

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION  
DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE



## Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication Mécanique et productive

### Thème :

Étude et conception d'un outil à bande  
pour réaliser un support moteur tourne  
brouche en tôle galvanisé d'une cuisinière  
ventilée ENIEM

*Encadré par :*

**Mr HAMOUR**

*Réalisé par :*

**BOUMEKLA Rabah  
NEBRI Yacine**

*Proposé par :*

**ENIEM** sous la direction de  
**Mr M.CHALAL**

**Promotion 2023/2024**

## *Remerciements*

*Nous remercions tout d'abord le bon Dieu qui nous a donné la foi et le courage pour accomplir ce projet.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre gratitude à notre promoteur Mr HAMOUR pour ses conseils, ses orientations ainsi que sa disponibilité tout au long de notre travail.*

- *Nous exprimons notre reconnaissance à tout le personnel de L'unité cuisson (UCuis) de l'ENIEM Oued Aissi, pour nous avoir dirigé et orienté pendant toute la durée de notre stage au sein de l'ENIEM.*

*Nos plus vifs remerciements vont aussi à tous les membres de jury pour avoir accepté d'honorer par leur jugement notre travail. Sans oublier nos parents qui ont sacrifié jusqu'aujourd'hui, aussi leurs encouragements incessants tout le long de notre parcours.*

*Enfin, nos remerciements vont à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.*

## ***Dédicaces***

***Il m'est agréable de saisir cette occasion pour***

***Dédier ce travail à toute ma famille:***

***Mes parents.***

***Mon frère Missipsa et mes sœurs.***

***Tous mes amis(es) et tous ceux qui m'ont aidé de près ou***

***de Loin.***

***YACINE***

*Je tiens très respectueusement à  
dédier ce modeste travail:*

*A mes très chers parents qui sont la source  
de mon éducation, mon savoir et mes  
principes.*

*A ma grand-mère, mes frères pour leur  
soutien.*

*A tous les gens que j'aime et dont je n'ai  
pas cité les noms.*

**RABAH**

## Table des matières

TABLE DE FIGURES .....	- 1 -
Présentation d'entreprise.....	- 1 -
Introduction générale.....	- 1 -
Présentation de l'entreprise .....	- 2 -
Présentation de l'entreprise .....	- 2 -
1.1 Définition .....	- 2 -
1.2 Mission et Objectifs de l'ENIEM .....	- 3 -
1.2.1 Mission de l'ENIEM .....	- 3 -
1.2.2 Objectif de l'ENIEM .....	- 3 -
1.2 Organisation générale de l'entreprise.....	- 4 -
I.1 Introduction .....	- 5 -
I.2 Généralités sur les aciers .....	- 5 -
I.2.1 Définition.....	- 5 -
I.2.2- Microstructures des aciers .....	- 6 -
I.2.2.1- La structure cristalline.....	- 6 -
I.2.2.2 Les différentes phases du fer.....	- 6 -
I.3- Diagramme d'équilibre Fer-Carbone.....	- 8 -
I.3.1- La transformation de l'austénite.....	- 8 -
I.3.1.1- L'acier eutectoïde.....	- 8 -
I.3.1.2- L'acier hypoeutectoïde.....	- 9 -
I.3.1.3- L'acier hypereutectoïde .....	- 9 -
I.4- Les éléments d'addition.....	- 9 -
I.4.1- Utilisation du système fer-carbone dans l'industrie.....	- 10 -
I.5- Les différents types d'aciers .....	- 10 -
I.5.1- Aciers ordinaires.....	- 10 -
I.5.1.1- Propriétés des aciers ordinaires.....	- 11 -

I.5.1.2- Désignation des aciers ordinaires.....	- 11 -
I.5.1.3- Domaines d'utilisation.....	- 12 -
I.5.2- Aciers pour traitements thermiques.....	- 12 -
I.5.2.1- Aciers non allies.....	- 12 -
I.5.2.2- Aciers allies.....	- 13 -
I.5.3 Aciers à outils .....	- 14 -
I.5.4 Aciers inoxydables.....	- 15 -
I.5.4.1 Les aciers ferritiques (magnétiques) .....	- 15 -
I.5.4.2 Les aciers martensitiques (magnétiques).....	- 15 -
I.5.4.3 Les aciers austénitiques (amagnétiques) .....	- 16 -
I.5.5 Acier galvanisé .....	- 16 -
I.6 acier destines a la galvanisation .....	- 16 -
I.7 Système Fer-zinc .....	- 17 -
I.8 Caractéristiques de l'acier galvanisé .....	- 18 -
I.8.1 Matériaux à traiter.....	- 18 -
I.8.2 Produit obtenu.....	- 19 -
I.8.3 Domaines d'application.....	- 19 -
I.8.4 Les avantages de l'utilisation de l'acier galvanisé.....	- 19 -
I.9 Conclusion .....	- 20 -
Chapitre 2 .....	- 21 -
II.1- Introduction .....	- 21 -
II.2- Procédés d'obtention des tôles.....	- 21 -
II.2.1- Le laminage.....	- 21 -
II.2.1.1- Le laminage à chaud.....	- 22 -
II.2.1.2- Le laminage à froid.....	- 23 -
II.2.1.3- Le laminage quarto .....	- 23 -
II.3- Emboutissage.....	- 24 -
II.3.1- Principe de l'emboutissage.....	- 24 -

II.3.2- Différents types d'emboutissages .....	- 25 -
II.3.2.1- Emboutissage à froid .....	- 25 -
II.3.2.2- Emboutissage à chaud .....	- 25 -
II.3.3- Effort d'emboutissage .....	- 25 -
II.3.3.1- Vitesse d'emboutissage .....	- 26 -
II.3.3.2- Effort sur le serre-flan $F_s$ .....	- 26 -
II.4- Découpage .....	- 27 -
II.4.1- Principe de l'opération.....	- 27 -
II.4.2- Différents types de découpage .....	- 28 -
II.4.2.1- Cisailage .....	- 28 -
II.4.2.2- Encochage.....	- 29 -
II.4.2.3- Crevage.....	- 29 -
II.4.2.4- Grignotage .....	- 29 -
II.4.2.5- Ajourage .....	- 30 -
II.4.2.6- Détourage .....	- 30 -
II.4.2.7- Soyage .....	- 30 -
II.4.2.8- Le poinçonnage .....	- 31 -
II.4.3- Les paramètres influençant sur l'opération de découpage .....	- 31 -
II.4.3.1- Jeu entre poinçon et matrice .....	- 31 -
II.4.3.2- Géométrie des éléments de découpe.....	- 31 -
II.4.3.3- Effort de découpage.....	- 32 -
II.4.3.4- Vitesse de découpe .....	- 32 -
II.4.4- Les paramètres liés au réglage de l'outil et de la presse .....	- 32 -
II.4.4.1- Le serre-flan.....	- 32 -
II.4.4.2- Pénétration du poinçon dans la matrice .....	- 32 -
II.4.4.3- Vitesse de découpage.....	- 32 -
II.4.5- L'effort appliqué lors du poinçonnage .....	- 33 -
II.4.5.1- Contrainte sur le poinçon.....	- 33 -

II.5.4.2- Resistance des poinçons au flambement.....	- 34 -
II.5 Le pliage .....	- 35 -
II.5.1 le rayon de pliage .....	- 35 -
II.5.2 L'effort du pliage .....	- 36 -
II.5.3 Différentes techniques de pliage .....	- 37 -
II.5.3.1 Pliage en frappe .....	- 37 -
II.5.3.2 Pliage en l'air .....	- 37 -
II.5.3.3 Pliage sur élastomère .....	- 37 -
II.5.4 Quelques exemples de travaux réalisés sur presse plieuse .....	- 38 -
II.5.5- Rayon minimal de pliage .....	- 39 -
II.5.5.1- Nature du matériau .....	- 39 -
II.5.5.2- Épaisseur de la tôle .....	- 39 -
II.5.5.3- État de malléabilité .....	- 39 -
II.5.5.4- Orientation des fibres linéaires .....	- 39 -
II.5.6- Rayon et Angle du poinçon à utilisé en pliage .....	- 40 -
II.5.6.1- Rayon de poinçon .....	- 41 -
II.5.6.2- Angle de poinçon.....	- 41 -
II.5.7 Calcul de l'effort de pliage .....	- 42 -
II.6 Conclusion .....	- 44 -
III.1-Les presse mécanique .....	- 45 -
III.1.1-Introduction.....	- 45 -
III.1.2-Paramètres de distinction des presses.....	- 45 -
III.1.3-Différentes presses .....	- 46 -
III.1.4- Critères de choix d'une presse .....	- 57 -
III.1.5- Sécurités sur les presses .....	- 57 -
III.1.6- Conclusion.....	- 58 -
III.2-les outils de presse .....	- 59 -
III.2.1- Introduction.....	- 59 -

III.2.2 Différents constituants d'un outil d'une presse .....	- 59 -
III.2.3- Types d'outils de presse .....	- 61 -
III.2.4- Montage des Outils sur les Presses .....	- 72 -
III.2.5- Graissage des outils.....	- 74 -
III.2.8- Conclusion .....	- 75 -
IV.1- Introduction .....	76
IV.2-Cahier de charge.....	76
IV.2.1 Fiche technique .....	77
IV.3 Travail demandé .....	79
IV.3.1 But.....	79
IV.3.2 Outil proposé.....	79
IV.3.3 Processus de fabrication.....	80
IV.4 Calcul des efforts .....	81
IV.4.1 Calcul de l'effort de découpage et poinçonnage .....	81
IV.4.2 Calcul de l'effort de pliage.....	84
IV.4.3 Effort de dévêtissage .....	86
IV.4.4 Calcul de l'effort d'éjection .....	86
IV.4.5 Calcul de l'effort total que doit fournir la presse .....	86
IV.4.6 Nombre et choix de ressorts .....	87
IV.4.7 Vérification de la résistance des poinçons au flambement.....	92
IV.5 Conception de l'outil .....	94
IV.5.1 Partie inférieure .....	94
IV.5.2 Partie supérieure.....	95
IV.6 Mise en plan.....	96
IV.7 Conclusion .....	98
Conclusion générale .....	99
Références Bibliographiques.....	100

# TABLE DE FIGURES

## Présentation d'entreprise

Figure 1 : Organisation générale de l'entreprise .....	3
--	---

## Chapitre1

Figure. I.1 : Durcissement solution solide .....	4
Figure. I.2 : Structure cubique centrée de l'ambiante jusqu' à 912°C .....	5
Figure. I.3 : Structure cubique à faces centrées de 912°C jusqu' à 1394°C.....	6
Figure. I.4 : Structure cubique centrée (fer $\delta$ ).....	6
Figure. I.5 : diagramme d'équilibre métastable Fer – Carbone (Fe-CFe <sub>3</sub> C).....	7
Figures I.6 : Partie pratique et utile du diagramme Fe-C .....	8
Figure I.7 : Diagramme de phases du système Fe-Zn [Moncel.M ; 1991] .....	16

## Chapitre2

Figures II.1 : Éléments d'une cage de laminoir .....	21
Figures II.2 : Recristallisation dynamique au cours du laminage à chaud.....	21
Figures II.3 : Processus de fabrication de bandes d'aluminium par solidification entre cylindres opposés.....	22
Figures II.4 : Schéma d'une cage quarto de laminage .....	22
Figure II.5 : Déférente phase d'emboutissage .....	23
Figure II.6 : Principe de l'opération.....	27
Figure II.7 : Cisailage des tôles .....	27
Figure II.8 : Opération d'encochage .....	28
Figure II.9 : Opération de crevage .....	28
Figure II.10 : Opération de grignotage .....	28
Figure II.11 : Opération d'ajourage .....	29
Figure II.12 : Opération de détourage.....	29
Figure II.13 : Opération de doyage .....	29

<b>Figure II.14</b> : Pièce poinçonnée .....	30
<b>Figure II.15</b> : Contrainte de compression sur le poinçon.....	32
<b>Figure II.16</b> : Etat d'un flambement du poinçon de découpage.....	33
<b>Figure II.17</b> : opération de pliage avec matrice et poinçon.....	34
<b>Figure II.18</b> : pliage en frappe .....	36
<b>Figure II.19</b> : pliage en l'air .....	36
<b>Figure II.20</b> : pliage sur élastomère .....	36
<b>Figure II.21</b> : Opérations réalisées sur une presse plieuse .....	37
<b>Figure II.22</b> : Phénomène du retour élastique.....	40
<b>Figures II.23</b> : Pliage en V <sub>e</sub> sur presse plieuse .....	41
<b>Figure II.24</b> : Angle de poinçon.....	41

### **Chapitre 3**

<b>Figure III.1</b> : Organigramme de classification des presses.....	45
<b>Figure III.2</b> : Presse mécanique .....	45
<b>Figure III.3</b> : Système Bielle-Manivelle.....	46
<b>Figure III.4</b> : Système Excentrique.....	47
<b>Figure III.5</b> : Système à Genouillère .....	47
<b>Figure III.6</b> : Système à Came .....	48
<b>Figure III.7</b> : Schéma d'un système à embrayage par friction.....	48
<b>Figure III.8</b> : Embrayage par clavette pivotante .....	49
<b>Figure III.9</b> : presse hydraulique.....	50
<b>Figure III.10</b> : principe de pascal.....	50
<b>Figure III.11</b> : presse à col de cygne.....	52
<b>Figure III.12</b> : presses à deux montants.....	53
<b>Figure III.13</b> : presses à quatre montants.....	53
<b>Figure III.14</b> : presses à arcade.....	54
<b>Figure III.15</b> : presses à table mobile et bigorne .....	55
<b>Figure III.16</b> : presse à double effets .....	56

<b>Figure III.17</b> : presse à triple effets.....	56
<b>Figure III.18</b> : exemple d'un outil .....	59
<b>Figure III.19</b> : Schématisations poinçon matrice.....	60
<b>Figure III.20</b> : Illustration poinçon et matrice .....	60
<b>Figure III.21</b> : Angle de dépouille de la matrice.....	61
<b>Figure III.22</b> : Affutage de la matrice.....	61
<b>Figure III.23</b> : L'outil à bande est conçu avec Solidworks .....	62
<b>Figure III.24</b> : Outil suisse.....	63
<b>Figure III.25</b> : Outil de détournage.....	63
<b>Figure III.26</b> : outil a came .....	64
<b>Figure III.27</b> : Guidage du flan sur un Outil de reprise par diverses façons.....	65
<b>Figure III.28</b> : Principe outils d'emboutissage sans serre flan.....	65
<b>Figure III.29</b> : Outil placé sur une presse à simple effet.....	66
<b>Figure III.30</b> : Outil placé sur une presse à double effet.....	66
<b>Figure III.31</b> : Géométrie de l'Outil Découvert Simple .....	67
<b>Figure III.32</b> : Outil découvert à butées.....	68
<b>Figure III.33</b> : Outil à dévêtisseur fixe.....	68
<b>Figure III.34</b> : Outils à dévêtisseur élastique.....	69
<b>Figure III.35</b> : Outil de cambrage en v .....	70
<b>Figure III.36</b> : Outil de cambrage en équerre .....	70
<b>Figure III.37</b> : Outil de cambrage en U.....	71
<b>Figure III.38</b> : Principe de l'Outil à Contre-plaque à Engrenage.....	71
<b>Figure III.39</b> : Système d'Outil à Contre - Plaque à Couteau.....	72
<b>Figure III.40</b> : Plateau de presse .....	73
<b>Figure III.41</b> : Système de fixation de la semelle au plateau.....	73
<b>Figure III.42</b> : Système de fixation de la partie supérieure de l'outil .....	74
<b>Figure III.43</b> : Système de fixation pour les grosses presses.....	74

## Chapitre 4

<b>Figure IV.1</b> : un support moteur tourne broche en tôle galvanisé de cuisinière ventilé fabriquée par l'ENIEM .....	77
<b>Figure IV.2</b> : démontions de la pièce .....	78
<b>Figure IV.3</b> : emplacement de support moteur tourne broche.....	79
<b>Figure IV.4</b> : cuisinière ventilé ENIEM.....	80
<b>Figure IV.5</b> : Outil a bande .....	81
<b>Figure IV.6</b> : Mise en bande.....	82
<b>Figure IV.7</b> : périmètre de poinçon de découpage .....	83
<b>Figure IV.8</b> : périmètre de poinçon de séparation.....	83
<b>Figure IV.9</b> : périmètre de premier pli .....	86
<b>Figure IV.10</b> : périmètre de deuxième pli .....	86
<b>Figure IV.11</b> : déferrent type de ressort .....	88
<b>Figure IV.12</b> : Schéma de dimensionnement d'un ressort .....	89
<b>Figure IV.13</b> : Schéma de dimensionnement d'un ressort .....	91

# TABLE DES TABLEAUX

## Chapitre 1

Tableau I.1: Aciers d'usage général.....	9
Tableau I.2 : Tableau de désignation des aciers non alliés. ....	11
Tableau. I.3 : pourcentages des éléments d'alliage présents dans les aciers allié et les aciers non allié .....	12
Tableau. I.4 : Classes d'aciers pour galvanisation à chaud.....	15
Tableau I.5 : Caractéristiques des bobines laminé à froid. ....	17
Tableau I.6 : Caractéristiques mécaniques des tôles galvanisé.....	17

## Chapitre 2

Tableau II.1 : Tableau de détermination du coefficient K en fonction de $\frac{d}{D}$ .....	25
Tableau II.2 : Vitesses d'emboutissage [mm /s].....	25
Tableau II.3 : Pression des matériaux.....	26
Tableau II.4 : Variation du rayon en fonction du pourcentage d'allongement du matériau. ....	35
Tableau II.5 : Rayon minimal de pliage .....	39

## Chapitre 3

Tableau III.1 : Avantage et inconvénients des presses mécaniques et hydraulique .....	51
---	----

## Chapitre 4

Tableau IV.1 : Démontions nominale de la tôle galvanisé .....	78
Tableau IV.2 : caractéristique chimique de la tôle galvanisé .....	78
Tableau IV.3 : caractéristique mécanique de la tôle galvanisé.....	79
Tableau VI.4 : Catalogue STEINEL NORMALIEN ressort à charge forte .....	90
Tableau VI.5 : Catalogue STEINEL NORMALIEN ressort à charge forte .....	92
Tableau IV.5 : Longueur libre de flambement en fonction de type de liaisons .....	93

**Introduction**

**Générale**

## **Introduction générale**

La quête d'une productivité accrue et de pièces mécaniques de qualité garantie pousse les industries à optimiser leurs processus de fabrication. Les bureaux d'études ont récemment intensifié leurs efforts pour concevoir des produits répondant à toutes les exigences de performance et de durabilité, minimisant ainsi les défauts potentiels tout au long de sa durée d'utilisation.

Actuellement l'Entreprise Nationale des Industries de l'Électroménager ENIEM fait face à une concurrence accrue sur un marché de plus en plus exigeant. Pour répondre à l'objectif principal de satisfaction durable de sa clientèle, elle se soumet à des normes strictes de contrôle de qualité. Et elle poursuit son engagement à une amélioration continue de la qualité de sa gamme de produits en apportant des modifications à ceux existants et en développant de nouveaux produits.

L'unité cuisson de cette entreprise nous a confié de faire une étude et la conception d'un outil permettant la réalisation d'un support moteur tourne broche en tôle galvanisé d'une nouvelle cuisinière ENIEM. La géométrie de cette pièce nous a mené à utiliser le procédé de le découpage, mais aussi le pliage et le procédé poinçonnage afin d'arriver à l'obtention de la pièce finie.

Pour que notre travail soit bénéfique pour l'entreprise, Il est donc essentiel d'acquérir une connaissance approfondie des phénomènes qui se produisent lors des opérations de mise en forme, ainsi que de l'architecture des outils et du choix des machines pour obtenir les meilleurs résultats en termes de rentabilité et de fiabilité.

Pour répondre à ces exigences, nous avons organisé les tâches de la manière suivante :

Le travail débutera par une introduction générale, suivie d'une présentation détaillée sur l'entreprise (ENIEM).

Le premier chapitre traite les types d'aciers différents aciers, leurs microstructures et leurs propriétés physico chimiques.

Le deuxième chapitre est consacré aux différents procédés de mise en forme des tôles et leurs principes.

Le troisième chapitre abordera la classification des différentes presses utilisées et de leurs équipements.

Quant au quatrième chapitre, il est consacré à l'étude, à la conception de l'outil en utilisant le logiciel de conception assisté par ordinateur (Solidworks) et à la résistance de notre outil et ainsi qu'au choix de la presse à utiliser.

Le travail ainsi effectué, nous permet de tirer une conclusion générale.

# **Présentation de l'entreprise**

# Présentation de l'entreprise

## 1.1 Définition

L'Entreprise Nationale des Industries Electroménagères ENIEM est née après la restriction de l'entreprise mère SONELEC le 02 janvier 1983, dont cette dernière a été datée en août 1971.

En 1989, l'entreprise a subi une forte baisse de sa production en raison de la concurrence accrue sur le marché. Cette conjoncture a conduit à sa restructuration en société par actions, visant à renforcer sa capacité de recherche et développement à l'échelle nationale. Aujourd'hui, elle est reconnue comme le leader incontesté de l'électroménager en Algérie, couvrant une large gamme tel que :

- Climatisation, cuisson, réfrigération et conservation à (Oued Aissi).
- Sanitaire (Meliana).
- Filiale lampe (Mohammedia).

Elle est située à la zone industrielle AISSAT IDIR de Oued Aissi à 7 Km du chef lieu de la wilaya Tizi-Ouzou à la proximité de la route nationale, ce qui facilite son accès. Sa direction générale est située à la sortie de sud ouest de la ville de Tizi-Ouzou.

L'entreprise ENIEM se spécialise dans la conception, la fabrication et la vente de produits électroménagers, tout en offrant un service après-vente sur toute sa gamme.

Actuellement, l'entreprise ENIEM est constituée de :

- La direction générale (DG).
- L'unité froid (UF).
- L'unité cuisson (UCuis).
- L'unité climatisation (UCL).
- L'unité prestation technique (UPT).
- L'unité commerciale (UC).
- L'unité sanitaire (US).
- La filiale FILAMP.

## **1.2 Mission et Objectifs de l'ENIEM**

### **1.2.1 Mission de l'ENIEM**

La mission de l'ENIEM consiste à fabriquer, assembler, développer et commercialiser des appareils ménagers, tout en menant des activités de recherche et développement dans les principaux domaines de l'électroménager notamment :

- Appareil de réfrigération.
- Appareil de congélation.
- Appareil de climatisation.
- Appareil de cuisson.
- Petits appareils ménagers.

#### **a. Mission des Unités**

- **Unité Froid** : Responsable de la fabrication d'équipements, de produits et de composants dans le domaine de la réfrigération (réfrigérateurs).
- **Unité Cuisson** : En charge de la fabrication d'équipements, de produits et de composants dans le domaine de la cuisson (cuisinières).
- **Unité Climatisation** : Responsable de la production d'équipements et de composants dans le domaine de la climatisation (climatiseurs et petits appareils ménagers).
- **Unité Prestation Technique** : Réalise des travaux techniques ou fournit des services pour le compte des autres unités ou pour des clients externes.
- **Unité Commerciale** : Responsable de la commercialisation des produits fabriqués par les unités de production.

### **1.2.2 Objectif de l'ENIEM**

L'ENIEM s'est fixé plusieurs objectifs pour renforcer son impact dans ses différentes fonctions, notamment :

- Améliorer la qualité des produits.
- Accroître les capacités d'études et de développement.
- Améliorer la maintenance des outils de production et des installations.
- Valoriser les ressources humaines.
- Réduire les coûts et diversifier les sources de revenus.
- Augmenter le volume de production en fonction des fluctuations de la demande, tant sur le marché local qu'externe.
- Renforcer la sécurité du patrimoine et des installations.
- Restructurer l'entreprise de manière irréversible et impérative.
- Réduire les charges structurelles.
- Positionner ses produits sur le marché international.

## 1.2 Organisation générale de l'entreprise

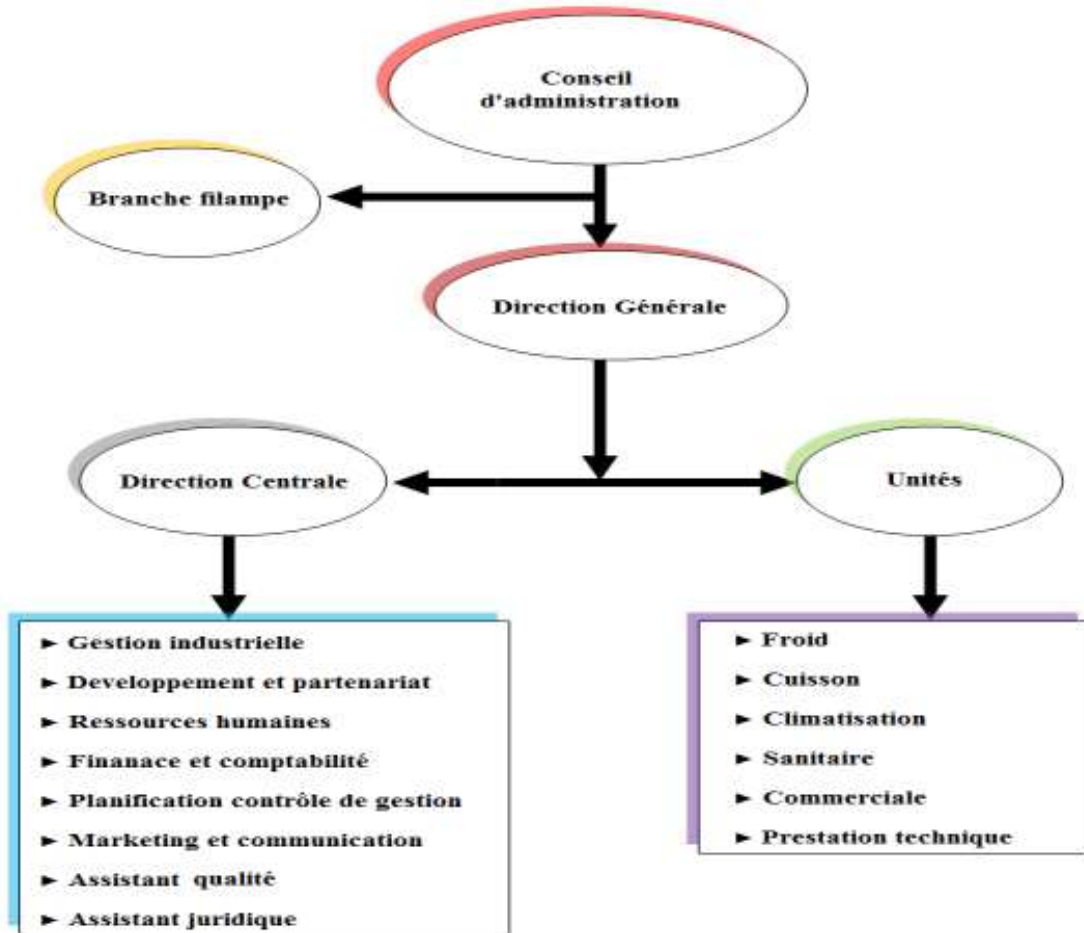


Figure 1 : Organisation générale de l'entreprise

# Chapitre 1

## Chapitre 1 : Généralités et Caractérisation des Aciers

### I.1 Introduction

Le choix d'un matériau pour une application spécifique exige une assurance de sa durabilité dans les conditions d'utilisation, notamment environnementales.

Ceci est particulièrement crucial pour les systèmes opérant à des températures élevées ou dans des atmosphères corrosives. Parmi les différents alliages métalliques, l'acier est le plus largement utilisé dans les applications industrielles. Sa diversité de qualités et la possibilité de réaliser des traitements thermomécaniques pour ajuster ses propriétés mécaniques en font un matériau extrêmement polyvalent.

### I.2 Généralités sur les aciers

#### I.2.1 Définition

Les aciers sont des alliages de fer et de carbone, avec des teneurs en carbone allant jusqu'à 2%. Ils peuvent également contenir d'autres éléments d'addition, tels que le manganèse, le silicium, le nickel, le chrome, le molybdène, etc. Ces éléments sont ajoutés pour améliorer les propriétés mécaniques des aciers, telles que la résistance, la dureté, la ténacité, la trempabilité [1].

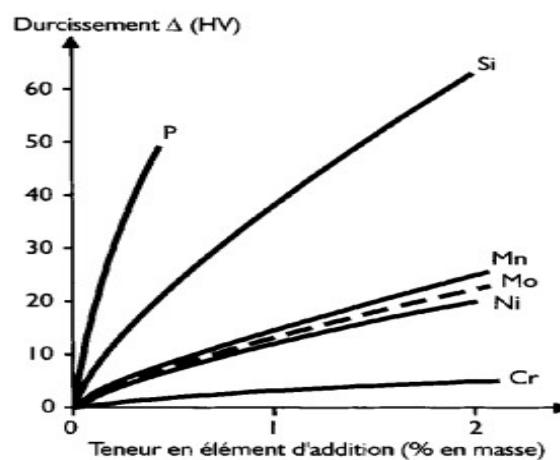


Figure. I.1 : Durcissement solution solide

## I.2.2- Microstructures des aciers

Pour appréhender le comportement et les caractéristiques des différents types d'acier, il est crucial de saisir leur microstructure. Celle-ci renferme des données sur la structure cristalline, les anomalies dans les réseaux cristallins et la texture [2].

### I.2.2.1- La structure cristalline

Un acier se compose de nombreux petits volumes appelés grains qui sont limités par des surfaces nommées joints de grains. Les grains sont alignés le long de ces joints, forment un arrangement régulier d'atomes dans les trois dimensions, suivant un motif répété à de nombreuses reprises. L'ensemble de ces atomes forme la structure cristalline de l'acier [2].

### I.2.2.2 Les différentes phases du fer

La grande variabilité des propriétés d'un acier, malgré une composition chimique donnée, découle principalement des transformations allotropiques du fer et de l'influence du carbone dans ces transformations.

Le fer pur existe sous trois formes cristallines différentes, selon la température [2]

#### I.2.2.2.1- La structure cubique de l'ambiante jusqu'à 912°C

Cette structure est stable à température ambiante et possède une bonne ductilité, il s'agit de fer alpha ( $\alpha$ ). L'association de ce dernier avec le carbone en solution est appelée Ferrite.

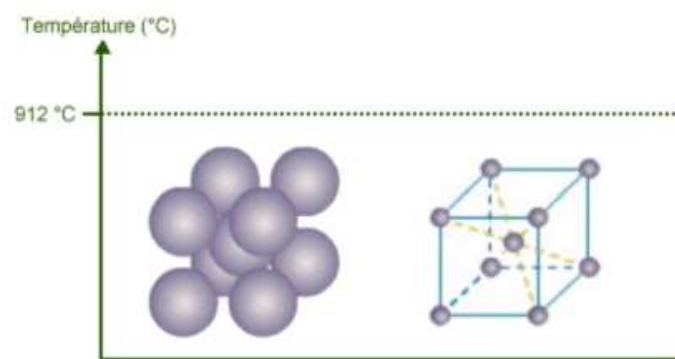
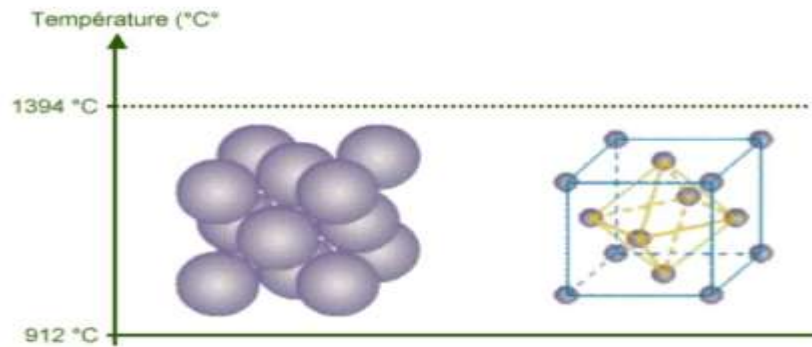


Figure. I.2 : Structure cubique centrée de l'ambiante iusqu' à 912°C

### I.2.2.2- La structure cubique de 912°C jusqu'à 1394°C

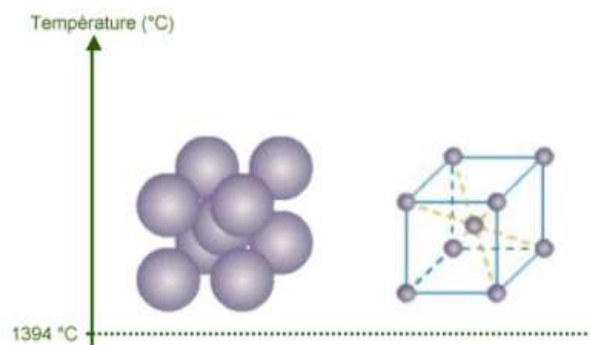
Cette structure est plus douce et plus malléable que la structure alpha. Elle est également plus résistante à la corrosion, il s'agit de fer gamma ( $\gamma$ ), l'association de ce dernier à du carbone en solution est appelé: Austénite.



**Figure. I.3 :** Structure cubique à faces centrées de 912°C jusqu' à 1394°C

### I.2.2.3- La structure cubique à température supérieure à 1394°C

Cette structure est similaire à la structure alpha, mais possède une densité légèrement supérieure, il s'agit de fer delta ( $\delta$ ),



**Figure. I.4 :** Structure cubique centrée (fer  $\delta$ )

### I.3- Diagramme d'équilibre Fer-Carbone

Ce diagramme représente les zones de stabilité des différentes phases présentes dans l'acier et la fonte blanche. Ces zones varient en fonction de la composition chimique (teneur en carbone) et de la température du matériau [3].

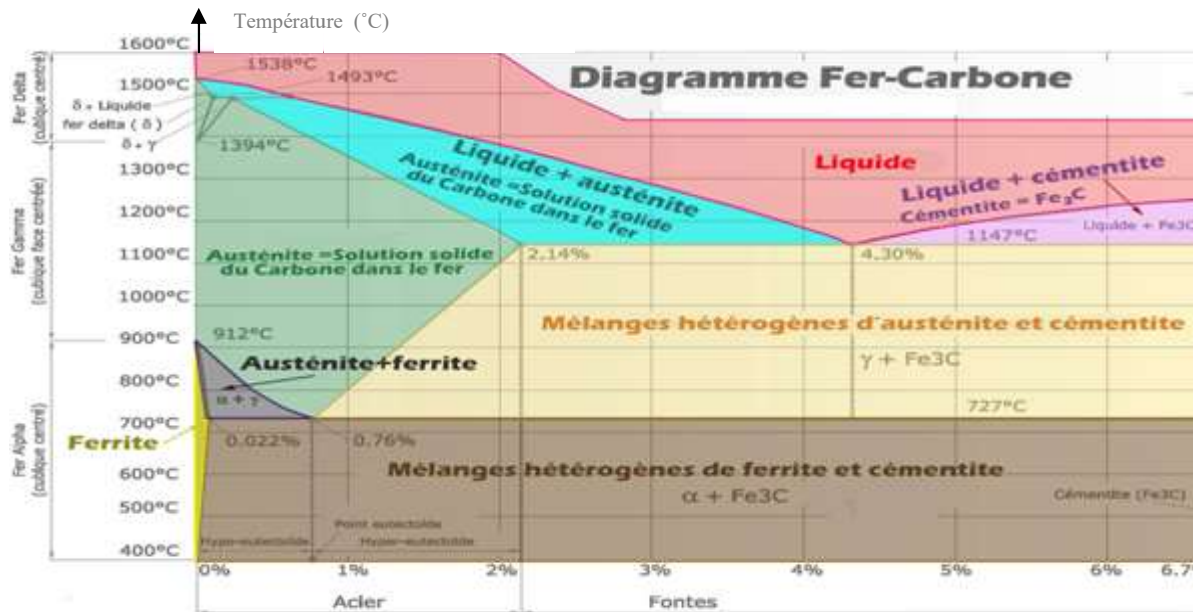


Figure. I.5 : diagramme d'équilibre métastable Fer – Carbone (Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$ )

#### I.3.1- La transformation de l'austénite

L'austénite subit des transformations variables selon sa teneur en carbone. On peut distinguer trois types d'acier [3]:

- L'acier eutectoïde (0,77% de carbone).
- Les aciers hypoeutectoïdes (%Carbone < 0,77%).
- Les aciers hypereutectoïdes (%Carbone > 0,77%).

##### I.3.1.1- L'acier eutectoïde

L'acier eutectoïde est un type d'acier qui contient exactement 0,77% de carbone, ce qui correspond à la teneur maximale de carbone pour la formation de la perlite. La transformation de l'austénite dans l'acier eutectoïde se produit à 727°C, où l'austénite se transforme en perlite, qui est une structure lamellaire composée de ferrite et de cémentite.

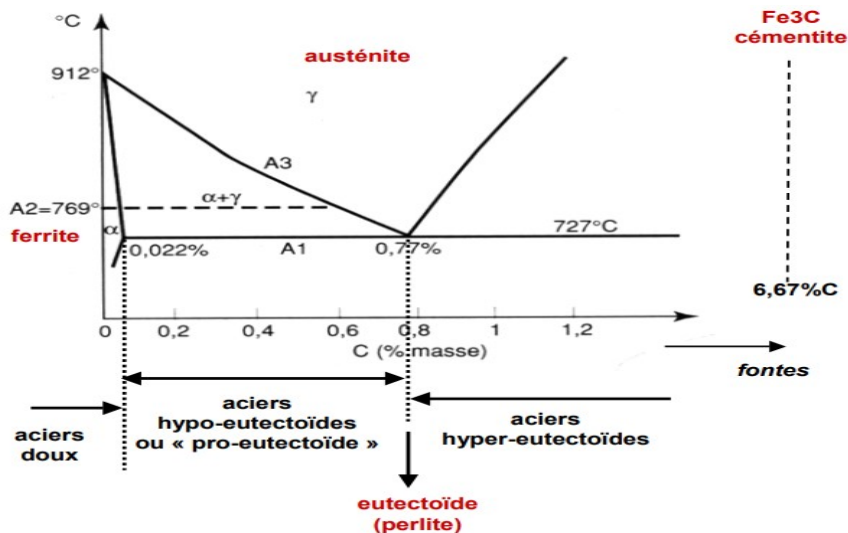
### I.3.1.2- L'acier hypoeutectoïde

L'acier hypoeutectoïde est un type d'acier qui contient moins de 0,77% de carbone. Dans ces aciers, la transformation de l'austénite se produit en deux étapes. Tout d'abord, l'austénite se transforme en ferrite à une température plus élevée que celle de l'acier eutectoïde. Ensuite, la ferrite restante se transforme en perlite lorsque la température atteint 727°C.

### I.3.1.3- L'acier hypereutectoïde

L'acier hypereutectoïde est un type d'acier qui contient plus de 0,77% de carbone. Dans ces aciers, la transformation de l'austénite se produit en deux étapes. Tout d'abord, l'austénite se transforme en cémentite à une température plus élevée que celle de l'acier eutectoïde. Ensuite, la cémentite restante se transforme en perlite lorsque la température atteint 727°C.

La (Figures I.6) représente la transformation de l'austénite en acier eutectoïde et en acier hypoeutectoïde et en acier hypereutectoïde



Figures I.6 : Partie pratique et utile du diagramme Fe-C

## I.4- Les éléments d'addition

Les aciers peuvent être alliés avec différents métaux tels que le nickel, le cuivre, l'aluminium, le cobalt, le molybdène, et le tungstène pour améliorer leurs propriétés spécifiques.

Les formules d'Andrews, représentées par **(I.1)** et **(I.2)**, permettent d'estimer les températures de transformation des aciers faiblement alliés, c'est-à-dire ceux contenant moins de 0,6 % de carbone. Ces formules s'appuient sur la composition chimique de l'acier [4].

Ces formules sont données ci-après, en fonction de la teneur massique en éléments d'alliages :

$$A_{c1} = 723 - 10,7Mn - 16,9Ni + 29,1Si + 16,9Cr + 6,38W + 290As \quad \text{(I.1)}$$

$$A_{c2} = 912 - 203C - 15,2Ni + 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W - 30Mn \quad \text{(I.2)}$$

### **I.4.1- Utilisation du système fer-carbone dans l'industrie**

L'acier est couramment utilisé dans l'industrie pour sa polyvalence et ses propriétés mécaniques. Par exemple, l'acier au carbone moyen comme le C45/AISI 1045 est adapté à la fabrication de pièces telles que les engrenages, les boulons, les arbres, les clavettes, et les goujons, tandis que l'acier pour outils est reconnu pour sa dureté et sa résistance à la chaleur, idéal pour la fabrication d'outils métalliques.

### **I.5- Les différents types d'aciers**

La diversité des éléments ajoutés au fer et de la large gamme de leurs concentrations, les aciers se déclinent en de nombreuses nuances. Ils peuvent être classés selon leur composition chimique ou leur domaine d'application. C'est classification qui nous permet d'identifier les quatre familles suivantes.

#### **I.5.1- Aciers ordinaires**

Les aciers d'usage général, également appelés aciers au carbone, ont une teneur maximale en carbone de 0,25% en masse, représentant environ 80% de la production d'acier (**Tableau I.1**). Ils sont généralement alliés avec des éléments en quantités réduites et contiennent des impuretés résultant de leur processus de fabrication [4].

Nuance	Pourcentage de carbone (C)	Résistance $R_m$ (MPa) état recuit	Emplois
extra-doux	$C < 0,15$	330-420	tôles pour carrosserie, feuillards, quincaillerie, pièces de forge
doux	$0,15 < C < 0,20$	370-460	charpente métallique, profilés, construction mécanique courante, boulons, fils ordinaires
demi-doux	$0,20 < C < 0,30$	480-550	pièces de machines pour applications mécaniques, pièces ou bâtis moulés, pièces forgées
demi-dur	$0,30 < C < 0,40$	550-650	petit outillage, éléments de machines agricoles, organes de transmission
dur	$0,40 < C < 0,60$	650-750	pièces d'outillage, d'armement, glissières, rails et bandages, ressorts, coutellerie, pièces moulées et traitées
extra-dur	$0,60 < C$	$>750$	outils d'usinage et découpe, câbles, ressorts

**Tableau I.1:** Aciers d'usage général.

### I.5.1.1- Propriétés des aciers ordinaires

Les propriétés principales de ces aciers, qui peuvent être améliorées, se présentent comme suit [4]:

- Résistance mécanique à l'état normalisé ou recuit.
- Capacité de trempabilité.
- Bonne aptitude à la soudure.
- Résistance aux hautes températures.
- Résistance à l'usure et à la corrosion.
- Insensibilité au traitement thermique.
- Amélioration des propriétés par écrouissage.
- Limite d'élasticité favorable.

### I.5.1.2- Désignation des aciers ordinaires

Selon la norme NF EN 10027, les aciers ordinaires sont classés selon deux catégories. Leur désignation débute par la lettre S pour les aciers d'usage général et par la lettre E pour les aciers de construction mécanique. Le chiffre qui suit indique la valeur minimale de la limite d'élasticité de l'acier, déterminer (en MPa).

**S235** : Acier d'usage général, avec  $:Re = 235$  MPa

**E335** : Acier de construction mécanique, avec  $:Re = 335$  MPa

### I.5.1.3- Domaines d'utilisation

Les domaines d'utilisation des aciers ordinaires comprennent principalement la construction mécanique, la fabrication de machines, de structures et de moteurs.

Les aciers ordinaires sont utilisés pour fabriquer des pièces de machines, des structures métalliques, des moteurs, des pièces automobiles, des outils, et dans de nombreux autres domaines où une résistance mécanique adéquate est requise.

### I.5.2- Aciers pour traitements thermiques

Les aciers, qu'ils soient alliés ou non alliés, destinés à des traitements thermiques, sont définis en fonction de leur composition chimique. Cette composition détermine les types de traitements thermiques qu'ils peuvent subir pour obtenir les propriétés souhaitées [5].

#### I.5.2.1- Aciers non alliés

Ces aciers situés entre les aciers standards de type A et les aciers de qualité supérieure de type XC, offrent une polyvalence intéressante. Bien qu'ils puissent subir un traitement thermique, il convient de noter que les propriétés mécaniques peuvent varier considérablement d'un lot à l'autre et aussi à l'intérieur du même lot.

Conformément à la norme NF EN 10027, l'identification des aciers non alliés est déterminée par la lettre C suivie du pourcentage moyen de carbone, exprimé en pourcentage et multiplié par 100.

