

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

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERRI-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 DE PLIAGE POUR LA
RÉALISATION D'UNE PIÈCE DE REFRIGÉRATEUR ENIEM*

PRESENTÉ PAR :

**Mr. AIT AMRANE Lyés
Mr. DJERDI Ahmed**

Proposé par :

ENIEM

Dirigé par :

Mr. HAMOUR Mohamed

Promotion 2016/2017

Remerciements

Nous remercions tout d'abord et avant tout notre Dieu qui nous a donné le courage et la détermination ainsi que la patience pour pouvoir franchir tout les épreuves afin d'arriver à ce mémoire.

Ce mémoire de fin d'études est également un témoignage de notre profonde reconnaissance et gratitude à nos professeurs qui nous ont fait découvrir puis apprécier les richesses des études.

Un grand merci pour tout le personnel de l'entreprise national ENIEM surtout les ingénieurs pour l'importance et la confiance qu'ils accordent aux stagiaires.

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr .HAMOUR qui nous a orientés durant ce travail.

Mes remerciements vont également à tous les membres du jury qui ont bien voulu accepter de juger ce travail.

Nous tenons à remercier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, surtout les enseignants de Génie mécanique.

Nous remercions également aussi à tous nos camarades, à tous nos amis (es) et à tous les étudiants de Bastos.

A vous tous, du fond du cœur : Merci

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents qui sont toujours à mes côtés ;

Mes très chers frères : Haçim, Azouaou, Aghilas, et Nabil

et mes très

chère sœurs Ouiza et Amel qui m'ont toujours soutenue ;

Toute ma famille ;

Tout mes ami(e)s sans exception.

Ahmed Djerdi

Dédicaces

Nulla œuvre n'est exaltante que celle réalisée avec le soutien moral et financier des personnes qui nous sont proches.

Je dédie ce mémoire à :

- ***Mes grands parents et à mes parents qui m'ont toujours entouré et motivé à sans cesse devenir meilleur.***
- ***Ma tante, mes oncles, qui m'ont assisté dans les moments difficiles et m'ont servi d'exemple ;***
- ***Mes amis et amies de par le monde qui n'ont cessé de m'encourager ;***

Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude et reconnaissance.

AJT AMRANE Lyés

Sommaire

Introduction générale.....1

Présentation de l'entreprise

1. Présentation de l'entreprise2

2. Objet social et champ d'activité.....2

3. Principales missions et activités de l'entrepris.....3

 3.1 Direction général.....3

 3.2 Unité froid.....3

 3.3 Unité cuisson.....3

 3.4 Unité climatiseur3

 3.5 Unité sanitaire3

 3.6 Filiale Filamp4

4. Politique de l'entreprise5

 4.1. Politique qualité5

 4.1.1. Engagement de la direction6

 4.1.2. Ses objectifs6

 4.2. Politique environnementale6

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS ET CARACTÉRISATION DES ACIERS

I.1- Introduction	7
I.2- Généralités sur les aciers	7
I.2.1- Microstructures des aciers.....	7
I.2.1.1- La structure cristalline.....	7
I.2.1.2- Différentes phases du fer.....	8
a- Structure cubique à température ambiante jusqu'à 912 °C.....	8
b- Structure cubique à température variable de 912°C jusqu'à 1394°C...	8
c- Structure cubique à une température supérieure à 1394°C	9
I.2.2- Diagramme d'équilibre Fer- Carbone.....	9
I.2.3- Transformation de l'austénite	11
a. L'acier eutectoïde	11
b. Les aciers hypoeutectoïdes	12
c. Les aciers hypereutectoïdes.....	12
I.3- Eléments d'addition	13
I.3.1- Utilisation du système Fer-Carbone dans l'industrie.....	13
I.3.2- Influence des éléments d'addition.....	13
I.4- Différents types d'aciers	15
I.4.1- Aciers ordinaires.....	15
a. Propriétés des aciers ordinaires.....	16
b. Désignation des aciers ordinaires	16
c. Domaines d'utilisation.....	17
I.4.2- Aciers de Traitement Thermique.....	17
a. Aciers non alliés.....	17

I.4.3. Aciers alliés.....	17
a- Aciers faiblement alliés.....	17
b - Aciers fortement alliés.....	18
I.4.4- Aciers à outils.....	19
I.4.5- Aciers inoxydables.....	19
a. Les aciers Ferritiques (magnétiques).....	20
b. Les aciers Martensitique (magnétiques).....	20
c. Les aciers Austénitiques (amagnétiques).....	20
I.5- Choix de la nuance des aciers inoxydables.....	21
a. Système Fer-Carbone – Chrome.....	22
b. Teneur en chrome supérieure à 11,5%.....	22
c. Teneur en chrome inférieure à 11,5%.....	23
I.6- Conclusion.....	23

<p style="text-align: center;">CHPITRE II. PROCÉDÉS D’OBTENTION DES TÔLES ET DE MISE EN FORME DES PIÈCES MÉCANIQUES</p>
--

II.1- Introduction.....	24
II.2- Produits plats.....	24
II.3- Procédés d’obtention des tôles	24
II.3.1- Laminage à chaud.....	25
II.3.2- Laminage quarto.....	25
II.3.3- Laminage à froid.....	26
II.4- Emboutissage.....	27

II.4.1- Principe de l'emboutissage	28
II.4.2 -Techniques d'emboutissage.....	29
a. Emboutissage à froid.....	30
b. Emboutissage à chaud.....	30
II.4.3- Effort d'emboutissage.....	30
II.5- Découpage.....	31
II.5.1- Différents types de découpage.....	33
a-Cisailage.....	33
b- Encochage.....	34
c- Crevage.....	34
d- Ajourage.....	35
e- Détourage.....	35
f- Soyage.....	35
g- Grignotage.....	36
II.6 – Poinçonnage.....	36
II.6.1- Phases du poinçonnage.....	36
II.6.2- Influence des paramètres de l'opération de découpage.....	38
II.6.2.1- Jeu du 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 du découpage et du poinçonnage.....	40
II.6.4- Contraintes sur les poinçons.....	41
a-Contrainte de compression.....	41
II.7- Pliage	42
II.7.1- Différents modes de pliage.....	43
II.7.1.1- Pliage en V (en presse plieuse).....	43
a-Pliage en l'air.....	44
b-Pliage en frappe.....	44
II.7.1.2- Pliage en U.....	45
II.7.1.3- Pliage en L.....	46
II.7.2- Rayon du au pliage.....	46
II.7.2- Retour élastique.....	48
II.7.3- Paramètres influents sur l'opération du pliage.....	48
II.7.3.1- Rayon de la matrice du pliage.....	49
II.7.3.2- Jeu du pliage.....	49
II.7.4- Effort du pliage.....	49
II.8- Conclusion.....	50

MÉCANIQUES ET LEURS ÉQUIPEMENTS

III.1- Introduction	51
III.2- Différentes Presses Mécaniques	51
III.2.1 Mode de Transmission d'Énergie.....	51
III.2.1.1 Presses Mécaniques.....	51
III.2.1.2 Presses Hydrauliques.....	53
III.2.2 Forme du bâti.....	53
III.2.2.1 Presses à Col de Cygne.....	53
III.2.2.2 Presses à Arcade.....	54
III.2.2.3 Presses à Montants Droits.....	55
III.2.2.4 Presses à Colonnes.....	56
III.2.2.5 Presses à Table Mobile et Bigorne.....	56
III.2.3 Nombre de coulisseaux.....	57
III.2.3.1 Presse à Simple Effet.....	57
III.2.3.2 Presse à Double Effets.....	57
III.2.3.3 Presse à Triple Effets.....	57
III.3 Fonctionnement des Presses Mécaniques	58
III.3.1 Energie.....	58
III.3.2 Mécanismes de commande.....	59
a-Système Bielle-Manivelle.....	59
b-Système Excentrique.....	59

c-Système à Genouillère.....	60
d-Système à Came.....	61
III.3.3 L'Embrayage.....	61
III.3.3.1 Embrayage à Clavette Tournante.....	62
III.3.3.2 Embrayage à Friction à Commande Électropneumatique....	62
III.4 Les outils de Presses.....	63
III.4.1 Éléments Principaux des outils de Presses.....	63
III.4.1.1 Le Poinçon.....	63
III.4.1.2 La Matrice.....	63
III.4.1.3 La Dépouille.....	64
III.4.1.4 L'Affûtage.....	64
III.4.2 Différents Types d'Outils de Presse.....	64
III.4.2.1 Outils à Découper.....	64
a-Outil à Découvert.....	64
III.4.2.2 Outil à Contre-plaque.....	65
a-Outil à Contre-plaque à Engrenages.....	65
b-Outil à Contre-plaque à Couteau.....	66
III.4.2.3 Outil à Presse à Bande.....	67
III.4.2.4 Outil Suisse.....	68
III.4.2.5 Outils de Reprise.....	68
III.4.2.6 Outils de Détourage.....	69
a-Détourage Normal.....	69

b-Détourage à Ras.....	69
III.4.2.7 Outils à Came.....	70
III.4.2.8 Outils d'Emboutissage.....	71
a-Outil d'emboutissage Sans Serre-Flan.....	71
b-Outil d'Emboutissage à Serre-Flan.....	72.
III.4.2.9 Outil de Cambrage.....	73
a-Outil de Cambrage en V.....	73
b-Outil de cambrage en U.....	74
c- Outil de Cambrage en Équerre.....	74
III.4.3 Outil à Suivre.....	74
III.5 Montage des Outils sur les Presses.....	75
III.5.1 Petite Presse.....	75
III.5.2 Grosse Presse.....	77
III.6- Conclusion.....	77

CHAPITRE IV Calcul et Conception

Introduction.....	78
IV .1 But du projet.....	78
IV.2. Cahier des charges.....	79
IV .2.2 Caractéristiques.....	79

IV .2.2.1 Composition chimique du matériau.....	79
IV. 2.2.2 Caractéristiques mécaniques du matériau.....	79
IV .2.2.3 Aspect de la surface.....	79
IV .2.2.4 Aptitude au revêtement de surface.....	79
IV .2.3 Emplacement de la pièce.....	80
IV .3 Travail demandé.....	80
IV .3.1 Étapes de réalisation de la cloison.....	80
IV .4 Conception de l’outil.....	83
IV.5 Détermination des efforts.....	84
IV.5.1. Détermination des efforts des éléments standards.....	84
IV.5.1.1. Les ressorts à gaz.....	84
IV.5.1.2. Ressort Mécanique de l’éjecteur de tôle.....	86
IV.5.1.2. 1. Calcul de l’effort total des ressorts.....	87
IV.5.2. Détermination de l’effort de pliage.....	88
IV.5.3. Choix de la presse à utiliser.....	90
IV.5.4 Calcul du barycentre de l’outil de coupe.....	90
IV.5.5 Calcul au flambement des poinçons.....	92
IV.5.6 Calcul de la résistance des poinçons à la compression.....	94
IV.6 Conclusion.....	95
Détails de l’outil de pliage	96
Conclusion Générale.....	96
Références Bibliographiques.....	97

Listes de figures

Figure. I.1: Structure cubique centrée de l'ambiante jusqu' à 912°C	8
Figure. I.2 : Structure cubique à faces centrées de 912°C jusqu'à 1394°C.....	9
Figure. I.3 : Structure cubique centrée (fer δ).....	9
Figure. I.4 : Pseudo-diagramme d'équilibre métastable Fer – Carbone (Fe-CFe ₃ C).	10
Figure. I.5 : Partie du diagramme Fer-Carbone (Fe-CFe ₃ C), correspondant à l'acier.....	10
Figure. I.6 :Transformation de l'acier eutectoïde	11
Figure. I.7 Transformation $\gamma \Leftrightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ dans l'acier hypoeutectoïde.....	12
Figure I.8 Coupe Pseudo-binaire du diagramme Fer – Carbone - Chrome à 17 % de chrome.....	22
Figure II.1 : Schéma d'une cage quarto de laminage	26
Figure II.2 : Train de laminage.....	27
Figure II.3 : Emboutissage.....	27
Figure II.4 : Phase 1 de l'emboutissage.....	28
Figure II.5 : Phase 2 de l'emboutissage.....	28
Figure II.6 : Phase 3 de l'emboutissage.....	29
Figure II.7 : Phase 4 de l'emboutissage.....	29
Figure II.8 : Direction des efforts F_e et F_s	31
Figure II.9 : Principe du découpage.....	32
Figure II.10 : Pièce découpée.....	32
Figure II.11 : Ligne de découpage et ses périphéries.....	33
Figure II.12: Le Cisailage.....	33
Figure II.13 : Paramètres entrants lors du cisailage.....	34
Figure II.14: Encochage.....	34
Figure II.15: Le Crevage.....	34
Figure II.16: Ajourage.....	35
Figure II.17: Le détourage.....	35
Figure II.18: Le soyage.....	35
Figure II.19: Le grignotage.....	36

Figure II.20: Pièce poinçonnée.....	36
Figure II.21: Phases de poinçonnage.....	37
Figure II.22: Nomenclature des éléments de la géométrie du découpage.....	38
Figure II.23: Jeu du découpage.....	39
Figure II.24: Contrainte de compression sur le poinçon.....	41
Figure II.25: Etat d'un flambement du poinçon de découpage.....	42
Figure II.26: Technique du pliage.....	43
Figure II.27 : Principe du pliage en V.....	43
Figure II.28 : Principe du pliage en l'air.....	44
Figure II.29 : Outil de pliage en l'air.....	45
Figure II.31 : Principe du pliage en U.....	45
Figure II.32 : Pliage en L.....	46
Figure II.33 : Angle de pliage.....	46
Figure II.34: Rayon de pliage.....	47
Figure II.36 : Phénomène du retour élastique.....	48
Figure II.37 : Jeu du pliage et le rayon de la matrice.....	49
Figure III.1 : Principe du système Bielle-Manivelle.....	52
Figure III.2 : Presse Mécanique.....	52
Figure III.3 : Presse Hydraulique.....	53
Figure III.4 : Presse à Col de Cygne.....	54
Figure III.5 : Presse à Arcade.....	55
Figure III.6 : Presse à Montant droit.....	55
Figure III.7 : Presse à Colonne.....	56
Figure. III.8 : Presse à Table Mobile et Bigorne.....	56
Figure III.9 : Presse à Double Effets.....	57
Figure III.10: Presse à Arcade d'Emboutissage.....	58
Figure III.11: Principe de fonctionnement de la Presse à Triple Effets.....	58
Figure III.12 : Système Bielle-Manivelle.....	59

Figure III.13 : Principe du Système Excentrique.....	60
Figure III.14 : Exemple du Système Excentrique dans une Presse.....	60
Figure III.15 : Exemple de Système à Genouillère.....	61
Figure III.16 : Principe du Système à Came.....	61
Figure III.17 : Système d'Embrayage à Clavette Tournante.....	62
Figure III.18 : Système d'Embrayage à Friction à Commande Électropneumatique.....	62
Figure III.19: L'Ensemble Poinçon - Matrice.....	63
Figure III.20 : Dimensions d'une Dépouille.....	64
Figure III.21 : Principe d'un Affûtage.....	64
Figure. III.22 : Géométrie de l'Outil à Découvert Simple.....	65
Figure III.23: Outil à Découvert à Butées.....	65
Figure III.24: Principe de l'Outil à Contre-plaque à Engrenage.....	66
Figure III.25: Système d'Outil à Contre - Plaque à Couteau.....	67
Figure III.26: Outil à Presse à Bande.....	67
Figure III.27: Principe d'un Outil Suisse.....	68
Figure III.28: Guidage du flan sur un Outil de Reprise par diverses façons.....	69
Figure III.29: Outils de Détourage Normal.....	69
Figure III.30: Outils de Détourage à Ras.....	70
Figure III.31: Outils de Détourage-Poinçonnage	70
Figure III.32: Schéma de principe d'un poste à came dans un outil.....	71
Figure III.33: Outils à Came.....	71
Figure III.34: Principe du travail d'un Outil d'Emboutissage Sans Serre-Flan.....	71
Figure III.35: Outil d'Emboutissage à Serre-Flan, placé sur une Presse à Simple Effet. <i>Outil placé sur Presse à Double Effets</i>	72
Figure III.36: Outil d'Emboutissage à Serre-Flan, placé sur une Presse à Double Effets.....	73
Figure III.37: Exemple d'Outil de Cambrage en V.....	73
Figure III.38: Exemple d'Outil de Cambrage en U.....	74
Figure III.39: Exemple d'Outil de Cambrage en Équerre.....	74
Figure III.40: Exemple d'un Outil à Suivre avec sa mise en bande.....	75

Figure III.41: Schéma d'une Presse Automatique.....	75
Figure. III.42: Système de fixation des semelles sur un plateau de presse	76
Figure. III.43: Plateau de la presse.....	76
Figure III.44: Système de fixation de la partie supérieure de l'outil.....	76
Figure. III.45: Coulisseau et plateau rainurés sur les Grosses Presses.....	77
Figure IV .1 : forme de la pièce.....	78
Figure IV .2 : emplacement de la pièce (cloison).....	80
Figure IV .3: tôle détournée.....	81
Figure IV .4: les quatre premiers plis de la cloison	81
Figure IV .5: pli écrasé	82
Figure IV .6 : cloison terminée.....	82
Figure IV .7: tôle pliée.....	83
Figure IV .8 : cloison obtenu	83
Figure IV .9 : Ressort à gaz	85
Figure IV .10 : catalogue Rabourdin ressort à gaz	86
Figure IV .11 : ressort mécanique.....	87
Figure IV .12 : catalogue Rabourdin ressort charge moyenne.....	87
Figure IV .13 : différents plis de la cloison.....	88
Figure IV .14 : Position adéquate de l'outil sur la presse (centre d'inertie).....	90

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, l'entreprise a pu obtenir des produits de haute gamme, tout en respectant les facteurs essentiels entre autres l'environnement.

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.

Parmi les matériaux utilisés par l'entreprise ENIEM dans la fabrication de ses produits électroménagers, les produits plats (tôles) qui sont largement utilisés pour la réalisation de divers composants des appareils électroménagers.

Ces dernières années, des développements considérables ont été également réalisés pour l'amélioration des procédés de mise en forme des pièces utilisées.

Parmi ces procédés, le pliage. Il permet d'obtenir des pièces à des cadences très élevées avec un intérêt économique et indéniable.

Dans le cadre de notre travail, l'unité froid de l'ENIEM nous a confié de faire une étude et conception d'un outil pour la réalisation d'une cloison (pièce pour le réfrigérateur ENIEM).

L'étude de cet outil est de manière à satisfaire certaines exigences notamment une longue durée de vie, bas prix de revient, un montage et un démontage facile.

Pour remédier à ce besoin, notre travail est divisé comme suit :

Après une introduction générale et une présentation de l'entreprise nationale de l'industrie électroménagère (ENIEM), le premier chapitre traite les généralités et les caractéristiques des aciers.

Les procédés d'obtention des tôles et de mise en forme des pièces mécaniques ont été étudiés dans le deuxième chapitre.

Les Généralités sur les différentes presses mécaniques ont fait l'objet du troisième chapitre.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude, la conception de l'outil, les résultats des efforts de pliage et le choix de la presse à utiliser pour la réalisation de notre pièce à partir d'une tôle détournée.

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

PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE

1. Présentation de l'entreprise

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

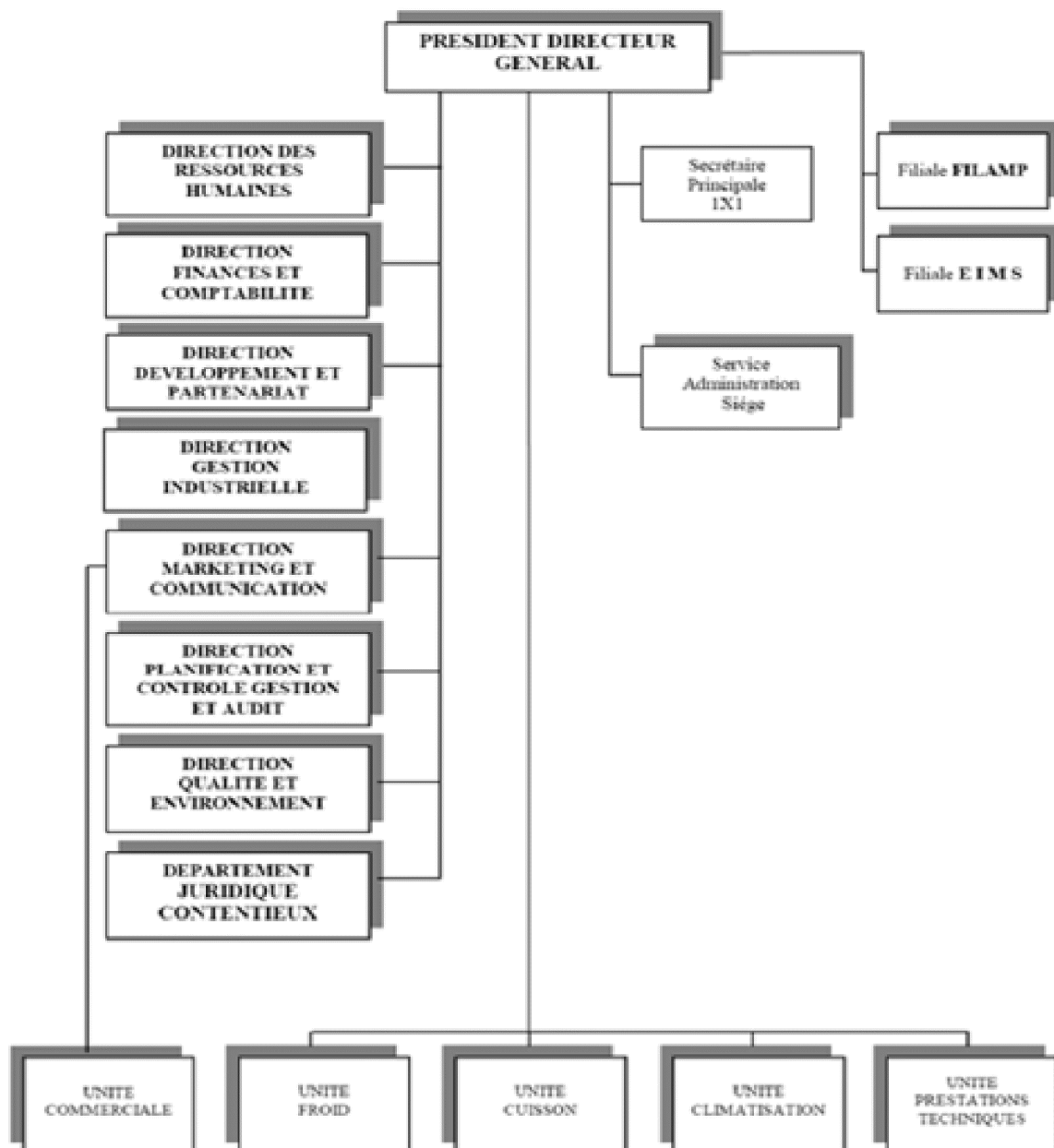


Figure. 1: Organigramme de l'entreprise ENIEM.

Organigramme de l'unité froid :

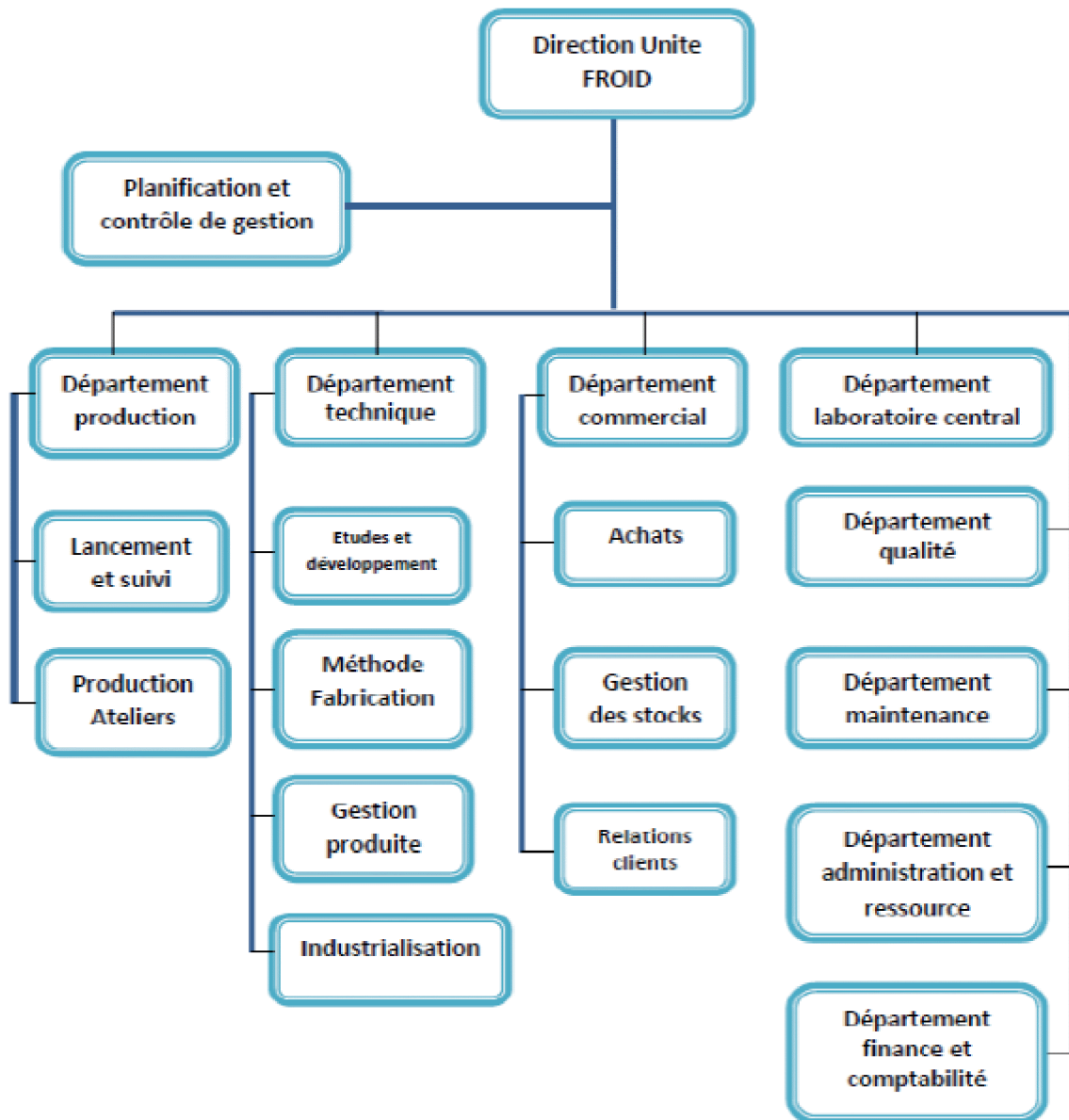


Figure. 2 : Organigramme de l'unité froid.

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 CARACTERISATION
DES ACIERS

GÉNÉRALITÉS ET CARACTÉRISATION 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

Un acier est 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.2.1- Microstructures des aciers

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.

I.2.1.1- 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.

I.2.1.2- 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 qui peut atteindre 910°C et cubique à faces centrées allant de 910°C jusqu'à 1394°C, et au-delà, elle est cubique centrée.

a- Structure cubique à température 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 α , l'association de ce dernier avec le carbone en solution est appelé : Ferrite.

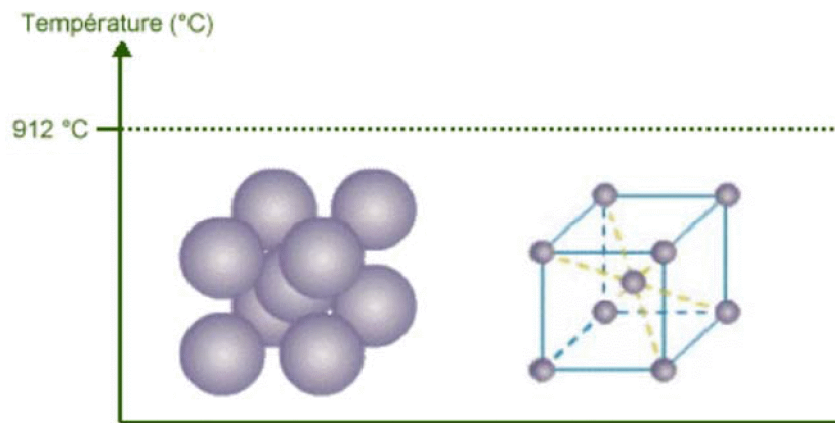


Figure. I.1 : Structure cubique centrée de l'ambiante jusqu' à 912°C.

b- Structure cubique à température variable de 912°C jusqu'à 1394°C

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

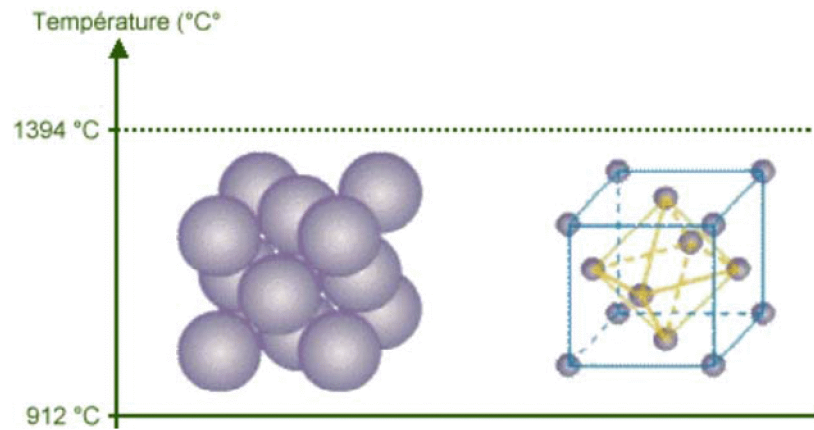


Figure. I.2 : Structure cubique à faces centrées de 912°C jusqu'à 1394°C

c- 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 δ .

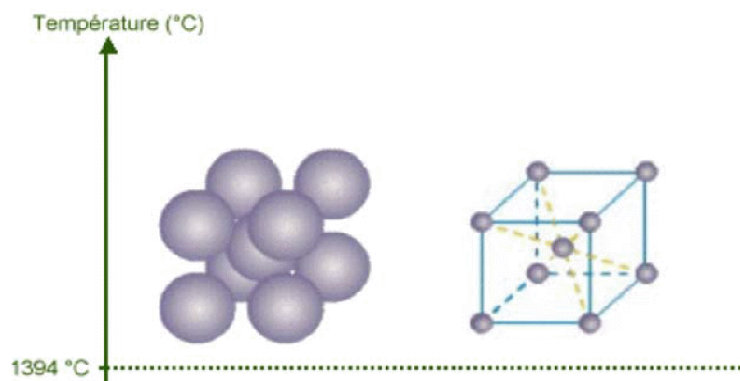


Figure. I.3 : Structure cubique centrée (fer δ)

I.2.2- Diagramme d'équilibre Fer- Carbone [1]

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.

