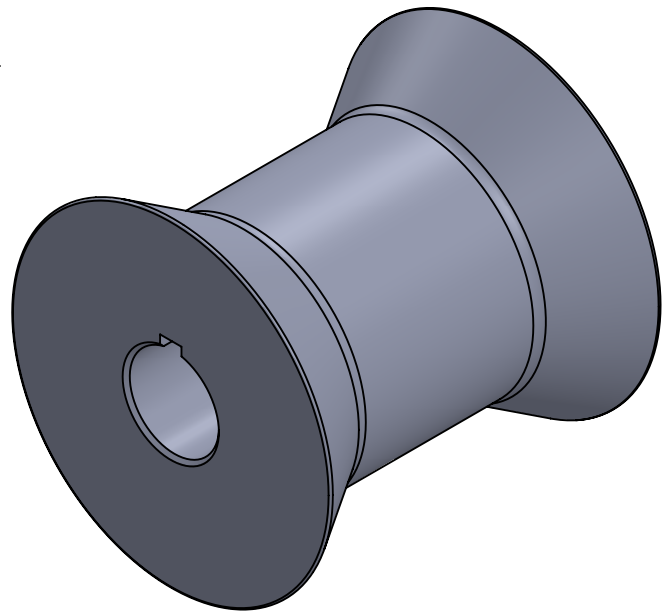
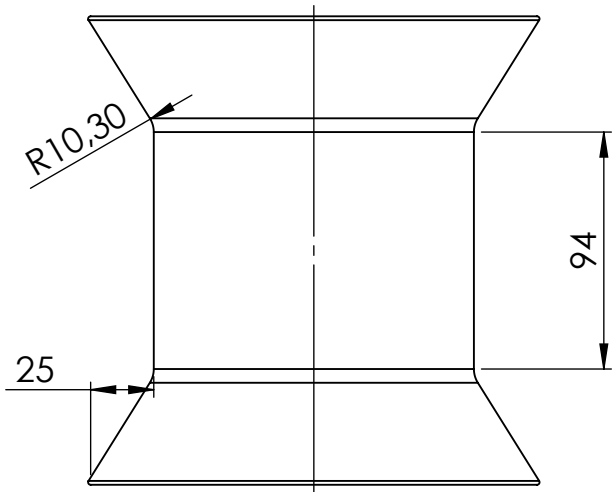
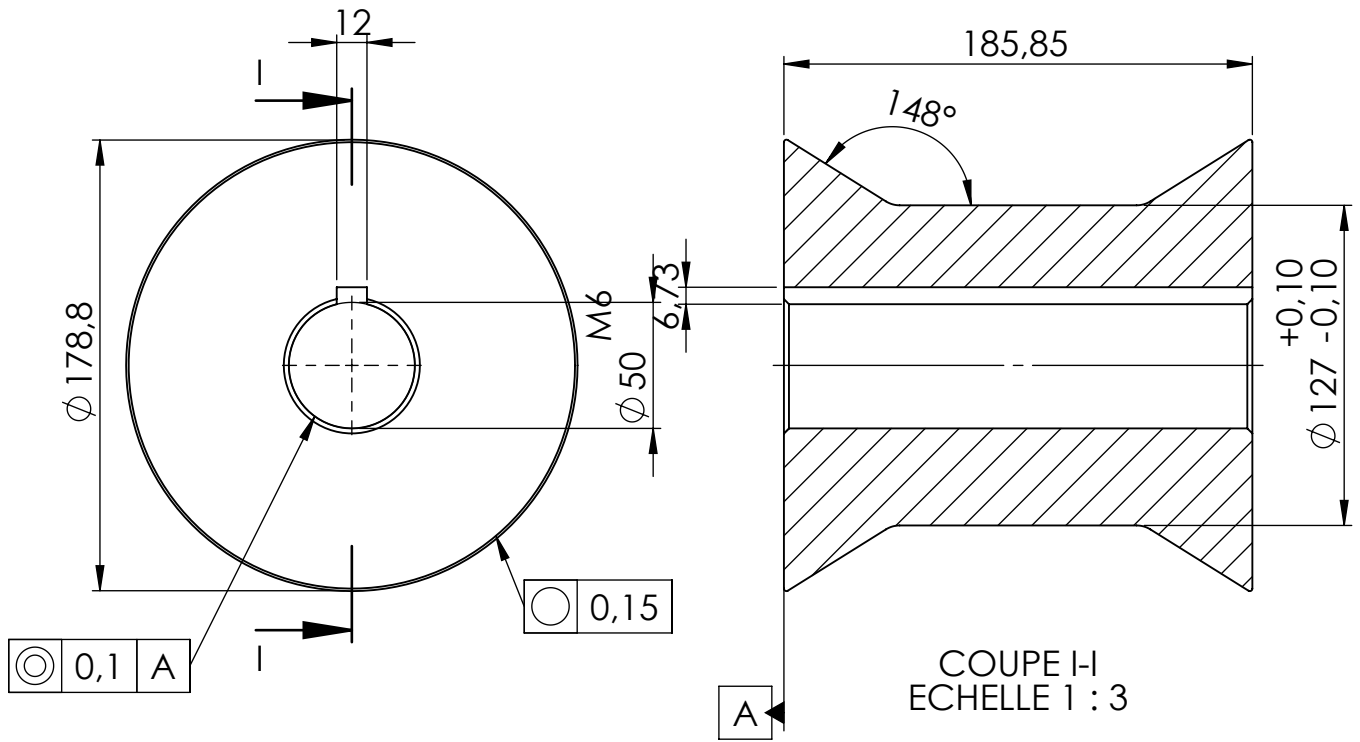
1	G-SUP-S06	STATION 06	Tous les rayons non mentionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle : 1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		



COUPE K-K  
ECHELLE 1 : 3



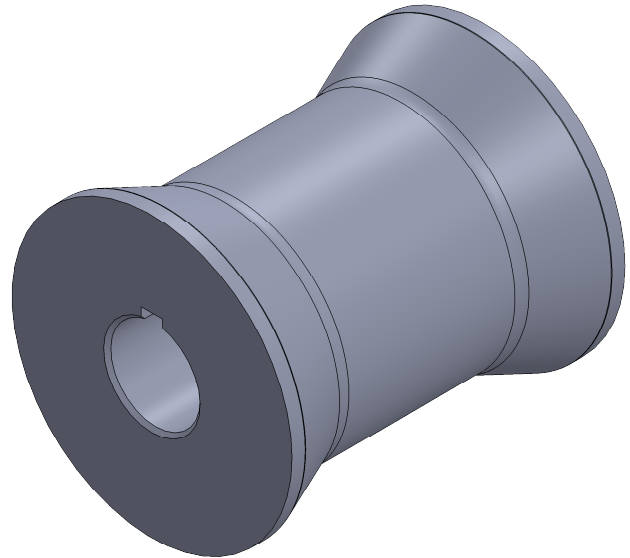
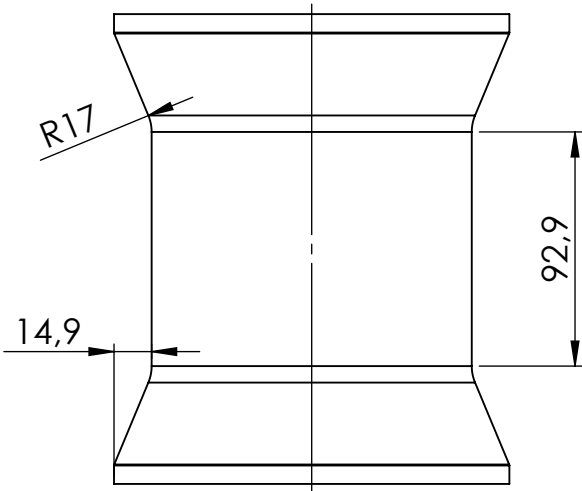
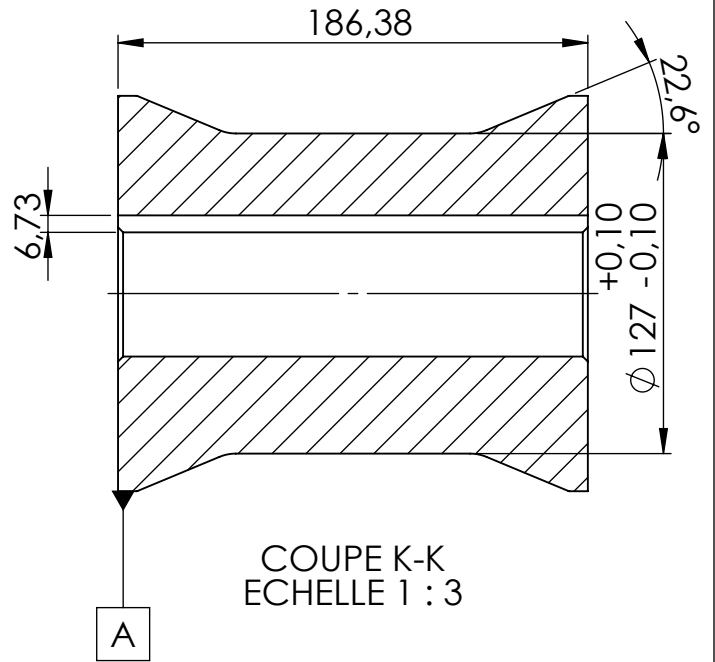
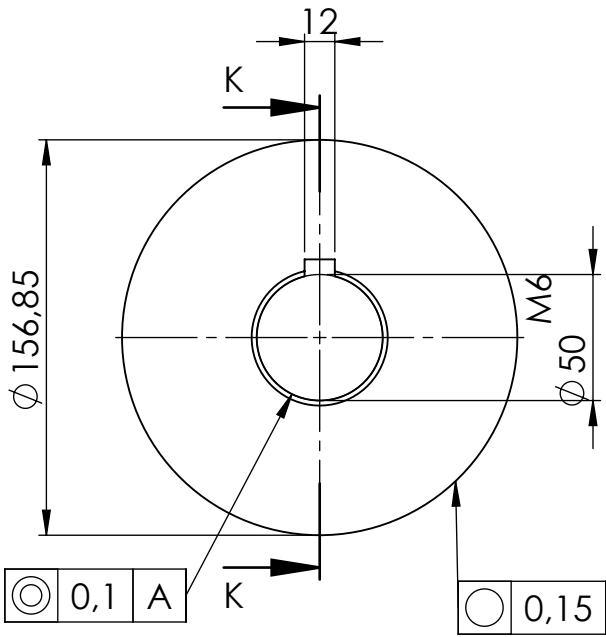
1	S06-00	STATION 06	tous les rayons non monsionné =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		