Ces aciers sont largement utilisés dans les constructions mécaniques en raison de leur adaptabilité aux traitements thermiques et au forgeage.

Nuance	R <sub>min</sub> (MPa)	Re <sub>min</sub> (MPa)	Emplois
C 22	410	255	Construction mécanique.  Ces aciers conviennent aux traitements thermiques et au forgeage.
C 25	460	285	
C 30	510	315	
C 35	570	335	
C 40	620	355	
C 45	660	375	
C 50	700	395	
C 55	730	420	
C 60	HRC ≥ 57		

**Tableau I.2 :** Tableau de désignation des aciers non alliés.

### **I.5.2.2- Aciers alliés**

Les aciers alliés sont des aciers qui contiennent des éléments d'alliage ajoutés intentionnellement en grande quantité. Ils sont classés en deux catégories :

#### **I.5.2.2.1- Aciers faiblement alliés**

Les aciers faiblement alliés contiennent des éléments d'alliage en faible quantité, généralement moins de 5%. Les éléments d'alliage couramment utilisés dans les aciers faiblement alliés comprennent le manganèse, le silicium, le nickel et le chrome.

Les aciers faiblement alliés sont souvent utilisés pour les traitements thermiques en raison de leur bonne réponse aux traitements thermiques et de leur résistance accrue à la corrosion par rapport aux aciers non alliés.

#### **I.5.2.2.2- Aciers fortement alliés**

Les aciers fortement alliés contiennent des éléments d'alliage en grande quantité, généralement plus de 5%. Les éléments d'alliage couramment utilisés dans les aciers fortement alliés comprennent le molybdène, le vanadium, le tungstène et le cobalt.

Les aciers fortement alliés sont souvent utilisés pour les traitements thermiques en raison de leur grande résistance à la chaleur et à l'usure.

Le tableau ci-dessous donne un aperçu sur le pourcentage des éléments d'alliages dans les aciers alliés et non alliés.

% des éléments d'addition	Acier non allié	Acier faiblement allié	Acier fortement allié
Al	< 0,3		> 0,3
B			>0
Co	<0,2	0,2à0,3	>0,3
Cr	<0,3	0,3à0,5	>0,5
Cu	<0,4		>0,4
Mn+Si	<1,5	1,5à3	>3
Mo	<0,05	0,05à0,1	>0,1
Ni	<0,3	0,3à0,5	>0,5
Pb	<0,4		>0,4
V	<0,05	0,05à0,1	>0,1
W	<0,2	0,2à0,3	>0,3

**Tableau. I.3 :** pourcentages des éléments d'alliage présents dans les aciers allié et les aciers non allié

### I.5.3 Aciers à outils

Les aciers à outils revêtent une importance technologique cruciale, étant indispensables à toutes les étapes de fabrication, quel que soit le procédé utilisé. Bien que leur production mondiale ne représente qu'une fraction du total, leur impact est significatif.

Leurs caractéristiques d'utilisation sont similaires à celles des aciers alliés, mais nécessitent des améliorations spécifiques telles que la dureté, la trempabilité, la résistance à la chaleur, la ténacité, la résistance et la capacité à résister aux chocs thermiques.

Ces aciers sont conçus pour des applications variées, allant du travail à froid au travail à chaud, en passant par le formage et l'usinage [4].

Les caractéristiques principales des aciers à outils comprennent :

- Une dureté supérieure à 60 HRC à température ambiante.

- Le maintien d'une dureté et d'une ténacité élevées à haute température grâce à l'ajout significatif d'éléments carburigènes tels que le tungstène (W), le molybdène (Mo) et le vanadium (V), associés au chrome qui améliore la trempabilité, ainsi qu'au cobalt.
- Des processus d'élaboration et de traitements thermomécaniques complexes.
- Une résistance améliorée au frottement, à l'usure et à la fatigue grâce à des traitements de surface spécifiques.

### **I.5.4 Aciers inoxydables**

L'acier inoxydable est un alliage de fer et de chrome, avec une teneur en chrome dépassant souvent 12%, formant un film de passivation qui le protège de la corrosion atmosphérique. Cependant, ce film peut être endommagé par des rayures.

Sa résistance à la corrosion dépend de ce film stable, bien que dans certaines conditions, comme des dommages à ce film, la corrosion puisse se produire. Les aciers inoxydables sont classés en cinq grandes familles selon la norme EN 10088, adaptées à diverses applications en fonction de leurs caractéristiques mécaniques et de résistance à la corrosion.

Les aciers inoxydables peuvent être classés en trois catégories principales en fonction de leur structure cristalline et de leurs propriétés magnétiques [4].

#### **I.5.4.1 Les aciers ferritiques (magnétiques)**

Ces aciers sont incapables de subir une trempe. Leur composition les classe comme ferritiques, car leur arrangement cristallin à température ambiante est similaire à celui du fer. Leur teneur en carbone est très réduite, environ 0,07 %. Ils contiennent entre 11 et 29 % de chrome, mais aucun nickel.

À température ambiante, ces aciers affichent une certaine magnétisation et présentent une ductilité modérée.

#### **I.5.4.2 Les aciers martensitiques (magnétiques)**

Les aciers martensitiques sont des alliages de fer, de carbone et de chrome qui contiennent entre 11% et 18% de chrome. Ils ont une structure cristalline cubique centrée et sont magnétiques. Les aciers martensitiques sont appréciés pour leur dureté, leur résistance à l'usure et leur résistance à la corrosion. Ils sont souvent utilisés dans les industries mécaniques, électriques et aérospatiales.

Selon, les aciers martensitiques sont des alliages de fer et de chrome qui possèdent une structure martensitique stable à température ambiante. Ils sont magnétiques et ont une bonne résistance à l'usure et à la corrosion, mais une faible résistance à la traction et à la fatigue. Ils sont souvent utilisés dans les applications où la dureté et la résistance à l'usure sont primordiales, telles que les outils de coupe, les matrices et les pièces de précision.

### **I.5.4.3 Les aciers austénitiques (amagnétiques)**

Les aciers austénitiques sont des alliages de fer, de carbone et de chrome qui contiennent entre 16% et 26% de chrome et entre 6% et 20% de nickel. Ils ont une structure cristalline cubique centrée et sont amagnétiques. Les aciers austénitiques sont appréciés pour leur résistance à la corrosion, leur résistance à la chaleur et leur ductilité. Ils sont souvent utilisés dans les industries alimentaires, chimiques, pétrochimiques et nucléaires.

Selon, les aciers austénitiques sont des alliages de fer, de chrome et de nickel qui possèdent une structure austénitique stable à température ambiante. Ils sont amagnétiques et ont une excellente résistance à la corrosion, une bonne résistance à la chaleur et une excellente ductilité. Ils sont souvent utilisés dans les applications où la résistance à la corrosion et à la chaleur est primordiale, telles que les échangeurs de chaleur, les réacteurs nucléaires et les équipements de traitement chimique.

## **I.5.5 Acier galvanisé**

L'acier galvanisé est un alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone, avec d'autres éléments ajoutés pour optimiser sa capacité de résistance aux sollicitations. Il est connu pour sa résistance élevée à la corrosion en milieu humide et à l'abrasion, ainsi que pour sa conductivité thermique plutôt basse.

La galvanisation consiste à recouvrir l'acier d'une couche de zinc, qui permet de protéger l'acier de la corrosion et de l'abrasion. Cette méthode de protection est très efficace, car le zinc est un métal plus noble que le fer, ce qui signifie qu'il se corrode plus lentement que le fer en présence d'humidité ou d'autres agents corrosifs [6].

## **I.6 acier destinés a la galvanisation**

Aciers destinés à la galvanisation Les résultats obtenus lors de la galvanisation à chaud dépendent en partie des aciers notamment de leur composition chimique, lorsqu'on immerge de l'acier dans du zinc liquide, il se produit une réaction de diffusion entre le zinc et l'acier. La vitesse de

formation et la structure du revêtement sont fonction du silicium et phosphore. Ces deux éléments contenus dans l'acier accélèrent la croissance des couches d'alliages zinc-fer et peuvent contrarier les résultats de la galvanisation.

Il est nécessaire d'imposer des spécifications pour le respect de ces deux éléments. La norme NF A 35-503 « Aciers pour galvanisation par immersion à chaud » définit trois classes d'acier en fonction de leur teneur garantie sur produit en silicium et phosphore.

Catégories	Teneurs en silicium et phosphore (%)
<b>Class 1</b>	Si % < 0,030 Si % + 2,5 P % < 0,090
<b>Class 2</b>	Si % < 0,040 Si % + 2,5 P % < 0,110
<b>Class 3</b>	$0,15 \leq \text{Si \%} \leq 0,25$ Si % + 2,5 P % $\leq 0,325$ , P $\leq 0,040$

**Tableau. I.4 :** Classes d'aciers pour galvanisation à chaud

Les classes I et II fournissent un revêtement d'aspect uniforme et d'épaisseur conforme aux normes de la NF EN ISO 1461, bien que la classe II offre une qualité légèrement inférieure. Pour les aciers de classe III, l'épaisseur du revêtement varie généralement entre 120  $\mu\text{m}$  et 200  $\mu\text{m}$ , avec la possibilité de dépasser les 200  $\mu\text{m}$  pour des pièces complexes nécessitant un temps d'immersion plus long. Ce type de revêtement présente généralement une surface plus mate que les classes I ou II, et des imperfections mineures telles que des zones grises ou rugueuses peuvent être présentes sans affecter la résistance à la corrosion. La durabilité de ce revêtement est généralement supérieure à celle des revêtements conventionnels, car elle dépend de son épaisseur [6].

## I.7 Système Fer-zinc

Le fer et le zinc sont les principaux constituants de la galvanisation des tôles en acier, et il est crucial de détailler les différents composés intermétalliques formant le revêtement de galvanisation à partir du diagramme Fe-Zn. Ce diagramme binaire, initialement établi en 1938 et soumis à diverses modifications depuis, est actuellement mieux défini grâce à la version proposée par Kubaschewski en 1982.

Dans la partie riche en zinc du diagramme (**Figure I.7**), quatre composés intermétalliques Fe-Zn sont identifiés :  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$ ,  $\delta$  et  $\zeta$ , chacun avec une concentration en zinc croissante, comme mentionné par Foct en 1993 [7].

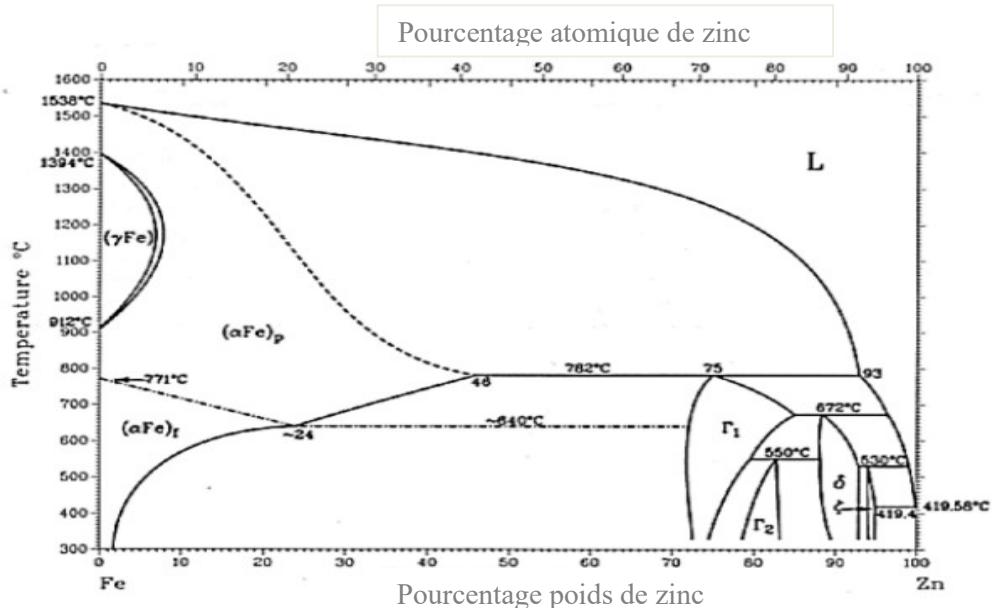


Figure I.7 : Diagramme de phases du système Fe-Zn [Moncel.M ; 1991].

## I.8 Caractéristiques de l'acier galvanisé

### I.8.1 Matériaux à traiter

Bande d'acier laminé à froid [6].

- La limite élastique 35 kg/mm<sup>2</sup>.
- la résistance à la rupture 45 kg/mm<sup>2</sup>.

	Min	Max
Largueur de bande	900 mm	1250 mm
Epaisseur de bande	0.32 mm	2.00 mm
Poids de bobine	/	24000 kg

Tableau I.5 : Caractéristiques des bobines laminé à froid.

## I.8.2 Produit obtenu

1. **Qualité de bande :** Tôle pour ondulage ou profilage avec recuit à 800 C° (recristallisation).
2. **Les Caractéristiques mécaniques des tôles galvanisées**

Ep (mm)	Rm (MPa)	A (%)
0,35-0,50	270-500	≥18
0,50-0,70		≥20
0,70-2,00		≥22

Tableau I.6 : Caractéristiques mécaniques des tôles galvanisé.

3. **Poids de revêtement de zinc :** Z100, Z140, Z200, Z225, Z275, Z350. En double face (g/m<sup>2</sup>)
4. **Vitesse de l'installation:** Entre 15 – 180 m/min
5. **Capacité de production:** Production horaire: Recristallisation = 30 t/h

## I.8.3 Domaines d'application

L'acier galvanisé est utilisé dans une variété d'industries et de projets, tels que la construction, l'architecture, l'industrie chimique, l'industrie alimentaire, et la fabrication de pièces mécaniques. Sa résistance à la corrosion et sa facilité de traitement en font un matériau de choix pour ces applications [7].

## I.8.4 Les avantages de l'utilisation de l'acier galvanisé

L'acier galvanisé présente plusieurs avantages, notamment un coût initial faible par rapport à d'autres aciers traités, une durée de vie prolongée, une protection sans faille grâce à la nature sacrificielle du revêtement de zinc, une résistance à la rouille accrue grâce à l'ajout de zinc, et une protection dans les coins et les creux qui ne peuvent pas être protégés par d'autres revêtements. De plus, l'acier galvanisé peut être peint après un certain temps de vieillissement pour une protection supplémentaire [7].

## **I.9 Conclusion**

Ce chapitre aborde la définition de l'acier, son comportement microstructural, et souligne la diversité des types d'aciers, qui se distinguent par l'incorporation d'éléments d'alliage. Chaque variété d'acier est influencée par sa composition chimique et son domaine d'application, garantissant ainsi sa résistance et sa longévité dans des conditions d'utilisation spécifiques, notamment environnementales. Le choix d'un type d'acier est déterminé par les propriétés requises, en fonction de sa microstructure, de son processus de fabrication, des traitements thermiques et thermochimiques, afin d'assurer une fonctionnalité optimale et une durée de vie satisfaisante de la pièce à fabriquer.

Notre pièce (support moteur tourne broche), est fabriquée à partir d'acier galvanisé, celui-ci se protège en continu, de la corrosion grâce à la couche protectrice zinc qui se forme à sa surface. Apte à la résistance à la corrosion et à la chaleur requise tous ces avantages nous ont permis de choisir cet acier galvanisé, pour la réalisation de support tourne broche d'une cuisinière ENIEM.

# Chapitre 2

## **Chapitre 2 : Procédés de mise en forme des tôles minces**

### **II.1- Introduction**

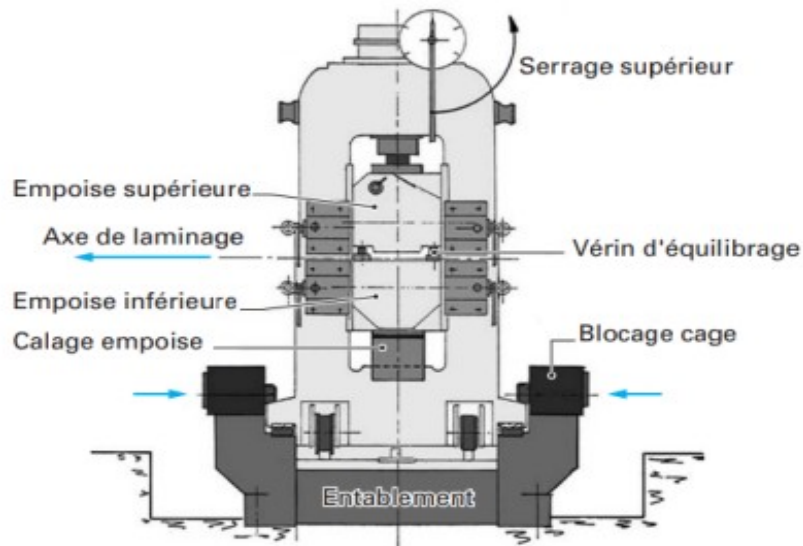
L'exploration des divers procédés de mise en forme des tôles minces, qui sont des éléments essentiels dans de nombreuses industries telles que l'automobile, l'aérospatiale, la construction navale, et bien d'autres. La mise en forme des tôles minces implique des techniques spécifiques pour transformer des feuilles de métal en pièces finies aux formes complexes et précises. Cette introduction posera les bases pour explorer en détail les méthodes de formage, les équipements utilisés, les avantages et les limitations de chaque procédé, ainsi que les applications spécifiques dans divers secteurs industriels. Nous examinerons comment ces procédés contribuent à la fabrication de composants essentiels et à haute valeur ajoutée, en mettant en lumière l'importance de la mise en forme des tôles minces dans l'industrie moderne.

### **II.2- Procédés d'obtention des tôles**

Les tôles sont des feuilles de métal d'une épaisseur inférieure à 6 mm, qui sont utilisées dans de nombreux domaines industriels. Les procédés d'obtention des tôles consistent à transformer les matériaux bruts en feuilles de métal minces et homogènes. Le laminage est l'un des procédés les plus couramment utilisés pour la production de tôles [8]

#### **II.2.1- Le laminage**

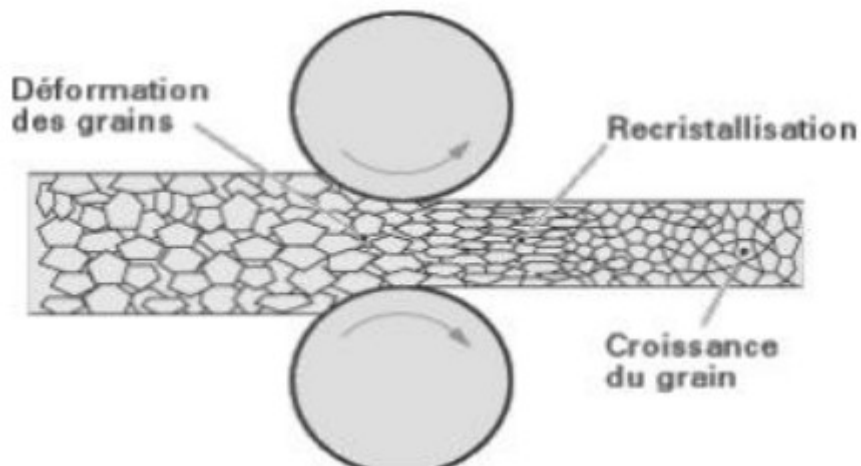
Le laminage est un procédé de transformation des matériaux qui consiste à faire passer une matière entre deux rouleaux pour en réduire l'épaisseur et allonger la longueur. Le laminage peut être réalisé à chaud ou à froid, ce qui a un impact sur les propriétés mécaniques de la tôle finale [8].



Figures II.1 : Éléments d'une cage de laminoir

### II.2.1.1- Le laminage à chaud

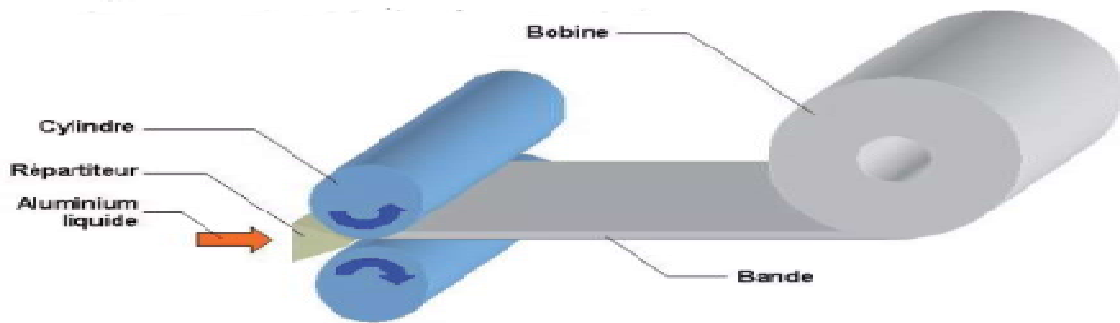
Le laminage à chaud est un procédé qui consiste à chauffer le métal à une température supérieure à sa température de recristallisation avant de le passer entre deux rouleaux. Cette méthode permet de réduire l'effort nécessaire pour déformer le métal, mais elle peut entraîner une perte de précision dimensionnelle et une dégradation des propriétés mécaniques de la tôle [8].



Figures II.2 : Recristallisation dynamique au cours du laminage à chaud

### II.2.1.2- Le laminage à froid

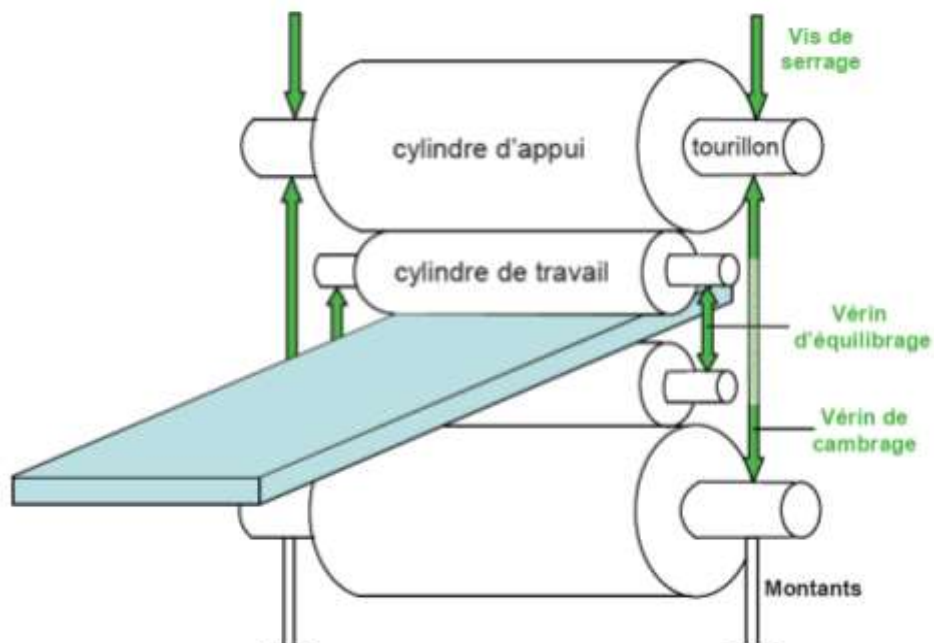
Le laminage à froid est un procédé qui consiste à passer le métal entre deux rouleaux à température ambiante. Cette méthode permet d'obtenir des tôles de grande précision dimensionnelle et de bonnes propriétés mécaniques, mais elle nécessite un effort de déformation plus important que le laminage à chaud.



Figures II.3 : Processus de fabrication de bandes d'aluminium par solidification entre cylindres

### II.2.1.3- Le laminage quarto

Le laminage quarto est un procédé qui consiste à faire passer la tôle entre deux rouleaux verticaux et deux rouleaux horizontaux. Cette méthode permet d'obtenir des tôles de grande largeur et de grande précision dimensionnelle.



Figures II.4 : Schéma d'une cage quarto de laminage

## II.3- Emboutissage

L'emboutissage est un procédé de formage utilisé dans l'industrie pour façonner ou couper le métal en le déformant à l'aide d'une presse à emboutir. Ce processus consiste à former le métal entre deux moitiés de l'outil de presse, en fonction des caractéristiques mécaniques de la pièce à former, de l'épaisseur initiale du métal et de la forme du produit fini [9].

### II.3.1- Principe de l'emboutissage

L'emboutissage repose sur l'application d'une force de compression sur une tôle métallique pour la déformer et lui donner une forme spécifique. Ce processus peut être réalisé à froid ou à chaud, en fonction des besoins de fabrication et des propriétés mécaniques requises pour la pièce finale [9].

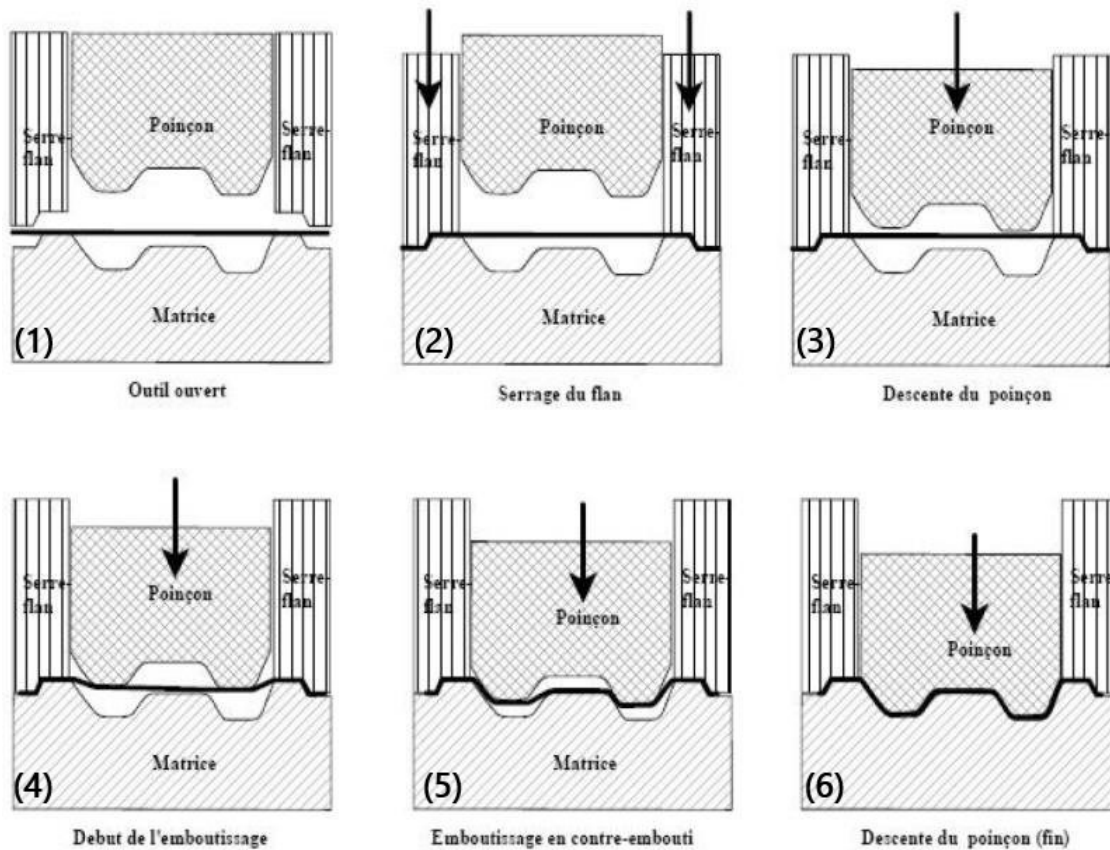


Figure II.5 : Différentes phases d'emboutissage

## II.3.2- Différents types d'emboutissages

### II.3.2.1- Emboutissage à froid

L'emboutissage à froid est l'une des techniques les plus couramment utilisées. Ce procédé se déroule à température ambiante et est adapté à des matériaux tels que l'acier doux et inoxydable, l'aluminium, le cuivre et le laiton. Il est largement utilisé dans l'industrie automobile en raison de sa précision dimensionnelle stable, de son coût de production réduit et de ses bonnes propriétés mécaniques. Cependant, l'emboutissage à froid peut entraîner un fort taux d'écrouissage du matériau, ce qui peut conduire à un durcissement structurel et à une diminution de la ductilité [9].

### II.3.2.2- Emboutissage à chaud

L'emboutissage à chaud se déroule à une température élevée, ce qui permet une déformation plus aisée du matériau. Ce procédé est adapté à des matériaux spécifiques et peut offrir des avantages en termes de formabilité et de propriétés mécaniques. Cependant, l'emboutissage à chaud peut nécessiter des équipements spécifiques et des contrôles plus rigoureux en raison des températures élevées impliquées.

Ces différentes approches d'emboutissage offrent des solutions adaptées à divers besoins de fabrication, en garantissant des pièces de qualité répondant aux exigences spécifiques de chaque application industrielle [9].

## II.3.3- Effort d'emboutissage

Dans le cas d'un emboutissage cylindrique, l'effort d'emboutissage se calcule avec la formule suivante :

$$F_e = \pi \cdot d \cdot e \cdot R_m \cdot K \quad (II.1)$$

Avec :

- $F_e$  : Effort d'emboutissage, (en daN).
- $d$  : Diamètre du poinçon, (en mm).
- $e$  : Epaisseur de la tôle, (en mm).
- $R_m$  : La résistance de la tôle à la traction, (en MPa).

- K : Coefficient en fonction du rapport  $\frac{d}{D}$ .
- D : Diamètre du flan, (en mm).

$\frac{d}{D}$	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
K	1	0.86	0.72	0.60	0.50	0.40

**Tableau II.1** : Tableau de détermination du coefficient K en fonction de  $\frac{d}{D}$ .

### II.3.3.1- Vitesse d'emboutissage

La vitesse d'emboutissage se définit comme la vitesse du poinçon au moment de l'attaque de la tôle. Elle est un facteur important dans le procédé d'emboutissage, qui consiste à déformer une tôle pour lui donner une forme souhaitée en utilisant une presse et des outils spécifiques. La vitesse d'emboutissage peut influencer la qualité du produit final, notamment en ce qui concerne la précision et la qualité de la surface de la pièce emboutie. Elle peut également affecter la durée de vie des outils et la consommation d'énergie du processus. Il est donc important de bien maîtriser la vitesse d'emboutissage pour obtenir des pièces de qualité et optimiser les coûts de production [9].

D'après BLISS, il existe une vitesse optimale pour chaque métal, ces vitesses sont reportées dans le (tableau II.2).

Mâtériau	Vitesse
l'acier	200
le zinc	200
les aciers doux	280
l'aluminium	500
Le laiton	750

**Tableau II.2** : Vitesses d'emboutissage [mm /s]

### II.3.3.2- Effort sur le serre-flan $F_s$

$$F_s = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot P \quad (II.2)$$

Avec :

**P** : La pression spécifique sur le serre flan.

Matière	Pression (N/mm <sup>2</sup> )
Acier doux – e1mm	2.5 à 3.0
Acier doux – e1mm	1.8 à 2.5
Laiton	1.5 à 2.5
Cuivre	1.2 à 1.5
Aluminium	0.8 à 1.2
Bronze	2.0 à 2.5

**Tableau II.3** : Pression des matériaux

## II.4- Découpage

Le découpage implique retirer d'une bande de matériau une pièce plate quelconque, souvent appelée flan, découpe ou galet [10].

- **Le poinçon** : est un cylindre dont la base correspond exactement en forme et dimensions à la pièce à découper.
- **La matrice** : une pièce creusée de manière à ce que le poinçon s'insère dans son ouverture.
- **Une bande de tôle destinée à être découpée (flan)** : est obtenue en séparant le matériau le long d'une ligne fermée dans une bande ou une feuille.
- **Un serre-flan ou un dévêtisseur** : a pour rôle de maintenir la bande pendant le processus de découpe, de guider précisément les poinçons par rapport aux matrices et d'éliminer les pièces découpées des poinçons

### II.4.1- Principe de l'opération

L'opération implique le serrage de la bande de métal entre le poinçon et la matrice jusqu'à ce que le métal sous le poinçon entre dans la matrice (**voir Figure II.7**). Cela provoque un cisaillement complet du métal sur tout le pourtour du poinçon [10].

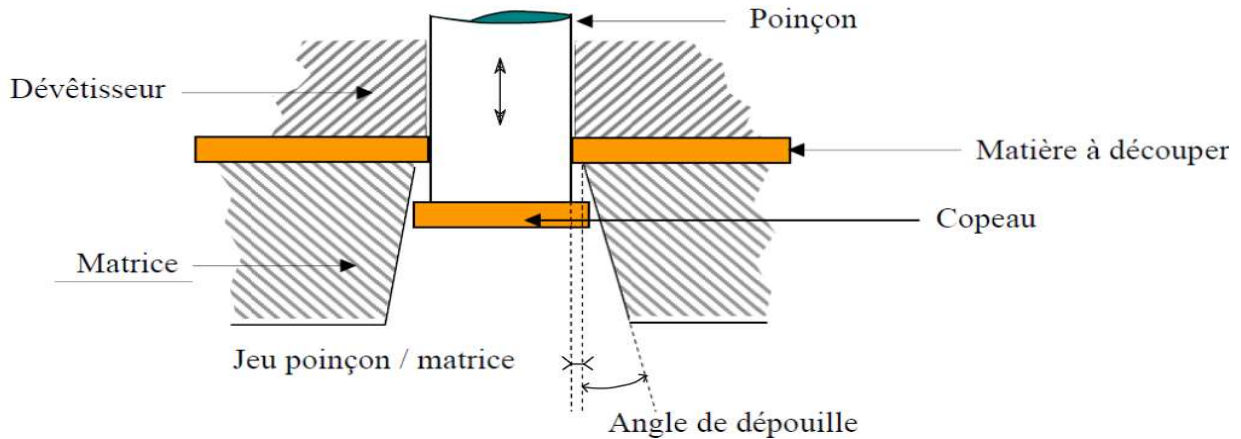


Figure II.7 : Principe de l'opération

## II.4.2- Différents types de découpage

### II.4.2.1- Cisailage

Est la séparation totale ou partielle d'un élément métallique à l'aide de deux lames dont l'une au moins est mobile [10].

**Principe :** Sous l'effet de la contrainte appliquée par la partie active des lames, une déformation élastique se produit, suivie d'un glissement avec la séparation du métal (selon deux directions formant un angle  $\beta$ ). En continuant sa course, la lame entraîne la rupture de la plaque. L'angle  $\beta$  et la profondeur de séparation varient en fonction du type de métal et de son état. Par exemple,  $\beta = 4^\circ$  pour les aciers durs et  $\beta = 6^\circ$  pour les aciers doux. L'apparence et le profil de la surface cisailée peuvent être améliorés en ajustant le jeu entre les deux lames (voir Figure II.8).

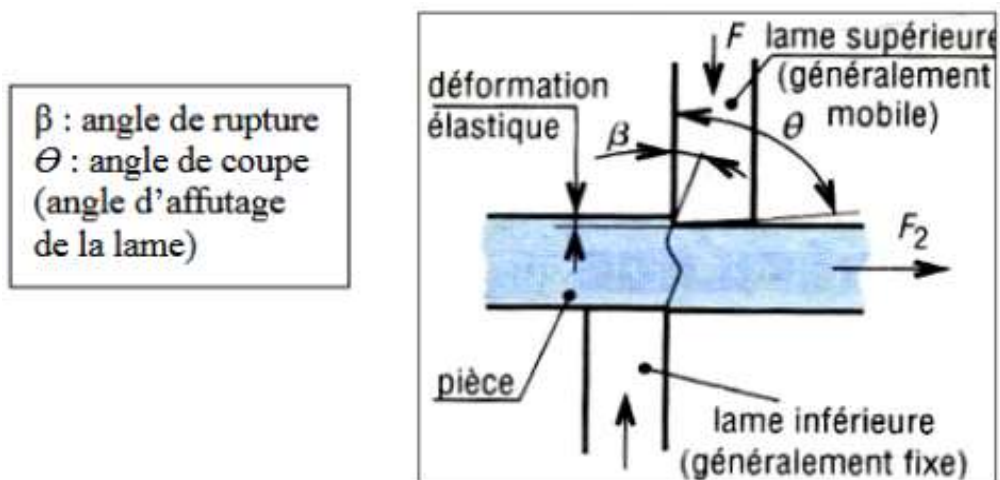


Figure II.8 : Cisailage des tôles

### II.4.2.2- Encochage

L'encochage est un découpage débouchant sur un contour.

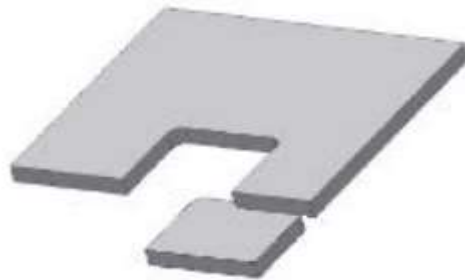


Figure II.9 : Opération d'encochage

### II.4.2.3- Crevage

Le crevage est une opération de découpe partielle selon un contour sans enlèvement de matière. Il implique de ne pas détacher complètement la chute de la pièce [10]. De plus, cette technique est utilisée principalement sur des pièces épaisses (voir Figure II.10).

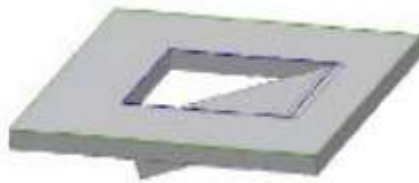


Figure II.10 : Opération de crevage

### II.4.2.4- Grignotage

Il s'agit d'une technique de découpe partielle effectuée le long du bord du flan, en déplaçant progressivement celui-ci ou le poinçon. Cette méthode consiste à créer une saignée dans le métal en effectuant une série de découpes de courte longueur [10].



Figure II.11 : Opération de grignotage

### II.4.2.5- Ajourage

C'est une opération qui consiste à découper dans un flan de grands diamètres et de forme allongée.

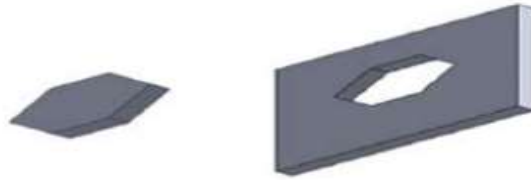


Figure II.12 : Opération d'ajourage

### II.4.2.6- Détourage

C'est une opération d'ébavurage, qui consiste à découper les surfaces excédentaires autour d'une pièce préalablement emboutie à la presse (Figure II.13).



Figure II.13 : Opération de détourage

### II.4.2.7- Soyage

Il s'agit d'un processus où les bords d'un trou sont relevés, soit après le poinçonnage d'un trou, soit à l'aide d'un poinçon épaulé qui poinçonne le trou dans le vide et relève simultanément la paroi de celui-ci.

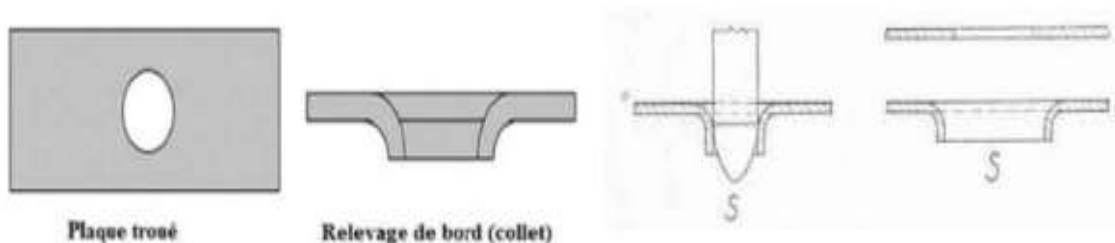


Figure II.14 : Opération de doyage

### II.4.2.8- Le poinçonnage

Le poinçonnage est une opération de découpage qui consiste à faire des trous sur des tôles à l'aide d'un poinçon en relevant toute la matière en un seul coup.



Figure II.15 : Pièce poinçonnée

#### II.4.2.8.1- Le processus de poinçonnage

Dans le poinçonnage machine, l'outil se compose de deux parties distinctes [10]:

- **La partie supérieure** : appelée bloc poinçon, est connectée au coulisseau et possède un mouvement de translation alternatif.
- **La partie inférieure** : est le bloc matrice, fixé sur le bâti de la presse

### II.4.3- Les paramètres influençant sur l'opération de découpage

L'opération de découpage est influencée par plusieurs paramètres clés qui jouent un rôle crucial dans la qualité et l'efficacité du processus. Voici les principaux paramètres qui impactent l'opération de découpage :

#### II.4.3.1- Jeu entre poinçon et matrice

- Le jeu entre le poinçon et la matrice est un facteur essentiel dans l'opération de découpage, influençant l'effort de découpe et le profil des pièces découpées.
- Ce jeu doit être réparti de manière égale sur toute la périphérie du poinçon et de l'ouverture de la matrice pour assurer une découpe optimale.
- Des relations de calcul du jeu relatif entre le poinçon et la matrice par rapport à l'épaisseur de la tôle sont présentées pour guider le dimensionnement du jeu [11].

#### II.4.3.2- Géométrie des éléments de découpe

- La géométrie des éléments de découpe, tels que le poinçon et la matrice, joue un rôle crucial dans le processus de découpage.

- Des paramètres comme l'angle au bout du poinçon et le jeu entre le poinçon et le dévêtisseur influencent l'efficacité de la découpe et la qualité des pièces découpées [11].

### **II.4.3.3- Effort de découpage**

L'effort de découpage, calculé en fonction de la longueur coupée, l'épaisseur de la pièce et la résistance au cisaillement du matériau, est un paramètre clé à prendre en compte pour garantir une découpe efficace [11].

### **II.4.3.4- Vitesse de découpe**

La vitesse de découpe est un paramètre important qui peut influencer la qualité de la découpe. Une augmentation de la vitesse de coupe peut entraîner des variations dans le profil de découpe et la qualité des pièces découpées [11].

## **II.4.4- Les paramètres liés au réglage de l'outil et de la presse**

### **II.4.4.1- Le serre-flan**

Le serre-flan est un élément essentiel dans le processus de découpage, car il permet de maintenir la plaque de métal en place pendant l'opération de découpe. Il est généralement utilisé pour les matériaux fins et les petites séries, et il est monté sur une presse appelée "platine portefeuille" [11].

### **II.4.4.2- Pénétration du poinçon dans la matrice**

La pénétration du poinçon dans la matrice est un paramètre important, car elle influence l'effort maximal de découpe et le profil des pièces découpées. Le jeu entre poinçon et matrice est un facteur important dans l'opération de découpage, et il doit être réparti à égalité sur toute la périphérie du poinçon et de l'ouverture de la matrice [11].

### **II.4.4.3- Vitesse de découpage**

La vitesse de découpage est un paramètre qui peut influencer la qualité de la découpe. Une augmentation de la vitesse de coupe peut entraîner une augmentation de la partie cisailée dans le profil de découpe du cuivre [11].

## II.4.5- L'effort appliqué lors du poinçonnage

### II.4.5.1- Contrainte sur le poinçon

Lorsque le poinçon descend avec un effort opposé à la bande de tôle, il est sollicité à une compression. La contrainte de compression de l'outil est calculée suivant la **(formule II.4)**.

La condition de résistance de l'outil à la compression est que cette contrainte sollicitée ne doit pas dépasser la limite élastique du matériau à partir duquel est fabriqué le poinçon **(relation II.3)**.

$$\sigma_{\text{min}} < R \quad (\text{II.3})$$

$$\sigma_{\text{com}} = \frac{F}{S} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

$\sigma_{\text{com}}$  : Contrainte de compression, (en MPa).

$R_e$  : La limite élastique du poinçon, (en MPa).

$F$  : Effort de découpage, (en N).

$S$  : Section du poinçon, (en mm<sup>2</sup>).

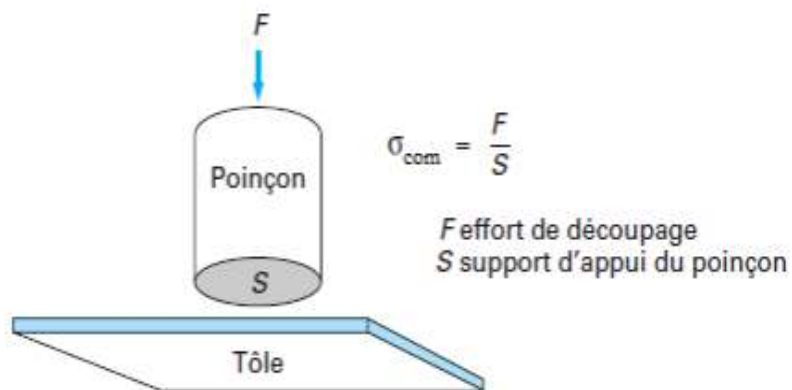


Figure II.16 : Contrainte de compression sur le poinçon

### II.5.4.2- Resistance des poinçons au flambement

Les poinçons longs ou fins peuvent fléchir sous compression, créant un risque de flambement. Pour éviter cela, on calcule la charge critique (PCR) selon la formule d'Euler II.5. Pour les outils à bande, les poinçons sont encastrés d'un côté et libres de l'autre.