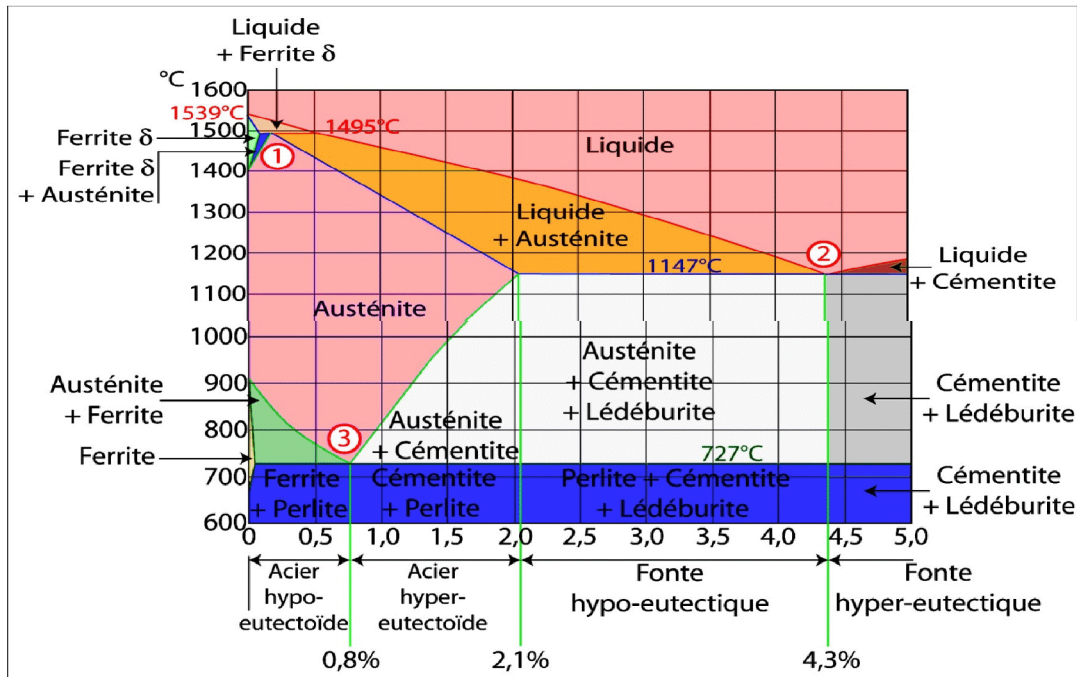


Figure. I.4 : Pseudo-diagramme d'équilibre métastable Fer - Carbone (Fe-CFe₃C).

La Figure ci-dessous représente un zoom sur la partie du diagramme d'équilibre métastable Fer -TMCarbone (Fe-CFe₃C), correspondant à l'acier :

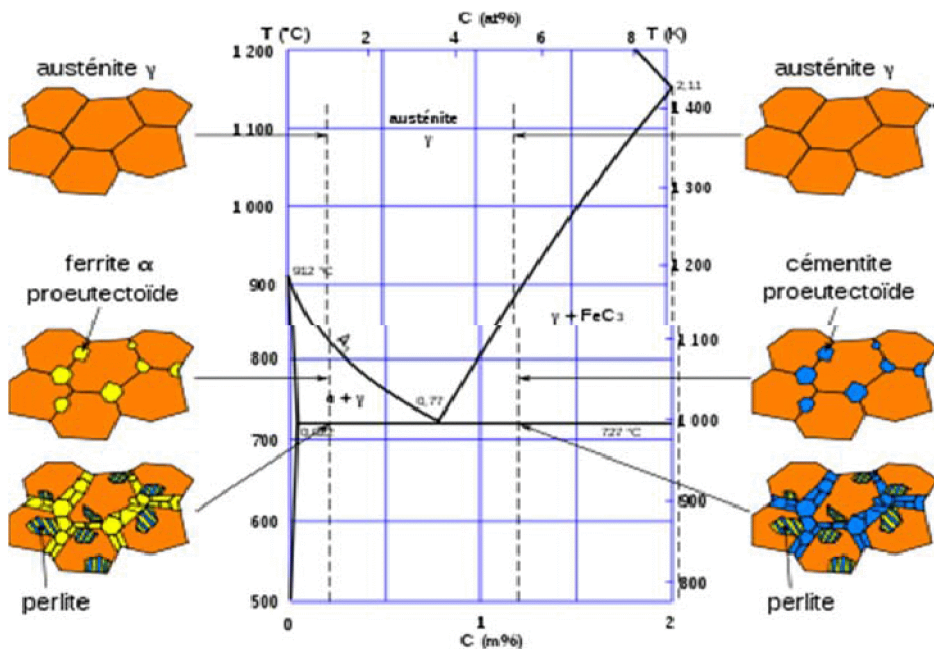


Figure. I.5 : Partie du diagramme Fer-Carbone (Fe-CFe₃C), correspondant à l'acier.

Les précipités associant le fer et le carbone sont des carbures de fer, le précipité de formule Fe_3C est appelé cémentite et peut se former dans les grains et aux joints de grains.

Cette formation dépend du mode de l'élaboration de l'acier et / ou des traitements subis ultérieurement.

I.2.3- Transformation de l'austénite

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 $727^{\circ}C$, 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 ci- dessous montre la microstructure d'un acier eutectoïde : $\gamma \Leftrightarrow P(\bar{\alpha} + Fe_3C)$:



Figure. I.6 : Transformation de l'acier eutectoïde

Le produit final est un acier formé de perlite seulement $\alpha + Fe_3C$ caractérisé par une structure en lamelles.

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 (Figures ci-après).

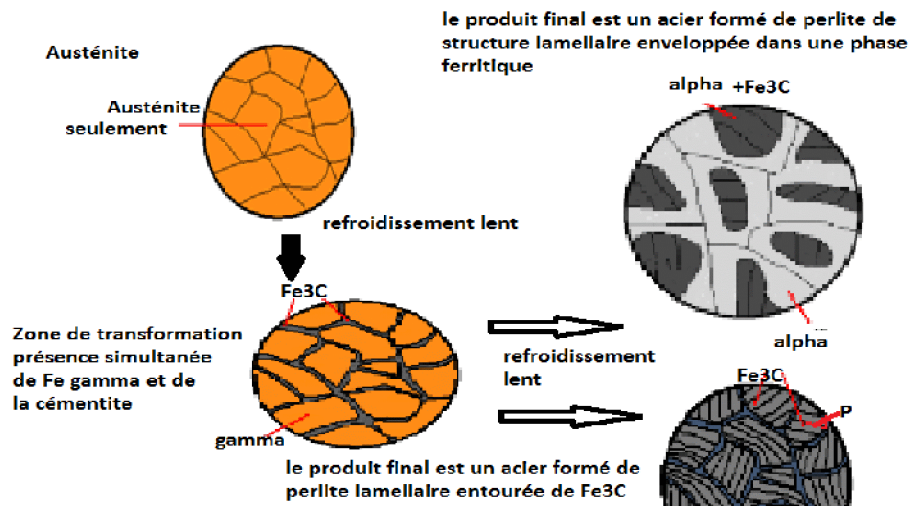
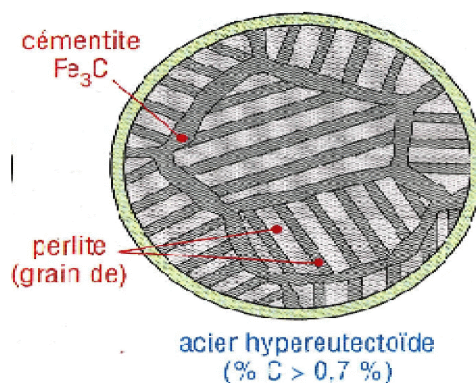


Figure. I.7 : Transformation $\gamma \Leftrightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ dans l'acier hypoeutectoïde.

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.



I.3- Eléments 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 :

$$A_{C_1} = 723 - 10,7Mn - 16,9Ni + 29,1Si + 16,9Cr + 6,38W + 290As \quad (I.1)$$

$$A_{C_3} = 912 - 203C - 15,2Ni + 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W - 30Mn \quad (I.2)$$

I.3.1- Utilisation du système Fer-Carbone dans l'industrie [2]

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.3.2- Influence des éléments d'addition

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 γ (C.F.C) et (α et δ) (C.C), par leur caractère gammagène ou alphagène respectivement, qui vient accentuer ou contrecarrer le domaine γ .
- 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 enformant une solution solide γ 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 gammagènes.

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- α et du Fer- δ « classe I : Cr, Mo, W, Si, V, Ti, Al », soit beaucoup plus limitée « classe II : Nb, Ce, B, Si ». Ces éléments sont dits alphagènes.

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 trempe	revenu ou détente	R _r 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 $\pm 0,2$ 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.4- 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.4.1- 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.2: 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

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 $\sigma_{Re} = 235$ MPa

E335 : Acier de construction mécanique, avec $\sigma_{Re} = 335$ 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 et ainsi qu'aux chemins de fer.

I.4.2- Aciers de Traitement Thermique [1]

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

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.3 : Tableau de désignation des aciers non alliés.

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

I.4.3- Aciers alliés

On distingue deux catégories d'aciers alliés :

a- Aciers faiblement alliés

Sont des aciers dans lesquels, il n'existe aucun élément d'addition qui atteigne 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.4 : Désignation des aciers faiblement alliés.

Nuance	R _{min}	Re _{min}
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.		

b - 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.4.4- 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 telles que 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, 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 avec une addition d'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.4.5- Aciers inoxydables

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 où 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 surface. Elle influe essentiellement sur sa tenue à la corrosion et ses caractéristiques mécaniques. Il existe

plus de cent nuances d'inox, classées en cinq grandes familles (Norme Européenne **EN 10088**).

On peut classer les aciers inoxydables selon la structure cristalline qu'ils prennent après un traitement bien déterminé. Il existe trois 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). Leur teneur en chrome est comprise entre 11 et 29%, et, ne contiennent pas de nickel.

Les aciers ferritiques sont magnétiques 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). Ils sont très résistants à la corrosion grâce à la présence du chrome et 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.5- 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 ci-dessous donne les caractéristiques des aciers inoxydables pour faciliter leurs choix :

Tableau I.5: Caractéristiques des aciers inoxydables.

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

X 2 Cr Ni Mo 17 12	316 L	Moins de carbone que le 316 Code de couleur : Rouge.	Pétrochimie, marine, hôpitaux, équipements pour la restauration.
X 2 Cr Ni Mo 18 12 2	317	18% de Chrome, 12% de Nickel, 2% de Molybdène Résistance très élevée à la corrosion.	Usines chimiques et pétrochimique, distillation d'acide acétique.
X 2 Cr Ni Mo 19 15 4	317 L	Moins de carbone que le 317	
X 6 Cr Ni Ti 18 10	321	18% de Chrome, 10% de Nickel, et du Titane. Code de couleur : Bleu.	Pièces pour aviation, industrie chimique et pétrochimique, éléments de chauffage.
X 6 Cr Ni Ti S 18 10	325	Contient du Soufre, (usinage facilité).	
X 6 Cr Ni Nb 18 10	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.

Aciers martensitiques : magnétiques, trempe possible, résistance modérée à la corrosion.

X 10 Cr 13	410	13% de Chrome.	Pièces pour pompes et turbines, mécanique générale, lame de couteaux, valves.
X 11 Cr S 13	416	13% de Chrome, contient du soufre, (usinage facilité par rapport à l'inox 410).	Construction, wagons de chemins de fer, transport miniers.
X 20 Cr 13	420	Résistant à la chaleur.	
X 15 Cr Ni 16 2	431	16% de Chrome, 2% de Nickel.	

Aciers ferritiques : magnétiques, aciers au chrome, résistant à la corrosion due aux chlorures

X 18 Cr 17	430	17% de Chrome.	Eviers, décoration, garniture automobile.
X 11 Cr Mo 17 1	434	17% de Chrome, 1% de Molybdène. Résistant à la corrosion atmosphérique et au piquage.	Système d'échappements des automobiles.
X 3 Cr Ti 12	409	12% de Chrome et du Titane Soudable jusqu'à 2.5 mm d'épaisseur.	Construction, wagons de chemins de fer, transport miniers.
X 3 Cr 12	403	Inox 409 modifié. Soudable en section renforcé. Formage possible.	

Aciers austénitiques : amagnétiques, aciers au chrome et nickel, bonne soudabilité, bonne résistance générale à la corrosion.

X 11 Cr Ni 17 8	301	17% de Chrome, 8% de Nickel Formage : possible	Construction, ressorts, plaques de friction de protection.
X 10 Cr Ni 18 9	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.
X 8 Cr Ni S 18 9	303	Usinage plus facile que l'inox 302.	Poulies, engrenages, crémaillère. Usinage en série, automates.

a. Système Fer-Carbone – Chrome [12] :

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

b. Teneur en chrome supérieure à 11,5% [12] :

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 (σ), qui pour des refroidissements lents, précipite dans la matrice ferritique ou aux joints de grains entraînant une fragilisation de l'alliage.

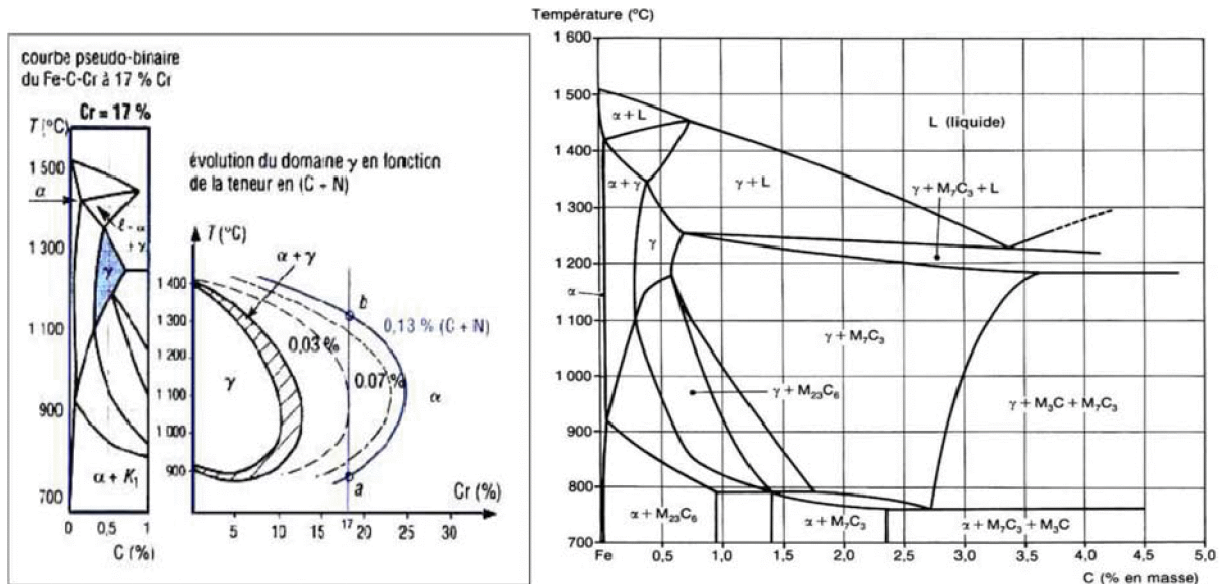


Figure I.8: Coupe Pseudo-binaire du diagramme Fer – Carbone - Chrome à 17 % de chrome (Diagramme d'équilibre d'acier inoxydable ferritique)

c. 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.6- Conclusion

Ce chapitre est consacré à l'étude des différents aciers et ainsi qu'au comportement de leurs microstructures. Ces types d'aciers diffèrent avec l'ajout 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 monde d'élaboration, aux traitements thermiques et thermo-chimique dans le but d'assurer une bonne fonctionnalité et une durée de vie appréciable de la pièce à réaliser.

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

PROCÉDÉS D'OBTENTION DES TÔLES ET DE 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- 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 et sont généralement, des tôles qui peuvent se présenter sous forme de feuilles ou de bobines.

II.3- Procédés d'obtention des tôles [5]

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 en sens inverse. C'est la rotation des outils qui entraîne le produit dans l'emprise par l'intermédiaire des frottements.

- **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.

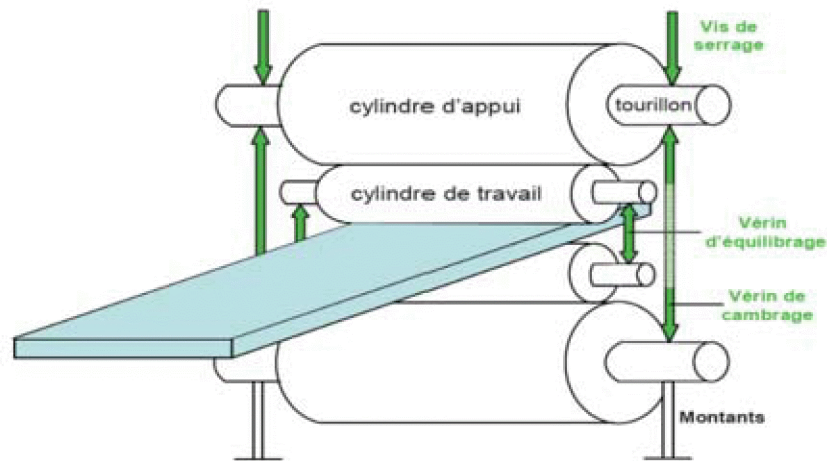


Figure II.1 : Schéma d'une cage quarto de laminage

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.

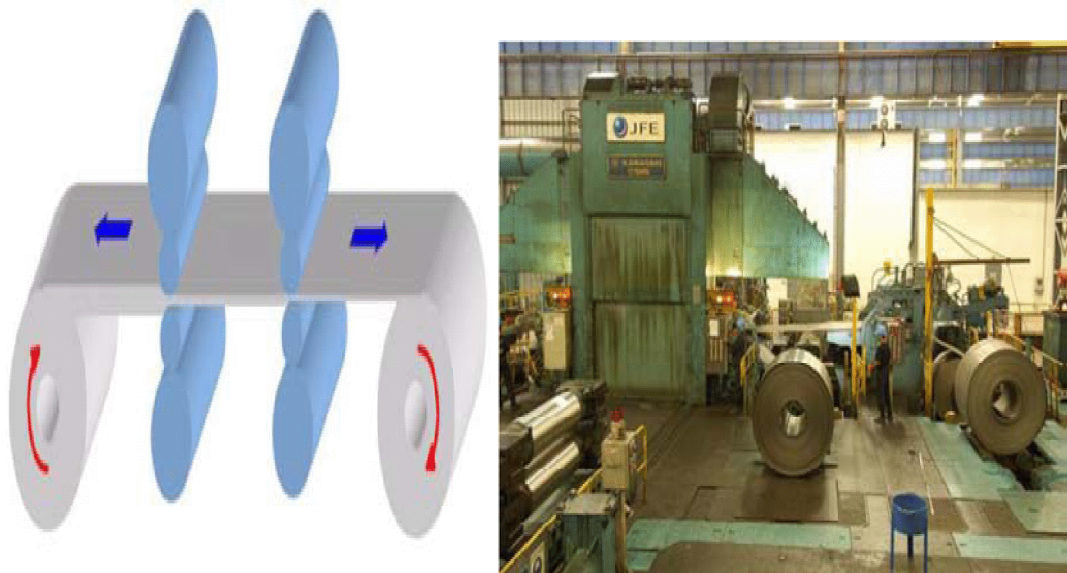


Figure II.2 : Train de laminage.

II.4- Emboutissage [6]

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 coût.

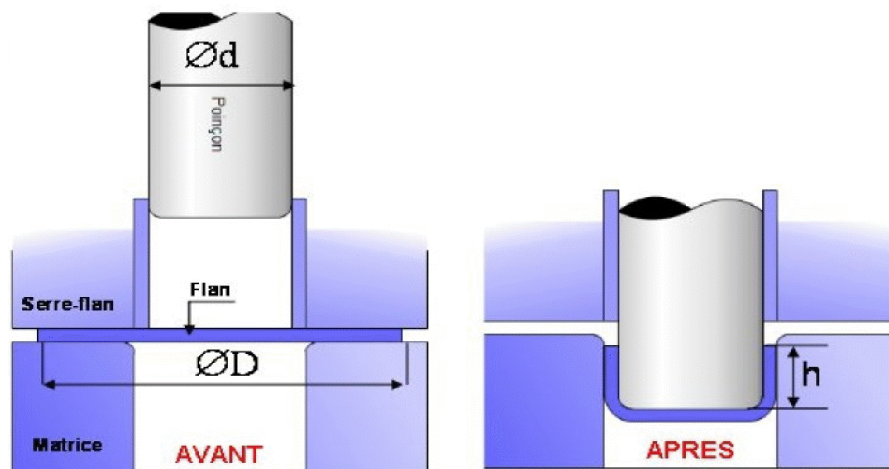


Figure II.3 : Emboutissage.

II.4.1- Principe de l'emboutissage

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**).

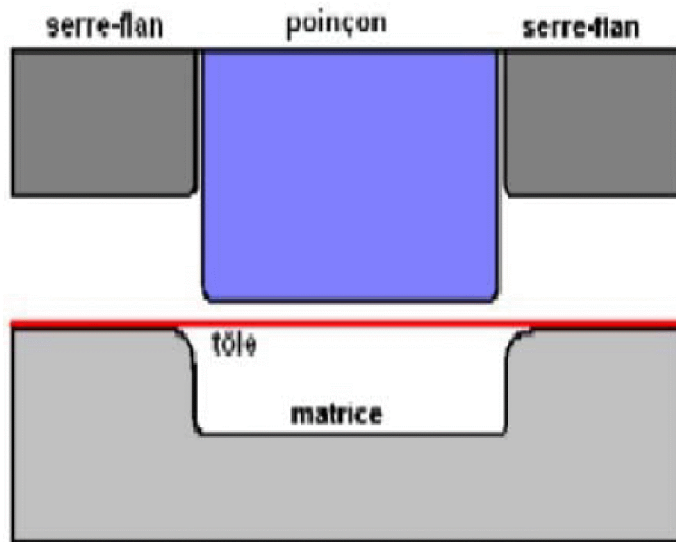


Figure II.4 : Phase 1 de l'emboutissage

- **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**).

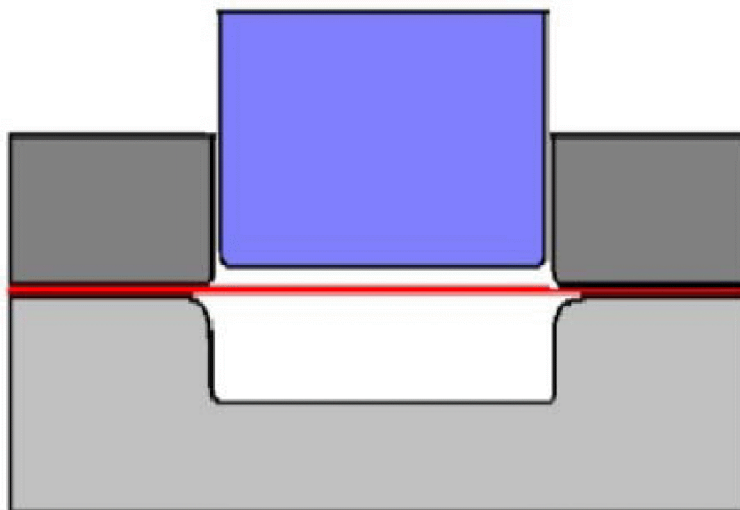


Figure II.5 : Phase 2 de l'emboutissage.

- **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

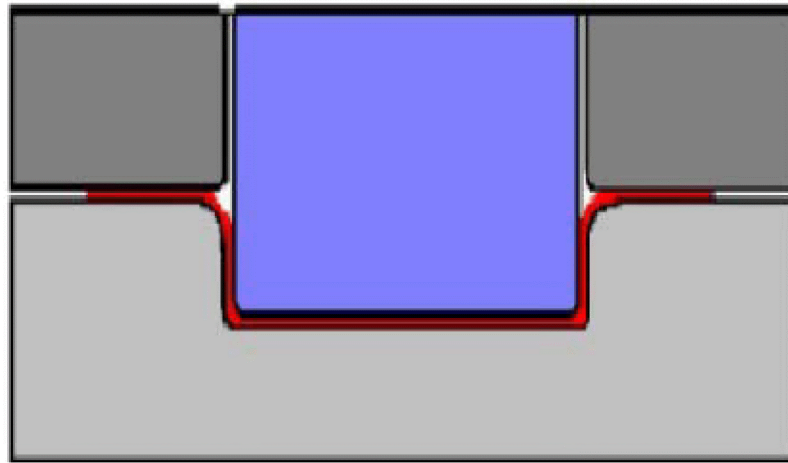


Figure II.6 : Phase 3 de l'emboutissage.

- **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 détourage.

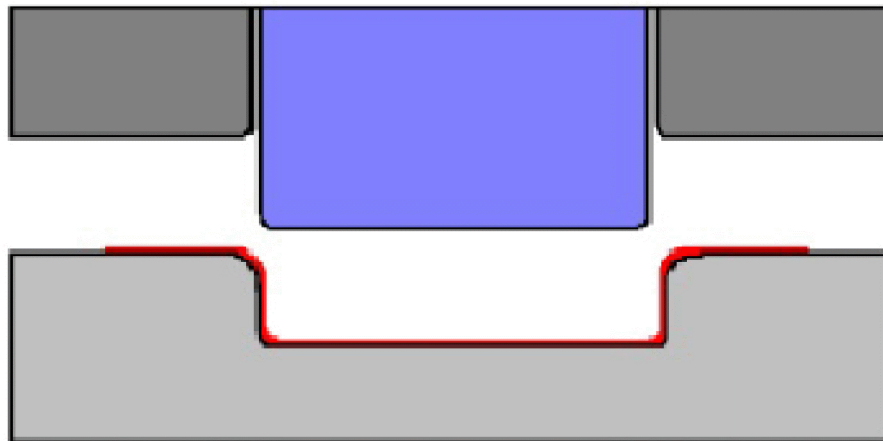


Figure II.7 : Phase 4 de l'emboutissage.

- **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 [9]

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 comme suit:

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

Avec :

F_e : Effort d'emboutissage, (**daN**).

d : Diamètre du poinçon, (**mm**).

e : Epaisseur de la tôle, (**mm**).

R_m : La résistance de la tôle à la traction, (**MPa**).

D : Diamètre du flan, (**en mm**).

K : Coefficient en fonction du rapport $\frac{d}{D}$

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

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

(II.2)

Avec :

P : La pression spécifique sur le serre flan.

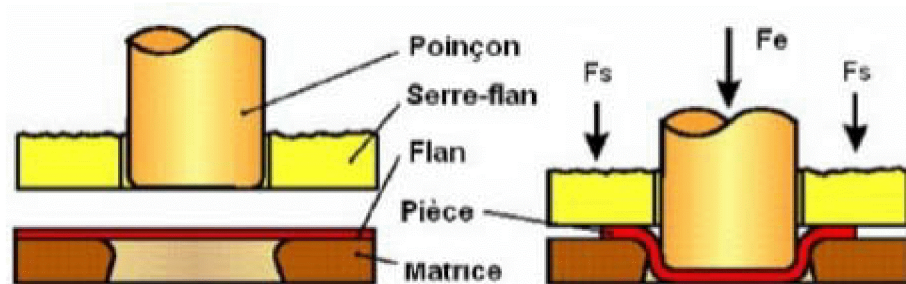


Figure II.8 : Direction des efforts F_e et F_s .

II.5- Découpage [8]

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.

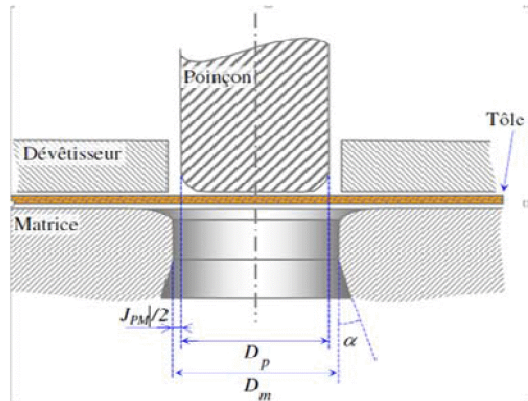


Figure II.9 : Principe du découpage.

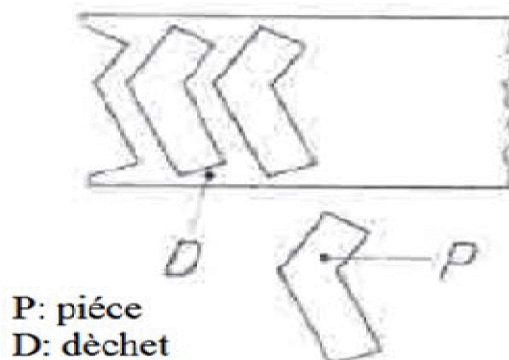


Figure II.10 : Pièce découpée.

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**.

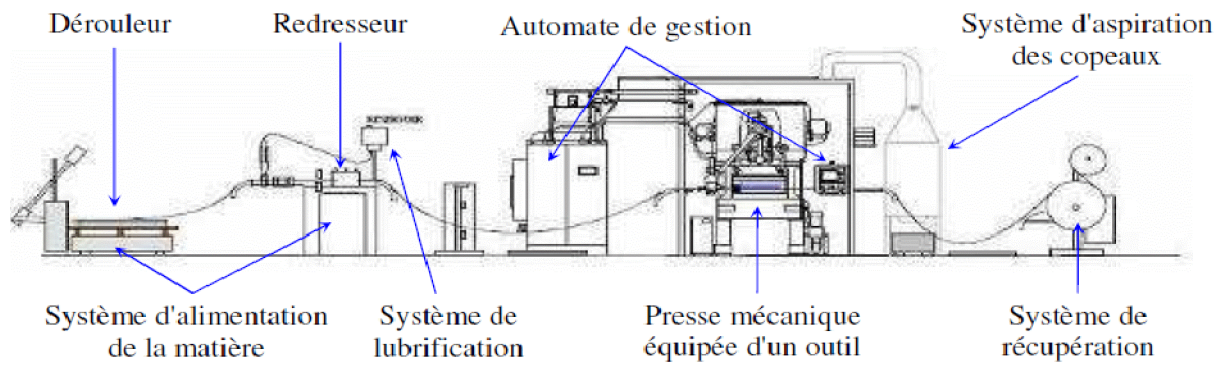


Figure II.11 : Ligne de découpe et ses périphéries.

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.

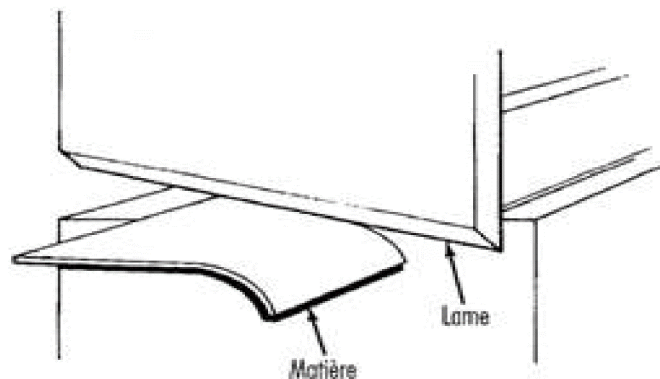


Figure II.12: Le Cisailage.

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.

