

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU  
FACULTÉ DU GÉNIE DE LA CONSTRUCTION  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE



# MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER ACADÉMIQUE  
EN GÉNIE MÉCANIQUE

OPTION : CONSTRUCTION MÉCANIQUE

## THÈME

ÉTUDE ET CONCEPTION D'UN OUTIL À BANDE POUR LA RÉALISATION D'UNE  
RONDELLE DE FIXATION DE LA VITRE INTÉRIEURE DU FOUR DE LA CUISINIÈRE  
ENIEM

---

PRESENTÉ PAR :

**Mr. HADDADOU Younes**

PROPOSÉ PAR :

**Mr. ALLACHE. L**

DIRIGÉ PAR :

**Dr. BENALIA-BAGUENANE. G**

DEVANT LE JURY :

**Mr. BEHTANI**

**Mr. REZAOUI**

**Mr. SEDJAL**

**Président**

**Examineur**

**Examineur**

**PROMOTION 2015/2016**

## REMERCIEMENTS

*Je tiens en premier lieu à remercier le Bon Dieu pour le courage et la patience qui m'a donné afin de mener ce projet à terme.*

*Le projet de fin d'études présenté dans ce manuscrit a été réalisé en collaboration avec l'Entreprise Nationale des Industries Électroménagères E.N.I.E.M.*

*Ce travail que nous avons réalisé a été suivi par Monsieur ALLACHE, et l'équipe d'ingénieurs et de techniciens du secteur bureau d'études de l'unité cuisson, que je tiens à remercier énormément pour leur aide et leur orientation, tout au long de ce travail. Ils ont su me faire profiter de leurs connaissances techniques, et de leurs méthodes. Ce fut un réel plaisir de travailler avec eux.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur ALLACHE, Co-encadreur de ce projet, en sein de l'E.N.I.E.M, pour ses conseils judicieux et ses observations pertinentes.*

*Je tiens à remercier tout particulièrement, ma promotrice Docteur BENALIA-BAGUENANE, qui a encadré au quotidien mon travail. Sa très grande disponibilité a rendu cette thèse particulièrement agréable. Son expertise, ainsi que ses conseils avisés ont été très formateurs et d'un très grand secours, au cours de ce projet, ce qui m'a aidé et soutenu tout le long de mon travail.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers les membres du jury qui ont eu la lourde tâche, d'examiner ce mémoire.*

*Je remercie sincèrement tout l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation, et je remercie ainsi, l'ensemble d'étudiants du département de Génie mécanique de l'U.M.M.T.O, pour leurs soutiens, et leur bonne ambiance qui m'a beaucoup aidé.*

*Enfin, mes remerciements vont à tous ceux qui, de près ou de loin, ont aidé à l'élaboration de ce projet, en particulier mes parents, mes amis(es), et mes très chers camarades.*

## ☉ DÉDICACES

Je dédie ce travail à ma famille :

- ☉ À mon très cher père, et à ma précieuse mère, à qui je dois mon existence, et le succès dans mon cursus. Que dieu les garde, et les protège.
- ☉ À mes chers frères, et ma sœur.

Aux gens qui me sont les plus chers au monde, à mes très chers amis (es), mes proches, et à mes camarades qui m'aiment.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

## PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE.

1. Présentation de l'entreprise.....	3
2. Objet social et champ d'activité .....	4
3. Principales missions et activités de l'entreprise .....	4
3.1 Direction générale.....	4
3.2 Unité froid.....	4
3.3 Unité cuisson.....	4
3.4 Unité climatiseur.....	5
3.5 Unité sanitaire .....	5
3.6 Filiale Filamp.....	5
4. Politique de l'entreprise .....	8
4.1. Politique qualité .....	8
4.1.1. Engagement de la direction.....	8
4.1.2. Ses objectifs .....	8
4.2. Politique environnementale .....	8

## CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS ET CARACTÉRISATION DES ACIERS.

I.1 Introduction .....	9
I.2 Généralités sur les aciers .....	9
I.2.1 Définition.....	9
I.2.2 Microstructures des aciers .....	9
a. La structure cristalline .....	9
b. Les différentes phases du fer .....	9
- La structures cubique de l'ambiante jusqu'à 912°C.....	10
- La structure cubique de 912°C jusqu'à 1394°C .....	10
- La structure cubique à température supérieure à 1394°C.....	11
I.3 Diagramme d'équilibre Fer-Carbone .....	11

I.3.1 La transformation de l'austénite .....	12
a. L'acier eutectoïde.....	12
b. L'acier hypoeutectoïde .....	13
c. L'acier hypereutectoïde .....	13
I.4 Les éléments d'addition .....	14
I.4.1 Utilisation du système Fer-Carbone dans l'industrie .....	14
I.4.2 Influence des éléments d'addition .....	14
I.5 Les différents types d'aciers.....	16
I.5.1 Aciers ordinaires.....	16
a. Propriétés des aciers ordinaires .....	17
b. Désignation des aciers ordinaires .....	17
c. Domaines d'utilisation .....	17
I.5.2 Aciers pour traitements thermiques .....	17
a. Aciers non alliés.....	18
b. Aciers alliés.....	18
- Aciers faiblement alliés .....	18
- Aciers fortement alliés .....	19
I.5.3 Aciers à outils .....	19
I.5.4 Aciers inoxydables .....	20
a. Les aciers ferritiques (magnétiques) .....	20
b. Les aciers martensiques (magnétiques) .....	20
c. Les aciers austénitiques (amagnétiques) .....	21
I.6 Choix de la nuance des aciers inoxydables .....	21
I.7 Système Fer-Carbone-Chrome .....	22
I.7.1 Teneur en chrome supérieure à 11.5% .....	23
I.7.2 Teneur en chrome inférieure à 11.5% .....	23
I.8 Caractéristiques de l'acier inoxydable X 8 Cr 17.....	23
I.8.1 Composition chimique.....	23
I.8.2 Propriétés mécaniques .....	24
I.8.3 Mise en œuvre .....	24
I.8.4 Domaines d'application.....	24
I.8.5 Les avantages de l'utilisation de l'acier inoxydable ferritique X 8 Cr 17.....	24
I.9 Conclusion .....	25

<b>CHAPITRE II : PROCÉDÉS D'OBTENTION DES TÔLES ET MISE EN FORME DES PIÈCES</b> <b>MÉCANIQUES</b>
--

II.1 Introduction .....	26
II.2 Les produits plats .....	26
II.3 Procédés d'obtention des tôles .....	26
II.3.1 Laminage à chaud .....	27
II.3.2 Laminage quarto .....	27
II.3.3 Laminage à froid .....	28
II.4 L'emboutissage .....	29
II.4.1 Principe de l'emboutissage .....	29
II.4.2 Techniques d'emboutissage .....	31
a. Emboutissage à froid .....	31
b. Emboutissage à chaud .....	31
II.4.3 Effort d'emboutissage .....	31
- Effort sur le serre-flan $F_s$ .....	32
II.5 Le découpage .....	32
II.5.1 Différents types de découpage .....	33
a- Cisailage .....	33
b- Encochage.....	34
c- Crevage .....	35
d- Ajourage .....	35
e- Détourage .....	35
f- Soyage .....	36
g- Grignotage .....	36
II.6 Le poinçonnage .....	36
II.6.1 Phases de poinçonnage .....	37
II.6.2 Influence des paramètres de l'opération de découpage .....	38
II.6.2.1 Le jeu de découpage .....	38
II.6.2.2 Paramètres liés au réglage de l'outil .....	39
a- Le serre-flan .....	39
b- Pénétration du poinçon dans la matrice .....	39
c- Vitesse de découpage .....	40
II. 6.2.3 Paramètres liés à l'usure de l'outil .....	40
a- Lubrification .....	40

b- Matériaux à outil.....	40
II.6.3 Effort de découpage et de poinçonnage .....	40
II.6.4 Contraintes sur les poinçons .....	40
a- Contrainte de compression .....	40
II.7 Le pliage .....	42
II.7.1 Les différents modes de pliage.....	42
II.7.1.1 Le pliage en V (en presse plieuse) .....	43
a- Pliage en l'air .....	43
b- Pliage en frappe .....	44
II.7.1.2 Le pliage en U .....	45
II.7.1.3 Le pliage en L .....	45
II.7.2 Rayon du pliage .....	46
II.7.3 Le retour élastique .....	47
II.7.4 Paramètres influant sur l'opération de pliage.....	48
II.7.4.1 Le rayon de la matrice de pliage .....	48
II.7.4.2 Le jeu du pliage .....	48
II.7.5 Effort de pliage.....	48
II.8 Conclusion.....	49

<p><b>CHAPITRE III : GÉNÉRALITÉS SUR LES DIFFÉRENTES PRESSES MÉCANIQUES ET LEURS ÉQUIPEMENTS</b></p>
--

III.1 Introduction.....	50
III.2 Les Différentes Presses Mécaniques.....	50
III.2.1 Le mode de Transmission de l'Énergie .....	50
III.2.1.1 Les Presses Mécaniques.....	50
III.2.1.2 Les Presses Hydrauliques .....	51
III.2.2 La forme du bâti.....	52
III.2.2.1 Presses à Col de Cygne .....	52
III.2.2.2 Presses à Arcade .....	52
III.2.2.3 Presses à Montants Droits .....	53
III.2.2.4 Presses à Colonnes .....	53
III.2.2.5 Presses à Table Mobile et Bigorne .....	54
III.2.3 Le nombre de coulisseaux.....	54
III.2.3.1 Presse à Simple Effet .....	54

III.2.3.2 Presse à Double Effets .....	54
III.2.3.3 Presse à Triple Effets .....	55
III.3 Fonctionnement des Presses Mécaniques .....	56
III.3.1 L'Énergie .....	56
III.3.2 Les Mécanismes de commande .....	56
a. Système Bielle-Manivelle .....	56
b. Système Excentrique.....	57
c. Système à Genouillère .....	58
d. Système à Came .....	58
III.3.3 L'Embrayage .....	59
III.3.3.1 Embrayage à Clavette Tournante.....	59
III.3.3.2 Embrayage à Friction à Commande Électropneumatique .....	60
III.4 Les outils de Presses .....	60
III.4.1 Éléments Principaux d'Outils de Presses.....	60
III.4.1.1 Le Poinçon .....	60
III.4.1.2 La Matrice .....	61
III.4.1.3 La Dépouille .....	61
III.4.1.4 L'Affûtage .....	61
III.4.2 Différents Types d'Outils de Presse .....	62
III.4.2.1 Outils à Découper .....	62
a. Outil à Découvert .....	62
- Outil à Découvert Simple .....	62
- Outil à Découvert à Butées .....	62
III.4.2.2 Outil à Contre-Plaque .....	63
a. Outil à Contre-Plaque à Engrenages .....	63
b. Outil à Contre-Plaque à Couteau .....	64
III.4.2.3 Outil à Presse à Bande .....	64
III.4.2.4 Outil Suisse .....	65
III.4.2.5 Outils de Reprise.....	66
III.4.2.6 Outils de Détourage .....	66
a. Détourage Normal .....	66
b. Détourage à Ras .....	67
a. Détourage-Poinçonnage .....	67
III.4.2.7 Outils à Came.....	68
III.4.2.8 Outils d'Emboutissage .....	69

a. Outil d'emboutissage Sans Serre-Flan .....	69
b. Outil d'Emboutissage à Serre-Flan .....	69
- Outil placé sur presse à simple effet .....	69
- Outil placé sur Presse à Double Effets .....	70
III.4.2.9 Outil de Cambrage .....	70
a. Outil de Cambrage en V .....	70
b. Outil de cambrage en U .....	71
c. Outil de Cambrage en Équerre .....	71
III.4.3 Outil à Suivre .....	72
III.5 Montage des Outils sur les Presses .....	73
III.5.1 Petite Presse .....	73
- Partie inférieure de l'outil.....	73
- Partie supérieure de l'outil.....	74
III.5.2 Grosse Presse .....	74
III.6 Conclusion .....	74

<b>CHAPITRE IV : ÉTUDE ET CONCEPTION DE L'OUTIL À BANDE</b>
---

IV.1 Introduction .....	75
IV.2 Cahier des charges .....	75
IV.2.1 : Emplacement de la pièce .....	76
IV.2.2 : Travail demandé .....	76
IV.3 Calcul du flan théorique .....	77
IV.4 Calcul des efforts .....	78
IV.4.1 Calcul des efforts de coupe et d'emboutissage.....	78
- Calcul des périmètres de coupe « P ».....	79
- Calcul de l'effort de chaque poinçon .....	80
a. Le poinçon de détournage final.....	80
b. Le poinçon de perçage .....	80
c. Le poinçon de pas .....	80
d. Le poinçon de forme (poinçon d'emboutissage) .....	81
- Effort d'emboutissage .....	81
IV.4.2 Calcul de l'effort total de la coupe .....	81
IV.4.3 Calcul de l'effort de dévêtissage (Extraction).....	81
IV.4.4 Calcul de l'effort d'éjection.....	82

IV.4.4 Calcul de l'effort total que doit fournir la presse.....	82
IV.4.5 Choix du nombre de ressorts .....	83
- Calcul de la raideur des ressorts .....	83
IV.4.6 Le choix de la presse à utiliser.....	86
IV.4.7 Calcul du barycentre de l'outil de coupe .....	86
IV.4.8 Calcul du flambement des poinçons .....	89
IV.4.9 Calcul de la résistance des poinçons à la compression.....	92
IV.5 Conclusion .....	95
IV.6 Détail de l'outil à bande.....	96
- Mises en plan .....	97
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>99</b>

## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure. 1</b> : Organigramme de l'entreprise ENIEM.....	6
<b>Figure. 2</b> : Organigramme de l'unité froid .....	7
<b>Figure. I.1</b> : Structure cubique centrée de l'ambiante jusqu' à 912°C.....	10
<b>Figure. I.2</b> : Structure cubique à faces centrées de 912°C jusqu' à 1394°C. ....	10
<b>Figure. I.3</b> : Structure cubique centrée (fer $\delta$ ). ....	11
<b>Figure. I.4</b> : Diagramme d'équilibre métastable Fer – Carbone (Fe-C <sub>Fe3C</sub> ) .....	11
<b>Figure. I.5</b> : Partie du diagramme Fer-Carbone (Fe-C <sub>Fe3C</sub> ), correspondant à l'acier .....	12
<b>Figure. I.6</b> : Transformation de l'acier eutectoïde $\gamma \Leftrightarrow P(\alpha+Fe_3C)$ .....	13
<b>Figure. I.7</b> : La Transformation $\gamma \Leftrightarrow \alpha + Fe_3C$ dans l'acier hypoeutectoïde. ....	13
<b>Figure. I.9</b> : Exemple de Microstructure d'un acier hypereutectoïde. ....	14
<b>Figure. I.10</b> : Coupe Pseudo-binaire du diagramme Fer – Carbone - Chrome à 17 % de chrome (Diagramme d'équilibre d'acier inoxydable ferritique) .....	23
<b>Figure. II.1</b> : Schéma d'une cage quarto de laminage .....	28
<b>Figure. II.2</b> : Train de laminage. ....	28
<b>Figure. II.3</b> : Emboutissage. ....	29
<b>Figure. II.4</b> : Phase 1 de l'emboutissage.....	29
<b>Figure. II.5</b> : Phase 2 de l'emboutissage.....	30
<b>Figure. II.6</b> : Phase 3 de l'emboutissage.....	30
<b>Figure. II.7</b> : Phase 4 de l'emboutissage.....	30
<b>Figure. II.8</b> : Direction des efforts Fe et Fs.....	32
<b>Figure. II.9</b> : Principe du découpage. ....	33
<b>Figure. II.10</b> : Pièce découpée. ....	33
<b>Figure. II.11</b> : Ligne de découpage et ses périphéries.....	33
<b>Figure. II.12</b> : Le Cisailage. ....	34
<b>Figure. II.13</b> : Paramètres entrants lors du cisailage.....	34
<b>Figure. II.14</b> : Encochage. ....	34
<b>Figure. II.15</b> : Le Crevage. ....	35
<b>Figure. II.16</b> : Ajourage.....	35
<b>Figure. II.17</b> : Le détournage.....	35
<b>Figure. II.18</b> : Le soyage. ....	36
<b>Figure. II.19</b> : Le grignotage. ....	36
<b>Figure. II.20</b> : Pièce poinçonnée. ....	36
<b>Figure. II.21</b> : Phases de poinçonnage. ....	37
<b>Figure. II.22</b> : Nomenclature des éléments de la géométrie du découpage. ....	38
<b>Figure. II.23</b> : Jeu du découpage. ....	39
<b>Figure. II.24</b> : Contrainte de compression sur le poinçon. ....	41
<b>Figure. II.25</b> : L'état d'un flambement du poinçon de découpage.....	42
<b>Figure. II.26</b> : Technique du pliage. ....	42

<b>Figure. II.27</b> : Principe du pliage en V .....	43
<b>Figure. II.28</b> : Principe du pliage en l'air. ....	44
<b>Figure. II.29</b> : Outil de pliage en l'air. ....	44
<b>Figure. II.30</b> : Outil de pliage en frappe. ....	44
<b>Figure. II.31</b> : Principe du pliage en U.....	45
<b>Figure. II.32</b> : Le pliage en L. ....	45
<b>Figure. II.33</b> : Angle de pliage. ....	46
<b>Figure. II.34</b> : Rayon de pliage. ....	46
<b>Figure. II.35</b> : Déformations à un angle vif (R=0). ....	46
<b>Figure. II.36</b> : Phénomène du retour élastique. ....	47
<b>Figure. II.37</b> : Jeu du pliage et le rayon de la matrice. ....	48
<b>Figure. III.1</b> : Principe du système Bielle-Manivelle. ....	51
<b>Figure. III.2</b> : Presse Mécanique. ....	51
<b>Figure. III.3</b> : Presse Hydraulique.....	51
<b>Figure. III.4</b> : Presse à Col de Cygne.....	52
<b>Figure. III.5</b> : Presse à Arcade .....	53
<b>Figure. III.6</b> : Presse à Montant droit.....	53
<b>Figure. III.7</b> : Presse à Colonne. ....	54
<b>Figure. III.8</b> : Presse à Table Mobile et Bigorne.....	54
<b>Figure. III.9</b> : Presse à Double Effets. ....	55
<b>Figure. III.10</b> : Presse à Arcade d'Emboutissage à Triple Effet .....	55
<b>Figure. III.11</b> : Principe de fonctionnement de la Presse à Triple Effets.....	55
<b>Figure. III.12</b> : Système Bielle-Manivelle.....	56
<b>Figure. III.13</b> : Principe du Système Excentrique.....	57
<b>Figure. III.14</b> : Exemple du Système Excentrique dans une Presse.....	57
<b>Figure. III.15</b> : Exemple de Système à Genouillère .....	58
<b>Figure. III.16</b> : Principe du Système à Came. ....	59
<b>Figure. III.17</b> : Système d'Embrayage à Clavette Tournante.....	59
<b>Figure. III.18</b> : Système d'Embrayage à Friction à Commande Électropneumatique.....	60
<b>Figure. III.19</b> : L'Ensemble Poinçon - Matrice.....	61
<b>Figure. III.20</b> : Dimensions d'une Dépouille. ....	61
<b>Figure. III.21</b> : Principe d'un Affûtage.....	62
<b>Figure. III.22</b> : Géométrie de l'Outil à Découvert Simple. ....	62
<b>Figure. III.23</b> : Outil à Découvert à Butées.....	63
<b>Figure. III.24</b> : Principe de l'Outil à Contre-Plaque à Engrenage.....	63
<b>Figure. III.25</b> : Système d'Outil à Contre - Plaque à Couteau.....	64
<b>Figure. III.26</b> : Outil à Presse à Bande. ....	65
<b>Figure. III.27</b> : Principe d'un Outil Suisse.....	66
<b>Figure. III.28</b> : Guidage du flan sur un Outil de Reprise par diverses façons. ....	66
<b>Figure. III.29</b> : Outils de Détourage Normal. ....	67
<b>Figure. III.30</b> : Outils de Détourage à Ras. ....	67
<b>Figure. III.31</b> : Outils de Détourage-Poinçonnage.....	68

<b>Figure. III.32</b> : Schéma de principe d'un poste à came dans un outil. ....	68
<b>Figure. III.33</b> : Outils à Came. ....	68
<b>Figure. III.34</b> : Principe du travail d'un Outil d'Emboutissage Sans Serre-Flan .....	69
<b>Figure. III.35</b> : Outil d'Emboutissage à Serre-Flan, placé sur une Presse à Simple Effet. ....	70
<b>Figure. III.36</b> : Outil d'Emboutissage à Serre-Flan, placé sur une Presse à Double Effets. ....	70
<b>Figure. III.37</b> : Exemple d'Outil de Cambrage en V .....	71
<b>Figure. III.38</b> : Exemple d'Outil de Cambrage en U .....	71
<b>Figure. III.39</b> : Exemple d'Outil de Cambrage en Équerre. ....	72
<b>Figure. III.40</b> : Exemple d'un Outil à Suivre avec sa mise en bande. ....	72
<b>Figure. III.41</b> : Schéma d'une Presse Automatique. ....	73
<b>Figure. III.42</b> : Système de fixation des semelles sur un plateau de presse.....	73
<b>Figure. III.43</b> : Plateau de la presse. ....	73
<b>Figure. III.45</b> : Système de fixation de la partie supérieure de l'outil. ....	74
<b>Figure. III.46</b> : Coulisseau et plateau rainurés sur les Grosses Presses. ....	74
<b>Figure. IV.1</b> : Rondelle de fixation de la vitre du four d'une cuisinière de l'ENIEM.....	75
<b>Figure. IV.2</b> : Dessin de définition de la pièce à réaliser.....	75
<b>Figure. IV.3</b> : Emplacement de la rondelle de fixation. ....	76
<b>Figure. IV.4</b> : Etapes du processus de fabrication de la rondelle. ....	77
<b>Figure. IV.5</b> : Flan théorique.....	78
<b>Figure. IV.6</b> : Le périmètre de la ligne de coupe du pas. ....	80
<b>Figure. IV.7</b> : Classification des ressorts par couleur.....	84
<b>Figure. IV.8</b> : Schéma de dimensionnement d'un Ressort.....	85
<b>Figure. IV.9</b> : Position adéquate de l'outil sur la presse (centre d'inertie).....	87

## LISTE DES TABLEAUX

---

<b>Tableau. I.1</b> : Influence des principaux éléments d'addition sur les caractéristiques des aciers.....	15
<b>Tableau. I.3</b> : Aciers d'usage général.....	17
<b>Tableau. I.4</b> : Tableau de désignation des aciers non alliés.....	18
<b>Tableau. I.5</b> : Désignation des aciers faiblement alliés.....	19
<b>Tableau. I.6</b> : Caractéristiques des aciers inoxydables.....	21
<b>Tableau. I.7</b> : Composition chimique de l'acier inoxydable X 8 Cr 17 .....	24
<b>Tableau. I.8</b> : Propriétés mécaniques de l'acier X 8 Cr 17.....	24
<b>Tableau. II.1</b> : Tableau de détermination du coefficient K en fonction de $\frac{d}{D}$ .....	31
<b>Tableau. II.2</b> : La variation de la distance « a » suivant le rapport (Ri/e) .....	47
<b>Tableau. IV.1</b> : Ressort à couleur rouge (charge forte).....	85
<b>Tableau. IV.2</b> : Caractéristiques du ressort choisi.....	86
<b>Tableau. IV.3</b> : Caractéristiques de la presse à utiliser.....	86
<b>Tableau. IV.4</b> : Centre d'inertie des efforts des poinçons .....	87
<b>Tableau. IV.5</b> : Valeurs de la longueur du flambage $l$ en fonction de la longueur réelle L .....	89

# OBJECTIF

## ÉTUDE ET CONCEPTION D'UN OUTIL À BANDE POUR LA RÉALISATION D'UNE RONDELLE DE FIXATION DE LA VITRE INTÉRIEURE DU FOUR DE CUISINIÈRE ENIEM

Notre travail a pour but : « l'étude et la conception de l'outil à bande qui réalisera une rondelle de fixation de la vitre intérieure d'un four des cuisinières ENIEM ». Le processus de fabrication de cette rondelle passe par quatre (4) étapes : le découpage de la bande de tôle d'acier, le découpage du pas, emboutissage, perçage, et détournage. La tôle d'acier est fournie en format commercial standard, sous forme de bobines de deux (2) Tonnes.

Sachant que la rondelle est en acier inoxydable X 8 Cr 17 (voir la Figure ci-dessous), celle-ci étant actuellement importée en devise. Le service développement de l'unité cuisson de l'entreprise E.N.I.E.M, a décidé de la confectionner et l'intégrer, afin de supprimer son importation, et réserver le temps et le budget pour d'autres nécessités. Créer ainsi, une main d'œuvre et un salaire aux travailleurs. Pour cela, l'objectif de ce projet est de concevoir, et réaliser l'outil nécessaire qui réalisera cette rondelle.

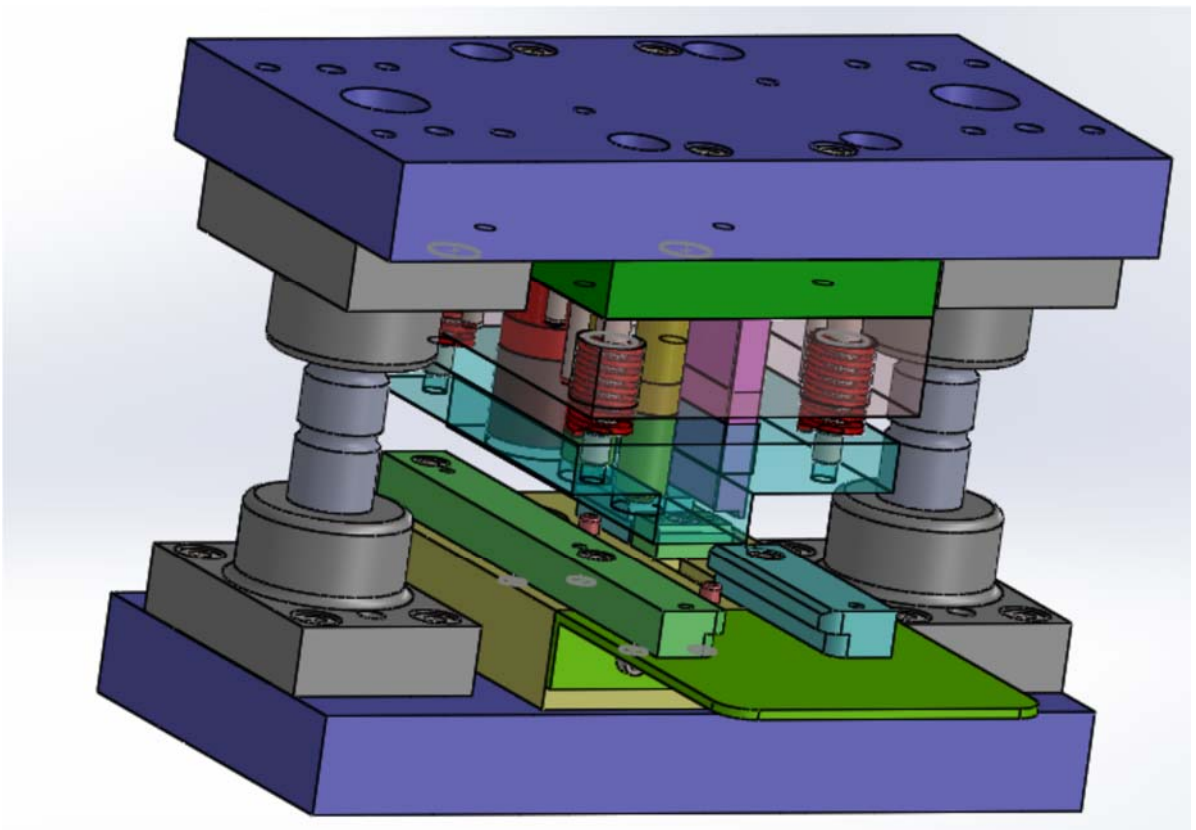
Avec l'aide de Mr. ALLACHE, Co-promoteur chef de service développement de l'unité cuisson, ainsi qu'avec l'immense suivi, et conseils de ma promotrice Dr. BENALIA-BAGUENANE.G enseignante-chercheur permanente au département de Génie-Mécanique, à l'U.M.M.T.O, j'ai étudié et conçu l'outil à bande qui réalisera cette rondelle de fixation, afin d'avoir un produit local de bonne qualité à moindre coût.



Voici la figure en perspective de l'Outil à bande, à étudier et à concevoir pour la réalisation de la rondelle de fixation (en tôle d'acier inoxydable X 8 Cr 17), de la vitre intérieure d'un four de cuisinière ENIEM.

Cet outil est muni de quatre (4) poinçons, qui ont respectivement les rôles : « découpage du pas, emboutissage, poinçonnage, et détournage », et muni aussi d'autres éléments nécessaires qui sont cités dans le chapitre IV, afin d'avoir une solidité de l'outil et l'assurance de son fonctionnement.

Ce dernier sera fixé sur une presse mécanique, d'une capacité de 30 tonnes, car celui-ci a pour un effort maximal de 12.55 Tonnes-forces, qui ne doit impérativement pas dépasser l'effort de la presse.



# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les moyens informatiques modernes, et les logiciels dits de conception assistée par ordinateur (CAO), constituent des moyens puissants de calculs, d'analyse des structures mécaniques, dans divers secteurs. C'est le cas du secteur de l'industrie électroménagère, qui a connu un énorme développement, notamment des évolutions dans la conception, et les moyens de production. Grâce à l'intervention du design dans la conception de produits. On est arrivé à créer des produits compétitifs de haute qualité, et à fort rendement énergétique, tout en respectant les facteurs essentiels, entrant dans la production, en particulier l'environnement.

Pour faciliter les déclinaisons de gamme et d'usage, en améliorant principalement, la fonctionnalité, le coût et les méthodes de fabrication, afin de donner une identité au produit, et assurer ainsi une certaine durée de vie.

Malgré ces moyens modernes fascinant par leur facilité, ils ne déchargent pas le concepteur de toute réflexion. Ils exigent bien des connaissances plus étendues pour être utilisées efficacement à travers de nombreuses tâches. En effet, le concepteur ne peut pas modéliser ce qu'il ignore, il doit connaître les lois, et les normes pour élaborer les modèles.

De même, le concepteur a besoin d'évaluer rapidement, les grandeurs principales pour apprécier les résultats des calculs automatiques. Il doit savoir sur quels paramètres agir afin d'améliorer une solution, et il doit surtout traduire dans le concret, l'abstraction des modèles.

En parlant du secteur de l'électroménager, l'Entreprise Nationale des Industries Électroménagères (**ENIEM**), toutes ses unités ont adopté ces moyens techniques modernes de conception, et de fabrication, qui a pour objectifs : l'amélioration de la fonctionnalité, la réduction du coût de production tout en respectant les normes légales exigées.

Le secteur du développement du produit, de l'unité cuisson m'a confié de faire soigneusement, une **étude et une conception d'un outil à bande, pour la réalisation d'une rondelle de fixation d'une vitre intérieure d'un four d'une cuisinière ENIEM**, afin de remplacer celle déjà existante, car elle est importée en devise.

Vue la forme de la pièce à réaliser (rondelle de fixation), après discussion avec les responsables du service, on a opté pour la conception d'un outil, qui réalisera cette rondelle, en passant par trois (3) opérations de mise en forme : « **Emboutissage, Poinçonnage et Détourage** ».

Pour ce projet de fin d'études, j'ai choisis de répartir les tâches du travail comme suit :

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

**Le chapitre I**, de ce manuscrit est consacré à des généralités et caractérisations des aciers, notre pièce est réaliser avec l'acier inoxydable X 8 Cr 17.

**Le chapitre II**, qui cite les procédés d'obtention des tôles, et traite des différents procédés de mise en forme des pièces mécaniques, par déformation plastique, ainsi que les différents paramètres influants, dans ces procédés.

**Le chapitre III**, est consacré à des généralités sur les différentes presses mécaniques et leurs équipements.

**Le chapitre IV**, est le cœur de ce travail, c'est l'étude et la conception de l'outil à bande. Réservé aux différents calculs des efforts, aux dimensionnements, aux choix des matériaux, pour les différents éléments de l'outil, ainsi que le choix de la presse à utiliser.

Le travail ainsi effectué, nous permet de tirer une **conclusion générale et des perspectives**.

# **PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE**

## 1. Présentation de l'entreprise [17]

L'Entreprise Nationale des Industries Électroménagères ENIEM est née après la restriction de l'entreprise mère SONELEC le 02 janvier 1983. Cette dernière a été renommée en Août 1971.

En 1989, l'entreprise a connu une baisse brusque de production due à la concurrence du marché. Cette situation a provoqué sa transformation, en société par action dont le but est d'améliorer la recherche et le développement de ses produits, à l'échelle nationale.

Connu aujourd'hui, le leader de l'électroménager en Algérie, et cela, dans divers domaines tels que :

- ✓ La climatisation, la cuisson, la réfrigération et la conservation ( Oued Aissi).
- ✓ Sanitaire (Miliana).
- ✓ Filiale lampe (Mohammedia).

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

Le champ d'activité de l'entreprise ENIEM consiste en la conception, la fabrication et la commercialisation des produits électroménagers, ainsi que la prise en charge de la fonction service après-vente.

Actuellement, l'entreprise ENIEM est constituée de :

- ✓ La direction générale (D.G).
- ✓ L'unité froid (U.F).
- ✓ L'unité cuisson (U. Cuis).
- ✓ L'unité climatisation (U.C.L).
- ✓ L'unité prestation technique (U.P.T).
- ✓ L'unité commerciale (U.C).
- ✓ L'unité sanitaire (U.S).
- ✓ La filiale FILAMP.

L'entreprise ENIEM aujourd'hui a une importante gamme de production, ces produits sont :

- ✓ Les réfrigérateurs petit et grand modèle (R.P.M et R.G.M).
- ✓ Le congélateur vertical.
- ✓ Le combiné.
- ✓ Cuisinières à 4 et 5 feux.
- ✓ Climatiseurs

Ces produits sont destinés au grand public et la distribution se fait par des agents agréés dont la liste se trouve au niveau de l'unité commerciale (Département vente).

## **2. Objectif social et champ d'activité**

ENIEM est leader de l'Electroménager en Algérie, elle possède des capacités de production et une expérience de plus, de 30 ans dans la fabrication et le développement dans les différentes branches de l'électroménager, notamment :

- ✓ Les appareils ménagers domestiques,
- ✓ Les appareils des collectivités,
- ✓ Les lampes d'éclairage,
- ✓ Les produits sanitaires.

Elle assure également la commercialisation et le service Après-Vente de ses appareils.

## **3. Principales missions et activités de l'entreprise**

### **3.1 Direction générale**

La direction générale est responsable de la stratégie et du développement de l'entreprise. Elle exerce son autorité hiérarchique et fonctionnelle sur l'ensemble des directions et des unités.

### **3.2 Unité froid**

La mission globale de l'unité est de produire et développer les produits froids domestiques. Ses activités sont:

- ✓ Transformation des tôles.
- ✓ Traitement et revêtement des surfaces (peinture, plastification).
- ✓ Injection plastique et polystyrène.
- ✓ Fabrication de pièces métalliques.
- ✓ Isolation.
- ✓ Thermoformage.
- ✓ Assemblage.

### **3.3 Unité cuisson**

La mission principale de l'unité est de produire et développer la cuisson à gaz électrique ou mixte et tout produit de technologie similaire.

Ses activités sont :

- ✓ Transformation de la tôle.
- ✓ Traitement et revêtement de surface (Zingage, Chromage).

- ✓ Assemblage.

### **3.4 Unité climatiseur**

La mission globale de l'unité est de développer les produits de climatisation. Ses activités sont:

- ✓ La Transformation.
- ✓ Le Traitement et revêtement de surface (peinture).
- ✓ Assemblage.

### **3.5 Unité sanitaire**

L'unité sanitaire de Miliana est acquise par l'entreprise ENIEM en l'an 2000.

Elle n'entre pas dans le champ de certification de l'entreprise.

La mission globale de l'unité est de produire et développer les produits sanitaires (baignoires, lavabos ...).

### **3.6 Filiale Filamp**

L'Unité Lampe de Mohammedia (U.L.M) qui a démarré en février 1979, pour fabriquer des lampes d'éclairage domestique ainsi que des lampes de réfrigérateurs. Cette unité est devenue une filiale à 100%, à l'ENIEM, le 01/01/1997. Cette filiale est dénommée «FILAMP».

## ORGANIGRAMME GENERAL DE L'ENIEM

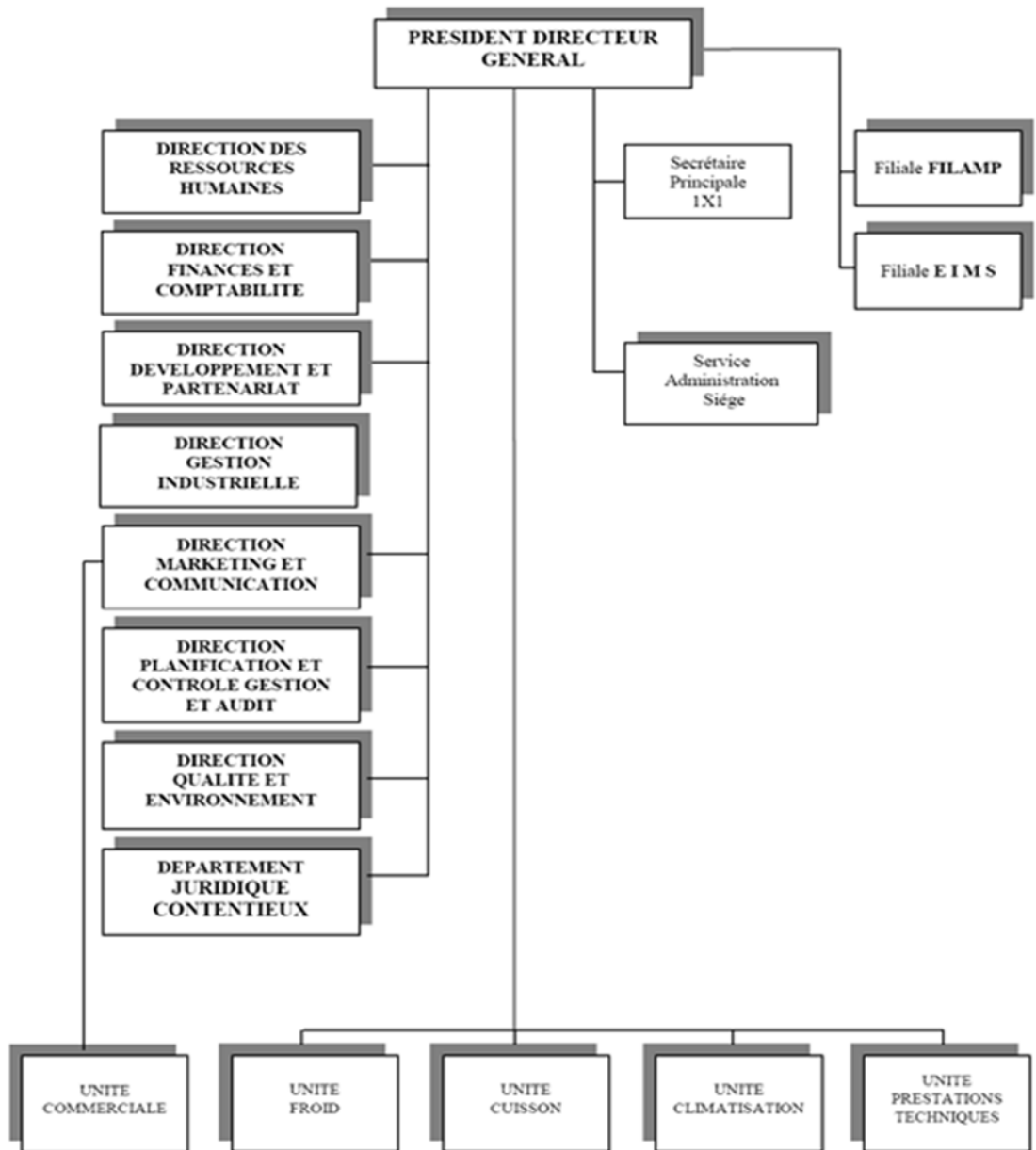


Figure. 1: Organigramme de l'entreprise ENIEM.

## Organigramme de l'unité froid :

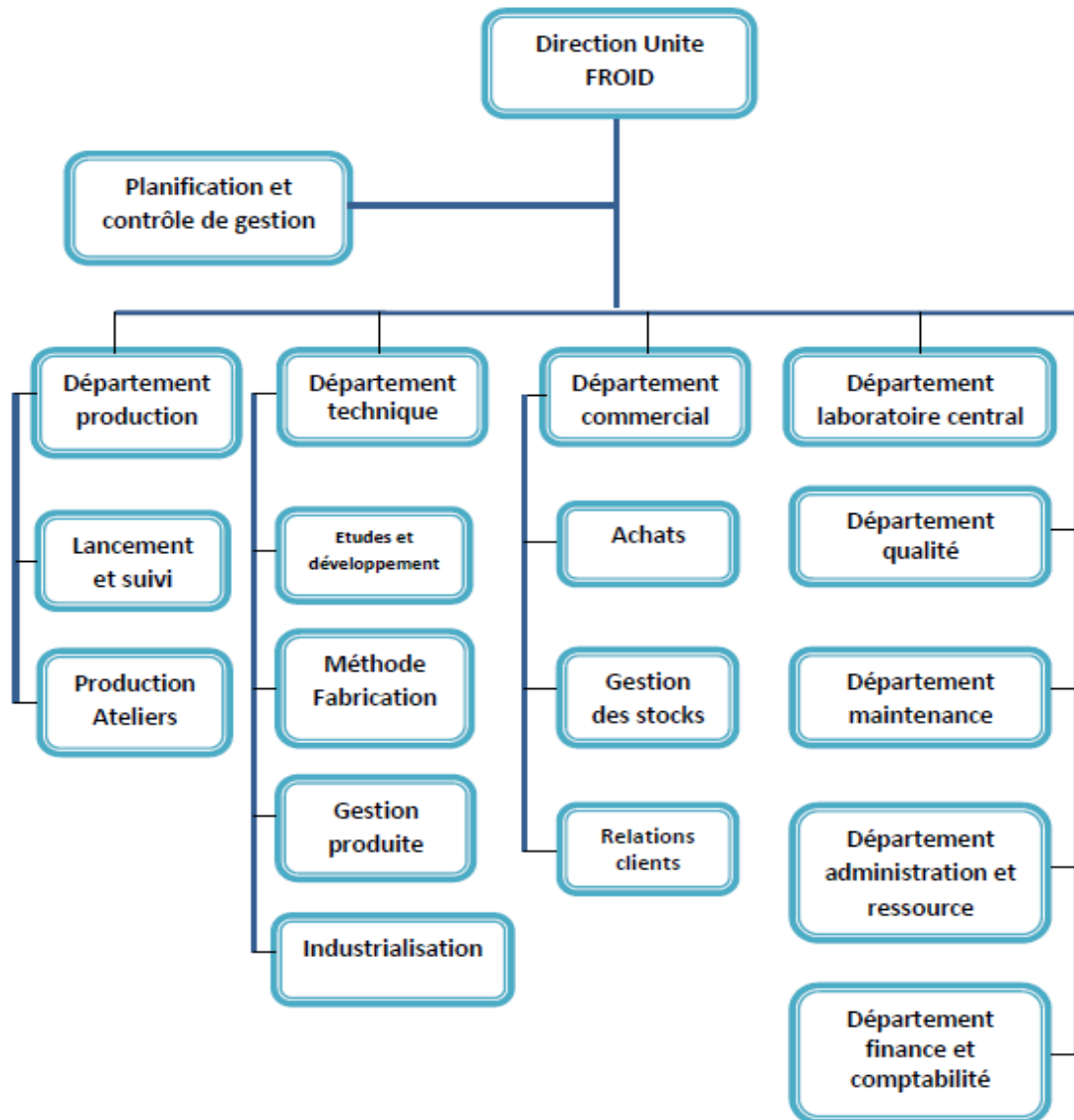


Figure. 2 : Organigramme de l'unité froid.

## 4. Politique de l'entreprise

L'ENIEM est certifiée ISO 14001/2004 ENVIRONNEMENT et ISO 9001/2008 QUALITÉ.

### 4.1. Politique qualité

L'entière satisfaction durable du client constitue pour l'entreprise, l'objectif principal. Face aux enjeux économiques, l'ENIEM a mis en œuvre et développer un système de management, de la qualité conforme au référentiel international ISO 9001/2008.

Cette politique qualité basée sur l'amélioration continue des processus se manifeste par la volonté de la Direction Générale à :

- ✓ Comprendre les besoins présents et futurs de ses clients et y répondre efficacement en mettant à leur disposition des produits et des services compétitifs.
- ✓ Développer la culture de l'entreprise et le professionnalisme de son personnel.
- ✓ Améliorer en continu, l'efficacité du système management de la qualité.

#### 4.1.1. Engagement de la direction

Pour mettre en œuvre sa politique, la Direction Générale de l'ENIEM s'engage à :

- ✓ Se conformer aux exigences légales et réglementaires, en vigueur.
- ✓ Appliquer et respecter les dispositions et procédures établies.
- ✓ Fournir les ressources nécessaires pour atteindre ses objectifs.

#### 4.1.2. Ses objectifs

Pour faire aboutir les missions précitées, l'ENIEM se fixe les objectifs suivants :

- ✓ Accroître la satisfaction des clients.
- ✓ Améliorer les compétences du personnel.
- ✓ Réduire les rebuts.
- ✓ Augmenter la valeur de la production.
- ✓ Améliorer le chiffre d'affaire.

## 4.2. Politique environnementale

La politique environnementale de l'ENIEM s'inscrit dans le développement durable en intégrant un management proactif dans le domaine de la protection de l'environnement.

Pour y parvenir, l'ENIEM se base sur la prévention de toute pollution, la préservation des ressources, la sensibilisation et la formation, la responsabilisation et l'implication de son personnel. Pour cela, l'ENIEM a décidé de s'engager dans une démarche volontaire d'amélioration continue, en mettant en place un système de management environnemental, selon le référentiel ISO 14001/2004. La direction générale met à disposition, les moyens nécessaires pour la réussite de ce projet.

# **CHAPITRE I**

## **GÉNÉRALITÉS ET CARACTÉRISATIONS DES ACIERS**

# GÉNÉRALITÉS ET CARACTÉRISATIONS DES ACIERS

## I.1 Introduction

Le choix d'un matériau pour une application donnée nécessite une assurance sur sa durabilité dans les conditions de son emploi, en particulier environnementales. Ceci est particulièrement vrai pour les systèmes destinés à travailler à températures élevées, et, dans des atmosphères corrosives. De tous les alliages métalliques, les aciers sont parmi les plus couramment employés dans les applications industrielles. La grande diversité de leurs nuances, et la possibilité de réaliser des traitements thermomécaniques conditionnant leurs propriétés mécaniques, permettent de couvrir une gamme d'applications extrêmement large.

## I.2 Généralités sur les aciers

### I.2.1 Définition

On appelle acier, un alliage de fer et de carbone dont la teneur en carbone est inférieure à 2% en masse. Il peut - être répertorié, selon cette teneur en carbone qui fixe son niveau de dureté maximale, à l'état trempé. L'acier à faible teneur en carbone est le moins dur et le plus malléable.

Il contient des petites quantités d'autres éléments, incorporés au cours de son élaboration. On peut aussi y ajouter des éléments d'alliage pour améliorer certaines propriétés spécifiques.

### I.2.2 Microstructures des aciers [1]

Pour comprendre le comportement et les propriétés des divers types d'acier, il est nécessaire de comprendre leurs microstructures. Cette microstructure contient des informations sur la structure cristalline, les imperfections ou défauts des réseaux cristallins et la texture.

#### a. La structure cristalline

Un acier est formé d'une multitude de petits volumes appelés grains qui sont limités par des surfaces appelées joints de grains. Les grains accolés les uns aux autres suivant les joints de grains, forment un empilage régulier d'atomes dans les 3 dimensions, selon un motif (ou maille) qui se répète un grand nombre de fois. L'ensemble de ces atomes constitue la **structure cristalline** de l'acier.