**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

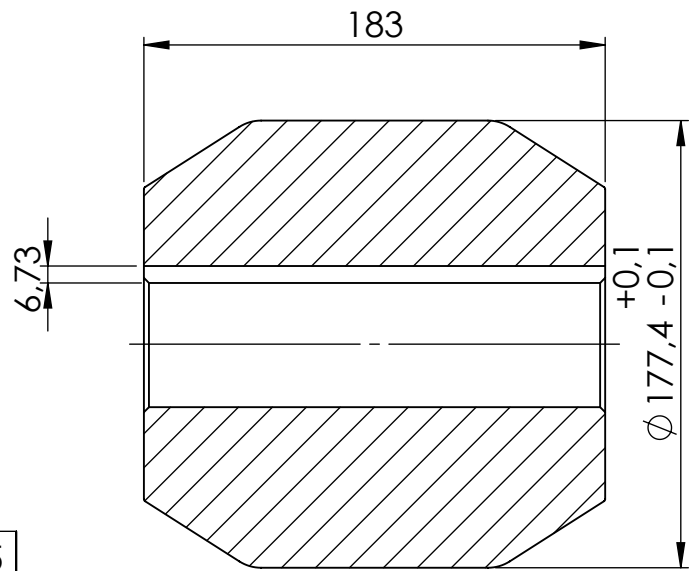
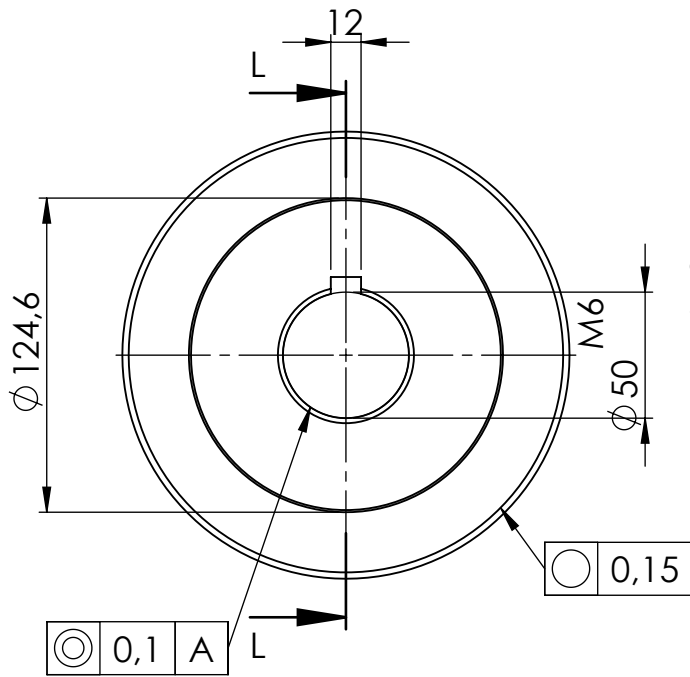
1	G-INF-06	STATION 06	tous les rayons non mentionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		



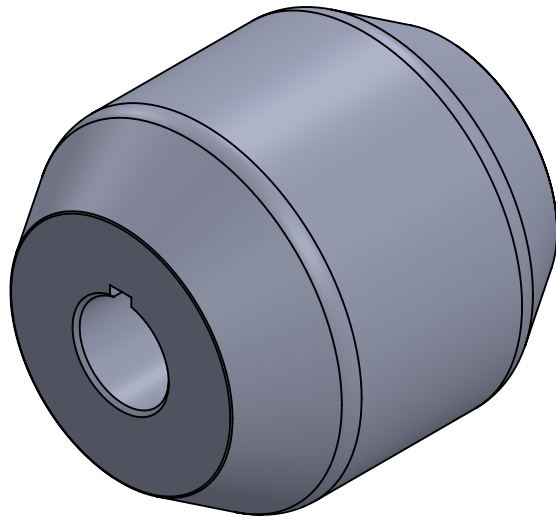
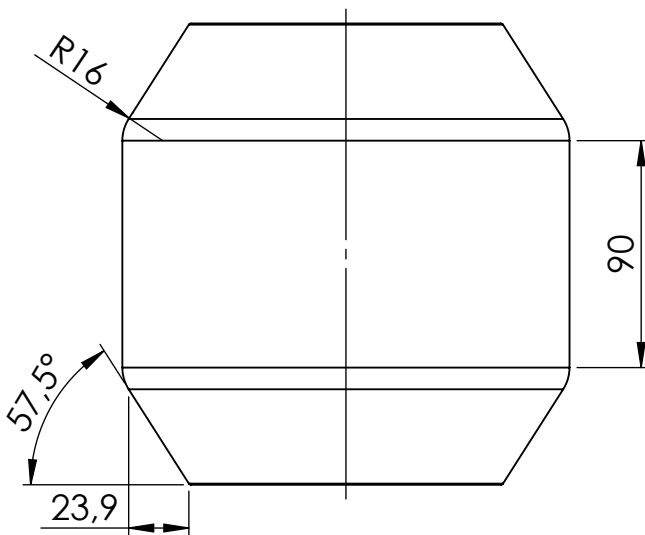
**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