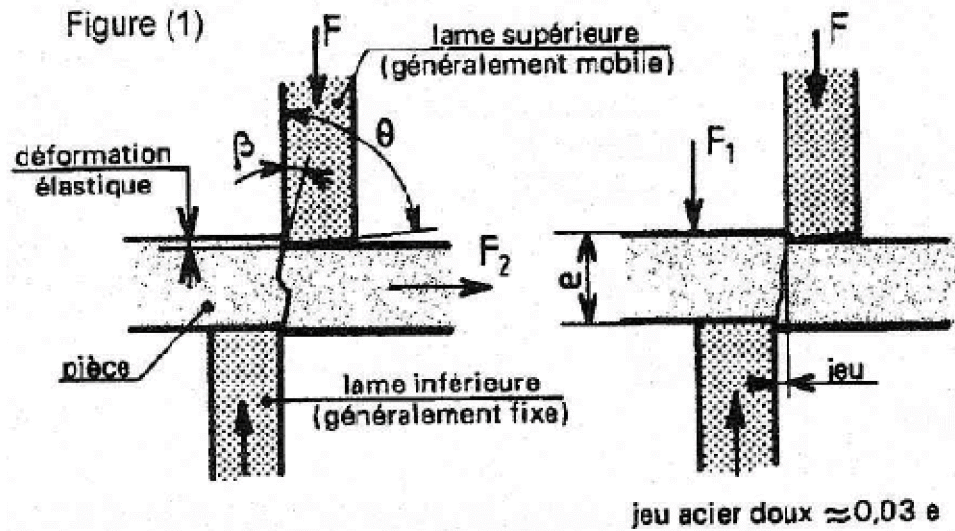


Figure II.13 : Paramètres entrants lors du cisailage.

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.

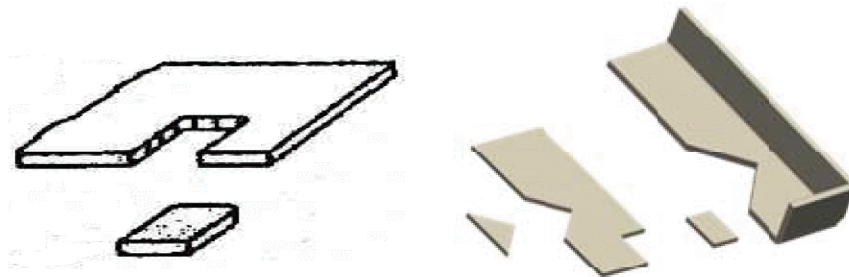


Figure II.14: Encochage.

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.

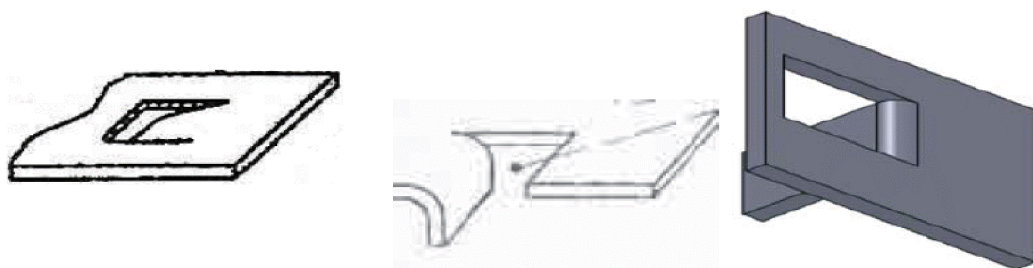


Figure II.15: Le Crevage.

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.

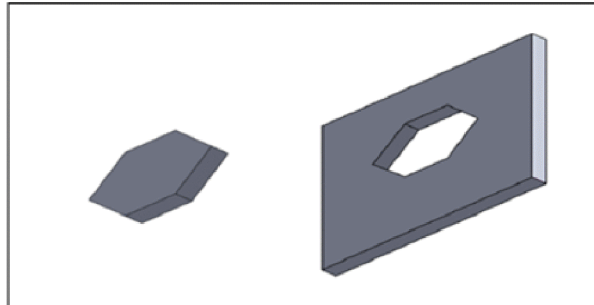


Figure II.16: Ajourage.

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.

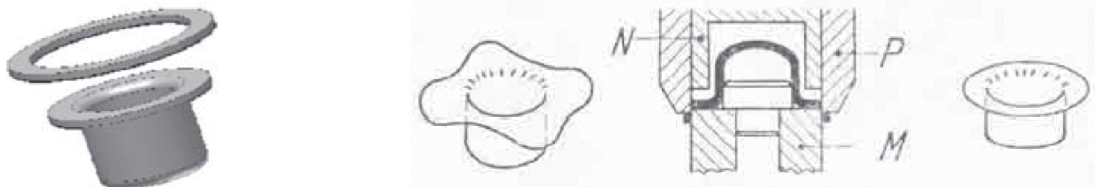


Figure II.17: Le détourage.

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.

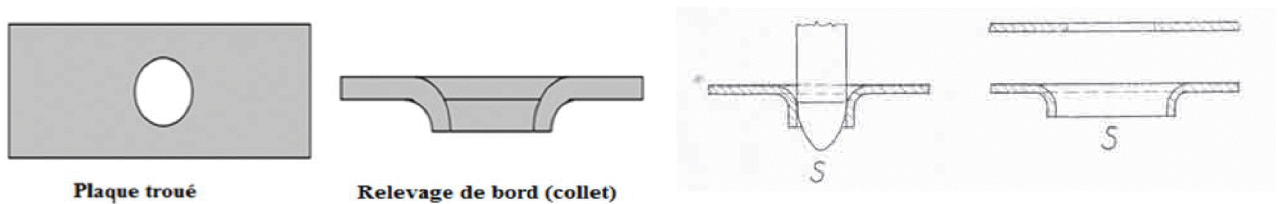


Figure II.18: Le soyage.

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.

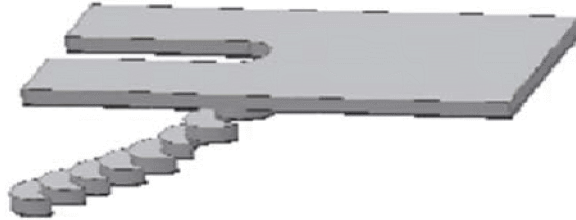


Figure II.19: Le grignotage.

II.6 - 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 débouchée).

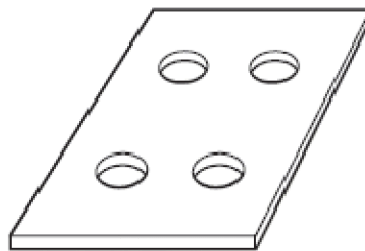


Figure II.20: Pièce poinçonnée.

II.6.1- Phases du poinçonnage [8]

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 minime 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.

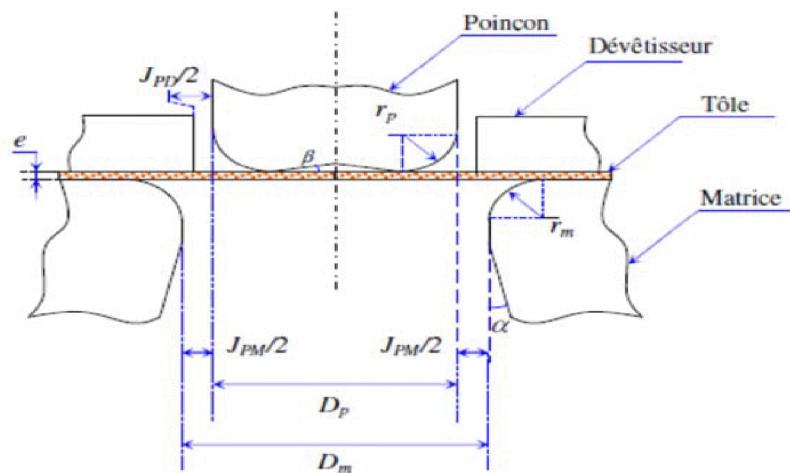


Figure II.22: Nomenclature des éléments de la géométrie du découpage.

II.6.2.1- Jeu du 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 et 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.

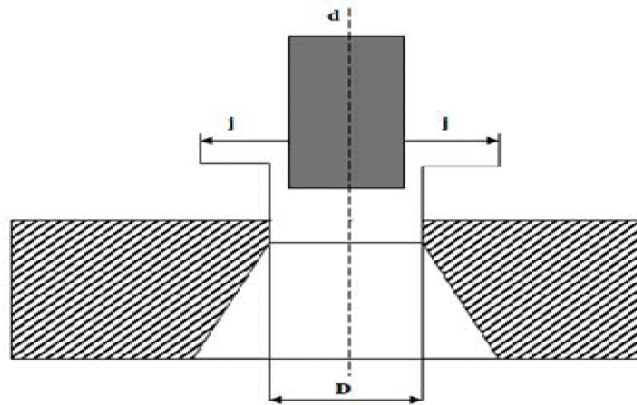


Figure II.23: Jeu du découpage.

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 réussite, 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 du découpage et du poinçonnage

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

$$\mathbf{F = K \cdot P \cdot e \cdot R_C}$$

(II.3)

Avec :

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

P : Périmètre de coupe, (en mm),

e : Epaisseur de la tôle, (en mm),

R_c : 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**).

$$\sigma_{\min} < R \quad (\text{II.4})$$

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

Avec :

σ_{com} : Contrainte de compression, (en MPa),

R : La limite élastique du poinçon, (en MPa),

F : Effort de découpage, (en N),

S : Section du poinçon, (en mm²).

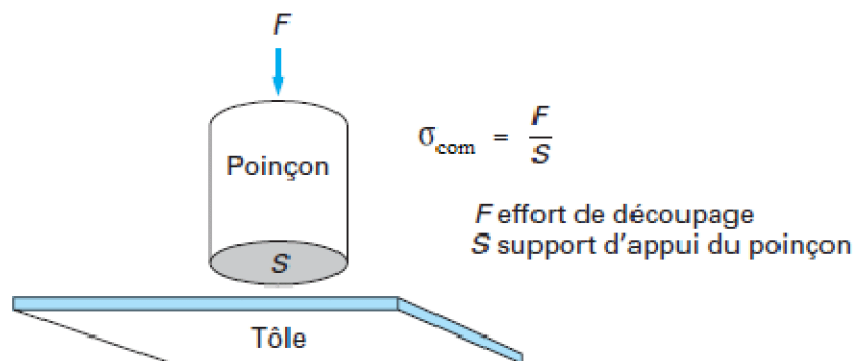


Figure II.24: Contrainte de compression sur le poinçon.

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 encastrés 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 mm⁴),

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

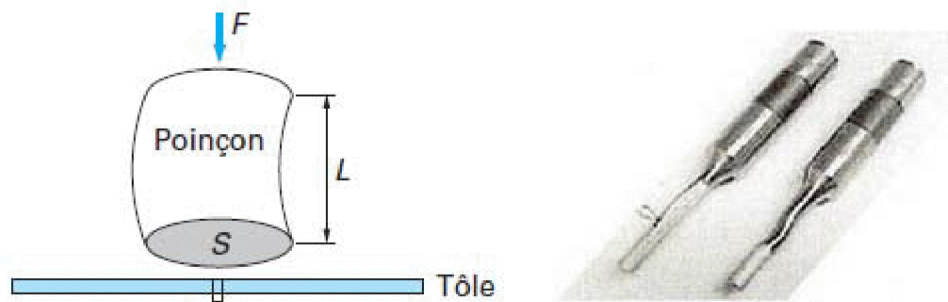


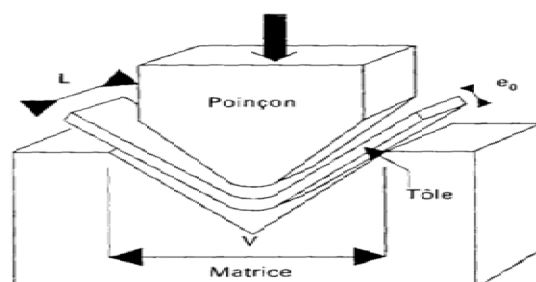
Figure II.25: Etat d'un flambement du poinçon de découpage.

II.7- Pliage [4]

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...



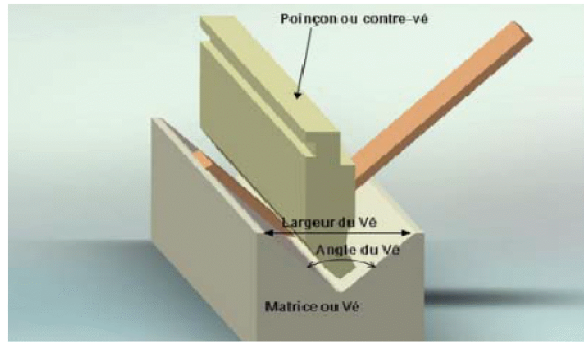


Figure II.26: Technique du pliage.

II.7.1- Différents modes de pliage [7]

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

II.7.1.1- 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 :

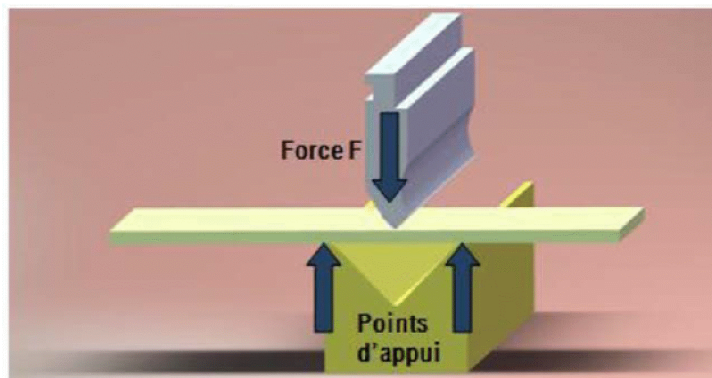


Figure II.27 : Principe du pliage en V.

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 V. L'angle final est celui du V, 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.

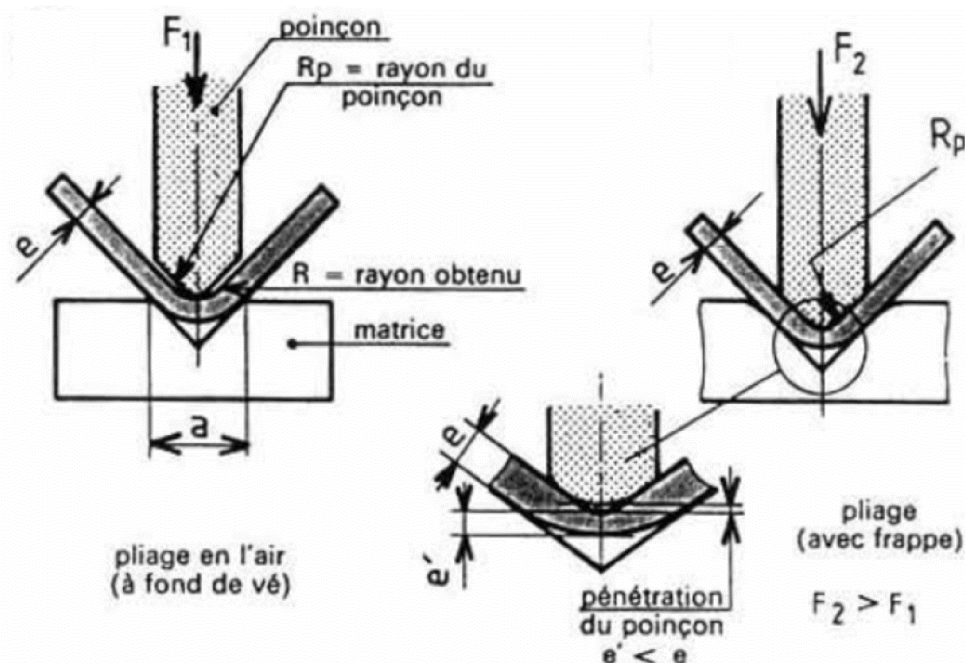


Figure II.28 : Principe du pliage en l'air.

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 :

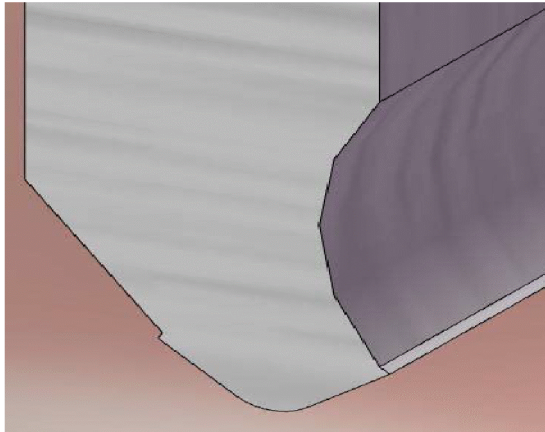


Figure II.29 : Outil de pliage en l'air.

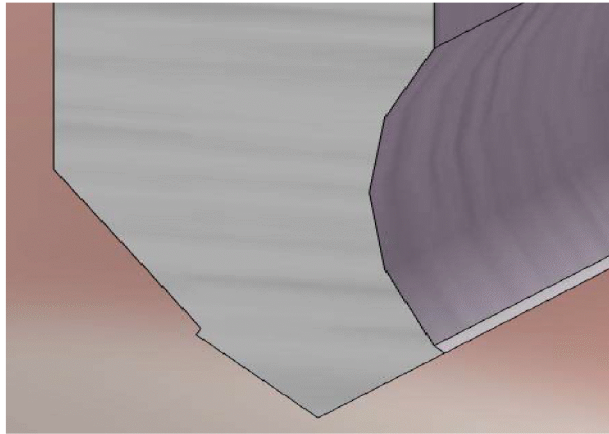


Figure II.30 : Outil de pliage en frappe.

II.7.1.2- 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.

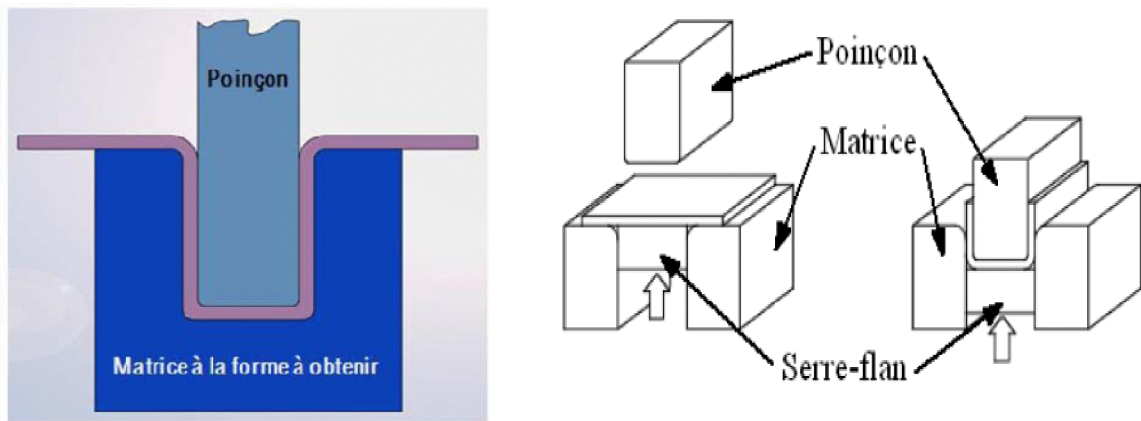


Figure II.31 : Principe du pliage en U.

II.7.1.3- 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.

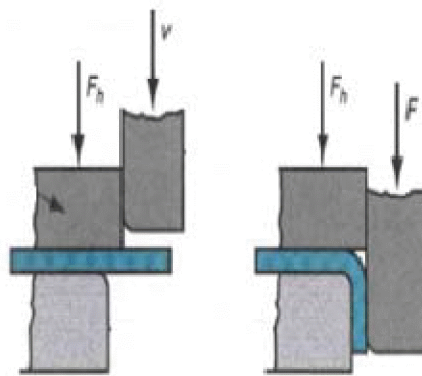


Figure II.32 : Pliage en L.

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.

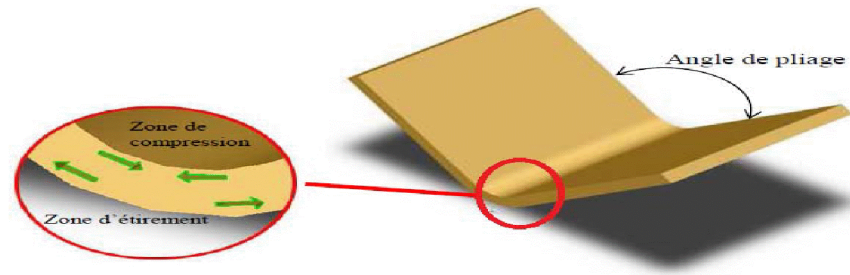


Figure II.33 : Angle de pliage.

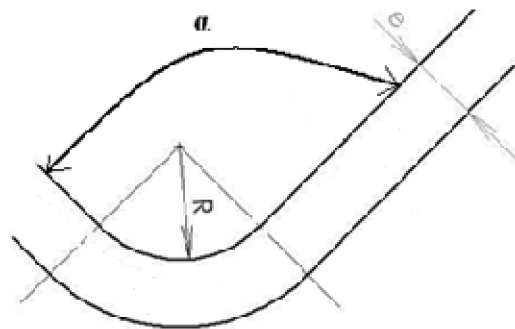


Figure II.34: Rayon de pliage.

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/e), la distance « a » varie, comme l'indique le Tableau suivant:

Tableau. II.2 : Variation de la distance « a » suivant le rapport (Ri/e).

R _i /e	Approche 1	Approche 2	Approche 3
a	e/3	2e/5	e/2

II.7.3- 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 :

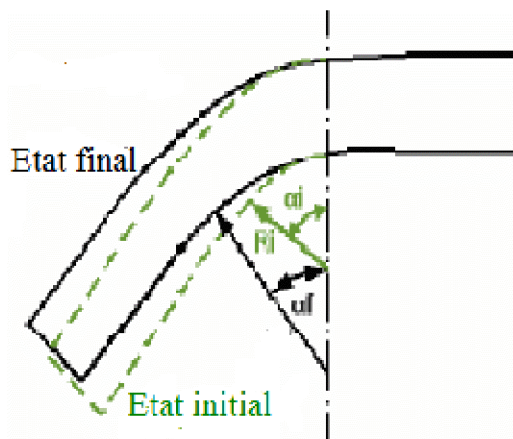


Figure II.36 : Phénomène du retour élastique.

II.7.4- Paramètres influents sur l'opération du pliage

Les différents paramètres influant sur le pliage sont comme suit :

II.7.4.1- Rayon de la matrice du 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- 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.

$$J \geq e + \text{tolérance max}$$

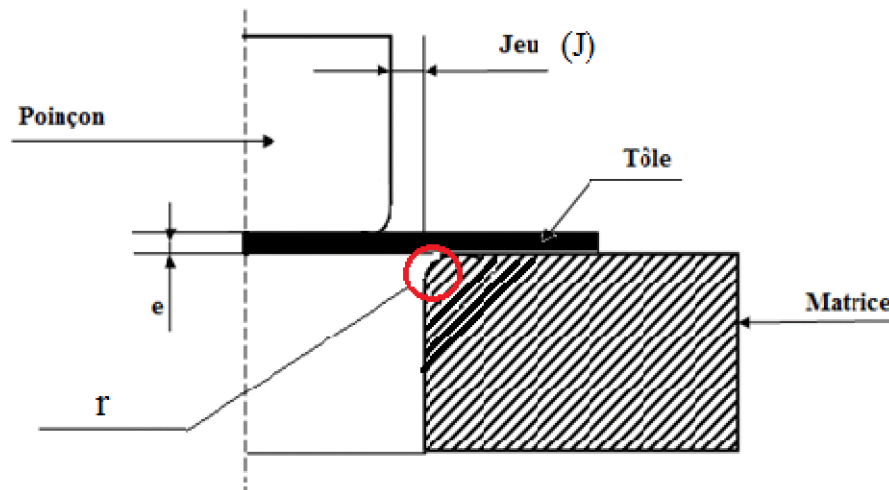


Figure II.37 : Jeu du pliage et le rayon de la matrice

II.7.5- Effort du pliage

En 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.

$$P_{CR} = \frac{e \cdot L \cdot R_C}{10} \quad (\text{II.9})$$

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 /mm²).

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- Différentes Presses Mécaniques

Les presses mécaniques sont classées suivant plusieurs paramètres qui sont les suivants :

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

III.2.1 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 Presses Mécaniques

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.

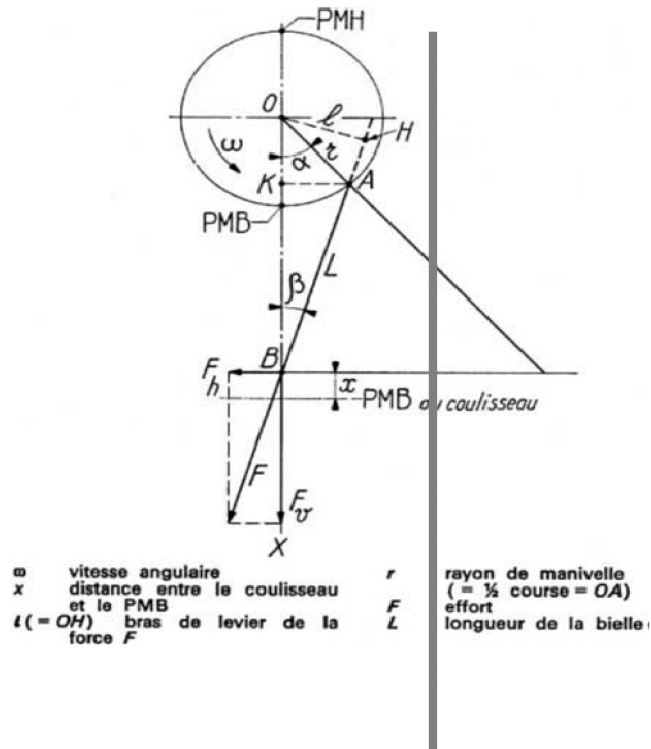


Figure III.1 : Principe du système Bielle-Manivelle



Figure III.2 : Presse Mécanique.

III.2.1.2 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 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.

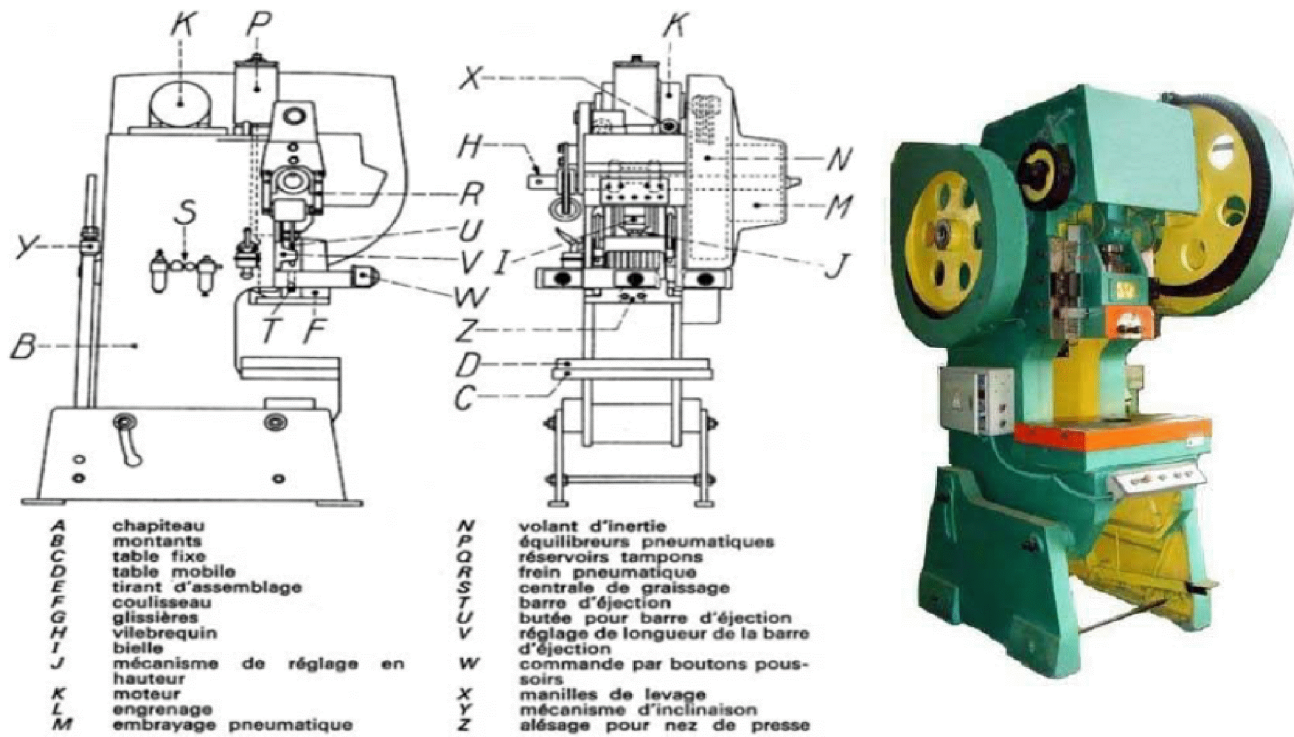


Figure III.4 : Presse à Col de Cygne.

III.2.2 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 simples 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.

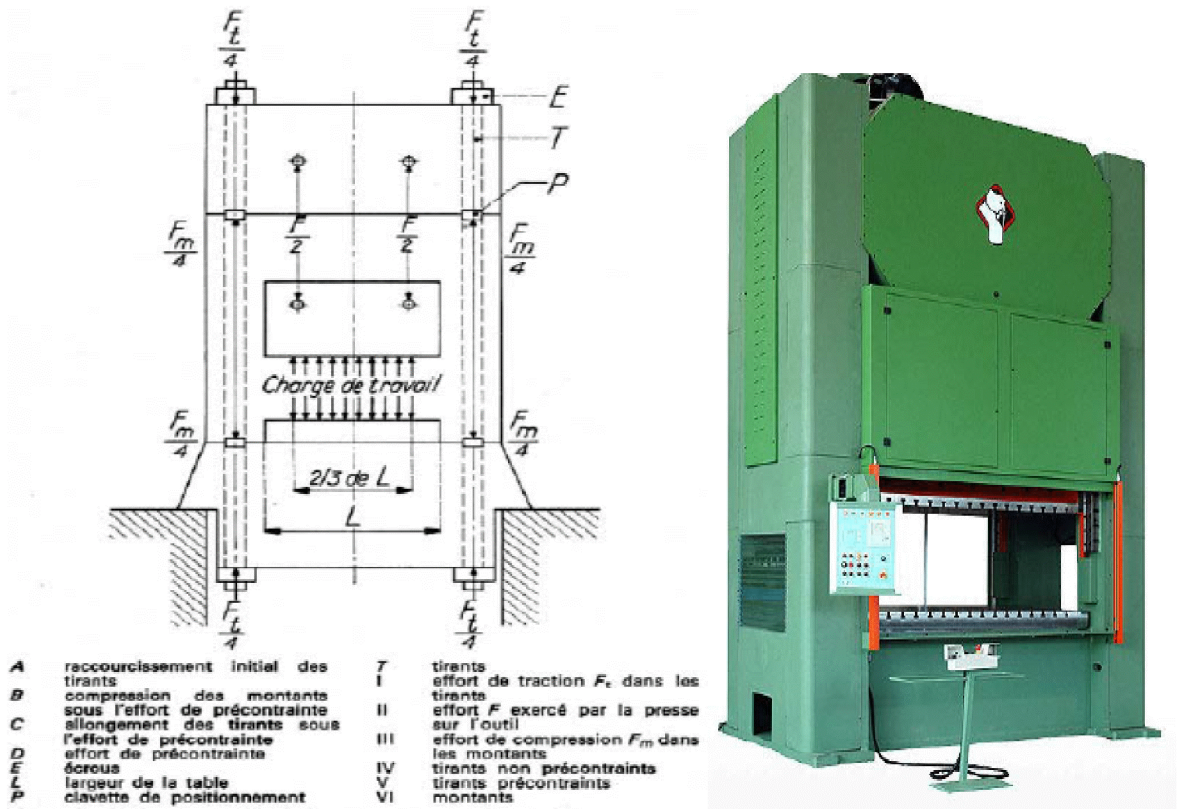


Figure III.5 : Presse à Arcade.