#### b. Les différentes phases du fer

S'il est possible de faire varier dans de très larges limites les propriétés d'un acier de composition chimique donnée, c'est grâce à l'existence des transformations **allotropiques** que présente le fer et du rôle que joue le carbone dans ces transformations. L'une des caractéristiques essentielles du fer est l'existence de deux types d'arrangement des atomes

(maille) suivant la température : **cubique centré**, de la température ambiante jusqu'à 910°C et **cubique à faces centrées** de 910°C jusqu'à 1394°C, et au-delà, elle est **cubique centrée**.

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

De la température ambiante jusqu'à 912°C, les atomes de fer sont placés suivant un réseau cubique centré. Il s'agit du **Fer  $\alpha$** , l'association de ce dernier avec le carbone en solution est appelé : **Ferrite**.

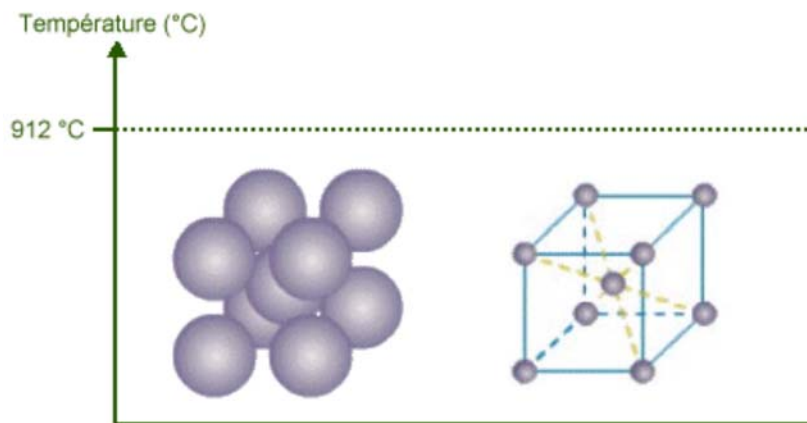


Figure. I.1 : Structure cubique centrée de l'ambiante jusqu' à 912°C.

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

De la température 912°C jusqu'à 1394°C, les atomes de fer sont disposés suivant un réseau cubique à faces centrées. Il s'agit du **fer  $\gamma$** , l'association de ce dernier à du carbone en solution est appelé : **Austénite**.

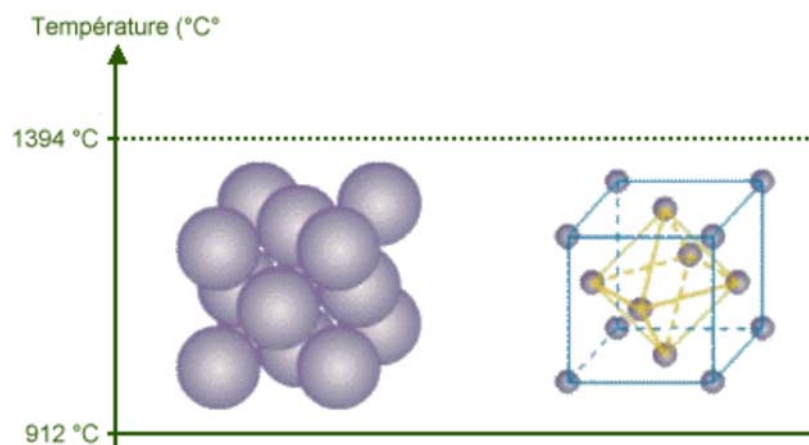


Figure. I.2 : Structure cubique à faces centrées de 912°C jusqu' à 1394°C.

### - La structure cubique à une température supérieure à 1394°C

Au-dessus de la température 1394 °C, le fer est de nouveau de structure cubique centrée, à ce stade, on l'appelle le fer  $\delta$ .

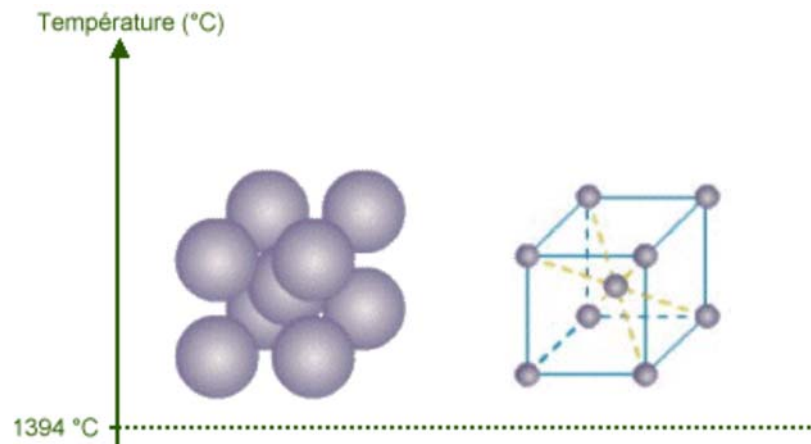


Figure. I.3 : Structure cubique centrée (fer  $\delta$ ).

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

Cette représentation graphique présente l'étendue des domaines de stabilité des différentes phases de l'acier et de la fonte blanche, en fonction de la variation de la composition chimique et de la température.

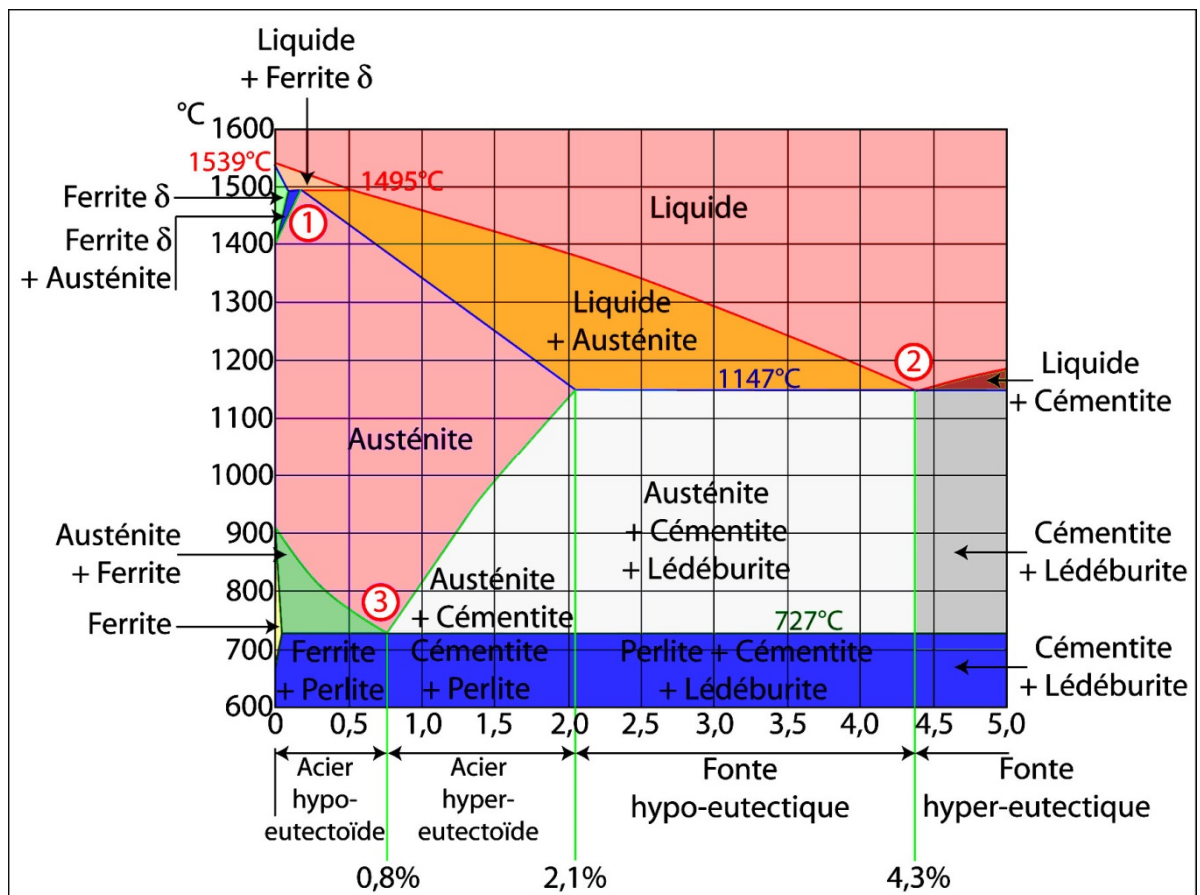


Figure. I.4 : pseudo-diagramme d'équilibre métastable Fer – Carbone (Fe-C<sub>Fe3C</sub>).

La Figure I.5 ci-dessous représente un zoom sur la partie du diagramme d'équilibre métastable Fer – Carbone ( $\text{Fe-C}_{\text{Fe}_3\text{C}}$ ), correspondant à l'acier :

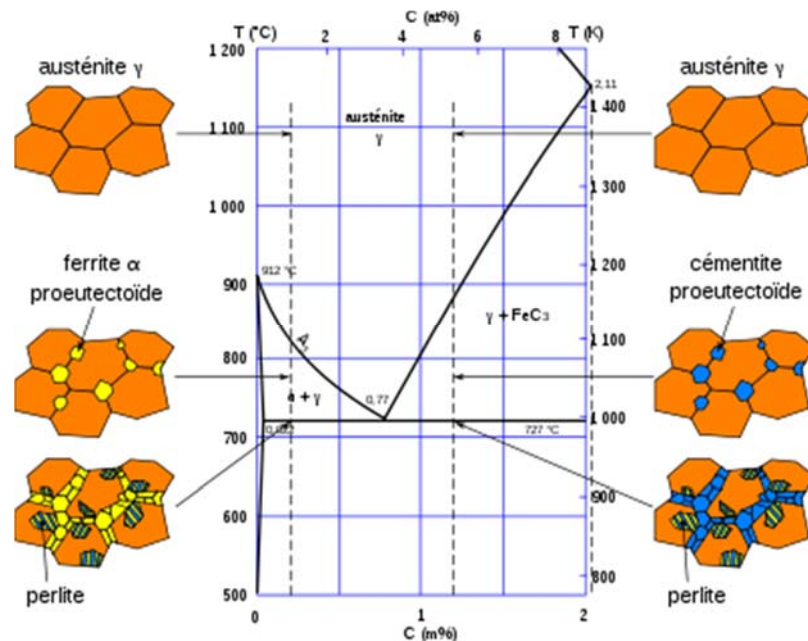


Figure. I.5 : Partie du diagramme Fer-Carbone ( $\text{Fe-C}_{\text{Fe}_3\text{C}}$ ), correspondant à l'acier.

Les précipités associant le fer et le carbone sont des carbures de fer, le précipité de formule  $\text{Fe}_3\text{C}$  est appelé **cémentite**, peut se former dans les grains et aux joints de grains. Cela dépend du mode de l'élaboration de l'acier et / ou des traitements subis ultérieurement.

### I.3.1 La transformation de l'austénite [1]

L'austénite se transforme différemment selon sa teneur en carbone. On distingue trois (03) types d'acier :

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

#### a. L'acier eutectoïde

Dans l'acier à 0,77% de carbone, l'austénite se décompose à 727°C, en un mélange de ferrite et de cémentite de morphologie particulière, les grains d'austénite donnent naissance à plusieurs colonies de perlite. Dans chaque colonie, la cémentite se présente sous forme de lamelles plus ou moins épaisses (suivant la vitesse de refroidissement), séparées par de la ferrite.

La Figure I.6 suivante montre la microstructure d'un acier eutectoïde :  $\gamma \rightleftharpoons P(\alpha + Fe_3C)$  :

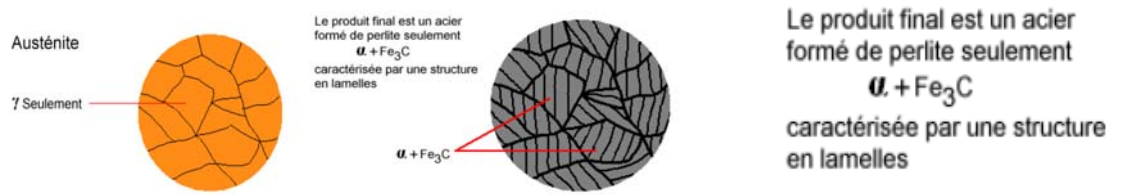


Figure. I.6 : Transformation de l'acier eutectoïde  $\gamma \rightleftharpoons P(\alpha + Fe_3C)$  .

### b. Les aciers hypoeutectoïdes

Dans les aciers hypoeutectoïdes, la transformation de l'austénite débute à une température comprise entre 912 et 727°C, qui est d'autant plus basse que la teneur en carbone est plus élevée, le constituant formé en premier lieu est de la ferrite, en équilibre avec une austénite qui s'enrichit en carbone. À 727°C, l'austénite restante contient 0.77% de carbone et se transforme en perlite (Voir les Figures. I.5 et I.7).

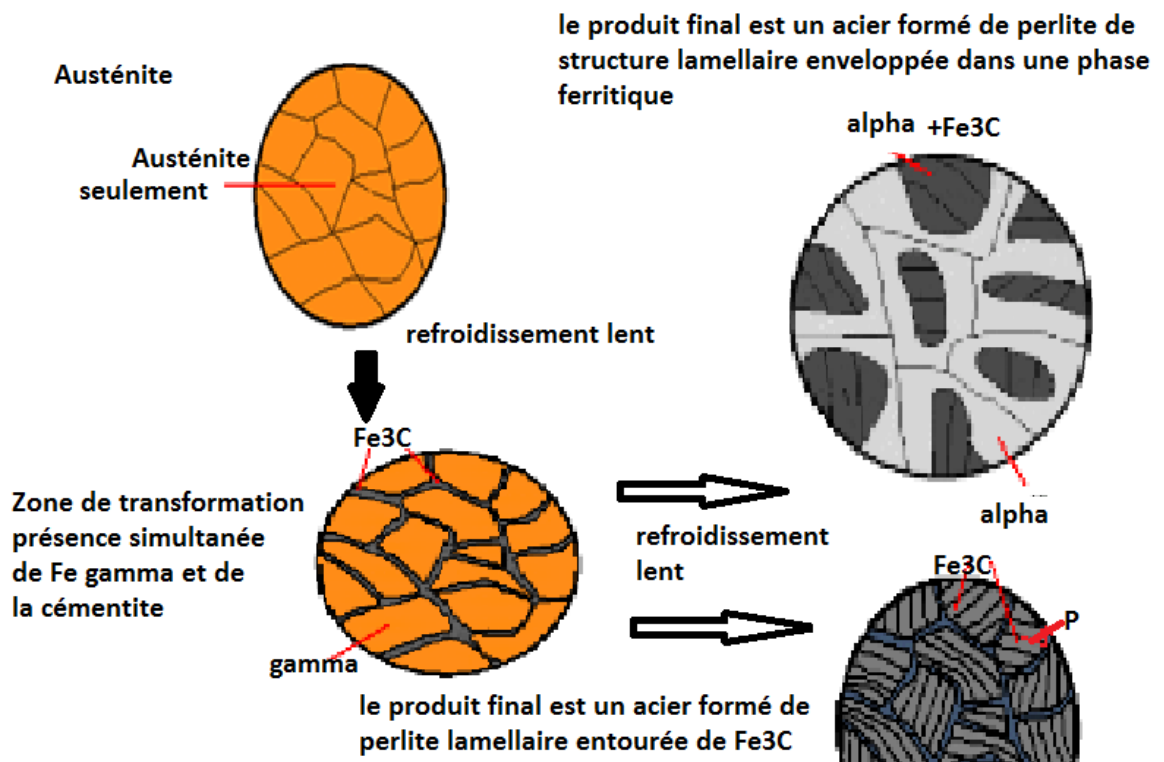
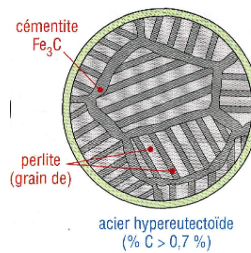


Figure. I.7 : La Transformation  $\gamma \rightleftharpoons \alpha + Fe_3C$  dans l'acier hypoeutectoïde.

### c. Les aciers hypereutectoïdes

Dans les aciers hypereutectoïdes, l'austénite se décompose au cours d'un refroidissement très lent, en libérant du carbone sous forme de cémentite, en s'appauvrissant elle-même en

carbone. La précipitation de la cémentite proeutectoïde se termine à 727°C, température à laquelle l'austénite restante ne contient plus que 0.77% de carbone et se transforme en perlite (voir les **Figures. I.5 et I.9**).



**Figure. I.9 :** Exemple de Microstructure d'un acier hypereutectoïde.

## I.4 Les éléments d'addition

Les éléments d'alliage ont un rôle prépondérant dans le traitement d'austénitisation. La germination de l'austénite est instantanée dans le cas des aciers au carbone mais la présence de certains éléments d'alliage peut ralentir la croissance gouvernée essentiellement par la diffusion, du fait de leur faible diffusivité. Les formules empiriques d'« Andrews » (I.1) et (I.2) peuvent - être utilisées, pour estimer les températures de transformation, en fonction de la composition chimique des aciers faiblement alliés. Elles sont valables pour des aciers contenant moins de 0,6% de carbone. Ces formules sont données ci-après, en fonction de la teneur massique en éléments d'alliages :

$$Ac_1 = 723 - 10,7Mn - 16,9Ni + 29,1Si + 16,9Cr + 6,38W + 290As \quad (I.1)$$

$$Ac_3 = 912 - 203C - 15,2Ni + 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W - 30Mn \quad (I.2)$$

### I.4.1 Utilisation du système Fer-Carbone dans l'industrie

Les éléments de machines et d'ouvrages d'art moderne, sont sollicités en service par des charges dynamiques élevées, de fortes concentrations de contraintes, et, à de hautes et/ou basses températures, cela, favorise la rupture fragile, et altère la fiabilité des machines.

L'insuffisance des propriétés des produits ferreux ordinaires empêche leur utilisation dans des applications particulières. Et, suite à cet ensemble de sollicitations en service, ils subissent des dégradations accrues par de nombreux phénomènes, tels que l'usure et la corrosion.

Pour répondre aux multiples besoins de l'industrie moderne, c'est suffisamment utile de développer des nuances à très hautes caractéristiques qui doivent faire preuve d'une résistance qui se manifeste dans les conditions réelles de service.

Alors, l'amélioration des propriétés souhaitées, se fait par addition en quantité suffisante d'un ou de plusieurs éléments d'alliage, leurs donnant ainsi, de bonnes caractéristiques mécaniques, telles que : « une bonne résistance à la traction, une élasticité élevée, et une grande dureté ».

### I.4.2 Influence des éléments d'addition [2]

L'ajout d'autres éléments d'alliages (Cr, Ni, Mn, Co,...) aboutit à des modifications très prononcées du diagramme d'équilibre binaire Fer-Carbone. L'ampleur des modifications

concernant la position des interfaces de phase, et, la forme des domaines de phase varie en fonction de l'élément d'alliage ajouté et sa concentration.

Le déplacement de l'eutectoïde en fonction de la température et de la concentration en carbone consiste en l'une de ces modifications importantes.

L'introduction des éléments d'alliage ont les effets suivants sur le diagramme Fer-Carbone :

- Modification de la température et de la teneur correspondante, à la transformation eutectoïde.
- Modifications de l'étendue des domaines d'existence des solutions solides  $\gamma$  (C.F.C) et ( $\alpha$  et  $\delta$ ) (C.C), par leur caractère gammagène ou alphagène respectivement, qui vient accentuer ou contrecarrer le domaine  $\gamma$ .
- Modification de la nature des carbures en équilibre, selon que l'élément est carburigène ou non.

L'addition des éléments d'alliage peut donner lieu à :

- Une formation de solutions solides dans le fer.
- Une dissolution de ces éléments dans la cémentite, en remplaçant dans son réseau des atomes de fer.

Ces éléments agissent sur les points de transformation de l'acier et sur la vitesse à laquelle se transforme l'austénite au cours du refroidissement.

La répartition de l'action des éléments d'alliage sur les transformations polymorphes du fer est en deux types, et pour chacun d'eux, en deux classes :

**Type A :** L'addition des éléments favorisant le domaine austénitique, soit très largement en formant une solution solide  $\gamma$  très étendue « classe **I** : Ni, Mn, C » soit de façon plus limitée avec formation de composés, à partir d'une certaine teneur « classe **II** : C, N, Cu ». Ces éléments sont dits **gammagène**.

**Type B :** L'addition des éléments favorisant le domaine ferritique, soit très largement jusqu'à ne former qu'une solution solide unique issue, à la fois du Fer- $\alpha$  et du Fer- $\delta$  « classe **I** : Cr, Mo, W, Si, V, Ti, Al », soit beaucoup plus limitée « classe **II** : Nb, Ce, B, Si ». Ces éléments sont dits **alphagène**.

En dehors de la variation du pourcentage en carbone, on peut modifier les caractéristiques mécaniques et les aptitudes technologiques des aciers, par addition d'autres métaux dont les principaux sont, avec leurs principales influences, regroupés dans les Tableaux ci-dessous :

Tableau. I.1 : Influence des principaux éléments d'addition sur les caractéristiques des aciers

Influence des principaux éléments d'addition sur les caractéristiques des aciers														
élément	symbole métallurgique	trempabilité	durcissement à la ferrite	revenu ou détente	R <sub>r</sub> et dureté	(ductibilité) A %	(résilience) K	soudabilité	forgeabilité	usinabilité	magnétisme	résistance à la corrosion et à la chaleur	solubilité	
													dans le fer α (en %)	dans le fer γ (en %)
chrome	C	++	+	-	++	-	+	-		-	+	++		12,8 20 si 0,5 C
cobalt	K	-	+++		+		+			+	++		75	∞
manganèse	M	+++	++		++	+	+	+	+				3	∞
molybdène	D	+++	+	-	++	+	+	+	+			+	3,5	3 ± 8 avec 0,3 C
nickel	N	++	+		+	+	+		+	-	-	+	10	∞
phosphore	P	+	++		+	-				+			2,8	0,5
silicium	S	++	+		+	-		-		-	-	-	18,5	2 ± 9 avec 0,35 C
titane	T	++			+	+	+		+			+	6	0,75 1 avec ± 0,2 C
tungstène	W	+++		-	+	+	+				++	+	33	6 11 si 0,25 C
vanadium	V	+++	+	--	+	+	+	+	+				∞	1 4 si 0,2 C

+++ : très favorable    ++ : assez favorable    + : favorable    -- : négative    - : très négative

## I.5 Les différents types d'aciers

Du fait du nombre élevé d'éléments ajoutés au fer, de la gamme étendue de leur teneur, les aciers présentent un nombre assez grand de nuances différentes. On peut les classer alors selon leur composition chimique, ou bien, selon leur domaine d'utilisation. C'est cette dernière classification, qui nous permet de considérer les quatre familles suivantes.

### I.5.1 Aciers ordinaires

Les aciers d'usage général ou bien acier ordinaire, sont aussi appelés aciers au carbone. Ils ont une teneur maximale de 0.25% en masse de Carbone, constituant environ 80% de la production des aciers (**Tableau I.3**). Ces aciers contiennent des éléments d'addition en faible quantité, et des impuretés dont la présence découle de leur mode d'élaboration.

**Tableau. I.3** : Aciers d'usage général.

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

### a. Propriétés des aciers ordinaires

Les principales propriétés de ces aciers susceptibles d'être améliorées sont, comme suit :

- Une résistance mécanique à l'état normalisé ou à l'état recuit ;
- La trempabilité ;
- Une bonne soudabilité ;
- Une tenue à chaud ;
- Une résistance à l'usure et à la corrosion ;
- Insensible au traitement thermique ;
- Amélioration des propriétés par écrouissage ;
- Limite d'élasticité intéressante.

### b. Désignation des aciers ordinaires [14]

Selon la norme NF EN 10027, les aciers ordinaires sont désignés suivant deux classes. La désignation commence par la lettre **S** pour les aciers d'usage général, et par la lettre **E** pour les aciers de construction mécanique ; le nombre qui suit indique la valeur minimale de la limite d'élasticité de l'acier, (en MPa).

**S235** : Acier d'usage général, avec :

Re = 235 MPa
--------------

**E335** : Acier de construction mécanique, avec :

Re = 335 MPa
--------------

### c. Domaines d'utilisation

Ces aciers sont utilisés sans traitement thermique, leur usage est destiné pour de multiples constructions, notamment, pour les charpentes métalliques, les bâtiments, les ponts et les immeubles, en mécanique générale, la construction navale, ainsi qu'aux chemins de fer.

## I.5.2 Aciers de Traitement Thermique

Les aciers alliés ou non alliés de traitements thermiques sont définis, en fonction de leurs composition chimique. Cette dernière permet de déterminer les traitements qu'on peut leur appliquer en fonction des propriétés recherchées.

### a. Aciers non alliés [14]

Ces aciers sont intermédiaires entre des aciers d'usage général de type **A**, et des aciers fins de type **XC**; On peut leur faire subir un traitement thermique mais les caractéristiques mécaniques obtenues peuvent - être assez variables d'un lot à l'autre, et aussi à l'intérieur du même lot.

Selon la norme **NF EN 10027**, la désignation des aciers non alliés se compose de la lettre **C** suivie du pourcentage de la teneur moyenne en carbone multipliée par 100.

Ces aciers sont employés en constructions mécaniques, conviennent aux traitements thermiques, et au forgeage.

**Tableau. I.4** : Tableau de désignation des aciers non alliés.

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

### b. Aciers alliés

On distingue deux catégories d'aciers alliés :

#### - Aciers faiblement alliés

Sont des aciers dans lesquels, il n'existe aucun élément d'addition qui atteint la teneur de 5%.

Leur désignation se compose de 3 étapes :

- Un nombre entier, égal à cent fois le pourcentage de la teneur moyenne en carbone.
- Un ou plusieurs groupes de lettres qui sont les symboles chimiques des éléments d'addition rangés dans l'ordre des teneurs décroissantes.
- Une suite de nombre rangés dans le même ordre que les éléments d'alliage, et indiquant le pourcentage de la teneur moyenne de chaque élément.

Les teneurs sont multipliées par un coefficient multiplicateur variable en fonction des éléments d'alliage (**Tableau I.5**).

L'apport des éléments d'alliage va permettre l'augmentation de la résistance mécanique et de la profondeur de trempe.

Tableau. I.5 : Désignation des aciers faiblement alliés.

Nuance	R <sub>min</sub>	Re <sub>min</sub>
38 Cr 2	800	650
34 Cr 4	880	660
37 Cr 4	930	700
41 Cr 4	980	740
55 Cr 3	1100	900
100 Cr 6	HRC ≥ 62	
25 Cr Mo 4	880	700
35 Cr Mo 4	980	770
42 Cr Mo 4	1080	850
16 Cr Ni 6	800	650
17 Cr Ni Mo 6	1130	880
30 Cr Ni Mo 8	1030	850
51 Cr V 4	1180	1080
16 Mn Cr 5	1080	835
20 Mn Cr 5	1230	980
36 Ni Cr Mo 16	1710	1275
51 Si 7	1000	830
60 Si Cr 7	1130	930
NOTA : Cette symbolisation s'applique aussi aux aciers non alliés de décolletage.		

### - Aciers fortement alliés

Sont des aciers dans lesquels, il y' aura au moins un élément d'addition qui atteint la teneur supérieure de 5%.

La désignation des aciers fortement alliés commence par la lettre **X** suivie de la même désignation que celle des aciers faiblement alliés, à l'exception des valeurs des teneurs qui sont des pourcentages nominaux réels.

### I.5.3 Aciers à outils

Les aciers à outils ont une importance technologique primordiale, aucune étape de la fabrication, et, quel que soit le procédé employé ne peut se passer d'outil. La production mondiale de ce genre d'acier ne représente qu'un faible pourcentage.

Les caractéristiques d'utilisation de ces aciers sont semblables à celles des aciers alliés, mais, elles exigent l'amélioration d'un certain nombre de propriétés : la dureté, la trempabilité, la tenue à chaud, la ténacité, la résistance et la résistance aux chocs thermiques.

Ces aciers sont destinés pour des travaux à froid, des travaux à chaud, ainsi que pour le formage et l'usinage.

Les principales propriétés des aciers à outils sont :

- Une dureté à l'ambiante supérieure à 60 HRC.
- Un maintien d'une dureté et d'une ténacité élevée à chaud → addition importante d'éléments carburigène tels que (W, Mo, V) associés au chrome (qui améliore la trempabilité) et au cobalt.
- Élaboration et traitements thermomécaniques complexes.

- Résistance au frottement, à l'usure, et à la fatigue sont améliorée par des traitements superficiels.

### I.5.4 Aciers inoxydables [4]

Lorsqu'on ajoute au fer des quantités croissantes de chrome, on constate que la résistance à la corrosion atmosphérique augmente.

En effet, l'addition de chrome au fer, provoque une réaction qui permet la formation en surface d'un film de passivation invisible et protecteur, qui rend le métal **passif**. Compte tenu de ces observations, on convient d'appeler l'acier inoxydable, un alliage Fer / Chrome ou la teneur en chrome est supérieure à environ 12%. Ces aciers sont résistants à de nombreux milieux corrosifs, et, dans des limites étendues de température. C'est la qualité du film de passivation qui détermine les qualités d'inoxidabilité de l'acier. Ceci implique que ce film ne doit pas être endommagé, par des actions extérieures telles que des rayures...etc.

La résistance à la corrosion de l'acier inoxydable provient justement de l'oxydation naturelle de la surface de l'alliage. Bien qu'extrêmement mince, la pellicule protectrice qui se forme à la surface adhère fortement, elle est chimiquement stable, c'est-à-dire passive, dans un environnement qui lui procure suffisamment d'oxygène.

L'acier inoxydable ne peut - être considéré comme indestructible, son état de passivité peut- être rompu dans certaines conditions, ce qui occasionnera alors de la corrosion.

La nuance d'inox correspond à la composition chimique du métal, non à son aspect de surface. Elle influe essentiellement sur sa tenue à la corrosion et ses caractéristiques mécaniques. Il existe plus de cent (100) nuances d'inox, classées en cinq (5) grandes familles (Norme Européenne EN 10088).

On peut classer les aciers inoxydables d'après la structure cristalline qu'ils prennent après un traitement bien déterminé. Il existe trois ( 3) familles d'aciers inoxydables :

- **Les aciers Ferritique** (structure cubique centrée CC).
- **Les aciers Martensitique** (structure quadratique).
- **Les aciers Austénitique** (structure cubique faces centrées CFC).

#### a. Les aciers Ferritiques (magnétiques)

Ces aciers ne prennent pas la trempe, ils sont appelés ferritique parce que leur structure cristalline est la même que celle du fer, à température ambiante. Ils possèdent une teneur en carbone très faible (de l'ordre de 0,07% de carbone), la teneur en chrome est comprise entre 11 et 29%, et, ne contiennent pas de nickel.

Les aciers ferritique sont magnétique, à température ambiante. Ils sont moyennement ductiles.

#### b. Les aciers Martensitique (magnétiques)

Ces aciers peuvent prendre la trempe, et, sont susceptibles de donner des caractéristiques mécaniques variées suivant la teneur en carbone, et, le traitement thermique (trempe, revenu, recuit), ils ont une très bonne trempabilité, en général.

Toutefois, il faut noter que l'accroissement des caractéristiques par la trempe et le revenu est inévitablement associé à une augmentation de la sensibilité à la corrosion.

Les aciers martensitiques sont en général moins résistants à la corrosion que les aciers ferritiques. Les aciers martensitiques, les plus courants ont une teneur en chrome de 13% et

des teneurs en carbone supérieures à 0,08%. (Exemple d'utilisation : lames de couteaux de cuisine).

**c. Les aciers Austénitiques (amagnétiques)**

Il existe deux sortes d'aciers austénitiques :

- Les austénitiques au Chrome-Nickel (18% de Chrome et 8% de Nickel), sont très résistants à la corrosion grâce à la présence du chrome, sont aussi très ductiles. Ces aciers ont une structure cubique à faces centrées à température ambiante. Cette structure est amagnétique, et peut - être conservée à la température ambiante grâce à des éléments d'alliage appropriés dont le plus connu est le nickel.

- Les aciers austénitiques au Chrome-Nickel-Molybdène (18% de Chrome, 10% de Nickel et 2% de Molybdène), sont destinés pour les milieux les plus agressifs.

**I.6 Choix de la nuance des aciers inoxydables**

Le choix de la nuance dépend principalement :

- Des conditions atmosphériques et environnementales.
- De la conception architecturale.
- De l'aspect de surface à obtenir.
- De la fréquence des entretiens.

Le chrome assure la résistance à la corrosion, le nickel améliore la ductilité et la résistance à certaines formes de corrosion.

Le traitement de finition est très important pour les qualités de résistance à la corrosion.

Le Tableau suivant donne les Caractéristiques des aciers inoxydables pour faciliter leurs choix :

**Tableau. I.6 :** Caractéristiques des aciers inoxydables.

<b>Désignation</b>	<b>Type</b>	<b>Description</b>	<b>Application</b>
<b>X 4 Cr Ni 18 10</b>	304	18% de Chrome, 10% de Nickel Code de couleur : Jaune.	Eviers, architecture, échappement automobile, coutellerie, vaissellerie tuyauterie...etc.
<b>X 1 Cr Ni 18 12</b> <b>X 1 Cr Ni 18 09</b>	304 L	Moins de carbone que l'acier 304.	Brasserie, laiterie, industrie alimentaire et pharmaceutique.
<b>X 8 Cr Ni 18 12</b>	305	18% de Chrome, 12% de Nickel Formage : Bon.	Identique à l'inox 310.
<b>X 1 Cr Ni 23 14</b>	309	23% de Chrome, 14% de Nickel Résistance élevée à l'oxydation.	
<b>X 1 Cr Ni 25 20</b>	310	25% de Chrome, 20% de Nickel Résistance très élevée à l'oxydation.	Fours, usines métallurgique, échanges calorifiques.
<b>X 3 Cr Ni Mo 17 11 2</b>	316	17% de Chrome, 11% de Nickel, et 2% de Molybdène Résistance élevée à la corrosion.	Usines chimiques et pétrochimiques, architecture, brasseries.

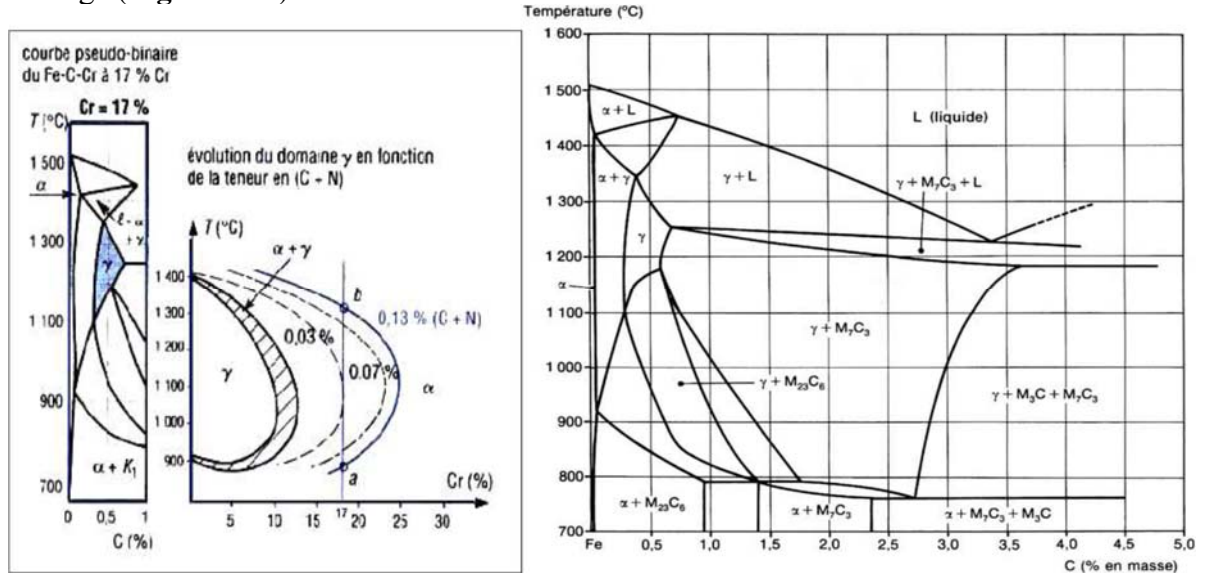
<b>X 2 Cr Ni Mo 17 12</b>	316 L	Moins de carbone que le 316 Code de couleur : Rouge.	Pétrochimie, marine, hôpitaux, équipements pour la restauration.
<b>X 2 Cr Ni Mo 18 12 2</b>	317	18% de Chrome, 12% de Nickel, 2% de Molybdène Résistance très élevée à la corrosion.	Usines chimiques et pétrochimique, distillation d'acide acétique.
<b>X 2 Cr Ni Mo 19 15 4</b>	317 L	Moins de carbone que le 317	
<b>X 6 Cr Ni Ti 18 10</b>	321	18% de Chrome, 10% de Nickel, et du Titane. Code de couleur : Bleu.	Pièces pour aviation, industrie chimique et pétrochimique, éléments de chauffage.
<b>X 6 Cr Ni Ti S 18 10</b>	325	Contient du Soufre, (usinage facilité).	
<b>X 6 Cr Ni Nb 18 10</b>	347	18% de Chrome, 10% de Nickel, et du Niobium. Résistance à la sensibilisation et à l'acide nitrique concentré.	Usines de transformation, pièces pour l'aviation.
<b>Aciers martensitiques : magnétiques, trempe possible, résistance modérée à la corrosion.</b>			
<b>X 10 Cr 13</b>	410	13% de Chrome.	Pièces pour pompes et turbines, mécanique générale, lame de couteaux, valves.
<b>X 11 Cr S 13</b>	416	13% de Chrome, contient du soufre, (usinage facilité par rapport à l'inox 410).	Construction, wagons de chemins de fer, transport miniers.
<b>X 20 Cr 13</b>	420	Résistant à la chaleur.	
<b>X 15 Cr Ni 16 2</b>	431	16% de Chrome, 2% de Nickel.	
<b>Aciers ferritiques : magnétiques, aciers au chrome, résistant à la corrosion due aux chlorures</b>			
<b>X 18 Cr 17</b>	430	17% de Chrome.	Eviers, décoration, garniture automobile.
<b>X 11 Cr Mo 17 1</b>	434	17% de Chrome, 1% de Molybdène. Résistant à la corrosion atmosphérique et au piquage.	Système d'échappements des automobiles.
<b>X 3 Cr Ti 12</b>	409	12% de Chrome et du Titane Soudable jusqu'à 2.5 mm d'épaisseur.	Construction, wagons de chemins de fer, transport miniers.
<b>X 3 Cr 12</b>	403	Inox 409 modifié. Soudable en section renforcé. Formage possible.	
<b>Aciers austénitiques : amagnétiques, aciers au chrome et nickel, bonne soudabilité, bonne résistance générale à la corrosion.</b>			
<b>X 11 Cr Ni 17 8</b>	301	17% de Chrome, 8% de Nickel Formage : possible	Construction, ressorts, plaques de friction de protection.
<b>X 10 Cr Ni 18 9</b>	302	18% de Chrome, 9% de Nickel Formage : Bon	Ressorts et produits exigeant une bonne résistance à la fatigue. Lame d'interrupteur, pièces pour horlogerie.
<b>X 8 Cr Ni S 18 9</b>	303	Usinage plus facile que l'inox 302.	Poulies, engrenages, crémaillère. Usinage en série, automates.

## I.7 Système Fer-Carbone – Chrome [3]

Dans le système Fe-C - Cr, On peut constater deux régions essentielles de teneur en chrome.

### I.7.1 Teneur en chrome supérieure à 11,5%

Ces alliages sont toujours ferritiques, et de ce fait, ne peuvent pas subir de durcissement par trempe martensitique. Cependant, pour des teneurs suffisantes en Cr, il y a possibilité d'apparition d'une phase intermédiaire, dite phase ( $\sigma$ ), qui pour des refroidissements lents, précipite dans la matrice ferritique ou aux joints de grains entraînant une fragilisation de l'alliage (**Figure I.10**).



**Figure. I.10** : Coupe Pseudo-binaire du diagramme Fer – Carbone - Chrome à 17 % de chrome (Diagramme d'équilibre d'acier inoxydable ferritique)

### I.7.2 Teneur en chrome inférieure à 11,5%

Dans ce cas, les alliages ont la possibilité d'être austénitisés totalement ou partiellement et peuvent donc subir la transformation  $\gamma \rightarrow \alpha$  par un refroidissement lent ou rapide.

## I.8 Caractéristiques de l'acier inoxydable X8 Cr17

Ce matériau est un acier inoxydable ferritique, il a une teneur en chrome supérieure à 10,5%. L'inox ferritique, comme tous les aciers inoxydables, se protège en continu de la corrosion grâce à la couche protectrice d'oxyde de chrome qui se forme naturellement et rapidement à sa surface, par contre, il ne contient pas de nickel (contrairement aux autres aciers inoxydables). Il n'est pas trempable et fortement magnétisable. Du fait de sa structure ferritique, cet acier est moins résistant à la corrosion que les aciers inoxydables de la famille 300.

### I.8.1 Composition chimique

Selon la norme DIN, la composition chimique (en %), de l'acier inoxydable X8 Cr17 est la suivante (**Tableau I.7**) :

**Tableau. I.7 :** Composition chimique de l'acier inoxydable X8 Cr17.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Autres
< 0.08	< 1.00	< 1.00	< 0.04	< 0.030*	16 - 18	-	-	-
* S < 0.015% pour tôle et feuillard à chaud.								

### I.8.2 Propriétés mécanique

Les principales propriétés mécaniques de l'acier inoxydable X8 Cr17, sont les suivantes (voir le **Tableau I.8**) :

- ✓ La résistance à la rupture :  $R_m = (450 - 600 \text{ MPa})$
- ✓ La limite d'élasticité :  $R_e = 270 \text{ MPa}$
- ✓ Allongement à la rupture :  $A\% = 20\%$  :

**Tableau. I.8 :** Propriétés mécaniques de l'acier X 8 Cr 17.

Etat	Limite élastique $R_{p0.2}$ [MPa]				Résistance de rupture $R_m$ [MPa]	Allongement de rupture $A_5$ [%]	Dureté Vickers [HV]
	20°C	100°C	200°C	300°C			
Recuit	270	-	-	-	450 - 600	20	135 - 180

### I.8.3 Mise en œuvre

L'aptitude au formage de cet acier dépend essentiellement de l'épaisseur du matériau. Il reste à éviter les pliages à angles vifs parallèles au sens du laminage, ou adopter des rayons d'au moins le double de l'épaisseur. Le formage doit avoir lieu à température ambiante ou au-dessus, en raison de la fragilité intrinsèque des aciers ferritiques. Les paramètres d'usinage sont comparables, à ceux de l'acier doux.

D'un autre côté, cet acier est soudable conditionnellement par point, par résistance, à l'électrode enrobée ou par TIG/MIG. Un préchauffage entre 100 et 300°C, dépendant du métal d'apport, est nécessaire pour les épaisseurs supérieures à 3 mm .

Un traitement thermique entre 700 et 800°C consécutif au soudage est nécessaire pour restaurer la résistance à la corrosion inter cristalline.

### I.8.4 Domaines d'application

Les domaines dans lesquelles l'acier X8 Cr17 est applicable, sont principalement dans les secteurs reliés à la santé humaine; Les principaux sont :

- La fabrication des ustensiles de cuisine.
- L'appareillage ménager.
- La construction automobile.

### I.8.5 Les avantages de l'utilisation de l'acier inoxydable ferritique X8 Cr17

Les principaux avantages de l'utilisation de l'acier inoxydable ferritique X8 Cr17 dans l'industrie de l'électroménager, sont :

- Apte au contact alimentaire.
- Hygiénique et facile à nettoyer.
- Résistant au feu, à la température, à la corrosion, et aux acides.
- Résistant aux chocs.
- 100% recyclable, et recyclable à l'infini.

## **I.9 Conclusion**

Dans ce chapitre, on a défini l'acier, le comportement de sa microstructure, et on a constaté qu'il existe plusieurs types d'aciers, ils se différencient tout en ajoutant des éléments d'alliage. Chaque type d'acier dépend de sa composition chimique, ainsi qu'au domaine d'utilisation, en assurant sa durabilité dans les conditions de son emploi, en particulier environnementales.

Le choix de l'un d'eux dépend des propriétés exigées, par rapport à leur microstructure, soit au stade d'élaboration, aux traitements thermiques et thermochimiques, pour assurer une bonne fonctionnalité, et une durée de vie appréciable de la pièce à réaliser.

Notre pièce (Rondelle de fixation), est fabriquée à partir d'acier inoxydable ferritique à 17% de chrome, (X 8 Cr 17), celui-ci se protège en continu, de la corrosion grâce à la couche protectrice d'oxyde de chrome qui se forme naturellement et rapidement à sa surface. Apte au contact alimentaire, hygiénique, Résistant au feu, et non corrosif, tous ces avantages nous ont permis de choisir cet acier inoxydable ferritique, pour la réalisation de la rondelle de fixation de vitre intérieure d'une cuisinière ENIEM.

## **CHAPITRE II**

### **PROCÉDÉS D'OBTENTION DES TÔLES ET MISE EN FORME DES PIÈCES MÉCANIQUES**

## PROCÉDÉS D'OBTENTION DES TÔLES ET MISE EN FORME DES PIÈCES MÉCANIQUES

### II.1 Introduction

On entend par tôle, un produit métallique plat, qui peut se présenter sous forme de feuilles ou de bobines. Examinons le plus complètement possible les différents types de tôles formables, en donnant le sens le plus large à ce dernier mot. La fabrication des pièces de tôle aux formes demandées, est obtenue par différentes opérations.

Le but de cette dernière est de conférer à une pièce métallique des dimensions situées dans une fourchette de tolérances données. Les principaux procédés d'obtention des pièces mécaniques sont apparus progressivement, donnant naissance par la suite à diverses variantes, parfois très nombreuses. Les formes modernes des divers procédés sont le plus souvent apparues récemment pour assurer la production en grande série de pièces à faible coût. On note les divers procédés des principaux travaux par déformation plastique : « Emboutissage, Découpage, Poinçonnage, Pliage,...etc. ».

### II.2 Les produits plats

Les produits plats sont des produits de section droite presque rectangulaire et dont la largeur est très supérieure à l'épaisseur. Leur surface est techniquement lisse, sont généralement, des tôles qui peuvent se présenter sous forme de feuilles ou de bobines.

### II.3 Procédés d'obtention des tôles [6]

Les étapes globales permettant de transformer la brame (bloc d'acier brut), en une bande mince et large embobinée à chaud, ayant les caractéristiques géométriques et métallurgiques ainsi que l'état de surface requis pour sa transformation ultérieure, sont comme suit :

- Après l'obtention du brut, la brame passe par le procédé de **laminage**, qui est une opération de mise en forme par déformation plastique, destinée à réduire la section d'un produit de grande longueur, par passage entre deux ou plusieurs outils tournant autour de leur axe, et en sens inverse; C'est la rotation des outils qui entraîne le produit dans l'emprise par l'intermédiaire du frottement.
- **Le laminage à chaud** s'impose pour deux raisons capitales : La première est que la résistance à chaud du métal décroît très rapidement avec la température, la seconde est d'ordre métallurgique.
- **Le laminage à froid** provoque un écrouissage du métal. Le laminage ne peut se poursuivre au-delà de la limite de rupture, par ailleurs l'écrouissage peut entraîner un dépassement des capacités de puissance du système de laminage à froid.

En pratique, les premières séries de réductions commencent à chaud afin d'atteindre facilement de fortes déformations du matériau et d'ajuster les propriétés métallurgiques du produit. Le passage à froid est ensuite nécessaire pour obtenir les caractéristiques géométriques et mécaniques adéquates, ainsi qu'un bon état de surface.

### II.3.1 Laminage à chaud

La brame est acheminée à travers différentes cages successives équipées de cylindres de laminage, de façon à obtenir une large bande. À la sortie de la dernière cage, la bande est refroidie par un processus d'arrosage, puis enroulée sur une bobineuse de façon à former une bobine. La bobine est ensuite déroulée sur une ligne de déroulage, redressée, planée et coupée à la longueur souhaitée, pour obtenir des tôles. Cette technique s'applique couramment à des largeurs allant jusqu'à 2150 mm et des épaisseurs allant jusqu'à 25 mm (tout dépend notamment de la capacité du laminoir à bandes, de la ligne de déroulage, de la qualité demandée, ...). La tôle laminée à chaud non décapée est souvent qualifiée de tôle "noire".