1	G-INF-S07	STATION 07	Tous les rayons non mentionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		



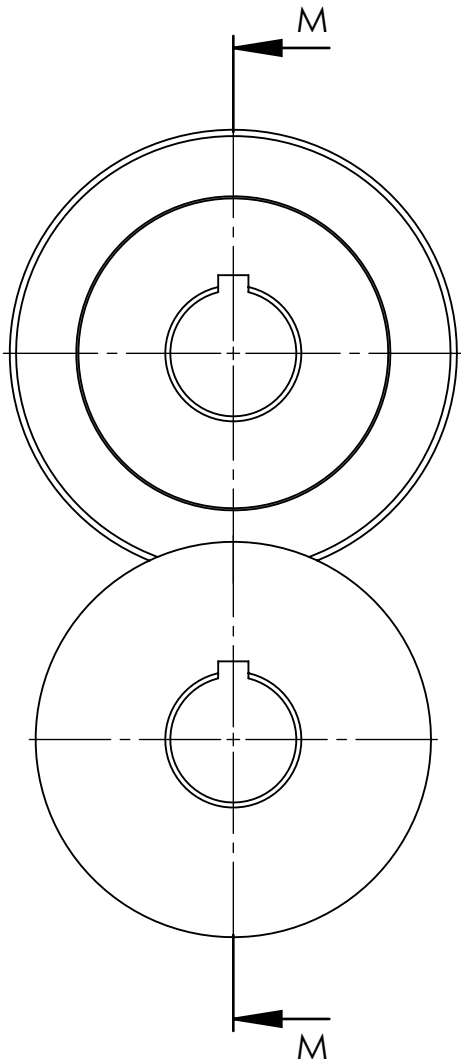
COUPE L-L  
ECHELLE 1 : 3



**Remarque:**

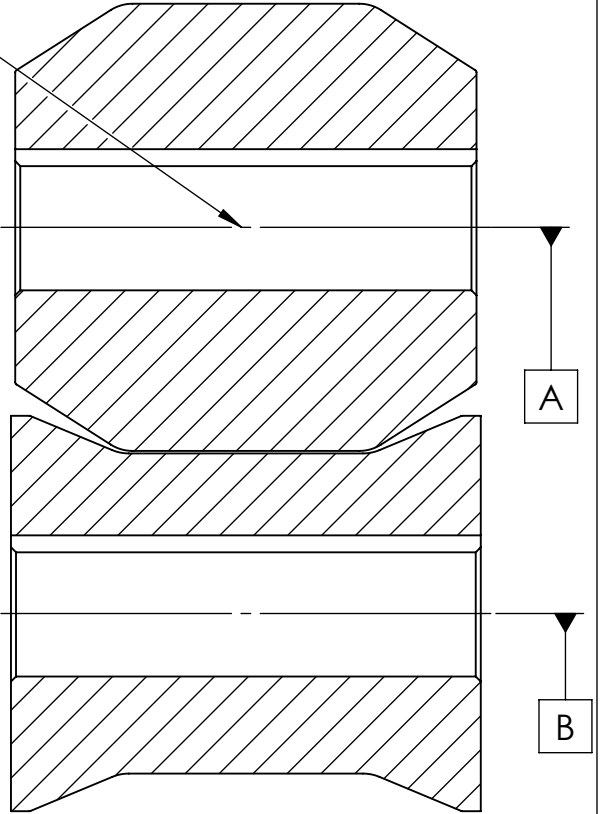
-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