III.2.2.3 Presses à Montants Droits

Les presses à montants droits ont un bâti qui se compose de trois éléments : la **Table**, les **Montants** et le **Chapiteau** qui 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.

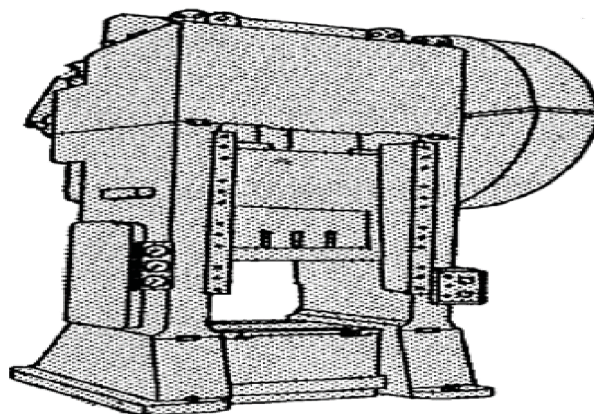


Figure III.6 : Presse à Montant droit.

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 colonnes cylindriques, liant la partie supérieure et la partie inférieure de la presse. L'entraînement du coulisseau est réalisé par les quatre 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.

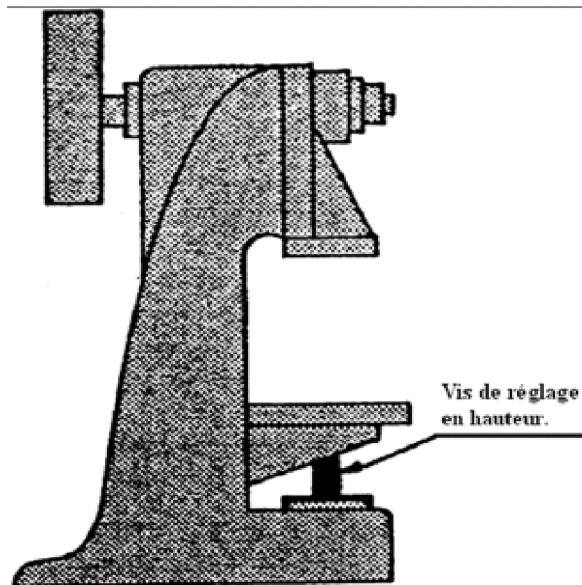


Figure. III.8 : Presse à Table Mobile et Bigorne.

III.2.3 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 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 coulisseaux sont actionnés par le même arbre moteur à l'aide d'un mécanisme, qui procure deux cinématiques différentes.

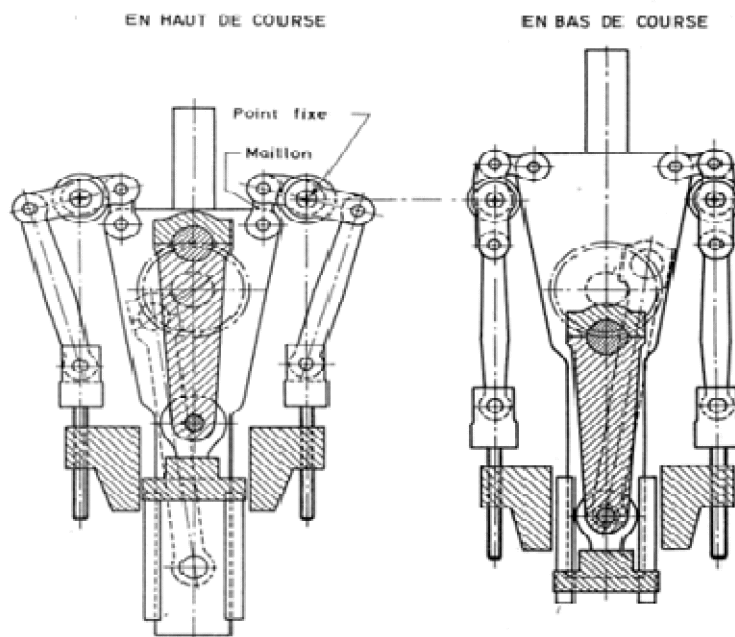


Figure III.9 : Presse à Double Effets.

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

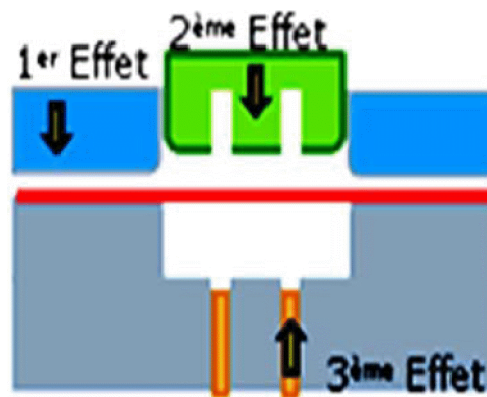


Figure III.11: Principe de fonctionnement de la Presse à Triple Effets

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 Energie

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 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 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.

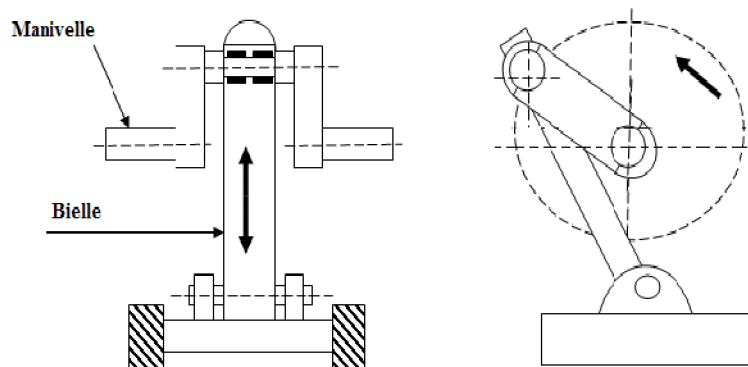


Figure III.12 : Système Bielle-Manivelle.

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.

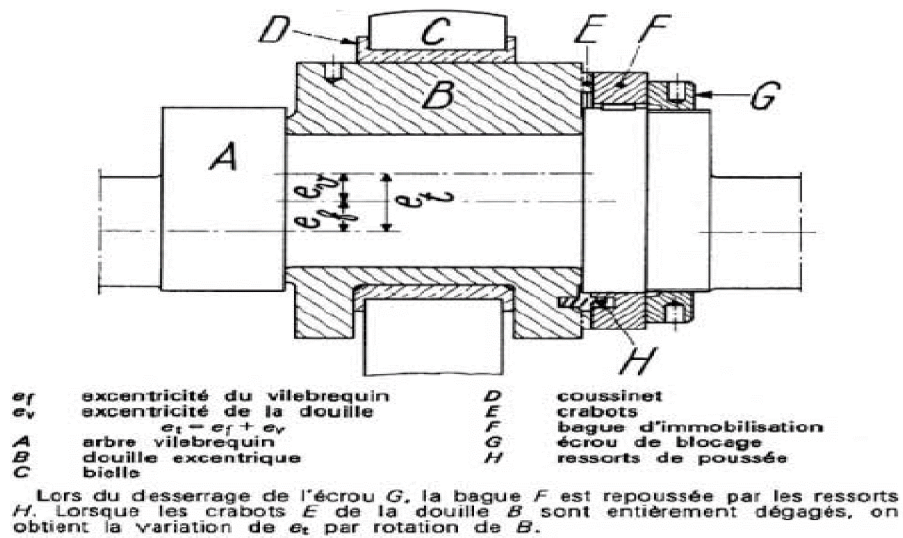


Figure III.13 : Principe du Système Excentrique.

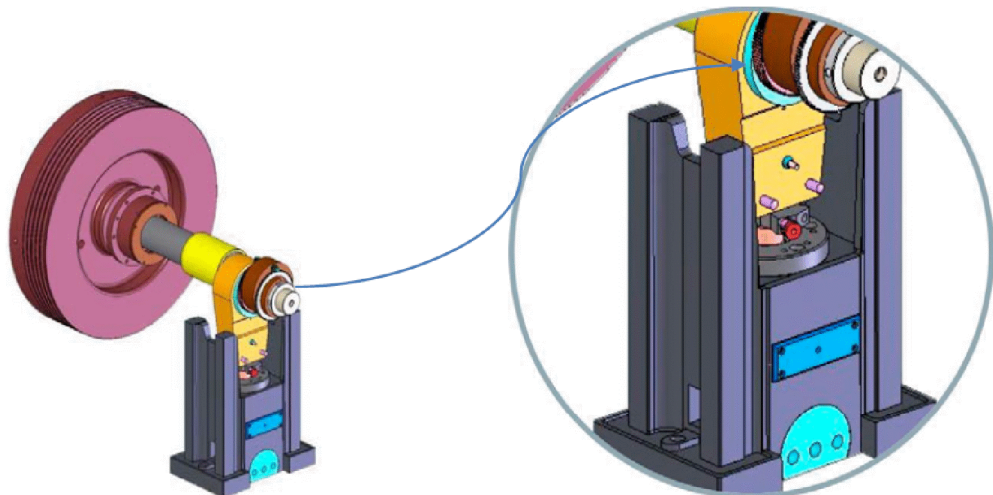


Figure III.14 : Exemple du Système Excentrique dans une Presse.

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 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 l'autre élément. L'une d'entre-elles est immobile, et, fixée au bâti, contrairement à l'autre extrémité, celle-ci est mobile, fixée au coulisseau.

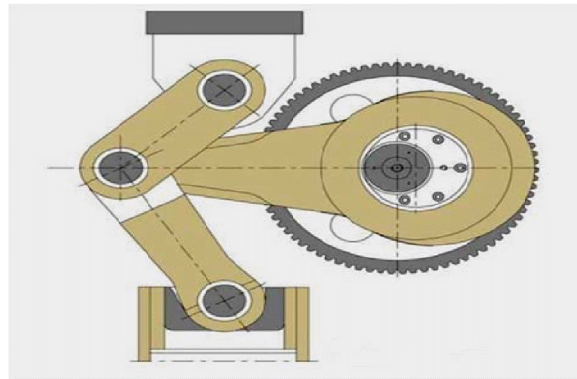


Figure III.15 : Exemple de Système à Genouillère

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.³

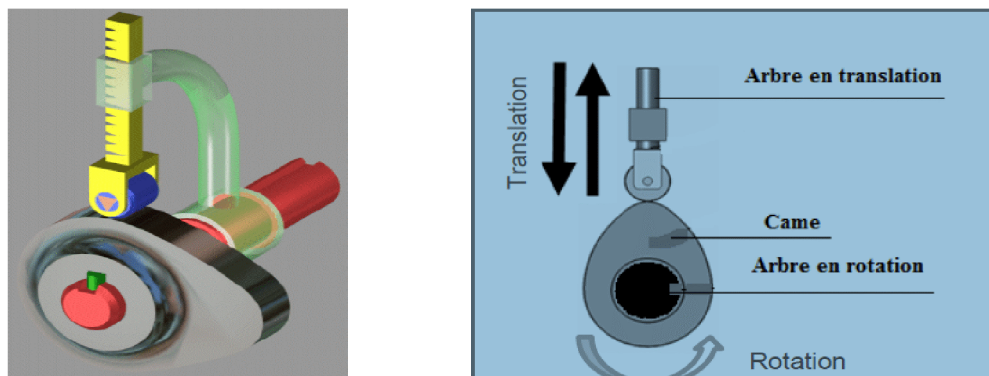


Figure III.16 : Principe du Système à Came.

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 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.

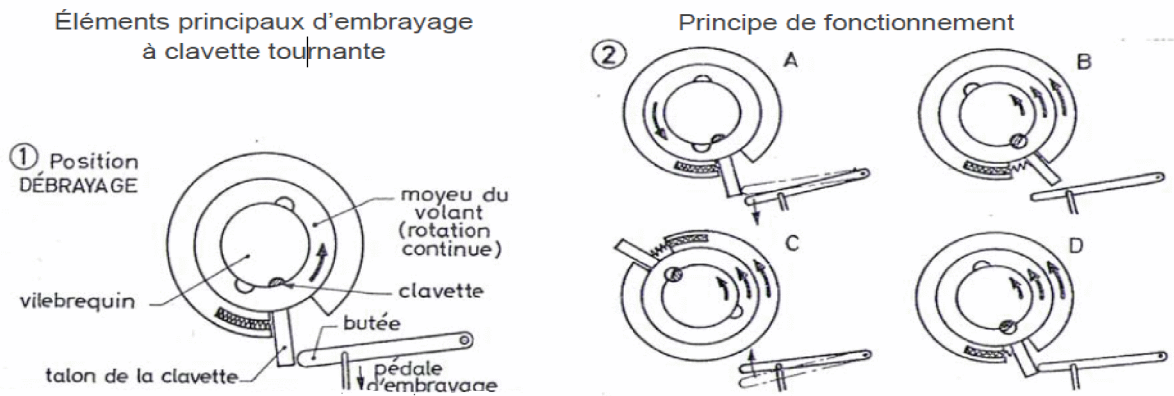


Figure III.17 : Système d'Embrayage à Clavette Tournante.

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.

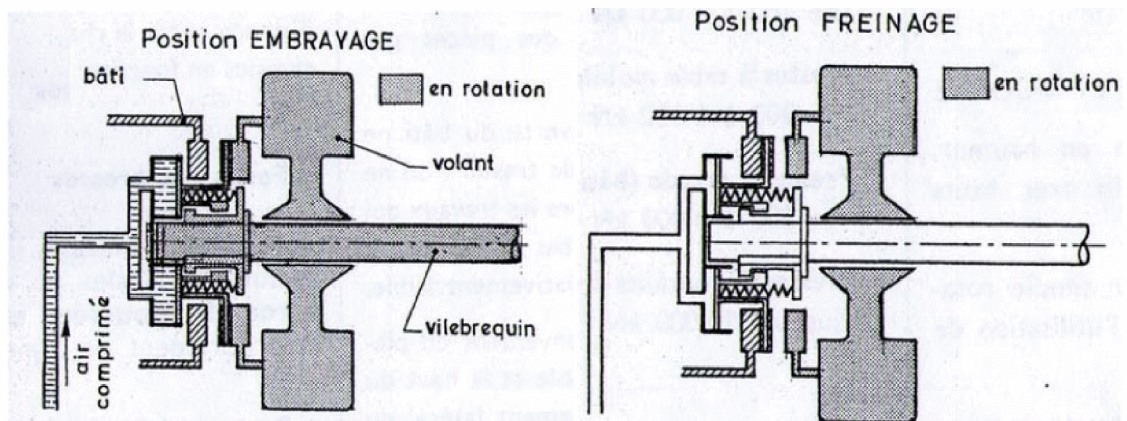


Figure III.18 : Système d'Embrayage à Friction à Commande Électropneumatique.

III.4 Les outils de Presses [2]

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 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.

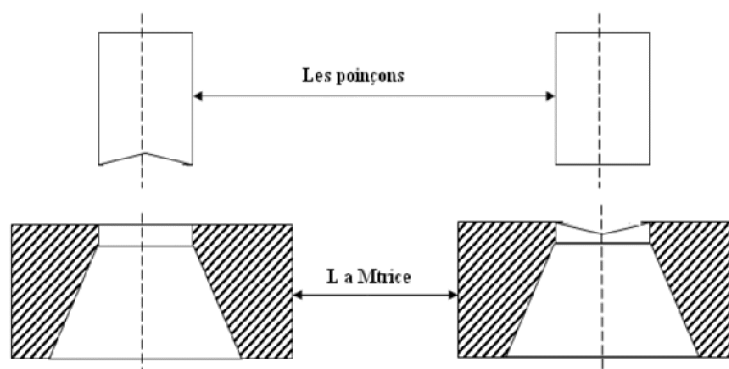


Figure III.19: L'Ensemble Poinçon - Matrice.

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°.

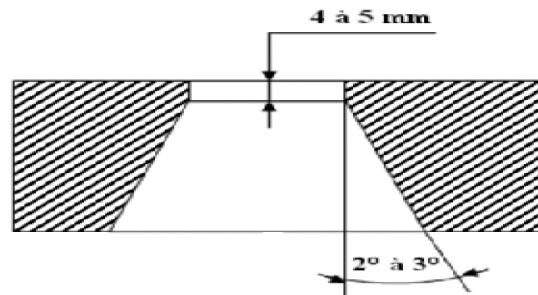


Figure III.20 : Dimensions d'une Dépouille.

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.

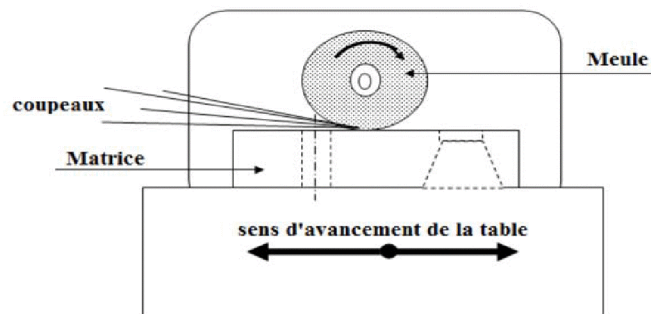


Figure III.21 : Principe d'un Affûtage.

III.4.2 Différents Types d'Outils de Presse

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.

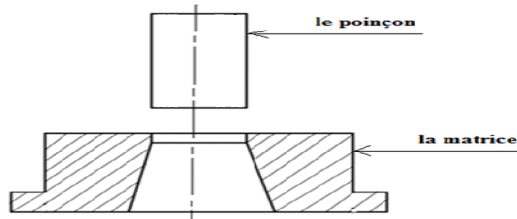


Figure. III.22 : Géométrie de l'Outil à Découvert Simple.

- **Outil à Découvert à Butées**

L'outil à découvert à butées a pour procédé de découpage des flans circulaires, dont deux 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.

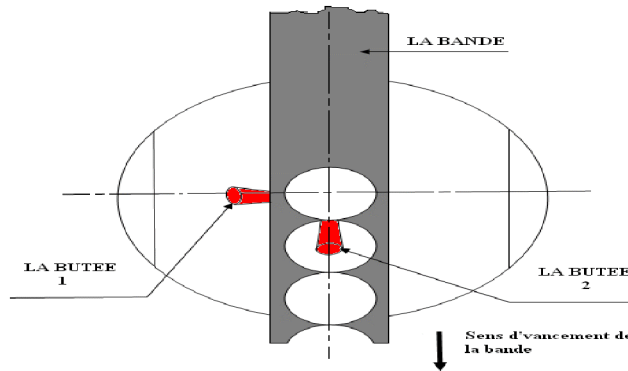


Figure III.23: Outil à Découvert à Butées.

III.4.2.2 Outil à Contre-plaque

Il existe deux 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

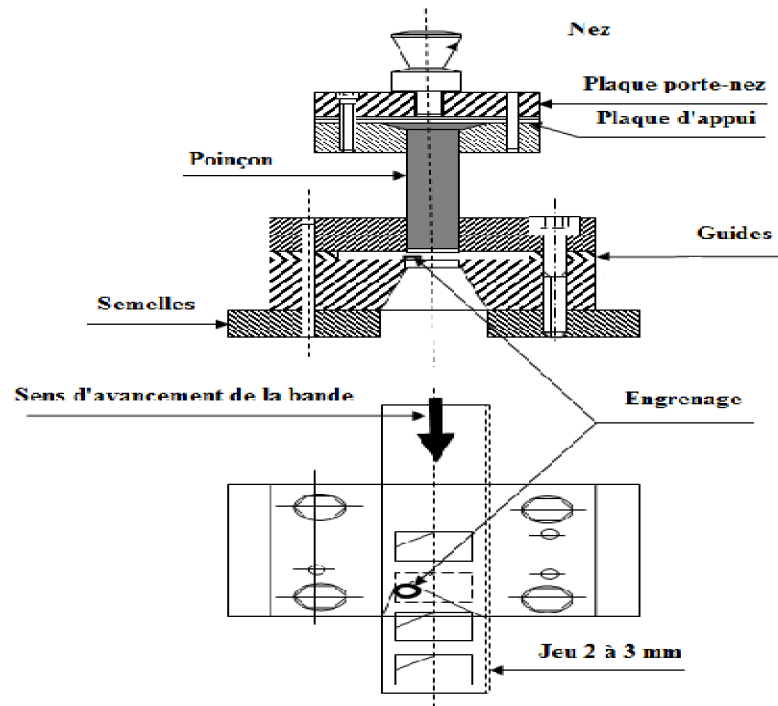


Figure III.24: Principe de l'Outil à Contre-plaque à Engrenage.

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 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.

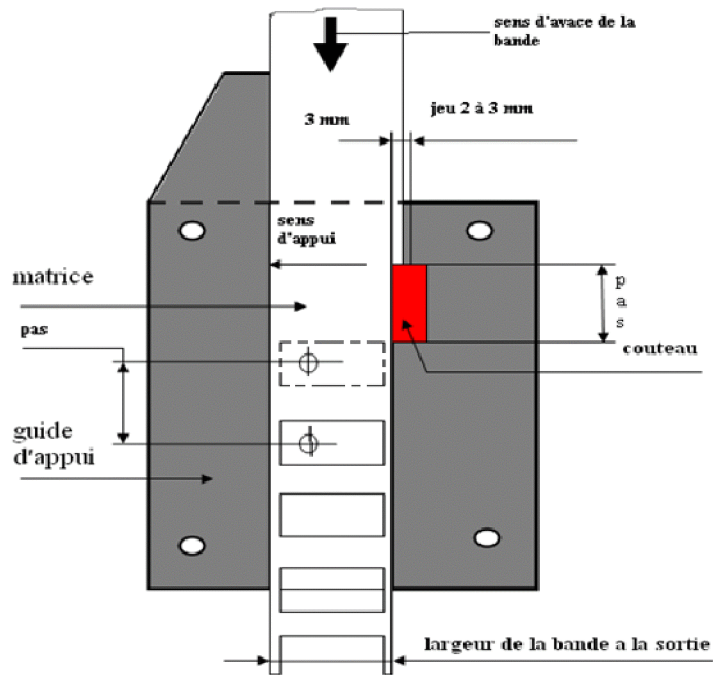


Figure III.25: Système d'Outil à Contre - Plaque à Couteau.

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.

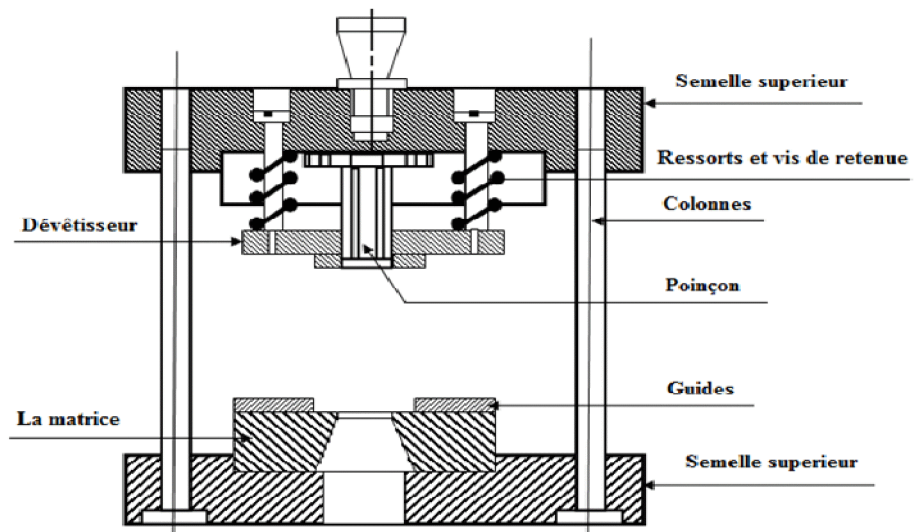


Figure III.26: Outil à Presse à Bande.

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.

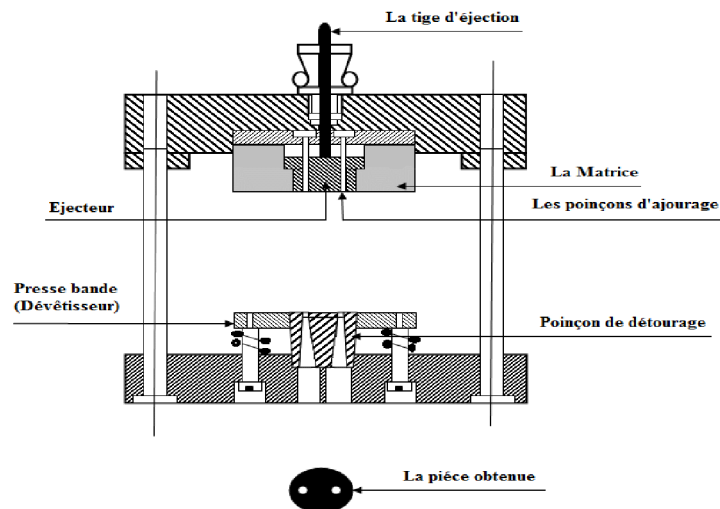


Figure III.27: Principe d'un Outil Suisse.

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 et 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.

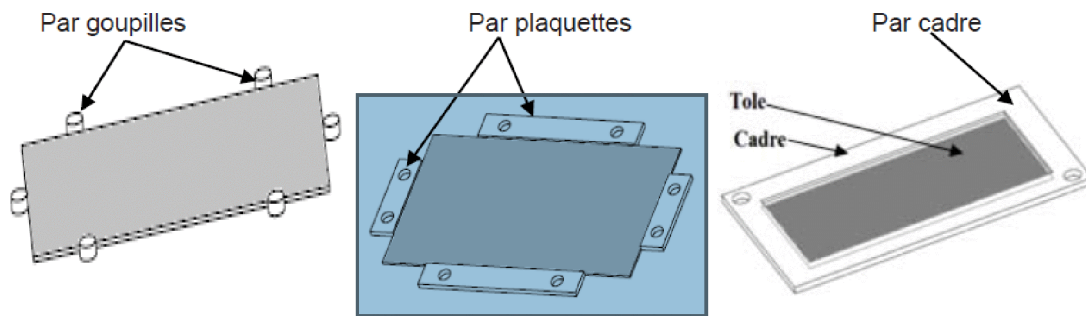


Figure III.28: Guidage du flan sur un Outil de Reprise par diverses façons.

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 types d'outils de détourage :

a. Détourage Normal

Dans le détourage normal, le centreur est reporté dont le but est de permettre l'affûtage 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**).

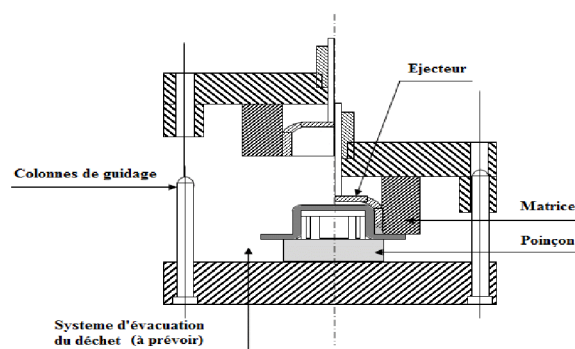


Figure III.29: Outils de Détourage Normal.

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.

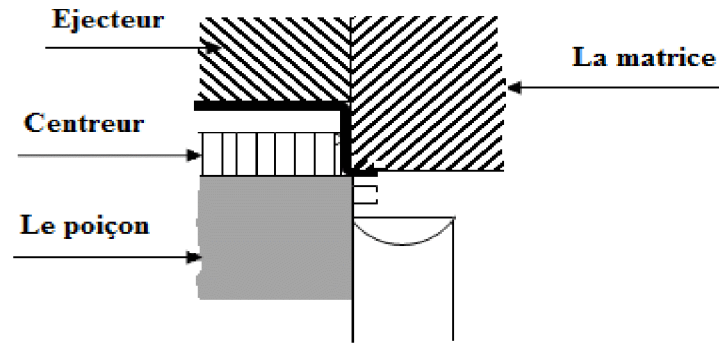


Figure III.30: Outils de Détourage à Ras.

a. Détourage-Poinçonnage

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

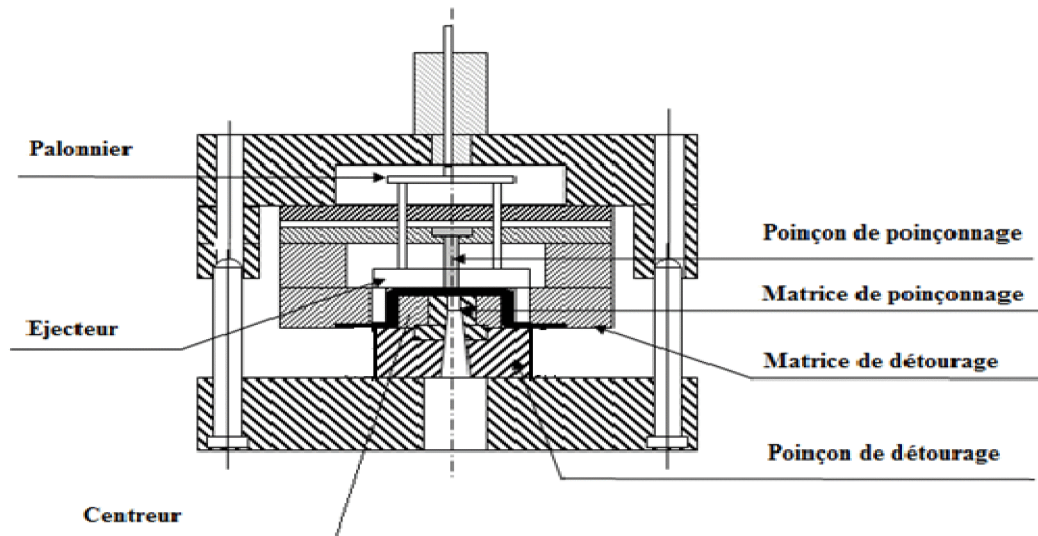


Figure III.31: Outils de Détourage-Poinçonnage.

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.

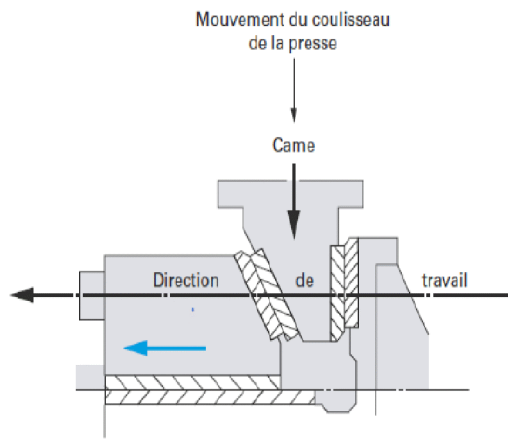


Figure III.32: Schéma de principe d'un poste à came dans un outil.

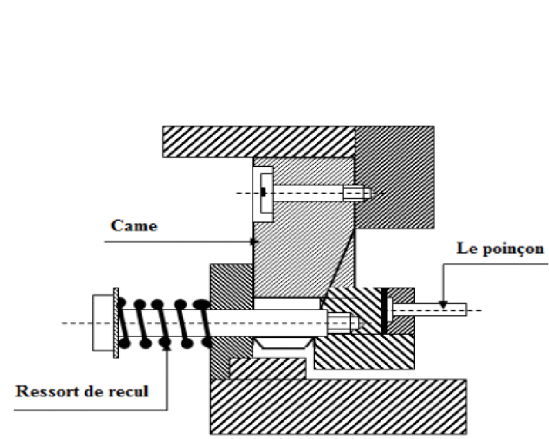


Figure III.33: Outils à Came.

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 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.

