

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOD MAMMERI DE
TIZI OUZOU



Faculté du Génie de la Construction
Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Spécialité : Construction Mécanique

**Etude et conception d'un outil de poinçonnage et de
détourage d'un bandeau bombé en INOX d'une cuisinière
ENIEM**

Réalisé par :

- AITIBROUT Sofiane
- BAZIZ Ali

Dirigé par :

Mr. SLIMANI. M

Proposé par :

Mr. CHALLAL. M

2018-2019

Je dédie ce Mémoire

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut ... ✍

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour,

le respect, la reconnaissance... ✍

Aussi, c'est tout simplement que... ✍

A MON TRES CHERE PERE ABDERRAHMANE

A celui qui m'a aidé à découvrir le savoir le trésor inépuisable.

De tous les pères, tu as été le meilleur, tu as su m'entourer d'attention, m'inculquer les valeurs nobles de la vie, m'apprendre le sens du travail, de l'honnêteté et de la responsabilité.

Merci d'avoir été toujours là pour moi, un grand soutien tout au long de mes études.

Des mots ne pourront jamais exprimer la profondeur de mon respect, ma reconnaissance et mon amour éternel.

Que dieu te préserve des malheurs de la vie afin que tu demeures le flambeau illuminant mon chemin...

A MA TRES CHERE MERE ZOHRRA

A la plus douce et la plus merveilleuse de toutes les mamans.

A une personne qui m'a tout donné sans compter.

Aucun hommage ne serait transmis à sa juste valeur ; l'amour, le dévouement et le respect que je porte pour toi.

Je te dédie ce travail qui grâce à toi et mon père a pu voir le jour.

Je vous dédie à mon tour ce mémoire qui concrétise vos rêves le plus cher et qui n'est que le fruit de vos conseils et de vos encouragements.

Tu n'as pas cessé de me soutenir et de m'encourager, ton amour, ta générosité exemplaire et ta présence constante ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Puisse dieu tout puissant te protéger du mal, te procurer longue vie, santé et bonheur afin que je puisse te rendre un minimum de ce que je te dois.

A MES TRES CHERS FRERES YACINE ET BRAHIM

Je vous dédie ce travail en témoignage de mon amour et mon attachement.

Puisse nos fraternels liens se pérenniser et consolider encore.

Je ne pourrais d'aucune manière exprimer ma profonde affection et mon immense gratitude pour tous les sacrifices consentis, votre aide et votre générosité extrêmes ont été pour moi une source de courage, de confiance et de patience.

J'implore DIEU qu'il vous apporte bonheur, amour et que vos rêves se réalisent.

A MES TRES CHERES SEURS DALILA, NADIA, SABRINA, CILIA

Quoique je dise, je ne saurais exprimer l'amour et la tendresse que j'ai pour vous.

Je vous remercie, pour votre support et vos encouragements, et je vous dédie ce travail, pour tous les moments de joie et de taquinerie qu'on a pu partager ensemble.

Puisse DIEU, le tout puissant, vous préserver du mal, vous combler de santé et de bonheur.

A TOUS MES ANCLÈS ET TANTES, MES COUSINS ET COUSINES

En témoignage de mon attachement et de ma grande considération.

J'espère que vous trouverez à travers ce travail l'expression de mes sentiments les plus chaleureux.

Tous mes vœux de bonheur et de santé.

A MES GRANDES AMIS(ES) ET COLLEGUES

En souvenir des moments merveilleux que nous avons passés et aux liens solides qui nous unissent.

Un grand merci pour votre soutien, vos encouragements, votre aide.

Avec toute mon affection et estime, je vous souhaite beaucoup de réussite et bonheur, autant dans votre vie professionnelle que privée.

REMERCIEMENTS

A NOTRE PROMOTEUR

SLIMANI. M

*Vous avez honoré par votre confiance en nos confiant cet excellent sujet de travail.
Les conseils fructueux que vous nous avez prodigué ont été très précieux, nous vous en remercions.*

Votre bonté, votre modestie, votre compréhension, ainsi que vos qualités professionnelles ne peuvent que susciter notre grand estime et profond respect.

Veillez trouver ici, l'assurance de notre reconnaissance et notre profonde admiration.

A NOTRE PRESIDENT DE JURY

MONSIEUR TACHACHI. S

Vous nous avez accordé un grand honneur en acceptant de présider le jury de notre mémoire.

Veillez, trouver dans ce modeste travail l'expression de notre haute considération et notre profond respect.

A NOTRE ENSEIGNANT ET JUGE

DE MEMOIRE MONSIEUR REZAOUI .M

Nous vous remercions pour l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger ce travail.

Veillez trouver dans ce travail, l'expression de notre estime et de notre considération.

A NOTRE ENCADREUR Mr

CHALAL Mourad A L'ENTREPRISE ENIEM

Nous tenons à vous remercier, pour votre aide et votre soutien durant le stage, ainsi que tout le personnel de service maintenance, Service Etude et développement, gestion produit, Unité de Cuisson, son oublier monsieur HANOUCHE pour son aide, sa disponibilité, qu'ils trouvent ici notre profonde gratitude et toute notre reconnaissance et notre respect.

A TOUS LES ENSEIGNANTS Du

*DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE FACULTE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION DE
L'UNIVERSITE*

Mouloud MAMMERI TIZI OUZO

Un mémoire et le fruit de plusieurs années d'études et nous ne saurions oublier dans nos dédicaces l'ensemble de nos professeurs et maitres qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.

JE DÉDIE CE TRAVAIL :

A mes parents

Que j'aime beaucoup, pour toute l'aide qu'ils m'ont apporté, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A ma grand-mère

Que je souhaite longue vie et bonne sante

A mes frères

Que Je ne saurai traduire sur du papier l'affection que j'ai pour vous, je n'oublierai jamais ces merveilleux moments passés ensemble, j'implore Allah de vous réserver un avenir meilleur

A mes oncles et tantes

Pour leurs soutiens et encouragements

A mes cousins et cousines

Je leurs souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de Réussite et de sérénité.

A mes chers ami(e)s

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous Exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de Bonheur.

Ali BAZIZ

SOMMAIRE

Introduction générale

1	Présentation de l'entreprise.....	1
1.1	Historique	1
1.2	Objet social et champ d'activité	1
2	Organisation de l'entreprise :.....	2
2.1	Organisation générale.....	2
2.2	Missions et activités principales de chaque unité	3
2.2.1	Direction générale.....	3
2.2.2	Unité froid.....	3
2.2.3	Unité cuisson	3
2.2.4	Unité climatisation.....	3
2.2.5	Unité prestation techniques	4
2.2.6	Unité commerciale.....	4
3	Politique de l'entreprise	4
3.1	Politique qualité.....	4
3.2	Politique environnementale.....	4
3.2.1	Cibles	5

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

Découpage, Pliage

I.1	Le procédé d'emboutissage.....	6
I.1.1	Définition	6
I.1.2	Principe	6
I.1.2.1	Outils à simple effet.....	7
I.1.2.2	Outils double effet	7
I.1.3	Outillages	7
I.1.4	Différentes phases d'une opération d'emboutissage	8
I.1.5	Les principaux paramètres du procédé	9
I.1.6	Différents types de l'emboutissage.....	10
I.1.6.1	L'emboutissage à froid	10
I.1.6.2	L'emboutissage à chaud (200° à 500°).....	10
I.1.6.3	Emboutissage multi- passes.....	11
I.1.7	Les avantages et les inconvénients de ce procédé	12
I.1.8	Difficultés du procédé d'emboutissage	13
I.1.9	Influence du coefficient d'écrouissage	14
I.1.10	Effort d'emboutissage.....	14
I.1.10.1	Cylindrique	14
I.1.10.2	Rectangulaire.....	16

I.1.11 La vitesse d'emboutissage	16
I.2 Le découpage	17
I.2.1 Principe	17
I.2.2 Eléments principaux constituant un outil de découpe	17
I.2.3 Différents opérations de découpage.....	18
I.2.3.1 Le cisailage.....	18
I.2.3.2 Le grignotage.....	19
I.2.3.3 Crevage.....	19
I.2.3.4 Ajourage	20
I.2.3.5 Détourage.....	20
I.2.3.6 Soyage	20
I.2.3.7 Encochage.....	21
I.3 Le pliage.....	21
I.3.1 Définition	21
I.3.2 Principe du pliage	21
I.3.3 Les différents modes de pliage	22
I.3.3.1 Le pliage en Vé.....	22
I.3.3.2 Pliage en frappe	22
I.3.3.3 Le pliage en U	23
I.3.3.4 Le pliage en L	23
I.4 Le retour élastique :	23
I.5 Effort de pliage	24
I.6 Conclusion	24

Chapitre II : Le découpage ou le poinçonnage et le détourage

II.1 Introduction	25
II.2 Le Procédé De Poinçonnage	25
II.2.1 Définition	25
II.2.2 Le principe	26
II.2.2.1 Le poinçon	27
II.2.2.2 La matrice.....	28
II.2.3 Phases de poinçonnage	28
II.2.4 Influence des paramètres de l'opération de découpage	30
II.2.4.1 Le jeu de découpage entre le poinçon et la matrice	31
II.2.4.2 Paramètres liés au réglage de l'outil	32
1) Le serre-flan.....	32
2) Pénétration du poinçon dans la matrice	32
II.2.4.3 Paramètres liés à l'usure de l'outil	33
a) Lubrification	33
b) Matériaux à outil.....	33
II.2.5 Effort de découpage et de poinçonnage	33

II.2.6 Contraintes sur les poinçons	33
II.2.6.1 Contrainte de compression	33
II.3 Avantages et inconvénients du poinçonnage	35
II.3.1 Avantages.....	35
II.3.2 Inconvénients	35
II.4 Le Détourage	35
II.4.1 Définition	35
II.4.2 Aspects de caractérisation du procédé.....	36
II.4.2.1 Effort de découpage.....	36
II.4.2.2 Qualité de la découpe	37
II.4.3 Paramètres influant sur le procédé	38
II.4.3.1 Paramètres géométriques	38
II.4.3.2 Paramètres physique	39
II.5 Comportement tribologique lors d'une opération de découpage	40
II.5.1 Frottement poinçon/tôle.....	40
II.6 Usure des outils de découpage	41
II.6.1 Définition de l'usure	42
II.6.2 Mécanisme de l'usure	42
II.6.3 Quantification de l'usure des poinçons.....	43
II.7 Conclusion.....	43

Chapitre III : Les Presses Et Machines Utilisées

III.1 Introduction.....	45
III.2 Principe de fonctionnement de la presse:	45
III.3 Les Différentes Presses Mécaniques.....	46
III.3.1 Le mode de Transmission d'Énergie.....	46
III.3.1.1 Les Presses Mécaniques.....	46
III.3.1.2 Les Presses Hydrauliques.....	47
III.3.2 La forme du bâti	48
III.3.2.1 Presses à Arcade.....	48
III.3.2.2 Presses à Montants Droits	49
III.3.3.1 Presse à Simple Effet	49
III.3.3.2 Presse à Double Effets	49
III.4.2 Les Mécanismes de commande	50
III.4.3 L'Embrayage	52
III.4.3.1 Embrayage à Clavette Tournante.....	53
III.5 lamine les outils de presses (poinçonnage/détourage)	53
III.5.1 Éléments Principaux Des Outils De Presses	54
III.5.2 La Dépouille	54
III.5.3 L'Affûtage	54

III.6 Outil à Suivre	54
III.7 Positionnement des différents éléments	56
III.8 Les moyens d'automatisation	56
III.8.1 Cas des tôles en feuille	57
III.8.2 Cas des bobines de tôle.....	57
III.9 Graissage des outils.....	62
III.10 Conclusion	62

Chapitre IV : Etude Et Conception De L'outil

IV.1 Introduction.....	63
IV.1.1 Présentation de la pièce	63
IV.1.2 Emplacement de la pièce sur le produit	64
IV.1.3 Problématique.....	64
IV.1.4 Solution	65
IV.1.5 Le processus de fabrication du bandeau bombé en inox	66
IV.2 Cahier des charges	67
IV.2.1 Etudes Et Calcules.....	67
IV.2.2 Fiche technique de la tôle.....	67
1) Caractéristiques mécaniques.....	68
2) Caractéristiques chimique.....	68
IV.3 Calcul des efforts	68
IV.3.1 Calcul de l'effort de poinçonnage	69
IV.3.1.1 Calcul de l'effort de poinçonnage pour chaque forme	70
A) Calcul de l'effort poinçonnage forme 1	70
B) Calcul de l'effort poinçonnage forme 2, 3 et 4	71
C) Calcul de l'effort de poinçonnage forme 5, 6, 8 et 9.....	71
D) Calcul de l'effort de poinçonnage forme 7	72
E) Calcul de l'effort de poinçonnage forme 10 et 11.....	73
IV.3.1.2 L'effort total de poinçonnage	73
IV.3.2 Calcul de l'effort de détournage.....	74
IV.3.2.1 Effort de découpage :	75
A) Calcul de périmètre	75
B) Calcul de l'effort de détournage sans angle d'attaque α	76
C) Calcule de l'effort de détournage avec angle d'attaque $\alpha = 1^\circ$	76
IV.3.2.2 L'effort total de découpage.....	76
IV.4 Calcul de l'effort dévêtissage $F_{dév}$ (extraction)	76
IV.5 Calcul de l'effort d'éjection.....	77
IV.5.1 Effort total	77
IV.6 Calcul de l'effort fournir par la presse.....	77
IV.7 Jeu de découpage	77

IV.8 choix des ressorts.....	78
IV.8.1 Calcul de l'effort assuré par un seul ressort	78
IV.9 Calcul de vérification des poinçons à la résistance	81
IV.10 position adéquate de l'outil sur la machine (centre d'inertie)	84
IV.11 Le choix de la machine	85
IV.12 Détail de l'outil.....	86
IV.13 Partie inférieure	86
IV.14 Partie supérieur :.....	88
IV.15 Outil complet assemblé	89
Conclusion générale	90

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Organigramme de l'entreprise ENIEM	2
Figure I.1: Emboutissage avec outil à double effet	7
Figure I.2: Emboutissage avec outil à simple effet	7
Figure I.3: Différentes phases d'une opération d'emboutissage	9
Figure I.4: Procédé d'emboutissage avec freinage de la tôle sous serre-flan	9
Figure I.5: L'emboutissage à froid.....	10
Figure I.6: l'emboutissage à chaud	11
Figure I.7: Retour élastique	13
Figure I.8: Le retour élastique lors d'étirage	14
Figure I.9: Direction des efforts F_e et F_s	15
Figure I.10: Principe de découpage.....	17
Figure I.11: Pièce découpée	18
Figure I.12: Le cisailage.....	18
Figure I.13: Paramètres entrants lors du cisailage	19
Figure I.14: Le grignotage.....	19
Figure I.15: Crevage.....	19
Figure I.16: Ajourage	20
Figure I.17: Détourage (Enlever ce qui est en dehors).....	20
Figure I.18: Soyage	21
Figure I.19: Encochage	21
Figure I.20: Technique du pliage	22
Figure I.21: Pliage en V.....	22
Figure I.22: Pliage en frappe	23
Figure I.23: Pliage en U	23
Figure I.24: Pliage en L.....	23
Figure II.1: Représentation schématique du procédé de poinçonnage.....	26
Figure II.2: Outillage avec dévêtisseur	27
Figure II.3: Poinçon	27
Figure II.4 : La matrice	28
Figure II.5: Les différentes phases de poinçonnage	29
Figure II.6: Phases de poinçonnage	30
Figure II.7: Nomenclature des éléments de la géométrie du découpage	31
Figure II.8: Jeu de découpage	33
Figure II.9: Contrainte de compression sur le poinçon	35
Figure II.10: L'état d'un flambement du poinçon de découpage	36
Figure II.11: Comportement du matériau au cours de l'opération de découpage courbe (effort / déplacement)	37
Figure II.12: Caractérisation du profil d'une pièce découpée.....	38
Figure II.13: Contraintes à l'origine de l'effort de dévêtissage	40
Figure II.14: Evaluation des arrêtes de découpe d'un poinçon et d'une matrice.....	40
Figure III.1: Presse Mécanique MANZONI	47

Figure III.2: Principe du système bielle-manivelle	47
Figure III.3: Presse Hydraulique De Marque MANZONI	48
Figure III.4: Presse à Arcade	48
Figure III.5: Presse à Montant droit	49
Figure III.6: presse à simple effet.....	49
Figure III.7: Presse à Double Effets	50
Figure III.8: Système Bielle-Manivelle.....	51
Figure III.9: Exemple du Système Excentrique dans une Presse	51
Figure III.10: Exemple de Système à Genouillère	52
Figure III.11: Principe du Système à Came	52
Figure III.12: Système d'Embrayage à Clavette Tournante.....	53
Figure III.13: Dimensions d'une Dépouille	54
Figure III.14: Exemple d'un outil à suivre avec sa mise en bande	55
Figure III.15: Architecture standard d'une ligne de découpe automatisée	56
Figure III.16: Dérouleur	58
Figure III.17: Eléments constitutifs d'un redresseur.....	59
Figure III.18: Pince pneumatique.....	60
Figure III.19: Aménagement à rouleaux	60
Figure III.20: Cadencement des phases d'aménagement sous presse	61
Figure III.21: Schéma d'une boucle	62
Figure IV.1: La forme de la pièce à réaliser.....	63
Figure IV.2: Emplacement de la pièce	64
Figure IV.3: Mauvais coupe du bandeau	65
Figure IV.4: Représentation de différentes formes à poinçonne.....	69
Figure IV.5: Poinçonnage de forme 1	70
Figure IV.6: Poinçonnage de forme 2	71
Figure IV.7: Poinçonnage de forme 5	72
Figure IV.8: Poinçonnage de forme 7	72
Figure IV.9: Poinçonnage de forme 10	73
Figure IV.10: Dimension du contour a détournée.....	74
Figure IV.11: Différents ressorts (représenter suivant ISO10243)	79
Figure IV.12: Flambement d'une poutre soumise à un effort axial	81
Figure IV.13: Position des centres de gravité	85
Figure IV.14: Partie inférieure assemblée.....	87
Figure IV.15: Partie supérieur assemblée	89
Figure IV.16: Outil complet assemblé	90

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Tableau de détermination du coefficient K en fonction de d/D.	15
Tableau I.2: Les matériaux du flan et leurs pressions spécifiques.	15
Tableau I.3: Vitesses d'emboutissage pour différents matériaux	16
Tableau IV.1: Caractéristiques mécaniques du matériau	68
Tableau IV.2 : Caractéristiques chimique du matériau	68
Tableau IV.3 : Dimensions Nominales	68
Tableau IV.4: Numérotation des efforts pour chaque forme de poinçonnage.....	69
Tableau IV.5 : Caractéristique des ressorts à charge forte couleur rouge.	81
Tableau IV.6 : Longueurs libres de flambage en fonction du type de liaisons	82
Tableau IV.7 : Coordonnées des centres d'inerties des poinçons	85

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
 R_m : La résistance de la tôle à la traction, en N/mm^2
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/mm^2
I : Le moment quadratique de la section en mm^4
X : Symbole acier fortement allié
% : Pourcentage de carbone
Cr : Chrome élément d'alliage (d'addition) par teneur décroissante
Ni : Nickel élément d'alliage (d'addition) par teneur décroissante
P (%) : Pourcentage de l'élément chimique Phosphore
S (%) : Pourcentage de l'élément chimique Soufre
N (%) : pourcentage de l'élément chimique Azote
Mn (%) : pourcentage de Manganèse
Si (%) : pourcentage de l'élément chimique Silicium
C (%) : pourcentage de l'élément chimique Carbone
 R_e : (Limite conventionnelle d'élasticité) Limite d'élasticité daN/mm^2
 R_g : Résistance pratique au cisaillement (glissement) en daN/mm^2
 α : Angle d'attaque ou angle de coupe en ($^\circ$)
P : Périmètre de coupe, en mm
 F_p : Effort de découpage – Poinçonnage, en daN
 $F_{dév}$: Effort de dévissage en daN
 $F_{éj}$: Effort d'éjection en daN
 F_{presse} : Effort fourni par la presse en daN
J : Jeu de découpage en (mm)
K : Raideur du ressort en (N/mm^2)
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 ($L_0 - s_{max}$)

1 Présentation de l'entreprise

1.1 Historique

L'ENIEM est une entreprise publique de droit algérien constituée le 02 janvier 1983, mais qui existe depuis 1974 sous tutelle de l'entreprise SONELEC. Avec un capital social de 10.279.800.000 DA détenu en totalité par l'ELEC EL DJAZAIR. Son siège est à TIZI OUZOU. Ses unités de productions et commerciale sont implantées au niveau de la zone industrielle « Aissat Idir ».

La filiale sanitaire est installée à Miliana, wilaya d'Ain Defla, et la filiale lampe à Mohammedia, wilaya da Mascara.

1.2 Objet social et champ d'activité

L'ENIEM est un des leaders de l'électroménager en Algérie. Elle possède des capacités de production et une expérience de plus 30 ans dans la fabrication et le développement dans les différentes branches de l'électroménager, notamment :

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

ENIEM est certifiée ISO 14001 /2004 ENVIRONNEMENT et ISO 9001 /2008 Qualité

2 Organisation de l'entreprise :

2.1 Organisation générale

L'entreprise se compose de plusieurs unités d'organisation qui sont : Quatre unités de production, une unité commerciale, une unité de prestation, une filiale dont le capital est 100% ENIEM

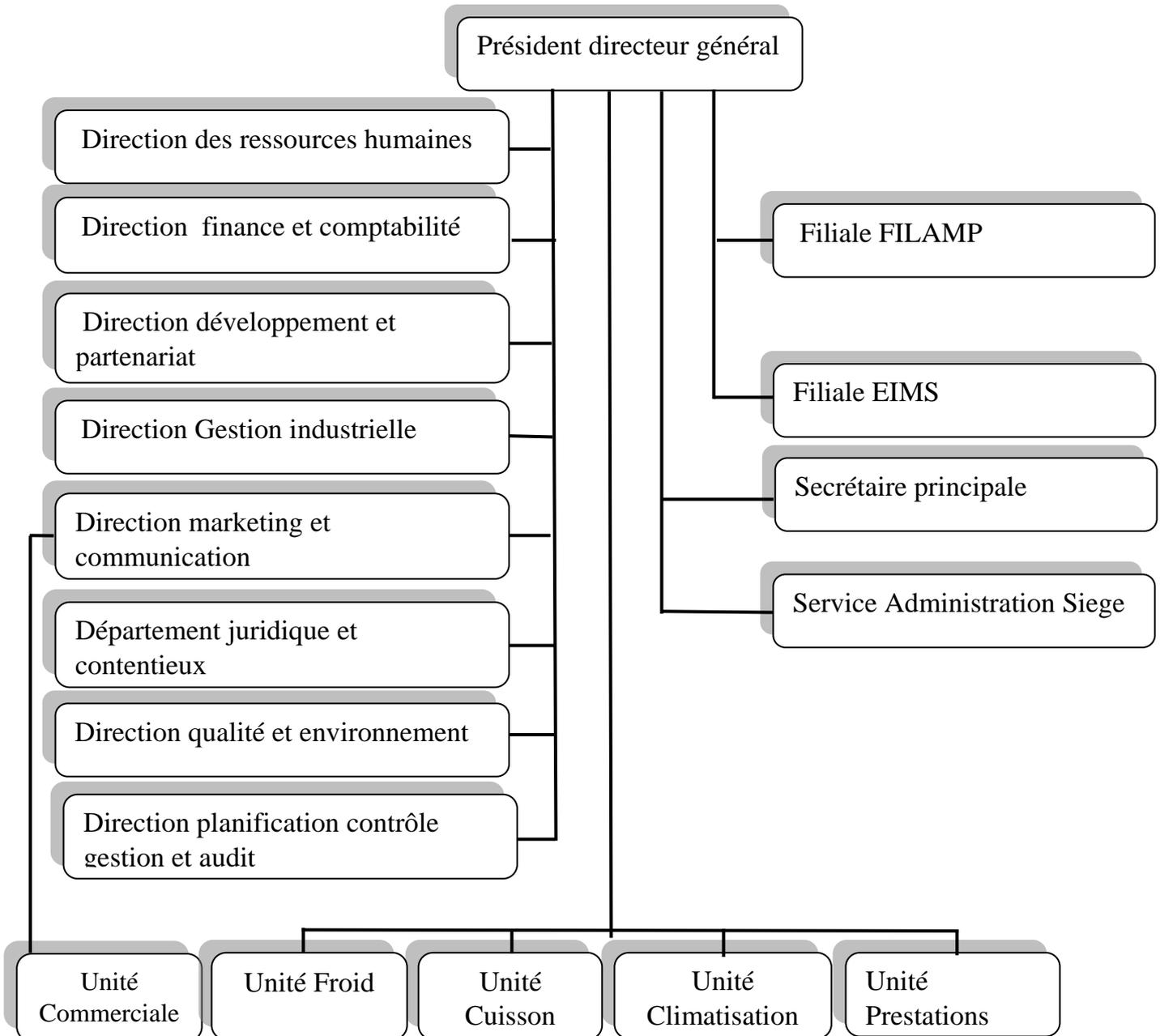


Figure 1 : Organigramme de l'entreprise ENIEM

2.2 Missions et activités principales de chaque unité

2.2.1 Direction générale

La direction générale est une unité responsable de stratégie, du développement de l'entreprise et ce tenant compte de résolution de son conseil d'administration. Elle exerce son autorité hiérarchique, fonctionnelle sur l'ensemble des directions et des unités. Le président directeur générale est assisté par les cadres dirigeants chargés des principales fonctions de l'entreprise suivante :

- Direction industrielle(DI).
- Direction développement et partenariat(DDP).
- Direction central finance et comptabilité(DFC).
- Direction des ressources humaines(DRH).
- Direction planification et contrôle de gestion(DPG).
- Direction marketing et communication(DMC).
- Direction qualité (DQ).

2.2.2 Unité froid

Elle est de loin l'unité la plus importante du point de vue effectif, elle produit plusieurs modèles de réfrigérateurs et congélateurs, sa mission globale est de produire et développer les produits de froid domestique.

- Activités :

- Transformation de tôle.
- Traitement et revêtement de surface (peinture, plastification).
- Injection plastique et polystyrène.
- Fabrication de pièces mécanique (condenseur, évaporateur....).
- Isolation.
- Thermoformage.
- Assemblage.

2.2.3 Unité cuisson

Cette unité est spécialisée dans la production de différents types de cuisinières.

- Activités :

- Transformation de tôle
- Traitement et revêtement de surface (émailage, zingage, chromage).
- Assemblage des cuisiniers.

2.2.4 Unité climatisation

Comme son nom l'indique, elle est spécialisée dans la fabrication et montage de plusieurs types de climatiseurs.

- Activités :

- Transformation de tôle.

- Traitement et revêtement de surface (peinture).
- Assemblage de climatiseurs.

En plus de ces activités de réalisation, les unités de production, froid, cuisson et climatisation) assurent, en leurs seins respectives, les activités suivantes :

- Etudes /méthodes de fabrication.
- Achats.
- Contrôle (réception, en cours de fabrication, final).
- Stock (magasin, atelier).
- Maintenance.
- Sécurité industrielle.

2.2.5 Unité prestation techniques

C'est une unité de soutien aux autres unités de production, elle est chargée de la gestion :

- Des énergies et fluides.
- De l'entretien des équipements.
- Des engins roulants.
- De l'entretien des bâtiments.
- De fonction informatique au sein du complexe appareil ménager.

2.2.6 Unité commerciale

Elle est chargée de la commercialisation des produits de l'entreprise, de la gestion du réseau et du service après vents. Sa mission est l'étude du marché national et l'écoulement de tous les produits des unités de production.

- Activités :

- Marketing.

3 Politique de l'entreprise

3.1 Politique qualité

Elle a pour mission de fournir des produits et services d'excellence afin de satisfaire les besoins et les attentes de ses clients tout en respectant la réglementation nationale et internationale.

Les dirigeants d'ENIEM se fixent des objectifs permettant une amélioration continue de la qualité des produits et services de la satisfaction des clients.

Leurs objectifs premier est de reprendre leurs place de leader sur le marché algérien dans le domaine de l'électroménager et se donner les moyens de leur politique.

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

- Se conformer à l'exigence légale et réglementaire en vigueur.
- Appliquer et respecter les dispositions et procédures établies.
- Fournir les ressources nécessaires pour atteindre des objectifs.

Ces objectifs stratégiques sont soutenus par des engagements fermes de :

- Développer l'écoute des clients et des parties intéressées.
- Développer les compétences des collaborateurs par la formation
- Allouer les ressources nécessaires au fonctionnement des processus
- Tenir des revues de direction pour revoir le contexte, les objectifs et adapter leurs stratégie.

3.2 Politique environnementale

ENIEM s'est engagé dans une démarche environnemental, en mettant en place un système de management environnemental selon le référentiel ISO 14001/ 2004.

Elle continuera à s'investir dans une démarche de progrès permanent de ses performances environnementales, notamment sur le respect des exigences règlementaires, la préservation des ressources et sur la prévention des pollutions.

Avec le concours de l'ensemble de personnel, l'ENIEM fera le nécessaire pour rester proactive et entretenir son système de management environnemental.

Dans ce contexte la direction générale s'engage à:

- Prévenir les risques de pollution liés à l'activité de l'entreprise
- Optimiser la consommation des ressources (eau, énergie ...)
- Respecter les exigences légales et règlementaires en vigueur.
- Améliorer la gestion des déchets (papier, emballages, consommables, informatiques, déchets, des processus...)
- Améliorer la communication avec les parties intéressées (interne et externe).
- Continuer l'amélioration de l'efficacité du système de management environnemental.

3.2.1 Cibles

- Réduire les déchets générés de 1%.
- Elever le niveau de tri des générés de 2%.
- Réduire les stocks morts de 4%.
- Ratio consommation d'eau/Production <20 m³ /tonne.
- Ratio consommation d'énergie électrique/production<635 KWh/tonne.
- Ration consommation de gaz /production<1,76 KWh/tonne.
- Mesurer les rejets atmosphériques.
- Former des agents sur l'environnement.

Continuer la sensibilisation des fournisseurs, agents agréés et les sous-traitants sur l'environnement.

Introduction Générale

Dans un monde en perpétuelle évolution, les industries de la mécanique doivent s'adapter aux contraintes de la mondialisation qui entraînent une concurrence accrue. Les critères de choix du client sont la qualité, le prix et la disponibilité du produit. Si les prix et la disponibilité sont des critères chiffrables et ne prêtent pas de confusion, la qualité reste autant pour le consommateur que pour le fabricant, une notion très vague et complexe.

L'ouverture des frontières aux produits et service, imposée par l'économie du marché, fait que le champ de compétition entre les entreprises ne va plus se limiter à une région ou à un pays, mais s'étendra à l'échelle mondiale. La plus grosse part du marché reviendra incontestablement à l'entreprise qui saura le mieux satisfaire les exigences du client sur les caractéristiques techniques et le prix du produit proposé.

Durant les premières années, la création de la SONELEC devait répondre à la stratégie adoptée par l'État algérien : Celle de satisfaire les besoins des populations par des produits fabriqués en Algérie, assurer l'emploi et créer les conditions d'équilibre régional de développement. Dans la pratique, les pôles de croissance mis en œuvre à travers l'installation de complexes industriels devaient avoir un effet d'entraînement en termes de développement sur l'ensemble des régions avoisinantes. En dehors des facteurs de développement cités, la mise en place de ces structures industrielles aurait pour effet d'éliminer la dépendance vis-à-vis de l'extérieur en matière d'approvisionnement en produits de base.

Cependant, l'évolution économique mondiale, et les différentes crises qu'a connues le pays, notamment celle qui a touché l'économie algérienne en 1986 ont mené petit à petit à l'ouverture vers l'extérieur avec, à la clef, une option de l'économie de marché. En effet, la baisse des prix du pétrole, évalués en dollar et la baisse du dollar lui-même, ont entraîné une chute vertigineuse des recettes d'exportation de l'Algérie. Ceci a démontré le caractère vulnérable de l'économie algérienne basée sur un seul secteur exportateur, celui des hydrocarbures.

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

Le secteur du développement du produit, de l'unité cuisson nous a confié de faire soigneusement, une étude et conception d'un outil poinçonnage et détourage d'un bandeau bombé en inox d'une cuisinière E.N.I.E.M, afin de remplacer celle déjà existante.

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

Pour ce projet de fin d'études, on a choisis de répartir les tâches du travail comme suit : Le travail débutera par une **introduction générale**, suivie d'une **présentation** détaillée de l'entreprise (ENIEM).

Le chapitre I, de ce manuscrit est consacré aux Procédés de Mise en Forme des Tôles : Emboutissage, découpage et pliage.

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

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

Le chapitre IV, Présente l'étude et la conception de l'outil (bandeau bombé en inox).

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

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 répandues 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

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique des métaux, déformation en traction ou en rétreint, visant à transformer une tôle en une pièce plus ou moins creuse de surface non développable. Pour obtenir la forme désirée, cette déformation consiste en un allongement ou un rétrécissement local de la tôle [9].

I.1.2 Principe

Cette technique de fabrication transforme une feuille de tôle mince appelée flan en une pièce de forme bien déterminée à l'aide d'un outillage simple (un poinçon, une matrice et un serre-flan) et avec une application d'une pression maîtrisée. L'énergie nécessaire pour déformer le flan lors d'une opération d'emboutissage est fournie par une presse à emboutir.

Ce procédé, d'utilisation très générale, permet de fabriquer les pièces de carrosserie automobile, des appareils électroménagers ou des ustensiles de cuisine, des emballages métalliques, des pièces mécaniques. Ce mode de formage s'effectue

sur une presse au moyen d'un outillage dont la configuration détermine l'effet obtenu sur le flan [3]:

I.1.2.1 Outils à 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. (Voir le schéma ci-dessous).

I.1.2.2 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. Un serrage très efficace est nécessaire pour ce type d'emboutissage.

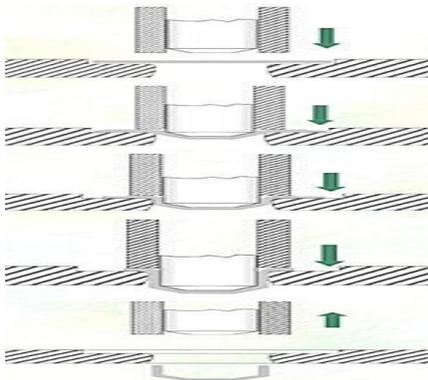


Figure I.2: Emboutissage avec outil à double effet

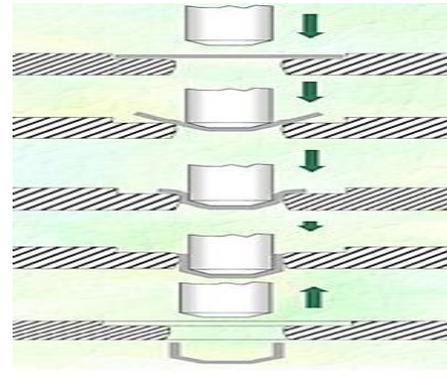


Figure I.1: Emboutissage avec outil à simple effet

L'outillage utilisé en emboutissage comprend donc :

- **Une matrice en creux** : Elle serre d'appuie à la tôle et lui donne la forme extérieure final au retour élastique prés.
- **Un poinçon en relief** : Coulissant plus ou moins vite sur l'axe vertical, et déformant la tôle, en gardant l'épaisseur de la tôle

- **Un serre-flan** : Son rôle est de maintenir plus ou moins le flan lors d'une opération d'emboutissage afin d'assurer un écoulement homogène du métal et prévenir les risques de plis ou autres défauts d'emboutissage [3].

L'entrée de la matrice doit être très arrondie et polie pour éviter toute déchirure du métal et pour optimiser le comportement des zones de rétreint, aucun angle ne doit être vif et un parfait état de surface est primordial, la mise au point de tels outils est une opération très spécialisée et très coûteuse notamment sur les pièces d'aspect (exemple : plusieurs mois pour l'extérieur d'une portière, capot, ... etc) [4]. La pénétration du poinçon dans la matrice nécessite un jeu fonctionnel entre ces deux éléments afin d'éviter l'écrasement de la tôle.

I.1.4 Différentes phases d'une opération d'emboutissage

Sous l'action de la contrainte imposée par la partie active de l'outil, il se produit une déformation élastique puis une déformation plastique des matériaux, cette déformation passe par ces quatre phases suivantes : (voir la Figure I.3) [9]

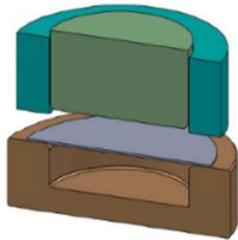
Phase 1 : Poinçon et serre flan sont relevés. La tôle, préalablement graissée, est posée sur la matrice.

Phase 2 : Le serre-flan est descendu et vient appliquer une pression déterminée pour maintenir la tôle.

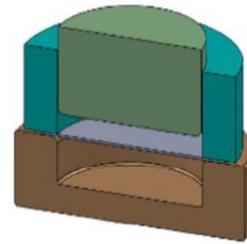
Phase 3 : Le poinçon déforme la tôle de façon plastique en l'entraînant contre le fond de la matrice.

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

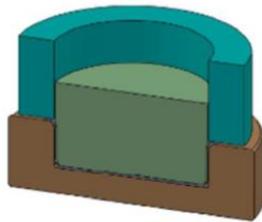
Phase 5 : Après l'emboutissage on procède au (détourage) de la pièce : Il s'agit d'une opération consistant à découper l'excédent de tôle d'une pièce emboutie à l'aide d'un poinçon (essentiellement les parties saisies par le serre-flan). Par la suite, les outils sont enlevés et la pièce conserve la forme acquise au retour élastique près [5].



