

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERRI- TIZI OUZOU



**Faculté du Génie de la Construction
Département Génie Mécanique
Options Construction Mécanique
Mémoire de Fin d'Etudes**



En vue d'obtention du diplôme Master en Génie Mécanique

Thème :

**Etude et Conception d'un Outil Poinçonnage, Découpage
et Pliage pour un Support Tourne Branche En Inox de la
Nouvelle Cuisinière Ventilée ENIEM.**

Encadré par :

Mr. HAMOUR

Réalisé par :

■ **Nassim BESSALEM**

■ **Samir DAHMANI**

Proposé par :

ENIEM sous la direction de
Mr. M. CHALAL

Promotion 2023/2024

Nous tenons à exprimer nos Remerciements

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

Nous remercions également Mr M. CHALAL qui nous a encadré au sein de l'entreprise pour son aide et son orientation tout au long de notre formation au sein de l'entreprise sans oublier tout le personnel de l'ENIEM.

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

Nous tenons également à remercier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, sans oublier les étudiants du département de Génie mécanique de l'UMMTO.

Enfin, nos remerciements vont à tous ceux qui, de près et de loin ont aidé à l'élaboration de ce mémoire et en particulier nos parents, nos familles et tous (tes) nos amis(es).

TABLE DES MATIERE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
1 Présentation de l'entreprise	3
1.1 Objectif social et champ d'activité.....	4
1.2 Principales missions et activités de l'entreprise.....	4
1.2.1 Direction générale	4
1.2.2 Unité froid	5
1.2.3 Unité climatiseur	5
1.2.4 Unité sanitaire	5
1.3 Organisation générale de l'entreprise	6
1.4 Politique de l'entreprise :.....	6
1.4.1 Politique qualité:	7
1.4.2 Engagement de la direction:.....	7
1.4.3 Politique environnementale :.....	7

Chapitre I : GÉNÉRALITÉS ET CARACTÉRISATION DES ACIERS

1 Introduction :.....	9
2 Généralités sur les aciers :.....	9
2.1 Microstructures des aciers [1] :	9
2.1.1 La structure cristalline :.....	10
2.1.2 Différentes phases du fer :.....	10
a. Structure cubique à température ambiante jusqu'à 912 °C :.....	10
3 Différents types d'aciers [2].....	12
3.1 Aciers au carbone	12
3.1.1 Aciers doux :	12
3.1.2 Aciers mi-durs :.....	12
3.1.3 Aciers durs.....	13
3.2 Aciers alliés [3].....	13
3.2.1 Aciers inoxydables :	13
3.2.2 Aciers à outils :.....	15
3.2.3 Aciers à haute résistance et faible alliage (HSLA) :	15
3.2.4 Aciers spéciaux :	15

3.2.5	Aciers de construction :	15
3.3	Aciers non alliés	16
4	Conclusion	17

Chapitre II: PROCÉDÉS D'OBTENTION DES TÔLES ET DE MISE EN FORME DES PIÈCES MÉCANIQUES

1	Introduction	18
2	La tôle [4] :	18
2.1	Définition :	18
2.2	Les différents types de tôles :	18
3	Procédés d'obtention des tôles [5].	19
a.	Le laminage à chaud :	19
b.	Le laminage à froid	20
3.1	Laminage à chaud	20
3.2	Laminage quarto	21
3.3	Laminage à froid :	21
4	Emboutissage [6].	22
4.1	Principe de l'emboutissage	23
4.2	Techniques d'emboutissage	25
4.2.1	Emboutissage à froid	25
4.2.2	Emboutissage à chaud	25
4.3	Effort d'emboutissage	25
4.3.1	Effort sur le serre-flan F_s	26
5	Découpage [7]	26
5.1	Différents types de découpage	28
5.1.1	Cisailage	28
5.1.2	Encochage	29
5.1.3	Crevage	29
5.1.4	Ajourage	30
5.1.5	Détourage	30
5.1.6	Soyage	30
5.1.7	Grignotage	31
5.1.8	Grugeage	31
5.2	Influence des paramètres de l'opération de découpage :	31

5.2.1	Jeu du découpage	32
6	Poinçonnage	33
6.1	Phases du poinçonnage :.....	33
7	Paramètres liés au réglage de l'outil :	35
7.1	Paramètres liés à l'usure de l'outil	36
7.1.1	Lubrification.....	36
7.1.2	Matériaux à outil	36
8	Effort du découpage et du poinçonnage.....	36
8.1	Contraintes sur les poinçons	36
8.1.1	Contrainte de compression	36
9	Pliage [8].....	38
9.1	Différents modes de pliage :.....	39
9.1.1	Pliage en V (en presse plieuse)	39
9.1.2	Pliage en l'air	40
9.1.3	Pliage en frappe.....	41
9.1.4	Pliage en U	41
9.1.5	Pliage en L.....	42
9.2	Rayon du au pliage	42
9.2.1	Position de la fibre neutre :	43
9.3	Retour élastique	45
9.4	Paramètres influents sur l'opération du pliage	45
9.4.1	-Rayon de la matrice du pliage.....	46
9.4.2	-Jeu du pliage	46
9.4.3	Effort du pliage.....	46
10	-Conclusion	47

Chapitre III : Presses mécaniques et leurs équipements utilisés

1	Introductions :	48
2	Classement des presses mécaniques [10]	48
2.1	Classement selon le principe de fonctionnement :	48
2.1.1	Transmission mécanique directe :.....	49
2.1.2	Transmission hydraulique	49
2.2	Classement Selon la forme du bâti :	50

2.2.1	Presse à colonnes :	50
2.2.2	Presse à montants	51
2.2.3	Presse à genouillère	51
2.3	Classement selon le nombre de coulisseau :	52
2.3.1	Presse à simple coulisseau.....	52
2.3.2	Presse à double coulisseau	52
2.3.3	Presse à triple coulisseau :	53
3	Caractéristique d'une presse.....	53
4	Exigence de choix d'une presse :	53
5	Les constituants essentiels d'un outil d'une presse :	53
5.1	Le poinçon	54
5.2	La matrice:	54
6	Types d'outils de presse [11]	55
6.1	L'outil de détournage	55
6.2	L'outil d'emboutissage	56
6.3	L'outil de pliage	57
6.3.1	Outil de pliage en V	57
6.3.2	Outil de pliage en U	57
6.4	Outil de Détournage :	58
6.4.1	Détournage normale	58
6.4.2	Détournage a ras.....	58
6.4.3	Détournage-poinçonnage	59
7	Montage des Outils sur les Presses	59
7.1	Préparation de la presse :	60
7.2	Positionnement de l'outil :	60
7.3	Alignement et réglages :	60
7.4	Vérification de la sécurité :	60
7.5	Essais et ajustements :	60
8	Conclusion :	61

Chapitre IV : Etude et Conception

1	Introduction	62
2	Le cahier des charges	62

2.1	Travail demandé	62
2.2	Processus de fabrication	63
2.3	Fiche technique.....	64
2.3.1	Dimensions nominales selon la norme FN EN 10088-2 :	64
2.3.2	Propriétés mécanique de la pièce	65
2.3.3	Composition chimique de la pièce	65
3	Details de l'outil.....	65
3.1	Partie inférieure	65
3.1.1	Semelle inférieure	65
3.1.2	Matrices.....	66
3.1.3	La butée	67
3.1.4	Colonne de guidage.....	67
3.1.5	Tasseaux	68
3.1.6	Partie inférieure assemblée :	68
3.2	Partie supérieure	68
3.2.1	Semelle supérieure	69
3.2.2	Porte poinçons	69
3.2.3	Poinçons	70
3.2.4	Serre-flan.....	70
3.2.5	Embases.....	71
3.2.6	Ressorts	71
3.2.7	Partie supérieure assemblée.....	72
3.2.8	Outil complet assemblé	72
4	Etude de l'outil.....	73
4.1	Calcul des efforts de poinçonnage	73
4.2	Calcul de la résistance au cisaillement RC :	73
	• Calcul de l'effort de poinçon 1 « $Fp1$ »	73
	• Calcul de l'effort de poinçon 3 « $Fp3$ »	74
4.3	Calcul des efforts de pliage.....	76
4.4	Calcul de l'effort total Fd :	78
4.5	Calcul de l'effort de dévêtissage	79
4.6	Calcul de l'effort total que doit fournir la presse(Fpr)	79
5	Le choix de la presse à utiliser	79

6	Nombre et choix de ressorts	80
6.1	Ressort de dévêtissage	80
6.2	Emplacement des ressorts :	82
7	Vérification de la résistance des poinçons au flambement.....	83
8	Conclusion.....	85
	Conclusion General	86
	Référence Bibliographique	87

TABLE DE FIGURES

Présentation d'entreprise

Figure 1 : Organisation générale de l'entreprise	6
--------------------------------------------------------	---

Chapitre I

Figure. I.1 : Structure cubique centrée de l'ambiante jusqu' à 912°C.	10
Figure. I.2 : Structure cubique à faces centrées de 912°C jusqu'à 1394°C	11
Figure. I.3 : Structure cubique centrée (fer δ).	11

Chapitre II

Figures II.1 : Bobine de Tôle	19
Figures II.2 : Laminage à chaud.....	20
Figures II.3 : Shéma d'une cage quarto de laminage	21
Figures II.4 : Train de laminage	22
Figure II.5 : Emboutissage.....	22
Figure II.6 : Phase 1 de l'emboutissage.....	23
Figure II.7 : Phase 2 de l'emboutissage.....	23
Figure II.8 : Phase 3 de l'emboutissage.....	24
Figure II.9 : Phase 4 de l'emboutissage.....	24
Figure II.10 : Direction des efforts F_e et F_s	26
Figure II.11 : Principe du découpage.....	27
Figure II.12 : Ligne de découpage et ses périphéries.....	28
Figure II.13 : Le cisailage.....	28
Figure II.14 : Paramètres entrants lors du cisailage.....	29
Figure II.15 : Encochage.....	29
Figure II.16 : Le crevage.....	29

Figure II.17 :Le crevage.	30
Figure II.18 :Le détournage.	30
Figure II.19 :Le soyage.	30
Figure II.20 :Le grignotage.....	31
Figure II.21 :principe du grugeage.	31
Figure II.22 :Nomenclature des éléments de géométrie du découpage.....	32
Figure II.23 :Jeu du découpage.	33
Figure II.24 : Pièce poinçonnée.	33
Figure II.25 :Phases de poinçonnage..	34
Figure II.26 :Contrainte de compression sur le poinçon.	37
Figure II.27 :Etat d'un flambement du poinçon de découpage.....	38
Figure II.28 : Technique du pliage.	39
Figure II.29 :Principe du pliage en V.....	40
Figure II.30 : Principe du pliage en l'air.....	40
Figure II.31 :Outil de pliage en l'air.....	41
Figure II.32 :Outil de pliage en frappe.....	41
Figure II.33 :Principe du pliage en U.....	42
Figure II.34 :Pliage en L.....	42
Figure II.35 : Angle du pliage.....	43
Figure II.36 : <i>Rayon du pliage</i>	43
Figure II.37 :Déformations à un angle vif ($R=0$)..	43
Figure II.38 :Position de la fibre neutre.....	43
Figure II.39 : Phénomène du retour élastique.....	44
Figure II.40 : Jeu du pliage et le rayon de la matrice... ..	46
 Chapitre III	
Figure III.1 :Presse Mécanique	49

Figure III.2 : Presse hydraulique.....	50
Figure III.3 : Presse à colonnes.....	50
Figure III.4 : Presse à montants	51
Figure III.5 : Presse à genouillère	52
Figure III.6 : Illustration poinçon et matrice	54
Figure III.7 : Outil à presse-bande.....	55
Figure III.8 : Outil de détournage-poinçonnage.	56
Figure III.9 : a) <i>Outil d'Emboutissage Sans Serre-Flan</i>	60
Figure III.9 : b) <i>Outil d'Emboutissage à Serre-Flan</i>	60
Figure III.10 : Outil de pliage en V.....	60
Figure III.11 : Exemple d'Outil de pliage en U.....	61
Figure III.12 : Outil de détournage normal.....	58
Figure III.13 : Outil de détournage à ras.....	59
Figure III. 14 : Outil de détournage-poinçonnage.....	59