Les bobines laminées à chaud peuvent être décapées jusqu'à une épaisseur et une largeur données. Le décapage (traitement chimique) élimine la calamine et les impuretés de la surface du produit. Pour éviter la corrosion de la surface traitée, une couche protectrice est appliquée (généralement un mince film d'huile). La norme EN 10051 reprend les tolérances sur les dimensions et la forme des bobines et des tôles à chaud décapées ou noires.

### II.3.2 Laminage quarto

Dans le laminoir quarto, la brame est laminée dans deux cages quarto (constituée de quatre cylindres), une dégrossisseuse et une finisseuse, jusqu'à obtenir l'épaisseur voulue. La plaque ainsi obtenue est refroidie et aplanie. Cette technique permet de laminier des plaques plus larges et/ou plus épaisses que dans un laminoir à chaud de train à bandes. Selon la qualité demandée, les propriétés mécaniques de la tôle quarto sont souvent améliorées après le laminage par des traitements thermiques comme la normalisation. La norme EN 10029 précise les tolérances sur les dimensions et la forme de la tôle quarto.

Les cages des laminoirs sont généralement **quarto**, composées de deux cylindres de travail de faible diamètre (de l'ordre de 10 cm), assurant le laminage, et de deux cylindres d'appui de diamètre plus grand, comme schématisé sur la **Figure I.1**. Différents actionneurs de la cage « vis de serrage, vérins,... etc. », permettent de régler l'épaisseur correcte en sortie d'emprise.

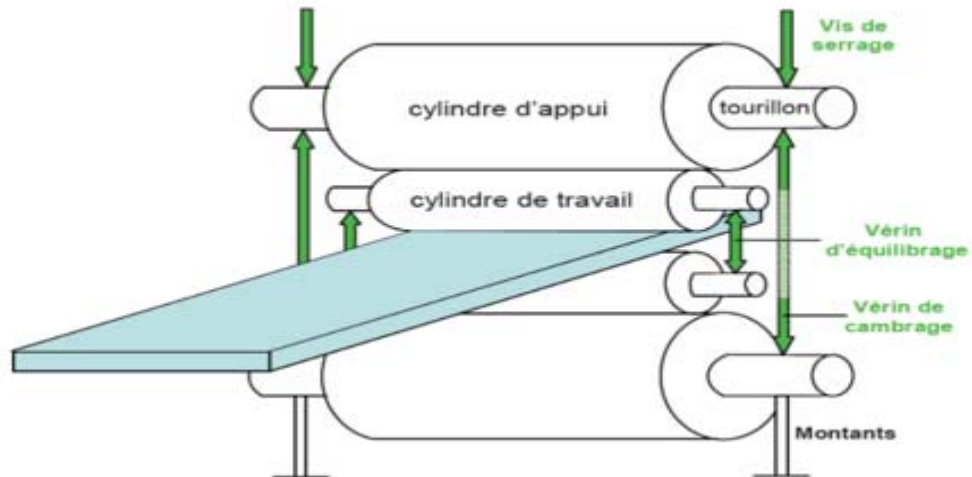


Figure. II.1 : Schéma d'une cage quarte de laminage

### II.3.3 Laminage à froid

La bobine laminée à chaud et décapée peut être travaillée davantage dans un laminoir à froid. Ce laminoir se compose d'une série de laminoirs en tandem à travers lesquels la bande laminée à chaud et décapée passe et subit une réduction d'épaisseur. La bande se réenroule à la sortie avec une épaisseur de 0,3 mm à 2,99 mm selon le résultat souhaité et programmé. La norme EN 10131 donne les tolérances sur les dimensions et la forme de la tôle laminée à froid. Cette bande laminée à froid peut ensuite être revêtue d'une couche de protection.

Le laminage à froid est généralement réalisé sur des laminoirs réversibles multicylindres, où plusieurs cages se succèdent, il s'agit d'un train de laminage (Voir la **Figure II.2**). Deux bobineuses sont disposées de chaque côté des cages pour assurer la traction de la bande. Le laminage s'effectue sous film d'huile minérale afin de faciliter l'écoulement du métal, éliminer la chaleur produite par le laminage et lubrifier les équipements internes de la cage de laminage.



Figure. II.2 : Train de laminage.

## II.4 L'emboutissage [8]

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique d'une surface de métal entraînée par un poinçon dans une matrice. Il s'agit d'un procédé de mise en forme très utilisé dans l'industrie, permettant d'obtenir des pièces de surfaces complexes à partir de feuilles de tôle minces, montées sur presse. La tôle appelée « flan », est la matière brute qui n'a pas encore été emboutie. L'opération peut - être réalisée avec ou sans serre flan pour maintenir le flan contre la matrice pendant que le poinçon déforme la feuille. Cette opération permet d'obtenir rapidement des tôles embouties à moindre cout.

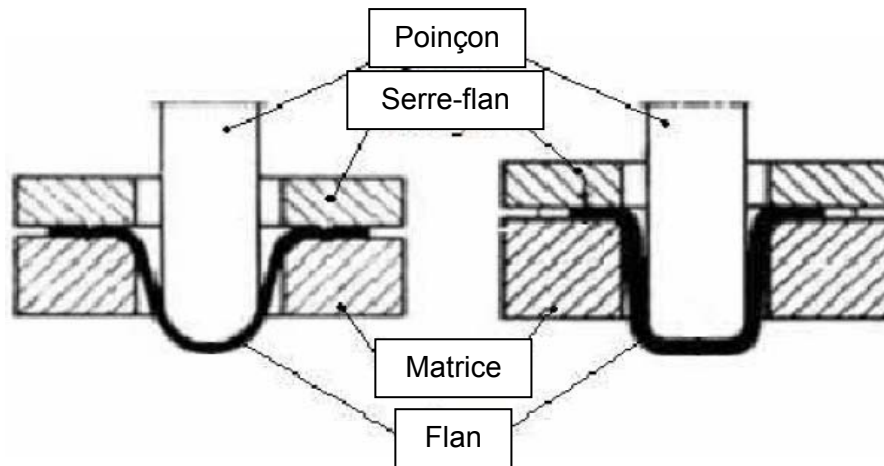


Figure. II.3 : Emboutissage.

### II.4.1 Principe de l'emboutissage [7]

Le principe est basé sur la déformation plastique du matériau. L'emboutissage passe par les phases suivantes :

- **Phase 1** : Poinçon et serre flan sont relevés. La tôle, préalablement graissée, est posée sur la matrice (voir la **Figure II.4**).

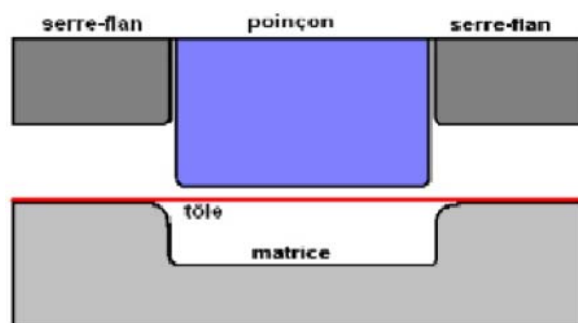
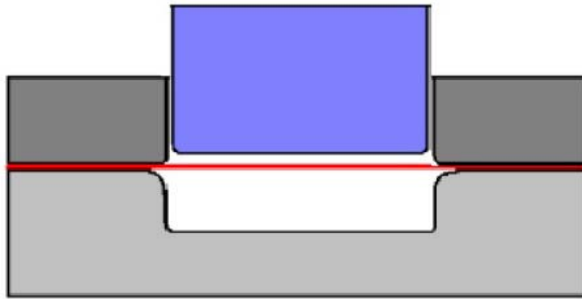


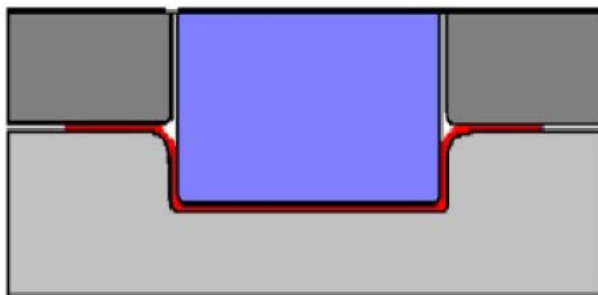
Figure. II.4 : Phase 1 de l'emboutissage.

- **Phase 2** : Le serre-flan est descendu et vient appliquer une pression bien déterminée, afin de maintenir la tôle tout en lui permettant de fluer (voir la **Figure II.5**).



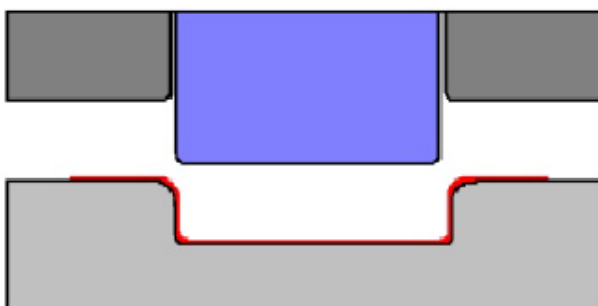
**Figure. II.5** : Phase 2 de l'emboutissage.

- **Phase 3** : Le poinçon descend et déforme la tôle de façon plastique, en l'appliquant contre le fond de la matrice (voir le **Figure II.6**). La tôle étant maintenue avec glissement possible entre le serre fan et la matrice, le poinçon est abaissé et vient plaquer la tôle, en la déformant, contre le fond de la matrice



**Figure. II.6** : Phase 3 de l'emboutissage.

- **Phase 4** : Le poinçon et le serre flan se relèvent : la pièce conserve la forme acquise (limite d'élasticité dépassée) (voir la **Figure II.7**). La pièce formée reste au fond de la matrice. Il reste jusqu'à l'éjection et son détournage.



**Figure. II.7** : Phase 4 de l'emboutissage.

- **Phase 5** : On procède au **détourage** de la pièce, c'est-à-dire à l'élimination des parties devenues inutiles. (Essentiellement les parties saisies par le serre-flan).

## II.4.2 Techniques d'emboutissage [11]

Les principales techniques d'emboutissage existantes dans l'industrie, sont comme suit :

### a. Emboutissage à froid

Cette technique consiste à former une pièce à une température ambiante. Elle est principalement utilisée sur un outillage avec serre flan, mais peut aussi l'être sur un outillage sans serre flan dans le cas où les emboutis sont peu profonds ou s'ils nécessitent peu d'effort de serrage. Ce type de formage permet d'obtenir une meilleure précision dimensionnelle, limite les coûts et évite la formation d'oxydes.

### b. Emboutissage à chaud

L'emboutissage à chaud est principalement utilisé sur presses hydrauliques simple ou double effet, le formage de fonds de réservoir en acier est le plus important domaine d'application. Cette technique facilite la déformation du matériau, permet l'emboutissage de pièces profondes par chauffage du flan (et de la matrice). Les cadences de production de l'emboutissage à chaud sont moins élevées que celles de l'emboutissage à froid du fait de l'inertie de chauffage. De plus, les pièces finies sont de moins bonne qualité, que ce soit au niveau de l'état de surface ou du dimensionnement.

## II.4.3 Effort d'emboutissage

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

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

Avec :

**F<sub>e</sub>** : Effort d'emboutissage, (en daN).

**d** : Diamètre du poinçon, (en mm).

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

**R<sub>m</sub>** : 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).

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

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

### - Effort sur le serre-flan $F_s$

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

Avec :

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

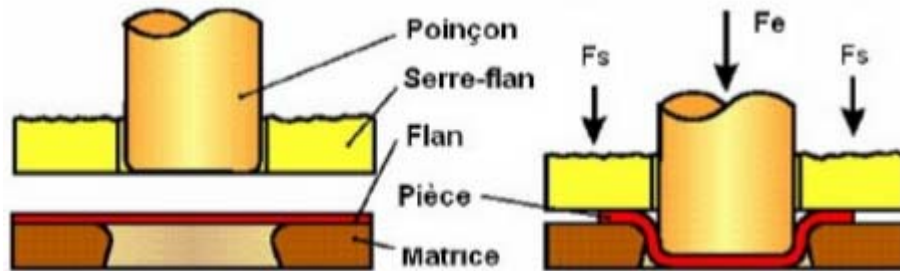


Figure. II.8 : Direction des efforts  $F_e$  et  $F_s$ .

## II.5 Le découpage [10]

Le découpage mécanique fait partie des procédés de transformation à froid des métaux, effectué sur des presses. Ce type de procédé est de loin le plus pratiqué dans le domaine industriel, et, constitue le procédé le moins coûteux et le plus rapide pour obtenir un profil donné dans un produit plat en grande, moyenne, voir petite séries.

Le découpage consiste à obtenir des pièces par cisailage des tôles. Plus particulièrement, il consiste à séparer en deux parties, une tôle ou une bande de matière suivant un contour fermé. L'opération s'effectue sur une presse par l'intermédiaire d'un outil dont les parties travaillantes, sont les poinçons et les matrices. L'élément de tôle détaché est appelé le flan. L'organe principal du procédé est un outil constitué de deux éléments montrés sur la **Figure II.9** :

- **Une matrice**, qui a un évidement correspondant à la forme de la découpe souhaitée.
- **Un poinçon**, avec une forme complémentaire, généralement animé d'un mouvement de translation.

Deux autres éléments principaux entrent en jeu lors du découpage, sont :

- **Une bande de tôle à découper (flan)**, s'obtient par une séparation suivant une ligne fermée dans une bande ou une feuille.
- **Un serre flan ou bien dévêtisseur**, qui a pour fonctions le maintien de la bande au cours du découpage, le guidage précis des poinçons par rapport aux matrices et le dévêtissage des poinçons de la matière découpée.

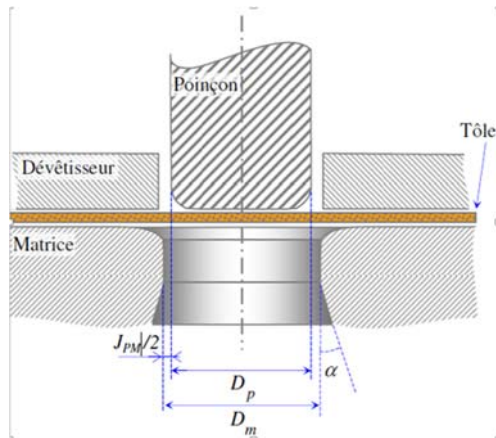


Figure. II.9 : Principe du découpage.

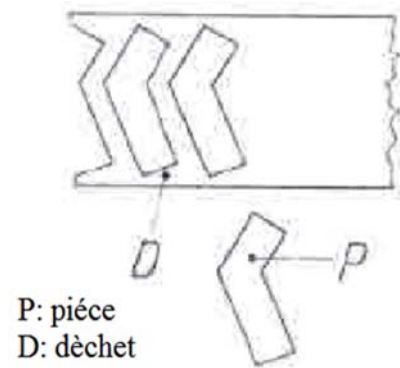


Figure. II.10 : Pièce découpée.

En fonction de la complexité géométrique de la découpe, un outil de découpage peut contenir plusieurs postes de découpage. Il fait partie d'un ensemble d'éléments et d'équipements spécifiques qui assurent la réalisation de la découpe. Cet ensemble est appelé communément une ligne de découpage montré sur la **Figure II.11**.

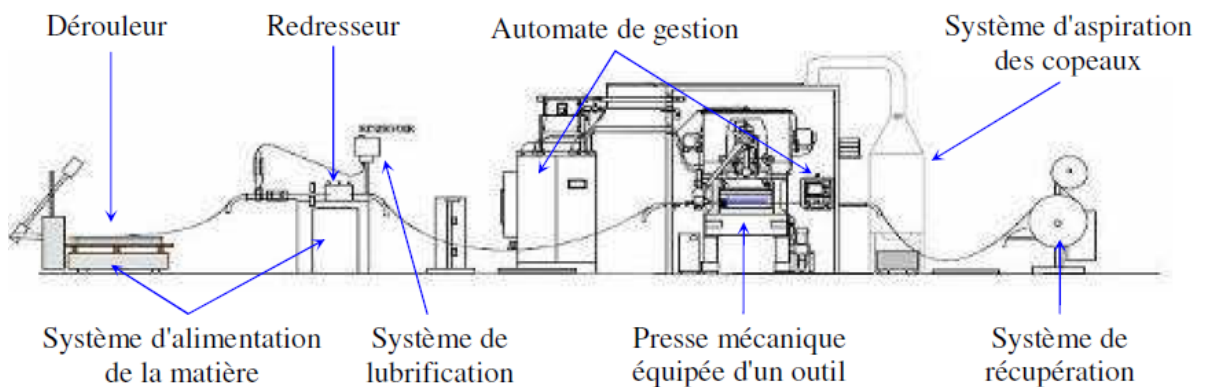


Figure. II.11 : Ligne de découpage et ses périphéries.

## II.5.1 Différents types de découpage

### a- Cisailage

Le cisailage est une technique de découpage sans création de déchet. Il consiste à séparer un flan suivant un contour non fermé qui affecte toute la largeur de la bande. Il s'agit de la séparation totale ou partielle d'un élément métallique, à l'aide de deux lames dont l'une au moins est mobile.

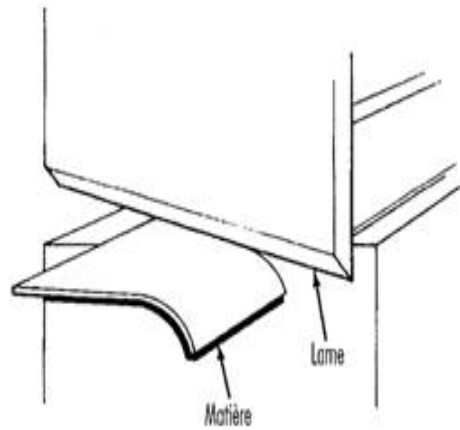


Figure. II.12: Le Cisailage.

Sous l'action de la contrainte imposée par la partie active de la lame, il se produit une déformation élastique, puis, un glissement avec décohésion du métal. La lame poursuivant sa course, provoque la rupture complète du métal intercalaire.

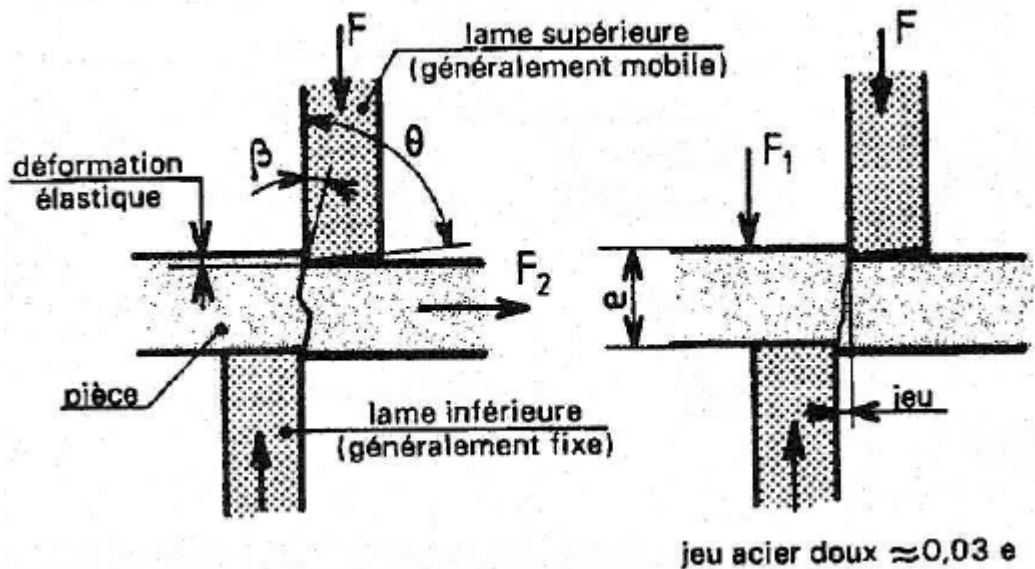


Figure. II.13 : Paramètres entrants lors du cisailage. [12]

### b- Encochage

L'encochage est une opération qui s'effectue sur des produits finis. Il s'agit d'un découpage débouchant sur une zone partielle du métal sur le bord d'un flan ou d'une bande, sur un contour de la pièce considérée.

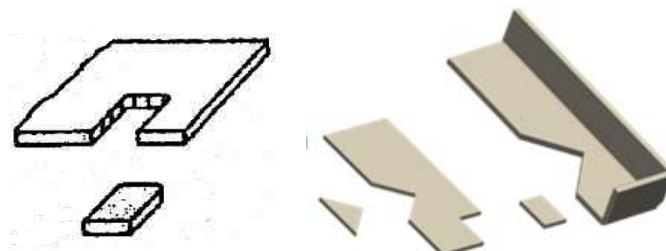


Figure. II.14: Encochage.

**c- Crevage**

Il s'agit d'un découpage partiel, suivant un contour sans enlèvement de matière. Il consiste à ne pas détacher la chute complètement de la pièce. De plus, cette opération se fait sur des tôles épaisses.

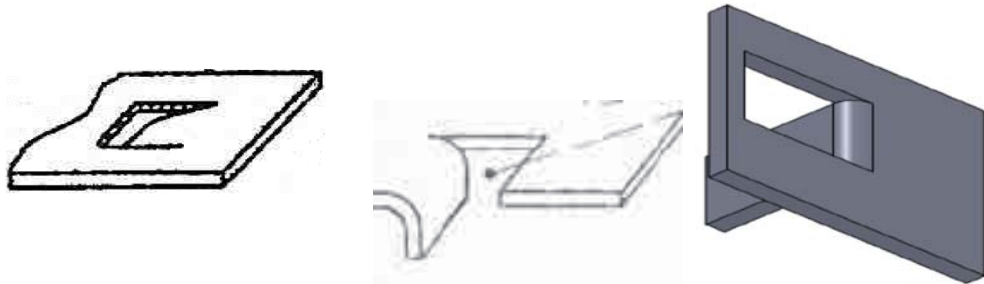


Figure. II.15: Le Crevage.

**d- Ajourage**

Il s'agit d'une opération de découpage, de réalisation de trous de grand diamètre et des formes allongées dans un flan avant d'engager d'autres opérations de pliage ou d'emboutissage.

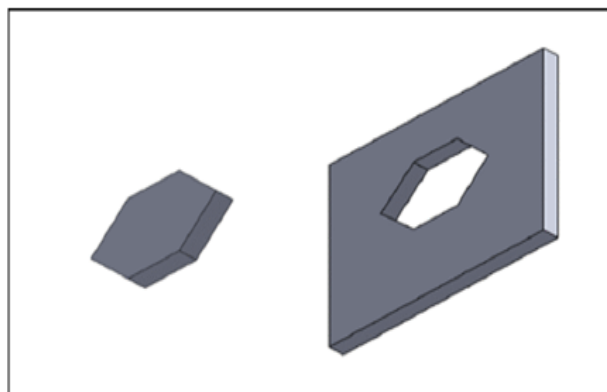


Figure. II.16: Ajourage.

**e- Détourage**

Il s'agit d'une opération de finition d'une pièce, qui consiste à découper les surfaces excédentaires autour d'une pièce préalablement finie pour obtenir la pièce finale.

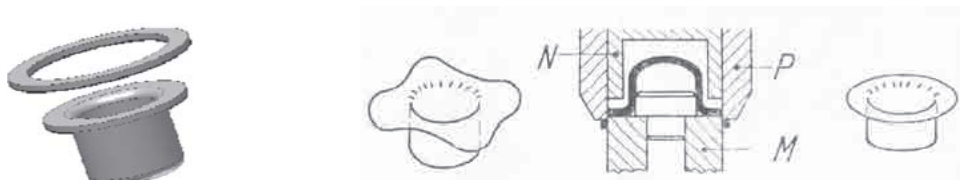


Figure. II.17: Le détourage.

### f- Soyage

Il s'agit de former un collet (relevage des bords d'un trou), il est obtenu par un perçage de la tôle, soit par un poinçon de forme pointue, ou bien par un profil déjà formé.

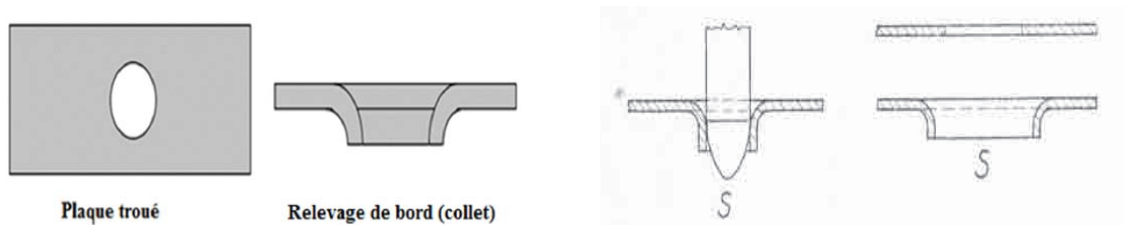


Figure. II.18: Le soyage.

### g- Grignotage

Le grignotage s'applique généralement sur les tôles minces. Il s'agit d'une méthode de découpage par enlèvement de petites quantités de matière, suivant une saignée dont la largeur est égale à celle du poinçon. La découpe se fait suivant un tracé précis.

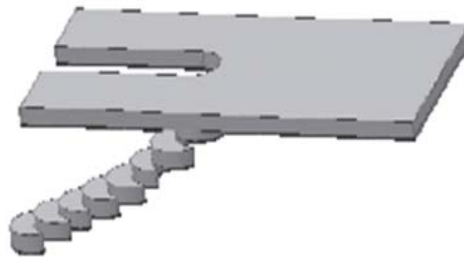


Figure. II.19: Le grignotage.

## II.6 Le poinçonnage

Le poinçonnage est un procédé semblable au découpage, mais différent par rapport au but de l'opération. Il s'agit de poinçonner, ainsi de conserver la partie extérieure du flan, et le déchet étant la partie intérieure (la surface débouché).

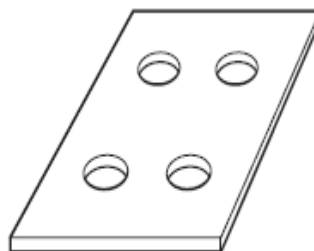


Figure. II.20: Pièce poinçonnée.

## II.6.1 Phases de poinçonnage [10]

Le poinçonnage suit un mécanisme identique au procédé de découpage, qui provoque un cisaillement de la tôle. Ce cisaillement est provoqué par l'action de deux lames de découpage dont l'une agit en opposition au mouvement de l'autre, et, dont le jeu entre les arêtes de coupe, détermine l'intensité des contraintes de cisaillement.

Sous l'action de la contrainte imposée par la partie active du poinçon, il se produit une déformation élastique, puis, un glissement avec décohésion du métal. Le poinçon poursuit sa course, et provoque la rupture complète de la tôle. Ainsi, le mouvement de découpe qui correspond à un coup de presse et à la pénétration du poinçon en vue de la découpe (un aller-retour du coulisseau entre le point mort haut et le point mort bas) peut,- être décomposé, en trois phases principales. Cette pénétration du poinçon doit être minimale afin d'éviter sa détérioration.

### - Phase 1 : Indentation du poinçon dans la tôle

Au début, l'effort croît lentement. Le poinçon s'enfonce lentement sans détacher les particules du métal, commence à pénétrer dans la tôle (légère compression), crée un bombé à l'entrée du bord découpé. Il s'agit de la phase de déformation élastique.

### - Phase 2 : Cisaillement plastique

Les fibres superficielles sont découpées, alors que les fibres intérieures sont en tension. Le poinçon crée une surface sur le bord découpé, parallèle au flanc du poinçon. Cette surface est d'aspect lisse. L'effort prend sa valeur maximum : « l'effort de cisaillement (séparation et accélération des particules du métal). Des fissures apparaissent au voisinage des arêtes coupantes, du côté poinçon et du côté matrice.

### - Phase 3 : Rupture

Avant que le poinçon n'ait traversé complètement l'épaisseur de la tôle, une fissure s'initie au niveau des arêtes de coupe de l'outil, provoquée par le dépassement de la limite élastique de la tôle. L'effort tombe jusqu'à la valeur nécessaire pour vaincre le frottement entre les parties détachées de matière et pour l'éjection de la pièce poinçonnée, ces fissures se rejoignent rapidement pour créer la rupture. La zone correspondante du bord découpé est appelée « zone arrachée », la pièce est alors poinçonnée.

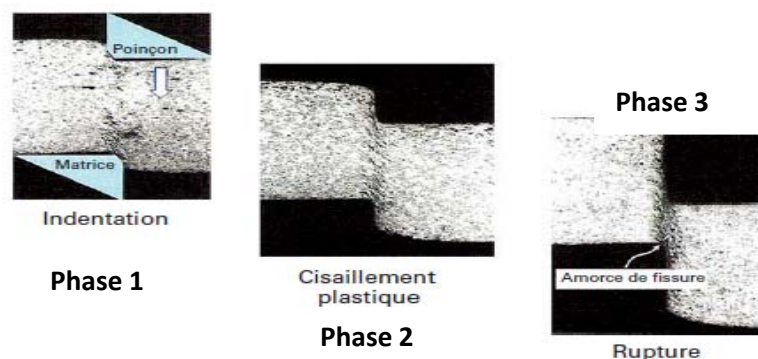


Figure. II.21: Phases de poinçonnage.

## II.6.2 Influence des paramètres de l'opération de découpage

L'étude des efforts développés au cours de l'opération de découpage a fait l'objet de nombreux travaux. Les différents travaux mettent en évidence l'influence des paramètres du procédé sur les efforts de découpe et la qualité du produit fini. Les travaux de plusieurs auteurs ont permis de recenser les paramètres qui influencent la qualité du profil découpé :

- Jeu entre le poinçon et la matrice (jeu de découpage),
- Paramètres liés au réglage de l'outil et de la presse,
- Paramètres liés à l'usure de l'outil.

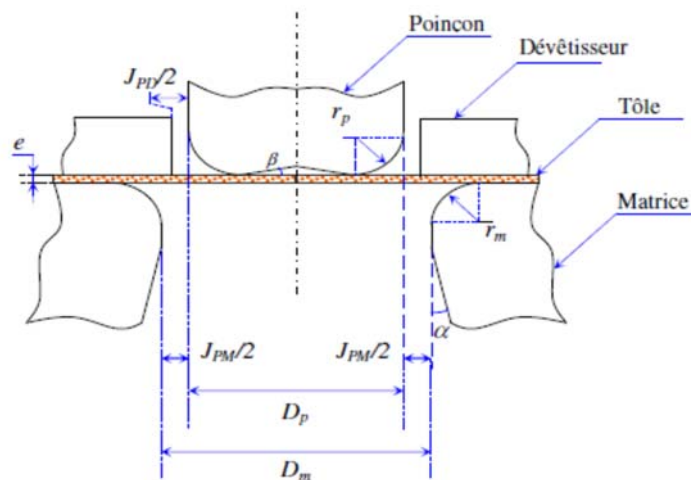


Figure. II.22: Nomenclature des éléments de la géométrie du découpage.

### II.6.2.1 Le jeu de découpage

D'une manière générale, le jeu de découpage est défini comme étant l'espace qui sépare le poinçon de la matrice. Parmi les paramètres importants de l'opération de découpage, le jeu occupe une place majeure. Pour un découpage, le jeu est à prendre sur le poinçon. Pour le poinçonnage, le jeu est à prendre sur la matrice. Donc, pour un bon fonctionnement de l'outil, il est nécessaire d'assurer un jeu fonctionnel entre la matrice et le poinçon. Il réduit le risque de grippage ou de rupture de la matrice. Il permet également de garantir une coupe nette est franche.

La valeur du jeu s'évalue en fonction de l'épaisseur de la bande de tôle (de façon à ce que les deux amorces de ruptures se rejoignent parfaitement).

- $1/20 \times e$  pour laiton et acier doux.
- $1/15 \times e$  pour acier dur.
- $1/10 \times e$  pour l'aluminium.

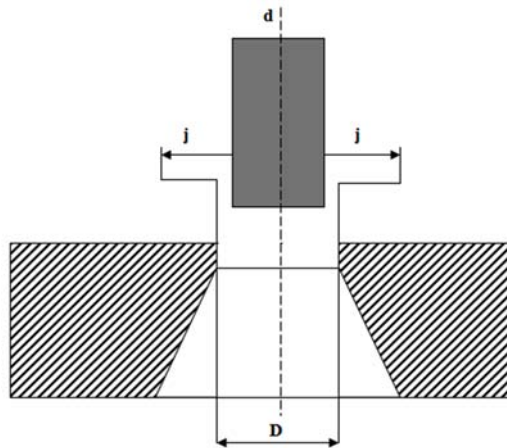


Figure. II.23: Jeu de découpage.

### II.6.2.2 Paramètres liés au réglage de l'outil

Les principaux paramètres qui influent sur le réglage de l'outil, permettant une opération de découpage réussie, sont comme suit :

#### a- Le serre-flan

Le serre-flan plaque la tôle sur la matrice pendant l'opération de découpage. Il diffère du dévêtisseur fixe sur lequel la tôle ne vient en butée qu'à la remontée du poinçon. Il offre une meilleure précision de la géométrie du découpage et une réduction de l'usure de l'outil.

- Le serre-flan permet d'empêcher une flexion de la tôle créée lors du découpage, et d'assurer ainsi, une meilleure planéité de la pièce.
- La déformation du bord du trou peut accroître la pression qu'exerce celui-ci sur les flans du poinçon et accélérer ainsi l'usure de l'outil. Bien qu'un serre-flan ait été utilisé, on constate une déformation du bord du trou qui n'apparaissait pas à chaque coup de presse. Cette déformation est liée à un défaut d'appui du serre-flan.

#### b- Pénétration du poinçon dans la matrice

La pénétration du poinçon dans la matrice est choisie généralement comme égale à l'épaisseur de la tôle. Dans certains cas, cette valeur est plus réduite et peut même être nulle. L'intérêt d'avoir une pénétration importante est grâce à un meilleur maintien de la débouchure en matrice, et d'éviter les problèmes de remontée de celle-ci en cours de fabrication. En revanche, les inconvénients sont les suivants :

- la cadence de la presse sera plus réduite car une partie plus importante du cycle de la presse sera consommée par la poussée de la débouchure.
- la maintenance de l'outil sera plus importante. En effet, la hauteur d'usure du poinçon (longueur frottée le long du bord découpé) sera accrue, nécessitant des opérations de réaffûtage plus profondes et des changements de poinçon plus fréquents.

### c- Vitesse de découpage

Des études ont montrés que l'effort maximal de découpage diminue, et la hauteur de la zone cisailée augmente lorsque la vitesse de découpage augmente, selon la cadence de la presse. Cette vitesse n'est pas seulement dépendante de la cadence de la presse, mais ainsi, elle est en relation avec les réglages de course, et de la distance de travail que fait la presse.

La vitesse s'exprime habituellement en millimètre par seconde (mm/s) et correspond à la vitesse de pénétration du poinçon dans la tôle.

## II. 6.2.3 Paramètres liés à l'usure de l'outil

### a- Lubrification

La cinétique d'usure des poinçons est fortement conditionnée par la nature et la quantité de lubrifiant employées lors de la découpe. La lubrification des outils, bien que l'on cherche à la réduire fortement actuellement, voire à l'éliminer pour des raisons économiques (réduction ou suppression du dégraissage des pièces), est d'autant plus importante dans le procédé de découpage que les contraintes exercées par la tôle sur les flancs de l'outil sont élevées. Son action reste donc essentielle pour accroître la durée de vie de l'outil.

### b- Matériaux à outil

Du fait des très fortes contraintes appliquées aux outils de découpage, les matériaux utilisés pour fabriquer les poinçons et les matrices sont choisis parmi les plus résistants à l'usure. Généralement, ceux sont des aciers à outil.

## II.6.3 Effort de découpage et de poinçonnage

Les efforts de découpage et de poinçonnage d'un outil à bande, se calculent suivant la formule II.2 ci-dessous:

$$F = K \cdot P \cdot e \cdot R_c \quad (\text{II.3})$$

Avec :

**F** : Effort de découpage – Poinçonnage, (en N),

**P** : Périmètre de coupe, (en mm),

**e** : Epaisseur de la tôle, (en mm),

**R<sub>c</sub>** : Résistance au cisaillement de la tôle, (en MPa),

**K** : Coefficient d'ajustement de la formule, il varie de 0.5 à 1 selon le type de matériau utilisé.

## II.6.4 Contraintes sur les poinçons

### a- Contrainte de compression

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**).

$$\sigma_{\text{com}} < R_e \quad (\text{II.4})$$

$$\sigma_{\text{com}} = \frac{F}{S} \quad (\text{II.5})$$

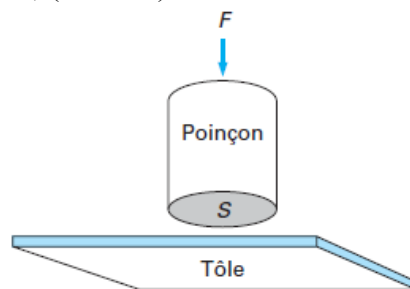
Avec :

$\sigma_{\text{com}}$  : 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.24:** Contrainte de compression sur le poinçon.

Dans le cas des poinçons ayant de petites sections ou de grandes longueurs, la contrainte de compression peut provoquer un flambement du poinçon. Alors, on prévoit toujours un risque de flambement d'un tel poinçon. Pour cela, on détermine la charge critique ( $P_{cr}$ ) en utilisant la formule du flambement d'Euler **II.5**. Dans le cas des outils à bande, les poinçons sont encastés d'un côté, et libre de l'autre côté.

La condition de résistance est que l'effort de découpage ne doit pas dépasser la charge critique de flambement du poinçon, comme le montre la relation **II.6**.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} \quad (\text{II.6})$$

$$F < P_{cr} \quad (\text{II.7})$$

Avec :

$F$  : L'effort de découpage, (en N),

$P_{cr}$  : 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).

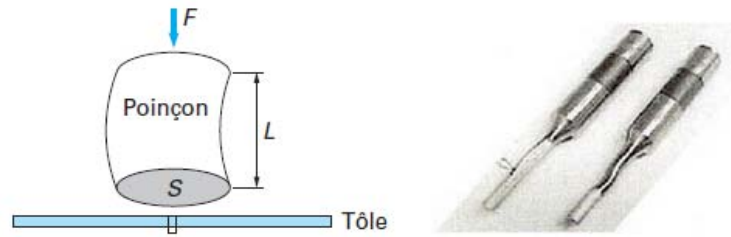


Figure. II.25: L'état d'un flambement du poinçon de découpage.

## II.7 Le pliage [5]

Le pliage est une opération de conformation à froid qui consiste à déformer une tôle plane en changeant la direction de ses fibres de façon brusque suivant un angle donné. La conformation est utilisée pour atteindre des déformations irréversibles en vue de donner à la pièce les spécificités attendues.

Il s'agit d'une déformation obtenue grâce à une force appliquée sur la longueur de la pièce. Celle-ci sera en appui sur deux (2) lignes d'appuis et s'apparente à la flexion. Il faudra dépasser la limite élastique pour obtenir l'angle voulu.

Il existe plusieurs techniques pour plier une pièce : Pliage en l'air dans une presse-plier, pliage en frappe, pliage sur plieuse à sommier ou universelle...

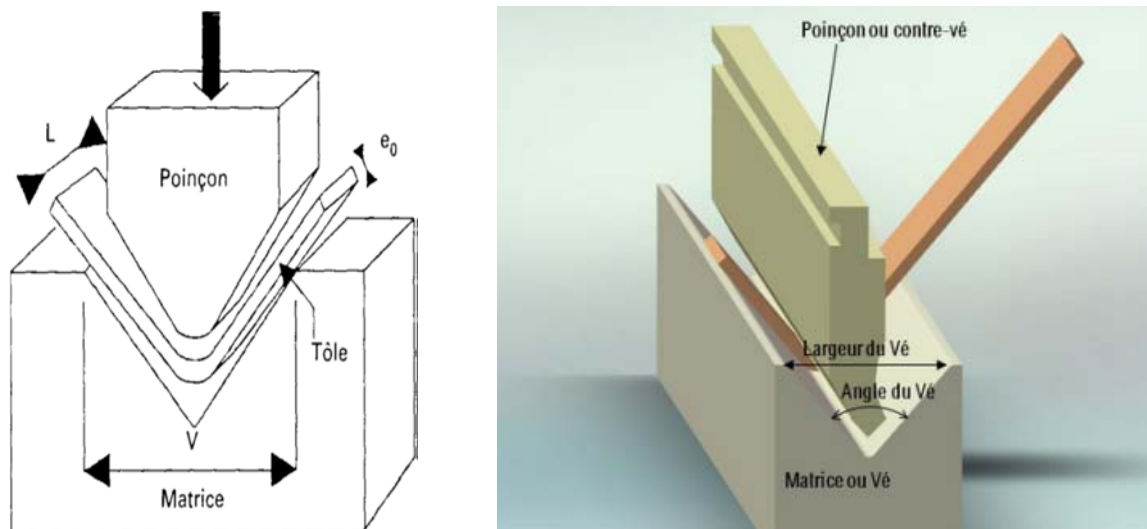


Figure. II.26: Technique du pliage.

### II.7.1 Les différents modes de pliage [9]

Suivant la géométrie des poinçons et des matrices, les différents types de pliage sont comme suit :

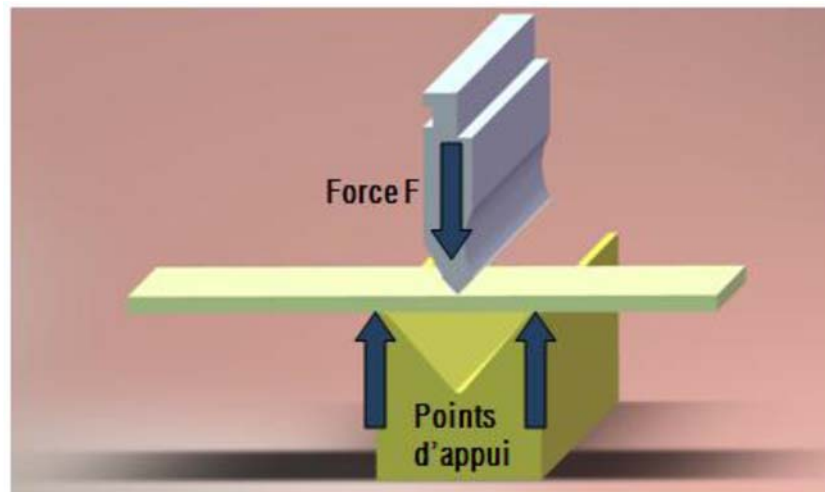
### II.7.1.1 Le pliage en V (en presse plieuse)

Le cas du pliage en V, le serre-flan est inutile. La variation de l'angle du poinçon et de la matrice entraîne la variation de l'angle de formage de la tôle. Selon la course imposée au poinçon, le pliage en V peut s'effectuer par deux procédés :

- ✓ En l'air,
- ✓ En frappe.

Le schéma du pliage pour ces deux méthodes est assimilé à un schéma de flexion. Les points d'appuis représentent les arêtes du vé, et une flèche symbolise une force. C'est le réglage de la descente du poinçon qui donnera l'angle final du pliage.

La **figure II.27**, montre le principe de pliage en V :



**Figure. II.27** : Principe du pliage en V.

#### a- Pliage en l'air

Il s'agit d'une méthode de pliage de tôles épaisses, la matrice est composée de deux points d'appuis pour lesquels, la tôle prend position.

L'effort de pliage cesse lorsque la tôle arrive au fond du Vé. L'angle final est celui du Vé, augmenté du retour élastique de la tôle, environ **2 à 3°**. Ce mode de pliage est couramment utilisé car les forces appliquées sont environ **5** fois moins importantes que pour du pliage en frappe. L'angle du poinçon est généralement de **88°** pour obtenir des angles de **90° à 180°**.

Avec le pliage **en l'air**, suivant la position du poinçon en fin de course, différents angles peuvent être obtenus avec le même outillage.

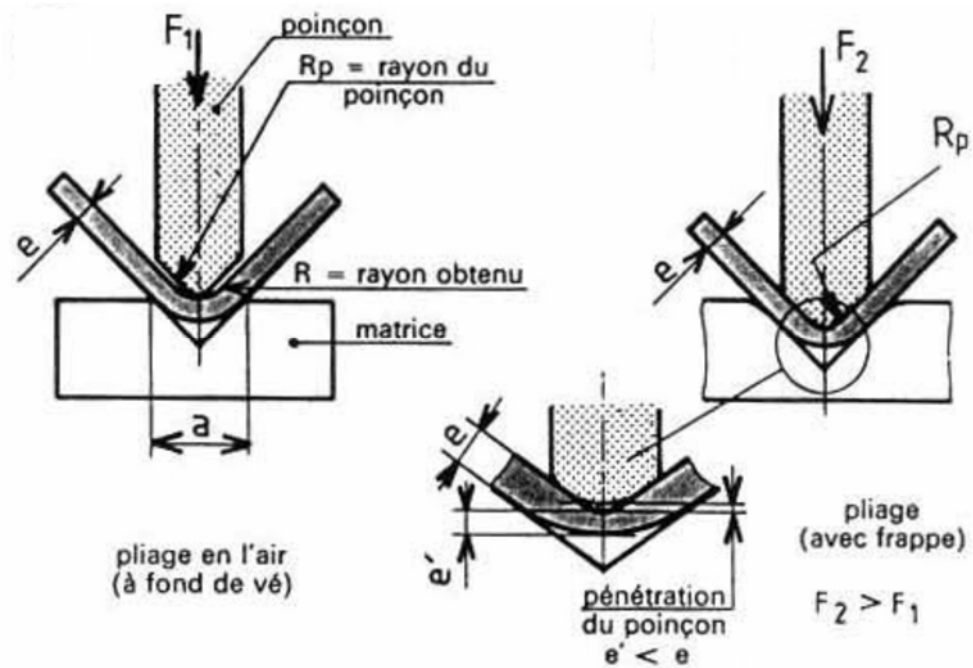


Figure. II.28 : Principe du pliage en l'air.

**b- Pliage en frappe**

Cette opération de pliage s'effectue en deux temps. Tout d'abord, un pliage «en l'air» est effectué jusqu'à l'angle désiré. Ensuite, le poinçon descendu rapidement, va frapper et marquer la tôle jusqu'à réduire, voire éliminer totalement le retour élastique.

On réalise un emboutissage de la pièce, en imprimant une force importante dans la pièce. L'angle du poinçon et de la matrice sont égaux à l'angle à obtenir. Cette méthode est réservée à des tôles d'épaisseurs inférieures à **2 mm**. Le fait de matricer l'intérieur du pli permet d'obtenir des angles très précis ( $\pm 0,5^\circ$ ).

Les figures suivantes, représentent les outils avec lesquels, le **pliage en l'air** et le **pliage en frappe**, ont été réalisés :

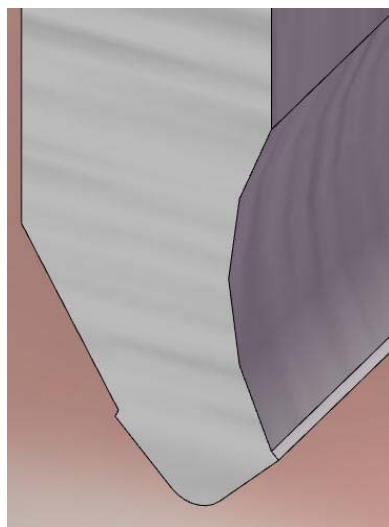


Figure. II.29 : Outil de pliage en l'air.

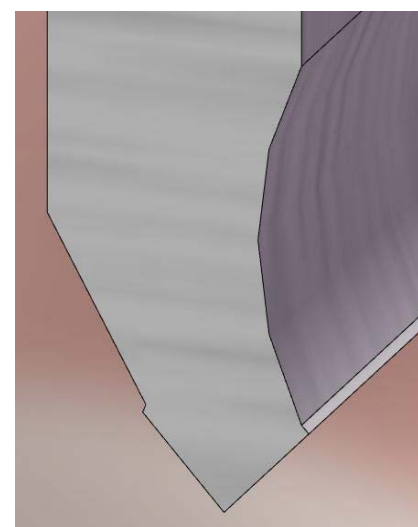


Figure. II.30 : Outil de pliage en frappe.

### II.7.1.2 Le pliage en U

Le principe est voisin de celui du pliage en V. Seuls les outils (poinçons et matrices seront différents). Cela ressemble cependant à de l'emboutissage. On peut obtenir avec cette méthode une infinité de formes pliées, si les outils sont disponibles.

Le pliage en U comprend un serre-flan mobile qui bloque la matière sous le poinçon et évite donc les glissements de la tôle lors de la mise en forme entre les deux blocs matrices.