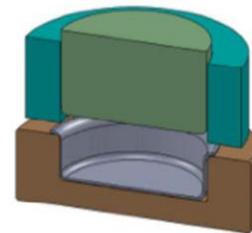
Phase 1 de l'emboutissage



Phase 2 de l'emboutissage



Phase 3 de l'emboutissage



Phase 4 de l'emboutissage

Figure I.3: Différentes phases d'une opération d'emboutissage

I.1.5 Les principaux paramètres du procédé sont

- L'épaisseur initiale de la tôle ;
- La loi de comportement du matériau et l'anisotropie de ce dernier ;
- La vitesse du poinçon ;
- La position du flan initial et le dimensionnement du contour initial ;
- La force de serrage serre-flan et les coefficients de frottement, ainsi qu'éventuellement la forme et la position de joncs (Figure I.4) [6]

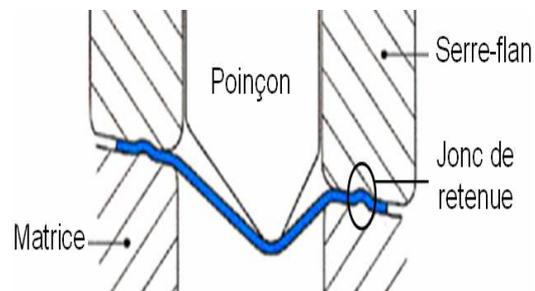


Figure I.4: Procédé d'emboutissage avec freinage de la tôle sous serre-flan

I.1.6 Différents types de l'emboutissage

On distingue deux types, l'emboutissage à chaud et l'emboutissage à froid.

I.1.6.1 L'emboutissage à froid

Cette technique consiste à former une pièce à température ambiante. Elle est principalement utilisée sur un outillage double effet mais peut aussi l'être sur un outillage simple effet dans le cas où les emboutis sont peu profonds ou s'ils nécessitent peu d'effort de serrage.

Ce type de formage permet d'obtenir une meilleure précision dimensionnelle, limite les coûts et évite la formation d'oxyde. Néanmoins, l'épaisseur des tôles à emboutir ainsi que les caractéristiques mécaniques sont à l'origine des limitations de cette technique. En effet, il devient nécessaire pour les grandes épaisseurs d'effectuer l'emboutissage en plusieurs passes.

A ceci, il faut ajouter d'une part l'effet de l'érouissage apparaissant lors de la mise en forme et se traduisant par un durcissement structural et une baisse de la ductilité. D'autre part, la création de contraintes résiduelles au sein de la pièce finie en limite ses applications (risque de rupture fatigue) [14].

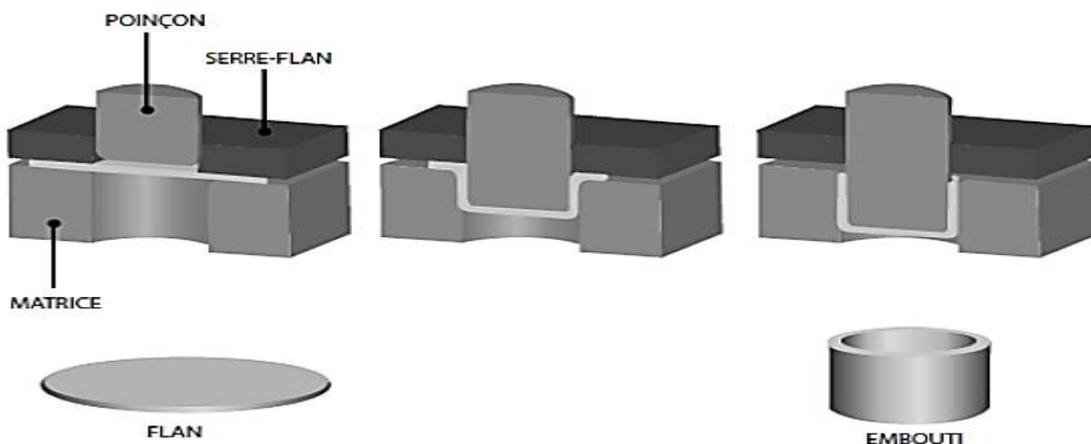


Figure I.5: L'emboutissage à froid

I.1.6.2 L'emboutissage à chaud (200° à 500°)

Il est principalement utilisé sur presses hydrauliques simple ou double effet, le formage de fonds de réservoir en acier est le plus important domaine d'application.

Cette technique facilite la déformation du matériau, permet l'emboutissage des pièces profondes par chauffage du flan (et de la matrice) et évite l'écrouissage et la formation de contraintes résiduelles. Ce dernier se pratique :

- Quand le métal ou l'alliage ne peut pas se conformer à froid.
- Quand, en raison de l'épaisseur et de la surface de la tôle, l'emboutissage à froid exige une force supérieure à celle de la presse, dont on dispose.
- Quand, pour les faibles séries, on veut limiter les frais d'outillage, toujours importants, que nécessite l'emboutissage à froid.

Les cadences de production de l'emboutissage à chaud sont moins élevées que celles de l'emboutissage à froid du fait de l'inertie de chauffage. De plus, les pièces finies sont de moins bonne qualité, que ce soit au niveau de l'état de surface ou du dimensionnement.

Enfin, cette technique nécessite des mises au point de la sécurité plus importantes [2].

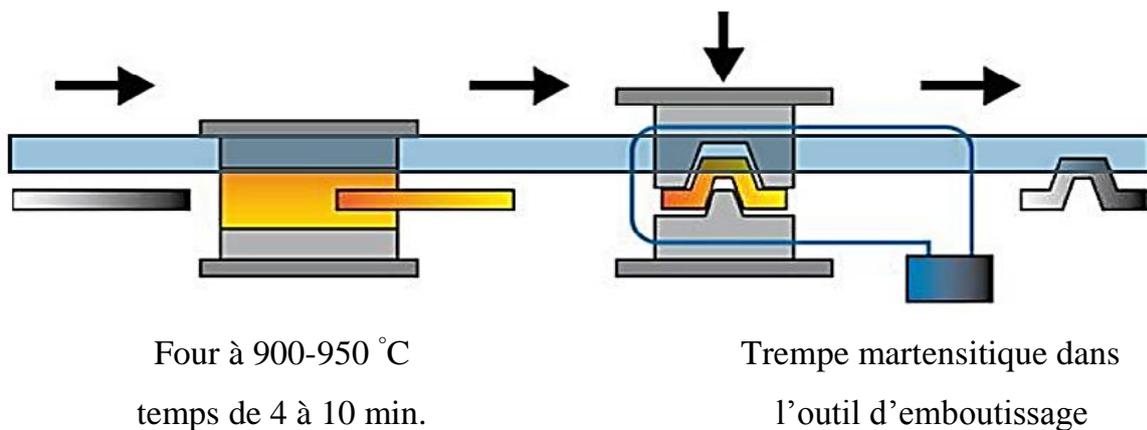


Figure I.6: L'emboutissage à chaud

I.1.6.3 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. Les épaisseurs de pièces embouties peuvent être très faibles (de l'ordre de 0,05mm).

I.1.7 Les avantages et les inconvénients de ce procédé

a) Les avantages

L'état de surface d'une pièce brute d'emboutissage est nettement meilleur que celui d'une pièce coulée.

L'esthétique des pièces embouties en est donc supérieure et les travaux de finition tel que le polissage sont moins lourds à gérer et surtout moins coûteux.

Cette technique de mise en œuvre offre un bas prix de revient et permet des cadences de production très élevées :

100 à 200 pièces par heure pour des pièces de gros volumes (carrosserie automobile).

3000 à 4000 pièces par heure pour des petites pièces (renfort, capuchon de réservoir).

b) Les inconvénients fréquemment rencontrés en emboutissage

Les zones d'étirement subissent un amincissement (qui doit rester limité pour éviter la rupture) et les zones de rétreint (compression) subissent une combinaison d'épaississement et de plissement. Le retour élastique, lorsque le poinçon se retire après la phase de mise en forme, la pièce ainsi formée n'est plus soumise à la force de maintien. Il se produit alors un retrait de la matière. Afin d'atténuer ce phénomène, il est courant de recourir à certains artifices tels que la frappe du rayon, l'étirage en fin de gamme ou le maintien prolongé du poinçon.

L'entrée de la matrice doit être très arrondie et polie pour éviter toute déchirure du métal et pour optimiser le comportement des zones de retreint.

Pour obtenir des pièces précises il est nécessaire d'utiliser des logiciels permettant de simuler les retours élastiques de la pièce.

Le temps de préparation est important. La mise au point des outils, poinçon, et matrice est très coûteuse et nécessitant un savoir-faire de l'entreprise [4].

I.1.8 Difficultés du procédé d'emboutissage

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, souvent pour l'instant, 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 concerne le retrait des outils et l'extraction de la tôle emboutie. Cette étape consiste à annuler la pression de serrage, retirer le poinçon, enlever le serre-flan et éjecter la tôle hors de la matrice [12].

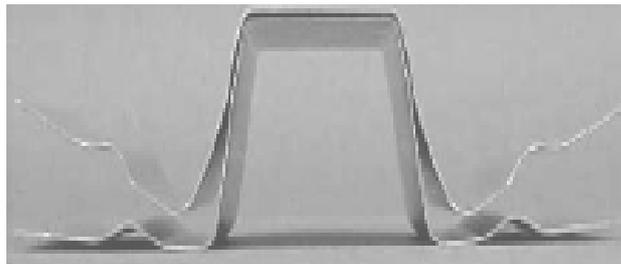


Figure I.7: Retour élastique

Habituellement, 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.9) [17].

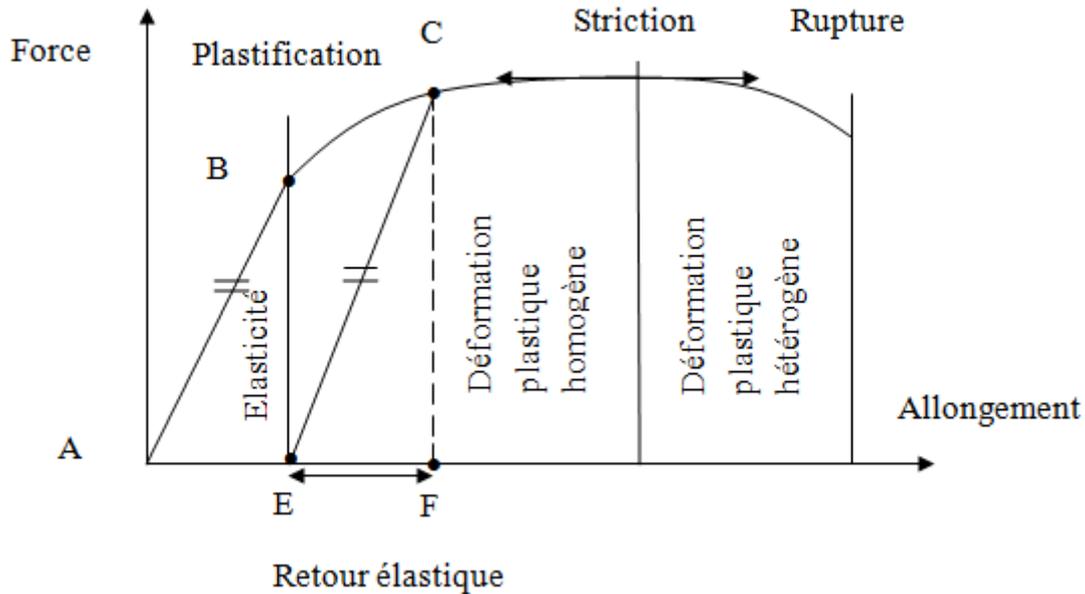


Figure I.8: Le retour élastique lors d'étirage

I.1.9 Influence du coefficient d'érouissage

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 [8].

I.1.10 Effort d'emboutissage

I.1.10.1 Cylindrique

Dans le cas d'un emboutissage cylindrique, l'effort d'emboutissage se calcule avec la formule suivante : [9]

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

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 (trou), (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 [9]

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

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

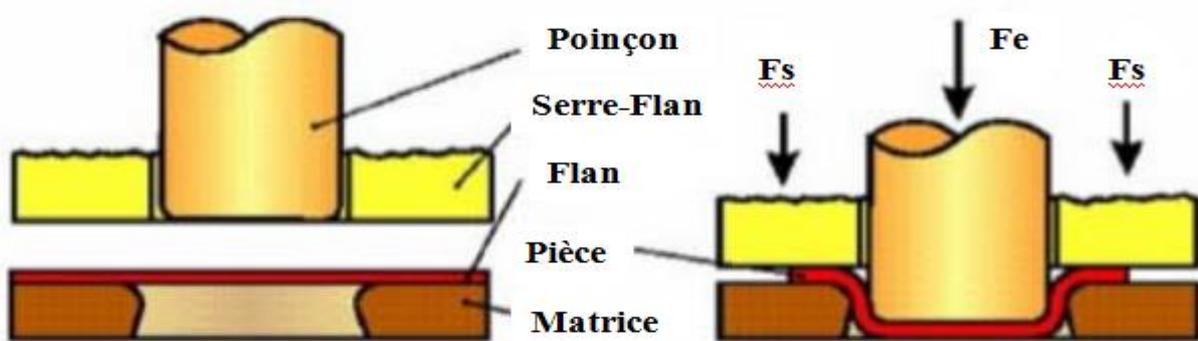


Figure I.9: Direction des efforts F_e et F_s

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.1.10.2 Rectangulaire [3]

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

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 [3]

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

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

D : diamètre de flan,

d_m : Diamètre de matrice,

H : hauteur de l'embouti,

I.1.11 La vitesse d'emboutissage

La vitesse d'emboutissage doit être optimale parce que si la vitesse est trop faible, elle tendre à générer un écrouissage ce qui rend le métal moins malléable [6].

Tableau I.3: vitesses d'emboutissage pour différents matériaux

Matériaux	Vitesse (mm/s)
L'acier, le zinc	200
Les aciers doux	280
L'aluminium	500
Le laiton	750

I.2 Le découpage

Le découpage est un procédé de fabrication des pièces qui consiste à cisailer sur un contour fermé une pièce de faible épaisseur [9]. 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 travaillantes

sont les poinçons et les matrices qui permettent de cisailer la tôle sur sa profondeur en donnant la forme de la pièce désirée [12].

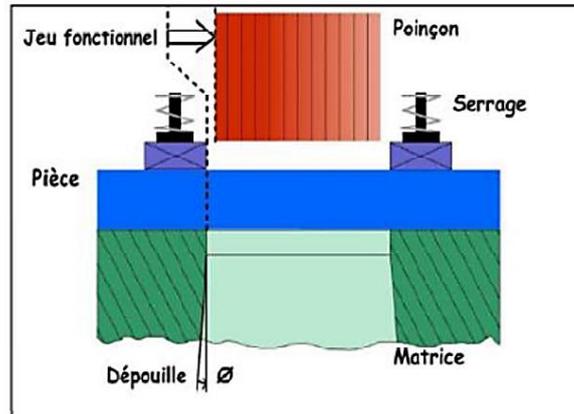


Figure I.10: Principe de découpage

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 [9].
- **Un serre-flan ou bien dévêtisseur** : qui à 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 [6].

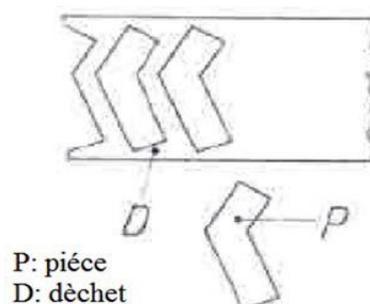


Figure I.11: Pièce découpée

I.2.3 Différents opérations de découpage

I.2.3.1 Le cisailage

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 [9].

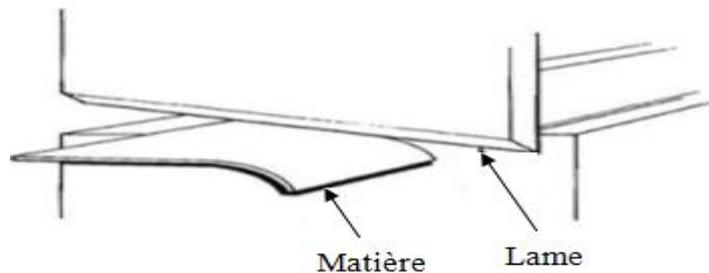


Figure I.12: Le cisailage

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

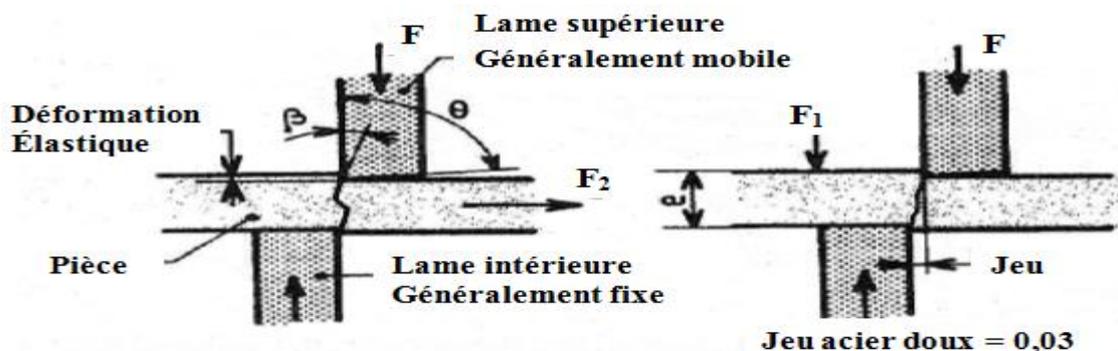


Figure I.13: Paramètres entrants lors du cisailage

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.14: 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.15: Crevage

I.2.3.4 Ajourage

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

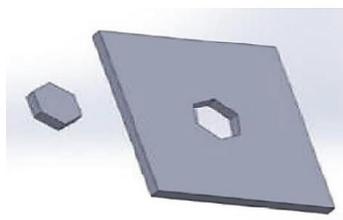


Figure I.16: Ajourage

I.2.3.5 Détourage

Finition d'un contour déjà ébauché, modifié au cours d'une déformation. Il consiste à enlever par les surfaces excédentaires autour d'une pièce préalablement

formée. Le détourage est 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 la tôle.



Figure I.17: Détourage (Enlever ce qui est en dehors)

I.2.3.6 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.

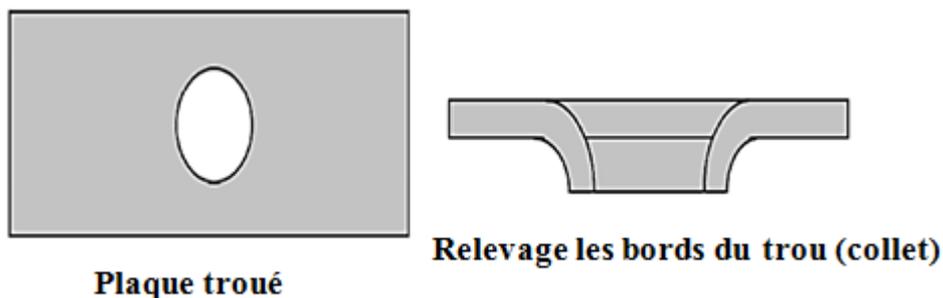


Figure I.18: Soyage

I.2.3.7 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.19: 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

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 [14].

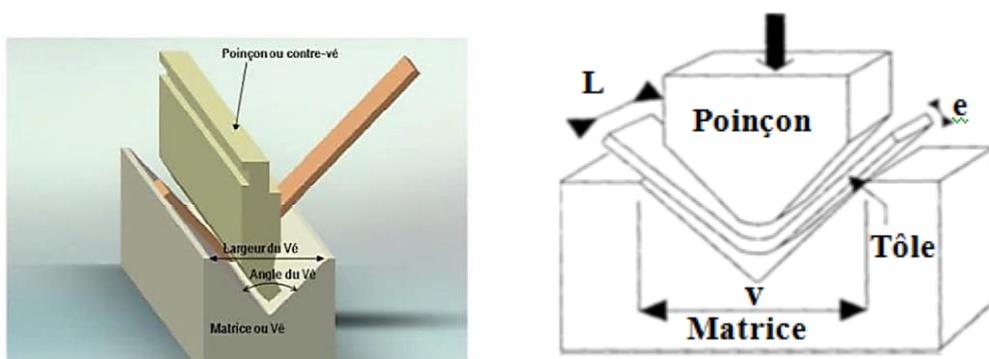


Figure I.20: Technique du pliage

I.3.3 Les différents modes de pliage

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

I.3.3.1 Le pliage en V

Dans le cas du pliage en V, le serre-flan est inutile. 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.

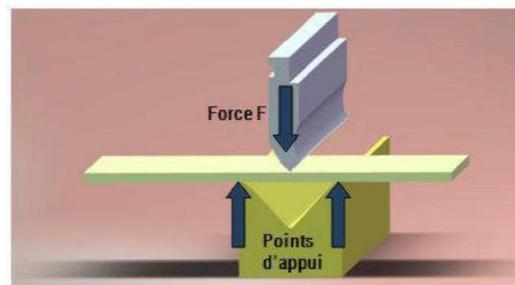


Figure I.21: Pliage en V

I.3.3.2 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 [6].

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 ($\pm 0,5^\circ$).

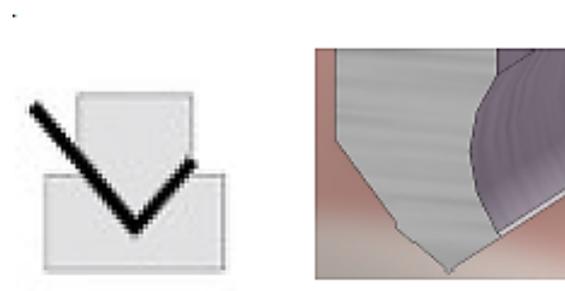


Figure I.22: Pliage en frappe

I.3.3.3 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.

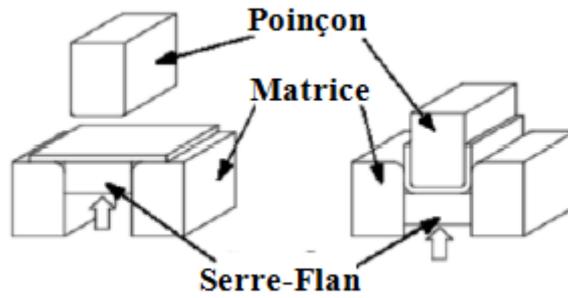


Figure I.23: Pliage en U

I.3.3.4 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.

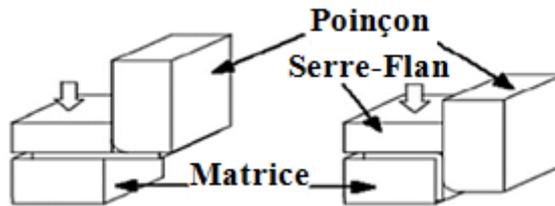


Figure I.24: Pliage en L

I.4 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.5 Effort de pliage

On pratique, on admet que l'effort nécessaire pour former un pli est égal au dixième de l'effort nécessaire pour cisailier la section de la tôle à cet endroit [3]:

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

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.6 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 détournage.

II.1 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.2 Le Procédé De Poinçonnage

II.2.1 Définition

Le poinçonnage est un cisailage de forme fermée. C'est un glissement de métal dans un plan transversal entre deux barres, 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 de 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) [9].

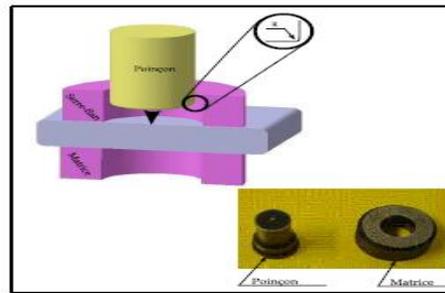


Figure II.1: Représentation schématique du procédé de poinçonnage

II.2.2 Le principe

Un poinçon est une matrice remplaçant des lames de la cisaille, tant que le mécanisme de la rupture reste le même. L'effort nécessaire au poinçonnage reste le même sauf que la longueur de découpe dans le cisailage est remplacée par le périmètre à découpe dans le poinçonnage qui est dans la plupart des cas un contour fermé. Les contraintes F (fig II.2), diamétralement opposées dans le cas de poinçonnage, provoquent une augmentation de diamètre de l'ajoure (périmètre qui reste sur la tôle) et une diminution de celui du déboucheur ou du flan (périmètre de déchet pour un déboucheur ou celui de la pièce pour un flan). Le découpage terminé, l'élasticité de métal crée l'effort inverse, frettant la tôle sur le poinçon et coinçant le déboucheur dans la matrice d'où :

- ✓ La nécessité d'un dévêtitseur pour maintenir la tôle plaquée pendant le dégagement de poinçon.
- ✓ Une hauteur h à diamètre constant limitée sur la matrice suivie d'une dépouille d'environ 3° .
- ✓ L'effort F_3 créé sur le devêtitseur (Fig. II.2) est approximativement égale à :
 - $F_3 = 7 \% F$ en pleine tôle.
 - $F_3 = 2 \% F$ si la distance de découpe au bord de la tôle est inférieur à $3e$ [6].

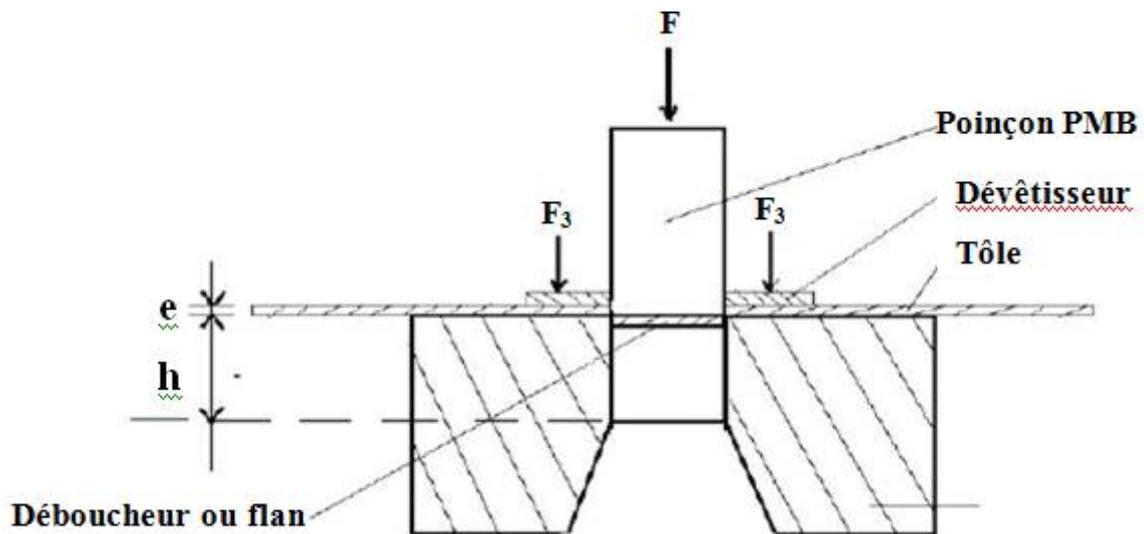


Figure II.2: Outillage avec dévêisseur

II.2.2.1 Le poinçon

Il est composé de plusieurs parties [2]:

- Le corps du poinçon qui possède une longueur variable pour monter et serrer l'outil.
- La tête qui porte les arêtes tranchantes.
- La mouche (ou téton) utile pour positionner l'outil dans les coups de pointeaux préalablement réalisés à cet effet. Ils ont été effectués dans l'axe du trou à réaliser.
- 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 [20].



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 :

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

Avec :

E : module d'élasticité en (N/mm²).

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

F : effort de découpage en (N).

II.2.2.2 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 [1].

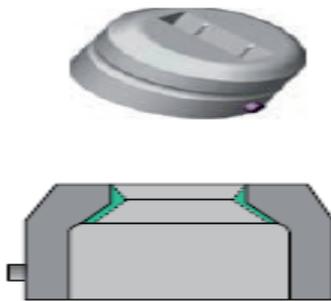


Figure II. 4 : La matrice

II.2.3 Phases de poinçonnage

Le poinçon est guidé en translation, généralement avec un mouvement du haut vers le bas [1]. 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.

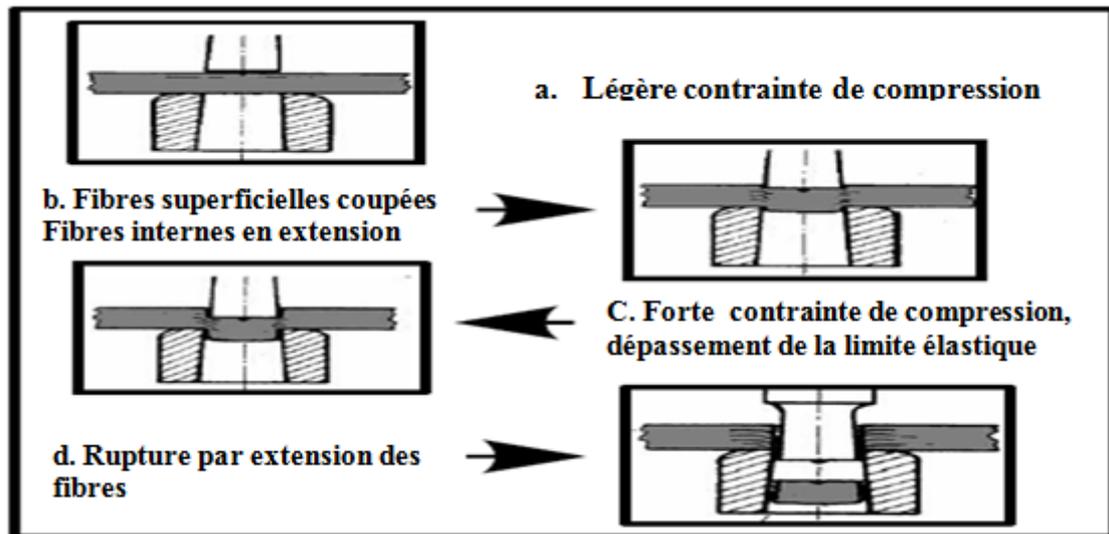


Figure II.5: Les différentes phases de poinçonnage

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 [17]. 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 [18].

Sous l'action de la contrainte imposée par la partie active du poinçon, il se produit une déformation élastique, puis, un glissement avec décohésion du métal. Le poinçon poursuit sa course, et provoque la rupture complète de la tôle. Ainsi, le mouvement de découpe qui correspond à un coup de presse et à la pénétration du poinçon en vue de la découpe (un aller-retour du coulisseau entre le point mort haut et le point mort bas) peut,- être décomposé, en trois phases principales. Cette pénétration du poinçon doit être minimale afin d'éviter sa détérioration [13].

- 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 [9].

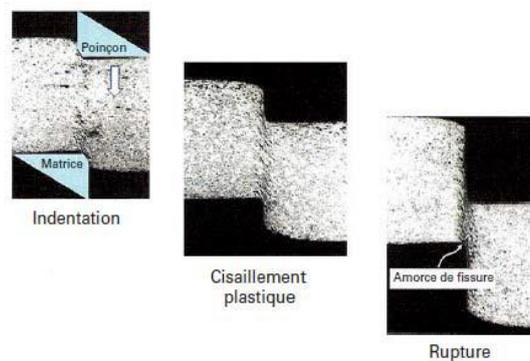


Figure II.6: Phases de poinçonnage

II.2.4 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, J_{pm} (jeu de découpage),
- Paramètres liés au réglage de l'outil et de la presse

- Paramètres liés à l'usure de l'outil.

II.2.4.1 Paramètres géométriques

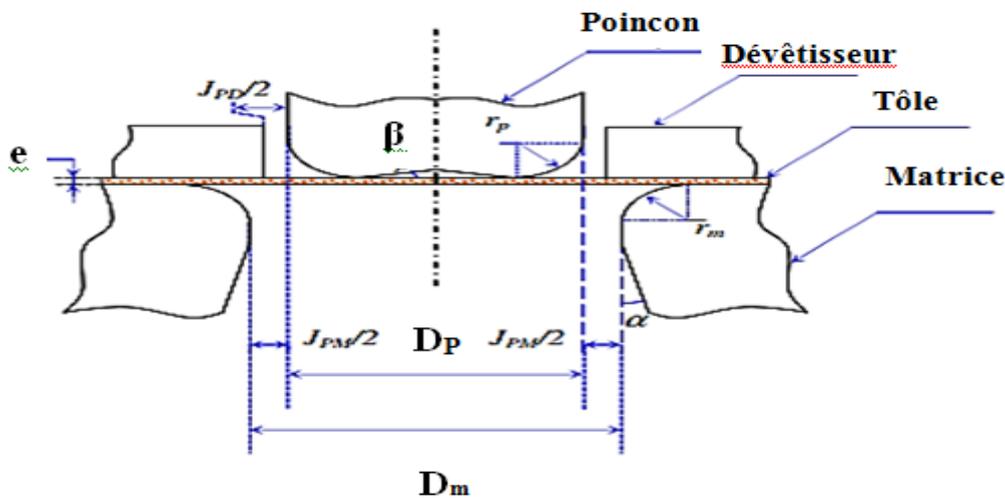


Figure II.7: Nomenclature des éléments de la géométrie du découpage

- **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. [8]
- **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 dévêisseur, 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 ne 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. [8]

➤ **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. L'augmentation de cet angle provoque :

- Une diminution de l'effort maximal de découpe.
- Une augmentation de la pénétration du poinçon à effort maximal.
- Une diminution de la pente du courbe effort / déplacement correspondant à la phase d'allongement.
- Une stabilité de l'énergie de découpe.

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 est 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 choisi 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.

Par exemple, si v vous souhaitez poinçonner une pièce en acier S235 d'épaisseur 6mm avec un poinçon de diamètre de 12mm. Le jeu sera égal à : $6 \times 0,1 =$

0,6 mm. Vous devrez alors monter une matrice de 12,6mm pour poinçonner dans des conditions optimales.

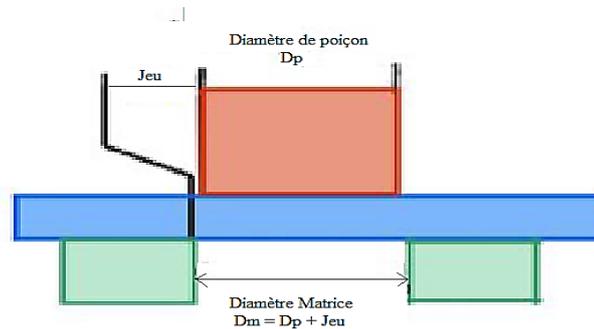


Figure II.8 : Jeu de découpage

II.2.4.2 Paramètres liés au réglage de l'outil

Les principaux paramètres qui influent sur le réglage de l'outil, permettant une opération de découpage réussite, sont comme suit : [6]

1) Le serre-flan

Le serre-flan plaque la tôle sur la matrice pendant l'opération de découpage. Il diffère du dévêtitseur 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.

2) 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.2.4.3 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 [6].

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.2.5 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: [3]

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

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.2.6 Contraintes sur les poinçons

II.2.6.1 Contrainte de compression

Lorsque le poinçon descend avec un effort opposé à la bande de tôle, il est sollicité à une compression [3]. 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 du quel est fabriquer 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).

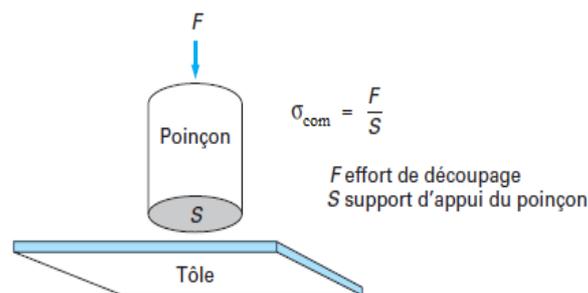


Figure II.9: Contrainte de compression sur le poinçon

Dans le cas des poinçons ayant de petites sections ou de grandes longueurs, la contrainte de compression peut provoquer un flambement du poinçon [2]. 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).

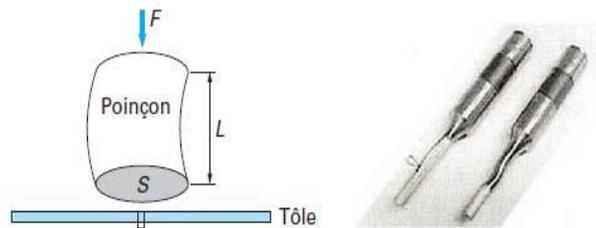


Figure II.10: L'état d'un flambement du poinçon de découpage

II.3 Avantages et inconvénients du poinçonnage

II.3.1 Avantages

- 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 [10].
- 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.3.2 Inconvénients

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

II.4 Le Détournage

II.4.1 Définition

Le détournage 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 détournage 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 détournage. Lorsqu'on ne désire pas de collerette, l'arête de l'outil découpe suivant un bord non perpendiculaire à la surface de tôle.

II.4.2 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.4.2.1 Effort de découpage

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.

