

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mouloud Mammeri - Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département de génie mécanique



Spécialité : Construction Mécanique

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Génie Mécanique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

Thème

**Étude et conception d'un outil de poinçonnage,
détourage et pliage d'un sous bandeau d'une
cuisinière ENIEM**

Réalisé par :

- AZDAOU Youcef
- HADDAD Yacine

Proposé par :

❖ Mr.CHALALE.M

Encadré par :

❖ Mr.AHMED ALI.A

2019 - 2020

REMERCIEMENTS

A l'issue du cycle de notre formation nous tenons à remercier notre Dieu qui nous a donné le courage, la volonté et la force d'accomplir ce modeste travail.

Ce travail que nous avons fait sous le suivi de Mr. CHALALE.M que nous remercions beaucoup pour son aide et son orientation tout au long de notre travail.

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

Mes plus sincères remerciements au membre de jury ; qu'ils soient remerciés de nous avoir fait l'honneur de jury notre travail.

Nous remercions, sincèrement tout l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation, et nous remercions ainsi, l'ensemble d'étudiants du département de Génie mécanique de l'U.M.M.T.O, pour leurs soutiens, et leur bonne ambiance qui nous ont beaucoup aidés.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

- À celle qui m'a donné la vie, source de la tendresse et de grand amour ma très chère mère que Dieu te protège.
- À toi mon cher papa qui m'a toujours encouragé durant mes études.
- À mes chers adorables frères, Said et Yahia
- À mes très chères sœurs, Wahiba et Sadia
- À mes grands-parents maternels, puisse Dieu le tout puissant vous accorde santé, longue vie.
- À l'âme de ma grand-mère paternelle, que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.
- À mon binôme Yacine le quel j'ai achevé ce travail.
- À toute ma famille, mes amis(es) qui m'ont toujours soutenus.

Youcef AZDAOU

Dédicaces

Je dédie ce travail:

- À mon très cher père, et à ma précieuse mère, à qui je dois mon existence, et le succès dans mon cursus. Que dieu les garde, et les protège.
- À mon cher adorable frère.
- À ma très chère sœur.
- Aux gens qui me sont les plus chers au monde, à mes très Chers amis (es), mes proches, et à mes camarades qui m'aiment.

Yacine HADDAD

Table des matières

Introduction générale	1
1 Présentation de l'entreprise	2
1.1 Historique	2
1.2 Objectif social et champ d'activité.....	3
2 Principales missions et activités de l'entreprise.....	4
2.1 Direction générale	4
2.2 Unité froid	4
2.3 Unité cuisson	4
2.4 Unité climatiseur	4
2.5 Unité sanitaire.....	5
2.6 Filiale Filamp	5
3 Organisation de l'entreprise :	6
3.1 Organisation générale.....	6
3.2 Organigramme de l'unité froid :.....	7
4 Les technologies utilisées par l'ENIEM.....	8
5 Politique de l'entreprise.....	8
5.1 Politique qualité.....	8
5.1.1 Engagement de la direction	9
5.1.2 Ses objectifs.....	9
5.2 Politique environnementale	9

CHAPITRE I : Les Procédés De Mise En Forme Des Tôles Emboutissage, Découpage, Pliage

I Introduction	10
I.1 Le procédé d'emboutissage	10
I.1.1 Définition	10
I.1.2 L'outillage de procédé d'emboutissage.....	11
I.1.3 Les métaux utilisés dans l'emboutissage.....	11
I.1.4 Principe de l'emboutissage.....	11
I.1.5 Les techniques d'emboutissage	12
I.1.6 Les différentes utilisations de l'emboutissage.....	15
I.1.7 Difficultés du procédé d'emboutissage	16
I.1.8 Influence du coefficient d'écroutissage	17
I.1.9 Effort d'emboutissage	17
I.2 Le découpage	20
I.2.1 Principe.....	20

I.2.2	Éléments principaux constituant un outil de découpe	20
I.2.3	Différents opérations de découpage	21
I.3	Le pliage	24
I.3.1	Définition.....	24
I.3.2	Principe du pliage	24
I.3.3	Le retour élastique	26
I.3.4	Rayon de pliage	26
I.3.5	Position de la fibre neutre.....	27
I.3.6	Développement des pièces pliées	28
I.3.7	Paramètres influents sur l'opération de pliage	28
I.3.8	Effort de pliage	29
I.3.9	Conclusion.....	29

Chapitre II : Le découpage ou le poinçonnage et le détourage

II	Introduction	30
II.1	Le Procédé De Poinçonnage.....	30
II.1.1	Définition.....	30
II.1.2	Le principe.....	31
II.1.3	Phases de poinçonnage	34
II.1.4	Influence des paramètres de l'opération de découpage	36
II.1.5	Effort de découpage et de poinçonnage.....	39
II.1.6	Contraintes sur les poinçons	40
II.1.7	Avantages et inconvénients du poinçonnage.....	41
II.2	Le Détourage	42
II.2.1	Définition.....	42
II.2.2	Aspects de caractérisation du procédé.....	42
II.2.3	Paramètres influant sur le procédé.....	44
II.2.4	Comportement tribologique lors d'une opération de découpage.....	45
II.2.5	Usure des outils de découpage	46
II.3	Conclusion.....	48

CHAPITRE III :Les presses et les machine utilisées

III	Introduction	50
III.1	Les Différentes Presses Mécaniques	50
III.1.1	Le mode de Transmission d'Énergie.....	50
III.1.2	La différence entre la presse mécanique et la presse hydraulique.....	53
III.1.3	La forme du bâti : On distingue:.....	53

III.1.4	Le nombre de coulisseaux	55
III.1.5	Les Mécanismes de commande	56
III.1.6	L'Embrayage	59
III.2	Les outils de presses (poinçonnage/détourage)	59
III.2.1	Éléments Principaux Des Outils De Presses	60
III.2.2	La Dépouille	60
III.2.3	L'Affûtage	60
III.3	Outil à suivre	61
III.4	Positionnement des différents éléments	62
III.5	Les moyens d'automatisation	62
III.5.1	Cas des tôles en feuille	63
III.5.2	Cas des bobines de tôle	63
III.6	Graissage des outils	67
III.7	Conclusion.....	68

CHAPITRE IV : Etude et conception de l'outil

IV	Introduction	71
IV.1	Présentation de la pièce	71
IV.2	Emplacement de la pièce sur le produit.....	72
IV.3	Travail demandé	73
IV.4	Le processus de fabrication	73
IV.5	Cahier de charge	74
IV.5.1	Fiche technique de la tôle	74
IV.6	Calcul des efforts.....	75
IV.6.1	Calcul de l'effort de poinçonnage	76
IV.6.2	Calcul de l'effort de détourage	82
IV.6.3	L'effort total de découpage	82
IV.6.4	Calcul de l'effort du dévêtissage $F_{dév}$ (extraction).....	83
IV.6.5	Calcul de l'effort d'éjection.....	83
IV.6.6	Effort total	83
IV.6.7	Calcul l'effort du pliage.....	84
IV.6.8	Calcul l'effort de dévêtissage $ddév$:	85
IV.6.9	Calcul de l'effort d'éjection $F_{éj}$:	85
IV.6.10	Effort total	85
IV.6.11	Jeu de découpage.....	86
IV.6.12	Jeu de pliage	86
IV.7	Choix des ressorts	87
IV.7.1	Choix de ressort pour la partie de découpage.....	87
IV.7.2	Choix de ressorts pour la partie de pliage.....	90

IV.7.3	Choix de ressort d'éjection	92
IV.8	Calcul de l'effort fournir par la presse.....	93
IV.9	Le choix de la presse à utiliser	93
IV.10	Calcul de vérification des poinçons à la résistance	94
IV.11	Conception de l'outil :	100
IV.11.1	Détail de l'outil.....	100
IV.12	Outil complet assemblé	104
Conclusion générale		105

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Siège de l'Entreprise Nationale des industries électroménagères	2
Figure 2: Organigramme de l'entreprise ENIEM.	6
Figure 3: Organigramme de l'unité froid.....	7
Figure I-1 : Outil d'emboutissage.....	10
Figure I-2 : L'emboutissage à froid	13
Figure I-3 : L'opération de l'emboutissage à chaud	13
Figure I-4 : Emboutissage avec outil à simple effet.....	14
Figure I-5 : Emboutissage avec outil à double effet	15
Figure I-6 : Retour élastique.....	16
Figure I-7 : Le retour élastique lors d'étirage	17
Figure I-8 : Direction des efforts F_e et F_s	18
Figure I-9 : Principe de découpage	20
Figure I-10 : Pièce découpée	21
Figure I-11 : Pièce découpée	21
Figure I-12 : Paramètres entrants lors du cisailage.....	21
Figure I-13 : Le grignotage	22
Figure I-14 : Crevage.....	22
Figure I-15 : Ajourage	22
Figure I-17 : Soyage	23
Figure I-18 : Encochage.....	23
Figure I-19 : Technique du pliage.....	24
Figure I-20 : Pliage en V.....	24
Figure I-21 : Pliage en frappe.....	25
Figure I-22 : Pliage en U.....	26
Figure I-23 : Pliage en L	26
Figure I-24 : Angle de pliage.....	26
Figure I-25 : Rayon de pliage.....	27
Figure I-26 : Formation des criques	27
Figure I-27 : Position de la fibre neutre	27
Figure I-28 : Développement des pièces pliées	28
Figure I-29 : Jeu de pliage et rayon de la matrice.....	29
Figure II-1 : Représentation schématique du procédé de poinçonnage	31
Figure II-2 : Outillage avec dévêtisseur	32
Figure II-3 : Poinçon.....	32
Figure II-4 : La matrice.....	33
Figure II-5 : Les différentes phases de poinçonnage	34
Figure II-6 : Phases de poinçonnage.....	35
Figure II-7 : Nomenclature des éléments de la géométrie du découpage.....	36
Figure II-8 : Jeu de découpage	37
Figure II-9 : Contrainte de compression sur le poinçon.....	40
Figure II-10 : L'état d'un flambement du poinçon de découpage	41
Figure II-11 : Détourage (Enlever ce qui est en dehors)	42
Figure II-12 : Comportement du matériau au cours de l'opération de découpage courbe (effort / déplacement)	42
Figure II-13 : Caractérisation du profil d'une pièce découpée	44
Figure II-14 : Contraintes à l'origine de l'effort de dévêtissage.....	46
Figure III-1 : Presse mécanique.	51
Figure III-2 : Presse Hydraulique.	52
Figure III-3 : Presse à Arcade.....	54
Figure III-4 : Presse à Montant droit.....	54
Figure III-5 : presse à simple effet.....	55

Figure III-6 : Presse à Double Effets	56
Figure III-7 : Système Bielle-Manivelle	57
Figure III-8 : Exemple du Système Excentrique dans une Presse	57
Figure III-9 : Exemple de Système à Genouillère	58
Figure III-10 : Principe du Système à Came	58
Figure III-11 : Système d'Embrayage à Clavette Tournante.....	59
Figure III-12 : Dimensions d'une Dépouille	60
Figure III-13 : Exemple d'un outil à suivre avec sa mise en bande.....	61
Figure III-14 : Le passage de la bobine déroulée.....	62
Figure III-15 : Architecture standard d'une ligne de découpe automatisée	62
Figure III-16 : dérouleur.....	64
Figure III-17 : Eléments constitutifs d'un redresseur	65
Figure III-18 : Pince pneumatique	65
Figure III-19 : Aménage à rouleaux.....	66
Figure III-20 : Cadencement des phases d'aménage sous presse	66
Figure III-21 : Schéma d'une boucle.....	67
Figure IV-1 : La forme de la pièce à réaliser.....	71
Figure IV-2 : Emplacement de la pièce.....	72
Figure IV-3 : Représentation de différentes formes à poinçonner.....	75
Figure IV-4 : Poinçonnage de forme 1.....	77
Figure IV-5 : Poinçonnage de forme 7.....	78
Figure IV-6 : Poinçonnage de forme 2.....	79
Figure IV-7 : Poinçonnage de forme 10.....	80
Figure IV-8 : Poinçonnage de forme 8.....	81
Figure IV-9 : Dimension du contour à détourer	82
Figure IV-10 : Différents plis du sous bandeau.....	84
Figure IV-11 : Différents ressorts (représenter suivant ISO10243).....	87
Figure IV-12 : Ressort à charge forte de couleur rouge	88
Figure IV-13 : Ressort à charge moyenne de couleur bleu	91
Figure IV-14 : Ressort à charge légère couleur vert	92
Figure IV-15 : Les surfaces réparties du poinçon 1	95
Figure IV-16 : Les surfaces réparties du poinçon 2	97
Figure IV-17 : Partie inférieure assemblée.....	100
Figure IV-18 : Partie supérieur assemblée	102
Figure IV-19 : Outil complet assemblé.....	104

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Tableau de détermination du coefficient K en fonction de d/D	18
Tableau I-2 : Les matériaux du flan et leurs pressions spécifiques.....	18
Tableau I-3 : La variation de la distance a suivant le rapport R_i/e	28
Tableau IV-1 : Caractéristiques mécaniques du matériau	74
Tableau IV-2 : Caractéristiques chimique du matériau	74
Tableau IV-4 : Numérotation des efforts pour chaque forme de poinçonnage.....	75
Tableau IV-5 : Caractéristique des ressorts à charge forte couleur rouge.....	89
Tableau IV-6 : Caractéristiques du ressort choisi	89
Tableau IV-7 : Caractéristique des ressorts à charge moyenne de couleur bleu.....	91
Tableau IV-8 : Caractéristiques du ressort choisi	92
Tableau IV-9 : Caractéristique des ressorts à charge légère couleur vert.....	92
Tableau IV-10 : Caractéristiques du ressort choisi	93
Tableau IV-11 : Caractéristiques des presses TB1A.....	93
Tableau IV-12 : Longueurs libres de flambage en fonction du type de liaisons	95

Liste des symboles

F_{sr}: Effort du serre-flan en daN

d_m : Diamètre de matrice, en mm

H : Hauteur de l'embouti,

P : La pression spécifique sur le serre-flan en daN

F_{er} : Effort d'emboutissage rectangulaire en daN

a et **b** : Distance entre les centres des rayons des angles d'emboutissage en mm

r_n: Rayon en angle mm

F_e : Effort d'emboutissage, en daN

d : Diamètre du poinçon, en mm

e : Epaisseur de la tôle, en mm

K : Coefficient en fonction du rapport d /D

D : Diamètre du flan (trou), en mm

F : Effort de pliage en daN

L : Longueur de pli en mm

H : Hauteur de l'embouti, en mm

E : Module d'élasticité en N/mm²

I : Le moment quadratique de la section en mm⁴

P (%) : Pourcentage de l'élément chimique Phosphore

S (%) : Pourcentage de l'élément chimique Soufre

Mn (%) : pourcentage de Manganèse

C (%) : pourcentage de l'élément chimique Carbone

R_e : (Limite conventionnelle d'élasticité) Limite d'élasticité daN/mm²

R_g : Résistance pratique au cisaillement (glissement) en daN/mm²

R_m: Résistance à la rupture

α : Angle d'attaque ou angle de coupe en (°)

P : Périmètre de coupe, en mm

F_p : Effort de découpage – Poinçonnage, en daN

F : Effort de pliage en daN

F_{dév} : Effort de dévissage en daN

$F_{d\acute{e}}$: Effort de pliage en daN

F_d : Effort de détournage en daN

$F_{\acute{e}j}$: Effort d'éjection en daN

F_{presse} : Effort fourni par la presse en daN

F_{cr} : Charge critique d'Euler

J : Jeu de découpage ; jeu de pliage en (mm)

F_{ressort} : Effort d'un seul ressort

K : Raideur du ressort en (N/mm²)

X : Course du ressort en mm associées aux forces $F_1 - F_n$ en mm

D_h : Diamètre de l'alésage (guidage extérieur) en mm

D_d : Diamètre de l'axe (guidage intérieur) en mm

L_0 : Longueur du ressort non chargé en mm

C : Taux d'élasticité en N/mm

s_1 à s_n : Course du ressort en mm associées aux forces $F_1 - F_n$

F_1 à F_n : Force du ressort en N

L_n : Plus petite longueur admissible du ressort en charge ($L_0 - s_n$), associée à la force F_n

s_{max} : Course maximale du ressort en mm

L_{BI} : longueur d'aplatissement maximale du ressort ($L_0 - s_{\text{max}}$)

Introduction générale

L'entreprise nationale des industries de l'électroménager (ENIEM) compte diversifier sa gamme de produits fabriqués au niveau de son complexe de Oued Aissi (Tizi-Ouzou) et améliorer les qualités, et ce, dans le cadre d'un redéploiement de ses activités visant, concurrence oblige, un meilleur positionnement de ses produits sur le marché devenu de plus en plus exigeant.

Les moyens informatiques modernes, et les logiciels dits de conception assistés 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.

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

L'objectif de ce projet consiste à faire une étude et conception, d'un outil pour la fabrication d'un sous bandeau pour une cuisinière en se basant sur le procédé simultané de découpage (poinçonnage et détourage) et le pliage. Ce projet nous a été proposé par l'entreprise ENIEM (Unité Cuisson), dans le but d'étudier et concevoir un outil pour la réalisation du sous bandeau avec une géométrie bien déterminée regroupant l'opération simultané de poinçonnage, détourage et de pliage.

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 procédés de mise en forme des tôles: Emboutissage, Découpage et Pliage.

Les procédés d'obtention des tôles, et traite des différents procédés de mise en forme des pièces mécaniques, par déformation plastique, ainsi que les différents paramètres influents, dans ces procédés (Poinçonnage et détourage) ont été étudiés dans le deuxième chapitre .

Les généralités sur les différentes presses mécaniques et leurs équipements (presses utilisées) ont fait l'objet du troisième chapitre.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude et la conception de l'outil, les différents calculs, le choix de la presse à utiliser pour réaliser 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

1.1 Historique

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.



Figure 1:Siège de l'Entreprise Nationale des industries électroménagères

Présentation de l'entreprise

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.
- Climatiseur.

Des 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).

1.2 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.

2 Principales missions et activités de l'entreprise

2.1 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.

2.2 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.

2.3 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.

2.4 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.

2.5 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...).

2.6 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».

3 Organisation de l'entreprise :

3.1 Organisation générale

ORGANIGRAMME GENERAL DE L'ENIEM

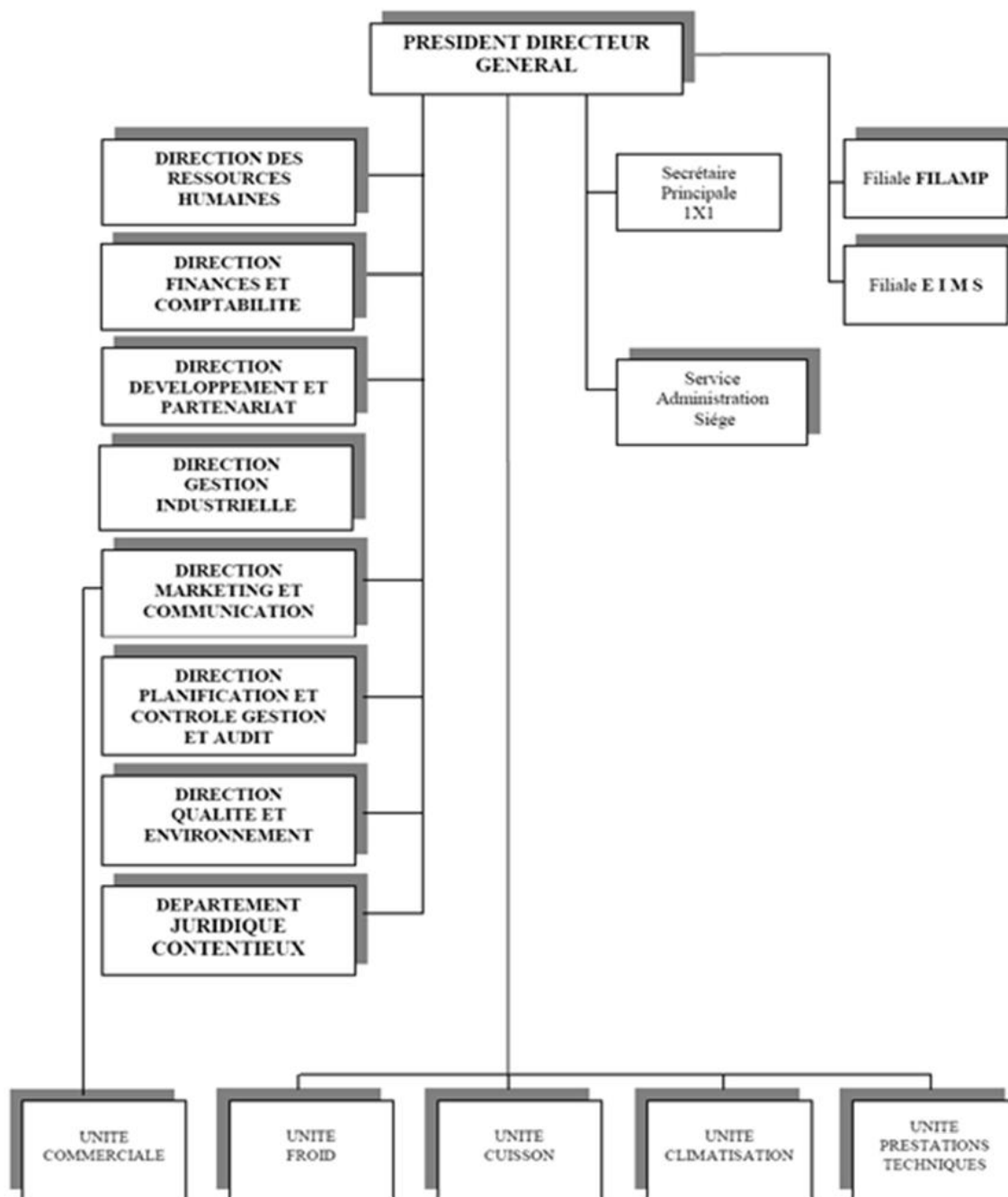


Figure 2: Organigramme de l'entreprise ENIEM.

3.2 Organigramme de l'unité froid :

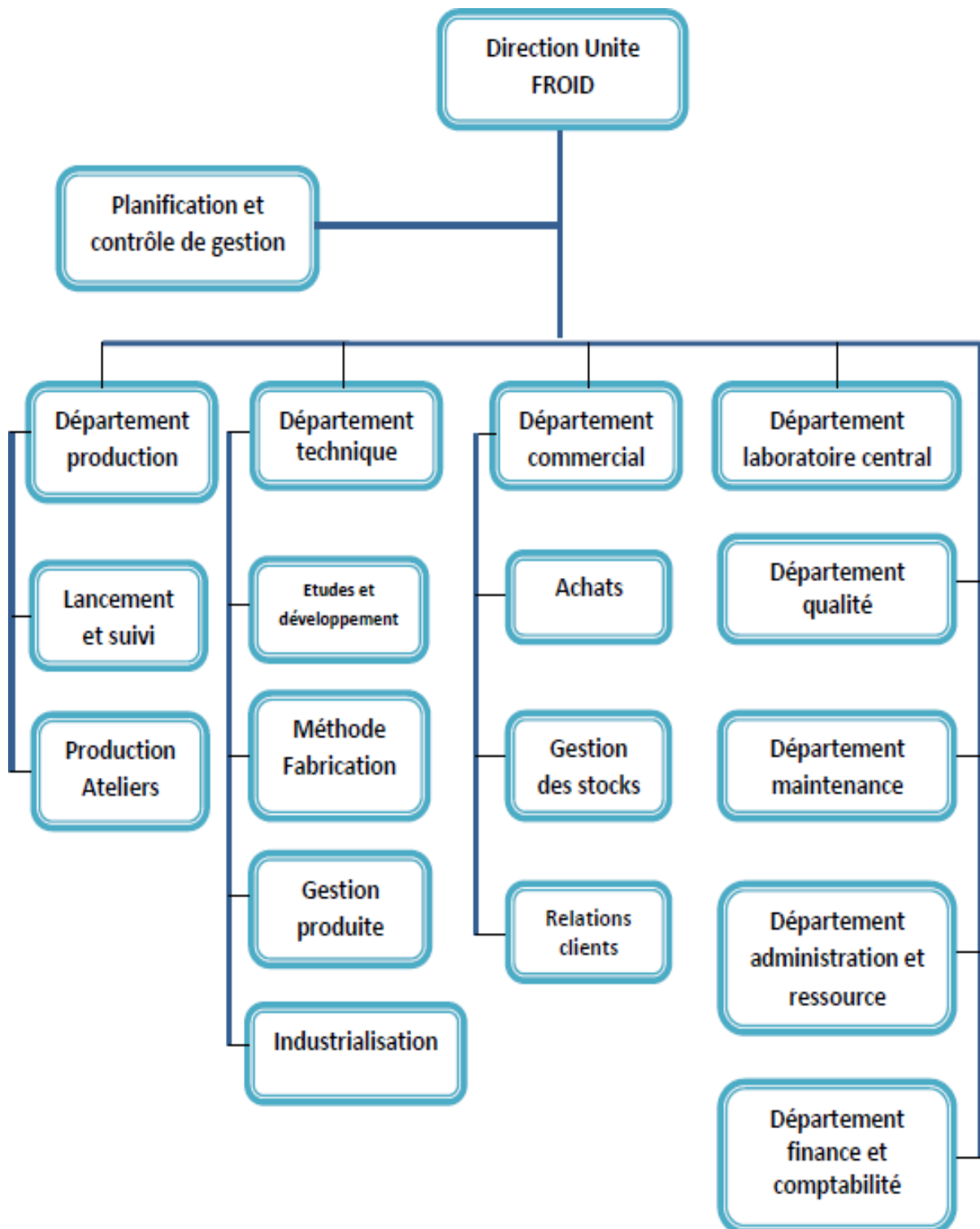


Figure 3: Organigramme de l'unité froid.

4 Les technologies utilisées par l'ENIEM

Toutes les technologies de l'ENIEM sont importées dans le cadre de l'exploitation des licences et des copies de fabricants et fournisseurs étrangers. Elle se trouve, en effet, dépendante de l'extérieur en ce qui concerne l'assistance technique qui lui revient très chère. En revanche, l'ENIEM possède comme avantage, l'exploitation des licences de grandes marques étrangères.

Les technologies utilisées dans chaque domaine d'activité de l'entreprise, ainsi que le pays d'origine peuvent être résumés dans le tableau suivant :

Produits de l'ENIEM	Technologies	Pays d'origine
Réfrigérateurs 200 et 240 littres	BOSCH	Allemagne
Congélateurs bahut 350 et 480 litre et réfrigérateur 520 littres	LEMATIC	Liban
Reste des réfrigérateurs	TOSHIBA	Japon
Cuisinières	TECHNOGAZ	Italie
Climatiseurs	AIR WELL	France

D'après les responsables de l'environnement de l'ENIEM, les technologies utilisées au sein de l'ENIEM sont les mêmes depuis près de vingt ans. Elles n'ont pas été changées car elles répondaient aux normes internationales en matière de qualité et de respect de l'environnement. Par ailleurs, l'utilisation de la peinture liquide a été substituée par une autre technologie moins polluante et plus économique, celle de la peinture en poudre. Ce remplacement a été fait durant l'année 2010 et a apporté ses fruits durant les deux années 2011 et 2012.

5 Politique de l'entreprise

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

5.1 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.

5.1.1 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.

5.1.2 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.

5.2 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

**Les Procédés De Mise En Forme Des Tôles Emboutissage,
Découpage, Pliage**

I Introduction

Dans tous les domaines de l'industrie, la notion de mise en forme des matériaux intervient soit en amont, en aval, ou en cours de production.

L'objectif premier de cette mise en forme est de conférer à une pièce métallique des dimensions situées dans une fourchette de tolérances données ainsi que des caractéristiques précises. Parmi les principaux procédés apparus récemment afin d'assurer la production en grande série, se trouve le formage. Ce procédé regroupe plusieurs techniques dont l'intérêt est le travail des métaux en feuilles. Il en résulte alors une forme déterminée.

Parmi les techniques de mise en forme des tôles par déformation plastique les plus répandue dans l'industrie est l'emboutissage, découpage et le pliage. La reconnaissance mondiale de ce mode de mise en forme est due en grande partie à la pression d'éléments extérieurs tels que la nécessité croissante d'alléger les produits, la lutte contre la corrosion ou la concurrence des matériaux non métalliques.

I.1 Le procédé d'emboutissage

I.1.1 Définition [1]

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique d'une tôle métallique, cette opération est réalisée à l'aide d'un outil composé d'un poinçon et d'une matrice.

Très utilisé dans l'industrie, l'emboutissage permet d'obtenir à partir d'un flan des pièces de formes complexe. Le procédé de l'emboutissage peut être réalisé avec ou sans le serre flan pour maintenir le flan contre la matrice pendant que le poinçon le déforme ; cela permet d'obtenir à moindre cout des tôles embouties.

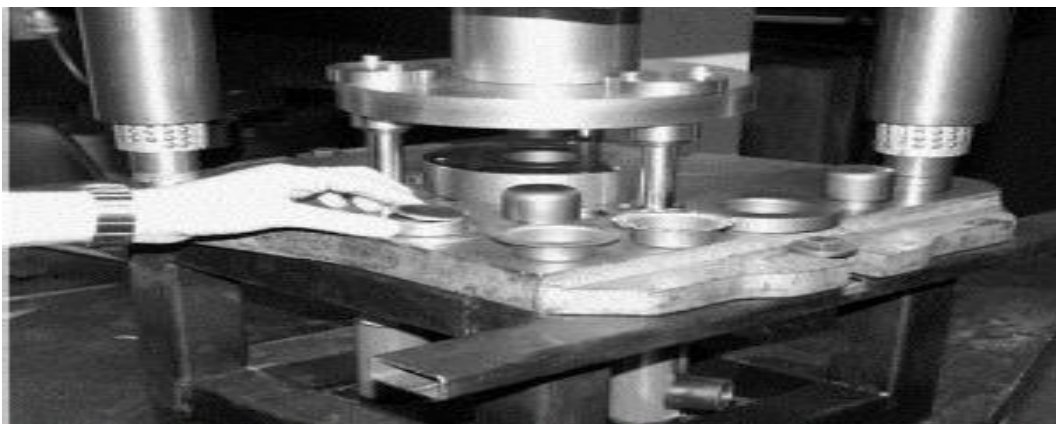


Figure I-1 : Outil d'emboutissage

I.1.2 Les outils d'emboutissage

L'emboutissage se pratique à l'aide de presses à emboutir de forte puissance munies d'outils spéciaux qui composés essentiellement de :

- Une matrice inférieure creuse donnant la forme extérieure de la pièce.
- Une matrice supérieure, en relief, donnant la forme intérieure en réservant l'épaisseur de la tôle.
- Un serre-flan entoure le poinçon, s'applique contre le pourtour de la matrice et sert à coincer la tôle pendant l'application du poinçon et parfois dans l'emboutissage, on utilise des joncs pour freiner le glissement de la tôle (retenue de l'acier).

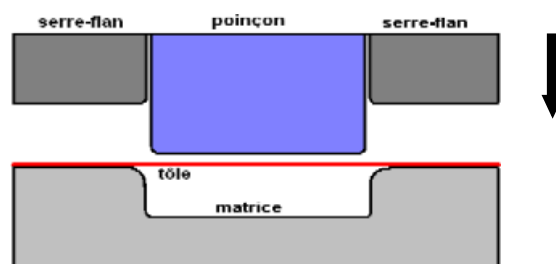
I.1.3 Les métaux utilisés dans l'emboutissage

L'opération d'emboutissage nécessite l'utilisation d'un métal très ductile, l'acier est le plus employé par suite de son bas prix et sa haute résistance et les possibilités actuelles du protégé contre l'oxydation par de différents procédés comme le cuivrage, chromage...etc.

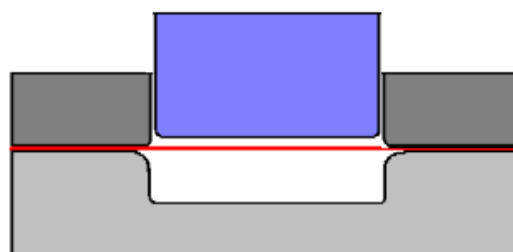
I.1.4 Principe de l'emboutissage

Le procédé de l'emboutissage est basé sur le principe de la déformation plastique du matériau et passe par les étapes suivantes :

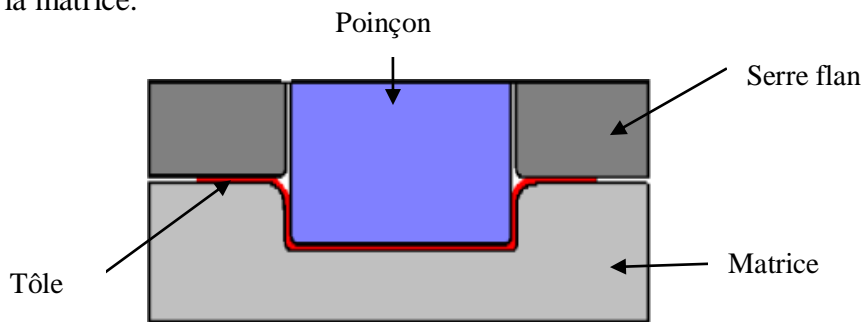
Étape 1 : poinçon et serre-flan sont relevés. La tôle est posée sur la matrice.



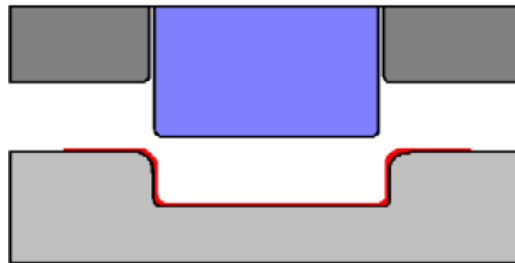
Étape 2: le serre-flan est descendu et vient appliquer une pression bien déterminée, pour maintenir la tôle tout en lui permettant de glisser.



Étape 3: le poinçon descend et déforme la tôle de façon plastique en l'appliquant contre le fond de la matrice.



Étape 4: on relève le poinçon et le serre-flan, la pièce reste formée au fond de la matrice puis on procède au « détourage » de la pièce, c'est-à-dire à l'élimination des parties devenues inutiles.



I.1.5 Les techniques d'emboutissage

Suivant les caractéristiques mécaniques du matériau, l'épaisseur de la tôle initiale, la forme du produit final ; on choisira une technique d'emboutissage, dans l'industrie les techniques existantes sont :

- Emboutissage à froid : (outillage avec ou sans serre flan).
- Emboutissage à chaud : avec outils simple ou double effet.

I.1.5.1 Emboutissage à froid

L'emboutissage à froid suppose, sauf rares exceptions, un outillage double effet et des presses mécaniques. Cette opération est réalisée à température ambiante avec un outil muni ou non d'un serre flan. Cette technique comporte des avantages mais aussi des inconvénients.



Figure I-2 :L'emboutissage à froid

➤ **Les avantages et Les inconvénients de l'emboutissage à froid**

a) **Les avantages de l'emboutissage à froid**

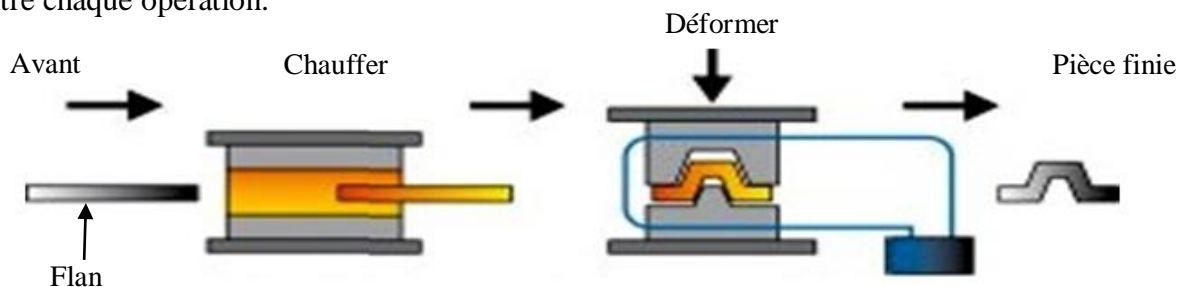
- Meilleure précision dimensionnelle.
- Faible coût.
- Bonnes propriétés mécaniques des pièces embouties.

b) **Les inconvénients de l'emboutissage à froid**

- Faible épaisseur des tôles (risque de rupture).
- Écrouissage du matériau (risque de durcissement structural et baisse de la ductilité).
- Contraintes résiduelles (risque de rupture par fatigue).
- Parmi les matériaux concernés par ce type d'emboutissage on trouve : Acier doux et inoxydable, aluminium, cuivre, laiton...etc.

I.1.5.2 Emboutissage à chaud

L'emboutissage à chaud est une technique utilisée avec outils simple ou double effet, Le flan et la matrice sont chauffés puis on donne à la pièce sa forme définitive, La fréquence d'usinage est moins élevée du fait de l'opération de chauffage qui nécessite plus d'attente entre chaque opération.



Four à 900- 950°C Temps de 4 à 10 min → four à 900-950°C temps de 4 à 10 min

Figure I-3:L'opération de l'emboutissage à chaud

➤ Les avantages et Les inconvénients de l'emboutissage à chaud

a) Les avantages de l'emboutissage à chaud

- La technique d'emboutissage à chaud facilite la déformation du matériau et forme les pièces par chauffage.
- Les pièces obtenues ont peu de contraintes résiduelles.

b) Les inconvénients de l'emboutissage à chaud

- Cadences de production moins élevées du fait de l'inertie de chauffage.
- Pièces finies de moins bonnes qualités (état de surface et dimensionnement).
- La nécessité de la mise en place d'un protocole de sécurité plus important.

Parmi Les matériaux utilisés en emboutissage à chaud on trouve: Titane, magnésium, et zinc.

I.1.5.3 Emboutissage avec outils simple effet

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'important effort de serrage.

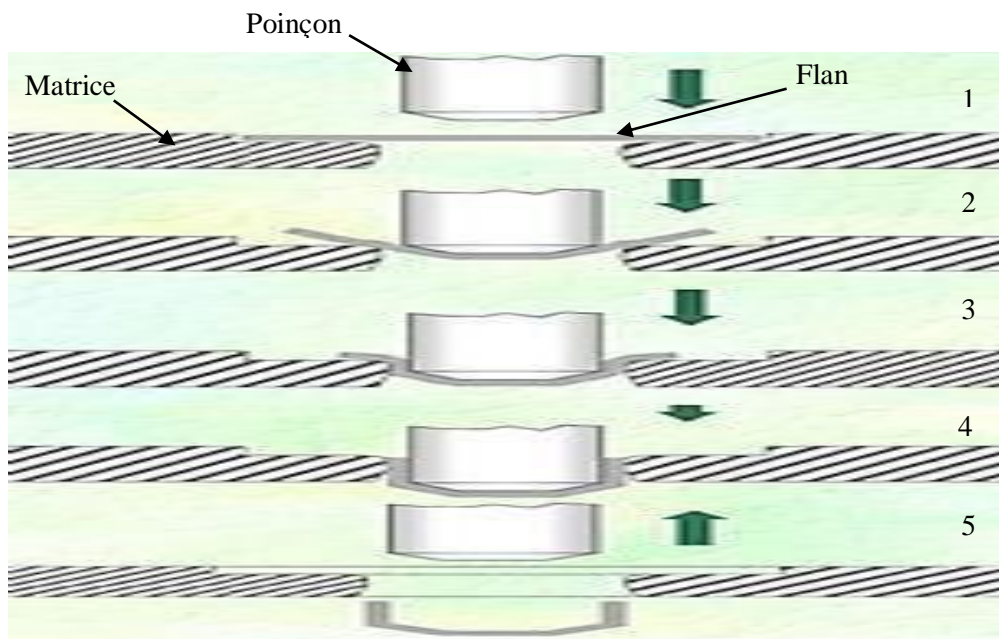


Figure I-4 : Emboutissage avec outil à simple effet

I.1.5.4 Emboutissage avec outils double effet

Par rapport à l'emboutissage simple effet, l'emboutissage double effet comprend en plus un serre-flan. Cette technique de formage est la plus répandue dans l'industrie. Ici les emboutis sont très profonds et les efforts d'emboutissage sont importants.

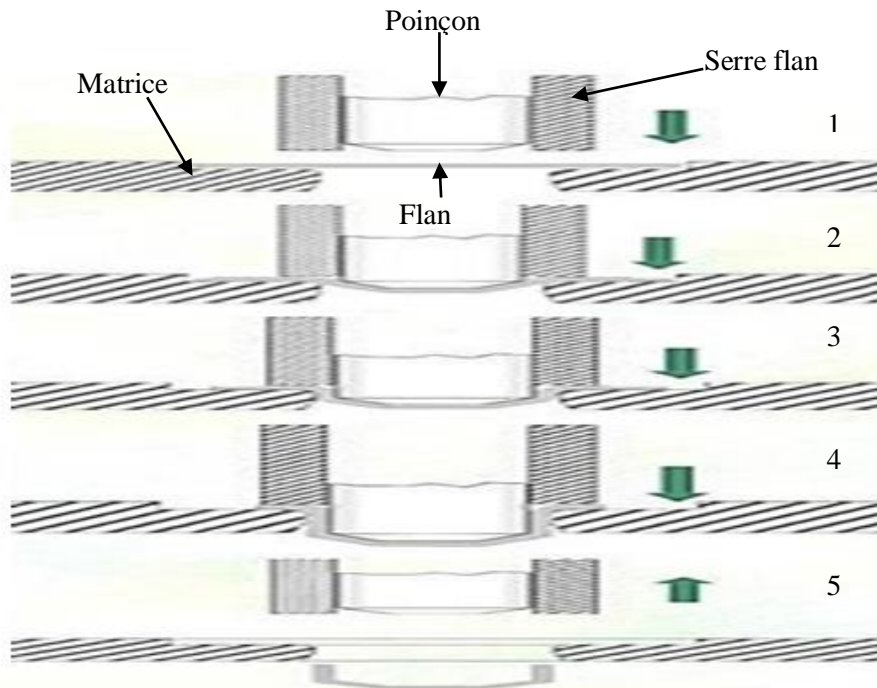


Figure I-5 : Emboutissage avec outil à double effet

I.1.5.5 Emboutissage multi-passes

L'emboutissage profond consiste à transformer en plusieurs passes, des flans de forte épaisseur afin d'éviter la rupture mécanique au cours du processus de déformation.