Chapitre IV

Figure IV.1 : support tourné-branche pour cuisinière ventilée.....	62
Figure IV.2 :Les différents postes de fabrication d'un support tourné-branche.....	64
Figure IV.3 : Semelle inferieure.....	66
Figure IV.4 : matrices (Découpage . Poinçonnage et .Pliage).	66
Figure IV.5 : Butée fin de course.	67
Figure IV.6 : Colonne de guidage.....	67
Figure IV.7 : (a) : Tasseau lateral. (b) : Tasseau central.....	68
Figure IV.8 : Partie inferieure assemblée.	68
Figure IV.9 : Semelle superieure.....	69
Figure IV.10 : Porte poinçons.....	69
Figure IV.11 : Differents poinçons utilisés (Poinçonnage 1 Découpage 2.Pliage 3)	70

Figure IV.12 : Serre flan.....	70
Figure IV.13 : Embase supérieure.....	71
Figure IV.14 : Ressort de dévêtissage.....	71
Figure IV.15 : Partie supérieure assemblée.....	72
Figure IV.16 : Outil complet assemblé.....	72
Figure IV.17 : Périmètre de poinçon 1.....	73
Figure IV.18 : périmètre de poinçon 2.....	74
Figure IV.19 : <i>périmètre de poinçon 3</i>	75
Figure IV.20 : périmètre de poinçon 4.....	75
Figure IV.21 : longueur de pli 1.....	76
Figure IV.22 : longueur de pli 2.[18].....	77
Figure IV.23 : Longueur de pli 3.....	77
Figure IV.24 : Mesure du périmètre de détournage de la pièce avec Solide-Works.....	78
Figure IV.25 : Différents types de ressort.....	80
Figure IV.26 : Catalogue STEINEL NORMALIEN ressort charge forte.....	82
Figure IV.27 : Schéma de dimensionnement d'un Ressort.].....	82
Figure IV.28 : Emplacement des ressorts de dévêtissement.....	83

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Tableau de désignation des aciers non alliés.	16
Tableau II. 1 : Variation de la distance « a » suivant le rapport (Ri/e).	44
Tableau II. 2 : Variation de Coefficient de proportionnalité << K >> suivant le rapport (Ri/e).	44
Tableau IV. 1 : propriétés mécanique de la pièce.	65
Tableau IV. 2 : Composition chimique de la pièce.	65
Tableau IV. 3 : Longueurs libres de flambage en fonction du type de liaisons.	83

INTRODUCTION GENERALE

L'Entreprise Nationale des Industries de l'Électroménager (ENIEM) évolue dans un marché en pleine expansion, où la mondialisation intensifie la concurrence. Les clients basent principalement leurs choix sur trois critères : la qualité, le prix et la disponibilité des produits. Si les deux derniers sont facilement mesurables, la notion de qualité reste plus complexe, tant pour les consommateurs que pour les fabricants.

Face à ces défis, l'ENIEM s'engage à satisfaire durablement ses clients grâce à des contrôles de qualité stricts. L'entreprise vise une amélioration continue de ses produits, en modifiant ceux déjà existants et en développant de nouvelles gammes.

ce cadre, l'unité cuisson de l'ENIEM a demandé une étude et la conception d'un outil destiné à fabriquer un support tourne branche pour la nouvelle cuisinière. La géométrie complexe de cette pièce exige l'utilisation combinée des procédés de poinçonnage et de pliage pour obtenir un résultat conforme aux attentes.

Pour répondre aux besoins de l'entreprise, il est crucial de bien comprendre les phénomènes en jeu lors des opérations de mise en forme des matériaux, ainsi que de concevoir des outils adaptés et de choisir les machines les plus efficaces. L'objectif est de garantir à la fois la rentabilité et la fiabilité du processus de production, tout en assurant la longévité des équipements utilisés.

Pour répondre à ces exigences, nous avons choisi de répartir les tâches du travail
Comme suit ;

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

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

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

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

Le quatrième chapitre traite de l'étude, de la conception et de la résistance de notre outil, ainsi que du choix de la presse à utiliser.

Le travail ainsi effectué, nous sommes en mesure de formuler une conclusion générale.

Présentation de l'entreprise

1 Présentation de l'entreprise

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

En 1989, l'entreprise a connu une baisse brusque de production due à la concurrence du marché. Cette situation a provoqué sa transformation, en société par action dont le but est d'améliorer la recherche et le développement de ses produits, à l'échelle nationale. Connue aujourd'hui, le leader de l'électroménager en Algérie, et cela, dans divers domaines tels que :

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

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

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

Actuellement, l'entreprise ENIEM est constituée de :

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

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

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

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

1.1 Objectif social et champ d'activité

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

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

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

1.2 Principales missions et activités de l'entreprise

1.2.1 Direction générale

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

1.2.2 Unité froid

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

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

1.2.3 Unité climatiseur

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

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

1.2.4 Unité sanitaire

L'unité sanitaire de Miliana est acquise par l'entreprise ENIEM en l'an 2000. Elle n'entre pas dans le champ de certification de l'entreprise.

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

1.3 Organisation générale de l'entreprise

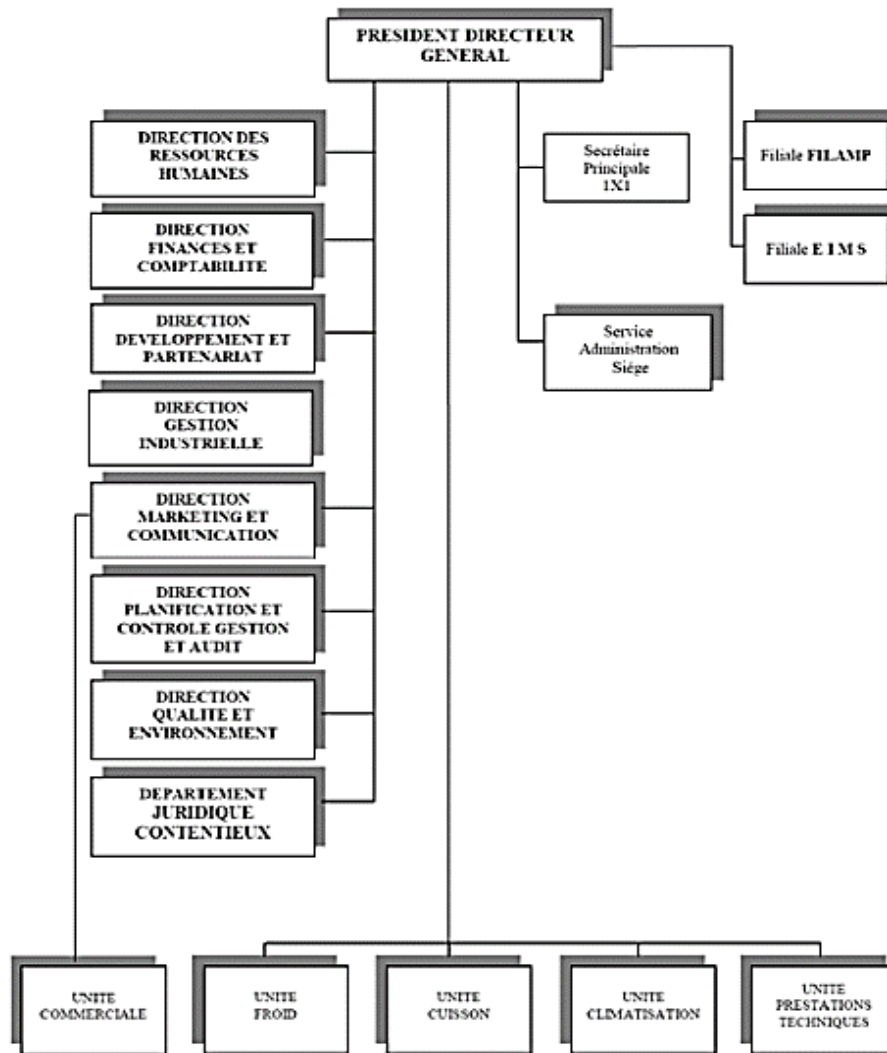


Figure I: Organisation générale de l'entreprise.

1.4 Politique de l'entreprise :

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

1.4.1 Politique qualité:

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

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

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

1.4.2 Engagement de la direction:

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

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

1.4.2.1 Ses objectifs :

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

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

1.4.3 Politique environnementale :

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

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

Chapitre I :

GÉNÉRALITÉS ET CARACTÉRISATION DES ACIERS

1 Introduction :

La sélection d'un matériau pour une application spécifique doit garantir sa durabilité dans les conditions d'utilisation, en particulier celles liées à l'environnement. Cela est d'autant plus crucial pour les systèmes destinés à fonctionner à des températures élevées et dans des atmosphères corrosives. Parmi tous les alliages métalliques, l'acier est le plus fréquemment utilisé dans les applications industrielles. La diversité des qualités disponibles et la possibilité de traitements thermomécaniques pour ajuster ses propriétés mécaniques en font un matériau extrêmement polyvalent.

2 Généralités sur les aciers :

L'acier est un alliage de fer et de carbone, avec une teneur en carbone inférieure à 2 % en masse. Cette teneur en carbone détermine la dureté maximale que l'acier peut atteindre après trempe. L'acier à faible teneur en carbone est le moins dur et le plus malléable. Il contient également de petites quantités d'autres éléments, ajoutés au cours de son élaboration. Des éléments d'alliage peuvent aussi y être incorporés pour améliorer certaines propriétés spécifiques.

2.1 Microstructures des aciers [1] :

Pour appréhender le comportement et les propriétés des différents types d'acier, il est essentiel de comprendre leurs microstructures. Cette microstructure fournit des informations sur la structure cristalline, les imperfections ou défauts des réseaux cristallins, ainsi que sur la texture.

2.1.1 La structure cristalline :

L'acier est constitué de nombreux petits volumes appelés grains, délimités par des surfaces nommées joints de grains. Les grains, adjacents les uns aux autres le long des joints de grains, forment un agencement régulier d'atomes en trois dimensions, selon un motif (ou maille) qui se répète de nombreuses fois. Cet ensemble d'atomes constitue la structure cristalline de l'acier.

2.1.2 Différentes phases du fer :

Il est possible de faire varier considérablement les propriétés d'un acier ayant une composition chimique donnée, grâce aux transformations allotropiques du fer et au rôle joué par le carbone dans ces transformations. Une caractéristique essentielle du fer est la présence de deux types d'arrangement atomique (maille) selon la température : un arrangement cubique centré à température ambiante pouvant atteindre 910°C, et un arrangement cubique à faces centrées de 910°C jusqu'à 1394°C. Au-delà de cette température, l'arrangement redevient cubique centré.

a. Structure cubique à température ambiante jusqu'à 912 °C :

De la température ambiante jusqu'à 912°C, les atomes de fer adoptent une structure cubique centrée, formant ce que l'on appelle le Fer α . Lorsque ce Fer α est associé à du carbone en solution, il est désigné sous le nom de Ferrite..

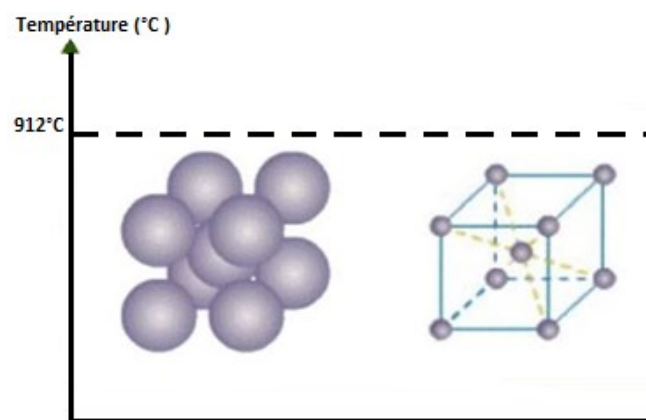


Figure : Structure cubique centrée de l'ambiante jusqu' à 912°C.