Pour garantir la résistance, l'effort de découpage doit rester inférieur à la charge critique de flambement, comme spécifié dans la relation II.6.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} \quad (\text{II.5})$$

$$F < P_{cr} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

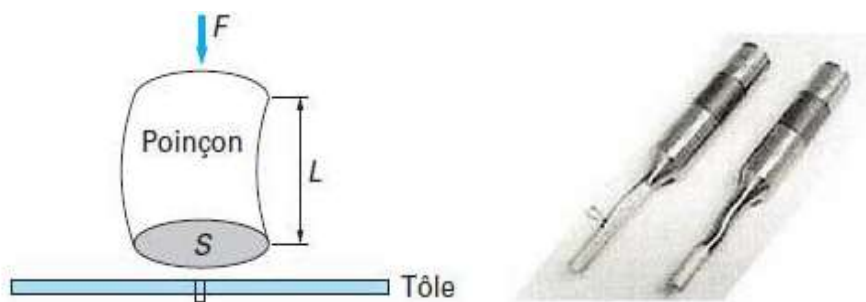
**F** : L'effort de découpage, (en N).

**P<sub>cr</sub>** : La charge critique du flambement, (en N).

**E** : Module d'élasticité du matériau du poinçon, (en MPa).

**I** : Moment d'inertie du poinçon, (en mm<sup>4</sup>).

**l** : Longueur libre de flambement, (en mm).



**Figure II.17** : Etat d'un flambement du poinçon de découpage

## II.5 Le pliage

Le pliage des tôles est un processus de transformation des métaux qui consiste à utiliser des forces pour modifier la forme d'une tôle. Cela est fait pour obtenir la forme souhaitée ou la forme nécessaire pour un processus de fabrication. La force externe utilisée ne modifie que les caractéristiques externes de la feuille, mais les paramètres de la tôle comme la longueur et l'épaisseur restent les mêmes. La malléabilité de la tôle lui permet en outre de subir divers processus de mise en forme [12]

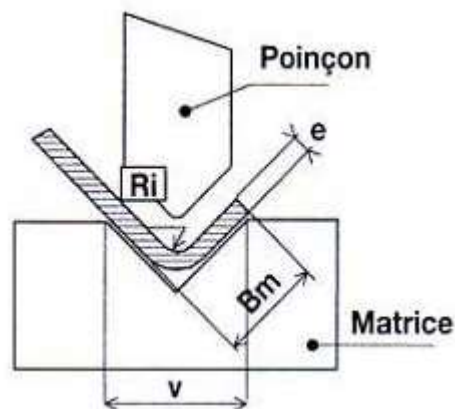


Figure II.18 : opération de pliage avec matrice et poinçon

### II.5.1 le rayon de pliage

Le rayon de pliage est un paramètre essentiel dans le processus de pliage des tôles. Il dépend de plusieurs facteurs, notamment [12] :

- La nature du matériau (acier, aluminium, cuivre, etc.)
- L'épaisseur de la tôle à plier
- L'état de malléabilité du matériau (recuit, trempé, écroui)
- L'orientation des fibres linéaires pour les alliages d'aluminium

Pour l'acier doux et l'aluminium, on adopte généralement un rayon intérieur minimal égal à l'épaisseur de la tôle à plier. Cependant, ce rayon peut varier en fonction du pourcentage d'allongement du matériau, comme le montre le tableau suivant

Pourcentage d'allongement	Rayon intérieur minimal
$A \geq 33\%$	$R_i = e$
$A \geq 20\%$	$R_i = 2e$
$A \geq 14\%$	$R_i = 3e$
$A \geq 12\%$	$R_i = 4e$
$A \geq 8\%$	$R_i = 5e$
$A \geq 7\%$	$R_i = 6e$

**Tableau II.4 :** Variation du rayon en fonction du pourcentage d'allongement du matériau

## II.5.2 L'effort du pliage

On considère communément que l'énergie requise pour plier une section de tôle est approximativement un dixième de celle nécessaire pour la découper à cet endroit.

$$F = \frac{e \cdot L \cdot R_c}{10} \quad (\text{II.7})$$

Avec :

**e** : l'épaisseur de la tôle, (en mm).

**L** : la longueur de la ligne de cambrage, (en mm).

**R<sub>c</sub>**: Résistance de la tôle au cisaillement, (en daN /mm<sup>2</sup>).

Il est important de souligner que l'utilisation d'outils encombrants entraîne souvent le recours à des presses qui appliquent une force bien plus grande que celle nécessaire. Ainsi, le calcul de l'effort de pliage devient superflu lorsqu'il s'agit de choisir la presse appropriée.

## II.5.3 Différentes techniques de pliage

### II.5.3.1 Pliage en frappe

Le pliage en frappe est une technique qui implique l'utilisation d'une force pour plier la tôle jusqu'à un degré choisi, nécessitant des efforts de pliage importants et permettant d'obtenir des pièces précises [12].

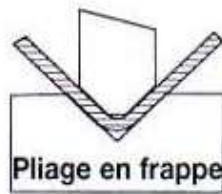


Figure II.19: pliage en frappe

### II.5.3.2 Pliage en l'air

Le pliage en l'air est une méthode où les branches libres du pli ne viennent pas en contact avec les faces intérieures du vé, offrant une alternative au pliage en frappe [12].

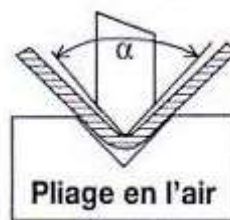


Figure II.20: pliage en l'air

### II.5.3.3 Pliage sur élastomère

Le pliage sur élastomère est une technique qui utilise un élastomère pour le pliage, offrant des avantages spécifiques dans le processus de formage [12].

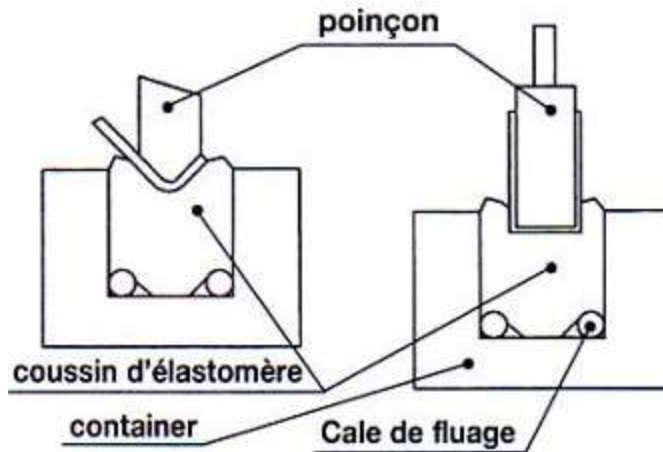


Figure II.21: pliage sur élastomère

### II.5.4 Quelques exemples de travaux réalisés sur presse plieuse

Dans la (figure II.22) on montre quelques formes de pliage réalisés sur les tôles

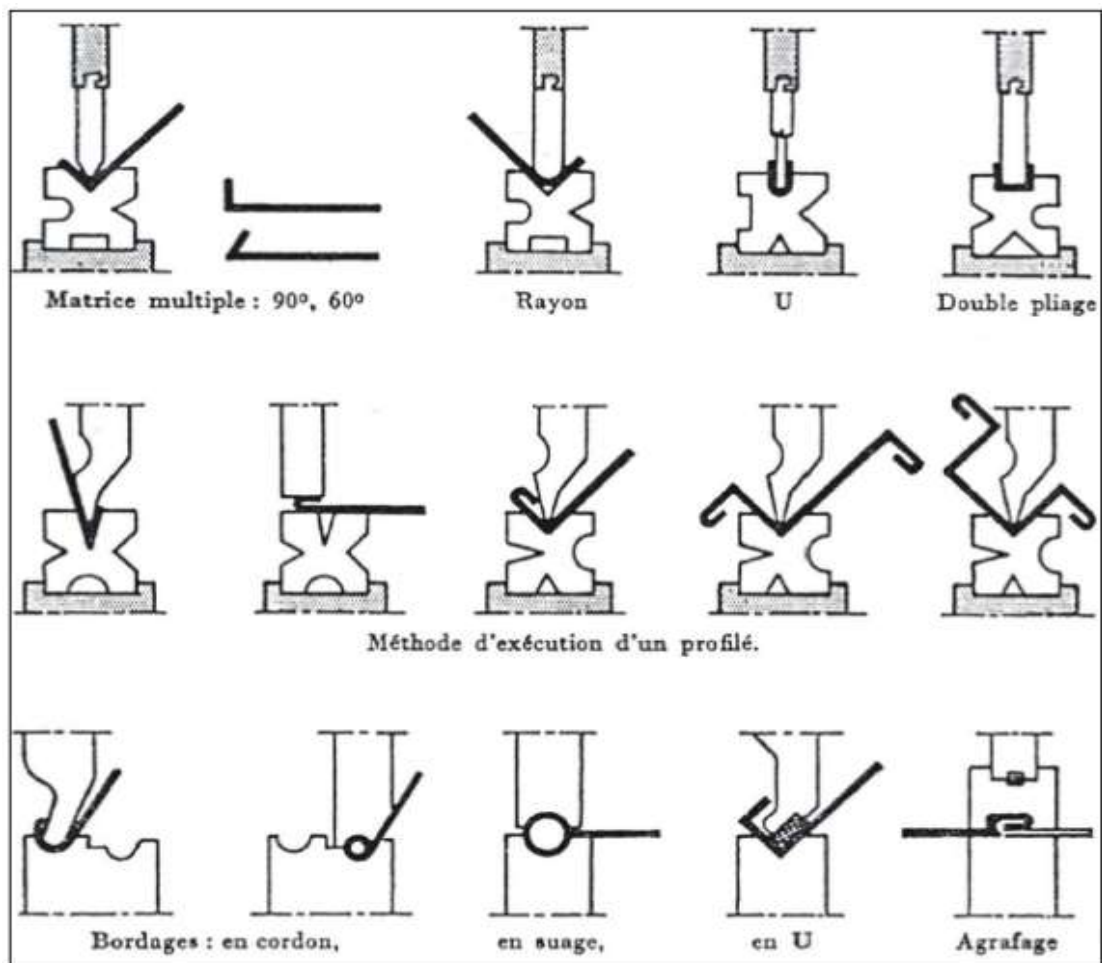


Figure II.22 : Opérations réalisées sur une presse plieuse

## II.5.5- Rayon minimal de pliage

Le rayon minimal de pliage est un paramètre critique dans le processus de pliage, influençant la qualité et l'intégrité des pièces formées. Ce rayon doit être soigneusement déterminé en fonction de plusieurs facteurs, tels que :

### II.5.5.1- Nature du matériau

Le type de matériau utilisé influence le rayon minimal de pliage, car chaque matériau a des propriétés de déformation spécifiques qui doivent être prises en compte [13].

### II.5.5.2- Épaisseur de la tôle

L'épaisseur de la tôle à plier est un facteur déterminant dans le choix du rayon minimal de pliage, car une épaisseur plus importante nécessite généralement un rayon plus grand pour éviter la déformation excessive du matériau [13].

### II.5.5.3- État de malléabilité

Le traitement thermique et l'état de malléabilité du matériau, comme le recuit, le trempage ou le durcissement, influencent la capacité du matériau à être plié sans se fissurer ou se déformer de manière indésirable [13].

### II.5.5.4- Orientation des fibres linéaires

Pour les alliages d'aluminium, l'orientation des fibres linéaires, liée au sens de laminage, peut affecter le choix du rayon minimal de pliage pour garantir une déformation uniforme et éviter les défauts [13].

Le rayon minimal peut être déterminé par la formule suivante :

$$\frac{R_{min}}{e} = \frac{1}{\left[ \frac{A-4}{100-Z} \right] \left[ \frac{A-4}{100-Z} + 2 \right]} \quad (II.8)$$

Avec :

**Rmin** : Rayon minimal de pliage.

**e** : Épaisseur de la tôle.

**A%** : Allongement après rupture.

**Z%** : Coefficient de striction.

(Le tableau II.5) ci-dessous donne le rayon minimal de pliage en fonction de la matière et de l'épaisseur de la tôle.

9	Rayon (mm) a				Matière	État	Épais- seur mm	Rayon b		
	Laiton		Acier							
Épais- seur mm	doux	dur	qualité embou- tissage (E - ES)	qualité courante (TC)	Alliages d'alumi- nium					
	1	0.2	0.3	0.5					0.6	AlCuMg (A-U 2 G)
1.5	0.25	0.4	0.75	0.8	AlMgSi (A-GS)	doux	1.2	0.8 à 1.2 e		
						trempe	2.5	2 à 2.5 e		
2	0.3	0.6	1	1.2	AlMg (AG 06)	doux	2	1 à 2 e		
						mi-dur	3	2 à 3 e		
2.5	0.4	0.8	1.25	1.5	AlMn (A-MI)	doux	1.2	0.8 à 1.2 e		
						dur	3	2 à 3 e		
3	0.5	1	1.5	1.8	Alliages de magnésium	plié à froid	10	4 à 10 e		
						plié à chaud	2	~ 2 e		
3.5	0.6	1.25	1.75	2.1	Al	doux	1	0.3 à 1 e		
						dur	2	1 à 2 e		
4	0.7	1.5	2	2.6						
4.5	0.8	1.75	2.25	3						
C		T40 (recuit)	T50 (recuit)	T60 (recuit)	TASE (recuit)	TU2 (recuit)	TABDV (recuit)	TABV (recuit)	TABV6E2 (recuit)	TV13CA (trempe)
Rayons de pliage mini à 180°		1.5 e	2 e	2 e	4 e	2 e	4 e	4 e	3 e	3 e

Tableau II.5 : Rayon minimal de pliage

### II.5.6- Rayon et Angle du poinçon à utilisé en pliage

Pendant le processus de pliage et sous l'effet du poinçon, la tôle se courbe à un angle  $\alpha_1$ . Lorsque le poinçon se retire, l'angle s'ouvre légèrement jusqu'à atteindre un angle  $\alpha_2$  qui diffère de  $\alpha_1$  (voir figure II.23). Ce phénomène, connu sous le nom de retour élastique, résulte d'une libération des contraintes élastiques.

L'angle de retour élastique est défini comme  $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ .

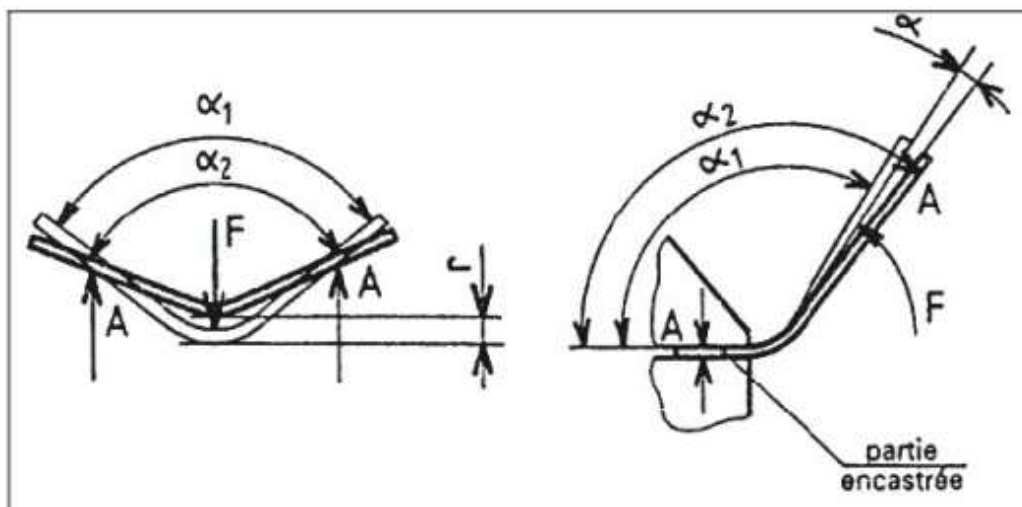


Figure II.23 : Phénomène du retour élastique

### II.5.6.1- Rayon de poinçon

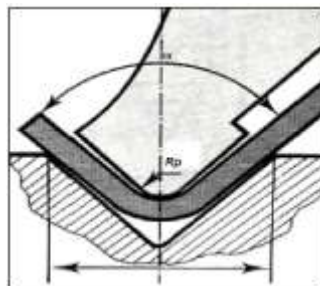
Pour obtenir des pièces à des cotes précises, il faut tenir compte du retour élastique au moment de la conception de l'outillage. D'où le rayon du poinçon à utiliser en pliage :

$$\frac{R_p}{e} = \frac{\frac{R}{e}}{1 + 3 \frac{R \cdot R_e}{E \cdot e}} \quad (\text{II.9})$$

Remarque : Cette formule est valable que pour les grands rayons de pliage.

$$\alpha_0 = \frac{\alpha}{k} \quad (\text{II.10})$$

- Avec :
- **E** : module d'élasticité de la tôle (N/mm<sup>2</sup>).
- **e** : épaisseur de la tôle (mm).
- **Re** : limite élastique (N/mm<sup>2</sup>).
- **R** : rayon de la pièce final (mm).
- **Rp** : Rayon de l'outil de pliage (mm).



Figures II.24 : Pliage en V sur presse plieuse

### II.5.6.2- Angle de poinçon

La fibre neutre de la tôle maintient une longueur constante pendant le processus de pliage et pendant le retour élastique.

On a :

$$\alpha_0 \cdot R_{f0} = \alpha \cdot R_f \quad (\text{II.11})$$

Donc :

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} = \frac{R_f}{R_{f0}} = K \quad (\text{II.12})$$

Avec  $\alpha_0$  représentant l'angle de l'outil de pliage, c'est-à-dire l'angle à atteindre. La valeur de K varie en fonction du rapport  $\frac{R_i}{e}$  et du matériau utilisé.

On conclut que :

$$\alpha_0 = \frac{\alpha}{k} \quad (\text{II.13})$$

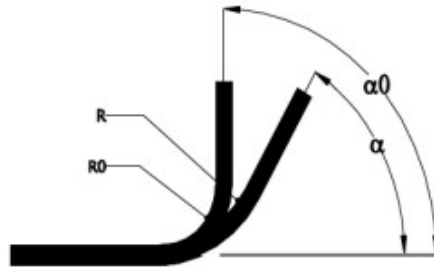


Figure II.25 : Angle de poinçon

### II.5.7 Calcul de l'effort de pliage

Le calcul de l'effort de pliage est un élément essentiel dans la conception et l'optimisation des processus de pliage des tôles métalliques. Plusieurs modèles et formules ont été développés pour estimer cet effort en fonction des paramètres clés du pliage [13].

#### II.5.7.1 Modèle de Siebel

Le modèle de Siebel est l'un des plus utilisés pour calculer l'effort de pliage.

L'effort de pliage F est donné par la formule :

$$F = k \cdot b \cdot \frac{s^2}{R} \quad (\text{II.14})$$

Avec :

k : coefficient dépendant du matériau

b : largeur de la tôle

s : épaisseur de la tôle

R : rayon de pliage

#### II.5.7.2 Modèle de Boljanovic

Le modèle de Boljanovic prend en compte l'angle de pliage dans le calcul de l'effort.

L'effort de pliage F est donné par :

$$F = k \cdot b \cdot \frac{s^2}{R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (\text{II.15})$$

Avec :

$\alpha$  : angle de pliage

### II.5.7.3 Modèle de Lange

Le modèle de Lange intègre l'effet du retour élastique dans le calcul de l'effort.

L'effort de pliage F est donné par :

$$F = k \cdot b \cdot \frac{s^2}{R(1 + \frac{\alpha}{90})} \quad (\text{II.16})$$

Avec :

$\alpha$  : angle de retour élastique

### II.5.7.4 Facteurs influençant l'effort de pliage

En plus des paramètres géométriques, d'autres facteurs influencent l'effort de pliage :

- Propriétés du matériau (limite d'élasticité, coefficient d'écroutissage, etc.)
- Lubrification et frottement entre la tôle et les outils
- Vitesse de pliage

### II.5.7.5 Considérations pratiques

- Les modèles théoriques fournissent une estimation de l'effort, mais des essais pratiques sont nécessaires pour affiner les calculs.
- Le choix du modèle dépend de la complexité du pliage et de la précision souhaitée.

## **II.6 Conclusion**

Avant de commencer tout processus de mise en forme, le métal doit d'abord être obtenu sous forme de tôles. Ces tôles sont produites en passant par différentes étapes de laminage à partir d'une brame (un bloc d'acier brut).

Les diverses techniques de mise en forme métallurgique, qui impliquent la déformation plastique, visent à donner une forme spécifique au métal sous forme de tôle tout en influençant sa microstructure pour obtenir les propriétés désirées dans le produit final.

Ces opérations de mise en forme sont réalisées sur des presses pour minimiser les coûts de production et garantir la conformité géométrique du produit final.

# Chapitre 3

## **Chapitre 3 : Exploration des Technologies de Pressage Machines et Outils**

### **III.1-Les presse mécanique**

#### **III.1.1-Introduction**

La presse est un dispositif mécanique essentiel dans diverses industries, utilisé pour façonner des pièces à partir de matériaux plats tels que les tôles et les plastiques.

Elle est employée pour des opérations telles que le découpage, le poinçonnage, le pliage et l'emboutissage. Typiquement composée d'un coulisseau mobile portant le poinçon et d'un bâti fixe portant la matrice, la presse exerce une pression sur la pièce pour en modifier la forme.

#### **III.1.2-Paramètres de distinction des presses**

La manière dont l'énergie est transmise constitue un élément essentiel de distinction entre les différents types de presses. On identifie généralement les presses mécaniques, hydrauliques et pneumatiques. Les presses mécaniques utilisent un dispositif mécanique pour transmettre l'énergie, tandis que les presses hydrauliques et pneumatiques font appel à des systèmes respectivement hydrauliques et pneumatiques. On peut ainsi catégoriser les presses en type C et en type H, qui se différencient par leur monture en termes de forme et de structure.

Le mode de fonctionnement de la presse, qu'il soit à vis ou excentrique, permet également de les différencier. Les presses à vis utilisent un mécanisme à vis pour déplacer le coulisseau, tandis que les presses excentriques reposent sur un mécanisme excentrique.

Les presses peuvent être différenciées selon leur capacité de contrôle. On distingue ainsi les presses conventionnelles des servo-presses, ces dernières offrant un contrôle accru et une précision supérieure [14].

### III.1.3-Différentes presses

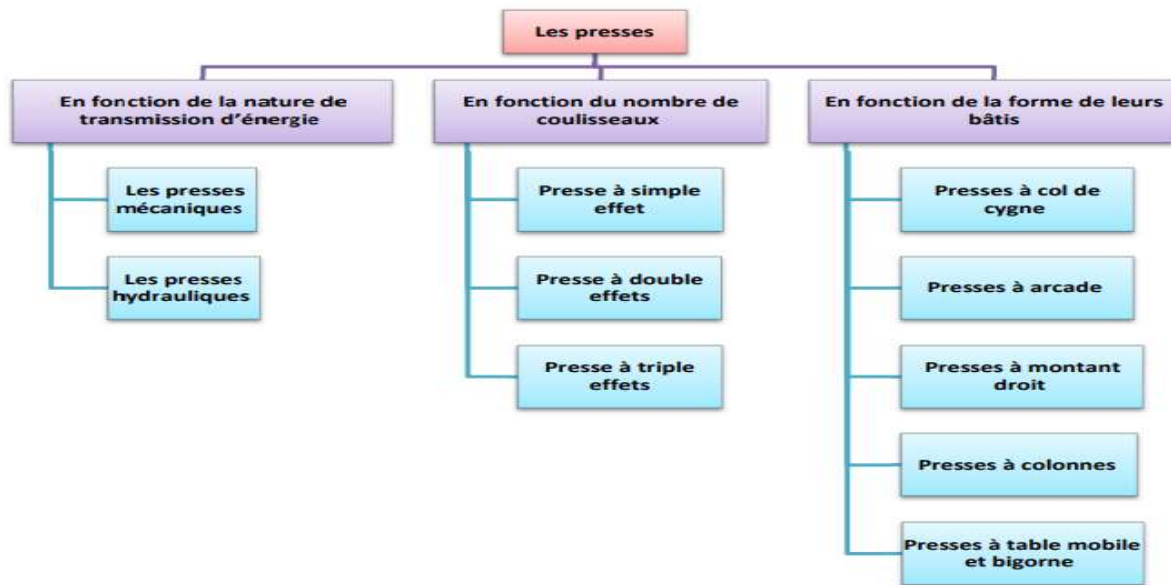


Figure III.1 : Organigramme de classification des presses

#### III.1.3.1- selon le mode de transmission d'énergie

On distingue deux types :

Les presses mécaniques et les presses hydrauliques.

##### III.1.3.1.1-les presses mécaniques

Les presses mécaniques (Figure III.2) sont actionnées par des commandes mécaniques. Dans ce type de presse, l'énergie provenant du moteur est convertie en mouvement relatif, puis stockée sous forme d'énergie cinétique dans un volant d'inertie en rotation. Cette énergie est ensuite transférée au coulisseau en translation par un mécanisme approprié [14].



Figure III.2 : Presse mécanique

*III.1.3.1.1.1-Mécanismes de Commandes*

Dans le domaine des presses mécaniques, les mécanismes de commandes jouent un rôle crucial dans le fonctionnement et la précision des opérations. Voici une exploration des principaux mécanismes de commandes utilisés dans les presses mécaniques [15] :

- **Système Bielle-Manivelle**

Le système bielle-manivelle est un mécanisme classique largement utilisé dans les presses mécaniques. Il se compose d'une bielle et d'une manivelle qui convertissent le mouvement rotatif en un mouvement linéaire alternatif. Ce mécanisme est efficace pour transformer l'énergie du moteur en un mouvement de va-et-vient du coulisseau, assurant ainsi des opérations de formage et de découpe précises [15].

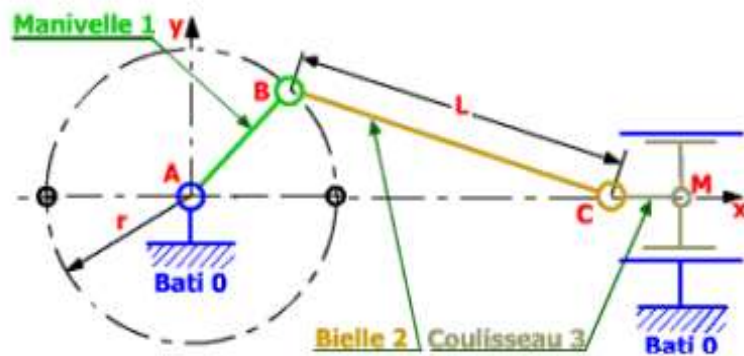


Figure III.3 : Système Bielle-Manivelle

- **Système Excentrique**

Le système excentrique repose sur l'utilisation d'un arbre excentrique pour convertir le mouvement rotatif en un mouvement linéaire alternatif du coulisseau. Ce mécanisme est couramment utilisé dans les presses mécaniques pour des opérations de poinçonnage et de cisailage, offrant une grande précision et une efficacité dans les processus de fabrication [15].

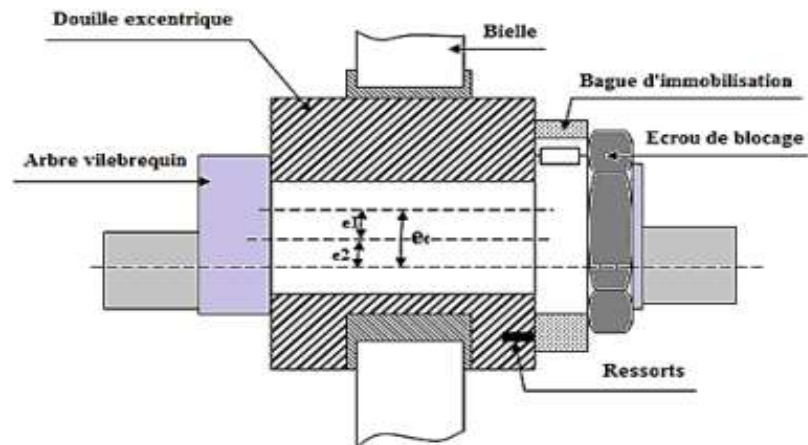


Figure III.4 : Système Excentrique

- **Système à Genouillère**

Le système à genouillère est un mécanisme articulé composé d'un bras et d'un genou, permettant de transformer le mouvement rotatif en un mouvement alternatif du coulisseau. Ce système offre une grande flexibilité dans les opérations de formage et de découpe, assurant une précision et une régularité dans les opérations de production [15].

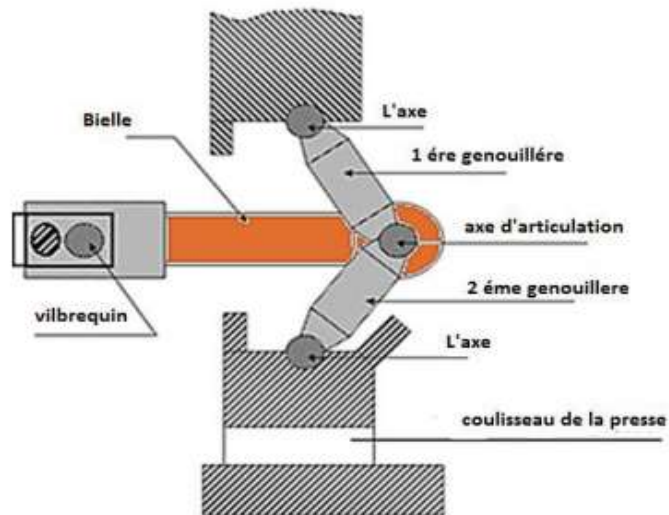
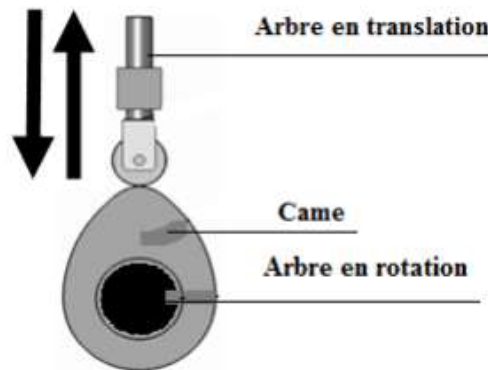


Figure III.5 : Système à Genouillère

- **Système à Came**

Le système à came utilise un profil de came spécifique pour contrôler le mouvement du coulisseau. La forme de la came détermine le mouvement du coulisseau, offrant ainsi une grande

variabilité dans les opérations de formage et de découpe. Ce mécanisme permet une adaptation précise aux besoins spécifiques des processus de fabrication [15].



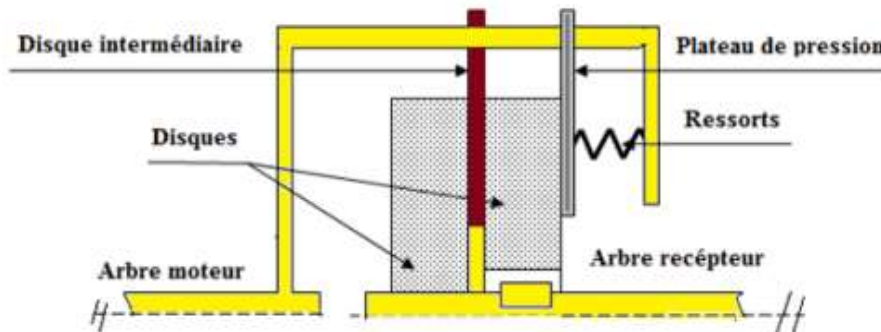
**Figure III.6 :** Système à Came

#### III.1.3.1.1.2-Embrayage

Cet élément facilite le démarrage et l'arrêt du coulisseau. Il existe deux types d'embrayages qui remplissent cette fonction :

- **Embrayage par friction**

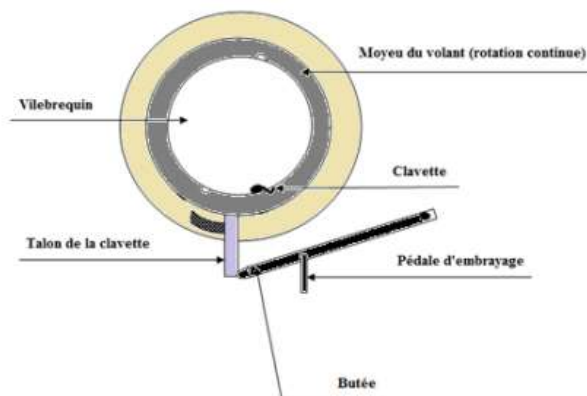
L'embrayage par friction utilise la force de frottement pour transmettre le mouvement. Il est composé de deux disques, l'un étant solidaire du moteur et l'autre du coulisseau. Lorsque les disques sont pressés l'un contre l'autre, le frottement permet de transmettre le mouvement de rotation du moteur au coulisseau. Cet embrayage offre l'avantage d'une transmission progressive du mouvement, permettant un démarrage en douceur et un contrôle précis de la vitesse. Cependant, il nécessite un entretien régulier pour maintenir les surfaces de friction en bon état [16].



**Figure III.7 :** Schéma d'un système à embrayage par friction

- **Embrayage automatique par clavette**

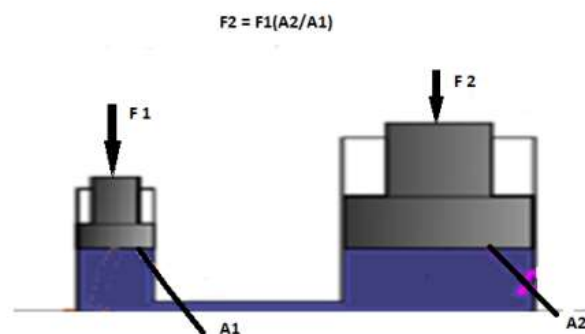
L'embrayage automatique par clavette utilise un mécanisme à clavette pour transmettre le mouvement. Lorsque le moteur tourne, les clavettes sont projetées vers l'extérieur par la force centrifuge et viennent s'engager dans des encoches correspondantes sur le coulisseau. Cet embrayage offre une transmission rapide et fiable du mouvement, avec un déclenchement automatique lorsque la vitesse de rotation atteint un certain seuil. Il nécessite moins d'entretien que l'embrayage par friction, mais peut être moins précis dans le contrôle de la vitesse [16].



**Figure III.8 :** Embrayage par clavette pivotante

### *III.1.3.1.2- les presses hydraulique*

Les presses hydrauliques sont des machines qui utilisent un fluide hydraulique pour générer une force de compression. Elles sont largement utilisées dans les domaines industriels pour effectuer efficacement des tâches de traitement de matériaux, notamment le métal, le plastique, le bois, le caoutchouc [15]



**Figure III.10 :** principe de pascal



**Figure III.9 :** presse hydraulique

#### *III.1.3.1.2.1-Mécanismes de Commandes*

Parmi les mécanismes de commande utilisés dans les circuits hydrauliques, on peut mentionner [15] :

- **La pompe :** elle génère une pression appropriée avec un débit variable.
- **Le piston :** un ou plusieurs pistons supportent le coulisseau.
- **Le cerveau moteur :** il s'agit d'un dispositif d'amplification mécanique conçu pour produire un effet supplémentaire. Il peut être utilisé indifféremment sur les presses mécaniques et est situé sous la table de la presse.

#### *III.1.3.1.3- Avantages et inconvénients des presses hydrauliques et mécanique*

Dans le (tableau III.1) en résumé les principaux avantages et inconvénients des presses mécaniques et hydrauliques [10].

Presses	avantage	Inconvénient
<b>Presses mécaniques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elles sont lentes ce qui donne suffisamment de temps au métal pour se former.</li> <li>- Destinées pour les travaux de grandes séries.</li> <li>-moins cher.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Difficulté d'arrêt du coulisseau encas de danger.</li> <li>-Réglage d'approche du coulisseau difficile.</li> </ul>
<b>Presses hydraulique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-autoriser des opérations plus difficiles.</li> <li>-Vitesse plus constant pendant le formage.</li> <li>- Très souple.</li> <li>-Avoir de très longues courses.</li> <li>-Modification de la course du coulisseau.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Demande beaucoup de maintenance.</li> <li>-Risque des pannes (pompes, joints...).</li> </ul>

**Tableau III.1** : Avantage et inconvénients des presses mécaniques et hydraulique

#### *III.1.3.2.1- Presse à Col de Cygne*

La presse à col de cygne est une forme de bâti caractérisée par un col de cygne qui soutient le coulisseau. Cette forme de bâti est souvent utilisée pour les presses mécaniques de petite taille, car elle offre une grande flexibilité dans les opérations de formage et de découpe [10].



**Figure III.11** : presse à col de cygne

*III.1.3.2.2- Presse à Montant Droit*

La presse à montant droit est une forme de bâti caractérisée par un montant droit qui soutient le coulisseau. Cette forme de bâti est souvent utilisée pour les presses mécaniques de grande taille, car elle offre une grande stabilité et une précision dans les opérations de formage et de découpe [10].

*III.1.3.2.2.1- Presses à Deux Montants*

Les presses à deux montants sont des presses mécaniques qui utilisent deux montants pour soutenir le coulisseau. Cette forme de bâti est souvent utilisée pour les presses mécaniques de petite taille, car elle offre une grande flexibilité dans les opérations de formage et de découpe [10]



**Figure III.12** : presses à deux montants

*III.1.3.2.2.2- Presses à Quatre Montants*

Les presses à quatre montants sont des presses mécaniques qui utilisent quatre montants pour soutenir le coulisseau. Cette forme de bâti est souvent utilisée pour les presses mécaniques de grande taille, car elle offre une grande stabilité et une précision dans les opérations de formage et de découpe [10].



**Figure III.13 :** presses à quatre montants

#### *III.1.3.2.3- Presses à Arcade*

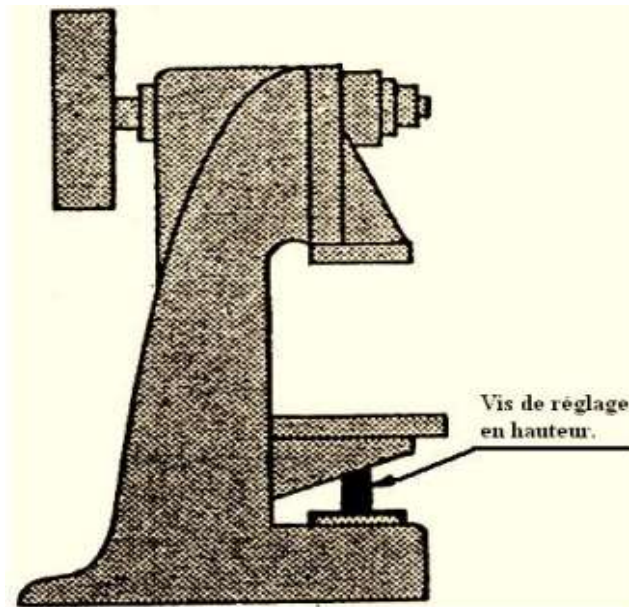
Les presses à arcade sont des presses mécaniques qui utilisent une arcade pour soutenir le coulisseau. Cette forme de bâti est souvent utilisée pour les presses mécaniques de petite taille, car elle offre une grande flexibilité dans les opérations de formage et de découpe [14]



**Figure III.14 :** presses à arcade

#### **III.1.3.2.4- Presse à Table Mobile et Bigorne**

La presse à table mobile et bigorne est une forme de bâti caractérisée par une table mobile qui permet de déplacer le coulisseau dans différentes positions. Cette forme de bâti est souvent utilisée pour les presses mécaniques de grande taille, car elle offre une grande flexibilité dans les opérations de formage et de découpe [14].



**Figure III.15 :** presses à table mobile et bigorne

#### **III.1.3.3- Selon le Nombre de Coulisseaux**

Les presses mécaniques peuvent également être classées en fonction du nombre de coulisseaux qu'elles possèdent. Cette caractéristique a un impact direct sur les capacités et les applications des presses. Voici les différents types de presses selon le nombre de coulisseaux :

##### **III.1.3.3.1- Presses Simple Effet**

Les presses simples effet sont équipées d'un seul coulisseau. Ce type de presse est idéal pour les opérations de formage et de découpe simples, où une seule action du coulisseau est nécessaire. Les presses simples effet sont généralement plus compactes et économiques que les presses à plusieurs coulisseaux [10].

**III.1.3.3.2- Presses Double Effets**

Les presses doubles effets sont équipées de deux coulisseaux indépendants. Cette configuration permet d'effectuer des opérations plus complexes, où deux actions successives du coulisseau sont requises. Les presses double effets offrent une plus grande flexibilité dans la conception des outillages et peuvent être utilisées pour des applications plus sophistiquées [10].



**Figure III.16 :** presse à double effets

**III.1.3.3.3 Presses Triple Effets**

Les presses triples effets sont équipées de trois coulisseaux indépendants. Ce type de presse est utilisé pour des opérations de formage et de découpe nécessitant trois actions successives du coulisseau. Les presses triples effets sont généralement utilisées pour des applications spécifiques, où une grande précision et un contrôle précis du mouvement des coulisseaux sont requis [10].



**Figure III.17 :** presse à triple effets

**III.1.3.3.4- Caractéristique d'une presse**

Une presse peut effectuer une ou plusieurs opérations, mais elle ne peut pas être universelle. Elle est définie par un certain nombre de caractéristiques, notamment :

Sa capacité (tonne).

La course de son coulisseau (mm).

La cadence (nombre de coupe/minute).

La dimension du coulisseau (mm<sup>2</sup>).

La hauteur de l'outil fermé (mm).

**III.1.4- Critères de choix d'une presse**

Le choix d'une presse pour l'exécution d'une opération dépend des critères suivants :

Type de travail à envisager.

L'effort nécessaire (nature de transmission de mouvement).

Dimension de l'outil et de la pièce.

Longueur de course des coulisseaux.

Cadence nominale de fonctionnement.

**III.1.5- Sécurités sur les presses**

La sécurité dans l'atelier est un élément crucial pour garantir un environnement de travail sécurisé. Les fabricants de machines ont intégré divers dispositifs pour assurer la protection des utilisateurs :

Alimentation automatique : ce dispositif est essentiel pour répondre aux exigences de sécurité et de productivité.

Protection par appareil à bracelets : une protection efficace des mains où aucun ne risque d'accrochage n'est possible.

Protection optique : la machine s'arrête automatiquement si la main de l'opérateur traverse les faisceaux lumineux.

**III.1.6- Conclusion**

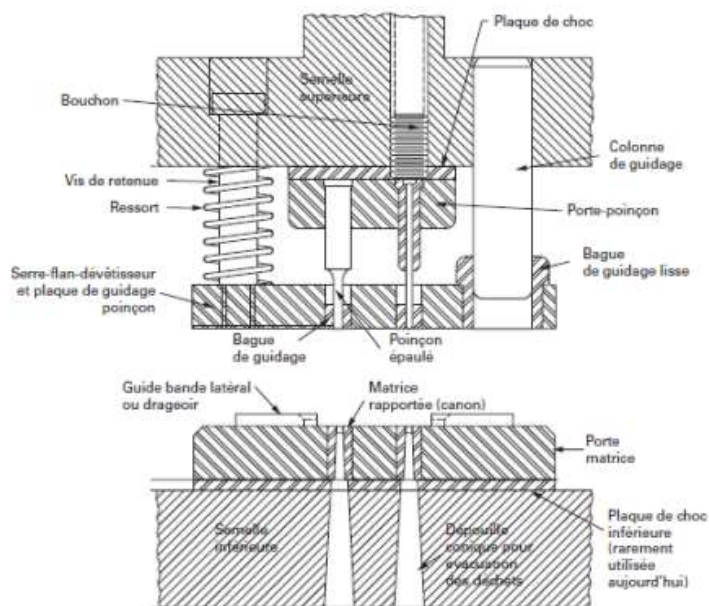
Il existe diverses variétés de presses dans l'industrie, distinguées par leur mode de transmission d'énergie, leur structure de bâti et le nombre de coulisseaux. Ces presses sont équipées de différents systèmes de commande et d'embrayage pour assurer l'arrêt et le déplacement du coulisseau à n'importe quelle position. Pour garantir la sécurité de l'opérateur, il est nécessaire d'installer des systèmes de sécurité pour éviter les accidents de travail. Chaque presse présente des avantages et des inconvénients, ce qui guide le choix de la presse appropriée pour notre application.