I.1.6 Les différentes utilisations de l'emboutissage

Ce procédé est utilisé dans plusieurs industries, en ferblanterie, fabrication d'ustensiles en fer-blanc (bassines, casseroles, assiettes etc.), dans l'industrie électroménager et produits sanitaires types baignoires ou lavabos mais surtout dans l'industrie automobile pour la conception de parties de carrosserie et enfin pour les produits d'emballage.

I.1.7 Difficultés du procédé d'emboutissage [2]

Les cadence de production, souvent très intenses (voisines de 100 à 200 pièces /heure, pour les très grosses pièces ex : Carrosserie d'automobiles) font du procédé d'emboutissage, une opération de mise en forme très attractive du point de vue des coûts de production. Pourtant la mise en point des outils d'emboutissage nécessite un savoir-faire que seuls les

emboutisseurs détiennent. En effet les principales difficultés rencontrées pour obtenir une forme finale correcte sont nombreuses :

- L'état de la surface des tôles doit être parfaitement lisse,
- Les zones de faibles épaisseurs doivent être contrôlées,
- Les plis et les ruptures (par striction) doivent être évités,
- Le retour élastique de la tôle après emboutissage doit être pris en compte.

Les interactions superficielles de la tôle avec les outils ont évidemment une influence sur la qualité de la pièce formée et la maîtrise de l'opération requiert une connaissance au moins qualitative de l'effet des paramètres sur leur intensité.

La phase du retour élastique s'opère après le retrait des outils et l'extraction de la tôle emboutie.

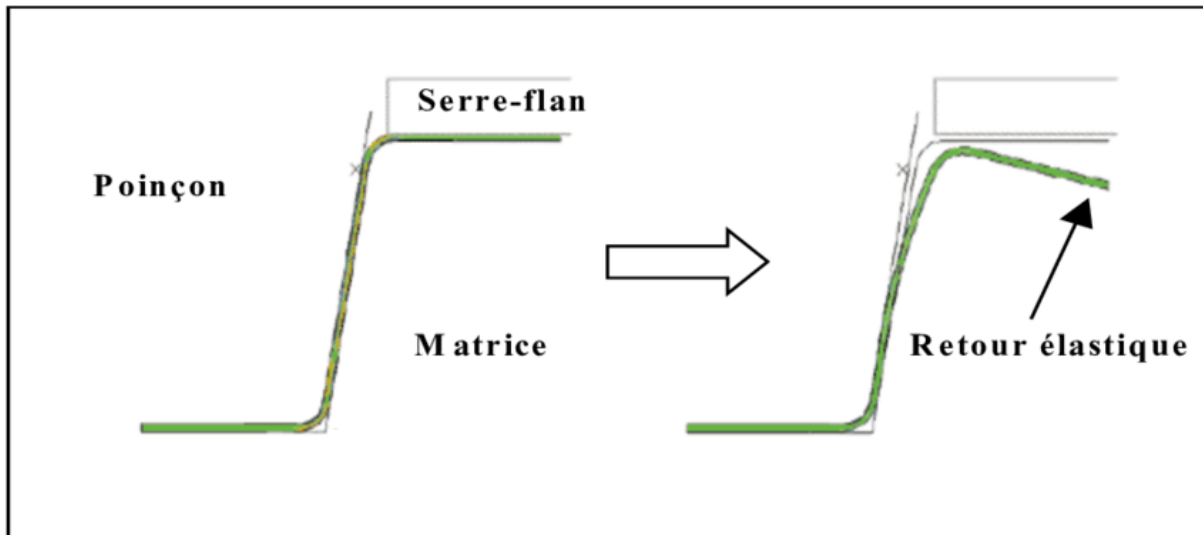


Figure I-6 : Retour élastique

Les corrections pour compenser le retour élastique sont en faites en modifiant la forme des outils. Il est très important de prévoir le retour élastique et de le corriger à l'étape de la conception d'outillage, puisque la correction de la géométrie sur les outils finis est très chère et prend du temps.

Il est difficile pour les ingénieurs concepteurs de prédire le retour élastique, car il y a plusieurs paramètres qu'ils l'influencent tels que :

Propriétés du matériau, géométrie d'outil, épaisseur de la tôle et la profondeur de pénétration du poinçon.

Pour comprendre le retour élastique, il est nécessaire de regarder la courbe charge - déplacement d'un matériau (Figure I.7) [3].

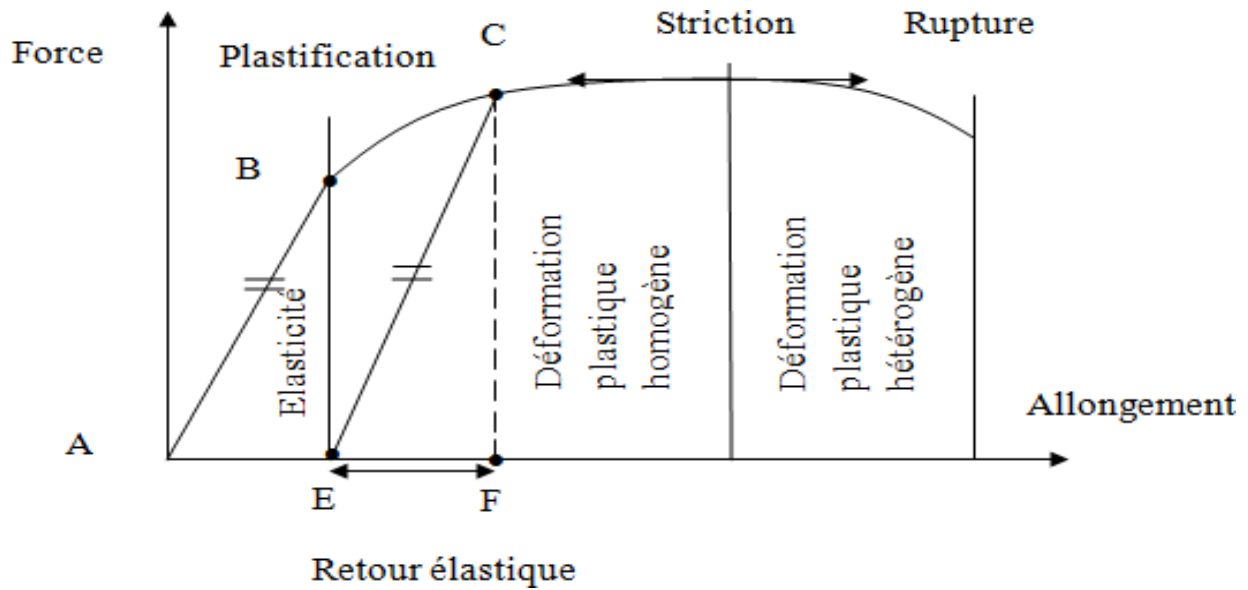


Figure I-7 : Le retour élastique lors d'étirage

I.1.8 Influence du coefficient d'érouissage [4]

Le coefficient d'érouissage n donne une représentation de capacité de consolidation du métal en traction. Cette consolidation joue un double rôle : elle augmente le niveau de déformation que peut supporter le métal d'une part et elle permet surtout une meilleure répartition des déformations d'autre part.

I.1.9 Effort d'emboutissage

I.1.9.1 Cylindrique [5]

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

$$F_e = \pi \cdot d \cdot e \cdot R_m \cdot K \quad (I-1)$$

Avec:

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

d : Diamètre du poinçon, (en mm).

e : Epaisseur de la tôle, (en mm).

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

K : Coefficient en fonction du rapport d/D .

D : Diamètre du flan, (en mm).

Tableau I-1 : Tableau de détermination du coefficient K en fonction de d/D

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

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

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

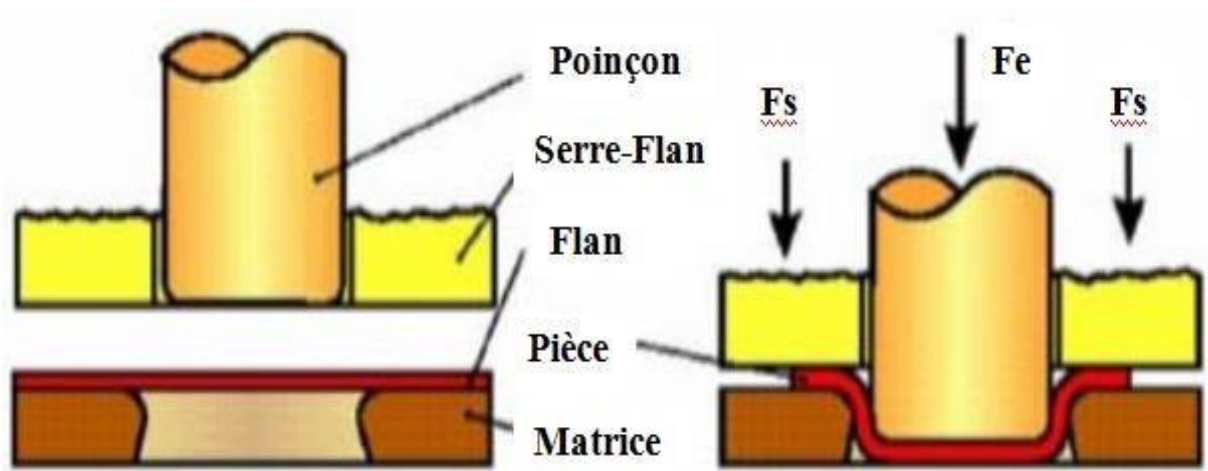


Figure I-8 : Direction des efforts Fe et Fs

Tableau I-2 : Les matériaux du flan et leurs pressions spécifiques

Matière du flan	P (daN/cm ²)
Acier doux	25
Acier inoxydable	20
Laiton	20
Aluminium	12
Duralumin	16

I.1.9.2 Rectangulaire [6]

$$F_{er} = 1,6 (a + b + 2 r_n).P.e \quad (I-3)$$

Avec :

F_{er}: Effort d'emboutissage rectangulaire en daN

a et **b** : distance entre les centres des rayons des angles d'emboutissage rectangulaire en mm,

r_n: rayon en angle (mm),

e: épaisseur spécifique pour le métal considéré en daN/mm²

- Effort sur le serre-flan rectangulaire

$$F_{sr} = 2 (a + b). H. P. \pi/ 2(D^2 - d_m^2).P \quad (I-4)$$

Avec :

F_{sr}: Effort du serre-flan en daN,

D : Diamètre de flan,

d_m: Diamètre de matrice,

H : Hauteur de l'embouti,

I.2 Le découpage [5]

Le découpage est un procédé de fabrication des pièces qui consiste à cisailer sur un contour fermé une pièce de faible épaisseur. Une différence est faite sur les termes :

Découpage, afin d'obtenir pourtour défini selon une forme et des cotes précises.

Poinçonnage, afin d'ajouter une pièce (exemple : une perforation).

I.2.1 Principe

Il consiste à détacher un contour donné d'un produit plat (une tôle). L'opération s'effectue sur une presse qui porte un outil dont les parties travaillant sont les poinçons et les matrices qui permettent de cisailer la tôle sur sa profondeur en donnant la forme de la pièce désirée [1].

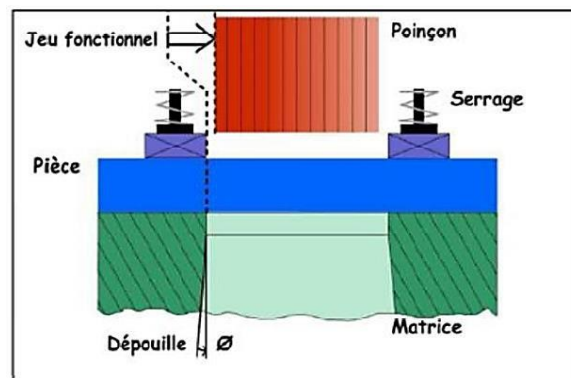


Figure I-9 : Principe de découpage

I.2.2 Éléments principaux constituant un outil de découpe

- **Le poinçon** : Pièce pleine dont la base possédant la forme de la pièce à découper. Il est de section constante, généralement animé d'un mouvement de translation.
- **La matrice** : correspondant à la forme de la découpe souhaitée. pièce ajourée de façon à ce que le poinçon s'ajuste dans l'ouverture avec un ajustement de jeu déterminé. Elle comporte une dépouille d'environ 5 % pour éviter le laminage des flans sur une trop grande longueur, et réduire l'effort fourni par la presse [5].
- **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 [7].

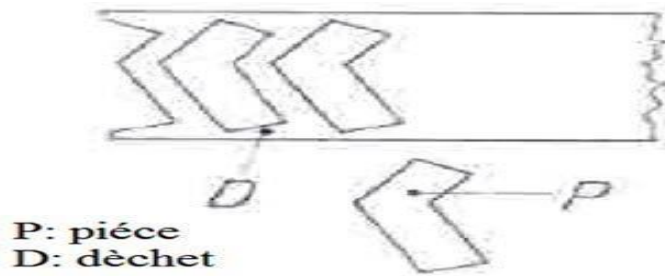


Figure I-10 : Pièce découpée

I.2.3 Différents opérations de découpage

I.2.3.1 Le cisailage [5]

Le cisailage est une technique de découpe sans création de déchets. 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.

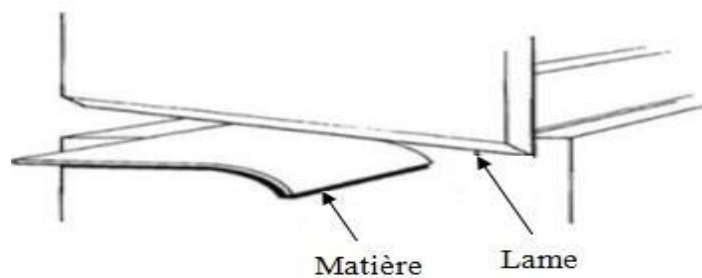


Figure I-11 : Pièce découpée

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.

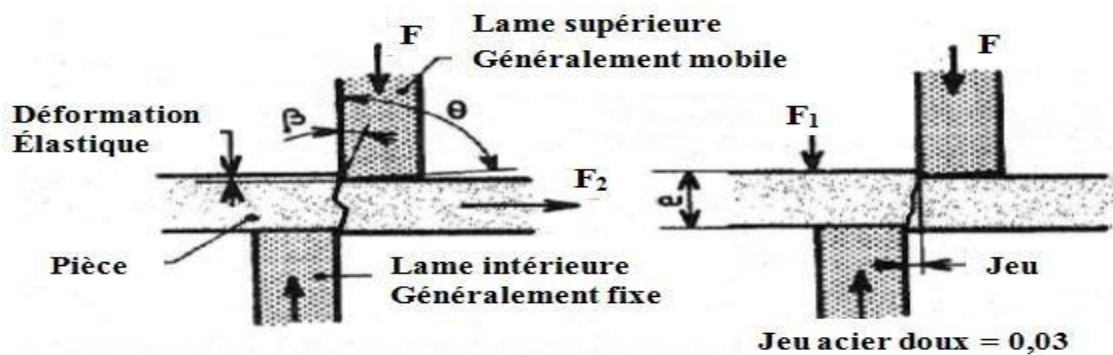


Figure I-12 : Paramètres entrants lors du cisailage

I.2.3.2 Le 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. Donc C'est le poinçonnage partiel par déplacement progressif de la tôle ou du poinçon.

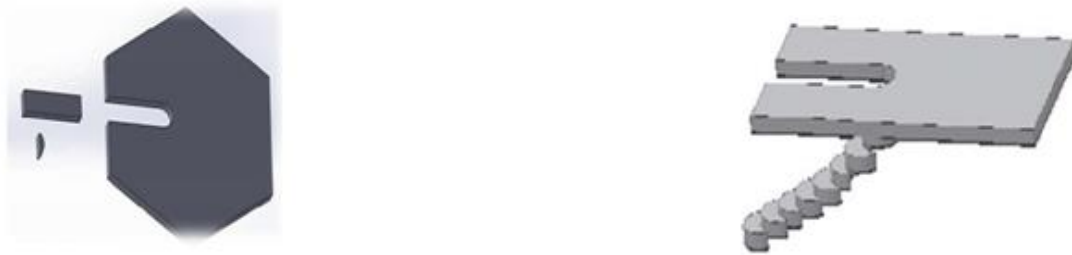


Figure I-13 : Le grignotage

I.2.3.3 Crevage

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

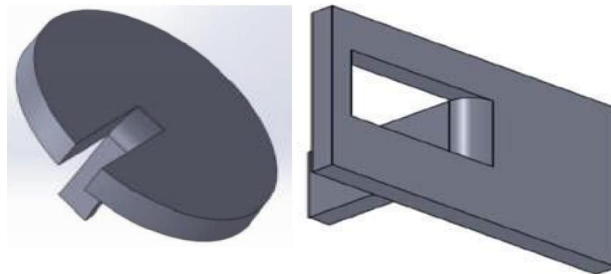


Figure I-14 : Crevage

I.2.3.4 Ajourage

C'est une opération de découpage dans un flan des trous de formes différentes.

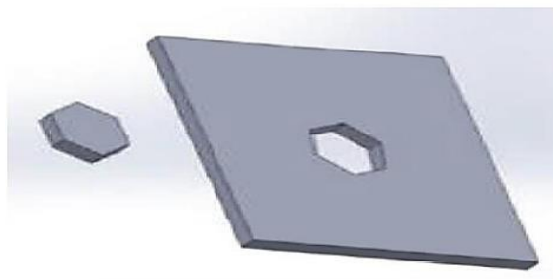


Figure I-15 : Ajourage

I.2.3.5 Soyage

Le soyage est la réalisation d'un collet (relevage des bords d'un trou) obtenu soit, après poinçonnage d'un trou, soit à l'aide d'un poinçon épaulé qui poinçonne le trou dans le vide et relève les parois de ce dernier, en même temps.

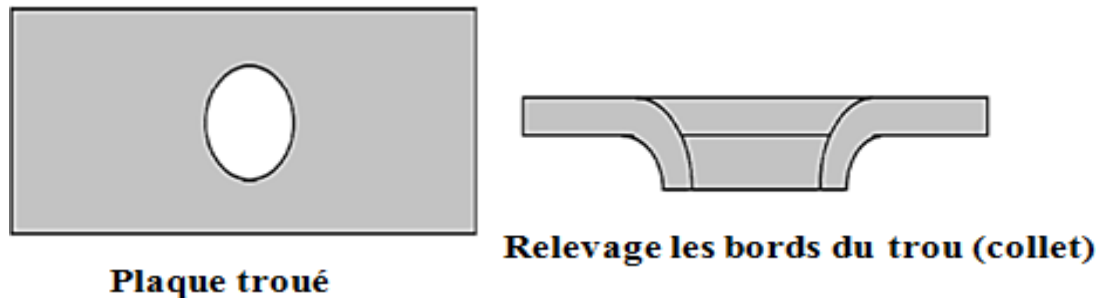


Figure I-16 : Soyage

I.2.3.6 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.

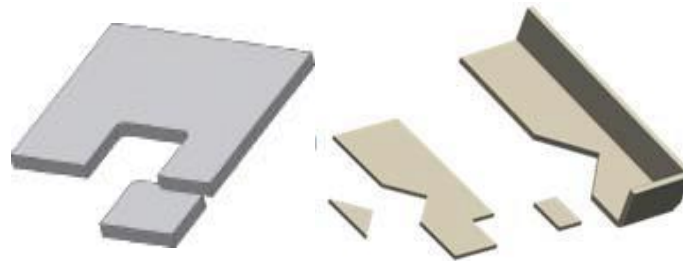


Figure I-17 : Encochage

I.3 Le pliage

I.3.1 Définition

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.

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.

I.3.2 Principe du pliage [8]

Le pliage est 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.

Suivant la géométrie des poinçons et les matrices, trois types de pliage sont distingués: En V, en U et en L.

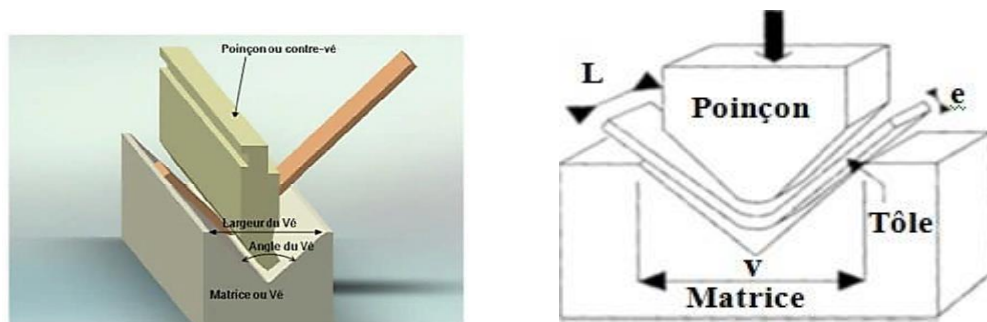


Figure I-18 : Technique du pliage

I.3.2.1 Le pliage en V

Dans le cas du pliage en V, le serre-flan est inutile. La géométrie de l'angle de formage de la tôle est donnée par la géométrie de l'outil et du poinçon. La variation de l'angle du V 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 est en l'air ou en frappe.

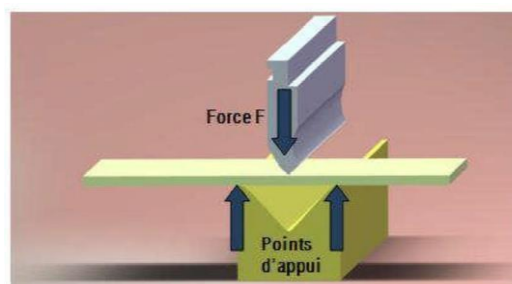


Figure I-19 : Pliage en V

I.3.2.2 Pliage en frappe

Le poinçon entraîne les deux branches libres du pli jusqu'au contact des faces intérieures de la matrice, il en résulte un écrouissage de la zone pliée et l'angle obtenu est sensiblement égale à celui du vé [7].

Cette technique permet d'obtenir des pièces précises, mais elle nécessite des efforts de pliage importants (environ $30t/m/mm$ d'ép.). Il faut un outillage pour chaque angle et il est limité aux tôles jusqu'à 2 mm d'épaisseur. Le fait de matricer l'intérieur du pli permet d'obtenir des angles très précis ($\pm 0,5^\circ$).

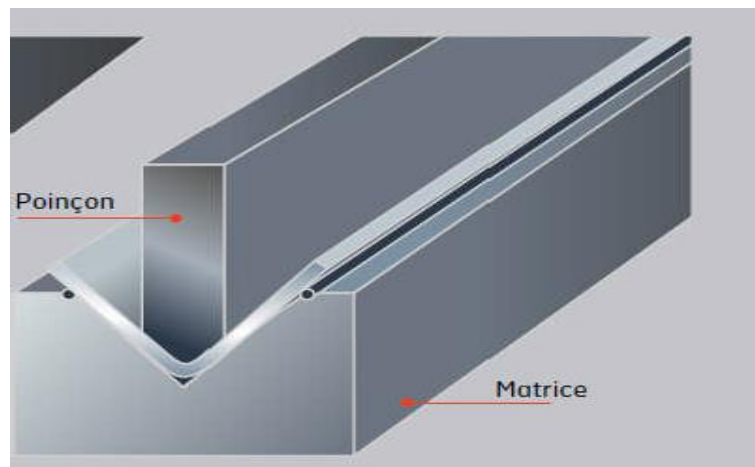


Figure I-20 : Pliage en frappe

I.3.2.3 Le pliage en U

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.

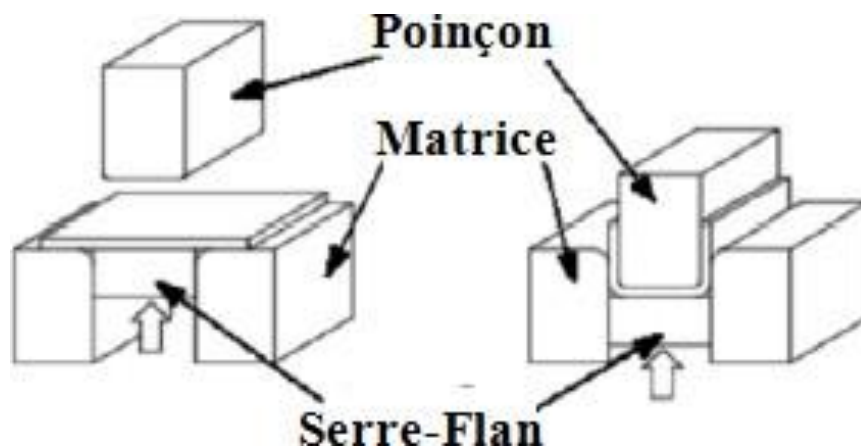


Figure I-21 : Pliage en U

I.3.2.4 Le pliage en L:

Le pliage en L ou en tombé de bord consiste à plier un flan en porte-à-faux à 90° maintenu entre la matrice et le serre-flan.

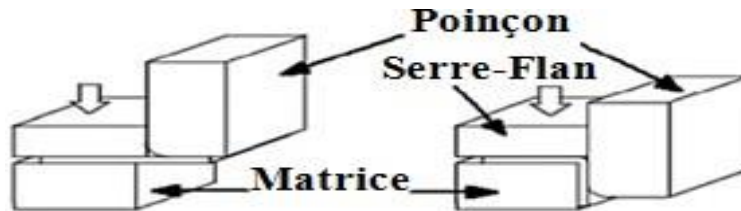


Figure I-22 : Pliage en L

I.3.3 Le retour élastique

Lors de pliage d'une pièce à un angle imposé par l'outillage (angle de V) il y a un retour élastique lors du retrait du poinçon l'angle final α_{final} obtenu diffère de celui imposé par l'outillage α_{outil} de la valeur correspondant à ce retour élastique. Plus la limite élastique de l'alliage est grande plus le retour élastique sera grand. On peut vouloir estimer ce retour élastique qui dépend aussi de l'épaisseur de la tôle à plier.

Remarque : 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.

I.3.4 Rayon de pliage [9]

Sur une pièce cambrée on constate des déformations sur la zone pliée, les fibres intérieures sont comprimées alors que celles extérieures subissent un étirement.

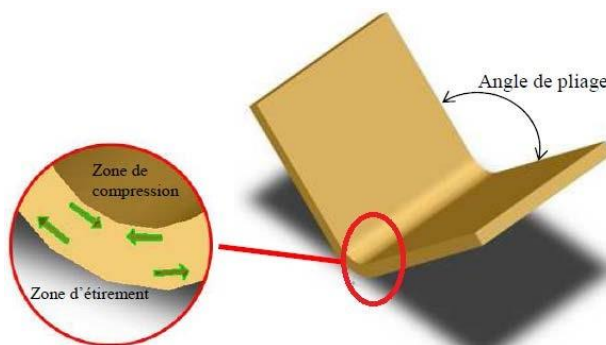


Figure I-23 : Angle de pliage

Le rayon de pliage est en fonction de l'ouverture du V utilisé, plus le rayon est petit, plus les déformations constatées sont grandes.

En particulier pour un rayon $R = 0$, soit un cambrage sur un angle vif, l'allongement de la zone tendue est tel que des criques qui apparaissent souvent sur la pièce.

De ce fait le cambrage sur un angle vif est à rejeter.

Le rayon R sera donc choisi assez grand et, si possible, égal à 5 fois l'épaisseur de la tôle.

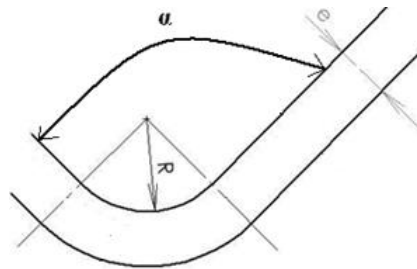


Figure I-24 : Rayon de pliage

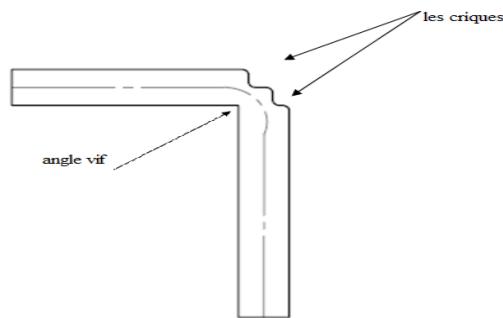


Figure I-25 : Formation des criques

I.3.5 Position de la fibre neutre

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

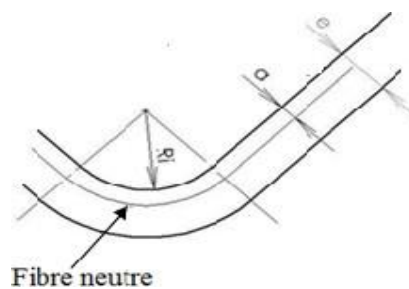


Figure I-26 : Position de la fibre neutre

Elle se situe à la distance a du bord intérieur. Suivant le rapport R_i/e , a varie comme suivant le tableau:

Tableau I-3: La variation de la distance a suivant le rapport R_i/e

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

I.3.6 Développement des pièces pliées

Pour trouver le flan de départ. La position de la fibre neutre varie en fonction du métal à travailler d'où l'influence de la tolérance sur l'épaisseur. Dans un grand nombre de cas, elle se situe à la face intérieure du pliage. Les pièces pliées sont par définition développables, il suffit donc, théoriquement de développer la fibre neutre.

La longueur du flan est égale à la somme des $\sum R_x + \sum L_x$ Avec :

$\sum R_x$: la somme des développements des rayons de pliage

$\sum L_x$: la somme des longueurs.

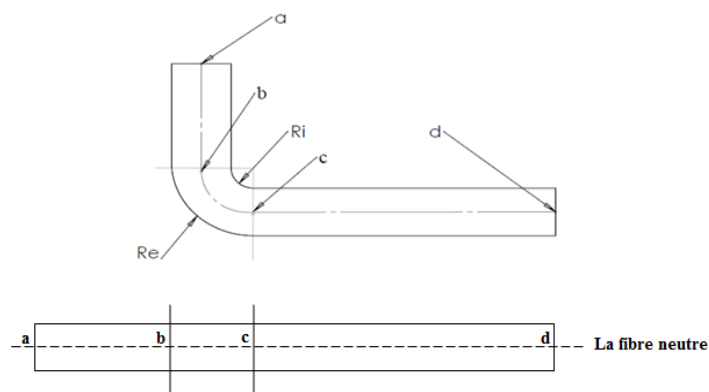


Figure I-27 : Développement des pièces pliées

I.3.7 Paramètres influents sur l'opération de pliage

On distingue deux paramètres principaux à définir pour obtenir une pièce finie.

➤ **Le rayon de la matrice de pliage**

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

$$r \geq 2e$$

➤ Le jeu de pliage

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

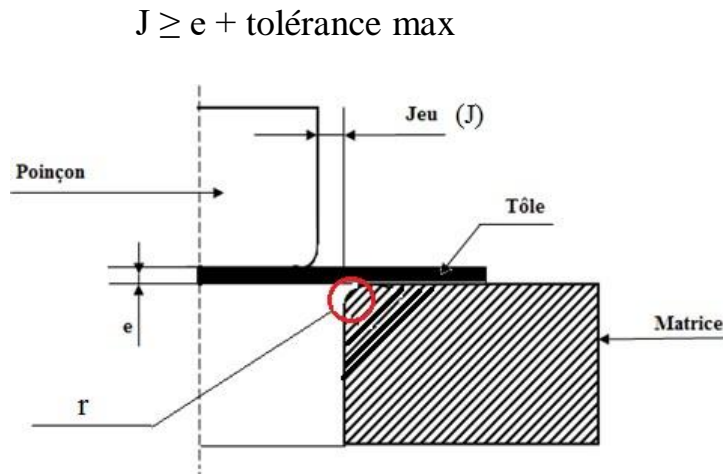


Figure I-28 : Jeu de pliage et rayon de la matrice

I.3.8 Effort de pliage [6]

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

$$F = (L \cdot e \cdot R_c) / 10 \quad (I-5)$$

Tels que :

F : Effort de pliage (daN) ;

L : Longueur de pli (mm) ;

e : Epaisseur de la tôle (mm) ;

R_c : Résistance de la tôle au cisaillement (daN/mm²)

I.3.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents procédés de mise en forme des métaux en feuilles entrant dans la fabrication de notre pièce; soient l'emboutissage, les différents types de découpage et le pliage.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons les deux types de procédé de formage qui sont le poinçonnage et le détourage.

CHAPITRE II

Le découpage ou le poinçonnage et le détournage

II Introduction

Pour découper et/ou poinçonner tout type de matériaux se présentant sous forme de feuille, deux techniques mécaniques particulières existent dans l'industrie : Le découpage classique et le découpage fin.

Nous allons voir dans un premier temps ce qui distingue ces deux procédés en nous intéressant à leurs outillages respectifs ainsi qu'à leurs caractéristiques mécaniques et techniques.

Le découpage au sens général du terme consiste à enlever de la matière par un cisaillement normal au plan de la tôle et éventuellement non perpendiculaire à ce plan. Dans la littérature, les études portent essentiellement sur le poinçonnage et le cisailage.

Les investigations sur le poinçonnage ont commencé dès le début du siècle dernier. Des études expérimentales et théoriques sur des configurations planes ou axisymétriques ont permis de développer les grandes théories qui définissent les modes de déformations au cours du processus ainsi que la distribution des contraintes en fonction de certains paramètres géométriques et matériels. Elles ont montré que, durant ce procédé, la tôle est soumise à un effort de cisaillement. Dans la suite, nous nous intéresserons à la compréhension du mécanisme de poinçonnage et des modes de cisaillement.

II.1 Le Procédé De Poinçonnage

II.1.1 Définition

Le poinçonnage est un cisailage de forme fermée. C'est un glissement de métal dans un plan transversal, sans que celles-ci se déforment et ne cessent d'être parallèle. Le débouchage du trou est exécuté à l'aide d'un poinçon et d'une matrice, deux outils comparables aux lames d'une cisaille.

Les machines classiques de poinçonnage sont constituées d'un poinçon, d'une matrice et d'un serre-flan. L'ensemble est monté sur une presse mécanique ou hydraulique. Le poinçon a la forme générale d'un cylindre mais d'autres formes peuvent exister. La tôle vient se fixer entre la matrice et le serre-flan (Figure II.1) [5].

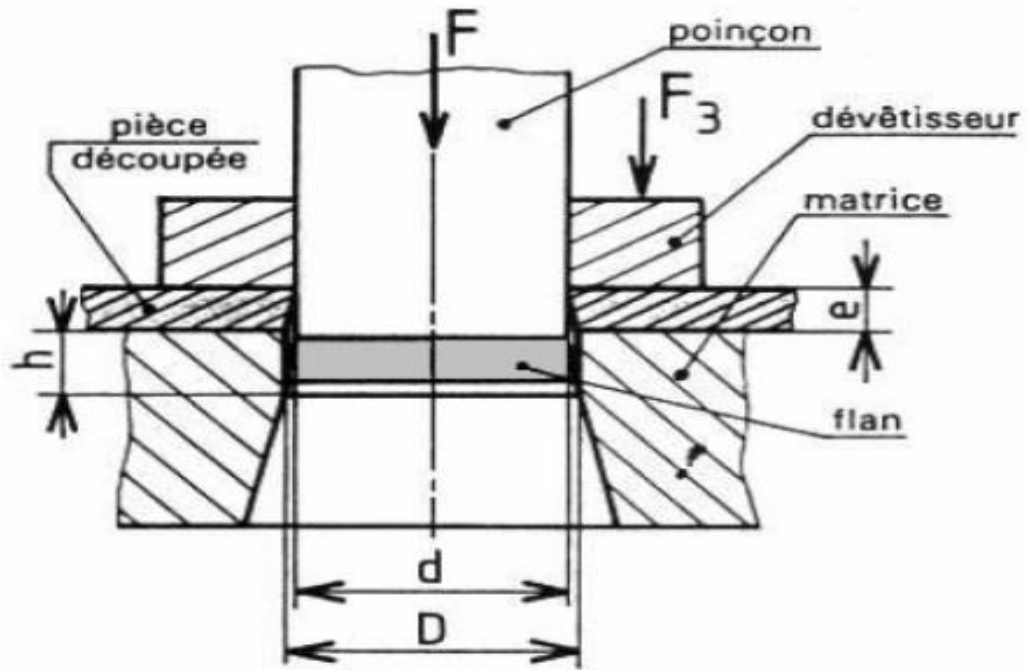


Figure II-1 : Représentation schématique du procédé de poinçonnage

II.1.2 Le principe

On considère que le poinçonnage est un cisailage de forme fermée, effectué par un poinçon agissant sur une matrice. Le principe reste le même que pour le cisailage.

La rupture s'effectue donc après un effort de traction.

Le principe de fonctionnement est comme suit :

1. Le poinçon et le dévêtisseur viennent au contact de la tôle.
2. Le poinçon commence à pénétrer dans la tôle.
3. Lorsque le poinçon rentre plus profondément dans la tôle la matière se cisaille. La débouchure correspond à la partie cisailée de la tôle.
4. Descente du poinçon jusqu'à son point mort bas afin d'éjecter la débouchure.
5. Le poinçon remonte. Le dévêtisseur maintient la pression sur la tôle.
6. Remontée complète en fin d'usinage.

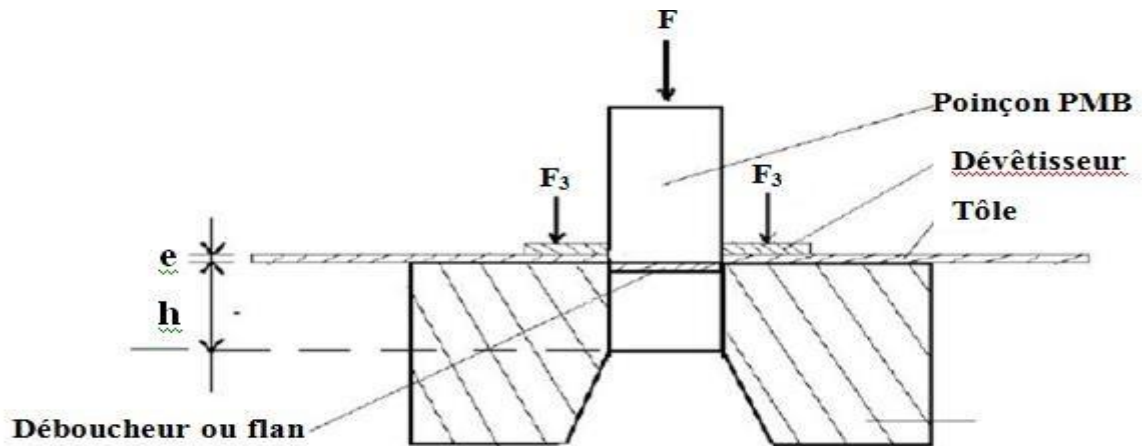


Figure II-2 : Outillage avec dévêisseur

II.1.2.1 Le poinçon [10]

Il est composé de plusieurs parties

- Le corps du poinçon et la partie servant à monter l'outil.
- La tête qui porte les arêtes tranchantes.
- La mouche (ou téton) utile pour positionner l'outil.
- Un angle de dépouille qui est de 2 à 3° pour limiter les frottements.

Sur les presses, ou sur les grignoteuses les outils ne possèdent pas forcément d'angles de dépouille [11].



Figure II-3 : Poinçon

Remarque :

Le poinçon de forme quelconque doit résister à la compression et au flambage, sa longueur libre est vérifiée par la relation suivante :

Avec :

$$L \leq \sqrt{E} \cdot \frac{I}{F} \quad (\text{II-1})$$

E : module d'élasticité en (N/mm²).

I : le moment quadratique de la section en (mm⁴).

F : effort de découpage en (N).

II.1.2.2 La matrice

Elle est le support d'empreinte du poinçon. A son axe elle comporte un trou aux formes et dimensions du poinçon, auquel on ajoute un jeu de quelques dixièmes de millimètres [12].

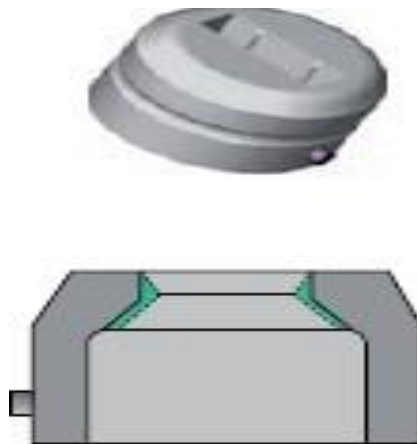


Figure II-4 : La matrice

II.1.3 Phases de poinçonnage

Le poinçon est guidé en translation, généralement avec un mouvement du haut vers le bas [12]. Initialement le poinçon vient au contact du matériau, et, avec l'accroissement de la pénétration, il déforme plastiquement la tôle jusqu'à engendrer des fissures. La croissance et la propagation de ces fissures se font dans les zones proches des rayons de courbure du poinçon et de la matrice. Finalement, lorsque la pénétration atteint une valeur critique, une rupture ductile se produit et la matière se sépare donnant ainsi la forme du produit final.

Cette pénétration critique se situe entre 15 et 85% de l'épaisseur de la tôle (Figure II.5). Elle dépend essentiellement du jeu, de la ductilité du matériau et de l'épaisseur de la tôle.

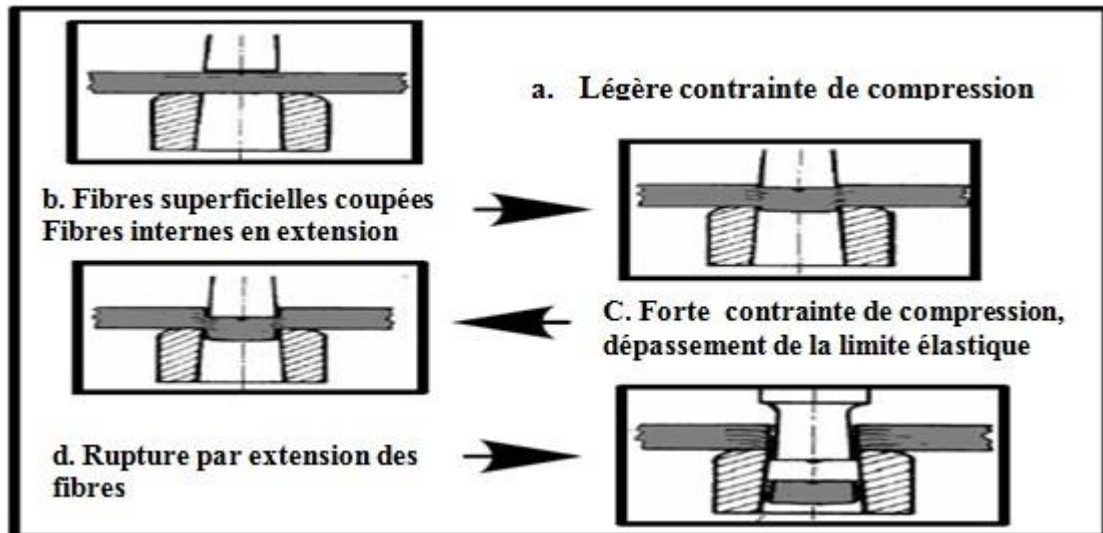


Figure II-5 : Les différentes phases de poinçonnage

Dans le but d'améliorer et d'optimiser ce procédé, les industries s'appliquent à analyser l'évolution de l'effort qu'exerce le poinçon sur la matière en fonction de sa pénétration [3].