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

De 912°C jusqu'à 1394°C, les atomes de fer adoptent une structure cubique à faces centrées, formant ce que l'on appelle le Fer γ . Lorsque ce Fer γ est associé à du carbone en solution, il est désigné sous le nom d'Austénite.

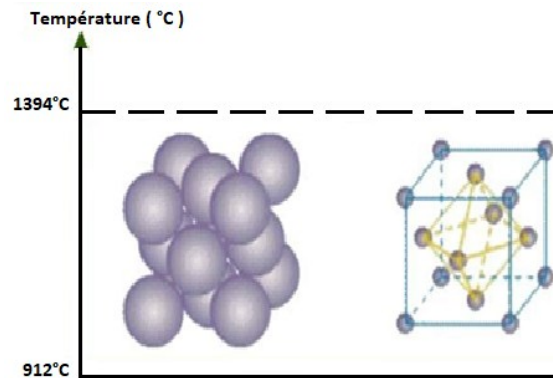


Figure I. 1 : Structure cubique à faces centrées de 912°C jusqu'à 1394°C.

c. Structure cubique à une température supérieure à 1394°C :

Au-dessus de la température de 1394°C, le fer adopte de nouveau une structure cubique centrée. À ce stade, il est désigné sous le nom de Fer δ .

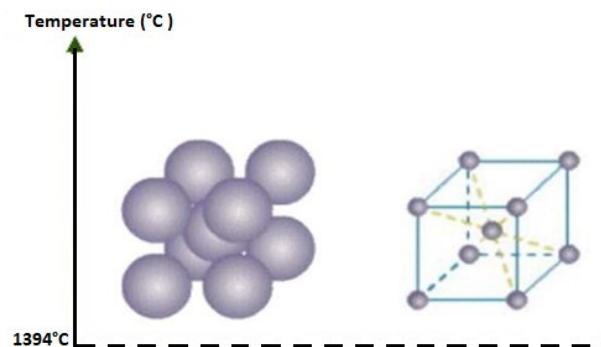


Figure I. 2 : Structure cubique centrée (fer δ).

3 Différents types d'aciers [2]

Les différents types d'aciers se distinguent principalement par leur composition en carbone et en éléments d'alliage, ce qui influence leurs propriétés mécaniques et leur utilisation. Voici une classification des principaux types d'aciers :

3.1 Aciers au carbone

3.1.1 Aciers doux :

Aciers à faible teneur en carbone : moins de 0,3 % de carbone. Ils sont malléables et faciles à souder, utilisés pour les structures, les tôles, et les barres.

3.1.1.1 Propriétés :

- Haute malléabilité et ductilité.
- Facile à souder et à former.
- Résistance modérée et faible dureté.

3.1.2 Aciers mi-durs :

Aciers à teneur moyenne en carbone: 0,3 à 0,6 % de carbone. Ils offrent un bon équilibre entre résistance et ductilité, utilisés pour les pièces de machines, les arbres et les engrenages.

3.1.2.1 Propriétés :

- Bon compromis entre résistance et ductilité.
- Peut-être durci par traitement thermique.
- Bonne usinabilité et soudabilité modérée.

3.1.3 Aciers durs

Aciers à haute teneur en carbone: 0,6 à 1,4 % de carbone. Ils sont très résistants mais moins ductiles, utilisés pour les outils, les lames, et les ressorts.

3.1.3.1 Propriétés :

- Très haute résistance et dureté.
- Faible ductilité, plus difficile à souder.
- Peut-être trempé et revenu pour augmenter la résistance à l'usure

3.2 Aciers alliés [3]

3.2.1 Aciers inoxydables :

Les aciers inoxydables sont des alliages de fer auxquels on ajoute principalement du chrome, et parfois du nickel, du molybdène, ou d'autres éléments pour améliorer certaines propriétés. Ils sont principalement utilisés pour leur résistance à la corrosion, leur robustesse et leur durabilité. Voici un aperçu plus détaillé des aciers inoxydables, y compris leur composition, leurs types et leurs applications.

3.2.1.1 Types d'Aciers Inoxydables :

Les aciers inoxydables se classifient en plusieurs familles selon leur structure cristalline et leurs propriétés :

a. Les aciers ferriques :

Possèdent une structure cubique centrée, similaire à celle du fer à température ambiante. Leur composition typique inclut une teneur en chrome variant de 11 % à 29 %, mais leur teneur en carbone est très faible, autour de 0,07 %. Ils ne contiennent pas de nickel. Ces aciers sont magnétiques à température ambiante et sont modérément ductiles. Ils ne peuvent pas être durcis par trempe, ce qui limite leur utilisation à des applications nécessitant une résistance à la corrosion dans des environnements modérés, comme les éléments de décor ou les pièces d'automobile.

b. Les aciers martensitiques:

Quant à eux, présentent une structure cristalline quadratique. Ils contiennent environ 13 % de chrome et ont une teneur en carbone supérieure à 0,08 %. Ces aciers peuvent être durcis par trempe, ce qui leur confère une grande dureté et une très bonne trempabilité. Cependant, ce traitement thermique augmente leur sensibilité à la corrosion. En conséquence, ils sont généralement moins résistants à la corrosion que les aciers ferritiques et austénitiques. Ils sont souvent utilisés pour des applications nécessitant des propriétés mécaniques élevées, telles que les lames de couteaux et les outils de coupe.

c. Les aciers austénitiques:

Sont caractérisés par une structure cubique à faces centrées. Ils sont non magnétiques à température ambiante et possèdent une excellente ductilité. Les deux principaux types d'aciers austénitiques sont les austénitiques au chrome-nickel, qui contiennent environ 18 % de chrome et 8 % de nickel, et les austénitiques au chrome-nickel-molybdène, avec environ 18 % de chrome, 10 % de nickel et 2 % de molybdène. Ces aciers offrent une résistance exceptionnelle à la corrosion, en particulier dans des environnements agressifs. Ils sont utilisés dans des secteurs exigeants comme les équipements chimiques, les installations maritimes et les applications alimentaires.

3.2.1.2 Applications des Aciers Inoxydables :

Les aciers inoxydables sont utilisés dans une vaste gamme d'applications en raison de leur résistance à la corrosion, leur durabilité et leur apparence esthétique. Voici quelques domaines clés :

- **Industrie alimentaire et pharmaceutique** : En raison de leur capacité à résister aux environnements corrosifs et à maintenir une surface hygiénique.
- **Architecture** : Pour des façades, des rampes, des balustrades, et autres éléments de design extérieur.
- **Équipements de transformation** : Machines et équipements en contact avec des produits chimiques agressifs.
- **Transports** : Composants de véhicules, notamment pour les pièces en contact avec l'eau ou l'humidité.

3.2.1.3 Entretien et Durabilité

Bien que les aciers inoxydables soient très résistants à la corrosion, ils ne sont pas totalement invulnérables. Le film de passivation peut être endommagé par des rayures ou des environnements extrêmement corrosifs. Il est essentiel d'entretenir correctement les surfaces en acier inoxydable, en nettoyant régulièrement pour éviter l'accumulation de contaminants qui peuvent compromettre la couche protectrice.

En résumé, les aciers inoxydables sont des matériaux polyvalents avec des propriétés spécifiques adaptées à divers usages. Leur choix dépend des exigences en termes de résistance à la corrosion, de dureté, et de caractéristiques mécaniques spécifiques aux applications envisagées.

3.2.2 Aciers à outils :

Contiennent des éléments comme le tungstène, le molybdène, le cobalt et le vanadium. Ils sont utilisés pour fabriquer des outils de coupe et de formage.

3.2.3 Aciers à haute résistance et faible alliage (HSLA) :

Contiennent de petites quantités de cuivre, de nickel, de vanadium, de niobium, et de titane. Ils offrent une haute résistance tout en étant légers, utilisés dans les structures automobiles et les pipelines.

3.2.4 Aciers spéciaux :

- a. **Aciers maraging** : contiennent du nickel et des éléments comme le cobalt, le molybdène, et le titane. Ils sont connus pour leur haute résistance et dureté après vieillissement, utilisés dans l'aérospatiale et pour les équipements sportifs.
- b. **Aciers électriques (ou aciers au silicium)** : contiennent une quantité significative de silicium et sont utilisés pour les noyaux de transformateurs et de moteurs électriques grâce à leurs propriétés magnétiques optimales

3.2.5 Aciers de construction :

- a. **Aciers de construction standard** : utilisés pour les bâtiments, les ponts, et les infrastructures. Ils sont généralement conçus pour être soudables et résistants aux conditions climatiques.

- b. **Aciers de construction mécaniques** : utilisés pour les composants de machines et les structures où une résistance mécanique élevée est requise. Chaque type d'acier possède des caractéristiques spécifiques adaptées à des applications particulières, rendant le choix de l'acier crucial en fonction des exigences du projet

3.3 Aciers non alliés

Ces aciers se situent entre les aciers d'usage général de type A et les aciers fins de type XC. Bien qu'ils puissent être soumis à un traitement thermique, les caractéristiques mécaniques obtenues peuvent varier considérablement d'un lot à l'autre et même au sein d'un même lot. Selon la norme NF EN 10027, la désignation des aciers non alliés se fait par la lettre C suivie du pourcentage de la teneur moyenne en carbone multipliée par 100.

Ces aciers sont utilisés dans les constructions mécaniques, conviennent aux traitements thermiques et au forgeage.

Nuance	R_{min}	R_{emin}	Emplois
C22	410	255	Construction mécanique. Ces aciers conviennent aux traitements thermiques et au forgeage.
C25	460	285	
C30	510	315	
C35	570	335	
C40	620	355	
C45	660	375	
C50	700	395	
C55	730	420	
C60	$HRC \geq 57$		

Tableau I. 1 : Tableau de désignation des aciers non alliés.

4 Conclusion

Ce chapitre est dédié à l'étude des différents types d'aciers et de leur comportement microstructural. Ces aciers se distinguent par l'ajout d'éléments d'alliage. Chaque nuance d'acier varie en fonction de sa composition chimique et de son domaine d'application, assurant une durabilité dans les conditions de service, notamment dans des environnements spécifiques.

Le choix d'un type d'acier dépend des propriétés requises, liées à leur microstructure, au procédé de fabrication, ainsi qu'aux traitements thermiques et thermochimiques appliqués. Cela vise à garantir une fonctionnalité optimale et une durée de vie prolongée de la pièce à réaliser.

Chapitre II :

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

1 Introduction

La tôle est un produit métallique plat, disponible sous forme de feuilles ou de bobines, et transformée en pièces aux formes souhaitées grâce à diverses opérations. L'objectif de la mise en forme des tôles est de conférer à une pièce métallique des dimensions respectant une plage de tolérances spécifiques. Les principaux procédés de fabrication des pièces mécaniques ont évolué progressivement, donnant lieu à de nombreuses variantes. Les versions modernes de ces procédés, souvent développées récemment, permettent une production de masse à moindre coût. Parmi les principales techniques de travail par déformation plastique, on trouve le découpage, le poinçonnage, le pliage, l'emboutissage, etc.

2 La tôle [4] :

2.1 .Définition :

Les tôles sont des produits plats de section quasiment rectangulaire, caractérisés par une largeur largement supérieure à leur épaisseur. Elles sont obtenues par laminage à froid pour les tôles minces, d'une épaisseur inférieure à 3 mm, ou par laminage à chaud. Dans ce dernier cas, les plaques d'acier issues de la coulée sont chauffées entre 800 et 1200 °C, puis comprimées entre deux rouleaux jusqu'à atteindre l'épaisseur souhaitée. Les tôles ainsi obtenues sont conditionnées sous forme de bobines, de bandes refendues ou de feuilles.

2.2 Les différents types de tôles :

Les dimensions varient en fonction de l'acier (nuance et type), de l'épaisseur et des revêtements appliqués, On distingue

a. Suivant leurs épaisseurs :

- Les tôles fines (< 3 mm).
- Les tôles fortes (> 3 mm).

b. Suivant leurs finitions :

- La tôle noire dont les faces ont un fini brut, sans revêtement.
- La tôle galvanisée, pour sa part, elle dotée d'un revêtement anticorrosion au niveau de ses deux faces.
- La tôle pré laquée qui présente une surface anticorrosion comme chez la galvanisée, en-dessus de laquelle on ajoute une/des couches de peinture.