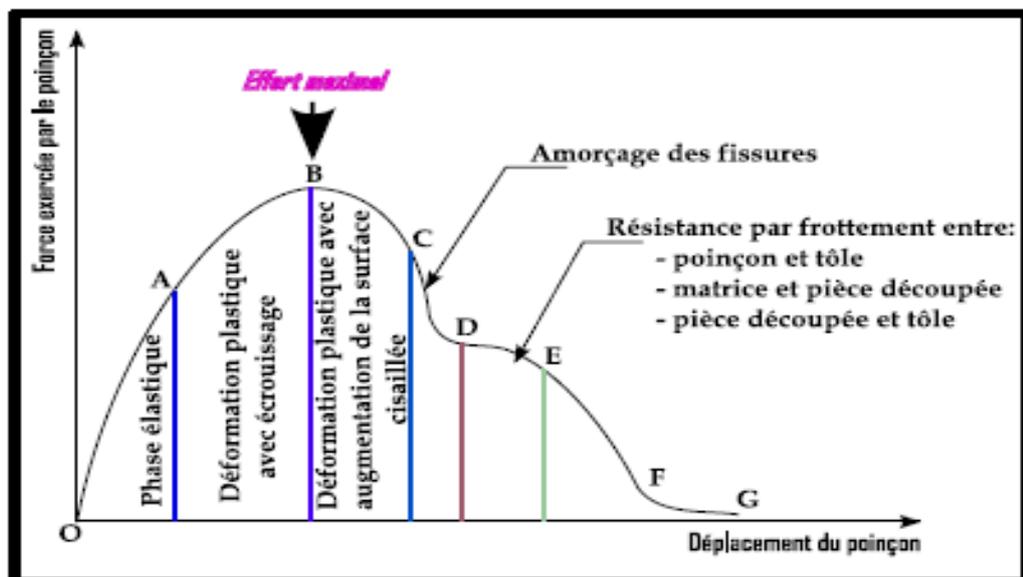


Figure II.11: Comportement du matériau au cours de l'opération de découpage courbe (effort / déplacement)

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 [8].

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.4.2.2 Qualité de la découpe

Il est possible de relier les différentes zones caractéristique du profile de découpe au diagramme « effort/déplacement », quatre zones principales apparaissent sur le profile de la pièce découpée [6].

- **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 [8].

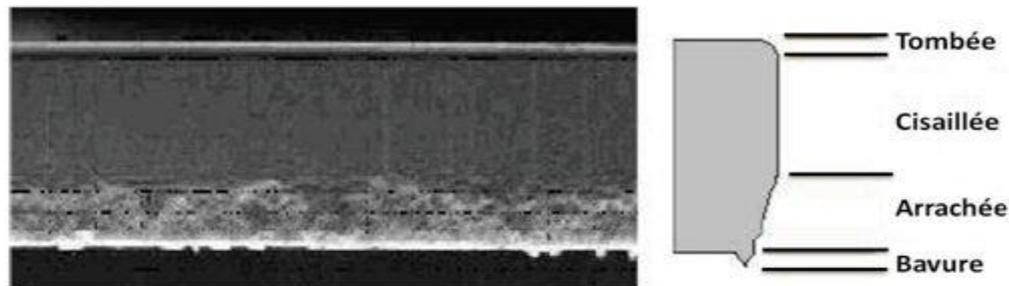


Figure II.12: caractérisation du profil d'une pièce découpée

II.4.3 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.4.3.1 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.4.3.2 Paramètres physique

- **Dureté du matériau** : l'effort maximal de découpage augmente de façon quasi linéaire avec l'augmentation de la dureté du matériau [8].
- **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.5 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.5.1 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 dues 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 a lieu lors de la pénétration du poinçon dans la tôle. La deuxième étape a lieu lors de la remontée 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 :

$$F_{d\acute{e}v\grave{e}} = \mu \times F_{serrage}$$

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.

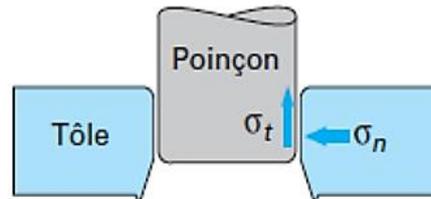


Figure II.13: Contraintes à l'origine de l'effort de dévêtissage

II.6 Usure des outils de découpage

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 [8].

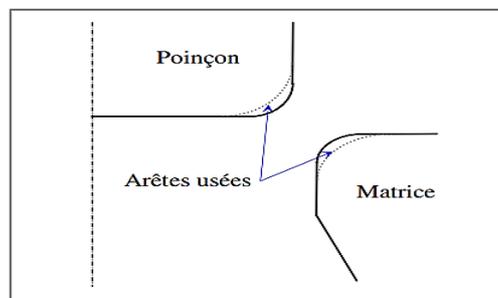


Figure II.84: évaluation des arêtes de découpe d'un poinçon et d'une matrice

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 il 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.6.1 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.6.2 Mécanisme de l'usure

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

- **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 [8].
- **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 [14].

II.6.3 Quantification de l'usure des poinçons

Dans l'industrie du découpage l'usure des poinçons a des conséquences importantes sur la production. 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 maîtrise 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 [14]. 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.7 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 par la courbe effort/déplacement identifiée lors d'un cycle de la presse de découpe, et par le profil dans l'épaisseur de la tôle découpée. Ces deux éléments sont liés à la nature du matériau découpé et aux différents paramètres liés au process. La qualité de découpage des tôles peut être vérifiée en mesurant l'importance relative des zones bombée, cisailée, arrachée et la taille de bavure. La

qualité est meilleure quand la zone cisailée est importante sur le bord découpé, parce qu'elle respecte la géométrie désirée sur les pièces découpées.

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 de construire une méthode de quantification qui s'affranchisse 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 en comparaison de l'usure de 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.

III.1 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. Les produits passent par plusieurs étapes comme l'emboutissage, détournage et poinçonnage.

Ces presses, constituées d'un ensemble d'organes et outils mécaniques conçus pour réaliser différents travaux par déformations plastiques, sur des métaux en feuilles (tôles).

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

Pour commencer, nous proposerons une définition et une classification des presses dans l'industrie.

Ensuite, nous décrirons les différents modèles, le fonctionnement, type de tôle et les outils utilisées pour la réalisation d'un bandeau bombé en inox.

III.2 Principe de fonctionnement de la presse:

Toutes les presses de construction sont du type mécanique avec cinématisme du mouvement du coulisseau par un système excentrique.

L'énergie, dans la phase de travail, vient fournie par le volant qui subit un ralentissement d'environ 10%. La récupération de l'énergie est effectuée par le moteur dans la phase de remonte du coulisseau.

Dans ses composantes essentielles la presse est composée :

- Moteur – Courroie – Volant - Groupe frein / embrayage - Réducteur à engrenage - Arbre villebrequin – Bielle - Coulisseau

Selon le type constructif il y a un ou plusieurs bielles mais les principes de fonctionnement et de commande restent invariables.

Le démarrage du moteur détermine la rotation du volant tandis que le groupe réducteur excentrique reste à l'arrêt.

Introduisant de l'air dans le groupe embrayage, on provoque l'embrayage du volant avec le groupe réducteur et par conséquent le mouvement du coulisseau, par contre, en enlevant l'air on cause l'embrayage automatique du frein et donc l'arrêt du réducteur et de coulisseau.

L'introduction de l'air dans le groupe embrayage s'obtient par une électrovanne à double corps contrôlée par un circuit électrique et par une came montée sur l'arbre vilebrequin, par des appropriés sélecteurs mis sur le tableau de commande on peut préparer les différents types de fonctionnement (coupe par coup-continu-réglage) et de commande (poussoir ou pédale) [19].

III.3 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 [13].

III.3.1 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.3.1.1 Les Presses Mécaniques

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

Cette énergie est ensuite transmise au coulisseau, en un mouvement de translation, grâce à un système bielle-manivelle (**vilebrequin** ou **excentrique**) imprime le mouvement au coulisseau. On appelle point mort bas **PMB**, la distance minimale entre la table et le coulisseau, et point mort haut **PMH**, la distance maximale. La course du coulisseau est égale à deux fois le rayon de la manivelle (voir la Figure **III.2**).

Les presses mécaniques sont d'une plus grande rapidité de fonctionnement, elles sont plus répandues, car elles permettent d'atteindre des cadences élevées [13].

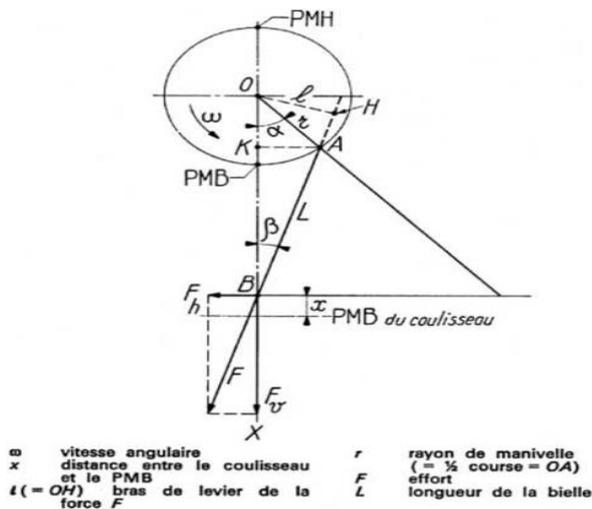


Figure III.1: Presse Mécanique MANZONI Figure III.2: Principe du système bielle-manivelle

III.3.1.2 Les Presses Hydrauliques

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

- ✓ Il s'agit du mode d'action du coulisseau, et celui du moyen de production de l'énergie nécessaire au formage ; [13]

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

Les presses hydrauliques offrent les possibilités suivantes :

- Réglage continue de la vitesse de translation et Mouvement réguliers et sans chocs ;
- Facilité d'inversion de sens de marche même à grande vitesse.
- transmission de grands efforts d'une distance importante de la commande ;
- Facilité de la réalisation de cycles automatique de travail ; [4]



Figure III.3: Presse Hydraulique De Marque MANZONI

III.3.2 La forme du bâti : On distingue :

III.3.2.1 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. Ainsi parfois, elles sont à simple ou à double effets. Le système de construction adopté sur les presses à bâti en arcade, a l'avantage d'éviter le phénomène de déflexion. Ces presses permettent non seulement de limiter considérablement les déformations de la structure, mais, également de réduire les délais de maintenance des outils utilisés pour l'usinage, tout en donnant au produit, un haut degré de finition [3].



Figure III.4: Presse à Arcade

III.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, 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 1000 tonnes-force.



Figure III.5: Presse à Montant droit

III.3.3 Le nombre de coulisseaux

III.3.3.1 Presse à Simple Effet

Il s'agit d'une presse qui ne comporte qu'un seul coulisseau actionné par une ou plusieurs bielles. Elles sont spécifiquement destinées aux opérations de reprise, équipées d'un coussin inférieur, destiné à assurer l'effet du serre-flan, elles couvrent ainsi toute la gamme des efforts allant de 10 jusqu'à **30 000 KN** [3].



Figure III.6: presse à simple effet

III.3.3.2 Presse à Double Effets

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

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

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

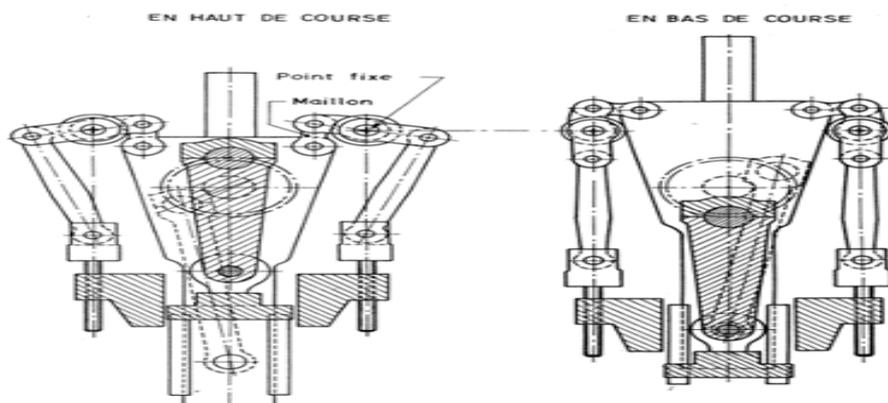


Figure III.7: Presse à Double Effets

III.4.2 Les Mécanismes de commande

Ils permettent de transformer le mouvement circulaire uniforme du moteur, en mouvement rectiligne alternatif du coulisseau, en utilisant les systèmes suivants : [3]

a) Système Bielle-Manivelle

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

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

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

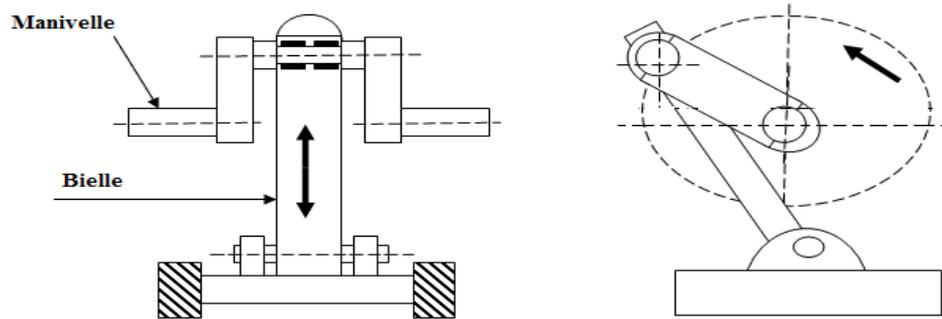


Figure III.8: Système Bielle-Manivelle

b) Système Excentrique

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

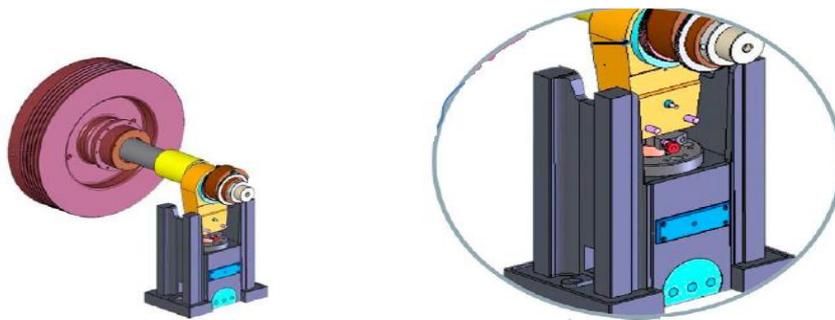


Figure III.9 : Exemple du Système Excentrique dans une Presse

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.

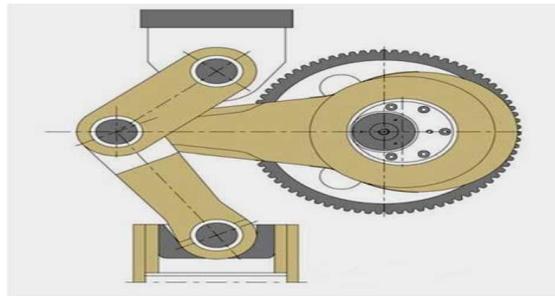


Figure III.10: Exemple de Système à Genouillère

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.

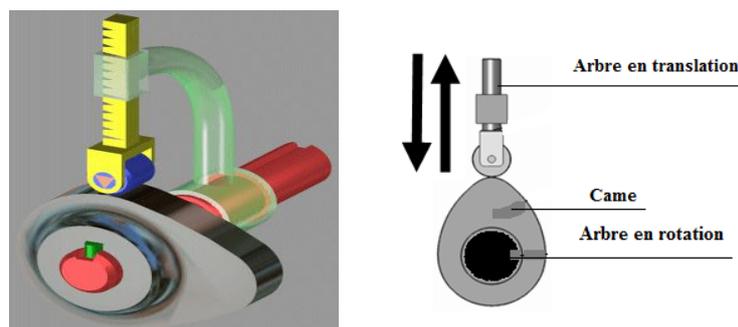


Figure III.11: Principe du Système à Came

III.4.3 L'Embrayage

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

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

III.4.3.1 Embrayage à Clavette Tournante

Il s'agit d'un embrayage dans lequel l'organe d'entraînement est une clavette, montée sur le vilebrequin, et, s'engageant, par rotation, dans des encoches du volant. Lorsque la butée s'éclipse, la clavette est sollicitée par un ressort, elle tourne et s'engage dans l'encoche du volant et provoque l'entraînement du vilebrequin [5].

Éléments principaux d'embrayage

Principe de fonctionnement

à clavette tournante

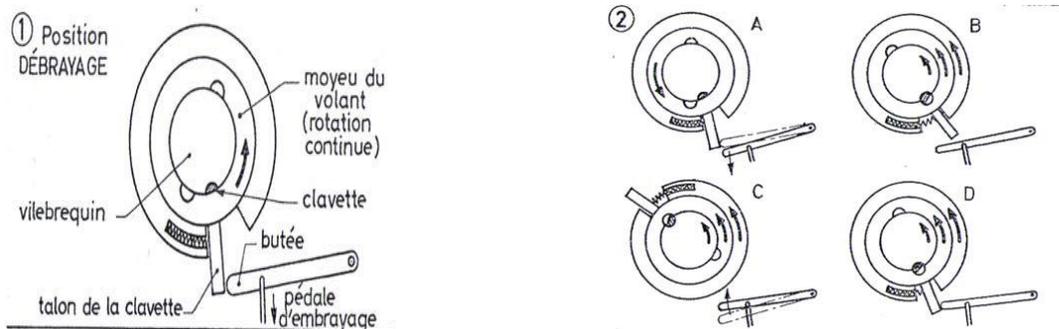


Figure III.12: Système d'Embrayage à Clavette Tournante

III.5 lamine les outils de presses (poinçonnage/détourage)

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 [4]. 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 certains 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'affutage.

III.5.1 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.5.2 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 5mm de la partie active de la matrice, l'affûtage est permis [6]. Avec une dépouille de 2 à 3°.

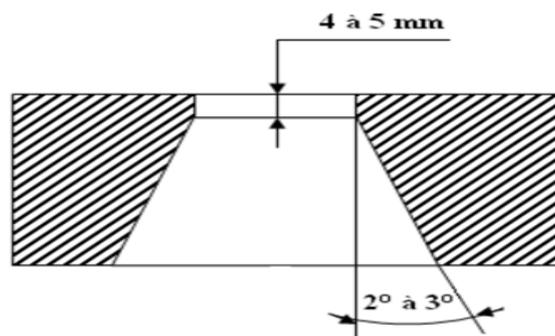


Figure III.13: Dimensions d'une Dépouille

III.5.3 L'Affûtage

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

III.6 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.14) 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.22**), 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'épinqage 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.

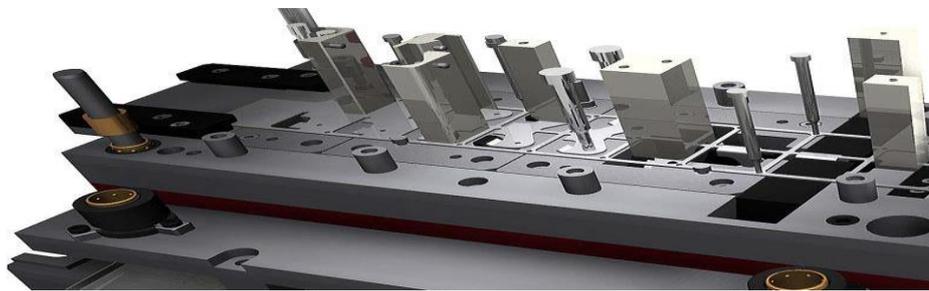


Figure III.14: Exemple d'un outil à suivre avec sa mise en bande

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.15**)



III.7 Positionnement des différents éléments

L'architecture standard d'une ligne comporte les éléments de déroulage, redressage, découpage et d'aménage (**Figure III.15**) [18].

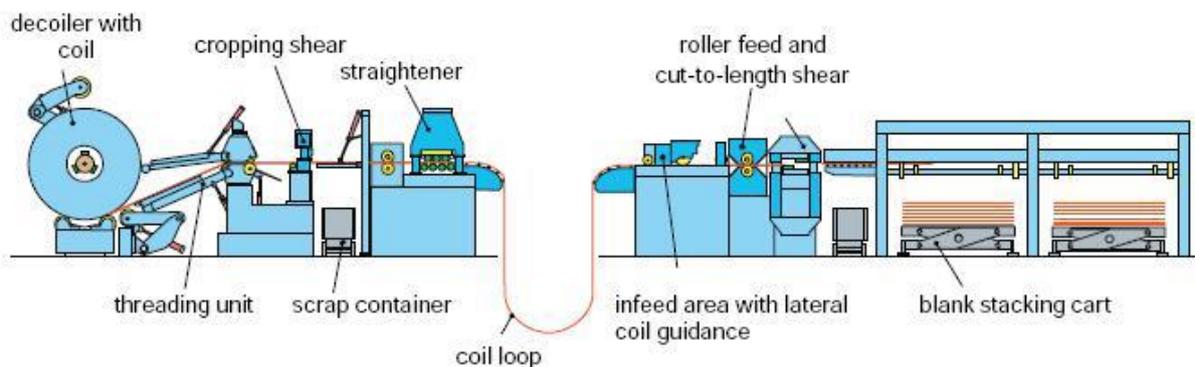


Figure III.15: architecture standard d'une ligne de découpe automatisée

III.8 Les moyens d'automatisation

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 [18]. 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.8.1 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. Elles sont préférées à la fabrication de pièces de grandes dimensions et à géométrie complexe. Exemple des parties de carrosserie et châssis de voiture. Les cadences de ce type de ligne sont de l'ordre de quelques pièces par minute.

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.8.2 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. Le déroulage 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, le 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 feuillets 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.



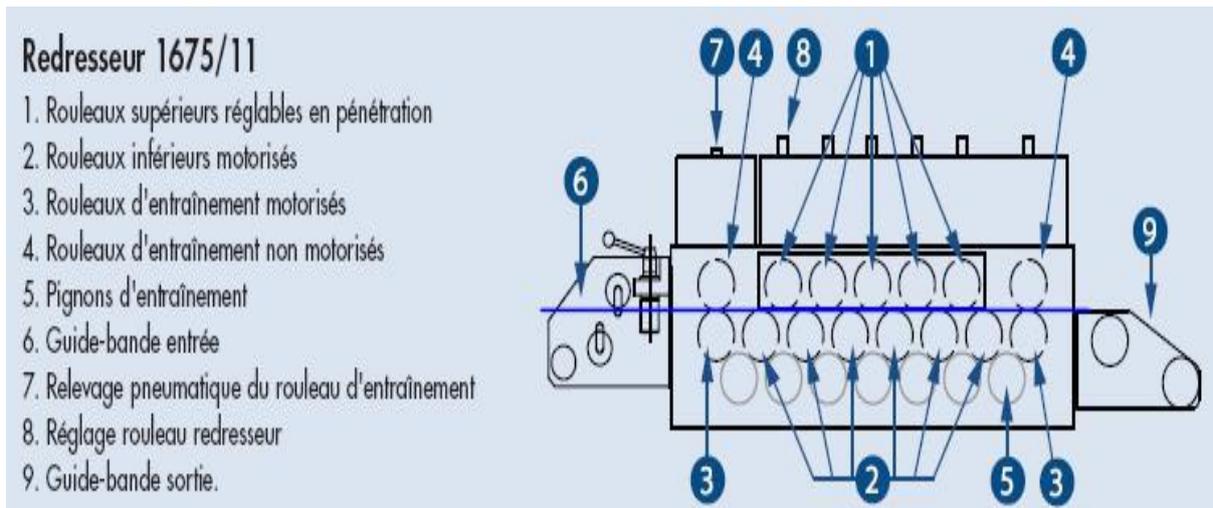


Figure III.17: éléments constitutifs d'un redresseur

- 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 est importante et plus le vérin actionnant la pince mobile devra être long.

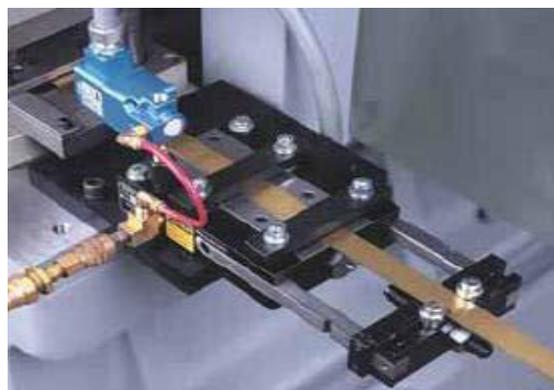


Figure III.18: Pince pneumatique

- 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 [18].

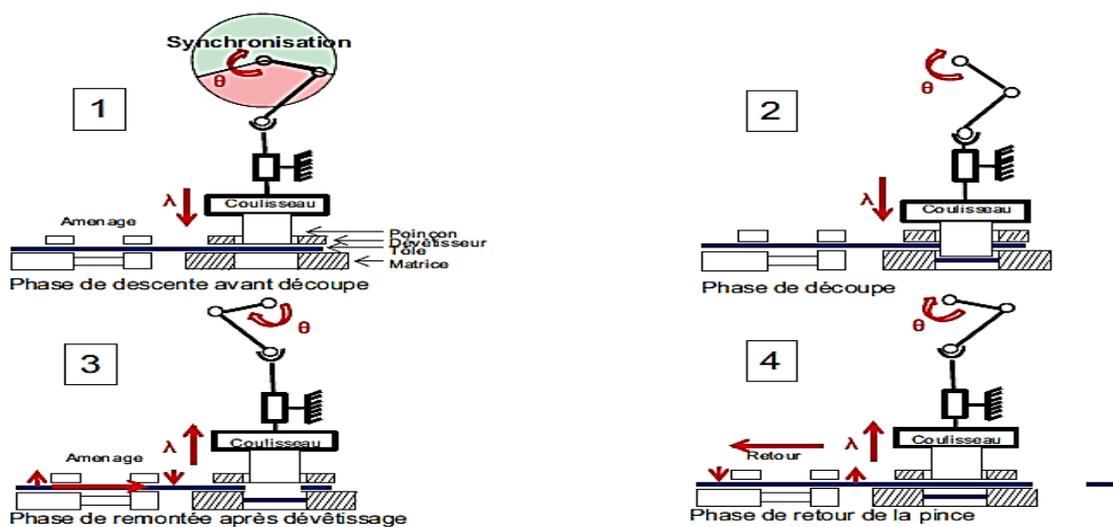


Figure III.20: cadencement des phases d'aménage sous presse

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 [18]. 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 $L_{maxi} - L_{mini}$.

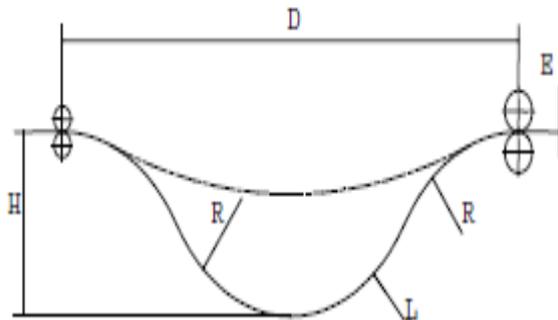


Figure III.21: Schéma d'une boucle

III.9 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.10 Conclusion

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

IV.1 Introduction

La mise en forme des nouveaux matériaux requiert d'importantes sollicitations des outillages. Ces sollicitations peuvent influencer le comportement des outils. La littérature montre que les paramètres géométriques de l'outillage ont une influence significative sur les sollicitations et la qualité des pièces produites. Appréhender l'effet de la nature du matériau sur les sollicitations des outillages et la qualité des pièces produites est d'un intérêt capital pour le dimensionnement.

Aujourd'hui, les relations permettant d'estimer les efforts de découpe sont établies pour des matériaux à l'état vierge. Au cours des opérations de mise en forme, les tôles découpées ne sont pas nécessairement à l'état vierge. Elles ont subi des transformations au cours des opérations d'emboutissage antérieures à celle du découpage. Il serait intéressant d'analyser l'effet de la pré-déformation sur la qualité des pièces produites et les sollicitations des outillages.

Au cours de l'opération de découpage, on cherche à produire des pièces de qualité acceptable mais aussi à garantir une longue durée de vie des outillages. La durée de vie sera d'autant plus longue que les sollicitations seront réduites. D'où notre problématique qui consiste à trouver une méthodologie pour réduire les sollicitations et garantir la production de pièces de qualité acceptable.

IV.1.1 Présentation de la pièce



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

La figure ci-dessus représente le bandeau bombé en inox d'une cuisinière ENIEM, il est conçu pour le montage de la minuterie, les boutons d'allumage (tourne bronche, allumage intégrer, lampe) et les robinets de gaz (table de travail, four, grilloirs), voir figure (IV.2). Cette pièce a une longueur de 583,40 mm et une largeur de 124 ,7 mm après développement, et 0.6 mm d'épaisseur.

IV1.2 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.1.3 Problématique

Dans tous les cas ENIEM à un objectif : réaliser un certain nombre de pièces d'une qualité, dans un laps de temps déterminé et au coût voulu.

ENIEM voulez atteigne cet objectif en suivant un modèle à perspective étroit qui consiste à choisir tout d'abord l'outil, puis l'utiliser et enfin à résoudre les problèmes de manière réactive. Inverser cette approche peut, cependant, réduire les coûts et accroître l'efficacité.

Au lieu d'attendre que des problèmes ne surviennent pour réaliser des ajustements, pour chaque opération d'usinage ou de fabrication, ENIEM devrait se concentrer sur une planification proactive visant à éliminer les pièces rejetées et les temps d'arrêt non planifiés.

Après l'établissement d'un process stable et fiable, appliquer les concepts de l'économie de production peut aider à trouver un équilibre entre taux de production et coûts de fabrication.

Enfin, en se basant sur des opérations sécurisées et économiquement viable, ENIEM veut sélectionner des outils et des conditions de coupe qui optimiseront complètement le process d'usinage et de fabrication. En réalisant un outil de détournage et de poinçonnage résistant aux différents efforts et sollicitations, l'accent doit être mis sur la fiabilité, la qualité et la précision globales avant de prendre en compte les coûts de fabrication et tout en assurant une productivité maximale et des coûts de production moindres.

IV.1.4 Solution

Une simple augmentation des vitesses de coupe permettra de produire plus de pièces par période et par conséquent, de réduire les coûts de fabrication, en général, cela est vrai, mais des compromis sont nécessaires. Plus vite une opération est exécutée, moins elle devient stable. Les grandes vitesses génèrent plus de chaleur, ce qui a un impact à la fois sur l'outil et sur la pièce à usiner. L'outil s'use rapidement et de manière moins prévisible ; l'usure ou la vibration de l'outil peut engendrer des dimensions et dégrader l'état de surface des pièces. Cela cause pour l'entreprise et après avoir passé une série de pièces fabriquées une perte de pièces lors de l'opération de détournage et poinçonnage.

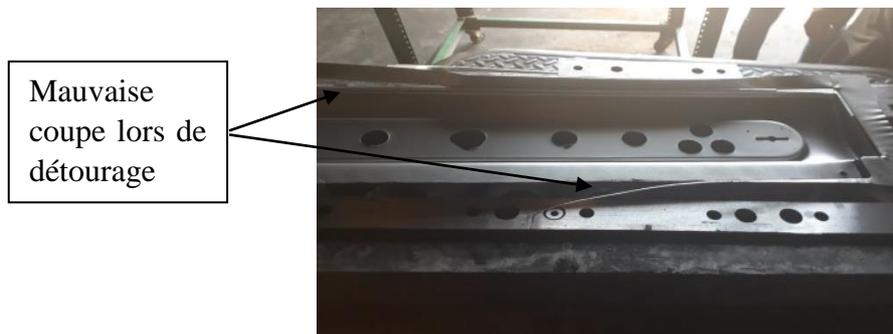
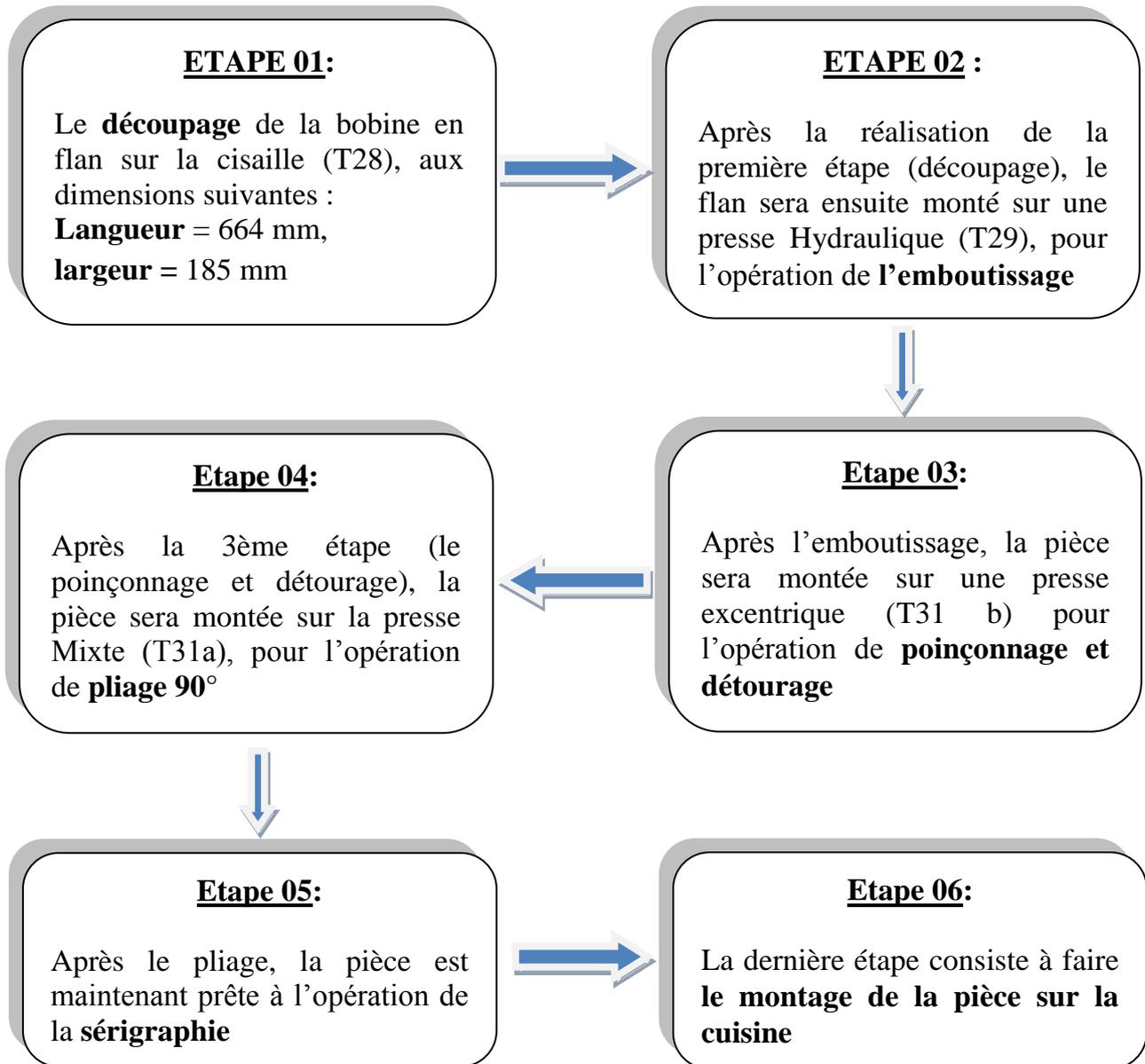


Figure IV.3: mauvais coupe du bandeau

Le choix est donc pris avec la collaboration de l'unité de prestation technique et M^r **CHALAL Mourad** afin de faire l'Étude et conception d'un outil poinçonnage et détournage d'un bandeau bombé en inox d'une cuisinière E.N.I.E.M, sur lequel sera exécutées les opérations suivantes : Découpage, emboutissage, pliage, poinçonnage et détournage.

IV1.5 Le processus de fabrication du bandeau bombé en inox [19]

Le processus de fabrication du bandeau bombé passe par 06 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.2 Cahier des charges

Notre travail consiste à la conception d'un outil (poinçonnage & détourage) pour la réalisation d'un bandeau bombé en inox des cuisinières ENIEM, dont les caractéristiques mécaniques sont présentes sur le Tableau (IV-1).

Les aciers utilisés pour ce genre de fabrication sont utilisés pour la fabrication des pièces par déformation à froid.