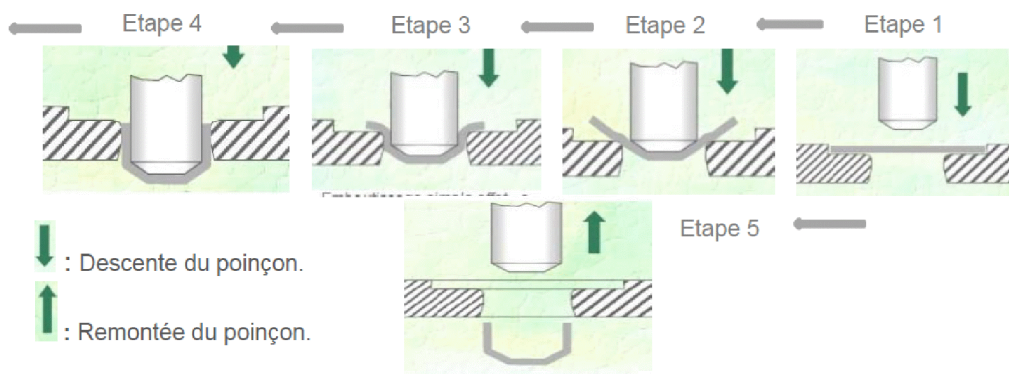


Figure III.34: Principe du travail d'un Outil d'Emboutissage Sans Serre-Flan.

b. Outil d'Emboutissage à Serre-Flan

On distingue deux 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.

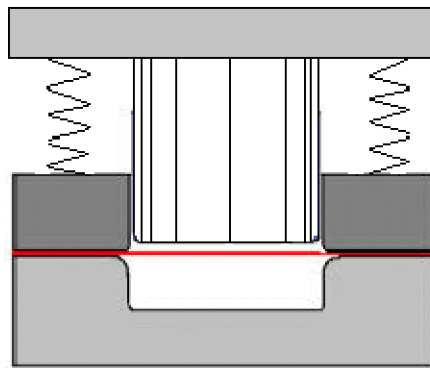


Figure III.35: Outil d'Emboutissage à Serre-Flan, placé sur une Presse à Simple Effet.

- *Outil placé sur Presse à Double Effets*

La presse à double effets comporte deux 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

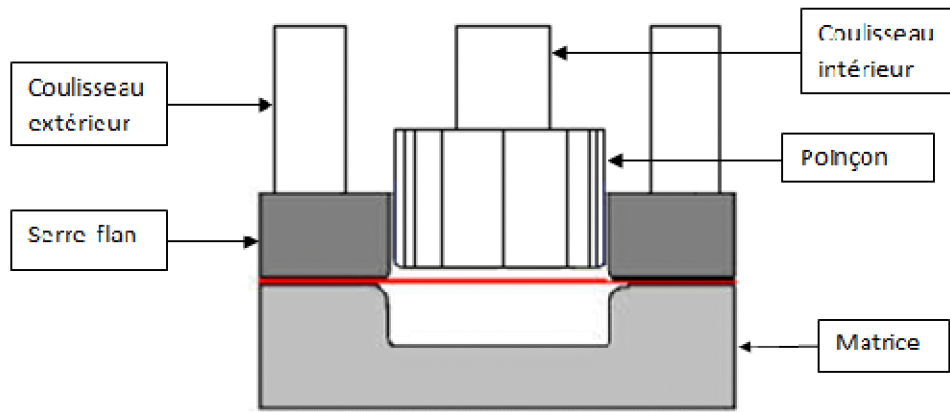


Figure III.36: Outil d'Emboutissage à Serre-Flan, placé sur une Presse à Double Effets.

III.4.2.9 Outil de Cambrage

Dans l'industrie, il existe divers modèles d'outils de cambrage. On distingue trois 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.

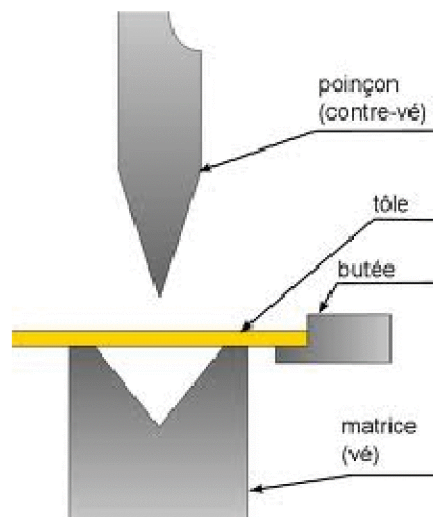


Figure III.37: Exemple d'Outil de Cambrage en V.

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.

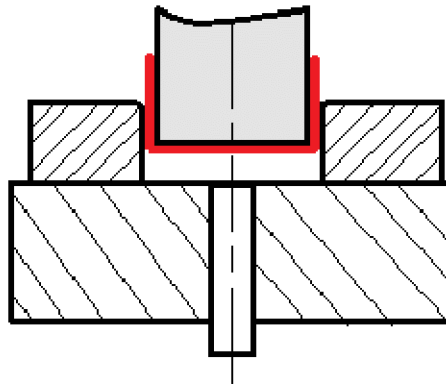


Figure III.38: Exemple d'Outil de Cambrage en U.

c. Outil de Cambrage en Équerre

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

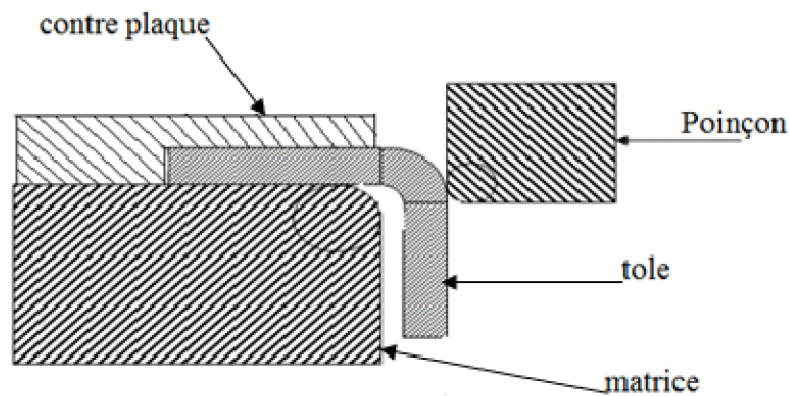


Figure III.39: Exemple d'Outil de Cambrage en Équerre.

III.4.3 Outil à Suivre [2]

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 aménage (dispositif de pinçage/d'épincage 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.

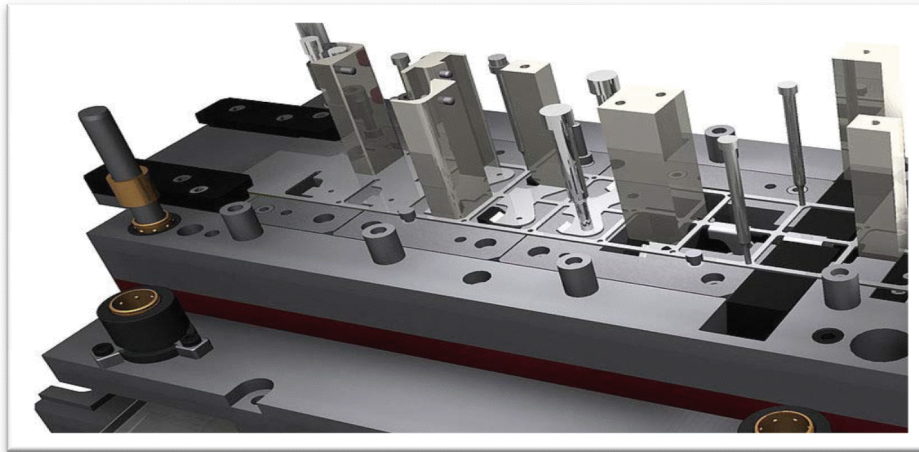


Figure III.40: Exemple d'un Outil à Suivre avec sa mise en bande.

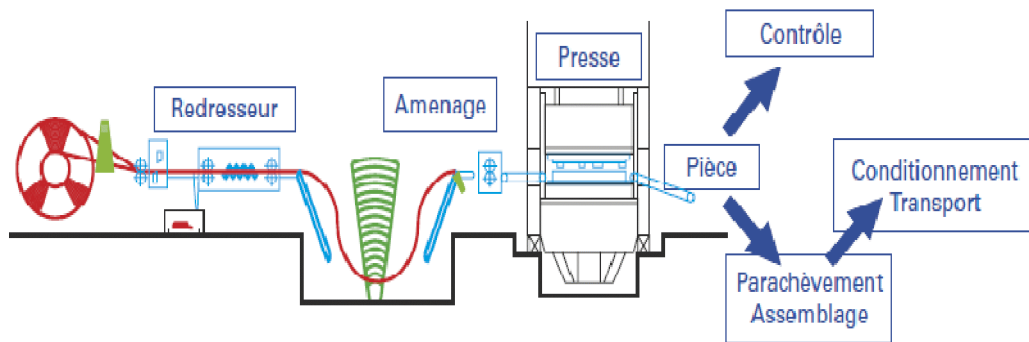


Figure III.41: Schéma d'une Presse Automatique.

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 manières de fixation des semelles sur le plateau (**Figure III.42**) :

- Fixation par vis.
- Fixation par bridage.

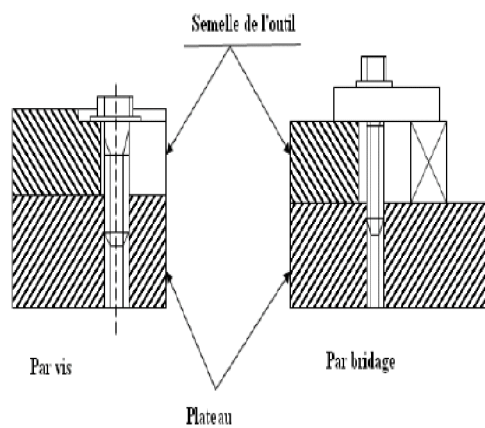


Figure. III.42: Système de fixation des semelles sur un plateau de presse.

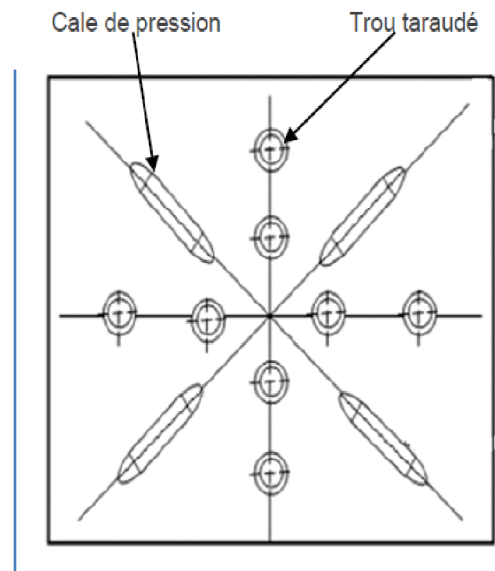


Figure. III.43: Plateau de la presse.

- 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-êtré aus, fixés par les trous des oreilles du coulisseau, comme le montre la **Figure. III.45** ci-dessous.

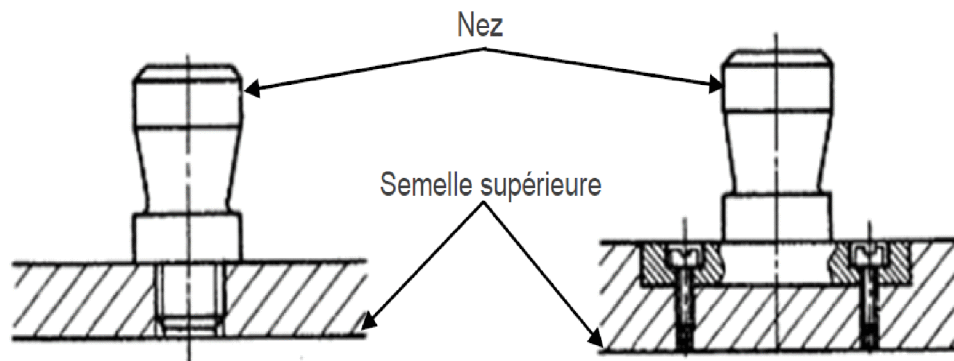


Figure III.44: Système de fixation de la partie supérieure de l'outil.

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.

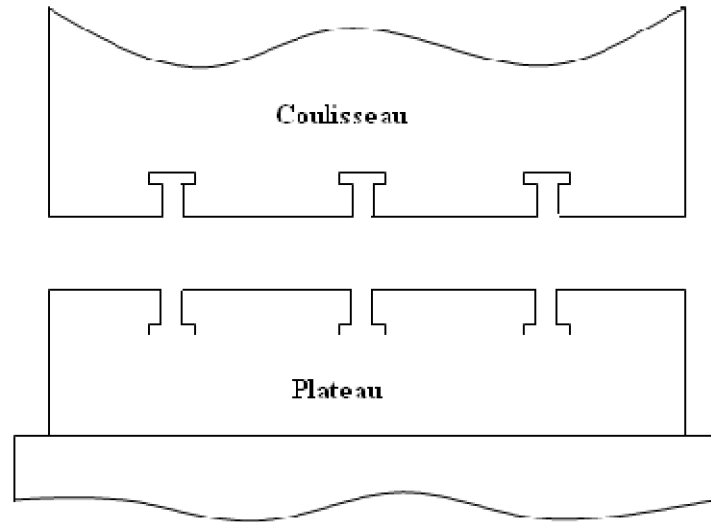


Figure. III.45: Coulisseau et plateau rainurés sur les Grosses Presses.

III.6- Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'avoir un aperçu global sur les différents types de presses, leurs principes de fonctionnements, et leurs équipements, tels que les différents outils de presses, ainsi que les différents mécanismes entrants. Ce qui nous donnera des idées sur le choix de la presse à utiliser et la conception de ses outils, aussi l'amélioration des systèmes, et les mécanismes montés dans ces machines.

CHAPITRE IV
**CONCEPTION ET ETUDE DE L'OUTIL
DE PLIAGE**

CONCEPTION ET CALCULS

Introduction

L'outil de presse matérialise les résultats des réflexions et des décisions prises au cours de sa conception. Il contient le « secret » de la façon dont la tôle de départ est mise en forme pour arriver à réaliser une pièce conforme en sortie de presse,

Cette dernière doit répondre à un cahier des charges définies par le donneur d'ordres, tout en étant en adéquation avec les limites du savoir-faire du métier de transformation et de mise en forme des tôles.

En ce sens, l'outil est le cœur du développement d'un projet. Les différents paramètres à prendre en compte dans le développement de l'outil sont ainsi précisés dans ce chapitre.

IV.1 But du projet

Cet outil étant actuellement achetée, l'entreprise prévoit de l'intégrer selon ses moyens. Le travail consiste en la conception et l'étude d'un outil de pliage qui réalisera la cloison du réfrigérateur de l'ENIEM. En intégrant quelque modification dans le processus de fabrication de cette dernière pour lui confier forme indiquée dans la figure ci-dessous au cours de la 1^{ère} opération

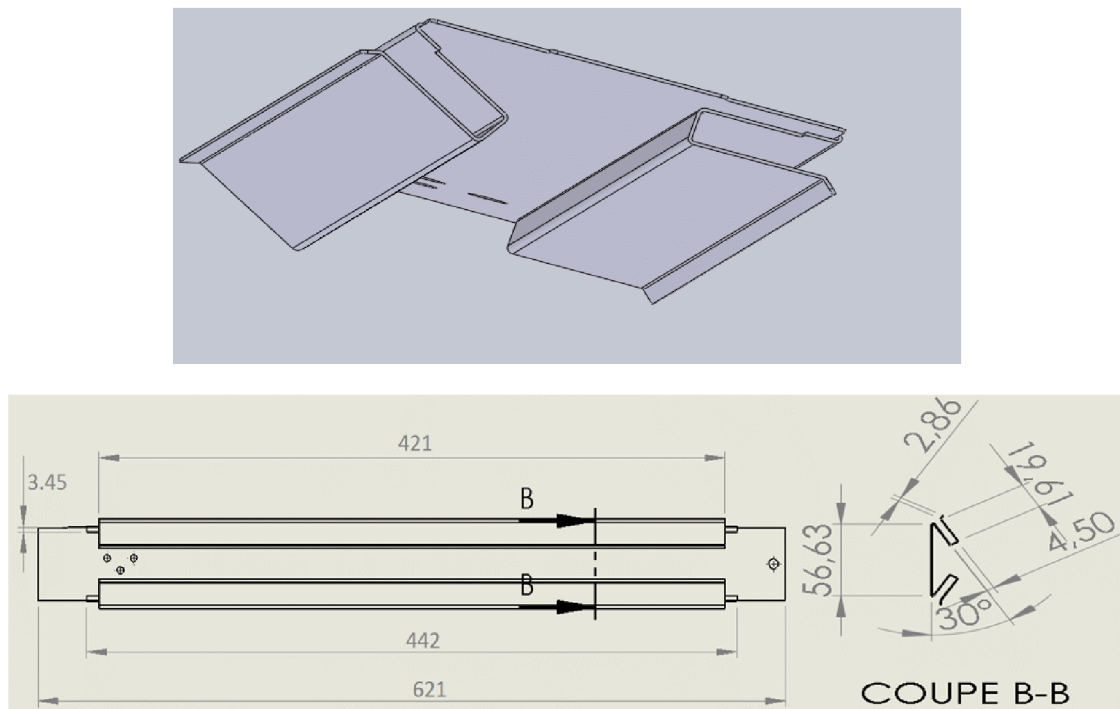


Figure IV.1 : forme de la pièce

IV.2. Cahier des charges

La pièce à réaliser est « la cloison d'un réfrigérateur ENIEM » dont les caractéristiques sont présentées par le dessin de définition de la pièce. Ce cahier des charges est fourni par l'entreprise et est présenté ci-après.

- Domaine d'utilisation

La tôle d'acier laminée à froid et utilisée pour la réalisation des pièces en tôlerie des réfrigérateurs électriques.

- Dimensions

N Code	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Tolérance (mm)
100271	0.6	681	+2/-0

IV .2.2 Caractéristiques

La tôle doit être conforme à la norme NF EN 10 130-DC 03 A

IV .2.2.1 Composition chimique du matériau en pourcentage (%)

C	P	S	Mn	Ti
0.10	0.035	0.035	0.45	-

IV .2.2.2 Caractéristiques mécaniques du matériau

Re N/mm ²	Rm N/mm ²	A ₈₀ % min	r ₉₀ min	n ₉₀ min
140/240	270/370	34	1.3	-

IV .2.2.3 Aspect de la surface

L'aspect de surface A (Surfaces nues, métalliquement pures, pores, rayures et stries admissibles dans une très légère mesure si cela n'affecte pas l'aspect lisse et uniforme de la surface) (selon la norme NF EN 10130)

IV .2.2.4 Aptitude au revêtement de surface

Les pièces après transformation recevront une couche de peinture

IV .2.3 Emplacement de la pièce

Cette figure illustre l'emplacement exacte de la cloison dans un réfrigérateur de l'ENIEM (frigo fb2340 ST-A)



Figure IV .2 : emplacement de la pièce (cloison)

IV .3 Travail demandé

IV .3.1 Étapes de réalisation de la cloison

La cloison est réalisée en deux étapes :

- **1^{er} étape**

Détourage : cette opération consiste à découper la forme initiale de la tôle à déplier à l'aide d'un outil à bande en lui donnant les dimensions nécessaires comme le montre la figure ci- après.



Figure IV .3: tôle détournée

- 2ème étape

Elle est devisée en plusieurs opérations.

- *Opération 1*

Réalisation de quatre plis avec un outil de pliage, ce qui nous donne la forme indiquée par la figure ci- dessous.

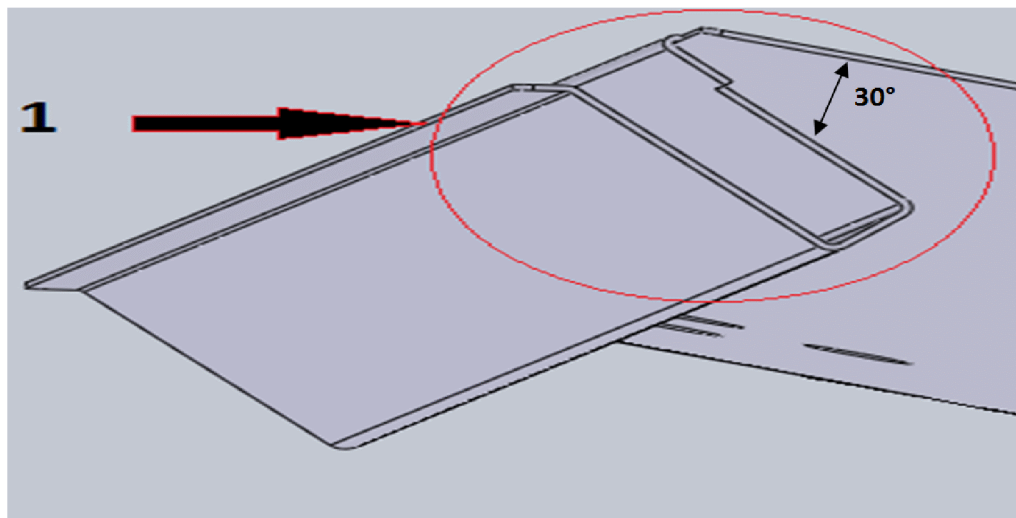


Figure IV .4: les quatre premiers plis de la cloison

- *Opération 2*

Pour réaliser un pli écrasé comme le montre la figure ci- dessous, un changement d'outil s'impose.

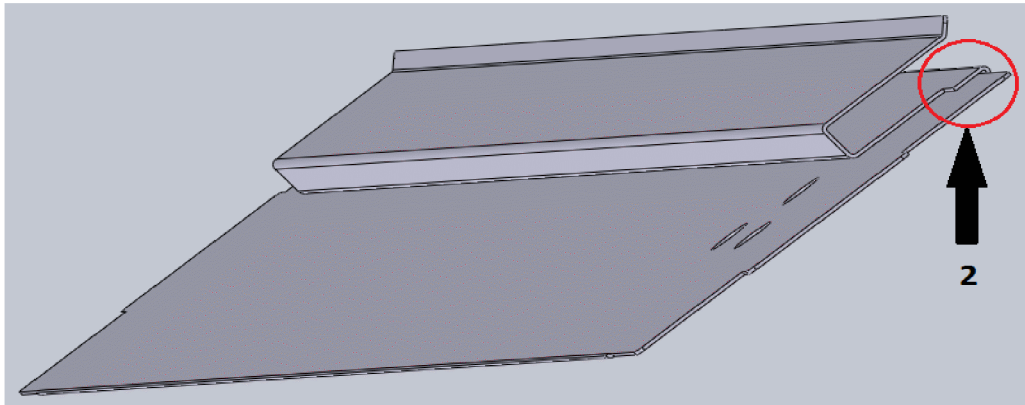


Figure IV .5: pli écrasé

Une succession d'autres opérations nous permettrons d'obtenir la forme de la tôle pliée qui est représentée par la figure ci- dessous

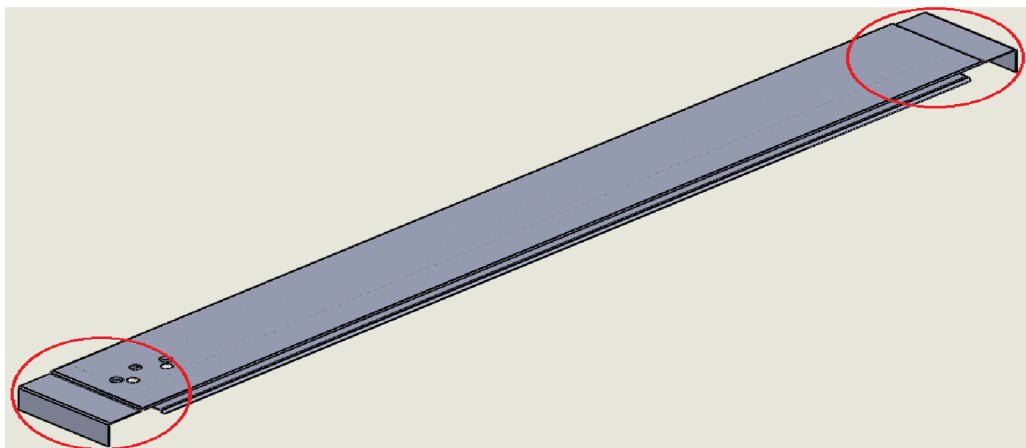


Figure IV .6 : cloison terminée

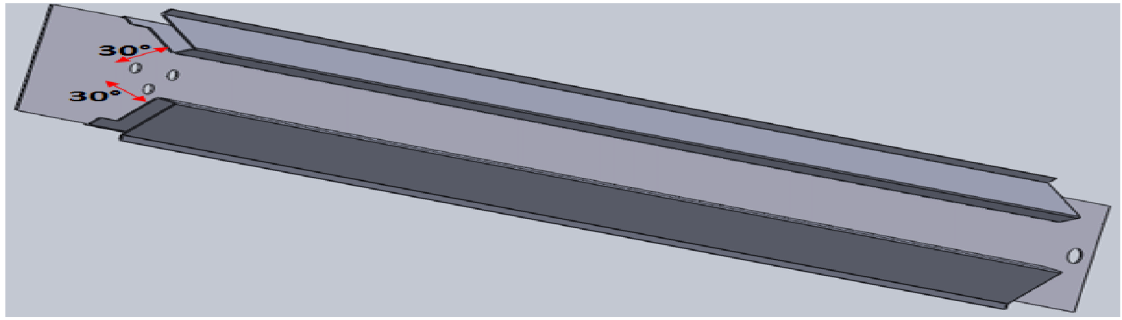


Figure IV .7: tôle pliée

Pour l'obtention de la pièce finie, une dernière opération est à effectuer afin de réaliser les deux plis sur le coté pour lui donner la forme finale comme l'indique la figure ci-dessous.

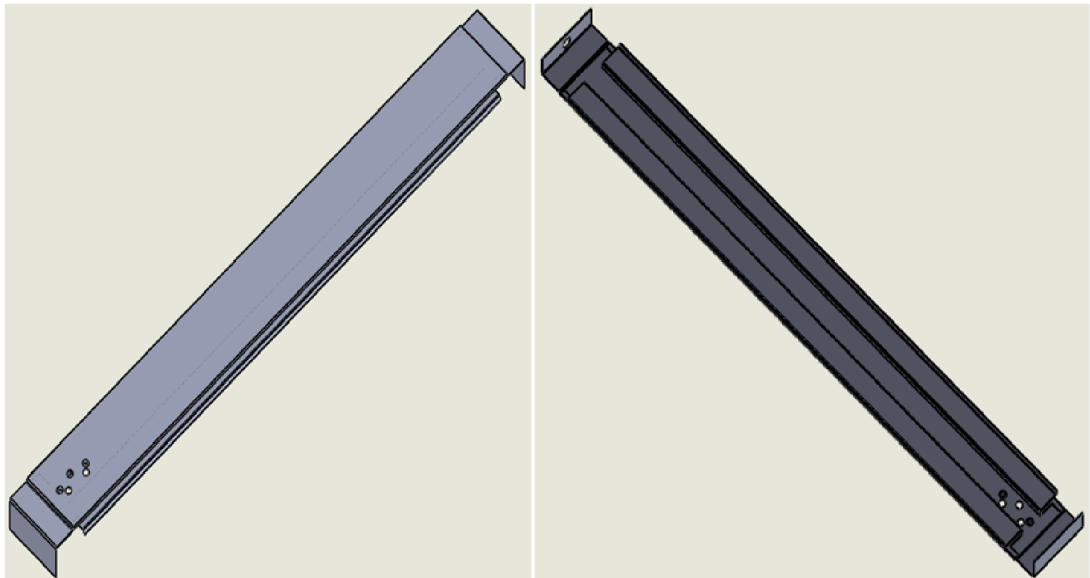


Figure IV .8 : cloison obtenu

IV .4. Conception de l'outil

L'outil proposer dans cette étude est constitué de plusieurs éléments, les parties essentielles sont comme suit :

IV. 2.1 Semelle inferieure (planche 4)

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

IV .2.2. La matrice (planche 7 et 8)

Elle doit résister aux différents efforts tel que le découpage, poinçonnage, pliage, et doit être suffisamment épaisse pour supporter l'effort du sert flan et éviter les déformations.

IV .2.3. Les colonnes de guidage

Elles coulissent dans les embases supérieures avec glissement et sont emmanchées sur les embases inférieures.

IV .2.4. Les butées (planche 9)

Elles servent à positionner le flan ; limitant ainsi son déplacement et assure un bon guidage du flan.

IV .2.5. Les poinçons (planche 2 et 3)

Ce sont les éléments qui travaillent le plus au sein de l'outil donc leur calcul est éminent. Les poinçons de faible dimensions sont soumis souvent au flambement, et afin d'éviter ce flambement on utilise des chemises dans lesquelles on les inserts. Ces derniers sont fixés directement aux portes poinçons.

IV .2.6. Le porte poinçon :

Il sert à fixer et guider les différents poinçons dans leur travail et aussi supporter le serre flan.

IV .2.7. Les lames supérieures et les lames inférieures

Les lames inférieures sont emmanchées sur la matrice par contre les lames supérieures sont fixées sur le porte poinçon, à la fermeture de l'outil, les lames supérieures et les lames inférieures assurent le détourage de la pièce pour obtenir la pièce à l'état fini.

IV .2.8. Semelle supérieure (planche 13)

Elle sert à porter le porte poinçon ainsi que les embases et sert aussi de lien avec le nez de la presse.

IV.5. Détermination des efforts :

IV.5.1. Détermination des efforts des éléments standards :

IV.5.1.1. Les ressorts à gaz

IV.5.1.1.1. Propriétés et fonctionnement

Les ressorts à gaz servent à l'équilibrage et à l'assistance lors de l'ouverture dans toutes les applications pour lesquelles on souhaite une fonction de réglage confortable.

Comparés aux ressorts mécaniques, les ressorts à gaz se distinguent par :

- une constante de raideur plate (faible montée en force), même en cas de forces élevées et de courses importantes.
- Un faible encombrement et une simplicité de montage.
- une courbe caractéristique qui peut, au choix, être linéaire, dégressive ou progressive, pour une forme extérieure identique.

Les ressorts à gaz doivent leur énergie à la compressibilité du gaz qu'ils renferment. Cette particularité, ajoutée à leur géométrie, permet à ce type de ressorts d'assurer d'autres fonctions que celle d'assistance, telles que :

- l'amortissement du déplacement, ce qui permet la suppression d'autres éléments amortisseurs.
- Le blocage en n'importe quelle position ainsi qu'en fin de course ; les mécanismes d'arrêt peuvent donc être supprimés.
- un comportement élastique ou rigide en position de blocage.
- le contrôle de la vitesse de sortie de la tige

D'autres fonctions peuvent être obtenues par la combinaison des caractéristiques ci-dessus. On utilise souvent des appareils possédant un amortissement des déplacements combiné à un blocage en fin de course.