Figure II. 2 : *Bobine de Tôle.*

3 Procédés d'obtention des tôles [5]

Les étapes globales de transformation d'une brame (bloc d'acier brut) en une bande mince et large, laminée à chaud et prête pour des transformations ultérieures, consistent à obtenir les caractéristiques géométriques, métallurgiques et l'état de surface requis, de la manière suivante :

Après la production de la brame, celle-ci subit un procédé de laminage, une opération de mise en forme par déformation plastique. Ce procédé réduit la section du produit, de grande longueur, en le faisant passer entre deux ou plusieurs outils qui tournent dans des directions opposées. La rotation de ces outils entraîne le produit par friction dans la zone de laminage.

a. Le laminage à chaud :

Le laminage à chaud est utilisé principalement pour deux raisons. Premièrement, la résistance du métal diminue rapidement à haute température. Deuxièmement, des raisons métallurgiques justifient l'utilisation du laminage à chaud.

b. Le laminage à froid

Quant à lui, provoque un écrouissage du métal. Ce processus ne peut se poursuivre au-delà de la limite de rupture du métal et peut même dépasser la capacité de puissance des équipements de laminage à froid. En pratique, les premières étapes de réduction s'effectuent à chaud pour faciliter les grandes déformations du matériau et ajuster ses propriétés métallurgiques. Le laminage à froid est ensuite utilisé pour obtenir les caractéristiques géométriques et mécaniques précises, ainsi qu'une surface de qualité.

3.1 Laminage à chaud

La brame est acheminée à travers plusieurs cages de laminage équipées de cylindres, permettant d'obtenir une large bande. À la sortie de la dernière cage, la bande est refroidie par arrosage, puis enroulée sur une bobineuse pour former une bobine. Celle-ci est ensuite déroulée sur une ligne de déroulage, où elle est redressée, aplatie, puis découpée à la longueur souhaitée pour produire des tôles. Cette méthode est couramment appliquée à des largeurs allant jusqu'à 2150 mm et à des épaisseurs pouvant atteindre 25 mm, selon la capacité du laminoir, de la ligne de déroulage et de la qualité requise.

La tôle laminée à chaud qui n'a pas été décapée est souvent appelée tôle "noire". Les bobines laminées à chaud peuvent être décapées jusqu'à une certaine épaisseur et largeur. Le décapage, un traitement chimique, élimine la calamine et les impuretés de la surface du produit. Pour protéger la surface traitée contre la corrosion, une couche protectrice, généralement un film d'huile mince, est appliquée. La norme EN 10051 définit les tolérances relatives aux dimensions et à la forme des bobines et des tôles à chaud, qu'elles soient décapées ou non.



Figure II. 3 : *Laminage à chaud.*

3.2 Laminage quarto

Dans un laminoir quarto, la brame est laminée dans deux cages quarto (composées de quatre cylindres) : une dégrossisseuse et une finisseuse, jusqu'à atteindre l'épaisseur souhaitée. La plaque ainsi obtenue est ensuite refroidie et aplanie. Cette méthode permet de laminier des plaques plus larges et/ou plus épaisses que dans un laminoir à chaud de train à bandes. Selon les exigences de qualité, les propriétés mécaniques de la tôle quarto peuvent être améliorées après laminage par des traitements thermiques, comme la normalisation. La norme EN 10029 définit les tolérances relatives aux dimensions et à la forme de la tôle quarto.

Les cages des laminoirs sont généralement de type quarto, avec deux cylindres de travail de faible diamètre (environ 10 cm) pour effectuer le laminage, et deux cylindres d'appui de plus grand diamètre, comme illustré dans la Figure II.3. Différents actionneurs, tels que des vis de serrage ou des vérins, permettent d'ajuster l'épaisseur correcte à la sortie de la zone de laminage.

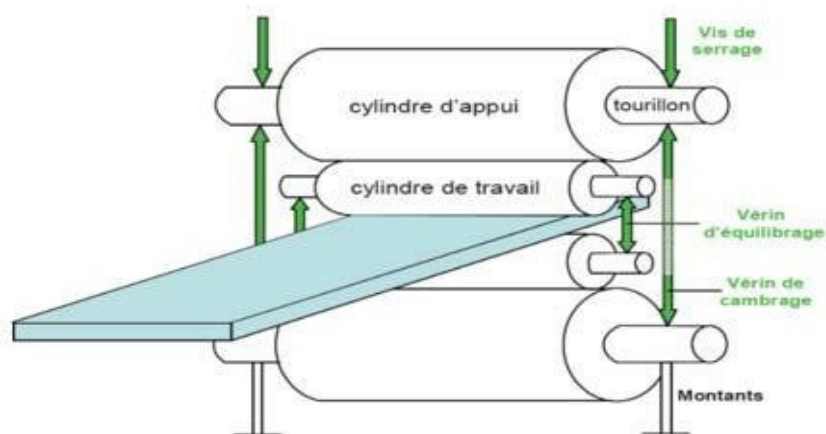


Figure II. 4 : Shéma d'une cage quarto de laminage.

3.3 Laminage à froid :

La bobine laminée à chaud et décapée peut ensuite être retravaillée dans un laminoir à froid. Ce laminoir est composé d'une série de laminoirs en tandem, à travers lesquels la bande passe pour subir une réduction d'épaisseur. À la sortie, la bande est ré enroulée avec une épaisseur allant de 0,3 mm à 2,99 mm, selon le résultat souhaité et programmé. La norme EN 10131 définit les tolérances de dimensions et de forme pour les tôles laminées à froid. Cette bande peut ensuite recevoir un revêtement protecteur.

Le laminage à froid est généralement effectué sur des laminoirs réversibles multicylindres, constitués de plusieurs cages successives, formant un train de laminage (voir la Figure II.2). Deux bobineuses sont placées de chaque côté des cages pour assurer la traction de la bande. Le processus de laminage se déroule sous un film d'huile minérale, ce qui facilite l'écoulement du métal, élimine la chaleur générée par le laminage et lubrifie les équipements internes de la cage de laminage.

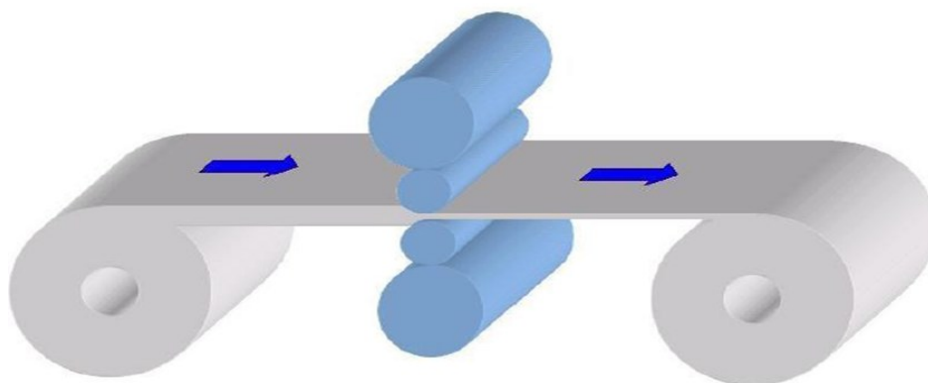


Figure II. 5 : Train de laminage

4 Emboutissage [6]

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique où une surface de métal est façonnée par un poinçon qui la presse dans une matrice. Très utilisé dans l'industrie, ce procédé permet de créer des pièces aux surfaces complexes à partir de feuilles de tôle minces montées sur presse. La tôle, appelée "flan", est la matière brute avant l'emboutissage. L'opération peut être réalisée avec ou sans serre-flan, qui maintient le flan contre la matrice pendant que le poinçon le déforme. Cette technique permet de produire rapidement des tôles embouties à moindre coût.

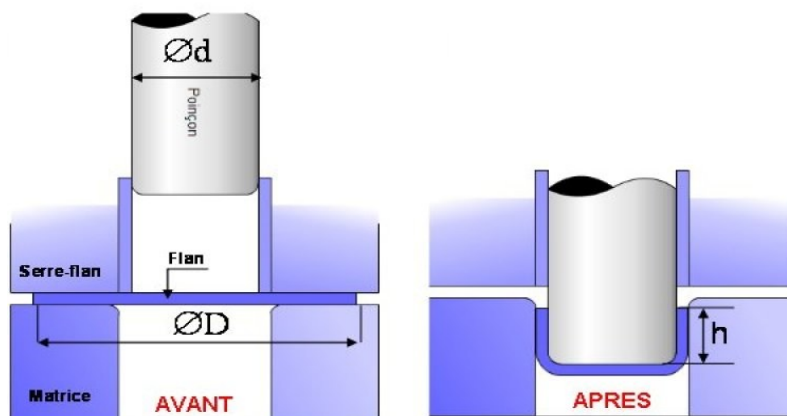


Figure II. 6 : Emboutissage.

4.1 Principe de l'emboutissage

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

1. **Phase 1** : Poinçon et serre flan sont relevés. La tôle, préalablement graissée, est posée sur la matrice (voir la **Figure II.6**).

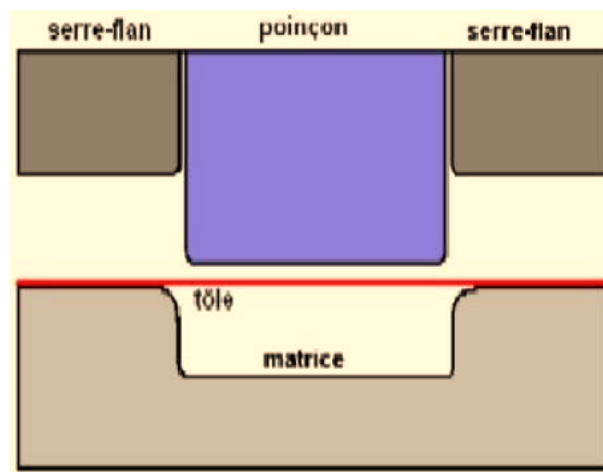


Figure II. 7 : Phase 1 de l'emboutissage.

2. **Phase 2** : Le serre-flan est descendu et vient appliquer une pression bien déterminée, afin de maintenir la tôle tout en lui permettant de fluer (voir la **Figure II.7**)

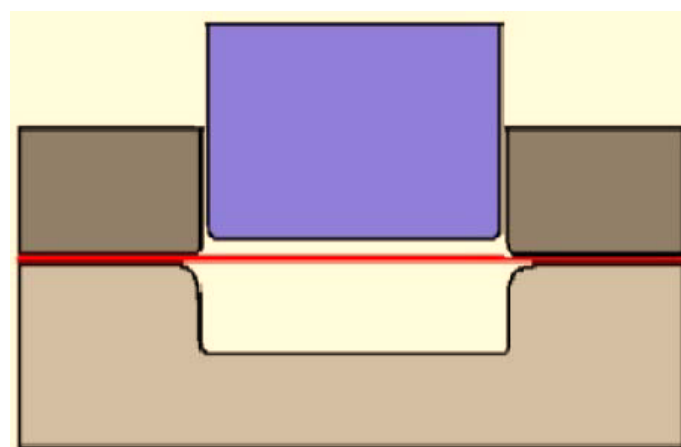


Figure II. 8 : Phase 2 de l'emboutissage.

- Phase 3** : Le poinçon descend et déforme la tôle de façon plastique, en l'appliquant contre le fond de la matrice (voir la **Figure II.8**). La tôle étant maintenue avec glissement possible entre le serre flan et la matrice, le poinçon est abaissé et vient plaquer la tôle, en la déformant, contre le fond de la matrice.