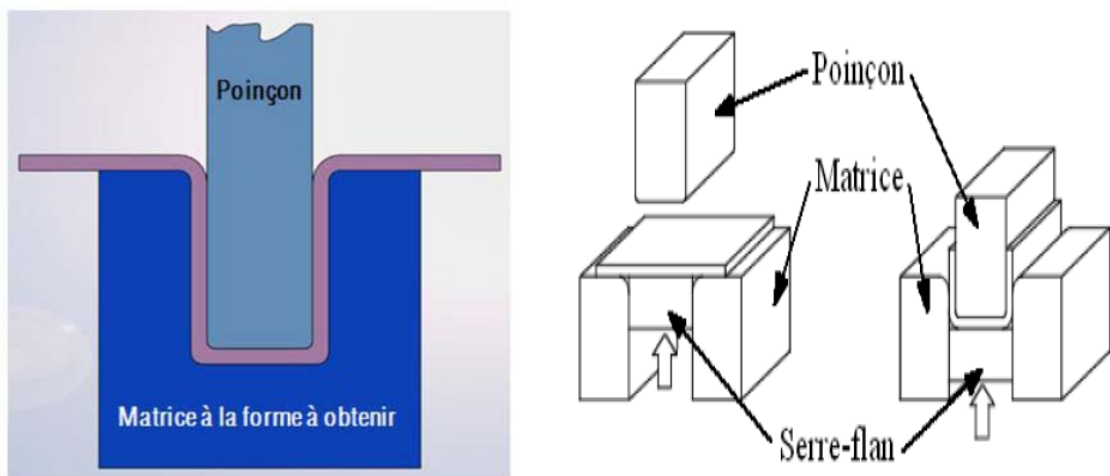


Figure. II.31 : Principe du pliage en U.

### II.7.1.3 Le pliage en L

Le principe du pliage en L, est simple, consiste à plier un flan en porte-à-faux, à 90° maintenu entre la matrice et le serre-flan.

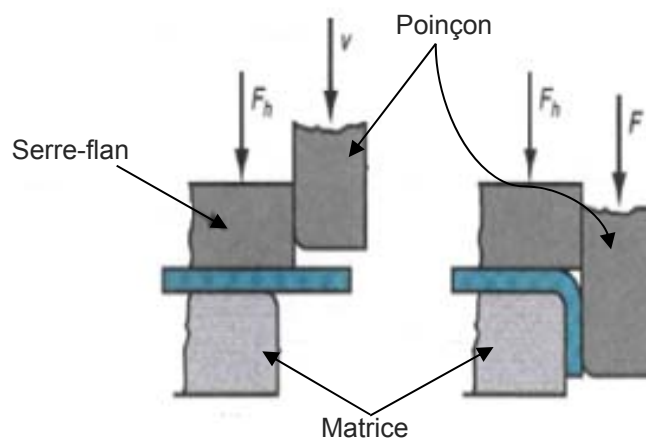


Figure. II.32 : Le pliage en L.

## II.7.2 Rayon du au pliage

Lors de l'opération de pliage, on remarque des déformations causées, dans la zone pliée, les fibres intérieures sont comprimées, par contre celles extérieures subissent un étirement (sollicitées en traction), on obtient donc, un angle de pliage (voir la **figure II.33**). Plus le rayon est petit, plus les déformations dues au pliage sont grandes. De plus, pour un pliage dans un angle vif, soit un rayon nul ( $R = 0$ ), la pièce est à rejeter, cela est dû aux apparitions des criques, sur la zone étirée de la pièce. (Voir **figure II.35**)

Pour un pliage réussi, le rayon  $R$  sera donc choisi assez grand, et, si possible, égal à 5 fois l'épaisseur de la tôle.

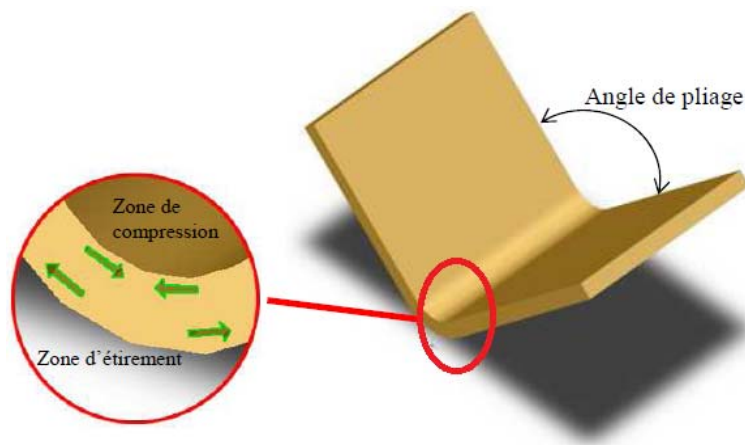


Figure. II.33 : Angle de pliage.

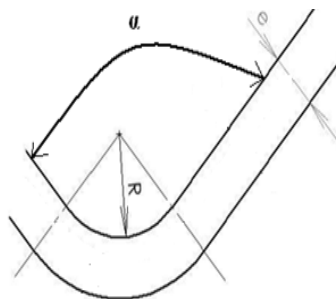


Figure. II.34: Rayon de pliage.

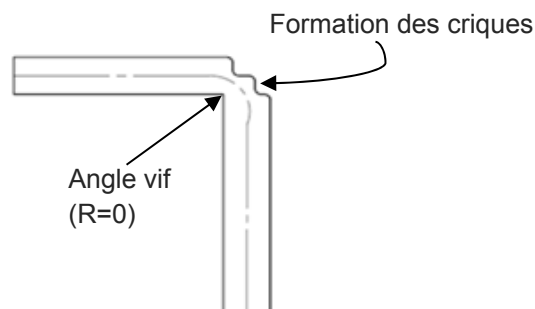


Figure. II.35 : Déformations à un angle vif ( $R=0$ ).

Entre les deux zones de déformations, la fibre neutre qui ne subit aucun allongement ni raccourcissement, sera la base du calcul de la longueur développée.

En effet, si nous savons déterminer la longueur de cette fibre qui ne subit aucune déformation après pliage, nous trouverons la longueur de la tôle avant pliage.

Elle se situe à la distance «  $a$  » du bord intérieur. Suivant le rapport  $(R_i/e)$ , la distance «  $a$  » varie, comme l'indique le Tableau suivant:

**Tableau. II.2** : La variation de la distance «  $a$  » suivant le rapport  $(R_i/e)$ .

$R_i/e$	Approche 1	Approche 2	Approche 3
$a$	$e/3$	$2e/5$	$e/2$

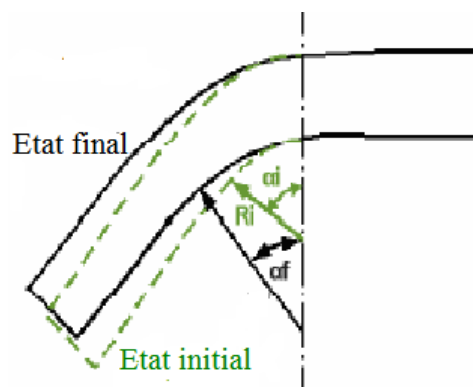
### II.7.3 Le retour élastique

Lors du pliage en l'air, lorsque l'on relève l'outil, la force appliquée à la pièce redevient nulle. À ce moment, les matériaux étant élastiques, la pièce s'ouvrira légèrement. Il faut donc obtenir un angle inférieur à l'angle voulu, pendant le pliage, pour obtenir un angle final exact au relâchement de l'outil. Il faut bien sûr effectuer un ou des essais pour connaître le comportement exact du produit que l'on travaille. Il faut veiller au sens de laminage des tôles, car le retour élastique est plus important, si l'on plie perpendiculairement au sens de laminage.

L'angle final «  $af$  » obtenu, diffère de celui imposé par l'outillage «  $ai$  » de la valeur correspondant, à ce retour élastique. Plus la limite élastique du matériau, est grande plus le retour élastique sera grand. On peut vouloir estimer ce retour élastique qui dépend aussi du rayon de pliage et de l'épaisseur de la tôle.

Le phénomène de retour élastique est quasi inexistant lors du pliage en frappe car on imprime avec force le poinçon dans la pièce, pour dépasser la limite d'élasticité.

La **Figure II.36**, décrit le phénomène du retour élastique :



**Figure. II.36** : Phénomène du retour élastique.

## II.7.4 Paramètres influants sur l'opération de pliage

Les différents paramètres influant sur le pliage sont comme suit :

### II.7.4.1 Le rayon de la matrice de pliage

Afin d'éviter le découpage ou l'étirage de la pièce à plier, le rayon de la matrice doit être supérieur à deux fois l'épaisseur de la tôle.

$$r \geq 2e \quad (\text{II.8})$$

### II.7.4.2 Le jeu du pliage

Lors de la conception de l'outil de pliage, il faut prévoir un jeu de pliage entre l'arête verticale extérieure du poinçon et l'arête intérieure de la matrice. Le jeu doit être égal à l'épaisseur de la tôle plus une tolérance maximale.

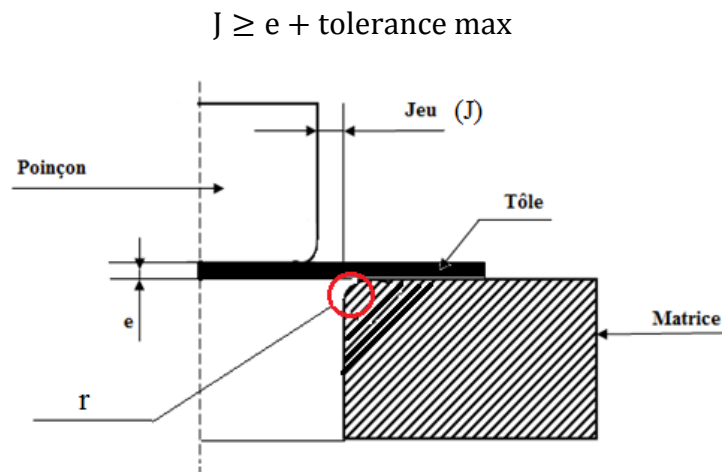


Figure. II.37 : Jeu du pliage et le rayon de la matrice.

## II.7.5 Effort de pliage

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

$$F = \frac{e.L.R_c}{10} \quad (\text{II.9})$$

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

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

$R_c$  : Résistance de la tôle au cisaillement, (en daN /mm<sup>2</sup>).

Il faut noter, que l'encombrement des outils utilisés conduit à l'emploi de presses qui exercent un effort nettement supérieur à celui requis.

Le calcul de l'effort de pliage s'avère donc inutile pour le choix de la presse à utiliser.

## **II.8 Conclusion**

Avant chaque procédé de mise en forme, le métal doit être obtenu en forme de tôles. Cette dernière est obtenue en passant à partir d'une brame (bloc d'acier brut), par différentes étapes successives de laminage.

Les différentes techniques de mise en forme des métaux, par déformation plastique, citées dans le chapitre, ont pour objectif de donner une forme déterminée au métal en forme de tôle, tout en lui imposant une certaine microstructure, afin d'obtenir un produit ayant les propriétés souhaitées.

Ces techniques de mise en forme, sont effectuées sur presses, pour minimiser le coût de production, ainsi avoir un produit de forme géométrique souhaitée.

## **CHAPITRE III**

### **GÉNÉRALITÉS SUR LES DIFFÉRENTES PRESSES MÉCANIQUES ET LEURS ÉQUIPEMENTS**

## GÉNÉRALITÉS SUR LES DIFFÉRENTES PRESSES MÉCANIQUES ET LEURS ÉQUIPEMENTS

### III.1 Introduction

Dans l'industrie, plus généralement en construction mécanique, les transformations de métaux en feuilles citées dans le chapitre précédent, passent par plusieurs étapes, et cela nécessite des machines spéciales, comme dans le cas de l'emboutissage, poinçonnage, ... etc.

Ces machines sont appelées « **Presses** » constituées d'un ensemble d'organes mécaniques conçus pour réaliser différents travaux par déformations plastiques, sur des métaux en feuilles (tôles).

**La presse** est composée essentiellement de deux plateaux susceptibles de se rapprocher par commande mécanique ou hydraulique, pour comprimer, ce qui est placé entre eux. Ces presses sont formées d'une partie mobile (coulisseau), qui porte le poinçon et une partie fixe (bâti) qui porte la matrice. Il s'agit d'une machine qui permet de changer la forme d'une pièce, en lui appliquant une pression.

### III.2 Les Différentes Presses Mécaniques [3]

Les presses mécaniques sont classées suivant plusieurs paramètres, les principaux sont :

- ✓ Le mode de transmission d'énergie ;
- ✓ Le nombre de coulisseaux ;
- ✓ La forme du bâti.

#### III.2.1 Le mode de Transmission d'Énergie

Selon le mode de transmission d'énergie, on distingue deux types de presses :

- ✓ Les presses mécaniques ;
- ✓ Les presses hydrauliques.

##### III.2.1.1 Les Presses Mécaniques [3]

Dans ce type de presse, l'énergie nécessaire au travail de formage des tôles, est fournie par un volant d'inertie, entraîné par un moteur électrique, sous forme d'énergie cinétique.

Cette énergie est ensuite transmise au coulisseau, en un mouvement de translation, grâce à un système bielle-manivelle (**vilebrequin** ou **excentrique**) imprime le mouvement au coulisseau. On appelle point mort bas **PMB**, la distance minimale entre la table et le coulisseau, et point mort haut **PMH**, la distance maximale. La course du coulisseau est égale à deux fois le rayon de la manivelle (voir la Figure **III.1**).

Les presses mécaniques sont d'une plus grande rapidité de fonctionnement, elles sont plus répandues, car elles permettent d'atteindre des cadences élevées.

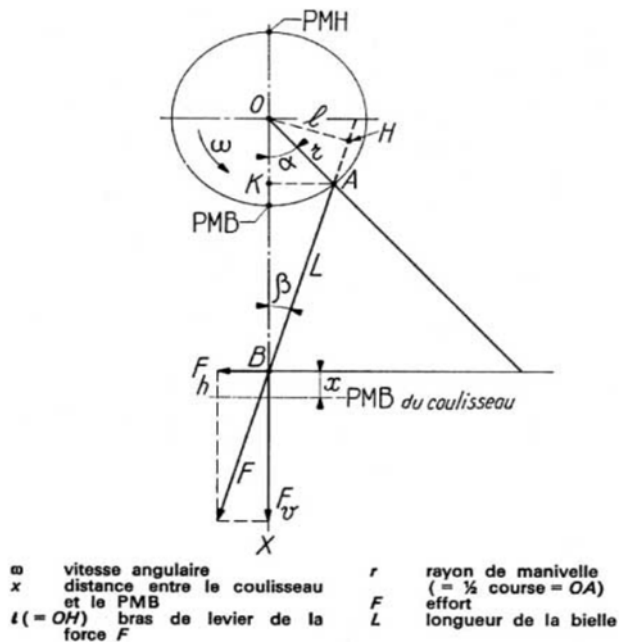


Figure. III.1 : Principe du système Bielle-Manivelle.



Figure. III.2 : Presse Mécanique.

### III.2.1.2 Les Presses Hydrauliques

Les presses hydrauliques sont comparables aux presses mécaniques, pour la partie structurale. La différence entre ces deux presses est présentée selon les deux modes essentiels suivants:

- ✓ Il s'agit du mode d'action du coulisseau, et celui du moyen de production de l'énergie nécessaire au formage ;

La presse hydraulique contient un coulisseau solidaire d'un vérin alimenté par un groupe hydraulique, et de ce fait, l'effort nominal (**pression de la pompe/surface du piston**) peut être, à l'inverse des presses mécaniques, appliqué en n'importe quel point de la course.



Figure. III.3 : Presse Hydraulique.

### III.2.2 La forme du bâti

#### III.2.2.1 Presses à Col de Cygne

Les presses à col de cygne sont employées pour tous les travaux de découpage, d'ajourage, de pliage et souvent pour des petites pièces, de grandes séries.

La forme en col de cygne rend la table et le coulisseau très accessibles. Ces presses sont souvent inclinables de 30° en arrière, ce qui permet une évacuation aisée des pièces par gravité. Sous charge, le bâti se déforme élastiquement et provoque un déplacement angulaire des deux parties de l'outil, préjudiciable à leur bon fonctionnement. De ce fait, les bâtis à col de cygne sont réservés aux presses développant au maximum 2 000 KN d'effort.

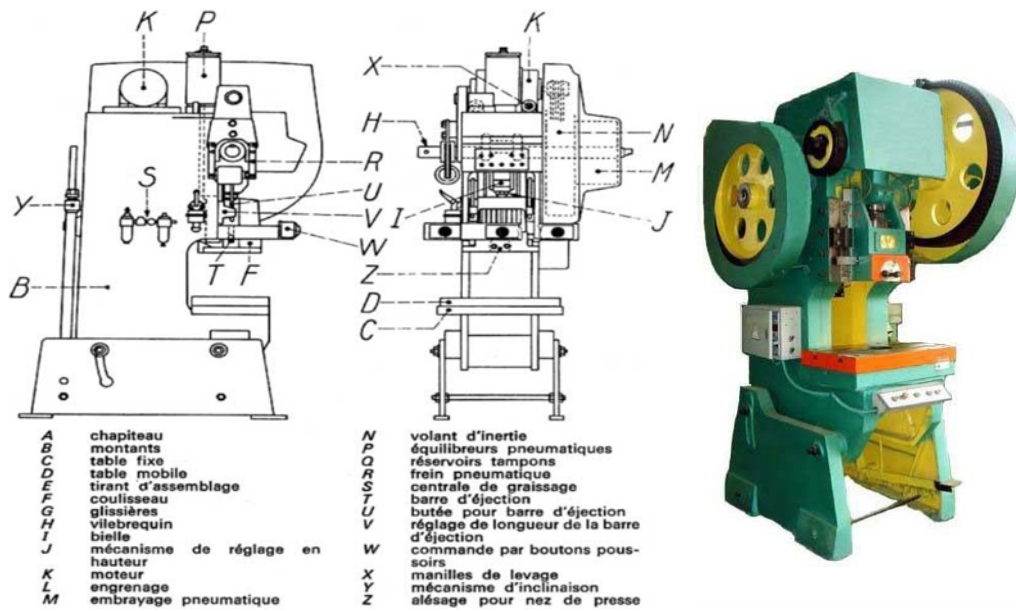


Figure. III.4 : Presse à Col de Cygne.

#### III.2.2.2 Presses à Arcade

Les presses à arcade sont assemblées sur un bâti monobloc rigide. Elles sont dotées d'une puissance allant jusqu'à 300 Tonnes-force. Ce qui leur permet de supporter des efforts importants tout en assurant une grande précision dans le guidage des outils. Ainsi parfois, elles sont à simple ou à double effets.

Le système de construction adopté sur les presses à bâti en arcade, a l'avantage d'éviter le phénomène de déflexion. Ces presses permettent non seulement de limiter considérablement les déformations de la structure, mais, également de réduire les délais de maintenance des outils utilisés pour l'usinage, tout en donnant au produit, un haut degré de finition.

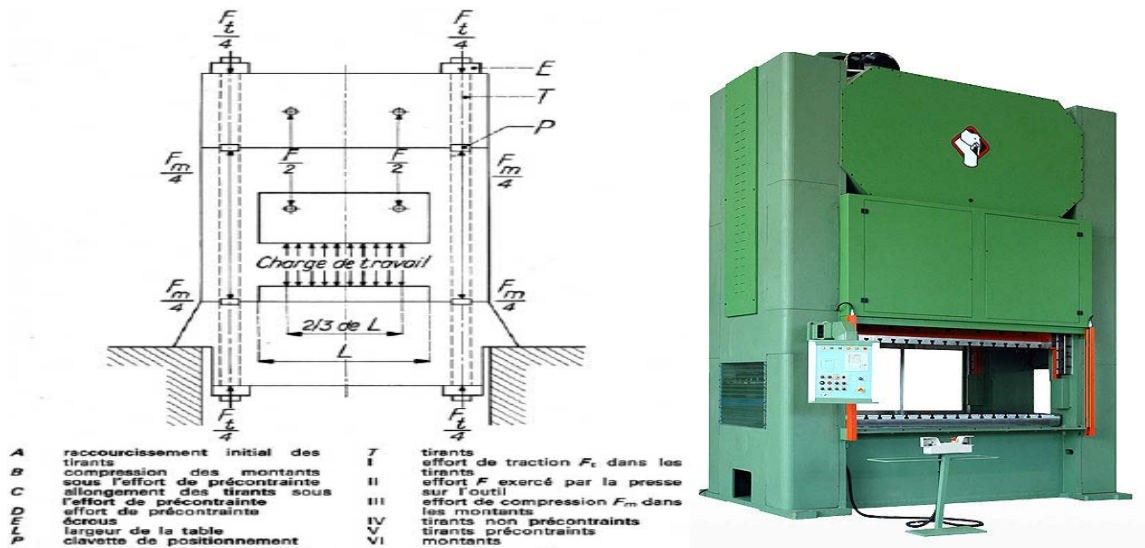


Figure. III.5 : Presse à Arcade.

### III.2.2.3 Presses à Montants Droits

Les presses à montants droits ont un bâti qui se compose de trois (03) éléments : la **Table**, les **Montants** et le **Chapiteau**, sont reliés par des tirants, en acier serrés à chaud. Les distances entre le Chapiteau, la Table et celles entre les montants, sont choisies, selon la mission ou le travail, à exécuter. Ayant de grandes puissances et étant robustes, ces presses peuvent atteindre des dimensions importantes.

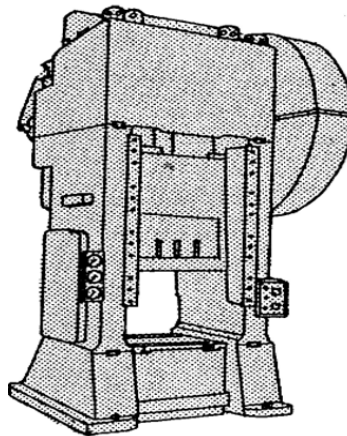


Figure. III.6 : Presse à Montant droit.

### III.2.2.4 Presses à Colonnes

À cadence élevée, les presses à colonnes sont employées beaucoup plus, pour le forgeage et le matriçage. Ces presses sont équipées de quatre(04) colonnes cylindriques, liant la partie supérieure et la partie inférieure de la presse. L'entraînement du coulisseau est réalisé par les quatre (04) colonnes.



Figure. III.7 : Presse à Colonne.

### III.2.2.5 Presses à Table Mobile et Bigorne

Ce sont des presses équipées d'une table mobile et réglable en hauteur, ce qui autorise le montage d'outil, d'une hauteur importante. Par une simple rotation de la table, permettra le montage et l'utilisation de la bigorne qui permet d'effectuer des poinçonnages latéraux, de gros emboutis.

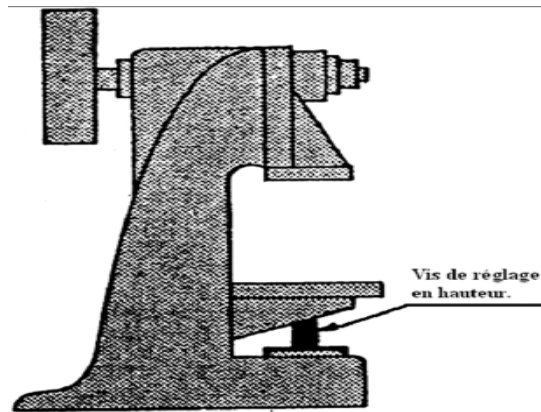


Figure. III.8 : Presse à Table Mobile et Bigorne.

## III.2.3 Le nombre de coulisseaux

### III.2.3.1 Presse à Simple Effet

Il s'agit d'une presse qui ne comporte qu'un seul coulisseau actionné par une ou plusieurs bielles. Elles sont spécifiquement destinées aux opérations de reprise, équipées d'un coussin inférieur, destiné à assurer l'effet du serre-flan, elles couvrent ainsi toute la gamme des efforts allant de **10** jusqu' à **30 000 KN**.

### III.2.3.2 Presse à Double Effets

À double effets, ces presses comportent deux (02) coulisseaux, un coulisseau serre-flan guidé par le bâti en arcade, et, guidant le coulisseau plongeur, qui supporte le poinçon.

Le coulisseau qui porte le serre-flan entre en contact en premier avec la tôle, pour assurer le serrage avant que, le poinçon amorce sa descente. Il doit rester immobile durant tout le travail de poinçonnage.

Les deux (02) coulisseaux sont actionnés par le même arbre moteur à l'aide d'un mécanisme, qui procure deux cinématiques différentes.

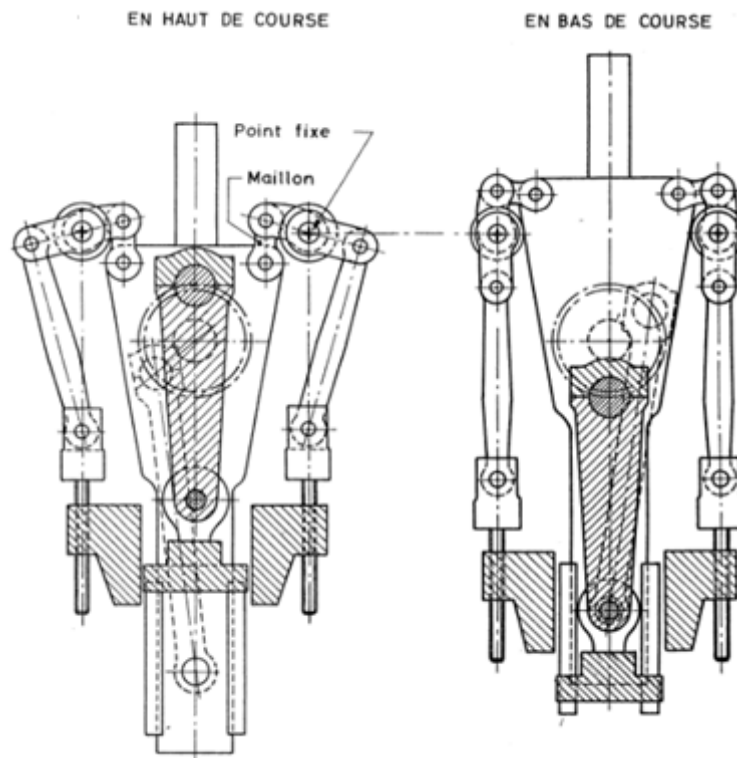


Figure. III.9 : Presse à Double Effets.

### III.2.3.3 Presse à Triple Effets

De principe similaire à celui du double effets, possédant en plus un troisième coulisseau inférieur, qui a sa propre cinématique. La presse à triple effets est utilisé fréquemment, pour la carrosserie, qui nécessite des contre-emboutis, peu profonds.

L'avantage quant à l'utilisation des presses à triple effets, c'est d'éviter une opération de reprise sur une autre presse.



Figure. III.10: Presse à Arcade d'Emboutissage à Triple Effet

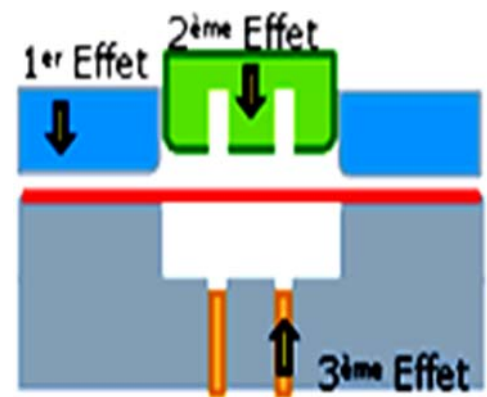


Figure. III.11: Principe de fonctionnement de la Presse à Triple Effets

### III.3 Fonctionnement des Presses Mécaniques

Le principe de fonctionnement d'une presse mécanique, est à base d'énergie fournie par un moteur électrique, cette dernière est emmagasinée par un volant. Puis, elle est transmise au coulisseau par l'intermédiaire d'un mécanisme approprié, qui permet son bon fonctionnement.

#### III.3.1 L'Énergie

Le volant d'inertie, qui a emmagasiné l'énergie fournie par le moteur, en cède une quantité d'énergie pendant l'opération de formage. Ce qui se traduit par un ralentissement du volant. Au début de l'opération, le volant doit avoir récupéré la totalité de l'énergie dépensée, sous peine de subir un ralentissement de plus en plus important pouvant, à la limite, le conduire à l'arrêt complet.

#### III.3.2 Les Mécanismes de commande

Ils permettent de transformer le mouvement circulaire uniforme du moteur, en mouvement rectiligne alternatif du coulisseau, en utilisant les systèmes suivants :

##### a. Système Bielle-Manivelle

Il s'agit d'un système mécanique de transformation de mouvement, qui transmet le mouvement au coulisseau. Ce système se base sur quatre (04) éléments principaux :

- ✓ Une bielle ;
- ✓ Une manivelle ou bien un vilebrequin ;
- ✓ Un coulisseau ;
- ✓ Un bâti.

La transformation du mouvement se fait par la rotation continue du vilebrequin autour de son axe, qui transmettra ainsi, un mouvement rectiligne alterné, pour le coulisseau.

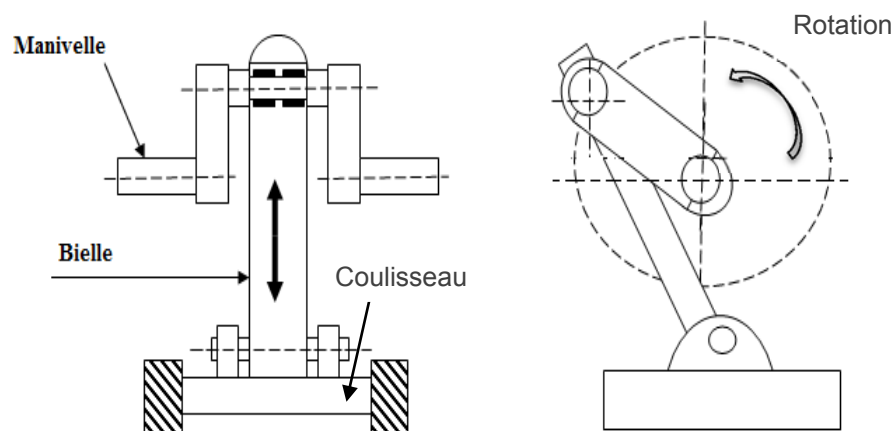


Figure. III.12 : Système Bielle-Manivelle.

**b. Système Excentrique**

Il s'agit d'un mécanisme donnant au coulisseau un mouvement rectiligne, en se rapprochant, et, s'éloignant de l'axe de rotation de l'arbre. Ce système transforme un mouvement de rotation, en un mouvement de translation oscillatoire.

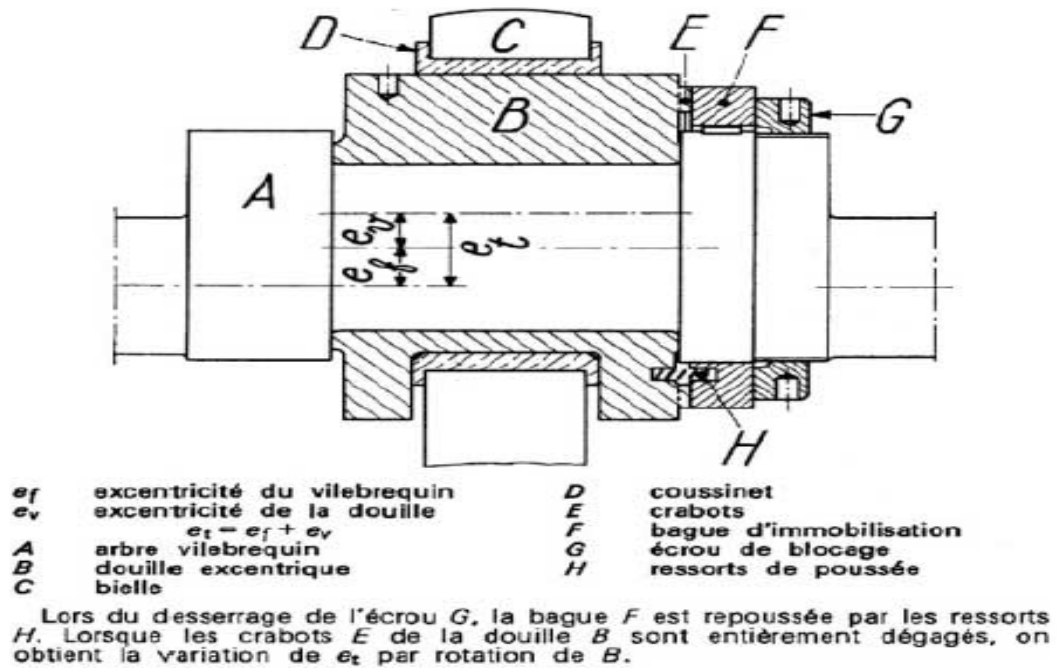


Figure. III.13 : Principe du Système Excentrique.

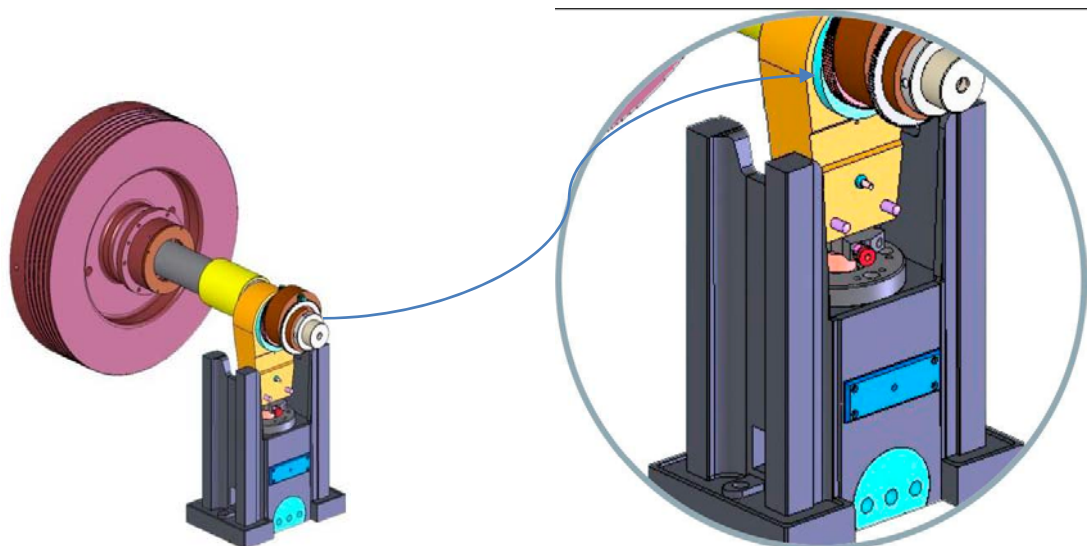


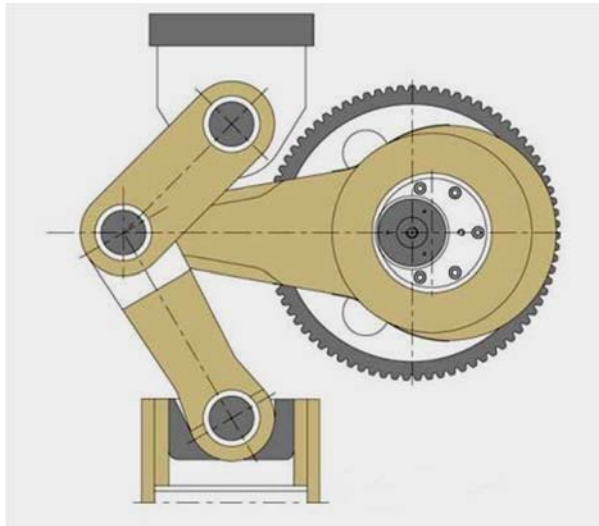
Figure. III.14 : Exemple du Système Excentrique dans une Presse.

### c. Système à Genouillère

Le système à genouillère se compose d'un mécanisme de trois (03) éléments, ayant pour objectif d'amplifier l'effort qu'exerce le coulisseau :

- ✓ Une bielle ;
- ✓ Deux (02) genouillères ;
- ✓ Un vilebrequin.

Le vilebrequin entraîne la bielle, en exerçant un mouvement de translation alternatif sur un axe que partagent, les deux genouillères. Chaque extrémité de ces dernières, est fixée à d'autres éléments. L'une d'entre-elles est immobile, et, fixée au bâti, contrairement à l'autre extrémité, celle-ci est mobile, fixée au coulisseau.



**Figure. III.15** : Exemple de Système à Genouillère.

### d. Système à Came

Le système se compose d'un mécanisme qui est constitué, de deux (02) éléments.

Une came, de profil vaguement ovoïde (en forme de section d'œuf dur), est l'élément menant, placé sur un arbre avec un mouvement de rotation, l'autre élément est animé d'un mouvement de translation oscillatoire, cet élément est mené, généralement, dans une presse. Il s'agit du coulisseau. Le but de ce système, est de transformer le mouvement rotatif animé par la came, en un mouvement alternatif de translation du coulisseau, et cela, grâce au profil de la came, plaquée contre l'élément mené.

Le profil de la came est calculé en fonction du mouvement de translation, qui sera transmis à l'élément entraîné.

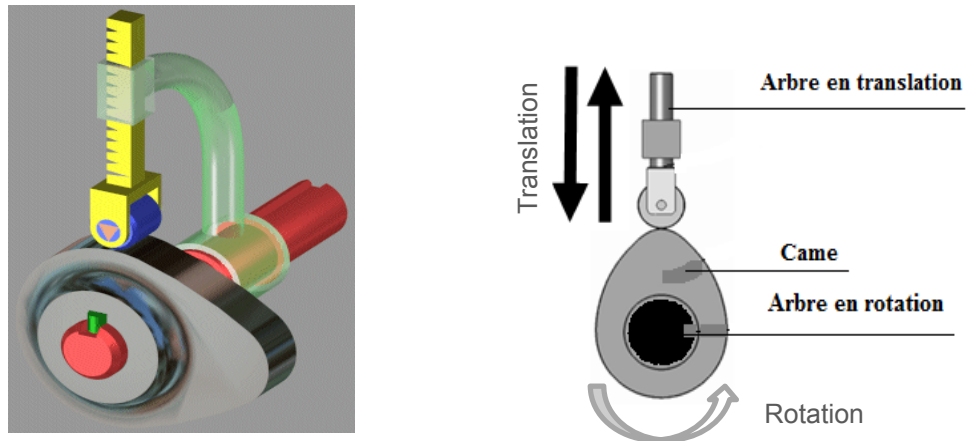


Figure. III.16 : Principe du Système à Came.

### III.3.3 L'Embrayage

Il s'agit d'un actionneur, qui a pour rôle, la transmission de la mise en mouvement, ou, l'arrêt d'un mécanisme. Dans une presse, l'embrayage fait la liaison entre, le moteur et le mécanisme de commande du coulisseau.

Dans l'industrie, on distingue deux (02) types d'embrayage dans les diverses presses :

#### III.3.3.1 Embrayage à Clavette Tournante

Il s'agit d'un embrayage dans lequel l'organe d'entraînement est une clavette, montée sur le vilebrequin, et, s'engageant, par rotation, dans des encoches du volant. Lorsque la butée s'éclipse, la clavette est sollicitée par un ressort, elle tourne et s'engage dans l'encoche du volant et provoque l'entraînement du vilebrequin.

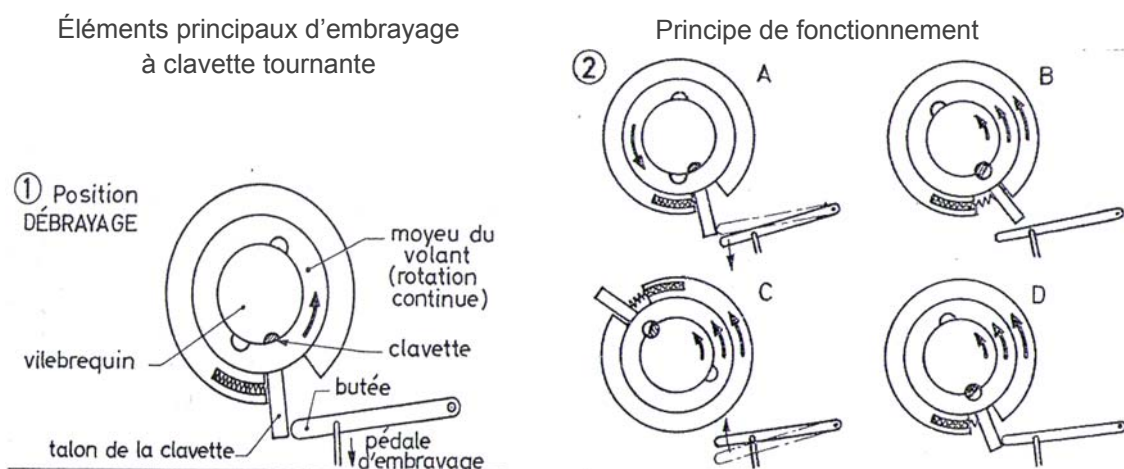


Figure. III.17 : Système d'Embrayage à Clavette Tournante.

### III.3.3.2 Embrayage à Friction à Commande Électropneumatique

Dans ce cas, l'embrayage se fait lorsqu'un piston pousse une série de disques de friction, contenant des clavettes sur l'arbre contre le volant. Par l'intermédiaire d'un système électrique, et, en manque de pression, les disques de friction sont déplacés par des ressorts de rappel. Ces derniers commandent le freinage à chaque tour du vilebrequin.

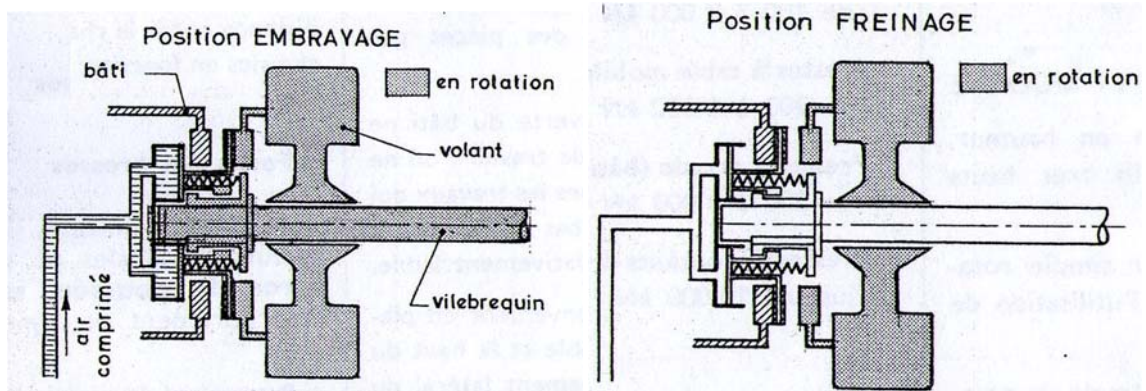


Figure. III.18 : Système d'Embrayage à Friction à Commande Électropneumatique.

## III.4 Les outils de Presses [3]

L'outil de presse est l'un des équipements essentiels d'une presse, il s'agit d'une construction mécanique de précision, supposée indéformable. En général, il est composé d'une partie mobile supérieure bridée sur le coulisseau, et, d'une partie inférieure fixe bridée sur la table de la presse. Cet ensemble, parfaitement guidé, permet de travailler la tôle par des opérations successives de découpage, pliage, cambrage, emboutissage..., de façon à obtenir la pièce désirée.

### III.4.1 Éléments Principaux des outils de Presses

Les principaux éléments d'un outil de presse sont composés, de deux (02) blocs essentiels :

- ✓ Bloc mobile : Il porte le poinçon,
- ✓ Bloc fixe : Il porte la matrice.

#### III.4.1.1 Le Poinçon

Le poinçon est un outil de presse qui permet de laisser une empreinte sur un flan, selon sa forme géométrique. Cette empreinte prise sur le flan est due à la géométrie du poinçon. La vérification du poinçon à la compression, et, au flambement est nécessaire, pour déterminer la longueur idéale pour que le poinçon puisse résister aux efforts de coupe.

### III.4.1.2 La Matrice

La matrice est la partie inférieure de l'outil, il s'agit de la partie creuse, support de l'empreinte du poinçon. Cette empreinte représente la forme à créer, réalisée à partir d'un matériau robuste, qui résiste aux chocs, pour éviter toute déformation. À son axe, la matrice comporte un trou aux formes et dimensions du poinçon, auquel on ajoute un jeu de quelques dixièmes de millimètres. La matrice est dépendante du poinçon, elle sert d'appui à la tôle, et, elle réduit les déformations dues au cisailage.

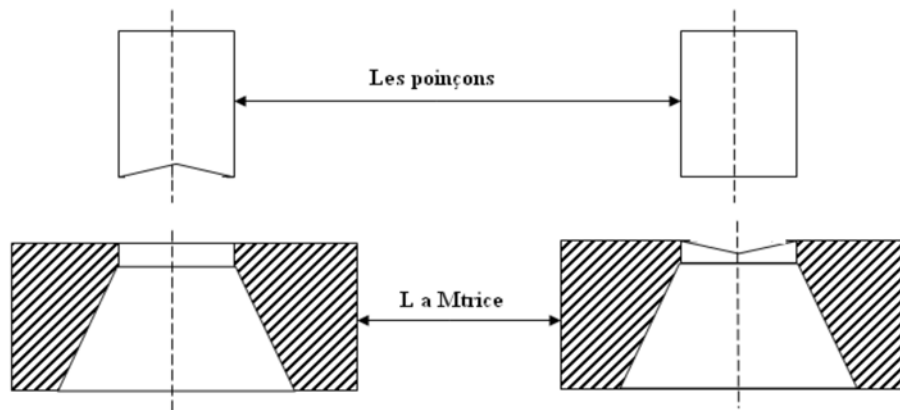


Figure. III.19: L'Ensemble Poinçon - Matrice.

### III.4.1.3 La Dépouille

Au-dessous de la partie active de la matrice, un dégagement de matière (dépouille) est nécessaire pour éviter l'entassement des chutes laissées lors du poinçonnage-découpage. Sur 4 à 5 mm de la partie active de la matrice, l'affûtage est permis. Avec une dépouille de 2 à 3°.

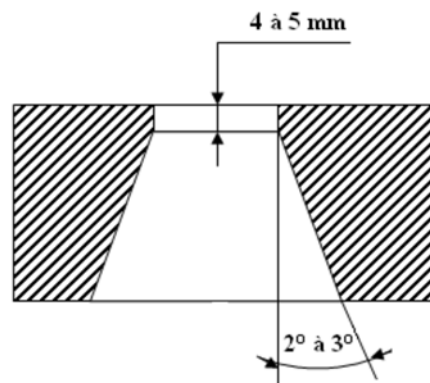


Figure. III.20 : Dimensions d'une Dépouille.

### III.4.1.4 L'Affûtage

Lorsque les arêtes coupantes d'un outil s'arrondissent et forment des rayons, à l'aide d'une rectifieuse, on affûte les surfaces usées de la matrice et du poinçon par une rectification plane. On élimine ainsi, les rayons formés sur les arêtes coupantes de l'outil, dans le but d'avoir des arêtes vives.

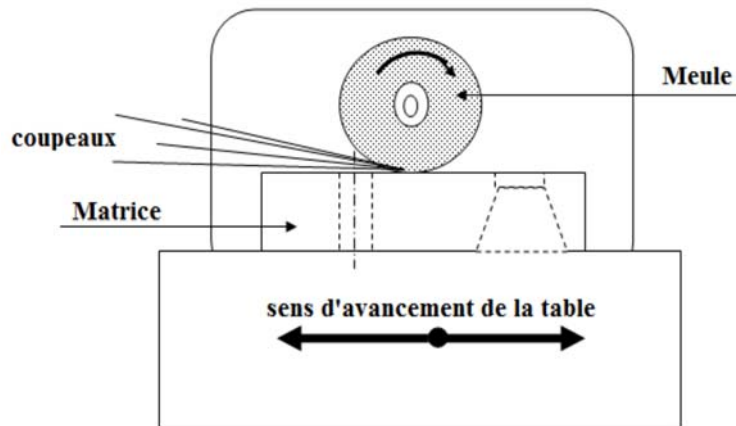


Figure. III.21 : Principe d'un Affûtage.