Figure IV .9 : Ressort à gaz

Pour notre travail, le ressort à gaz doit respecter deux conditions (le chargement et la course), pour cela, nous avons opté pour le ressort à gaz du catalogue **Rabourdin**. Les différentes caractéristiques de ces ressorts sont rées du tableau ci-dessous avec les caractéristiques suivantes :

Catégorie : C, Diamètre : **63mm**, effort en fin de course : **2400 daN**, course : **25 mm**





Données	STANDARD				Course en mm												
	∅																
	mm	bar	daN	daN	5	10	15	25	38	50	63	80	100	125	160	200	
Ressorts à gaz C 	19	128	100	160													
	25	129	200	320													
	32	137	350	560													
	38	131	500	800													
	50	141	1000	1600													
	63	147	1500	2400				X									
	75	157	2500	4000													
	95	151	4000	6400													
	120	147	6500	10400													

Figure IV .10 : catalogue Rabourdin ressort à gaz

IV .3.1.1.2. Calcul de l'effort total des ressorts à gaz

Notre mécanisme dispose de quatre ressorts à gaz :

Chaque ressort peut développer un effort F d'une intensité de 2400daN

Calcul de l'effort total

$$F_{\text{ressorts à gaz}} = F \times 4 = 2400 \times 4 = 9600 \text{ daN}$$

$$F_{\text{ressorts à gaz}} = 9600 \text{ daN}$$

IV.5.1.2. Ressort Mécanique de l'éjecteur de tôle

Les ressorts d'outils de presse s'avèrent un choix judicieux dans les assemblages nécessitant une force importante pour des dimensions d'installation limitées. La course maximale ne doit pas être utilisée ou dépassée, sous peine de diminuer considérablement la durée de vie du ressort d'outils de presse. Pour cela Notre choix s'est fixé sur le ressort de charge moyenne du catalogue **Rabourdin** avec les caractéristiques suivantes (figure IV.12).

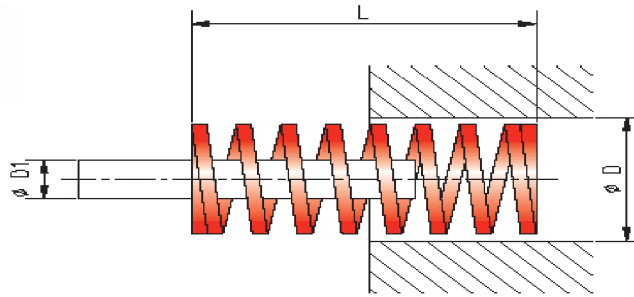


Figure IV .11 : ressort mécanique

RABOURDIN INDUSTRIE Parc Gustave Eiffel 4-5, av Gutenberg - BP 50 - BUSSY SAINT GEORGES
77607 MARNE LA VALLEE cedex 3 - FRANCE -

RESSORT CHARGE MOYENNE COULEUR BLEU ISO 10243 REF. 356

RESSORT CHARGE MOYENNE COULEUR BLEU
RECTANGULAR WIRE DIE SPRING BLUE COLOUR MEDIUM LOAD
SYSTEM-DRUCKFEDER, BLAU

GAMME DISPONIBLE										REF. 356
D	D1	L	K	A 25 %		B 37,5 %		C Approximatif		
mm	mm	mm	N/mm	N	mm	N	mm	N	mm	
10	5	25	16	100	6,3	150	9,4	192	12	
		32	13	104	8	156	12	182	14	
		38	11,9	113	9,5	170	14,3	226	19	
		44	10,3	113	11	170	16,5	237	23	
		51	8,9	113	12,8	170	19,1	240	27	
		64	7,5	120	16	180	24	233	31	
		76	5,3	101	19	151	28,5	196	37	
		305	1,6	122	76,3	183	114,4	219	137	
12,5	6,3	25	30	188	6,3	281	9,4	300	10	
		32	24,8	198	8	296	12	322	13	
		38	21,4	203	9,5	305	14,3	342	16	
		44	18,5	204	11	305	16,5	370	20	
		51	15,5	198	12,8	296	19,1	388	25	
		64	12,1	194	16	290	24	339	28	
		76	10,2	194	19	291	28,5	347	34	
		89	8,4	187	22,3	280	33,4	344	41	
		102	7,1	181	25,5	272	38,3	327	46	
		305	2,1	160	76,3	240	114,4	269	128	

Figure IV .12 : catalogue Rabourdin ressort charge moyenne

IV.5.1.2. 1. Calcul de l'effort total des ressorts

$$F_{\text{ressorts à gaz}} = F \times 4 = 370 \times 4 = 1480 \text{ N}$$

$$F_{\text{ressorts}} = 148 \text{ daN}$$

IV.5.2. Détermination de l'effort du pliage

L'effort vertical de pliage en l'air se calcule comme suit

$$F = k \frac{l.e^2.Rm}{a}$$

Avec :

$k = 1,40$ pour $a = 6e$; $e = 0.6$ épaisseur à plier (mm),

$k = 1,33$ pour $a = 8e$; $L = 542$ longueur du pli (mm),

$k = 1,24$ pour $a = 12e$; $a = 3.6$ ouverture du vé (mm),

$k = 1,20$ pour $a = 16e$; $Rm = 27$ résistance à la rupture du métal à plier (daN/mm²).

Dans notre travail nous avons les plis P1, P2, P3 et P4 seront réalisés au même temps avec une seule opération.

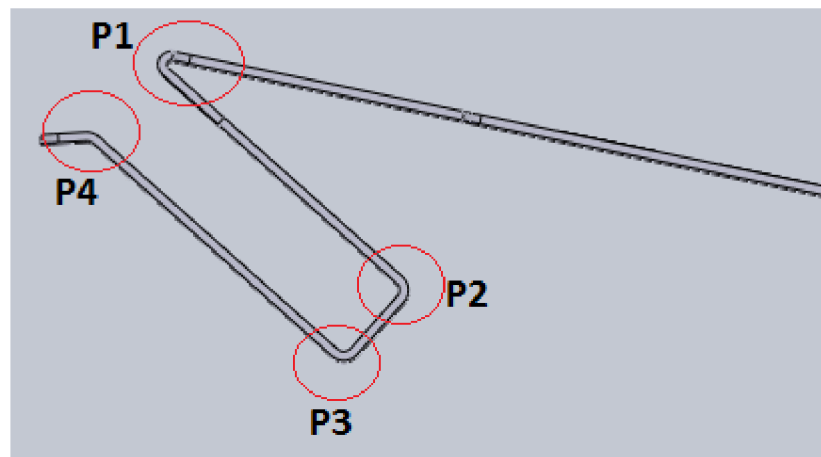


Figure IV .13 : différents plis de la cloison.

- Calcul de l'effort du pliage F_1

$$F_1 = 1.40 * \frac{542 * 0.6^2 * 27}{3.6}$$

$$F_1 = 2042.76 \text{ daN}$$

- Calcul de F_2 ; F_3 ; F_4 :

On a :

$$F_2 = F_3 = F_4 = 1.40 * \frac{521 * 0.6^2 * 27}{3.6}$$

$$F_2 = F_3 = F_4 = 1969.28 \text{ daN}$$

- Calcul de l'effort de pliage total F_p :

$$F_p = F_2 + F_3 + F_4 + F_1 = 3F_2 + F_1 = (3 * 1969.28) + 2042.76$$

$$F_p = 7956.9 \text{ daN}$$

- Calcul de l'effort de pliage total F_p

$$F_p = F_2 + F_3 + F_4 + F_1 = 3F_2 + F_1 = (3 * 1969.28) + 2042.76$$

$$F_p = 7956.9 \text{ daN}$$

IV.5.3. Calcul de l'effort total fournit par la presse F_T

$$F_T = F_p + F_{\text{ressorts}} + F_{\text{ressorts à gaz}}$$

$$= 7956.9 + 148 + 9600$$

$$= 17704.9 \text{ daN} = 17.8 \text{ tonnes}$$

$$F_T = 18 \text{ tonnes forces}$$

IV.5.3. 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.

L'entreprise ENIEM dispose de différents types de presses. Le choix de presse dépend de l'effort calculé. D'après les résultats obtenus dans le cadre de notre travail, qui est le pliage et les dimensions de la table, nous avons opté pour une presse mécanique DCP-100-18 Arcad dont ses caractéristiques sont données par le tableau ci- dessous,

Tableau. : Caractéristiques de la presse à utiliser.

Capacité de la presse	100 tonnes
Course du coulisseau	250 mm
Distance entre la table et le coulisseau, (en PMB)	350 mm
Dimensions de la table (longueur et largeur en mm)	1800x1200

IV.5.4 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.

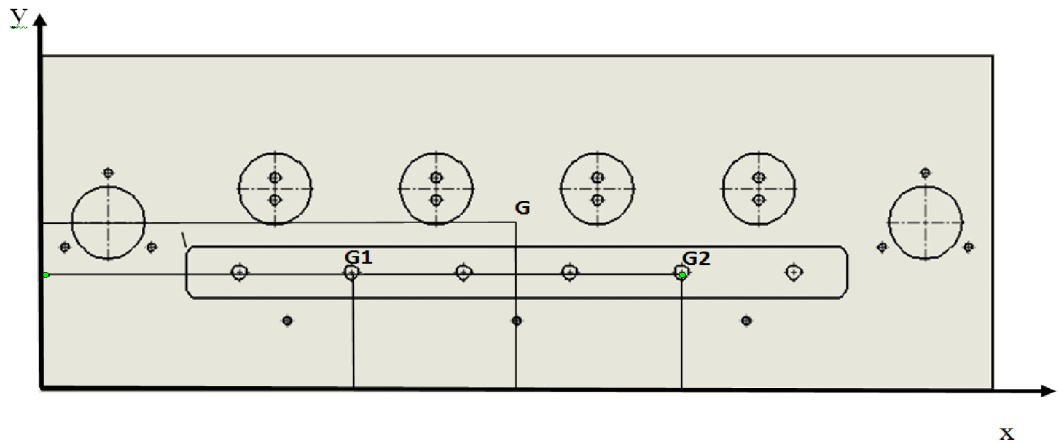


Figure IV .14 : Position adéquate de l’outil sur la presse (centre d’inertie).

Soient $G_1 (X_1, Y_2)$, $G_2 (X_2, Y_2)$ (les coordonnées des centres d’inertie des poinçons : G_1 et de, G_2)

G_1 : Centre d’inertie du poinçon 1 de pliage.

G_2 : Centre d’inertie du poinçon 2 de pliage

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

$$X_G = \frac{\sum_{i=1}^2 F_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^2 F_i}$$

$$Y_G = \frac{\sum_{i=1}^2 F_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^2 F_i}$$

Tableau. IV.12 : Centre d’inertie des efforts des poinçons

G_i	$X_i(\text{mm})$	$Y_i(\text{mm})$	$F_i (\text{daN})$
G_1	277.5	105.25	3978.45
G_2	572.5	105.25	3978.45

$$\sum_{i=0}^n F_i = 7956.9 \text{ daN}$$

Abscisses du centre d’inertie de l’outil:

$$F_1 \cdot X_1 = 3978.45 \cdot 277.5 = 1104\,019.875 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$F_2 \cdot X_2 = 3978.45 \cdot 572.5 = 1879817.625 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$X_1 = \frac{2983837.5}{7956.9} = \mathbf{375 \text{ mm}}$$

$$X_G = \mathbf{375 \text{ mm}}$$

Calcul des ordonnées :

$$F_1 \cdot Y_1 = 3978.45 \cdot 105.25 = 418731.8625 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$F_2 \cdot Y_2 = 3978.45 \cdot 105.25 = 418731.8625 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

$$Y_1 = \frac{837463.725}{7956.9} = \mathbf{105.25 \text{ mm}}$$

$$Y_G = \mathbf{105.25 \text{ mm}}$$

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

$X_G = 375 \text{ mm}$ et $Y_G = 105.25 \text{ mm}$ par rapport au repère (o, x, y).

IV.5.5 Calcul au flambement des poinçons

Le flambement est un phénomène qui se produit pour une certaine valeur de la charge appelée, charge critique **Pcr**.

Si :

- **F < Pcr**: Avec une stabilité, la poutre reste rectiligne et ne subit qu'un faible raccourcissement ΔL , dû à la compression.
- **F > Pcr**: 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.

Pcr : Charge critique de flambement en (daN) et se calcule comme suit :

$$P_{CR} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

Avec :

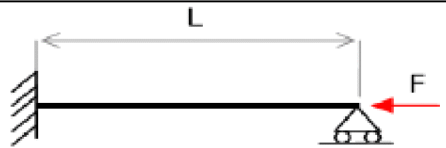
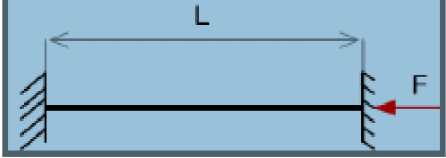


F : effort du poinçonnage, (en daN),

E: Module d'élasticité longitudinale, $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$,

I : Moment d'inertie, (en mm^4),

l: Longueur libre du flambement, (en mm).

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

Longueur libre du flambement		
Type de liaisons	Figure	Valeur de <i>l</i>
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. La longueur libre du flambement est donc égale à : $2L \cdot l = 2L$

Poinçon de pliage

Le poinçon est de forme rectangulaire $b = 295\text{mm}$, $h = 5 \text{ mm}$.

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Application Numérique :

$$I = \frac{295 \cdot 5^3}{12} = 3072.91 \text{ mm}^4$$

$$I = 3072.91 \text{ mm}^4$$

$$P_{CR} = \frac{\pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 3072.91}{(2 \cdot 18.97)^2} = 442460.2 \text{ daN}$$

$$P_{CR} = 442460.2 \text{ daN}$$

On a : $F_2 = 3978.45 \text{ daN}$ (Effort du poinçon du pliage).

$$\text{Donc : } F_2 < P_{CR}$$

D'après les résultats précédents, les efforts dus au pliage sont inférieurs aux charges critiques du flambement, donc les poinçons sont sollicités uniquement en compression.

IV.5.6 Calcul de la résistance des poinçons à la compression

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.

Condition de résistance :

$$\sigma_{\text{com}} < R_e$$

Avec :

- $R_e = 750 \text{ MPa}$ (La limite élastique de l'acier Z200C12), les poinçons sont fabriqués à partir de ce matériau.
- σ_{com} : la contrainte de compression

$$\sigma_{\text{com}} = \frac{F}{S}$$

F : effort de poinçonnage, (en N),

S : section du poinçon, (en mm^2).

Application Numérique :

$$S = b \cdot h = 295 \cdot 5 = 1475 \text{ mm}^2$$

$$S = 1475 \text{ mm}^2$$

$$F = \frac{F_p}{2} = \frac{79569}{2} = 39784.5 \text{ N}$$

$$F = 39784.5 \text{ N}$$

$$\sigma_{\text{com}} = \frac{39784.5}{1475} = 26.97 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{com}} = 26.97 \text{ MPa}$$

D'après le résultat précédent, la contrainte de compression est inférieure à la limite élastique du matériau, *donc la condition de résistance à la compression* ($\sigma_{\text{com}} < R_e$) *est vérifiée.*

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réussi à faire une étude et à concevoir un outil de pliage qui sert à la réalisation d'une pièce « cloison » d'un réfrigérateur ENIEM.

Les différents calculs que nous avons effectués successivement, nous ont permis d'avoir la capacité de la presse à utiliser, la position adéquate de l'outil sur la table de la presse.

Un calcul de vérification au flambement et à la compression de tous les poinçons n'est pas épargné.

Les résultats des efforts appliqués sur les poinçons ainsi trouvés sont loin des valeurs critiques.

Détails de l'outil de pliage :

- Planche 1 :** Outil de pliage.
- Planche 2 :** Poinçon 1.
- Planche 3 :** Poinçon 2.
- Planche 4 :** Semelle inférieure.
- Planche 5 :** Porte matrice
- Planche 6 :** Colonne de fin de course.
- Planche 7 :** Matrice 2.
- Planche 8 :** Matrice 1.
- Planche 9 :** Butée.
- Planche 10 :** porte support.
- Planche 11 :** Support.
- Planche 12 :** Contre pli.
- Planche 13 :** Semelle supérieure.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Cette étude nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de la mise en forme des tôles, de comprendre la raison pour laquelle les tôles occupent une place importante dans les différents secteurs industriels et de mettre en application nos connaissances acquises durant notre formation universitaire.

La conception réalisée en utilisant le logiciel de conception Solid Works, nous a permis d'avoir les caractéristiques dimensionnelles et géométriques des différents composants de l'outil servant au pliage des tôles utilisées dans les réfrigérateurs qui est d'un grand intérêt pour l'entreprise ENIEM.

La conception de l'outil est faite d'une manière à faciliter sa réalisation et d'assurer sa maintenance afin de garantir une grande longévité avec un prix de revient plus bas.

Malgré nos efforts pour mener à bien cette étude, ce travail constitue une contribution de plus dans le domaine, par conséquent, il reste ouvert aux critiques et à la proposition allant dans le sens de son amélioration.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : 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.

[2] : SNDL : Techniques de l'ingénieur.

[3] : 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.

[4] : Éric GILDEMYN, Caractérisation des procédés de fabrication de pièces de sécurité automobile ; Optimisation multi-objectifs de la mise en forme, Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers ParisTech, 19 Novembre 2008.

[5] : HALLOUMI Anouar, Modélisation mécanique et thermique du procédé de laminage asymétrique, Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines, Saint-Etienne, 17 Janvier 2011.

[6] : 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.

[7] : Cours sur le pliage des tôles ; Cours technologie, Rocardier, 12 janvier 2010 ;

[8] : 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.

[9] : 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.

[10] : Découpe & mise en forme des métaux en feuilles, IUT de Ville d'Avray.

[11] : DIEMUNSCH Nicolas, Dossier de conception détaillée, BTS conception industrialisation en microtechniques, Académie de Versailles, Année 2008.

[12] : Guide de Dessinateur Industriel « Chevalier », édition 2004.

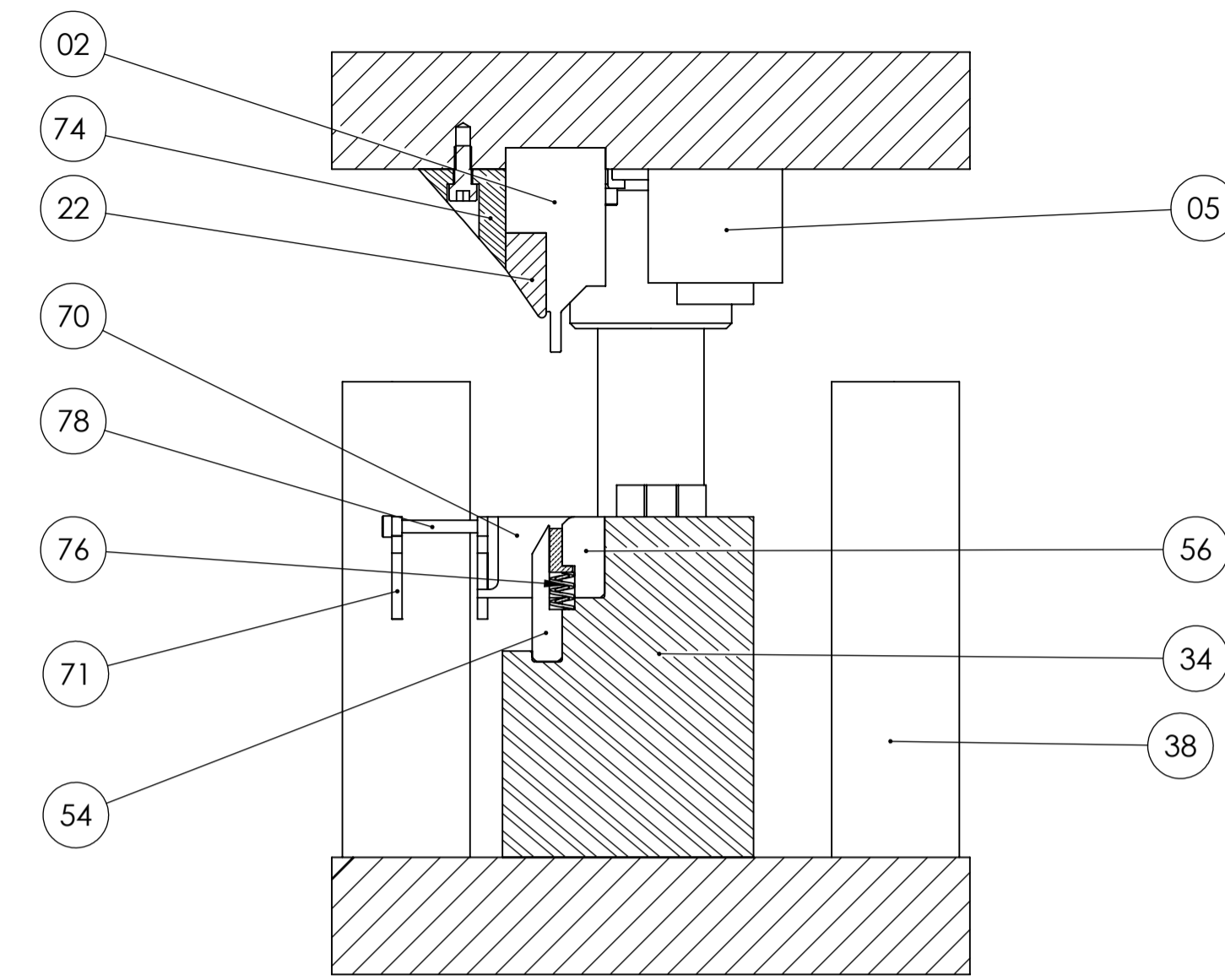
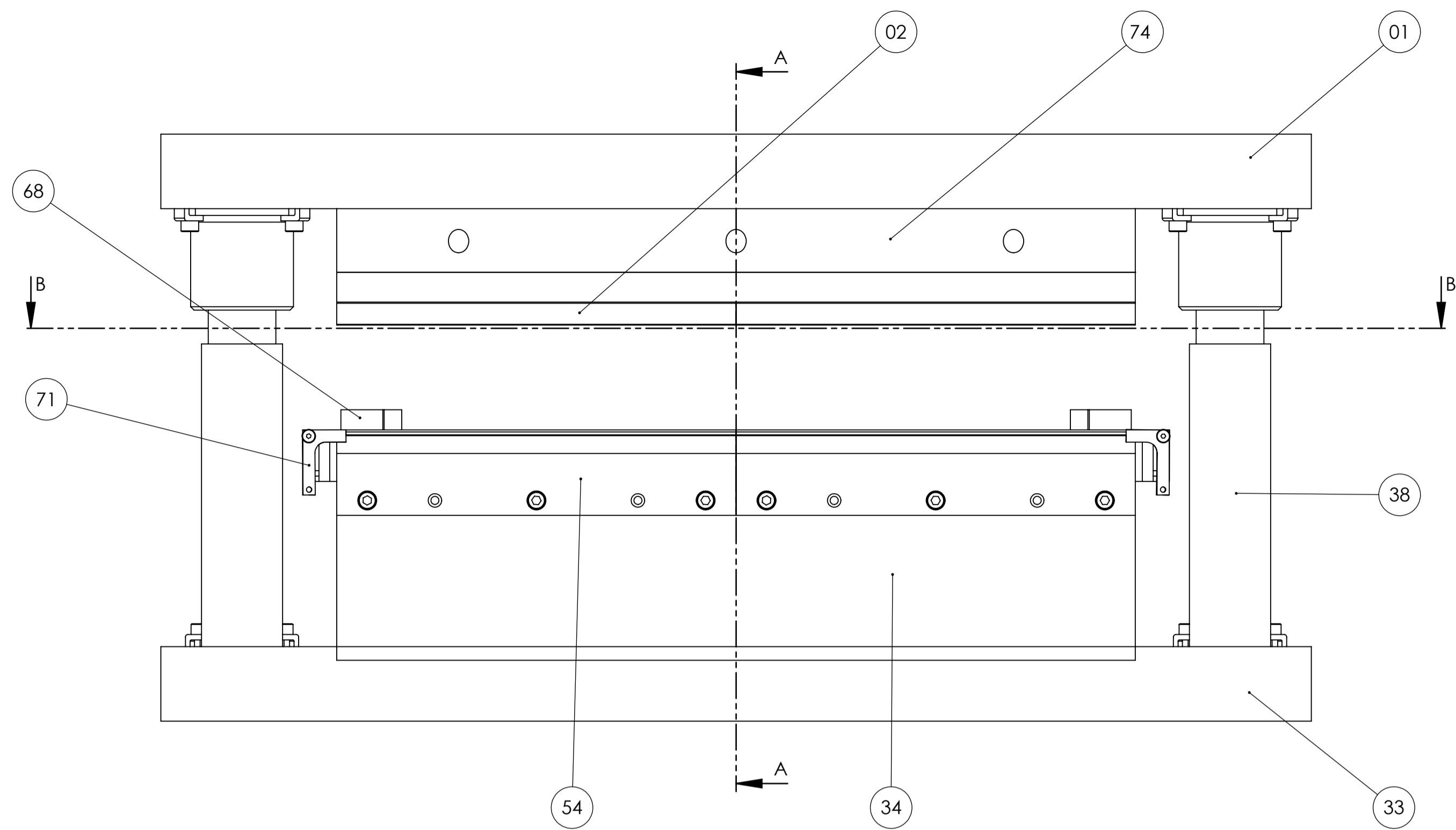
[13] : Composants de construction mécanique, Rabourdin industrie,

[14] : ISO Die Springs,

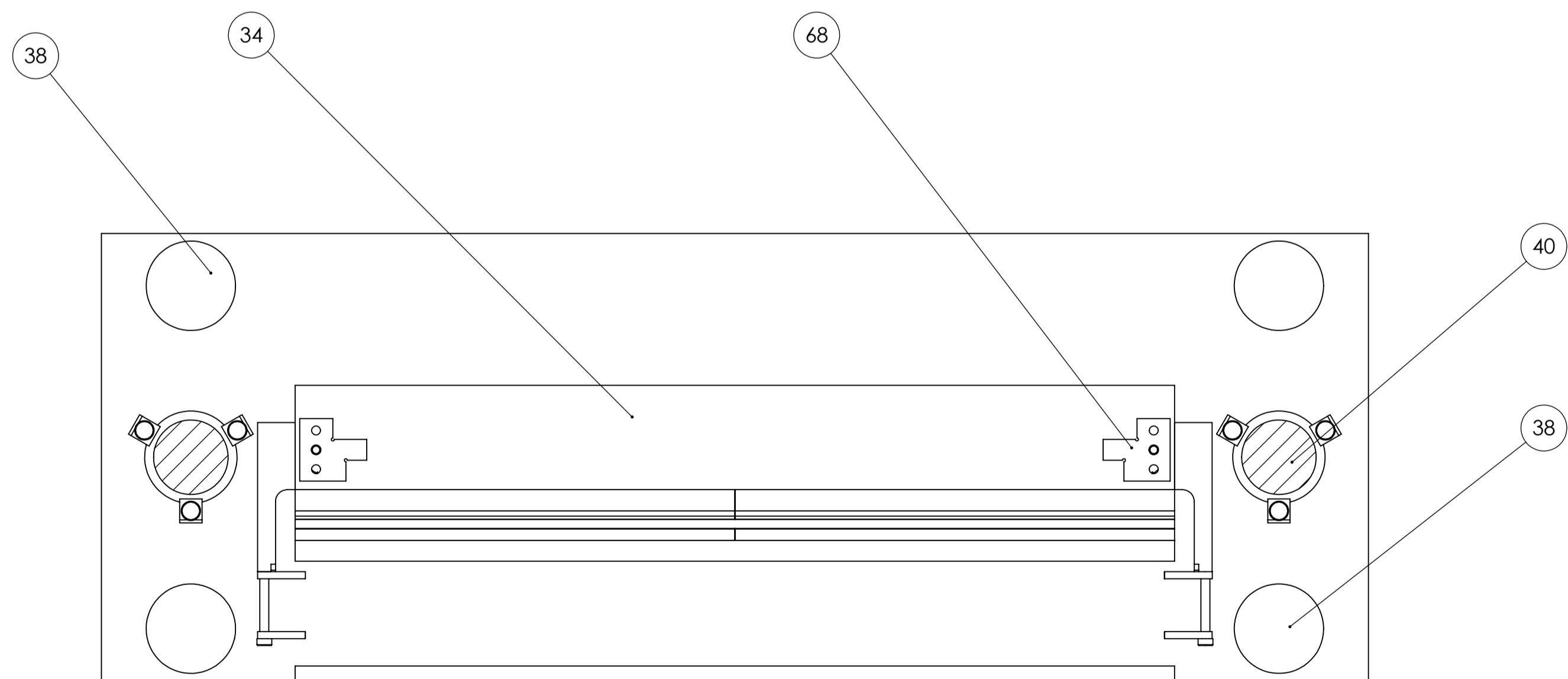
[15] : Documents E.N.I.E.M.

[16] : Déformation plastique de tôle a l'usage du technicien en génie mécanique.

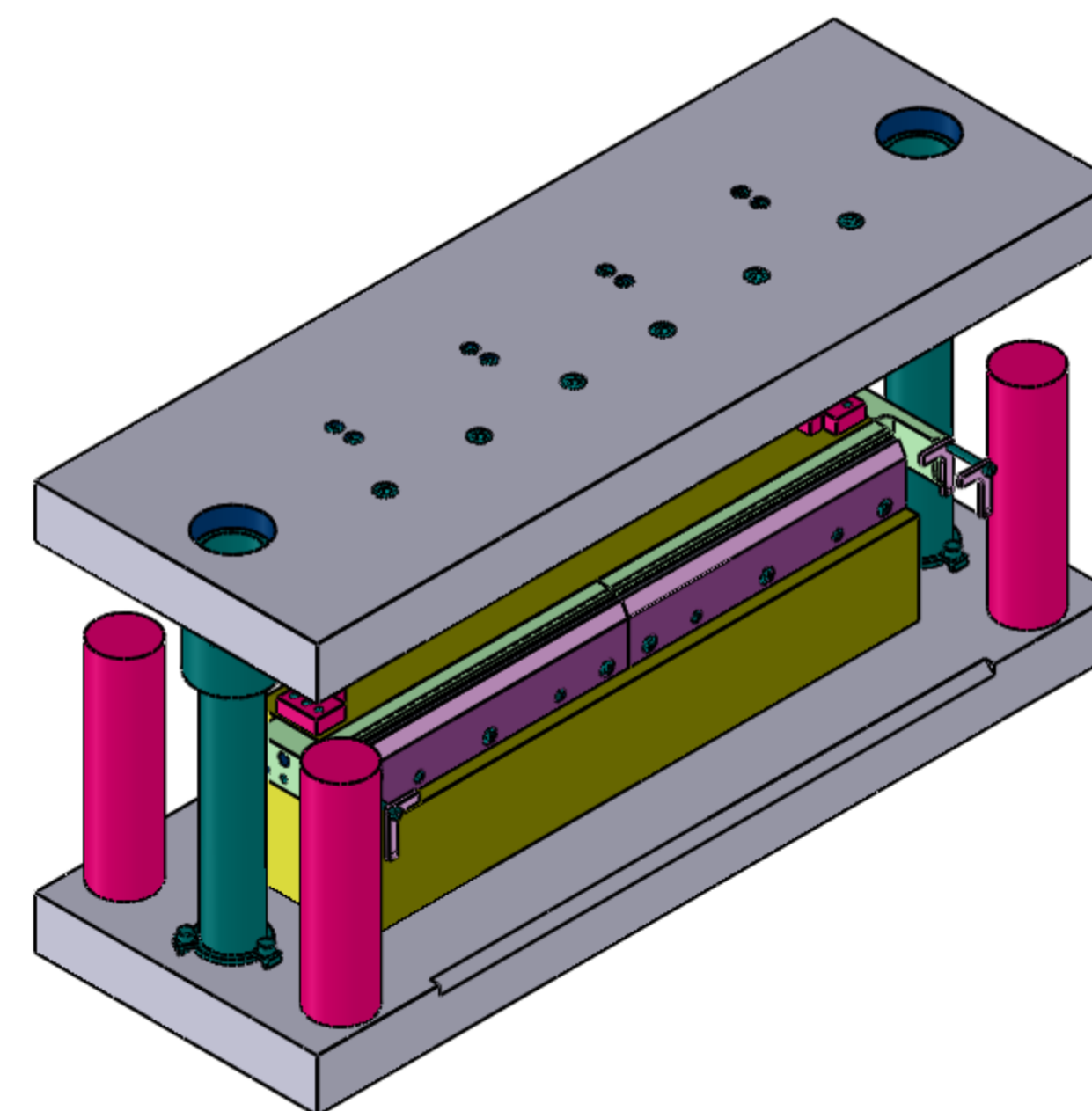
[17] : catalogue SKF(ressort a gaz) .