La connaissance des efforts de coupe permet un choix convenable de la presse et une meilleure estimation de la durée de vie des outils. Un second indicateur qui intéresse les industries est le profil de découpe qui permet de juger la qualité finale du produit [13].

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 [14].

❖ 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 [5].

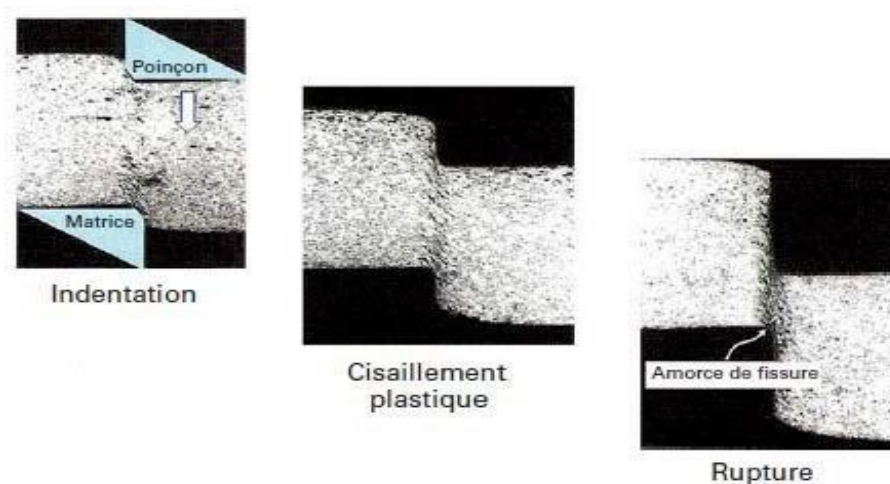


Figure II-6 : Phases de poinçonnage

II.1.4 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:

- Paramètres géométriques, (jeu de découpage),
- Paramètres liés au réglage de l'outil et de la presse.
- Paramètres liés à l'usure de l'outil.

II.1.4.1 Paramètres géométriques [4]

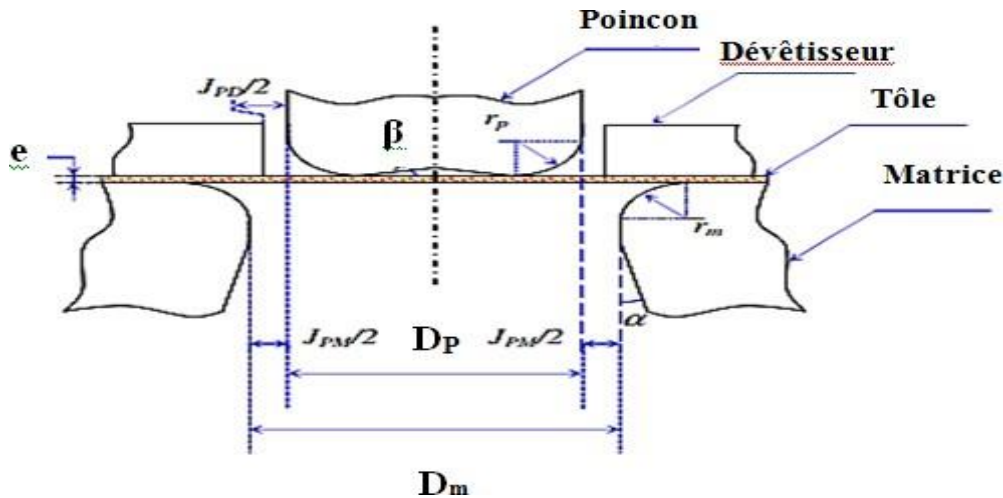


Figure II-7 : Nomenclature des éléments de la géométrie du découpage

- **Jeu poinçon-matrice, J_{pm}** C'est le paramètre le plus significatif du procédé de découpage, il influence directement la qualité du profil de la pièce découpée. Une diminution du jeu provoque l'augmentation de la zone cisailée et la diminution de la zone arrachée. Un jeu trop important perturbe le trajet de fissuration. Les valeurs de jeu trop faible pénalisent l'énergie mise en jeu pour la découpe.
- **Acuité D'arête Des Outils**, Les rayons des arêtes coupantes du poinçon et de la matrice, r_p et r_m : Pour des outils neufs, ces rayons correspondent pratiquement à des angles vifs. L'étude de l'influence des rayons des arêtes de l'outil sur la qualité de la découpe prend une part non négligeable dans les travaux sur le découpage.
- **Le jeu poinçon dévêtitseur, J_{pd}** , caractérise la précision du guidage du poinçon. D'autres éléments interviennent dans le découpage et influencent le résultat de la découpe. Ils sont liés au procédé.
- **L'angle de dépouille sur la matrice, α** : Le poinçon présente généralement aucune dépouille, ce qui permet de conserver ses dimensions constantes malgré les réaffutages (suite à l'usure). La matrice, pour les mêmes raisons, ne présente aucune dépouille sur quelques millimètres. Ensuite elle est dépouillée pour limiter l'empilage des pièces ce qui diminue les efforts de poussée du poinçon. L'usinage complémentaire de l'ouverture de la matrice est fait en conicité nommée « dépouille » et ce afin de faciliter l'éjection des pièces et des copeaux.

- **L'angle en bout de poinçon, β** : Pour faciliter la découpe, le poinçon peut présenter une pente depuis le bord jusqu'au centre dont la flèche est sensiblement égale à l'épaisseur du produit.

Pour le poinçonnage, le jeu est à prendre sur la matrice. Il doit être réparti à égalité sur toute la périphérie du poinçon et de l'ouverture de la matrice. Le jeu a une influence sur l'effort maximal de découpe et également sur le profil des pièces découpées.

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 (de façon à ce que les deux amorces de ruptures se rejoignent parfaitement).

Ce jeu de poinçonnage sera proportionnel à l'épaisseur poinçonnée et dépendra de la résistance du métal. En règle générale Pour les aciers de construction, pour l'aluminium et ses alliages, le cuivre et ses alliages, on choisit un jeu diamétral égal à l'épaisseur /10.

Pour les aciers durs comme pour les aciers inoxydables on choisira un jeu diamétral d'épaisseur/15 et pour laiton et acier doux e /20.

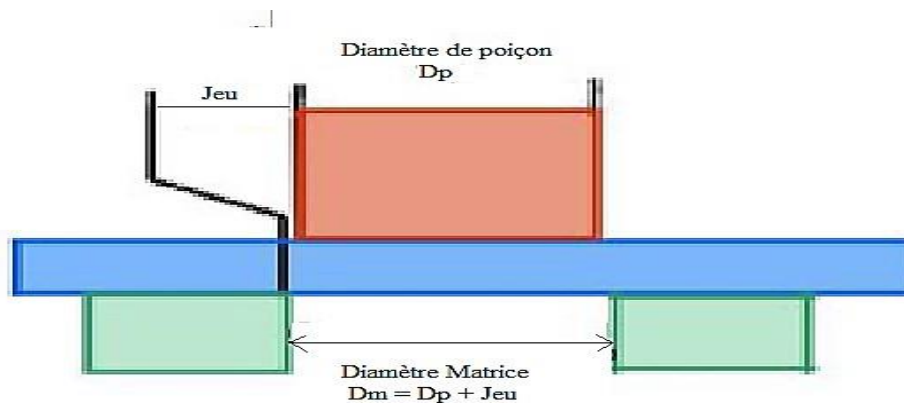


Figure II-8 : Jeu de découpage

II.1.4.2 Paramètres liés au réglage de l'outil [7]

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

A) Le serre-flan

Le serre-flan plaque la tôle sur la matrice pendant l'opération de découpe. 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 du déboucheur 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 du déboucheur.
- 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.

II.1.4.3 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 [7].

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.1.5 Effort de découpage et de poinçonnage

Les efforts de découpage et de poinçonnage d'un outil à bande, se calculent suivant la formule ci-dessous: [6]

$$F = P \cdot e \cdot R_c \quad (\text{II-2})$$

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),

II.1.6 Contraintes sur les poinçons

II.1.6.1 Contrainte de compression

Lorsque le poinçon descend avec un effort opposé à la bande de tôle, il est sollicité à une compression [6]. La contrainte de compression de l'outil est calculée suivant la formule II.4.

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

$$\sigma_{\text{comp}} < R_e \quad (\text{II-3})$$

$$\sigma_{\text{comp}} = \frac{F}{S} \quad (\text{II-4})$$

Avec :

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

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

F : Effort de découpage, (en N),

S : Section du poinçon, (en mm²).

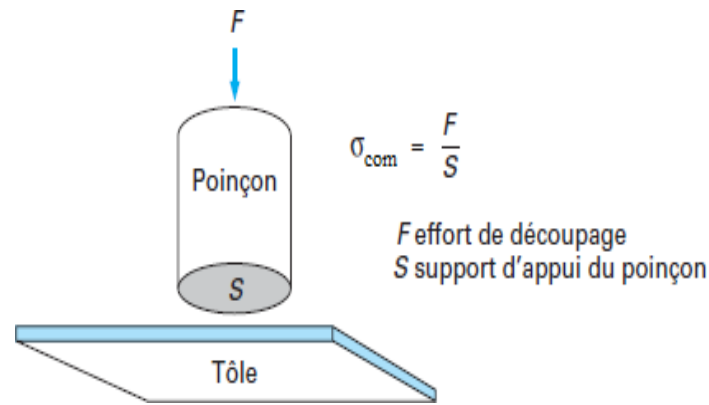


Figure II-9 : Contrainte de compression sur le poinçon

Dans le cas des poinçons ayant de petites sections ou de grandes longueurs, la contrainte de compression peut provoquer un flambement du poinçon [10]. 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.

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

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

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).

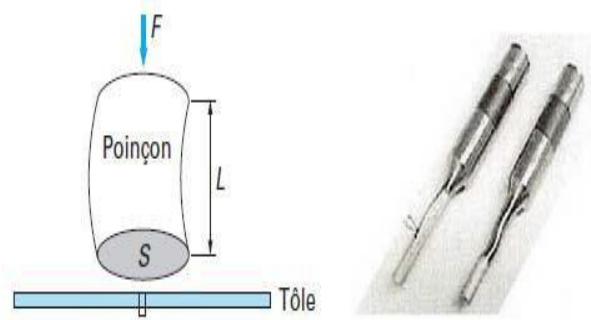


Figure II-10 : L'état d'un flambement du poinçon de découpage

II.1.7 Avantages et inconvénients du poinçonnage

II.1.7.1 Avantages [15]

- Par rapport au perçage, le poinçonnage est extrêmement économique (gain de temps, usure moindre des outils, affutage peu fréquent) et donne la possibilité d'utiliser toute sortes de formes pour les trous.
- Par rapport au découpage à la presse, le grignotage sur commande numérique permet de changer de série en minimisant les couts d'outillages et de découper de grands formats, et d'utiliser des outils simples et peu onéreux.

II.1.7.2 Inconvénients

- Limité dans les épaisseurs.
- Section minimale du poinçon limitée.

II.2 Le Détourage

II.2.1 Définition

Le détourage est une opération de finition d'un contour déjà ébauché, modifié au cours d'une déformation. Il consiste à enlever un excédent de métal autour d'une pièce préalablement formée. Le détourage est alors la dernière opération de formage. Suivant le type de pièce, on trouve plusieurs techniques:

Les collerettes, après emboutissage, ne sont jamais régulières, il est possible de leur donner une forme régulière par détourage. Lorsqu'on ne désire pas de collerette, l'arête de l'outil découpe suivant un bord non perpendiculaire à la surface de tôle.

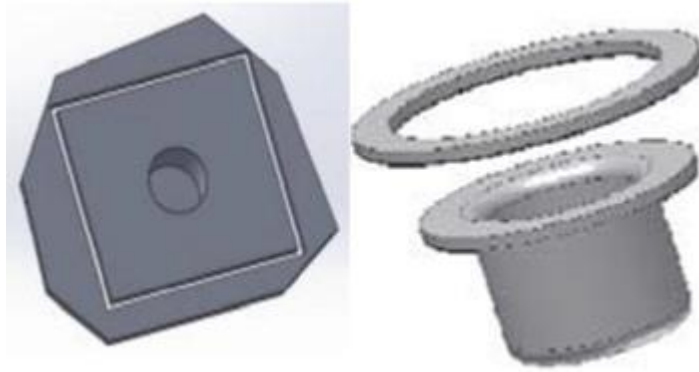


Figure II-11 : Détourage (Enlever ce qui est en dehors)

II.2.2 Aspects de caractérisation du procédé

La littérature montre que la caractérisation du procédé de découpage s'effectue à partir de deux types d'études : l'évolution de l'effort de découpage et l'analyse du profil de bord découpé.

II.2.2.1 Effort de découpage [4]

Il est caractérisé par la courbe « effort/ pénétration » qui permet de dimensionner la presse, elle permet également d'identifier les différentes phases de la découpe.

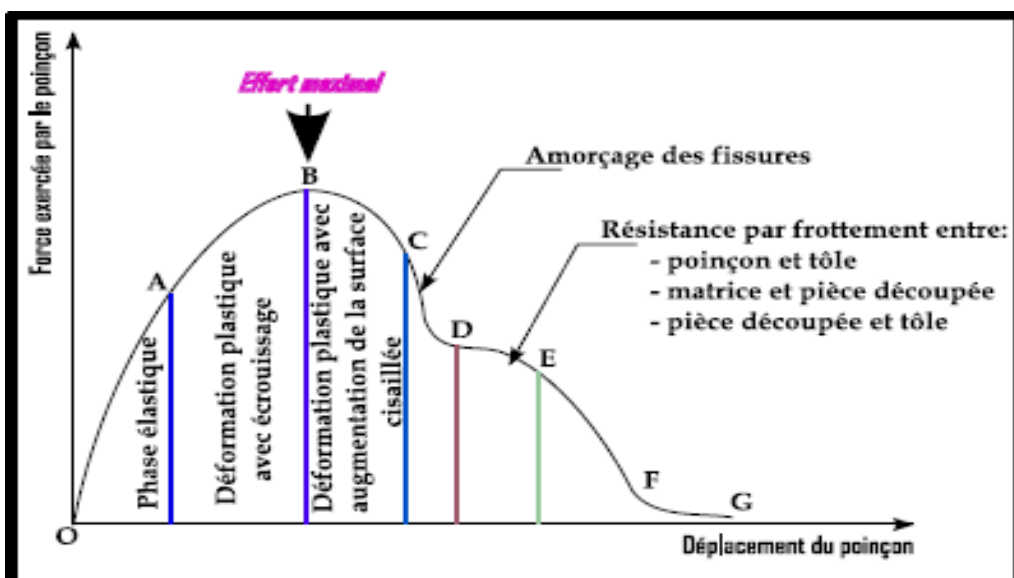


Figure II-12 : Comportement du matériau au cours de l'opération de découpage courbe (effort / déplacement)

- **Phase 1 OA** : Caractérise un comportement élastique. Dans cette phase, la partie de la tôle découpée subit un bombé attribué à un phénomène de flexion.
- **Phase 2 AB** : L'allure non linéaire de cette portion du diagramme indique une plastification de la tôle, plastification qui est accompagnée par un durcissement du matériau (écrouissage) caractéristique du comportement d'un matériau ductile.
- **Phase 3 BC** : La chute de l'effort exercé sur le poinçon depuis le point B est liée à une perte de portance de la tôle. Une partie de l'épaisseur de la tôle au voisinage de la matrice est cisailée. Autrement dit, on assiste à un début de découpage par réduction de la section cisailée qui engendre l'affaiblissement de la résistance de la tôle.
- **Phase 4 CD** : La chute brutale de l'effort à une profondeur de pénétration pratiquement constante, est attribuée à un amorçage de fissure et à la propagation de celle-ci.
- **Phase 5 DE** : La résistance de la tôle par cohésion étant totalement mobilisée (phase AB, phase BC, phase CD) la phase DE semble liée aux différents phénomènes qui interviennent après cisaillement de la tôle. Une résistance par frottement entre la pièce découpée et la tôle est présente dans cette phase.

II.2.2.2 Qualité de la découpe [7]

Il est possible de relier les différentes zones caractéristique du profil de découpe au diagramme « effort/déplacement », quatre zones principales apparaissent sur le profil de la pièce découpée.

- **La Tombée** : elle apparait dans la phase élasto-plastique du matériau. Elle est liée à la flexion sous l'effet du couple engendré entre le poinçon et la matrice. Cette zone correspond aux phases 1 et 2.
- **La Partie Cisailée** : elle a l'aspect lisse, consécutive aux déformations plastique subies par la tôle, on parle ici d'écoulement plastique. Elle se forme dans les zones 2 et 3.
- **La Partie Arrachée** : elle correspond à la rupture de la matière. Cette déformation importante localisée dans la phase 3, elle provoque l'apparition des microfissures qui se propagent rapidement sur les bords de la tôle.

- **La Bavure** : elle résulte de la formation de la tombée de découpe en phase 1 et de l'amorçage de fissure macroscopique en phase 4, cette zone elle doit être la plus réduite possible.

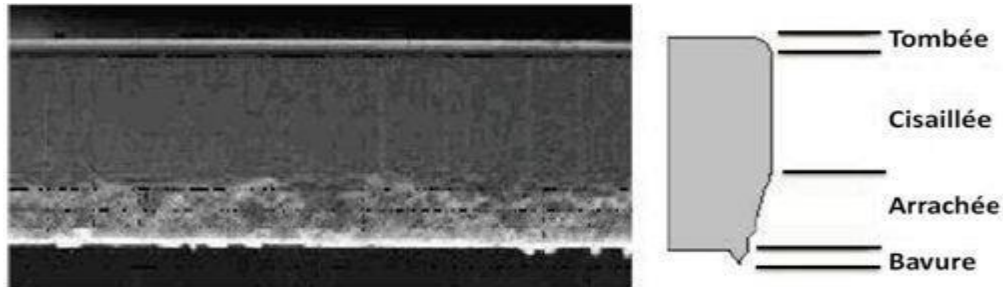


Figure II-13 : Caractérisation du profil d'une pièce découpée

II.2.3 Paramètres influant sur le procédé

La compréhension des principaux mécanismes de déformation lors de découpage dépend non seulement de la caractérisation du comportement du matériau, mais aussi des effets du couple procédé- matériau en termes de :

- paramètres géométriques : jeu poinçon-matrice, géométrie et usure des outils.
- Paramètres physiques : taille de grain, vitesse de déformation, dureté, frottement et température.

II.2.3.1 Le jeu de découpage entre le poinçon et la matrice

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.

II.2.3.2 Paramètres physiques [4]

- **Dureté du matériau** : l'effort maximal de découpage augmente de façon quasi linéaire avec l'augmentation de la dureté du matériau.
- **Vitesse de découpage** : la vitesse de coupe a une influence directe sur l'effort maximal de découpage et le profil de découpe. En effet, l'effort maximal de découpage diminue et la hauteur de la zone cisaillée augmente lorsque la vitesse de découpage augmente.

- **Température** : l'influence de la température sur le comportement des tôles dans le découpage est très importante. il y a diminution de l'effort maximal lors de l'augmentation de la température.
- **Microstructure** : Plus l'épaisseur de la tôle est faible de façon à ce qu'elle soit du même ordre de grandeur que celle des grains, plus la densité de joints de grains diminue. En effet, l'effort maximal de découpage diminue lorsque la taille de grains est augmentée.

II.2.4 Comportement tribologique lors d'une opération de découpage

Par définition, la tribologie est la science relative aux surfaces à action réciproque en mouvement relatif, donc aux phénomènes, de frottement, de glissement et d'usure. Ceux-ci interviennent lorsque deux surfaces solides en contact glissent l'une sur l'autre. Un système tribologique (ou un tribosystème) se définit comme un système mécanique, formé de deux matériaux antagonistes, maintenus en contact par l'action d'une force, animés d'un mouvement relatif, séparés ou non par un troisième corps et placés dans un environnement de travail. Lors d'une opération de découpage, un frottement a lieu entre la matrice et la tôle et entre le poinçon et la tôle.

II.2.4.1 Frottement poinçon/tôle

L'arête d'un poinçon est soumise à des sollicitations mécaniques et thermiques causé par le contact avec la tôle, ces derniers sont dus aux contraintes statiques et dynamiques et aux frottements que subit cette arête lors de la découpe. On constate que l'effort de dévêtissage est habituellement faible lorsque l'outil est neuf et il devient véritablement important avec son usure.

Le frottement poinçon/tôle peut être décomposé en deux étapes ; la première étape à lieu lors de la pénétration du poinçon dans la tôle. La deuxième étape à lieu lors de la remonter du poinçon après la rupture de la tôle. Dans cette partie on associe l'action du dévêtissage du poinçon. $F_{dév}$ correspondant à son extraction, traduit le frottement du poinçon sur la tôle découpée, qui applique un effort de serrage $F_{serrage}$ par le retour élastique sur le poinçon.

On peut définir cette force de dévêtissage par la formule suivante :

$$F_{\text{dév}} = \mu \times F_{\text{serrage}}$$

Avec μ le coefficient de frottement poinçon/tôle, selon l'usure de l'outil que l'on admet, pourra varier de 2 à 7 % de l'effort de découpage.

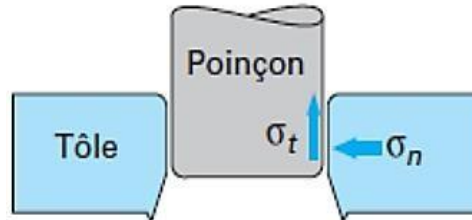
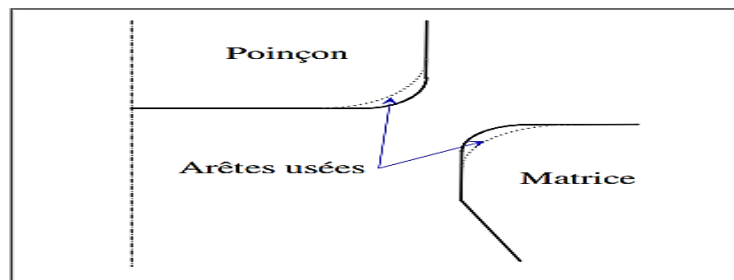


Figure II-14 : Contraintes à l'origine de l'effort de dévêtissage

II.2.5 Usure des outils de découpage [4]

L'usure est le processus d'endommagement des surfaces en contacts, sous l'effet du frottement. Il s'agit d'un phénomène incontournable dans tous les contacts mécaniques tel le processus de mise en forme par découpage. Au cours du procédé, les poinçons et les matrices subissent une usure progressive de leurs parties actives.



La variation de ces dimensions a pour conséquence l'augmentation de la valeur du jeu poinçon/matrice, ainsi l'effort nécessaire au découpage. Le poinçon durant sa durée de vie subit trois étapes d'usure suivantes :

- Rodage : usure rapide avec une vitesse d'usure décroissante.
- Marche normale : conditionne la durée de vie du poinçon (usure faible et constant).
- Vieillessement et mort : vitesse d'usure croissante, le poinçon se casse dans certains cas.

II.2.5.1 Définition de l'usure

L'usure est peut être définie comme la perte ou le déplacement non désiré de matière d'un solide en mouvement relatif ou en contact avec un autre solide. Cela se traduit par une perte de masse, modification de cotes ou de forme, elle est généralement accompagnée de transformation physique et chimique des surfaces. Par conséquent, l'usure d'un poinçon peut être définie comme une dégradation graduelle de sa surface active provoquée par le frottement entre l'outil et la tôle.

II.2.5.2 Mécanisme de l'usure

Il existe quatre paramètres d'usure sur les pièces frottées :

- **Usure par adhésion** : elle se manifeste par le transfert de matière de l'un des premiers corps sur le corps antagoniste et elle est susceptible d'aboutir dans sa forme la plus sévère au grippage. L'usure adhésive résulte de la formation de micro-jonctions entre les surfaces en contact et la création de micro-ruptures dans l'un des corps en contact [4].
- **Usure par abrasion** : elle est produite par des particules ou des aspérités dures. Celles-ci provoquent un déplacement et un enlèvement de matière, par déformation plastique et rupture par cisaillement, avec formation de micro-copeaux. L'usure abrasive se manifeste par la création de rayures, de griffures ou par un effet de polissage.
- **Usure par fatigue** : l'application sur les surfaces de contact de charges élevées cycliques est responsable d'un endommagement par fatigue mécanique superficielle, se traduisant par l'apparition de fissures en surface ou très proches de celle-ci, se propageant dans le volume donnant naissance au phénomène connu sous le nom d'écaillage.
- **Usure par corrosion** : un processus chimique, d'oxydation par exemple, couplé au frottement, est à l'origine de ce mécanisme d'endommagement.

Dans la plupart des cas, les outils de découpage montrent des signes d'usure abrasive dans les zones de contact. Qui se produit généralement dans l'outillage quand la surface de la tôle contient des particules dures [8].

II.2.5.3 Quantification de l'usure des poinçons [8]

Une usure importante des outils provoque une mauvaise géométrie sur les pièces découpées, D'un autre côté, l'arrêt des opérations de découpage, pour changer ou réaffûter les poinçons usés, est une contrainte supplémentaire qui pénalise la productivité; la

maitrise de l'usure des outils répond à double soucis :

- Quantitatif : réduire le coût des pièces produites.
- Qualitatif : obtenir des surfaces ayant des géométries optimales.

L'usure d'un poinçon peut avoir plusieurs origines et être influencée par de nombreux paramètres. Les variables opératoires influant sur l'usure sont nombreuses et les principales sont :

- Les caractéristiques du mouvement relatif ; cinématique, vitesse, amplitude...,
- L'effort normal appliqué,
- La rugosité des surfaces en contact (états des surfaces),
- L'environnement (atmosphère, température, lubrifiant...).

II.3 Conclusion

Ce chapitre présente une description non exhaustive des travaux bibliographiques liés au découpage mécanique et aux phénomènes caractérisant cette opération de mise en forme.

Il se dégage des études expérimentales que la caractérisation du processus de découpe se fait principalement à travers la courbe effort/déplacement identifiée lors d'un cycle de la presse de découpe, et par le profil de l'épaisseur de la tôle découpée. Ces deux éléments sont liés à la nature du matériau découpé et aux différents paramètres de procédé. La qualité de découpage des tôles peut être vérifiée en mesurant l'importance relative des zones bombée, cisailée, arrachée et la taille de bavure.

Concernant la bavure de découpe, la littérature nous montre qu'il existe de nombreuses méthodes de mesure, principalement fondées sur un prélèvement destructif de la pièce découpée et donc de la métrologie en quelques rares positions du bord découpé. Il convient de noter le degré d'homogénéité de la bavure le long du bord découpé. En fait, les mesures présentées sont obtenues, au mieux, par quatre images distinctes du bord découpé, mais plus généralement sur un seul profil. Les difficultés rencontrées dans la mesure de la hauteur de la bavure, par les moyens traditionnels, peuvent également être accrues lors de l'examen de la formation de la bavure au cours d'un processus industriel avec un outil progressif. En effet, celle-ci, formée lors d'une découpe, se trouve écrasée sur la matrice par le serre-flan lors de l'opération de découpe suivante. Partant de ce fait, il est nécessaire

CHAPITRE II : Le découpage ou le poinçonnage et le détourage

de construire une méthode de quantification qui s'affranchi des difficultés de mesures. En ceci en prenant en compte l'état de la bavure et sa distribution sur un bord découpé.

L'usure des poinçons de découpe est un aspect très important dans la maîtrise du découpage. Habituellement, l'usure est mesurée après démontage du poinçon en effectuant un relevé du rayon de l'arête de découpe. Cette façon de faire n'est pas adaptée pour un suivi de l'évolution de l'usure des poinçons tout au long de la découpe. Les mesures issues de cette méthode combinées éventuellement à des mesures de la quantité de bavure produite sur les pièces découpées permettraient une corrélation de ces deux phénomènes afin de maîtriser la qualité des produits découpés.

L'évolution de l'usure est analysée en suivant la variation de ce rayon en fonction du nombre de cycles de découpe. Or, le relevé réel d'un profil d'usure sur un poinçon montre généralement une usure plus significative sur la partie verticale du poinçon que sur sa partie basse. Ainsi, une prédiction du profil d'usure sous sa forme réelle au lieu d'un rayon parfait, semblerait plus adéquate pour la quantification et l'analyse de l'usure totale d'un poinçon.

CHAPITRE III

Les Presses Et Machines Utilisées

III Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux différentes presses utilisées pour la mise en forme par déformation plastique des tôles citées dans le chapitre précédent.

Dans l'industrie, plus généralement en construction mécanique, les transformations de métaux en feuilles, 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).

Les presses peuvent être classés suivant :

- Leur mécanisme : hydraulique, mécanique, pneumatique.
- Leur fonction : presse de forgeage, presse d'estampage, presse plieuse, etc.
- Leur structure : presse à genouillère, presse à vis.
- Leur contrôlabilité : conventionnelle, servo-presses.

III.1 Les Différentes Presses Mécaniques

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

- Le mode de transmission d'énergie;
- Le nombre de coulisseaux;
- La forme du bâti. [14]

III.1.1 Le mode de Transmission d'Énergie

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

- Les presses mécaniques;
- Les presses hydrauliques.

III.1.1.1 La presse mécanique

Dans ce type de presse, les mouvements nécessaires pour effectuer les procédés de formages, sont commandés mécaniquement par l'énergie emmagasinée dans le volant d'inertie sous forme d'énergie cinétique. Cette énergie est ensuite transmise au coulisseau en mouvement de translation du PMB (la distance minimale entre la table et le coulisseau) au PMH (la distance maximale).

Les presses mécaniques sont d'une plus grande rapidité de fonctionnement, elles sont plus répandues car elles permettent d'atteindre des cadences élevées. [10]



Figure III-1 : Presse mécanique. [12]

III.1.1.1.1 Avantages

- Le tonnage de la presse mécanique est facilement ajusté.
- Permet des opérations avec petit tonnage pour les matrices fragiles et la vitesse d'emboutissage reste constante pendant toute la course.
- Les pannes de la presse mécanique sont facilement détectables.

III.1.1.1.2 Inconvénients

- Difficulté d'arrêt de coulisseau en cas de danger.
- La presse mécanique ne peut pas être surchargée car le système est protégé par deux soupapes de décharge séparément ajusté.

III.1.1.2 La presse hydraulique

Une presse hydraulique est une machine avec un circuit hydraulique qui fournit une grande force de compression. Elle permet de transmettre un effort démultiplié et un déplacement, servant à écraser, déformer un objet. Il est préférable d'utiliser une presse hydraulique plutôt qu'une presse mécanique, lorsqu'il est indispensable de réguler la pression et de la maintenir constante pendant un certain laps de temps.



Figure III-2 : Presse Hydraulique.

III.1.1.2.1 Avantages

- Les presses hydrauliques sont très robustes. Elles peuvent créer une grande quantité de tonnage pression.
- Elles sont idéales pour l'hydroformage qui est une technique de formation des métaux nécessitant la présence d'un agent liquide.
- Elles sont lentes ce qui donne suffisamment de temps au métal pour se former.

III.1.1.2.2 Inconvénients

- Modification de la course du coulisseau.
- Un moteur plus puissant que celui de la presse mécanique parce qu'il n'y a pas un volant d'inertie pour stocker l'énergie.
- La maintenance de la presse hydraulique est plus difficile. [6]

III.1.2 La différence entre la presse mécanique et la presse hydraulique

- La presse hydraulique demande plus de temps et d'énergie pour la maintenance que la presse mécanique.
- Une presse mécanique est mue par la force musculaire ou avec un moteur électrique et la transmission de l'effort est cinématique ex : crémaillère, engrenages, poulies, excentriques.
- Une presse hydraulique est mue par un fluide, eau, huile, avec une pompe soit manuelle soit électrique ou thermique et l'effort est produit par un vérin, ce type de presse permet d'obtenir des efforts plus importants que les systèmes mécaniques. [17]

III.1.3 La forme du bâti : On distingue:

III.1.3.1 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. Parfois, elles sont à simple ou à double effets. Le système de construction adopté sur les presses à bâti en arcade, a l'avantage d'éviter le phénomène de déflexion. [6]



Figure III-3 : Presse à Arcade

III.1.3.2 Presses à Montants Droits

Les presses à montants droits ont un bâti qui se compose de trois (03) éléments : la table, les montants et le chapiteau, sont reliés par des tirants, en acier serrés à chaud. Les distances entre le chapiteau et la table et celles entre les montants, sont choisies, selon le travail, à exécuter. Ayant de grandes puissances et étant robustes, ces presses peuvent atteindre des dimensions importantes, elles ont une puissance de 1000tonnes-force.



Figure III-4 : Presse à Montant droit

III.1.4 Le nombre de coulisseaux

III.1.4.1 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.[6]



Figure III-5 : presse à simple effet

III.1.4.2 Presse à Double Effets

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

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

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

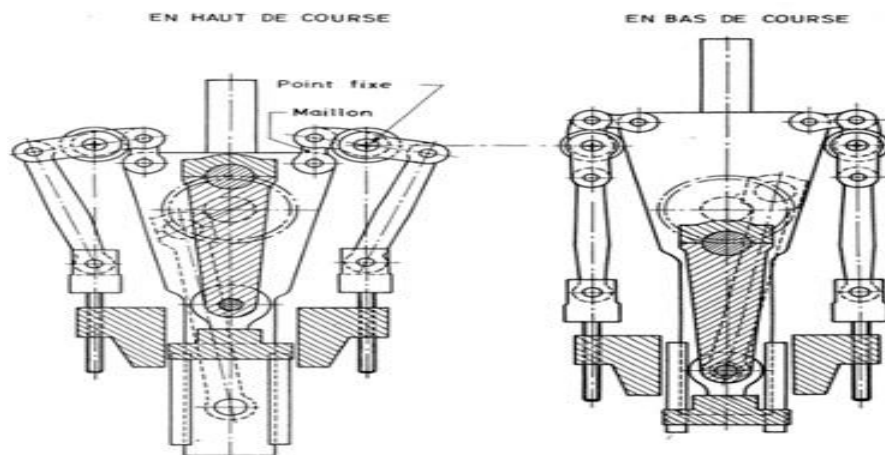


Figure III-6 : Presse à Double Effets

III.1.5 Les Mécanismes de commande

Ils permettent de transformer le mouvement circulaire uniforme du moteur, en mouvement rectiligne alternatif du coulisseau, en utilisant les systèmes suivants : [6]

a) Système Bielle-Manivelle

Il s'agit d'un système mécanique de transformation de mouvement, qui transmet le mouvement au coulisseau. Ce système est composé de deux (02) éléments principaux :

- Une bielle
- Une manivelle ou bien un vilebrequin

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.

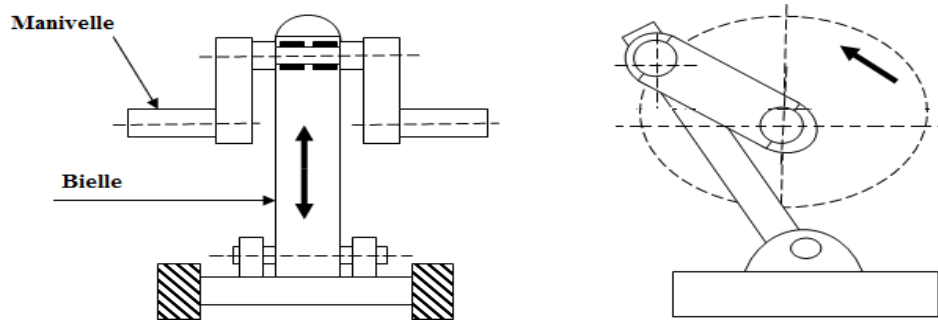


Figure III-7 : Système Bielle-Manivelle

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.

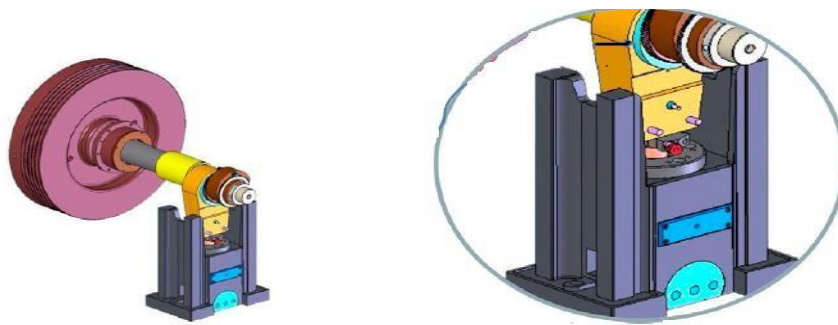


Figure III-8 : Exemple du Système Excentrique dans une Presse

c) Système à Genouillère

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

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

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

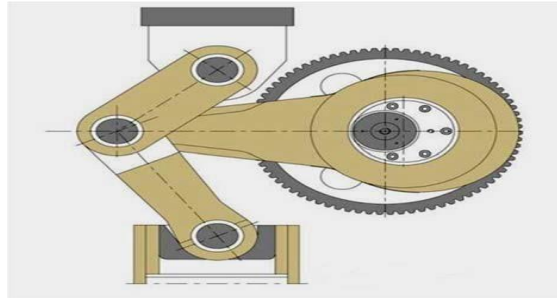


Figure III-9 : Exemple de Système à Genouillère

d) Système à Came

Le système se compose d'un mécanisme qui est constitué, de deux (02) éléments. Une came, de profil vaguement ovoïde (en forme de section d'œuf dur), est l'élément menant, placé sur un arbre avec un mouvement de rotation, l'autre élément est animé d'un mouvement de translation oscillatoire, cet élément est mené, généralement, dans une presse. Il s'agit du coulisseau, Le but de ce système, est de transformer le mouvement rotatif animé par la came, en un mouvement alternatif de translation du coulisseau, et cela, grâce au profil de la came, plaquée contre l'élément mené.

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

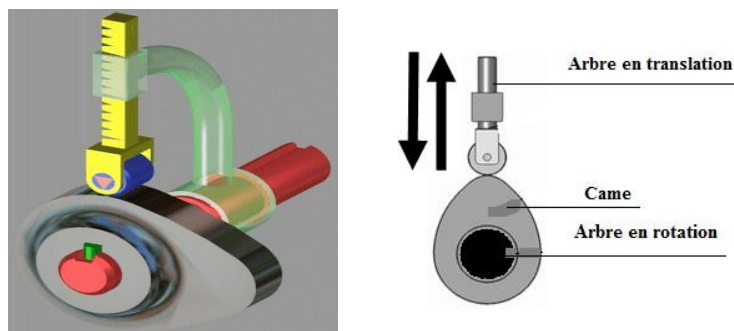


Figure III-10 : Principe du Système à Came

III.1.6 L'Embrayage

Dans une presse, l'embrayage fait la liaison entre, le moteur et le mécanisme de commande du coulisseau.

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

III.1.6.1 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 [18].

Éléments principaux d'embrayage

Principe de fonctionnement à clavette tournante

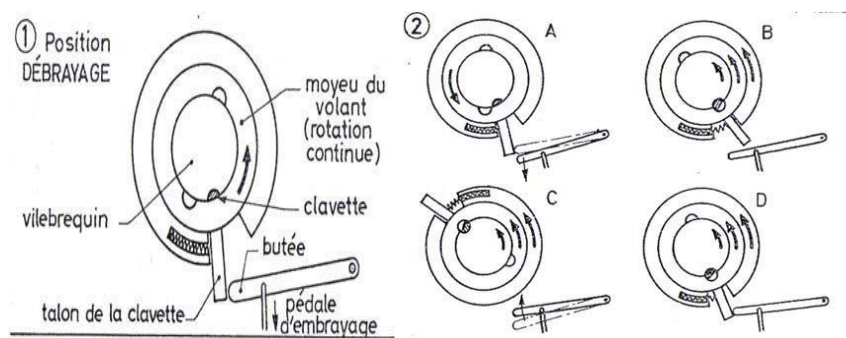


Figure III-11 : Système d'Embrayage à Clavette Tournante

III.2 Les outils de presses (poinçonnage/détourage) [17]

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. En plus de ces opérations il doit satisfaire un certain nombre de conditions :

- Séparer la pièce et les déchets;
- Guider la bande du métal et régler sa position;
- Assurer la sécurité et une production élevée;
- Faciliter le changement d'éléments usés et l'affûtage.

III.2.1 Éléments Principaux Des Outils De Presses

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

- Bloc mobile : il porte le poinçon (fixé sur le coulisseau),
- Bloc fixe : il porte la matrice (fixée sur la table de presse).

III.2.2 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°. [7]

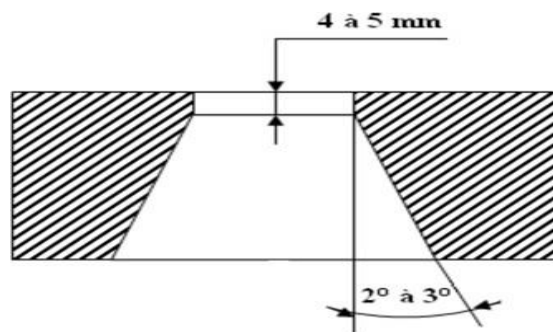


Figure III-12 : Dimensions d'une Dépouille

III.2.3 L'Affûtage

Lorsque les arêtes coupantes d'un outil s'arrondissent et forment des rayons, à l'aide d'une affûteuse, 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.

III.3 Outil à suivre

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.13) 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.14), équipé 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.