1	G-SUP-S07	STATION 07	Tous les rayons non mentionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		

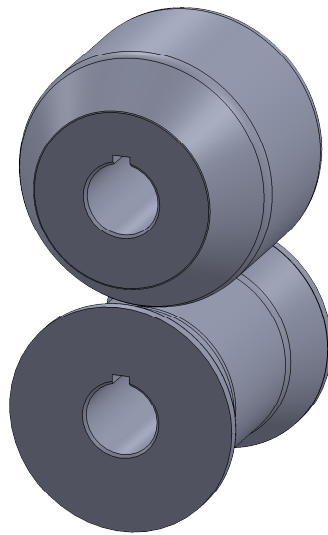


/// 0,2 B

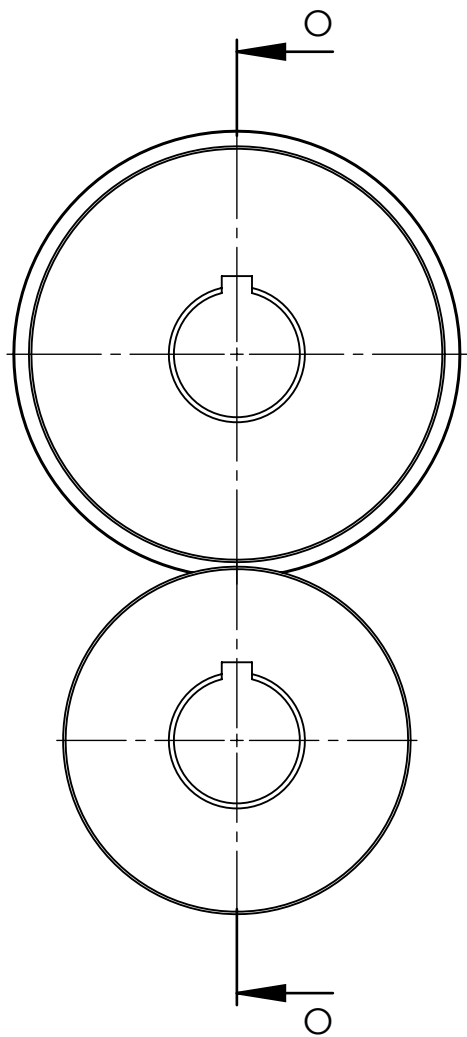
153,20



COUPE M-M  
ECHELLE 1 : 3

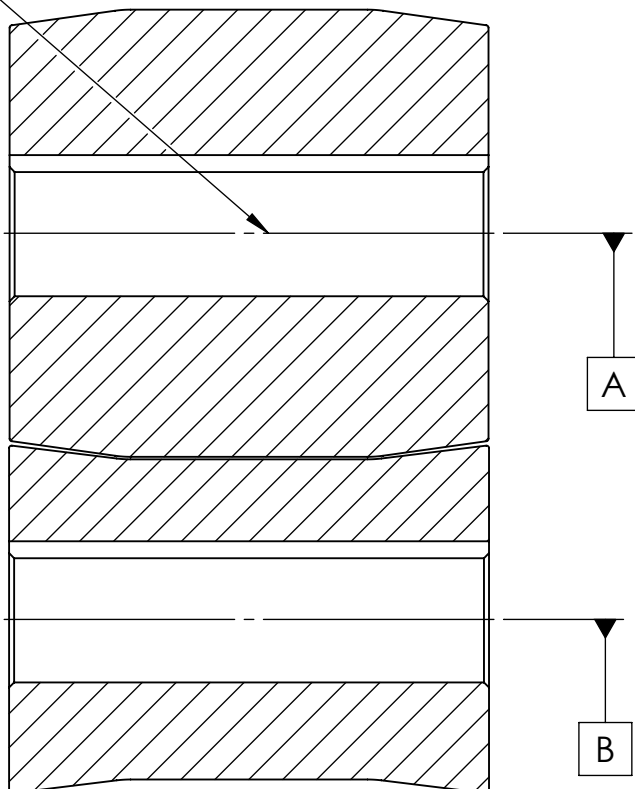


1	S07-00	STATION 07	Tous les rayons non monsionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		

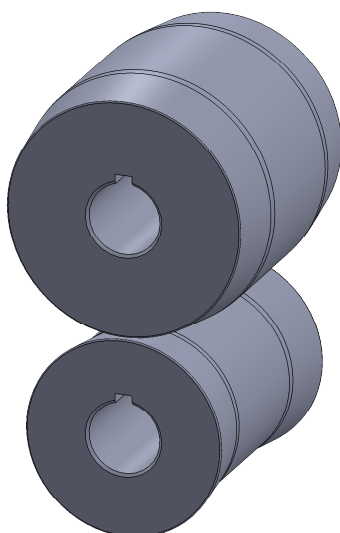


// 0,2 B

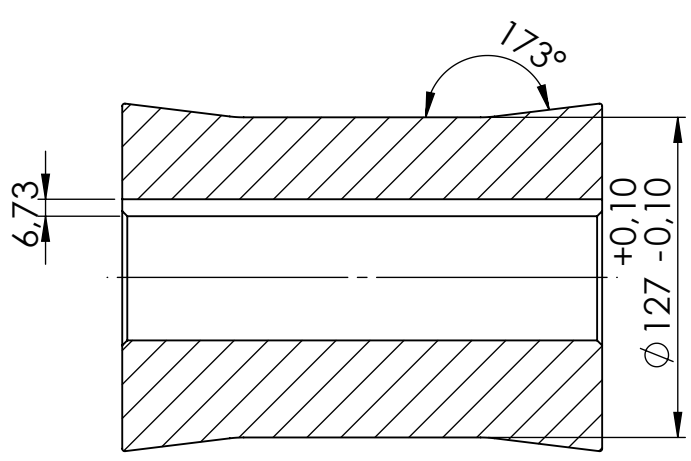
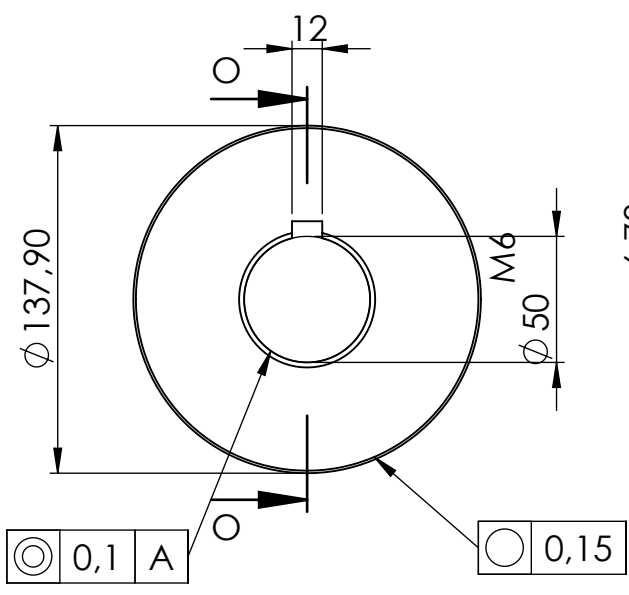
153,20



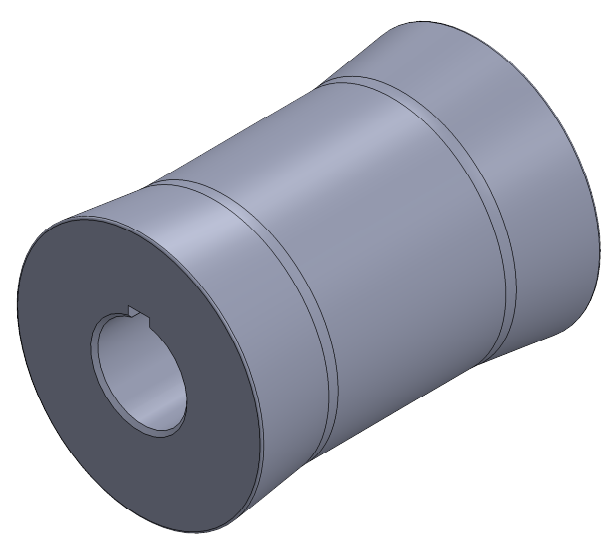
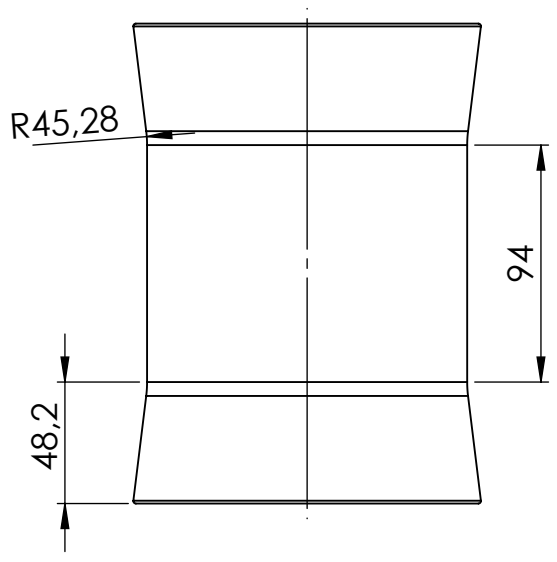
COUPE O-O  
ECHELLE 1 : 3



1	S08-00	STATION 08	Tous les rayons non monsionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		



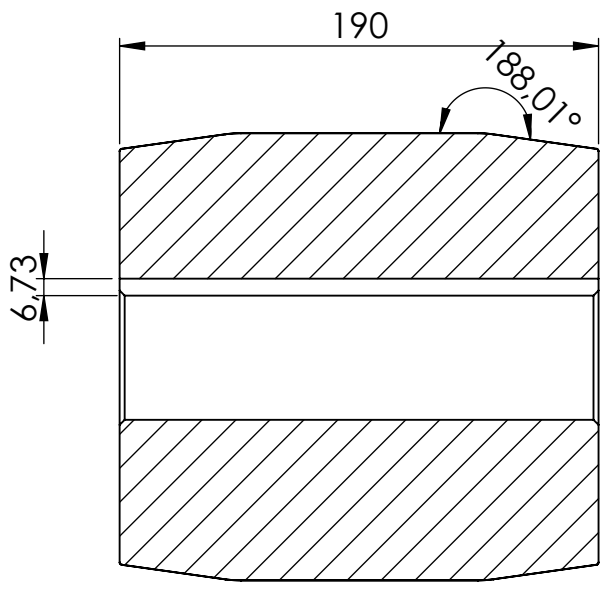
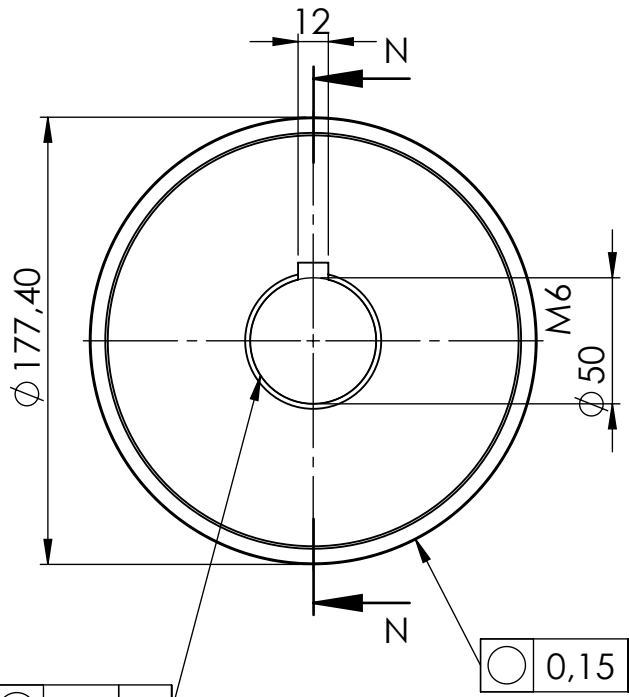
COUPE O-O  
ECHELLE 1 : 3



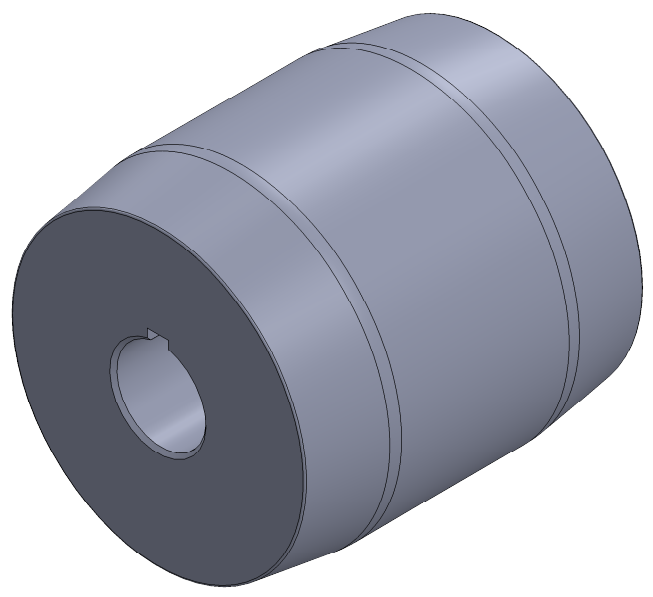
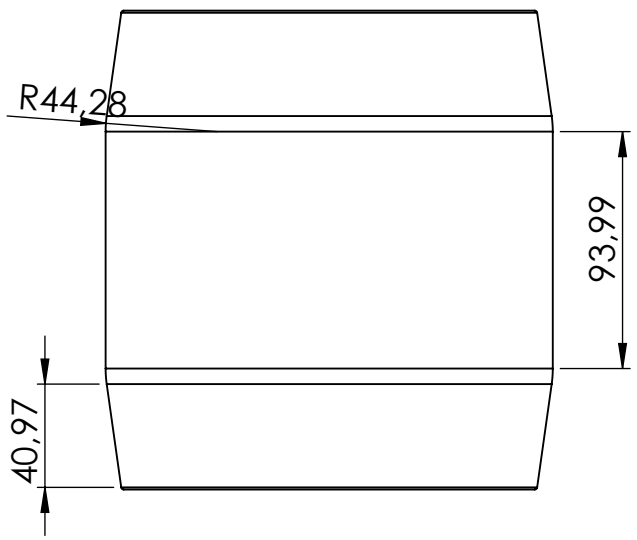
**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