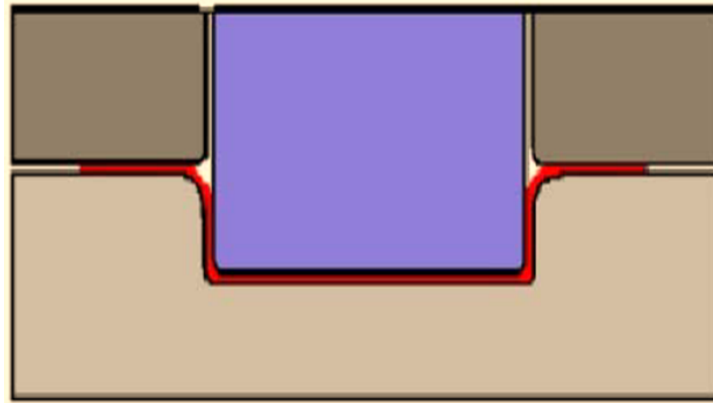


Figure II. 9 : phase 3 de l'emboutissage

- Phase 4** : Le poinçon et le serre flan se relèvent : la pièce conserve la forme acquise (limite d'élasticité dépassée) (voir la **Figure II.9**). La pièce formée reste au fond de la matrice .Il reste jusqu'à l'éjection et son détourage.

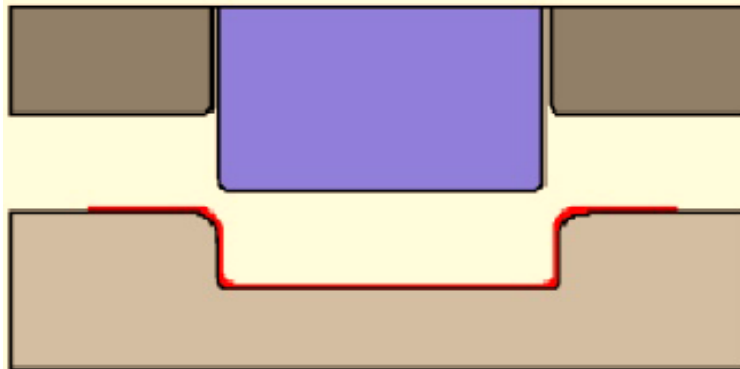


Figure II. 9 : Phase 4 de l'emboutissage.

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

4.2 Techniques d'emboutissage

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

4.2.1 Emboutissage à froid

Cette technique consiste à façonner une pièce à température ambiante. Elle est principalement réalisée avec un outillage doté d'un serre-flan, mais peut également être effectuée sans serre-flan lorsque les emboutis sont peu profonds ou requièrent un faible effort de serrage. Ce procédé de formage offre une meilleure précision dimensionnelle, réduit les coûts et empêche la formation d'oxydes.

4.2.2 Emboutissage à chaud

L'emboutissage à chaud est principalement réalisé sur des presses hydrauliques à simple ou double effet. Le formage de fonds de réservoir en acier représente l'application la plus courante de cette technique. En chauffant le flan (et la matrice), ce procédé facilite la déformation du matériau et permet l'emboutissage de pièces profondes. Toutefois, les cadences de production de l'emboutissage à chaud sont inférieures à celles de l'emboutissage à froid en raison de l'inertie thermique. De plus, les pièces obtenues présentent une qualité moindre, tant en termes d'état de surface que de précision dimensionnelle.

4.3 Effort d'emboutissage

Dans le cas d'un emboutissage cylindrique, l'effort d'emboutissage se calcule comme suit:

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

Avec :

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

d : Diamètre du poinçon, (**mm**).

e : Epaisseur de la tôle, (**mm**).

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

D : Diamètre du flan, (**en mm**).

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

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

Tableau. II.1 : Tableau de détermination du coefficient **K** en fonction de $\frac{d}{D}$ [6]

4.3.1 Effort sur le serre-flan F_s

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

Avec :

P : La pression spécifique sur le serre flan.

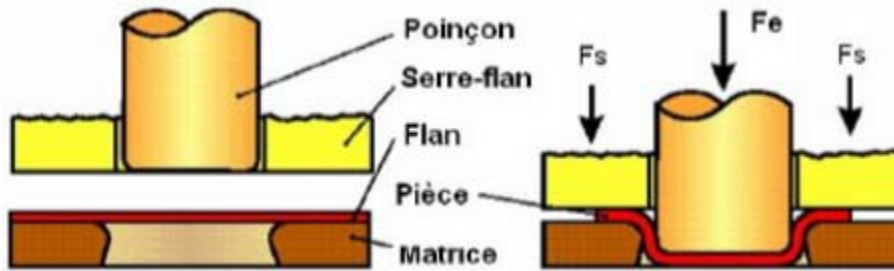


Figure II.10 : Direction des efforts F_e et F_s .

5 Découpage [7]

Le découpage mécanique est un procédé de transformation à froid des métaux réalisé sur des presses. Ce procédé est le plus couramment utilisé dans l'industrie et est considéré comme le plus rapide et le moins coûteux pour obtenir un profil spécifique dans un produit plat, que ce soit en grandes, moyennes ou petites séries.

Le découpage consiste à obtenir des pièces par cisailage de tôles, en séparant une tôle ou une bande de matière selon un contour fermé. Cette opération est réalisée sur une presse à l'aide d'un outil comprenant principalement deux éléments : les poinçons et les matrices. L'élément de tôle détaché est appelé flan. L'outil principal du procédé comprend :

- **Une matrice** : présentant un évidement correspondant à la forme souhaitée de la découpe.

- **Un poinçon** : de forme complémentaire à celle de la matrice, généralement animé d'un mouvement de translation.

Deux autres éléments essentiels interviennent également dans le processus de découpage :

- **Une bande de tôle à découper (flan)** : obtenue par séparation suivant une ligne fermée dans une bande ou une feuille de métal.
- **Un serre-flan ou dévêtisseur**: qui maintient la bande de tôle pendant le découpage, assure le guidage précis des poinçons par rapport aux matrices, et libère les poinçons de la matière découpée.

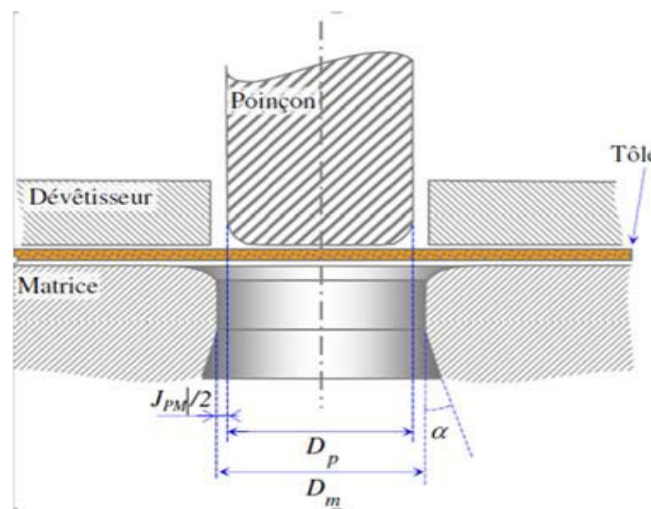


Figure II.11 : Principe du découpage.

En fonction de la complexité géométrique de la découpe, un outil de découpage peut contenir plusieurs postes de découpage. Il fait partie d'un ensemble d'éléments et d'équipements spécifiques qui assurent la réalisation de la découpe. Cet ensemble est appelé communément une ligne de découpage montré sur la **Figure II.12**.

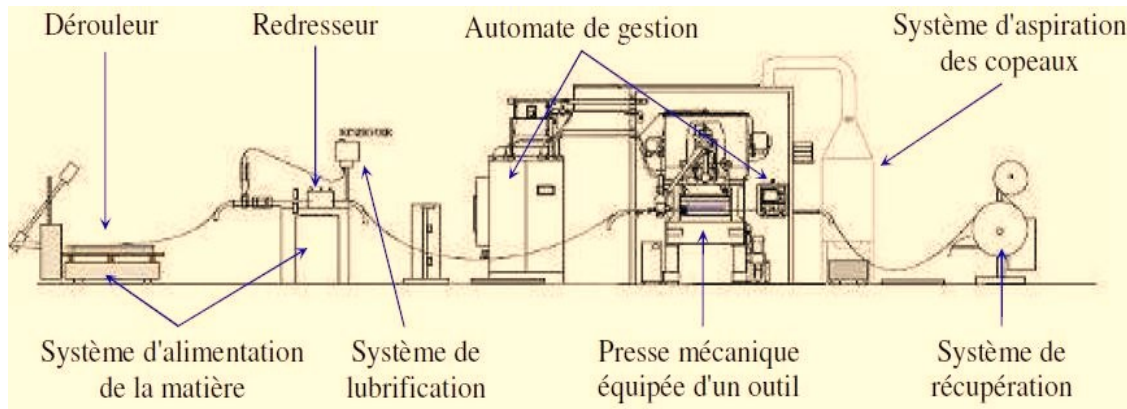


Figure II.12 : Ligne de découpe et ses périphéries .

5.1 Différents types de découpage

5.1.1 Cisailage

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

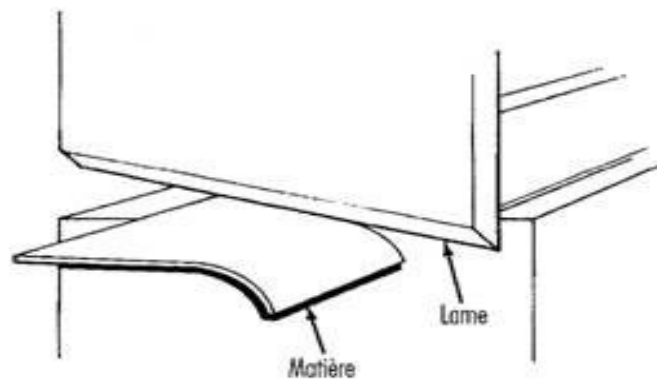


Figure II. 13: Le cisailage.

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 pour suivant sa course, provoque la rupture complète du métal intercalaire.

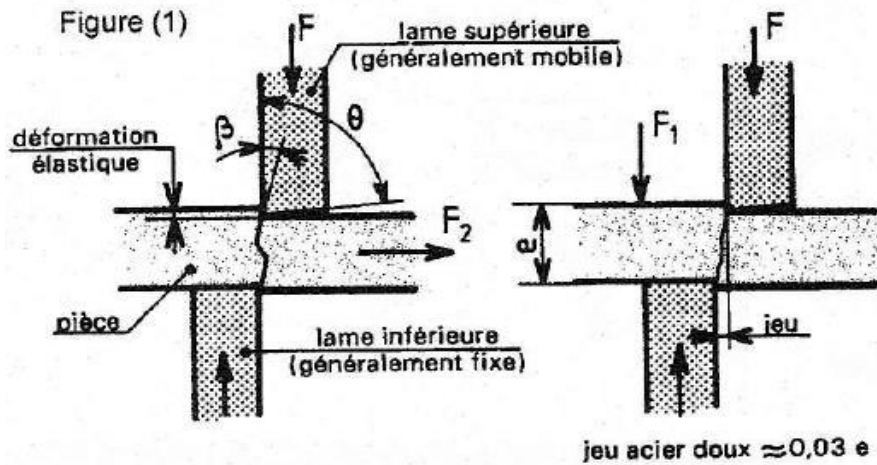


Figure II. 15 : Paramètres entrants lors du cisailage.

5.1.2 Encochage

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

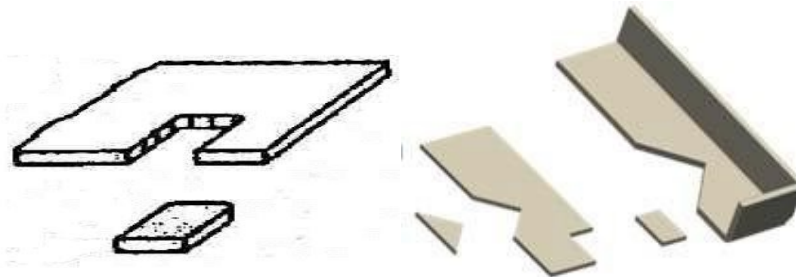


Figure II. 15 : Encochage.