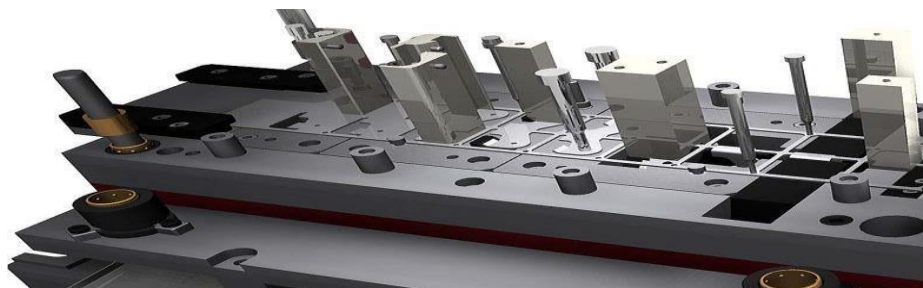


Figure III-13 : Exemple d'un outil à suivre avec sa mise en bande

Le parachèvement

Il existe aussi des lignes de mise à longueur. Dans ce cas, la bobine déroulée passe par un redresseur. Des cintrages successifs entre des rouleaux sont appliqués à la matière, pour l'obtention d'un niveau de planéité sur la bande. Le deuxième effet est d'en diminuer les contraintes résiduelles (ces contraintes seront par la suite libérées pendant la découpe, la matière cherchant à revenir à son point d'équilibre naturel, ce relâchement entrainera des déformations néfastes sur la pièce obtenue). Après redressage, la bande de tôle est ensuite découpée pour obtenir des feuilles à la longueur et largeur souhaitée. Les feuilles sont empilées par paquet en vue de leur stockage



Figure III-14 : Le passage de la bobine déroulée

III.4 Positionnement des différents éléments

L'architecture standard d'une ligne comporte les éléments de déroulage, redressage, découpage et d'aménage (Figure III.15). [13]

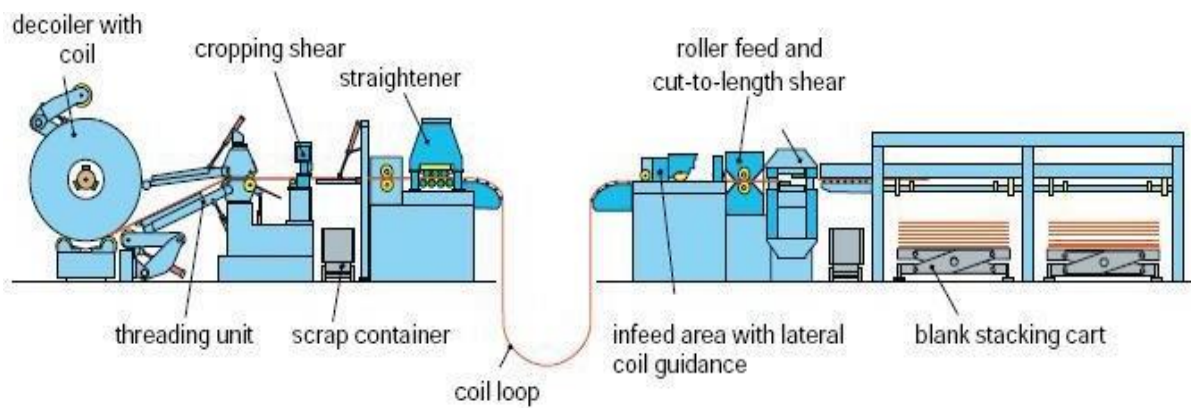


Figure III-15: Architecture standard d'une ligne de découpe automatisée

III.5 Les moyens d'automatisation [13]

L'automatisation en découpe mécanique, vise à alimenter la presse en matière, par un flux continu et sans intervention de l'opérateur. La presse est l'élément le plus coûteux. La ligne est dimensionnée pour que la presse en soit le goulot d'étranglement. Son alimentation

en matière doit s'effectuer de manière synchronisée avec l'opération de découpe. Cela se fait en trois phases :

- L'alimentation en matière.
- La découpe, comprenant la phase de dévêtissage, les outils étant encore engagés, la tôle doit être complètement immobile.
- L'évacuation de la pièce et des chutes.

La phase de découpe dépend entièrement des cadences de la presse. L'automatisation se concentre donc sur les deux autres phases. Suivant le format de la matière, plusieurs solutions existent.

III.5.1 Cas des tôles en feuille

Un robot poly-articulé, chargé d'un préhenseur, prend la feuille directement au-dessus de la pile, pour la positionner dans l'outillage de la presse. Le préhenseur est constitué d'un châssis sur lequel sont disposés des ventouses. Les surfaces ne sont pas endommagées, et cela autorise des formes et des mises en positions complexes. La tôle est évacuée après formage par un second robot pour éviter les temps morts. Ainsi plusieurs presses peuvent être disposées en ligne pour effectuer des opérations successives de formage (Figure III.15). Ces lignes sont imposantes et coûteuses.

Remarque : l'intégration de la ligne de coupe à longueur peut se faire juste en amont de cette ligne de formage. Le flux devient alors tendu entre la coupe des tôles, et leur formage, ce qui réduit la manutention et le stockage de matière.

III.5.2 Cas des bobines de tôle

- a) **Le dérouleur** permet comme son nom l'indique, le déroulage progressif de la bobine. Il assure l'apport continu de matière à la ligne et il s'effectue par un moteur entraînant le mandrin. Il peut aussi être laissé en roue libre. Dans ce cas, le redresseur assure le déroulage. Le terme dévidoir est employé.

Les conceptions peuvent varier légèrement. Certains modèles autorisent une réserve d'une ou plusieurs bobines. L'objectif étant de réduire le temps d'arrêt de l'ensemble de la ligne durant les phases de changement de bobine.

Des accessoires sont ajoutés suivant les cas d'utilisation. Les fortes épaisseurs et certaines nuances à haute élasticité tendent à se dérouler toutes seules. Ceci provient du retour élastique de la matière. Elles sont cerclées par les fournisseurs pour éviter ce relâchement. Lors de sa mise en place sur le dérouleur, bras presseur (Figure III.16) est utilisé pour maintenir la bande et garantir la sécurité des opérateurs.

Des guides latéraux (Figure III.16), sont utilisés dans le cas des feuillards de faible largeur. Ils permettent de garder une cohésion de l'ensemble des enroulements après décerclage.



Figure III-16 : dérouleur

b) Le redresseur est utilisé pour corriger le défaut de planéité de la bande créé par son enroulement. Il est composé de rouleaux inférieurs et supérieurs disposés en quinconce. Ils forment localement des systèmes de flexion trois points. Ainsi plusieurs opérations de cintrages successives permettent la mise à plat de la tôle. Suivant la qualité et le type de redressage souhaité, les redresseurs possèdent un nombre plus ou moins important de rouleaux. Cela va de 7 à 15 rouleaux. Le réglage en hauteur des rouleaux supérieurs est ajusté en fonction de l'épaisseur, du rayon à corriger, et du retour élastique de la tôle.

Des rouleaux entraineurs sont disposés à l'entrée et à la sortie du redressage. Ils entraînent la tôle par adhérence.

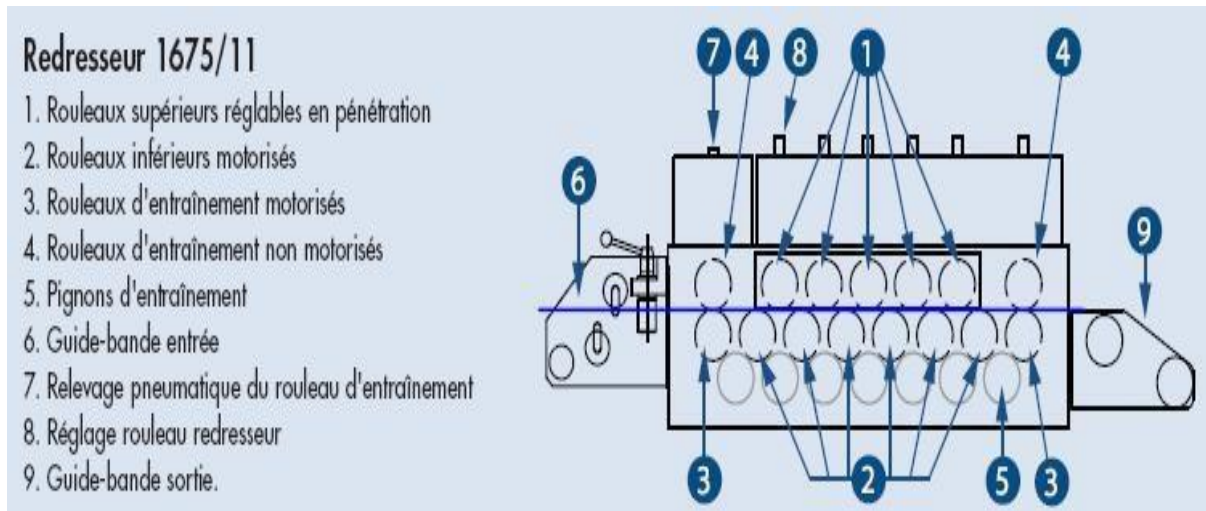


Figure III-17 : éléments constitutifs d'un redresseur

- c) **Le système d'aménage** effectue l'avance de la bande de tôle dans l'outillage. Contrairement aux feuilles, le seul mouvement nécessaire pour une bande de tôle est une translation. Les systèmes d'alimentation sur ce type de ligne sont plus simples et de ce fait moins coûteux. Plusieurs technologies, existent pour effectuer l'avance.
- d) **Les pinces pneumatiques** maintiennent la tôle par un vérin fixé sur un support mobile. Ce support est déplacé au pas souhaité par un second vérin. La tôle est relâchée du support mobile puis retenue sur un support fixe par un troisième vérin pendant que le support mobile retourne à sa position initiale. La mise en position et le réglage du pas s'effectue avec le placement de capteurs suivant l'axe de déplacement. L'avance est effectuée à 1 mm près. Plus la course n'est importante et plus le vérin actionnant la pince mobile devra être long.

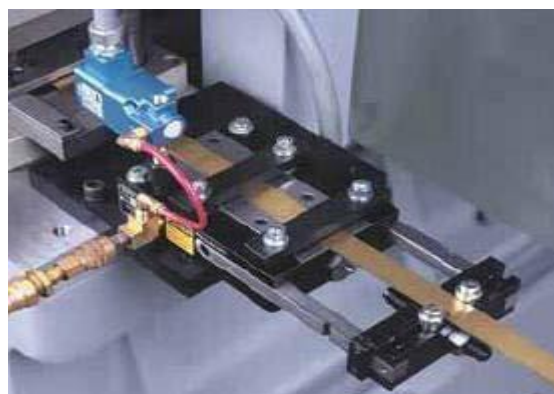


Figure III-18 : Pince pneumatique

- e) **Les pinces à rouleaux** disposent de deux rouleaux motorisés, tournant en sens inverse. Ils pincent la tôle sans la déformer plastiquement, et l'entraînent par adhérence. Leur inconvénient est que la surface en contact dépend uniquement de la largeur de la bande, contrairement aux pinces pneumatiques ou elle dépend des dimensions des pinces. Les systèmes à rouleaux permettent donc une force d'entraînement moins importante que les systèmes pneumatiques. En revanche, leur taille est indépendante de la course d'aménage.



Figure III-19 : aménage à rouleaux

- f) **La synchronisation** de la pince avec la presse est réalisée suivant 4 étapes. En premier, une bande de tôle suffisante est en position pour être découpée. Pendant toute la phase de découpe et juste avant le dévêtissage, la tôle est immobile. La pince peut toutefois effectuer son retour (étapes 2 et 3 de la Figure III.20), Dès que le poinçon est dégagé, la pince amène la bande de tôle pour la découpe suivante. [13]

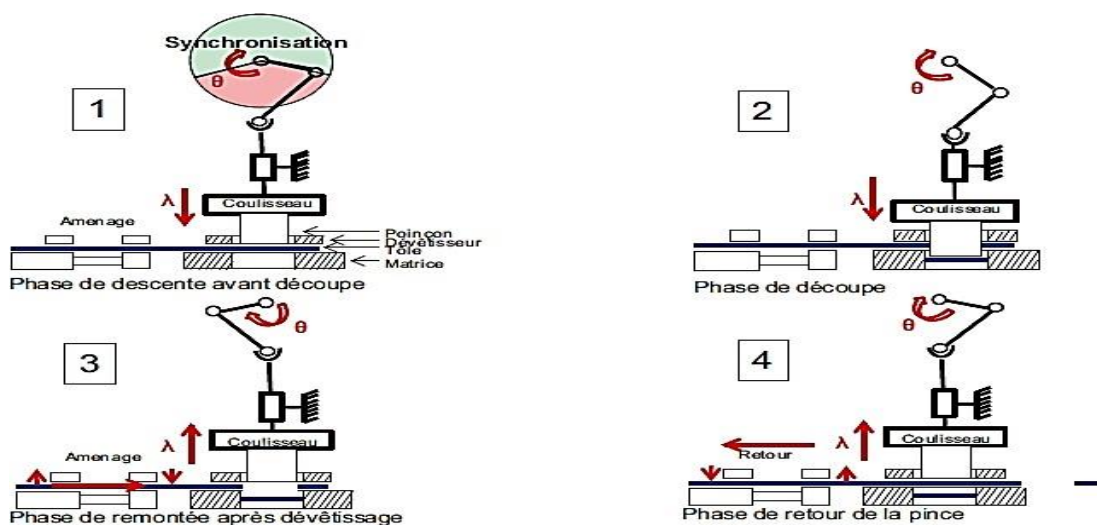


Figure III-20 : Cadencement des phases d'aménage sous presse

g) **La boucle** est utilisée pour pallier le manque de synchronisation des différents éléments. Même si le dérouleur et le redresseur fonctionnent en continue, il est impossible d'avoir la même vitesse sur l'un et l'autre. Il y a une dérive de la vitesse entre les deux machines. Leur synchronisation ne peut pas être parfaite. Pour éviter ce problème une boucle fonctionnant comme une réserve tampon est insérée entre les deux machines. En position basse la boucle est remplie, le dérouleur se stoppe. Inversement, en position haute, le dérouleur est remis en marche pour alimenter la boucle [13]. Le contrôle de la hauteur est assuré par un palpeur mécanique, ou un capteur à ultra son. Une autre boucle est insérée entre le redresseur et l'aménage. Ses caractéristiques sont:

- H sa hauteur.
- D sa longueur.
- L la longueur de tôle dans la boucle.
- S la réserve maximale de tôle qui équivaut à $L_{maxi} - L_{mini}$.

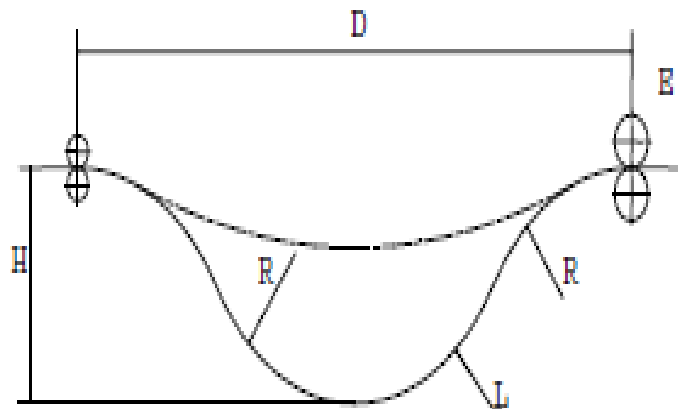


Figure III-21 : Schéma d'une boucle

III.6 Graissage des outils

Les outils sont des petites machines qui nécessitent le graissage pour assurer sa durée de vie et éviter l'usure. Toutes les parties frottant seront lubrifiées avec soin.

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait un aperçu global sur les différents types de presses utilisées dans l'industrie, leur classification et leur principe de fonctionnement.

Les presses sont très importantes dans l'industrie et sont largement utilisés pour concevoir beaucoup de produit qu'on utilise. Pour engendrer un mouvement on utilise soit la méthode mécanique ou hydraulique et chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients et le choix d'une méthode se fait suivant la tâche à réaliser.

CHAPITRE IV

Etude Et Conception De L'outil

IV Introduction

La conception est la phase créative d’un projet d’ingénierie. Le but premier de la conception est de permettre de créer un système ou un processus répondant à un besoin, tout en respectant un cahier de charge qui dépend essentiellement de la qualité, la quantité et le prix.

Une conception est toujours associée à une partie d’étude et de calcul pour assurer la performance du produit avant de lancer sa production.

IV.1 Présentation de la pièce

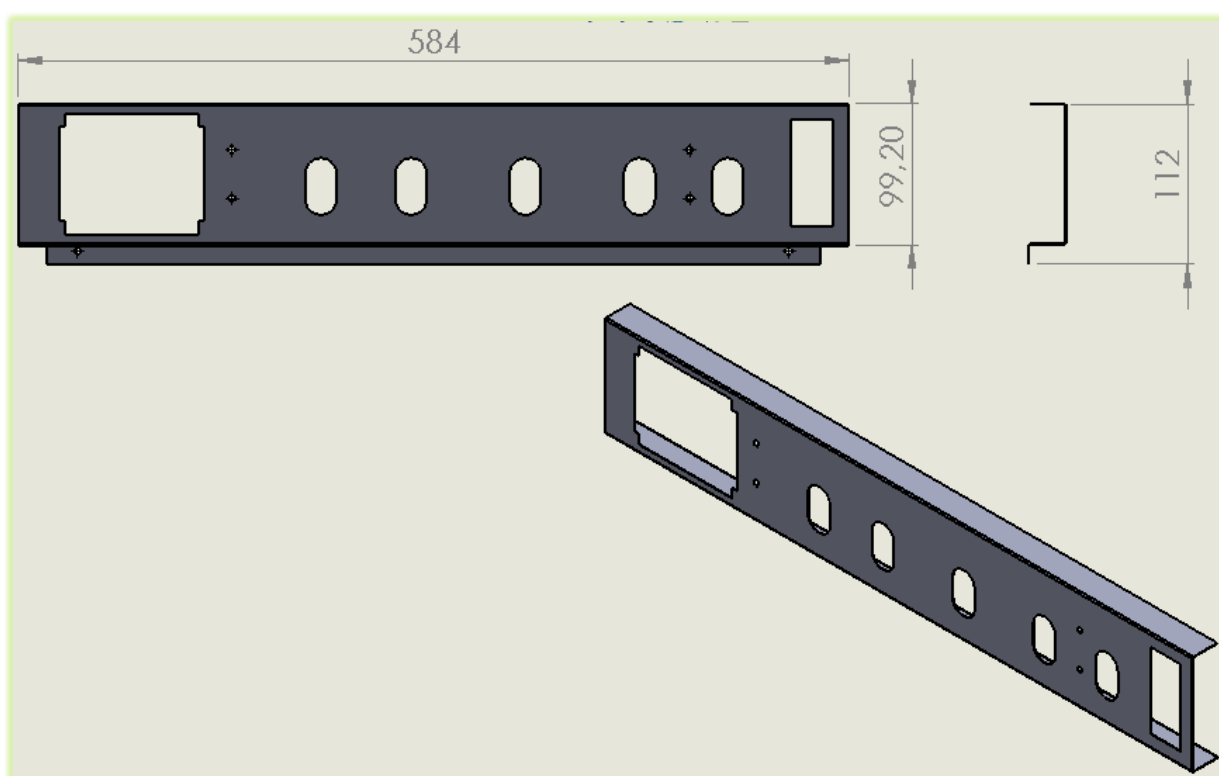


Figure IV-1 : La forme de la pièce à réaliser

La figure ci-dessus représente le sous bandeau d’une cuisinière ENIEM. Il est conçu pour fixer le bandeau en verre. Cette pièce a une longueur de 584 mm et une largeur de 112 mm après développement, et 0.6 mm d’épaisseur.

IV.2 Emplacement de la pièce sur le produit

La figure ci-dessous nous montre l'emplacement de la pièce par rapport à la cuisinière



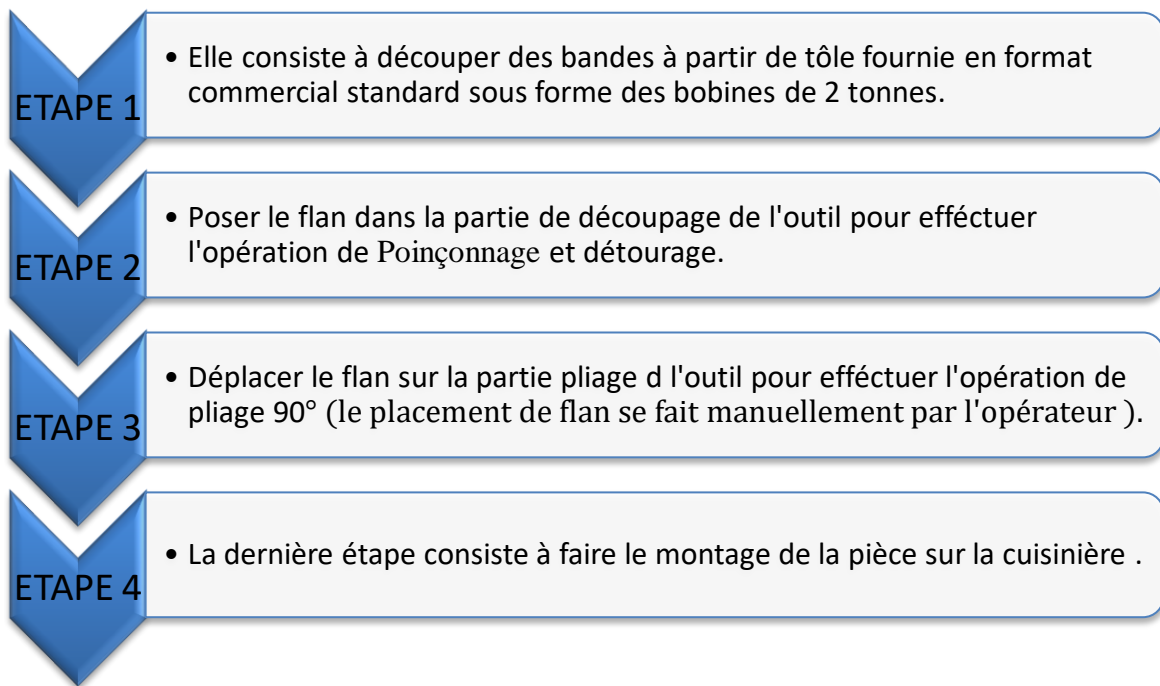
Figure IV-2 : Emplacement de la pièce

IV.3 Travail demandé

Le travail consiste à l'étude et conception d'un outil de détournage, poinçonnage et de pliage, d'un sous bandeau d'une cuisinière ENIEM, avec un seul coup de la presse.

IV.4 Le processus de fabrication

Le processus de fabrication du sous bandeau passe par 4 étapes et le schéma ci-dessous montre l'enchaînement de ces étapes :



Conclusion

A la fin on passe au contrôle de la pièce, qui consiste à contrôler la conformité géométrique et dimensionnelle de la pièce par rapport au dessin de définition.

IV.5 Cahier de charge [16]

Notre travail consiste à la conception d'un outil (poinçonnage, détournage et pliage) pour la réalisation d'un sous bandeau des cuisinières ENIEM, dont les caractéristiques mécaniques sont présentes sur le Tableau (IV-1).

Les aciers utilisés pour ce genre de fabrication sont utilisé pour la fabrication des produits plats laminés à froid, non revêtus.

La tôle utilisée doit être conforme à la norme suivante : EN 10209:2013

IV.5.1 Fiche technique de la tôle

Les informations ci-dessous ont été fournies par l'ENIEM dans leur fiche technique :

IV.5.1.1 Caractéristiques du matériau

1) Caractéristiques mécaniques

Tableau IV-1 : Caractéristiques mécaniques du matériau

Limite d'élasticité R_P à 0.2% (limite conventionnelle d'élasticité)	Résistance à la rupture R_m	Allongement après rupture (A80%)
220 MPa	270/350 MPa	(A80%) = A_{min} = 36%

2) Caractéristiques chimiques

Tableau IV-2 : Caractéristiques chimique du matériau

C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Tn (%)
0.08	0.60	0.045	0.050	-

Le reste c'est du Fer (Fe)

IV.6 Calcul des efforts

La pièce à réaliser (sous bandeau) passe par trois étapes simultanées : poinçonnage, détourage et pliage. Les différents efforts à appliqués pour obtenir la forme finale sont :

❖ Poinçonnage

La figure ci-dessous représente les différentes formes à poinçonner numérotés de 1 à 13 :

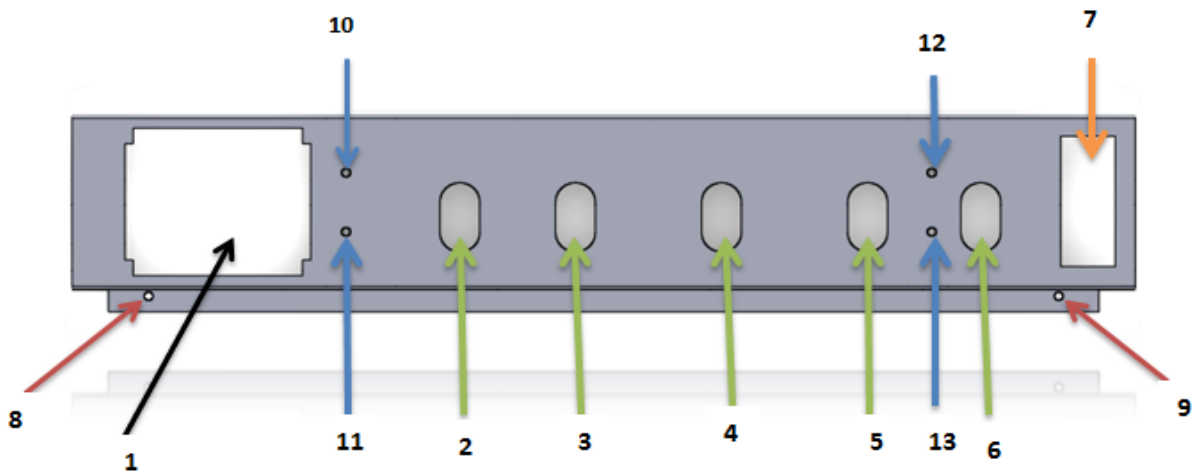


Figure IV-3 : Représentation de différentes formes à poinçonner

Tableau IV-3 : Numérotation des efforts pour chaque forme de poinçonnage

Efforts de poinçonnage	Formes
Fp ₁	1
Fp ₂	2
Fp ₃	3
Fp ₄	4
Fp ₅	5
Fp ₆	6
Fp ₇	7
Fp ₈	8
Fp ₉	9
Fp ₁₀	10
Fp ₁₁	11
Fp ₁₂	12
Fp ₁₃	13

IV.6.1 Calcul de l'effort de poinçonnage [7]

Pour le calcul des efforts de poinçonnage on utilise la formule suivante :

$$F_p = P \times e \times R_{Pg}$$

En fabrication, pour tenir compte de l'usure du tranchant des lames et des frottements, il est préférable de remplacer R_{Pg} par R_m (résistance à la traction du matériau)

$$R_{Pg} = 0,8R_m$$

En prend :

$$R_m = 350 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{A.N : } R_{Pg} = R_m \times 0,8 = 350 \times 0,8 = 280 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{Pg} = 280 \text{ N/mm}^2$$

Avec :

P : le périmètre à poinçonner.

e : l'épaisseur de la tôle.

R_{Pg} : Résistance pratique au cisaillement en daN/mm^2

IV.6.1.1 Calcul de l'effort de poinçonnage pour chaque forme

IV.6.1.1.1 Calcul de l'effort de poinçonnage formel

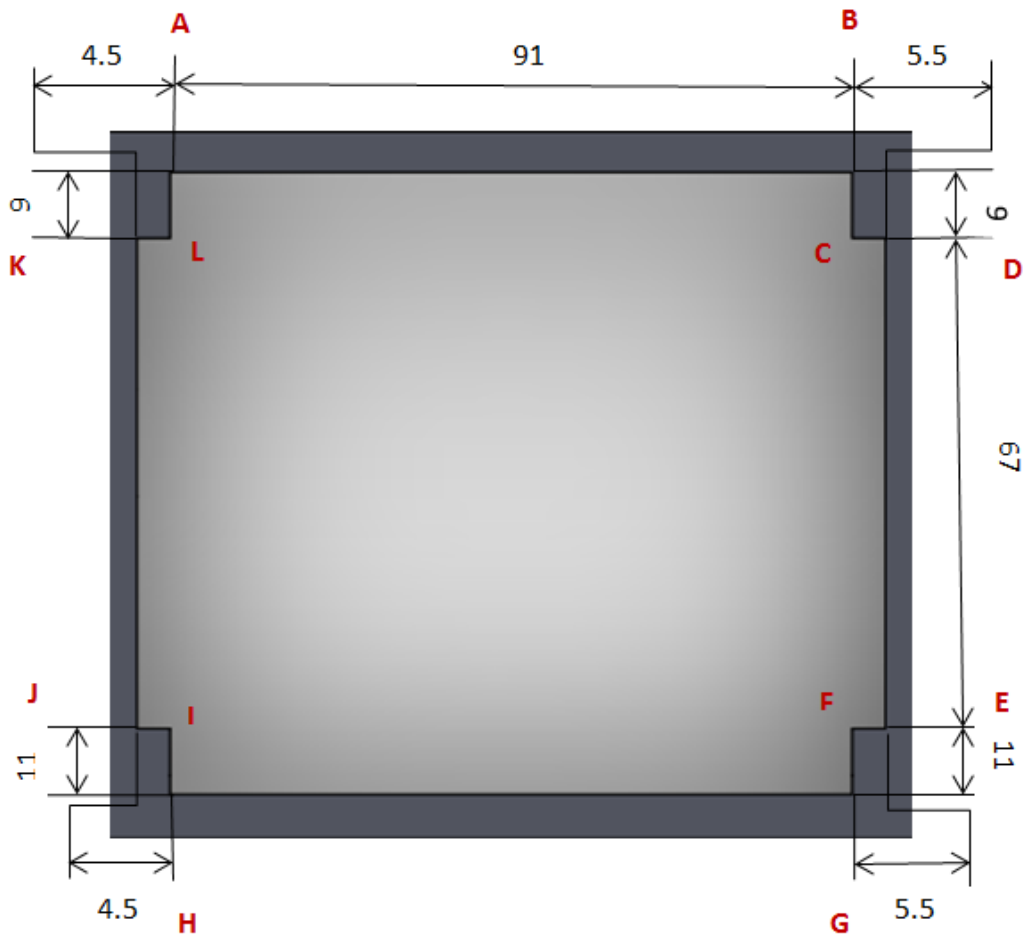


Figure IV-4 : Poinçonnage de forme 1

1) Calcul de périmètre

$$P_1 = AB + BC + CD + DE + EF + FG + GH + HI + IJ + JK + KL + LA$$

$$P_1 = 91 + 9 + 5.5 + 67 + 5.5 + 11 + 91 + 11 + 4.5 + 67 + 4.5 + 9$$

$$P_1 = 376 \text{ mm}$$

2) Calcul de l'effort de poinçonnage

$$F_{p1} = P_1 \times e \times R_g$$

$$F_{p1} = 376 \times 0.6 \times 28$$

$$F_{p1} = 6316.8 \text{ daN}$$

IV.6.1.1.2 Calcul de l'effort poinçonnage forme7



Figure IV-5 : Poinçonnage de forme 7

1) Calcul de périmètre

$$P_7 = (30 + 75) \times 2 = 210\text{mm}$$

2) Calcul de l'effort de poinçonnage

$$F_{p7} = P_7 \times e \times R_g$$

$$F_{p7} = 210 \times 0,6 \times 28$$

$$F_{p7} = 3528 \text{ daN}$$

IV.6.1.1.3 Calcul de l'effort poinçonnage forme 2, 3 ,4 ,5 et 6

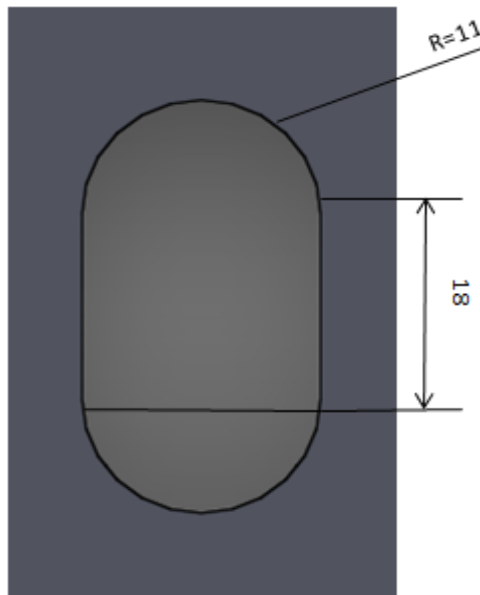


Figure IV-6 : Poinçonnage de forme 2

1) Calcul de périmètre :

$$P_2 = [(18 \times 2)] + [2 \times 3.14 \times 11]$$

$$P_2 = 105.08$$

2) Calcul de l'effort de poinçonnage

$$F_{p2} = P_2 \times e \times Rg$$

$$F_{p2} = 105.08 \times 0,6 \times 28$$

$$F_{p2} = 1765.34 \text{ daN}$$

Comme les sections des trous S2, S3, S4, S5 et S6 sont égaux

$$\text{D'où: } F_{p2} = F_{p3} = F_{p4} = F_{p5} = F_{p6}$$

$$F_{p2} + F_{p3} + F_{p4} + F_{p5} + F_{p6} = 8826.7 \text{ daN}$$

IV.6.1.1.4 Calcul de l'effort de poinçonnage forme 10 ,11 ,12 et 13

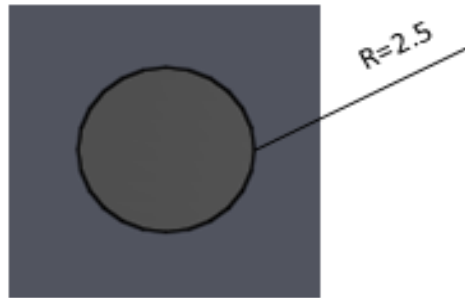


Figure IV-7 : Poinçonnage de forme 10

1) Calcul de périmètre

$$P_{10} = 2\pi \times R$$

$$P_{10} = 2 \times 3,14 \times 2,5 = 15,7 \text{ mm}$$

$$P_{10} = 15,7 \text{ mm}$$

2) Calcul de l'effort de poinçonnage

$$F_{p10} = P_{10} \times e \times R_g$$

$$F_{p10} = 15,7 \times 0,6 \times 28$$

$$F_{p10} = 263,76 \text{ daN}$$

Comme les sections des trous S_{10} , S_{11} , S_{12} , S_{13} sont égaux

$$D'où: F_{p10} = F_{p11} = F_{p12} = F_{p13}$$

$$F_{p10} + F_{p11} + F_{p12} + F_{p13} = 1055,04 \text{ daN}$$

IV.6.1.1.5 Calcul de l'effort de poinçonnage forme 8,9

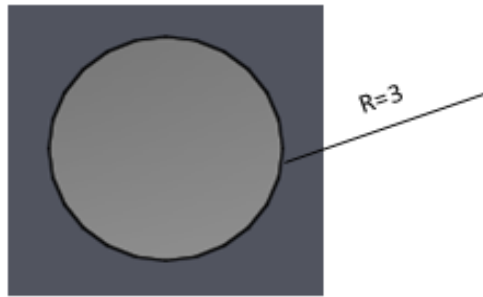


Figure IV-8 : Poinçonnage de forme 8

1) Calcul de périmètre

$$P_8 = 2\pi \times R$$

$$P_8 = 2 \times 3,14 \times 3$$

$$P_8 = 18,84 \text{ mm}$$

2) Calcul de l'effort de poinçonnage

$$F_{p8} = P_{10} \times e \times R_g$$

$$F_{p8} = 18,84 \times 0,6 \times 28$$

$$F_{p8} = 316.512 \text{ daN}$$

Comme les sections S8 et S9 sont égaux,

D'où: $F_{p8} = F_{p9}$

$$F_{p8} + F_{p9} = 633.024 \text{ daN}$$

IV.6.1.2 L'effort total de poinçonnage

$$F_{p_{total}} = F_{p1} + (F_{p2} + F_{p3} + F_{p4} + F_{p5} + F_{p6}) + F_{p7} + (F_{p8} + F_{p9}) + (F_{p10} + F_{p11} + F_{p12} + F_{p13})$$

$$F_{p_{total}} = 6316.8 + 8826.7 + 3528 + 633.024 + 1055.04$$

$$F_{p_{total}} = 20359.92 \text{ daN}$$

❖ **Détourage:** Le périmètre de détourage nommé de A à H

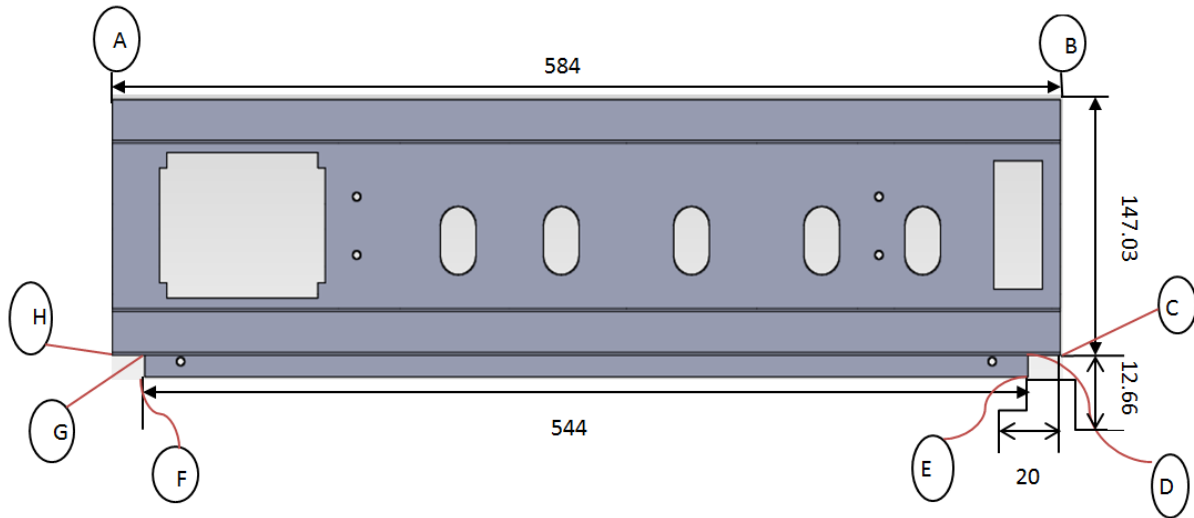


Figure IV-9 : Dimension du contour à détourer

IV.6.2 Calcul de l'effort de détourage

1) Calcul de périmètre

$$P = L_{\text{Total}}$$

$$L_{\text{Total}} = L_{AB} + L_{BC} + L_{CD} + L_{DE} + L_{EF} + L_{FG} + L_{GH} + L_{HA}$$

$$L_{\text{Total}} = 584 + 147.03 + 20 + 12.66 + 564 + 12.66 + 20 + 147.03$$

$$L_{\text{Total}} = 1507.38 \text{ mm}$$

Donc : $P = 1507.38 \text{ mm}$

2) L'effort total de détourage

$$F_d = P \times e \times R_{pg}$$

$$F_d = 1507.38 \times 0,6 \times 28$$

$$F_d = 25323.99 \text{ daN}$$

IV.6.3 L'effort total de découpage

$$F_{\text{dé}} = F_{p_{\text{total}}} + F_d$$

$$F_{\text{dé}} = 20359.92 + 25323.99$$

$$F_{\text{dé}} = 45683.91 \text{ daN}$$

IV.6.4 Calcul de l'effort du dévêtissage $F_{dév}$ (extraction)

C'est l'effort nécessaire pour décoller le poinçon de la bande de métal. Cet effort varie suivant l'importance du déchet autour de celui-ci.