## III.2-les outils de presse

### III.2.1- Introduction

Les outils de presse jouent un rôle essentiel dans les opérations de formage et de découpe des métaux. Ils permettent de transformer la matière première en produits finis selon des spécifications précises. Les outils de presse sont conçus pour résister aux efforts importants générés lors des opérations de mise en forme et de découpe, tout en assurant une grande précision dimensionnelle et une bonne qualité de surface des pièces produites.

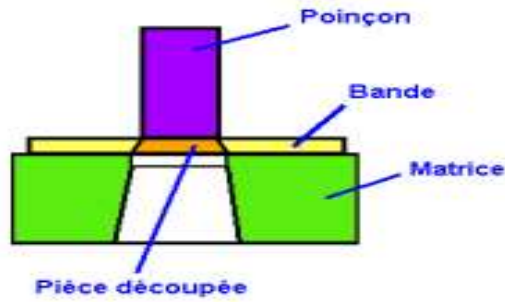
Un outil de presse (**figure III.18**) est une construction mécanique de précision, réputée pour sa rigidité et généralement constituée d'une partie mobile supérieure fixée au coulisseau et d'une partie inférieure fixe attachée à la table de la presse. Cet ensemble est parfaitement guidé pour assurer un fonctionnement précis.



**Figure III.18** : exemple d'un outil

### III.2.2 Différents constituants d'un outil d'une presse

Les outils d'une presse sont des éléments essentiels dans le processus de formage et de découpe des matériaux. Ils sont composés de plusieurs constituants clés qui jouent des rôles spécifiques pour assurer des opérations précises et efficaces.



**Figure III.19 :** Schématisations poinçon matrice

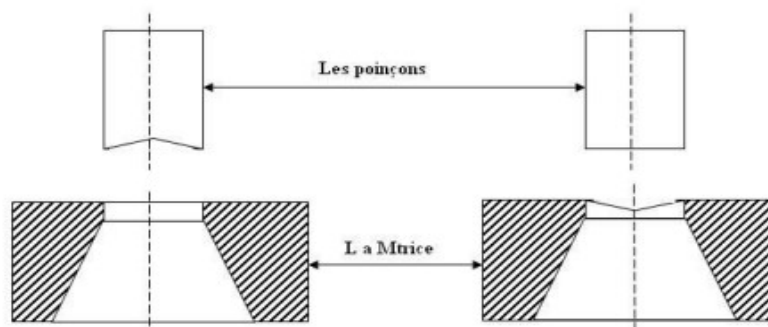
Voici une exploration des principaux constituants d'un outil de presse :

### III.2.2.1- Poinçon

Le poinçon est l'un des éléments fondamentaux de l'outil d'une presse. Il s'agit d'une pièce en acier trempé qui exerce une pression sur la matière à découper ou à former. Le poinçon est conçu pour correspondre exactement à la forme souhaitée de la pièce finale et joue un rôle crucial dans la précision du processus de fabrication [17].

### III.2.2.2- Matrice

La matrice est un autre constituant essentiel de l'outil d'une presse. Elle est également fabriquée en acier trempé et est conçue pour recevoir le poinçon. La matrice guide la matière à découper ou à former et assure la précision et la qualité des pièces produites. Elle est conçue pour compléter le poinçon et obtenir la forme finale désirée [17].



**Figure III.20 :** Illustration poinçon et matrice

### III.2.2.3- Dépouille

La dépouille est une caractéristique importante de l'outil d'une presse. Elle représente l'inclinaison des parois du poinçon et de la matrice pour faciliter le démoulage de la pièce formée. La dépouille permet d'éviter les frottements excessifs et d'assurer un démoulage fluide et précis des pièces, contribuant ainsi à la qualité du processus de formage [17].

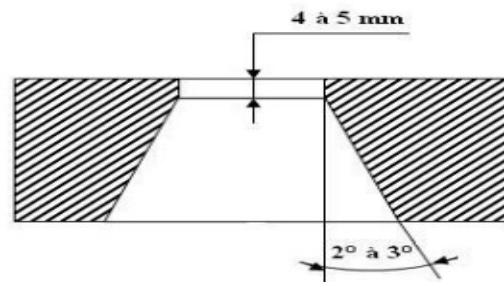


Figure III.21 : Angle de dépouille de la matrice

### III.2.2.4- Affûtage

L'affûtage est un processus crucial pour maintenir la performance des outils de presse. Il consiste à aiguiser le poinçon et la matrice pour garantir des coupes nettes et précises. Un affûtage régulier permet de prolonger la durée de vie des outils et d'assurer des opérations de formage de haute qualité [17].

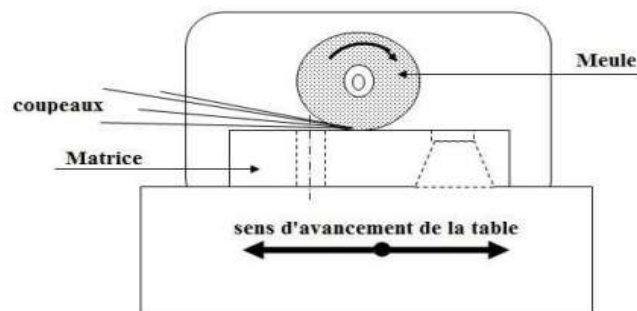


Figure III.22 : Affûtage de la matrice

### III.2.3- Types d'outils de presse

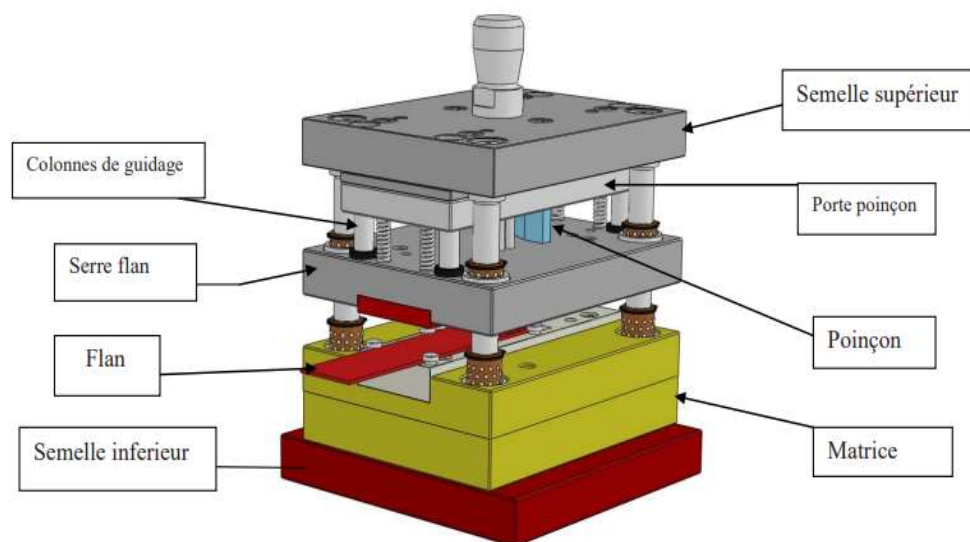
Les outils de presse sont des équipements essentiels dans le domaine de la fabrication industrielle.

Voici un aperçu des principaux types d'outils de presse :

### III.2.3.1- Outil à presse-bande

L'outil à bande est également connu sous les noms d'« outil à suite » ou « outil progressif », est conçu pour façonner une pièce finie à chaque coup de presse. Il enchaîne les différentes étapes de mise en forme (découpe, emboutissage, pliage) successivement sur la même bande de matériau. Pour les tôles de faible épaisseur, il est utilisé sur une presse automatique équipée d'un dispositif de déroulage de bobine, d'un redresseur et d'un système d'avance de la bande. Des pilotes intégrés assurent le recentrage de la bande, tandis que des guides-bande latéraux positionnent celle-ci dans l'outil. Chaque poste de l'outil réalise des opérations telles que le poinçonnage, le découpage ou le pliage, avec le dernier poste assurant la séparation des pièces finies du reste de la bande. Les déchets sont évacués par une coupe ou un passage au travers, et les pièces finies sont souvent évacuées automatiquement par gravité [17].

Ce type d'outil est adapté aux grandes séries de production, permettant ainsi d'obtenir un haut rendement horaire.



**Figure III.23 :** L'outil à bande est conçu avec Solidworks

### III.2.3.2- Outil suisse

L'outil inversé, également connu sous le nom d'outil bloc, présente une disposition particulière où le poinçon se trouve en dessous et la matrice au-dessus. Un exemple de cette configuration est l'outil Suisse, un système combiné de découpe adapté aux pièces plates de précision, peu importe leur épaisseur. Ce type d'outil permet d'effectuer plusieurs opérations de découpe et de poinçonnage lors du même coup de presse et sur le même poste, sans nécessiter l'avance de la bande. Ainsi, chaque coup de presse réalise l'intégralité de la pièce, offrant des cotes de poinçonnage et de découpe plus précises, car elles dépendent uniquement des dimensions de l'outil et garantissent un meilleur équilibre des forces

de découpe. Cependant, un défi majeur de ce type d'outil réside dans l'évacuation des pièces et des déchets, car l'évacuation à travers la matrice n'est plus possible [17].

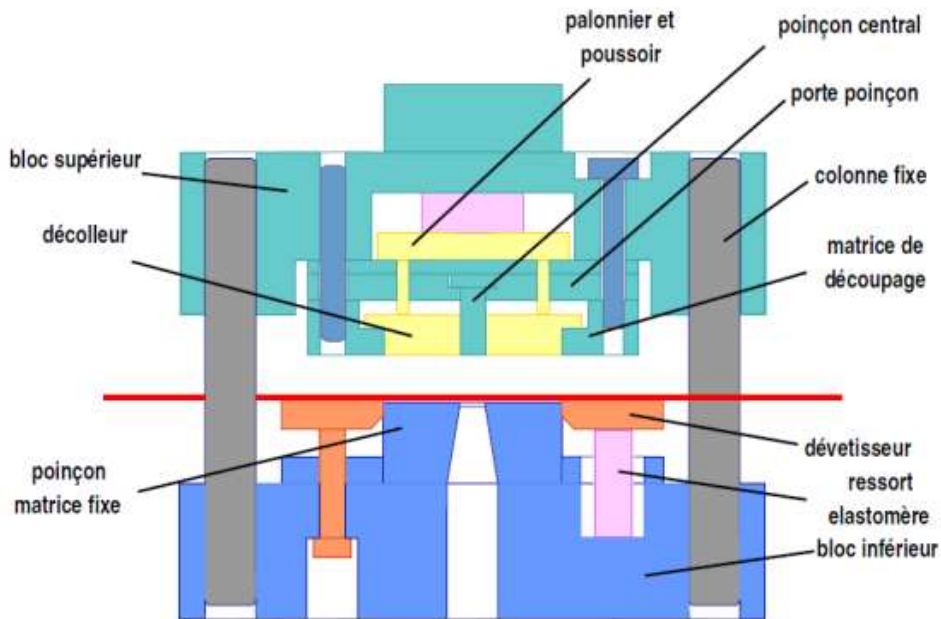


Figure III.24 : Outil suisse

### III.2.3.3- Outil de Détourage

L'outil de détourage (figure III.25) est spécialement conçu pour éliminer l'excès de matière d'une pièce déjà mise en forme. Il s'agit généralement d'un outil découvert simple inversé, où le poinçon est positionné en dessous et comporte un dispositif de centrage pour maintenir la pièce à détourer, tandis que la matrice est située au-dessus. Un éjecteur, actionné soit par des ressorts, soit par la presse elle-même, expulse la pièce de la matrice une fois l'opération terminée [16].

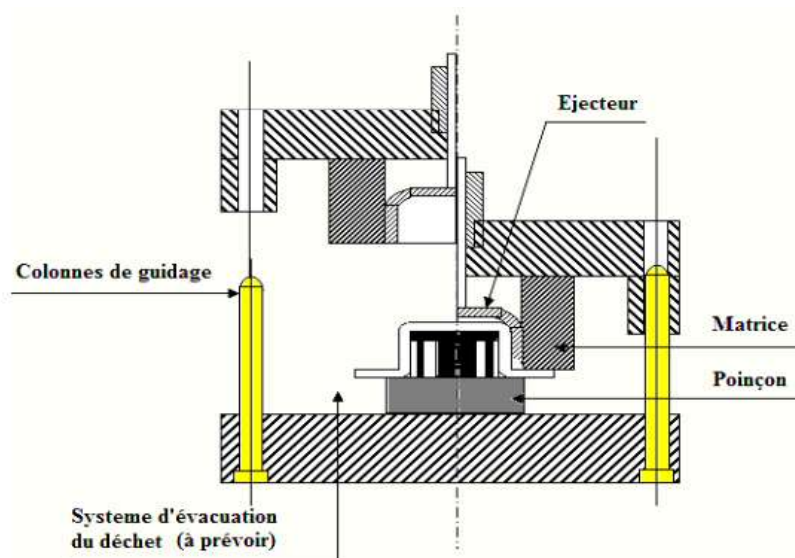


Figure III.25 : Outil de détourage

### III.2.3.4- Outil à Came

Cette conception implique l'ajout d'un mouvement spécifique à un outil, où la direction du mouvement diffère de celle du coulisseau vertical de la presse. Le coulisseau effectue un mouvement vertical, qui est ensuite transmis par une came à un coulisseau spécifique de l'outil, dans une direction perpendiculaire.

Les cames sont utilisées principalement dans les outils de poinçonnage ou de cambrage, particulièrement lorsque plusieurs opérations doivent être réalisées simultanément.

Un outil équipé d'un poste à came peut être utilisé dans différents types d'outils tels que les outils à suivre, les outils de transfert, et plus généralement dans toutes les catégories d'outils. Ainsi, il ne constitue pas en soi une catégorie distincte d'outil, mais plutôt une fonctionnalité qui peut être intégrée à divers types d'outils [17].

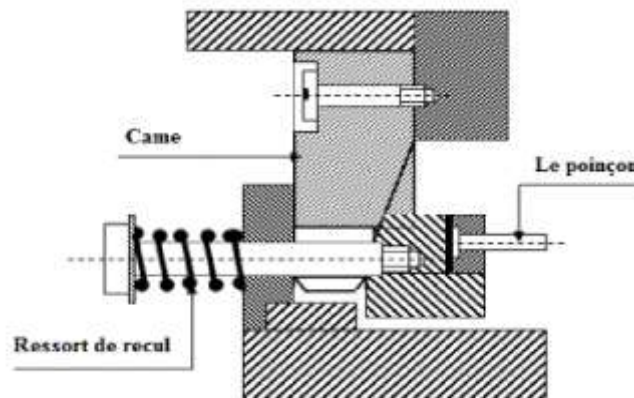


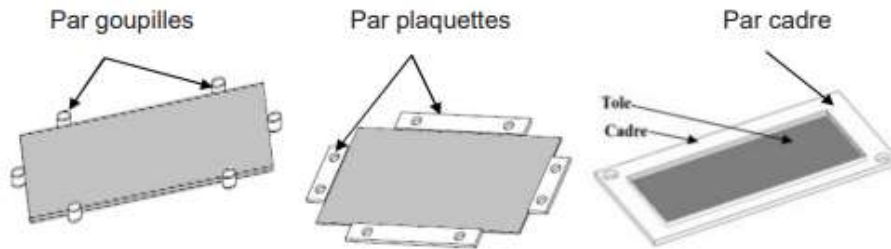
Figure III.26 : outil a came

### III.2.3.5- Les outils de reprise

L'outil de reprise est un élément d'un ensemble comprenant plusieurs outils, chacun d'eux contribuant à façonner une pièce à fabriquer. Ces outils réalisent successivement des opérations préliminaires sur la pièce, ce qui permet d'obtenir la pièce finale. Les opérations principales réalisées incluent le découpage, le cambrage ou pliage, l'emboutissage, le détournage.

À chaque opération, la pièce en cours d'élaboration est transférée de l'outil précédent vers le suivant en utilisant divers moyens de centrages tels que des drageoirs ou des pions de centrage. Le déplacement et la manipulation des flans ainsi que des pièces en cours de fabrication sont généralement effectués par un opérateur [17].

Ce type d'outil est principalement adapté à la production de pièces en petite et moyenne séries.



**Figure III.27 :** Guidage du flan sur un Outil de reprise par diverses façons

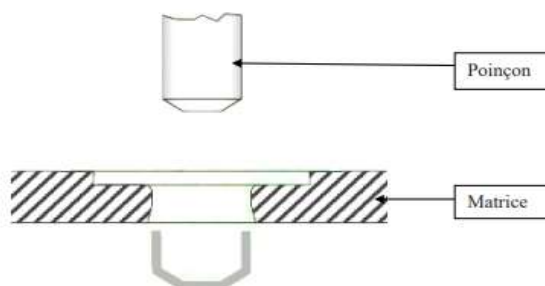
### III.2.3.6- Outil d'emboutissage

L'outil d'emboutissage est utilisé pour façonner un flan en métal en feuille en lui donnant une forme spécifique et en créant une empreinte creuse par déformation plastique.

Il existe deux principaux types d'outils d'emboutissage :

#### III.2.3.6.1- Outils d'emboutissage sans serre flan

L'outil de passe à travers est un dispositif simple composé d'un poinçon et d'une matrice. Le poinçon possède la forme et les dimensions internes de la pièce à produire, tandis que la matrice présente un trou correspondant aux dimensions externes de la pièce. Les parois verticales de ce trou sont munies d'une arête vive, sous laquelle le poinçon guide la pièce pendant la formation. Après déformation, la pièce, ayant subi une contraction élastique, a tendance à s'élargir et, lors du retrait du poinçon, elle se détache grâce à l'arête de la matrice [16].



**Figure III.28 :** Principe outils d'emboutissage sans serre flan

#### III.2.3.6.2- Outil d'emboutissage à serre flan

Il y a deux types d'outils à serre-flan, selon qu'ils sont conçus pour une presse à simple effet ou une presse à double effet.

- **Outil placé sur une presse à simple effet**

Le serre-flan est activée par le mécanisme à ressort situé sous le plateau de la presse. L'outil est configuré de manière inversée, où le poinçon et la serre-flan forment la partie inférieure, tandis que la matrice occupe la partie supérieure. Les pièces embouties remontent avec la matrice et sont expulsées par un éjecteur actionné par la presse [16].

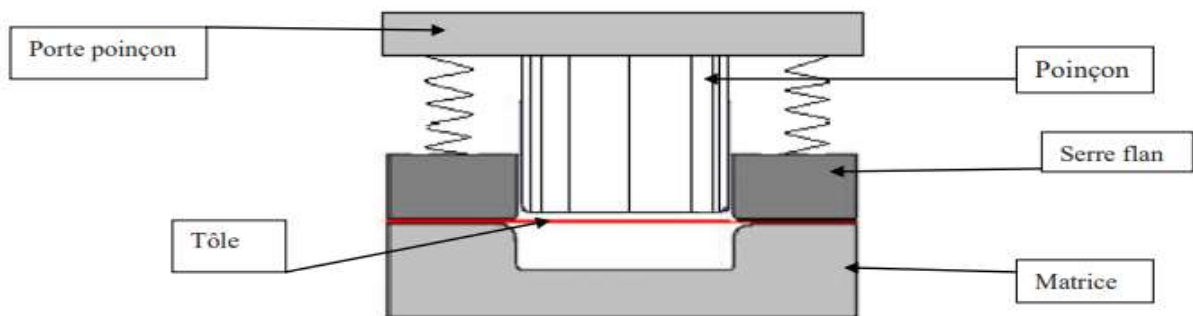


Figure III.29 : Outil placé sur une presse à simple effet

- **Outil placé sur une presse à double effet**

Le serre-flan est installé sur un coulisseau spécial de la presse, habituellement situé dans la partie supérieure de celle-ci. L'outil peut être équipé d'un éjecteur dans la matrice, à condition que la presse dispose d'un mécanisme spécial permettant à cet éjecteur de s'activer uniquement après le début de la remontée du serre-flan [16].

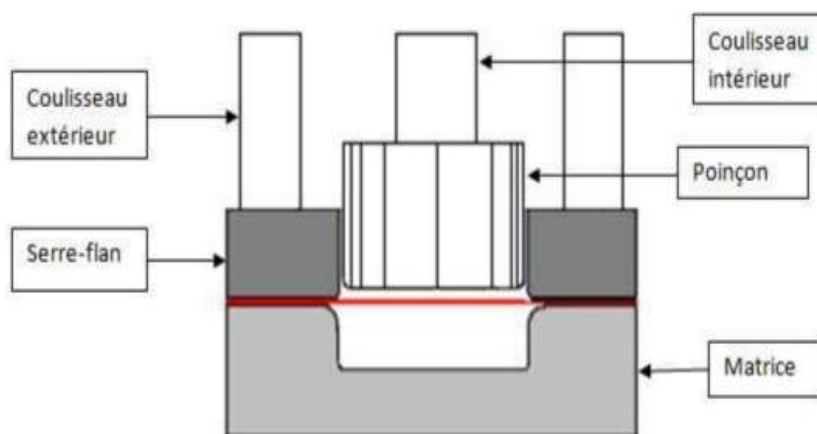


Figure III.30 : Outil placé sur une presse à double effet

### III.2.3.7- Outil Découvert

Les outils découverts sont utilisés pour découper des pièces dans des tôles épaisses ou des matériaux durs. Ils se caractérisent par l'absence de matrice, le poinçon venant directement en contact avec la tôle.

#### III.2.3.7.1- Outil Simple Découvert

L'outil simple découvert est composé uniquement d'un poinçon fixé sur le coulisseau de la presse. La tôle est posée sur une plaque de support fixe, appelée matrice de découpe. Lors de la descente du coulisseau, le poinçon découpe la pièce dans la tôle. Ce type d'outil est simple et économique, mais il nécessite une grande précision dans l'alignement du poinçon et de la matrice de découpe. Il est adapté pour des petites séries de pièces de grande épaisseur [16].

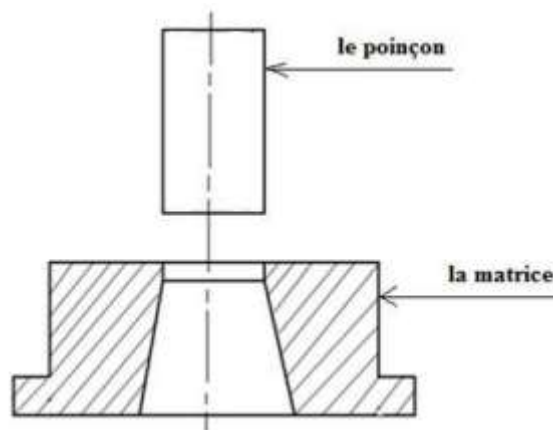


Figure III.31 : Géométrie de l'Outil Découvert Simple

#### III.2.3.7.2- Outil Découvert à Butées

L'outil découvert à butées comporte, en plus du poinçon, des éléments de guidage et de maintien de la tôle appelés butées. Ces butées permettent de positionner et de maintenir la tôle pendant l'opération de découpe. Les butées peuvent être fixes ou mobiles. Elles sont généralement réglables pour s'adapter à différentes dimensions de pièces. L'outil découvert à butées offre une meilleure précision et une plus grande productivité que l'outil simple découverte, mais il est plus complexe et coûteux [16].

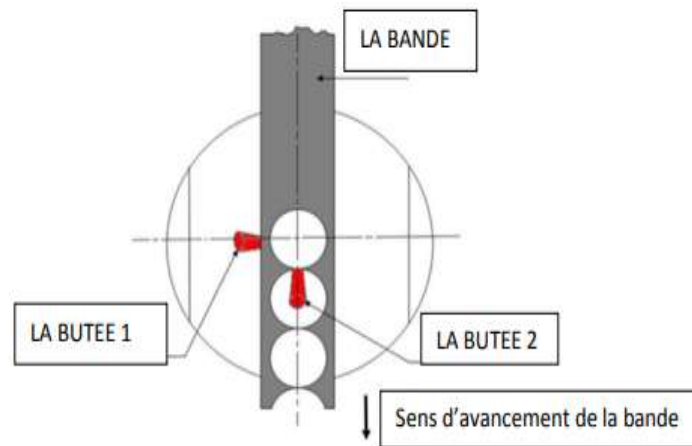


Figure III.32 : Outil découvert à butées

### III.2.3.8- Outil à devêtisseur fixe

Ces outils, également connus sous le nom d'outils parisiens ou à contre-plaque, intègrent une plaque fixée à la matrice ou à son support pour guider la partie supérieure portant les poinçons. Cela réduit les risques de déformation dans le cas de poinçons de faible diamètre. Un engreneur ou un couteau contrôle l'avance de la bande à chaque opération de découpe de presse [17].

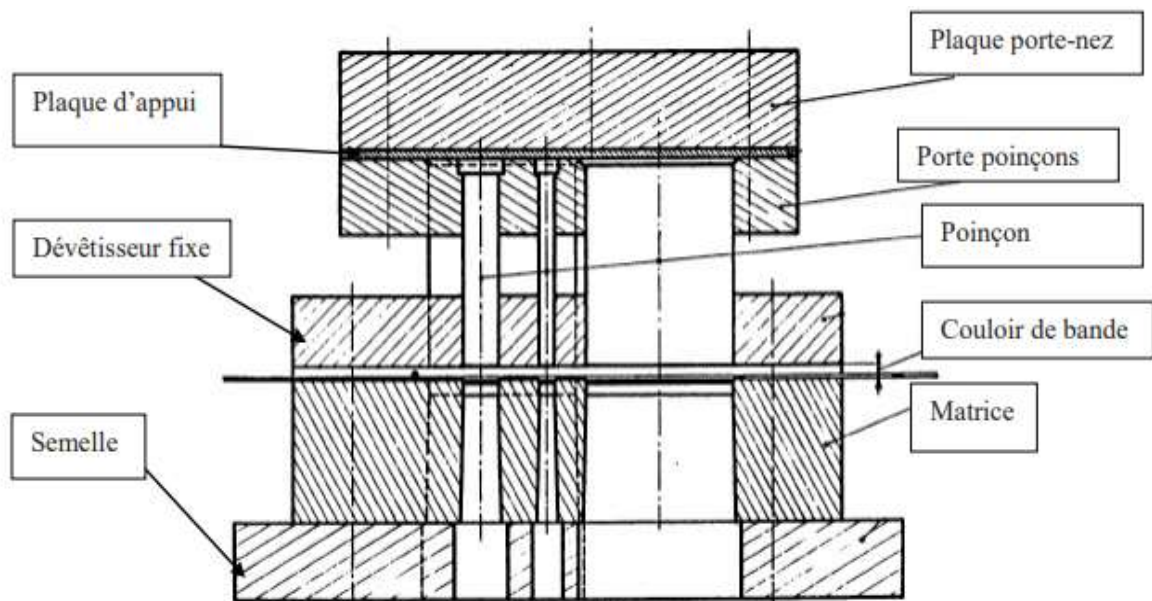


Figure III.33 : Outil à devêtisseur fixe

### III.2.3.9- Outils à dévêtitseur élastique

Dans cette conception, le dévêtitseur applique une pression sur le flan à l'aide d'une force générée par un système élastique tel qu'une rondelle ressort spirale, une rondelle en volute ou du caoutchouc. Cette force doit entraîner le détachement du poinçon de la tôle. Lorsque le coulisseau remonte, ce système empêche la bande de remonter avec le poinçon, réduisant ainsi le fléchissement de la tôle qui pourrait endommager les poinçons fragiles et diminuant les déformations dans le travail des tôles fines (0,5 mm). La partie inférieure du dévêtitseur dépasse légèrement l'extrémité des poinçons d'environ 1 mm, et les ressorts doivent être suffisamment puissants pour empêcher la tôle de remonter [16].

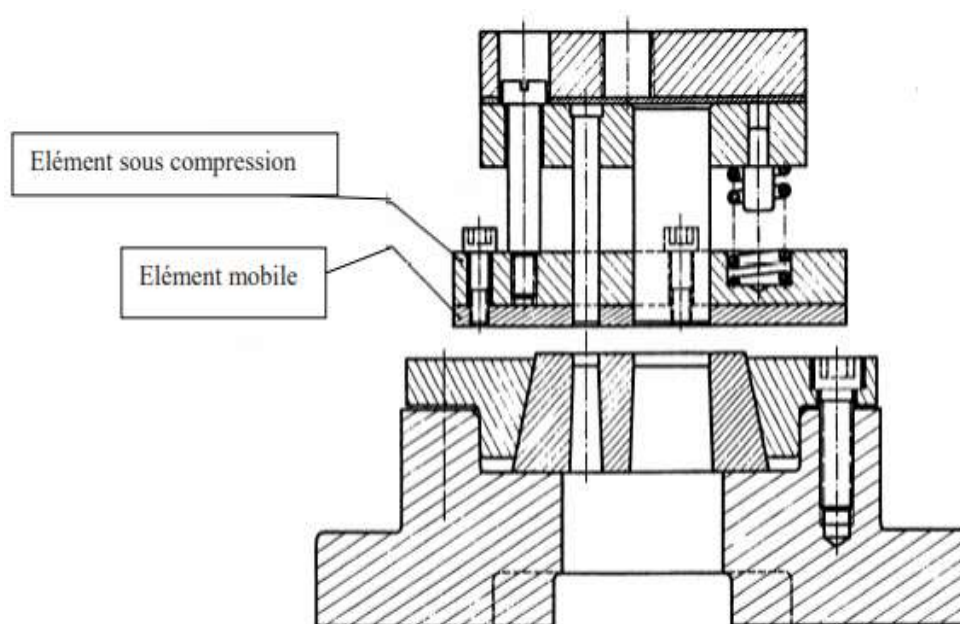


Figure III.34 : Outils à dévêtitseur élastique

### III.2.3.10- les outils de cambrage

Les outils de cambrage sont utilisés pour plier des tôles et créer des formes en V, en équerre ou en U. Ils se composent généralement d'un poinçon et d'une matrice adaptés à la forme souhaitée.

#### III.2.3.10.1- Outil cambrage en v

L'outil de cambrage en V est composé d'un poinçon en forme de V et d'une matrice en V. Lors de la descente du poinçon, la tôle est pliée à 90° dans la matrice, créant ainsi une forme en V. Ce type d'outil est simple et économique. Il est adapté pour des petites séries de pièces et des pliages simples. Cependant, il peut entraîner des défauts de forme, comme des ondulations, sur les pièces pliées [16].

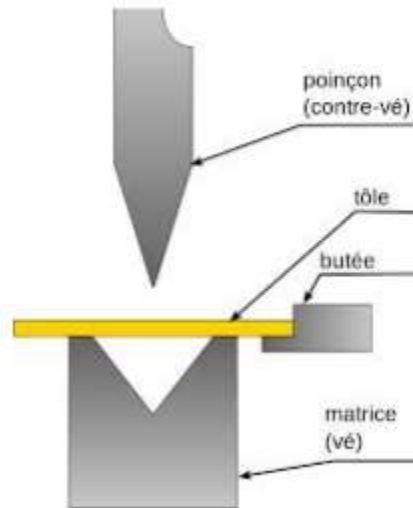


Figure III.35 : Outil de cambrage en v

#### III.2.3.10.2- Outil cambrage en équerre

L'outil de cambrage en équerre comporte un poinçon en forme d'équerre et une matrice en équerre. Il permet de plier la tôle à 90° pour obtenir une forme en L. Ce type d'outil offre une meilleure qualité de pliage et une plus grande précision que l'outil en V. Il est utilisé pour des pièces de plus grande taille et des pliages plus complexes [16].

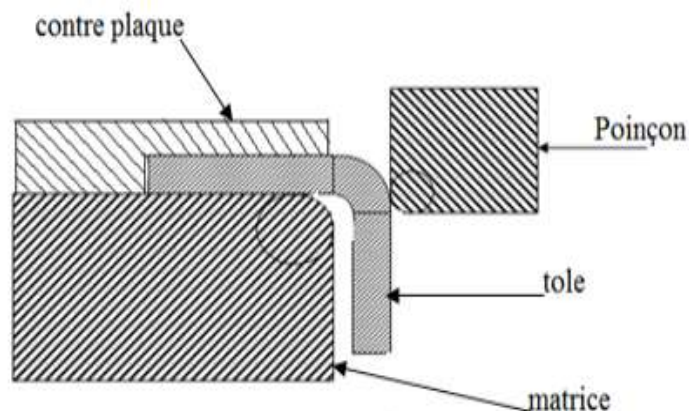


Figure III.36 : Outil de cambrage en équerre

#### III.2.3.10.3- Outil de cambrage en U

L'outil de cambrage en U est composé d'un poinçon en forme de U et d'une matrice en U. Il permet de plier la tôle pour obtenir une forme en U. Ce type d'outil est utilisé pour des pliages de grande profondeur et des pièces de forme complexe. Il nécessite une force de pression plus importante que les outils en V et en équerre [16].

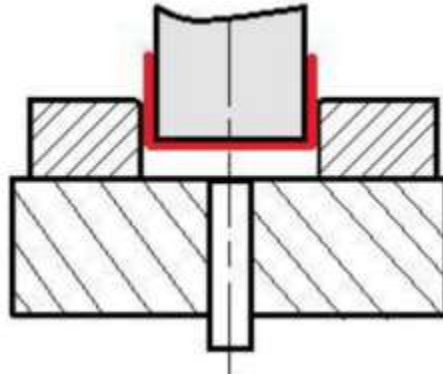


Figure III.37 : Outil de cambrage en U

### III.2.3.11- Outils à contre-plaque

Ce type d'outil est destiné à être utilisé sur des tôles dont l'épaisseur est inférieure à 2 mm. On peut identifier deux catégories d'outils à contre-plaque en fonction de l'avance du flan.

#### III.2.3.11.1- Outils à contre-plaque à engrenages

L'avance du flan est assurée par un engrenage qui le fait tourner et le déplace avec lui. Malgré son manque de précision dans le contrôle de cette avancée, un butoir de départ est prévu pour positionner la bande correctement dès le premier coup de presse [17].

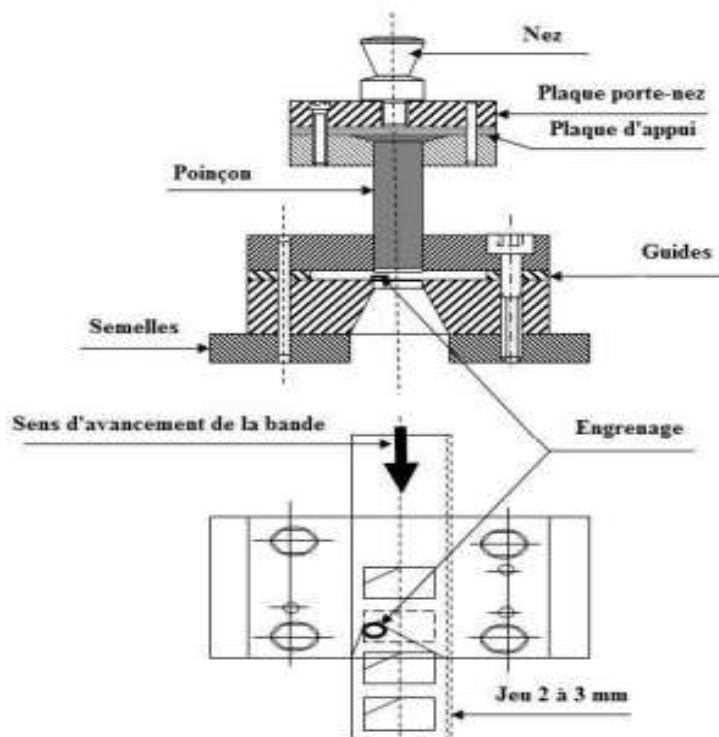
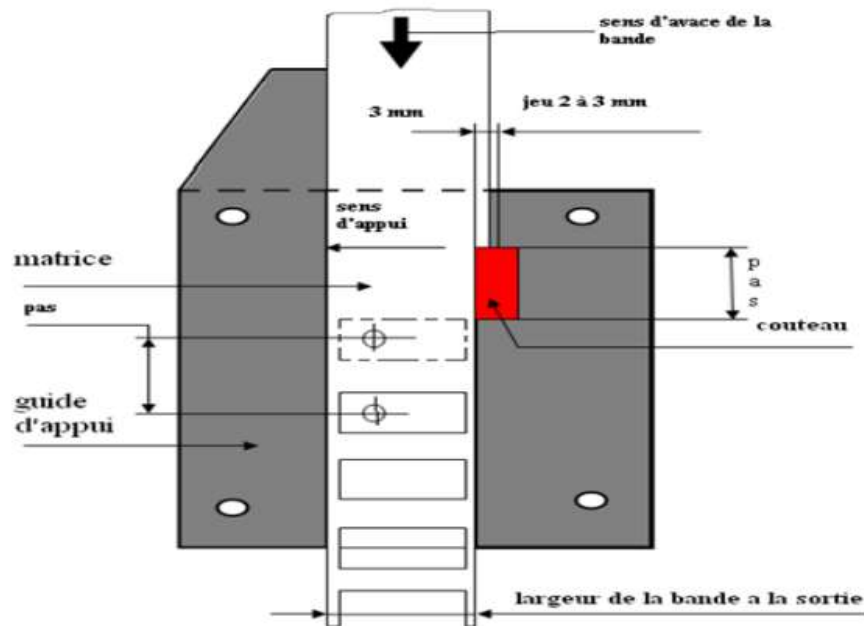


Figure III.38 : Principe de l'Outil à Contre-plaque à Engrenage

**III.2.3.11.2- Outils à contre-plaque à couteau**

La conception de cet outil est similaire à celle de l'outil précédent, à l'exception du contrôle de l'avance. L'engrenage est remplacé par un poinçon latéral nommé couteau, dont la longueur correspond au pas. Entre deux coups successifs de presse, la bande est déplacée en étant poussée ou tirée jusqu'à ce qu'elle vienne buter contre le guide. Cette butée permet un contrôle plus précis de l'avance par rapport à l'utilisation de l'engrenage [17].



**Figure III.39 :** Système d'Outil à Contre - Plaque à Couteau

**III.2.3.12- Outil de finition**

L'outil de finition est essentiel pour perfectionner les pièces découpées, particulièrement celles nécessitant une précision élevée ou présentant une grande épaisseur, afin d'obtenir des bords uniformes. Il se présente sous la forme d'un dispositif à colonnes avec un guide central pour positionner la pièce. Ce guide est conçu sans jeu latéral et est généralement fabriqué en utilisant le poinçon de découpe comme modèle [16].

**III.2.4- Montage des Outils sur les Presses**

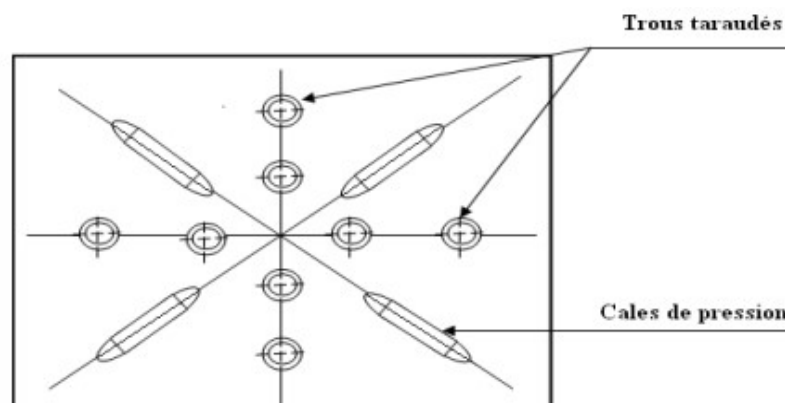
L'installation des outils sur les différentes presses est effectuée en suivant une gamme variée de méthodes et de procédures.

**III.2.4.1- Petite Presse**

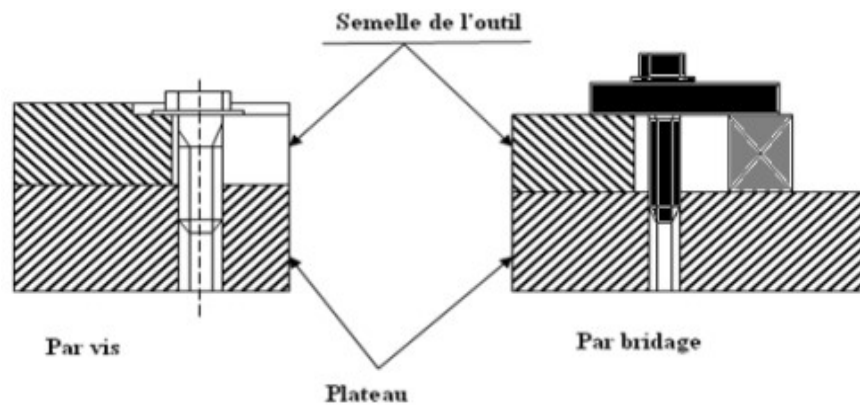
Dans cette catégorie de presse, l'outil est composé d'une partie inférieure et d'une partie supérieure.

**III.2.4.1.1- Partie inférieure de l'outil :**

Les presses sont équipées de plateaux dotés de trous taraudés, dont les emplacements diffèrent selon leurs constructeurs, et sont accompagnés de cales de pression. Les semelles des outils sont fixées sur ces plateaux soit par vissage, soit par bridage.



**Figure III.40 :** Plateau de presse



**Figure III.41 :** Système de fixation de la semelle au plateau

**III.2.4.1.2- Partie supérieure de l'outil**

Pour la partie supérieure de l'outil, elle se fixe à l'aide d'un nez qui est inséré dans le trou lisse du coulisseau. Ensuite, le nez est serré avec un chapeau et bloqué en place à l'aide de vis de pression. Pour les outils plus longs, ils peuvent être fixés à travers les trous du coulisseau.

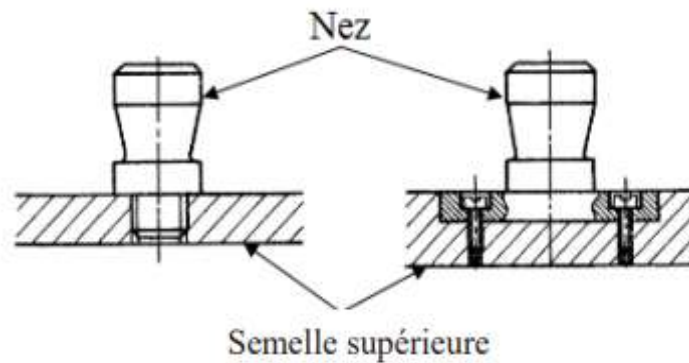


Figure III.42 : Système de fixation de la partie supérieure de l'outil

### III.2.4.2 Grosse Presse

Les rainures en T sont présentes à la fois sur la semelle du coulisseau et sur le plateau de la presse (figure III.43). Les parties supérieure et inférieure de l'outil sont fixées soit par des boulons, soit par des brides.

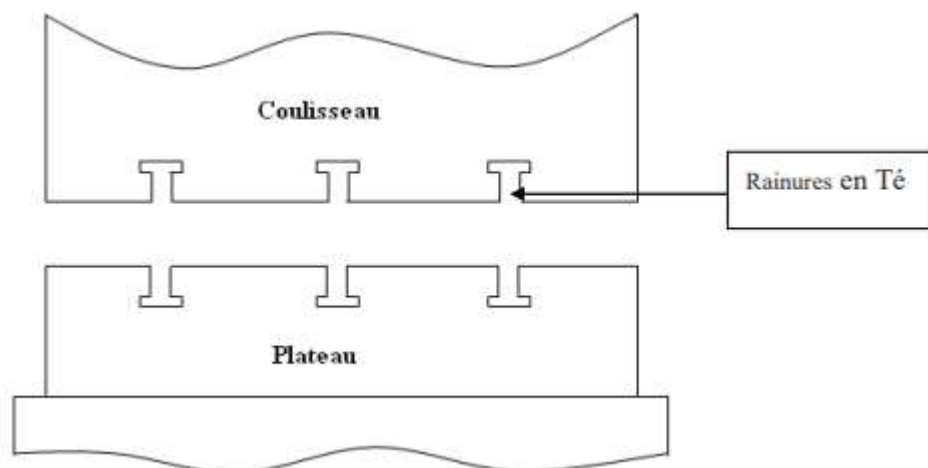


Figure III.43 : Système de fixation pour les grosses presses

### III.2.5- Graissage des outils

Les outils sont de petites machines qui requièrent une lubrification régulière pour garantir leur durabilité et prévenir l'usure. Toutes les parties en contact sont soigneusement lubrifiées. Les tôles ou bandes d'acier sont également graissées. À cet effet, on utilise des huiles ordinaires ou des huiles solubles diluées dans de l'eau. Pour le processus de découpe, il n'est pas indispensable de graisser toutes les bandes à chaque fois, mais périodiquement [16].