La tôle utilisée doit être conforme à la norme suivante : EN 10088-2-2014 1.4307. [19]

IV.2.2 Etudes Et Calculs

- ✓ Analyse d'outillage
- ✓ Etude de résistance des matériaux (poinçon)
- ✓ Travail sur poste informatisé avec CAO logiciel solidworks
- ✓ Diagramme de remontage

Analyse d'outillage

Etude des phases de réalisation de la pièce «bandeau bombé en inox des cuisinières ENIEM. En basant sur les documents du dossier technique et du modèle numérique, la mise en bande sera comme suite :

- Repérage des éléments d'outillage qui permettent l'obtention des opérations ;
- les zones découpées pour le pilotage de la bande ;
- définir les contours poinçonnés et découpés par les éléments d'outillage

IV.2.3 Fiche technique de la tôle

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

- **Désignation de la tôle**

Tôle en acier inoxydable satinée (X2CrNi 18-9)

Selon la Norme EN 10088-2-2014 1.4307 nous donne :

- **Nature du matériau**

X : symbole acier fortement allié

2% : pourcentage de carbone

Cr : chrome élément d'alliage (d'addition) par teneur décroissante

Ni : nickel élément d'alliage (d'addition) par teneur décroissante

18 : pourcentage réel de la teneur ; chrome

9 : pourcentage réel de la teneur ; nickel

- **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)	Resistance a la traction R_m	allongement après rupture (A80%)
220 N /mm ²	520 - 700 N/mm ²	A = 45%

2) Caractéristiques chimique

Tableau IV.2 : caractéristiques chimique du matériau

C (%)	SI (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)	N (%)	S (%)	P (%)
≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	8-10	17.5-19.5	≤ 0.10	≤ 0.015	≤ 0.045

- **Dimension nominales selon la norme EN 10131**

Tableau IV.3 : Dimensions Nominales

N°	Code	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)
01	130 096A	0.6	640
02	130 097A	0.6	640

- **Aspect de surface**

- la qualité de surface est : 2B /SAT.
- La surface tôle en INOX est protégée par un film vinylique (PS /PVC). [19]

IV.3 Calcul des efforts

La pièce à réaliser (bandeau bombé) passe par deux étapes simultanées ; poinçonnage et détourage, les différents efforts à appliqués pour obtenir la forme finale sont :

• Poinçonnage

La figure ci-dessous représente les différentes formes à poinçonner numérotés de 01 à 11 :

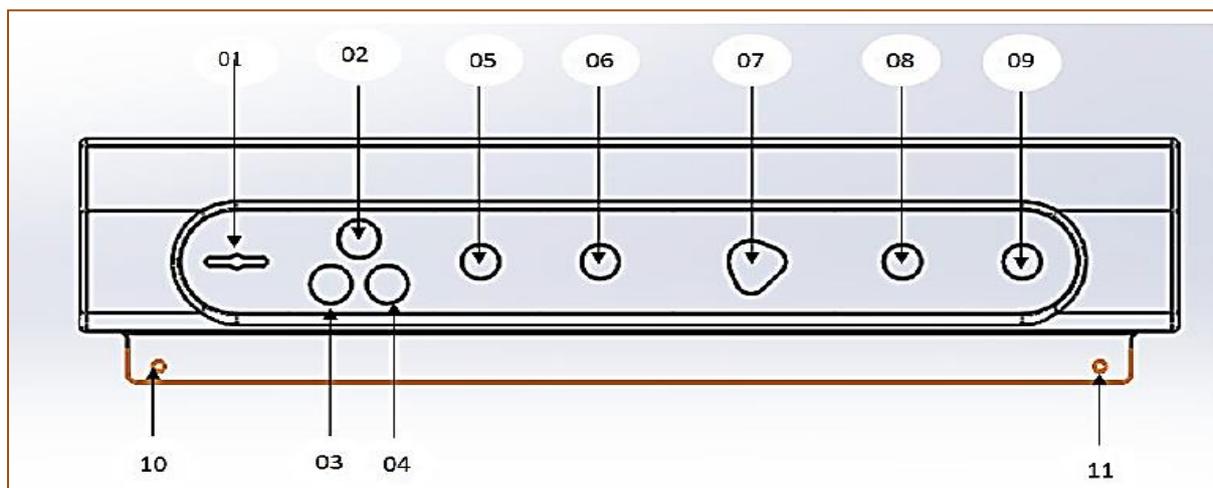


Figure IV. 4: représentation de différentes formes à poinçonne

Tableau IV.4: numérotation des efforts pour chaque forme de poinçonnage

Efforts de poinçonnage	Formes
F_{p01}	1
F_{p02}	2
F_{p03}	3
F_{p04}	4
F_{p05}	5
F_{p06}	6
F_{p07}	7
F_{p08}	8
F_{p09}	9
F_{p10}	10
F_{p11}	11

IV.3.1 Calcul de l'effort de poinçonnage

Pour le calcul des efforts de poinçonnage on utilise la formule suivante [6]:

$$F_p = P \times e \times R_{Pg} \quad \text{IV.1}$$

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) $R_{Pg} = 0,8 R_m$. En prend $R_m = 625 \text{ N/mm}^2$

$$R_{Pg} = R_m \times 0,8 = 625 \times 0,8 = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{Pg} = 500 \text{ N} = 50 \text{ daN}$$

Avec :

P : le périmètre à poinçonner.

e : l'épaisseur de la tôle.

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

IV.3.1.1 Calcul de l'effort de poinçonnage pour chaque forme

A) Calcul de l'effort poinçonnage forme 1

Pour les calculs des arcs on utilise la formule suivante :

$$\text{Arc} = \pi \times R \times \frac{\alpha}{180} \quad \text{IV.2}$$

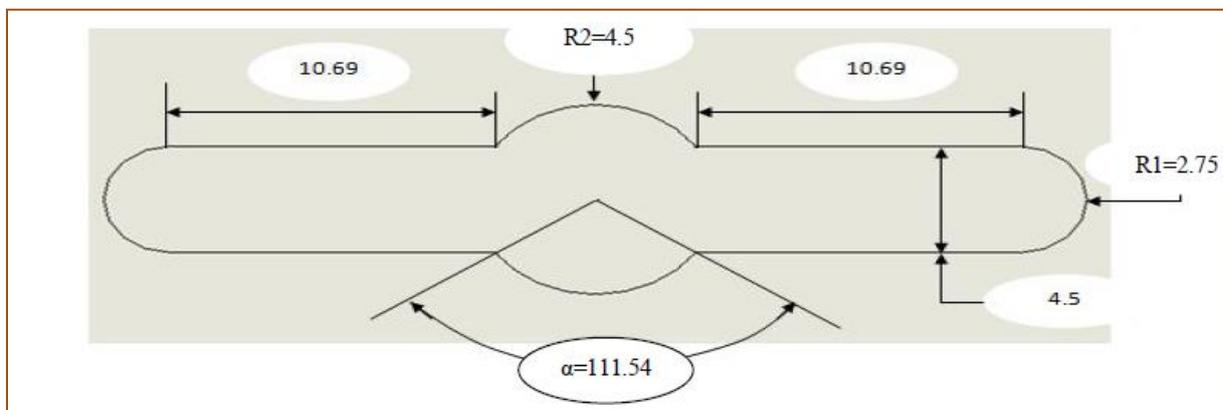


Figure IV.5: poinçonnage de forme1

• Calcul de périmètre

$$P_1 = (10,69 \times 4) + [(R_2 \times \pi \times \frac{\alpha}{180}) \times 2] + [(R_1 \times \pi \times \frac{\alpha}{180}) \times 2]$$

$$P_1 = (10,69 \times 4) + [(4,5 \times 3,14 \times \frac{111,54}{180}) \times 2] + [(2,75 \times 3,14 \times \frac{180}{180}) \times 2]$$

$$P_1 = 42,76 + 17,51 + 17,27$$

$$P_1 = 77,54 \text{ mm}$$

- Calcul de l'effort de poinçonnage

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

$$F_{p1} = 77,54 \times 0,6 \times 50$$

$$F_{p1} = 2558,6 \text{ daN}$$

B) Calcul de l'effort poinçonnage forme 2, 3 et 4

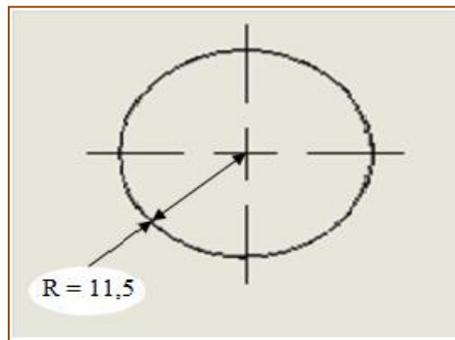


Figure IV.6: poinçonnage de forme 2

- Calcul de périmètre

$$P_2 = 2\pi \times R$$

$$P_2 = 2 \times 3,14 \times 11,5$$

$$P_2 = 72,22 \text{ mm}$$

- Calcul de l'effort de poinçonnage

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

$$F_{p2} = 72,22 \times 0,6 \times 50$$

$$F_{p2} = 2383,15 \text{ daN}$$

Comme les sections des trous S_2 , S_3 et S_4 sont égaux,

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

$$F_{p2} + F_{p3} + F_{p4} = 6499,8 \text{ daN}$$

C) Calcul de l'effort de poinçonnage forme 5, 6, 8 et 9

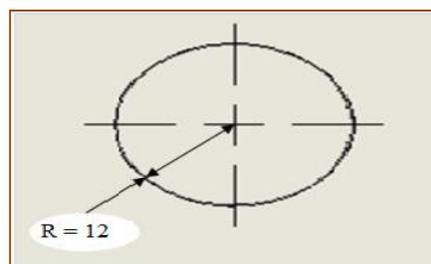


Figure IV.7 : poinçonnage de forme 5

- Calcul de périmètre

$$P_5 = 2\pi \times R$$

$$P_5 = 2 \times 3,14 \times 12$$

$$P_5 = 75,36 \text{ mm}$$

- Calcul de l'effort de poinçonnage

$$F_{P5} = P_5 \times e \times R_g$$

$$F_{P5} = 75,36 \times 0,6 \times 50$$

$$F_{P5} = 2486,55 \text{ daN}$$

Comme les sections des trous S5, S6, S8, S9 sont égaux,

$$D'où : F_{P5} = F_{P6} = F_{P8} = F_{P9}.$$

$$F_{P5} + F_{P6} + F_{P8} + F_{P9} = 9043,2 \text{ daN}$$

D) Calcul de l'effort de poinçonnage forme 7

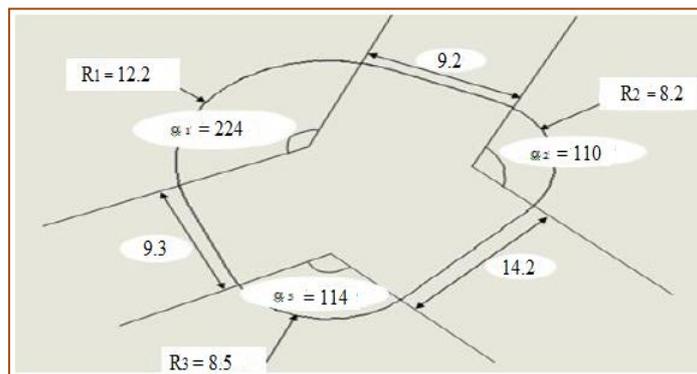


Figure IV.8: poinçonnage de forme 7

- Calcul de périmètre

$$P_7 = (9,20 + 14,20 + 9,3) + (R_1 \times \pi \times \frac{\alpha_1}{180}) + (R_2 \times \pi \times \frac{\alpha_2}{180}) + (R_3 \times \pi \times \frac{\alpha_3}{180})$$

$$P_7 = 32,71 + 47,96 + 15,80 + 16,90$$

$$P_7 = 113,37 \text{ mm}$$

- Calcul de l'effort de poinçonnage

$$F_{P7} = P_7 \times e \times R_g$$

$$F_{P7} = 113,37 \times 0,6 \times 50$$

$$F_{P7} = 3401,1 \text{ daN}$$

E) Calcul de l'effort de poinçonnage forme 10 et 11

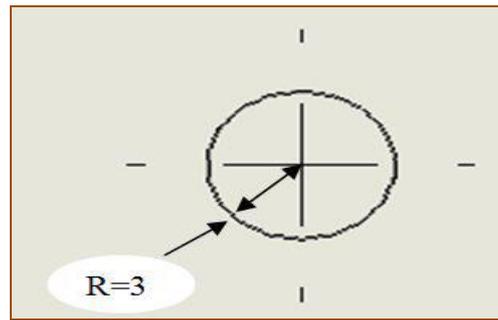


Figure IV.9 : poinçonnage de forme 10

• Calcul de périmètre

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

$$P_{10} = 2 \times 3,14 \times 3$$

$$P_{10} = 18,84 \text{ mm}$$

• Calcul de l'effort de poinçonnage

$$F_{P10} = P_{10} \times e \times R_g$$

$$F_{P10} = 18,84 \times 0,6 \times 50$$

$$F_{P10} = 565,2 \text{ daN}$$

Comme les sections S_{10} et S_{11} sont égaux,

$$\text{D'où : } F_{P10} = F_{P11}$$

$$F_{P10} + F_{P11} = 1130,4 \text{ daN}$$

IV.3.1.2 L'effort total de poinçonnage

$$F_{pTotal} = F_{p1} + (F_{P2} + F_{P3} + F_{P4}) + (F_{P5} + F_{P6} + F_{P8} + F_{P9}) + F_{P7} + (F_{P10} + F_{P11})$$

$$F_{pTotal} = 2326,2 + 6499,8 + 9043,2 + 3401,1 + 1130,4$$

$$F_{pTotal} = 22400,7 \text{ daN}$$

Avec : **F** : effort de cisailage (en daN)
e : l'épaisseur de la tôle
R_{pg} : Résistance pratique au cisaillement (glissement) en daN/mm²)
α : Angle d'attaque ou angle de coupe (en°)

IV.3.2.1 Effort de découpage :

A) Calcul de périmètre

• Calcul des arcs :

$$P = \text{Arc}_{\text{Total}} + L_{\text{Total}}$$

$$\text{Arc}_{\text{Total}} = \text{Arc}_{\text{BC}} + \text{Arc}_{\text{DE}} + \text{Arc}_{\text{NO}} + \text{Arc}_{\text{PA}} + \text{Arc}_{\text{FG}} + \text{Arc}_{\text{LM}} + \text{Arc}_{\text{HI}} + \text{Arc}_{\text{JK}}$$

$$\text{Arc}_{\text{BC}} = \pi \times R_1 \times \frac{\alpha}{180}$$

$$\text{Arc}_{\text{BC}} = 3,14 \times 3,40 \times \frac{90}{180}$$

$$\text{Arc}_{\text{BC}} = 5,33 \text{ mm}$$

On a:

$$\text{Arc}_{\text{BC}} = \text{Arc}_{\text{DE}} = \text{Arc}_{\text{NO}} = \text{Arc}_{\text{PA}} = 5,33 \text{ mm}$$

$$\text{Arc}_{\text{FG}} = \pi \times R_2 \times \frac{\alpha}{180}$$

$$\text{Arc}_{\text{FG}} = 3,14 \times 5 \times \frac{90}{180}$$

$$\text{Arc}_{\text{FG}} = 7,85 \text{ mm}$$

On a:

$$\text{Arc}_{\text{FG}} = \text{Arc}_{\text{LM}} = \text{Arc}_{\text{HI}} = \text{Arc}_{\text{JK}} = 7,85 \text{ mm}$$

$$\text{Arc}_{\text{Total}} = (5,33 \times 4) + (7,85 \times 4)$$

$$\text{Arc}_{\text{Total}} = 52,72 \text{ mm}$$

• Calcul des arêtes

$$L_{\text{Total}} = L_{\text{AB}} + L_{\text{CD}} + L_{\text{EF}} + L_{\text{GH}} + L_{\text{IJ}} + L_{\text{KL}} + L_{\text{MN}} + L_{\text{OP}}$$

$$L_{\text{Total}} = 576,2 + 103,44 + 16,60 + 19,30 + 523 + 19,30 + 16,60 + 103,44$$

$$L_{\text{Total}} = 1377,88 \text{ mm}$$

$$P = \text{Arc}_{\text{Total}} + L_{\text{Total}}$$

$$P = 55,72 + 1377,88$$

$$P = 1433,6 \text{ mm}$$

B) Calcul de l'effort de détournement sans angle d'attaque α

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

$$F_d = 1433,6 \times 0,6 \times 50$$

$$F_d = 43008 \text{ daN}$$

C) Calcul de l'effort de détournement avec angle d'attaque $\alpha = 1^\circ$

$$F_d = \frac{R_{pg} \times e^2}{2 \times \tan \alpha} = \frac{50 \times 0,6^2}{2 \times (\tan 1)}$$

$$F_d = 515,61 \text{ daN}$$

$$F_d = N_m \times F_d$$

Avec :

N_m : Nombre de matrice

$$F_d = 8 \times 515,61$$

$$F_d = 4124,88 \text{ daN}$$

IV.3.2.2 L'effort total de découpage

$$F_{d\acute{e}} = F_{p \text{ Total}} + F_d \quad \text{IV.4}$$

Sans angle α

$$F_{d\acute{e}} = 22400,7 + 43000,8$$

$$F_{d\acute{e}} = 65401,5 \text{ daN}$$

Avec angle α

$$F_{d\acute{e}} = 22400,7 + 515,61 \times 8$$

$$F_{d\acute{e}} = 26525,58 \text{ daN}$$

IV.4 Calcul de l'effort dévêtissage $F_{d\acute{e}v}$ (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.

$$F_{d\acute{e}v} = F_{d\acute{e}} \times 7 \% \quad \text{IV.5}$$

$$F_{d\acute{e}v} = 7 \% \times 26525,58$$

$$F_{d\acute{e}v} = 1856,79 \text{ daN}$$

IV.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.

$$F_{\text{éj}} = F_{\text{dé}} \times 1,33 \% \quad \text{IV.6}$$

$$F_{\text{éj}} = 26525,58 \times 0,0133$$

$$F_{\text{éj}} = 352,790 \text{ daN}$$

IV5.1 Effort total

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

$$\begin{aligned} F_{\text{totale}} &= F_{\text{p Total}} + F_{\text{d}} + F_{\text{dév}} + F_{\text{éj}} \\ &= 22400,7 + 4124,88 + 1856,79 + 352,790 \end{aligned}$$

$$F_{\text{totale}} = 28735,160 \text{ daN}$$

IV.6 Calcul de l'effort fournir par la presse

L'effort de découpage est égal à la somme des différents efforts. Son résultat permet de déterminer la presse adéquate.

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

$$F_{\text{Presse}} = 22400,7 + 4124,88 + 1856,79 + 352,790$$

$$F_{\text{Presse}} = 28735,16 \text{ daN}$$

Il est donc nécessaire d'utiliser une presse développant au minimum 30 tonnes - forces soit 30 000 daN.

IV.7 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.

La nature du matériau à découper détermine ce jeu, pour les aciers durs, fonte, inox. Le jeu est de 1/15 de l'épaisseur de la bande.

$$J = \frac{1}{15} \times e \quad \text{IV.7}$$

$$\text{AN : } J = \frac{1}{15} \times 0,6$$

$$J = 0,04 \text{ mm}$$

IV.8 choix des ressorts

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 les figures ci-dessous.



Figure IV.11: différents ressorts (représenter suivant ISO10243) [20]

IV.8.1 Calcul de l'effort assuré par un seul ressort [10]

$$F_{\text{Ressort}} = \frac{F_{\text{dév}}}{N} \quad \text{VI.8}$$

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.

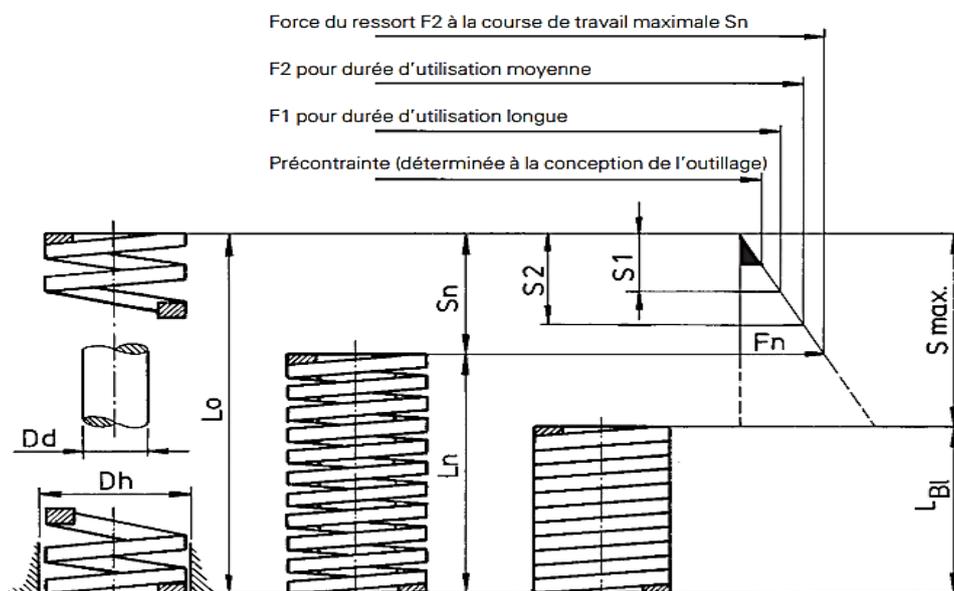
Vu que l'effort total de la découpe est important (28,75 tonnes) et que la taille de l'outil est assez importante, pour des raisons d'équilibre on utilise 12 ressorts ($N = 12$).
AN:

$$F_{\text{Ressort}} = 1856,79 / 12$$

$$F_{\text{Ressort}} = 154,7325 \text{ daN}$$

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

Le tableau suivant résume les caractéristiques de ressort utilisé : [20]



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_{Bl} : longueur d'aplatissement maximale du ressort ($L_0 - s_{max}$)

Les démentions du ressort :

$$F = K \cdot X \quad \text{avec : } X = 11,5 \text{ mm}$$

$$K = F/X = \frac{1856,79}{11,5} = 161,46 \text{ N/mm}^2$$

$$D_h = 32 \text{ mm} \quad D_d = 16 \text{ mm} \quad L_0 = 76 \text{ mm} \quad K = 172 \text{ N/mm}$$

Tableau IV.5 : caractéristique des ressorts à charge forte couleur rouge

N° de référence SZ 8030.													<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alésage	Axe	Fil	Longueur L_0	Taux d'élasticité	Durée d'utilisation longue	Durée d'utilisation moyenne	course de travail max.		course de ressort		max. s_{max} approx.			
\emptyset D_h^{H15}	\emptyset D_{dh15}			en N/mm $c \pm 10\%$	$s_1 = 15\%$ en mm	F_1 en N	$s_2 = 20\%$ en mm	F_2 en N	$s_n = 30\%$ en mm	F_n en N				
25	12,5	5,6x4,1	25	375,0	3,7	1387	5,0	1875	7,5	2812	9	25 x 025		
25	12,5		32	297,0	4,8	1425	6,4	1900	9,6	2851	11	25 x 032		
25	12,5		38	219,0	5,7	1248	7,6	1664	11,4	2496	14	25 x 038		
25	12,5		44	187,0	6,6	1234	8,8	1645	13,2	2468	16	25 x 044		
25	12,5		51	156,0	7,6	1185	10,2	1591	15,3	2386	19	25 x 051		
25	12,5		64	123,0	9,6	1180	12,8	1574	19,2	2361	26	25 x 064		
25	12,5		76	99,0	11,4	1128	15,2	1504	22,8	2257	29	25 x 076		
25	12,5		89	84,0	13,3	1117	17,8	1495	26,7	2242	35	25 x 089		
25	12,5		102	73,0	15,3	1116	20,4	1489	30,6	2233	39	25 x 102		
25	12,5		115	65,0	17,2	1118	23,0	1495	34,5	2242	45	25 x 115		
25	12,5		127	57,7	19,0	1096	25,4	1465	38,1	2198	48	25 x 127		
25	12,5		139	52,7	20,9	1101	27,8	1465	41,7	2198	54	25 x 139		
25	12,5		152	47,8	22,8	1089	30,4	1453	45,6	2179	60	25 x 152		
25	12,5		178	41,0	26,7	1094	35,6	1459	53,4	2189	67	25 x 178		
25	12,5		203	35,8	30,4	1088	40,6	1453	60,9	2180	80	25 x 203		
25	12,5		305	22,9	45,7	1046	61,0	1396	91,5	2095	119	25 x 305		
32	16	6,9x5,3	38	388,0	5,7	2111	7,6	2948	11,4	4423	13	32 x 038		
32	16		44	324,0	6,6	2138	8,8	2851	13,2	4276	16	32 x 044		
32	16		51	272,0	7,6	2067	10,2	2774	15,3	4161	18	32 x 051		
32	16		64	212,0	9,6	2035	12,8	2713	19,2	4070	23	32 x 064		
32	16		76	172,0	11,4	1960	15,2	2614	22,8	3921	27	32 x 076		
32	16		89	141,0	13,3	1875	17,8	2509	26,7	3764	33	32 x 089		
32	16		102	122,0	15,3	1866	20,4	2488	30,6	3733	39	32 x 102		
32	16		115	107,0	17,2	1840	23,0	2461	34,5	3691	43	32 x 115		
32	16		127	93,0	19,0	1767	25,4	2362	38,1	3543	47	32 x 127		
32	16		139	86,0	20,9	1797	27,8	2391	41,7	3586	51	32 x 139		
32	16		152	78,0	22,8	1778	30,4	2371	45,6	3556	55	32 x 152		
32	16		178	67,2	26,7	1794	35,6	2392	53,4	3588	69	32 x 178		
32	16		203	59,1	30,4	1796	40,6	2399	60,9	3599	81	32 x 203		
32	16		254	46,4	38,1	1767	50,8	2357	76,2	3535	99	32 x 254		
32	16		305	38,0	45,7	1736	61,0	2318	91,5	3477	119	32 x 305		

IV.9 Calcul de vérification des poinçons à la résistance

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

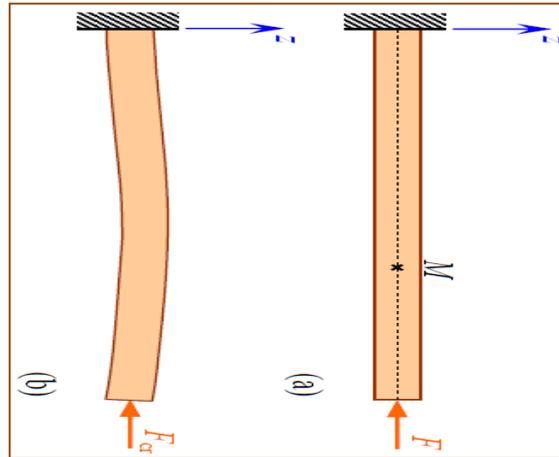


Figure IV.12 : flambement d'une poutre soumise à un effort axial

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

Si : [10]

- $F < F_{cr}$: 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 :

$$F_{cr} = \pi^2 \times (E \times I) / L^2 \quad \text{IV.9}$$

Avec : E : module de Young.

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.6 : 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 coté et libre de l'autre, donc la longueur libre du flambement [8] $l = 2L$.

• **Poinçon 1 :**

$I_1 = 645,49 \text{ mm}^4$ (Mesuré à partir du logiciel de CAO SOLIDWORKS).

$$F_{cr1} = \pi^2 \times E \times I/L^2$$

$$F_{cr1} = (3,14)^2 \times 210000 \times 645,49 / (2 \times 83)^2$$

$$F_{cr1} = 48501,13 \text{ N}$$

$$F_{p1} = 2326,2 \text{ daN}$$

$F_{p1} < F_{cr1}$: La condition est vérifiée, donc le poinçon va résister.

• **Poinçon 2:**

$$I_2 = \pi \times D^4 / 64$$

AN:

$$I_2 = 3,14 \times 23^4 / 64$$

$$I_2 = 13729,69 \text{ mm}^4$$

$$F_{cr2} = \pi^2 \times E \times I/L^2$$

$$F_{cr2} = (3,14)^2 \times 210000 \times 13729,69 / (2 \times 84)^2$$

$$F_{cr2} = 1007211,69 \text{ N}$$

$$F_{p2} = 2166,6 \text{ daN}$$

$F_{p2} < F_{cr2}$: La condition est vérifiée, donc le poinçon 2 va résister, la condition est aussi vérifiée pour les deux autres poinçons 3 et 4, car ils ont les mêmes caractéristiques.

• **Poinçon 5:**

$$I_5 = \pi \times D^4 / 64$$

AN:

$$I_5 = 3,14 \times 24^4 / 64$$

$$I_5 = 16277,76 \text{ mm}^4$$

$$F_{cr5} = \pi^2 \times (E \times I) / L^2$$

$$F_{cr5} = (3,14)^2 \times 210000 \times 16277,16 / (2 \times 84)^2$$

$$F_{cr5} = 1194128,41 \text{ N}$$

$$F_{p5} = 2260,8 \text{ daN}$$

$F_{p5} < F_{cr5}$: La condition est vérifiée, donc le poinçon 5 va résister, la condition est aussi vérifiée pour les poinçons 6, 8 et 9, car ils ont les mêmes caractéristiques.

• **Poinçon 7 :**

$$I_7 = 37713,07 \text{ mm}^4 \text{ (Mesuré à partir du logiciel CAO SOLIDWORKS).}$$

$$F_{cr7} = \pi^2 \times E \times I / L^2$$

$$F_{cr7} = (3,14)^2 \times 210000 \times 37713,07 / (2 \times 63,80)^2$$

$$F_{cr7} = 4795889,07 \text{ N}$$

$$F_{p7} = 3401,1 \text{ daN}$$

$F_{p7} < F_{cr7}$: La condition est vérifiée, donc le poinçon 7 va résister.

• **Poinçon 10 :**

$$I_{10} = \pi \times D^4 / 64$$

AN:

$$I_{10} = 3,14 \times 6^4 / 64$$

$$I_{10} = 63,58 \text{ mm}^4$$

$$F_{cr10} = \pi^2 \times E \times I / L^2$$

$$F_{cr10} = (3,14)^2 \times 210000 \times 63,58 / (2 \times 93,10)^2$$

$$F_{cr10} = 707000,03 \text{ N}$$

$$F_{P10} = 565,2 \text{ daN}$$

$F_{P10} < F_{cr10}$: La condition est vérifiée, donc le poinçon 10 va résister. La condition est aussi vérifiée pour le poinçon 11, car ils ont les mêmes caractéristiques.

IV.10 position adéquate de l'outil sur la machine (centre d'inertie)

Pour que la presse travail d'une manière plus favorable, on doit positionner l'outil sur la table d'une façon à ce que la résultante de tous les efforts sollicités pendant le travail passent par l'axe vertical du coulisseau de la presse. La figure ci-dessous montre les centres d'inerties des poinçons.

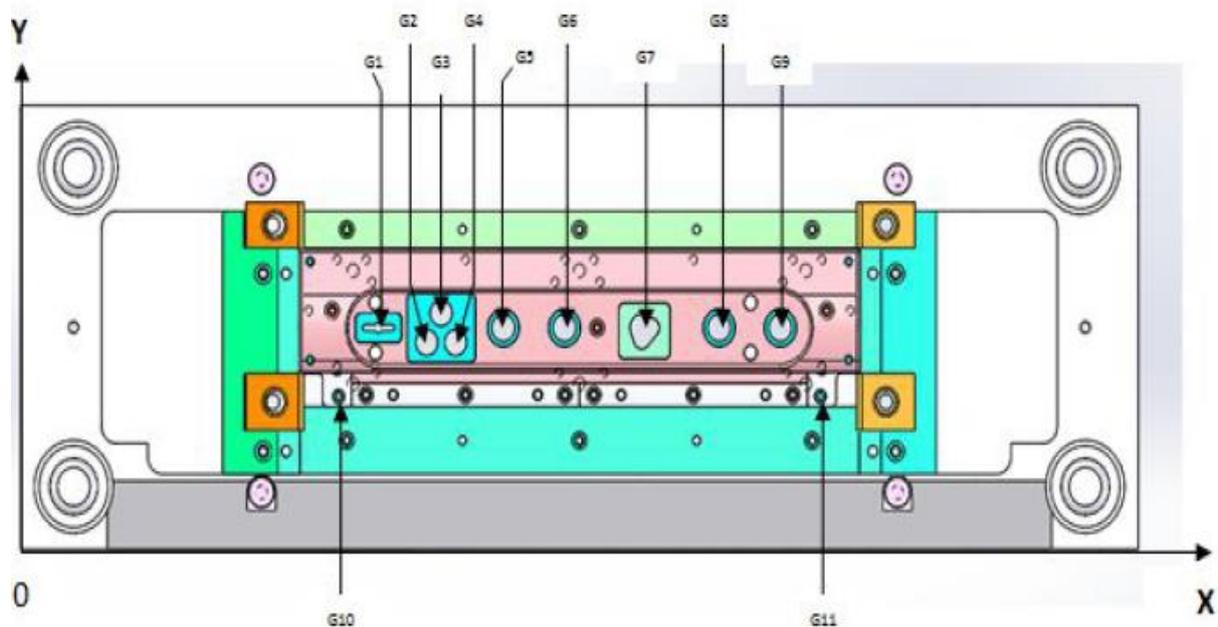


Figure IV.13 : position des centres de gravité

Le tableau suivant résume les coordonnées des centres d'inertie des poinçons respectivement G_1 ; G_2 ; G_3 G_{11} , ainsi que les efforts de coupe pour chaque poinçon [6].

Tableau IV.7 : coordonnées des centres d'inerties des poinçons

G	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇	G ₈	G ₉	G ₁₀	G ₁₁
X	371.5	241.5	436.5	451.5	501	564.5	644.7	725	788.5	330	830
y	194.5	181.5	207.5	181.5	194.5	194.5	194.5	194.5	194.5	134.2	134.2
F	2326.2	2166.6	2166.6	2166.6	2260.8	2260.8	3401.1	2260.8	2260.8	565.2	565.2
$X = \sum_i^n X_i \cdot F_i / \sum_i^n F_i$						$Y = \sum_i^n y_i \cdot F_i / \sum_i^n F_i$					

A.N:

$$\sum_{i=1}^{11} F_i = 22400,7 \text{ daN}$$

$$X = \sum_{i=1}^{11} X_i \cdot F_i / \sum_{i=1}^{11} F_i = 535,27 \text{ mm}$$

$$Y = \sum_{i=1}^{11} y_i \cdot F_i / \sum_{i=1}^{11} F_i = 190,19 \text{ mm}$$

IV.11 Le choix de la machine

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 : [19]

- Capacité de la presse200 (tonnes).
- Dimension de la table (longueur et larguer)1850 × 1250 (mm).
- Distance entre la table et le coulisseau en (PMH)1040 (mm).
- Distance entre la table et le coulisseau en (PMB)725 (mm).
- Cours du coulisseau315 (mm).

Conception de l'outil :

IV.12 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 et détournage.

IV13 Partie inférieure

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

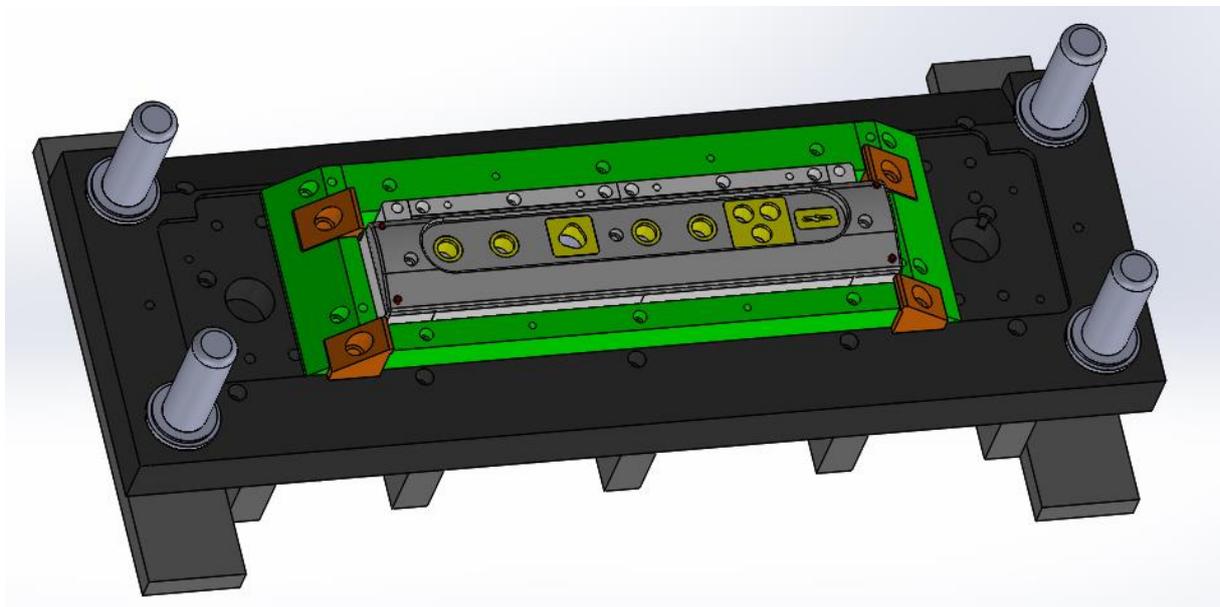


Figure IV.14 : Partie inférieure assemblée

- ✓ **Semelle inférieure** : C'est une plaque sur laquelle les matrices sont ajustées, son épaisseur doit être suffisante pour résister aux efforts de découpage.
- ✓ **Les matrices** : c'est le porte empreinte dans lesquelles les poinçons se pénètrent lors de l'opération de découpage, son épaisseur doit être suffisante pour qu'elle résiste aux efforts de découpage ainsi l'effort de serre-flan pour éviter les déformations.
- ✓ **La butée** : elle sert à positionner le flan, limitant ainsi son déplacement et un bon guidage du flan.

- ✓ **Colonne de guidage** : elles coulissent dans les embases supérieures avec glissement et sont emmanchées sur les embases inférieures.
- ✓ **Coupe chute** : elle sert à découper la chute détournée pour faciliter son évacuation.
- ✓ **Les lames** : ce sont les éléments fonctionnels qui interviennent lors de l'opération de détournage.
- ✓ **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 et les marquages, 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 implanter en partie inférieures.

IV.14 Partie supérieur :

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

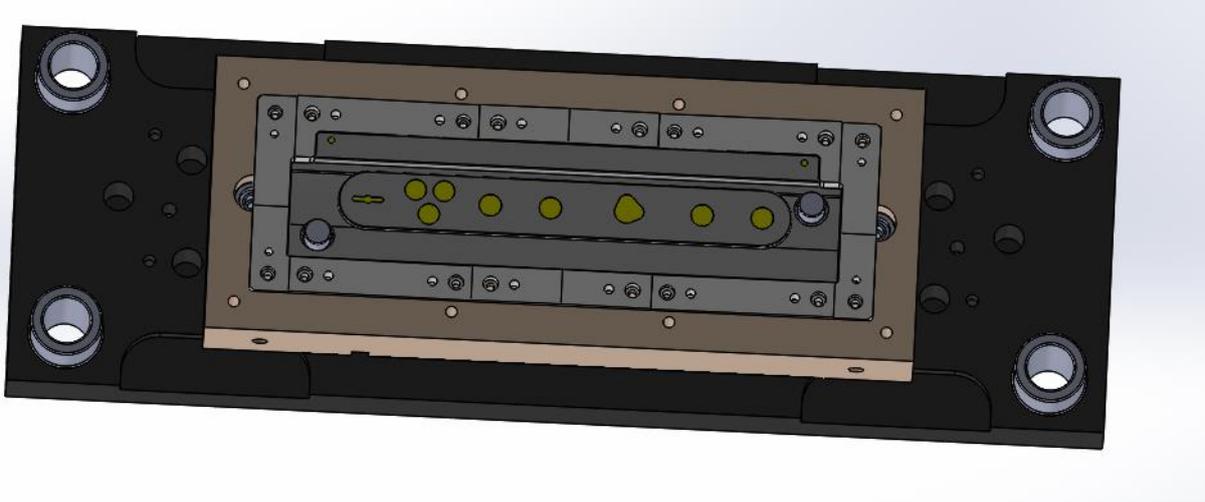


Figure IV.15 : Partie supérieur assemblée

- ✓ **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.
- ✓ **Poinçon** : 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 plaque la bande contre les marquages. Ainsi, les marquages sont gravés dans la tôle. D'après le cahier des charges la partie supérieure doit avoir 67 mm d'épaisseur.