1	G-INF-S08	STATION 08	Tous les rayons non monsiionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		

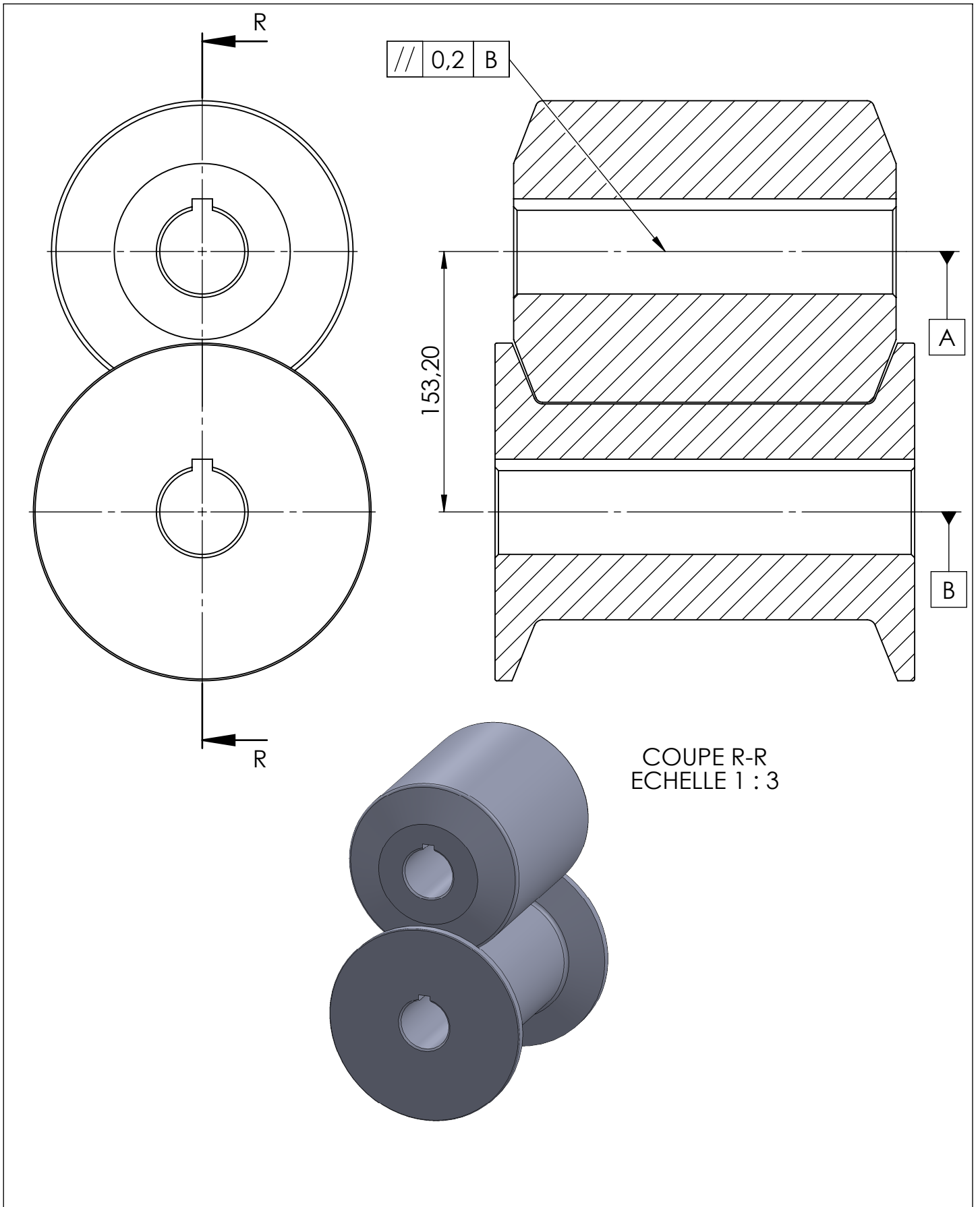


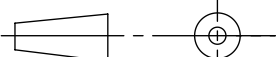


COUPE N-N  
ECHELLE 1 : 3

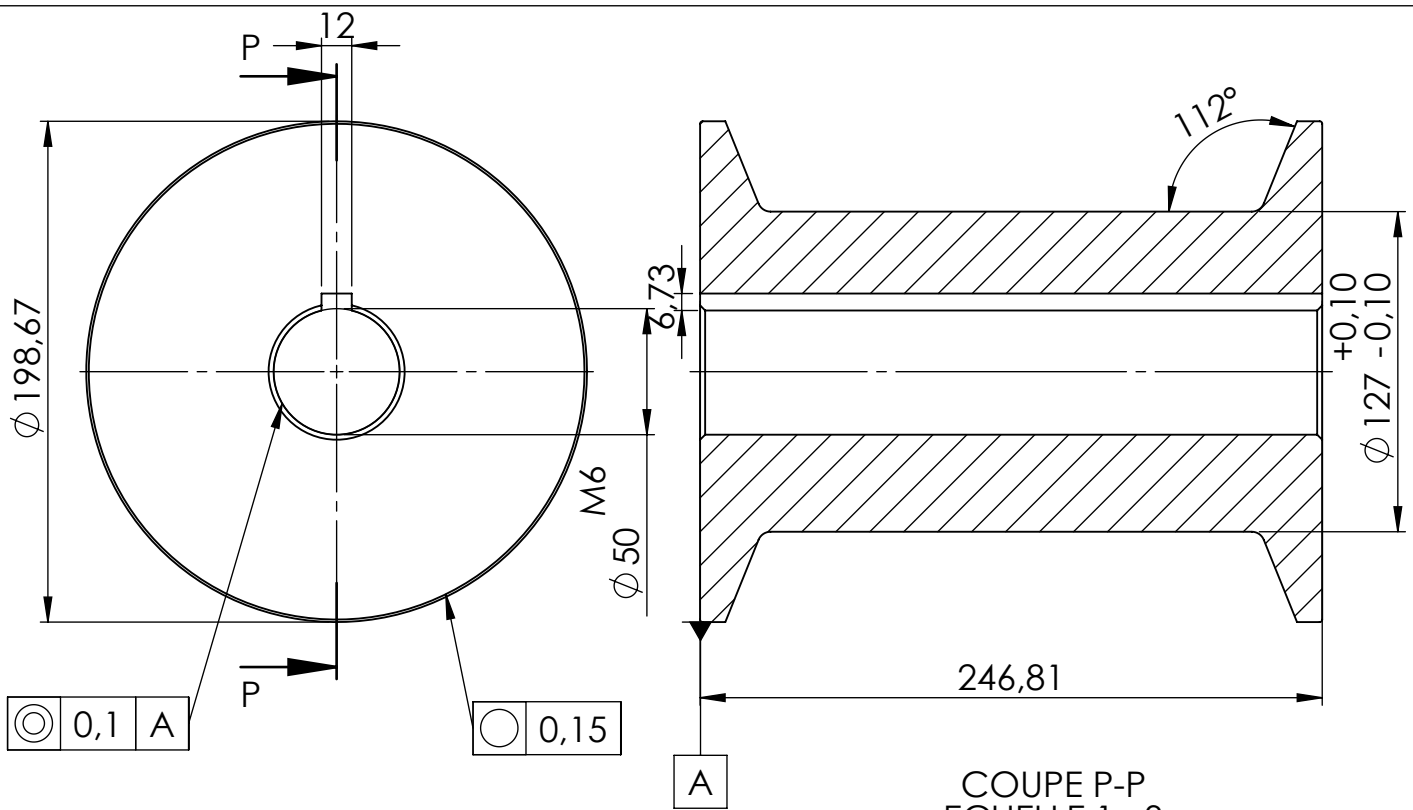


**Remarque:**  
-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

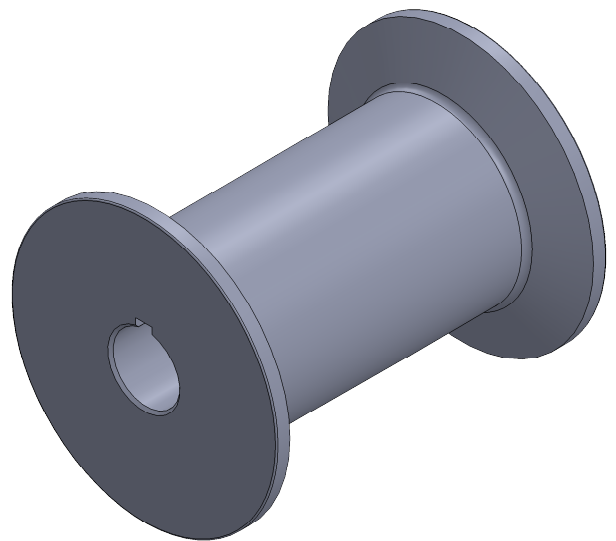
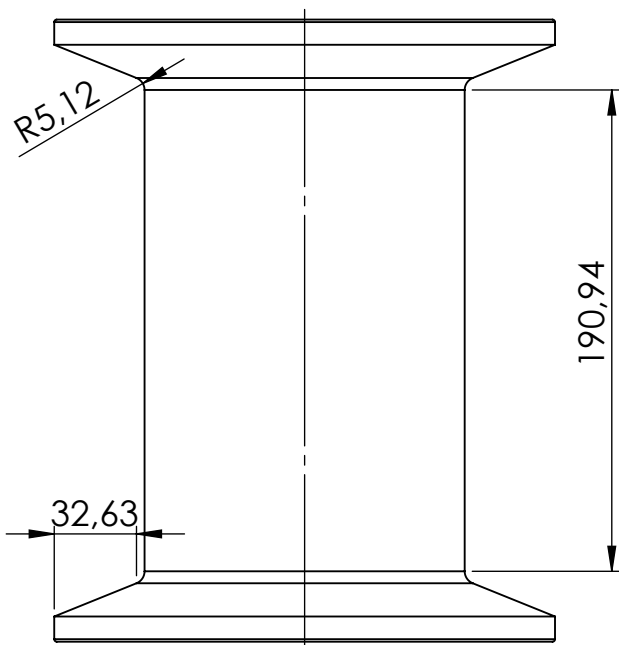
1	G-SUP-S08	STATION 08	Tous les rayons non monsionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		