COUPE A-A



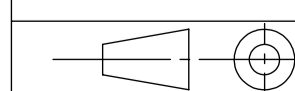
COUPE B-B



77	01	Ejecteur	Z200C12	
76	04	Ressort mecanique	-	Element standard
74	01	Contre pli	E24	Traité
71	04	Support	E24	Traité
69	02	Porte support	E24	Traité
68	02	BUtée	Z200C12	
56	02	Matrice 1	Z200C12	
54	02	Matrice 2	Z200C12	
40	02	Colonne de guidage	XC65	Element standard
38	04	Colonne de fin de course	XC65	
34	01	Porte matrice	XC65	
33	01	Semelle inferieur	E24	Traité
22	01	Poinçon 2	Z200C12	
05	04	Ressort a gaz	-	Element standard
03	02	Poinçon 1	Z200C12	
01	01	Semelle superieure	E24	Traité
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation

Echelle :
1:3

Conception et étude d'un outil de pliage pour la réalisation
d'une pièce de réfrigérateur ENIEM



FGC - GM - UMMTO

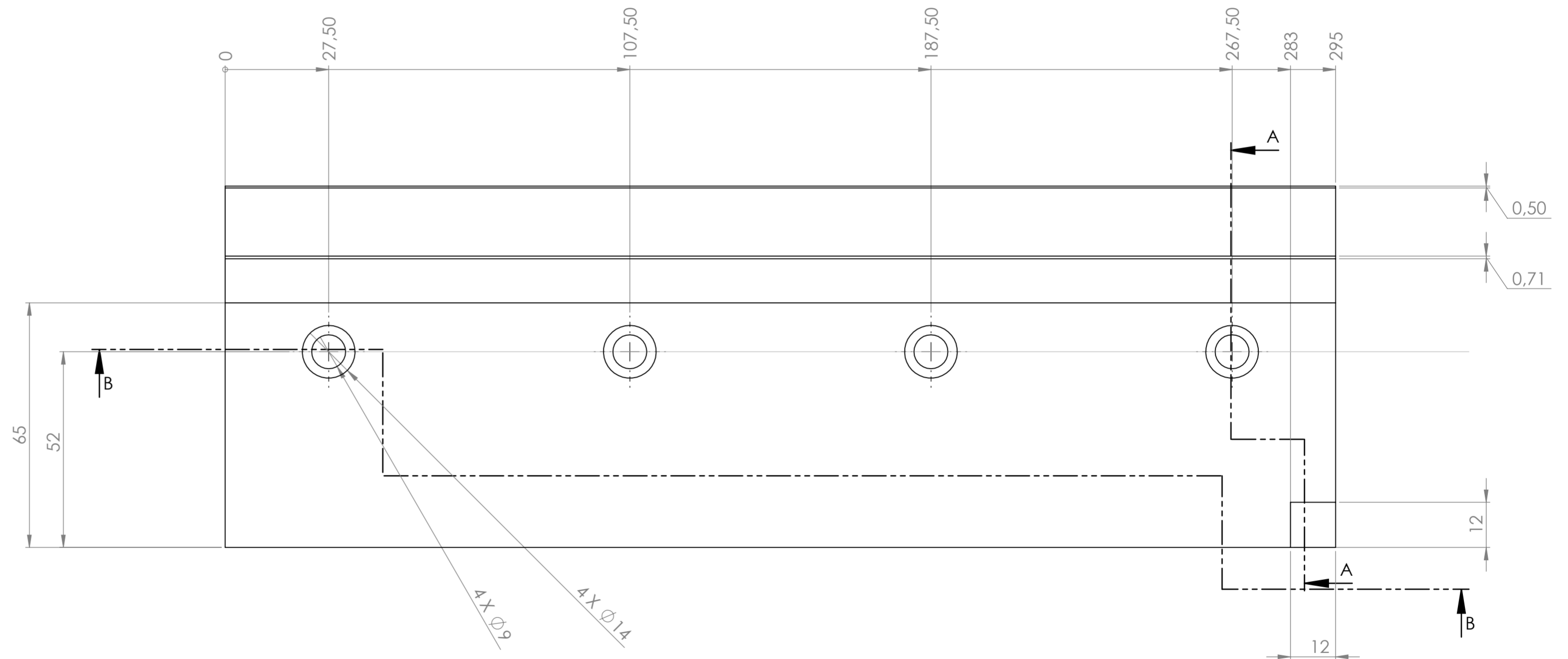
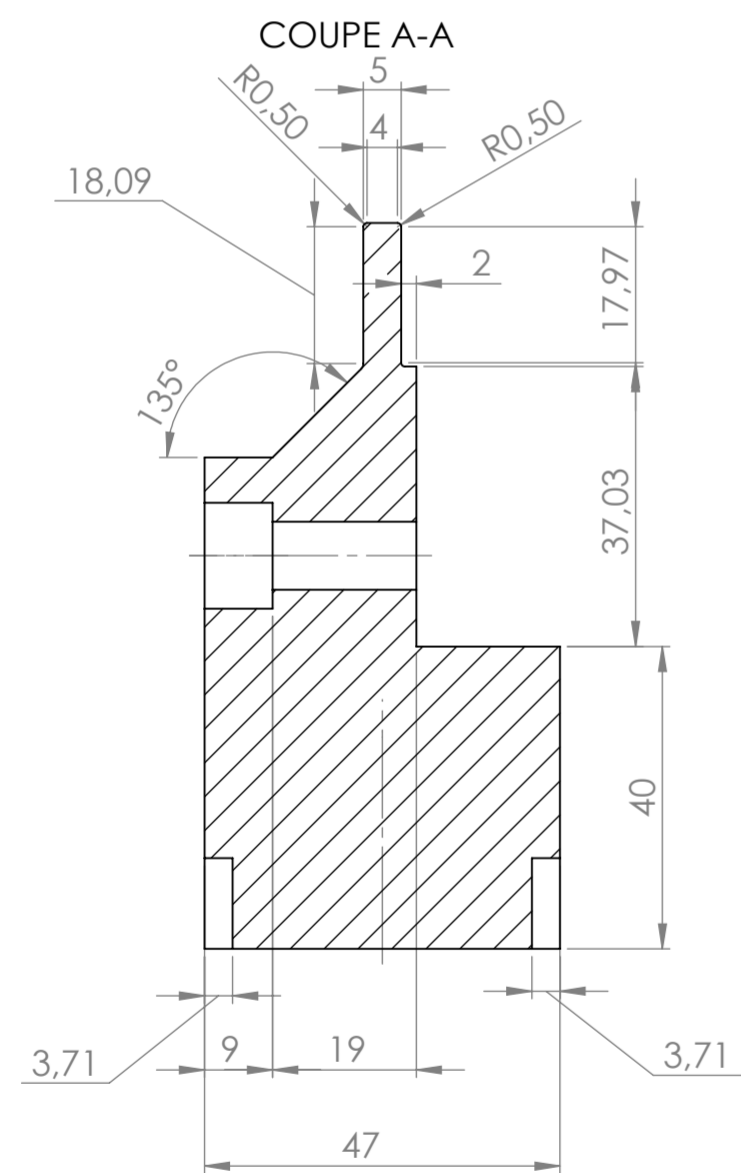
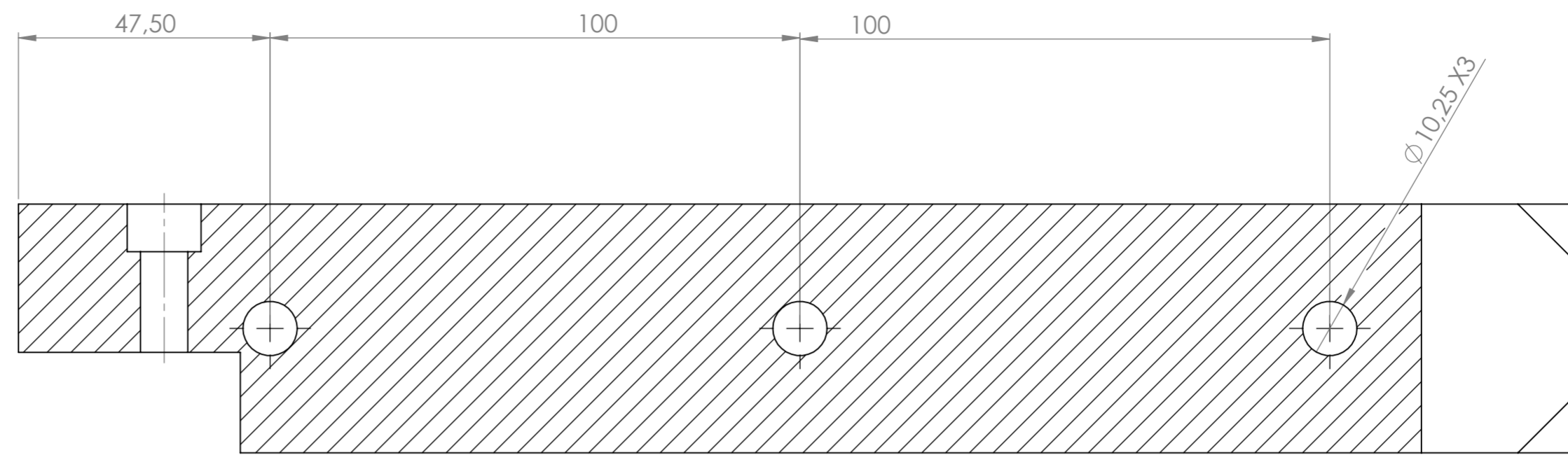
Planche N°:01

A2

AIT AMRANE Lyes -DJERDI Ahmed

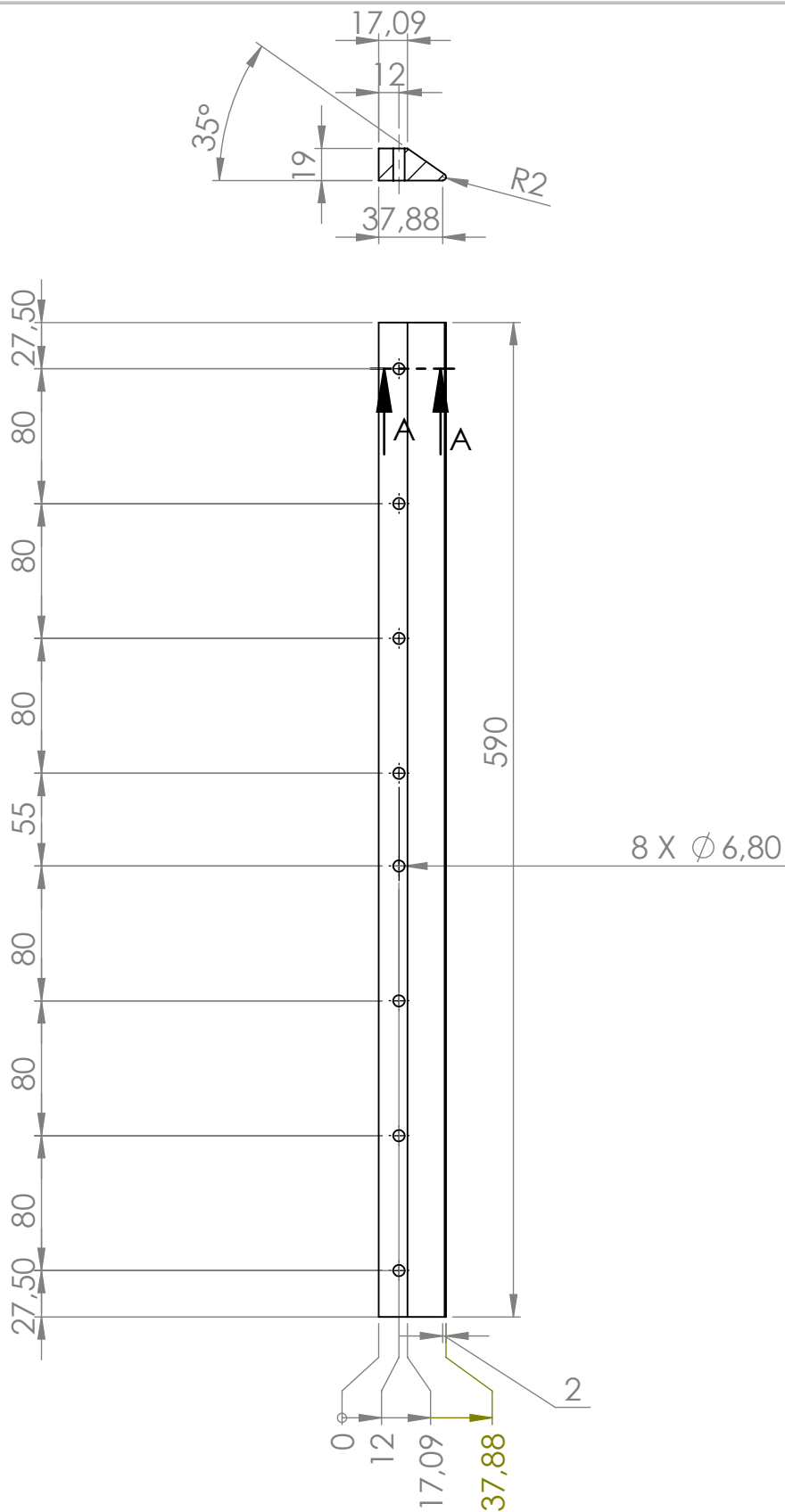
Master 2

COUPE B-B

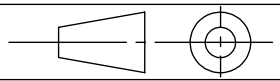


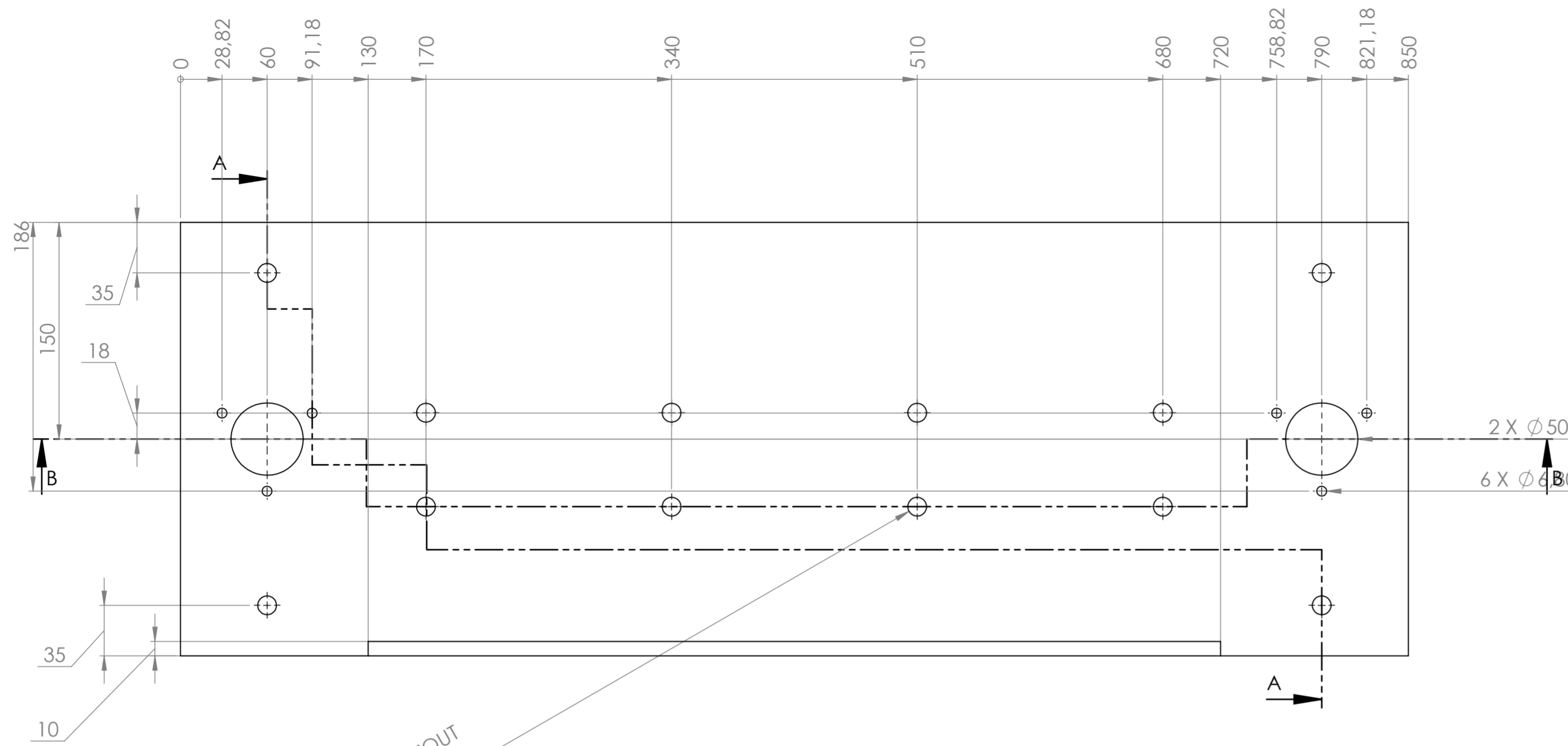
Tolérance 0.1
Ra = 0.4
Sauf indication

03	2	Poinçon 1	Z200C12	Traité
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1:3		Conception et étude d'un outil de pliage pour la réalisation d'une pièce de réfrigérateur ENIEM		
A2		FGC - GM - UMMTO	Planche N°:02	
		AIT AMRANE Lyes -DJERDI Ahmed	Master 2	

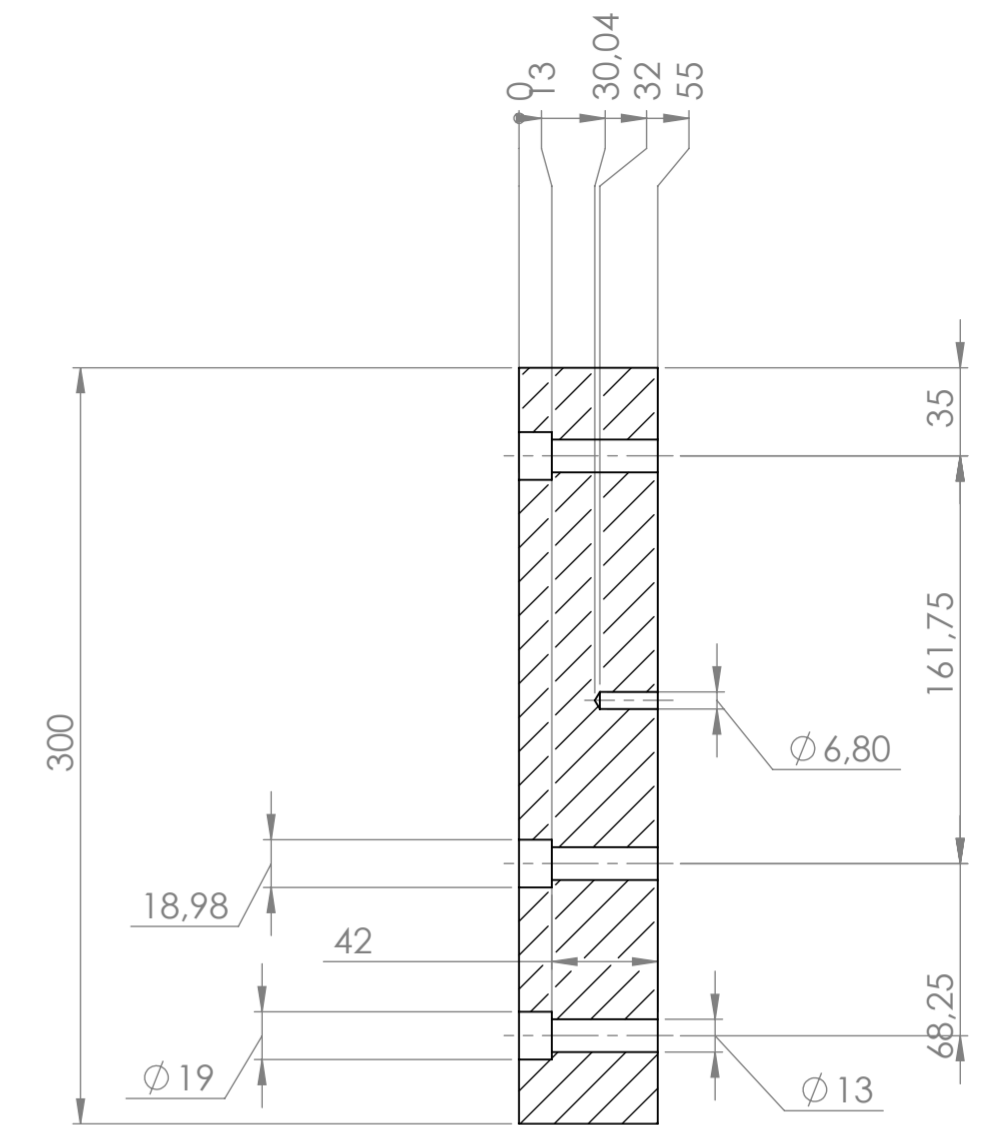


Tolérance 0.1
Ra = 3.2
Sauf indication

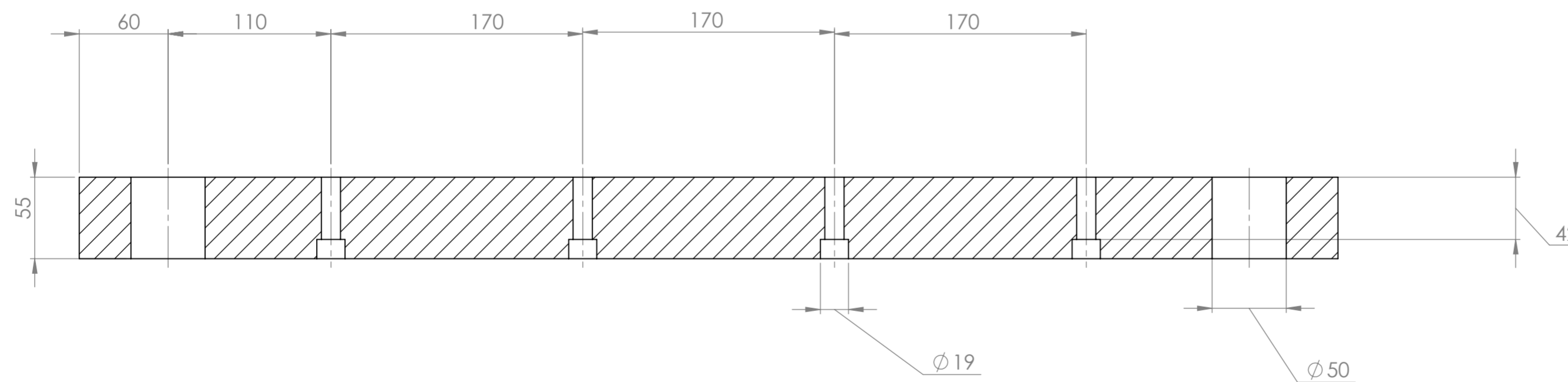
22	1	Poinçon 2	Z200C12	Traité
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1:3		Conception et étude d'un outil de pliage pour la réalisation d'une pièces de réfrigérateur ENIEM		
		FGC - GM - UMMTO	Planche N°: 3	
A4		AIT AMRANE Lyes -DJERDI Ahmed	Master 2	



8 x $\phi 13$ A TRAVERS TOUT
 \perp $\phi 19 \nabla 13$



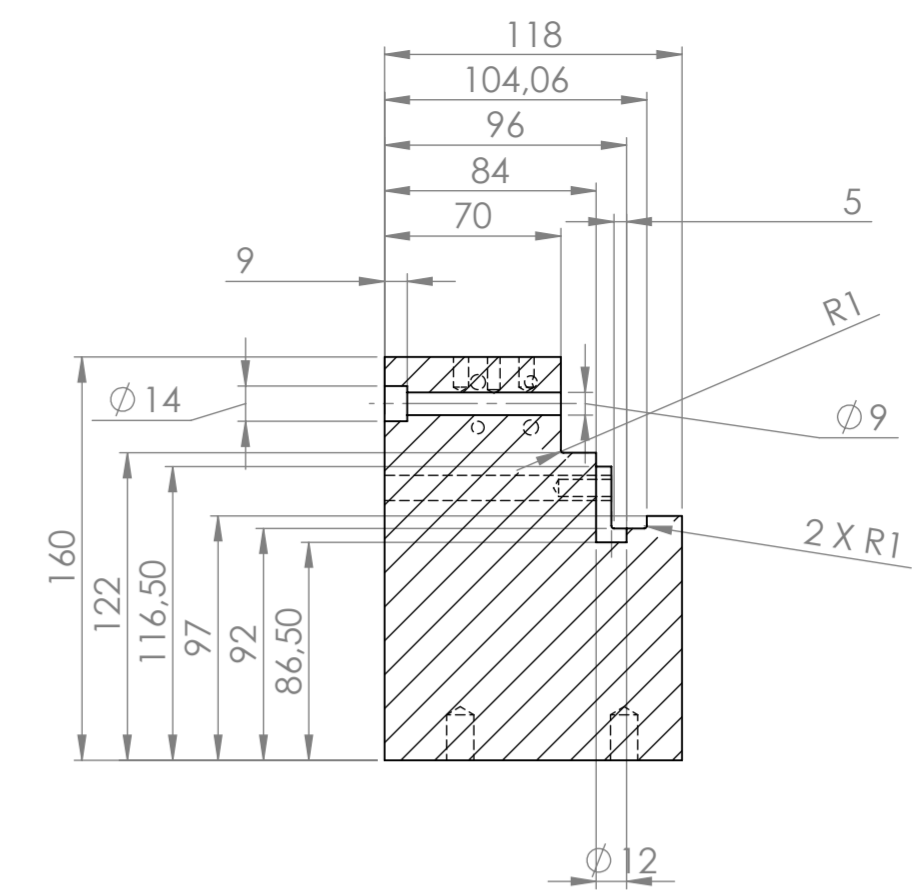
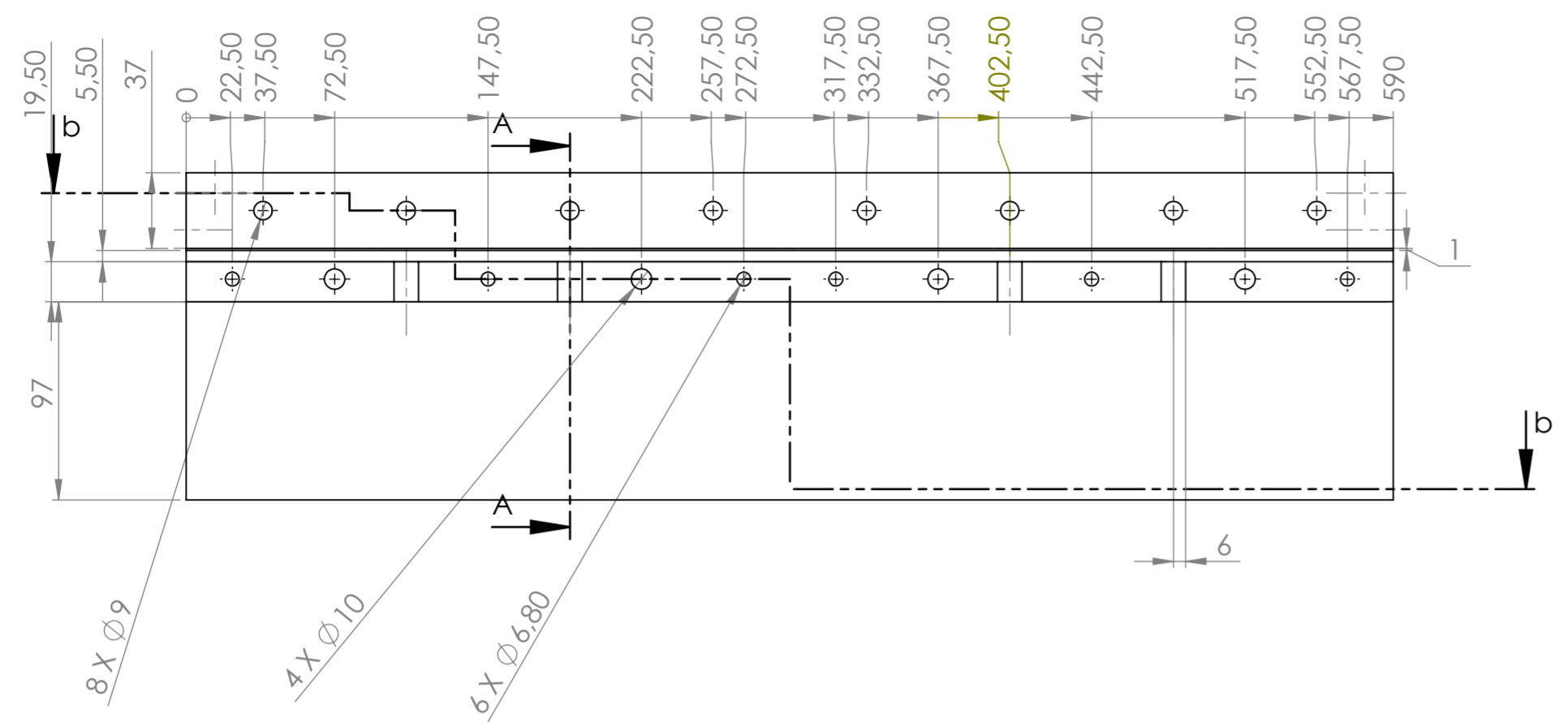
COUPE A-A