### **III.2.8- Conclusion**

La conception et le développement des outils jouent un rôle crucial dans l'industrie pour la fabrication de pièces. Traitement des paramètres essentiels à prendre en compte lors du développement des outils, que le concepteur doit respecter pour garantir la réussite de sa conception.

Une compréhension approfondie des outils de presse est nécessaire pour élaborer des solutions constructives qui répondent efficacement aux défis potentiels rencontrés tout au long d'un projet. Pour atteindre les objectifs de production, le choix d'une presse mécanique est guidé par les exigences spécifiques des applications.

# Chapitre 4

## Chapitre 4 : Etude et conception de l'outil à bande

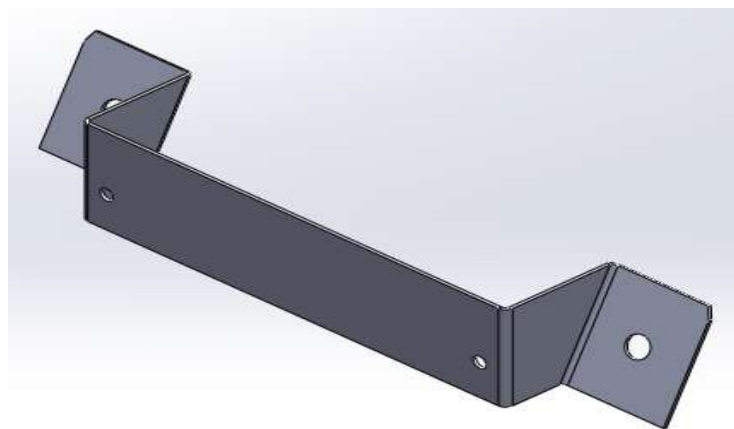
### IV.1- Introduction

Dans l'industrie de l'électroménager, une variété de presses est employée pour fabriquer des pièces de formes variées répondant ainsi aux exigences des fabricants. Dans ce contexte, les concepteurs d'outils pour ces presses sont confrontés à la nécessité de dimensionner précisément leurs outils en fonction des spécificités de chaque presse. Leur objectif principal est de minimiser les rebuts lors de la production des pièces. Pour y parvenir, ils doivent prendre en considération tous les paramètres pertinents lors de leur étude, afin de garantir une production efficace, rapide et économique des pièces.

### IV.2-Cahier de charge

Dans le domaine de la fabrication de pièces métalliques en feuilles, un large éventail de presses est disponible, chacune étant sélectionnée en fonction des opérations spécifiques requises. Dans cette étude, nous nous intéressons à la conception d'un support moteur tourne broche en tôle galvanisée de cuisinière ventilé fabriquée par l'ENIEM.

Les caractéristiques dimensionnelles et géométriques de cette pièce sont illustrées dans les figures ci-dessous



**Figure IV.1** : Support moteur tourne broche en tôle galvanisée de cuisinière ventilé fabriquée par l'ENIEM

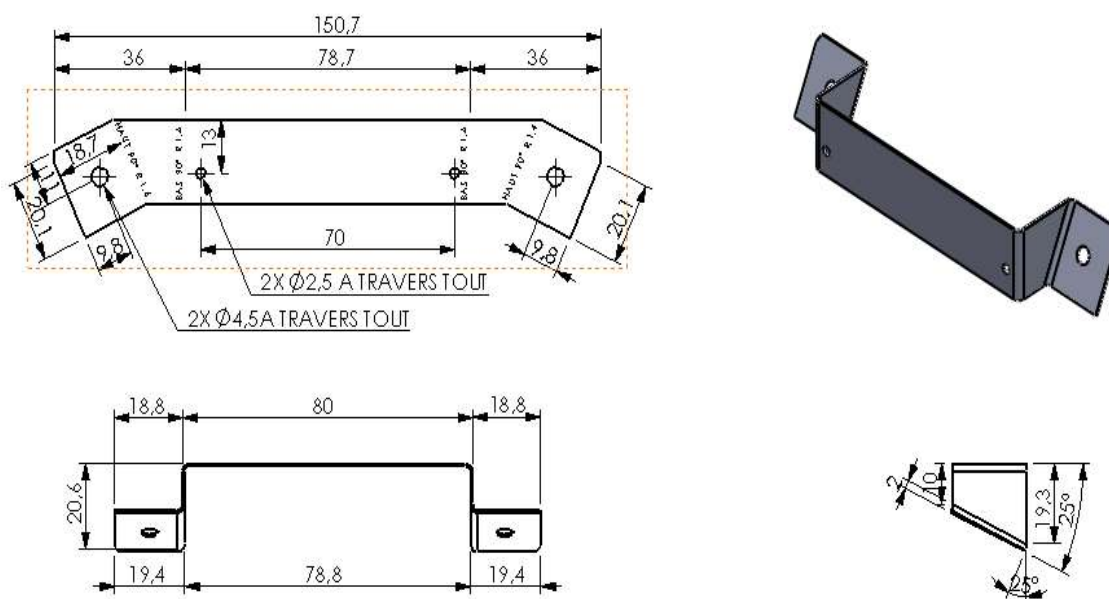


Figure IV.2 : démontions de la pièce

### IV.2.1 Fiche technique

La bande de la tôle est en acier galvanisé NF EN 10346 [19].

#### IV.2.1.1 Dimensions nominales selon la norme EN 10143

N°	Code	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)
01	130 133	De 0,58 à 0,6	1000

Tableau IV.1 : Démontions nominales de la tôle galvanisée

#### IV.2.1.2 Caractéristiques

##### IV.2.1.2.1- Composition chimique

COMPOSITION CHIMIQUE EN % MAXI						
C	Mn	P	S	Si	Ti	
0,18	1,2	0,12	0,045	0,5	0,3	

Tableau IV.2 : caractéristiques chimiques de la tôle galvanisée

## IV.2.1.2.2- Composition mécanique

Re (N/mm <sup>2</sup> )	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	A (%)
≥140	(270-500)	≥22

Tableau IV.3 : Caractéristiques mécaniques des la tôle galvanisé

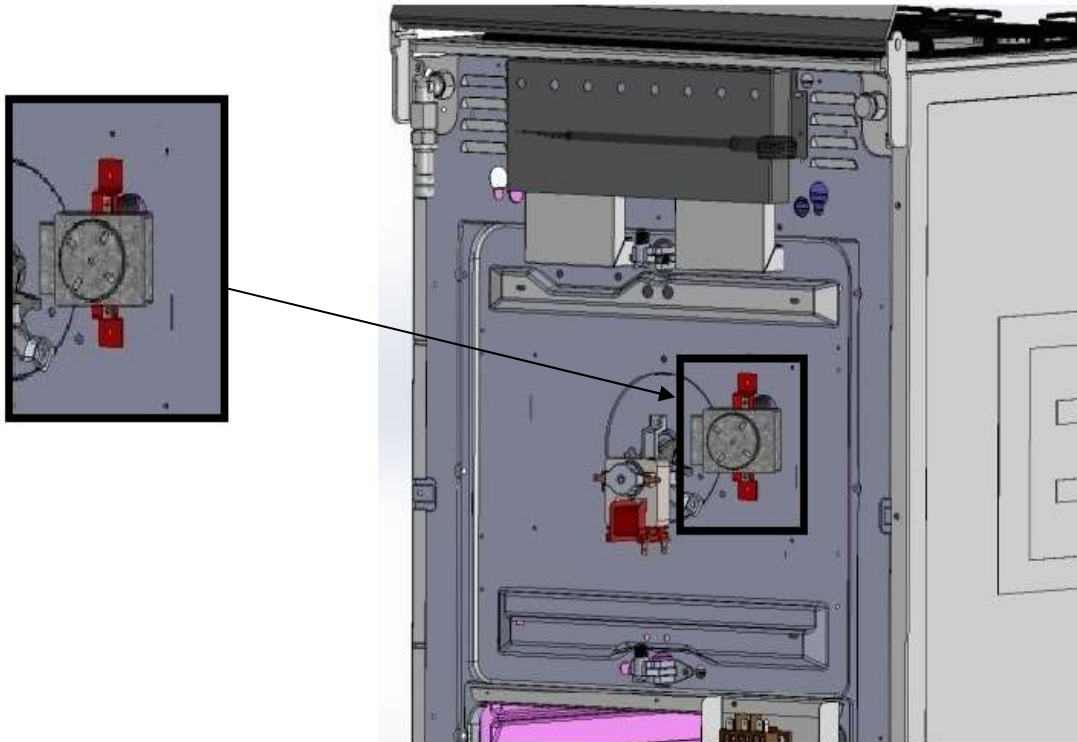


Figure IV.3 : emplacement de support moteur tourne broche

## IV.2.2 Emplacement de la pièce

La (figure IV.3) montre l'emplacement de support moteur tourne broche de cuisinière ventilé ENIEM.



**Figure IV.4 :** cuisinière ventilé ENIEM

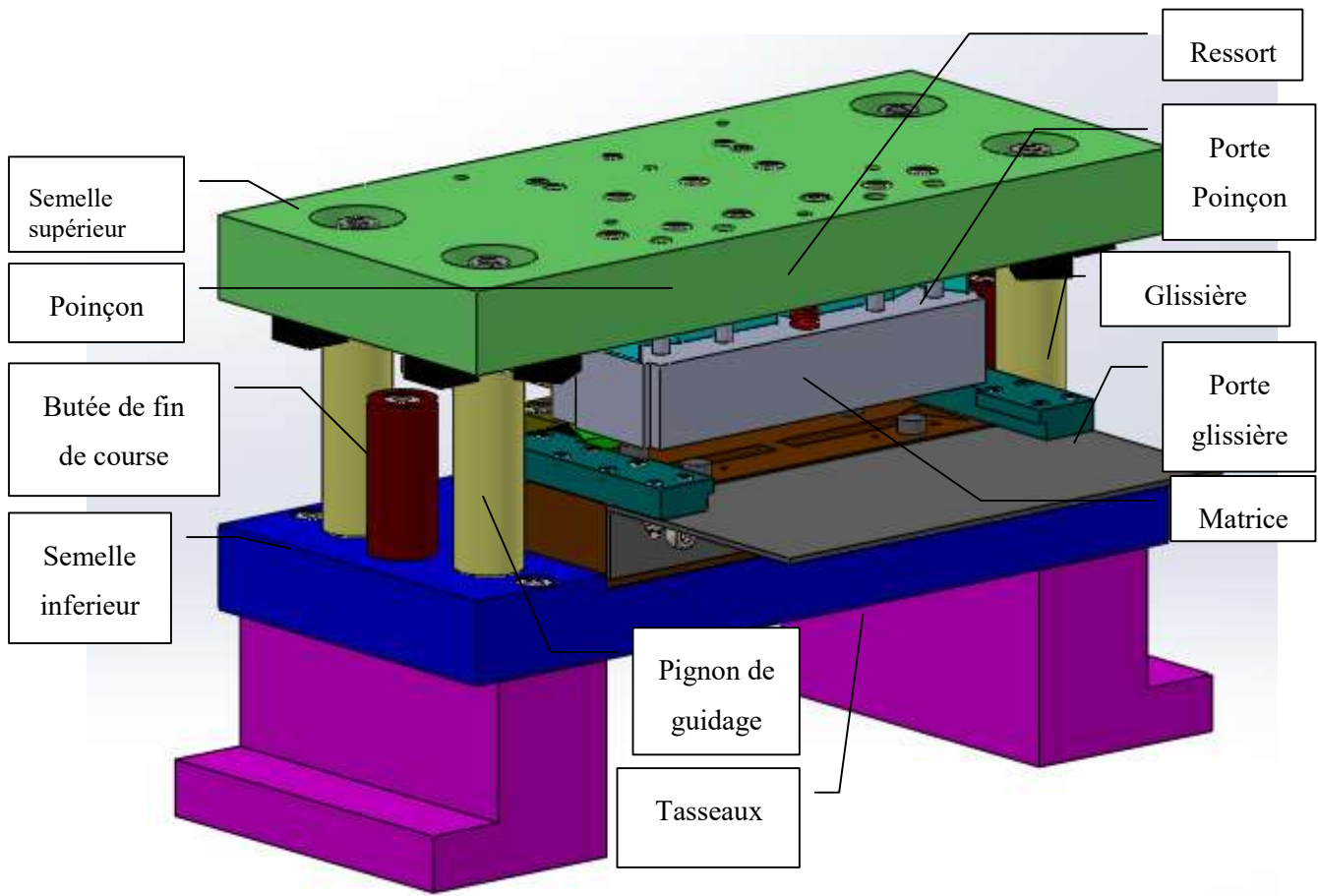
### **IV.3 Travail demandé**

#### **IV.3.1 But**

Ce support moteur tourne broche étant actuellement achetée, l'entreprise prévoit de l'intégrer selon ses moyens. Le travail consiste en l'étude et la conception d'un outil à Bande qui réalisera le support qui maintien le moteur de la broche à l'extérieure d'une cuisinière de l'ENIEM.

#### **IV.3.2 Outil proposé**

L'outil à bande est l'outil recommandé l'entreprise ENIEM, comme illustré dans la (**figure IV.5**). Il se compose d'une partie mobile supérieure fixée sur le coulisseau, où se trouvent les poinçons, et d'une partie inférieure fixe attachée à la table de la presse, où est située la matrice. Ces deux parties sont solidement guidées par quatre colonnes de guidage pour assurer un fonctionnement précis.



*Figure IV.5 : Outil a bande*

### IV.3.3 Processus de fabrication

L'outil proposé nous permet de réaliser la pièce voulue en passant simultanément par Cinq postes de travail avec un pas considérable qui sont classés comme suit :

**1<sup>ère</sup> poste** : L'opération consiste à faire 4 poinçonnages d'où deux de diamètre ( $\varnothing 4.5\text{mm}$ ), et deux autres de ( $\varnothing 2.5\text{ mm}$ ).

**2<sup>ème</sup> poste** : Elle consiste en un découpage des bandes, à partir de la tôle en acier galvanisé, fournie en format commercial standard, sous forme de bobines de 2 Tonnes.

**3<sup>ème</sup> poste** : L'opération consiste à réaliser un pli de  $90^\circ$ .

**4<sup>ème</sup> poste** : L'opération consiste à réaliser un pli de  $90^\circ$ .

**5<sup>ème</sup> poste** : Le dernier poste comme toujours consiste à séparer la pièce de la bande avec un poinçon de coupe.

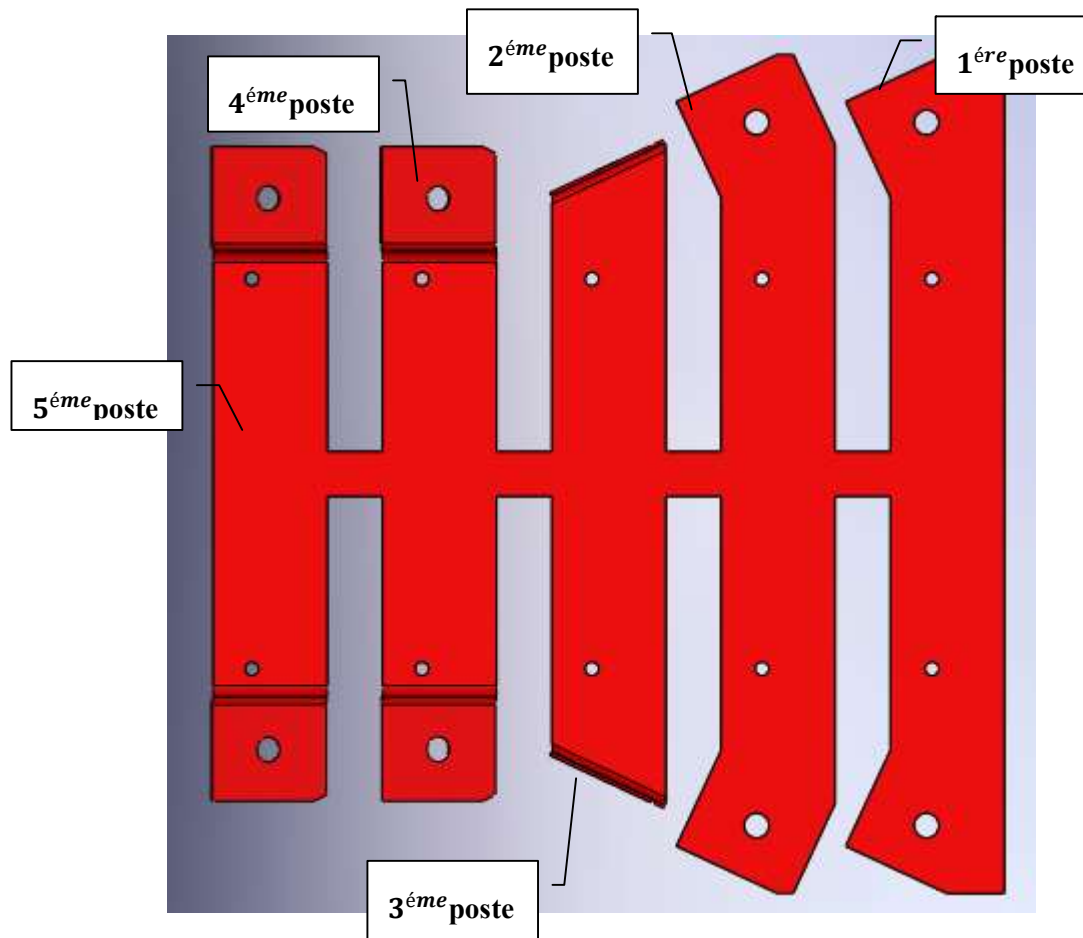


Figure IV.6 : Mise en bande

## IV.4 Calcul des efforts

### IV.4.1 Calcul de l'effort de découpage et poinçonnage

Le calcul des efforts pour les deux procédés se fait selon la loi suivante :

$$F = P \cdot e \cdot R_c \quad (IV.1)$$

Avec :

**F** : effort de coupe, (en daN).

**P** : Le périmètre à découper (mm).

**e** : L'épaisseur de la tôle (mm).

**R<sub>c</sub>** : Résistance au cisaillement de tôle (N/mm<sup>2</sup>).

Avec :

$$e = 0,6 \text{ mm}$$

Pour assurer un bon fonctionnement de l'outil et une bonne résistance aux efforts, on prend une valeur moyenne  $R_m = 500 \text{ N/mm}^2$  (Résistance à la rupture de la tôle).

Généralement, on admet que la résistance au cisaillement ( $R_c$ ), correspond à (8/10) de la résistance à la rupture ( $R_m$ ):

$$R_c = 0,8 R_m \quad (\text{IV.2})$$

Application numérique :

$$R_c = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$R_c = 400 \text{ N/mm}^2$$

### Calcul des périmètres de coupe « P »

**P** : Étant le périmètre du poinçon de détournage final (poinçon de coupe).

$$P = \pi \cdot \varnothing \cdot n \quad (\text{IV.3})$$

Avec :

$\varnothing$  : diamètres des trous

**n** : nombre des trous

#### 1. perçage des trous $\varnothing 2.5 \text{ mm}$

$$p_1 = 2,5 \cdot 1 \cdot 3,14$$

$$p_1 = 7,85 \text{ mm}$$

$$p_1 = p_2 = 7,85 \text{ mm}$$

#### 2. perçage des trous $\varnothing 4.5 \text{ mm}$

$$p_3 = 4,5 \cdot 1 \cdot 3,14$$

$$p_3 = 14,14 \text{ mm}$$

$$p_3 = p_4 = 14,14 \text{ mm}$$

#### 3. poinçon du découpage

$$p_5 = 197,42 \text{ mm (mesure direct)}$$

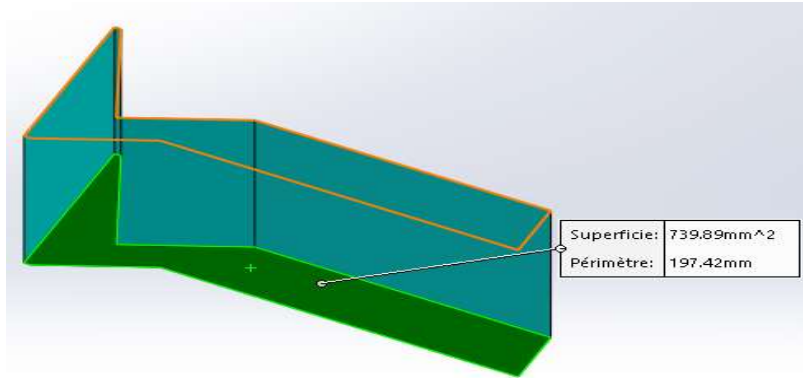


Figure IV.7 : périmètre de poinçon de découpage

$$p5 = p6 = 197,42 \text{ m}$$

#### 4. poinçon du séparation

$$p7 = 37,34 \text{ mm (mesure direct)}$$

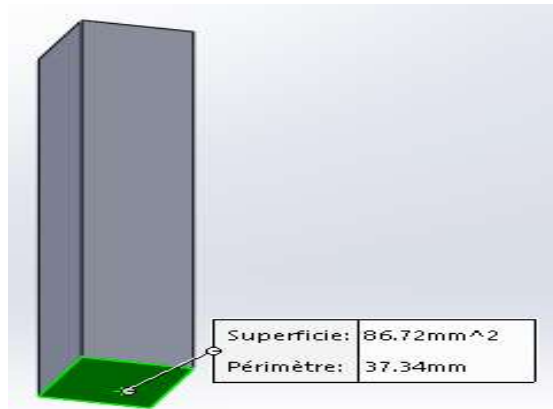


Figure IV.8 : périmètre de poinçon de séparation

Le calcul des efforts pour les deux procédés « F »

$$F = P \cdot e \cdot R_c \quad (\text{IV.1})$$

**1. perçage des trous Ø2.5 mm**

$$F1 = 7,85 \cdot 0,6 \cdot 400$$

$$F1 = 1884 \text{ N}$$

$$F1 = F2 = 1884 \text{ N}$$

**2. perçage des trous Ø4.5 mm**

$$F3 = 14,14 \cdot 0,6 \cdot 40$$

$$F3 = 3393,6 \text{ N}$$

$$F3 = F4 = 3393,6 \text{ N}$$

**3. poinçon du découpage**

$$F5 = 0,6 \cdot 400 \cdot 197,42$$

$$F5 = 47380,8 \text{ N}$$

$$F5 = F6 = 47380,8 \text{ N}$$

**4. poinçon de séparation**

$$F7 = 0,6 \cdot 400 \cdot 37,34$$

$$F7 = 8961,6 \text{ N}$$

**IV.4.2 Calcul de l'effort de pliage**

En pratique, on admet que l'effort nécessaire pour former un pli est égale au dixième de l'effort nécessaire pour cisailier la section de la tôle à cet endroit.

$$F = n \frac{e \cdot l \cdot R_c}{10} \quad (\text{IV.4})$$

Avec :

**n** : nombre de pli.

**e** : épaisseur de la tôle, en (mm).

**l** : (périmètre) la longueur de la ligne de cambrage, en (mm).

**R<sub>c</sub>** : résistance de la tôle au cisaillement en (daN/mm<sup>2</sup>).

Avec :

$$l'1 = 22,59 \text{ mm}$$

$$l'2 = 20,47 \text{ mm}$$

$$e = 0,6 \text{ mm}$$

$$Rc = 32 \text{ daN/mm}^2$$

### Calcul de premier pli

$$F'1 = 2 \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 22,59}{10} = 1084,3 \text{ N}$$



Figure IV.9 : périmètre de premier pli

### Calcul de deuxième pli

$$F'2 = 2 \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 20,47}{10} = 982,6 \text{ N}$$

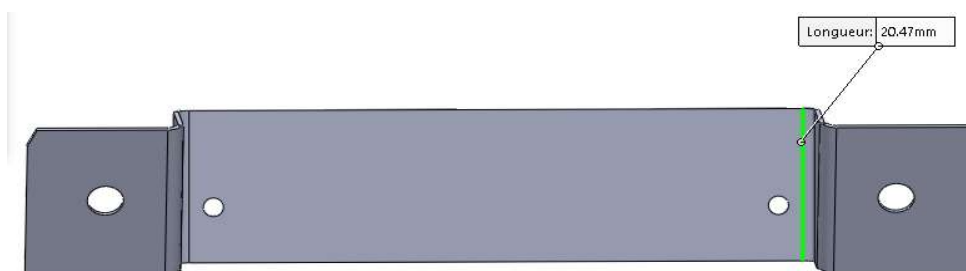


Figure IV.10 : périmètre de deuxième pli

**Le calcul de l'effort total « Ft »**

$$F_t = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 + F'_1 + F'_2$$

$$F_t = 1884 + 1884 + 3393,6 + 3393,6 + 47380,8 + 47380,8 + 8961,6 + 1084,3 + 982,6$$

$$F_t = 116345,3 \text{ N}$$

**IV.4.3 Effort de dévêtissage**

C'est l'effort nécessaire pour dégager les pionçons de la bande après découpage ou poinçonnage, il est égal à 7% de Ft.

$$F_{\text{dév}} = 7\% F_t \quad (\text{IV.5})$$

$$F_{\text{dév}} = \frac{7 \cdot 116345,3}{100} = 8144,17 \text{ N}$$

**IV.4.4 Calcul de l'effort d'éjection**

C'est l'effort nécessaire pour extraire (éjecter) la bande de tôle

$$F_{\text{éj}} = 1,5\% F_t \quad (\text{IV.6})$$

$$F_{\text{éj}} = \frac{1,5 \cdot 116345,3}{100} = 1745,18 \text{ N}$$

**IV.4.5 Calcul de l'effort total que doit fournir la presse**

La source de production de la force c'est la presse, elle doit produire un effort Supérieur à la somme des efforts.

$$F_{\text{pr}} > F_t + F_{\text{dév}} + F_{\text{éj}}$$

$$(\text{IV.7})$$

Avec :

**Fpr** : Effort de la presse.

**Ft** : Effort total de découpage-poinçonnage.

**Fdév** : Effort de dévêtissage.

**Féj** : effort d'éjection.

$$F_{\text{pr}} > 116345,3 + 8144,17 + 1745,18$$

Donc le choix de la presses ce fait selon la force suivant :

$$F_{pr} > 126234,65 \text{ N}$$

Donc le choix de la presses ce fait selon la force suivant :

$$F_{pr} > 12,62 \text{ tonne}$$

#### IV.4.5.1 Le choix de la presse à utiliser

Le type de presse à utiliser pour le travail des métaux en feuille dépend de divers paramètres, notamment :

- L'effort de la presse doit être plus élevé que les efforts nécessaires.
- Les dimensions de la table, en longueur et en largeur, doivent être considérablement plus grandes que celles de l'outil.
- L'espace libre entre la table et le coulisseau doit être supérieur à la hauteur de l'outil fermé.
- La nature des opérations à effectuer doit également être prise en compte.

Pour notre cas, il s'agit de poinçonnage, découpage et du pliage. Une presse mécanique est mieux indiquée. A partir de l'effort que nous avons calculé, nous avons opté pour une presse T36 excentrique qui a les caractéristiques suivantes [19]:

- Capacité de la presse : **150 tonnes.**
- Distance entre le (PMH) et le (PMB) : **320 mm.**
- Dimensions de la table (longueur et largeur) : **1300 mm × 800 mm.**
- Cours du coulisseau : **140 mm.**

On choisi cette presse par rapport a la disponibilité de l'entreprise.

#### IV.4 .6 Nombre et choix de ressorts

##### IV.4.6.1 Ressort de dévêtissage

La raideur des ressorts doit assurer le dévêtissage. Ce sont les éléments qui doivent assurer le retour de serre flanc à sa position initiale après chaque opération.

On distingue 8 types de ressorts classés par couleur, qui signifie le type de charge.



Figure IV.11 : différent type de ressort

L'encombrement de l'outil, nous a permis de définir le nombre de ressorts à utiliser. Le nombre de ressorts est de huit (8).

$$N_r = \frac{F_{\text{dév}}}{F_{\text{ressort}}} \quad (IV.8)$$

Avec :

**N<sub>r</sub>** : Nombre de ressorts.

**F dév**: Effort de dévêtissage.

**F ressort** : Effort d'un seul ressort.

$$N_r = \frac{8144,17}{1075}$$

$$N_r = 7,56$$

**On prend donc 8 ressorts**

Le ressort qui pourra répondre aux conditions de travail est le **ressort de compression hélicoïdal pour charge forte (couleur rouge)** tiré du (tableau IV.4), qui a les caractéristiques suivantes [18]:

La longueur du ressort non chargé  $L = 32$  mm.

Diamètre de douille (guidage extérieur)  $D = 20$  mm.

Diamètre du mandrin (guidage intérieur)  $D1 = 10$  mm.

Course du ressort comprimée  $S = 11$  mm.

Force du ressort  $F = 1075$  N.

Raideur du ressort  $K = 168$  N/mm.

N° de référence **SZ 8030.**


Alésage $\varnothing$ $D_{H15}$	Axe $\varnothing$ $D_{max}$	Fil 	Longueur $L_s$	Taux d'élasticité en N/mm $c \pm 10\%$	Durée d'utilisation longue		Durée d'utilisation moyenne		course de travail max.		course de ressort	
					$s_1 = 15\%$ en mm	$F_1$ en N	$s_2 = 20\%$ en mm	$F_2$ en N	$s_n = 30\%$ en mm	$F_n$ en N	$s_{max}$	max. approx.
10	5	1,8x1,4	25	22,1	3,7	81	5,0	110	7,5	165	9	10 x 025
10	5		32	17,5	4,8	84	6,4	112	9,6	168	12	10 x 032
10	5		38	17,1	6,7	97	7,6	129	11,4	194	15	10 x 038
10	5		44	15,0	6,6	99	8,8	132	13,2	196	17	10 x 044
10	5		51	12,8	7,6	97	10,2	130	15,3	195	21	10 x 051
10	5		64	10,7	9,0	102	12,8	136	19,2	205	26	10 x 064
10	5		76	7,5	11,4	85	15,2	114	22,8	171	31	10 x 076
10	5		305	2,1	45,7	95	61,0	128	91,5	192	122	10 x 305
12,5	6,3	2,4x2,0	25	42,1	3,7	155	5,0	210	7,5	315	9	13 x 025
12,5	6,3		32	30,2	4,0	150	6,4	212	0,6	310	13	13 x 032
12,5	6,3		38	29,3	5,7	167	7,6	222	11,4	334	15	13 x 038
12,5	6,3		44	24,6	6,6	162	8,8	216	13,2	324	18	13 x 044
12,5	6,3		51	19,6	7,6	148	10,2	199	15,3	299	20	13 x 051
12,5	6,3		64	15,0	9,6	144	12,8	197	19,2	288	26	13 x 064
12,5	6,3		76	13,2	11,4	150	15,2	200	22,8	300	30	13 x 076
12,5	6,3		89	11,4	13,3	151	17,8	202	26,7	304	35	13 x 089
12,5	6,3		102	0,4	15,0	144	20,4	192	30,6	207	41	13 x 102
12,5	6,3		305	2,8	45,7	127	61,0	170	91,5	247	123	13 x 305
16	8	3,0x2,4	25	75,7	3,7	280	5,0	378	7,5	567	9	16 x 025
16	8		32	52,8	4,8	253	6,4	337	9,6	506	14	16 x 032
16	8		38	48,5	5,7	276	7,6	368	11,4	552	17	16 x 038
16	8		44	42,8	6,6	282	8,8	376	13,2	564	20	16 x 044
16	8		51	37,1	7,6	281	10,2	378	15,3	567	21	16 x 051
16	8		64	30,0	9,0	290	12,8	307	19,2	581	26	16 x 064
16	8		76	25,7	11,4	292	15,2	390	22,8	585	33	16 x 076
16	8		89	21,7	13,3	288	17,8	386	26,7	579	39	16 x 089
16	8		102	19,3	15,3	295	20,4	393	30,6	590	44	16 x 102
16	8		305	7,1	45,7	324	61,0	433	91,5	649	127	16 x 305
20	10	4,0x3,2	25	216,0	3,7	799	5,0	1080	7,6	1641	9	20 x 025
20	10		32	168,0	4,8	806	6,4	1075	9,6	1612	11	20 x 032
20	10		38	129,0	5,7	735	7,6	959	11,4	1470	13	20 x 038
20	10		44	112,0	6,6	739	8,8	985	13,2	1478	16	20 x 044
20	10		51	94,0	7,6	714	10,2	958	15,3	1438	20	20 x 051
20	10		64	72,1	9,6	692	12,8	922	19,2	1384	25	20 x 064
20	10		76	60,7	11,4	680	15,2	907	22,8	1361	29	20 x 076
20	10		89	50,5	13,3	671	17,8	898	26,7	1348	35	20 x 089
20	10		102	44,2	15,3	676	20,4	901	30,6	1352	40	20 x 102
20	10		115	38,4	17,2	660	23,0	883	34,5	1324	47	20 x 115
20	10		127	34,1	19,0	647	25,4	866	38,1	1299	52	20 x 127
20	10		139	31,0	20,9	648	27,8	862	41,7	1293	57	20 x 139
20	10		152	28,2	22,8	642	30,4	857	45,6	1285	62	20 x 152
20	10		305	16,0	45,7	686	61,0	916	91,5	1372	121	20 x 305

Tableau VI.4 : Catalogue STEINEL NORMALIEN ressort à charge forte

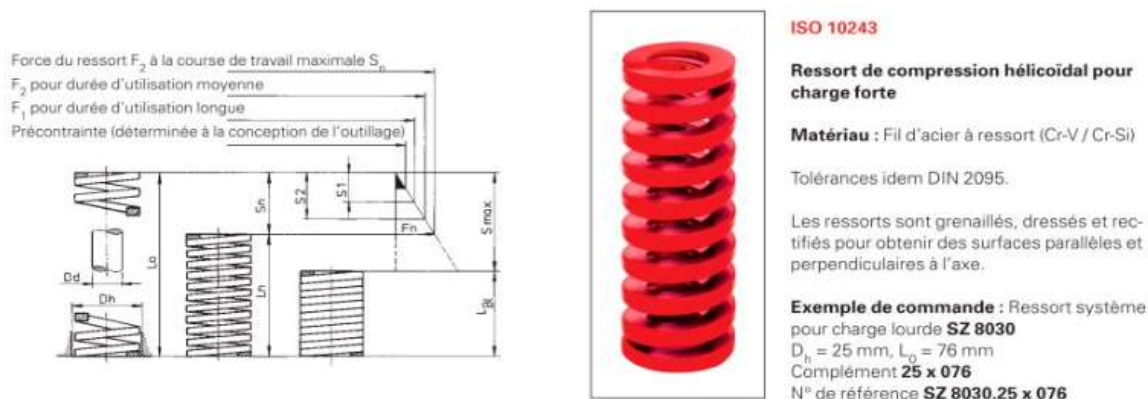


Figure IV.12 : Schéma de dimensionnement d'un ressort

### IV.4.6.3 Ressorts des éjecteurs

La raideur des ressorts doit assurer l'éjection. Ce sont les éléments qui doivent assurer le retour de la bande de tôle à sa position initial après l'effectuation des opérations de pliages.

Nous effectuons deux opérations de pliage. Nous a permis de définir de nombre de ressort à utiliser. Le nombre de ressorts est de quatre (4).

$$F_{\text{ressort}} = \frac{F_{\text{éj}}}{N_r} \tag{IV.9}$$

Avec :

**N<sub>r</sub>** : Nombre de ressorts.

**F<sub>éj</sub>**: Effort d'éjection.

**F<sub>ressort</sub>** : Effort d'un seul ressort.

On a :

$$F_{\text{éj}} = 1745,18 \text{ N}$$

$$N_r = 4 \text{ ressorts}$$

Donc :

$$F_{\text{ressort}} = \frac{1745,18}{4}$$

$$F_{\text{ressort}} = 436,295 \text{ N}$$

Le ressort qui pourra répondre aux conditions de travail est le **ressort de compression hélicoïdal pour charge extra forte (couleur jaune)** tiré du (tableau IV.5), qui a les caractéristiques suivantes [18]:

- La longueur du ressort non chargé  $L = 25$  mm.
- Diamètre de douille (guidage extérieur)  $D = 16$  mm.
- Diamètre du mandrin (guidage intérieur)  $D1 = 8$  mm.
- Course du ressort comprimée  $S = 10$  mm.
- Force du ressort  $F = 590$  N.
- Raideur du ressort  $K = 118$  N/mm.

N° de référence SZ 8040. x

Alésage Ø D <sub>h</sub> <sup>H15</sup>	Axe Ø D <sub>ab15</sub>	Fil 	Longueur L <sub>0</sub>	Taux d'élasticité en N/mm c ± 10%	Durée d'utilisation longue		Durée d'utilisation moyenne		course de travail max.		course de ressort max. s <sub>max</sub> approx.	
					s <sub>1</sub> = 15% en mm	F <sub>1</sub> en N	s <sub>2</sub> = 20% en mm	F <sub>2</sub> en N	s <sub>n</sub> = 25% en mm	F <sub>n</sub> en N		
10	5	1,9x1,5	25	36,8	3,7	136	5,0	184	6,3	231	9	10 x 025
10	5		32	27,9	4,8	133	6,4	178	8,0	223	12	10 x 032
10	5		38	23,7	5,7	135	7,6	180	9,5	225	14	10 x 038
10	5		44	19,2	6,6	126	8,8	168	11,0	211	17	10 x 044
10	5		51	16,5	7,6	125	10,2	168	12,8	211	19	10 x 051
10	5		64	13,2	9,6	126	12,8	168	16,0	211	23	10 x 064
10	5		76	10,9	11,4	124	15,2	165	19,0	207	30	10 x 076
10	5		305	2,6	45,7	118	61,0	158	76,3	198	117	10 x 305
12,5	6,3	2,3x2,2	25	58,5	3,7	216	5,0	292	6,3	368	9	13 x 025
12,5	6,3		32	43,9	4,8	210	6,4	280	8,0	351	12	13 x 032
12,5	6,3		38	36,0	5,7	205	7,6	273	9,5	342	14	13 x 038
12,5	6,3		44	30,3	6,6	199	8,8	266	11,0	333	18	13 x 044
12,5	6,3		51	26,2	7,6	199	10,2	267	12,8	336	20	13 x 051
12,5	6,3		64	21,2	9,6	203	12,8	271	16,0	339	27	13 x 064
12,5	6,3		76	17,1	11,4	194	15,2	259	19,0	324	32	13 x 076
12,5	6,3		89	14,5	13,3	192	17,8	258	22,3	323	38	13 x 089
12,5	6,3		102	12,5	15,3	191	20,4	255	25,5	319	41	13 x 102
12,5	6,3		305	4,3	45,7	196	61,0	262	76,3	328	115	13 x 305
16	8	3,2x2,7	25	118,0	3,7	436	5,0	590	6,3	743	10	16 x 025
16	8		32	89,0	4,8	427	6,4	569	8,0	712	12	16 x 032
16	8		38	72,1	5,7	410	7,6	547	9,5	684	14	16 x 038
16	8		44	60,9	6,6	401	8,8	535	11,0	669	17	16 x 044
16	8		51	52,3	7,6	397	10,2	533	12,8	669	19	16 x 051
16	8		64	41,2	9,6	395	12,8	527	16,0	659	25	16 x 064
16	8		76	34,1	11,4	388	15,2	518	19,0	647	29	16 x 076
16	8		89	29,5	13,3	392	17,8	525	22,3	657	36	16 x 089
16	8		102	25,6	15,3	391	20,4	522	25,5	652	38	16 x 102
16	8		305	8,4	45,7	383	61,0	512	76,3	640	120	16 x 305

Tableau VI.5 : Catalogue STEINEL NORMALIEN ressort à charge forte

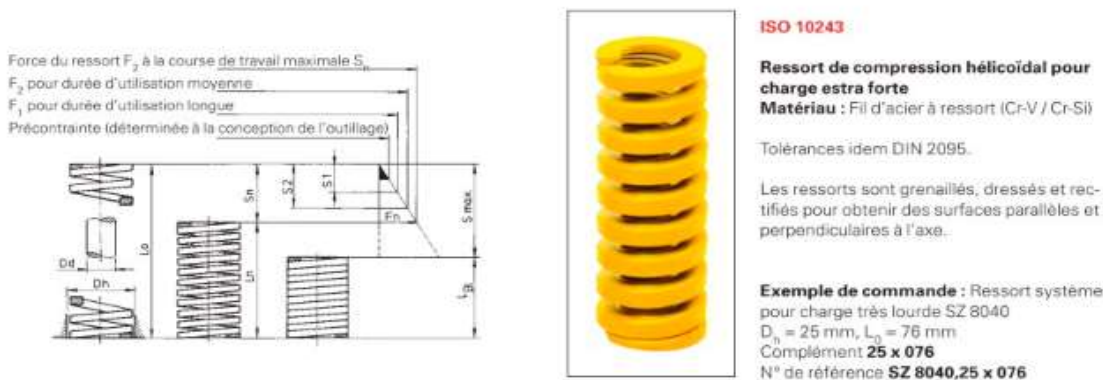


Figure IV.13 : Schéma de dimensionnement d'un ressort

### IV.4.7 Vérification de la résistance des poinçons au flambement

Le flambage se produit quand une poutre droite de grande longueur fléchit sous l'effet de forces opposées appliquées dans sa direction axiale. Ce phénomène survient à une charge spécifique, connue sous le nom de charge critique.

Si :

- $F < F_{cr}$  : la poutre reste rectiligne et ne pas subit qu'un faible raccourcissement qui est du à la compression.
- $F > F_{cr}$  : la poutre se plie, les déformations deviennent très importantes et la rupture peut intervenir très rapidement.
- $F = F_{cr}$  : La barre est en équilibre instable, il peut y avoir changement d'état d'équilibre pour atteindre un état d'équilibre stable en flexion composée.

Avec :

$F$  : effort de d'découpage

$F_{cr}$  : charge critique d'Euler qui se calcule comme suit :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{\lambda^2} \tag{IV.10}$$

Avec :

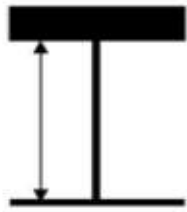
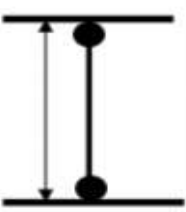
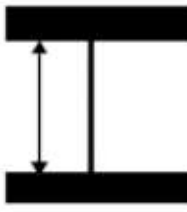
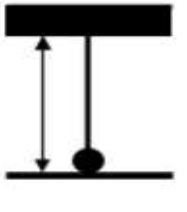
$E$  : Module d'élasticité (210000 N/mm<sup>2</sup>).

$I$ : Moment d'inertie.

$\lambda$ : La longueur libre de flambage

$L$  : la longueur réelle

La longueur libre de flambage  $l$  est donnée en fonction du type d'appui (tableau IV.6).

LONGUEUR LIBRE DE FLAMBAGE				
Type de Liaisons	Encastré en A Et Libre en B	Liaisons Pivotantes en A et B	Encastré en A Et B	Encastré en A Et Pivots en B
Valeurs de $l$	 $l=2L$	 $l=L$	 $l=L/2$	 $l=0.7L$

**Tableau IV.6 :** Longueur libre de flambement en fonction de type de liaisons

Le moment d'inertie est donné su la forme :

$$I = \frac{\pi \cdot \varnothing^4}{64} \quad (\text{IV.11})$$

Pour la vérification de la résistance des poinçons au flambement, nous disposons de quatre poinçons :

Deux poinçons de  $\varnothing 2,5$  mm identiques et deux poinçons d'autres de  $\varnothing 4,5$  mm également identiques. Nous allons donc vérifier un poinçon de  $\varnothing 2,5$  mm et un poinçon de  $\varnothing 4,5$  mm.

#### poinçon de $\varnothing 2.5$ mm

$$I = \frac{\pi \cdot 6^4}{64} = 63,62 \text{ mm}^4$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 63,62}{(2 \cdot 68,18)^2} = 7091,51 \text{ N}$$

La force critique à ne pas dépasser est :

$$F_{cr} = 7091,51 \text{ N}$$

D'après les résultats obtenus :

On a  $F_1 = 1884 \text{ N}$  (effort poinçonnage pour le poinçon  $\varnothing 2,5$  mm). On a  $F_1 < F_{cr}$

La condition est vérifiée, donc le poinçon résiste au flambement.