1	S09-00	STATION 09	Tous les rayons non monsiionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
Echelle :1/3		GALETS PROFILE C		DATE: 12/09/2022
		SAADA HANICHE		

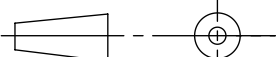




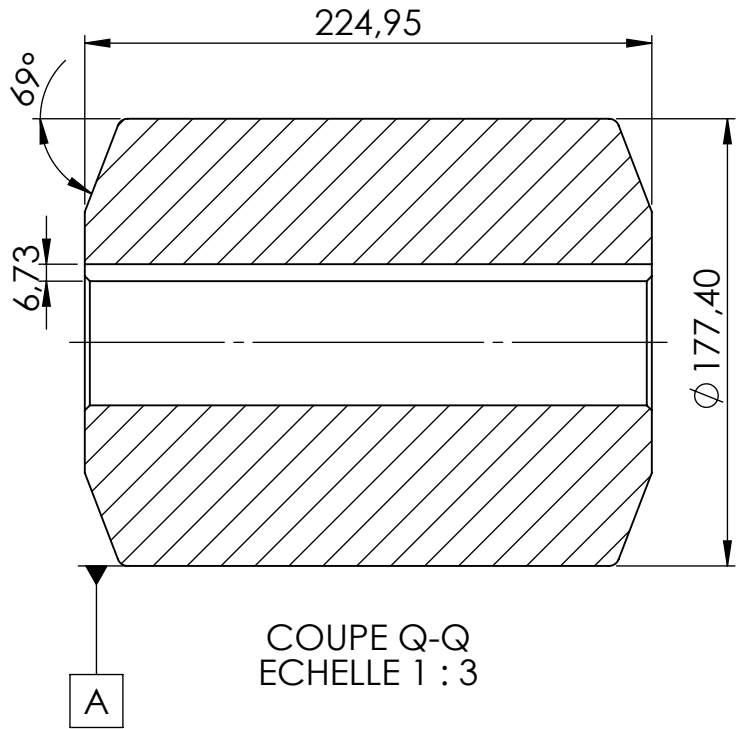
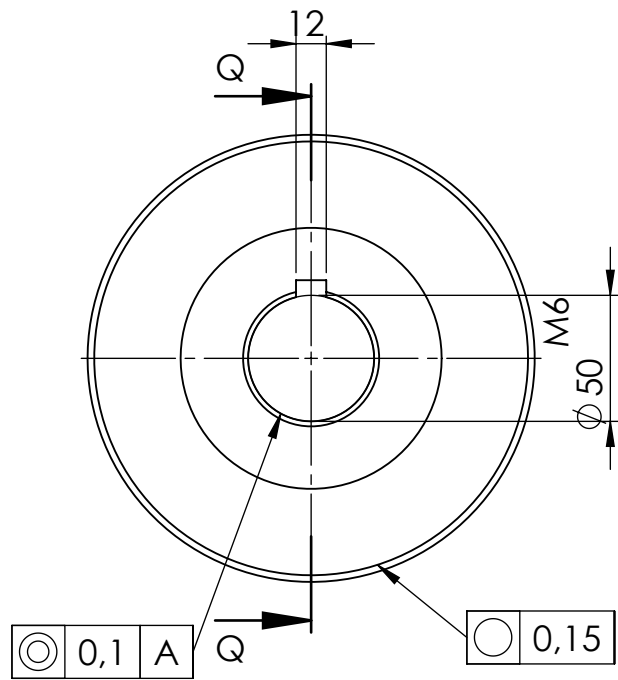
COUPE P-P  
ECHELLE 1 : 3



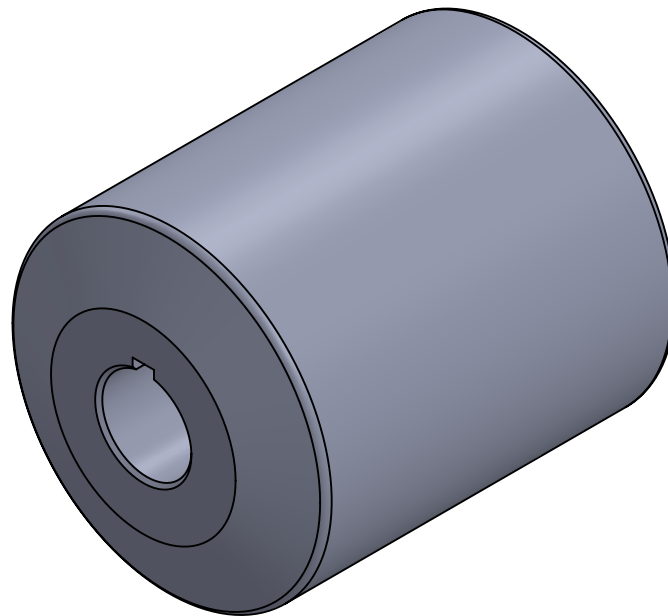
**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à  $\pm 0,4$