IV.15 Outil complet assemblé

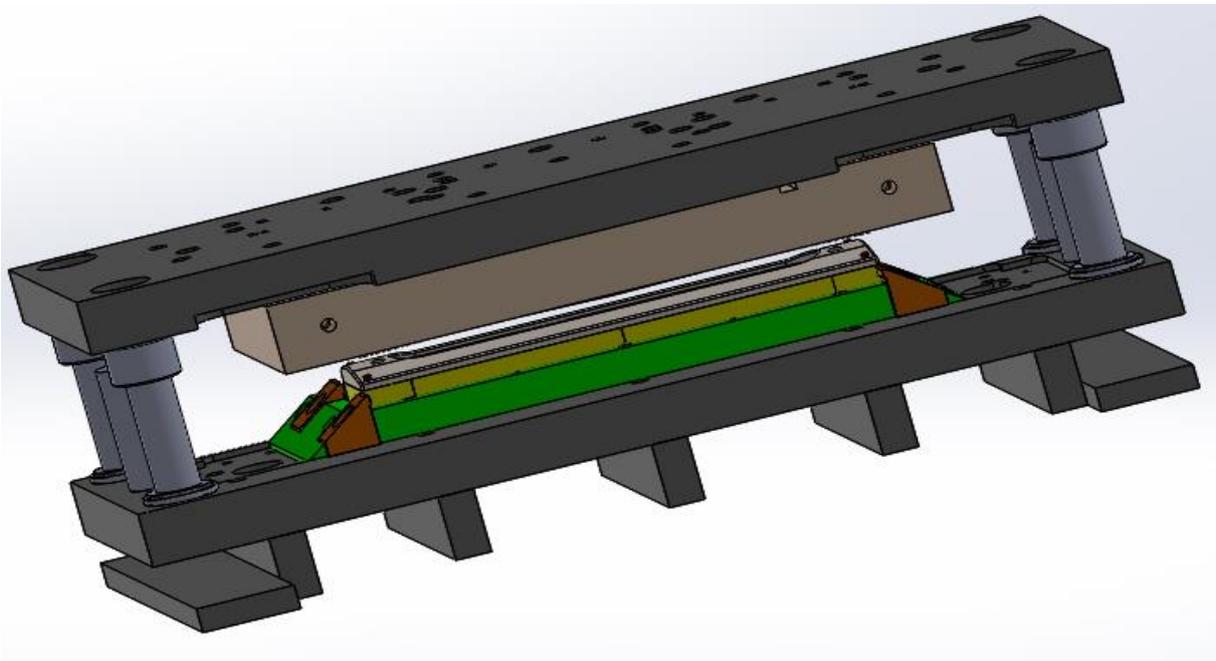


Figure IV.16 : outil complet assemblé

Conclusion générale

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.

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire concernent l'étude et la conception de l'outil à suivre afin d'avoir de la qualité des produits obtenus par un découpage destinés au milieu industriel de l'électroménager.

Généralement, compte tenu du cahier de charges de ces produits, le critère géométrique retenu pour définir leur qualité est souvent le niveau de bavure présente sur le support après découpage. D'autre part, dans toutes les applications utilisant des tôles découpées, la mesure de la bavure constitue un indice sur la qualité des arêtes de découpe des poinçons. Une bavure trop importante signe une découpe par un outil usé, et sa quantité est considérée comme le meilleur critère afin de procéder à la maintenance des outils. Ces implications traduisent le niveau de conformité dimensionnelle et les tolérances étroites exigées dans l'industrie du découpage.

Toutes ces considérations nous ont conduit à porter une attention particulière au suivi de la conception afin de minimiser l'usure entre poinçon et la matrice ainsi que la quantité de bavure formée sur un bord découpé.

Concernant le côté expérimental, puisque la réussite d'un processus de découpage dépend principalement des caractéristiques des tôles, de la forme des outils et de la lubrification, nous nous sommes attachés dans un premier temps à établir un essai expérimental permettant d'avoir le résultat selon ces différents paramètres. Ces essais de découpage ont été réalisés à ENIEM.

Ces mesures nous ont permis de réaliser un suivi régulier de l'usure en fonction du nombre de pièces découpées.

Le paramètre frottement a une influence significative sur la vitesse d'usure des poinçons. D'autres paramètres devraient être pris en compte pour la caractérisation de la qualité de la découpe. Avec par exemple :

- L'influence de la nature des matériaux d'outils,
- L'influence du jeu poinçon / matrice,
- L'influence de la cadence de découpe,
- L'influence de la géométrie du poinçon,
- L'influence de la raideur du dévêtisseur,
- L'influence de la pénétration du poinçon dans la matrice.

D'après les premiers résultats issus de cette étude sont encourageants. Ils mettent en évidence des différences de niveau d'usure sur l'arête de découpe. Cela permet d'obtenir une découpe facile de la tôle et un effort moins générer par la presse.

Le travail d'investigation mis en œuvre dans le cadre de ce mémoire doit permettre de sélectionner parmi les paramètres technologiques liés au procédé de découpage, ceux dont l'influence est prépondérante sur la qualité des pièces découpées.

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

Conclusion générale

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.

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire concernent l'étude et la conception de l'outil à suivre afin d'avoir de la qualité des produits obtenus par un découpage destinés au milieu industriel de l'électroménager.

Généralement, compte tenu du cahier de charges de ces produits, le critère géométrique retenu pour définir leur qualité est souvent le niveau de bavure présente sur le support après découpage. D'autre part, dans toutes les applications utilisant des tôles découpées, la mesure de la bavure constitue un indice sur la qualité des arêtes de découpe des poinçons. Une bavure trop importante signe une découpe par un outil usé, et sa quantité est considérée comme le meilleur critère afin de procéder à la maintenance des outils. Ces implications traduisent le niveau de conformité dimensionnelle et les tolérances étroites exigées dans l'industrie du découpage.

Toutes ces considérations nous ont conduit à porter une attention particulière au suivi de la conception afin de minimiser l'usure entre poinçon et la matrice ainsi que la quantité de bavure formée sur un bord découpé.

Concernant le côté expérimental, puisque la réussite d'un processus de découpage dépend principalement des caractéristiques des tôles, de la forme des outils et de la lubrification, nous nous sommes attachés dans un premier temps à établir une liste d'essais expérimentaux permettant de faire varier ces différents paramètres. Ces essais de découpage ont été réalisés à ENIEM.

Ces mesures nous ont permis de réaliser un suivi régulier de l'usure en fonction du nombre de pièces découpées.

Le paramètre frottement a une influence significative sur la vitesse d'usure des poinçons. D'autres paramètres devraient être pris en compte pour la caractérisation de la qualité de la découpe. Avec par exemple :

- L'influence de la nature des matériaux d'outils,
- L'influence du jeu poinçon / matrice,
- L'influence de la cadence de découpe,
- L'influence de la géométrie du poinçon,
- L'influence de la raideur du dévêtisseur,
- L'influence de la pénétration du poinçon dans la matrice.

D'après les premiers résultats issus de cette étude sont encourageants. Ils mettent en évidence des différences de niveau d'usure sur l'arête de découpe. Cela permet d'obtenir une découpe facile de la tôle et un effort moins générer par la presse.

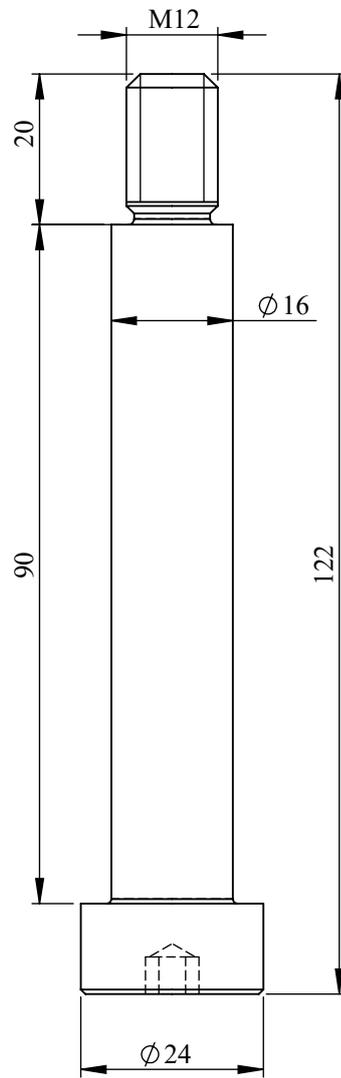
Le travail d'investigation mis en œuvre dans le cadre de ce mémoire doit permettre de sélectionner parmi les paramètres technologiques liés au procédé de découpage, ceux dont l'influence est prépondérante sur la qualité des pièces découpées.

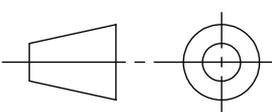
Malgré nos efforts pour mener à bien cette étude, ce travail constitue une contribution de plus dans le domaine, par conséquent, il reste ouvert aux critiques et à la proposition allant dans le sens de son amélioration.

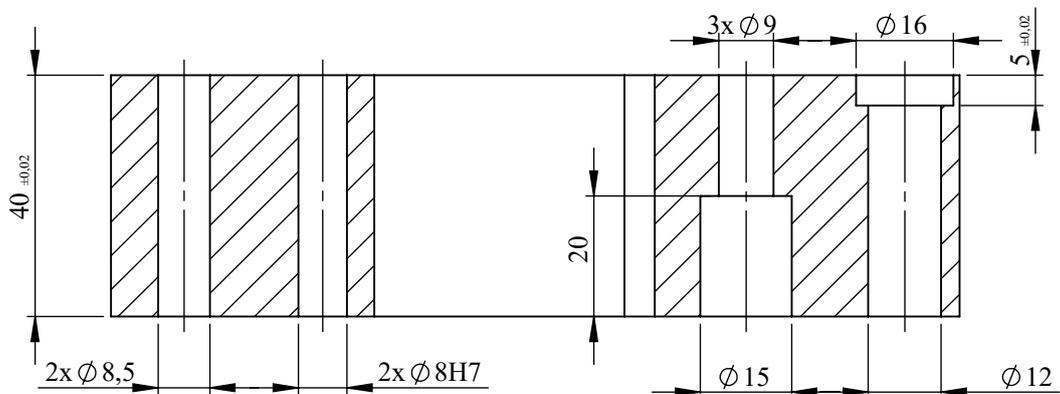
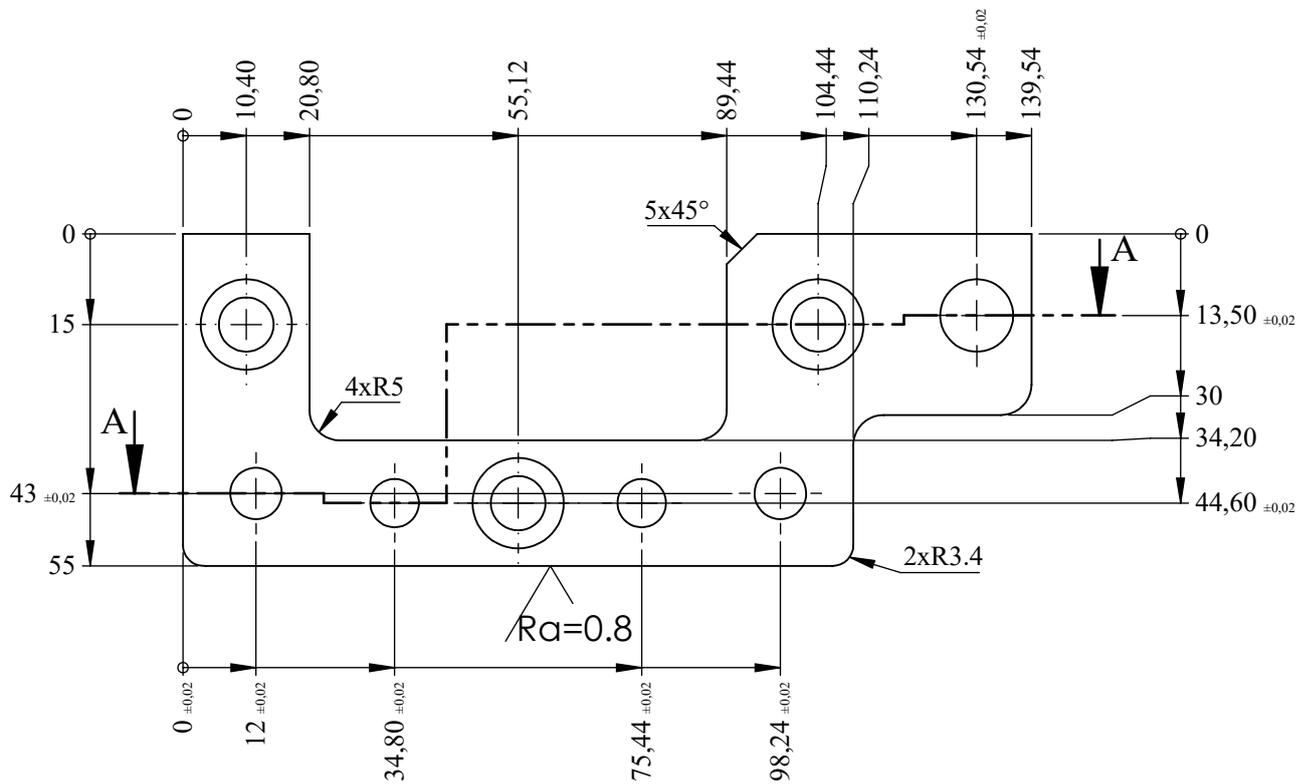
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] TOUFIK SEDRAT-étude et conception d'un procédé d'emboutissage. Thèse magistère en Génie Mécanique option construction mécanique.
- [2] MOURAD JERBI, procédés de mise en forme institut supérieure des études technologique de Nabeul département de génie mécanique.
- [3] 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
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Mr. HADDADOU Younes, étude et conception d'un outil a 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.
- [7] Mourad JERBI procédés de mise en forme, institut supérieur des études technologiques de Nabeul Département de génie mécanique
- [8] 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
- [9] 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.
- [10] HOCINE Chabane et ZIAD Belkacem, étude et conception d'un outil poinçonnage et détournage d'un bandeau bombé en inox d'une cuisinière E.N.I.E.M, mémoire master académique en génie, spécialité : fabrication mécanique et productive
- [11] RABOURDIN Industrie Groupe ;'' composants standard pour moules et outillages'' ; Parc Gustave Eiffel ; 04 avenue Gutenberg ; BP50 ; Bussy-Saint-Georges ; 77607 ; Marne-la-vallée ; Cedex 3 ; France ; e-mail : industrie@rbourdin.fr
- [12] KHIRANI dalel –Réparation des déformations en étirage-piage et leurs effets sur le retour élastique. Thèse Magister option Mécanique appliquée. Université Ferhat ABBAS. Promotion 2010.
- [13] modélisation de la découpe des tôles ferromagnétiques
- [14] SAADI Toufik « étude et conception d'un outil à suivre à bande », mémoire de master en fabrication mécanique, UMMTO 2014.

- [15] MAILLARD.A. Etude expérimentale et théorique du découpage. Thèse de doctorat, université de technologie de Compiègne, 1991
- [16] D. Adem et M. BABACI- étude et conception d'un outil de découpage d'une rondelle plate pour un déflecteur U.T.R n°950.00.004-promotion.2003 /2004.
- [17] 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
- [18] EMERIK Henrion. Développement d'une ligne de découpe automatisée. Génie mécanique [Physics.Class- ph]. 2014.
- [19] 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
- [20] <https://www.stein1.com>



ECHELLE: 1:1	C15 NOIRCIE	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>vis épaulée M12</h1>		-SOFIANE AIT IBROUT
A4			PROMO:18/19
		Génie mécanique	



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1.25

ECHELLE: 1:1.25

Z200 C12

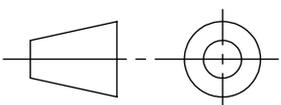
UMMTO

-ALI BAZIZ

-SOFIANE AIT IBROUT

PROMO:18/19

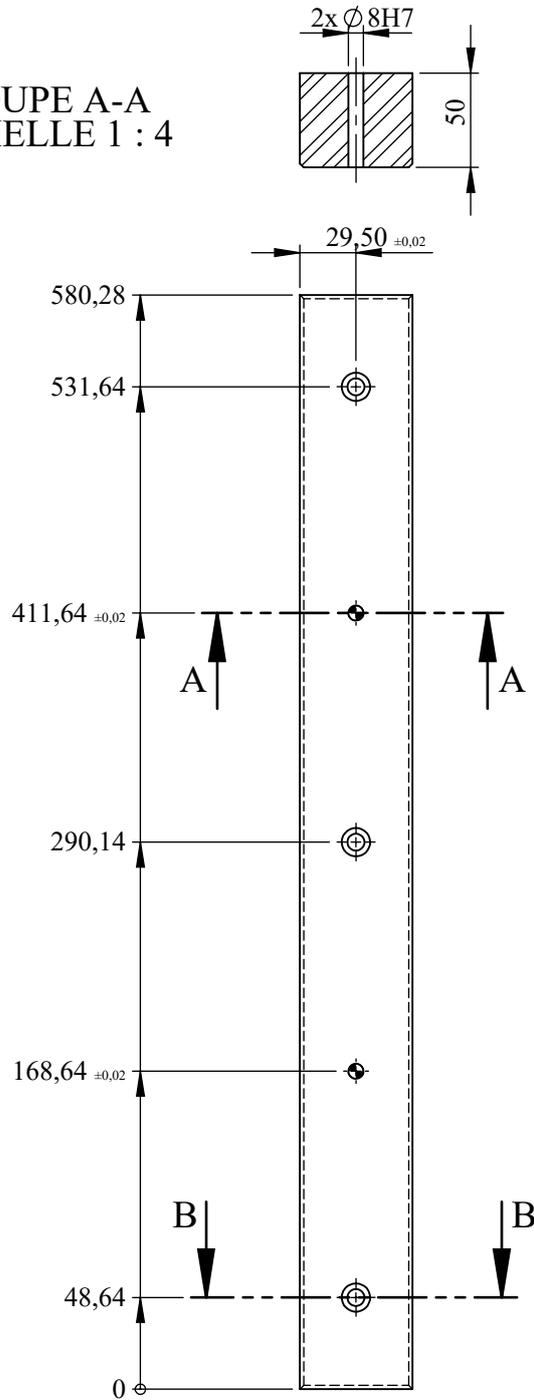
Génie mécanique



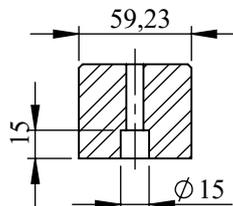
Symetrie lame

A4

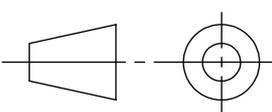
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 4

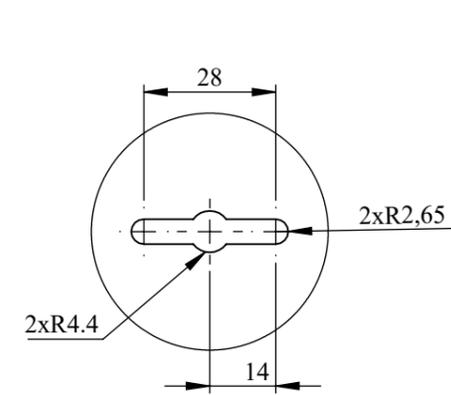
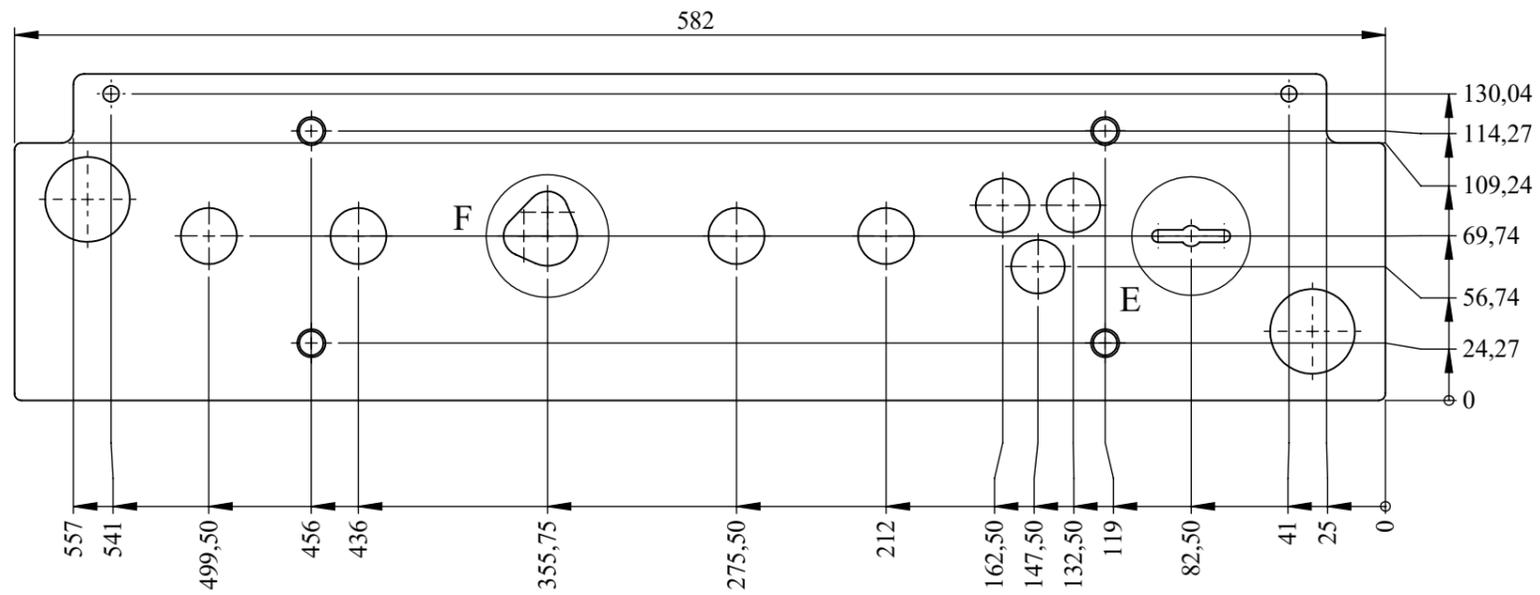


COUPE B-B
ECHELLE 1 : 4

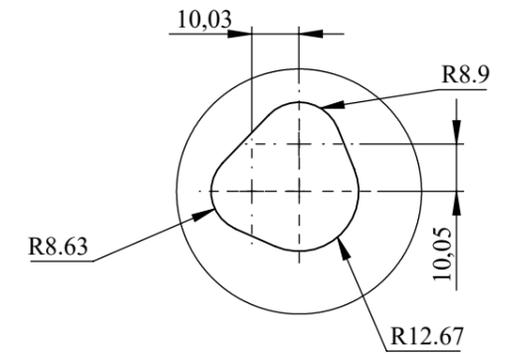


NB: tous les chanfreins ont une côte de 2x45°

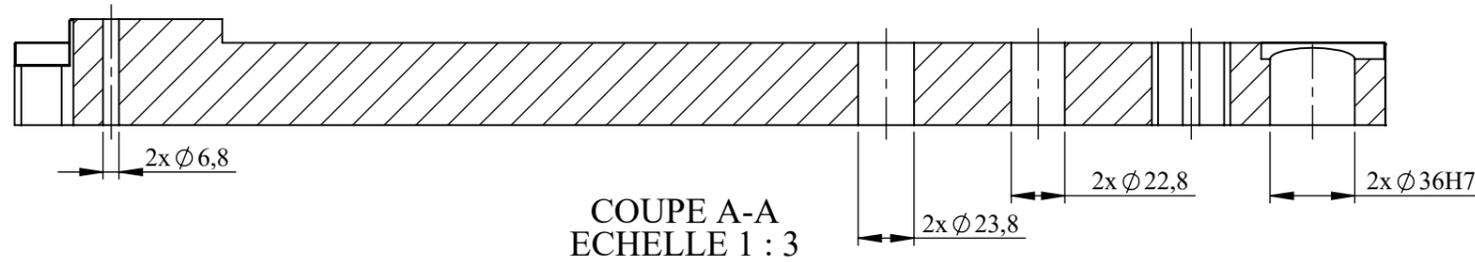
ECHELLE: 1:4	XC 48	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Support 4</h1>		-SOFIANE AIT IBROUT
A4			PROMO:18/19
			Génie mécanique



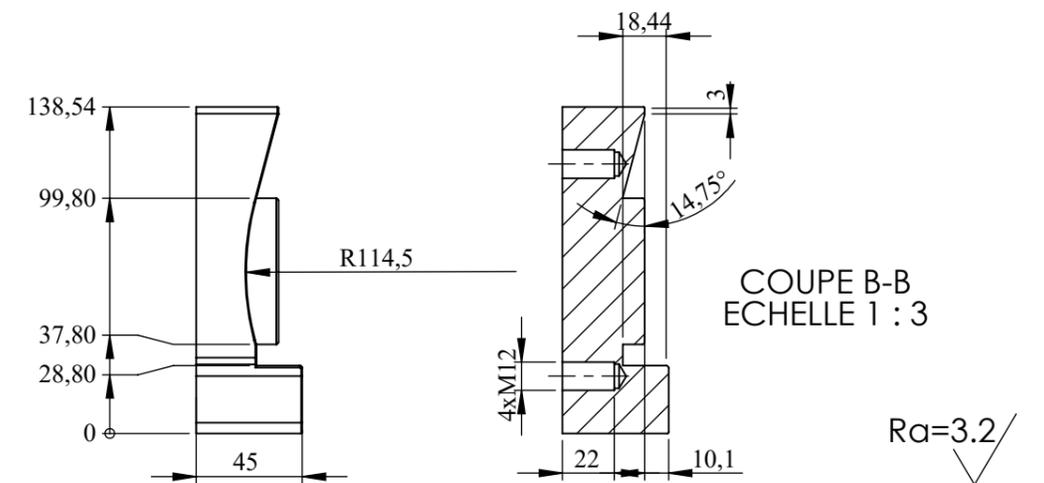
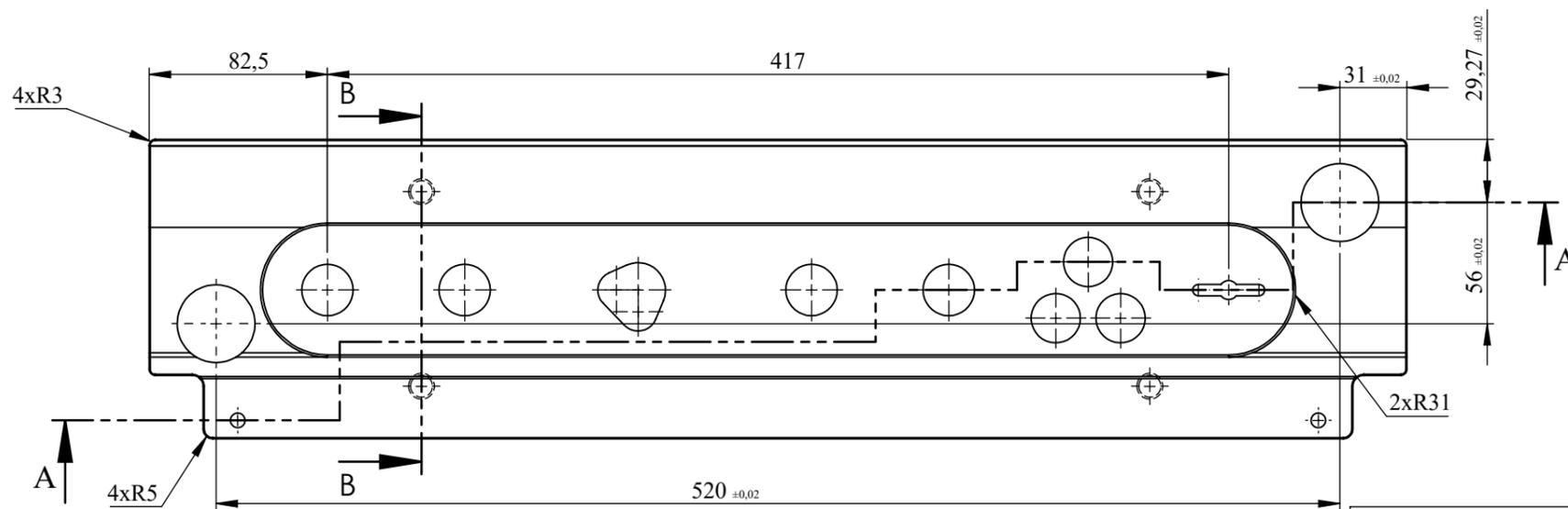
DÉTAIL E
ECHELLE 2 : 3



DÉTAIL F
ECHELLE 2 : 3

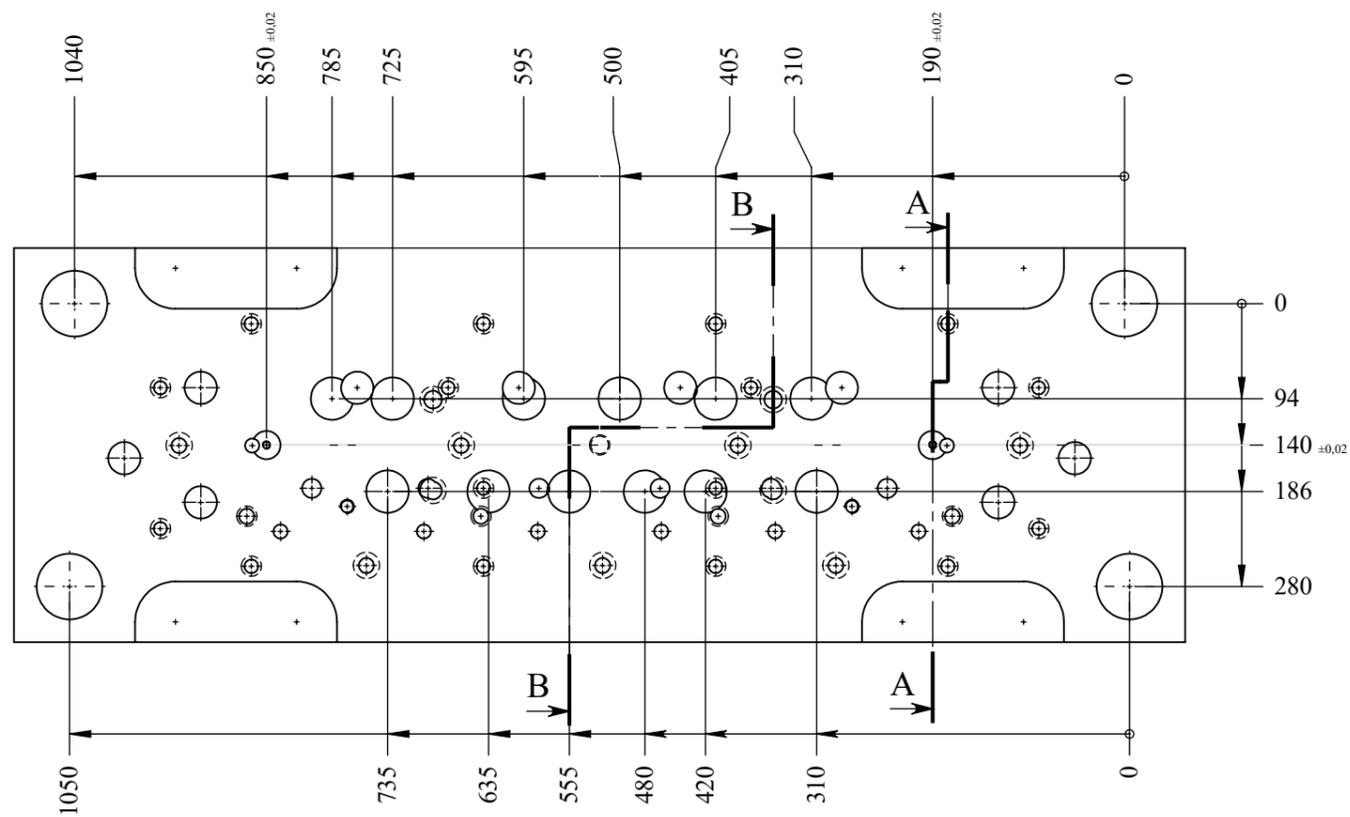


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 3

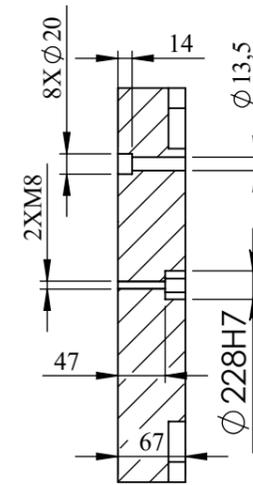


COUPE B-B
ECHELLE 1 : 3

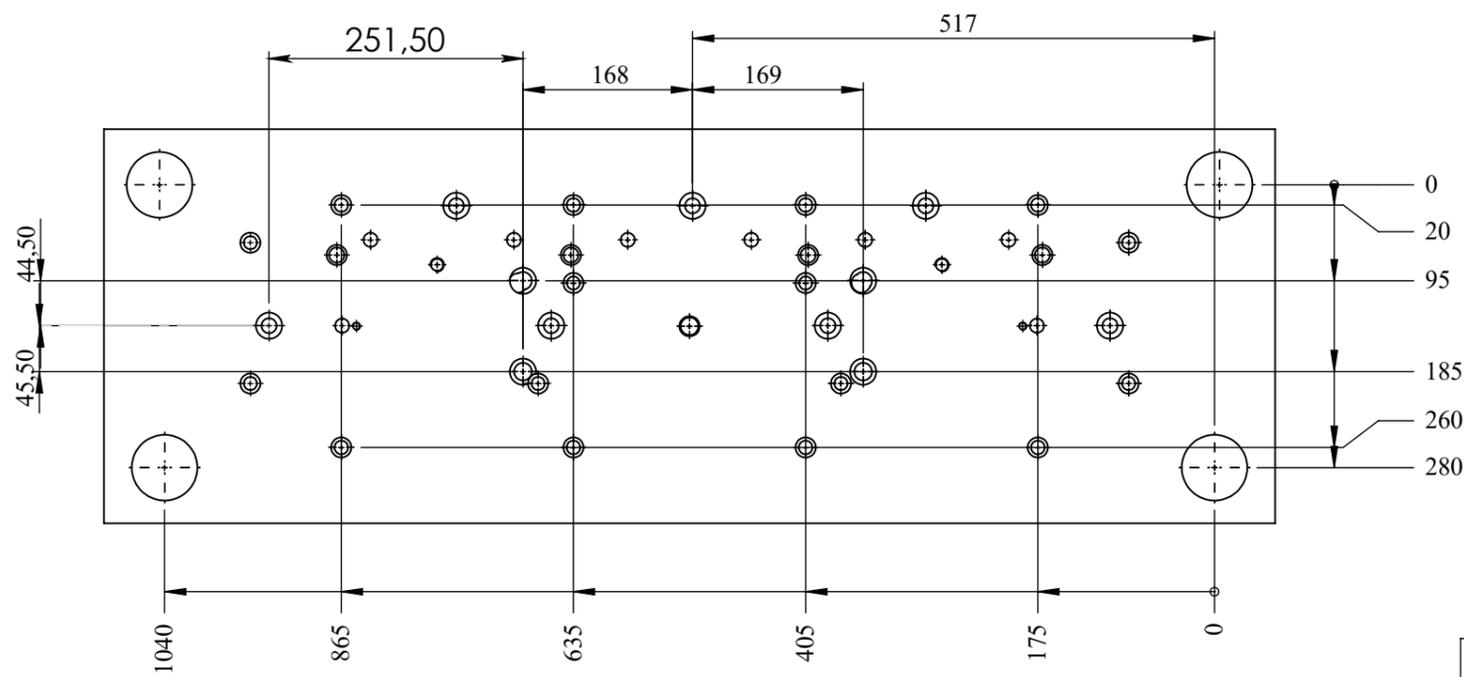
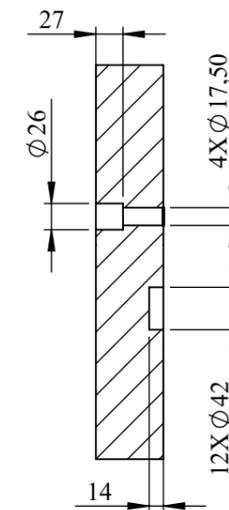
Echelle: 1:3	XC 48	UMMTO	-ALI BAZIZ
	Serre flan		-SOFIANE AIT IBROUT
A3			Promo:18/19
			Génie mécanique