5.1.3 Crevage

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

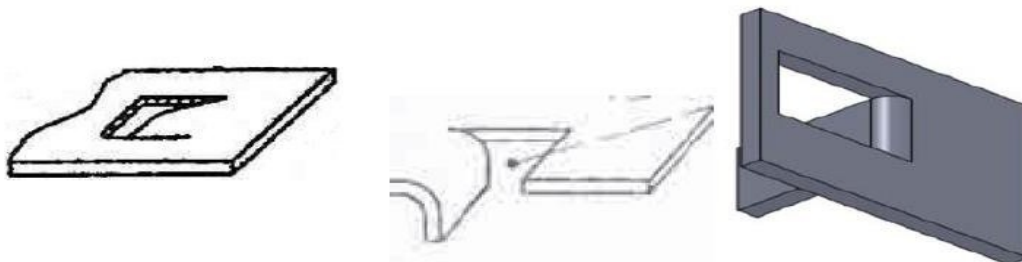


Figure II. 16 : Le crevage.

5.1.4 Ajourage

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

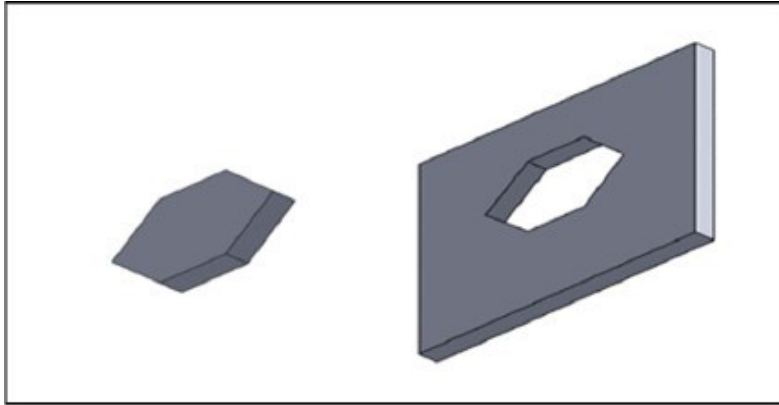


Figure II. 17: Ajourage.

5.1.5 Détourage

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



Figure II. 18 : Le détourage.

5.1.6 Soyage

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

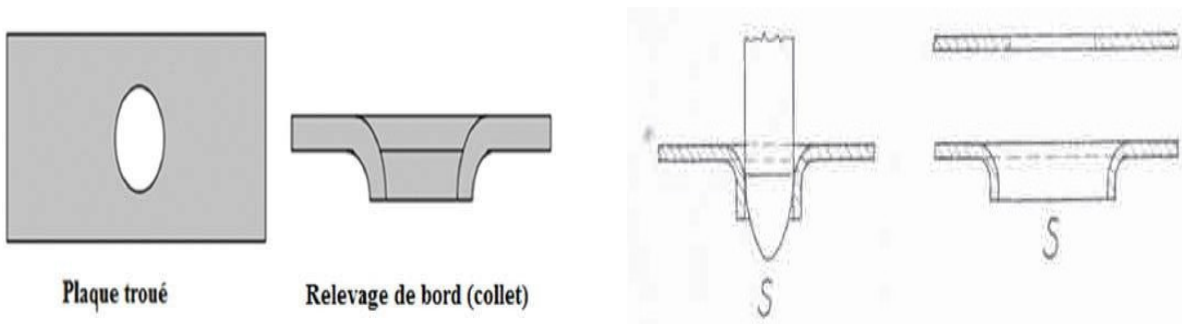


Figure II. 19 : Le soyage.

5.1.7 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 découpeuse fait suivant un tracé précis.

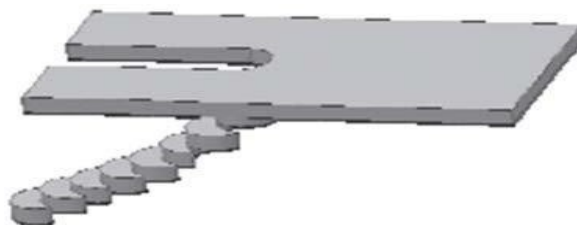


Figure II. 20 : Le grignotage

5.1.8 Grugeage

Le grugeage est une opération de découpage basée sur le même principe que le poinçonnage et appliqué pour créer des entailles de formes diverses sur des profilés.

Les entailles sont créées avec des outils de formes ce qui amène à avoir un outil spécifique pour chaque cas.

Dans le cas de production importante et répétitive, certaines machines comportent des postes multiples couplés au grugeoir mécanique

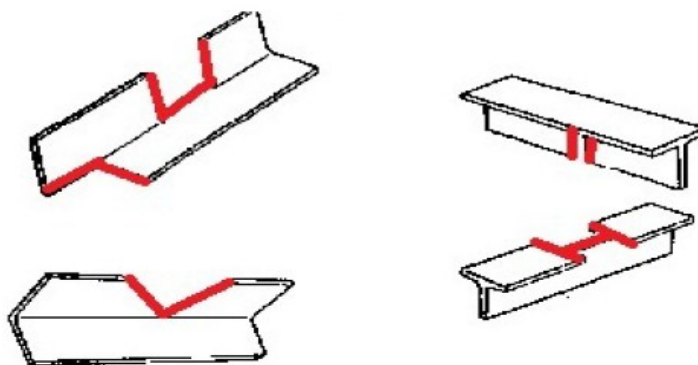


Figure II. 21: principe du grugeage.

5.2 Influence des paramètres de l'opération de découpage :

L'étude des efforts impliqués lors de l'opération de découpage a fait l'objet de nombreuses recherches. Ces études ont révélé l'impact des différents paramètres du procédé sur les efforts de découpe ainsi que sur la qualité du produit fini. Les travaux de plusieurs

chercheurs ont permis d'identifier les principaux paramètres influençant la qualité du profil découpé, notamment :

- Le jeu entre le poinçon et la matrice (jeu de découpage)
- Les paramètres liés au réglage de l'outil et de la presse
- Les paramètres liés à l'usure de l'outil

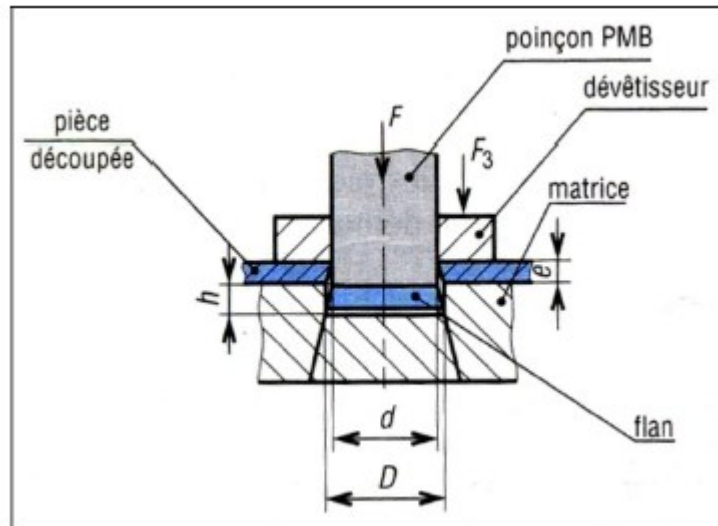


Figure II. 22 : Nomenclature des éléments de géométrie du découpage.

5.2.1 Jeu du découpage

En général, le jeu de découpage est défini comme l'espace séparant le poinçon de la matrice. Ce paramètre est crucial dans l'opération de découpage. Pour le découpage, le jeu se mesure sur le poinçon, tandis que pour le poinçonnage, il se mesure sur la matrice. Un jeu fonctionnel adéquat entre la matrice et le poinçon est essentiel pour le bon fonctionnement de l'outil. Il permet de réduire les risques de grippage ou de rupture de la matrice et assure une coupe nette et précise.

La valeur du jeu est déterminée en fonction de l'épaisseur de la bande de tôle, afin que les amorces de rupture se rejoignent parfaitement.

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

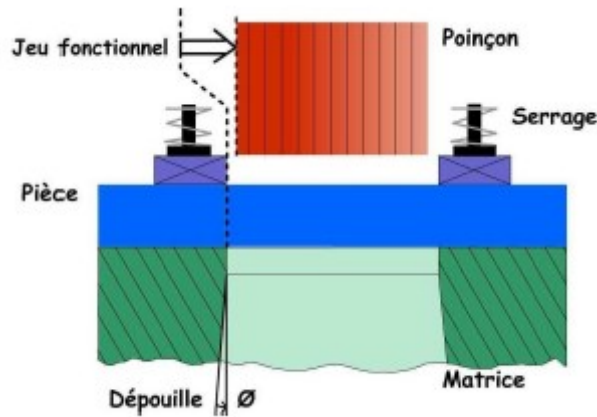


Figure II. 23 : Jeu du découpage.

6 Poinçonnage

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

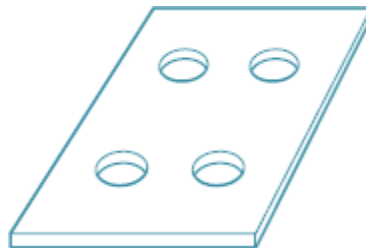


Figure II. 24: Pièce poinçonnée.

6.1 Phases du poinçonnage :

Le poinçonnage suit un mécanisme similaire à celui du découpage, en provoquant un cisaillement de la tôle. Ce cisaillement est généré par l'action de deux lames de découpage, l'une agissant en opposition à l'autre. L'écart entre les arêtes de coupe détermine l'intensité des contraintes de cisaillement. Sous l'effet de la contrainte exercée par la partie active du poinçon, le métal subit d'abord une déformation élastique, puis un glissement avec décohérence. Le poinçon poursuit sa course et provoque la rupture complète de la tôle.

Le mouvement de découpe, qui correspond à un coup de presse et à la pénétration du poinçon pour la découpe (effectué lors d'un aller-retour du coulisseau entre le point mort haut

et le point mort bas), peut être décomposé en trois phases principales. Pour éviter d'endommager le poinçon, la pénétration doit être minimale.

a. **Phase1**: 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.

b. **Phase2** : Cisaillement plastique

Les fibres superficielles sont coupées, 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.

c. **Phase3** : 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, et ces fissures se rejoignent rapidement pour créer la rupture. La zone correspondante du bord découpé est appelée «zone arrachée», la pièce est alors poinçonnée .



Figure II. 25: Phases de poinçonnage.

7 Paramètres liés au réglage de l'outil :

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

a. Le serre-flan :

Le serre-flan est utilisé pour plaquer la tôle sur la matrice pendant l'opération de découpage. Contrairement au dévêtisseur fixe, où la tôle ne vient en butée que lorsque le poinçon remonte, le serre-flan assure une meilleure précision de la géométrie du découpage et réduit l'usure de l'outil.

Il prévient la flexion de la tôle pendant le découpage, garantissant ainsi une meilleure planéité de la pièce. Cependant, si la déformation du bord du trou se produit, elle peut augmenter la pression exercée sur les flans du poinçon et accélérer l'usure de l'outil. Malgré l'utilisation d'un serre-flan, si une déformation du bord du trou se manifeste de manière irrégulière, cela peut indiquer un défaut d'appui du serre-flan.

b. Pénétration du poinçon dans la matrice :

La pénétration du poinçon dans la matrice est généralement choisie égale à l'épaisseur de la tôle. Dans certains cas, cette valeur peut être réduite, voire nulle. Une pénétration plus importante présente l'avantage d'un meilleur maintien de la débouchure dans la matrice, ce qui aide à éviter les problèmes de remontée de la débouchure pendant la fabrication. Cependant, elle comporte également certains inconvénients :

- Réduction de la cadence de la presse
- Augmentation de la maintenance de l'outil
-

c. Vitesse de découpage

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

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

7.1 Paramètres liés à l'usure de l'outil

7.1.1 Lubrification

La cinétique d'usure des poinçons est fortement influencée par la nature et la quantité de lubrifiant utilisé lors de la découpe. Bien que la tendance actuelle soit de réduire voire d'éliminer l'utilisation de lubrifiant pour des raisons économiques (comme la réduction ou la suppression du dégraissage des pièces), la lubrification demeure cruciale dans le procédé de découpage en raison des fortes contraintes exercées par la tôle sur les flancs de l'outil. Une lubrification adéquate est donc essentielle pour prolonger la durée de vie de l'outil.