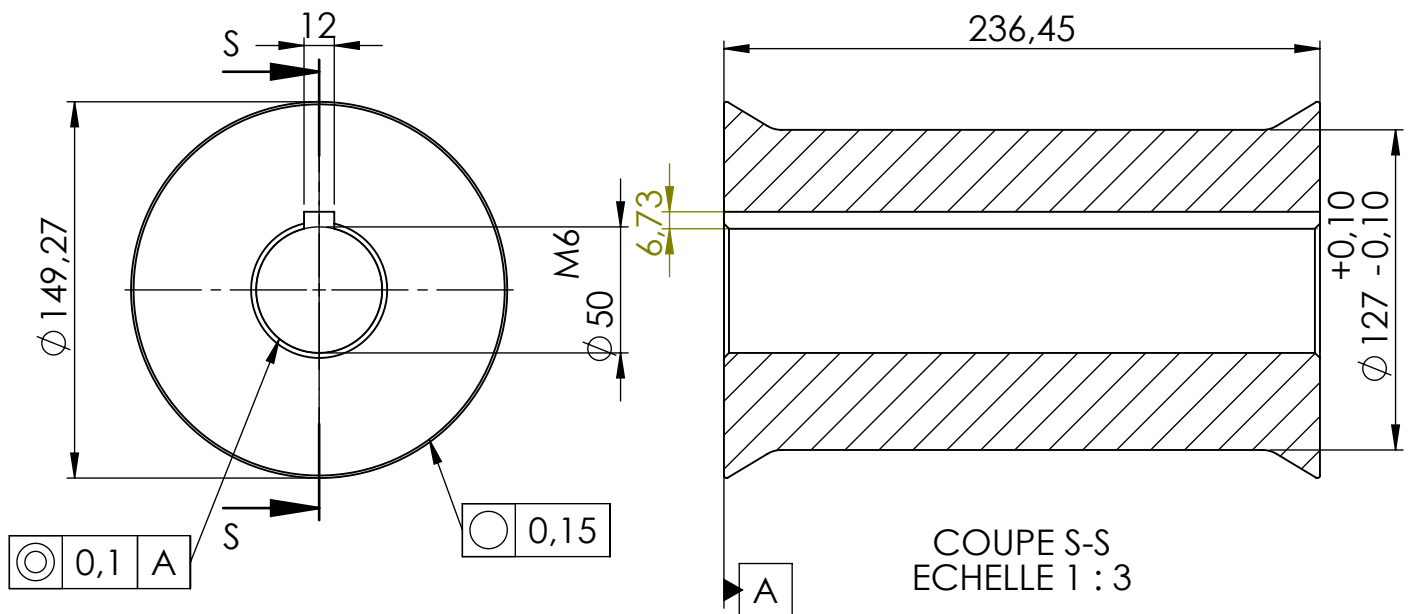
1	G-INF-S09	STATION 09	Tous les rayons non mentionnés = R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
Echelle : 1/3		GALETS PROFILE C		DATE: 12/09/2022
		SAADA HANICHE		



COUPE Q-Q  
ECHELLE 1 : 3



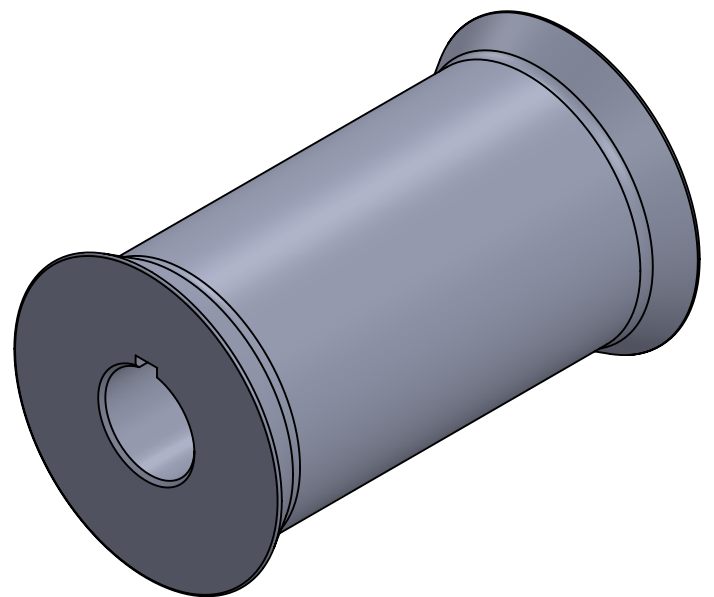
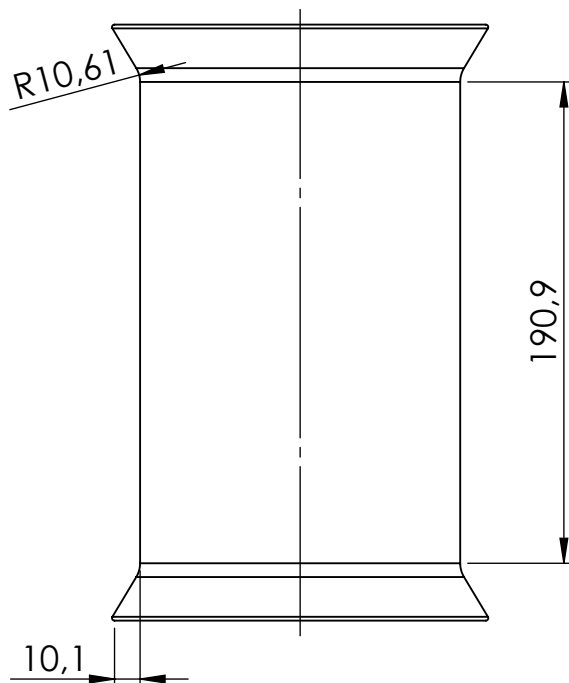
1	G-SUP-S09	STATION 09	Tous les rayons non monsionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
Echelle :1/3		GALETS PROFILE C		DATE: 12/09/2022
		SAADA HANICHE		