### III.4.2 Différents Types d'Outils de Presse [11]

#### III.4.2.1 Outils à Découper

##### a. Outil à Découvert

##### - Outil à Découvert Simple

L'outil à découvert simple, simplement constitué, d'un seul poinçon et d'une seule matrice. Il est conçu pour des travaux à petites unités, ainsi, il décrit bien le principe de découpage, mais ne peut - être employé dans les travaux de série, à cause de la remontée, de la bande de tôle avec le poinçon.

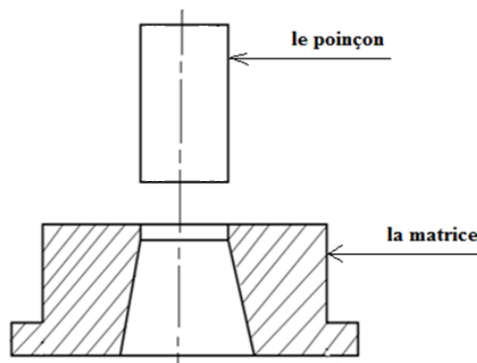


Figure. III.22 : Géométrie de l'Outil à Découvert Simple.

##### - Outil à Découvert à Butées

L'outil à découvert à butées a pour procédé de découpage des flans circulaires, dont deux (02) butées, placées soigneusement, pour assurer un découpage, réussi. L'une a pour guidage la bande de tôle, et, l'autre butée assure le contrôle de l'avance du flan.

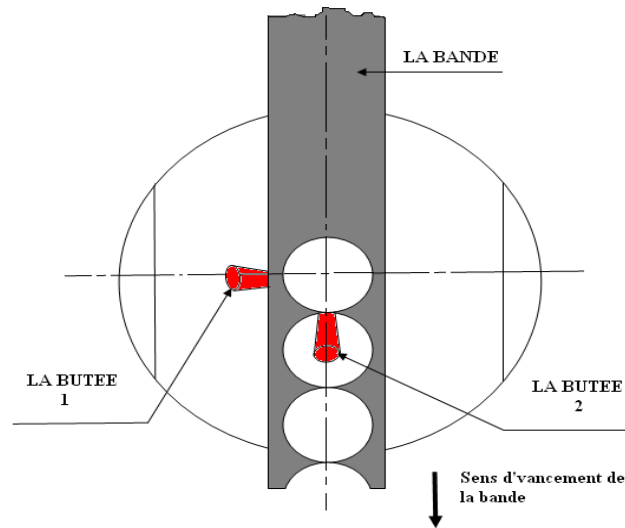


Figure. III.23: Outil à Découvert à Butées.

### III.4.2.2 Outil à Contre-Plaque

Il existe deux(02) types d'outils à contre-plaque :

#### a. Outil à Contre-Plaque à Engrenages

Employé parfois sur des outils à suivre, le système d'engrenage a pour rôle, de faire avancer le flan par l'intermédiaire d'un engrenage, dont celui-ci tourne en frottant sur la surface du flan, l'entraîne, et, le fait avancer suivant, sa longueur. À Chaque coup de la presse, la bande est déplacée et accrochée à l'engrenage par l'ajout précédent

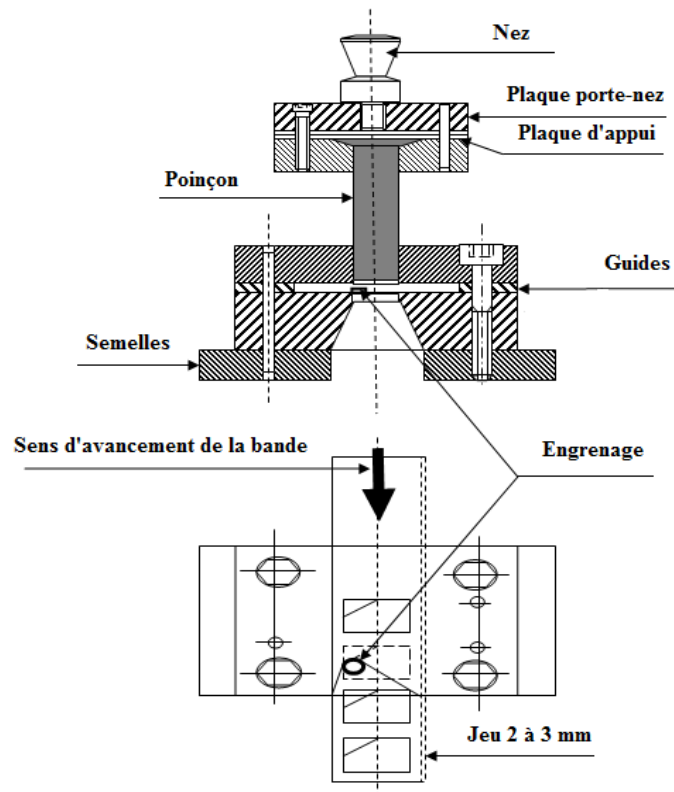


Figure. III.24: Principe de l'Outil à Contre-Plaque à Engrenage.

### b. Outil à Contre-Plaque à Couteau

Dans ce cas, l'engrenage est supprimé. Par l'intermédiaire d'un poinçon de pas dit « Couteau », ce dernier a pour rôle, d'assurer l'avance du flan. La longueur du pas est égale à la longueur du couteau, ainsi le déplacement du flan est donné, entre deux (02) coups successifs, de la presse. La bande est translattée et bute sur un guide appelé « Butée », le couteau se détache de la bande, il suffit ensuite de déplacer la bande jusqu'à la butée contre le guide, pour avoir un pas plus précis.

Le couteau ne travaillant que d'un côté, les risques de grippage et de coinçage, sont plus importants. Il convient donc de n'utiliser cette technique, que pour les pièces de faible épaisseur (2mm maxi pour limiter les efforts).

Afin d'augmenter la longévité de l'outillage, la butée est parfois remplacée avantageusement, par un grain (pièce rapportée) en acier trempé. On réduit ainsi l'usure du guide.

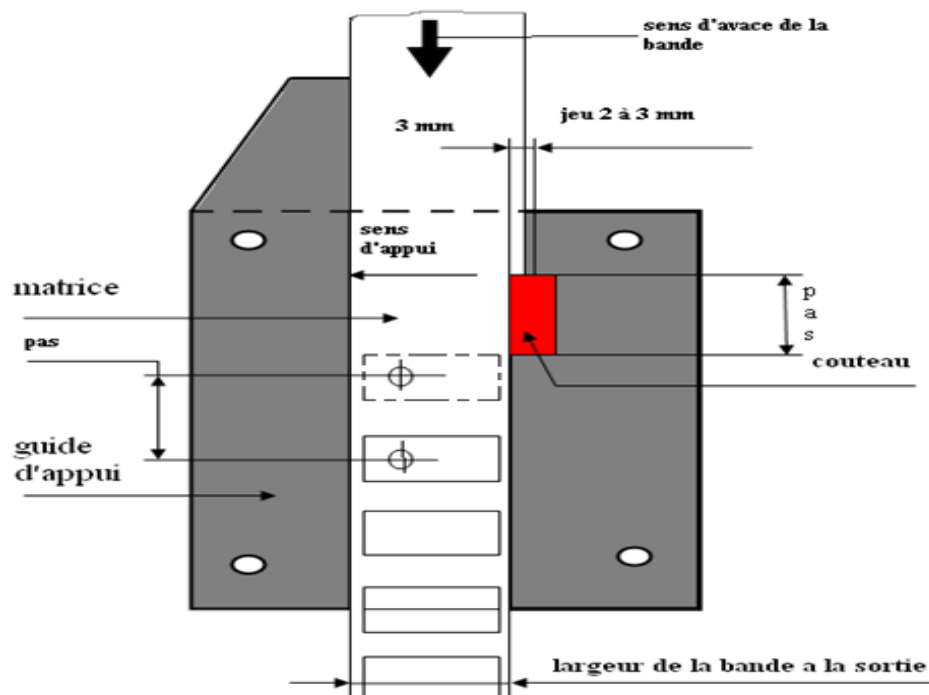


Figure. III.25: Système d'Outil à Contre - Plaque à Couteau.

#### III.4.2.3 Outil à Presse à Bande

C'est un outil qui possède des colonnes. En remplaçant la contre-plaque par un serre-flan ou presse-bande (dévêtisseur), afin de maintenir la bande de tôle, lors des opérations de (découpage, emboutissage,...etc.), et d'éviter ainsi, toute déformation, de la bande et d'assurer la qualité du produit.

Le guidage de l'outil à presse-bande joue un rôle important, en guidant le poinçon et la matrice dans le même centre d'inertie, cela est assuré par des paires de colonnes de guidage, selon les dimensions de l'outil.

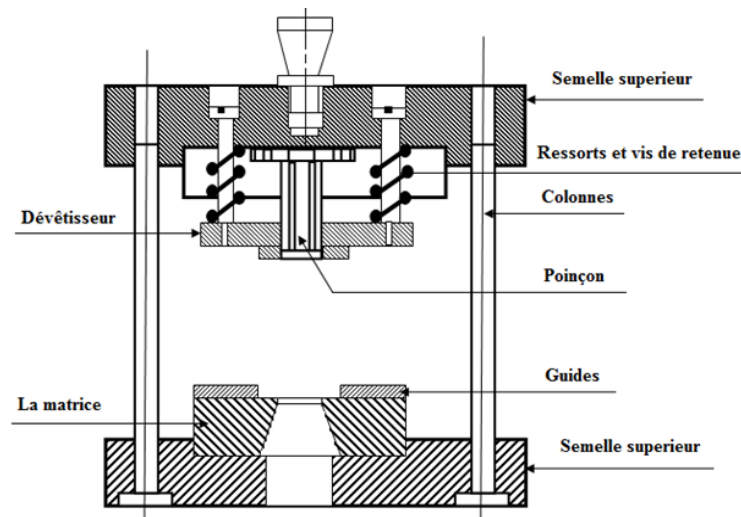


Figure. III.26: Outil à Presse à Bande.

#### III.4.2.4 Outil Suisse

L'outil suisse est utilisé essentiellement, pour réaliser des pièces plates de précision, de faible ou de forte épaisseur. La particularité de cet outil est que plusieurs opérations de découpage sont réalisées, sur le même coup de presse, et sur le même poste, sans nécessiter l'avance de la bande, comme pour l'outil, à suivre. Dans ce cas, un coup de presse sur le même poste permet la réalisation de l'ensemble, de la pièce.

Il découpe et poinçonne la pièce en un seul coup de presse. Le transfert d'un poste à l'autre est supprimé, dans le but d'empêcher, l'altération de la précision. Il s'agit d'un outil à dévêtisseur inversé. Le poinçon est sur la partie inférieure, et, la matrice sur la partie supérieure. L'imprécision de l'avance manuelle de la bande, n'affecte pas la pièce. La pièce finie reste dans la matrice, et, elle est extraite, en haut de course par un éjecteur.

Cela a pour avantage, l'obtention de cotes d'ajourage et de détourage, plus précises. En effet, ces cotes ne dépendent que des cotes outils (pas d'imprécisions dues à l'avance de la bande). La planéité de la pièce est également supérieure, à celle qui pourrait être obtenue sur un outil à suivre, afin d'obtenir un meilleur équilibre des efforts de découpage.

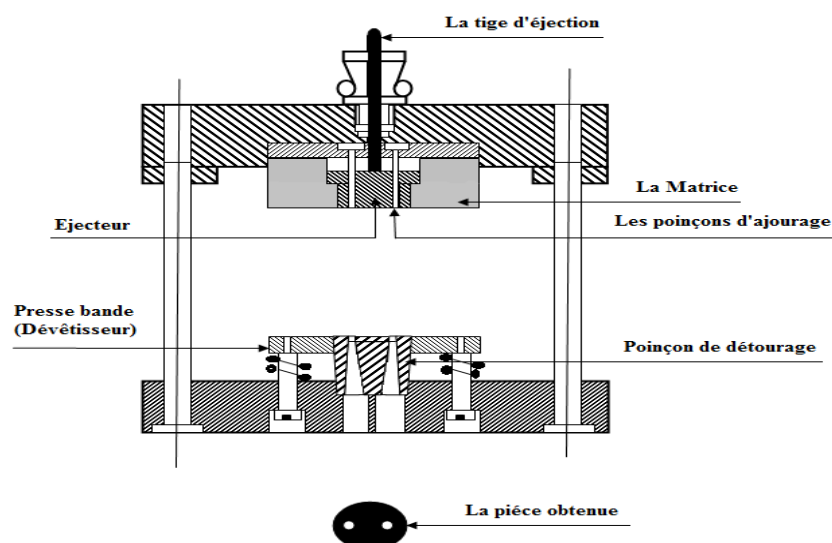


Figure. III.27: Principe d'un Outil Suisse.

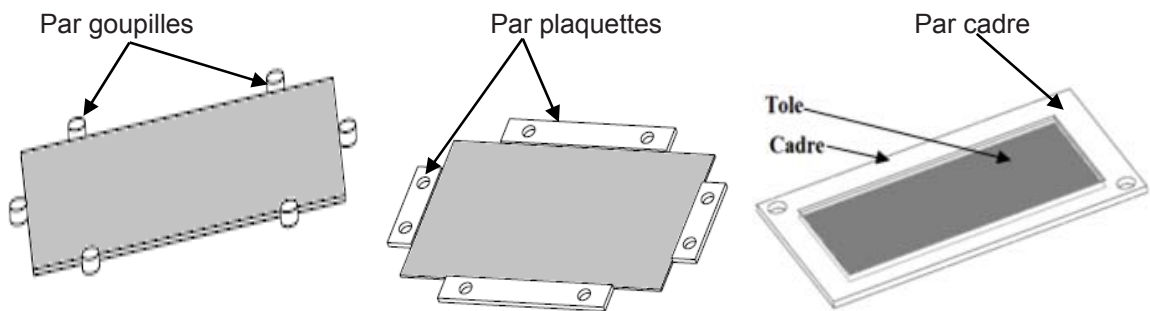
### III.4.2.5 Outils de Reprise

L'outil de reprise fait partie d'un ensemble de plusieurs outils, chacun d'eux, réalise une ébauche de mise en forme de la pièce, à fabriquer. Ces ébauches se succédant une à une, permettent d'obtenir, la pièce finale. On distingue souvent ces outils par les opérations principales réalisées : découpage, cambrage ou pliage, emboutissage, détourage...

Il est utilisé pour reprendre des opérations sur un flan déjà découpé. Généralement, il se monte sur des presses à commande manuelle. Le flan est guidé, et, mis en position dans un drageoir. Ce dernier est guidé, de différentes façons (voir la **Figure. III.28**), par :

- ✓ Un cadre.
- ✓ Des plaquettes de positionnement.
- ✓ Des goupilles de positionnement.

Ce type d'outil est principalement utilisé pour les pièces de petites et moyennes séries.



**Figure. III.28:** Guidage du flan sur un Outil de Reprise par diverses façons.

### III.4.2.6 Outils de Détourage

L'outil de détourage a pour rôle, le détourage des pièces obtenues après emboutissage, en enlevant la matière excédentaire (collerettes ou bords irréguliers).

Pour cela, on distingue trois (03) types d'outils de détourage :

#### a. Détourage Normal

Dans le détourage normal, le centreur est reporté, dont le but est de permettre l'affutage du poinçon par rectification plane, après le démontage.

La pièce est dégagée de la matrice par un éjecteur, avec un effort d'éjection qui s'exerce sur la partie résistante à l'évacuation. (Voir la **Figure III.29**).

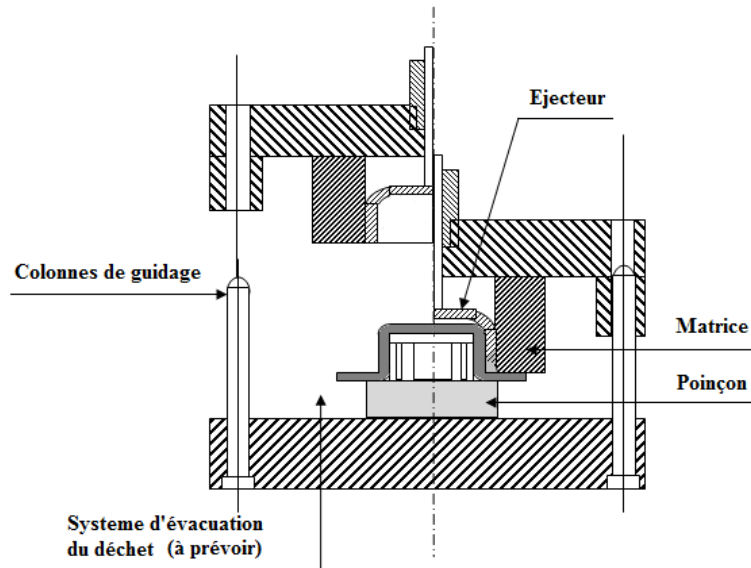


Figure. III.29: Outils de Détourage Normal.

**b. Détourage à Ras**

Il est nécessaire d'effectuer une passe de calibrage avant le détourage, afin d'obtenir un rayon minimal à l'endroit de la coupe.

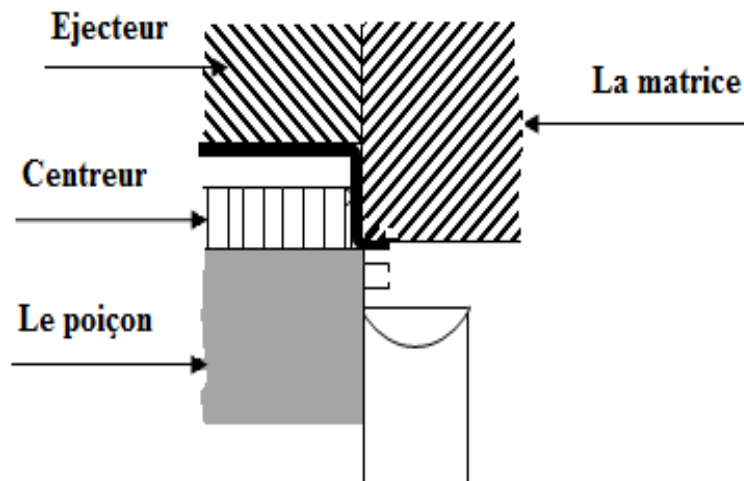


Figure. III.30: Outils de Détourage à Ras.

**a. Détourage-Poinçonnage**

Le palonnier est nécessaire, pour que le poinçon soit dans l'axe de la tige d'éjection.

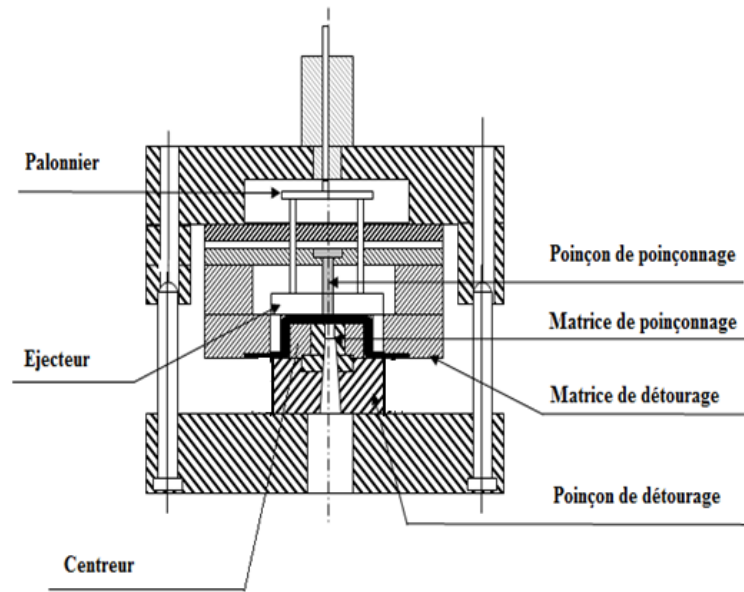


Figure. III.31: Outils de Détourage-Poinçonnage.

### III.4.2.7 Outils à Came

Cette conception permet d'ajouter un mouvement particulier à l'outil dont la direction est différente de la direction verticale du coulisseau de la presse, le coulisseau fait un mouvement vertical, qui est repris par une came qui pousse à son tour un coulisseau propre à l'outil dans la direction perpendiculaire.

Les cames sont utilisées dans les outils de poinçonnage ou de cambrage lorsque plusieurs opérations sont simultanées.

L'outil avec poste à came peut se trouver sur un outil à suivre, un outil transfert, et plus généralement, dans tous les types d'outils. Il ne s'agit donc pas ici, à proprement parler, d'un véritable type d'outil.

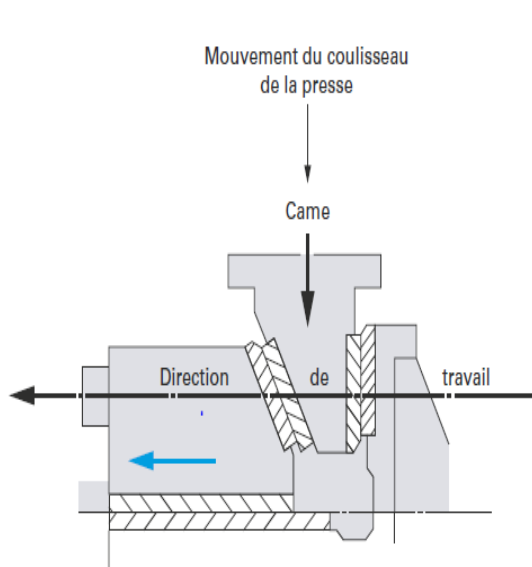


Figure. III.32: Schéma de principe d'un poste à came dans un outil.

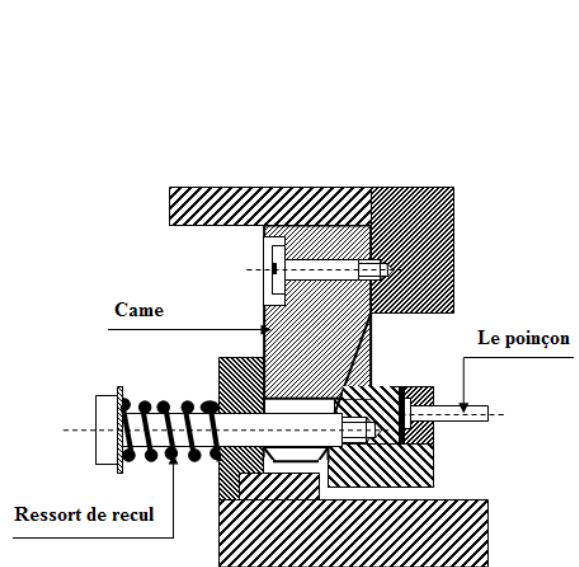


Figure. III.33: Outils à Came.

### III.4.2.8 Outils d'Emboutissage

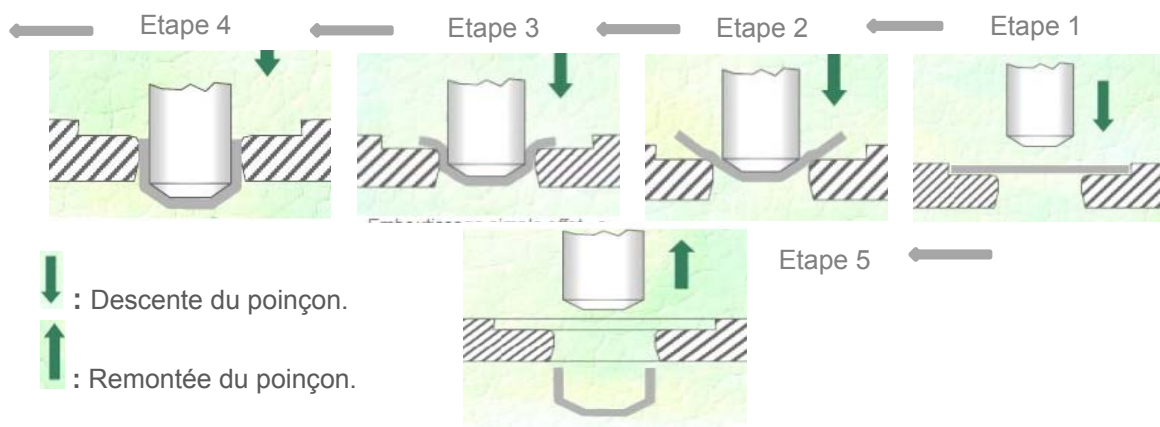
L'outil d'emboutissage, nous permet de former, et, laisser une empreinte creuse sur un flan, par déformation plastique des métaux en feuille.

On distingue deux (2) types d'outils d'emboutissage :

#### a. Outil d'emboutissage Sans Serre-Flan

Cette configuration est la plus simple. Elle est composée d'une matrice et d'un poinçon, équipé d'un coussin élastique situé sous la table de la presse. Pour cette technique, les emboutis réalisés sont peu profonds et ne nécessitent pas d'importants efforts de serrage (voir la **Figure.III.34**). Cet outil est également appelé, outil d'emboutissage par passe à travers.

Le poinçon entraîne la pièce formée à travers la matrice. Au cours de l'opération, les parois de l'embouti augmentent légèrement l'épaisseur, de la sortie de la matrice. À la remontée du coulisseau de la presse, la pièce est décrochée du poinçon par la face inférieure de la matrice.



**Figure. III.34:** Principe du travail d'un Outil d'Emboutissage Sans Serre-Flan.

#### b. Outil d'Emboutissage à Serre-Flan

On distingue deux (2) types d'outils d'emboutissage à serre-flan :

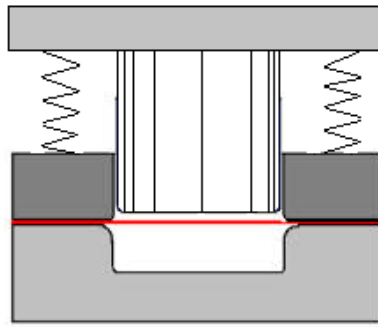
##### - Outil placé sur presse à simple effet

L'outil est monté sur une presse à simple effet, composé d'un poinçon, une matrice et d'un serre-flan. Ce dernier est souvent actionné par des paires de ressorts de rappels, qui servent à amortir et absorber le choc dû, à l'effort appliqué par la presse.

Dans ce cas, l'outil est inversé, le poinçon et le serre-flan sont situés à la partie inférieure de l'outil, par contre la matrice, est située à la partie supérieure de cet outil.

À la fin de l'emboutissage, la pièce finie (emboutie) reste accrochée à la matrice, et, est poussée par des éjecteurs placés en haut de l'outil d'emboutissage.

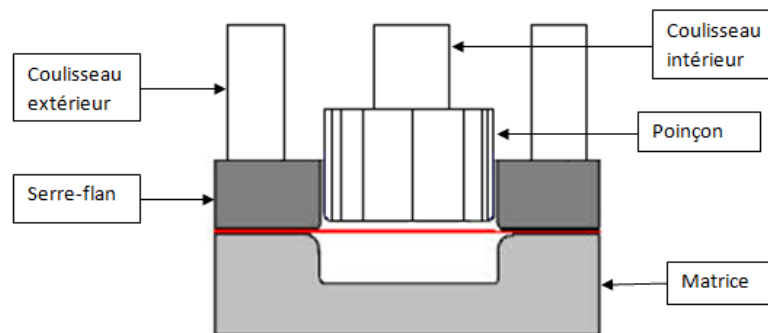
Cette technique de formage est la plus répandue dans l'industrie. Ici, les emboutis sont très profonds et les efforts d'emboutissage sont importants. Un serrage très efficace est nécessaire pour ce type d'emboutissage.



**Figure. III.35:** Outil d'Emboutissage à Serre-Flan, placé sur une Presse à Simple Effet.

### - Outil placé sur Presse à Double Effets

La presse à double effets comporte deux (2) coulisseaux (intérieur et extérieur). Dans ce cas, le coulisseau extérieur porte le serre-flan. Ce dernier maintient la tôle pendant que le poinçon fixé au coulisseau intérieur, déforme le métal.



**Figure. III.36:** Outil d'Emboutissage à Serre-Flan, placé sur une Presse à Double Effets.

### III.4.2.9 Outil de Cambrage

Dans l'industrie, il existe divers modèles d'outils de cambrage, on distingue alors trois (03) types de ces derniers :

#### a. Outil de Cambrage en V

L'outil de cambrage en V est composé d'un poinçon et d'une matrice, généralement, utilisé, pour obtenir des pièces en forme de cornière, formants l'angle de la pièce à réaliser (le V), équipé aussi d'un drageoir. Ce dernier est fixé sur la matrice, qui centre le flan à cambrer.

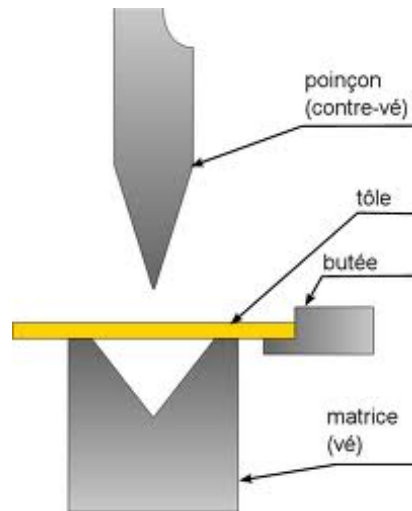


Figure. III.37: Exemple d'Outil de Cambrage en V.

### b. Outil de cambrage en U

En appliquant le même principe que celui du cambrage en V, l'outil de cambrage en U comporte presque les mêmes éléments que le précédent. Ils ne diffèrent que par la forme du poinçon, et de la matrice. Cet outil relève simultanément les deux ailes de U. Il travaille par symétrie.

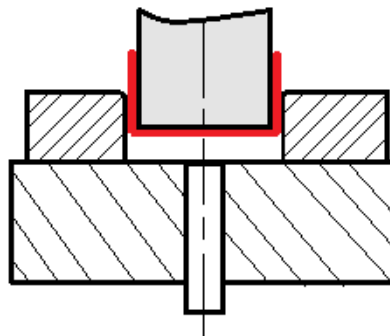


Figure. III.38: Exemple d'Outil de Cambrage en U.

### c. Outil de Cambrage en Équerre

Utilisé pour le cambrage à  $90^\circ$ , il se compose d'un poinçon, d'une matrice et d'un fond de matrice, qui joue le rôle d'un éjecteur.

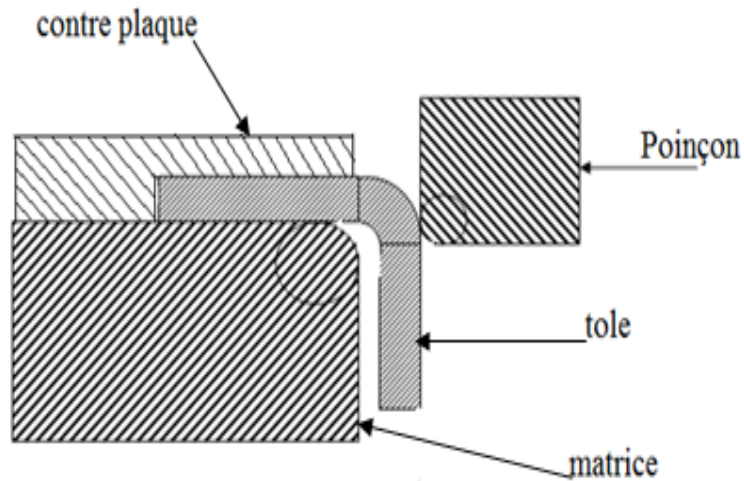


Figure. III.39: Exemple d'Outil de Cambrage en Équerre.

### III.4.3 Outil à Suivre [3]

Cet outil, encore appelé « **outil à suite** » ou « **outil progressif** », permet de réaliser à chaque coup de presse, une pièce (ou plusieurs) terminée (s), au sens de sa mise en forme. Dans ce cas, toutes les étapes de la mise en forme de la pièce (découpage, emboutissage, pliage), sont réalisées successivement avec le même outil, et, sur la même bande.

La **Figure III.40** montre, la pose sur la partie basse de l'outil, de la bande associée sur laquelle peuvent être visualisées, les différentes opérations, de mise en forme.

L'outil se monte sur une presse automatique (**Figure III.41**), équipée d'un dispositif de déroulage de bobine de tôle, d'un redresseur pour engager dans l'outil, une bande plate et d'un aménagement (dispositif de pincage/dépincage de la tôle) permettant l'avance, à la cadence de la presse, de la bande dans l'outil.

L'évacuation automatique des pièces est, le plus souvent, réalisée, en utilisant le poids des pièces. Ensuite, ces pièces sont avancées jusqu'aux bacs, dans lesquels elles tombent.

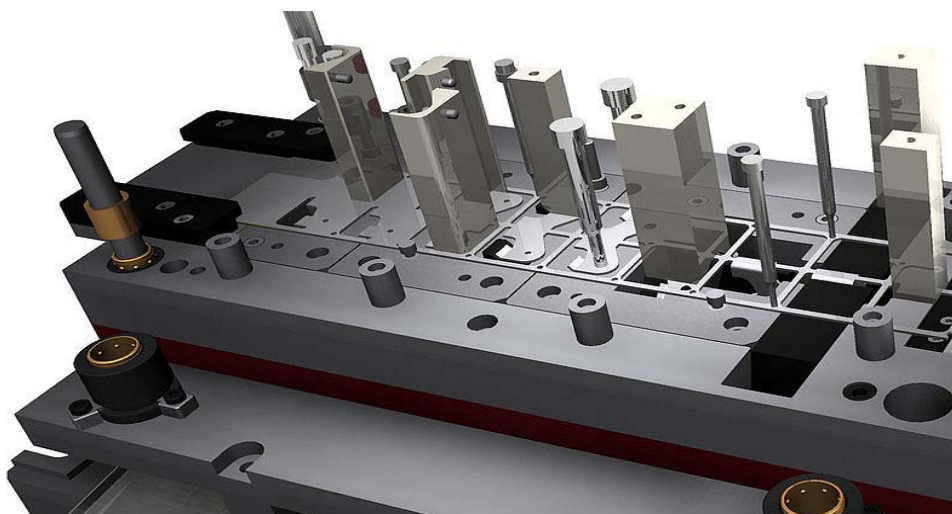


Figure. III.40: Exemple d'un Outil à Suivre avec sa mise en bande.

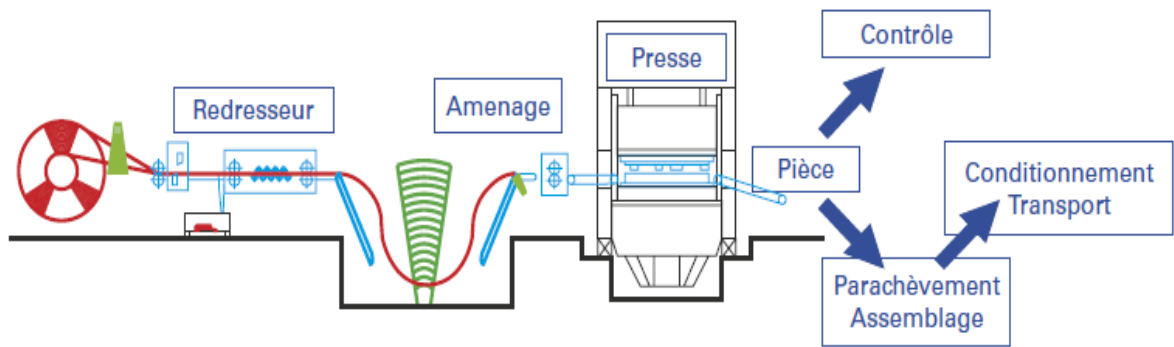


Figure. III.41: Schéma d'une Presse Automatique.

### III.5 Montage des Outils sur les Presses

Le montage des outils sur les différentes presses, se fait suivant diverses méthodes :

#### III.5.1 Petite Presse

##### - Partie inférieure de l'outil :

Le plateau des presses présente des trous taraudés, cela permet une fixation des semelles, et ça varie d'une presse à l'autre (dépend des constructeurs).

On distingue deux (2) manières de fixations des semelles sur le plateau (**Figure III.42**) :

- ✓ Fixation par vis.
- ✓ Fixation par bridage.

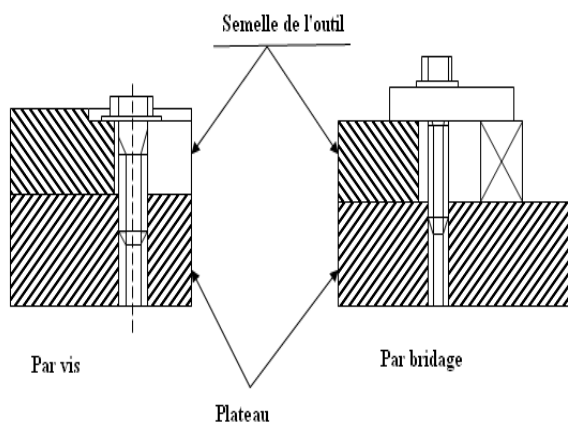


Figure. III.42: Système de fixation des semelles sur un plateau de presse.

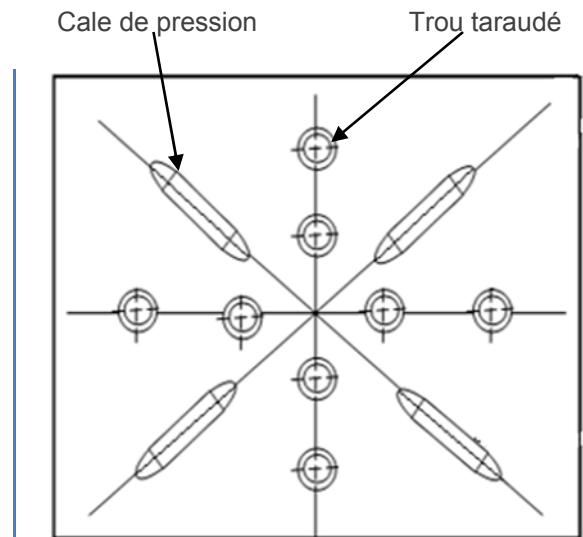
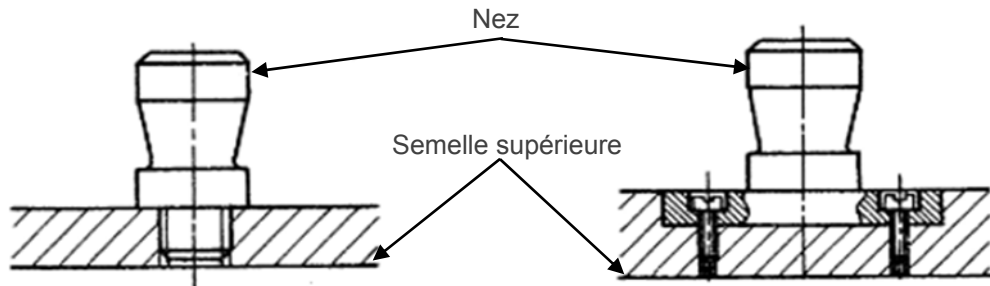


Figure. III.43: Plateau de la presse.

### - Partie supérieure de l'outil

La partie supérieure de l'outil peut se fixer avec un nez, qui sera monté dans le trou lisse du coulisseau, ainsi, il est serré par le chapeau, puis bloquer par une vis de pression. Cette dernière agit sur la partie tronconique du nez.

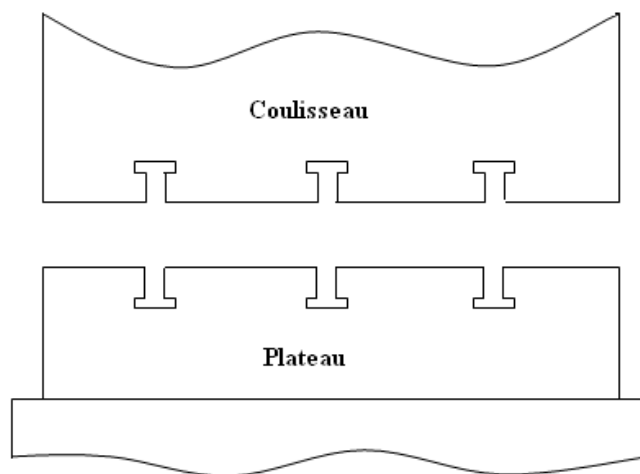
Les outils longs peuvent-être aussi, fixés par les trous des oreilles du coulisseau, comme le montre la **Figure. III.45** ci-dessous.



**Figure. III.45:** Système de fixation de la partie supérieure de l'outil.

### III.5.2 Grosse Presse

La semelle du coulisseau et le plateau de la presse portent des rainures en T. Les semelles de l'outil sont fixées par des boulons ou par des brides.



**Figure. III.46:** Coulisseau et plateau rainurés sur les Grosses Presses.

### III.6 Conclusion

Ce chapitre nous permet d'avoir un aperçu global sur les différents types de presses, leur principe de fonctionnement, et leurs équipements, tels que les différents outils de presses, ainsi que les différents mécanismes entrants. Ce qui nous donnera des idées sur la conception des outils de presses, aussi l'amélioration des systèmes, et les mécanismes montés dans ces machines.

## **CHAPITRE IV**

### **ÉTUDE ET CONCEPTION DE L'OUTIL À BANDE**

## ÉTUDE ET CONCEPTION DE L'OUTIL À BANDE

### IV.1 Introduction

Dans le secteur de l'industrie de l'électroménager, il existe une grande diversité de presses utilisées pour l'obtention des pièces de diverses formes, qui répondent aux besoins des fabricants. Par conséquent, le concepteur d'outils utilisés dans les presses, est contraint à bien dimensionner son outil en fonction de la presse à utiliser, son objectif est de réaliser des pièces ayant un minimum de chutes, pour cela, il doit prendre en compte dans son étude tous les paramètres nécessaires, pour produire dans les meilleurs délais, et à moindre cout de la pièce.

### IV.2 Cahier des charges [11]

Dans les travaux des métaux en feuilles, il existe une grande variété de presses, et leurs choix dépendent des opérations à effectuer. Dans ce travail, la pièce à étudier est : « **une Rondelle de fixation d'une vitre intérieure d'une cuisinière de l'ENIEM** ». Dont les caractéristiques dimensionnelles et géométriques sont présentées sur les figures ci-dessous.

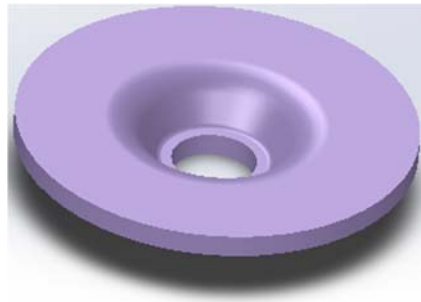


Figure. IV.1: Rondelle de fixation de la vitre du four d'une cuisinière de l'ENIEM.

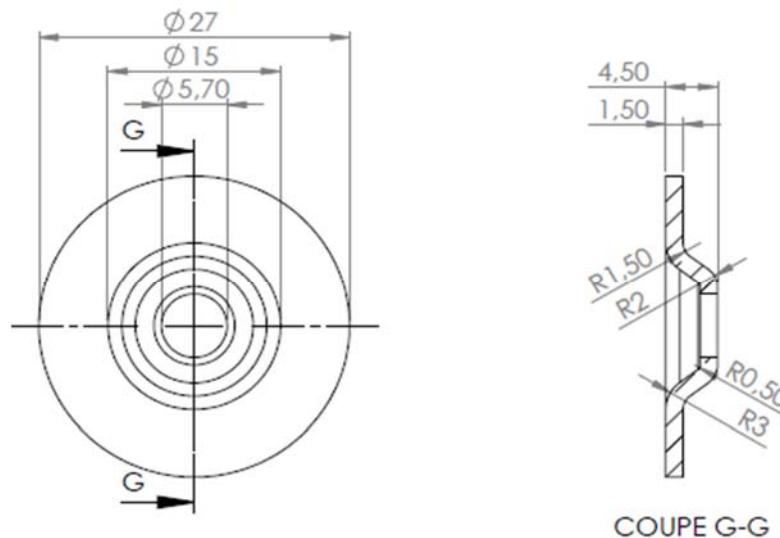


Figure. IV.2 : Dessin de définition de la pièce à réaliser.

### IV.2.1 : Emplacement de la pièce

Avec la rondelle, on peut faire un assemblage totalement contraint, en reliant une vitre intérieure à une porte d'un four de cuisinière.

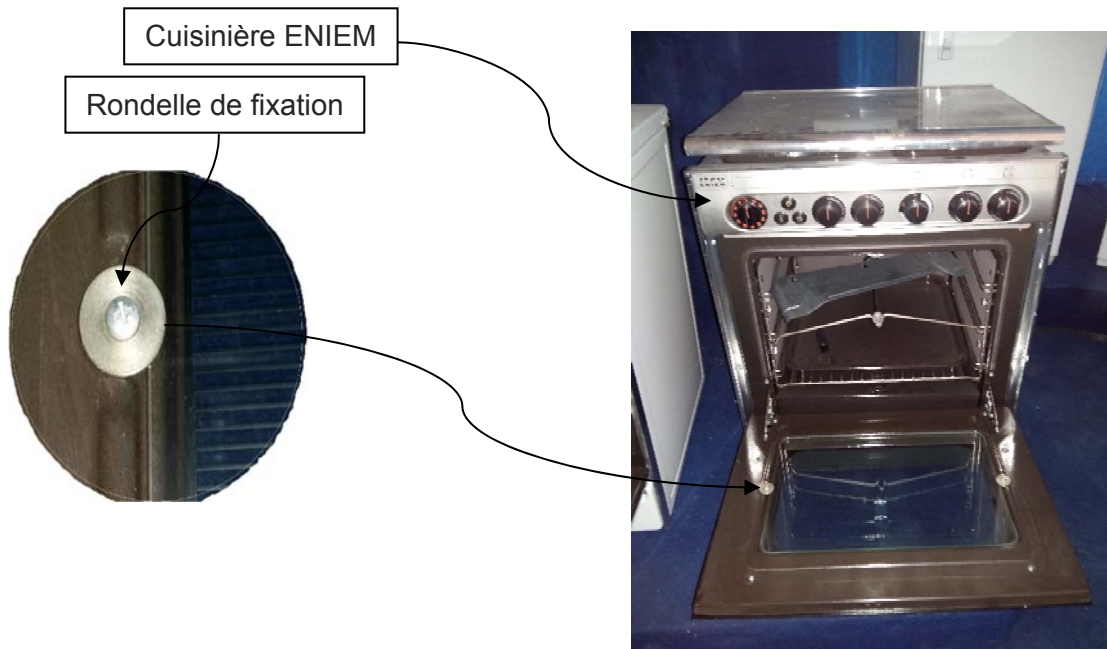


Figure. IV.3 : Emplacement de la rondelle de fixation. [17]

### IV.2.2 : Travail demandé

#### - But :

Cette rondelle 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 la Rondelle de fixation de la vitre intérieure du four d'une cuisinière de l'ENIEM.

#### - Processus de fabrication

Le processus de fabrication de cette rondelle passe par 4 étapes.

**1<sup>ère</sup> étape :** Elle consiste en un découpage des bandes, à partir de la tôle en acier inoxydable (X8 Cr17), fournie en format commercial standard, sous forme de bobines de 2 Tonnes.

**2<sup>ème</sup> étape :** Consiste en la réalisation de deux (2) opérations simultanées : Le découpage du pas et l'emboutissage.

L'opération de découpage du pas consiste à limiter l'avance de la bande, pour pouvoir ensuite, effectuer une autre opération, qui est l'emboutissage, qui permettra à la pièce de prendre la forme creuse de la rondelle.

**3<sup>ème</sup> étape :** L'opération consiste à faire un perçage de (5.7 mm) au centre de la rondelle.

**4<sup>ème</sup> étape :** L'opération consiste à détourer le flanc qui donnera une forme finale de la pièce.

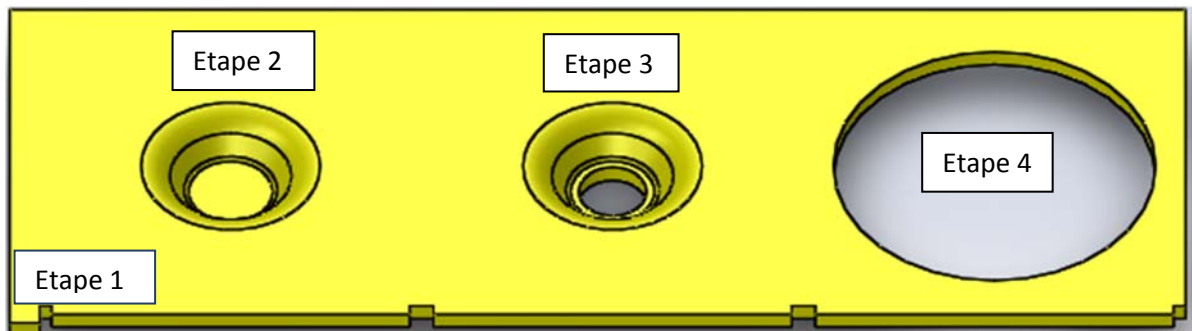


Figure. IV.4 : Etapes du processus de fabrication de la rondelle.