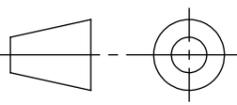


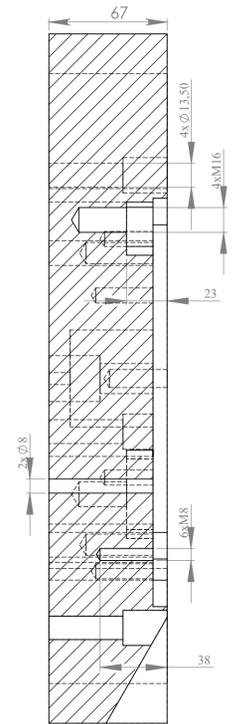
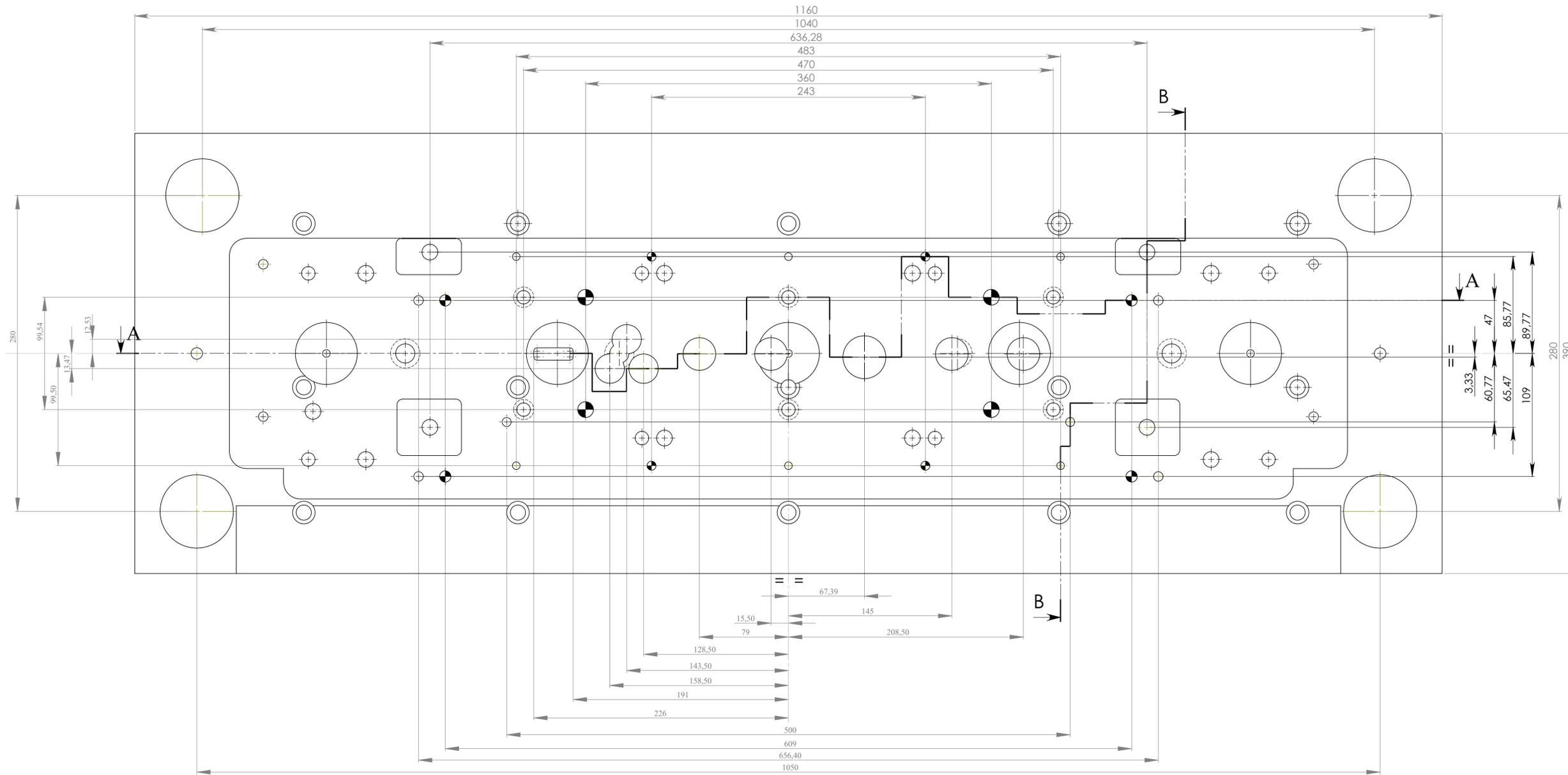
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 7



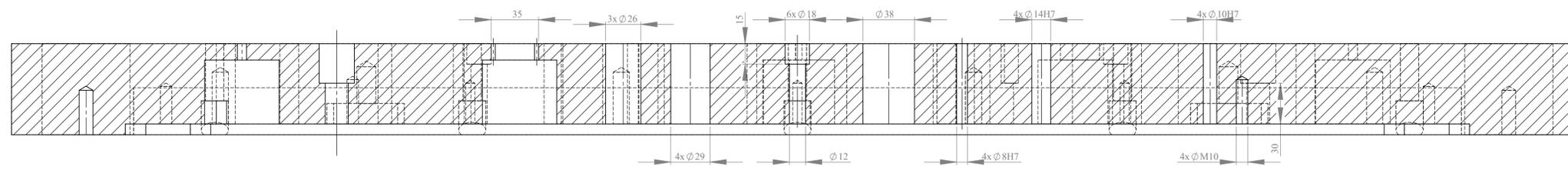
COUPE B-B
ECHELLE 1 : 7



ECHELLE: 1:7	C45	UMMTO	-ALI BAZIZ -SOFIANE AIT IBROUT
	<h1>Sumelle superieur</h1>		PROMO:18/19
A3			Génie mécanique

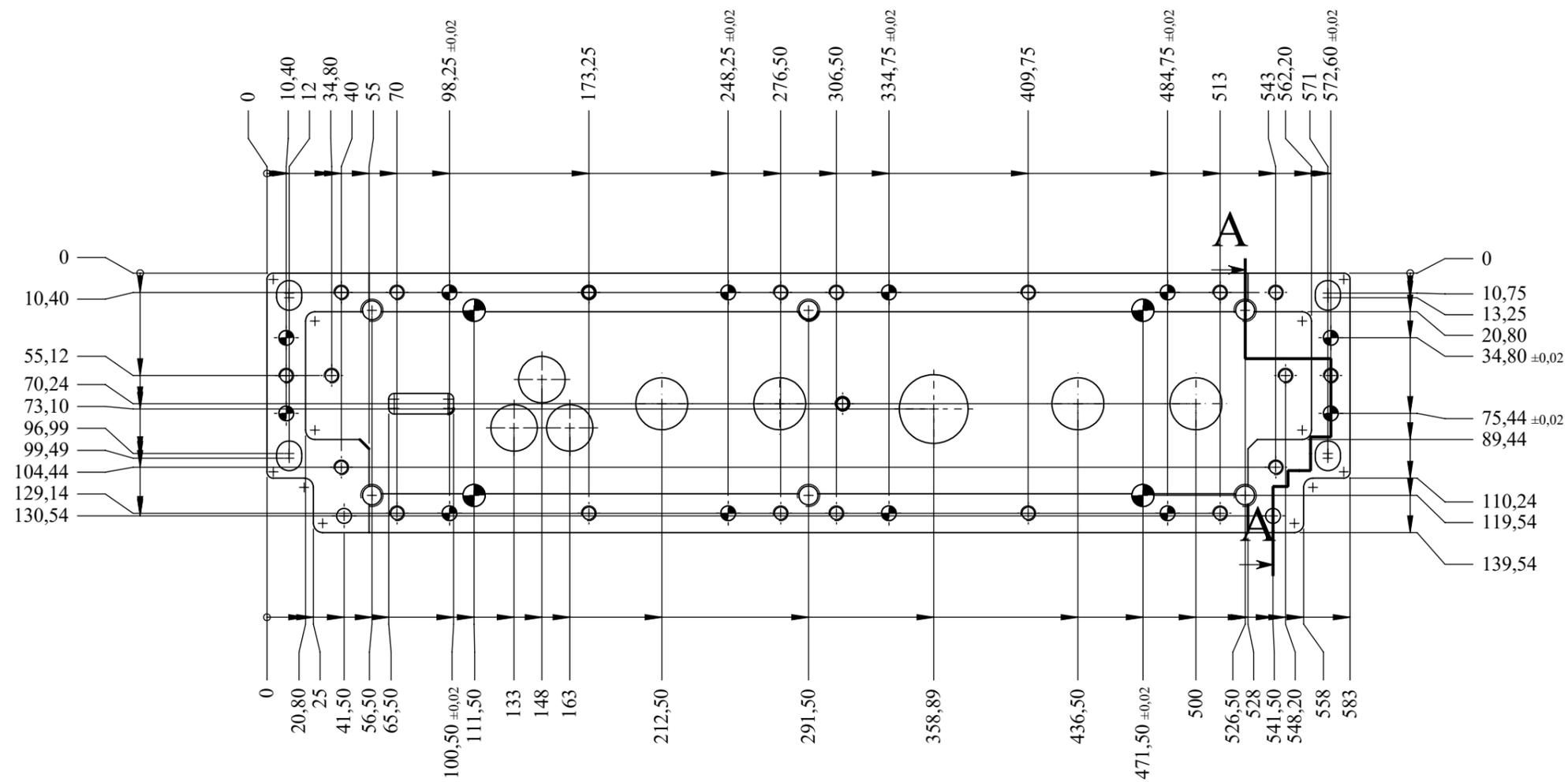


COUPE B-B
ECHELLE 1 : 2



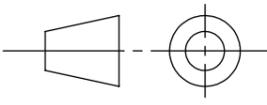
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 2

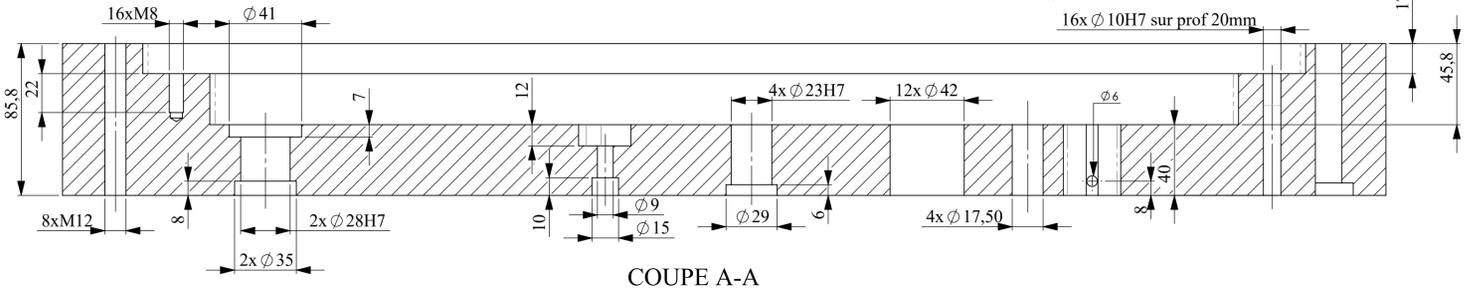
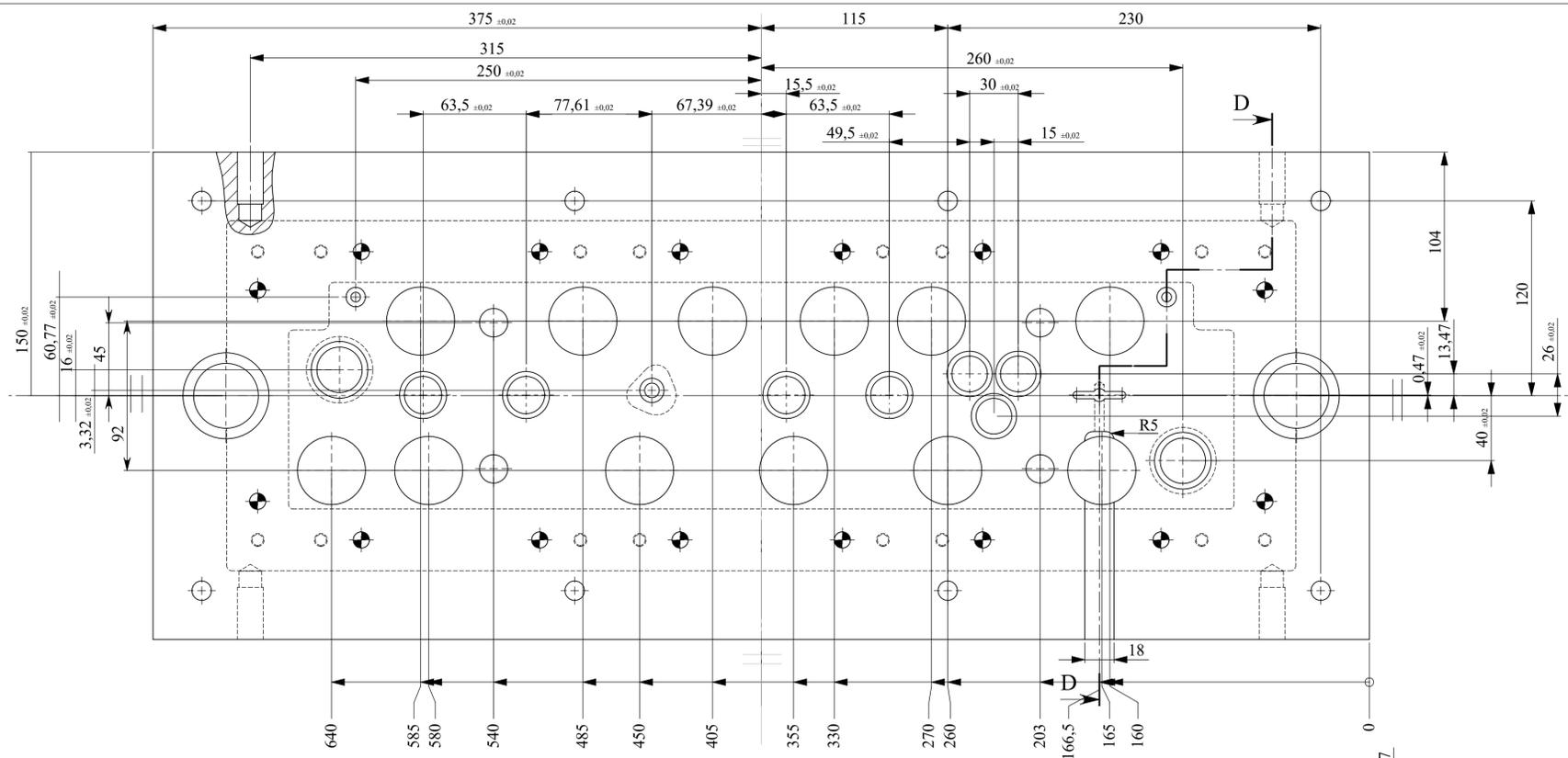
ECHELLE: 1:2	C15 NOIRCIE	UMMTO	-ALI BAZIZ -SOFIANE AIT IBROUT
	Semelle 1		PROMO:18/19
A2			Génie mécanique



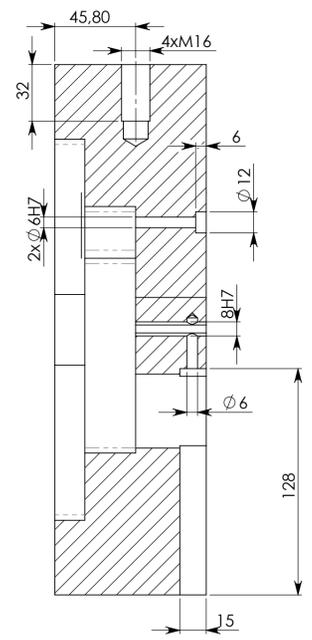
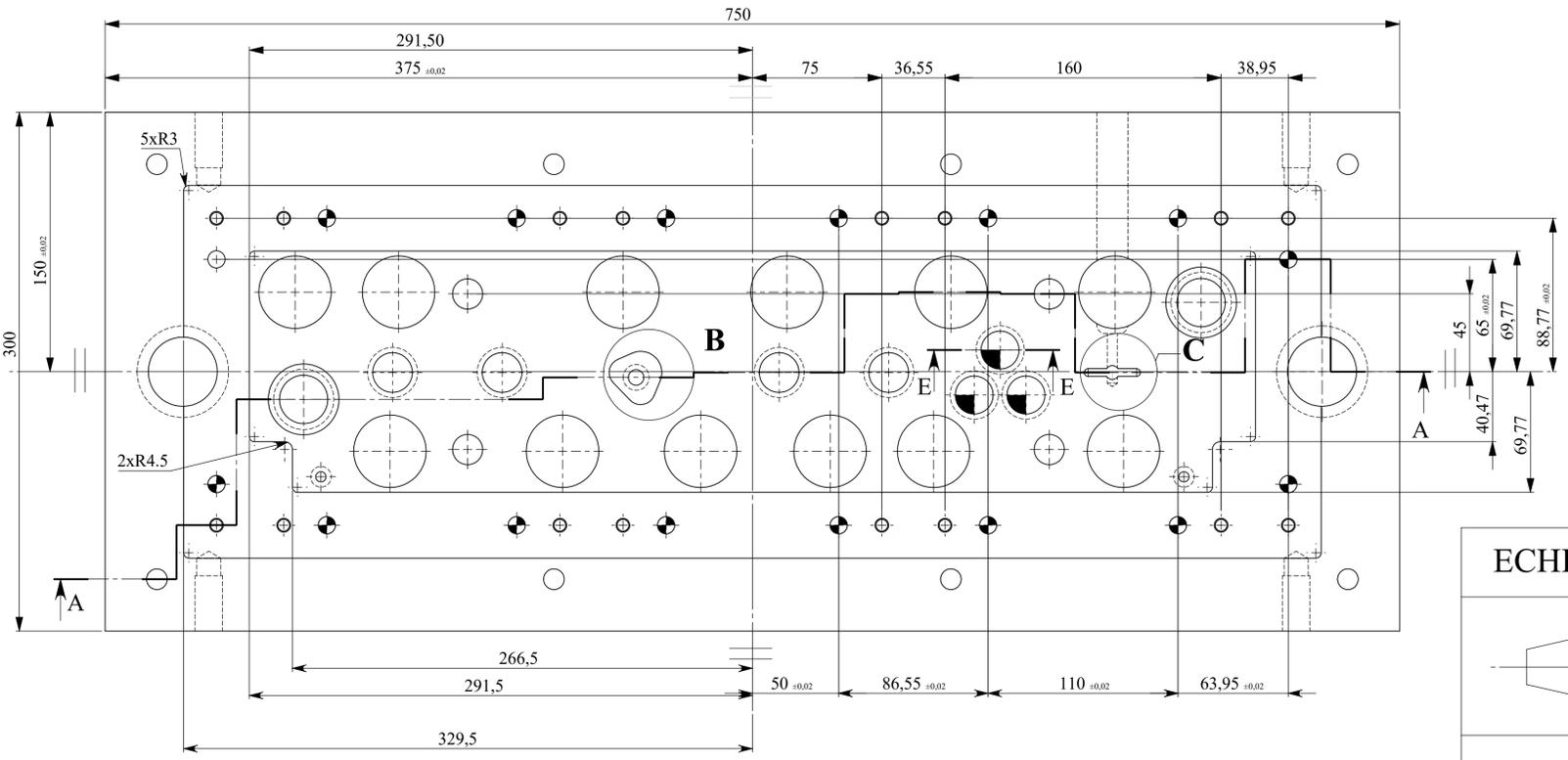
**COUPE A-A
ECHELLE 1 : 3**

Ra=3.2

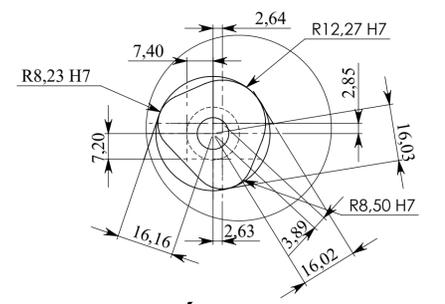
ECHELLE: 1:3	ST 37	UMMTO	-ALI BAZIZ -SOFIANE AIT IBROUT
	<h1>Porte lame</h1>		PROMO:18/19
A3			Génie mécanique



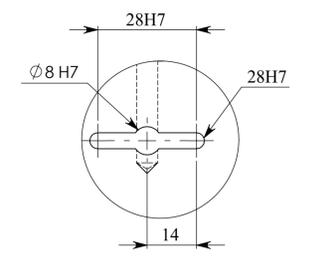
COUPE A-A



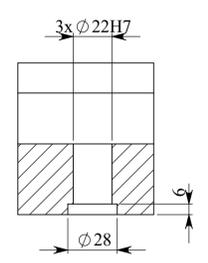
COUPE D-D



DÉTAIL B
ECHELLE 1 : 1

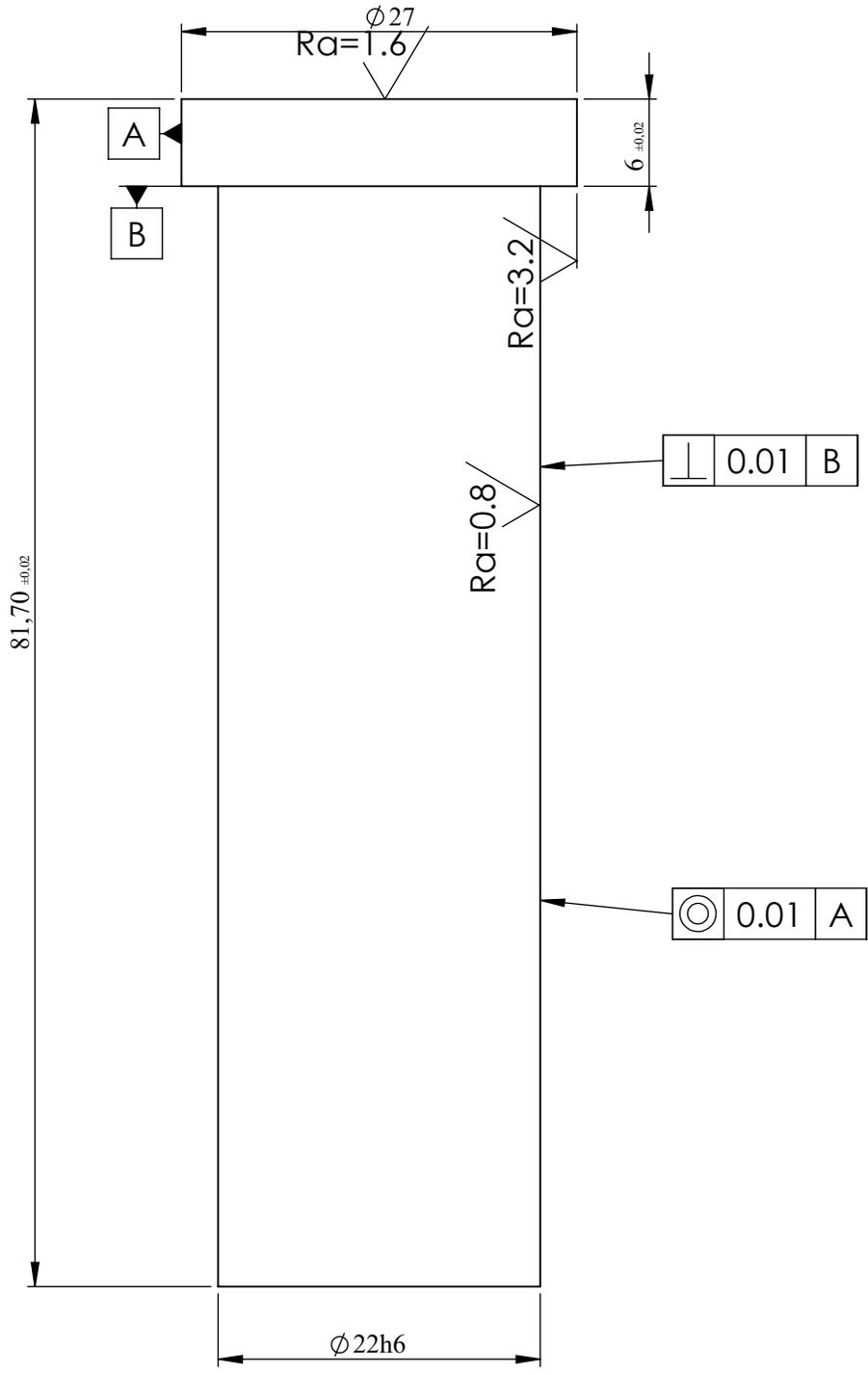


DÉTAIL C
ECHELLE 1 : 1

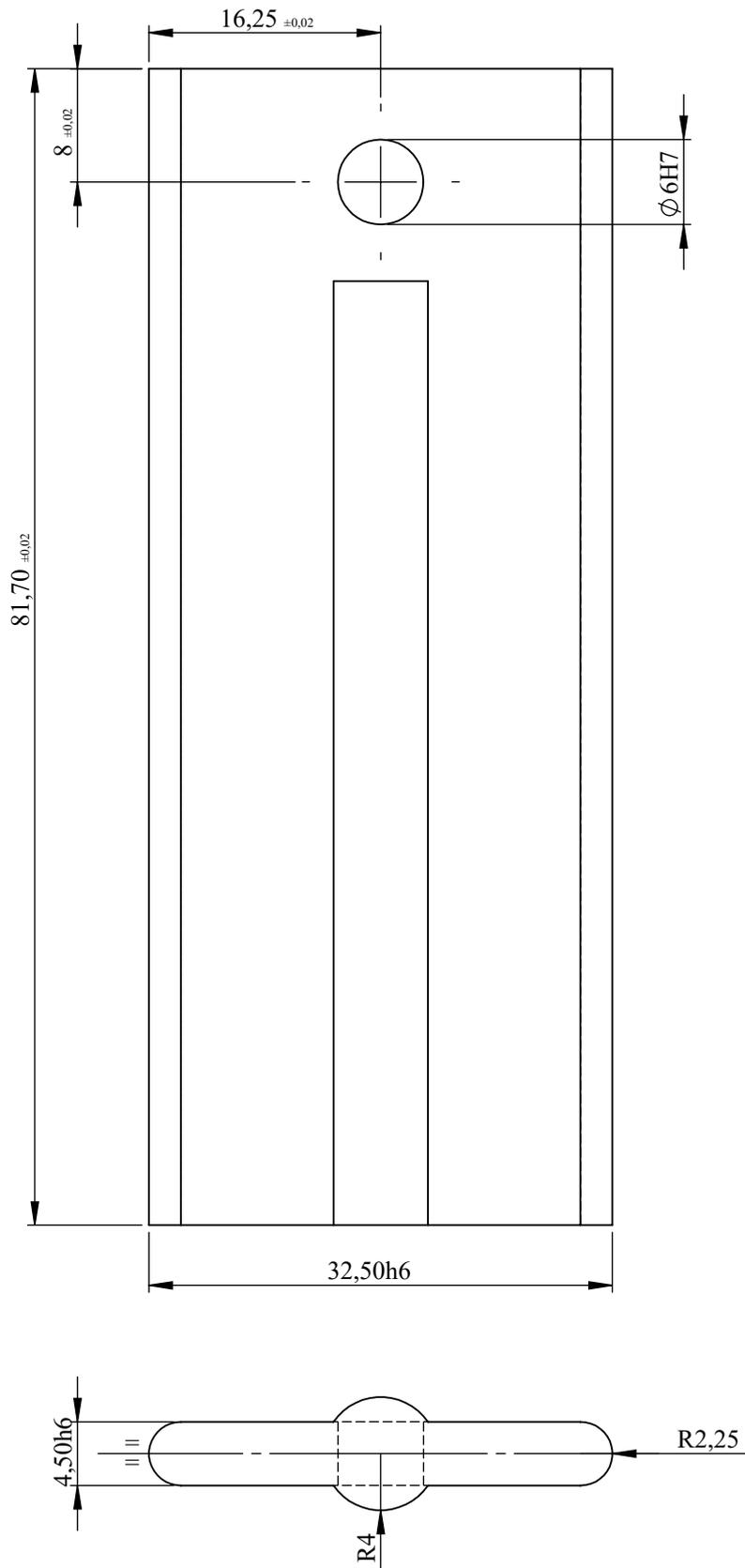


COUPE E-E

ECHELLE: 1:2	ST 37	UMMTO	-ALI BAZIZ
	Porte couteaux		-SOFIANE AIT IBROUT
A3			PROMO:18/19
			Génie mécanique



ECHELLE: 2:1	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Poinçon 5</h1>		-SOFIANE AIT IBROUT
			PROMO:18/19
A4			Génie mécanique



Ra=1.6/

ECHELLE: 1:2

Z200 C12

UMMTO

-ALI BAZIZ

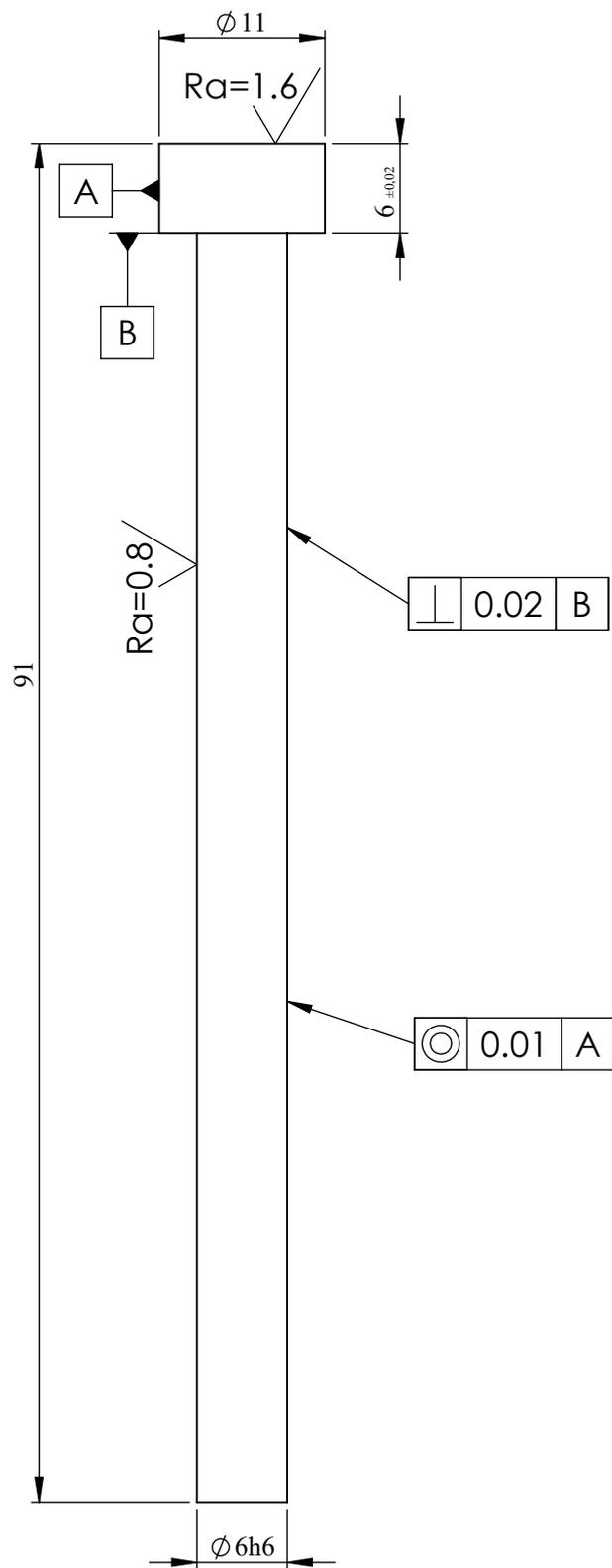
-SOFIANE AIT IBROUT

PROMO:18/19

Génie mécanique

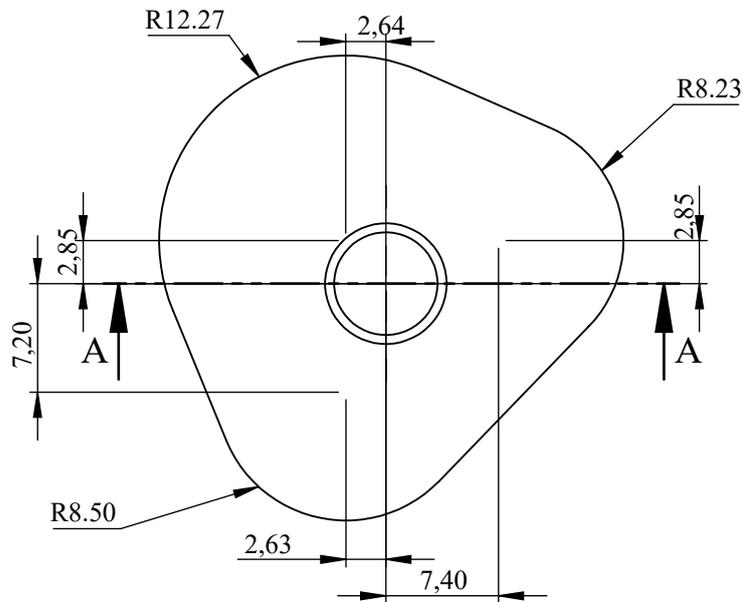
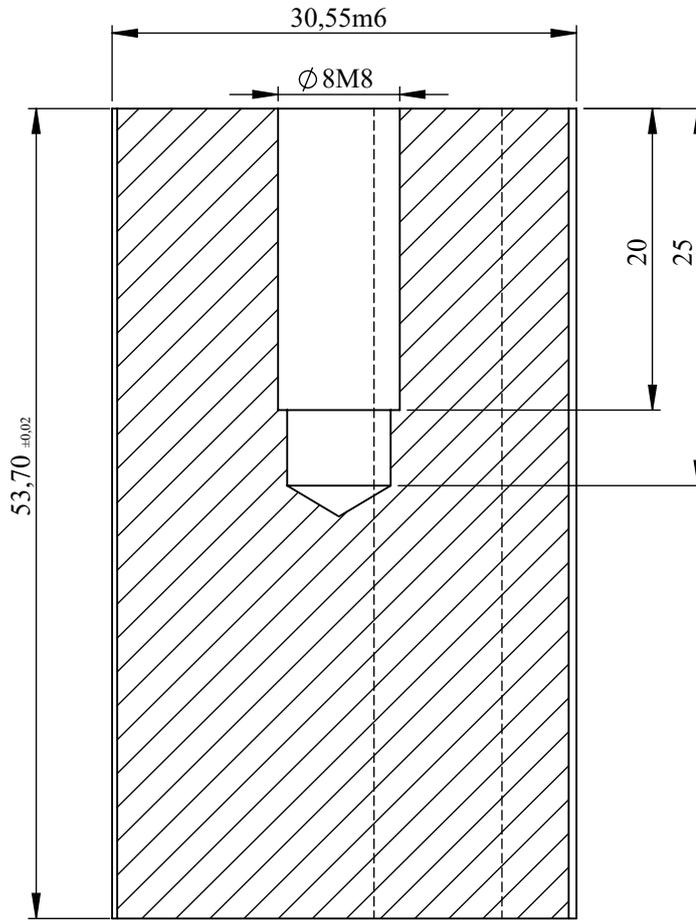
Poinçon 4

A4

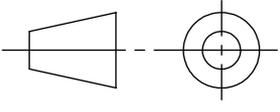


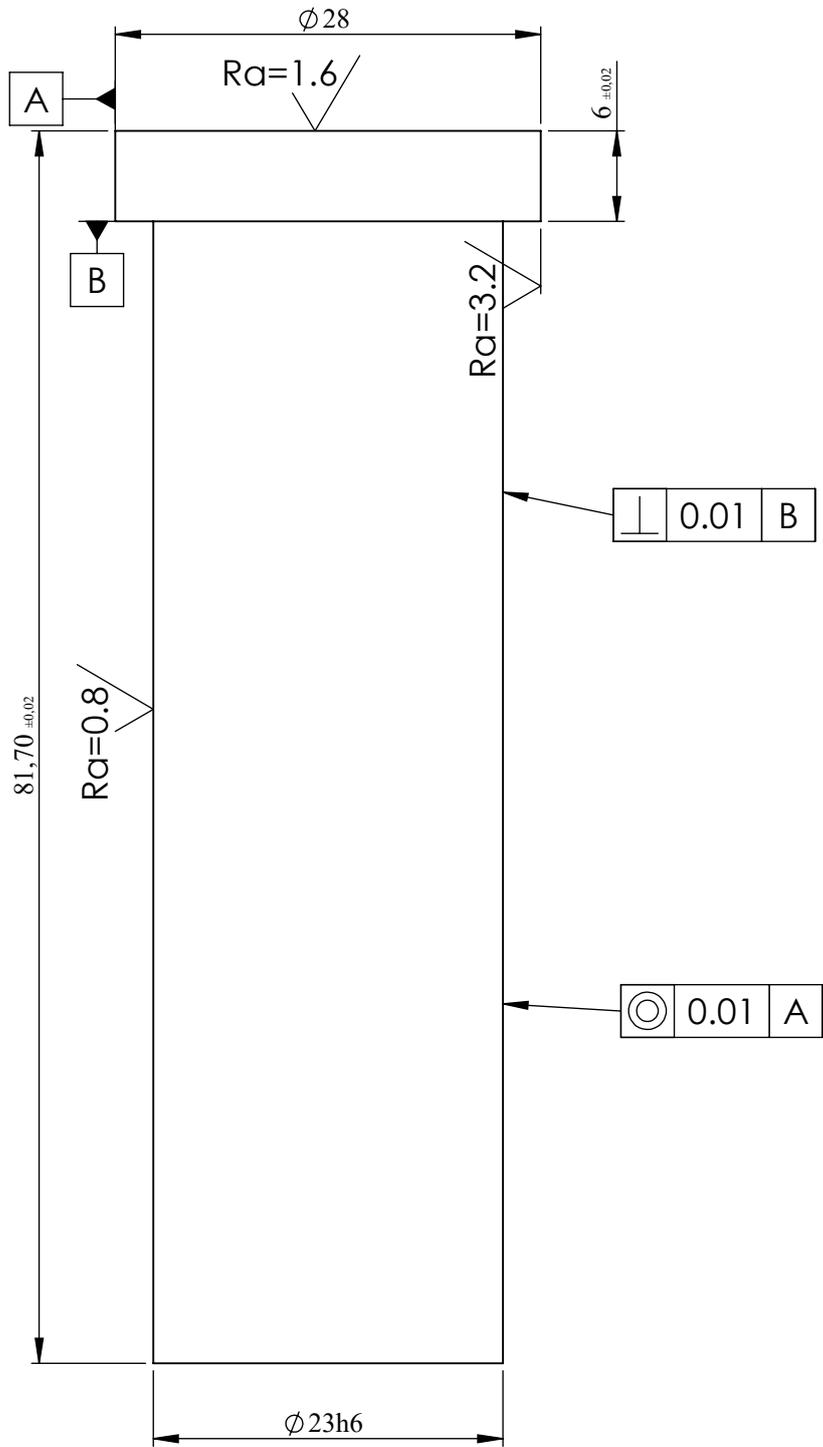
ECHELLE: 1:2	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Poinçon 3</h1>		-SOFIANE AIT IBROUT
			PROMO:18/19
A4			Génie mécanique