Pour un découpage en pleine tôle, l'effort d'extraction est égal à 7% de l'effort de découpe.

$$F_{dév} = F_{dé} \times 7\%$$

$$F_{dév} = 7\% \times 45683.91$$

$$F_{dév} = 3197.87 \text{ daN}$$

IV.6.5 Calcul de l'effort d'éjection

C'est l'effort nécessaire pour dégager la pièce découpée de la matrice. Cet effort est d'environ 1,3% de l'effort de découpage.

$$F_{éj} = F_{dé} \times 1,33\%$$

$$F_{éj} = 45683.91 \times 0,0133$$

$$F_{éj} = 607.60 \text{ daN}$$

IV.6.6 Effort total

L'effort total est la somme de tous les efforts :

$$F_{total} = F_{p_{total}} + F_d + F_{dév} + F_{éj}$$

$$F_{total} = 20359.92 + 25323.99 + 3197.87 + 607.60$$

$$F_{total} = 49489.38 \text{ daN}$$

IV.6.7 Calcul l'effort du pliage

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

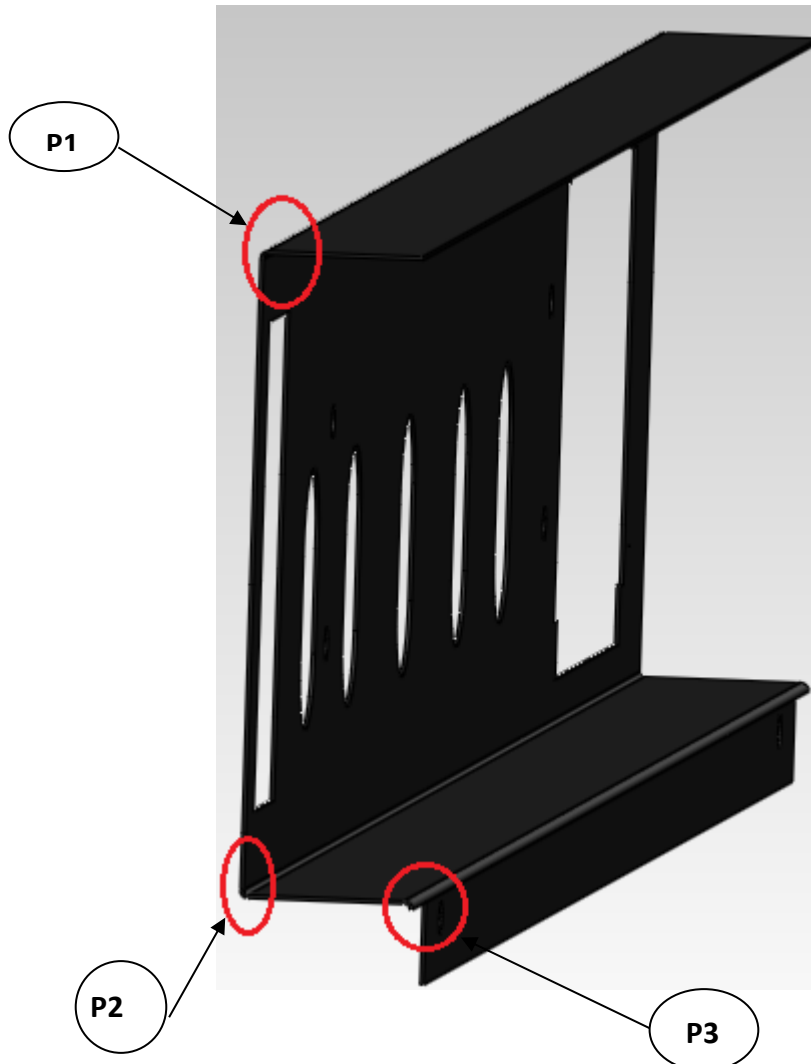


Figure IV-10 : Différents plis du sous bandeau

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.

$$F = \frac{e.L.Rc}{10}$$

e : l'épaisseur de la tôle, (en mm)

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

Rc : Résistance de la tôle au cisaillement, (en daN/mm²)

IV.6.7.1 Effort de pliage de forme P1 et P2 :

$$F_{p1}=F_{p2}=\frac{0.6 \times 584 \times 280}{10}$$

$$F_{p1}=F_{p2}=9811.2 \text{ daN}$$

IV.6.7.2 Effort de pliage de forme P3 :

$$F_{p3}=\frac{0.6 \times 544 \times 280}{10}$$

$$F_{p3}=9139.2 \text{ daN}$$

IV.6.7.3 Calcul l'effort de pliage total :

$$F_{p\text{total}}=F_{p1}+F_{p2}+F_{p3}$$

$$F_{p\text{total}}=28761.6 \text{ daN}$$

IV.6.8 Calcul l'effort de dévêtissage $F_{dév}$:

$$F_{dév}=F_{p\text{total}} \times 7\%$$

$$F_{dév}=28761.6 \times 0.07$$

$$F_{dév}=2013.312 \text{ daN}$$

IV.6.9 Calcul de l'effort d'éjection $F_{éj}$:

$$F_{éj}=F_{p\text{total}} \times 1,33\%$$

$$F_{éj}=28761.6 \times 0.0133$$

$$F_{éj}=382.53 \text{ daN}$$

IV.6.10 Effort total

$$F_{\text{total}}=F_{\text{pliage}}+F_{éj}+F_{dév}$$

$$F_{\text{total}}=28761.6 + 382.53 + 2013.312$$

$$F_{\text{total}}=31157.44 \text{ daN}$$

IV.6.11 Jeu de découpage

Pour que la tranche de la pièce découpée soit propre, il est important de prévoir un jeu de coupe entre la matrice et le poinçon. Selon le type de l'opération à effectuer. Le jeu est pris, soit sur la matrice ou bien, sur le poinçon. Dans notre cas, on donne le jeu pour la matrice.

$$J = \frac{1}{10} \times e$$

AN:

$$J = \frac{1}{10} \times 0.6$$

$$J = 0.06 \text{ mm}$$

IV.6.12 Jeu de pliage

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

$$J \geq e + \text{tolérance max}$$

AN:

$$J = 0.6 + 0.05$$

$$J = 0.65 \text{ mm}$$

IV.7 Choix des ressorts [11]

La raideur des ressorts doit assurer le dévêtissage qui consiste à plaquer la bonde contre la matrice pour éviter la remontée de la bonde lors du retour des poinçons. Pour le dimensionnement du ressort qui supportera l'effort F_{Ressort} , il est nécessaire de consulter des abaques. Ces abaques classent les ressorts par couleur, ce qui correspond au type de charge, comme la montre la figure ci-dessous



Figure IV-11 : Différents ressorts (représenter suivant ISO10243)

IV.7.1 Choix de ressort pour la partie de découpage

- Calcul de l'effort assuré par un seul ressort [15]

$$F_{\text{Ressort}} = F_{\text{dév}} / N$$

Avec

F_{Ressort} : La force d'un seul ressort en daN.

$F_{\text{dév}}$: La force d'extraction des poinçons en daN.

N : nombre de ressorts.

CHAPITRE IV : Eudes et conception de l'outil

Vu que l'effort total de la découpe est important (44 tonnes) et que la taille de l'outil est assez importante, pour des raisons d'équilibre on utilise 8 ressorts ($N = 8$).

AN:

$$F_{\text{Ressort}} = 3197.87 / 8$$

$$F_{\text{Ressort}} = 399.73 \text{ daN}$$

▪ Calcul de la raideur des ressorts

$$F_{\text{Ressort}} = K.X$$

Avec :

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

x : La course de compression du ressort ($X = 11.5 \text{ mm}$).

$$K = F_{\text{ressort}} / x$$

AN:

$$K = 3997.3 / 11.5$$

$$K = 347.60 \text{ N/mm}^2$$

D'après le résultat obtenu, le ressort qui satisfait les conditions de travail est le ressort pour outil à charge forte de couleur rouge.

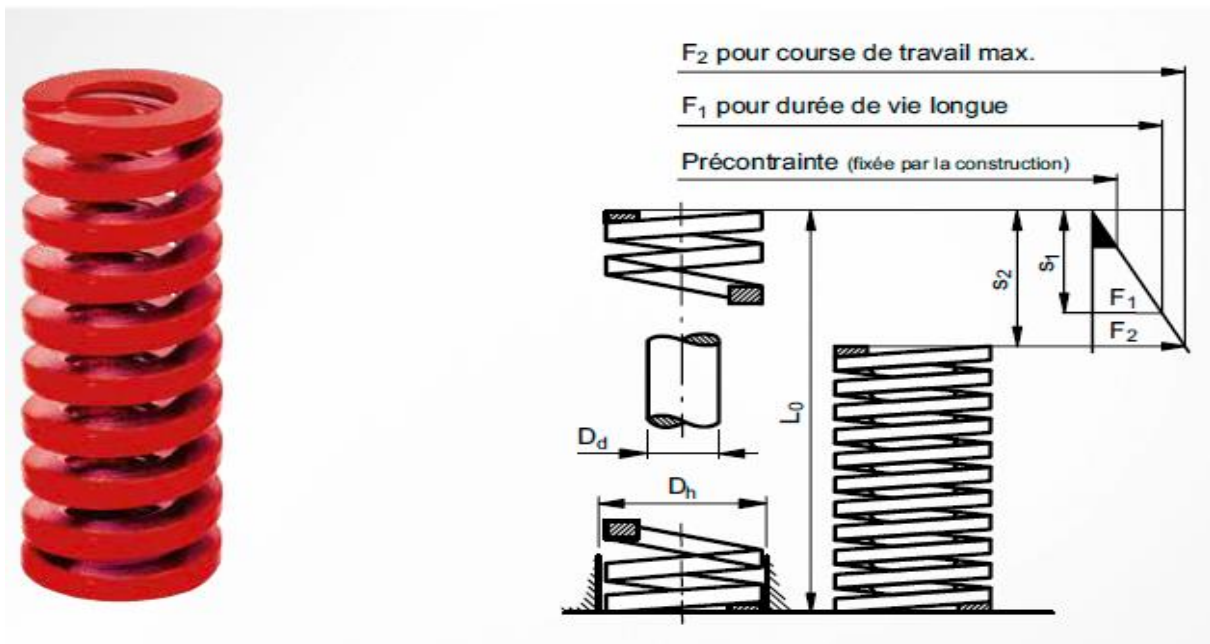


Figure IV-12 : Ressort à charge forte de couleur rouge[11]

CHAPITRE IV : Eudes et conception de l'outil

D_d : Diamètre de mandrin en mm (guidage intérieur)

D_h : Diamètre de douille en mm (guidage extérieur)

F_1 et F_2 : Forces de ressort en N attribuées aux courses de ressort s_1 et s_2

L_0 : Longueur du ressort non chargé en mm

s_1 et s_2 : Courses de ressort en mm attribuées aux forces de ressort F_1 et F_2

Tableau IV-4 : Caractéristique des ressorts à charge forte couleur rouge

Douille Ø D_h^{H15}	Mandrin Ø D_d^{H15}	Fil	L_0	Coefficient d'élasticité (N/mm) $c_{\pm 10\%}$	durée de vie longue		max. course de travail		Référence
					$s_1^{20\%}$	F_1 (N)	$s_2^{30\%}$	F_2 (N)	
20,0	10,0	4,0 x 3,2	51	94,0	10,2	959	15,3	1438	SZ8030 20 x 051
			64	72,1	12,8	923	19,2	1384	SZ8030 20 x 064
			76	59,7	15,2	907	22,8	1361	SZ8030 20 x 076
			89	50,5	17,8	899	26,7	1348	SZ8030 20 x 089
			102	44,2	20,4	902	30,6	1353	SZ8030 20 x 102
			115	38,4	23,0	883	34,5	1325	SZ8030 20 x 115
			127	34,1	25,4	866	38,1	1299	SZ8030 20 x 127
			139	31,0	27,8	862	41,7	1293	SZ8030 20 x 139
			152	28,2	30,4	857	45,6	1286	SZ8030 20 x 152
			305	14,0	61,0	854	91,5	1281	SZ8030 20 x 305
40,0	20,0	8,4 x 6,2	51	350,0	10,2	3570	15,3	5355	SZ8030 40 x 051
			64	269,0	12,8	3443	19,2	5165	SZ8030 40 x 064
			76	219,0	15,2	3329	22,8	4993	SZ8030 40 x 076
			89	190,0	17,8	3382	26,7	5073	SZ8030 40 x 089
			102	163,0	20,4	3325	30,6	4988	SZ8030 40 x 102
			115	142,0	23,0	3266	34,5	4899	SZ8030 40 x 115
			127	128,0	25,4	3251	38,1	4877	SZ8030 40 x 127
			139	115,0	27,8	3197	41,7	4796	SZ8030 40 x 139

D'après le **Tableau IV-5**, on a opté pour des ressorts dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tableau IV-5 : Caractéristiques du ressort choisi[11]

Dh (mm)	Dd (mm)	L_0 (mm)	K (N/mm ²)	S1	F1 (N)	S2	F2 (N)	référence
40	20	51	350.0	10.2	3570	15.3	5355	SZ8030 40x051

IV.7.2 Choix de ressorts pour la partie de pliage[15]

$$F_{\text{Ressort}} = F_{\text{dév}} / N$$

Avec :

F_{Ressort} : La force d'un seul ressort en daN.

$F_{\text{dév}}$: La force d'extraction des poinçons en daN.

N : nombre de ressorts.

Vu que l'effort total de pliage est assez important (32 tonnes) et que la taille de l'outil est aussi assez importante, pour des raisons d'équilibre on utilise 3 ressorts (N = 3).

$$F_{\text{Ressort}} = 2013.312 / 3$$

$$F_{\text{Ressort}} = 671.104 \text{ daN}$$

▪ Calcul de la raideur des ressorts

$$F_{\text{Ressort}} = K.X$$

Avec :

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

x : La course de compression du ressort (X = 29.4 mm).

$$K = F_{\text{Ressort}} / x$$

AN:

$$K = 6711.04 / 29.4$$

$$K = 228.27 \text{ N/mm}^2$$

D'après le résultat obtenu, le ressort qui satisfait les conditions de travail est le ressort pour outil à charge moyenne de couleur bleu.

CHAPITRE IV : Eudes et conception de l'outil

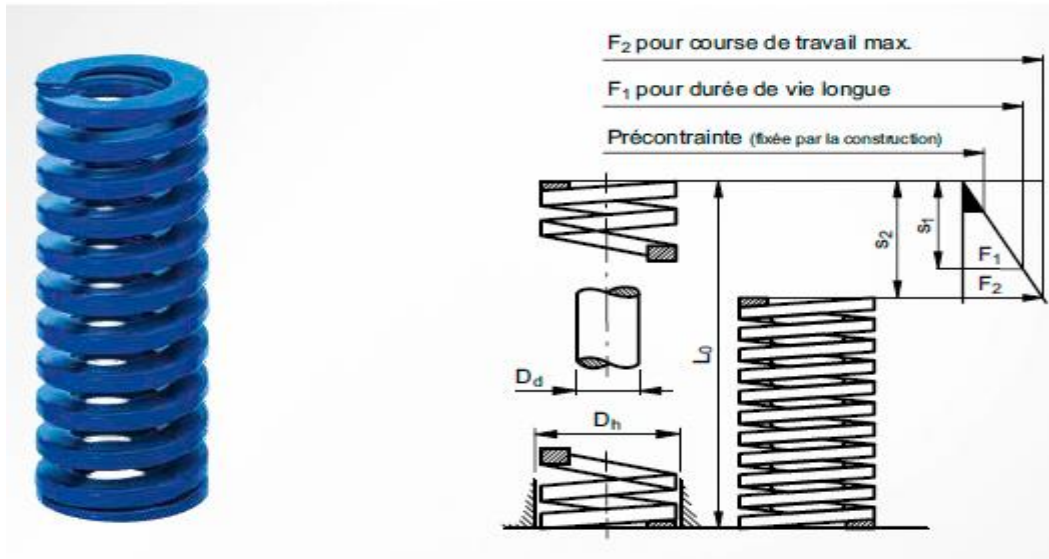


Figure IV-13 : Ressort à charge moyenne de couleur bleu[11]

Tableau IV-6 : Caractéristique des ressorts à charge moyenne de couleur bleu

Douille Ø D_h^{H15}	Mandrin Ø D_d^{H15}	Fil	L_0	Coefficient d'élasticité (N/mm) $c_{\pm 10\%}$	durée de vie longue		max. course de travail		Référence
					$s_1^{25\%}$	F_1 (N)	$s_2^{37,5\%}$	F_2 (N)	
50,0	25,0	10,9 x 6,0	102	119,0	25,5	3035	38,2	4546	SZ8020 50 x 102
			115	106,0	28,8	3048	43,1	4569	SZ8020 50 x 115
			127	97,0	31,8	3080	47,6	4617	SZ8020 50 x 127
			139	87,0	34,8	3023	52,1	4533	SZ8020 50 x 139
			152	80,0	38,0	3040	57,0	4560	SZ8020 50 x 152
			160	76,0	40,0	3040	60,0	4560	SZ8020 50 x 160
			178	69,5	44,5	3093	66,7	4636	SZ8020 50 x 178
			203	59,8	50,8	3035	76,1	4551	SZ8020 50 x 203
			229	50,9	57,3	2914	85,8	4367	SZ8020 50 x 229
			254	46,0	63,5	2921	95,2	4379	SZ8020 50 x 254
305	38,6	76,3	2943	114,4	4400	SZ8020 50 x 305			
63,0	38,0	11,5 x 9,3	76	320,0	19,0	6080	28,5	9120	SZ8020 63 x 076
			89	260,0	22,3	5785	33,3	8658	SZ8020 63 x 089
			102	221,0	25,5	5636	38,2	8442	SZ8020 63 x 102
			115	187,0	28,8	5376	43,1	8060	SZ8020 63 x 115
			127	168,0	31,8	5334	47,6	7997	SZ8020 63 x 127
			152	136,0	38,0	5168	57,0	7752	SZ8020 63 x 152
			160	128,0	40,0	5120	60,0	7680	SZ8020 63 x 160
			178	114,0	44,5	5073	66,7	7604	SZ8020 63 x 178
			203	100,0	50,8	5075	76,1	7610	SZ8020 63 x 203
			229	89,2	57,3	5107	85,8	7653	SZ8020 63 x 229
			254	78,4	63,5	4978	95,2	7464	SZ8020 63 x 254
			305	64,7	76,3	4933	114,4	7376	SZ8020 63 x 305
			315	62,8	78,8	4946	118,1	7418	SZ8020 63 x 315
400	48,5	100,0	4850	150,0	7275	SZ8020 63 x 400			

D'après le **Tableau IV- 7**, on a opté pour des ressorts dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tableau IV-7 : Caractéristiques du ressort choisi [11]

Dh (mm)	Dd (mm)	L ₀ (mm)	K (N/mm)	S1	F1 (N)	S2	F2 (N)	référence
63	38	89	260.0	22.3	5785	33.3	8658	SZ8030 63×089

IV.7.3 Choix de ressort d'éjection [11]

Vu que l'effort d'éjection n'est pas important ; on a choisi le ressort à charge légère de couleur vert

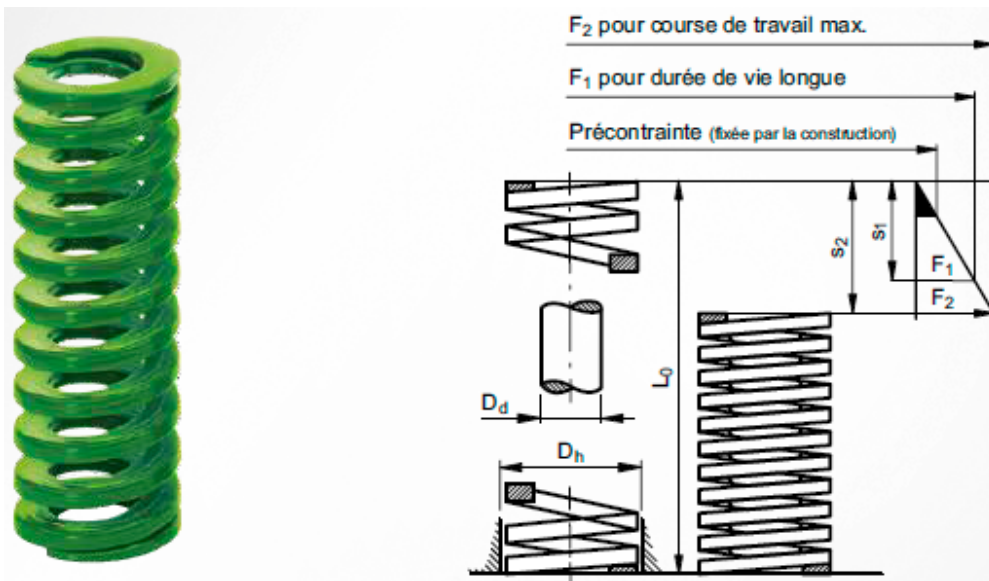


Figure IV-14 : Ressort à charge légère couleur vert

Tableau IV-8 : Caractéristique des ressorts à charge légère couleur vert

Douille Ø D _h ^{H15}	Mandrin Ø D _d ^{H15}	Fil	L ₀	Coefficient d'élasticité (N/mm) c ±10 %	durée de vie longue		max. course de travail		Référence
					s ₁ ^{30%}	F ₁ (N)	s ₂ ^{40%}	F ₂ (N)	
10,0	5,0	1,7 x 1,1	25	11,0	7,5	83	10,0	110	SZ8010 10 x 025
			32	8,5	9,6	82	12,8	109	SZ8010 10 x 032
			38	6,8	11,4	78	15,2	103	SZ8010 10 x 038
			44	6,0	13,2	79	17,6	106	SZ8010 10 x 044
			51	5,0	15,3	77	20,4	102	SZ8010 10 x 051
			64	4,1	19,2	79	25,6	105	SZ8010 10 x 064
			76	3,6	22,8	82	30,4	109	SZ8010 10 x 076
			305	0,9	91,5	82	122,0	110	SZ8010 10 x 305

D'après le **Tableau IV-9**, on a opté pour des ressorts dont les caractéristiques sont les suivantes :

CHAPITRE IV : Eudes et conception de l'outil

Tableau IV-9 : Caractéristiques du ressort choisi[11]

Dh (mm)	Dd (mm)	L ₀ (mm)	K (N/mm)	S1	F1 (N)	S2	F2 (N)	référence
10	5	25	11	7.5	83	10	110	SZ8010 10×015

IV.8 Calcul de l'effort fournir par la presse

$$F_{\text{Presse}} = [F_{p \text{ Total}} + F_{\text{dé}} + F_{\text{dév}} + F_{\text{éj}}] + [F_{\text{pliage Total}} + F_{\text{dév}} + F_{\text{éj}}]$$

$$F_{\text{Presse}} = 49489.38 + 31157.44$$

$$F_{\text{Presse}} = 80646.82 \text{ daN}$$

Il est donc nécessaire d'utiliser une presse développant au minimum 81 tonnes

- forces soit 81 000 daN.

IV.9 Le choix de la presse à utiliser [16]

Le choix de la presse à utiliser dépend de plusieurs paramètres tels que :

- L'effort de la presse doit être supérieur aux efforts utilisés.
- La longueur et la largeur de la table, suffisamment supérieur à celle de l'outil.
- La hauteur libre entre la table et le coulisseau doit être supérieur à la hauteur de l'outil et la nature des opérations a réalisé.

Le service de l'unité cuisson, utilise une presse mécanique T31B excentrique MANZONI, de construction Italienne avec les caractéristiques suivantes :

Tableau IV-10 : Caractéristiques des presses TB1A

Désignation des presses	Tonnage(T)	Table (mm)	Coulisseau (mm)	Cours de coulisseau	Plage de réglage de coulisseau	Point mors haut	Point mors bas
TB1A excentrique	200	1850×1250	1750×1250	315	125	1040	725

IV.10 Calcul de vérification des poinçons à la résistance [15]

Les poinçons de petites sections risquent de flamber lors de l'application de l'effort.

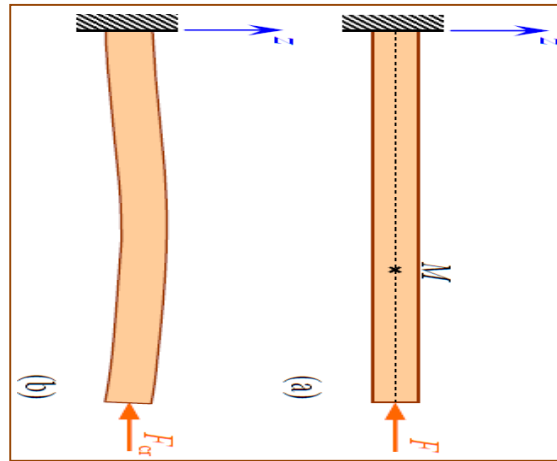


Figure IV-: Flambement d'une poutre soumise à un effort axial

Les poinçons sont assimilés à des poutres chargées axialement. Le flambement se produit pour une certaine valeur de charge appelée charges critiques.

Si :

$F < F_{cr}$: la poutre ne subit qu'un faible raccourcissement qui est dû à la Compression.

$F > F_{cr}$: la poutre se déforme et la rupture peut intervenir rapidement.

Avec :

F: effort de découpage.

F_{cr} : Charge critique d'Euler qui se calcule comme suite :

$$F_{cr} = \pi^2 \times (E \times I) / L^2$$

Avec :

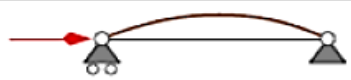

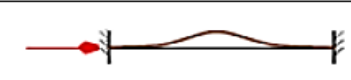
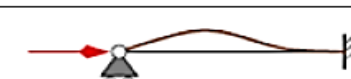
E : module de Young ($E = 210000 \text{ Mpa}$)

I : moment d'inertie.

L : longueur réelle.

La longueur libre de flambage est donnée en fonction du type d'appui. Le tableau suivant répertorie les différents cas possibles.

Tableau IV-11 : Longueurs libres de flambage en fonction du type de liaisons

Type de liaison	Schéma	Longueur de flambement (l_f)	Charge critique (P_c)
Appui simple - Rotule		L	$P_c = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$
Libre - encastrement		2L	$P_c = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$
Encastrement - Encastrement		0,5L	$P_c = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$
Appui simple - Encastrement		0,7L	$P_c = \frac{2,05\pi^2 EI}{L^2}$

Dans notre cas les poinçons sont encastrés d'un côté et libre de l'autre, donc la longueur libre du flambement $l_f = 2L$.

❖ **Poinçon 1**

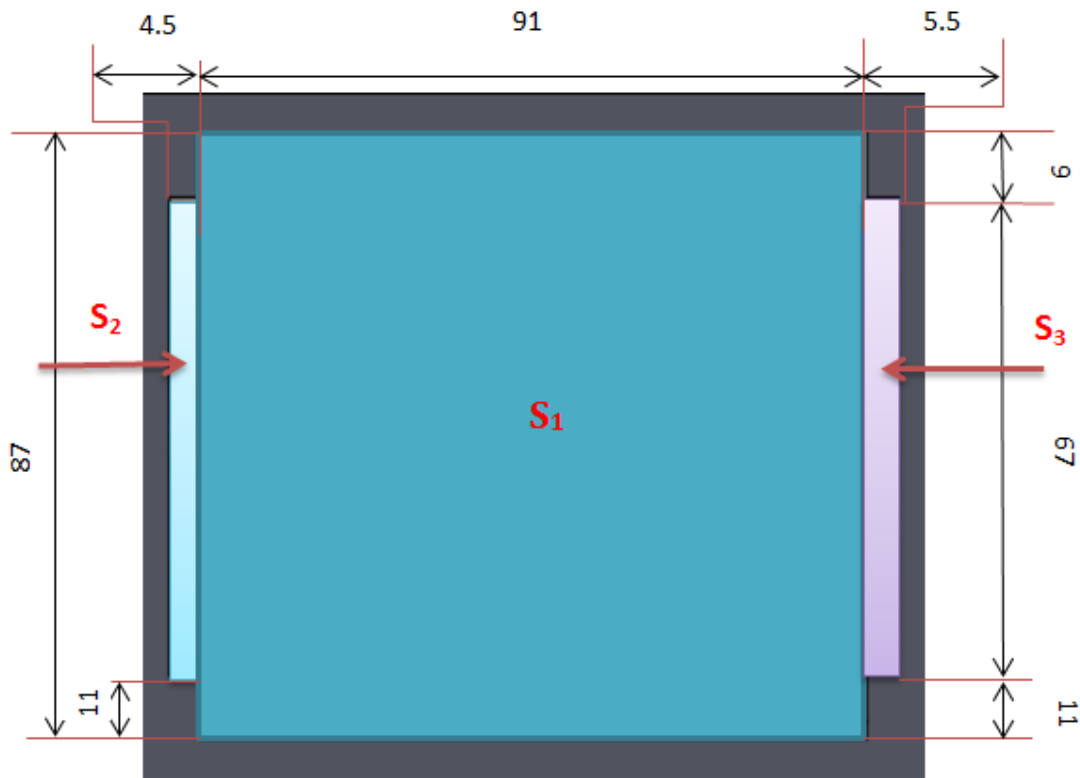


Figure IV-15 : Les surfaces reparties du poinçon 1

a) **I pour S1 :**

On a:

$h=87$ mm et $b=91$ mm

$$I_{S1}=bh^3 /12$$

$$I_{S1}=91 \times 658503/12$$

$$I_{S1}=499364647.75 \text{ mm}^4$$

b) **I pour S2 :**

On a :

$h=67$ mm et $b=4.5$ mm

$$I_{S2}=bh^3 /12$$

$$I_{S2}=4.5 \times 300763/12$$

$$I_{S2}=112786.125 \text{ mm}^4$$

c) **I pour S3 :**

On a:

$h=67$ mm et $b=5.5$ mm

$$I_{S3}=bh^3 /12$$

$$I_{S3}=5.5 \times 300763/12$$

$$I_{S3}=137849.70 \text{ mm}^4$$

d) **I total:**

$$I_{\text{total}}= I_{S1}+ I_{S2}+ I_{S3}$$

$$I_{\text{total}}=499364647.75 + 112786.125 + 137849.70$$

$$I_{\text{total}}=499615283.5 \text{ mm}^4$$

$$\text{Donc : } \sigma_{cr1} = \pi^2 \times (E \times I_1) / L^2$$

$$\mathbf{Fcr1} = (3,14)^2 \times (210000 \times 499615283.5) / (2 \times 63)^2$$

$$\mathbf{Fcr1} = 6.51 \times 10^9 \text{ N}$$

$$\mathbf{Fp1} = 6316.8 \text{ daN}$$

$Fp1 < Fcr1$: La condition est vérifiée, donc le poinçon va résister.

❖ Poinçon 2 :

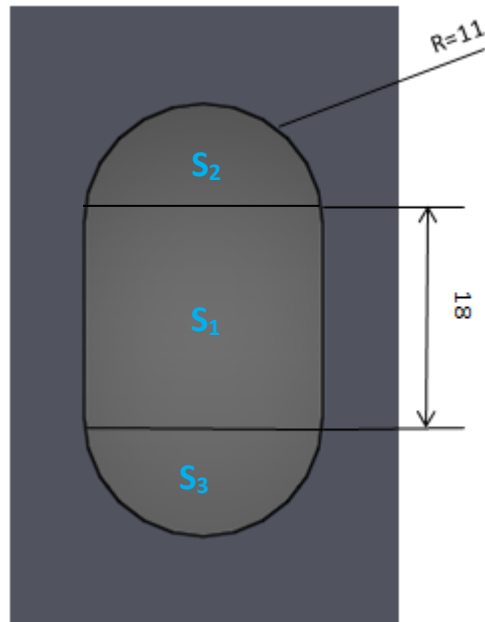


Figure IV-16 : Les surfaces reparties du poinçon 2

a) I pour S₁ :

On a :

h=18 mm et b=22mm

$$I_{S1} = bh^3 / 12$$

$$I_{S1} = 22 \times 5832 / 12$$

$$I_{S1} = 10692 \text{ mm}^4$$

b) I pour S₂ :

On a:

D=22 mm

$$I_{S2} = (\pi \times D^4 / 64) \times 1/2$$

$$I_{S2} = (3.14 \times 234256 / 64) \times 1/2$$

$$I_{S2} = 5746.60 \text{ mm}^4$$

D'où : S₂ = S₃

I total:

$$I_{\text{total}} = I_{S1} + I_{S2} + I_{S3}$$

$$I_{\text{total}} = 10692 + 5746.60 + 5746.60$$

$$I_{\text{total}} = 22185.2 \text{ mm}^4$$

Donc: $\mathbf{cr}_2 = \pi^2 \times (E \times I_2) / L^2$

$$F_{cr2} = (3,14)^2 \times (210000 \times 22185.2) / (2 \times 63)^2$$

$$F_{cr2} = 28.9 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{p2} = 2326,2 \text{ daN}$$

FP2 < Fcr2 : La condition est vérifiée, donc le poinçon 2 va résister, la condition est aussi vérifiée pour les quatre autres poinçons 3, 4, 5 et 6 car ils ont les mêmes caractéristiques.

❖ Poinçon7 :

I pour S7:

On a:

h=75 mm et b=30 mm

$$I_{S7} = bh^3 / 12$$

$$I_{S7} = 30 \times 421875 / 12$$

$$I_{S7} = 1054687.5 \text{ mm}^4$$

$$\mathbf{Fcr7} = \pi^2 \times (E \times I_7) / L^2$$

$$F_{cr7} = (3,14)^2 \times 210000 \times 1054687.5 / (2 \times 63)^2$$

$$F_{cr7} = 13.7 \times 10^7 \text{ N}$$

$$F_{p7} = 3528 \text{ daN}$$

Fp7 < Fcr7 : La condition est vérifiée, donc le poinçon 7 va résister.

❖ Poinçon 8 :

On a:

$$D=6 \text{ mm}$$

$$I_{S8} = \pi \times D^4 / 64$$

$$I_{S8} = 3.14 \times 1296 / 64$$

$$I_{S8} = 63.59 \text{ mm}^4$$

$$\mathbf{Fcr}_8 = \pi^2 \times (E \times I_8) / L^2$$

$$Fcr_8 = (3,14)^2 \times 210000 \times 63.59 / (2 \times 63)^2$$

$$Fcr_8 = 8293.28 \text{ N}$$

$$Fp_8 = 316.51 \text{ daN}$$

Fp₈ < Fcr₈: La condition est vérifiée, donc le poinçon 8 va résister, la condition est aussi vérifiée pour le poinçon 9, car ils ont les mêmes caractéristiques.

❖ Poinçon 10 :

On a:

$$D=5 \text{ mm}$$

$$I_{S9} = \pi \times D^4 / 64$$

$$I_{S9} = 3.14 \times 625 / 64$$

$$I_{S9} = 30.66 \text{ mm}^4$$

$$\mathbf{Fcr}_9 = \pi^2 \times (E \times I_9) / L^2$$

$$Fcr_9 = (3,14)^2 \times 210000 \times 30.66 / (2 \times 63)^2$$

$$Fcr_9 = 3998.62 \text{ N}$$

$$Fp_9 = 263.76 \text{ daN}$$

Fp₉ < Fcr₉: La condition est vérifiée, donc le poinçon 9 va résister, la condition est aussi vérifiée pour les quatre autres poinçons 10, 11, 12 et 13, car ils ont les mêmes caractéristiques.

IV.11 Conception de l'outil :

IV.11.1 Détail de l'outil

Un outil de presse est une construction mécanique de précision, en général, composée 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 les opérations de poinçonnage, détournage et de pliage.

IV.11.1.1 Partie inférieure

Partie fixe de l'outil, contient les éléments suivants :

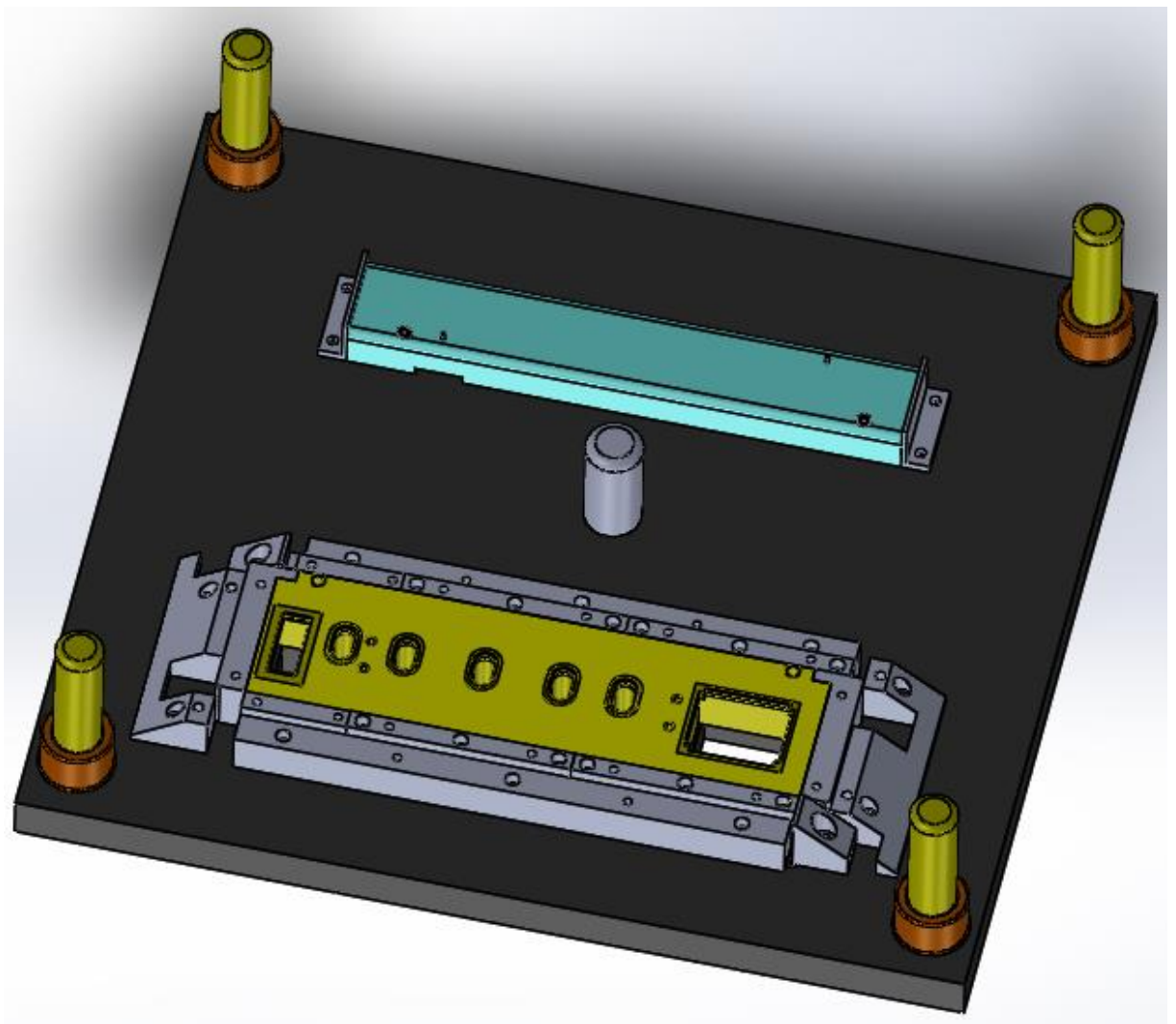


Figure IV-17 : Partie inférieure assemblée

❖ Semelle inférieure :

C'est une plaque sur laquelle les matrices sont ajustées, son épaisseur doit être suffisante pour résister aux efforts de découpage et de pliage.

❖ **La matrice :**

C'est le porte empreinte dans lesquelles les poinçons se pénétrant lors de l'opération de découpage et de pliage, son épaisseur doit être suffisante pour qu'elle résiste aux efforts des deux opérations pour éviter les déformations.

❖ **La butée :**

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

❖ **La colonne de guidage :**

Elles coulissent dans les embases supérieures avec glissement.

❖ **Le coupe chute :**

Elle sert à découper la chute détournée pour faciliter son évacuation.

❖ **La lame :**

C'est l'élément fonctionnel qui intervient lors de l'opération de détournage.

❖ **Le porte matrice :**

C'est l'élément sur lequel les matrices sont ajustées. La partie inférieure est le bâti sur lequel vont se fixer toutes les matrices, il faut réussir à agencer toutes les matrices de découpe et de poinçonnage tout en gardant leurs contraintes de mise et maintien en position dans un espace souvent réduit. Une fois que les matrices de découpe sont installées, il faut prévoir dans le bâti des ouvertures assez grandes pour laisser passer la tôle découpée. Et pour être sûr que les déchets s'évacuent bien.

Sur cette partie inférieure on retrouve également les marquages utiles à la traçabilité d'une pièce. Ceux-ci ne nécessitent aucun montage particulier, il faut juste les fixer directement au bâti de la semelle.

Il faut prévoir l'installation de goulottes d'éjection des pièces en fin de partie inférieure pour l'évacuation des pièces. Il faut prévoir pour ce type de trous une ouverture plus importante que celle nécessaire pour palier à tout problème d'implantation. L'installation des bagues de guidages des colonnes de la partie supérieure doit se faire bien évidemment en coaxialité avec ces colonnes. Les capteurs de sécurité doivent être installés avec les montages standards à l'entreprise. Et en fin, il ne faut pas oublier les butées de stockages de l'outil qui sont à planter en partie inférieures.

IV.11.1.2 Partie supérieur

C'est la partie mobile de l'outil qui suit une trajectoire verticale imposés par la machine, elle contient les éléments suivants :

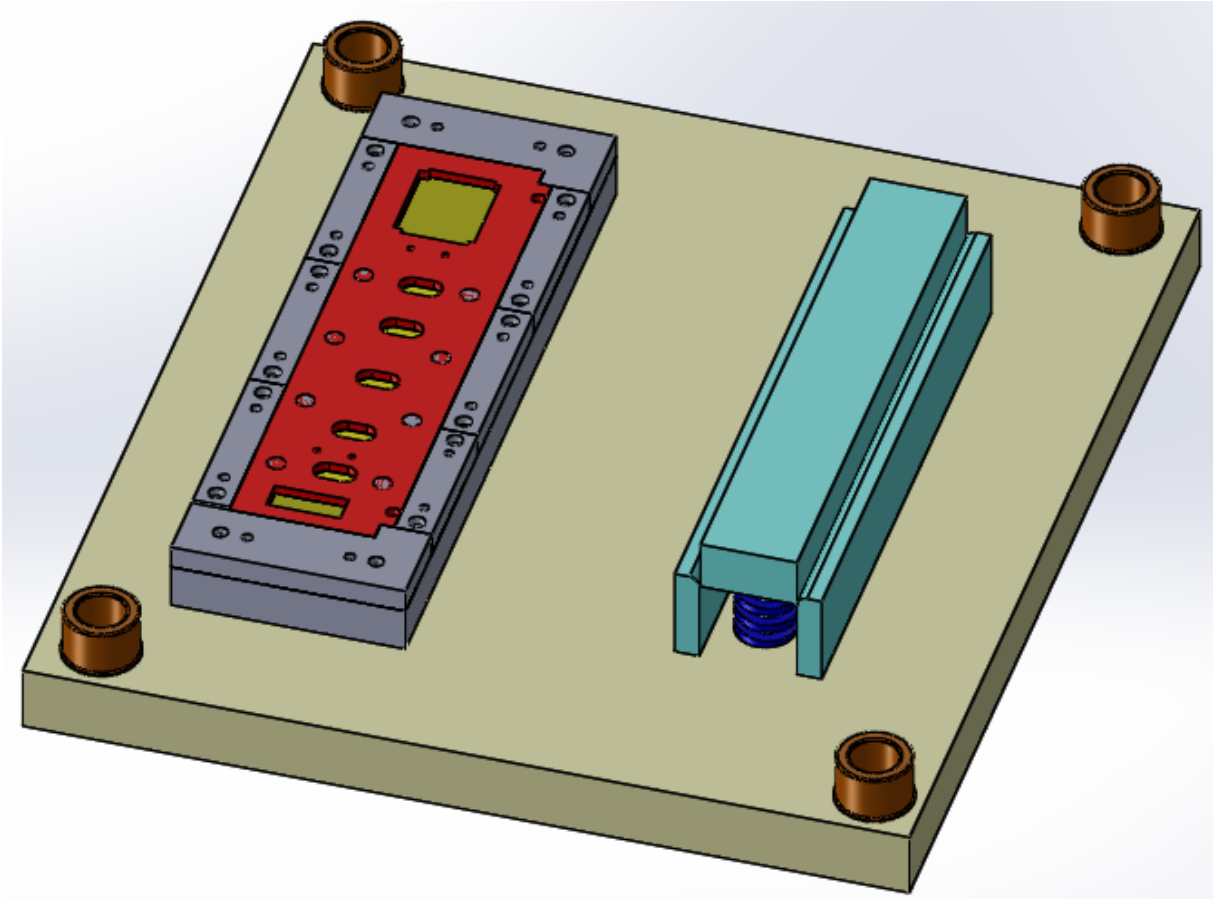


Figure IV-18 : Partie supérieur assemblée

❖ **Semelle supérieure :**

Elle sert à porter les poinçons et les portes poinçons ainsi que les embases.

❖ **Porte poinçon :**

Il sert à fixer et guider les différents poinçons dans leurs positions.