0,1 A

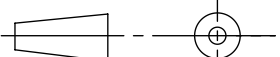


0,15

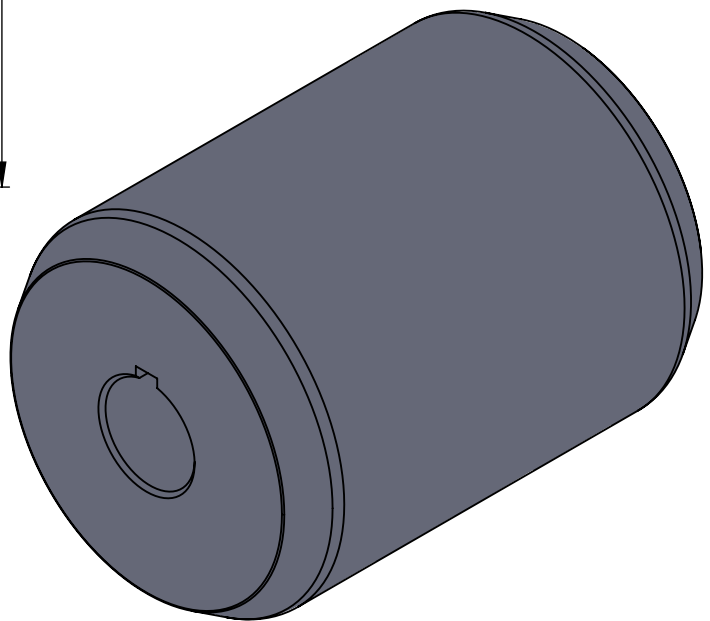
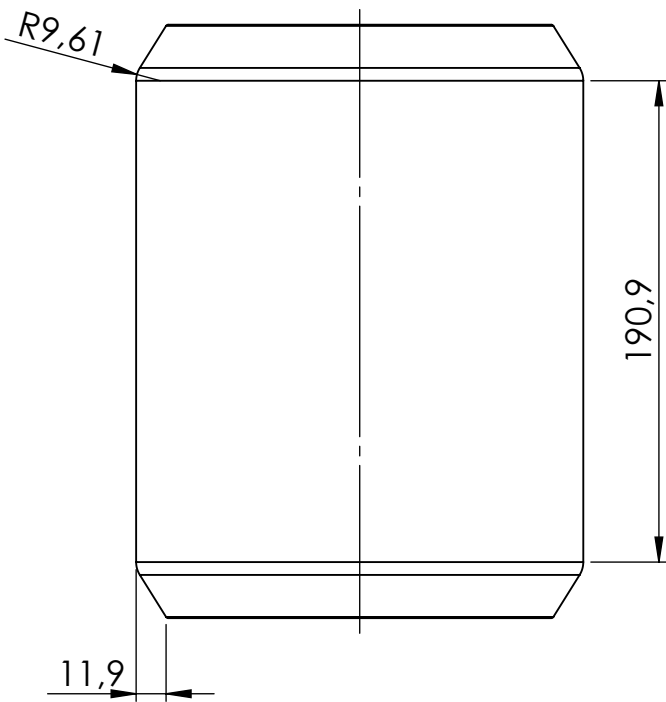
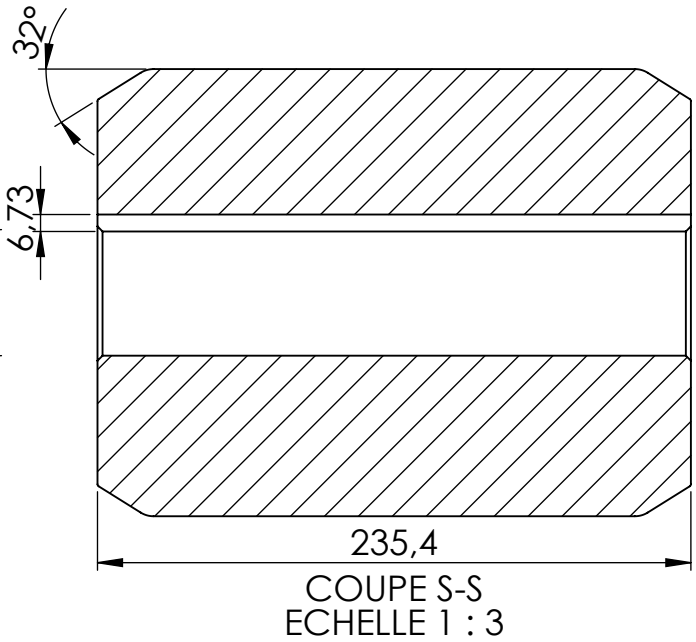
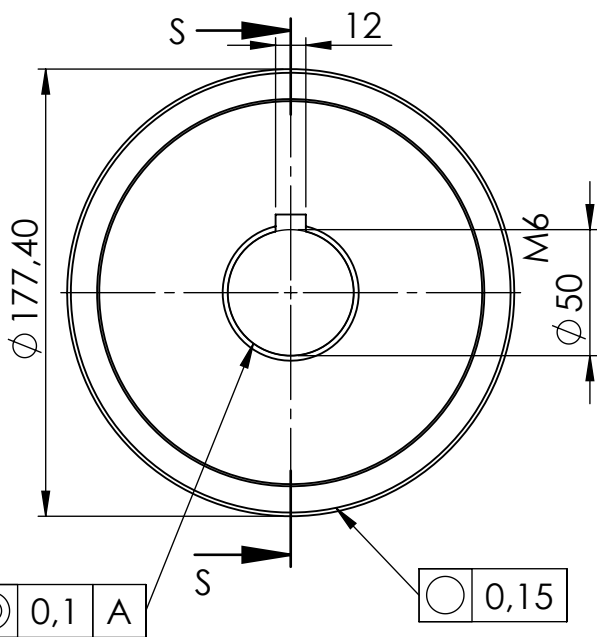
COUPE S-S  
ECHELLE 1 : 3



**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

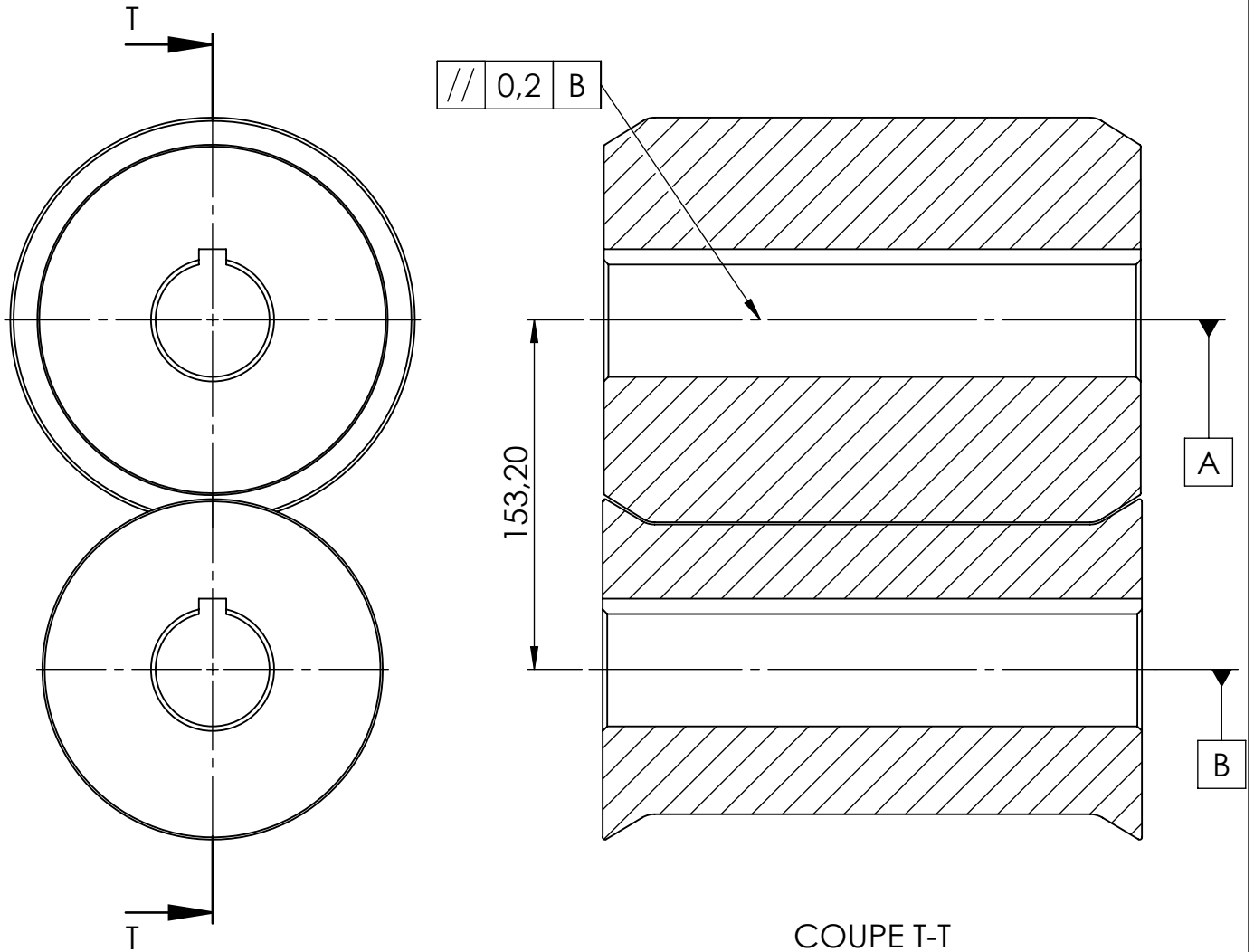
1	G-INF-S10	STATION 10	Tous les rayons non monsiionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		 



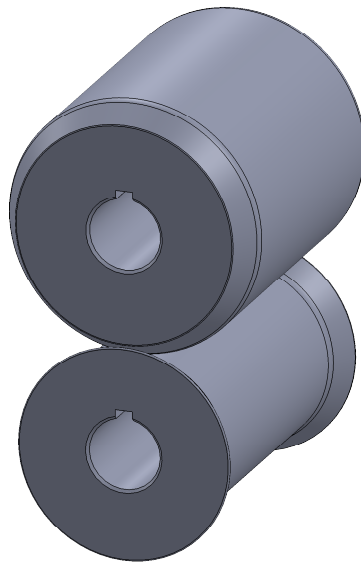
**Remarque:**

-les cotes qui n'ont pas de tolérances indiqués sont à **+ou- 0.4**

1	G-SUP-S10	STATION 10	Tous les rayons non mentionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<b>Echelle :1/3</b>		<b>GALETS PROFILE C</b>		DATE: 12/09/2022
		<b>SAADA HANICHE</b>		



COUPE T-T  
ECHELLE 1 : 3



1	S10-00	STATION 10	Tous les rayons non monsiionnés =R1	Z200C12
NBR	REP	DESIGNATION	OBSERVATION	MATIERE
<i>Echelle :1/3</i>		GALETS PROFILE C		DATE: 12/09/2022
		SAADA HANICHE		