COUPE A-A
ECHELLE 2 : 1



Ra=1.6

ECHELLE: 2:1	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Poinçon 2</h1>		-SOFIANE AIT IBROUT
A4			PROMO:18/19



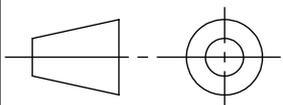
ECHELLE: 2:1

Z200 C12

UMMTO

-ALI BAZIZ

-SOFIANE AIT IBROUT

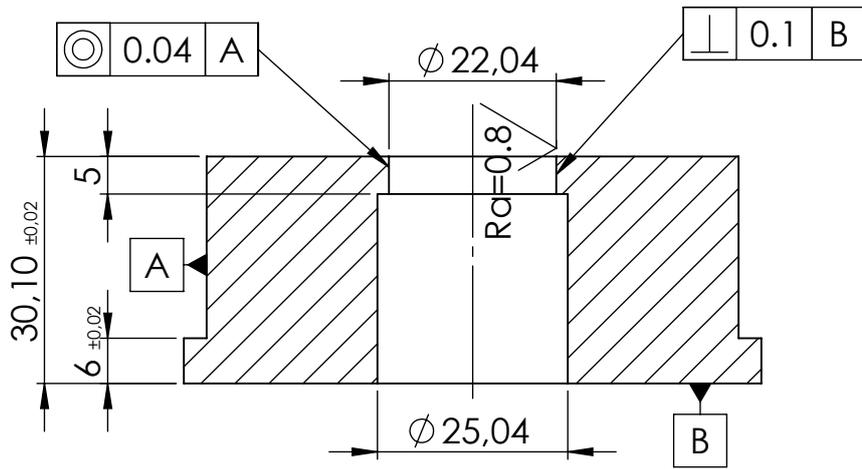


Poinçon 1

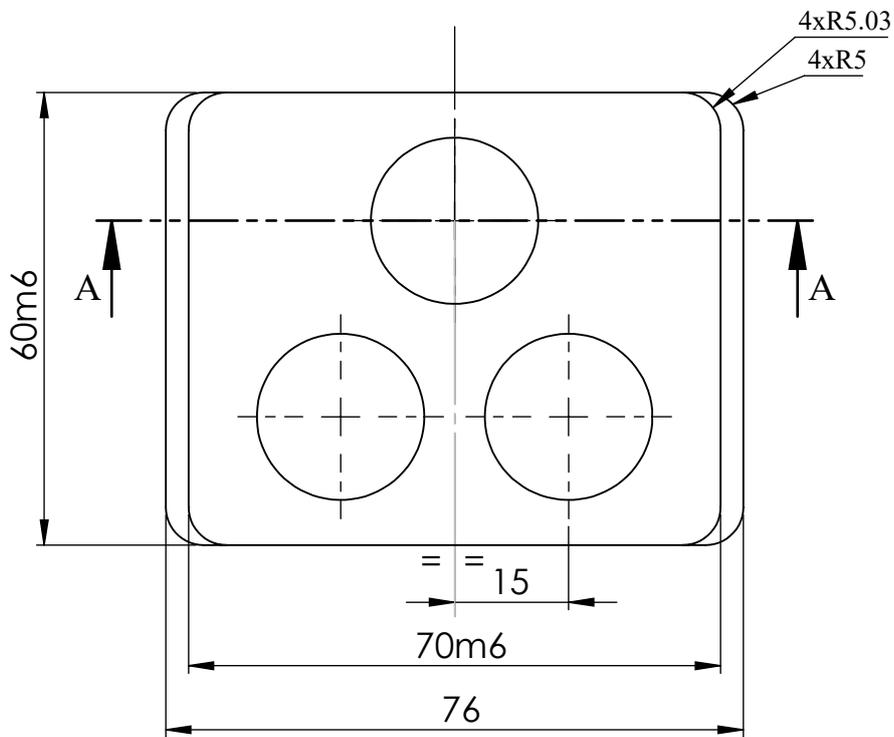
PROMO:18/19

A4

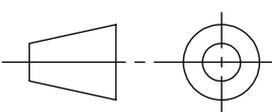
Génie mécanique

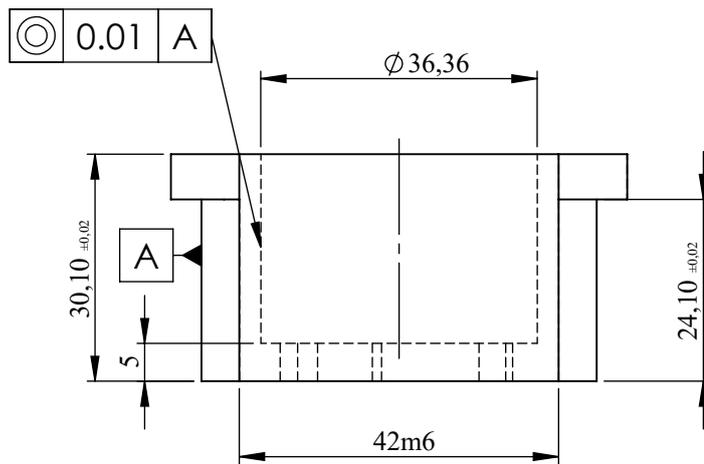
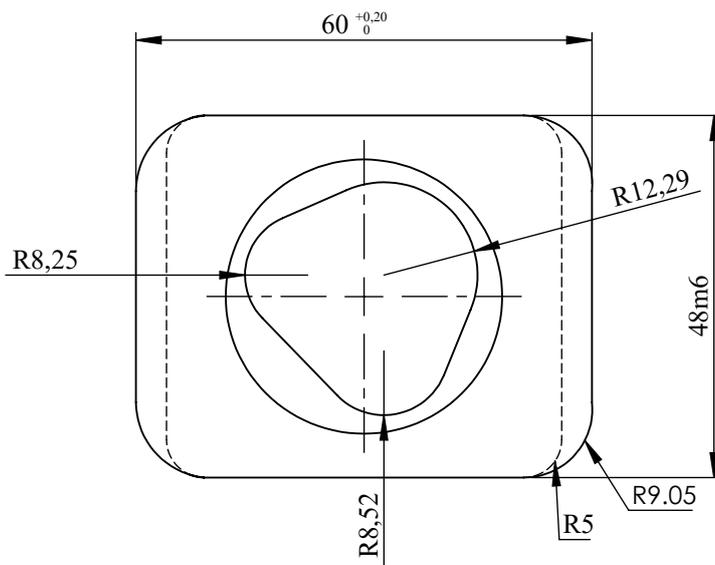


COUPE A-A



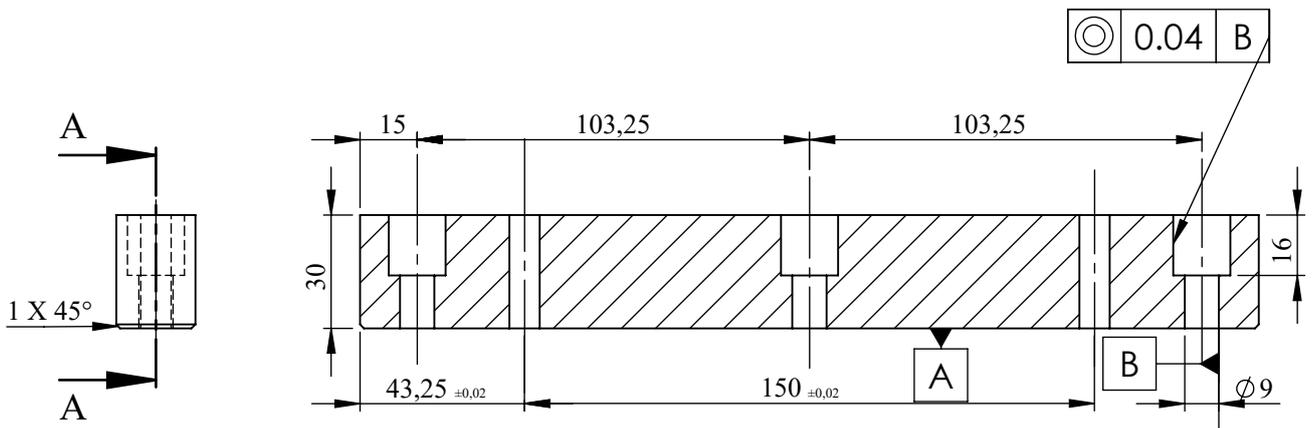
Ra=1.6/ sauf indication particulière

ECHELLE: 1:1	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ -SOFIANE AIT IBROUT
	<h1>Matrice rapportée 2</h1>		PROMO:18/19
A4			Génie mécanique

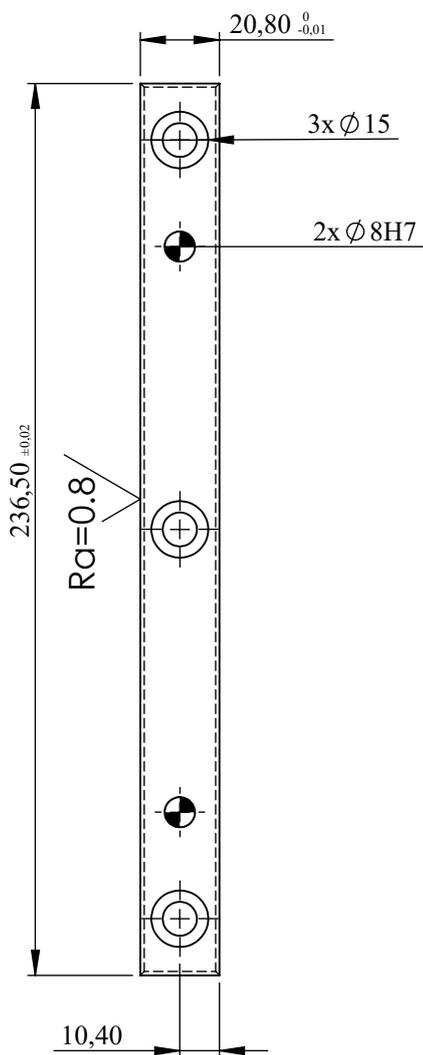


Ra=1.6/

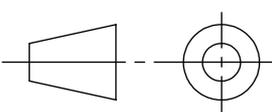
ECHELLE: 1:1	X155 Cr V Mo 12.1	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Matrice rapportée 1</h1>		-SOFIANE AIT IBROUT
			PROMO:18/19
A4			Génie mécanique

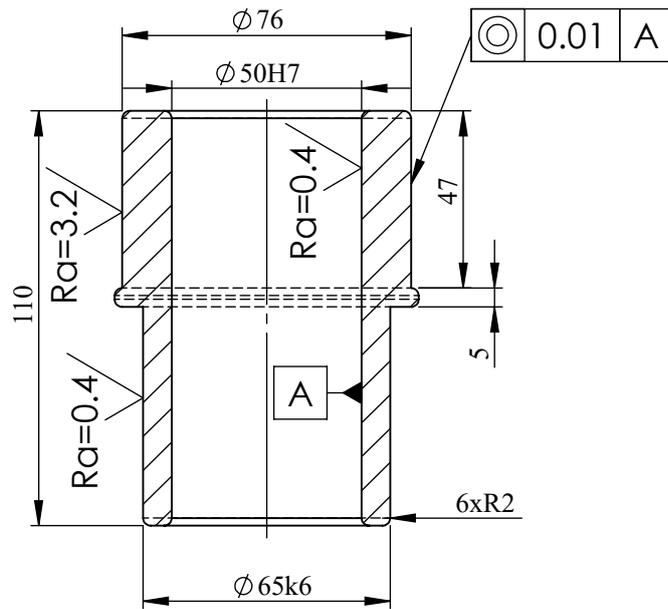
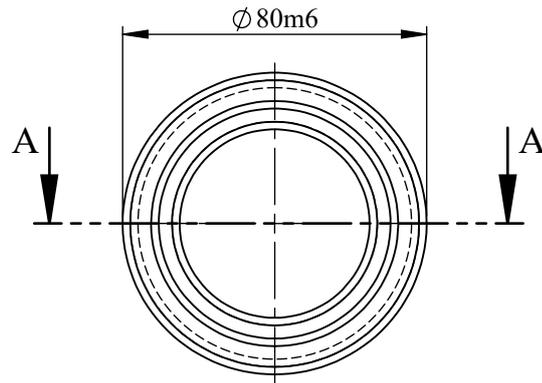


COUPE A-A

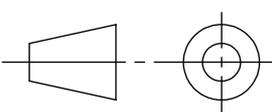


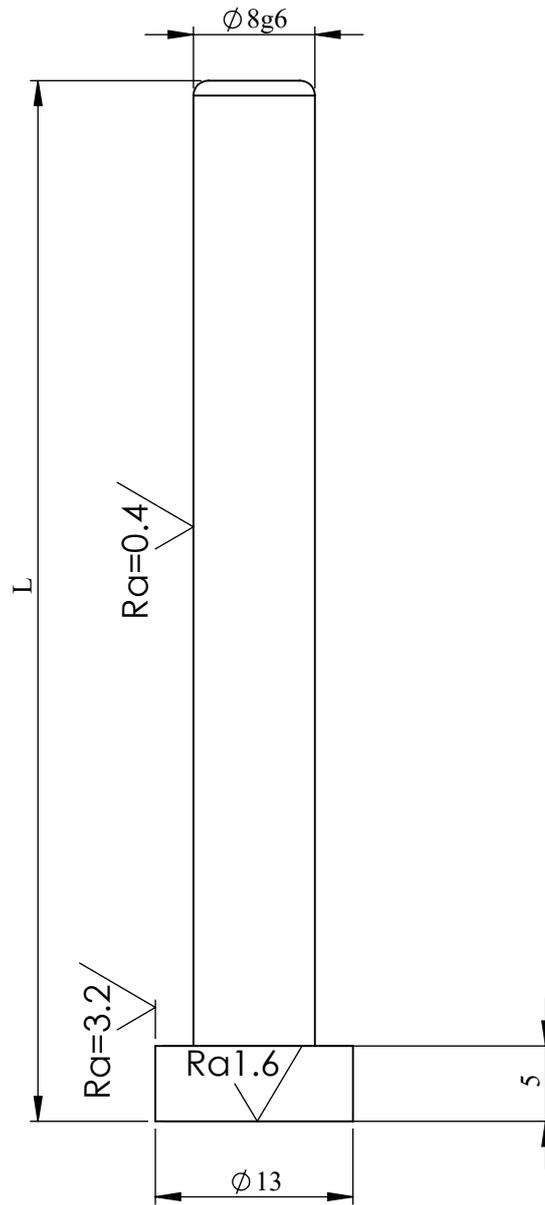
Ra=1.6/ sauf indication particulière

ECHELLE: 1:2	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ -SOFIANE AIT IBROUT
	<h1>Lame 1</h1>		PROMO:18/19
A4			Génie mécanique



COUPE A-A

<p>ECHELLE: 1:2</p>	<p>Branze</p>	<p>UMMTO</p>	<p>-ALI BAZIZ -SOFIANE AIT IBROUT</p>
	<h1>Embase</h1>		<p>PROMO:18/19</p>
<p>A4</p>			<p>Génie mécanique</p>



L	64	71
Qté	02	02

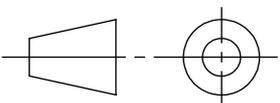
ECHELLE: 2:1

Z200 C12

UMMTO

-ALI BAZIZ

-SOFIANE AIT IBROUT

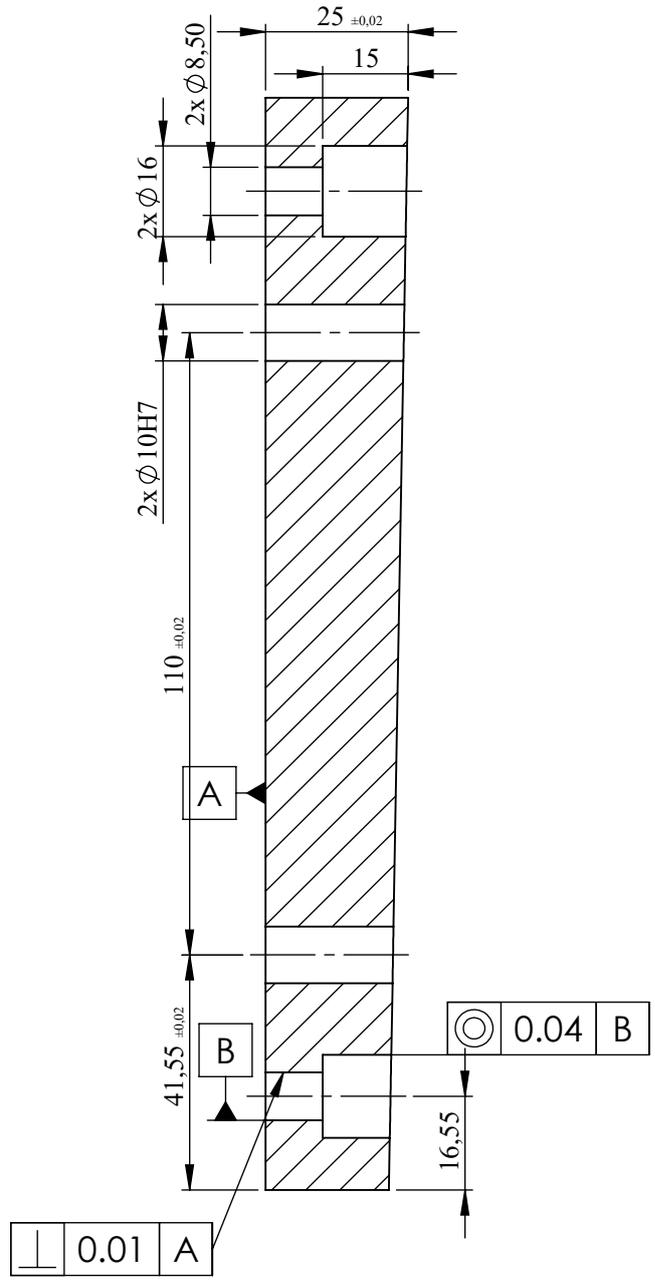
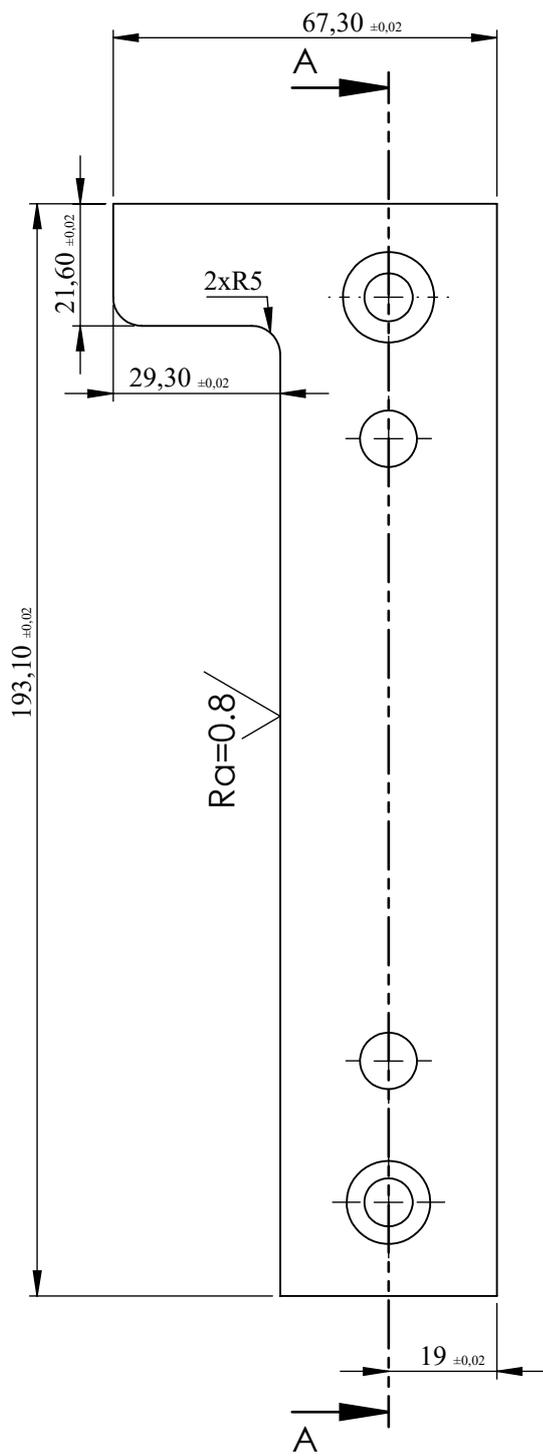


Ejecteur piece

PROMO:18/19

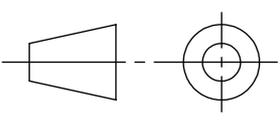
A4

Génie mécanique



COUPE A-A
ECHELLE 1.5 : 2

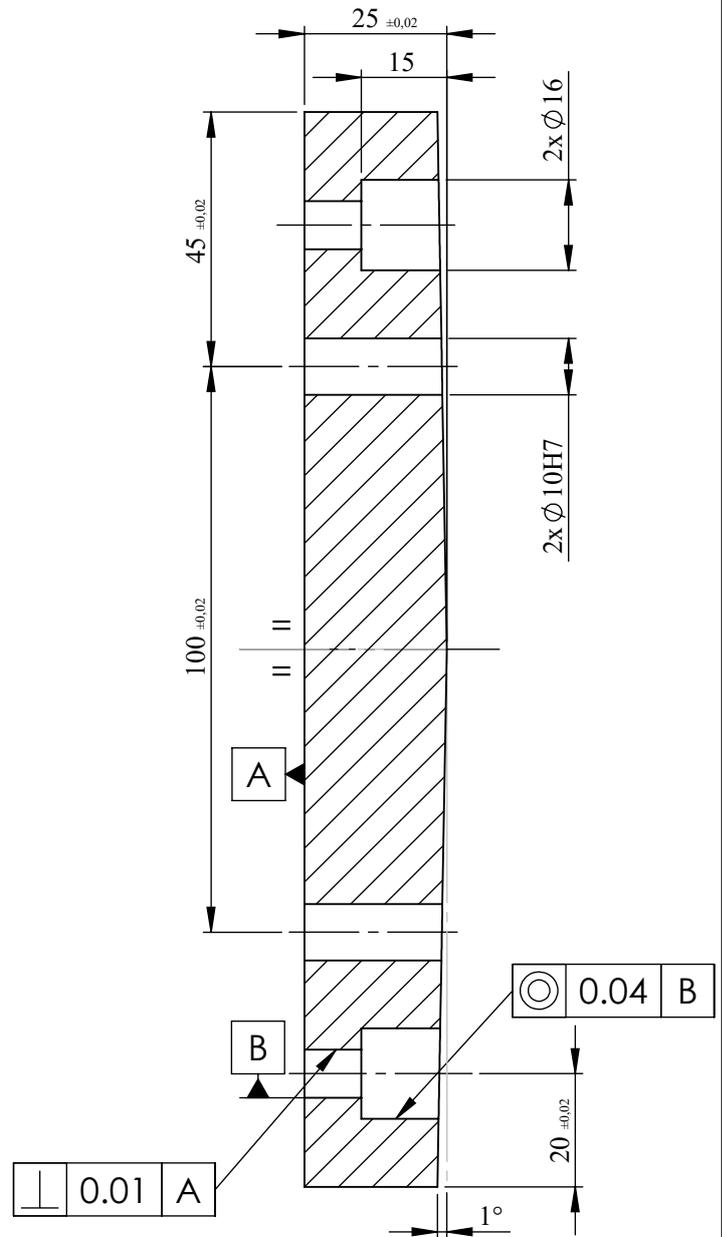
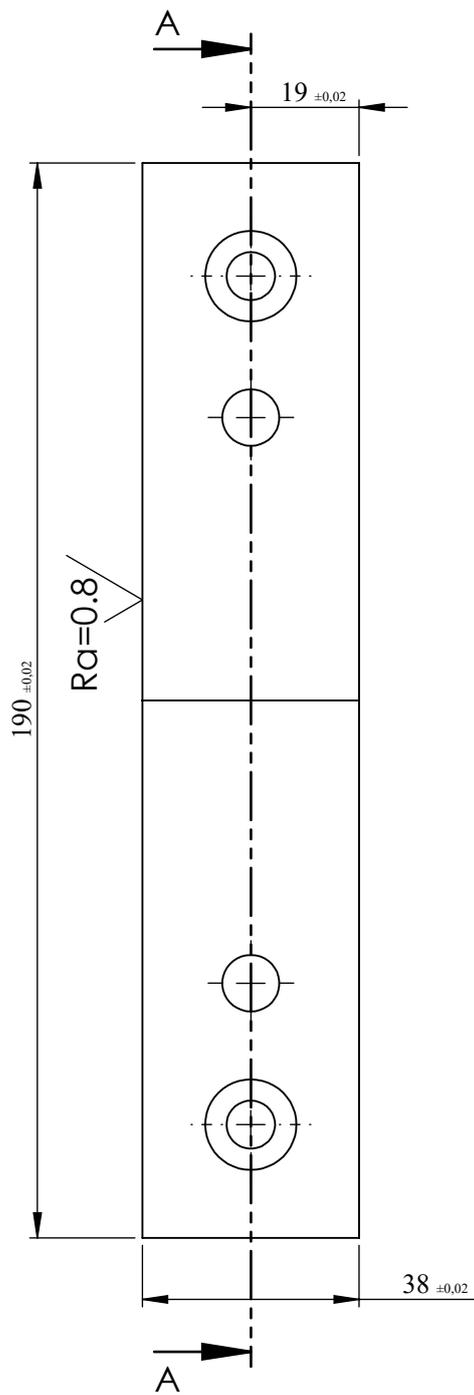
Ra=1.6 / sauf indication particulière

ECHELLE: 1.5:2	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Couteau 7</h1>		-SOFIANE AIT IBROUT
A4			PROMO:18/19
			Génie mécanique

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] TOUFIK SEDRAT-étude et conception d'un procédé d'emboutissage. Thèse magistère en Génie Mécanique option construction mécanique.
- [2] MOURAD JERBI, procédés de mise en forme institut supérieure des études technologique de Nabeul département de génie mécanique.
- [3] 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
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Mr. HADDADOU Younes, étude et conception d'un outil a 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.
- [7] Mourad JERBI procédés de mise en forme, institut supérieur des études technologiques de Nabeul Département de génie mécanique
- [8] 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
- [9] 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.
- [10] HOCINE Chabane et ZIAD Belkacem, étude et conception d'un outil poinçonnage et détournage d'un bandeau bombé en inox d'une cuisinière E.N.I.E.M, mémoire master académique en génie, spécialité : fabrication mécanique et productive
- [11] RABOURDIN Industrie Groupe ;'' composants standard pour moules et outillages'' ; Parc Gustave Eiffel ; 04 avenue Gutenberg ; BP50 ; Bussy-Saint-Georges ; 77607 ; Marne-la-vallée ; Cedex 3 ; France ; e-mail : industrie@rbourdin.fr
- [12] KHIRANI dalel –Réparation des déformations en étirage-piage et leurs effets sur le retour élastique. Thèse Magister option Mécanique appliquée. Université Ferhat ABBAS. Promotion 2010.
- [13] modélisation de la découpe des tôles ferromagnétiques
- [14] SAADI Toufik « étude et conception d'un outil à suivre à bande », mémoire de master en fabrication mécanique, UMMTO 2014.

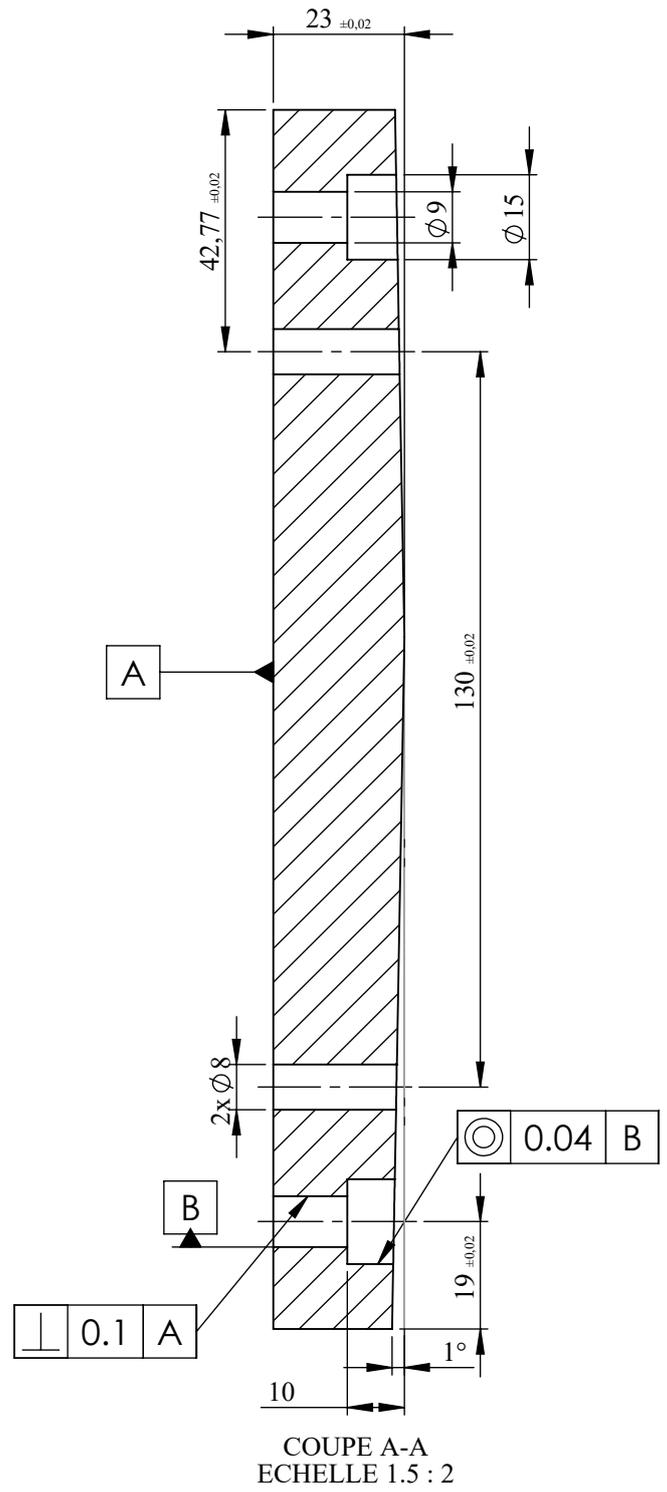
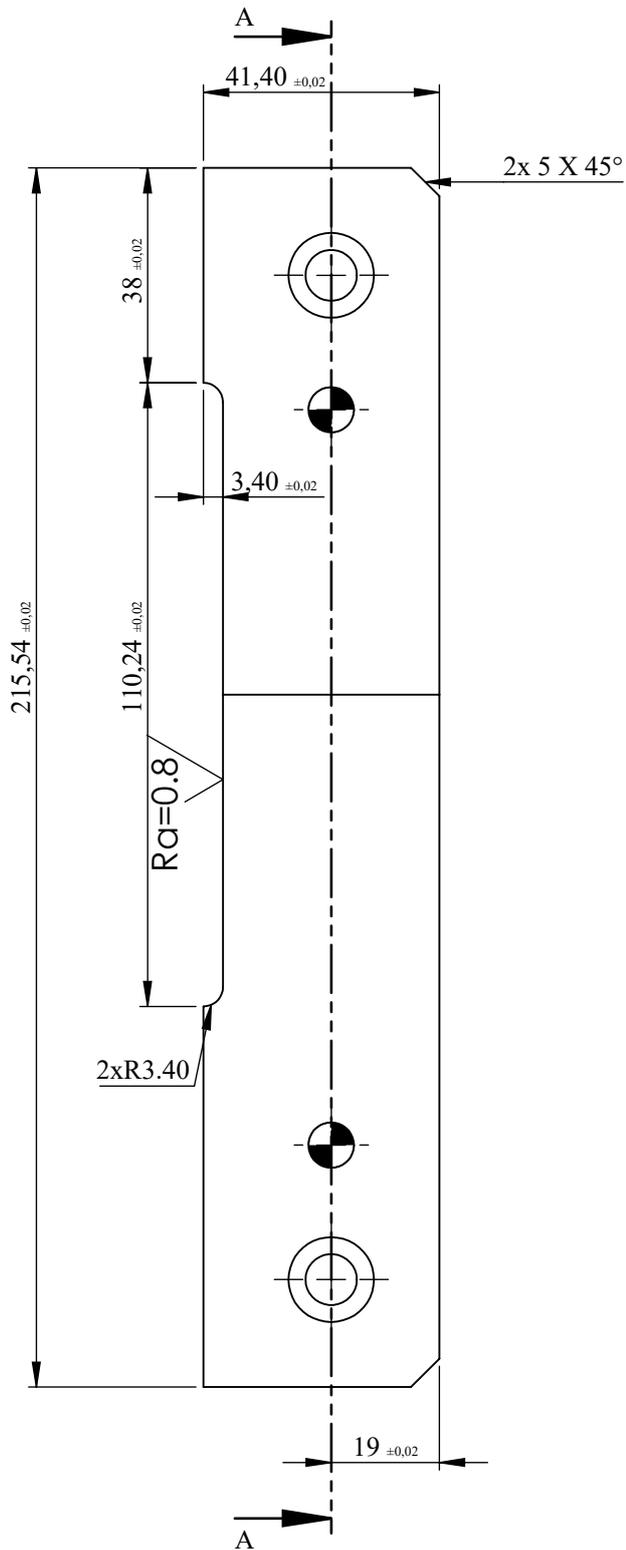
- [15] MAILLARD.A. Etude expérimentale et théorique du découpage. Thèse de doctorat, université de technologie de Compiègne, 1991
- [16] D. Adem et M. BABACI- étude et conception d'un outil de découpage d'une rondelle plate pour un déflecteur U.T.R n°950.00.004-promotion.2003 /2004.
- [17] Mr. Souleymane 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
- [18] EMERIK Henrion. Développement d'une ligne de découpe automatisée. Génie mécanique [Physics.Class- ph]. 2014.
- [19] 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
- [20] <https://www.steinell.com>



COUPE A-A
ECHELLE 1.5 : 2

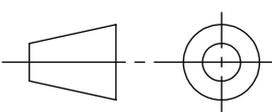
$Ra=1.6$ / sauf indication particulière

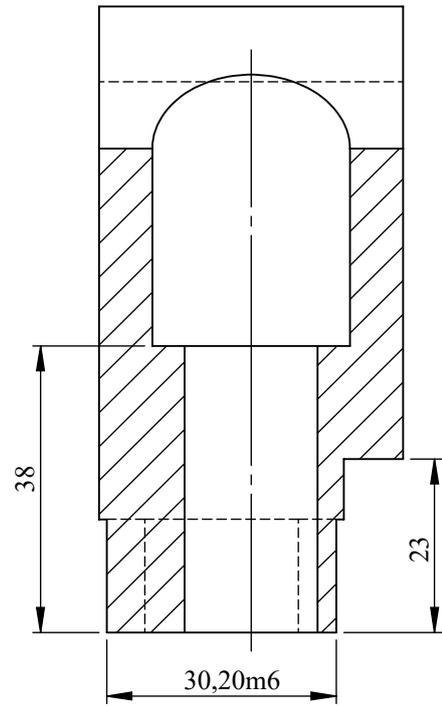
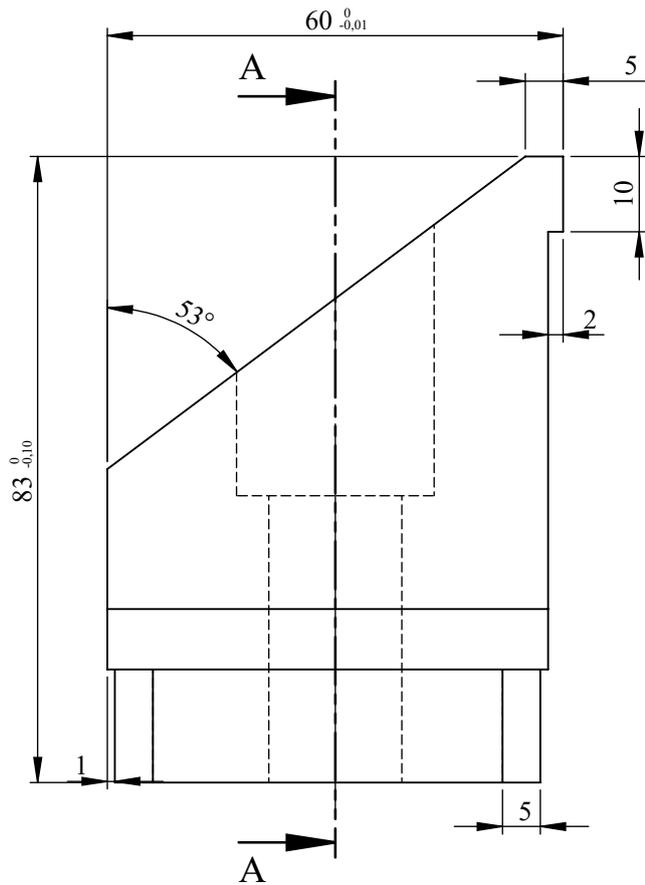
ECHELLE: 1.5:2	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ -SOFIANE AIT IBROUT
	<h1>Couteau 3</h1>		PROMO:18/19
A4			Génie mécanique