❖ **Poinçons :**

Ce sont les principaux éléments qui interviennent lors de l'opération de découpage leur calcul est délicat. Les poinçons de faible section sont soumis souvent au flambement pour l'éviter on utilise des chemises dans lesquelles on les inserts.

❖ **Serre-flan :**

Il sert au guidage des poinçons et fixer la tôle, il est fixé à l'intérieur du bâti supérieur.

❖ **Les couteaux :**

Ce sont les éléments fonctionnels qui interviennent lors de l'opération de détournage.

❖ **Les embases :**

C'est des éléments qui assurent le guidage entre la semelle supérieure et inférieure par l'intermédiaire des colonnes de guidage.

❖ **Les ressorts :**

Ces les éléments qui assurent le dévetissage.

❖ **Colonne de guidage serre-flan :**

Elle sert au guidage et la mise en position de serre-flan.

❖ **Bague de guidage :**

C'est des éléments dans lesquels les colonnes de guidage pénètrent.

❖ **Goujon de centrage :**

C'est un élément standard normalisé qui nous permet d'assurer le centrage d'une pièce par rapport à une autre.

La partie supérieure est le bâti sur lequel vont se fixer tous les poinçons. On installe entre ces poinçons et le bâti supérieur des ressorts. Ces ressorts permet d'amortir (répartir) l'effort de compression entre le bâti et le poinçon lorsque celui-ci vient découper la bande. Ainsi, on limite les déformations sur le poinçon et le bâti. En effet, les colonnes lors de la descente du coulisseau viennent pénétrer dans les bagues de guidages de la partie inférieure pour garantir la bonne position entre la partie supérieure et la partie inférieure. On a également ce que l'on appelle un serre-flan, celui-ci plaquent la bande contre les marquages. Ainsi, les marquages sont gravés dans la tôle.

IV.12 Outil complet assemblé

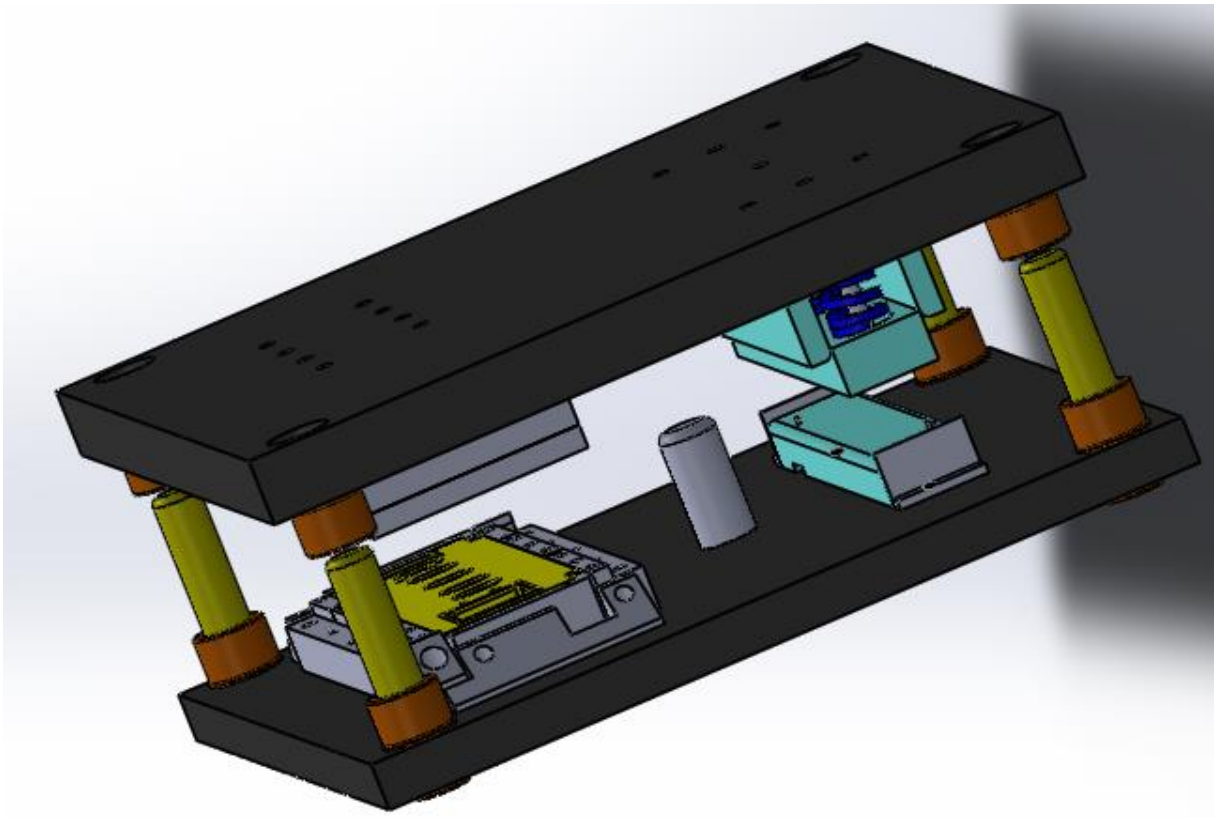


Figure IV-19 : Outil complet assemblé

Conclusion générale

Le travail sur le thème de ce mémoire, nous a permis d'avoir une excellente maîtrise de l'outil informatique, notamment les outils de conception (CAO) ; participer à un projet d'une grande entreprise nationale du secteur industriel ; suivre les procédés de fabrication des diverses formes de pièces mécaniques, m'ont permis d'apprendre des techniques, et des méthodes de conception. C'est une occasion pour nous d'aborder un des domaines essentiels de l'ingénierie, afin d'accéder à la vie professionnelle.

La conception réalisée en utilisant le logiciel de conception SolidWorks qui nous a permis d'avoir les caractéristiques dimensionnelles et géométriques des différents composants de l'outil. Cette conception est faite d'une manière à faciliter la réalisation et la maintenance de l'outil et assurer une longue durée de vie avec un bas prix de revient.

La mise en forme des pièces mécaniques se réalise avec des presses de différents types, et le choix de celle qui convient dépend de différents paramètres comme la nature des opérations à réaliser et l'effort de la presse qui doit être supérieure aux efforts utilisés.

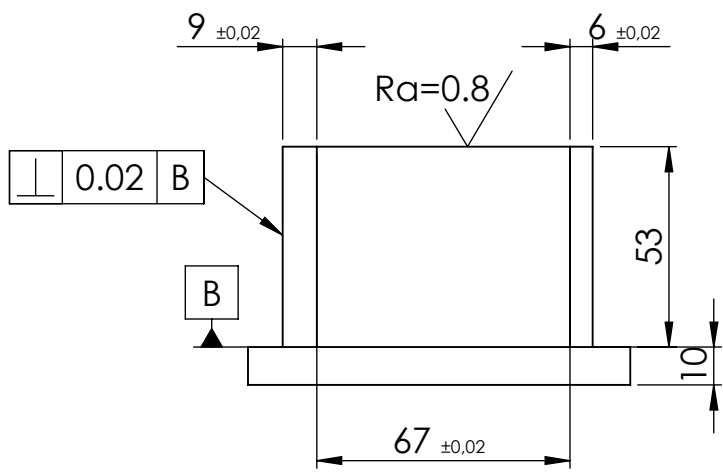
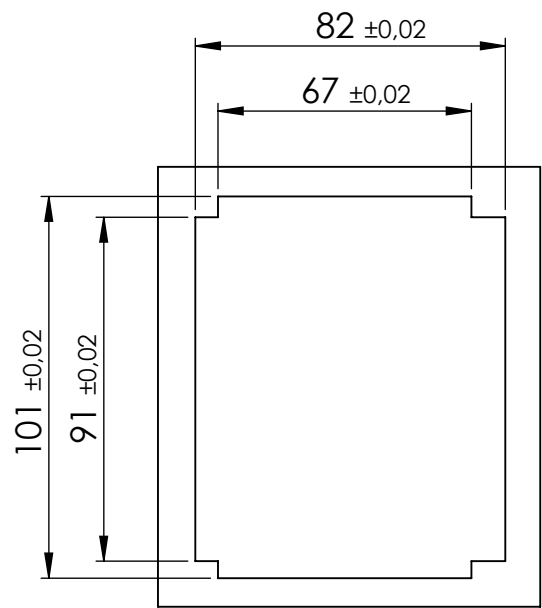
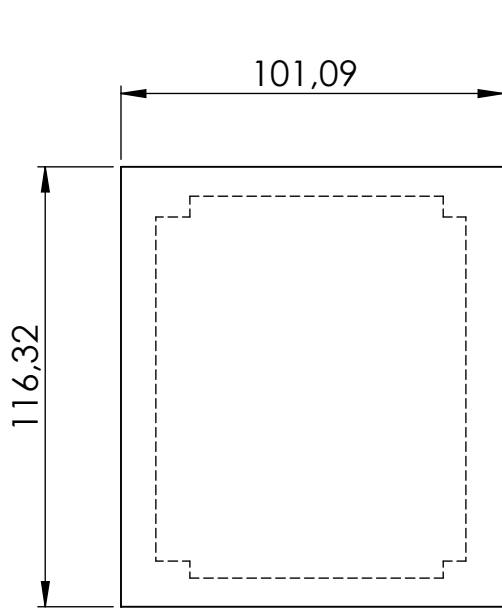
La conception de l'outil est faite d'une manière simple dans le but de faciliter sa réalisation, sa maintenance, ainsi de garantir une durée de vie élevée avec un prix de revient plus bas.

Ce travail constitue une collaboration de plus dans le domaine, en effet il reste ouvert aux critiques dans le sens de son amélioration.

Références bibliographiques

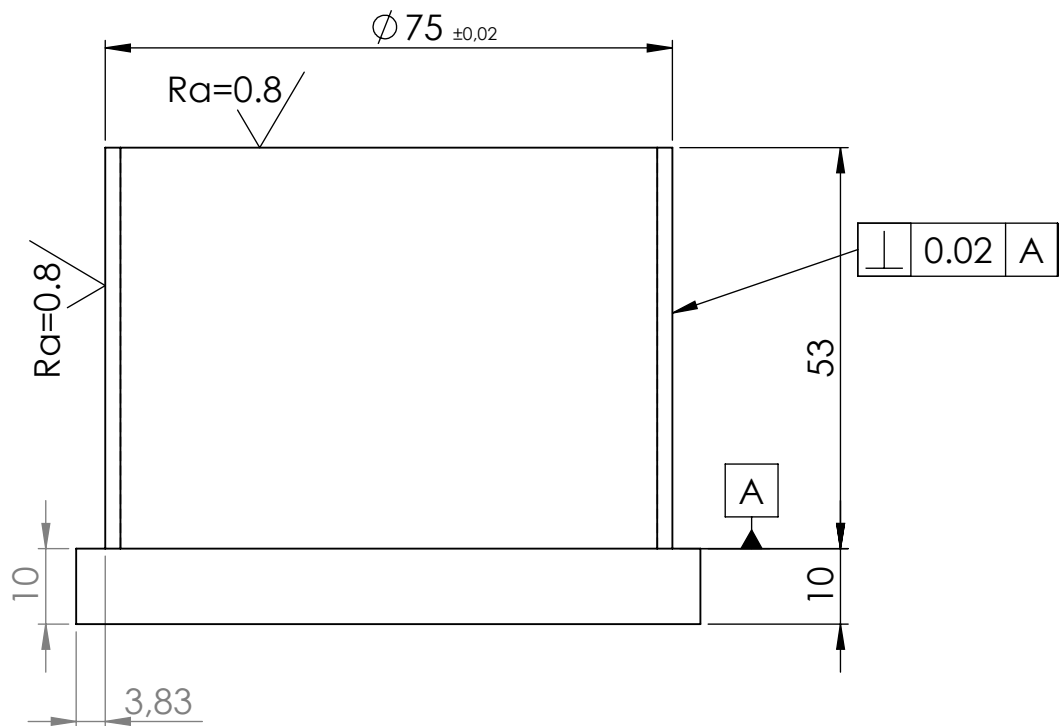
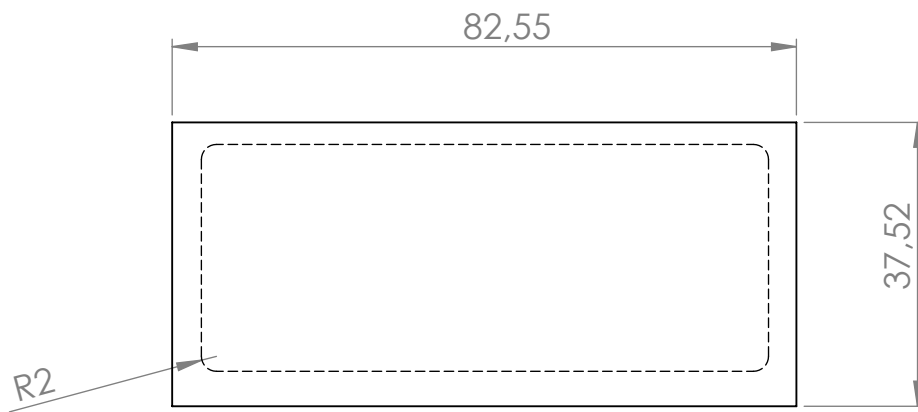
- [1] M.JERBI, Procédés de mise en forme, Support de cours, Institut supérieur des études technologiques de Nabeul, Année universitaire 2017-2018.
- [2] KHIRANI Dael –Réparation des déformations en étirage-plier et leurs effets sur le retour élastique. Thèse Magister option Mécanique appliquée. Université Ferhat ABBAS. Promotion 2010.
- [3] Mr. Souleymane RAMDE, simulation numérique d'une opération de découpage et méthodologie de calcul pour optimiser la qualité de la pièce découpée et les sollicitations de l'outillage, thèse doctorat spécialité : génie mécanique, mécanique des matériaux de l'université de Toulouse le 16/12/2010.
- [4] MAKICH Hamid, étude théorique et expérimentale de l'usure des outils de découpe ; influence sur la qualité des pièces découpées, thèse de doctorat, u.fr des sciences et techniques de l'université de Franche-Comté, 19 janvier 2011.
- [5] HADDADOU Mahdi, AICHOUN Mohammed « étude et conception de deux outils de découpage-poinçonnage et de pliage pour clapet air bruleur », mémoire de master ii en construction mécanique, UMMTO 2013.
- [6] Mlle : BELHOCINE Zohra-étude et conception d'un outil de détournage et poinçonnage d'une (autonettoyant) pour la cuisinière E.N.I.E.M, master académique en génie mécanique. Université mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou promotion 2015.
- [7] Mr. HADDADOU Younes, étude et conception d'un outil à bande pour la réalisation d'une rondelle de fixation de la vitre intérieure du four de la cuisinière E.N.I.E.M, mémoire de master académique en génie mécanique option : construction mécanique, université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou, année 2015/2016.
- [8] SAADI Toufik « étude et conception d'un outil à suivre à bande », mémoire de master en fabrication mécanique, UMMTO 2014.
- [9] KAHOUL Hafida «Modélisation du comportement à la déformation élastique des tôles de construction automobile : influence des singularités».
- [10] MOURAD JERBI, procédés de mise en forme institut supérieure des études technologique de Nabeul département de génie mécanique.

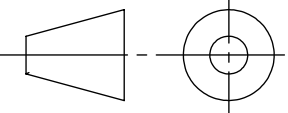
- [11] <https://www.steinell.com>
- [12] TOUFIK SEDRAT-étude et conception d'un procédé d'emboutissage. Thèse magistère en Génie Mécanique option construction mécanique.
- [13] EMERIK Henrion. Développement d'une ligne de découpe automatisée. Génie mécanique [Physics.Class- ph]. 2014.
- [14] Modélisation de la découpe des tôles ferromagnétiques.
- [15] HOCINE Chabane et ZIAD Belkacem, étude et conception d'un outil poinçonnage et détourage d'un bandeau bombé en inox d'une cuisinière E.N.I.E.M, mémoire master académique en génie, spécialité : fabrication mécanique et productique.
- [16] E.N.I.E.M Tizi-Ouzou ; base de documentation E.N.I.E.M; Z.I ; AISSAT Idir ; Oued Aissi ; Tizi-Ouzou ; Algérie ; tél : +213.26.41.32.14 ; fax : +213.26.20.04.24
- [17] LARBI Pacha et S. HIDER –Etude et conception d'un outil à suivre à bande-diplôme d'ingénieur d'état en Génie Mécanique. Université Mouloud Mammeri T.O – Promotion 2012.
- [18] KHERROUB Mouloud, HAMADI Mohammed, étude et conception, mémoire d'un outil à suivre pour la fabrication d'un panneau latéral autonettoyant d'une cuisinière E.N.I.E.M mémoire de master ii en fabrication mécanique, UMMTO, 2014.

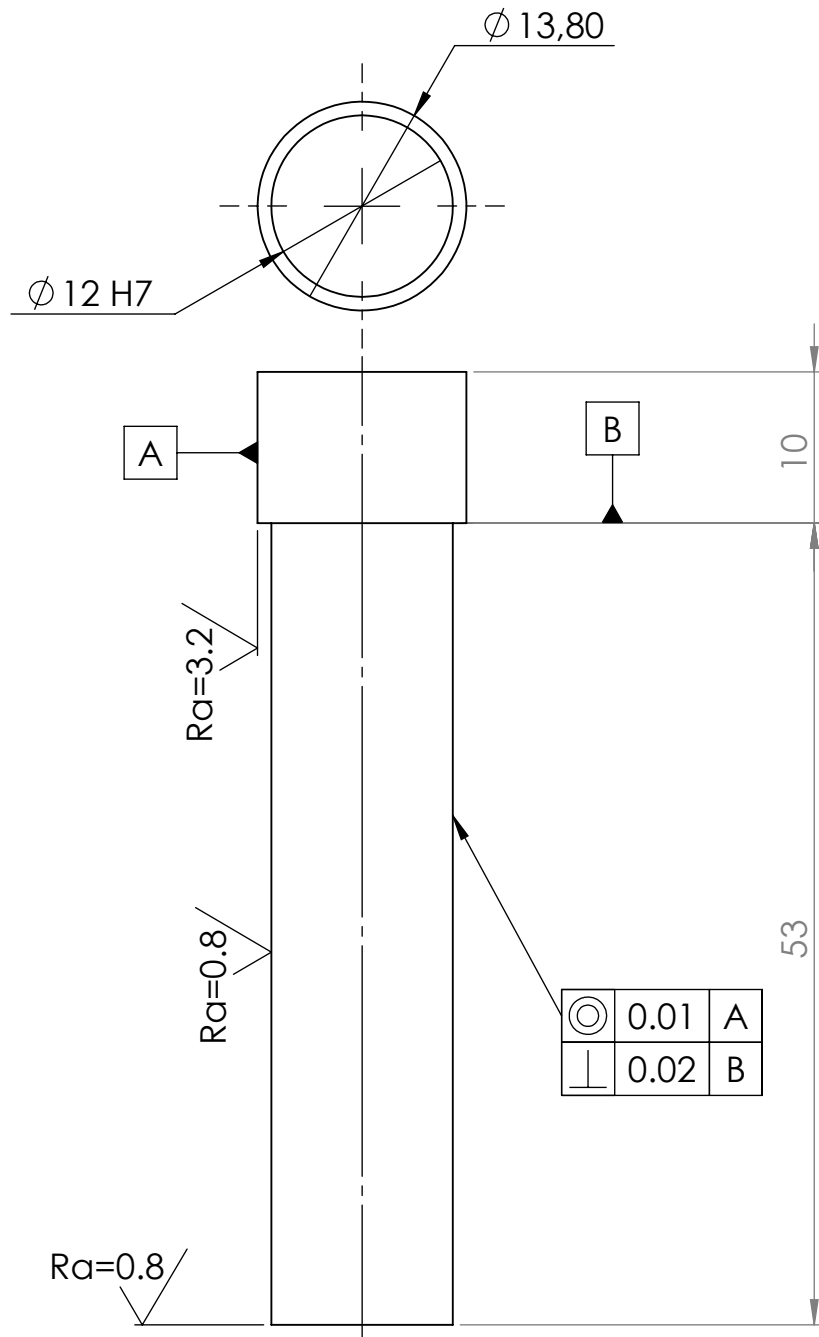


Ra=1.6/ Sauf indications particulières

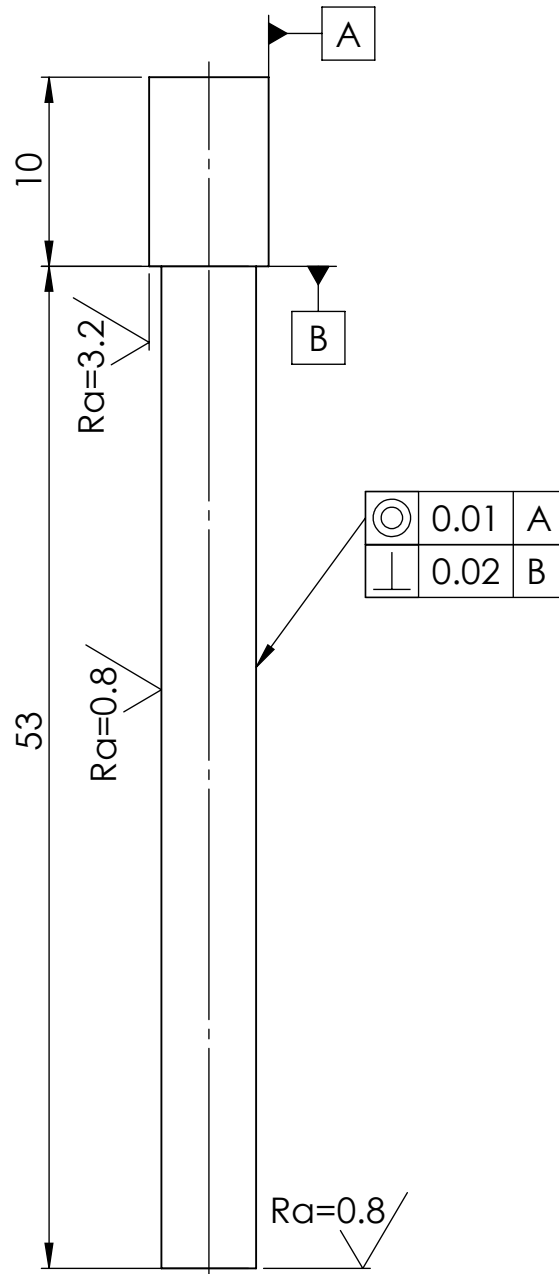
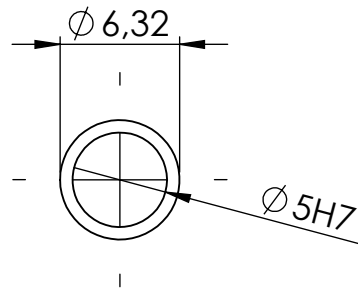
ECHELLE : 1:2	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YOUCEF
	<h1>poinçon 1</h1>		HADDAD YACINE
			PROMO:19/20
A4			Génie mécanique



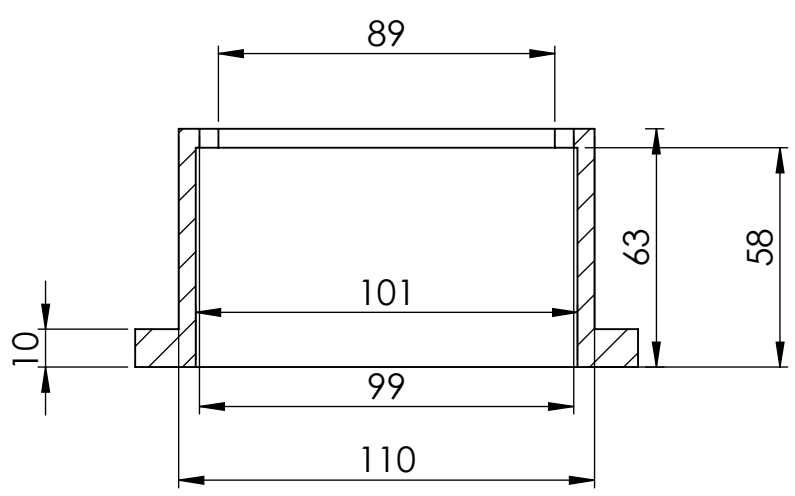
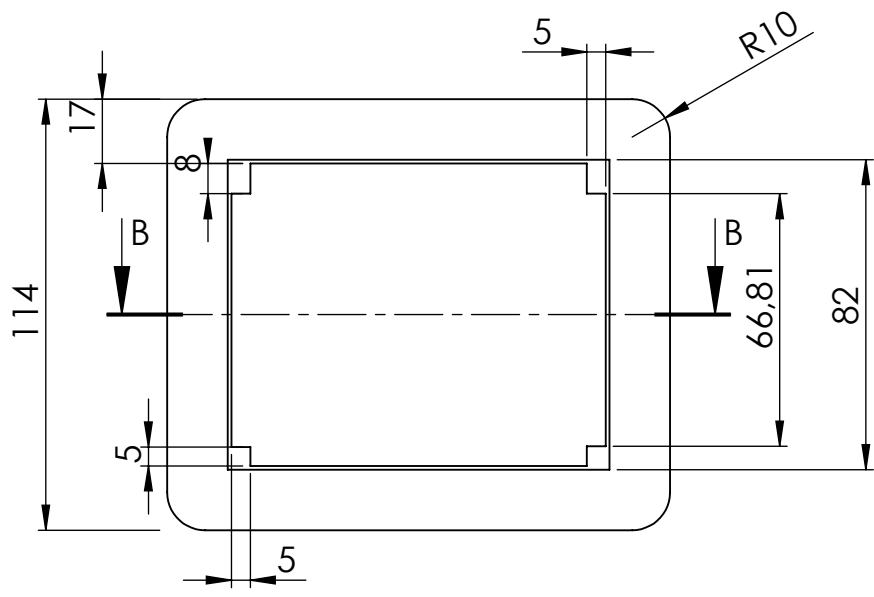
ECHELLE : 2:2.5	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	<h1>poinçon 7</h1>		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique



ECHELLE : 2:1	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	<h1>poinçon 8</h1>		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique

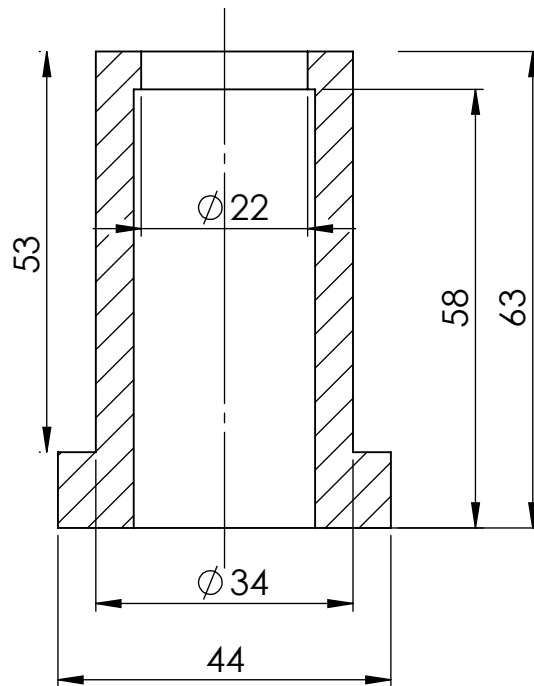
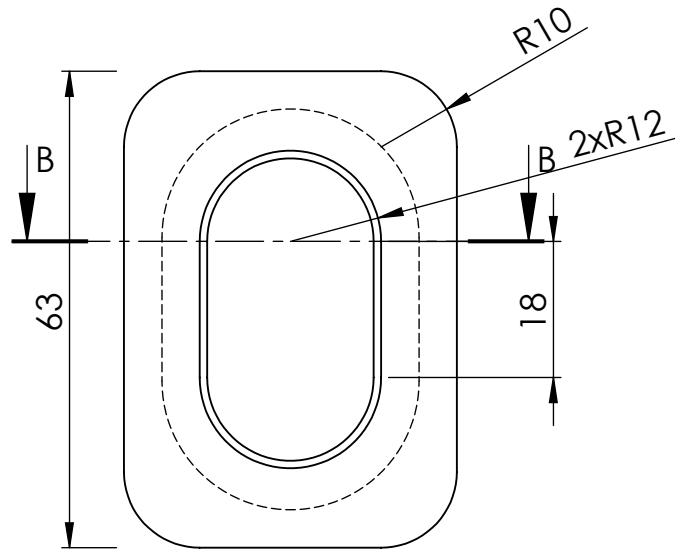


ECHELLE : 5:2	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	poinçon 10		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique



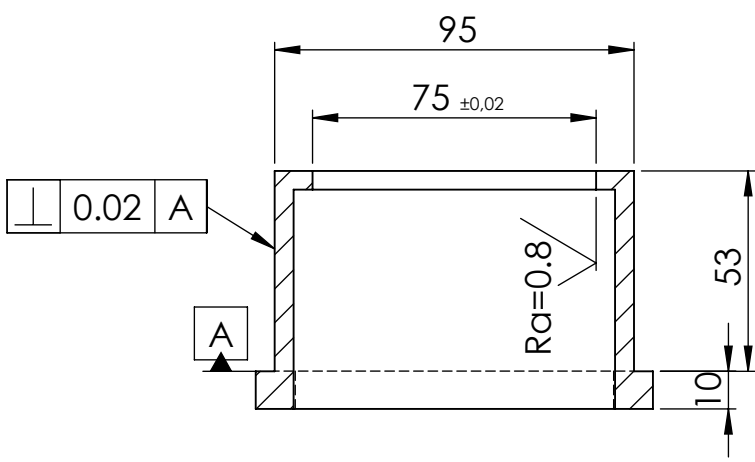
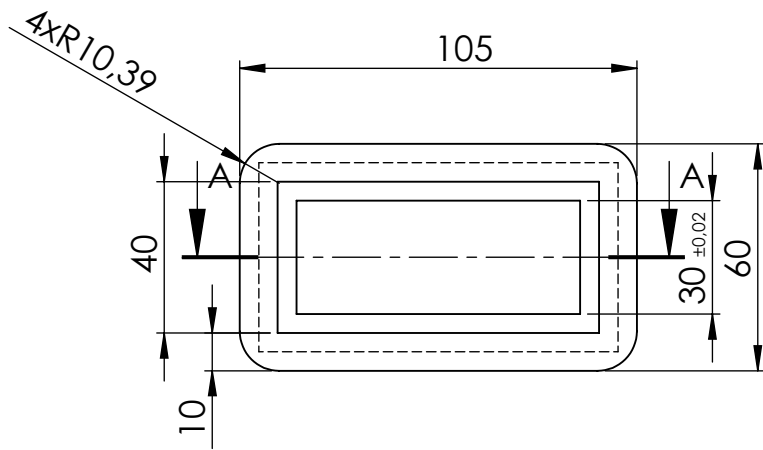
COUPE B-B

<p>ECHELLE : 1:2</p>	<p>Z200 C12</p>	<p>UMMTO</p>	<p>AZDAOU YUCEF</p>
	<p style="text-align: center;">Matrice rapportée 1</p>		<p>HADDAD YACINE</p>
<p>A4</p>			<p>PROMO:19/20</p>
			<p>Génie mécanique</p>



COUPE B-B

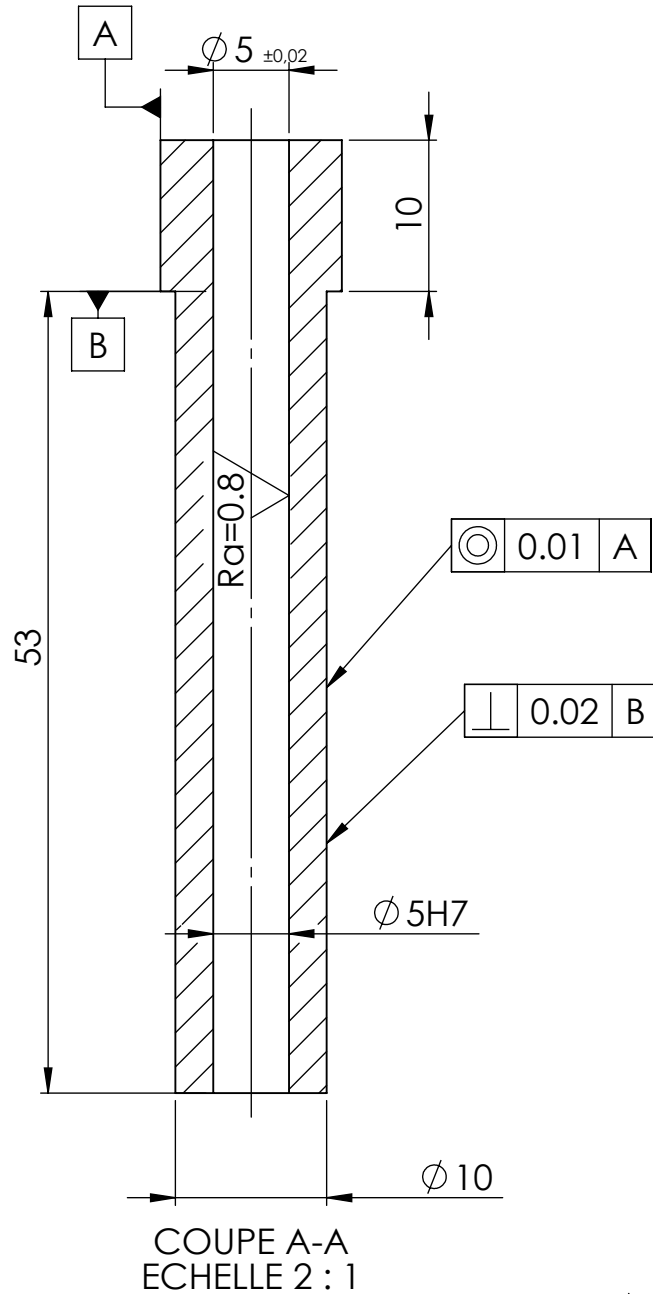
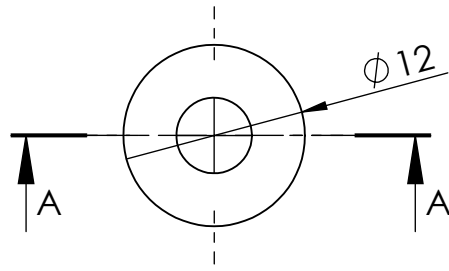
ECHELLE : 1:1	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	<h1>Matrice rapportée 2</h1>		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique



COUPE A-A

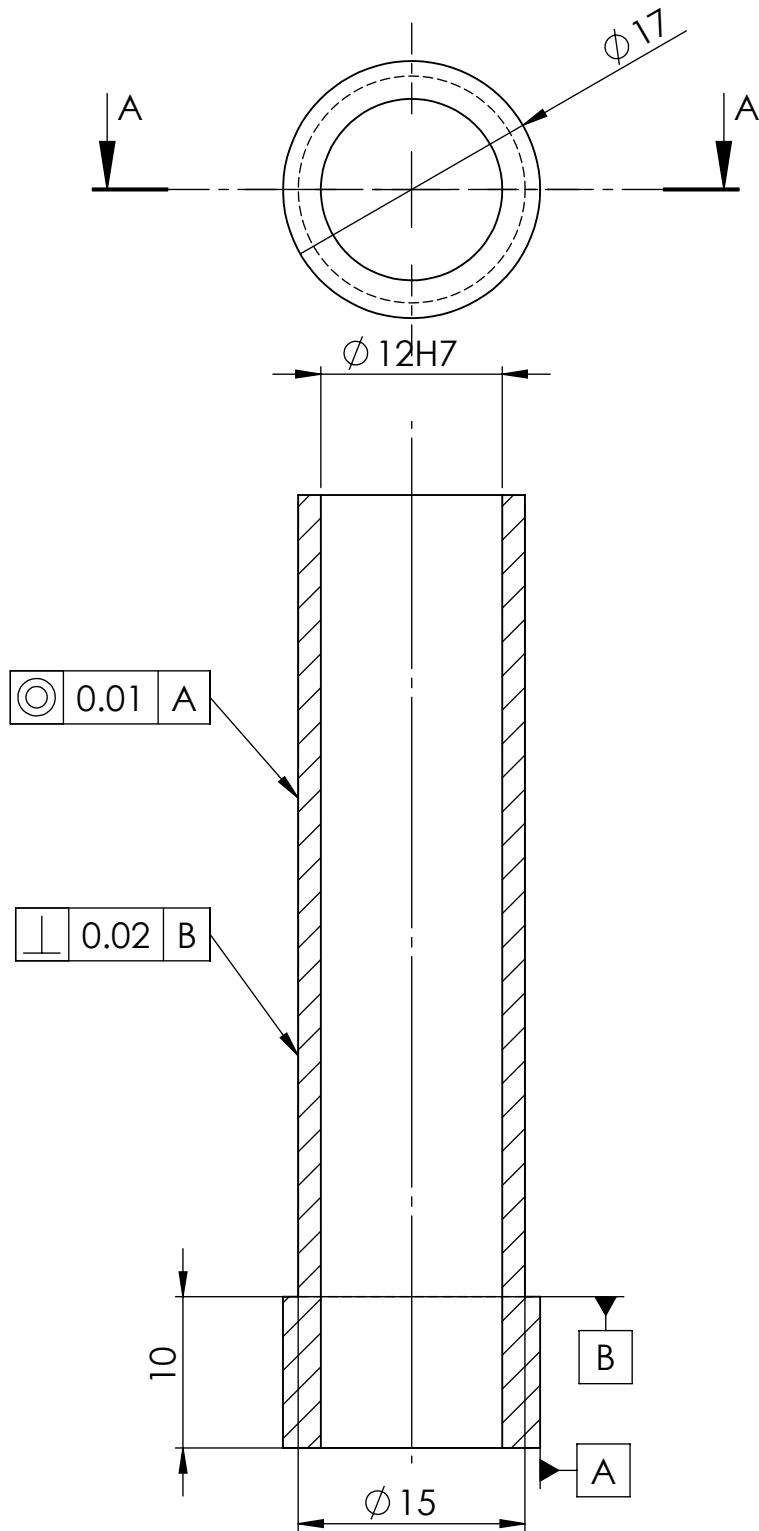
Ra=3.2/ sauf indications particulières

ECHELLE : 1:1	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF
	<h1>Matrice rapportée 7</h1>		HADDAD YACINE
A4			PROMO:19/20



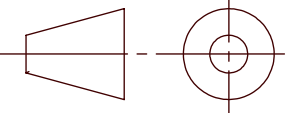
$Ra=1.6$ / sauf indications particulières

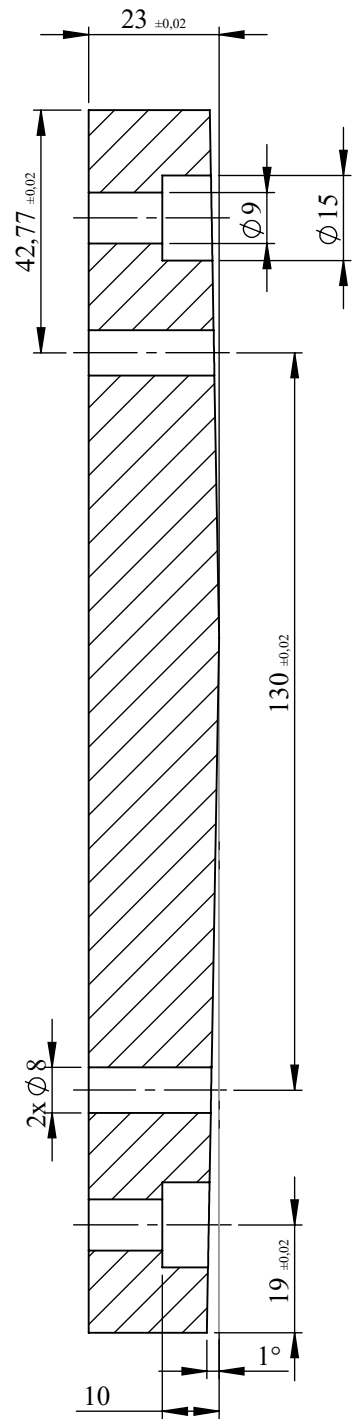
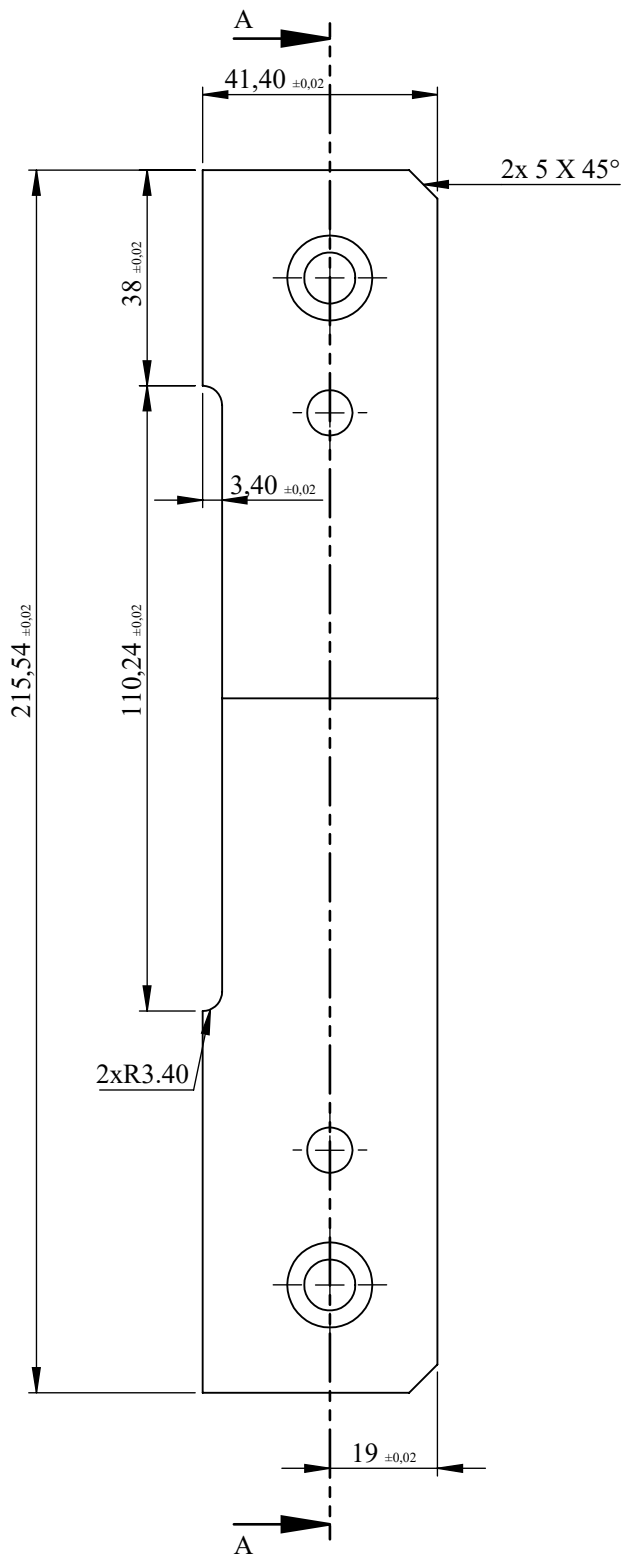
ECHELLE : 2:1	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YOUCEF
	<h1>Canon de perçage 8</h1>		HADDAD YACINE
			PROMO:19/20
A4			Génie mécanique