**poinçon de Ø4.5 mm**

$$I = \frac{\pi \cdot 4,5^4}{64} = 63,62 \text{ mm}^4$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 63,62}{(2 \cdot 68,18)^2} = 7091,51 \text{ N}$$

La force critique à ne pas dépasser est :

$$F_{cr} = 7091,51 \text{ N}$$

D'après les résultats obtenus :

On a  $F_3 = 3393.6 \text{ N}$  (effort poinçonnage pour le poinçon Ø4.5). On a  $F_3 < F_{cr}$

La condition est vérifiée, donc le poinçon résiste au flambement.

**IV.5 Conception de l'outil**

L'outil à réalisé est l'outil a bande.

Pour la réalisation d'un support moteur tourne broche en tôle galvanisé d'une cuisinière ventilé ENIEM. Fait pour des moyennes et grandes séries.

**IV.5.1 Partie inférieure**

La partie inférieure de l'outil est la partie fixe bridée sur la table de la presse, elle comporte les pièces suivantes.

**IV.5.1.1- Semelle inférieure**

La plaque constitue un support essentiel pour la matrice afin de mieux résister à l'effort de compression exercé par les poinçons.

Elle est conçue avec des espaces dégagés pour l'éjection des déchets, ainsi que des trous pour la fixation des tasseaux et des embases de la matrice.

#### *IV.5.1.1.1- La matrice*

Ces matrices doivent pouvoir supporter diverses contraintes telles que le découpage et le poinçonnage. Elles sont fabriquées en (Z200C12). Elles sont conçues pour résister à la pression exercée par le serre-flan et prévenir toute déformation.

#### *IV.5.1.1.2- Les glissières*

Ce sont des baguettes fixes sur la matrice, leur rôle est d'assurer le guidage de la bande dans l'outil.

#### *IV.5.1.1.3- La butée*

Elle sert à positionner le flan, limitant ainsi son déplacement tout en assurant un bon guidage du flan.

#### *IV.5.1.1.4- Embase*

C'est un élément qui assure le guidage entre les deux semelles supérieures et inférieure par l'intermédiaire des colonnes de guidage.

#### *IV.5.1.1.5- Colonne de guidage*

Elle garantit le guidage de la partie supérieure avec la partie inférieure. Dans notre conception, ce guidage est assuré par quatre colonnes de guidage. Elles se déplacent dans les embases supérieures par glissement et sont insérées dans les embases inférieures.

#### *IV.5.1.1.6- Porte glissière*

C'est une plaque de tôle fixé sur la matrice qui sert de support pour les glissières et la bande.

### **IV.5.2 Partie supérieure**

La partie supérieure de l'outil est la partie mobile bridée au coulisseau, elle comporte les pièces suivantes.

#### **IV.5.2.1- Serre flan**

Sa fonction est de maintenir la bande serrée pendant les opérations de l'outil afin d'éviter tout glissement. Pour ce faire, les poinçons sont décalés de 1 mm vers le haut afin de permettre l'arrivée du serre-flan à la bande avant les autres poinçons, et elle guide à la fois les poinçons et les vis d'écartement, agissant comme un relais entre les portes-poinçons et le serre-flan.

#### **IV.5.2.2- Les poinçons**

Ils sont fabriqués dans le même matériau que les matrices (Z200C12). Ces éléments sont les plus sollicités au sein de l'outil. Pour prévenir tout phénomène de flambement dû à leur section réduite, nous utilisons des chemises dans lesquelles ils sont insérés. Le montage des poinçons dans le porte-poinçon est adapté à la forme du poinçon pour assurer un ajustement précis.

#### **IV.5.2.3- Porte poinçon**

Cette pièce assure la fixation et le guidage des divers poinçons pendant leur utilisation. Elle sert également de support pour les dispositifs de dévêtissage et le serre-flan.

#### **IV.5.2.4- La plaque de choc**

Cette pièce est constituée de tôle bleue relativement mince et dure, est destinée à préserver l'intégrité de la semelle supérieure en la protégeant contre les déformations causées par l'utilisation des poinçons.

#### **IV.5.2.5- Pilote**

Ils ont la forme de poinçon leur rôle est assuré le guidage et positionnement de la bande sur la matrice.

#### **IV.5.2.6- Semelle supérieur**

C'est la pièce bridée sur le coulisseau.

### **IV.6 Mise en plan**

Dans cette section de notre travail, nous avons employé le logiciel SolidWorks afin de mettre en évidence les diverses caractéristiques dimensionnelles et géométriques des composants constituant l'outil, à travers les mises en plan suivantes :

**Planche 01** : Porte poinçons

**Planche 02** : Serre flan 1

**Planche 03** : Serre flan 2

**Planche 04** : Poinçon de pliage 1

**Planche 05** : Poinçon de pliage 2

**Planche 06** : Poinçon de découpage gauche

**Planche 07** : Poinçon de découpage droit

**Planche 08** : Poinçon D 4.5

**Planche 09** : Poinçon D 2.5

**Planche 10** : Couteau

**Planche 11** : Colonne de guidage

**Planche 12** : Bride guidage

**Planche 13** : Tasseau

**Planche 14** : Support

**Planche 15** : Porte matrice

**Planche 16** : Matrice de pliage gauche

**Planche 17** : Matrice de pliage droit

**Planche 18** : Matrice 1

**Planche 19** : Matrice 2

**Planche 20** : Matrice 3

**Planche 21** : Glissière gauche

**Planche 22** : Glissière droit

**Planche 23** : Ejecteur

**Planche 24** : Bague de guidage

**Planche 25** : vue éclaté

## **IV.7 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons réussi à faire une étude, et à concevoir un outil à bande qui sert à la réalisation d'un support moteur tourne broche en tôle galvanisé d'une cuisinière ventilé **ENIEM**.

Grâce à l'utilisation de **SOLIDWORKS** et aux calculs successifs que nous avons réalisés, nous avons pu déterminer approximativement les dimensions du flan théorique, la capacité de la presse à utiliser, ainsi que les efforts et la raideur des ressorts, le tout sans avoir recours à des essais expérimentaux. Cette approche a permis d'économiser du temps tout en garantissant une précision satisfaisante.

## **Conclusion générale**

La réalisation de notre projet de fin d'études au niveau de l'entreprise ENIEM, notamment au sein du bureau d'études et de l'unité des prestations techniques, cela à été d'une importance primordiale pour nous, à la fois sur le plan pratique et théorique. Cette expérience nous a permis d'approfondir nos connaissances dans les domaines de la conception, de la fabrication et de la gestion de projets dans le secteur industriel.

L'étude et la conception abordées dans notre mémoire nous ont offert une meilleure compréhension du travail des métaux en feuilles, des machines utilisées ainsi que de l'outillage adéquat pour le découpage, le poinçonnage et le pliage des tôles. De plus, cette étude nous a donné l'occasion de nous familiariser avec des modules de logiciels largement utilisés, comme SolidWorks pour la conception assistée par ordinateur, ainsi que les différentes étapes à suivre pour mettre en œuvre un tel outil.

Enfin, on peut dire que l'étude de l'outil proposé est suffisante pour sa réalisation et sa mise en marche au sein de l'entreprise, et notre étude nous a permis s'aboutir à une solution permettant la réalisation d'un support moteur tourne broche de cuisinière ventilé **ENIEM**.

# Références

## **Références Bibliographiques**

- [1] : Guy Murry, Aide-mémoire Métallurgie 2 e édition, DUNOD, 2010.
- [2] : Younès BENARIOUA, cours structure cristalline et défauts ponctuels, Université Mohamed BOUDIAF – M'Sila, 2021.
- [3] : Adnene Tlili, cour Matériaux Métalliques, l'Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Kasserine, 2015.
- [4] : Said Bensaada, cours de traitements thermiques, classification et désignation des aciers et fontes, université mohamed khider Biskra.
- [5] : A. CONSTANT-G. HENRY-J.C. CHARBONNIER, Livre de Principes de base des traitements thermiques thermomécaniques et thermochimiques des aciers, PYC édition ,1992.
- [6] : J.P. Druet and D. Quantin, L'acier zingué, un matériau recyclable, Novembre 1993.
- [7] : Danièle QUANTIN, Galvanisation à chaud – Procédés, techniques-ingénieur, septembre 2004.
- [8] : Jacques Bouvard, Laminage des tôles fortes, techniques-ingénieur, janvier 1990.
- [9] : S. Kalpakjian et R. Schmid, 6e edition, Fundamentals of Metal Forming, Pearson Education, 2016.
- [10] : Alain Col, L'emboutissage des aciers, DUNOD, avril 2010.
- [11] : Hamid Makich, Etude théorique et expérimentale de l'usure des outils de découpe : influence sur la qualité des pièces découpées, HAL open science, septembre 2014.
- [12] : Dr. BOUCHELARM Mohammed Amine, cours de Procédés de mise en forme, Université Djilali Liabes de Sidi Bel Abbes, 2022.
- [13] : Cour de procédés de fabrications, Université Frère Mentouri Constantine 1, Instituts des Sciences et Techniques Appliquées, 2020.
- [14] : J.-P. Trotignon, T. Coorevits, J.-M. David, R. Dietrich, G. Facy, E. Hugonnaud, M. Nicolas, M. Pompidou, Précis construction mécanique, tome 2 : Projets, méthodes production normalisation, Afnor, mars 2006.

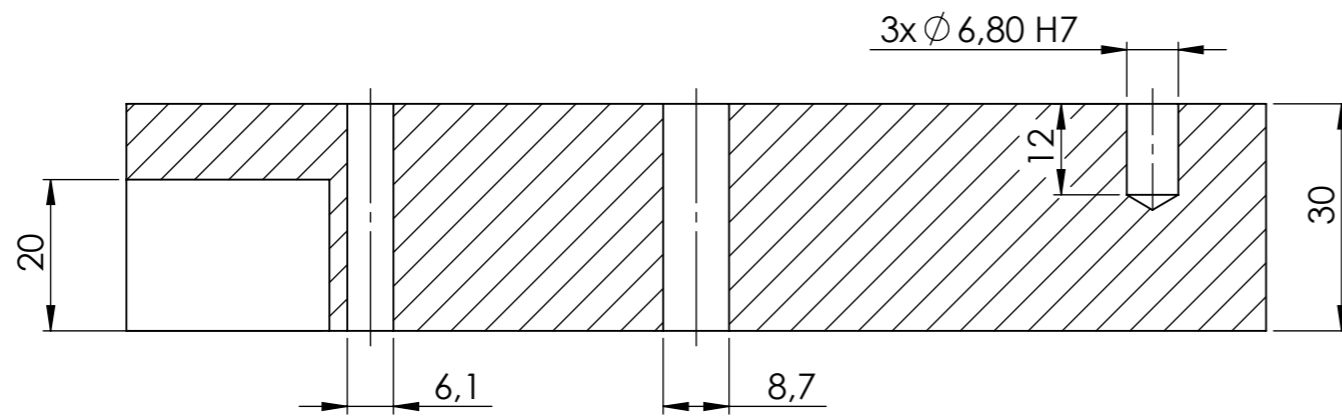
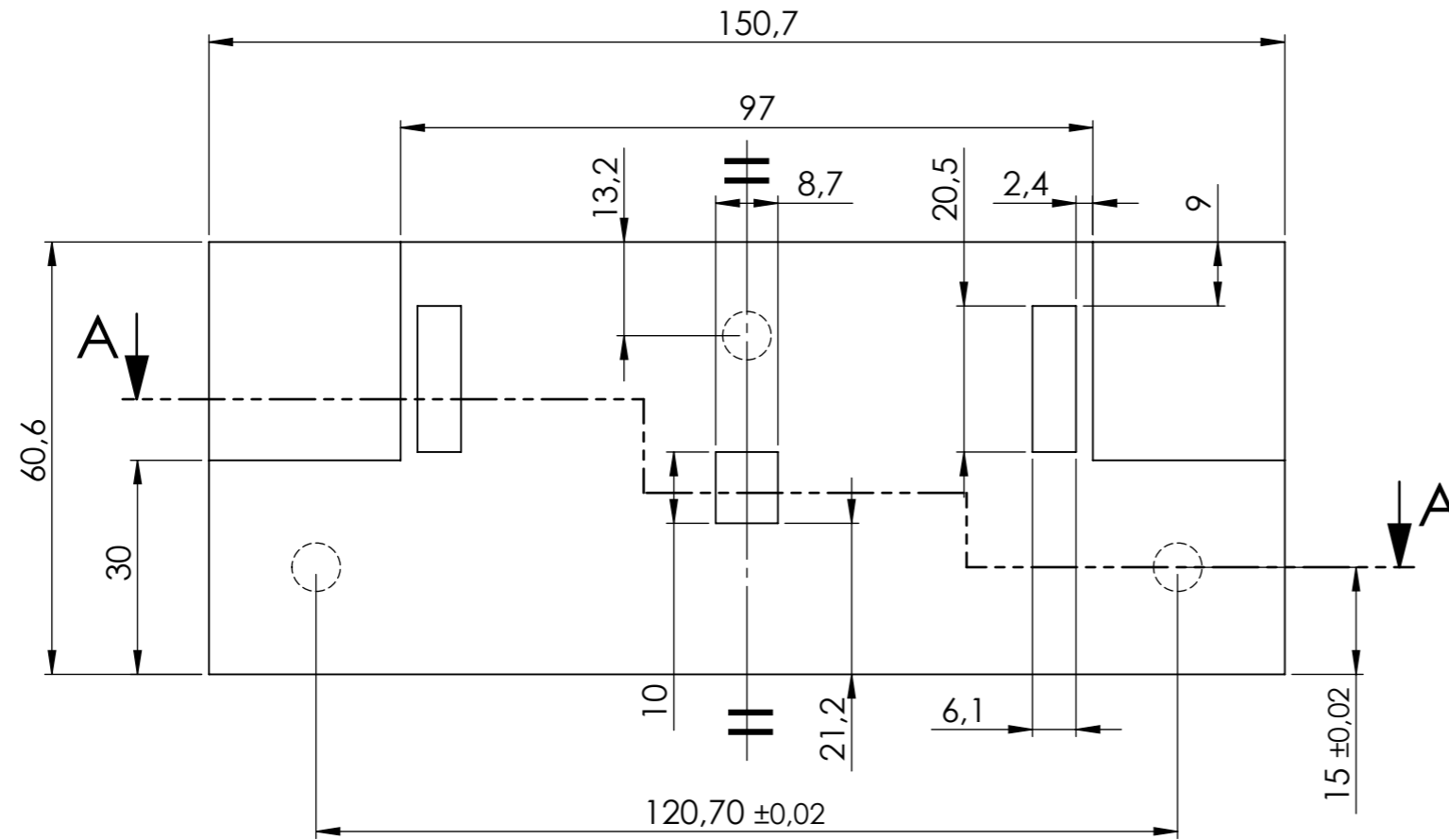
**[15]** : J. Baudoin, J.-P. Bello, Presses a servomoteur : la sécurité en question, département ingénierie des équipements de travail, mars 2014.

**[16]** : L. Girardot, Technologie professionnelle pour l'outilleur : Découpage, cambrage, emboutissage, Foucher, 1947.

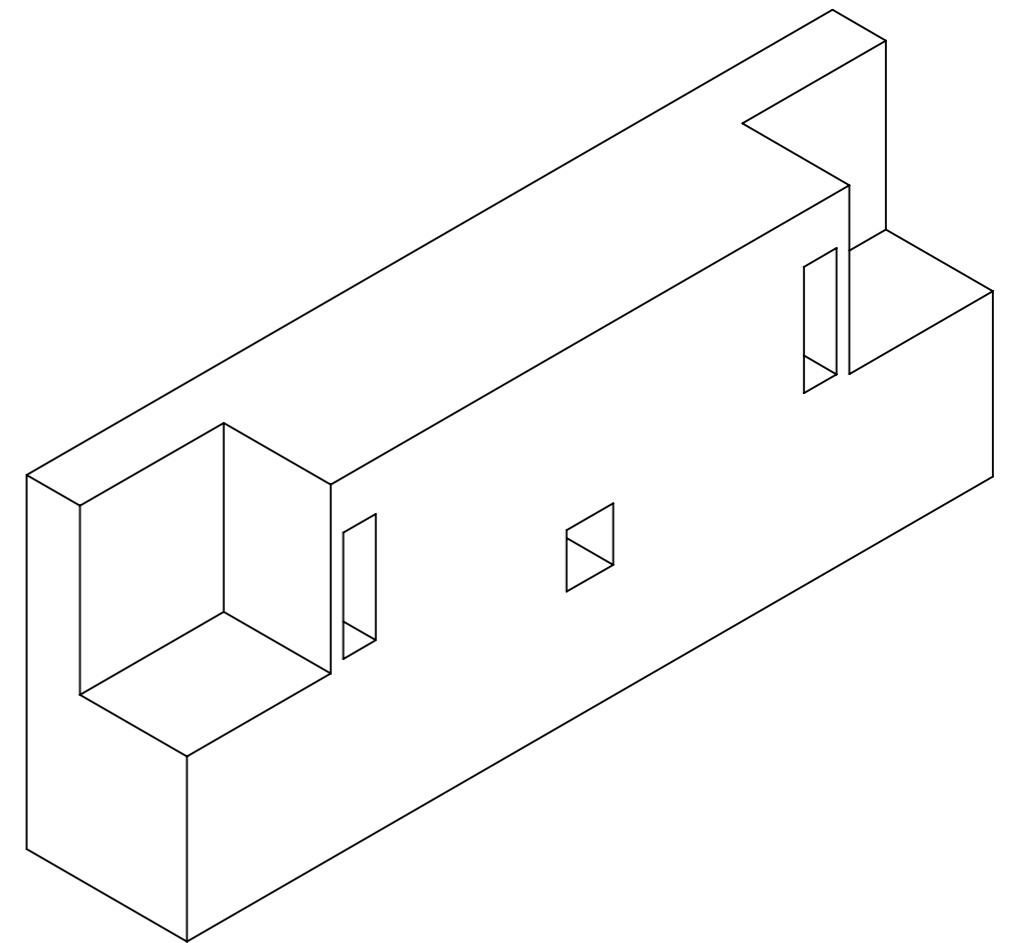
**[17]** : André MAILLARD, Michel CABARET, Outils de presse, techniques-ingénieur, Avril 2012.

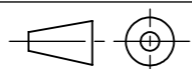
**[18]** : Catalogue STEINEL NORMALIEN, Version 02.2023.

**[19]** : documentations ENIEM.

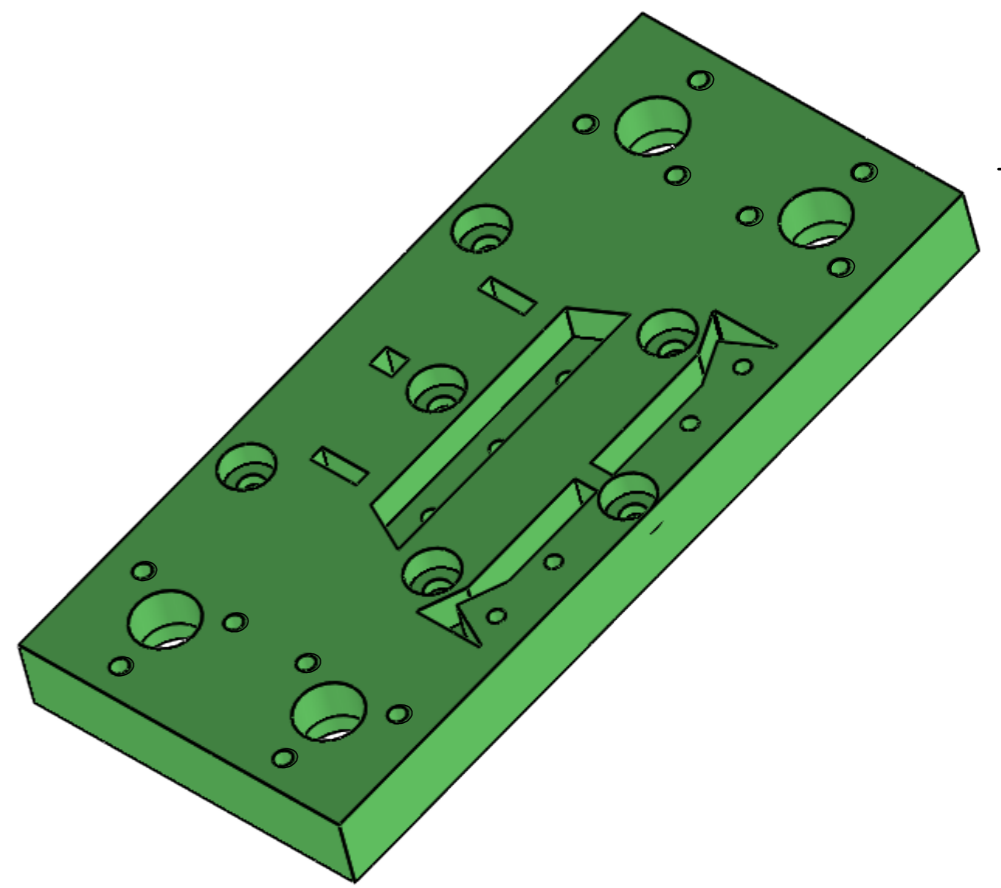
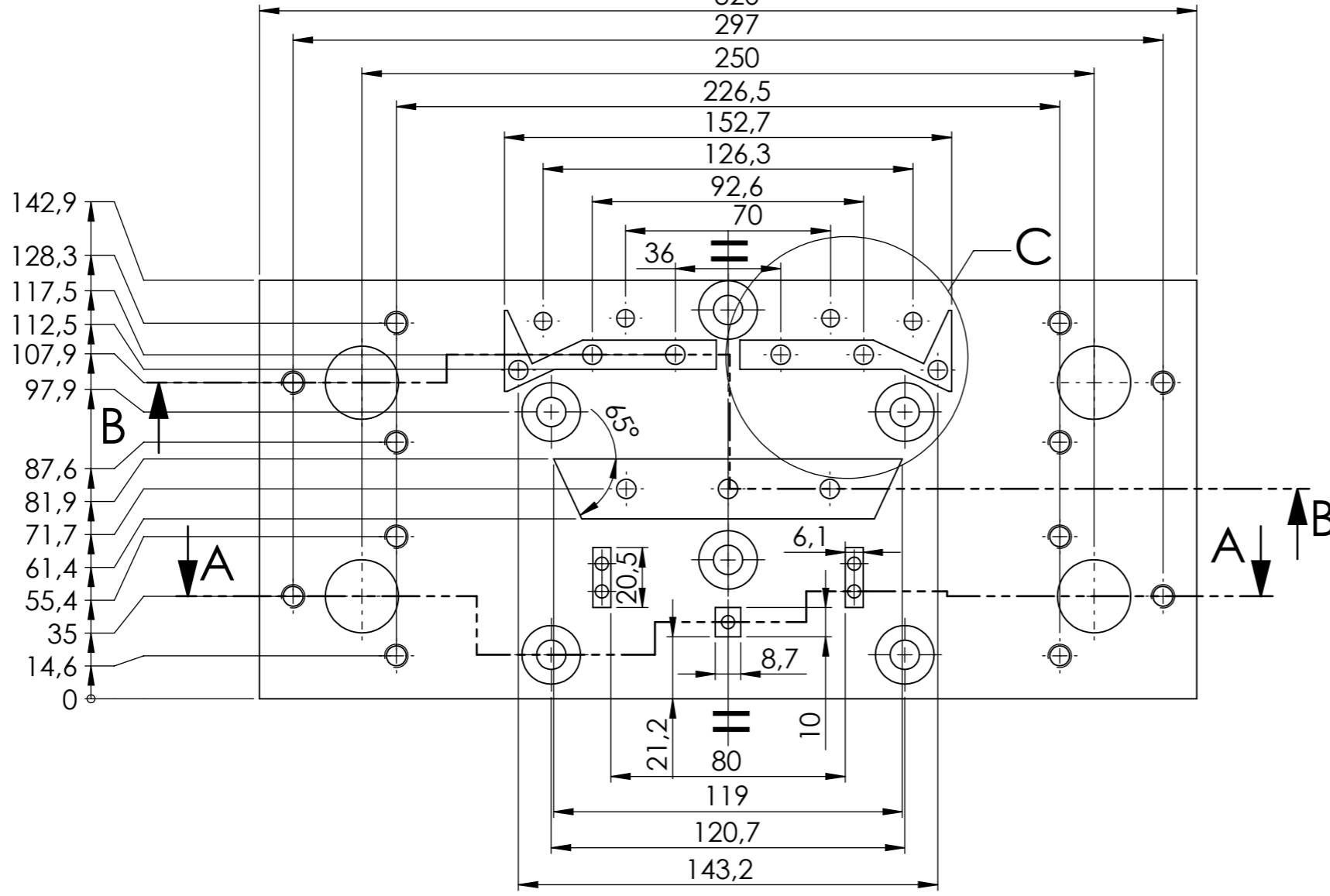
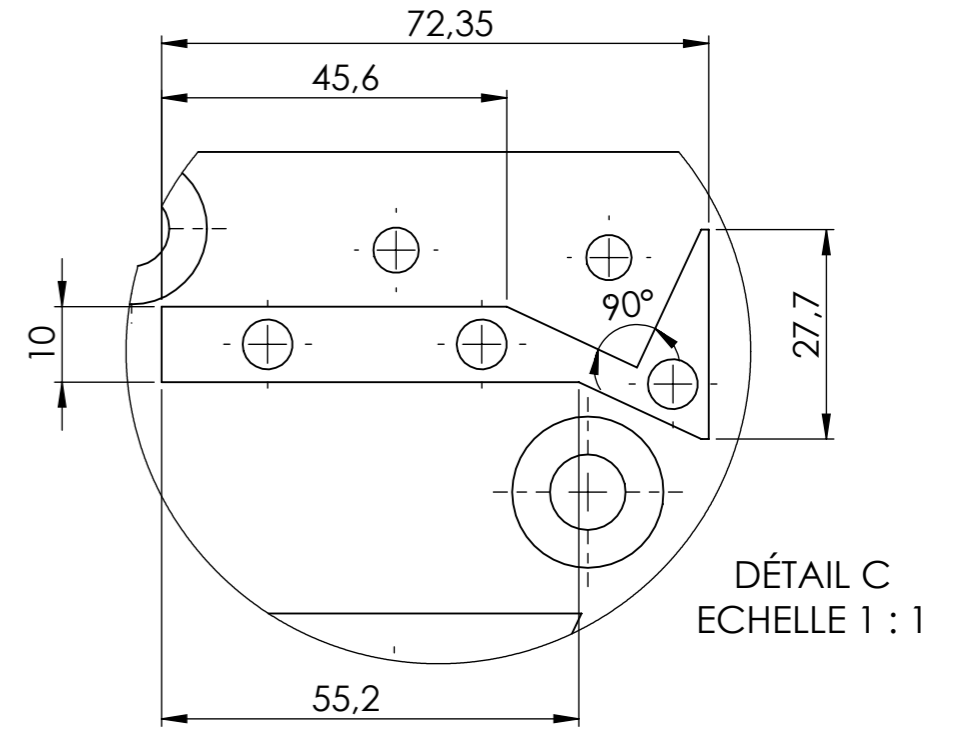
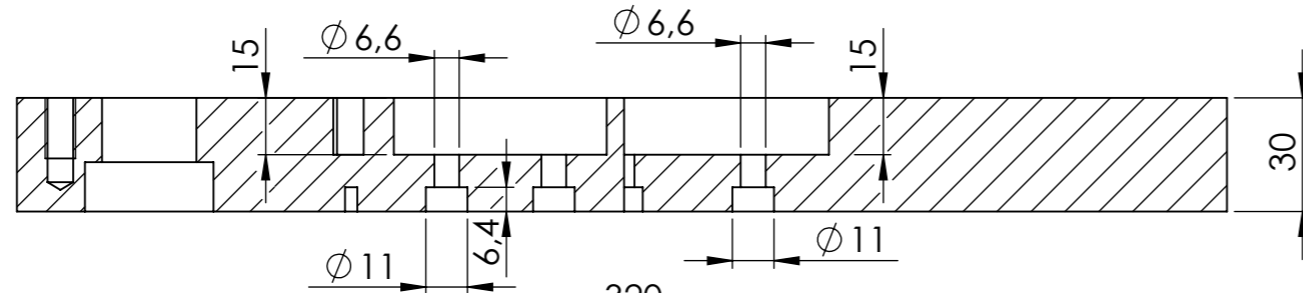


COUPE A-A

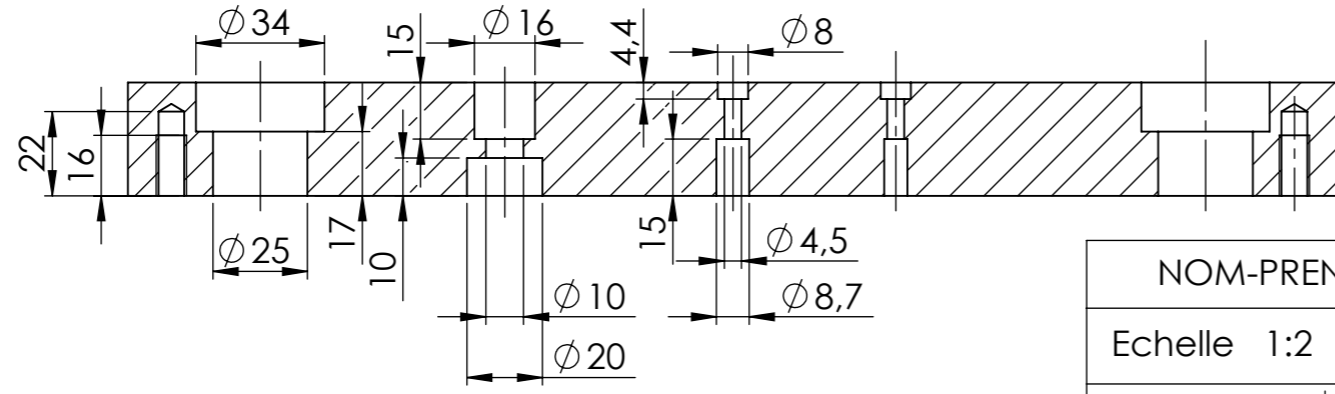


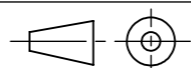
NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH			
Echelle 1:1		Désignation : Serre flanc 2	
		<b>DGM-FGC-UMMTO</b>	
Format A3		Matière XC48	
		2023/2024	
		M2-FMP	

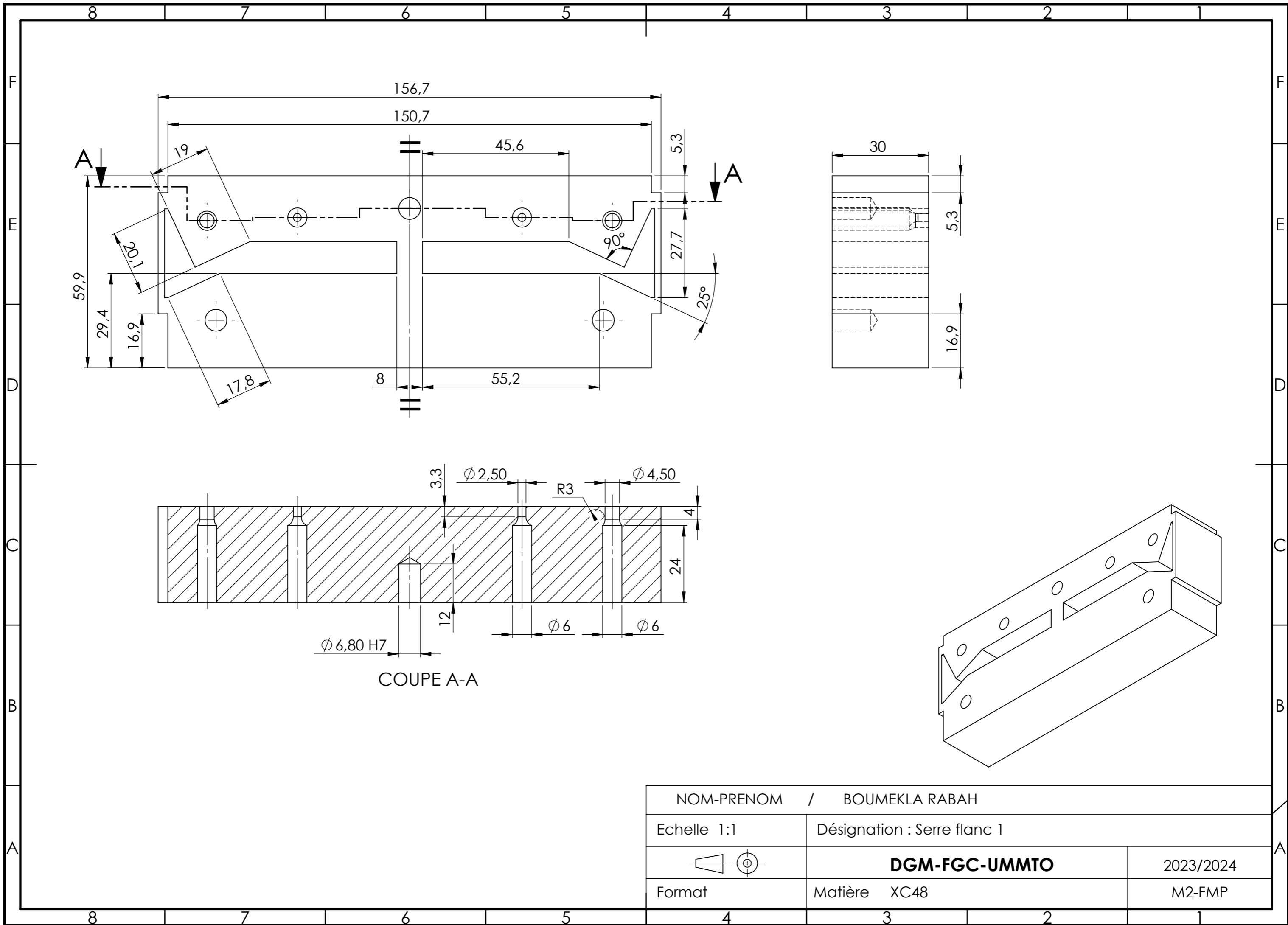
COUPE B-B

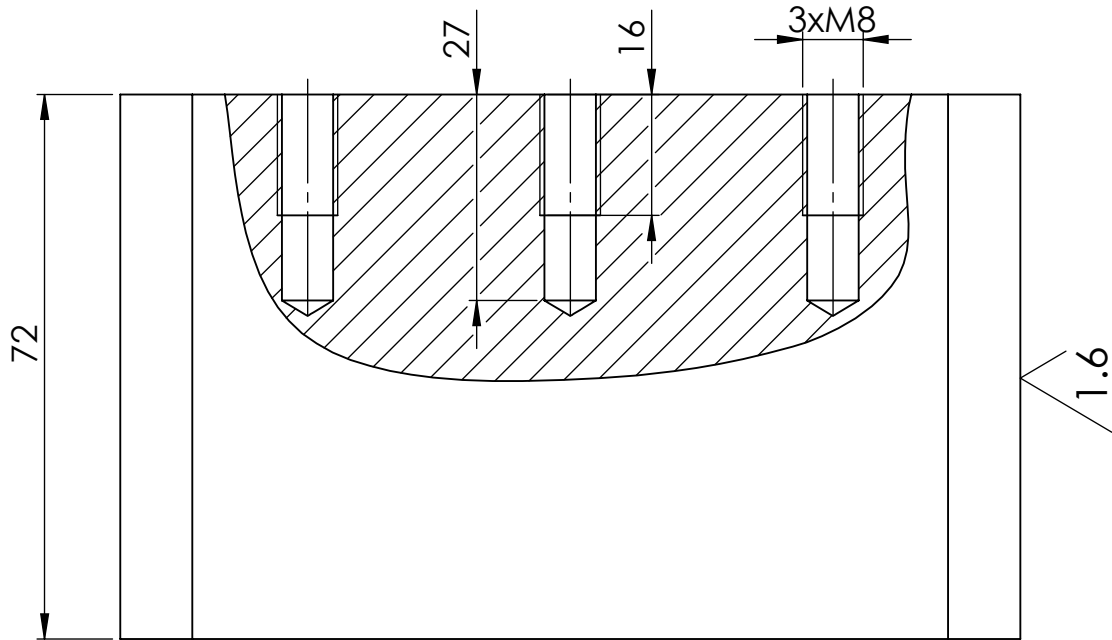
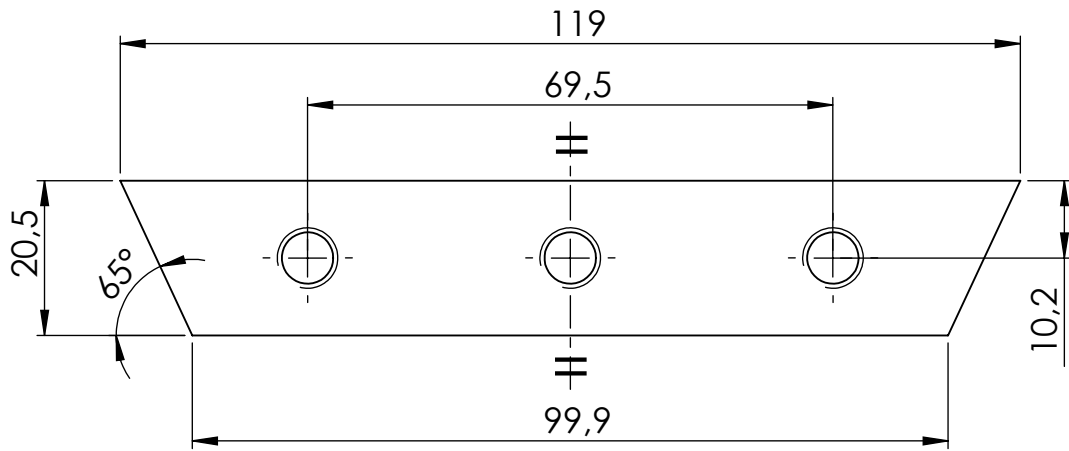


COUPE A-A



NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH			
Echelle 1:2		Désignation : Porte poinçons	
		<b>DGM-FGC-UMMTO</b>	2023/2024
		Format A3	Matière XC48

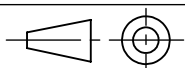




NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH

Echelle 1:1

Désignation : Poinçon de pliage 1



**DGM-FGC-UMMTO**

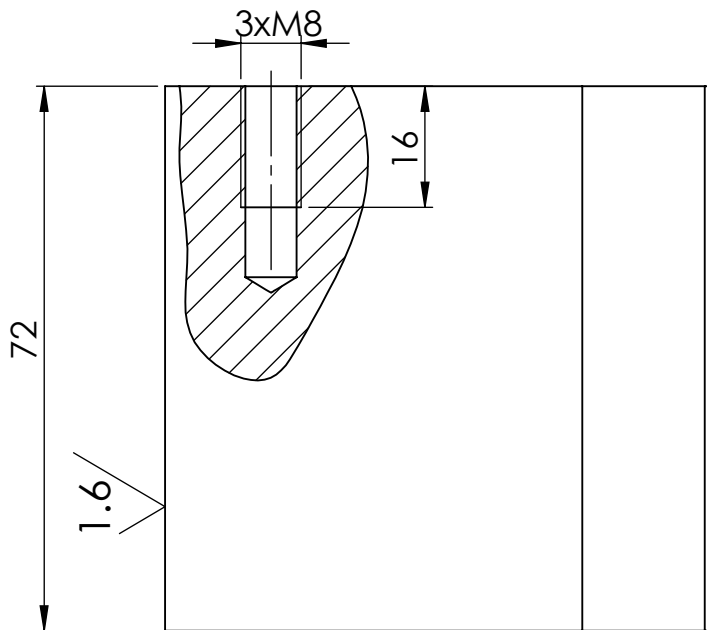
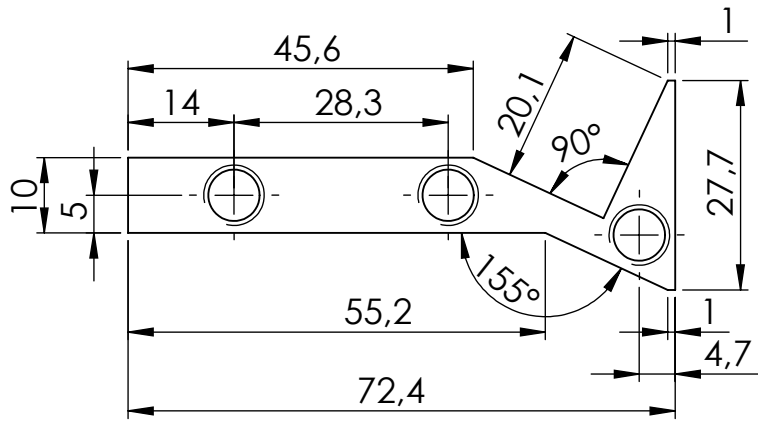
2023/2024

Format A4

Matière Z200C12

Trampe+revenue (58-60HRC)

M2-FMP

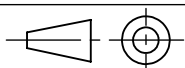


Jeu de coupe :  $J = 0.015 \text{ mm}$   
 Intervalle de tolérance :  $IT = 0.02$  sauf indication

NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH

Echelle 1:1

Désignation : Poinçon de découpage gauche



**DGM-FGC-UMMTO**

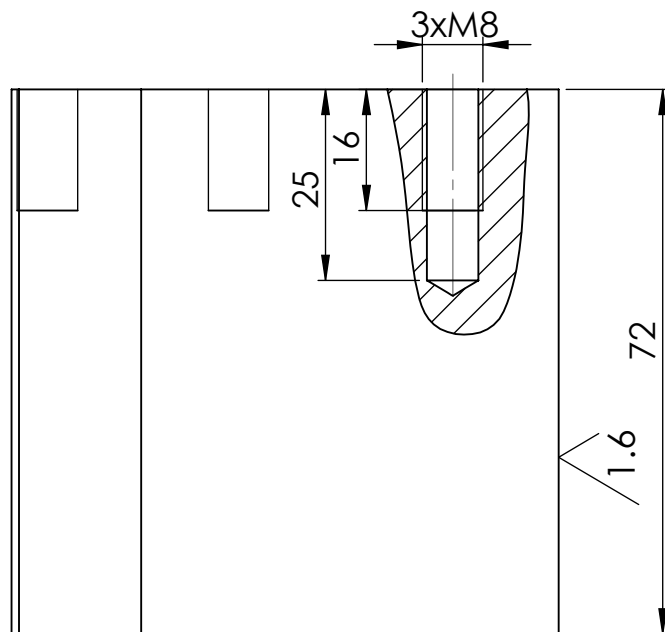
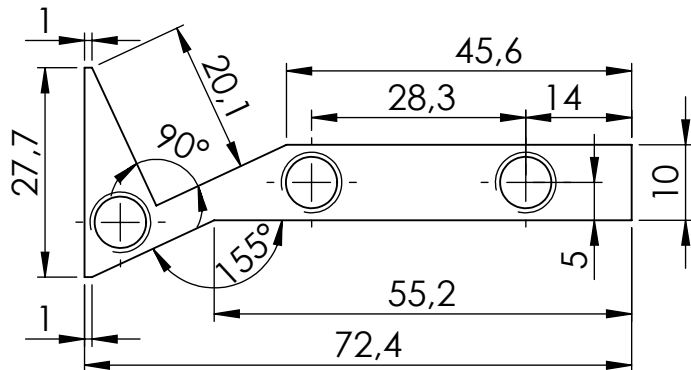
2023/2024

Format

Matière Z200C12

Trampe + revenue (58-60HRC)

M2-FMP

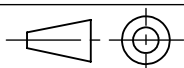


Jeu de coupe :  $J = 0.015 \text{ mm}$   
 Intervalle de tolérance :  $IT = 0.02$  sauf indication

NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH

Echelle 1:1

Désignation : Poinçon de découpage droit



**DGM-FGC-UMMTO**

2023/2024

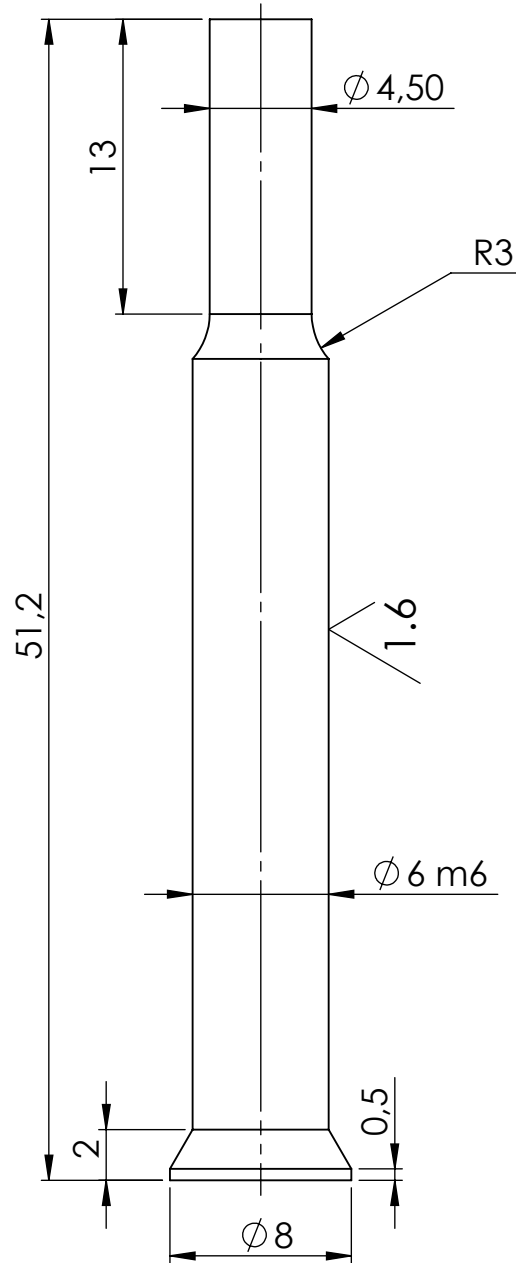
Format

Matière Z200C12

Trampe+revenue ( 58-60 HRC)

M2-FMP

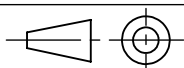
Qté : 02



NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH

Echelle 3:1

Désignation : Poinçon D4.5



**DGM-FGC-UMMTO**

2023/2024

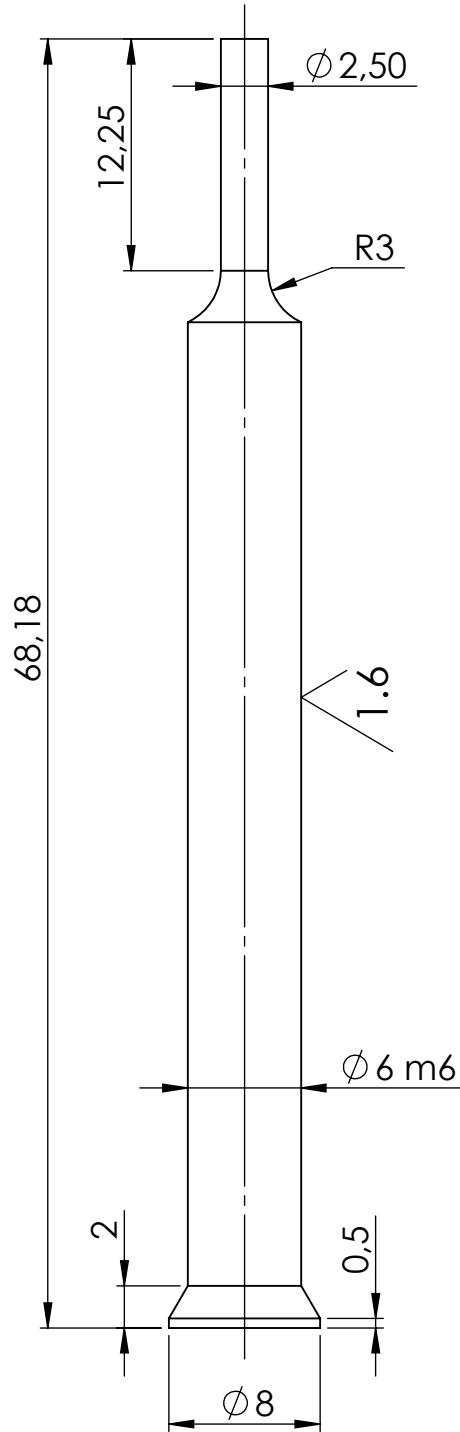
Format A4

Matière

Z200C12/58-60HRC

M2-FMP

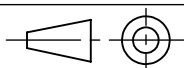
Qté : 02



NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH

Echelle 2.5 : 1

Désignation : Poinçon D2.5



**DGM-FGC-UMMTO**

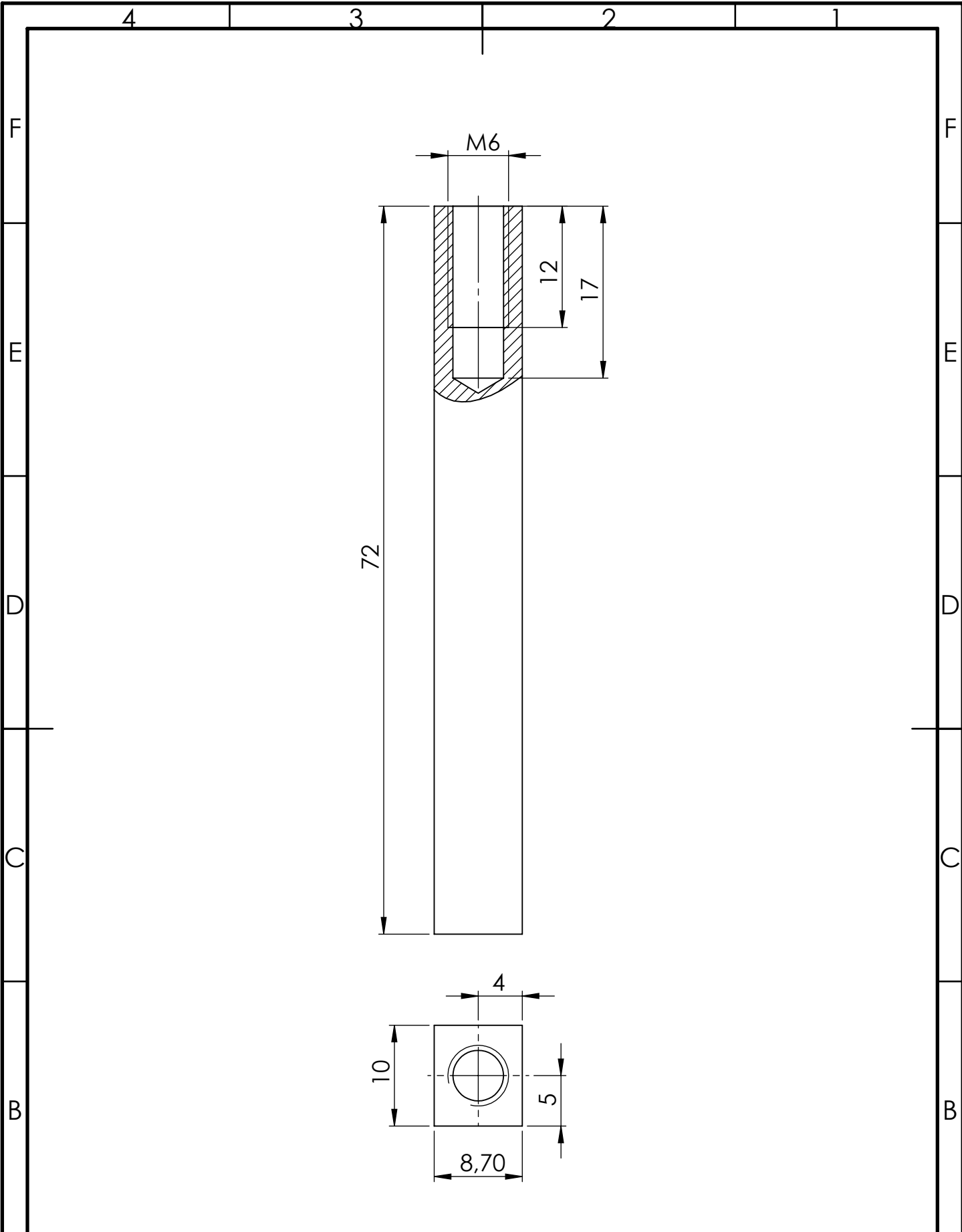
2023/2024

Format A4

Matière

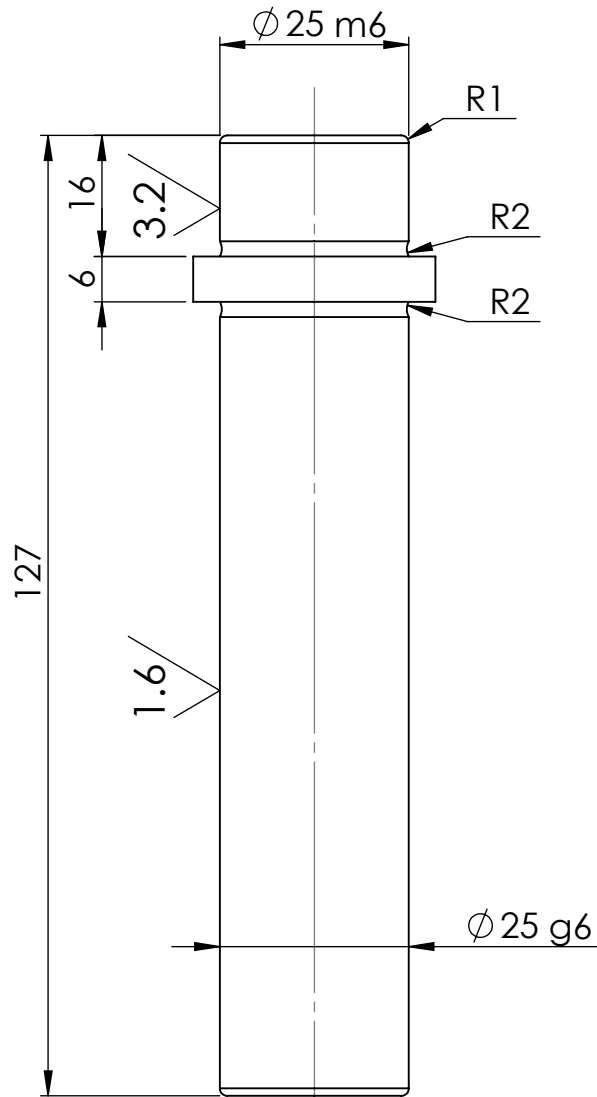
Z200C12/58-60HRC

M2-FMP



NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH		NEBRI YACINE	
Echelle 2:1	Désignation : couteau		
	<b>DGM-FGC-UMMTO</b>	2023/2024	
Format	Matière Z200C12 / 58-60HRC	M2-FMP	

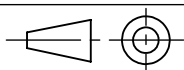
Qté : 04



NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH

Echelle 1:1

Désignation : Colonne de guidage



**DGM-FGC-UMMTO**

2023/2024

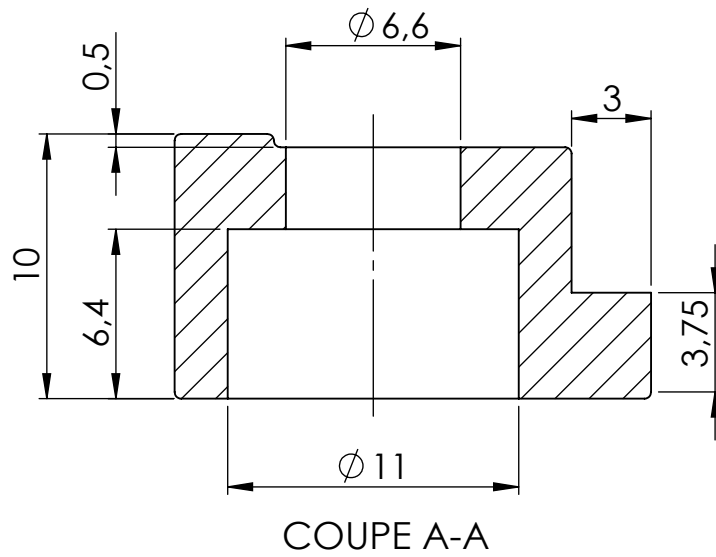
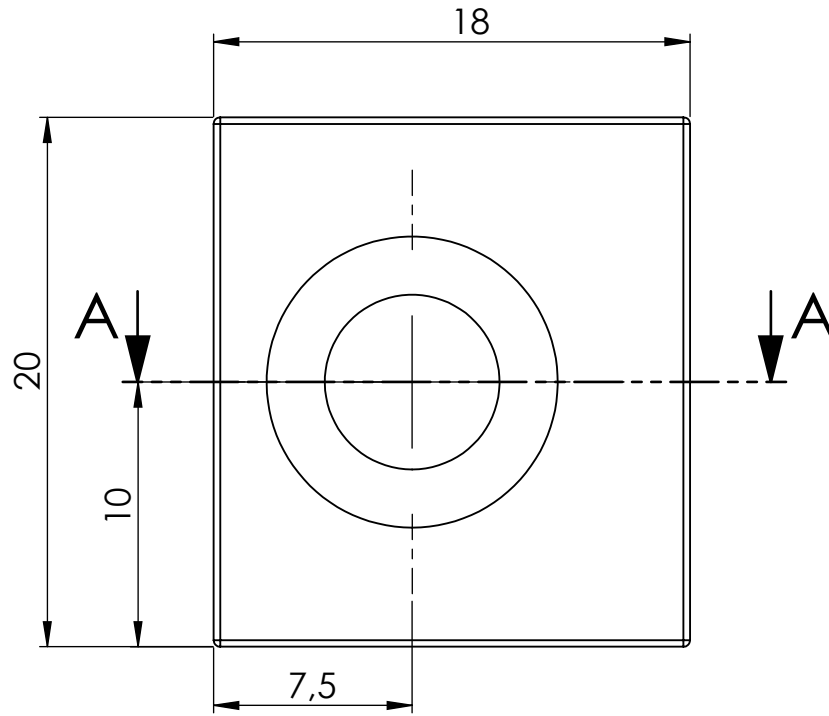
Format

Matière Z200C12

Trampe+revenue  
58-60HRC

M2-FMP

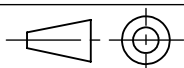
Qté : 12



NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH

Echelle 3.5 :1

Désignation : Bride de guidage



**DGM-FGC-UMMTO**

2023/2024

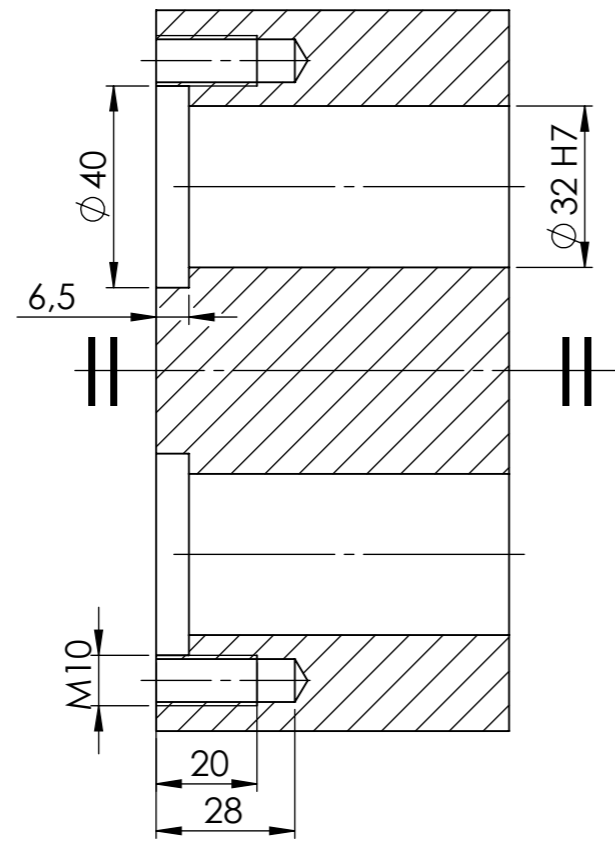
Format A4

Matière XC38

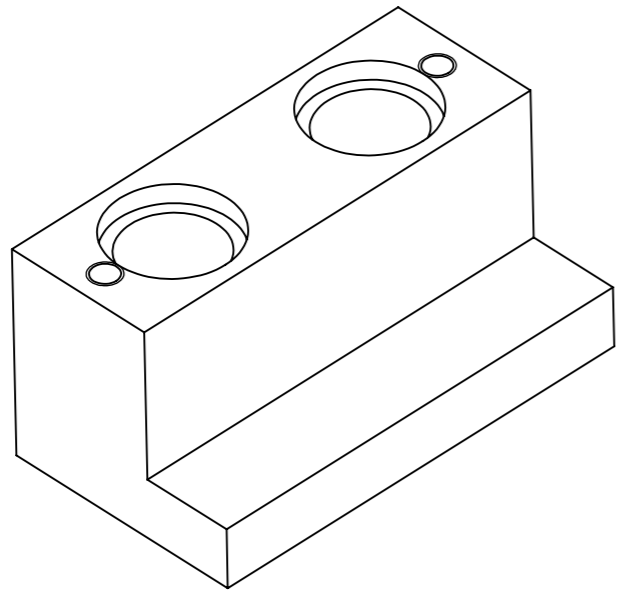
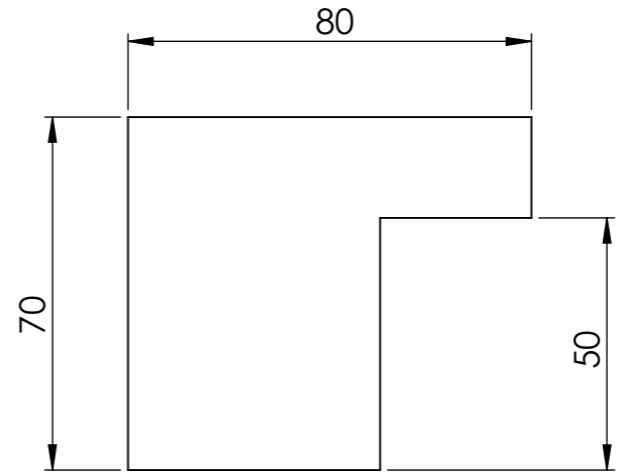
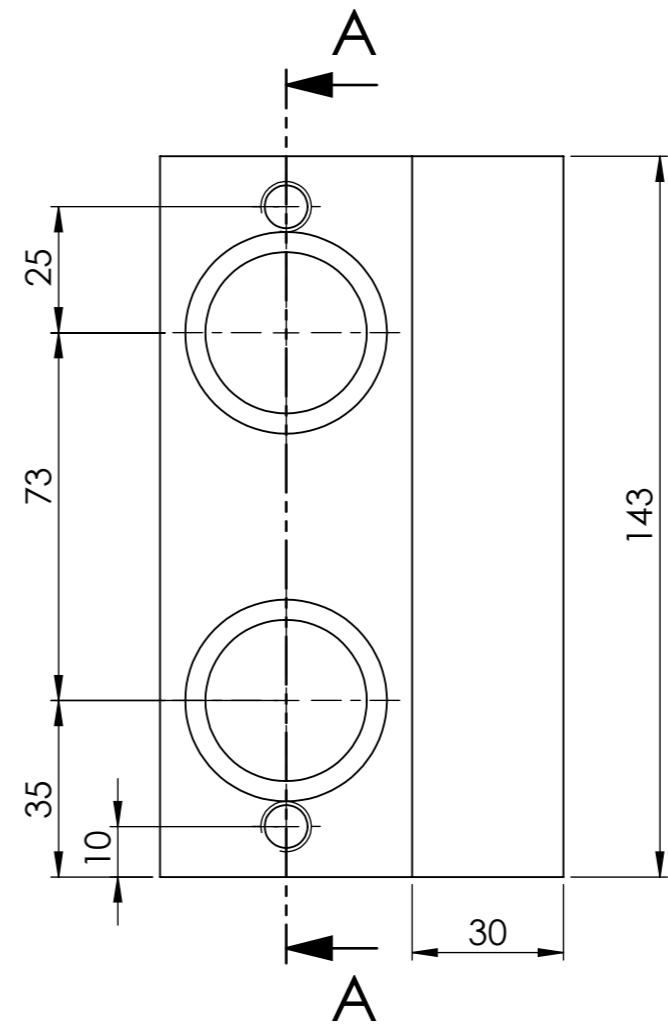
Trampe + revenue 40-45 HRC

M2-FMP

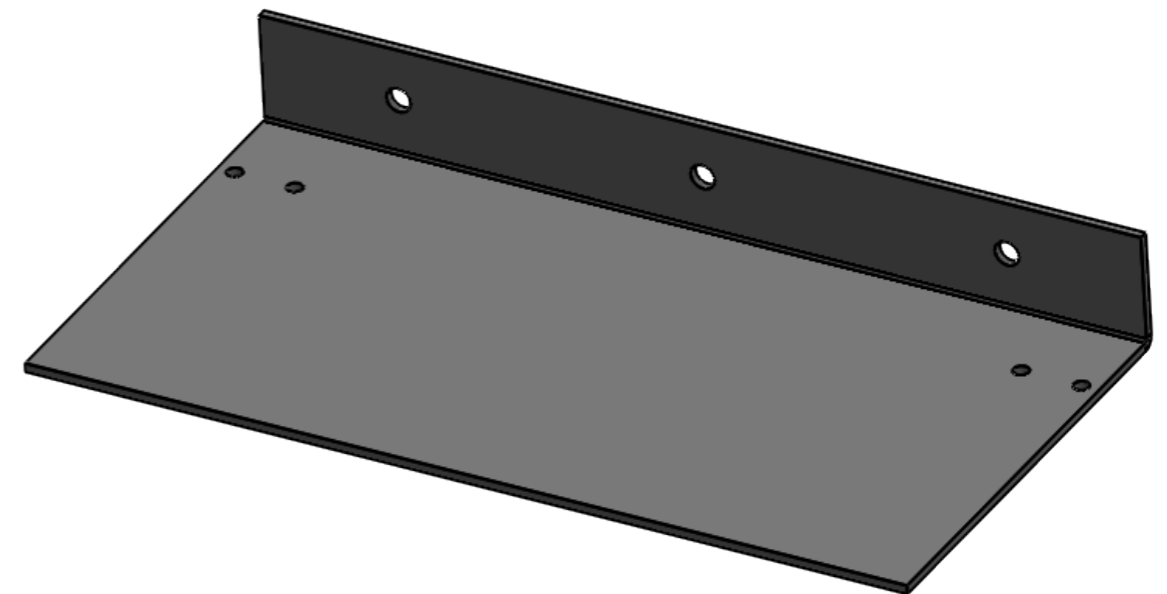
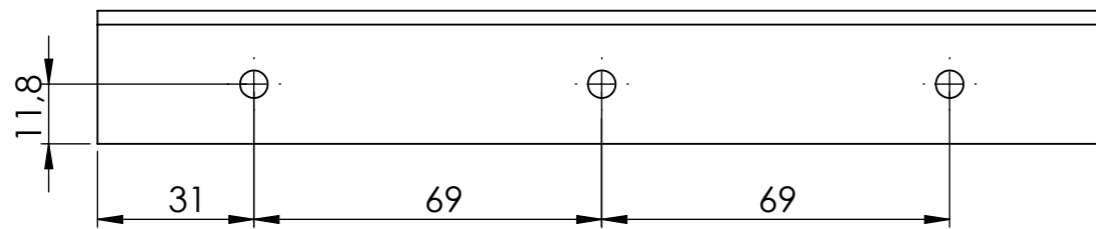
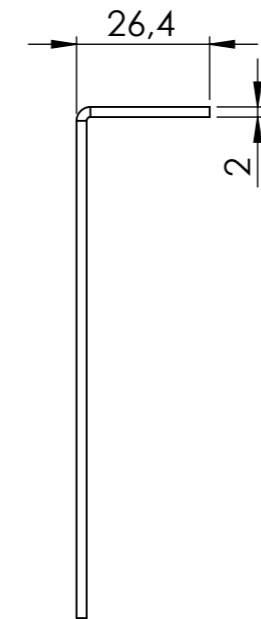
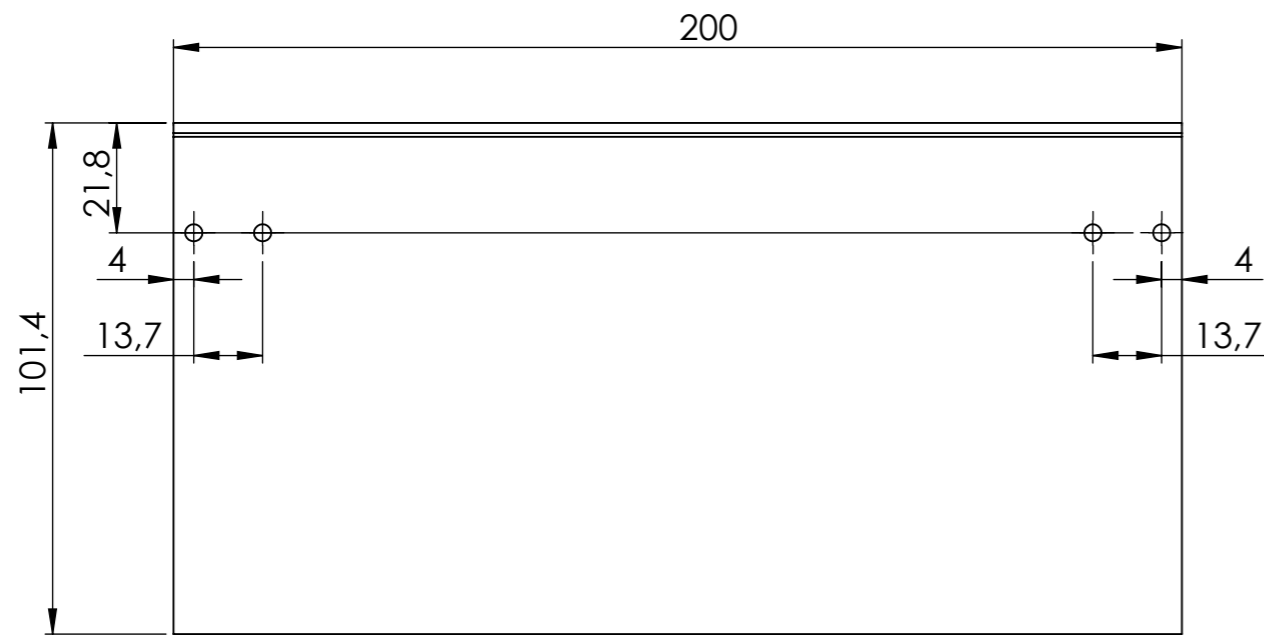
Qté : 02

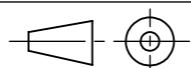


COUPE A-A

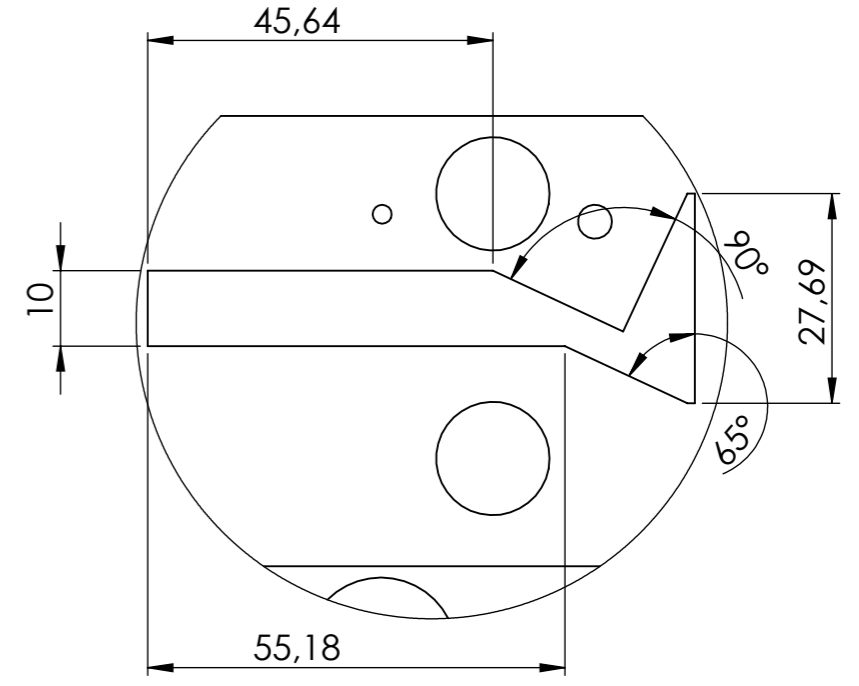
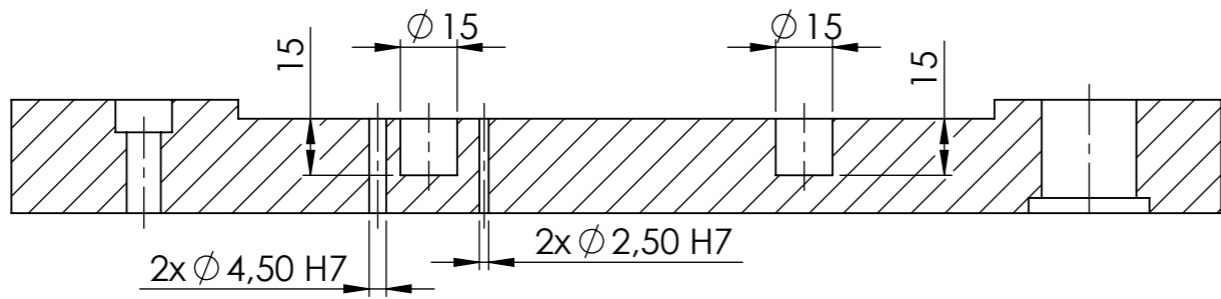


NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH		
Echelle 1:1.5	Désignation : Tasseau	
	<b>DGM-FGC-UMMTO</b>	2023/2024
Format A3	Matière : FT30	M2-FMP

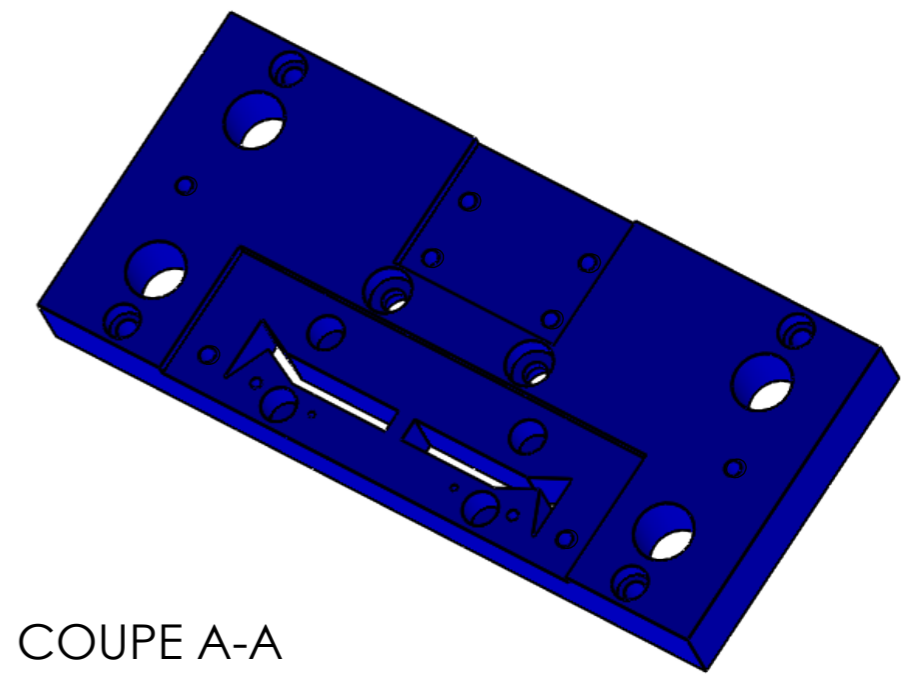


NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH		
Echelle 1:1.5	Désignation : support	
	<b>DGM-FGC-UMMTO</b>	2023/2024
Format A3	Matière E24	M2-FMP

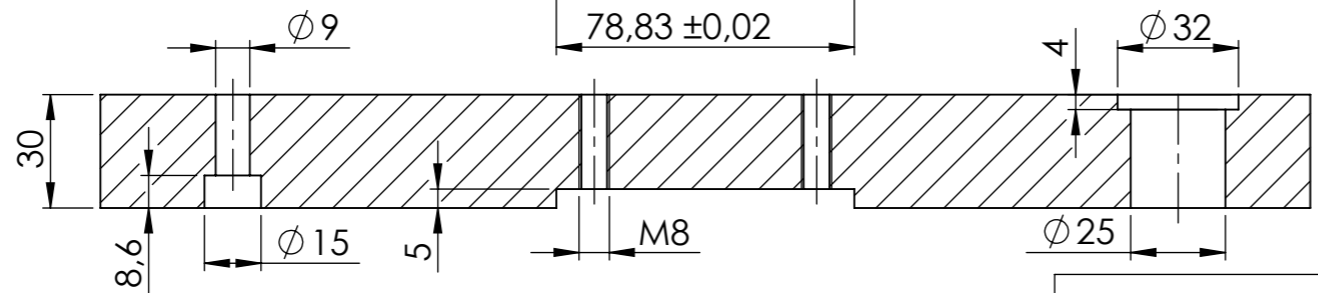
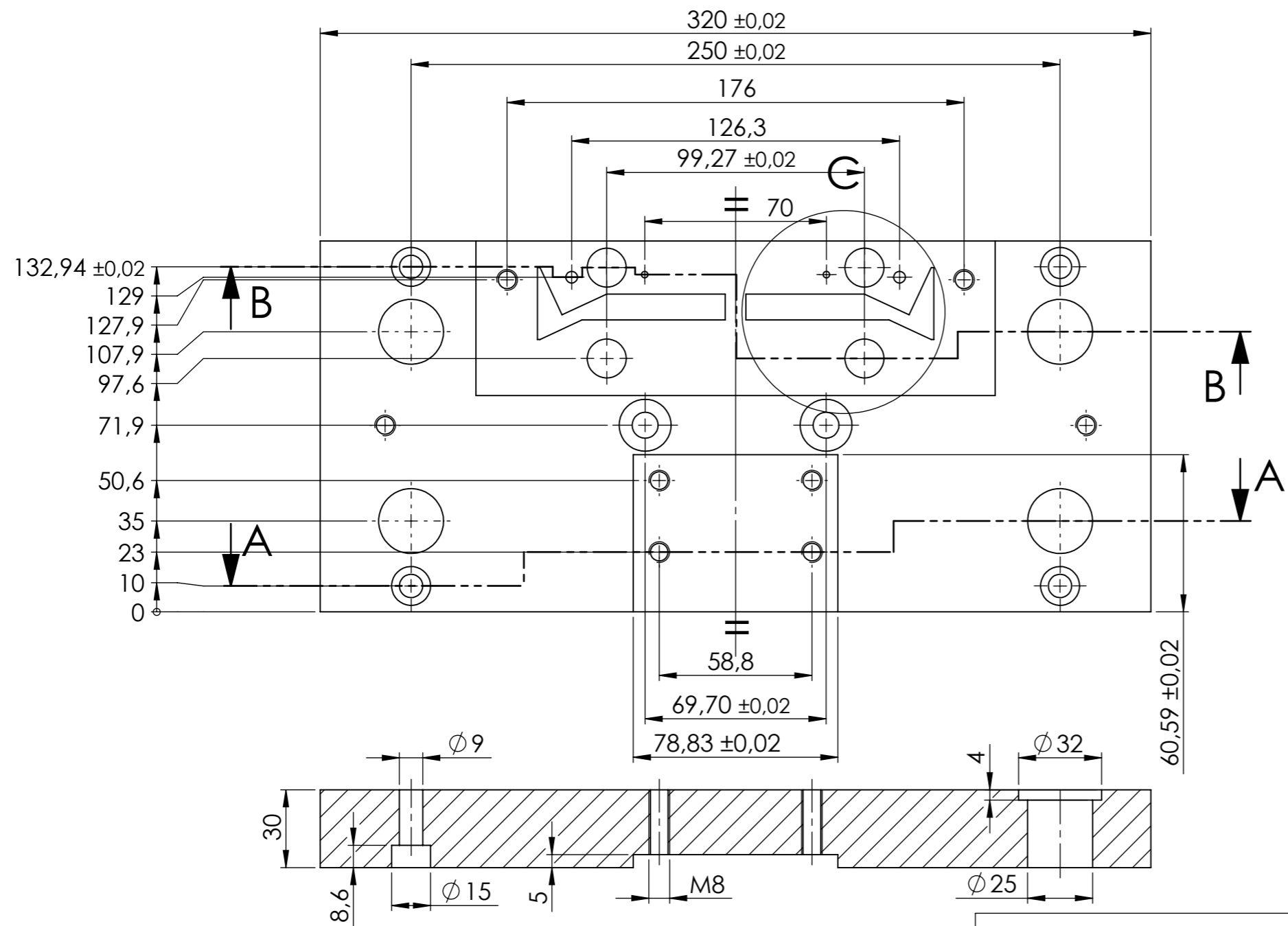
COUPE B-B

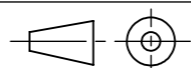


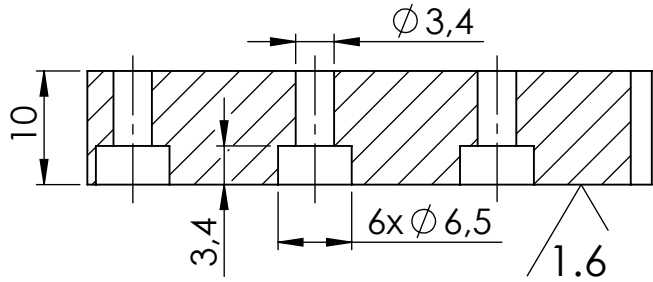
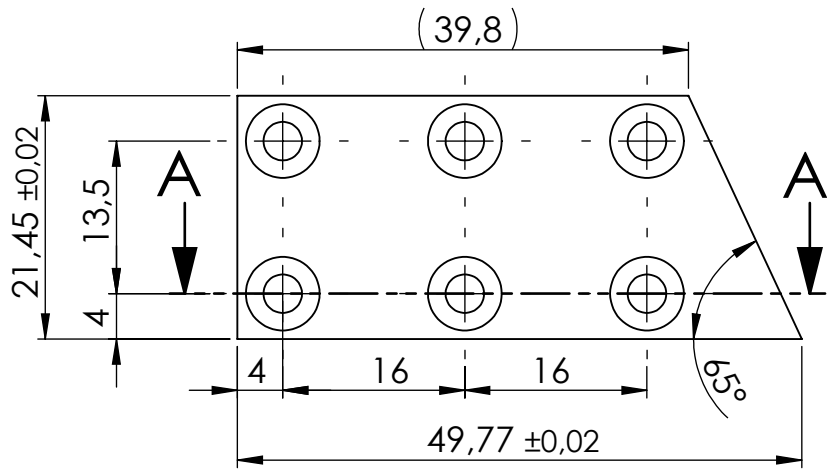
DÉTAIL C  
ECHELLE 1 : 1



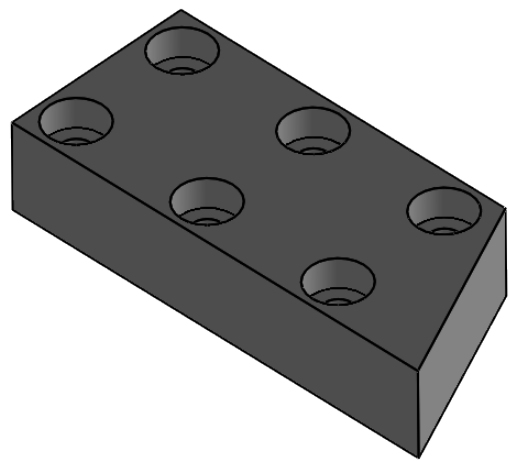
COUPE A-A



NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH			
Echelle 1:2		Désignation : Porte matrice	
		<b>DGM-FGC-UMMTO</b>	
Format A3		Matière : XC48	
		2023/2024	
		M2-FMP	



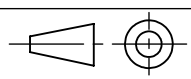
COUPE A-A



NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH

Echelle 1.5 : 1

Désignation : Matrice de pliage gauche



**DGM-FGC-UMMTO**

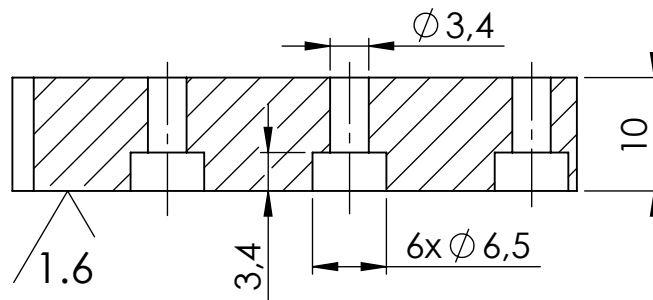
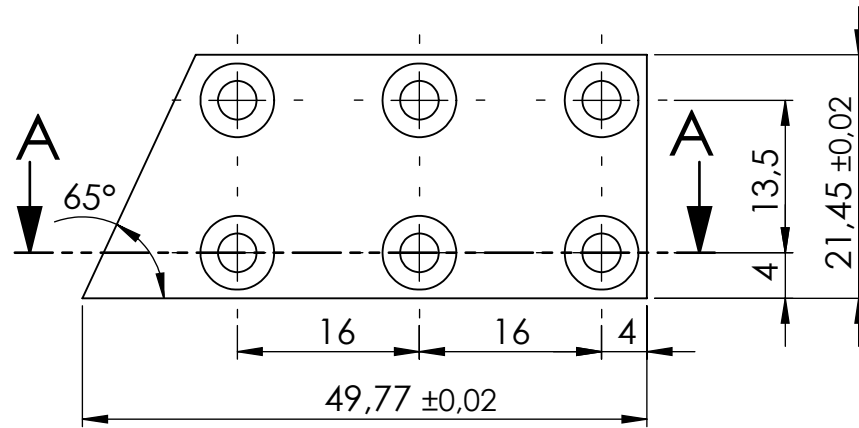
2023/2024

Format A4

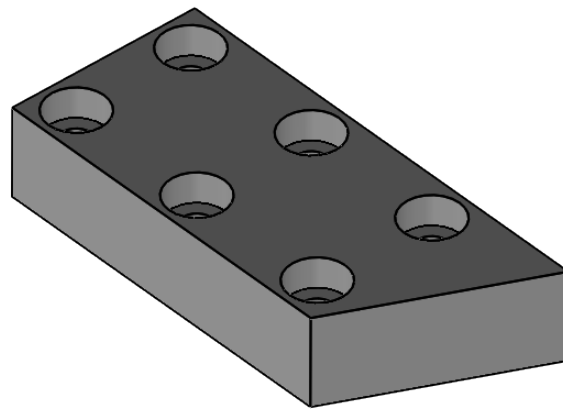
Matière Z200C12

Trampe+revenue (58-60HRC)