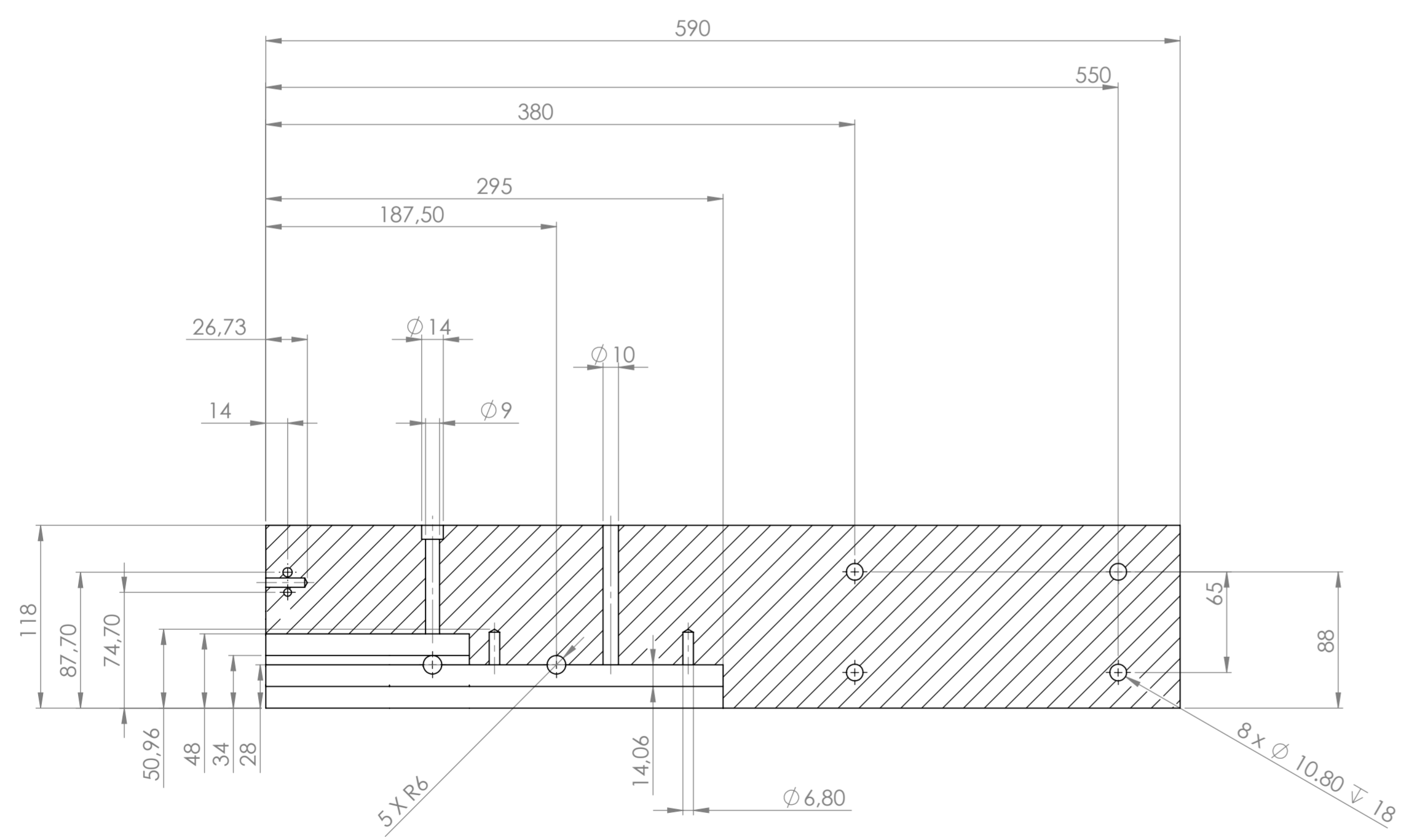
COUPE B-B

Tolérance 0.1
 Ra = 3.2
 Sauf indication

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
33	1	Semelle inferieure	C24	Traité
Echelle : 1:3		Conception et étude d'un outil de pliage pour la réalisation d'une pièces de réfrigérateur ENIEM		
A2		FGC - GM - UMMTO	Planche N°:4	
		AIT AMRANE Lyes -DJERDI Ahmed	Master 2	



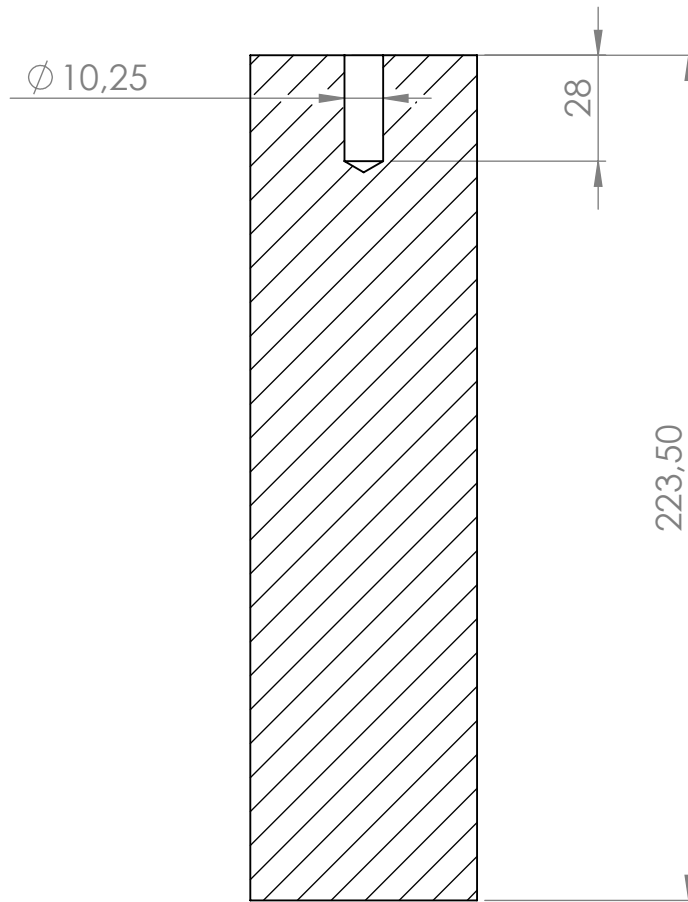
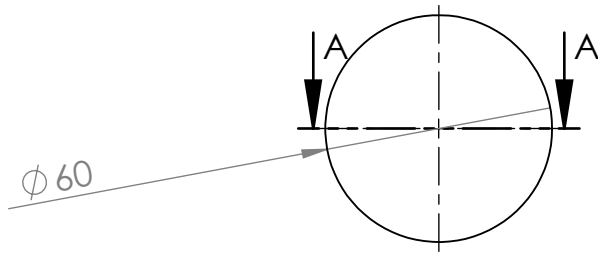
COUPE A-A



COUPE b-b

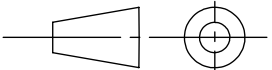
Tolérance 0.1
Ra = 3.2
Sauf indication

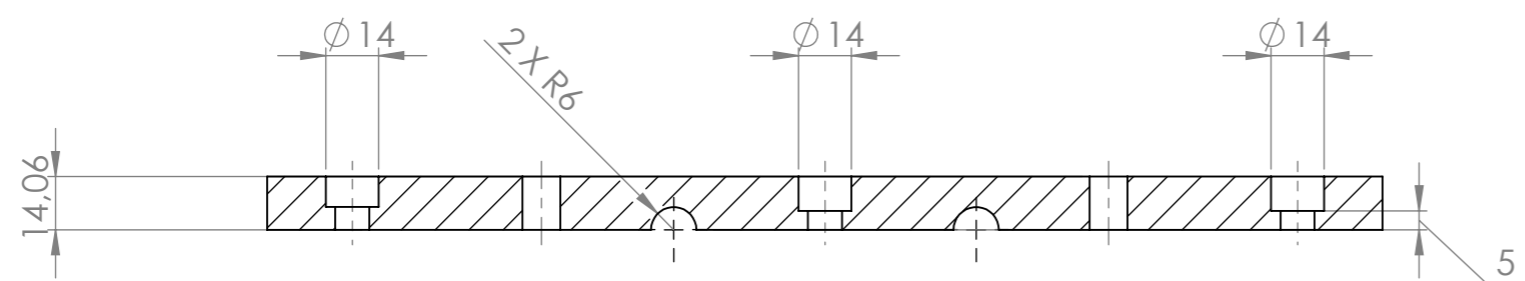
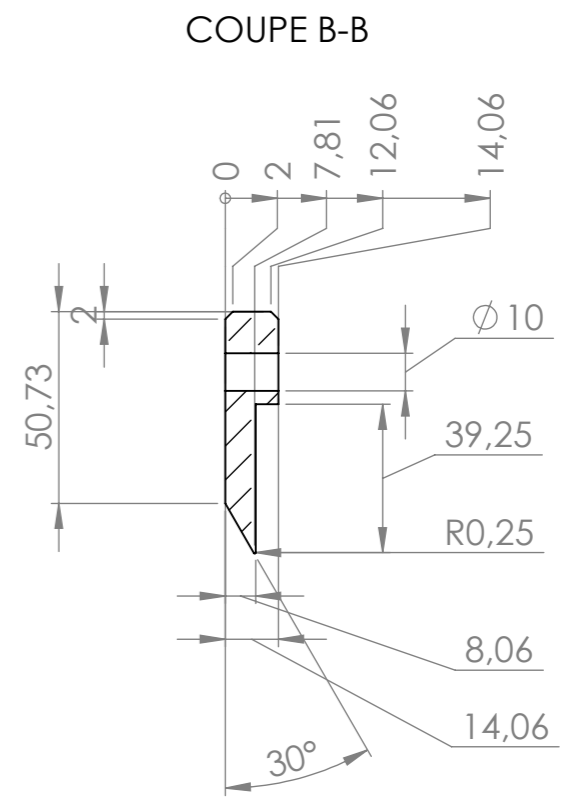
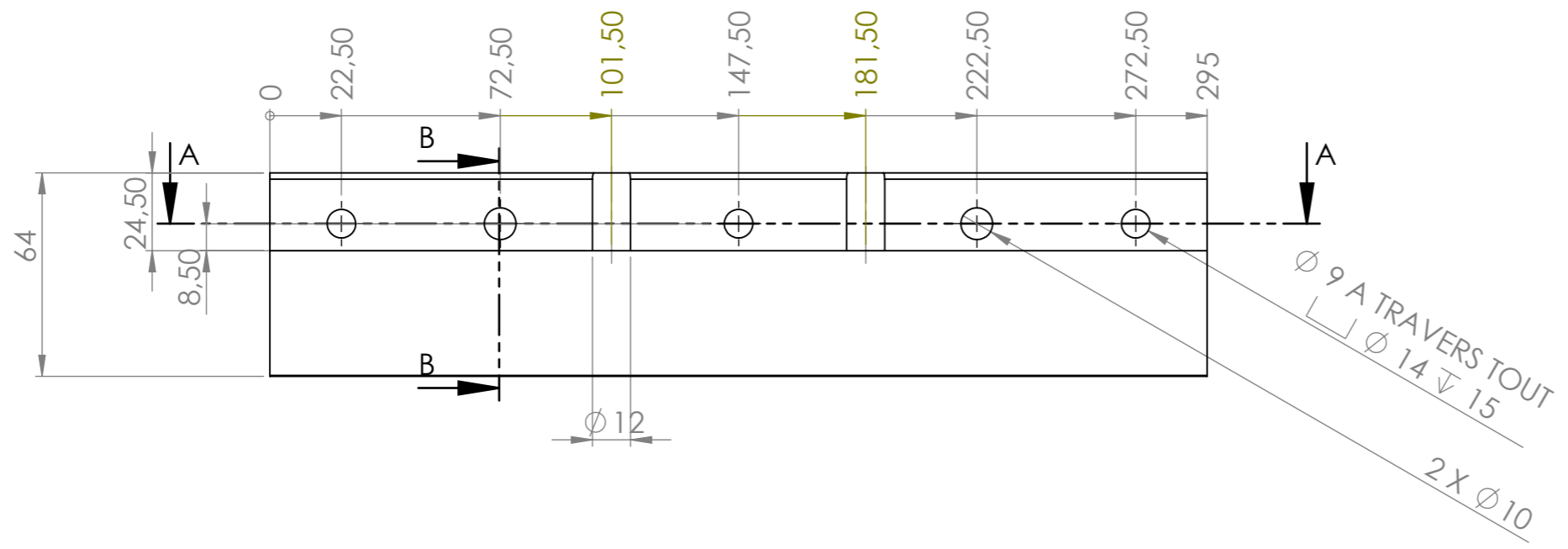
34	1	Porte Matrice	Z200C12
Rep	Nbr	Désignation	Matière
Echelle : 1:3		Conception et étude d'un outil de pliage pour la réalisation d'une pièces de réfrigérateur ENIEM	
A2		FGC - GM - UMMTO	Planche N°:5
		AIT AMRANE Lyes -DJERDI Ahmed	Master 2



COUPE A-A

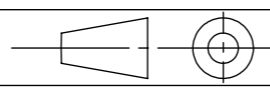
Tolérance 0.1
Ra = 3.2
Sauf indication

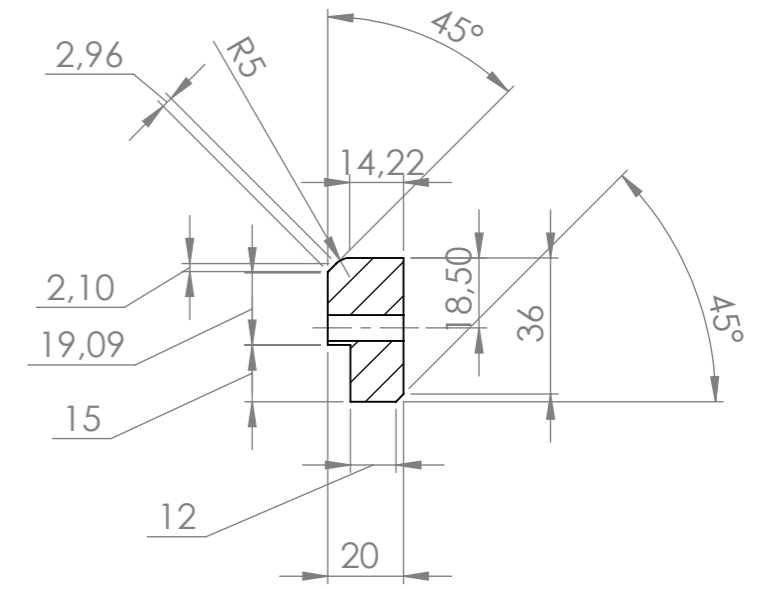
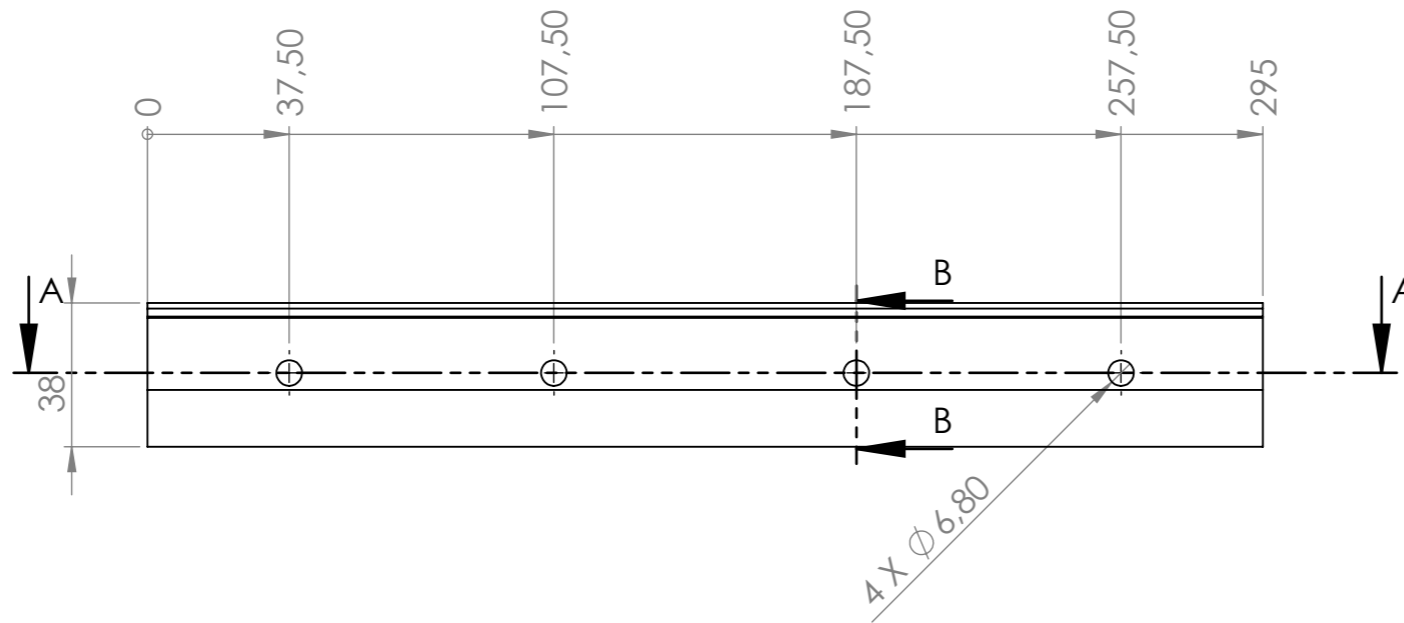
38	4	Colonne de fin de course	E24	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1:3		Conception et étude d'un outil de pliage pour la réalisation d'une pièces de réfrigérateur ENIEM		
		FGC - GM - UMMTO	Planche N°:6	
A4		AIT AMRANE Lyes -DJERDI Ahmed	Master 2	



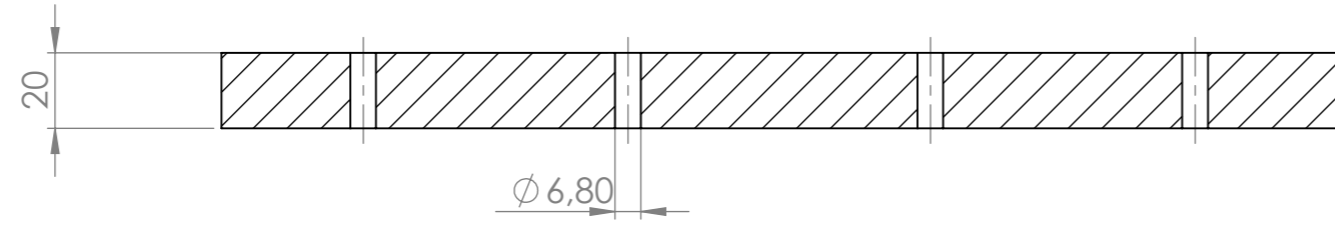
COUPE A-A

Tolérance 0.1
Ra = 0.4
Sauf indication

54	2	Matrice 2	Z200C12	Traité
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1:2		Conception et étude d'un outil de pliage pour la réalisation d'une pièce de réfrigérateur ENIEM		
		FGC - GM - UMMTO	Planche N°:7	
A3		AIT AMRANE Lyes -DJERDI Ahmed	Master 2	

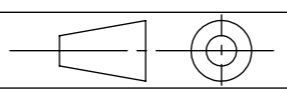


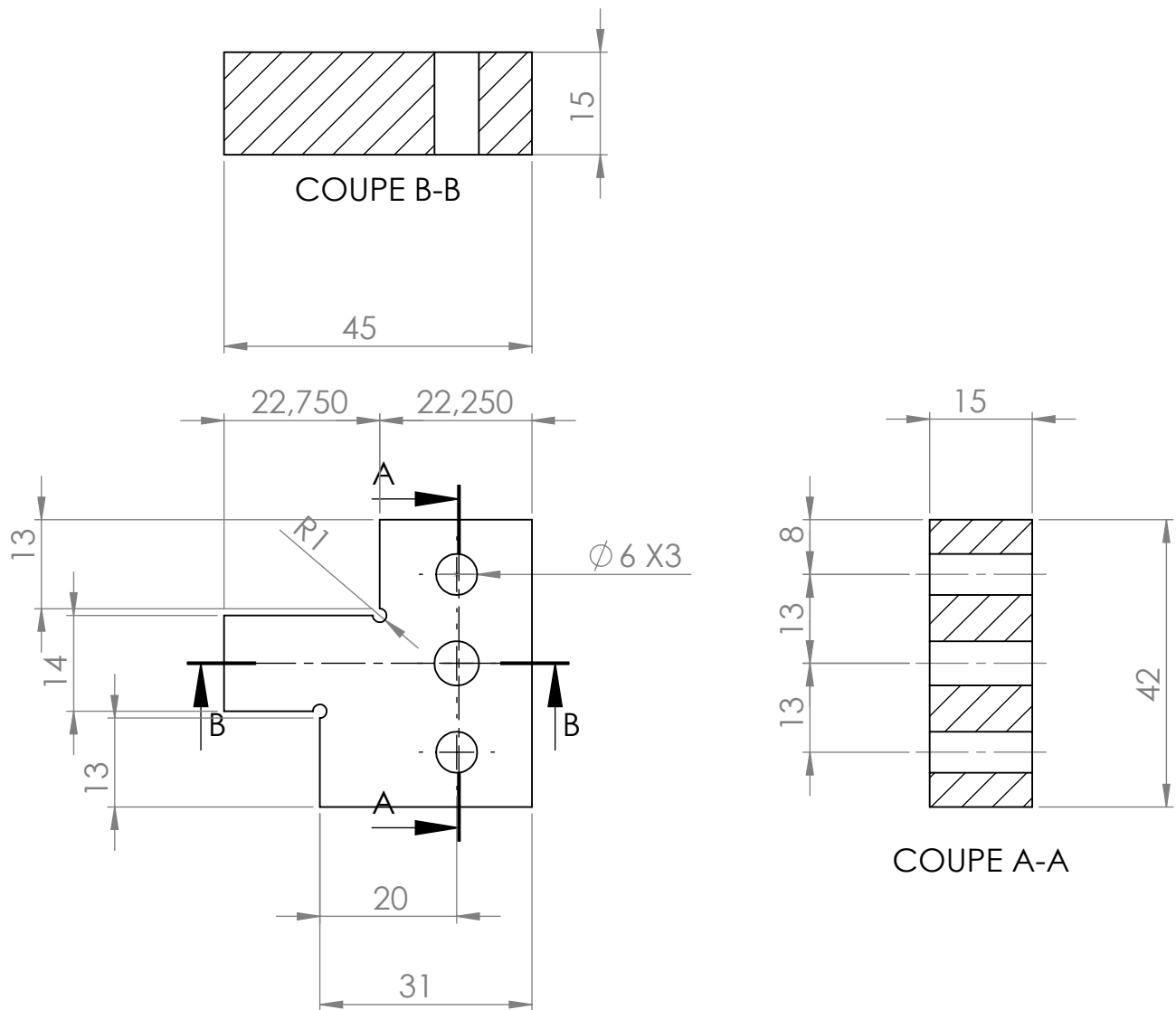
COUPE B-B



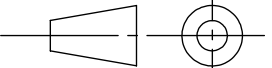
COUPE A-A

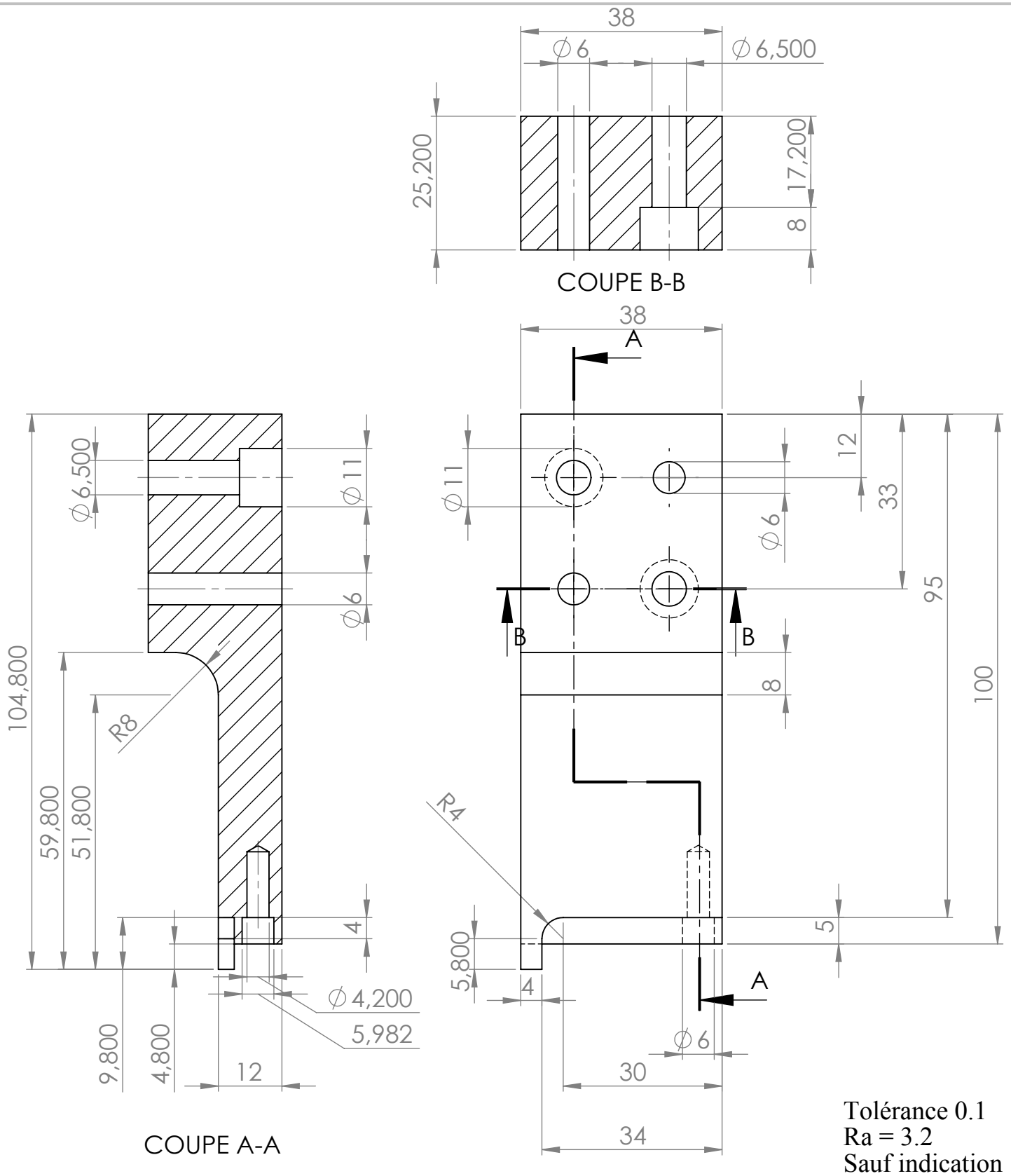
Tolérance 0.1
Ra = 3.2
Sauf indication

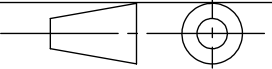
56	2	Matrice 1	Z200C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1:3		Conception et étude d'un outil de pliage pour la réalisation d'une pièce de réfrigérateur ENIEM		
		FGC - GM - UMMTO		Planche N°08
A3		AIT AMRANE Lyes -DJERDI Ahmed		Master 2

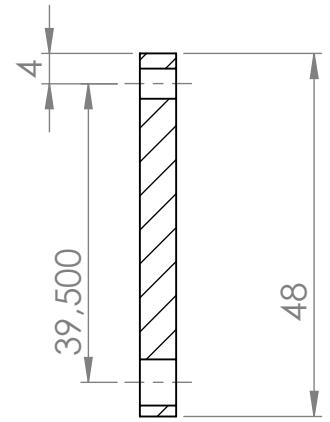
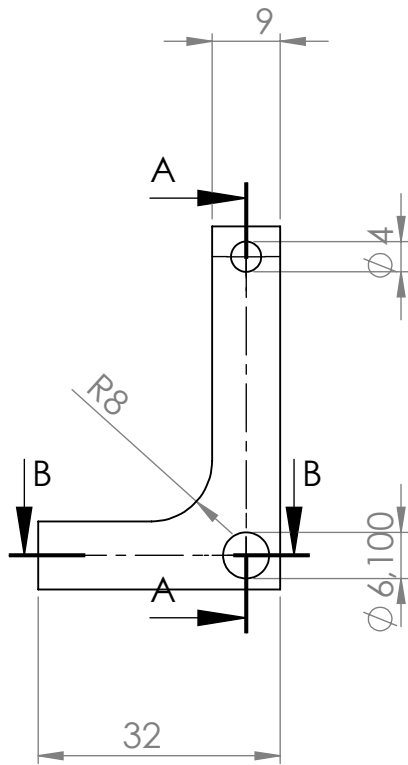


Tolérance 0.1
Ra = 0.4
Sauf indication

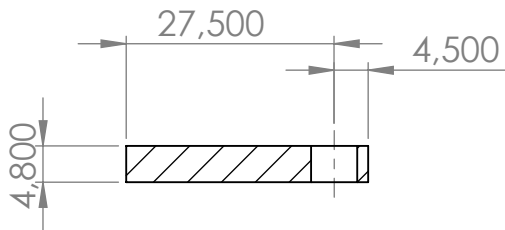
68	2	Butée	Z200C12	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1:3		Conception et étude d'un outil de pliage pour la réalisation d'une pièce de réfrigérateur ENIEM		
		FGC - GM - UMMTO		Planche N°9
A4		AIT AMRANE Lyes -DJERDI Ahmed		Master 2



69	2	Porte support	E24	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1:1		Conception et étude d'un outil de pliage pour la réalisation d'une pièce de réfrigérateur ENIEM		
		FGC - GM - UMMTO	Planche N°10	
A4		AIT AMRANE Lyes -DJERDI Ahmed	Master 2	

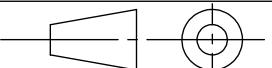


COUPE A-A

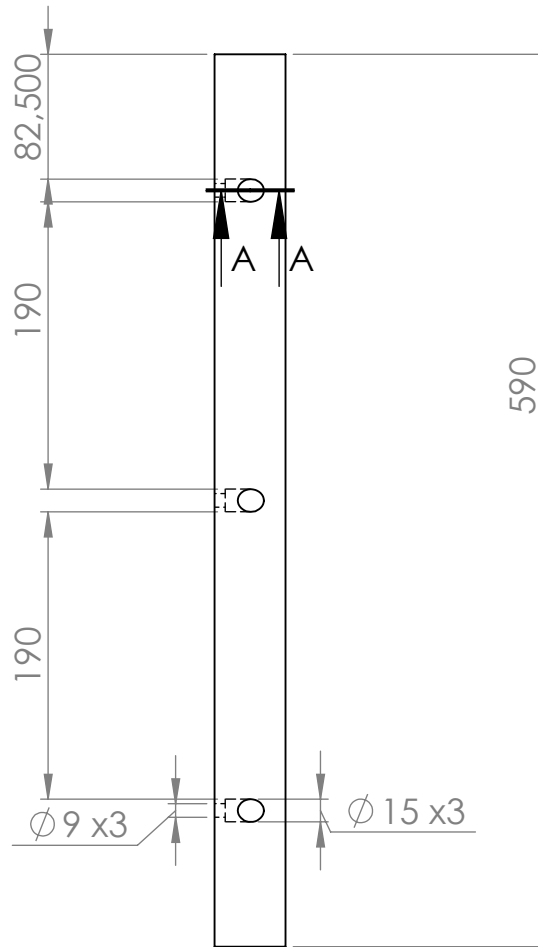
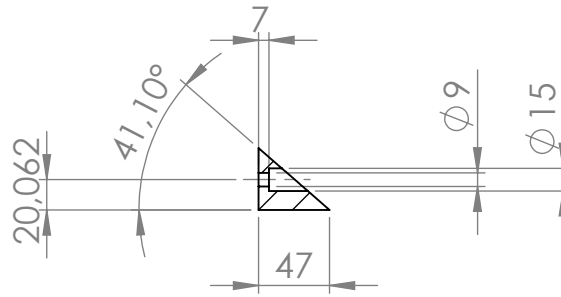


COUPE B-B

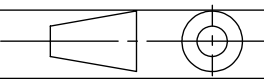
Tolérance 0.1
Ra = 3.2
Sauf indication

71	4	Support	E24	Traité
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1:3		Conception et étude d'un outil de pliage pour la réalisation d'une pièce de réfrigérateur ENIEM		
		FGC - GM - UMMTO	Planche N°11	
A4		AIT AMRANE Lyes -DJERDI Ahmed	Master 2	

COUPE A-A



Tolérance 0.1
Ra = 3.2
Sauf indication

74	1	Contre pli	E24	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1:1		Conception et étude d'un outil de pliage pour la réalisation d'une pièce de réfrigérateur ENIEM		
		FGC - GM - UMMTO	Planche N°12	
A4		AIT AMRANE Lyes -DJERDI Ahmed	Master 2	