COUPE A-A
ECHELLE 2 : 1

Ra=1.6

ECHELLE : 2:1	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	<h1>Canon de perçage 10</h1>		PROMO:19/20
			Génie mécanique
A4			



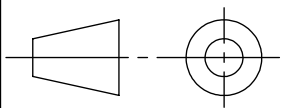
COUPE A-A
ECHELLE 1.5 : 2

ECHELLE: 1.5:2

Z200 C12

UMMTO

AZDAOU YUCEF
HADDAD YACINE

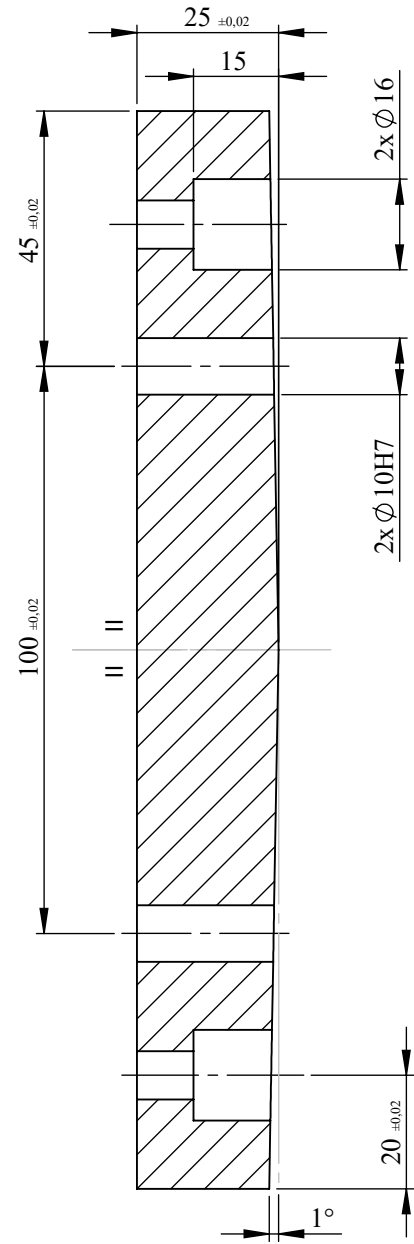
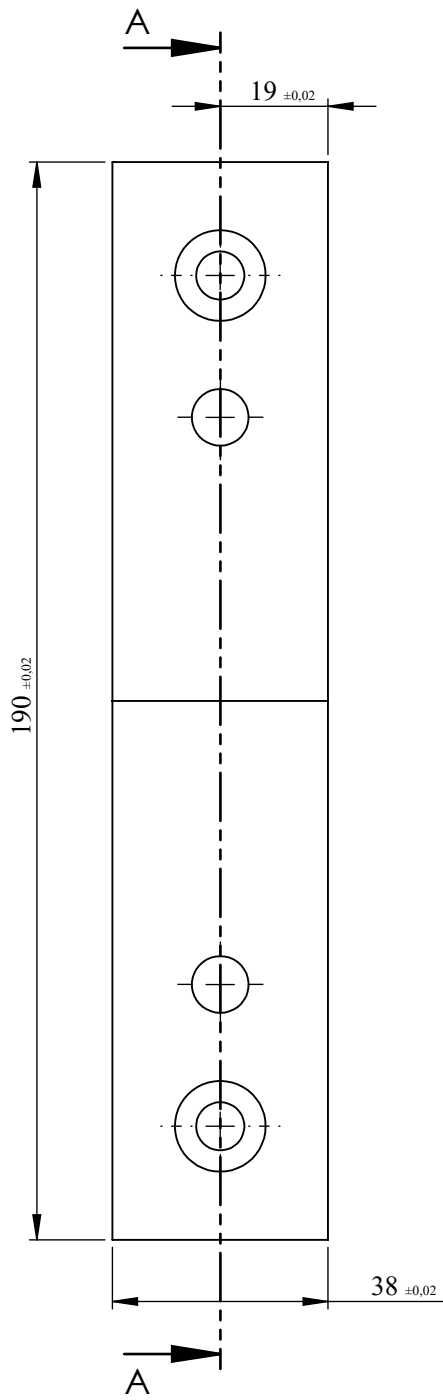


Couteau 1

PROMO:19/20

A4

Génie mécanique



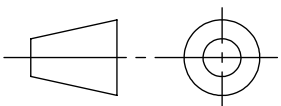
COUPE A-A
ECHELLE 1.5 : 2

ECHELLE: 1.5:2

Z200 C12

UMMTO

AZDAOU YUCEF
HADDAD YACINE

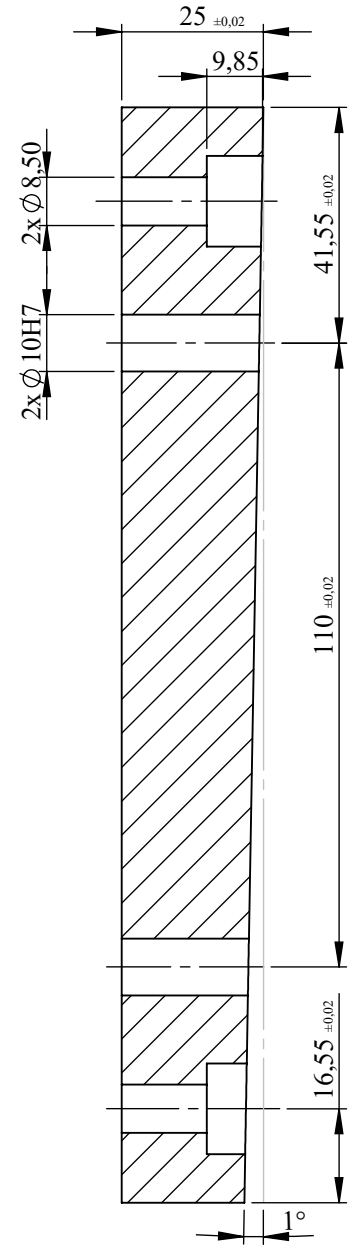
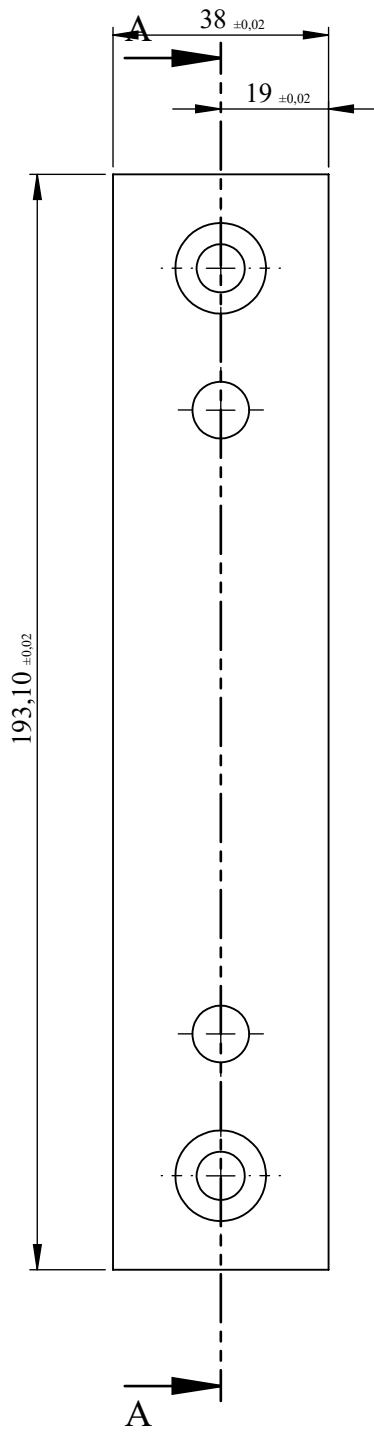


Couteau 2

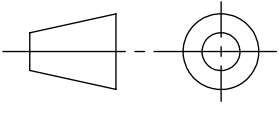
PROMO:19/20

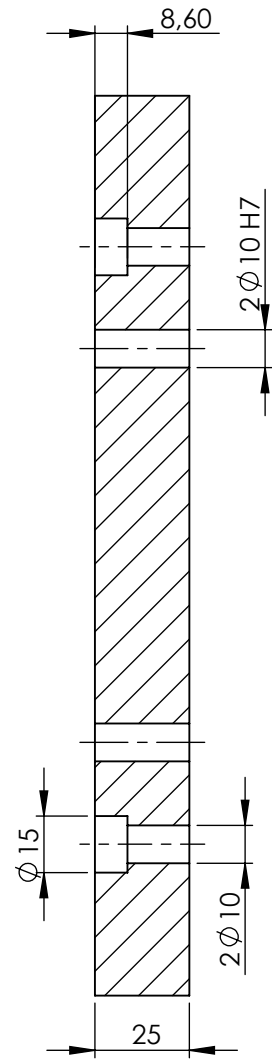
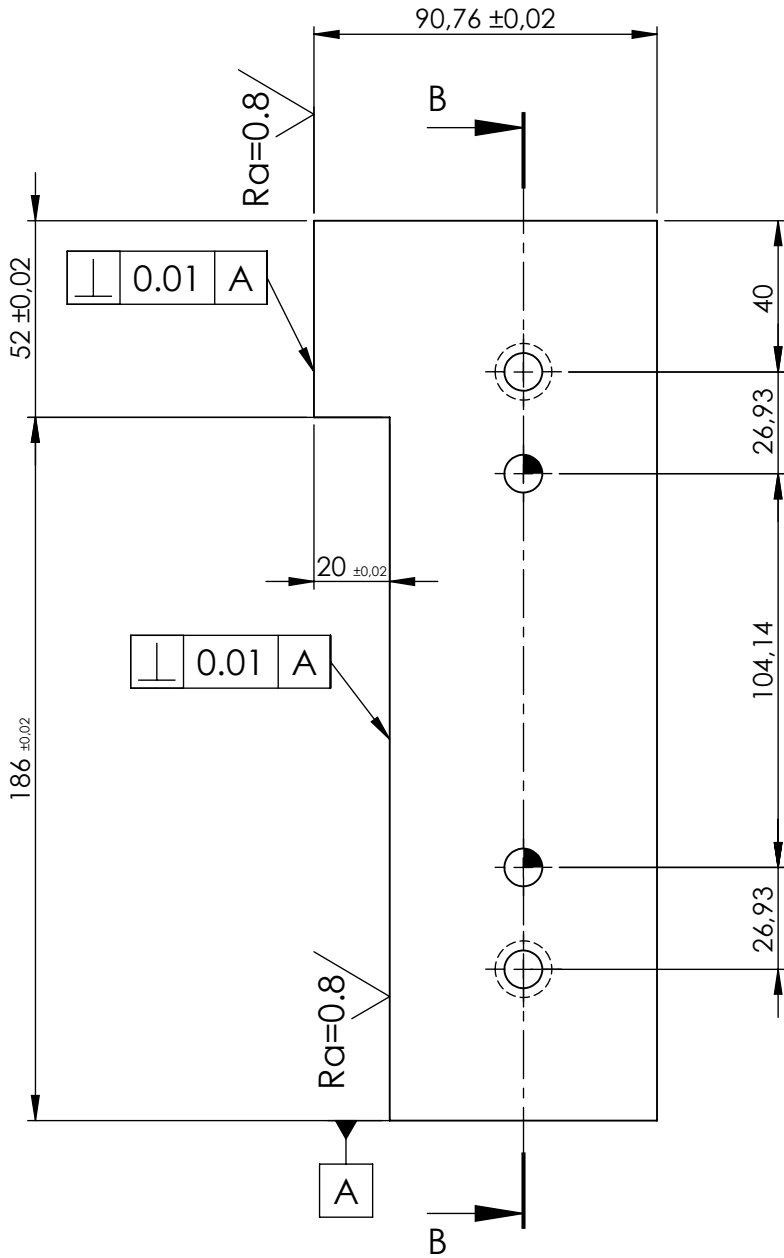
A4

Génie mécanique



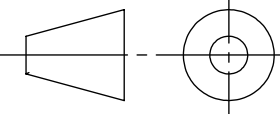
COUPE A-A
ECHELLE 1.5 : 2

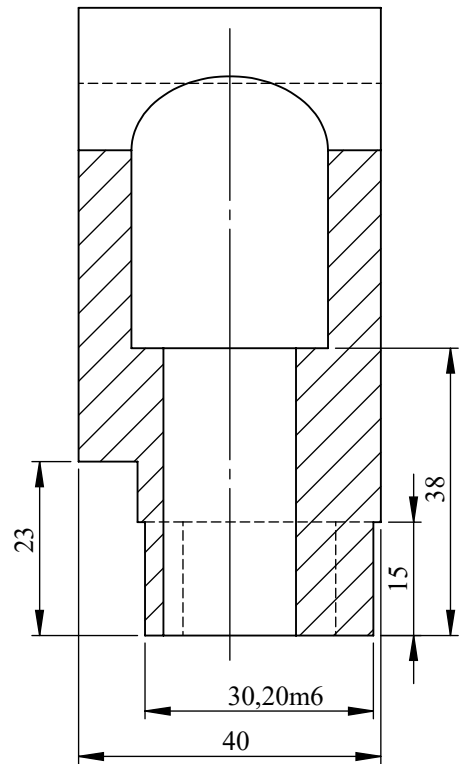
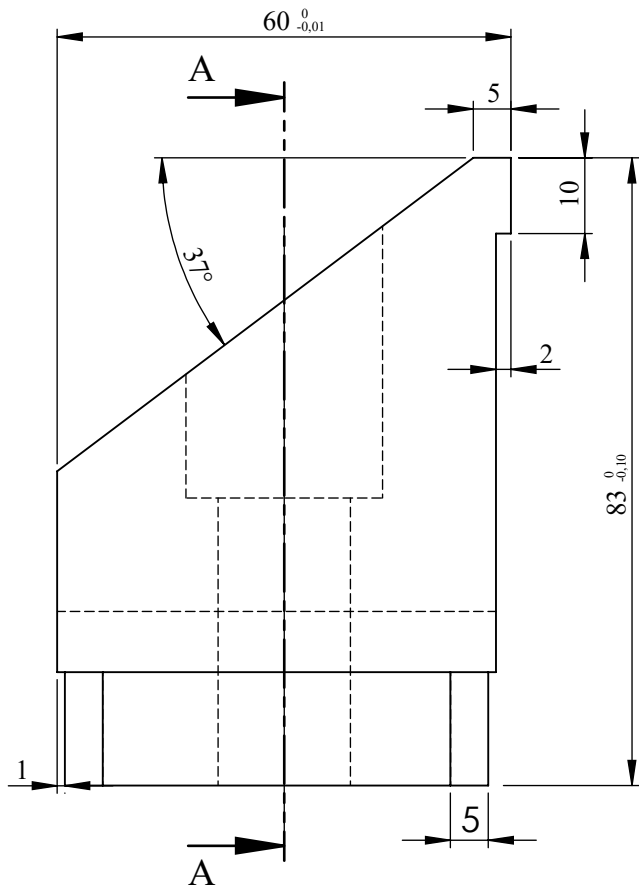
ECHELLE: 1.5:2	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF
	<h1>Couteau 3</h1>		HADDAD YACINE
A4			PROMO:19/20
			Génie mécanique



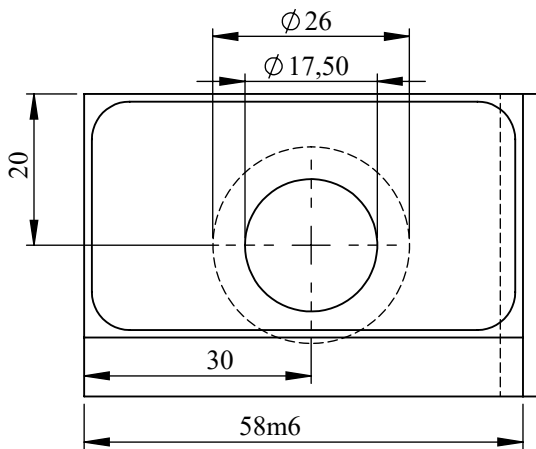
COUPE B-B

$Ra=3,2$ / Sauf indications particulières

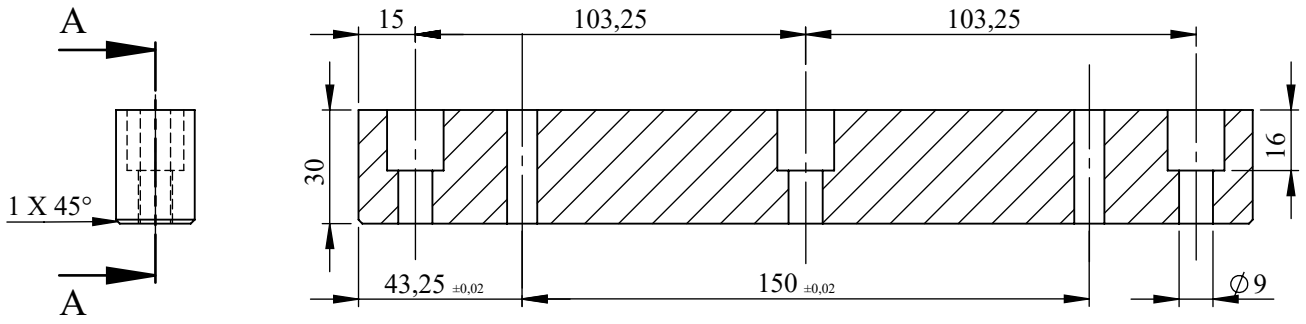
ECHELLE : 1:2	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	<h1>Couteau 4</h1>		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique



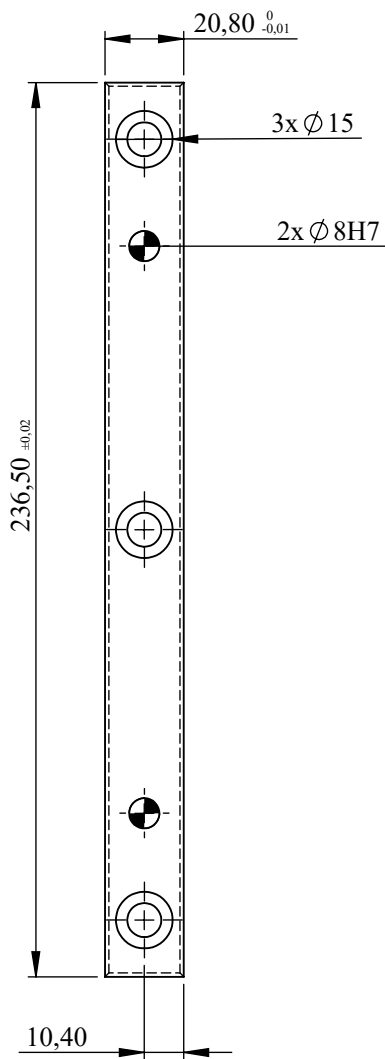
COUPE A-A

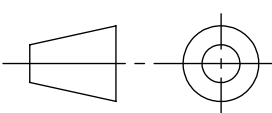


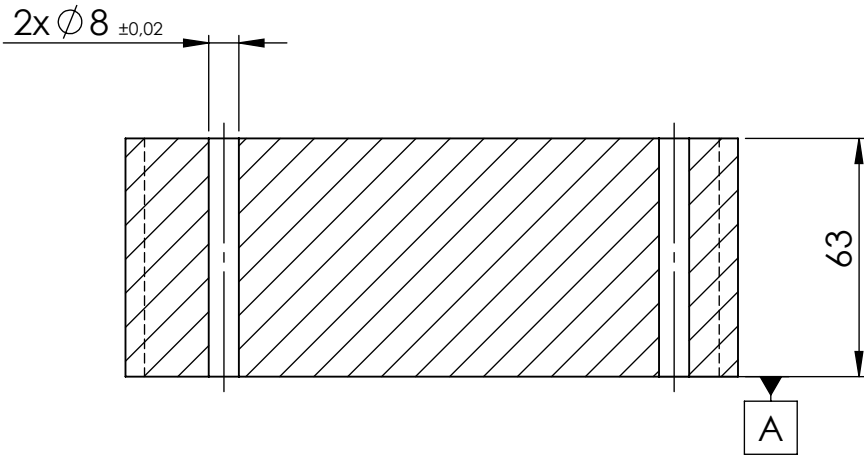
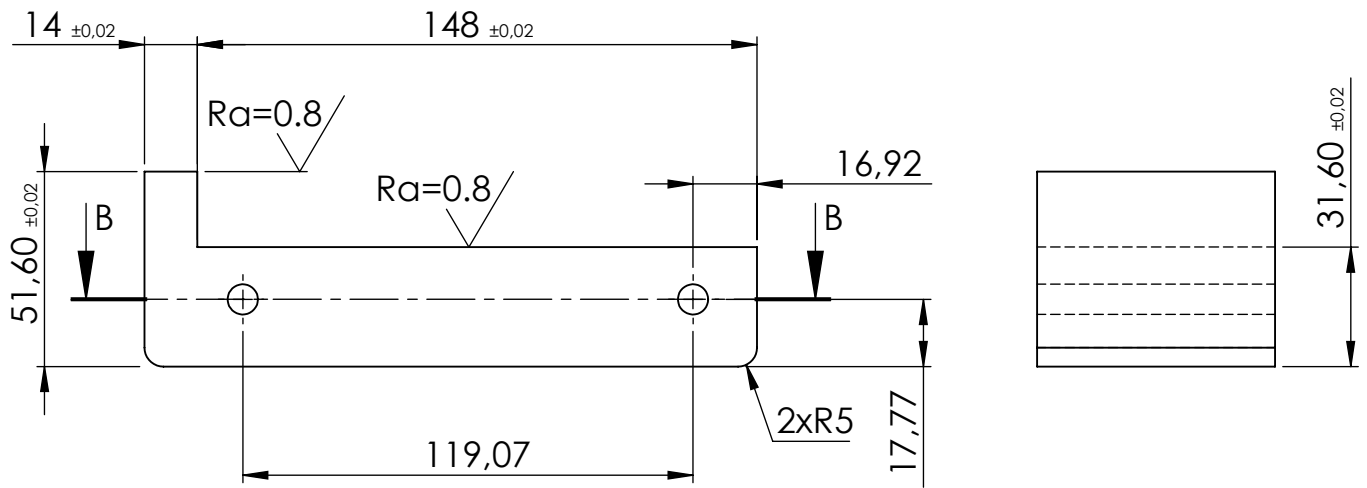
ECHELLE: 1:1	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF
	<h1>Coupe chute 1</h1>		HADDAD YACINE
A4			PROMO:19/20
		Génie mécanique	



COUPE A-A



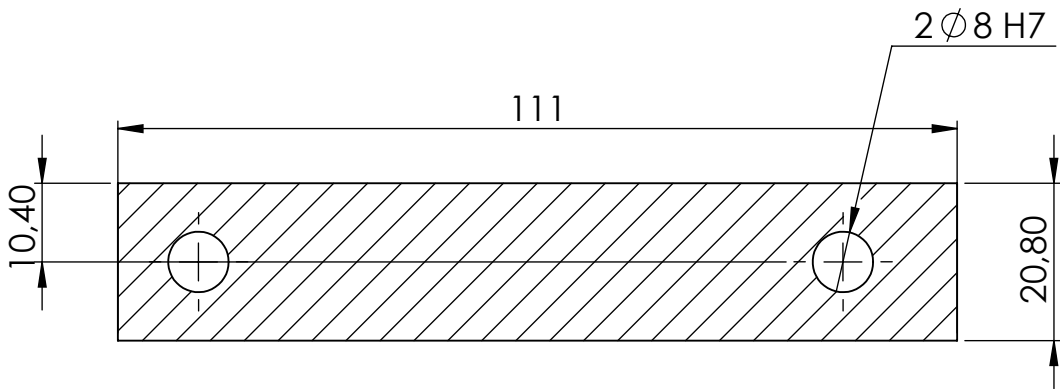
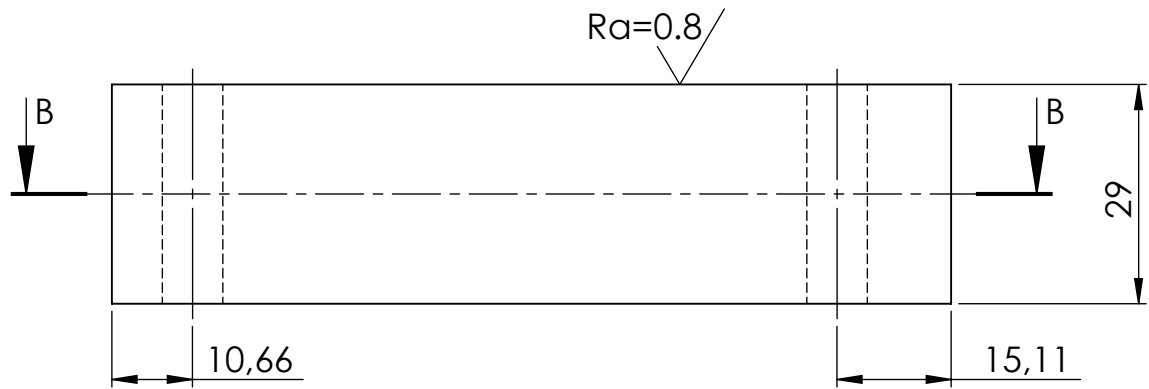
ECHELLE: 1:2	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	<h1>Lame 1</h1>		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique



COUPE B-B
ECHELLE 1 : 2

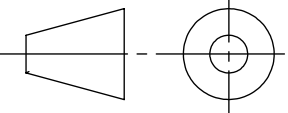
Ra=1.6/ Sauf indications particulière

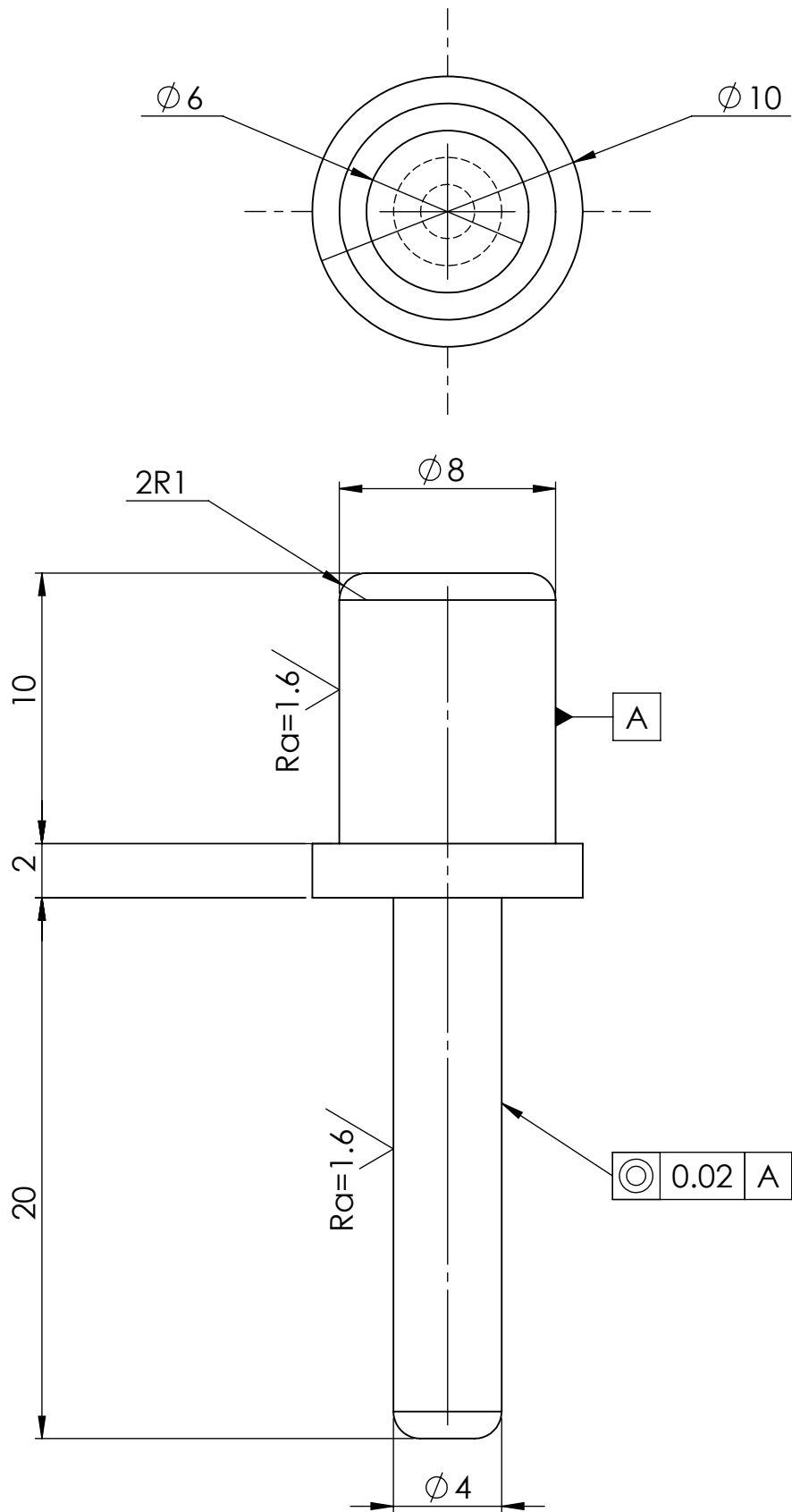
ECHELLE : 1:2	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF
	<h1>Lame 2</h1>		HADDAD YACINE
			PROMO:19/20
A4			Génie mécanique

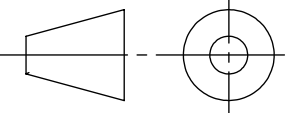


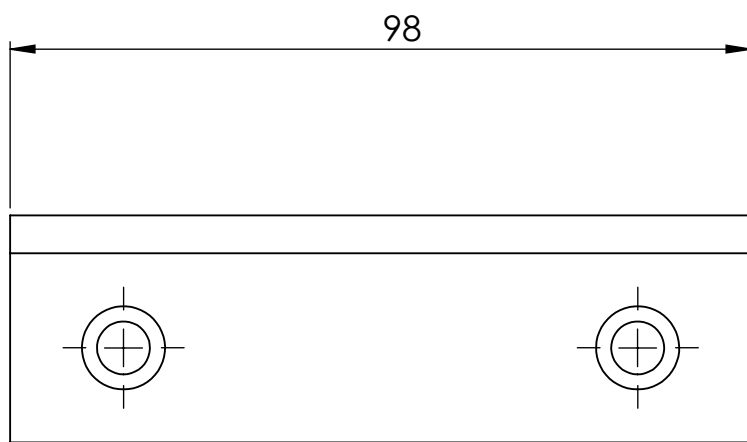
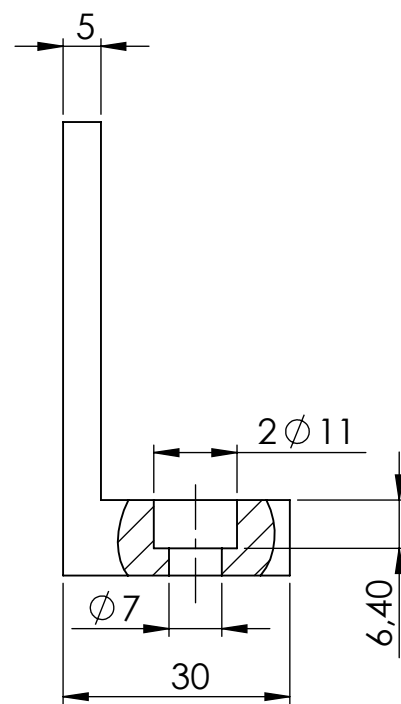
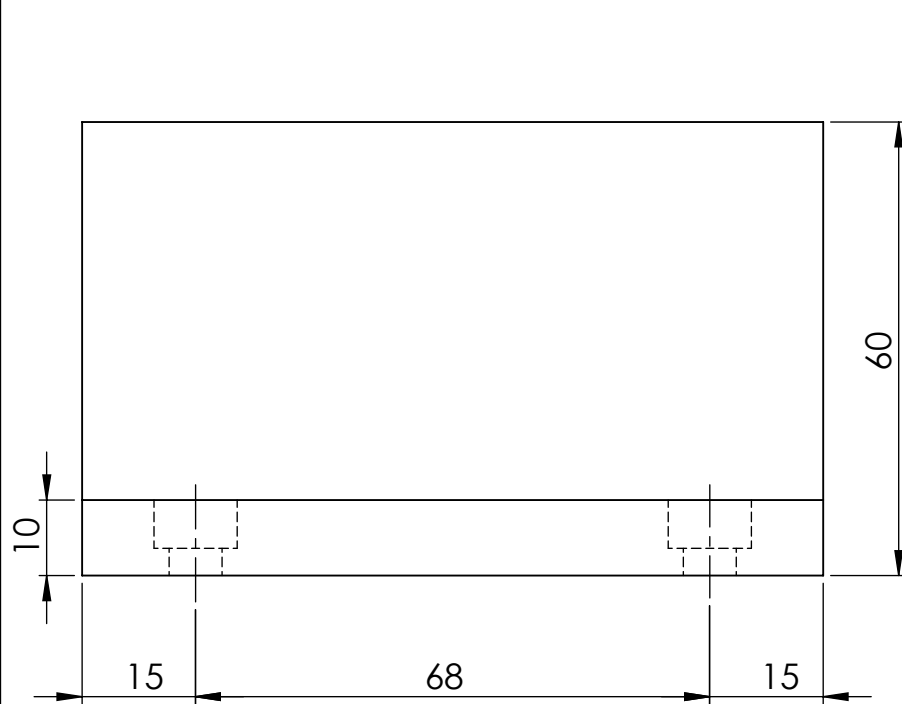
COUPE B-B
ECHELLE 1 : 1

$Ra=1.6$ / Sauf indications particulières

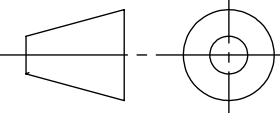
ECHELLE : 1:1	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	<h1>Lame 3</h1>		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique

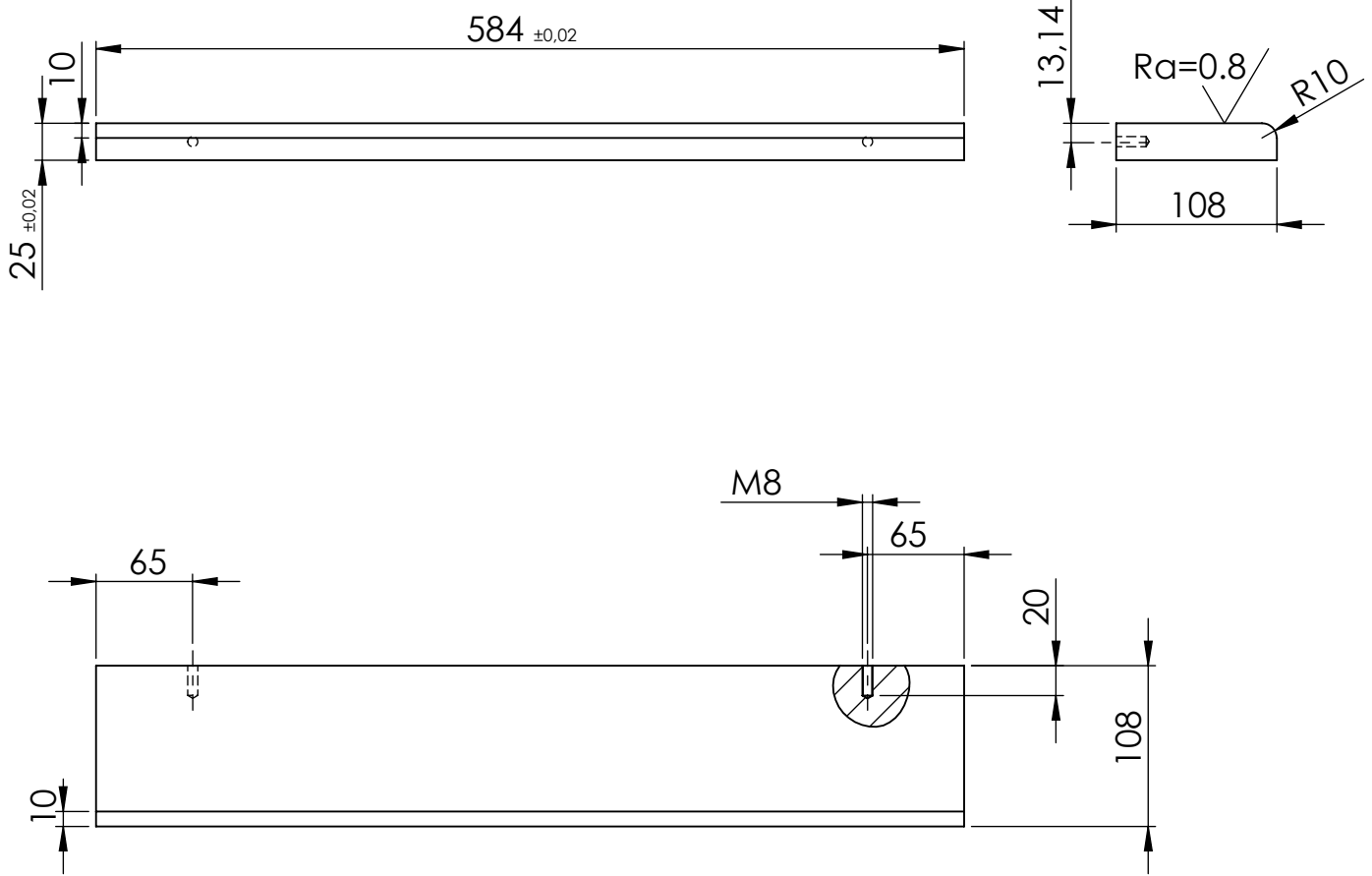


ECHELLE : 4:1	E12	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	<h1>Ejecteur</h1>		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique

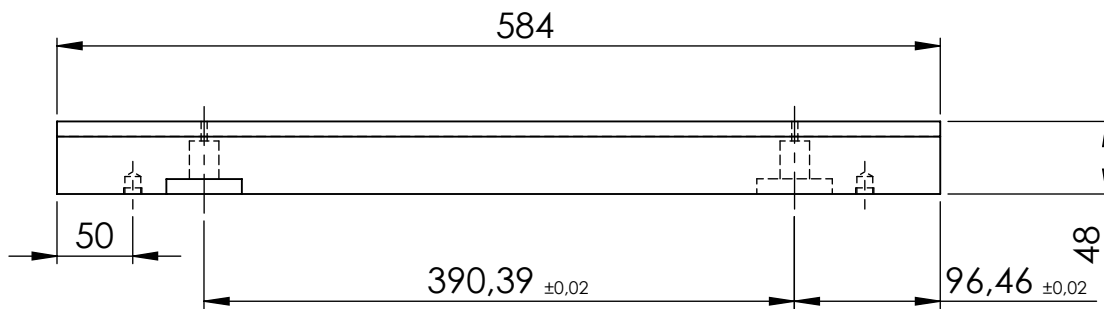
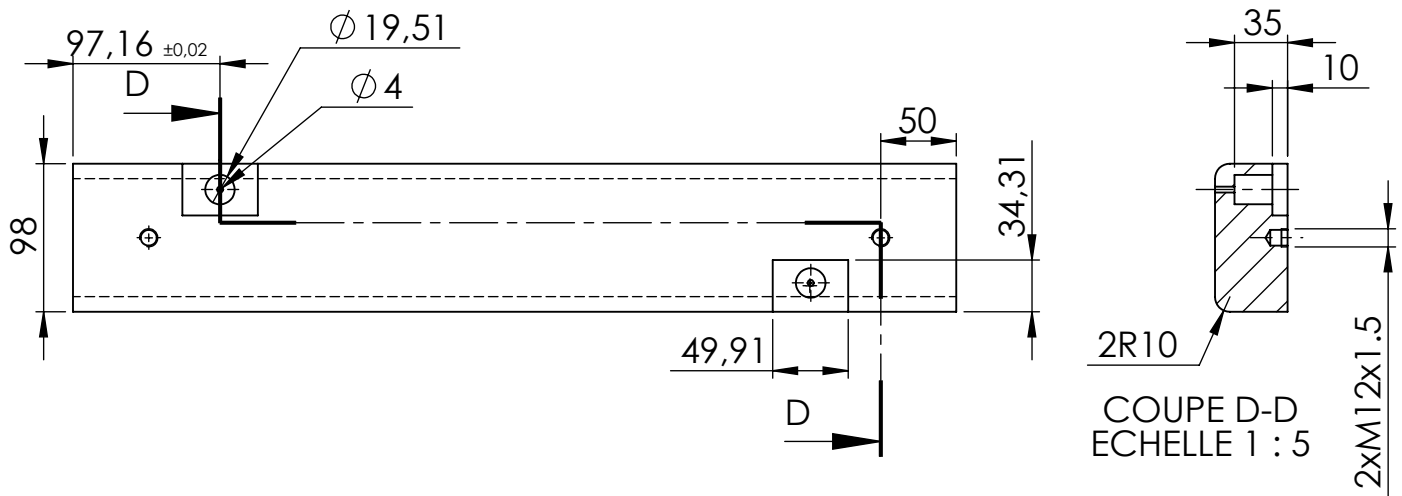