### IV.3 Calcul du flan théorique

L'étude de la mise en bande consiste à rechercher la disposition des pièces dans la bande donnant le minimum de déchet.

La distance entre deux pièces et la largeur des bords de la bande sont égales à l'épaisseur du métal découpé.

Néanmoins, dans le cas du découpage du métal de faible épaisseur, il est prudent de conserver certaine tenue au déchet. La largeur est donc supérieure à  $2 * e$ .

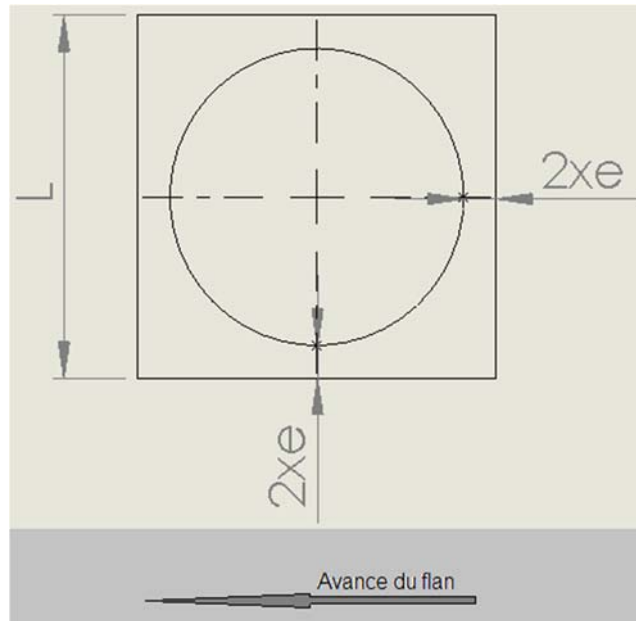


Figure. IV.5 : Flan théorique.

- La largeur du flan :

$$L = D_{Rondelle} + 2 * (2 * e) \quad (IV.1)$$

Avec :

**L** : La largeur du flan, (en mm).

**D<sub>Rondelle</sub>** : Le diamètre extérieur de la rondelle, (en mm).

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

Application Numérique :

$$L = 27 + 2(2 * 1.5) = 33\text{mm.}$$

$$L = 33\text{mm}$$

## IV.4 Calcul des efforts

### IV.4.1 Calcul des efforts de coupe et d'emboutissage

La bande de la tôle est en acier inoxydable X8 Cr17 ;

Avec : **Re = 270 MPa**

**Rm = (450 – 600)MPa**

**A% = 20%**

En tenant compte de tous les paramètres, les efforts de coupe se calculent, selon la loi suivante :

$$F = P \cdot e \cdot R_c \quad (IV.2)$$

Avec :

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

**P** : le périmètre de coupe, (en mm).

**Rc** : la résistance au cisaillement de la bande de tôle, (en MPa).

**e** : épaisseur de la bande de tôle d'acier, (en mm).

Pour assurer un bon fonctionnement de l'outil, et une bonne résistance aux efforts, on prend une valeur moyenne  $R_m = 500 \text{ MPa}$  (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 ( $R_m$ ):

$$R_c = 0.8 \cdot R_m \quad (\text{IV.3})$$

$$R_c = 0.8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa}$$

$$\boxed{R_c = 400 \text{ MPa}}$$

#### - Calcul des périmètres de coupe « P »

**P<sub>1</sub>** : Étant le périmètre du poinçon de détournage final (poinçon de coupe).

$$P_1 = 2 \cdot \pi \cdot R_1 \quad (\text{IV.4})$$

Application Numérique :

$$P_1 = 2 \cdot 3.14 \cdot 13.5$$

$$\boxed{P_1 = 84.78 \text{ mm}}$$

**P<sub>2</sub>** : Étant le périmètre du poinçon de perçage.

$$P_2 = 2 \cdot \pi \cdot R_2 \quad (\text{IV.5})$$

Application Numérique :

$$P_2 = 2 \cdot 3.14 \cdot 2.85$$

$$\boxed{P_2 = 17.898 \text{ mm}}$$

**P<sub>3</sub>** : Étant le périmètre de la ligne de coupe du pas, (voir la **Figure IV.6**).

$$P_3 = A + B + C + D + E + F + G$$

$$P_3 = 2 + 1 + 1 + 30 + 1 + 1 + 2$$

$$\boxed{P_3 = 38 \text{ mm}}$$

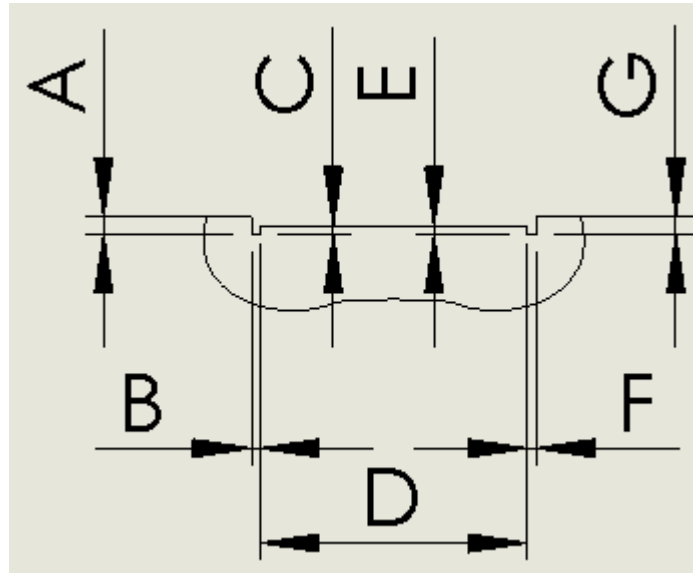


Figure. IV.6 : Le périmètre de la ligne de coupe du pas.

### - Calcul de l'effort de chaque poinçon

#### a- Le poinçon de détournage final

$$F_1 = P_1 \cdot e \cdot R_c \quad (\text{IV.6})$$

Application Numérique:

$$F_1 = 84.78 \cdot 1.5 \cdot 400$$

$$\boxed{F_1 = 5086.8 \text{ daN}}$$

#### b- Le poinçon de perçage

$$F_2 = P_2 \cdot e \cdot R_c \quad (\text{IV.7})$$

Application Numérique :

$$F_2 = 17.898 \cdot 1.5 \cdot 400$$

$$\boxed{F_2 = 1073.88 \text{ daN}}$$

#### c- Le poinçon du pas

$$F_3 = P_3 \cdot e \cdot R_c \quad (\text{IV.8})$$

Application Numérique :

$$F_3 = 38 \cdot 1.5 \cdot 400$$

$$F_3 = 2280 \text{ daN}$$

#### d- Le poinçon de forme (poinçon d'emboutissage)

##### - Effort d'emboutissage

Le calcul de l'effort d'emboutissage cylindrique se fait comme suit :

$$F_e = \pi \cdot D \cdot e \cdot R_m \quad (\text{IV.9})$$

Avec :

**D** : le diamètre du poinçon, (en mm).

**R<sub>m</sub>** : la résistance à la rupture de la bande de tôle, (en MPa).

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

Application Numérique :

$$F_e = 3.14 \cdot 15 \cdot 1.5 \cdot 500$$

$$F_e = 3532.5 \text{ daN}$$

#### IV.4.2 Calcul de l'effort total de coupe

L'effort total **F<sub>d</sub>** nécessaire au découpage et à l'emboutissage de la pièce est égal à la somme des efforts de chaque poinçon.

$$F_d = F_1 + F_2 + F_3 + F_e$$

Application Numérique :

$$F_d = 5086.8 + 1073.88 + 2280 + 3532.5$$

$$F_d = 11973,18 \text{ daN}$$

#### IV.4.3 Calcul de l'effort de dévêtissage (Extraction) [13]

C'est l'effort nécessaire pour dégager les poinçons de la bande après découpage, poinçonnage ou emboutissage.

Il varie de 2 à 7% de l'effort de découpage suivant l'importance de la bande entourant le poinçon.

- ✓ Pour un découpage en plein tôle, donc avec d'importants déchets, l'effort d'extraction est égal à 7% de l'effort de découpage :  $F_{\text{dév}} = 7\% F_{\text{découpage}}$ .

- ✓ Pour une faible perte de métal (déchet faible), l'effort d'extraction est égal à 2% de l'effort de découpage :  $F_{dev} = 2\% F_{decoupage}$ .

$$F_{dev} = (2 \text{ à } 7)\% \cdot F_d \quad (IV.10)$$

Dans notre cas, on a pris en compte la qualité du produit, et, l'état de surface de la rondelle à réaliser. On a choisi d'avoir une perte moyenne en métal.

$$F_{dev} = 3.5\% \cdot F_d \quad (IV.11)$$

Application Numérique :

$$F_{dev} = 0.035 \cdot 11973,18$$

$$F_{dev} = 419.06 \text{ daN}$$

#### IV.4.4 Calcul de l'effort d'éjection [13]

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

$$F_{ej} = 1.33\% \cdot F_d \quad (IV.12)$$

$$F_{ej} = 0.0133 \cdot F_d$$

Application Numérique :

$$F_{ej} = 0.0133 \cdot 11973,18$$

$$F_{ej} = 159.24 \text{ daN}$$

#### IV.4.4 Calcul de l'effort total que doit fournir la presse

La force produite provient de la presse à utiliser, elle doit produire un effort supérieur à la somme des efforts (effort total de l'outil).

$$F_{pr} > F_d + F_{dev} + F_{ej} \quad (IV.13)$$

Avec :

$F_{pr}$  : Effort de la presse, (en daN),

$F_d$  : Effort total de découpage-poinçonnage, (en daN),

$F_{dev}$  : Effort de dévêtissage, (en daN),

$F_{éj}$  : Effort d'éjection, (en daN).

Application Numérique :

$$F_{pr} > 11973,18 + 419.06 + 159.24$$

$$F_{pr} > 12551.48 \text{ daN}$$

Donc, le choix de la presse se fait, selon la force suivante :

$$F_{pr} > 12.55 \text{ Tonnes – force}$$

#### IV.4.5 Choix du nombre de ressorts [15]

L'encombrement de l'outil, nous a permis de définir le nombre de ressorts à utiliser. Le nombre de ressorts est de quatre (4).

$$F_{ressort} = \frac{F_{dev}}{N} \quad (IV.14)$$

Avec :

$F_{ressort}$  : La force d'un seul ressort, (en daN),

$F_{dev}$  : La force d'extraction des poinçons, (en daN),

$N$  : Le nombre de ressorts ( $N=4$  ressorts).

Application Numérique :

$$F_{ressort} = \frac{419.06}{4}$$

$$F_{ressort} = 104.765 \text{ daN}$$

- **Calcul de la raideur des ressorts :**

$$F_{ressort} = K \cdot x \quad (IV.15)$$

Avec :

$K$  : La raideur du ressort, (en N/mm).

$x$  : La course de compression du ressort ( $x = 6\text{mm}$ ).

$$K = \frac{F_{\text{ressort}}}{x} \quad (\text{IV.16})$$

Application Numérique :

$$K = \frac{1047.65}{6}$$

$$K = 174.6 \text{ N/mm}$$

La course du ressort comprimé est égale à la course de l'outil.

Une règle générale à observer dans le choix d'un ressort, est de toujours utiliser autant de ressorts que la matrice peut adapter, ce qui fournira la charge recherchée, avec une déflexion minimum. En découlera, une augmentation de la durée de vie du ressort, réduire les risques de rupture et l'arrêt des machines, des pertes de production et l'augmentation des frais de maintenance. [16]

Pour le dimensionnement du ressort qui supportera l'effort  $F_{\text{ressort}}$ , il est nécessaire de consulter des abaques. Ces abaques classent les ressorts par couleur, ce qui correspond au type de charge, comme la montre les figures ci-dessous.



Figure. IV.7 : Classification des ressorts par couleur.

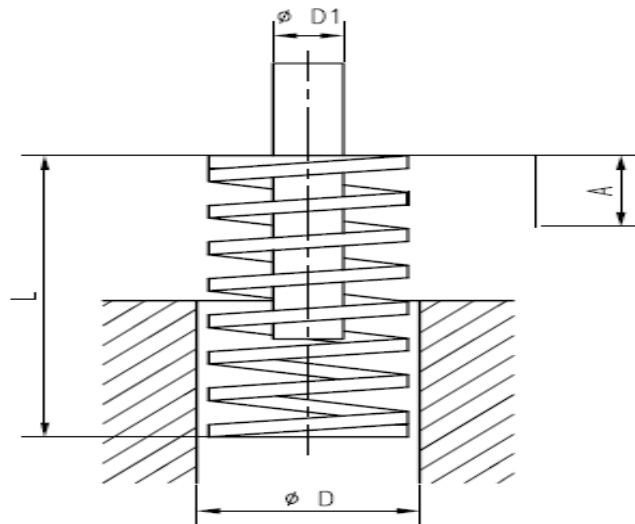


Figure. IV.8 : Schéma de dimensionnement d'un Ressort.

Tableau. IV.1 : Ressort à couleur rouge (charge forte). [16]

Heavy Duty

ISO Colour Coded Red

Charge Forte

Norme ISO Couleur Rouge

Hole Dia. (mm)	Rod Dia. (mm)	Free Length (mm)	CATALOG NUMBER	Load at 1 mm Def. (N)	LOAD DEFLECTION TABLE							
					For Optimum Life (15% of free length)		For Long Life (20% of free length)		Maximum Operating Def. (25% of free length)		*Maximum Deflection	
A	B	C			Load (N)	Deflection (mm)	Load (N)	Deflection (mm)	Load (N)	Deflection (mm)	Load (N)	Deflection (mm)
Ø Logement (mm)	Ø Axe (mm)	Lo Libre (mm)	Référence	Charge à 1 mm Déflexion (N)	TABLEAU DE CHARGE							
A	B	C			Vie Optimale (15% Lo Libre)		Vie Longue (20% Lo Libre)		Déflexion Maxi. de fonctionnement (25% Lo Libre)		*Déflexion Maxi	
					Charge (N)	Déflexion (mm)	Charge(N)	Déflexion (mm)	Charge (N)	Déflexion (mm)	Charge (N)	Déflexion (mm)
20	10	25	R205-404	216.0	810.0	3.8	1080.0	5.0	1350.0	6.3	1620.0	7.5
		32	R205-405	168.0	806.4	4.8	1075.2	6.4	1344.0	8.0	1612.8	9.6
		38	R205-406	129.0	735.3	5.7	980.4	7.6	1225.5	9.5	1419.0	11.0
		44	R205-407	112.0	739.2	6.6	985.6	8.8	1232.0	11.0	1456.0	13.0
		51	R205-408	94.0	719.1	7.7	958.8	10.2	1198.5	12.8	1410.0	15.0
		64	R205-410	72.1	692.2	9.6	922.9	12.8	1153.6	16.0	1369.9	19.0
		76	R205-412	59.7	680.6	11.4	907.4	15.2	1134.3	19.0	1373.1	23.0
		89	R205-414	50.5	674.2	13.4	898.9	17.8	1123.6	22.3	1363.5	27.0
		102	R205-416	44.2	676.3	15.3	901.7	20.4	1127.1	25.5	1370.2	31.0
		115	R205-418	38.4	662.4	17.3	883.2	23.0	1104.0	28.8	1344.0	35.0
		127	R205-420	34.1	649.6	19.1	866.1	25.4	1082.7	31.8	1295.8	38.0
		139	R205-422	31.0	646.4	20.9	861.8	27.8	1077.3	34.8	1302.0	42.0
		152	R205-424	28.2	643.0	22.8	857.3	30.4	1071.6	38.0	1297.2	46.0
		305	R205-448	15.0	686.3	45.8	915.0	61.0	1143.8	76.3	1365.0	91.0

D'après le **tableau IV.1**, on a opté pour des ressorts dont les caractéristiques sont les suivantes :

**Tableau. IV.2** : Caractéristiques du ressort choisi, (voir la **Figure IV.7**).

<b>D (mm)</b>	<b>D<sub>1</sub> (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>K (N/mm)</b>	<b>A (mm)</b>	<b>F<sub>ressort</sub> (N)</b>
20	10	32	174.6	6.4	1075.2

#### IV.4.6 Le choix de la presse à utiliser

Le choix de la presse à utiliser dans les travaux des métaux en feuille dépend essentiellement de plusieurs paramètres tels que :

- ✓ L'effort de la presse qui doit être supérieur aux efforts utilisés,
- ✓ La longueur et la largeur de la table, suffisamment supérieures, à celle de l'outil,
- ✓ La hauteur libre entre la table et le coulisseau doit être supérieure, à la hauteur de l'outil, à l'état fermé.
- ✓ La nature des opérations à réaliser.

Pour notre cas, il s'agit d'un emboutissage, poinçonnage et détournage. Une presse mécanique est mieux indiquée.

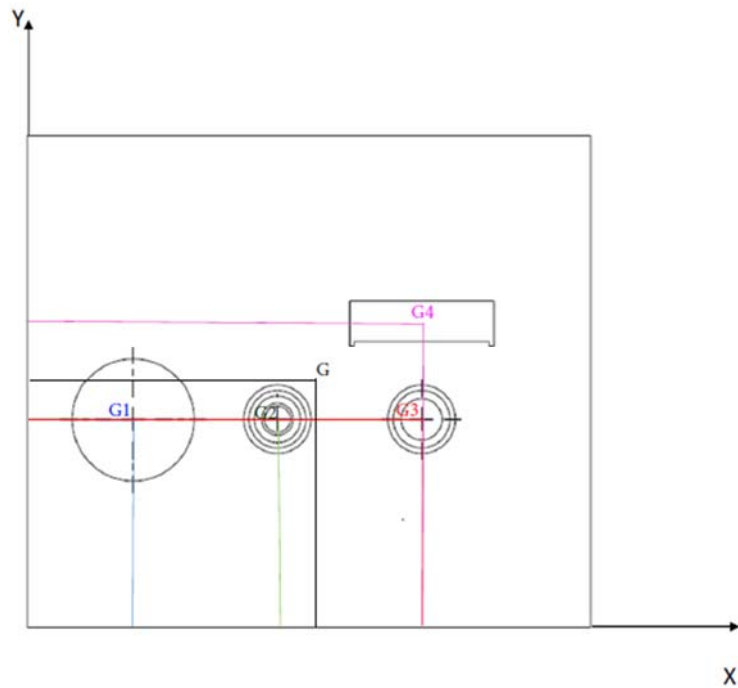
À partir de l'effort que nous avons calculé, nous avons opté pour une presse TP 30 col de cygne de construction Allemande, qui a les caractéristiques, présentées dans le Tableau suivant:

**Tableau. IV.3** : Caractéristiques de la presse à utiliser.

<b>Capacité de la presse</b>	30 Tonnes
<b>Distance entre la table et le coulisseau, (en PMH)</b>	300 mm
<b>Distance entre la table et le coulisseau, (en PMB)</b>	220 mm
<b>Dimensions de la table (longueur et largeur)</b>	700 × 400 mm <sup>2</sup>
<b>Hauteur du plan de travail</b>	80 mm

#### IV.4.7 Calcul du barycentre de l'outil de coupe

Pour que la presse travaille d'une façon correcte, on doit positionner l'outil sur la table de façon à ce que la résultante de tous les efforts sollicités pendant le travail (centre d'inertie), passe par l'axe vertical du coulisseau de la presse.



**Figure. IV.9:** Position adéquate de l'outil sur la presse (centre d'inertie).

Soient  $G_1(X_1, Y_1)$ ,  $G_2(X_2, Y_2)$ ,  $G_3(X_3, Y_3)$  les coordonnées des centres d'inertie des poinçons :  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ , respectivement.

$G_1$  : Centre d'inertie du poinçon de détournage.

$G_2$  : Centre d'inertie du poinçon de perçage.

$G_3$  : Centre d'inertie du poinçon de forme.

$G_4$  : Centre d'inertie du poinçon du pas.

Le centre d'inertie des efforts de découpage s'écrit comme suit :

$$X_G = \frac{\sum_{i=1}^4 F_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^4 F_i} \quad (\text{IV.17})$$

$$Y_G = \frac{\sum_{i=1}^4 F_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^4 F_i} \quad (\text{IV.18})$$

**Tableau. IV.4 :** Centre d'inertie des efforts des poinçons.

$G_i$	$X_i(\text{mm})$	$Y_i(\text{mm})$	$F_i(\text{daN})$
$G_1$	23.50	45.25	5086.8
$G_2$	55.50	45.25	1073.88
$G_3$	87.50	45.25	3532.50
$G_4$	87.50	67	2280

$$\sum_{i=1}^4 F_i = 11973.18 \text{ daN}$$

Abscisses du centre d'inertie de l'outil:

$$F_1 \cdot X_1 = 5086.8 \cdot 23.5 = 119539.8 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$F_2 \cdot X_2 = 1073.88 \cdot 55.5 = 59600.34 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$F_3 \cdot X_3 = 3532.5 \cdot 87.5 = 309093.75 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$F_4 \cdot X_4 = 2280 \cdot 87.5 = 199500 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$\sum_{i=1}^4 F_i \cdot X_i = 687733.89 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$X_G = \frac{687733.89}{11973.18} = 57.44 \text{ mm}$$

$$X_G = 57.44 \text{ mm}$$

Pour les ordonnées :

$$F_1 \cdot Y_1 = 5086.8 \cdot 45.25 = 230177.7 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$F_2 \cdot Y_2 = 1073.88 \cdot 45.25 = 48593.07 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$F_3 \cdot Y_3 = 3532.5 \cdot 45.25 = 159845.625 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$F_4 \cdot Y_4 = 2280 \cdot 67 = 152760 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$\sum_{i=1}^4 F_i \cdot Y_i = 591376.395 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$Y_G = \frac{591376.395}{11973.18} = 49.39 \text{ mm}$$

$$Y_G = 49.39 \text{ mm}$$

L'axe du coulisseau de la machine passe par les coordonnées suivantes :

$$X_G = 57.44 \text{ mm} \text{ et } Y_G = 49.39 \text{ mm} \text{ par rapport au repère } (O, x, y).$$

**IV.4.8 Calcul du flambement des poinçons**

Une poutre longue et rectiligne, est soumise à deux efforts axiaux  $\vec{F}$ , directement opposés, augmentant progressivement.

Le flambement est un phénomène qui se produit pour une certaine valeur de la charge appelée, charge critique  $P_{cr}$ .

Si :

- $F < P_{cr}$  : Avec une stabilité, la poutre reste rectiligne et ne subit qu'un faible raccourcissement  $\Delta L$ , dû à la compression.
- $F > P_{cr}$  : Avec aucune stabilité, la poutre se déforme et se plie, les déformations deviennent très importantes, et il y 'aura une intervention brusque et rapide d'une rupture de cette poutre.

$P_{cr}$  : Charge critique de flambement en (daN), se calcule comme suit



$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} \tag{IV.19}$$

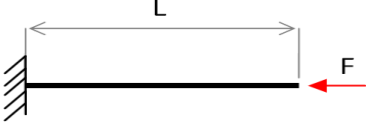
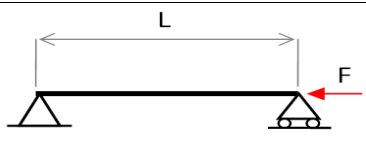
Avec :

- F** : effort du poinçonnage, (en daN),
- E**: Module d'élasticité,  $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$ ,
- I** : Moment d'inertie, (en  $\text{mm}^4$ ),
- l** : Longueur libre de flambement, (en mm).

La longueur libre du flambage  $l$  est donnée en fonction du type d'appui.

**Tableau. IV.5** : Valeurs de la longueur du flambage  $l$  en fonction de la longueur réelle  $L$ .

Longueur libre du flambement		
Type de liaisons	Figure	Valeur de $l$
Encastré - Pivot		$l = 0.7L$
Encastré des deux côtés		$l = 0.5L$

Encastré – Libre		$l = 2L$
Pivot des deux côtés		$l = L$

Dans le cas de notre outil, les poinçons sont encastrés d'un côté, et libres de l'autre côté, la longueur libre du flambement est donc égale à :  $2L \rightarrow \boxed{l = 2L}$

- **Poinçon de détournage final**

Le poinçon est de forme cylindrique, de diamètre  $D = 27\text{mm}$ , et de longueur  $L = 66\text{mm}$ .

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \tag{IV.20}$$

Application Numérique :

$$I = \frac{\pi \cdot 27^4}{64} = 26073.82 \text{ mm}^4$$

$$\boxed{I = 26073.82 \text{ mm}^4}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 26073.82}{(2 \cdot 66)^2} = 309838.5072 \text{ daN}$$

$$\boxed{P_{cr} = 309838.5072 \text{ N}}$$

On a :  $F_1 = 5086.8 \text{ daN}$  (Effort du poinçon du détournage).

$$\boxed{F_1 < P_{cr}} \tag{IV.21}$$

- **Ensemble, (poinçon de perçage + chemise, porte poinçon du perçage)**

Pour le poinçon d perçage, on a :  $D = 5.7\text{mm}$

$$I_1 = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \tag{IV.22}$$

Application Numérique :

$$I_1 = \frac{\pi \cdot 5.7^4}{64} = 51.79 \text{ mm}^4$$

$$I_1 = 51.79 \text{ mm}^4$$

Pour la chemise porte poinçon de perçage, on a :

Le diamètre extérieur :  $D_e = 15 \text{ mm}$

Le diamètre intérieur :  $D_i = 5.7 \text{ mm}$

$$I_2 = \frac{\pi \cdot (D_e^4 - D_i^4)}{64} \quad (\text{IV.23})$$

Application Numérique :

$$I_2 = \frac{\pi \cdot (15^4 - 5.7^4)}{64} = 2431.99 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = 2431.99 \text{ mm}^4$$

Le moment d'inertie de l'ensemble (**poinçon de perçage + chemise, porte poinçon de perçage**), est l'addition des deux moments  $I_1$  et  $I_2$ , respectivement :

$$I = I_1 + I_2 \quad (\text{IV.24})$$

Application Numérique :

$$I = 51.79 + 2431.99 = 2483.78 \text{ mm}^4$$

$$I = 2483.78 \text{ mm}^4$$

Et, pour l'ensemble de la longueur,  $L = 69 \text{ mm}$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2483.78}{(2 \cdot 69)^2} = 27004.34 \text{ daN}$$

$$P_{cr} = 27004.34 \text{ daN}$$

On a :  $F_2 = 1073.88 \text{ daN}$  (Effort de perçage).

$$F_2 < P_{cr} \quad (\text{IV.25})$$

- **Poinçon de forme (poinçon d'emboutissage)**

Pour le diamètre :  $D = 15 \text{ mm}$ , et la longueur  $L = 67 \text{ mm}$

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \quad (\text{IV.26})$$

Application Numérique :

$$I = \frac{\pi \cdot 15^4}{64} = 2483.79 \text{ mm}^4$$

$$\boxed{I = 2483.79 \text{ mm}^4}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2483.79}{(2 \cdot 67)^2} = 28640.716 \text{ daN}$$

$$\boxed{P_{cr} = 28640.716 \text{ daN}}$$

On a :  $F_e = 3532.5 \text{ daN}$  (Effort d'emboutissage).

$$\boxed{F_e < P_{cr}} \quad (\text{IV.27})$$

#### - Poinçon du pas

Pour la longueur :  $L = 66 \text{ mm}$ .

Le Moment d'inertie, mesuré, à partir du logiciel CAO-Solidwords est le suivant :

$$\boxed{I = 2193.33 \text{ mm}^4}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2193.33}{(2 \cdot 66)^2} = 26063.6 \text{ daN}$$

$$\boxed{P_{cr} = 26063.6 \text{ daN}}$$

On a :  $F_3 = 2280 \text{ daN}$  (Effort du poinçon du pas).

$$\boxed{F_3 < P_{cr}} \quad (\text{IV.28})$$

D'après les résultats précédents, les efforts dus à l'emboutissage et au poinçonnage-détourage, sont inférieurs aux charges critiques de flambement, donc les poinçons sont sollicités uniquement en compression.

#### IV.4.9 Calcul de la résistance des poinçons à la compression [3]

On dit qu'un corps est sollicité à la compression, si les forces extérieures se réduisent à deux(2) forces égales, et directement opposées, qui tendent à raccourcir le corps.

$$\text{Condition de résistance :} \quad \sigma_{com} < R_e \quad (\text{IV.29})$$

Avec :

$R_e = 750 \text{ MPa}$  (La limite élastique de l'acier XC200C12), les poinçons sont fabriqués à partir de ce matériau.

$$\sigma_{\text{com}} = \frac{F}{S} \quad (\text{IV.30})$$

**F** : effort de poinçonnage, (en N),

**S** : section du poinçon, (en  $\text{mm}^2$ ).

#### - Poinçon du détournage

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (\text{IV.31})$$

Application Numérique :

$$S_1 = \frac{\pi \cdot 27^2}{4} = 572.265 \text{ mm}^2$$

$$\boxed{S_1 = 572.265 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{com1}} = \frac{F_1}{S_1} \quad (\text{IV.32})$$

Application Numérique :

$$\sigma_{\text{com1}} = \frac{50868}{572.265} = 88.88 \text{ N/mm}^2$$

$$\boxed{\sigma_{\text{com1}} = 88.88 \text{ N/mm}^2}$$

#### - Poinçon de perçage

$$S_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (\text{IV.33})$$

A.N :

$$S_2 = \frac{\pi \cdot 5.7^2}{4} = 25.505 \text{ mm}^2$$

$$\boxed{S_2 = 25.505 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{com2} = \frac{F_2}{S_2} \quad (IV.34)$$

Application Numérique :

$$\sigma_{com2} = \frac{10738.8}{25.505} = 421.05 \text{ N/mm}^2$$

$$\boxed{\sigma_{com2} = 421.05 \text{ N/mm}^2}$$

- **Poinçon de forme (poinçon d'emboutissage)**

$$S_3 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (IV.35)$$

Application Numérique :

$$S_3 = \frac{\pi \cdot 15^2}{4} = 176.625 \text{ mm}^2$$

$$\boxed{S_3 = 176.625 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{com3} = \frac{F_e}{S_3} \quad (IV.36)$$

Application Numérique :

$$\sigma_{com3} = \frac{35325}{176.625} = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$\boxed{\sigma_{com3} = 200 \text{ N/mm}^2}$$

- **Poinçon du pas**

$$S_4 = [(9 \cdot 32) + (1 \cdot 1) + (1 \cdot 1)]$$

$$\boxed{S_4 = 290 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{com4} = \frac{F_4}{S_4} \quad (IV.37)$$

Application Numérique :

$$\sigma_{com4} = \frac{22800}{290} = 78.62 \text{ N/mm}^2$$

$$\boxed{\sigma_{com4} = 78.62 \text{ N/mm}^2}$$

D'après les résultats précédents, les contraintes de compression sont inférieures à la limite élastique du matériau, donc la condition de résistance à la compression est vérifiée.

## IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réussi à faire une étude, et à concevoir un outil à bande qui sert à la réalisation d'une rondelle de fixation de la vitre intérieure d'un four de la cuisinière ENIEM.

Les différents calculs que nous avons effectués successivement, nous ont permis d'avoir les dimensions approximatives du flan théorique, la capacité de la presse à utiliser après le calcul de toutes les forces et la position adéquate de l'outil sur la table de la presse. Un calcul de vérification au flambement de tous les poinçons n'est pas épargné. Les résultats des efforts appliqués sur les poinçons ainsi trouvés sont loin des valeurs critiques.

## IV.6 Détail de l'outil à bande

Après la description de l'outil employé, une étude détaillée de tous les éléments qui le constituent a été effectuée.

### ► Semelle supérieure :

Elle a pour rôle de porter les portes poinçons ainsi que les embases et sert aussi de lien avec le nez de la presse.

### ► Plaque d'appui :

Elle sert à protéger la semelle supérieure des déformations au cours du travail, et à absorber les chocs dus au poinçonnage.

### ► Porte poinçon :

Il sert à fixer et guider les différents poinçons pendant leur travail et aussi de support au sert flan.

### ► Poinçons :

Ce sont les éléments qui travaillent le plus au sein de l'outil. Un calcul au flambement de ces poinçons de faible section est inévitable. Pour éviter ce phénomène, nous avons eu recours à l'utilisation des chemises dans lesquelles sont insérées ces dernières, qui sont fixées directement au porte poinçon.

### ► Chemise porte poinçon :

La chemise a pour le rôle de protéger un poinçon de faibles dimensions, contre le flambement, et à la compression. Dans notre cas, la chemise joue un double rôle, elle sert à protéger le poinçon de perçage contre le flambement, ainsi pour le rôle d'épouser la forme géométrique de la rondelle lors du poinçonnage, afin d'éviter toutes déformations de la pièce, et d'avoir un poinçonnage réussi.

### ► Serre flan :

Il sert à appuyer le flan contre la matrice lors du poinçonnage, de décoller la bande du poinçon et aussi, il permet de guider les poinçons ainsi que les vis d'écartement qui jouent le rôle de relais entre les portes poinçons et le sert flan tout en guidant aussi les ressorts entre ces derniers.

### ► La matrice :

Elle doit résister aux différents efforts tels que le découpage et l'emboutissage. Elle doit être suffisamment épaisse pour supporter l'effort du sert flan et d'éviter les déformations.

### ► La butée :

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

**► Les glissières :**

Ce sont des baguettes fixes sur la matrice pour assurer le guidage et l'acheminement de la tôle.

**► les éjecteur :**

Dans un outil à suivre à bande, le rôle des éjecteurs est d'extraire la bande de tôle après l'opération d'emboutissage, pour permettre ensuite l'avance du flan, et, continuer les opérations restantes.

**► Semelle inférieure :**

C'est une plaque sur laquelle les matrices sont ajustées, son épaisseur doit être suffisante pour résister à l'effort de découpage.

**► Embase :**

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

**► Colonnes de guidage :**

Elles coulissent dans les embases supérieures avec glissement, et, elles sont emmanchées sur les embases inférieures.

**Mise en plan : [14]**

Dans cette partie du travail, nous avons utilisé le logiciel CAO – Solidworks, pour calculer les différentes caractéristiques dimensionnelles et géométriques des pièces constituant l'outil, et, ce à l'aide des mises en plan suivantes :

**- Outil à bande**

**Planche 1 :** Semelle supérieure.

**Planche 2 :** Plaque d'appui supérieure.

**Planche 3:** Porte poinçons.

**Planche 4 :** serre flan.

**Planche 5 :** Matrice.

**Planche 6 :** Semelle inférieure.

**Planche 7 :** Embase supérieure.

**Planche 8 :** Embase inférieure.

**Planche 9 :** Colonne de guidage.

**Planche 10 :** Porte glissières.

**Planche 11 :** Butée.

**Planche 12** : Glissière gauche.

**Planche 13** : Glissière droite 1.

**Planche 14** : Glissière droite 2.

**Planche 15** : Éjecteur.

**Planche 16** : Poinçon de forme.

**Planche 17** : Poinçon de pas.

**Planche 18** : Poinçon de perçage.

**Planche 19** : Poinçon de détournage.

**Planche 20** : Chemise porte poinçon de perçage.

**Planche 21** : Outil à Bande.

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail sur le thème de ce mémoire, m'a permis d'avoir une excellente maîtrise de l'outil informatique, notamment les outils de conception (CDAO). Participer à un projet d'une grande entreprise nationale du secteur industriel. Suivre les procédés de fabrication des diverses formes de pièces mécaniques, m'ont permis d'apprendre des techniques, et des méthodes de conception. C'est une occasion pour moi d'aborder un des domaines essentiels de l'ingénierie, afin d'accéder à la vie professionnelle.

De nos jours, les procédés de mise en forme des pièces, à partir d'une tôle d'acier, sont très connus dans l'industrie moderne, en utilisant des machines spéciales à fonctions multiples. Ce qui permet l'obtention, des produits en grandes séries, à moindre coût.

Le cœur, ou la partie essentielle de ce travail, est la conception de l'outil à bande qui va servir, à la réalisation d'une rondelle de fixation de la vitre intérieure d'un four de la cuisinière ENIEM. Ce travail est réalisé en utilisant le logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO - Solidworks), qui a permis la détermination des caractéristiques dimensionnelles et géométriques des différents éléments de l'outil.

Cette conception, est une solution parmi tant d'autres. Notre choix devait répondre au cahier des charges, faciliter la réalisation du produit, en tenant compte de la qualité, à moindre coût.

Au cours de cette étude, nous avons conçu un outil de petites dimensions, qui répond bien sûr, aux cahiers des charges, selon les dimensions de la machine, qui convient pour l'outil. Le choix des dimensions de chaque élément de l'outil à bande, est selon les conditions de résistances, et les contraintes sollicitées sur les poinçons, ainsi selon le calcul des efforts fourni par la presse, que peut supporter l'outil.

Nous avons réussi à concevoir cet outil, nous avons pris les dimensions exactes des éléments essentiels, selon les normes exigées. (Voir la figure de la perspective de notre outil, dans la partie « **Objectif** »).

Notre travail a été réalisé avec un immense plaisir, il reste ouvert aux critiques, ainsi qu'aux propositions allant dans un sens positif, de son éventuel amélioration.

Au cours de ce projet, j'ai eu la chance d'être en contact avec l'équipe d'ingénieurs, et de techniciens travaillant au service Bureau d'Études. De ce fait, je suis très reconnaissant pour l'aide, qui m'a été apporté par le personnel de l'entreprise.

### **Perspectives:**

Aucun travail d'expertise ou de recherche n'est jamais terminer. On est très content d'avoir travaillé à l'échelle industrielle, et d'avoir trouvé une solution à un problème de l'entreprise ENIEM. Donc, on espère que notre travail servira à d'autres étudiants qui vont essayer de réaliser d'autres outils pour réaliser d'autres pièces des différents appareils électroménagers. Vu la crise économique, c'est très important d'étudier un problème des côtés: qualité et coût.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

[1] : Les articles d'expert, [http// :www.construiracier.fr](http://www.construiracier.fr)

[2] : F. GUEZI, R. MIKOUDECHE, Y. HADDADOU, Élaboration des courbes de trempabilité pour les aciers courants, Mémoire de Licence Professionnelle, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, année 2010.

[3] : SNDL : Techniques de l'ingénieur.

[4] : TAÂMALLAH Ouahiba, Effet des traitements mécaniques de surfaces sur l'érouissage et la ténacité d'un acier, Mémoire de magister, Université Badji Mokhtar Annaba, année 2012.

[5] : Éric GILDEMYN, Caractérisation des procédés de fabrication de pièces de sécurité automobile ; Optimisation multiobjectif de la mise en forme, Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers ParisTech, 19 Novembre 2008.

[6] : HALLOUMI Anouar, Modélisation mécanique et thermique du procédé de laminage asymétrique, Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines, Saint-Etienne, 17 Janvier 2011.

[7] : 2491-Emboutissage, [http// :fr.scribd.com](http://fr.scribd.com)

[8] : CHAMEKH Abdesslem, Optimisation des procédés de mise en forme par réseaux de neurones artificiels, Thèse de doctorat, École Nationale d'Ingénieurs de Monastir Tunisie, 16 Février 2007.

[9] : Cours sur le pliage des tôles ; Cours technologie, Rocdacier, 12 janvier 2010 ; [http// :www.rocdacier.com](http://www.rocdacier.com)

[10] : MAKICH Hamid, Étude théorique et expérimentale de l'usure des outils de découpe ; Influence sur la qualité des pièces découpées, Thèse de doctorat, UFR des sciences et techniques de l'université de Franche-Comté, 19 Janvier 2011.

[11] : S. LARBI PACHA, S.HIDER, Étude et conception d'un outil à suivre à bande, Thèse d'ingénieur, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Année 2012.

[12] : Découpe & mise en forme des métaux en feuilles, IUT de Ville d'Avray.

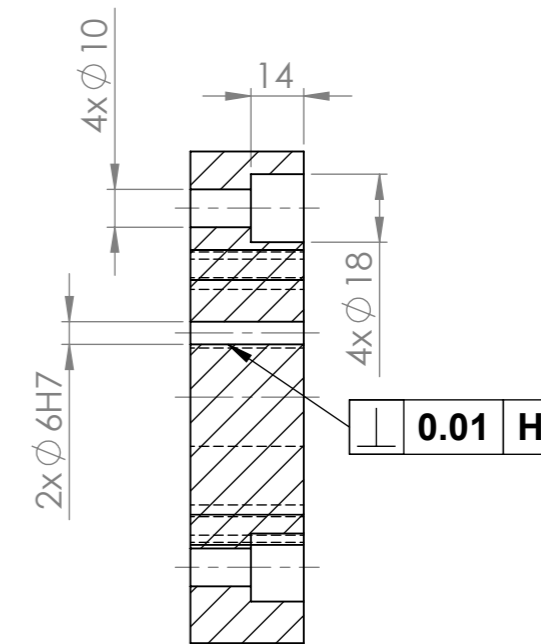
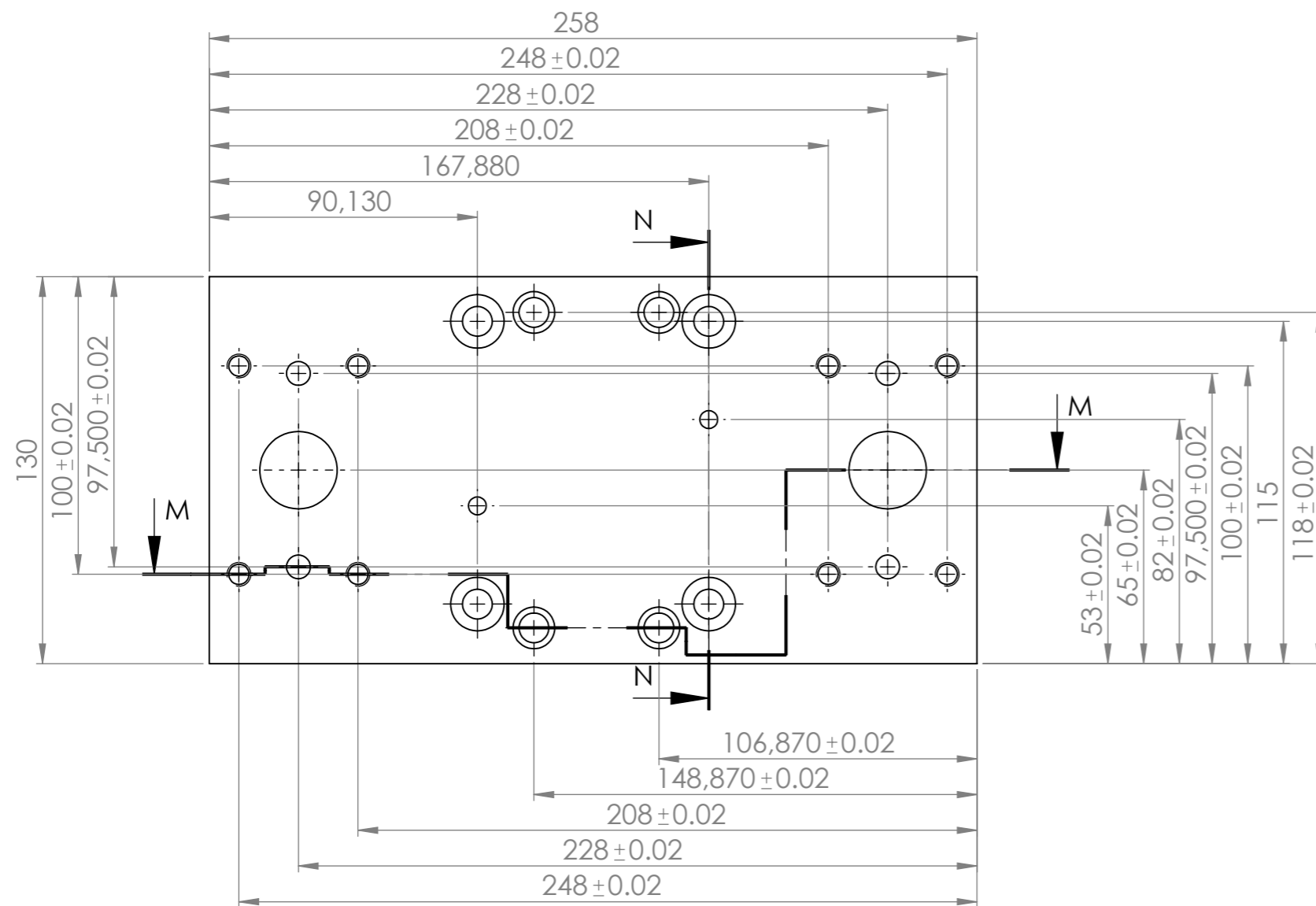
[13] : DIEMUNSCH Nicolas, Dossier de conception détaillée, BTS conception industrialisation en microtechniques, Académie de Versailles, Année 2008.

[14] : Guide de Dessinateur Industriel « Chevalier », édition 2004.

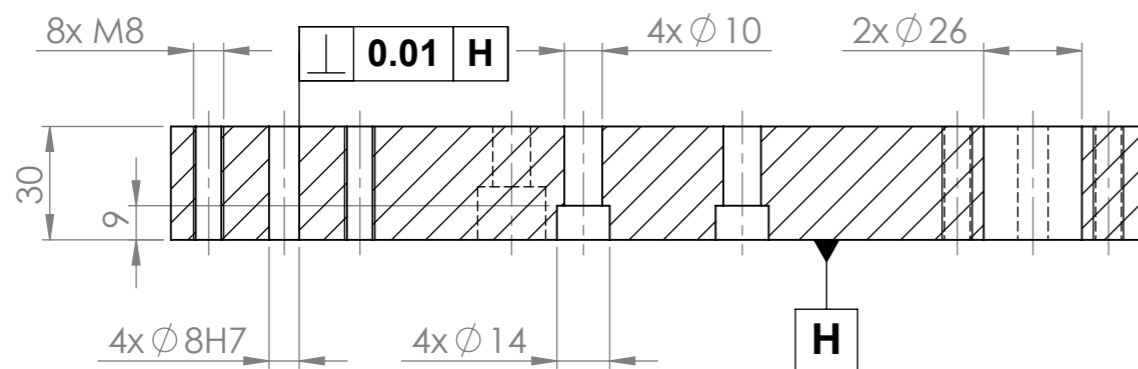
[15] : Composants de construction mécanique, Rabourdin industrie, [http// :www.rabourdin.fr](http://www.rabourdin.fr)

[16] : ISO Die Springs, [http// :www.assocspring.co.uk](http://www.assocspring.co.uk)

[17] : Documents E.N.I.E.M.