M2-FMP



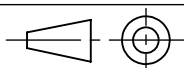
COUPE A-A



NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH

Echelle 1.5:1

Désignation : Matrice de pliage droite



**DGM-FGC-UMMTO**

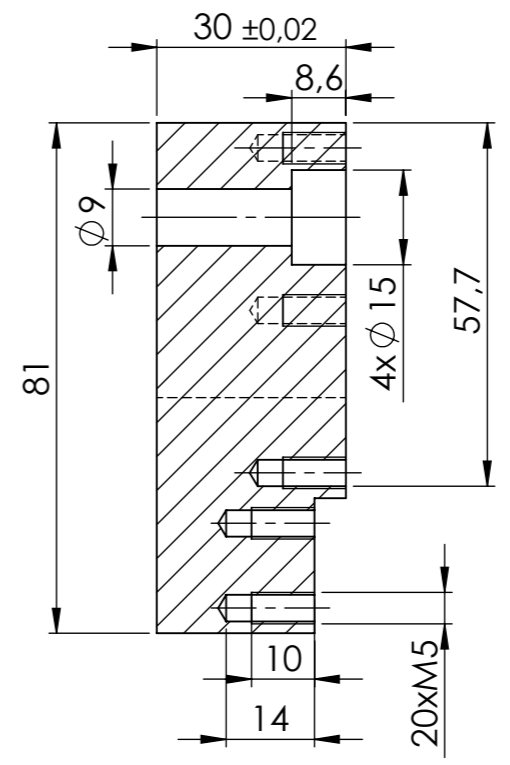
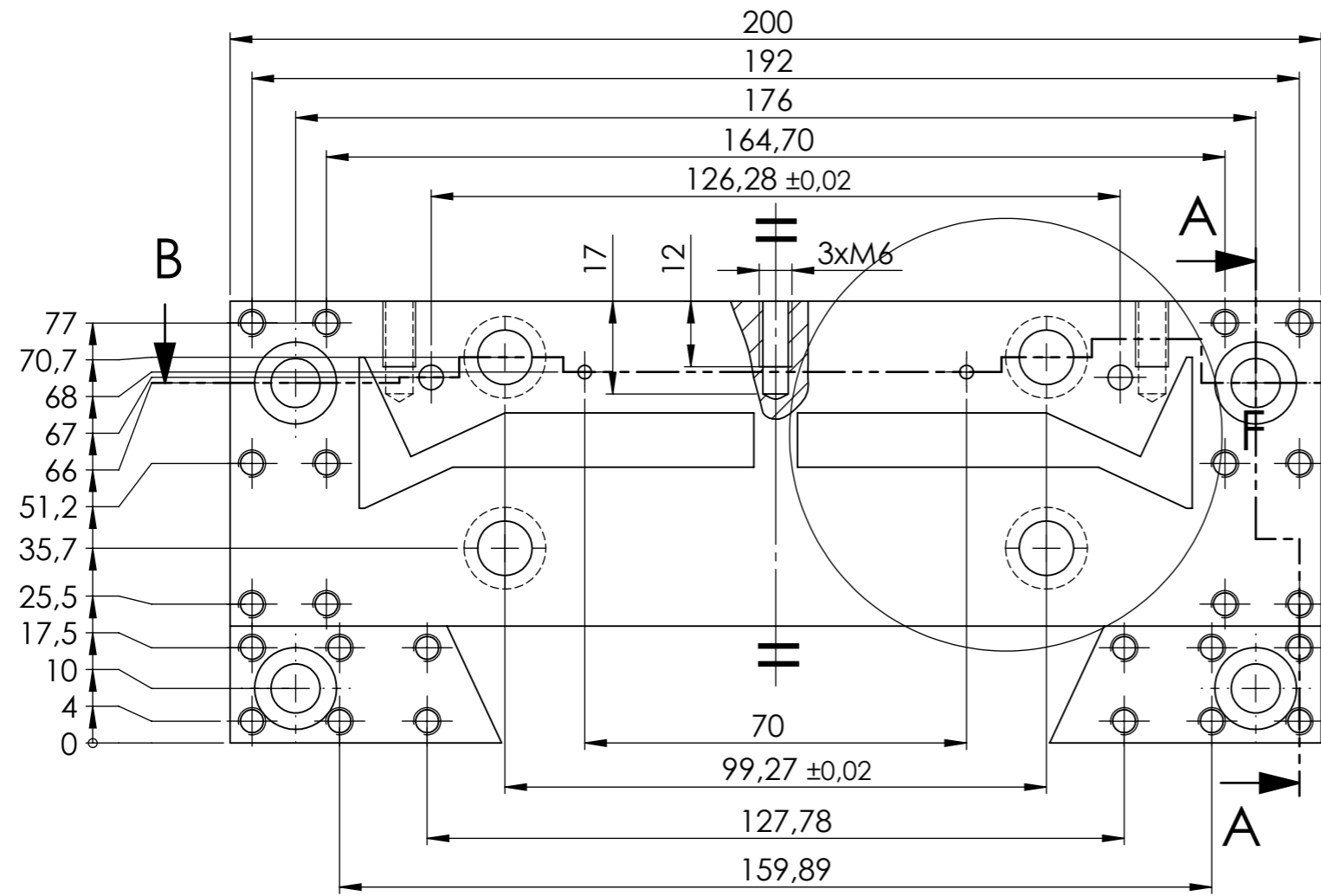
2023/2024

Format A4

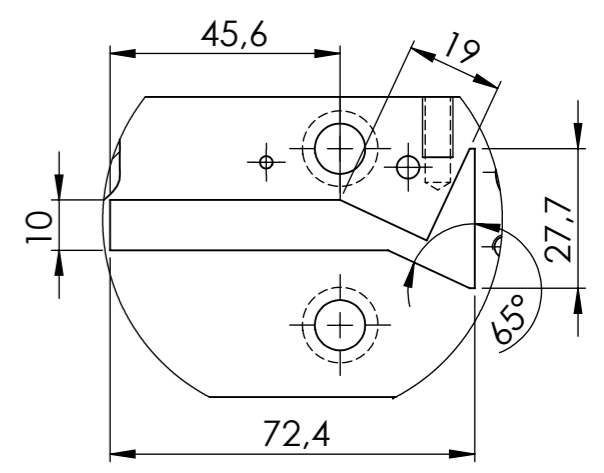
Matière Z200C12

Trampe+revenue (58-60HRC)

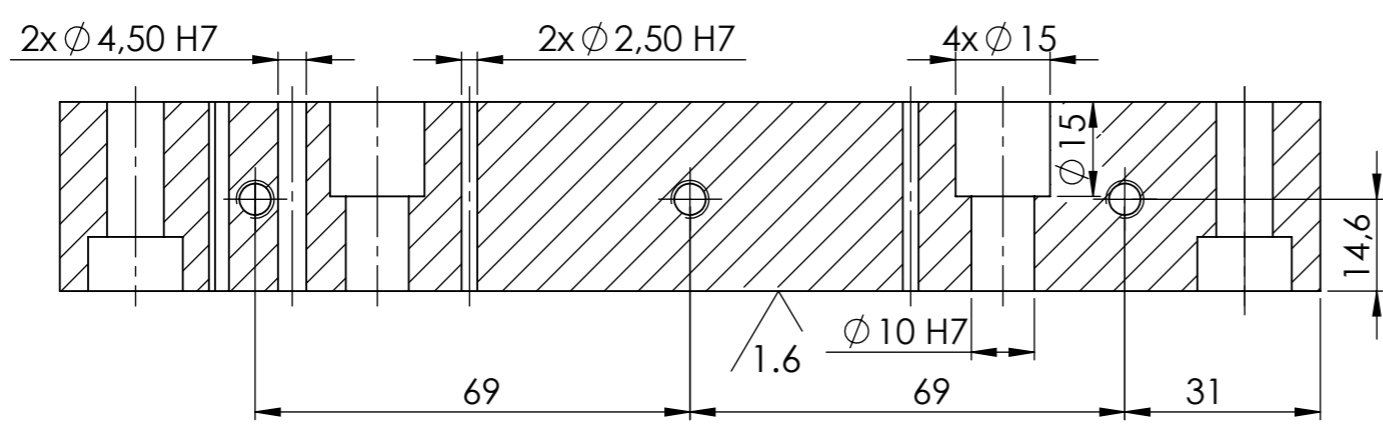
M2-FMP



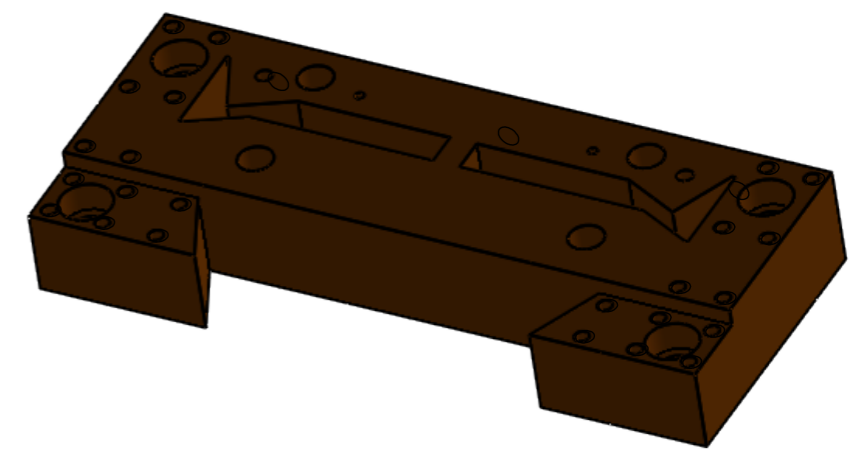
COUPE A-A

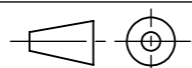


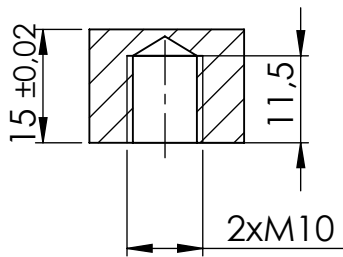
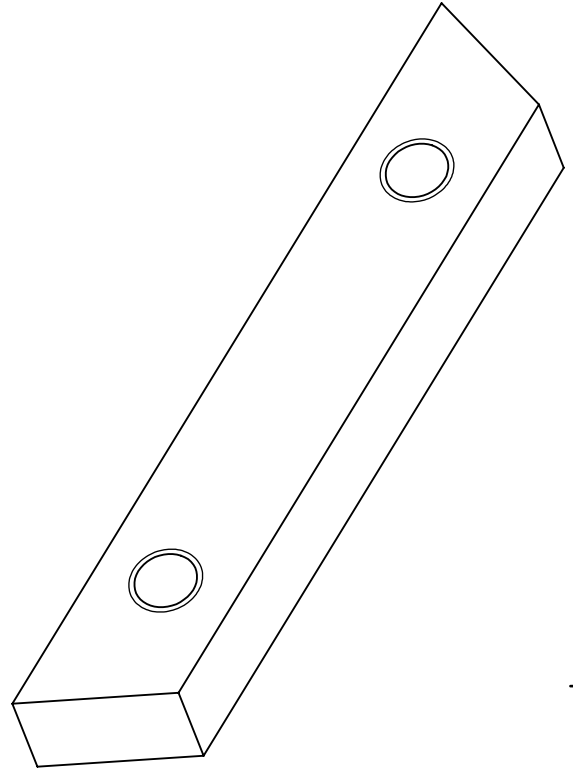
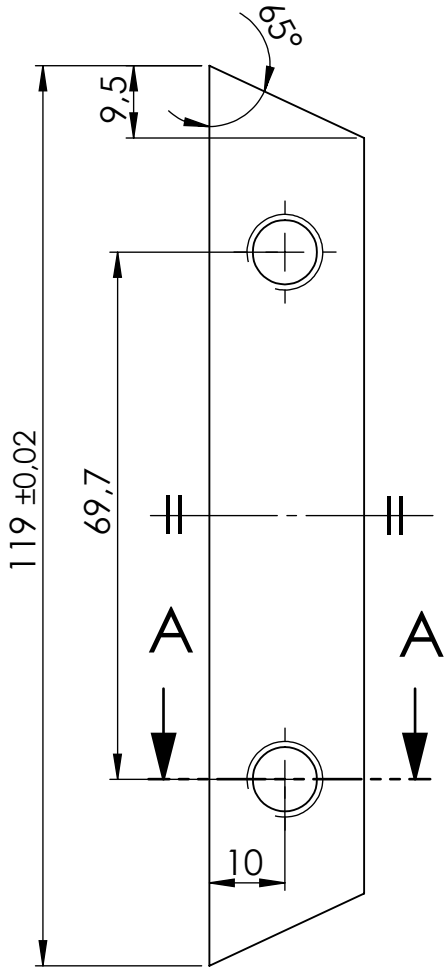
DÉTAIL F  
ECHELLE 1 : 1.5



COUPE B-B



NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH			
Echelle 1:1.2	Désignation : Matrice 1		
	<b>DGM-FGC-UMMTO</b>		2023/2024
Format A3	Matière Z200C12	Trampe +revenue (58-60HRC)	M2-FMP

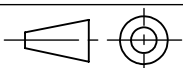


COUPE A-A

NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH

Echelle 1:1

Désignation : Matrice 2



**DGM-FGC-UMMTO**

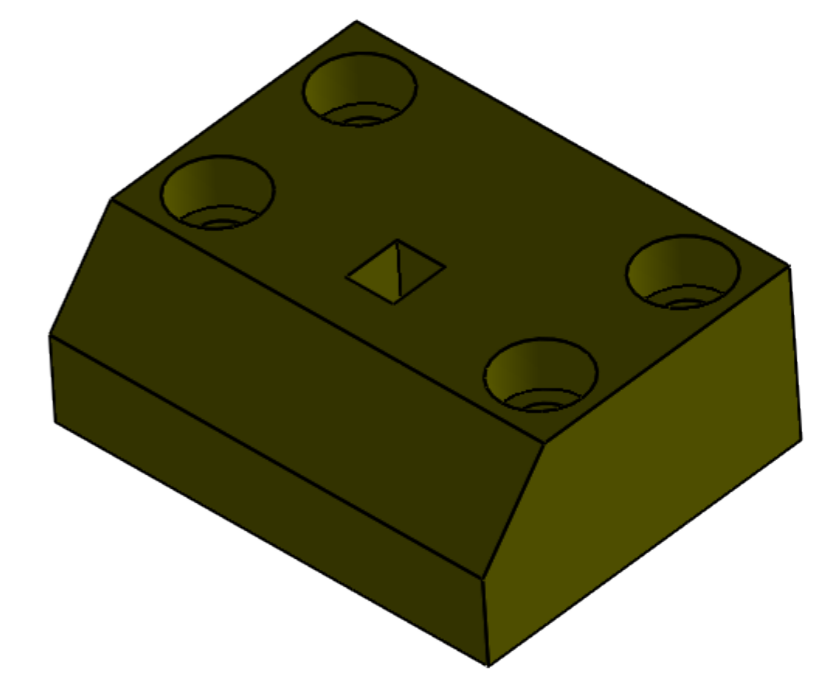
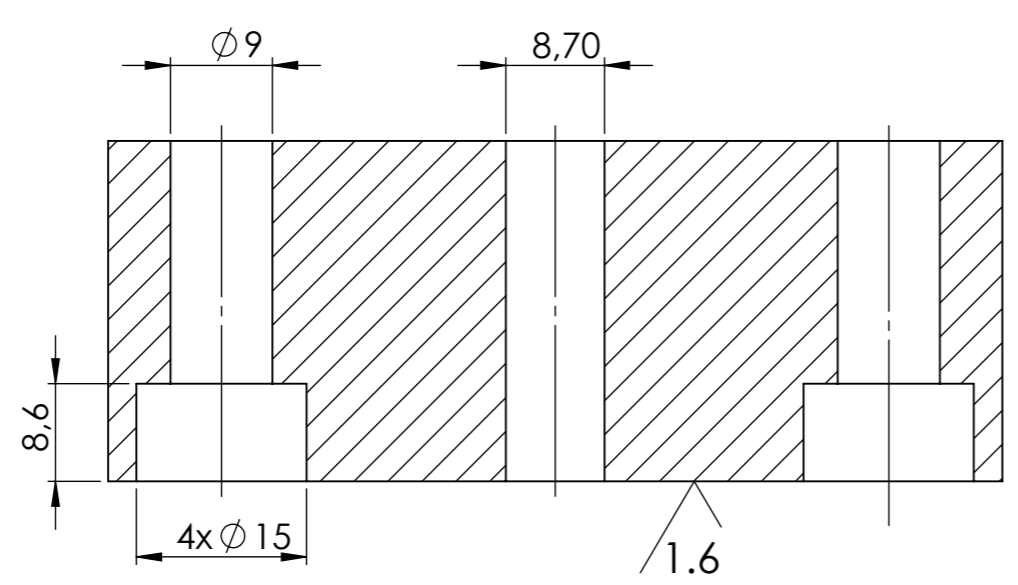
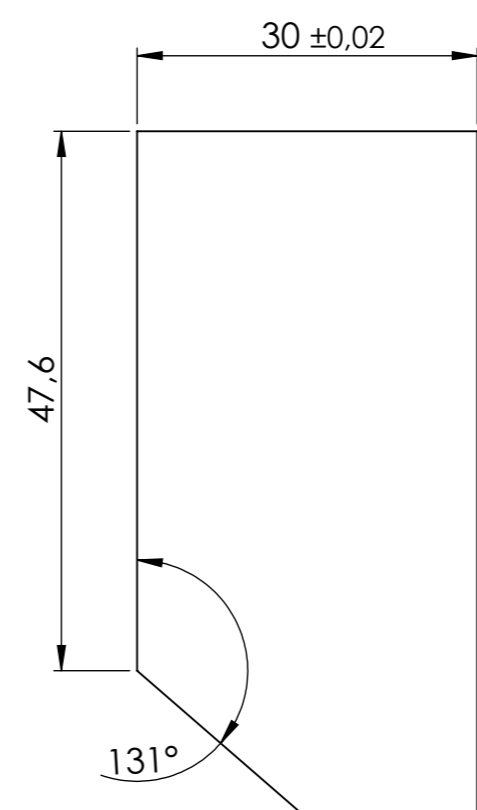
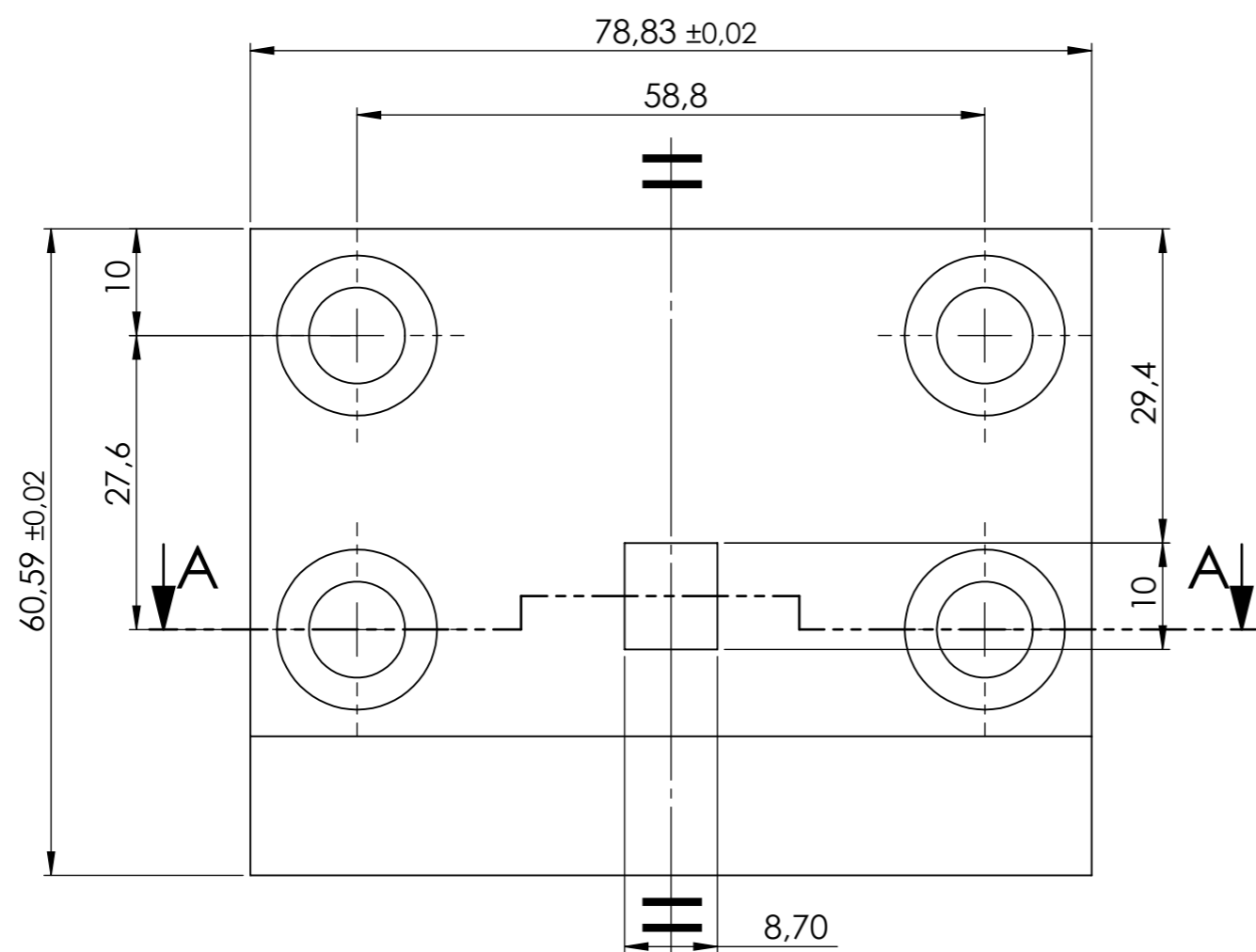
2023/2024

Format A4

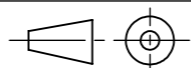
Matière Z200C12

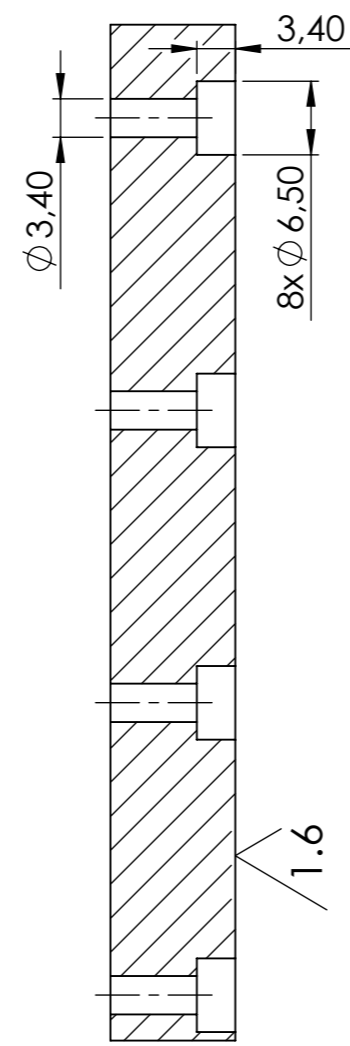
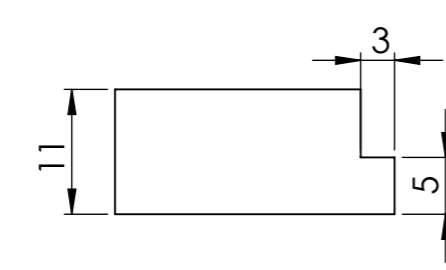
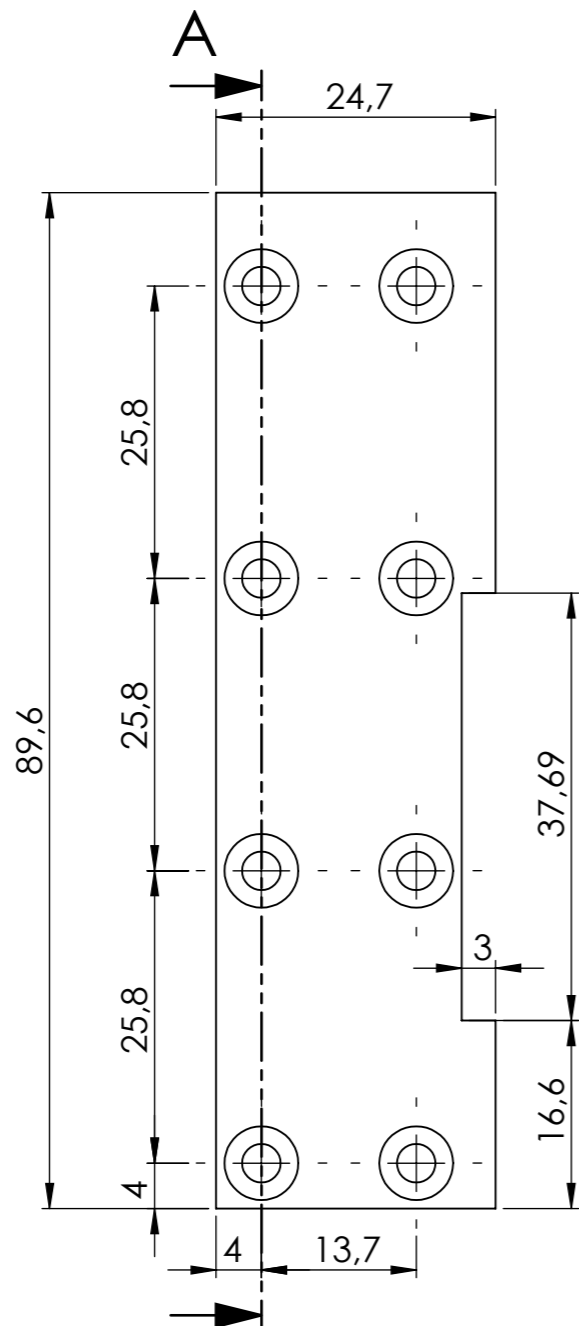
Trampe+revenue(58-60HRC)

M2-FMP

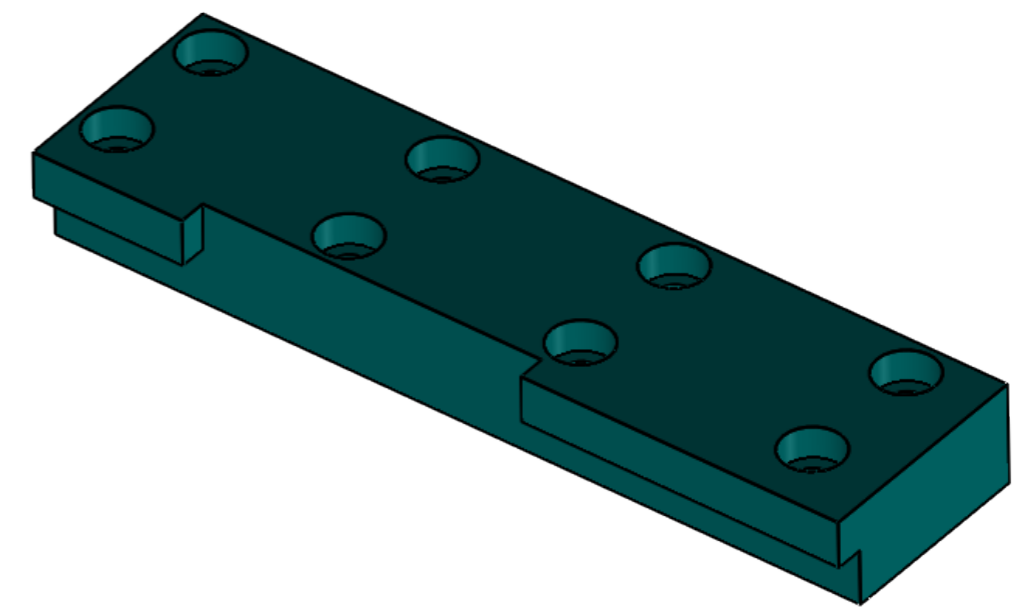


COUPE A-A

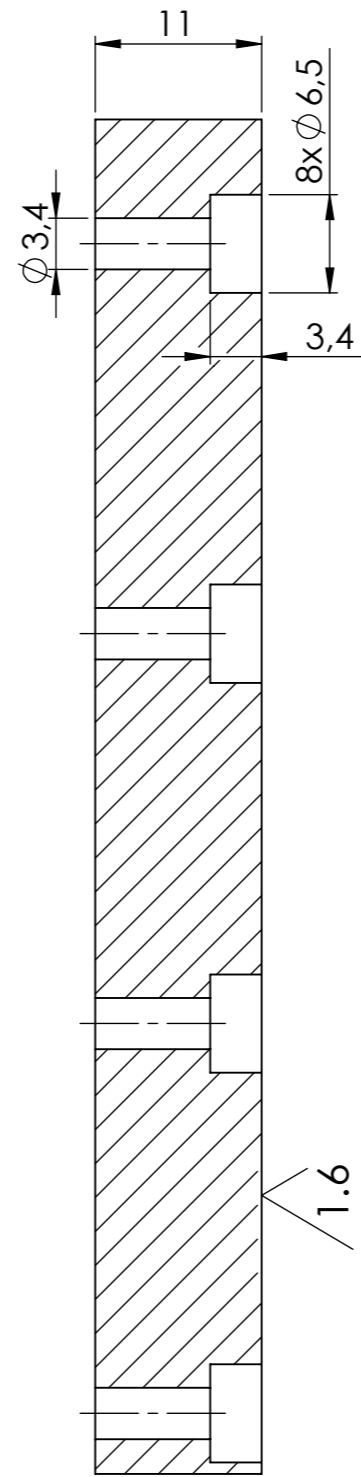
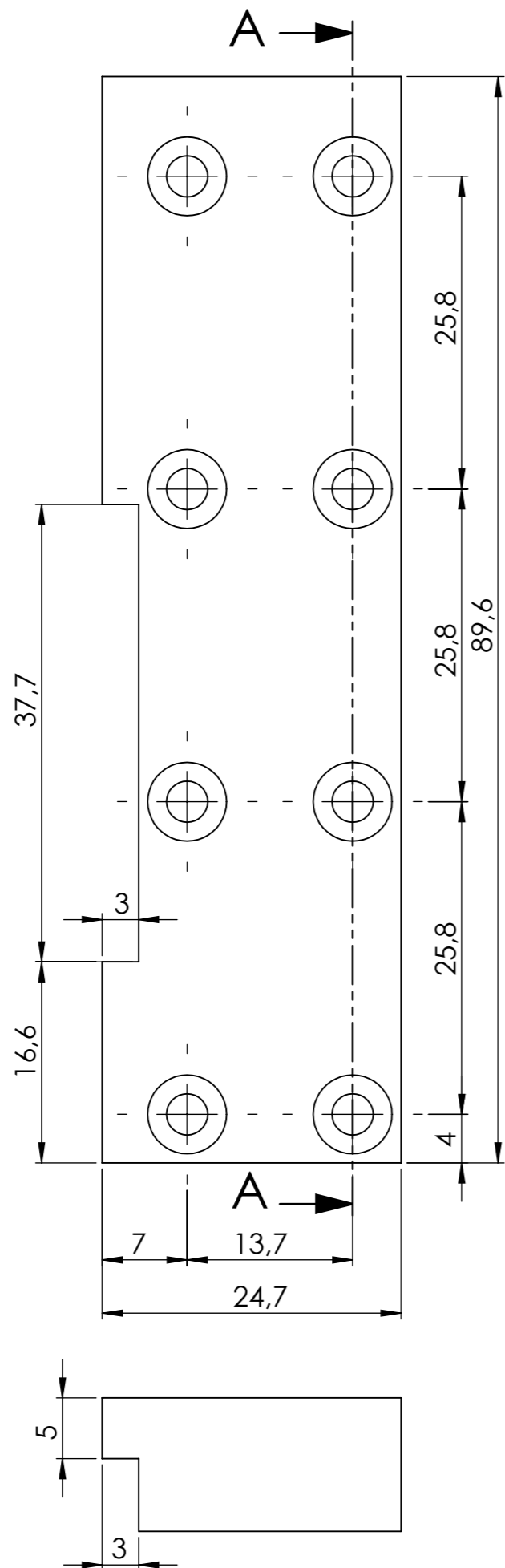
NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH			
Echelle 1.5:1	Désignation : Matrice 3		
	<b>DGM-FGC-UMMTO</b>	2023/2024	
Format A4	Matière Z200C12	Trampe+revenue( 58-60 HRC)	M2-FMP



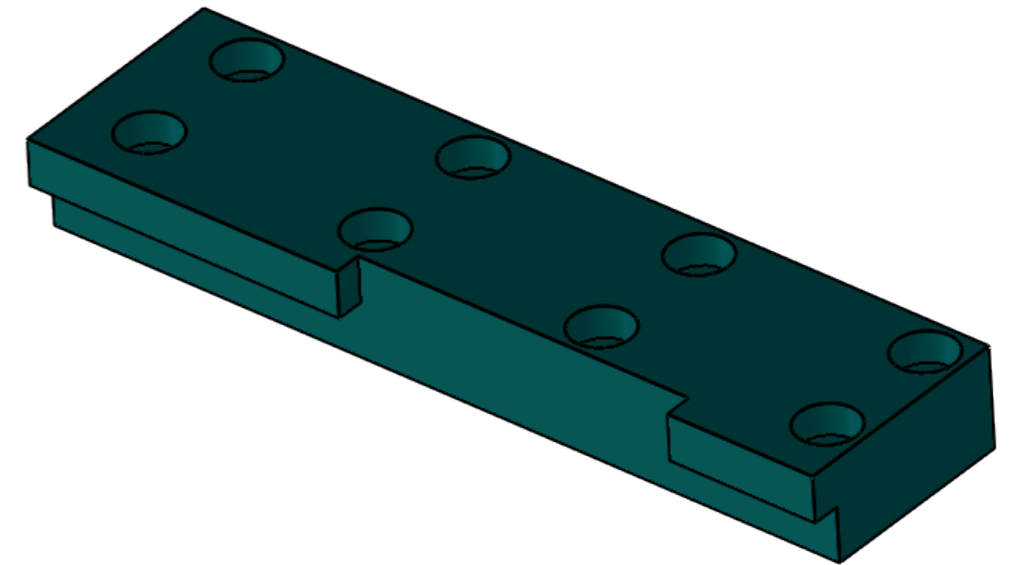
COUPE A-A

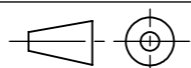


NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH			
Echelle 1.5:1	Désignation : Glissière gauche		
	<b>DGM-FGC-UMMTO</b>	2023/2024	
Format A3	Matière Bronze	M2-FMP	

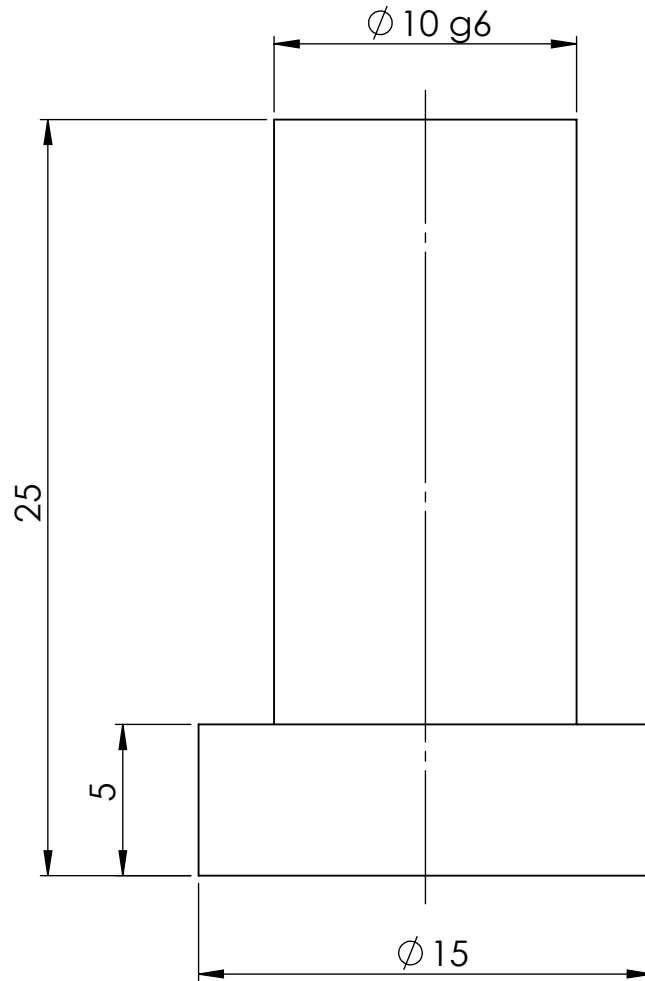


COUPE A-A



NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH			
Echelle 2:1	Désignation : Glissière droite		
	<b>DGM-FGC-UMMTO</b>	2023/2024	
Format A3	Matière Bronze	M2-FMP	

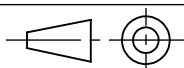
Qté : 04



NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH

Echelle 4:1

Désignation : Ejecteur



**DGM-FGC-UMMTO**

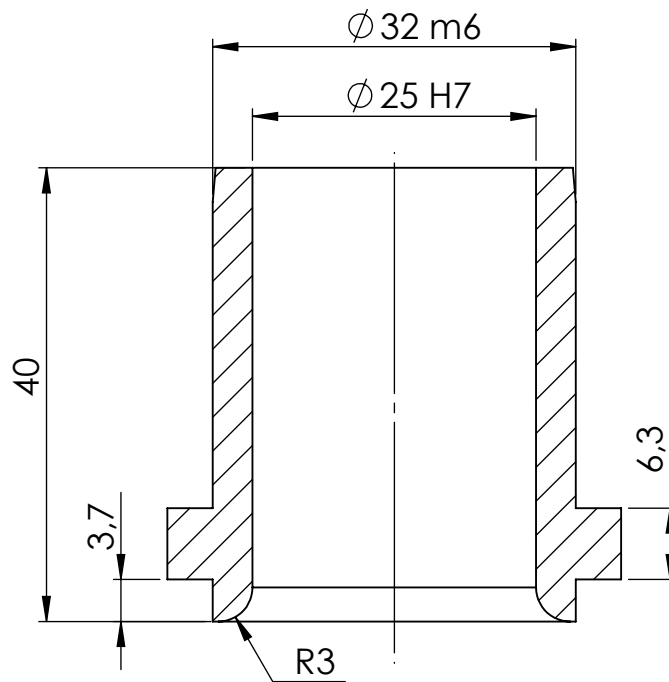
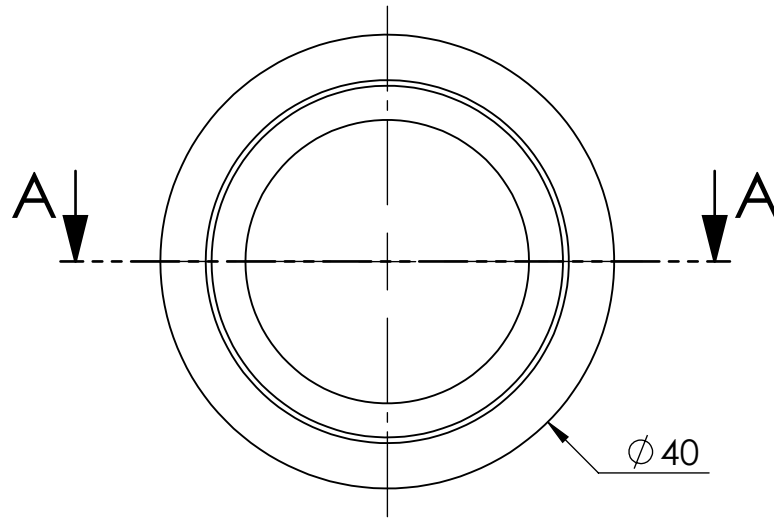
2023/2024

Format A4

Matière XC38

M2-FMP

Qté :04

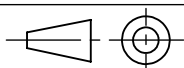


COUPE A-A

NOM-PRENOM / BOUMEKLA RABAH

Echelle 1.5:1

Désignation : Bague de guidage



**DGM-FGC-UMMTO**

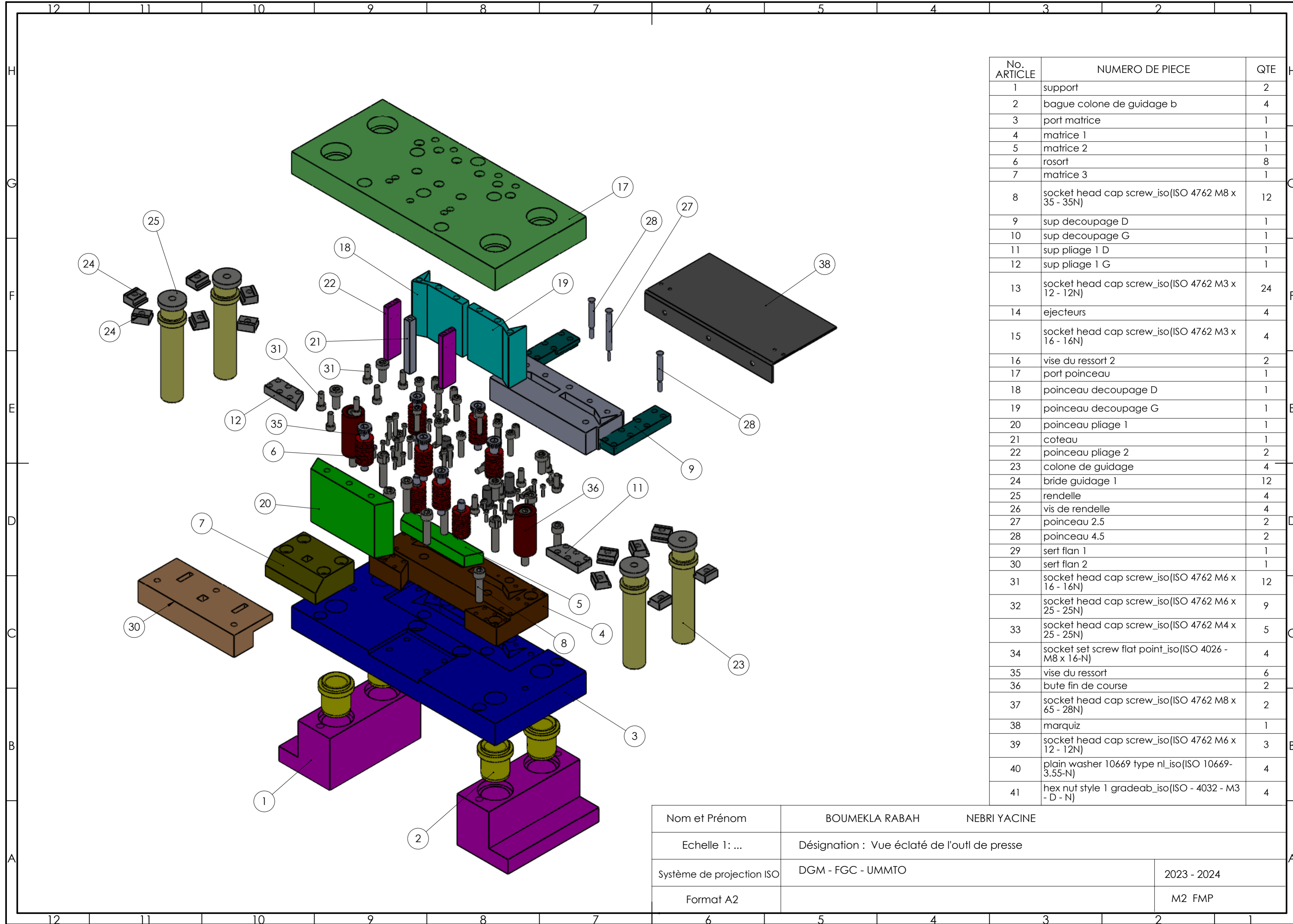
2023/2024

Format A4

Matière

Bronze

M2-FMP



No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	QTE
1	support	2
2	bague colone de guidage b	4
3	port matrice	1
4	matrice 1	1
5	matrice 2	1
6	rosort	8
7	matrice 3	1
8	socket head cap screw_iso(ISO 4762 M8 x 35 - 35N)	12
9	sup decoupage D	1
10	sup decoupage G	1
11	sup pliage 1 D	1
12	sup pliage 1 G	1
13	socket head cap screw_iso(ISO 4762 M3 x 12 - 12N)	24
14	ejecteurs	4
15	socket head cap screw_iso(ISO 4762 M3 x 16 - 16N)	4
16	vise du ressort 2	2
17	port poinceau	1
18	poinceau decoupage D	1
19	poinceau decoupage G	1
20	poinceau pliage 1	1
21	coteau	1
22	poinceau pliage 2	2
23	colone de guidage	4
24	bride guidage 1	12
25	rendelle	4
26	vis de rendelle	4
27	poinceau 2.5	2
28	poinceau 4.5	2
29	sert flan 1	1
30	sert flan 2	1
31	socket head cap screw_iso(ISO 4762 M6 x 16 - 16N)	12
32	socket head cap screw_iso(ISO 4762 M6 x 25 - 25N)	9
33	socket head cap screw_iso(ISO 4762 M4 x 25 - 25N)	5
34	socket set screw flat point_iso(ISO 4026 - M8 x 16-N)	4
35	vise du ressort	6
36	bute fin de course	2
37	socket head cap screw_iso(ISO 4762 M8 x 65 - 28N)	2
38	marquize	1
39	socket head cap screw_iso(ISO 4762 M6 x 12 - 12N)	3
40	plain washer 10669 type nl_iso(ISO 10669-3.55-N)	4
41	hex nut style 1 gradeab_iso(ISO - 4032 - M3 - D - N)	4

Nom et Prénom	BOUMEKLA RABAH NEBRI YACINE	
Echelle 1: ...	Désignation : Vue éclaté de l'outil de presse	
Système de projection ISO	DGM - FGC - UMMTO	2023 - 2024
Format A2		M2 FMP