7.1.2 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.

8 Effort du découpage et du poinçonnage

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

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

Avec :

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

P : Périmètre de coupe, (en mm),

e : Epaisseur de la tôle, (en mm),

R_c : Résistance au cisaillement de la tôle, (en MPa),

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

8.1 Contraintes sur les poinçons

8.1.1 Contrainte de compression

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

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

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

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

Avec :

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

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

F : Effort de découpage, (en N),

S : Section du poinçon, (en mm²).

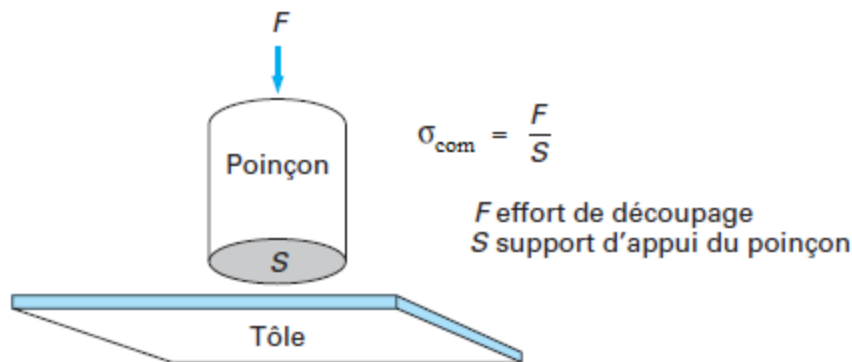


Figure II.26: Contrainte de compression sur le poinçon.

Pour les poinçons de petites sections ou de grandes longueurs, la contrainte de compression peut entraîner un flambement. Il est donc important de prévoir ce risque et de déterminer la charge critique (PCR) en utilisant la formule du flambement d'Euler. Dans les outils à bande, les poinçons sont généralement encastés d'un côté et libres de l'autre.

La condition de résistance impose que l'effort de découpage ne dépasse pas la charge critique de flambement du poinçon, ce qui peut être exprimé par la relation :

Effort de découpage ≤ Charge critique de flambement

Cela garantit que le poinçon reste stable et fonctionnel pendant le processus de découpage

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

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

Avec :

F : L'effort de découpage, (en N),

P_{cr}: La charge critique du flambement, (en N),

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

I: Moment d'inertie du poinçon, (en mm⁴),

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

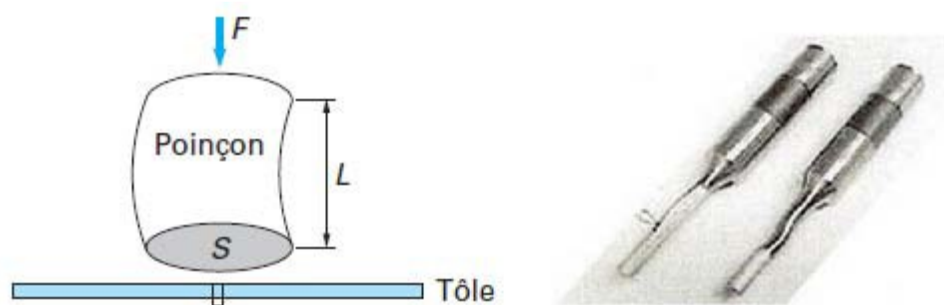


Figure II.27: Etat d'un flambement du poinçon de découpage.

9 Pliage [8]

Le pliage est une opération de déformation à froid qui consiste à transformer une tôle plane en modifiant brusquement la direction de ses fibres selon un angle spécifique. Cette conformation est utilisée pour obtenir des déformations irréversibles afin de donner à la pièce les caractéristiques souhaitées.

Le pliage est réalisé en appliquant une force sur la longueur de la pièce, qui est supportée par deux lignes d'appui, semblables à une flexion. Pour atteindre l'angle désiré, il est nécessaire de dépasser la limite élastique du matériau.

Il existe plusieurs techniques de pliage, telles que :

- Pliage en l'air dans une presse-plieuse
- Pliage en frappe
- Pliage sur plieuse à sommier ou plieuse universelle

Chaque méthode offre des avantages spécifiques en fonction des besoins de production et des caractéristiques de la pièce à plier.

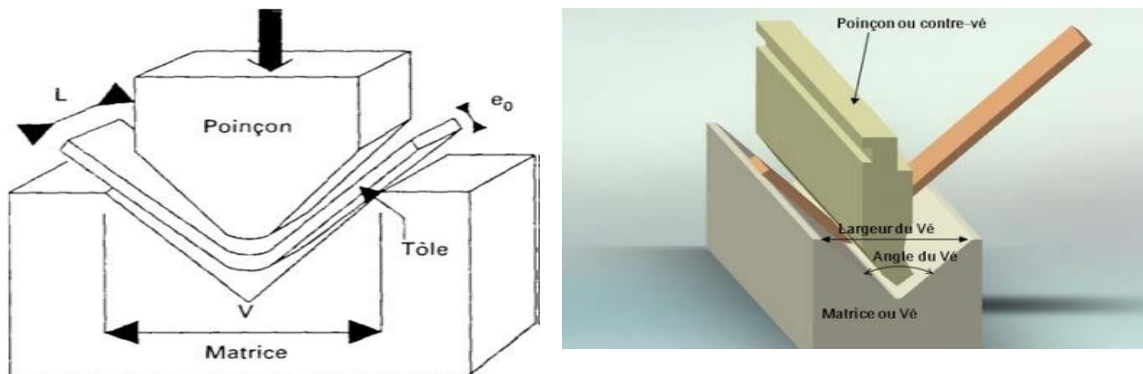


Figure II. 28 : Technique du pliage.

9.1 Différents modes de pliage :

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

9.1.1 Pliage en V (en presse plieuse)

Dans le cas du pliage en V, le serre-flan n'est pas nécessaire. La variation de l'angle du poinçon et de la matrice entraîne une variation de l'angle de formage de la tôle. Le pliage en V peut être réalisé par deux procédés, en fonction de la course imposée au poinçon :

- En l'air,
- En frappe.

Pour ces deux méthodes, le schéma de pliage est similaire à celui de la flexion. Les points d'appui correspondent aux arêtes du "V", et une flèche représente la force appliquée. C'est le réglage de la descente du poinçon qui détermine l'angle final du pliage.

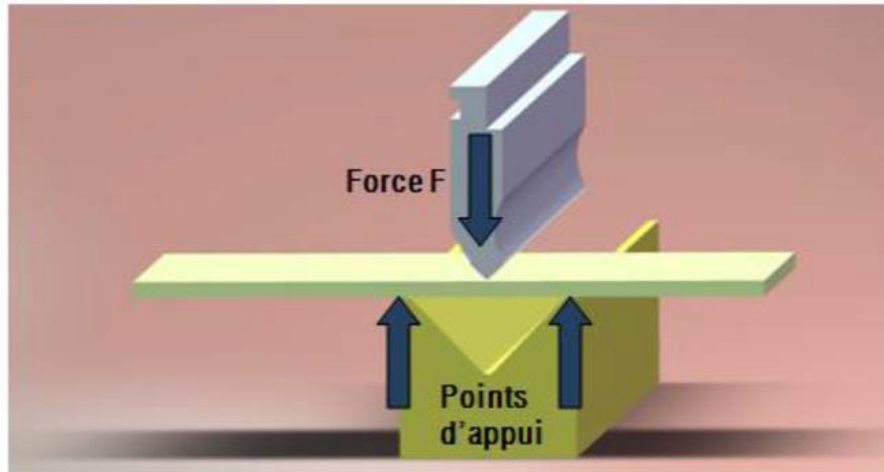


Figure II. 29 : Principe du pliage en V.

9.1.2 Pliage en l'air

Cette méthode de pliage est adaptée pour les tôles épaisses. La matrice est constituée de deux points d'appui où la tôle se place pendant le pliage.

L'effort de pliage cesse lorsque la tôle atteint le fond du "V". L'angle final obtenu est celui du "V" augmenté du retour élastique de la tôle, qui est généralement d'environ 2 à 3°. Ce mode de pliage est largement utilisé car il nécessite environ 5 fois moins de force que le pliage en frappe. Pour obtenir des angles de 90° à 180°, l'angle du poinçon est généralement de 88°.

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

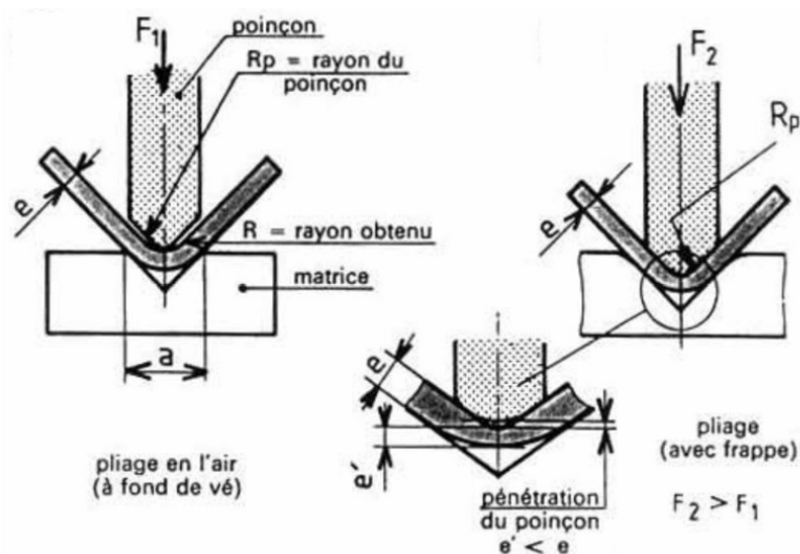


Figure II. 30 : Principe du pliage en l'air.

9.1.3 Pliage en frappe

Cette opération de pliage se déroule en deux étapes :

1. **Pliage "en l'air"** : On effectue d'abord un pliage jusqu'à l'angle désiré.
2. **Pliage en frappe** : Ensuite, le poinçon descend rapidement et frappe la tôle, ce qui réduit, voire élimine totalement, le retour élastique. Cette étape consiste en un emboutissage de la pièce en appliquant une force importante.

L'angle du poinçon et de la matrice doivent être égaux à l'angle souhaité pour obtenir le pliage désiré. Cette méthode est spécifiquement adaptée aux tôles d'épaisseur inférieure à 2 mm. Le matriçage de l'intérieur du pli permet d'atteindre des angles très précis ($\pm 0,5^\circ$).

Les figures suivantes illustrent les outils utilisés pour le pliage en l'air et le pliage en frappe.

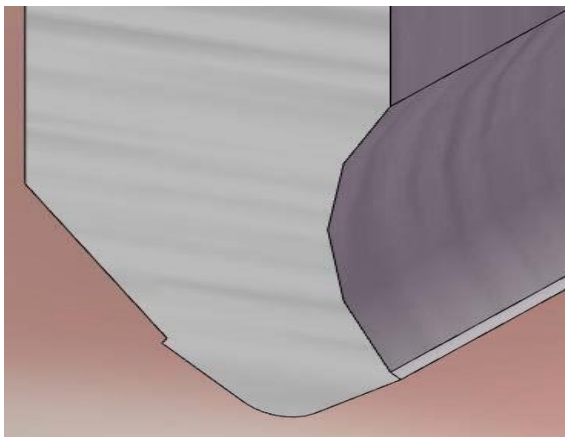


Figure II. 31 : Outil de pliage en l'air.