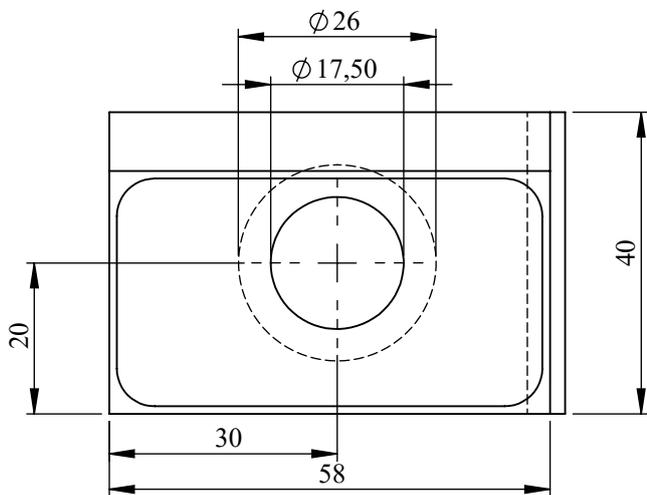
COUPE A-A
ECHELLE 1.5 : 2

Ra=1.6 / sauf indication particulière

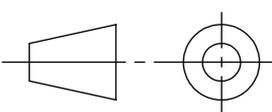
ECHELLE: 1.5:2	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ -SOFIANE AIT IBROUT
	<h1>Couteau 1</h1>		PROMO:18/19
A4			Génie mécanique

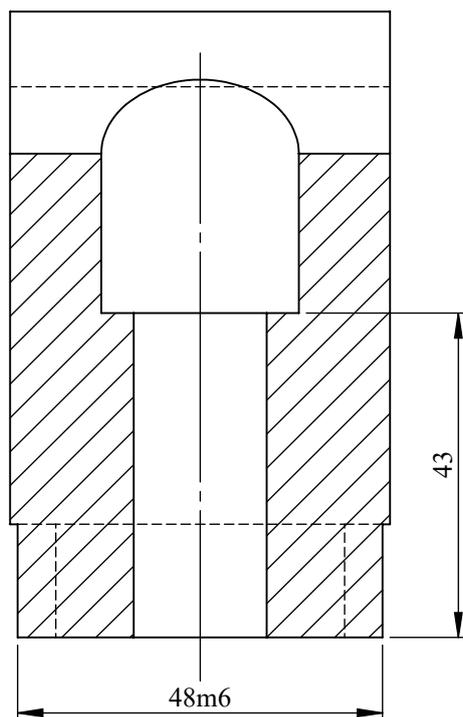
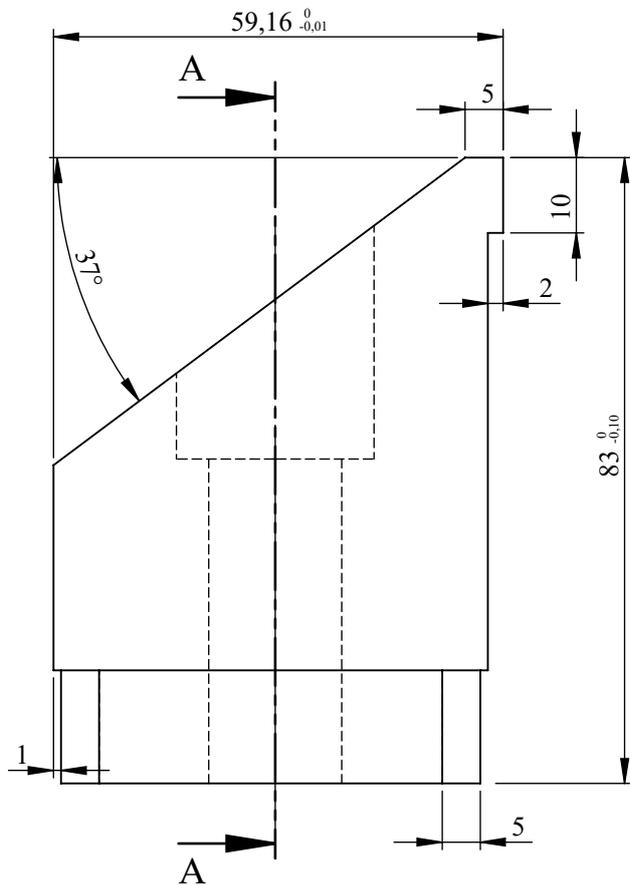


COUPE A-A

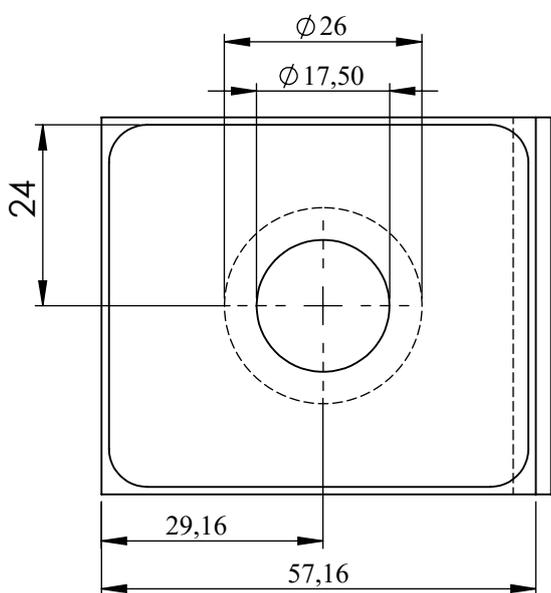


Ra=3.2/

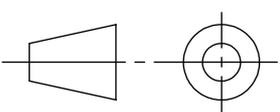
ECHELLE: 1:1	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Coupe chute 3</h1>		-SOFIANE AIT IBROUT
A4			PROMO:18/19
			Génie mécanique

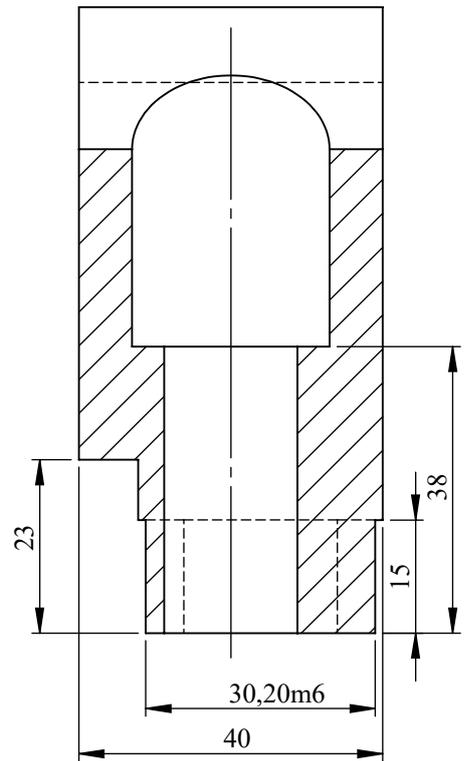
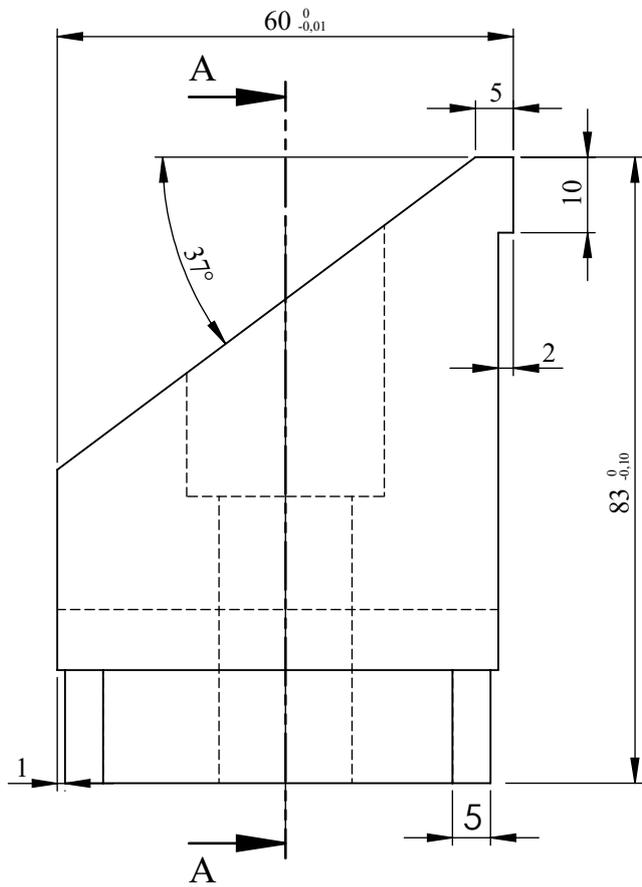


COUPE A-A

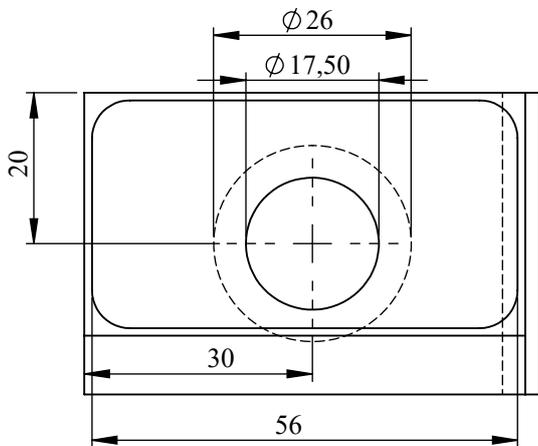


Ra=3.2

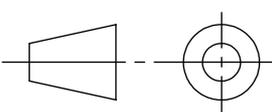
ECHELLE: 1:1	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Coupe chute 2</h1>		-SOFIANE AIT IBROUT
A4			PROMO:18/19
			Génie mécanique

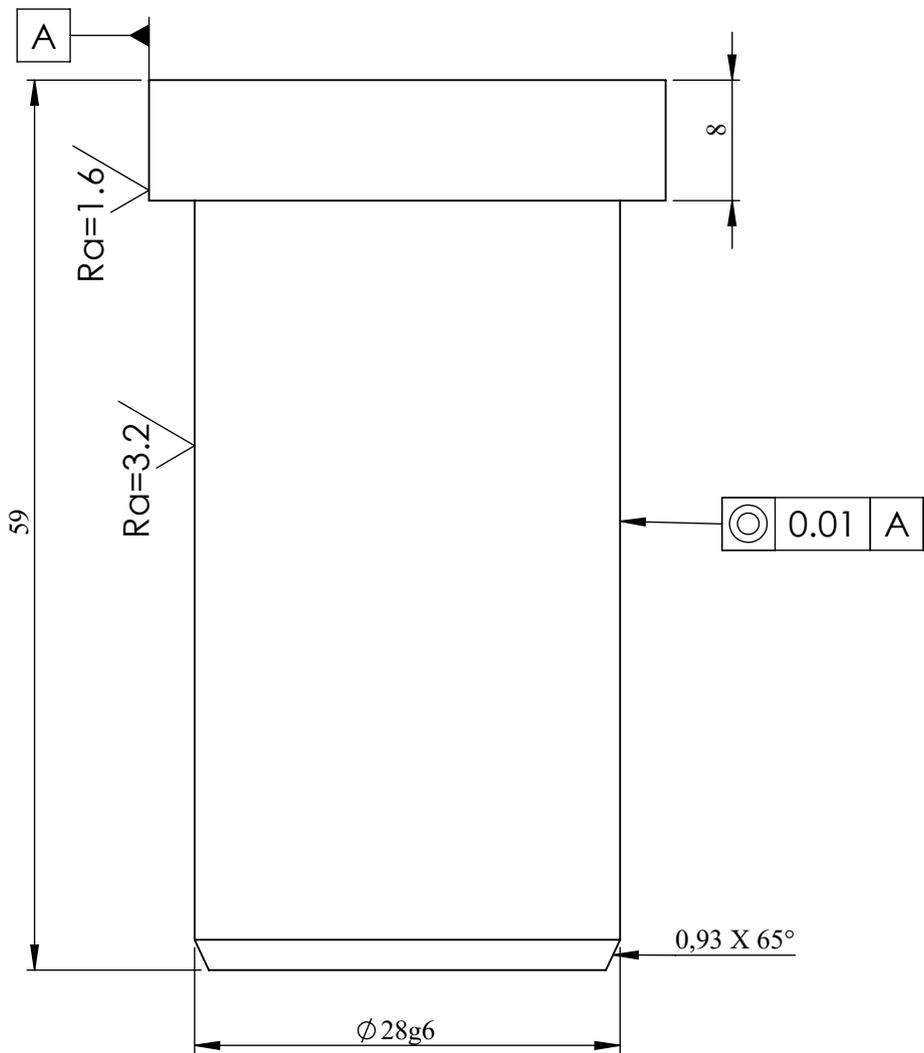
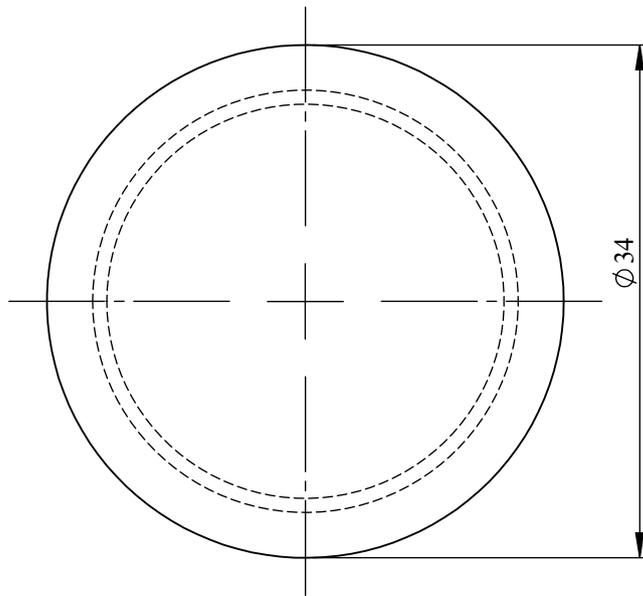


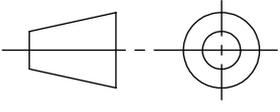
COUPE A-A

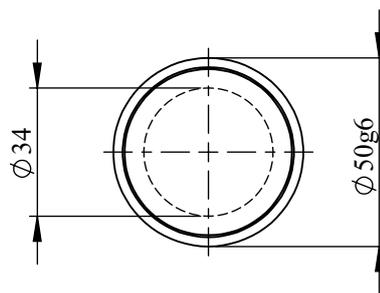
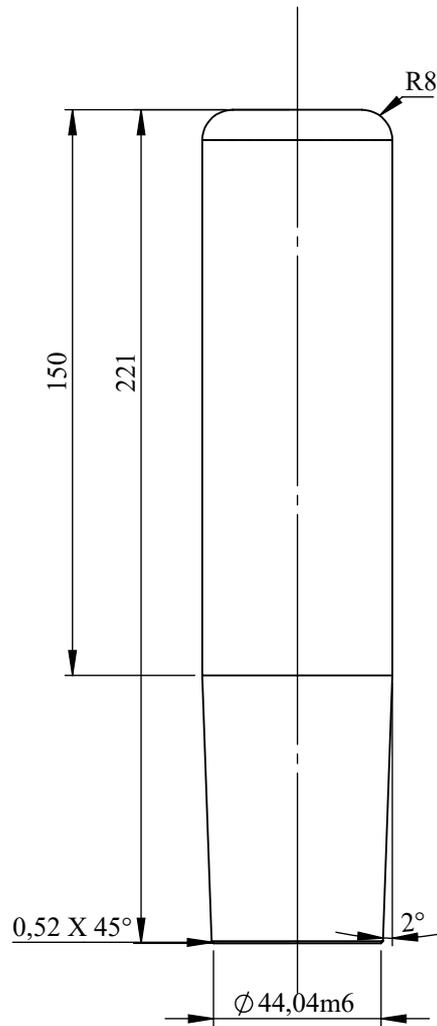


Ra=3.2

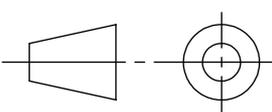
ECHELLE: 1:1	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Coupe chute 1</h1>		-SOFIANE AIT IBROUT
A4			PROMO:18/19
			Génie mécanique

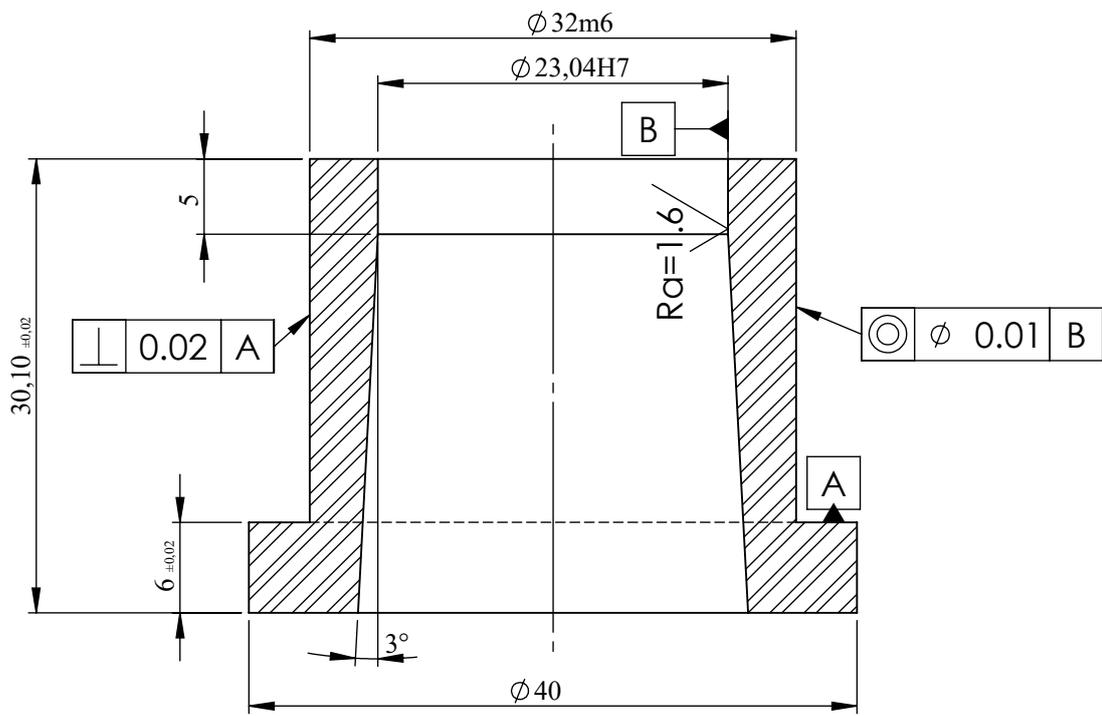
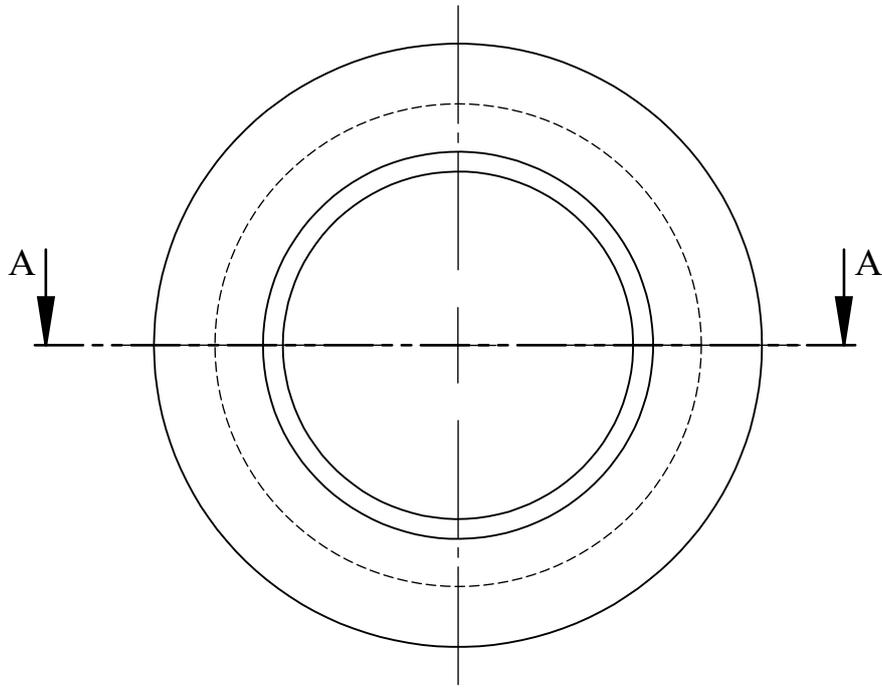


ECHELLE: 2:1	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ -SOFIANE AIT IBROUT
	<h1>Colonne serre-flan</h1>		PROMO:18/19
A4			Génie mécanique



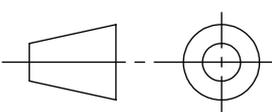
Ra=1.6/

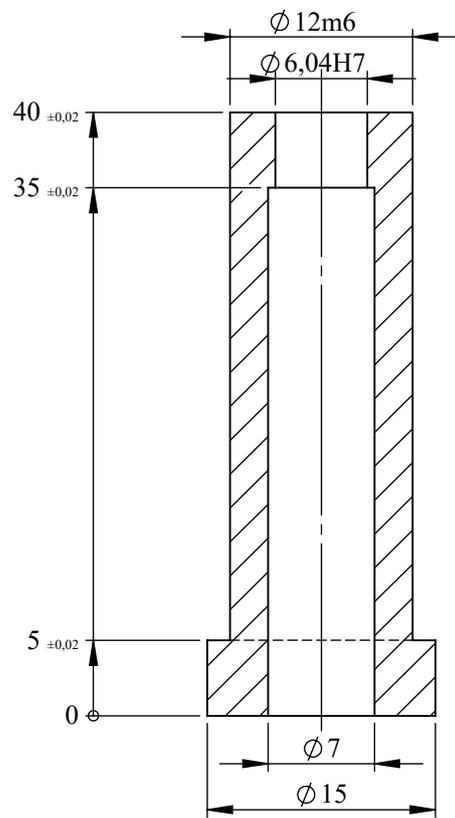
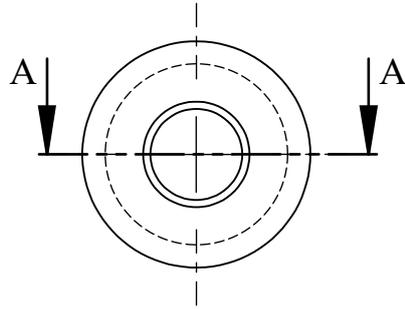
ECHELLE: 1:2	42CD4	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Colonne de guidage</h1>		-SOFIANE AIT IBROUT
A4			PROMO:18/19
			Génie mécanique



COUPE A-A

$Ra = 3,2$ / sauf indication particulière

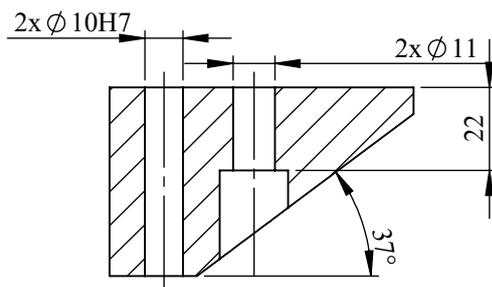
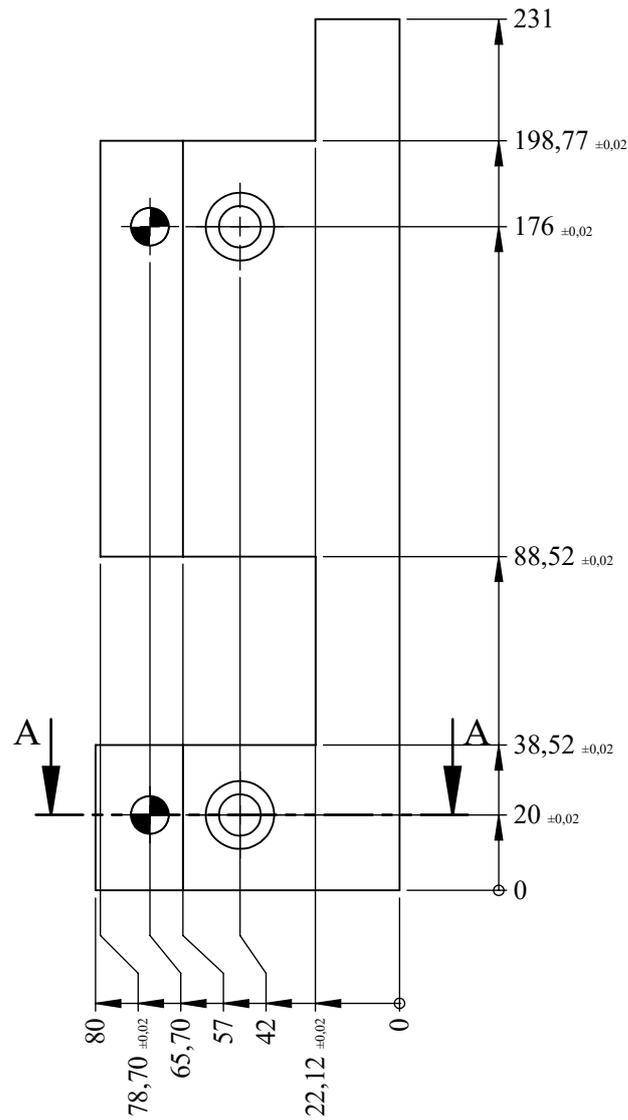
ECHELLE: 2:1	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Canon de perçage 2</h1>		-SOFIANE AIT IBROUTE
A4			PROMO:18/19
			Génie mécanique



COUPE A-A

$Ra=1.6$

ECHELLE: 2:1	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Canon de perçage 1</h1>		-SOFIANE AIT IBROUTE
			PROMO:18/19
A4			Génie mécanique



COUPE A-A

Ra=3.2

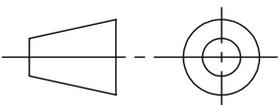
ECHELLE: 1:2

XC 48

UMMTO

-ALI BAZIZ

-SOFIANE AIT IBROUTE

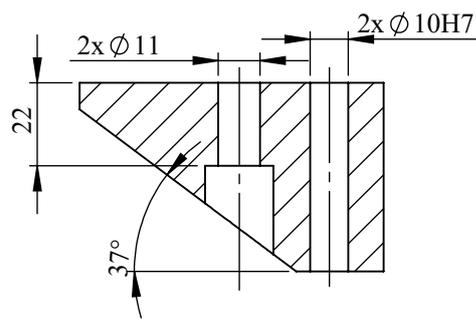
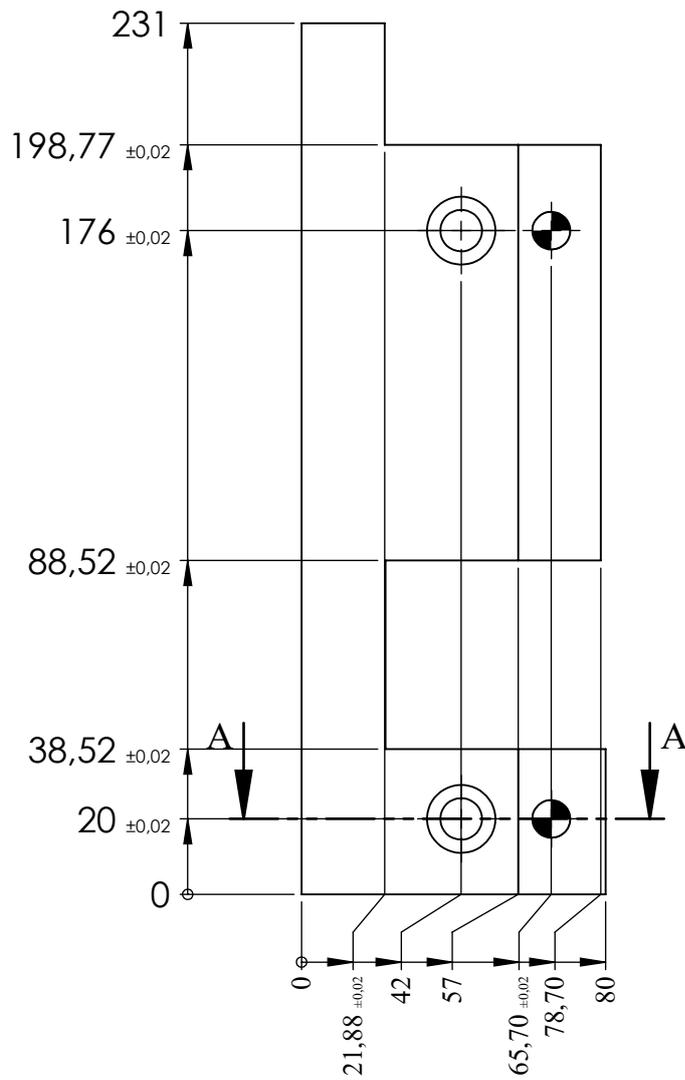


Butée gauche

PROMO:18/19

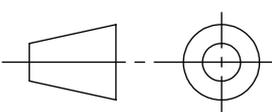
A4

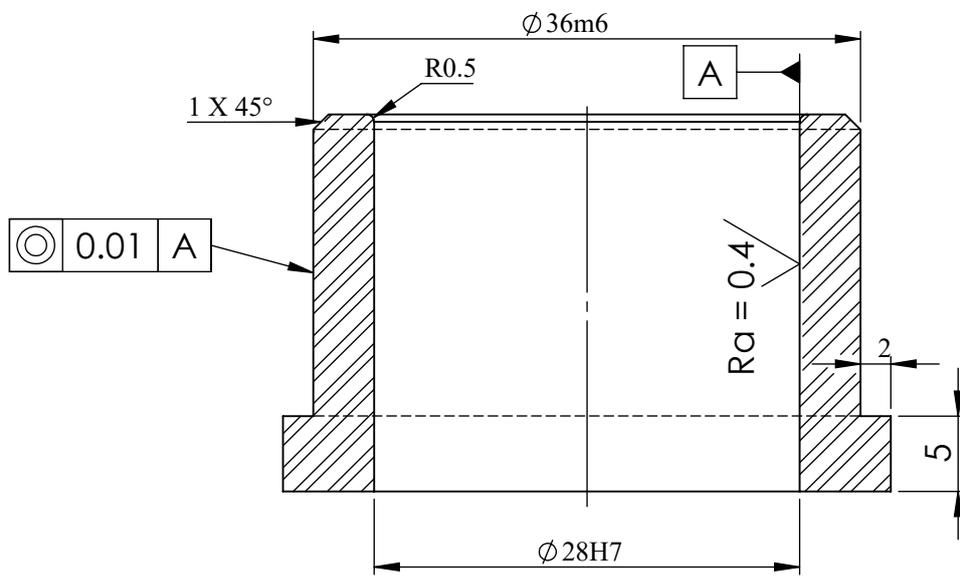
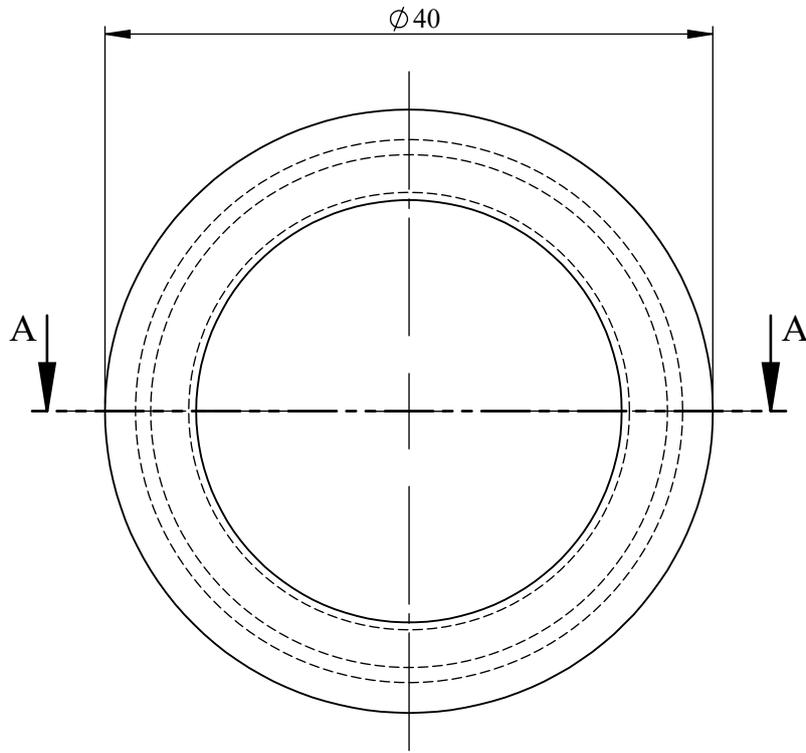
Génie mécanique



COUPE A-A

Ra=3.2/

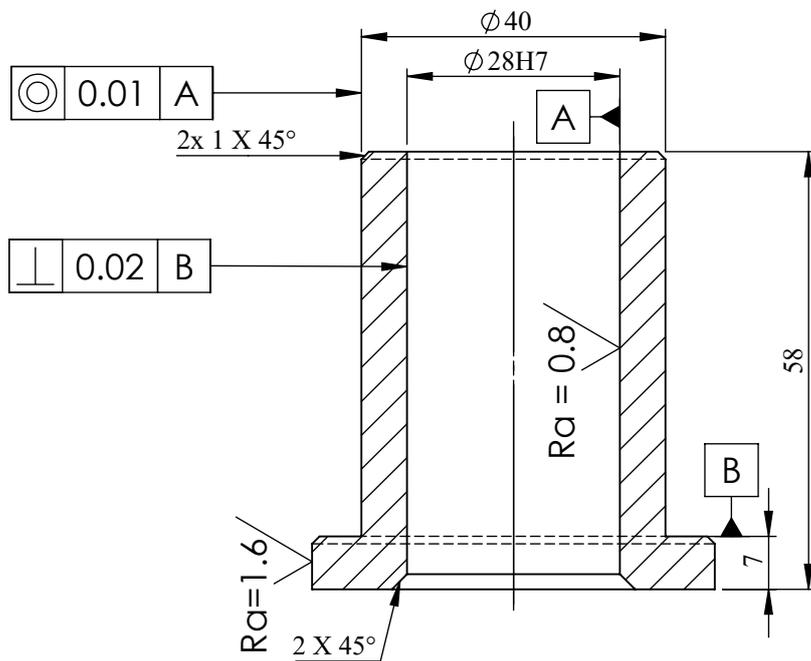
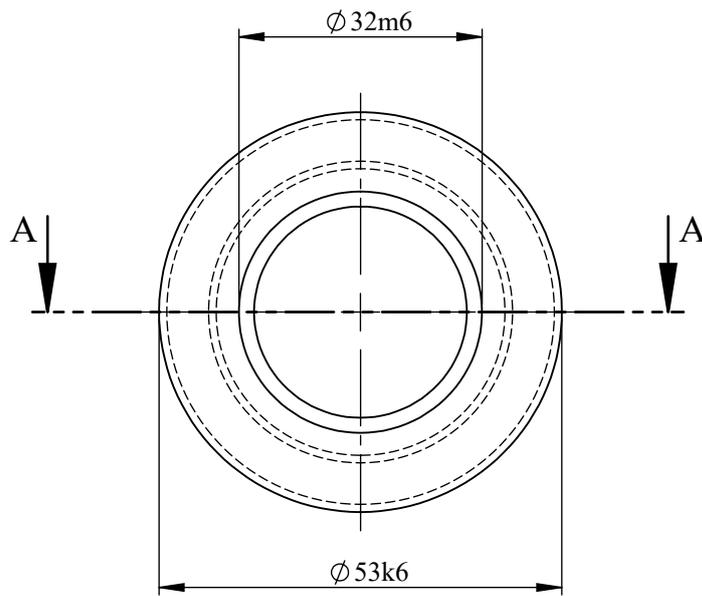
ECHELLE: 1:2	XC 48	UMMTO	-ALI BAZIZ -SOFIANE AIT IBROUT
	<h1>Butée droite</h1>		PROMO:18/19
A4			Génie mécanique



COUPE A-A

Ra=1.6/ sauf indication particulière

ECHELLE: 2:1	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ
	<h1>Bague de guidage</h1>		-SOFIANE AIT IBROUT
			PROMO:18/19
A4			Génie mécanique



COUPE A-A

$Ra = 3.2$ / sauf indication particulière

ECHELLE: 1:1	Z200 C12	UMMTO	-ALI BAZIZ -SOFIANE AIT IBROUT
	<h1>Bague de centrage</h1>		PROMO:18/19
A4			Génie mécanique