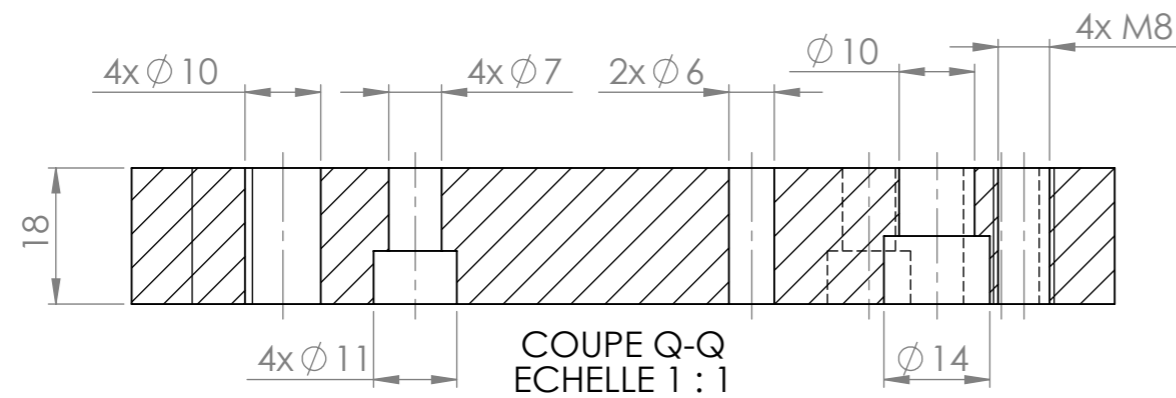
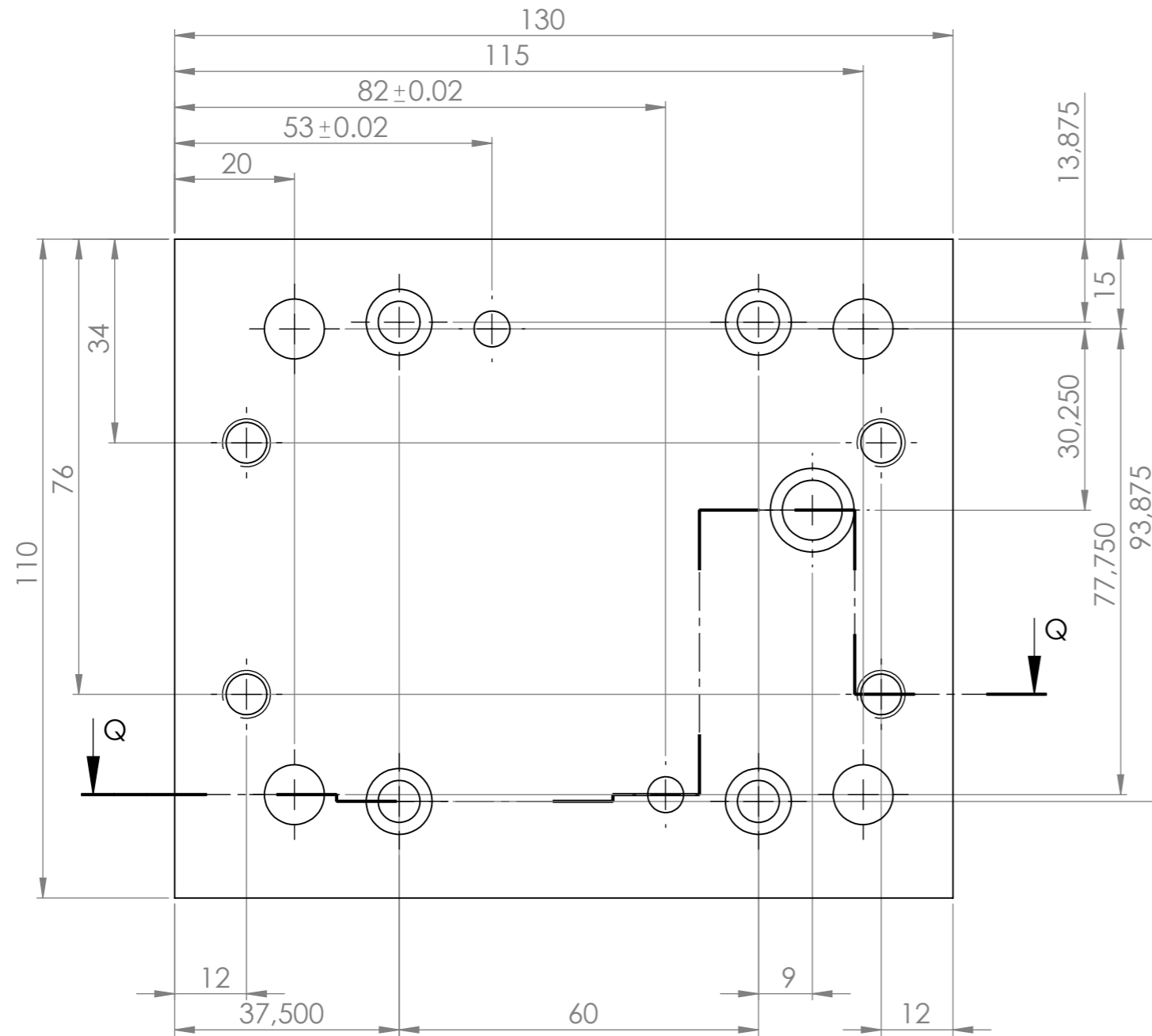


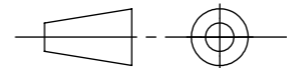
COUPE N-N

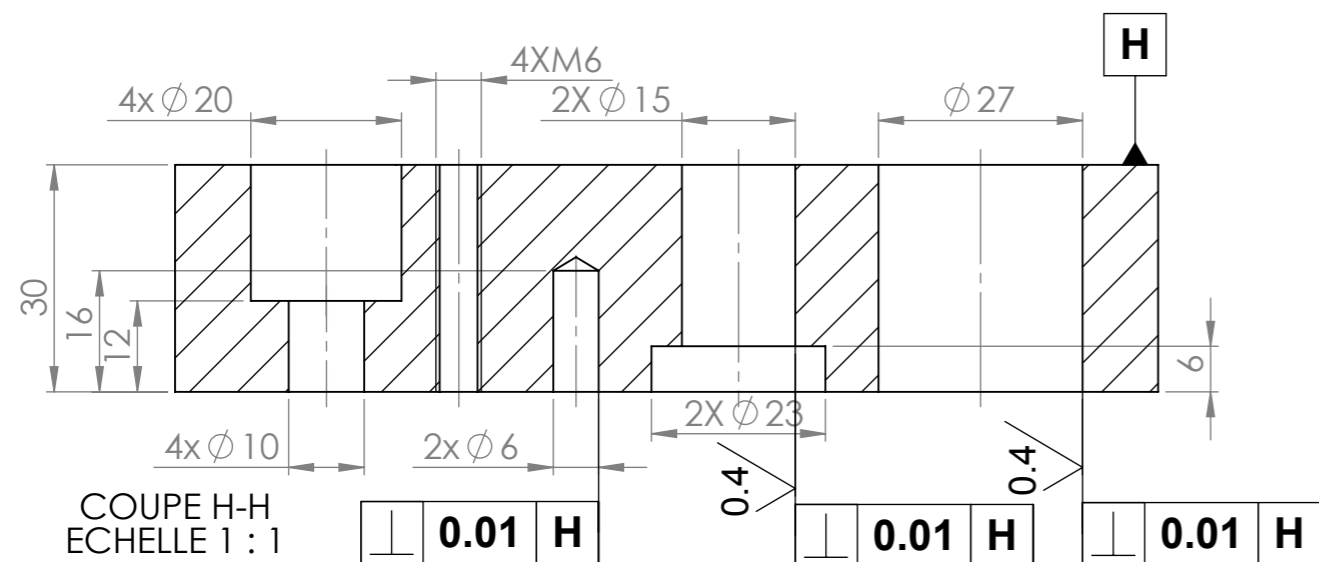
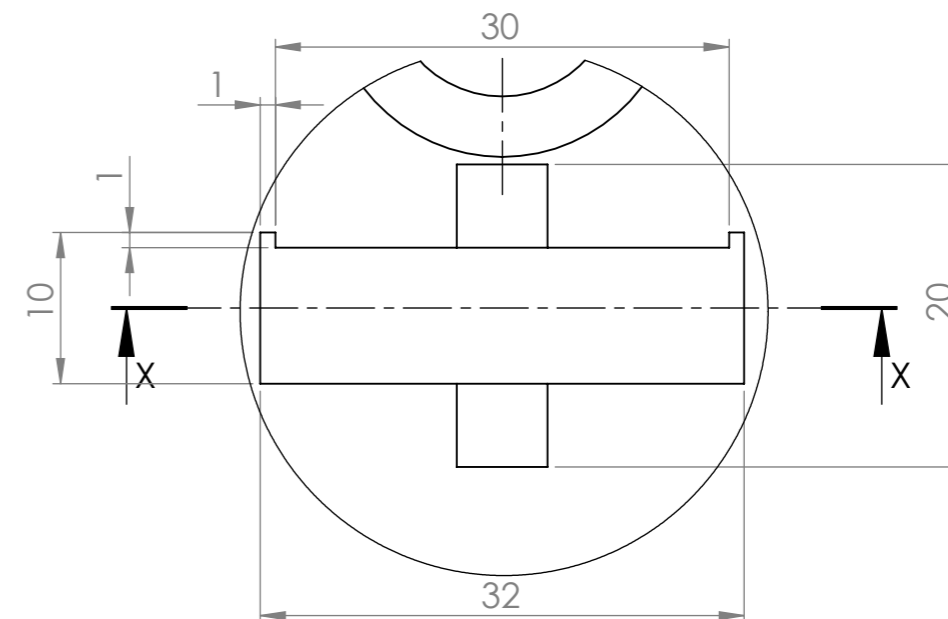
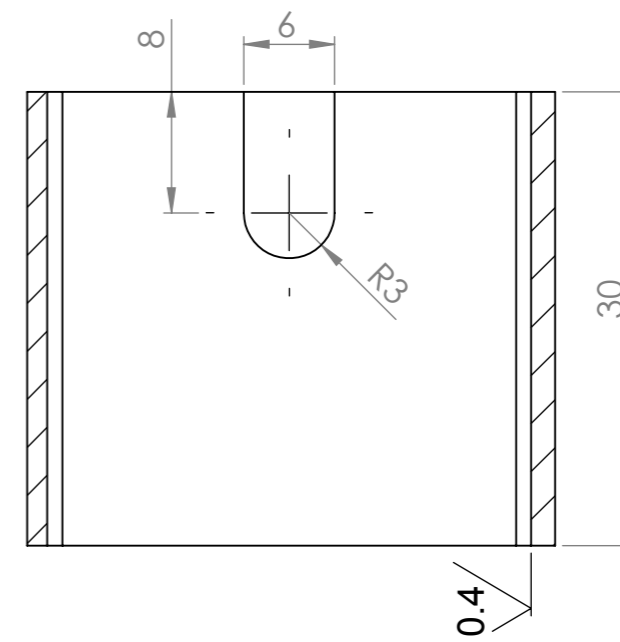
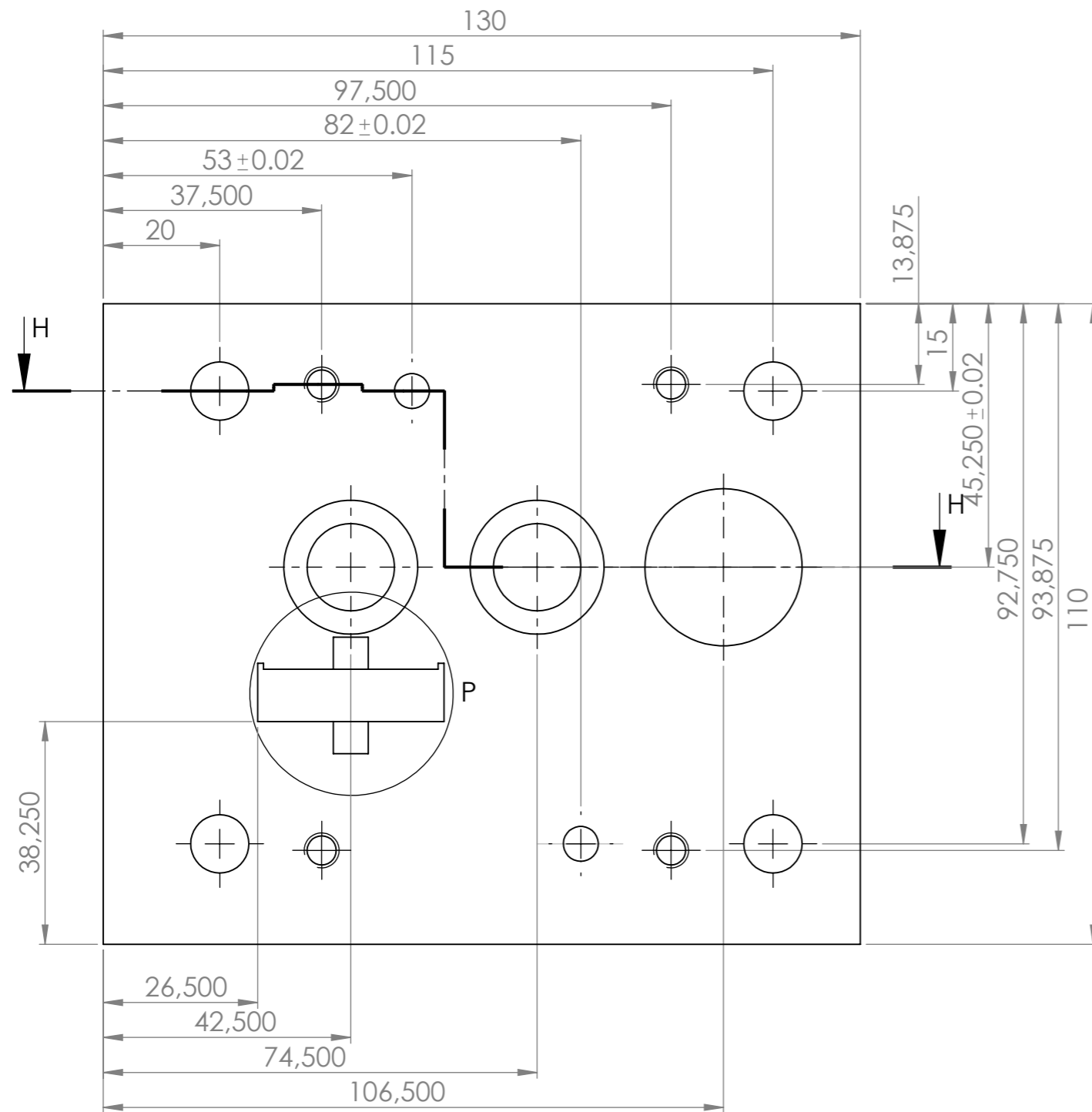


COUPE M-M

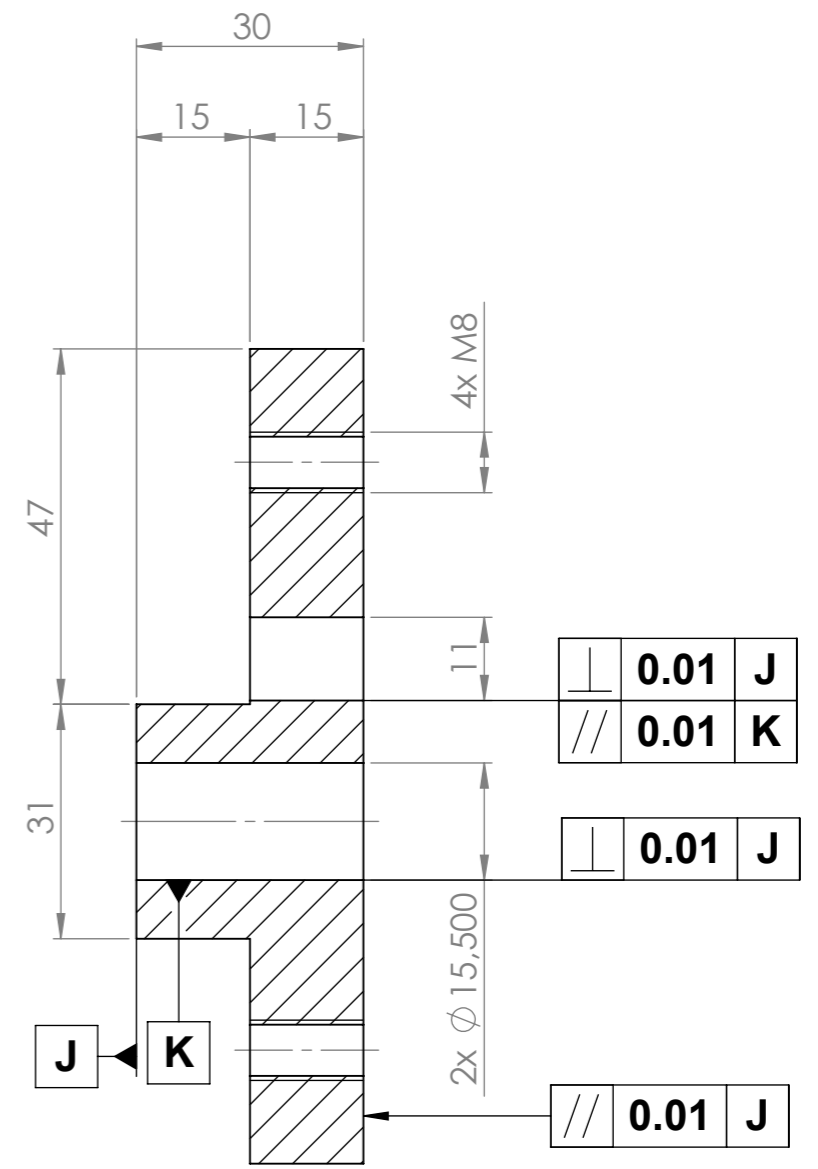
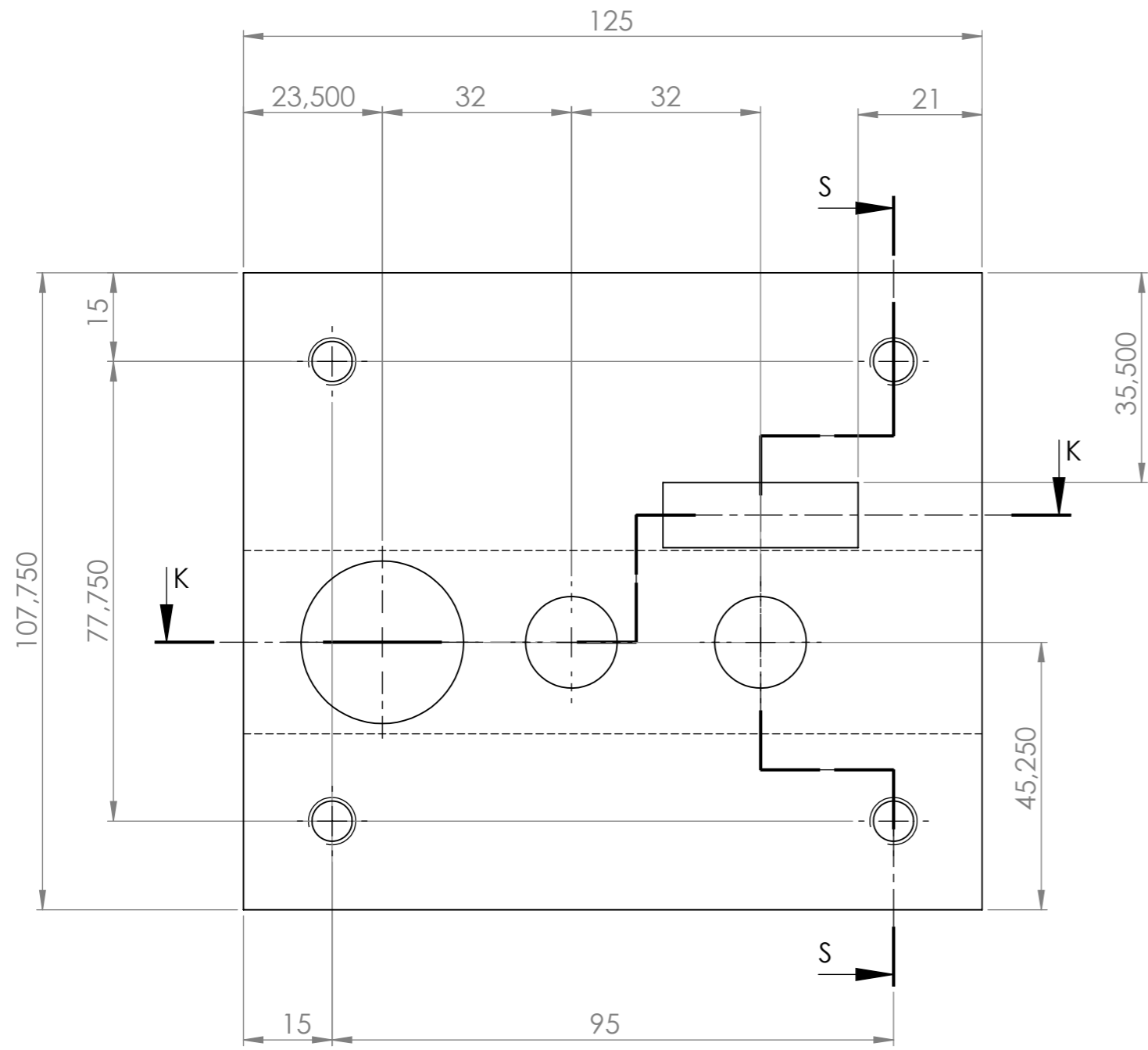
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
01	01	Semelle superieure	E24	
<b>OUTIL A BANDE</b>				
Ech: 1:2		FGC-GM-UMMTO	planche N° : 01	
A3		HADDADOU Younes	M2 CM	



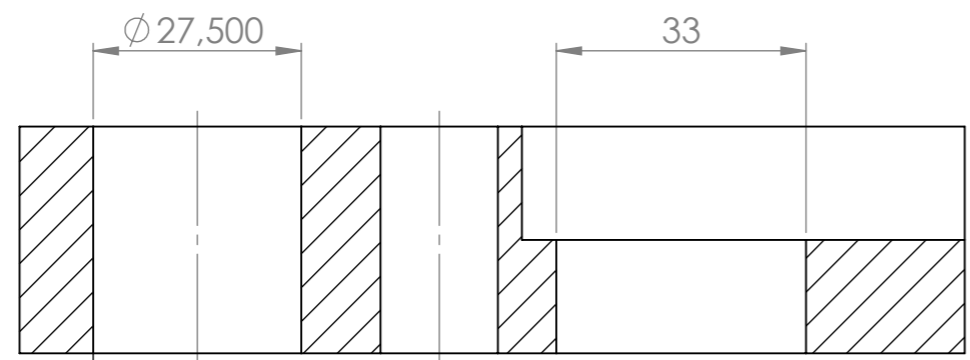
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
02	01	Plaque d'appui superieure	E24	
<b>OUTIL A BANDE</b>				
Ech: 1:1				
		FGC-GM-UMMTO	planche N° : 02	
A3		HADDADOU Younes	M2 CM	



Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
03	01	Porte poinçon	E24	
<b>OUTIL A BANDE</b>				
Ech: 1:1		FGC-GM-UMMTO		
A3		HADDADOU Younes		planche N° : 03
				M2 CM

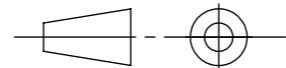


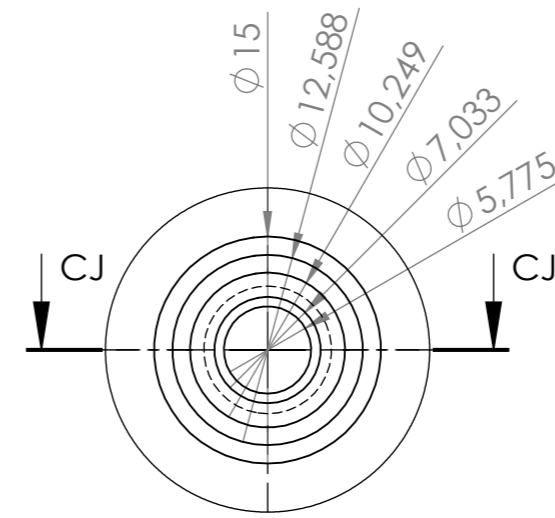
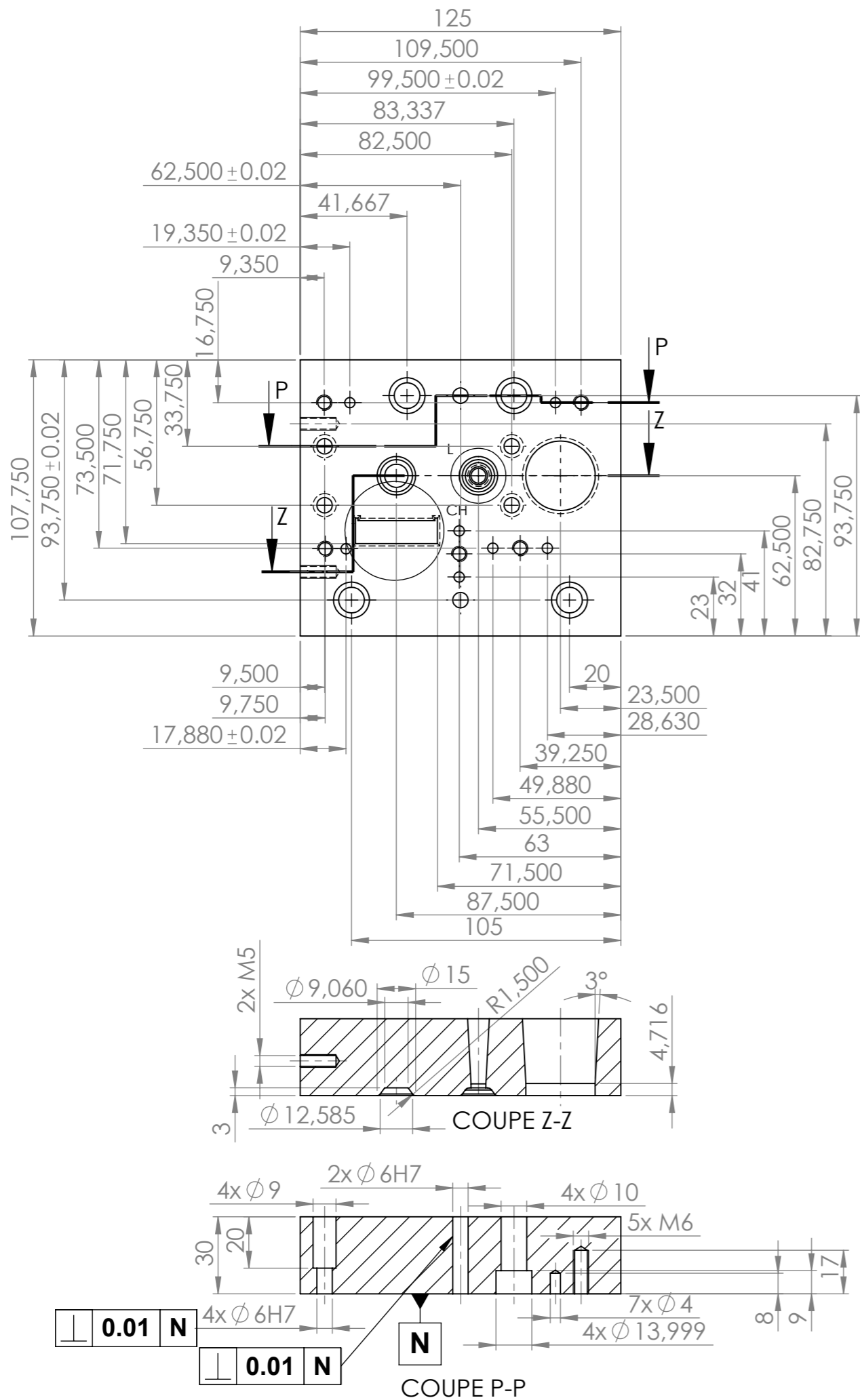
COUPE S-S  
ECHELLE 1 : 1



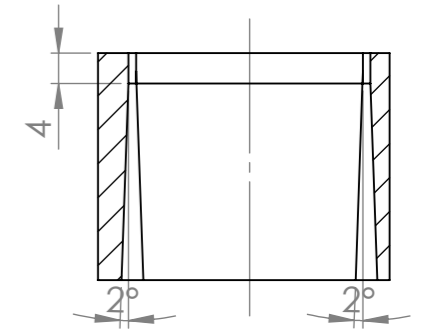
COUPE K-K  
ECHELLE 1 : 1

⊥	0.01	J
//	0.01	K

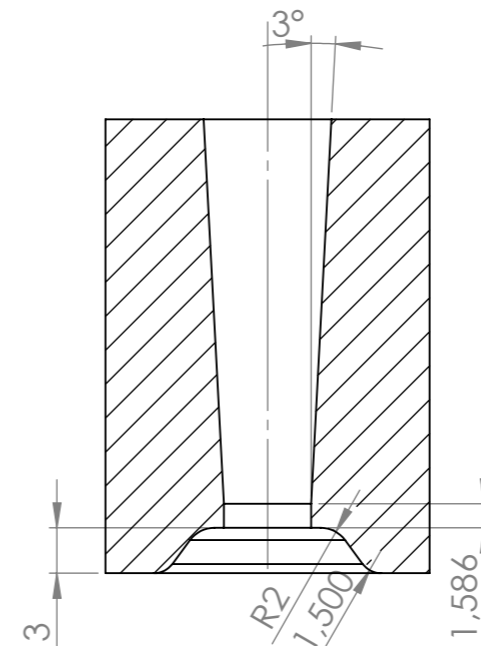
04	01	Serre flan	XC18	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 1 : 1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		FGC-GM-UMMTO	planche N° : 04	
A3		HADDADOU Younes	M2 CM	



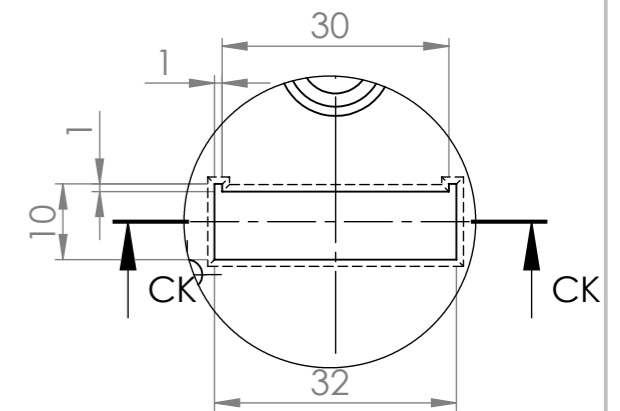
DÉTAIL L  
ECHELLE 2 : 1



COUPE CK-CK  
ECHELLE 1 : 1



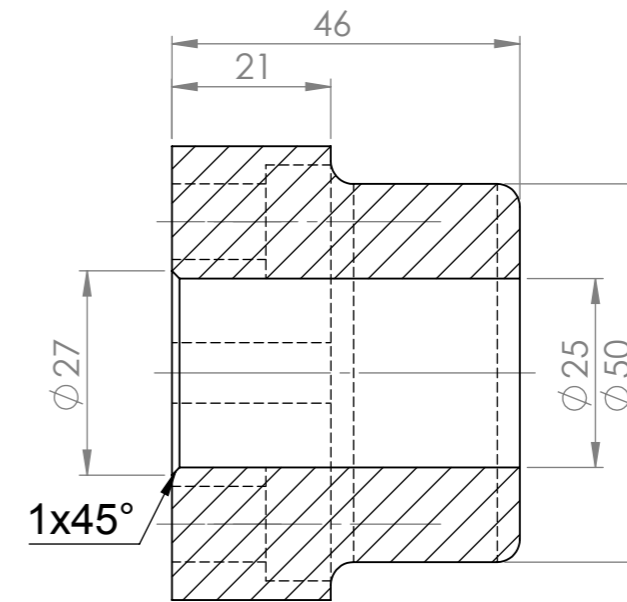
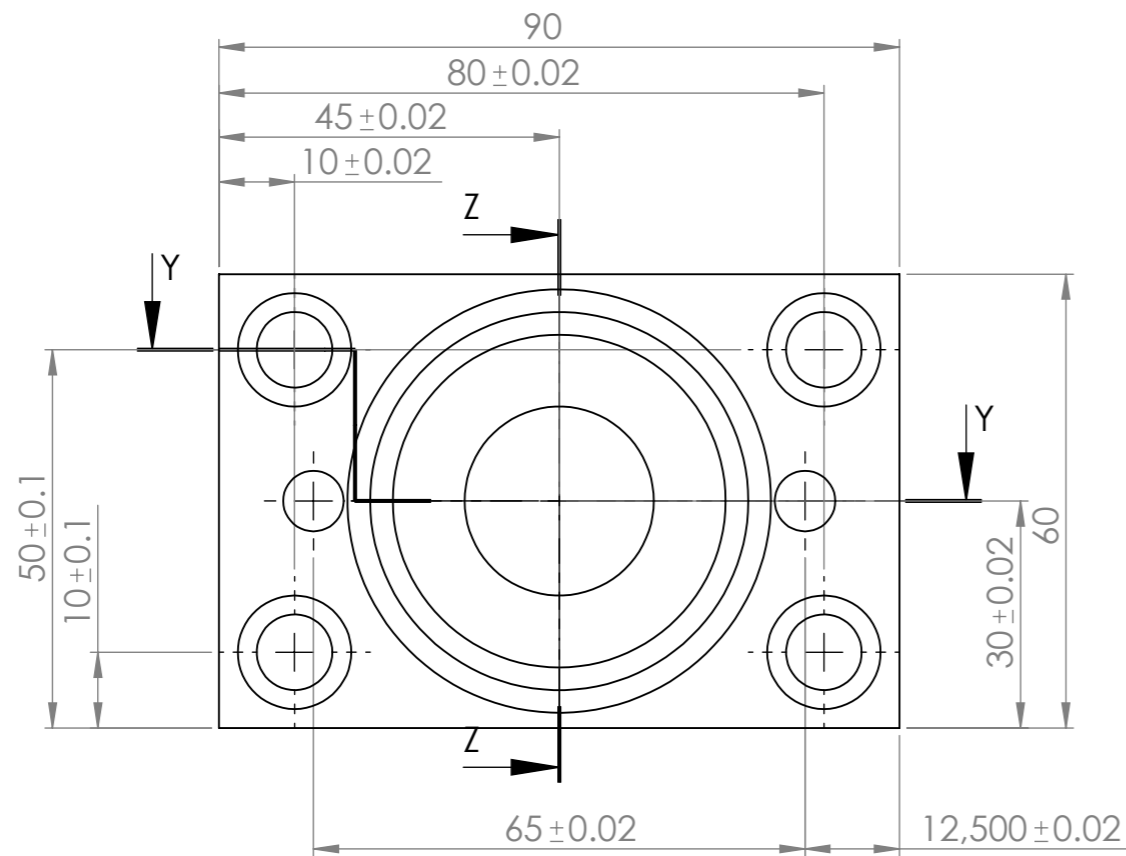
COUPE CJ-CJ  
ECHELLE 2 : 1



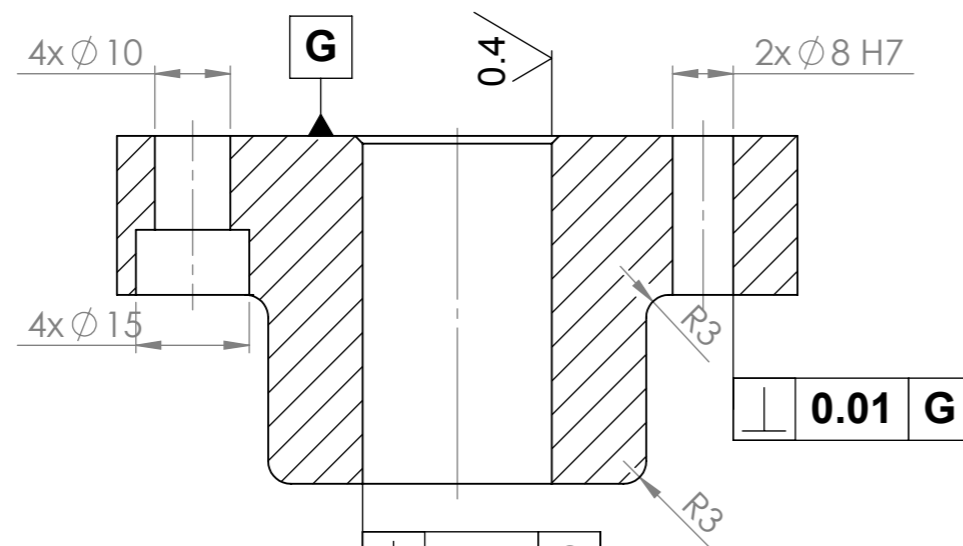
DÉTAIL CH  
ECHELLE 1 : 1

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
05	01	Matrice	Z200C12	Trempé
<b>OUTIL A BANDE</b>				
Ech 1:2				
A3			FGC-GM-UMMTO	planche N° : 05
HADDADOU Younes				M2 CM



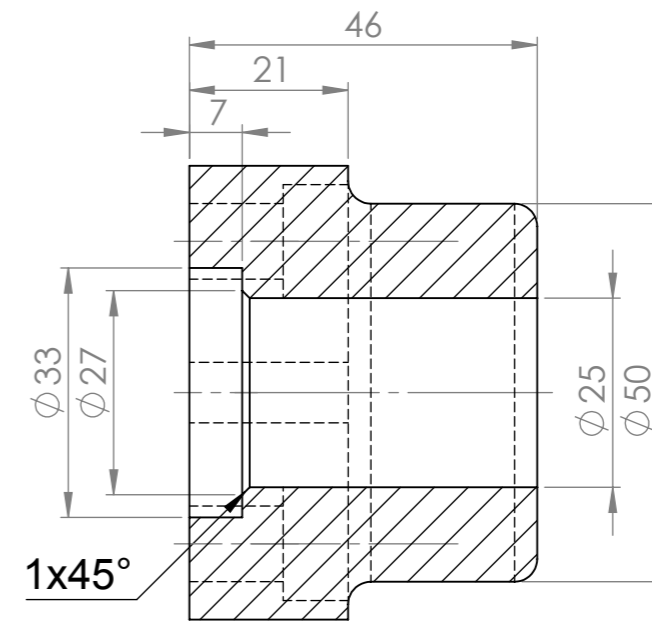
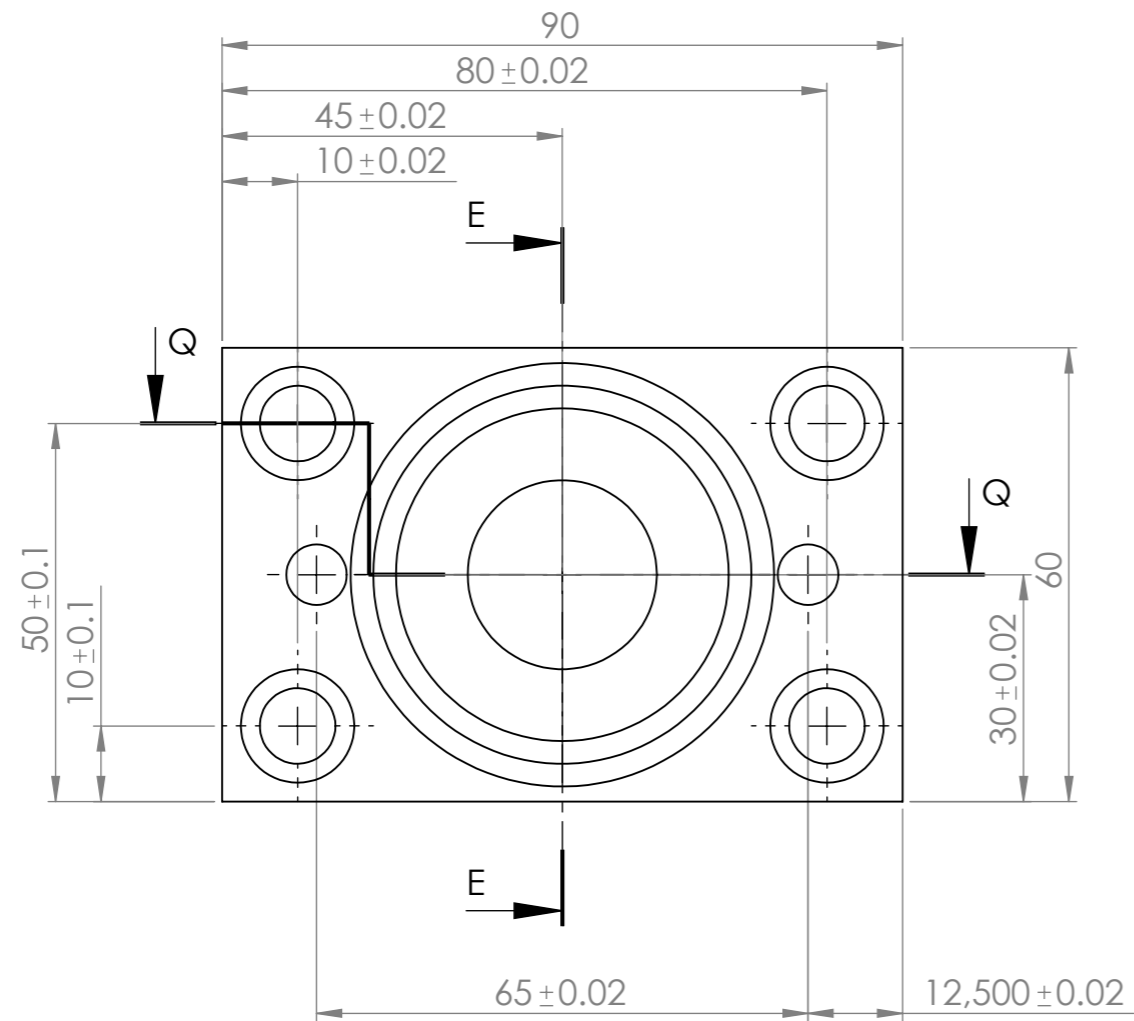


COUPE Z-Z

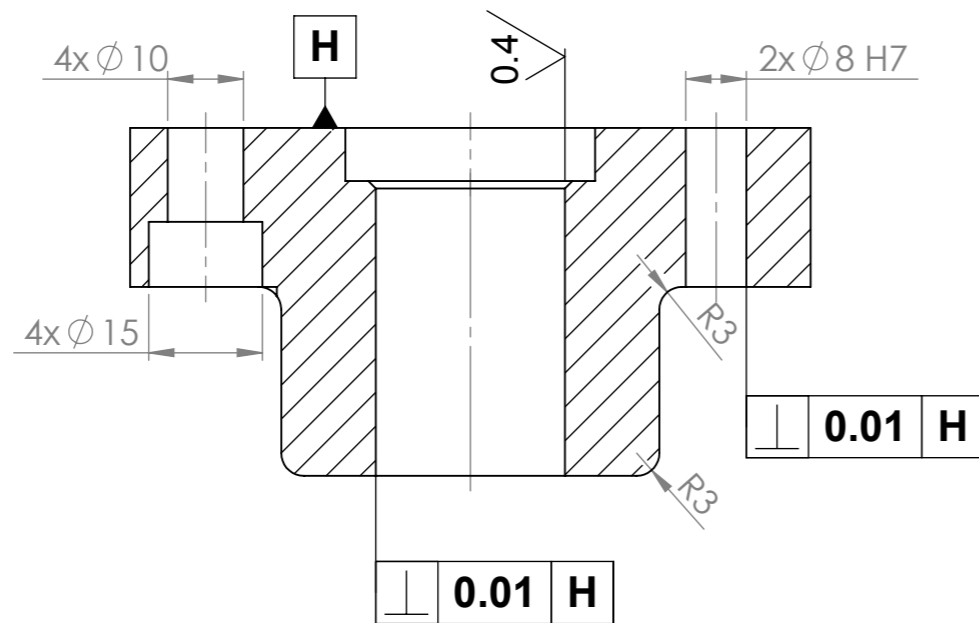


COUPE Y-Y

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
07	02	Embase supérieure	XC65	
<b>OUTIL A BANDE</b>				
Ech: 1:1				
		FGC-GM-UMMTO	planche N° : 07	
A3		HADDADOU Younes	M2 CM	

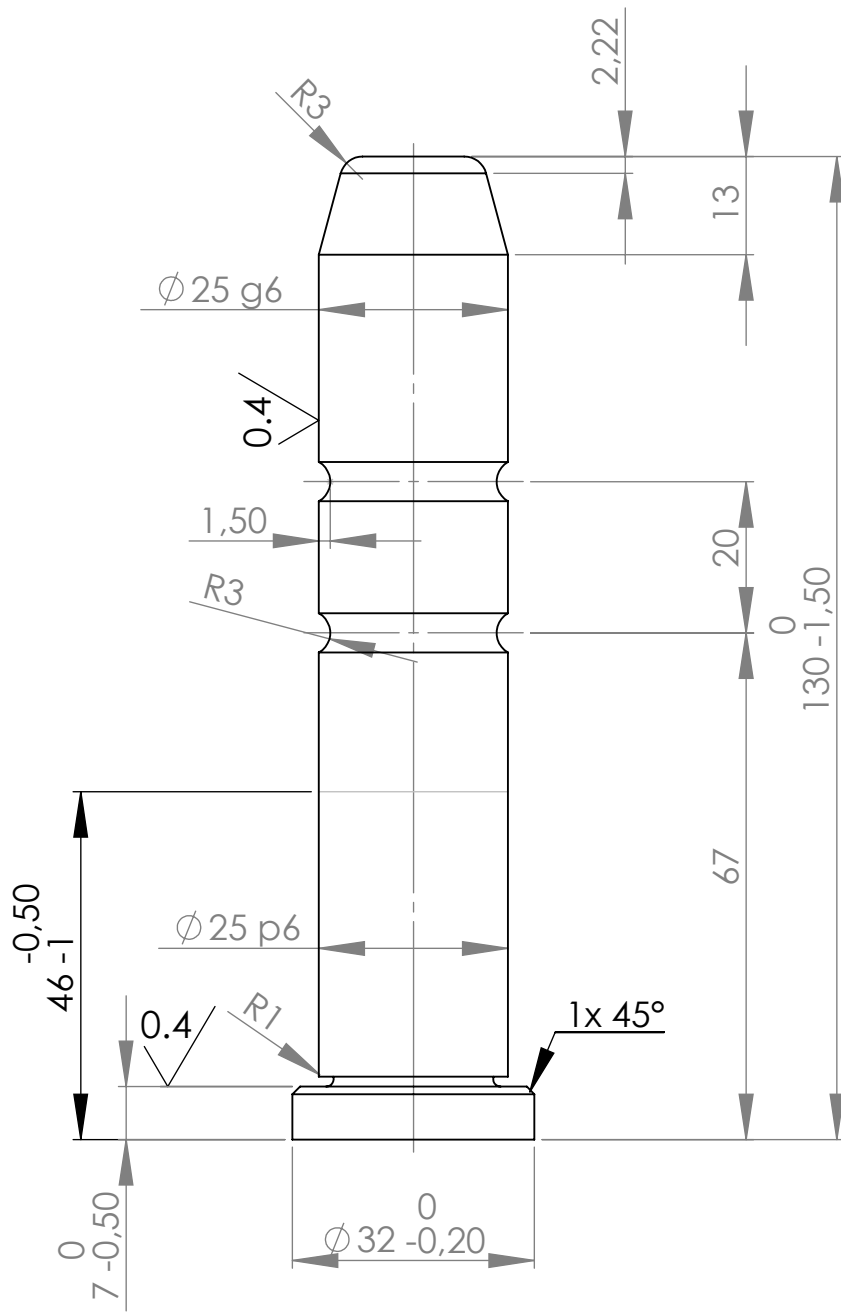


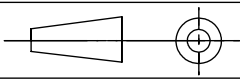
COUPE E-E

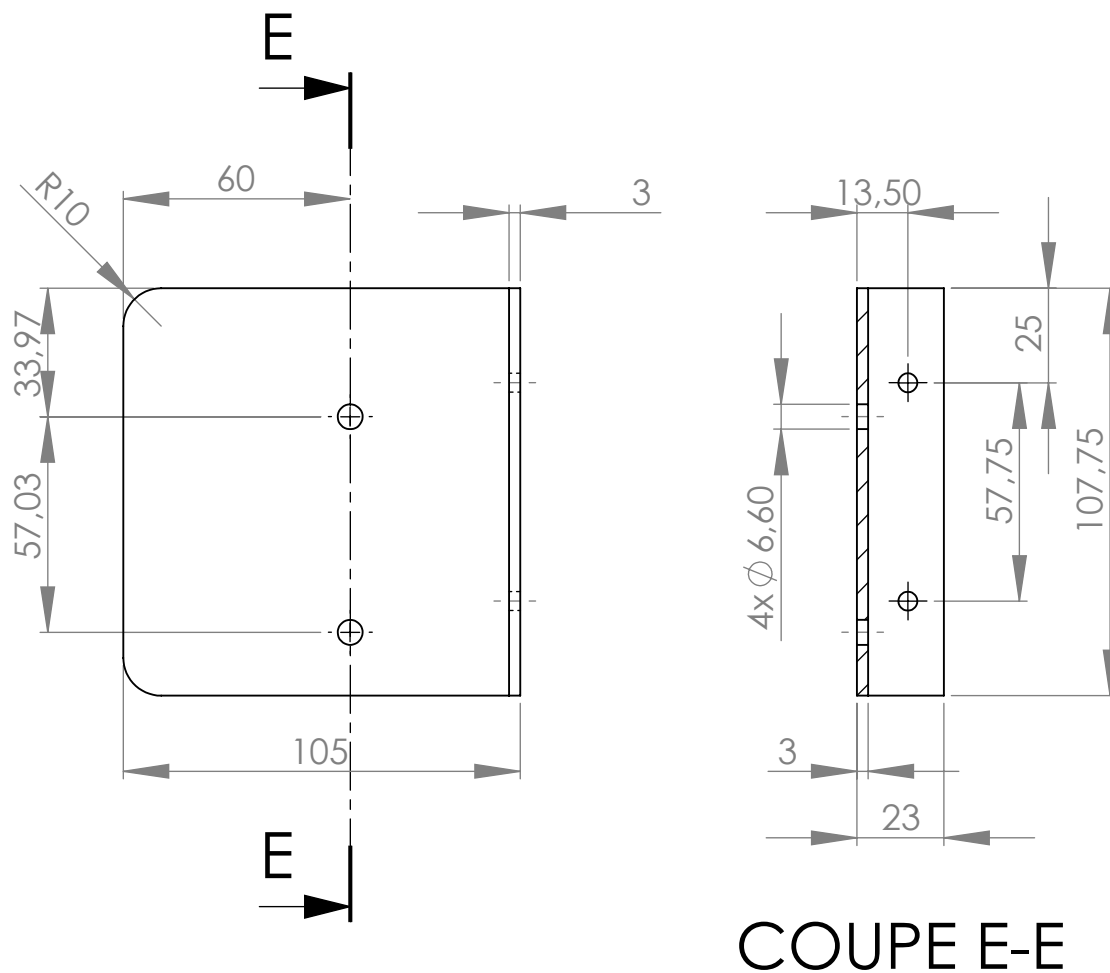


COUPE Q-Q

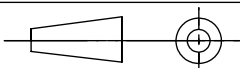
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
08	02	Embase inférieure	XC65	
Ech: 1:1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
A3		FGC-GM-UMMTO	planche N° : 08	
		HADDADOU Younes	M2 CM	