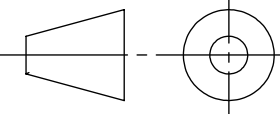
Ra=3.2/

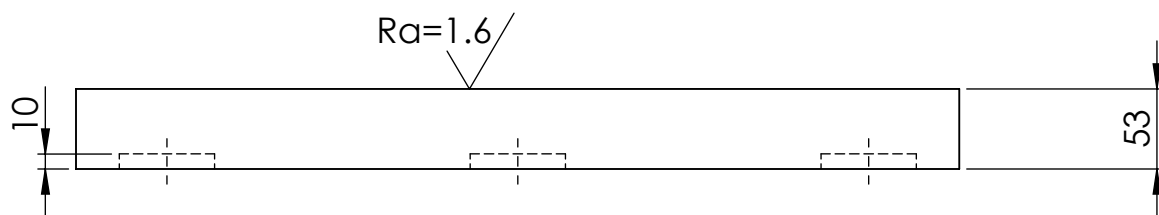
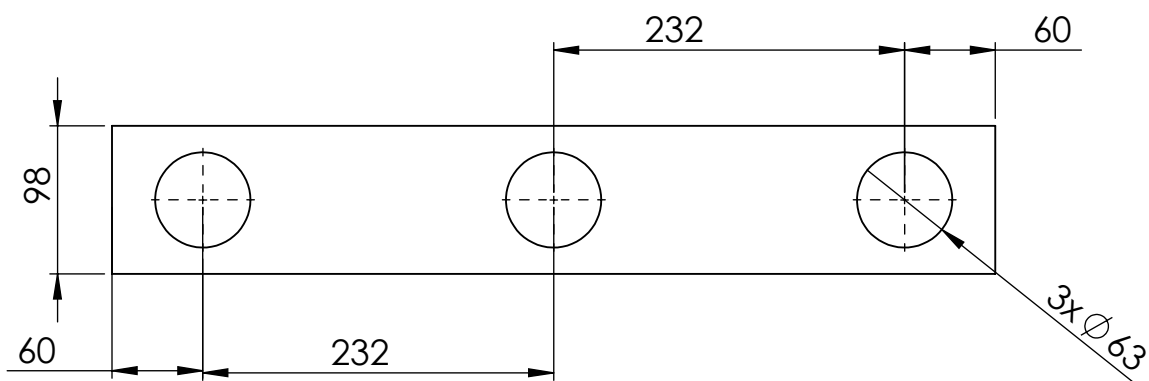
ECHELLE : 1:1	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YOUCEF HADDAD YACINE
	<h1>La cale</h1>		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique



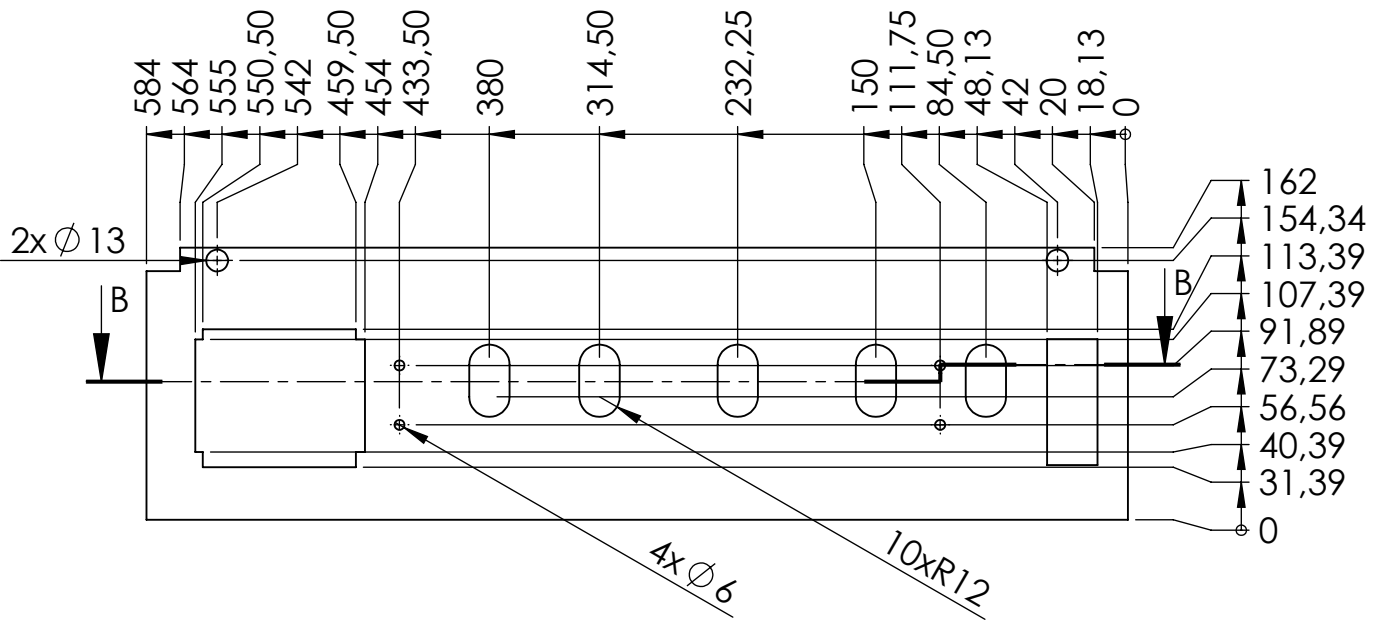
ECHELLE : 1:5	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF
	<p>poinçon P</p>		HADDAD YACINE
			<p>PROMO:19/20</p>
A4			Génie mécanique



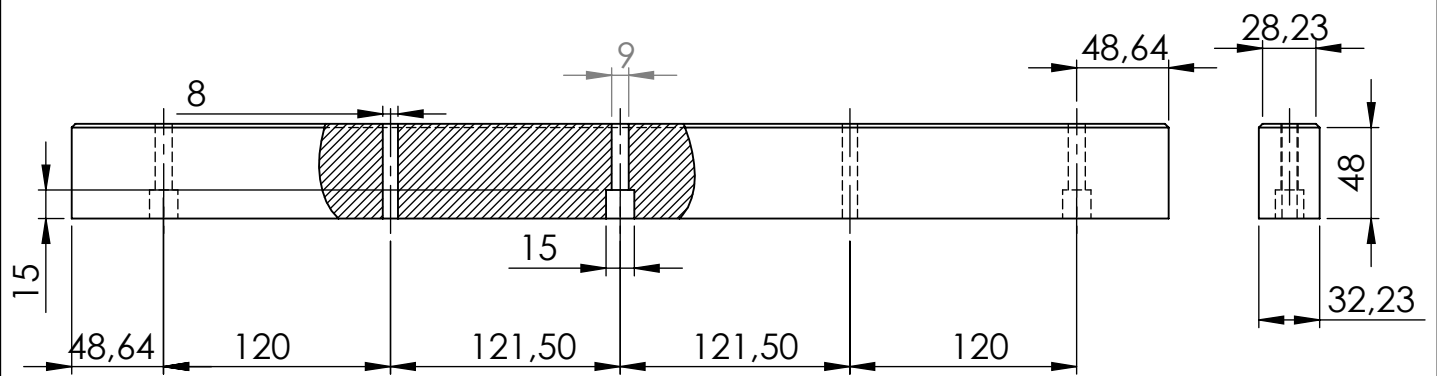
ECHELLE : 1:5	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF
	<h1>matrice P</h1>		HADDAD YACINE
A4			PROMO:19/20
			Génie mécanique



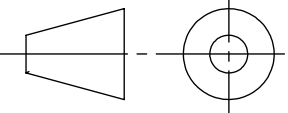
ECHELLE : 1:5	XC48	UMMTO	AZDAOU YUCEF
	<h1>Serre flan</h1>		HADDAD YACINE
A4			PROMO:19/20
			Génie mécanique

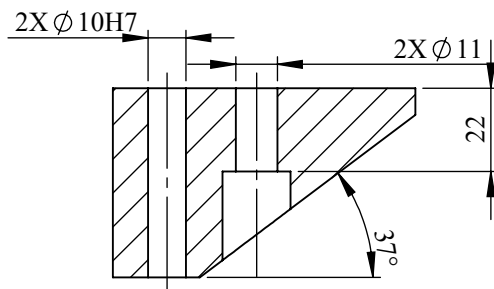
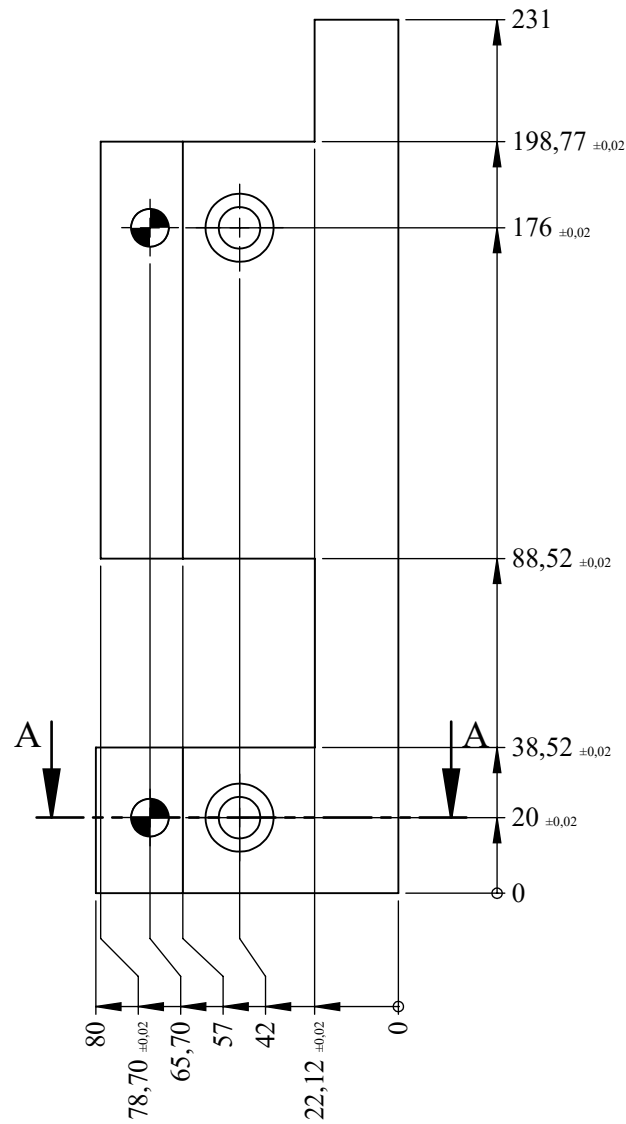


ECHELLE : 1:4.5	XC48	UMMTO	AZDAOU YUCEF
	<h1>Serre flan</h1>		HADDAD YACINE
			PROMO:19/20
A4			Génie mécanique

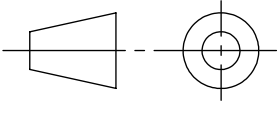


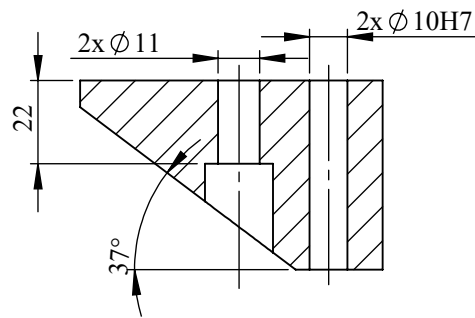
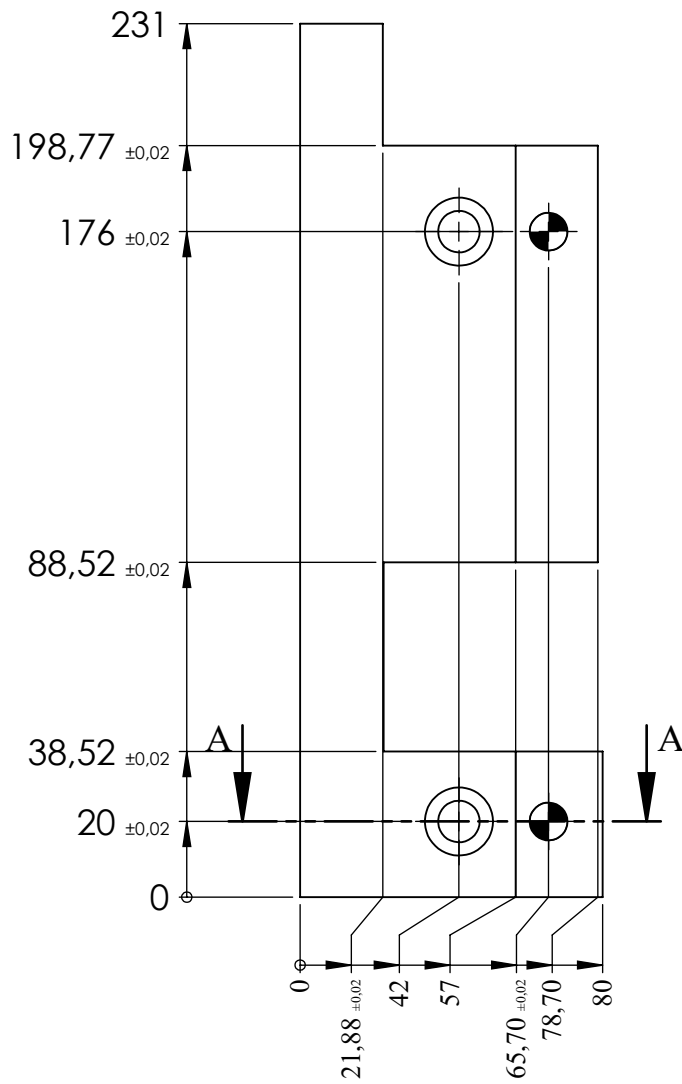
Ra=3.2

ECHELLE : 1:4	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	<h1>Butée</h1>		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique



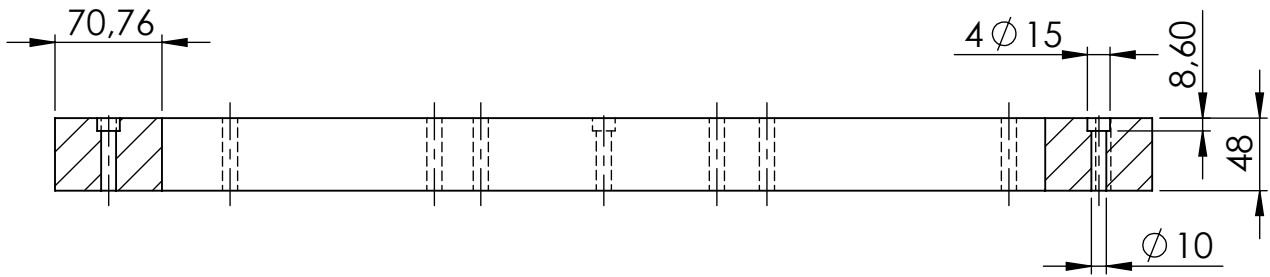
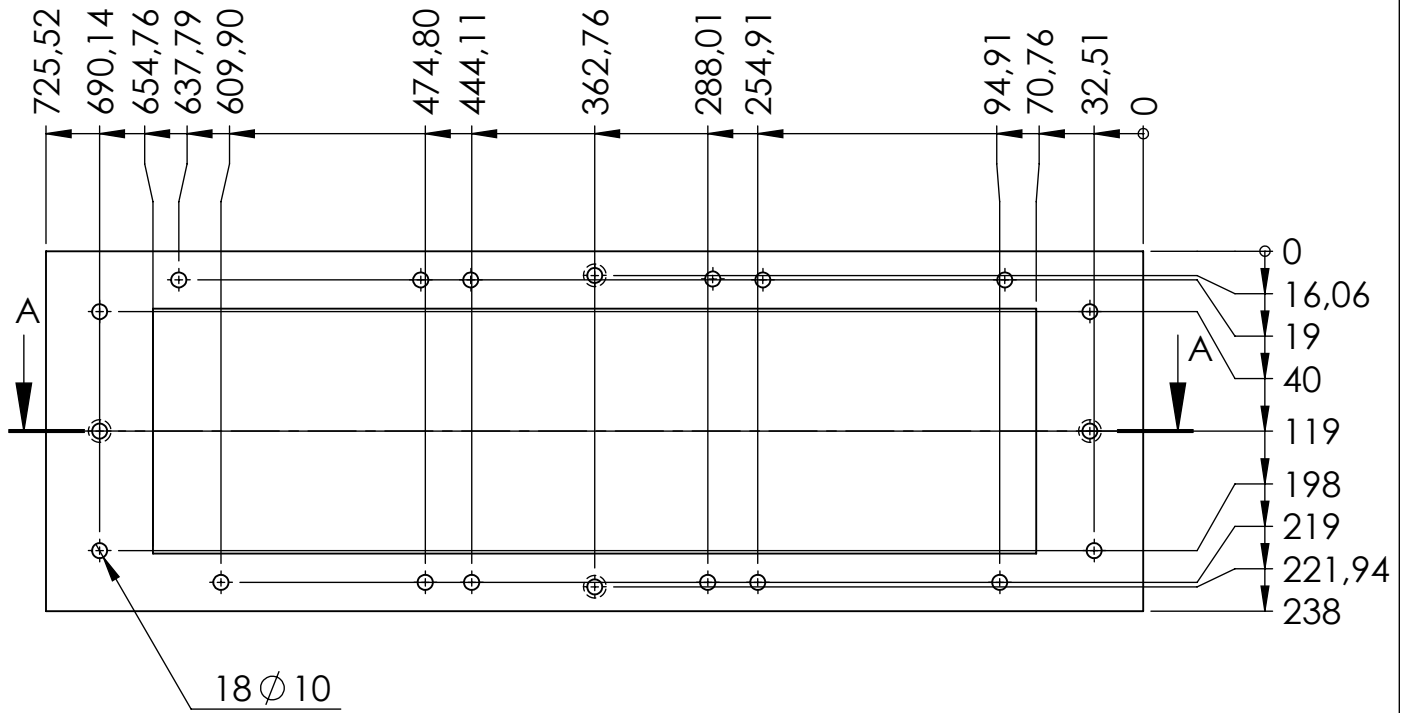
COUPE A-A

ECHELLE: 1:2	XC 48	UMMTO	AZDAOU YUCEF
	<h1>Butée gauche</h1>		HADDAD YACINE
A4			PROMO:19/20
			Génie mécanique



COUPE A-A

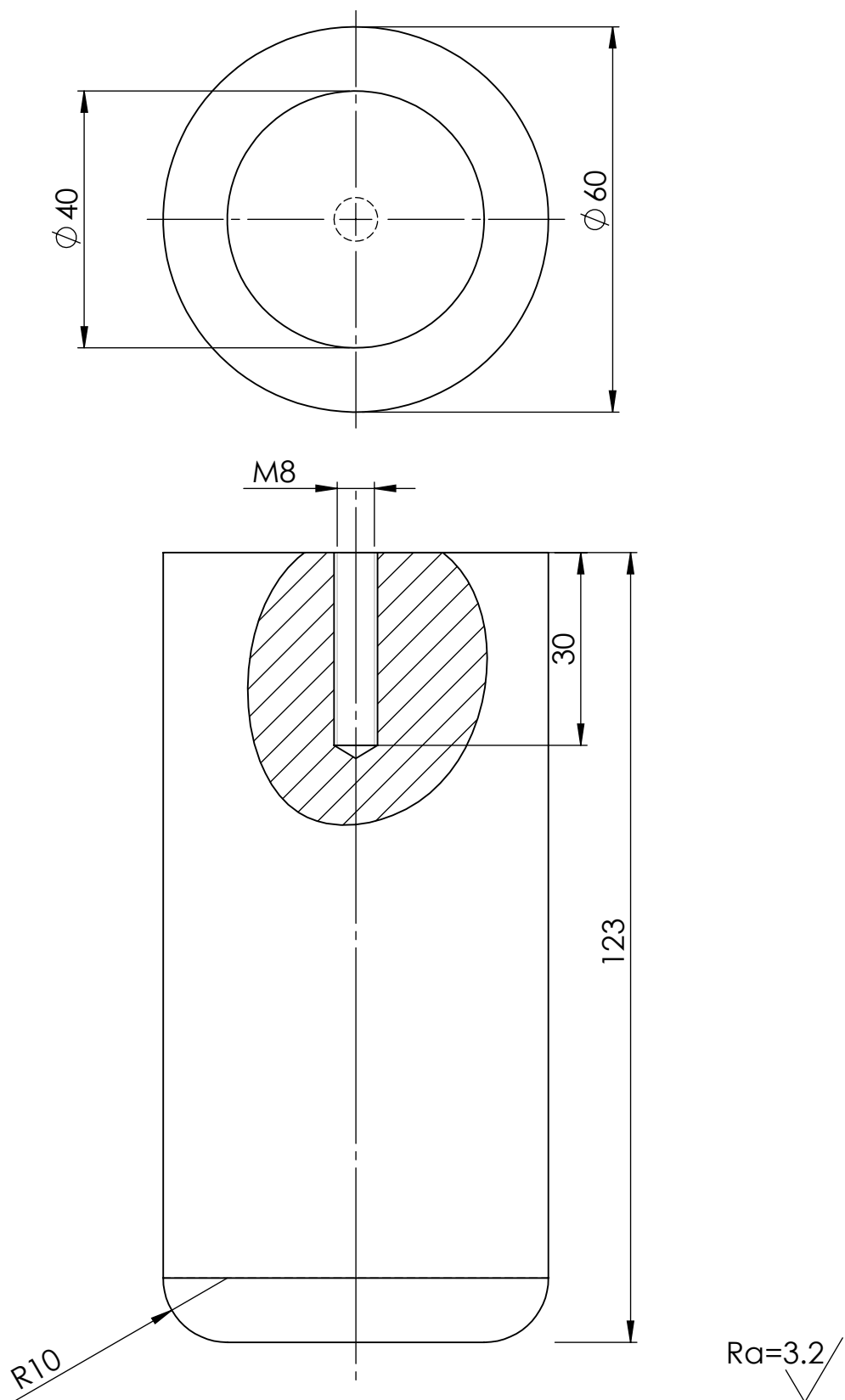
ECHELLE: 1:2	XC 48	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	<h1>Butée droite</h1>		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique

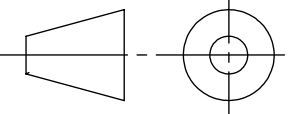


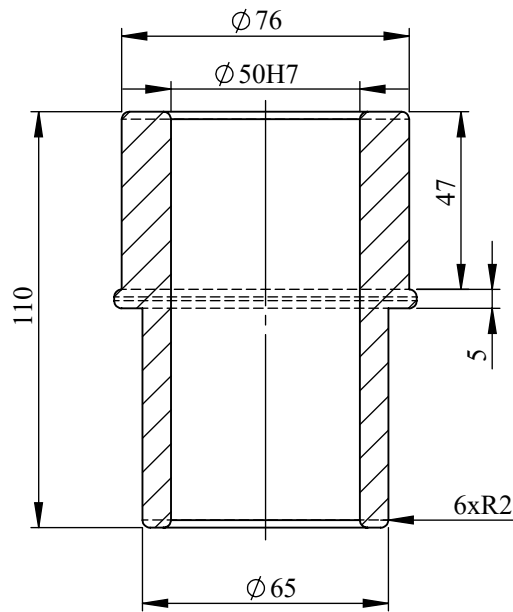
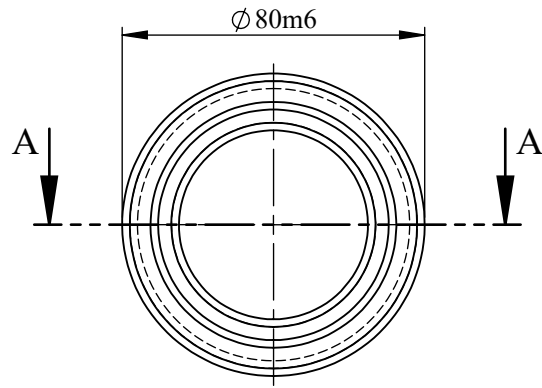
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 5

Ra=1.6

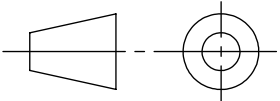
<p>ECHELLE : 1:5</p>	<p>Z200 C12</p>	<p>UMMTO</p>	<p>AZDAOU YUCEF</p>
	<p>Porte coteaux</p>		<p>HADDAD YACINE</p>
<p>A4</p>			<p>PROMO:19/20</p>
			<p>Génie mécanique</p>

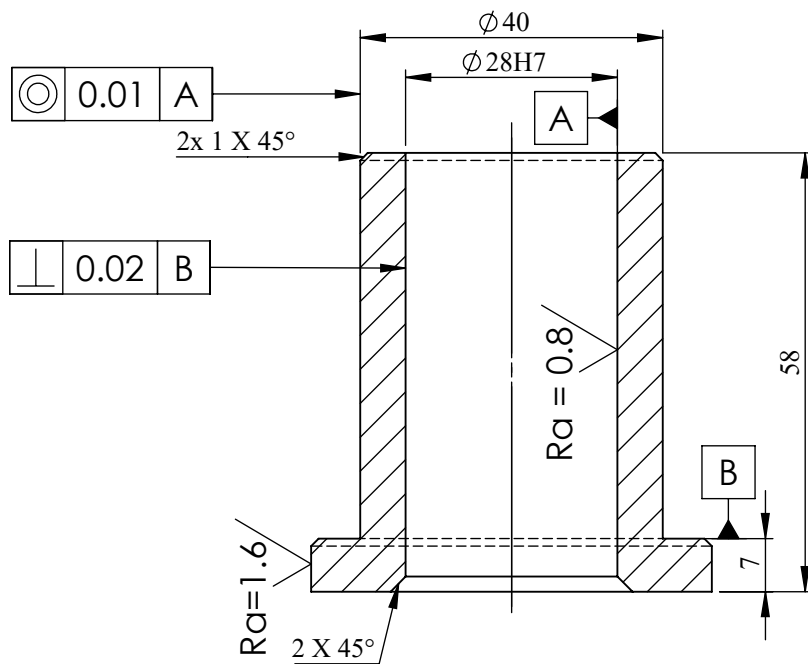
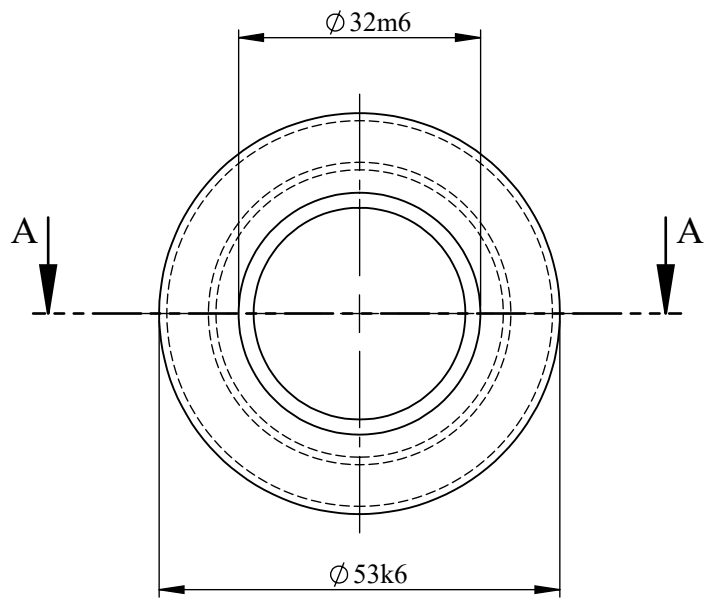


ECHELLE : 1:1	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	Bloque de securité		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique



COUPE A-A

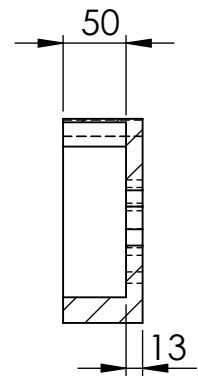
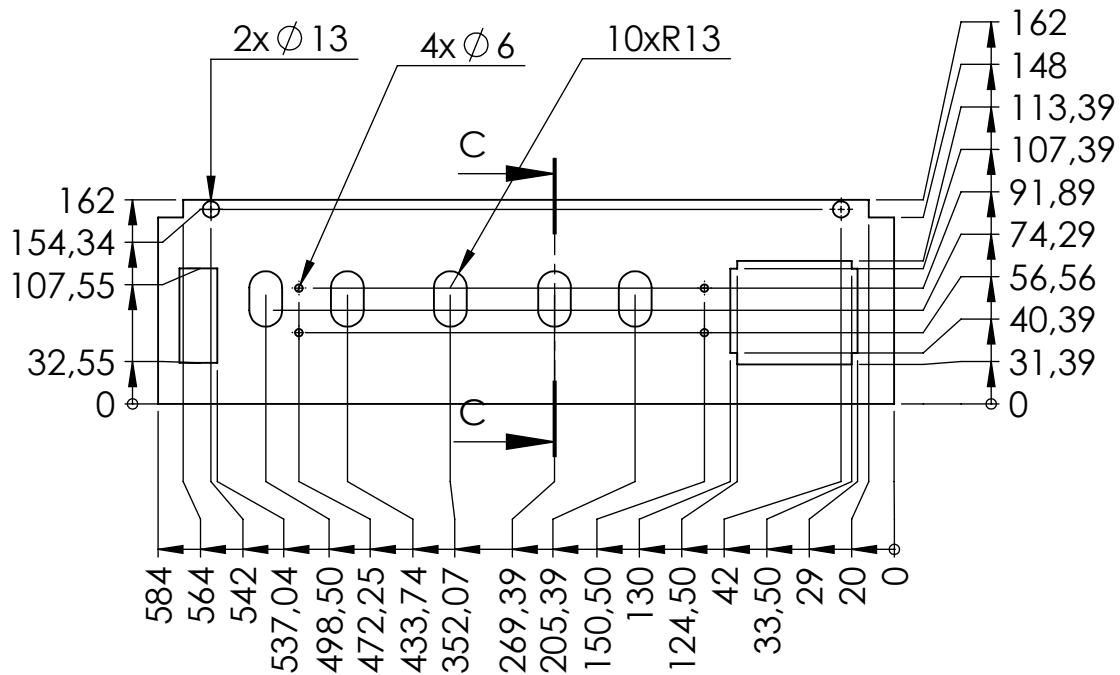
<p>ECHELLE: 1:2</p>	<p>Bronze</p>	<p>UMMTO</p>	<p>AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE</p>
	<h1 style="text-align: center;">Embase</h1>		<p>PROMO:19/20</p>
<p>A4</p>			<p>Génie mécanique</p>



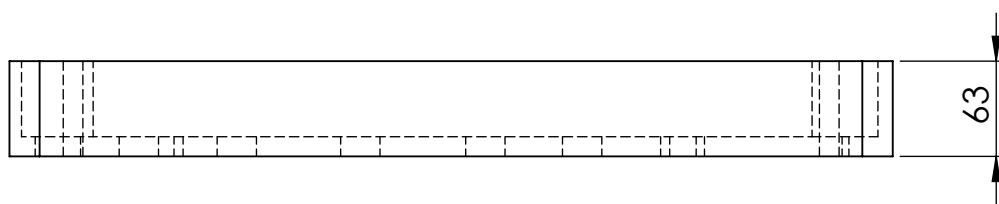
COUPE A-A

$Ra = 3.2$ / sauf indication particulière

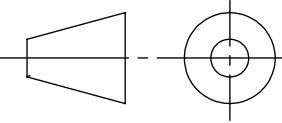
ECHELLE: 1:1	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	<h1>Bague de centrage</h1>		PROMO:19/20
A4			Génie mécanique

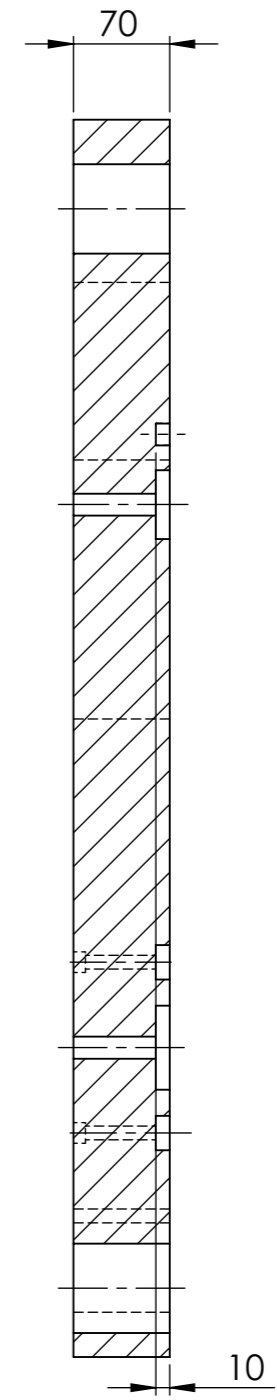
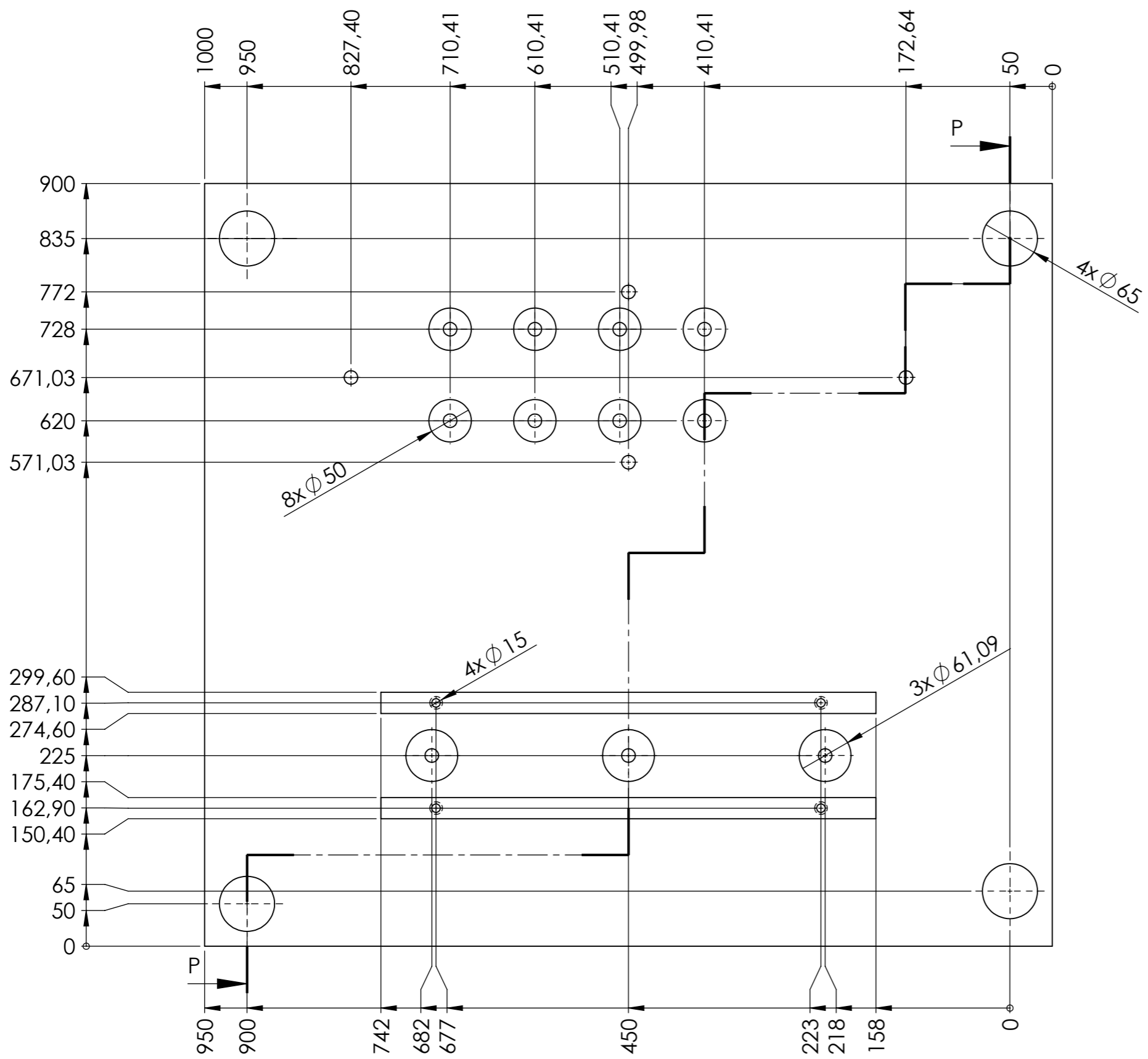


COUPE C-C
ECHELLE 1 : 6

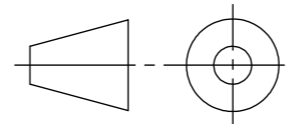


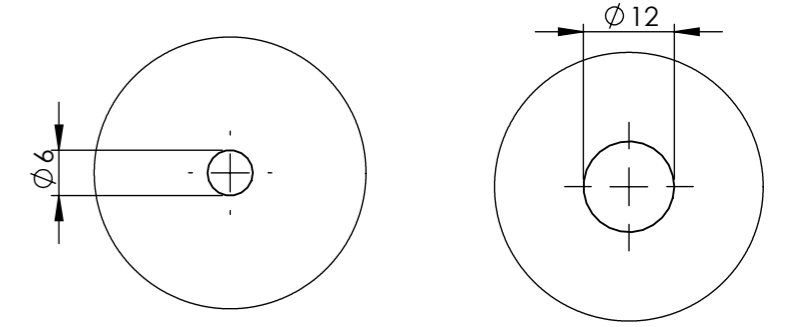
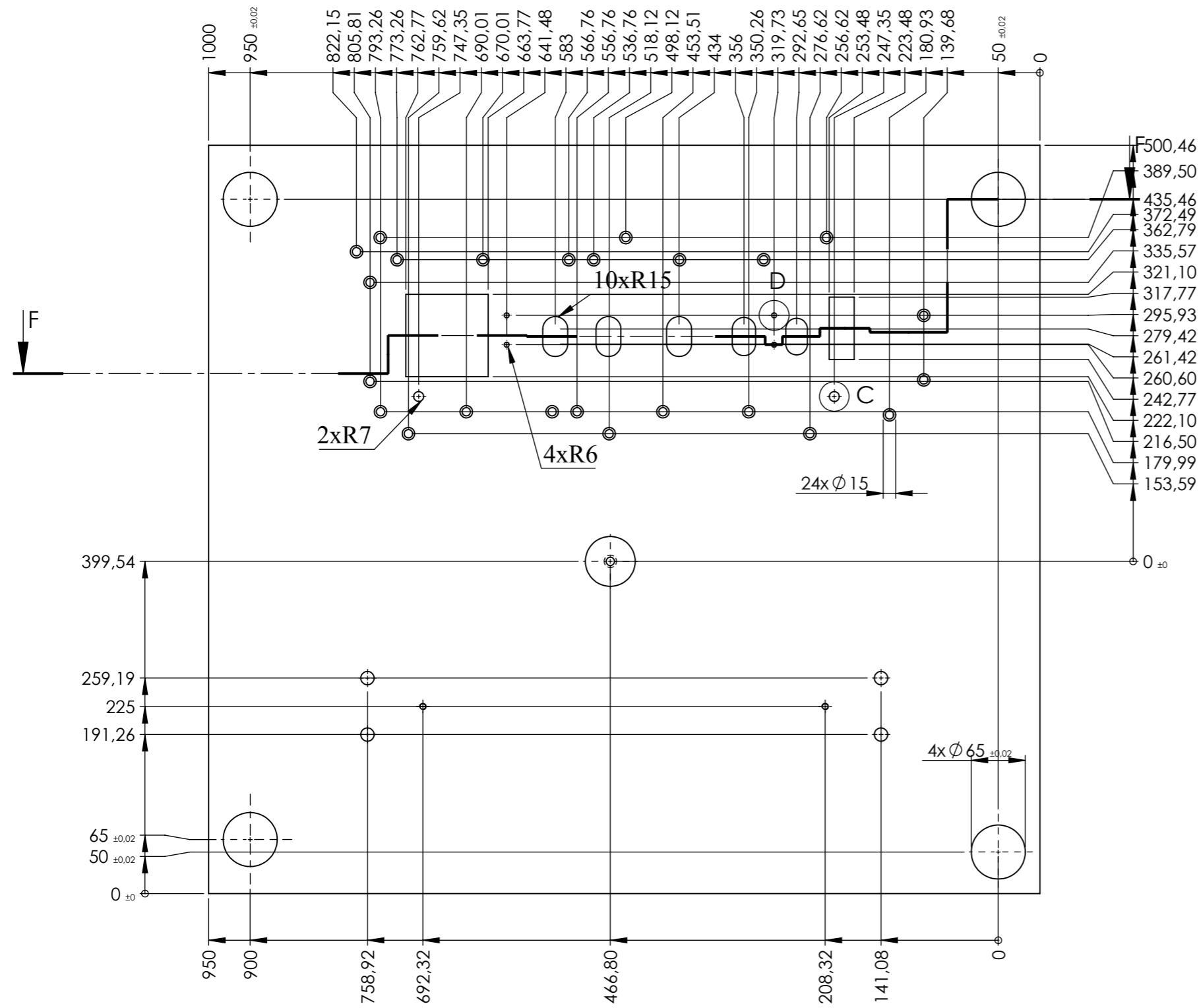
Ra=3.2

ECHELLE : 1:4.5	Z200 C12	UMMTO	AZDAOU YUCEF
	<h1>Couvercle</h1>		HADDAD YACINE
			PROMO:19/20
A4			Génie mécanique



COUPE P-P
ECHELLE 1 : 5.5

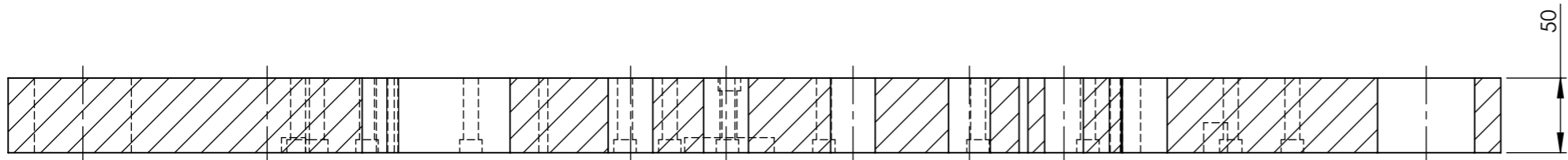
ECHELLE: 1:5.5  A3	C15	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
<h1>Semelle supérieure</h1>			PROMO:19/20
			Génie mécanique



DÉTAIL D
ECHELLE 1 : 1

DÉTAIL C
ECHELLE 1 : 1

Ra=3.2



COUPE F-F
ECHELLE 1 : 4

ECHELLE: 1:6	C15	UMMTO	AZDAOU YUCEF HADDAD YACINE
	Semelle inférieure		PROMO:19/20
A3			Génie mécanique