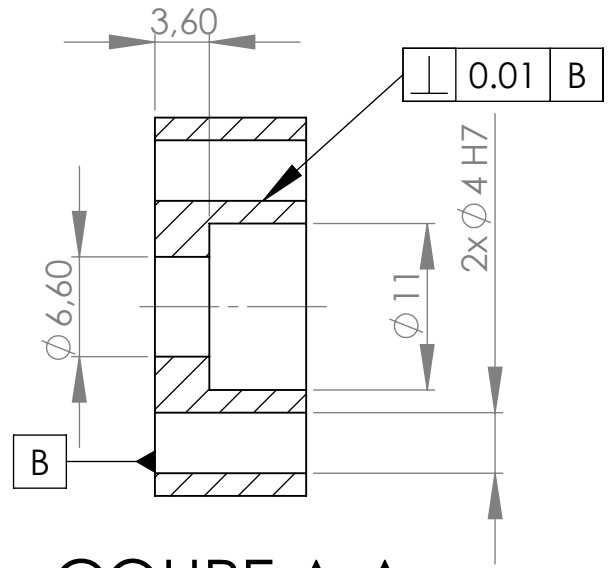
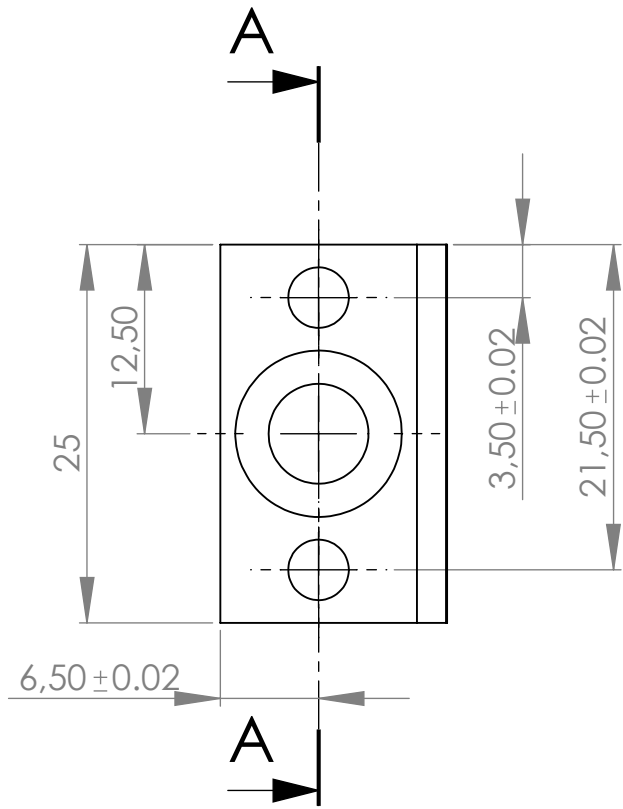


09	02	Colonne de guidage	XC65	T.S
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 1 : 1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		FGC - GM - UMMTO		Planche N° : 09
A4		HADDADOU Younes		M2 CM

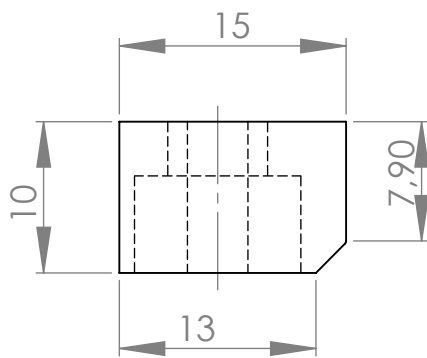


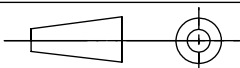
COUPE E-E

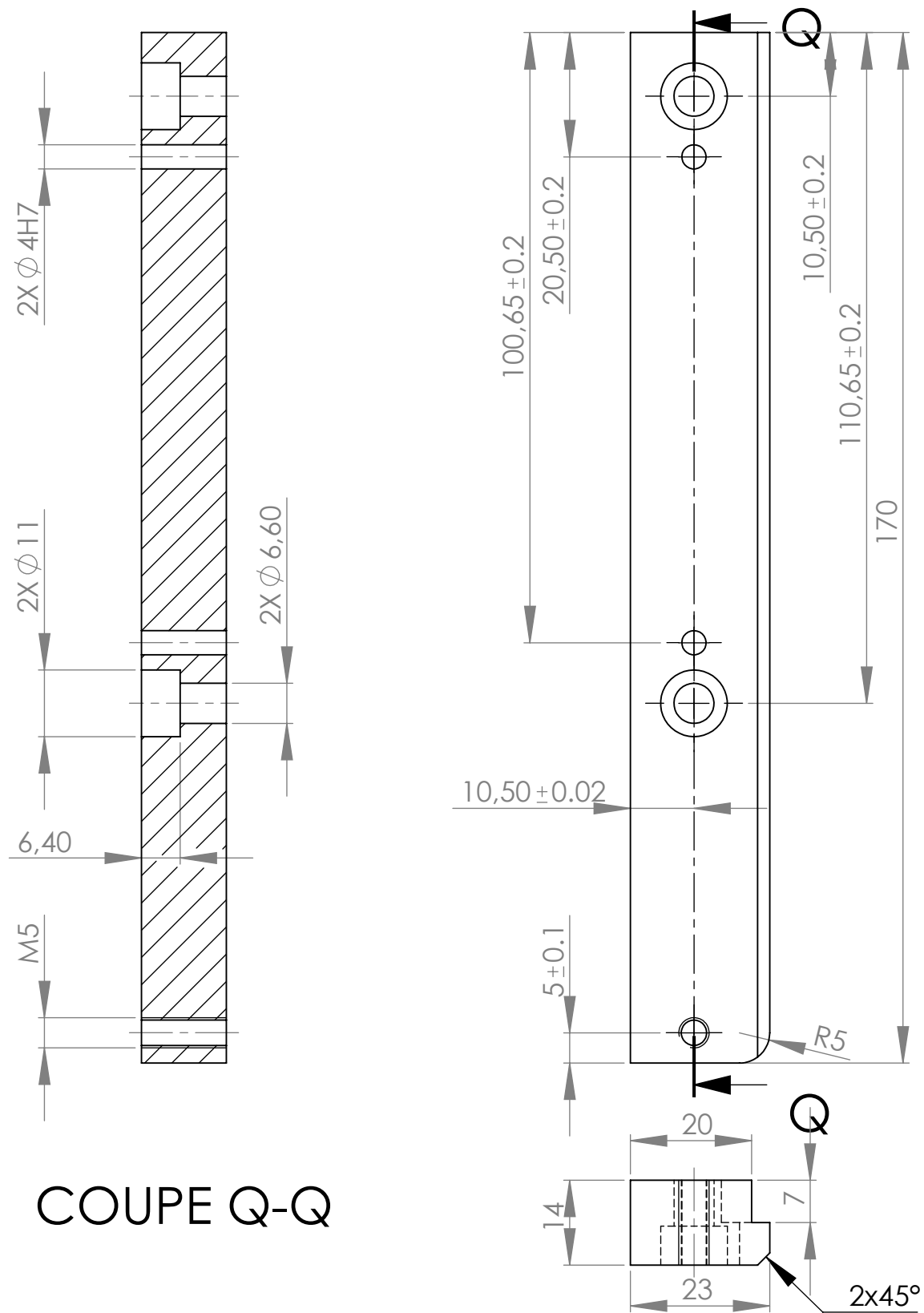
10	01	Porte glissières	E24	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 1 : 2		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		<b>FGC - GM - UMMTO</b>		<b>Planche N° : 10</b>
<b>A4</b>		<b>HADDADOU Younes</b>		<b>M2 CM</b>



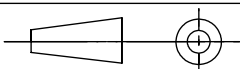
COUPE A-A

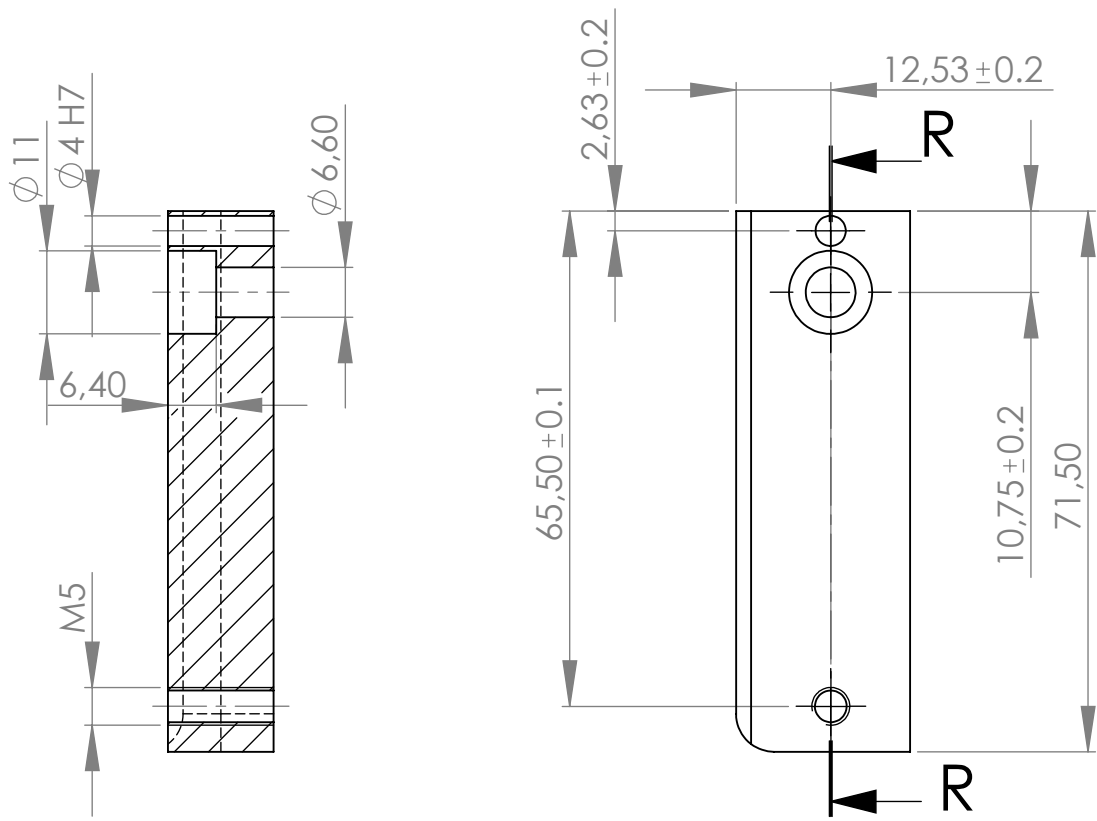


11	01	Butée	E24	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 2 : 1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		<b>FGC - GM - UMMTO</b>		<b>Planche N° : 11</b>
<b>A4</b>		<b>HADDADOU Younes</b>		<b>M2 CM</b>

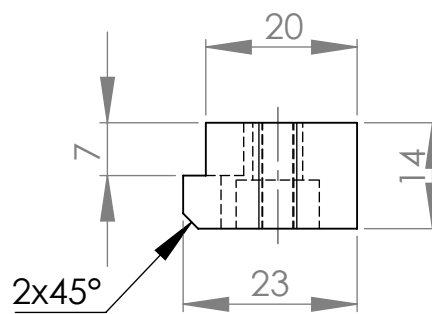


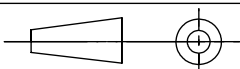
COUPE Q-Q

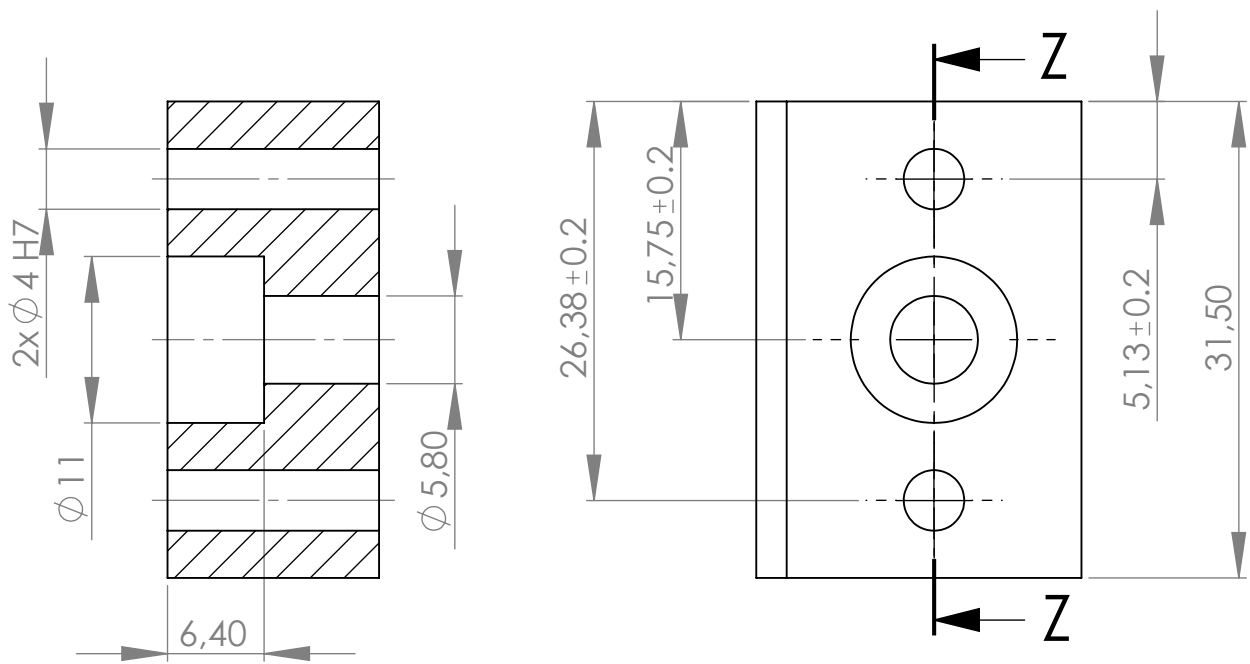
12	01	Glissière gauche	E24	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 1 : 1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		FGC - GM - UMMTO		Planche N° : 12
A4		HADDADOU Younes		M2 CM



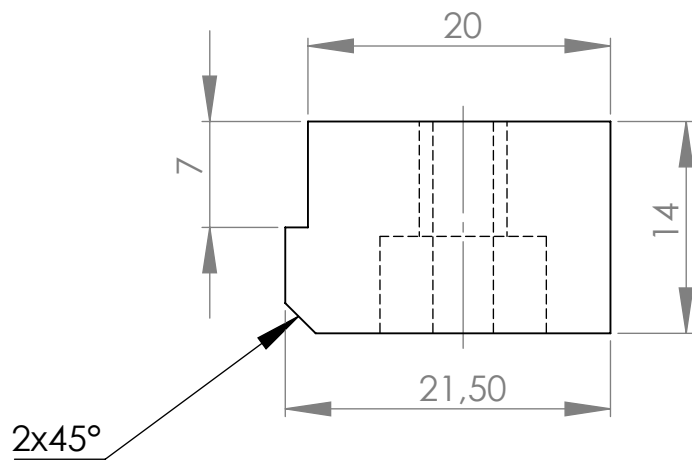
COUPE R-R

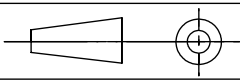


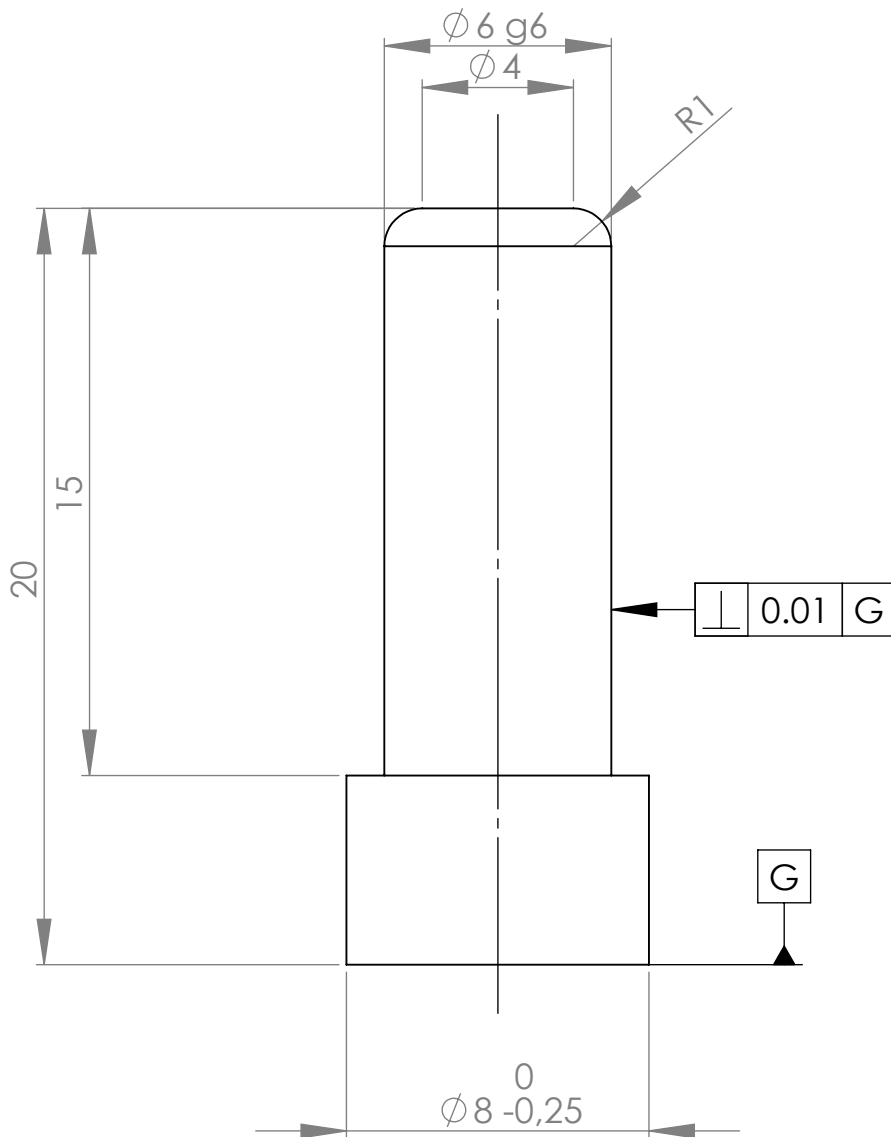
13	01	Glissière droite 1	E24	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 1 : 1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		FGC - GM - UMMTO		Planche N° : 13
A4		HADDADOU Younes		M2 CM



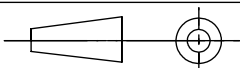
COUPE Z-Z  
ECHELLE 2 : 1

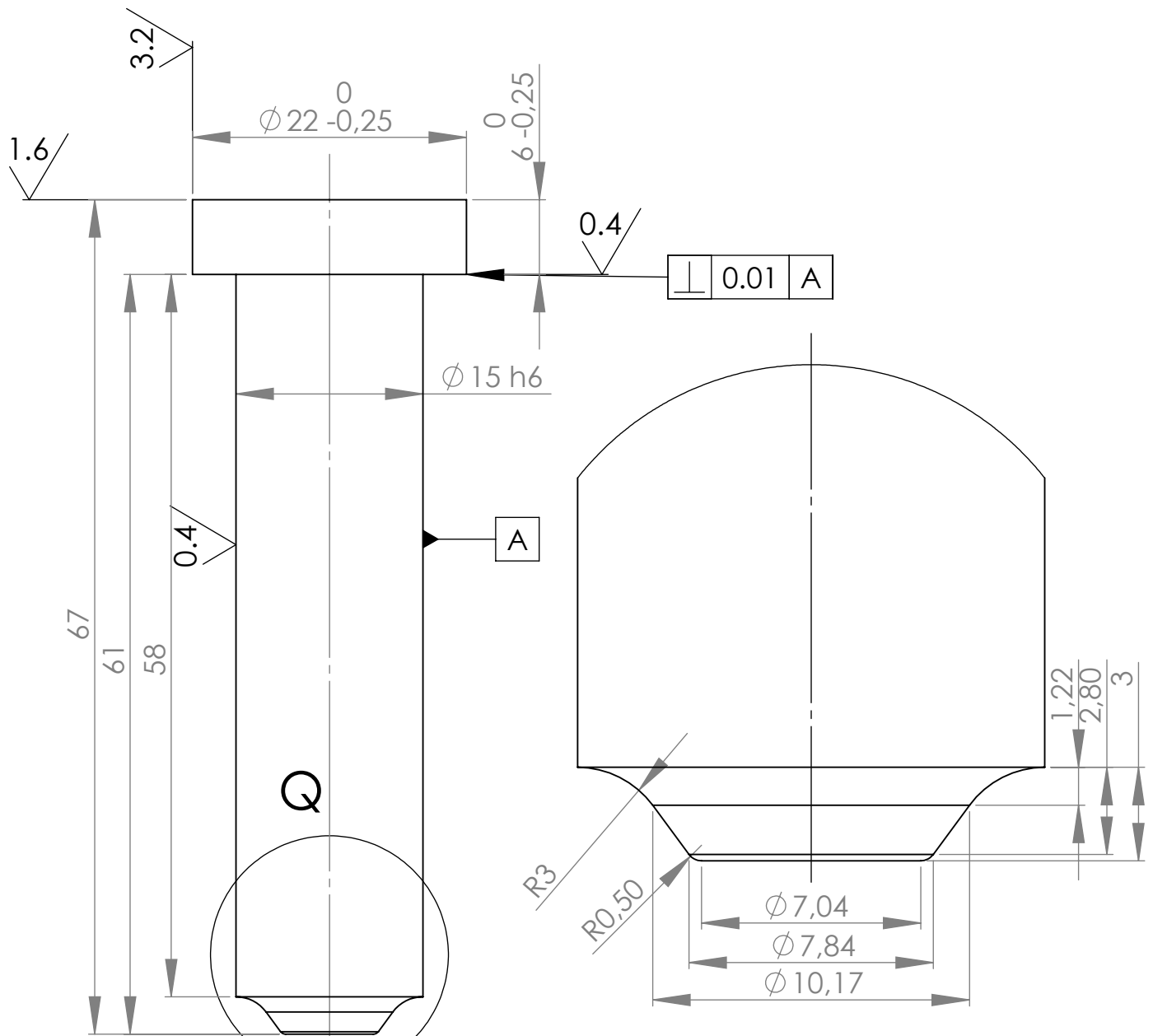


14	01	Glissière droite 2	E24	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 2 : 1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		FGC - GM - UMMTO		Planche N° : 14
A4		HADDADOU Younes		M2 CM



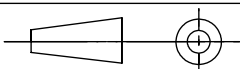
ECHELLE 5 : 1

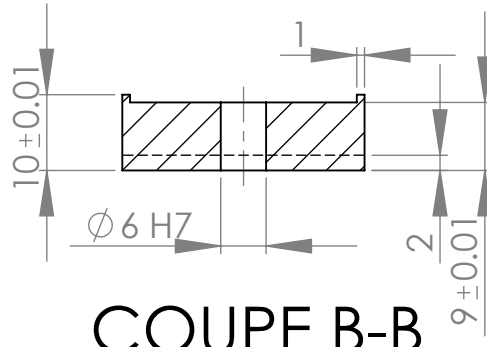
15	04	Ejecteur	Z200C12	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 5 : 1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		<b>FGC - GM - UMMTO</b>		<b>Planche N° : 15</b>
<b>A4</b>		<b>HADDADOU Younes</b>		<b>M2 CM</b>



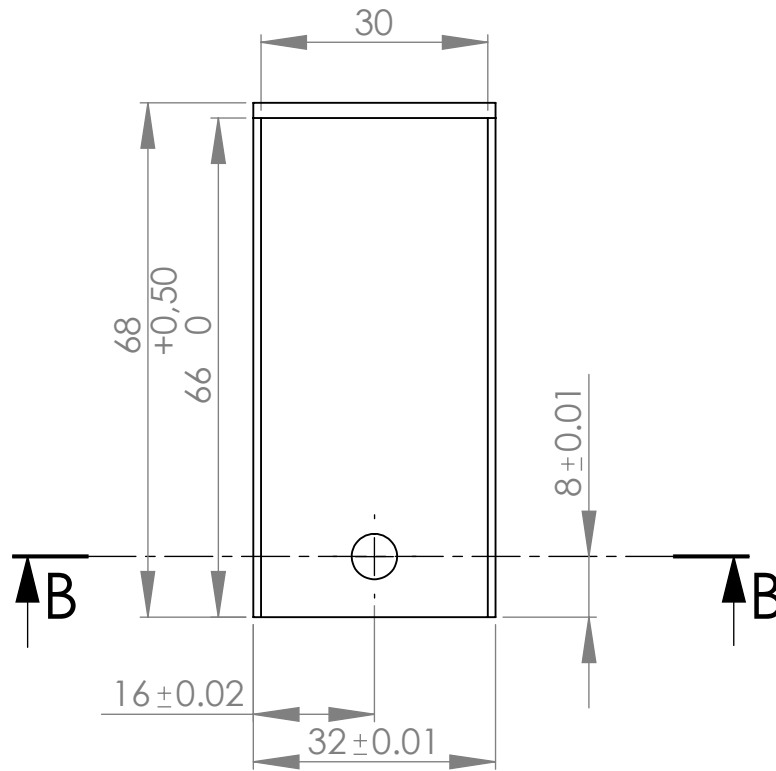
ECHELLE 2 : 1

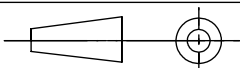
DÉTAIL Q  
ECHELLE 5 : 1

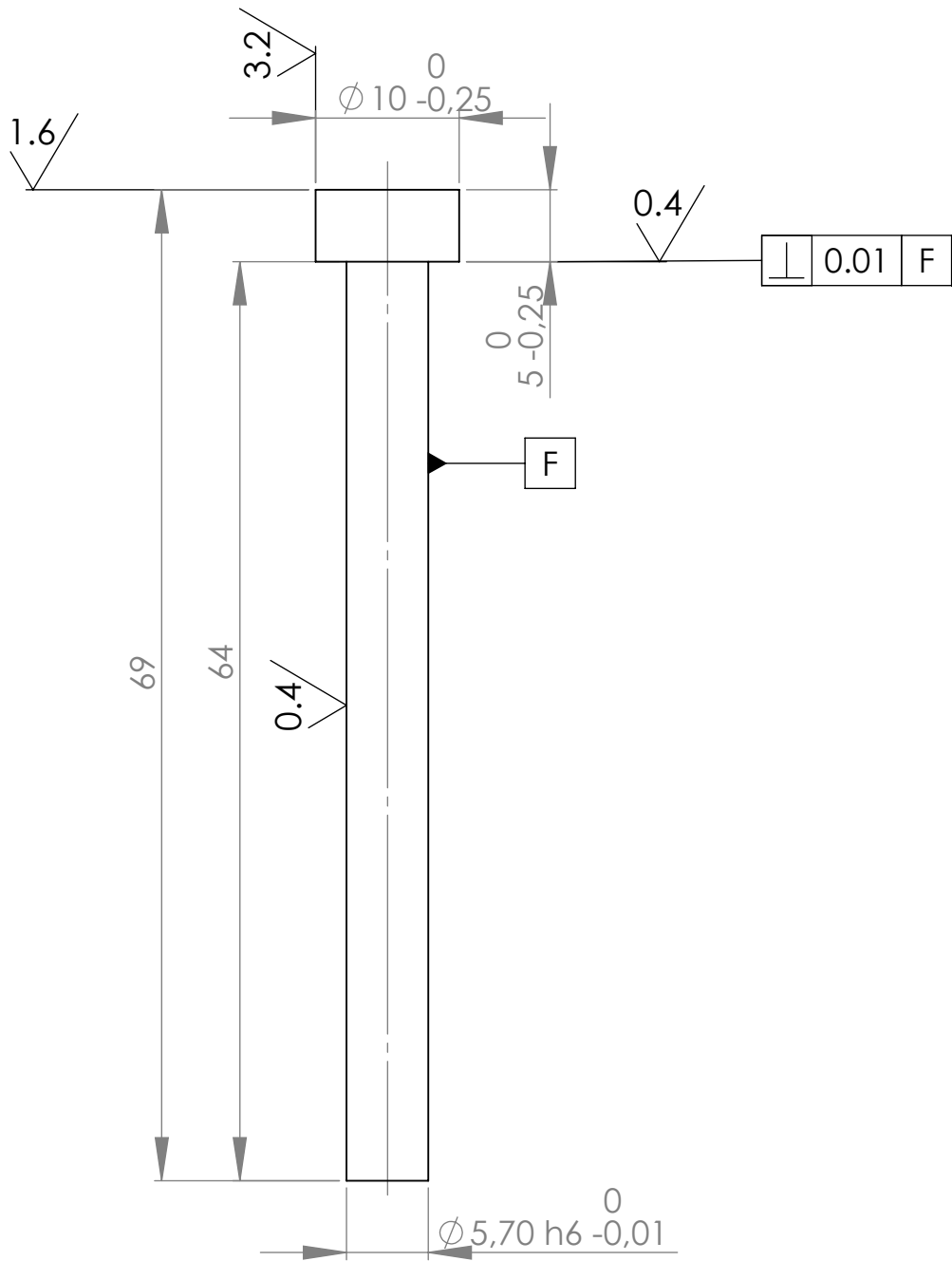
16	01	Poinçon de forme	Z200C12	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 2 : 1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		<b>FGC - GM - UMMTO</b>		<b>Planche N° : 16</b>
A4		<b>HADDADOU Younes</b>		<b>M2 CM</b>

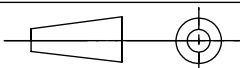


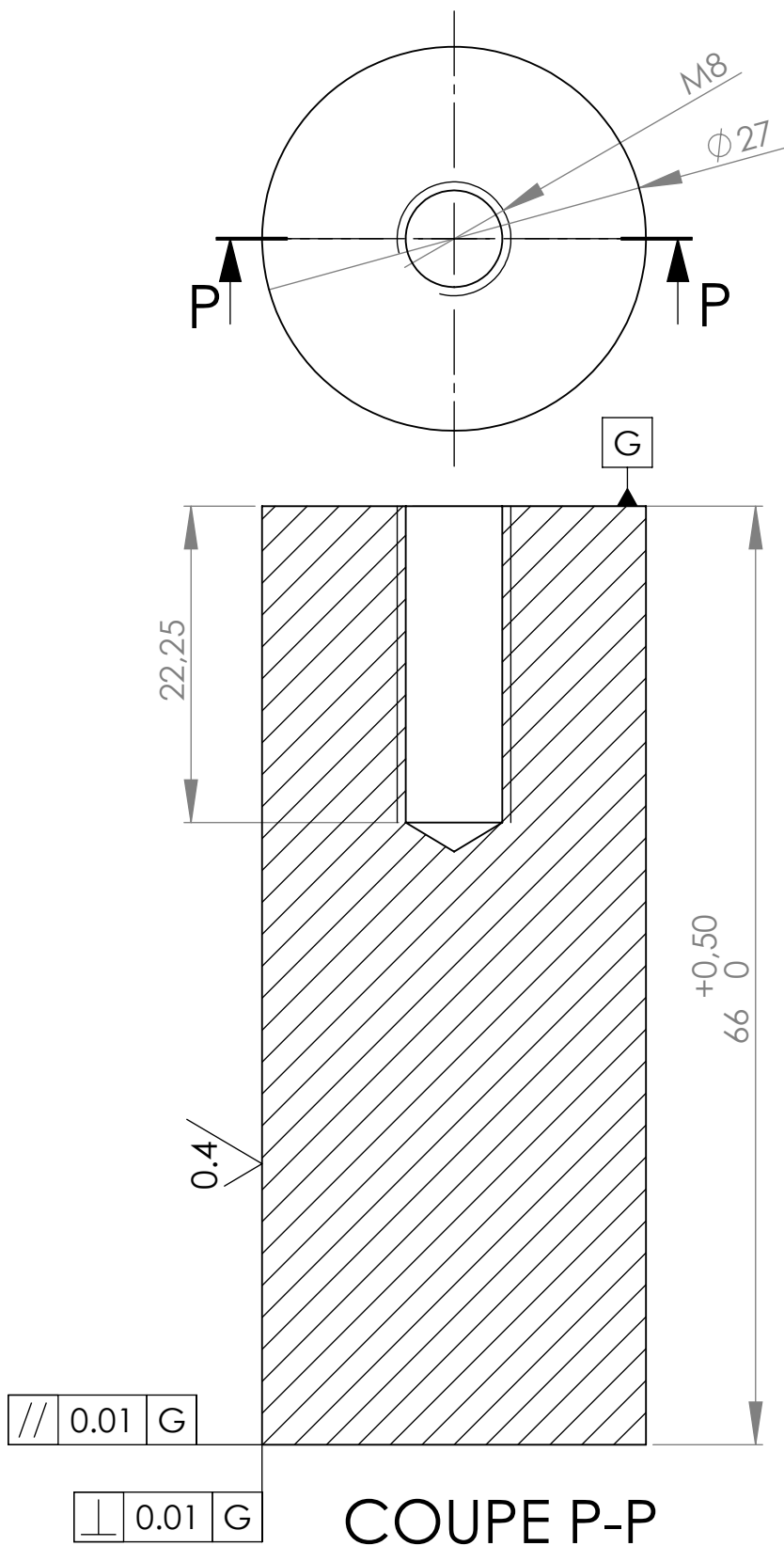
COUPE B-B



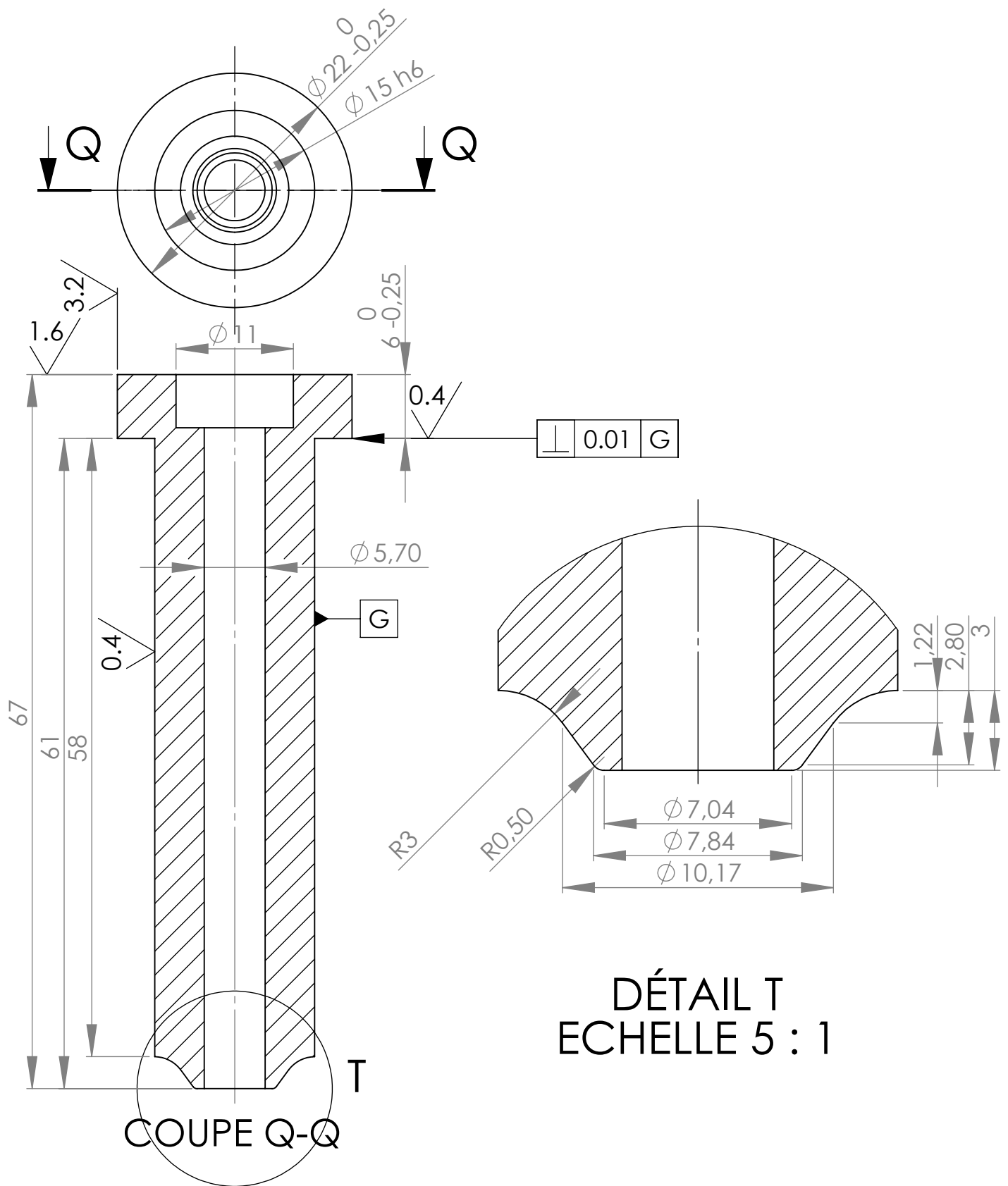
17	01	Poinçon de pas	Z200C12	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 2 : 1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		<b>FGC - GM - UMMTO</b>		<b>Planche N° : 17</b>
<b>A4</b>		<b>HADDADOU Younes</b>		<b>M2 CM</b>



18	01	Poinçon de perçage	Z200C12	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 2 : 1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		<b>FGC - GM - UMMTO</b>		<b>Planche N° : 18</b>
<b>A4</b>		<b>HADDADOU Younes</b>		<b>M2 CM</b>

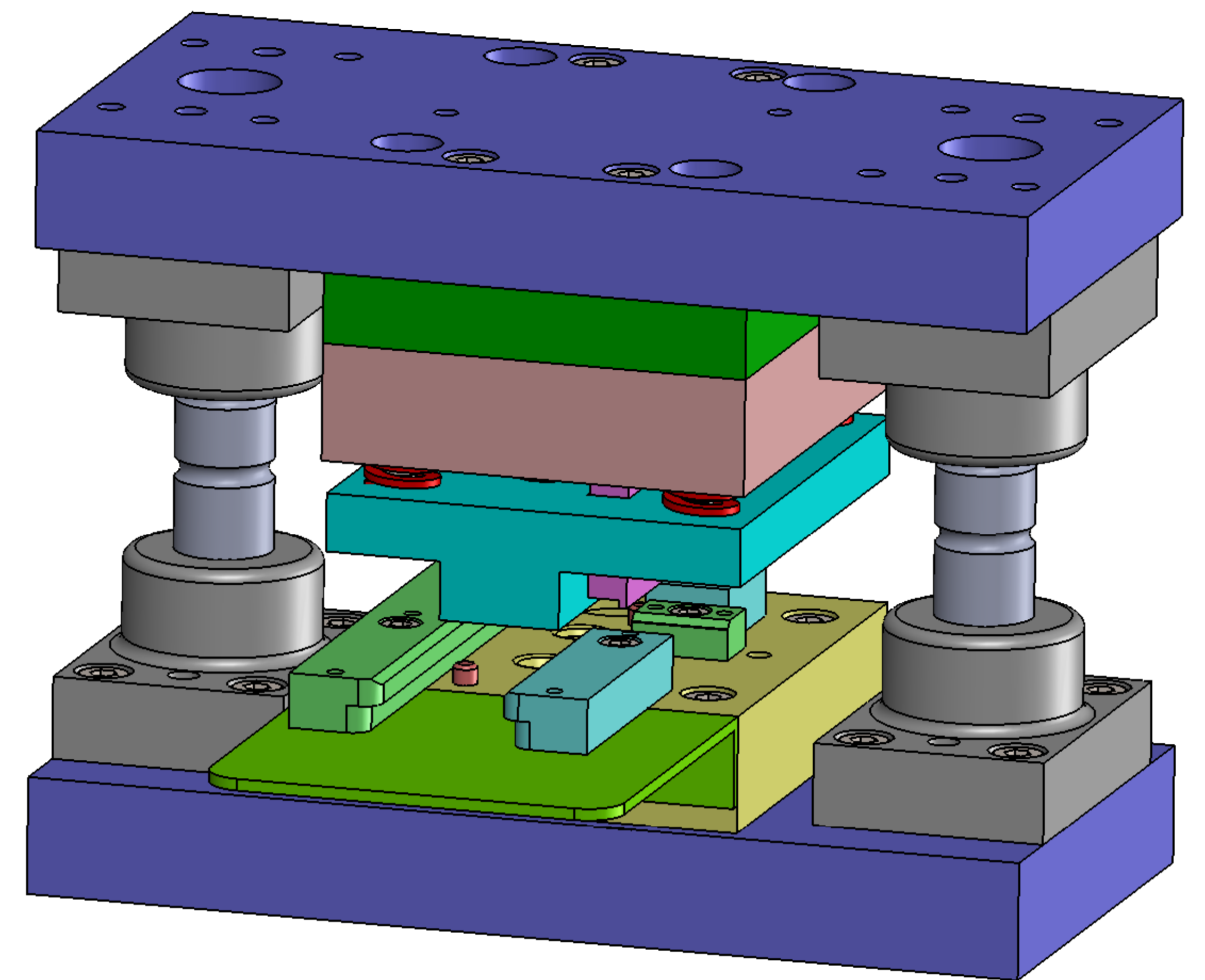
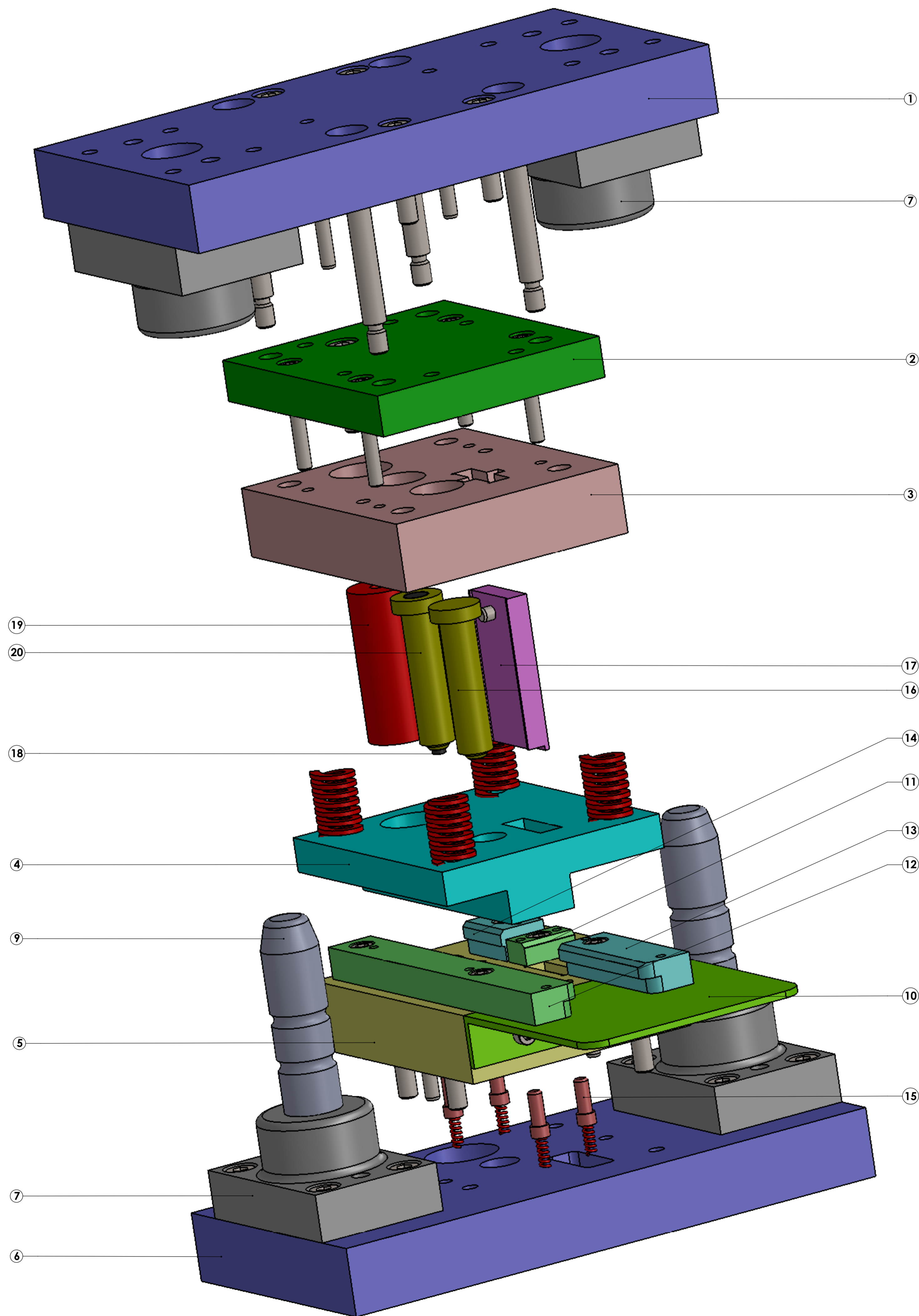


19	01	Poinçon de coupe	Z200C12	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 2 : 1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		<b>FGC - GM - UMMTO</b>		<b>Planche N° : 19</b>
<b>A4</b>		<b>HADDADOU Younes</b>		<b>M2 CM</b>



DÉTAIL T  
ECHELLE 5 : 1

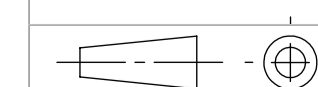
20	01	Chemise porte poinçon de perçage	Z200C12	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations
Ech: 2 : 1		<b>OUTIL A BANDE</b>		
		FGC - GM - UMMTO		Planche N° : 20
A4		HADDADOU Younes		M2 CM



20	01	Chemise porte poinçon de perçage	Z200C12	Traité
19	01	Poinçon de détourage	Z200C12	Traité
18	01	Poinçon de perçage	Z200C12	Traité
17	01	Poinçon de pas	Z200C12	Traité
16	01	Poinçon de forme	Z200C12	Traité
15	04	Ejecteur	Z200C12	Trempé
14	01	Glissière droite 2	E24	
13	01	Glissière droite 1	E24	
12	01	Glissière gauche	E24	
11	01	Butée	E24	
10	01	Porte glissières	E24	
09	02	Colonne de guidage	XC65	T S
08	02	Embase inférieure	XC65	
07	02	Embase supérieure	XC65	
06	01	Semelle inférieure	E24	
05	01	Matrice	Z200C12	Trempé
04	01	Serre-flan	E24	
03	01	Porte poinçons	E24	
02	01	Plaque d'appui supérieure	E24	
01	01	Semelle supérieure	E24	
Rep Nbr		Désignation	Matière	Observations

Ech:  
1:1

OUTIL A BANDE



FGC - GM - UMMTO

Planche N° 21

A1

HADDADOU Younes

M2 CM