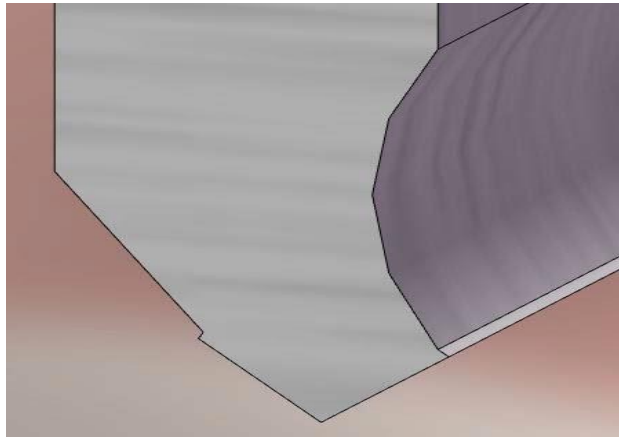


Figure II. 32 : Outil de pliage en frappe

9.1.4 Pliage en U

Le principe du pliage en U est similaire à celui du pliage en V, mais les outils (poinçons et matrices) sont différents. Ce procédé s'apparente davantage à de l'emboutissage. Il permet d'obtenir une grande variété de formes pliées, à condition que les outils appropriés soient disponibles.

Le pliage en U utilise un serre-flan mobile pour maintenir la matière sous le poinçon, ce qui empêche le glissement de la tôle lors de la mise en forme entre les deux blocs matrices. Cela assure une meilleure précision et stabilité pendant le processus de pliage.

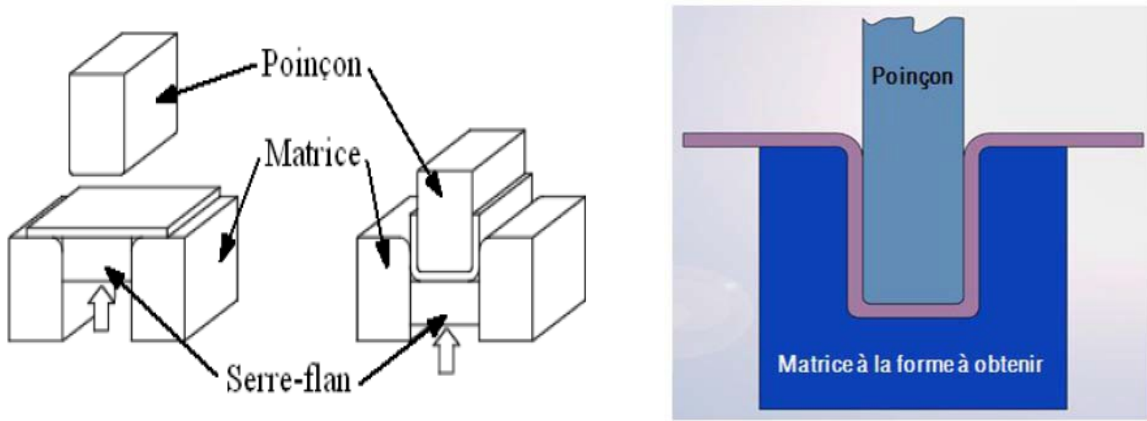


Figure II. 33 : Principe du pliage en U.

9.1.5 Pliage en L

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

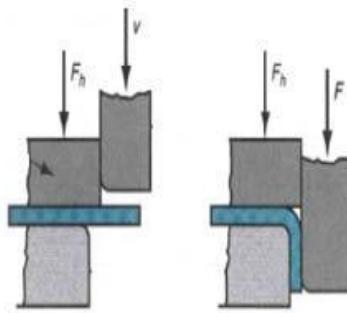


Figure II. 34 : Pliage en L.

9.2 Rayon du au pliage

Lors de l'opération de pliage, des déformations apparaissent dans la zone pliée : les fibres intérieures sont comprimées, tandis que les fibres extérieures sont étirées (sollicitées en traction), ce qui entraîne un angle de pliage. Plus le rayon de pliage est petit, plus les déformations sont importantes.

Pour les pliages avec un angle très aigu, où le rayon est nul ($R = 0$), des criques peuvent apparaître sur la zone étirée de la pièce, ce qui rend la pièce inutilisable.

Pour garantir un pliage réussi, le rayon de pliage R doit être suffisamment grand. Idéalement, il devrait être au moins 5 fois l'épaisseur de la tôle. Cela aide à réduire les déformations et à éviter la formation de criques.

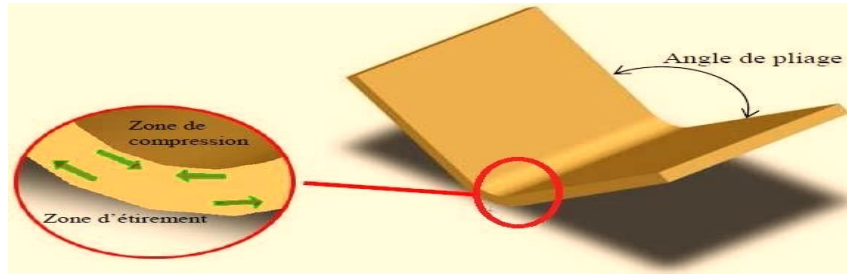


Figure II. 35 : Angle du pliage.

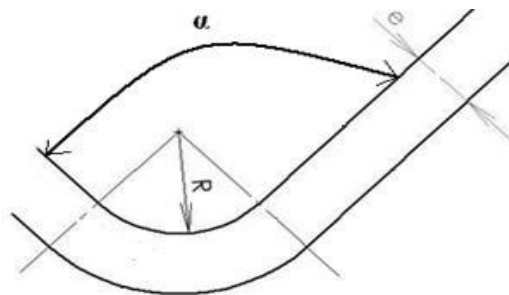


Figure II. 36 : Rayon du pliage.



Figure II. 37 : Déformations à un angle vif ($R=0$).

9.2.1 Position de la fibre neutre :

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

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

Elle se situe à la distance « a » du bord intérieur (voir figure II.38). Suivant le rapport (R_i/e), la distance « a » varie, comme l'indique le Tableau suivant :

Ri/e	Approche1	Approche2	Approche3
A	e/3	2e/5	e/2

Tableau II. 1 : Variation de la distance « a » suivant le rapport (Ri/e).

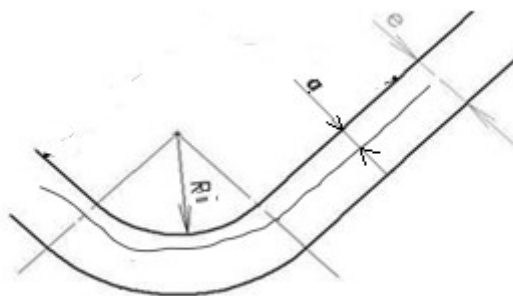


Figure II. 38 : Position de la fibre neutre.

9.2.1.1 Rayon de la fibre neutre :

Le maintien de l'équilibre des sections l'une qui augmente, l'autre qui diminue provoque un déplacement de la fibre neutre vers le rayon intérieur

Le rayon de fibre est donné par la relation :

$$R_f = R_i + K \times e \quad (II.6)$$

Avec :

K : Coefficient qui dépend de rapport $\frac{R_i}{e}$ donné par le tableau suivant :

Ri / e	> 0.65	> 1.00	> 1.50	> 2.40	> 3.80
K	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50

Tableau II. 2 : Variation de Coefficient de proportionnalité « K » suivant le rapport (Ri/e).

9.3 Retour élastique

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

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

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

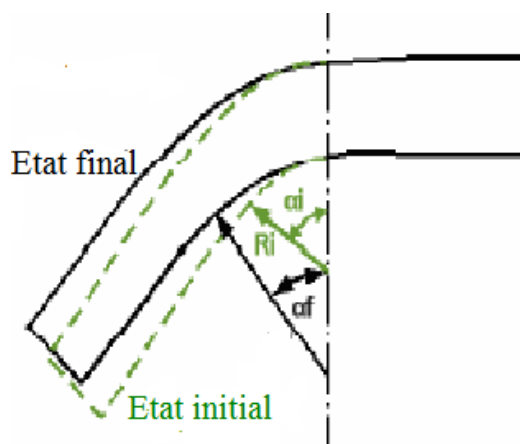


Figure II. 39 : Phénomène du retour élastique.

9.4 Paramètres influents sur l'opération du pliage

Les différents paramètres influant sur le pliage ont comme suit:

9.4.1 -Rayon de la matrice du pliage

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

$$r \geq 2e \quad (\text{II.7})$$

9.4.2 -Jeu du pliage

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

$$J \geq e + \text{tolérance max}$$

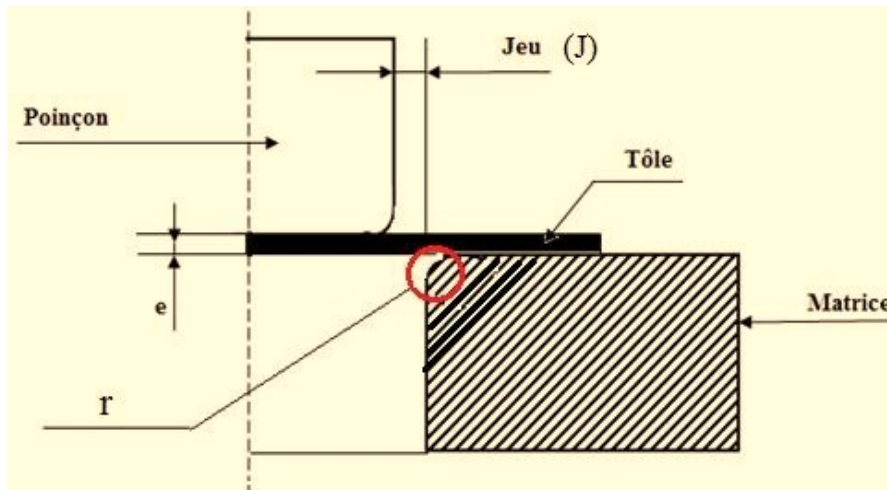


Figure II. 40 : Jeu du pliage et le rayon de la matrice.

9.4.3 Effort du pliage

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

$$P \text{ c R} = \frac{e \times L \times Rc}{10} \quad (\text{II.8})$$

Avec :

e: l'épaisseur de la tôle, (en mm).

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

R_C: Résistance de la tôle au cisaillement, (en da N/mm²).

10 -Conclusion

Avant toute mise en forme, le métal est préparé sous forme de tôles, obtenues à partir de brames (blocs d'acier brut) par diverses étapes successives de laminage. Les techniques de mise en forme des métaux par déformation plastique, décrites dans ce chapitre, visent à donner une forme définie au métal tout en modifiant sa microstructure pour obtenir des produits avec les propriétés recherchées.

Ces techniques de mise en forme sont effectuées sur des presses, ce qui permet de minimiser les coûts de production tout en obtenant des produits avec la géométrie souhaitée.

Chapitre III

Presses mécaniques et leurs équipements utilisés :

1 Introductions :

Les presses mécaniques sont des machines essentielles utilisées dans de nombreux secteurs industriels pour effectuer des opérations de formage, de découpe, de pliage et de compression. Elles sont conçues pour appliquer une force mécanique précise sur un matériau afin de le transformer selon les besoins spécifiques de la production.

Les presses mécaniques peuvent être classées en fonction de leur principe de fonctionnement, de leur capacité de charge, de leur taille et de leurs équipements intégrés. Elles sont souvent utilisées dans des industries telles que l'automobile, l'aérospatiale, la métallurgie, la plasturgie et bien d'autres encore. Grâce à leur polyvalence et à leur capacité à fournir une force de compression contrôlée,

Les presses mécaniques sont des outils indispensables pour de nombreuses applications de fabrication industrielle. Dans cette présentation, nous explorerons les différents types de presses mécaniques, leurs principes de fonctionnement, ainsi que les équipements couramment utilisés avec ces machines pour réaliser une variété de processus de production.

2 Classement des presses mécaniques [10]

Les presses mécaniques peuvent être classées en fonction de différents critères. Voici un classement courant basé sur certains de ces critères :

2.1 Classement selon le principe de fonctionnement :

La presse mécanique est une machine utilisée pour exercer une force sur un matériau afin de le façonner ou de le transformer. Le mode de transmission d'énergie dans une presse mécanique peut varier en fonction de sa conception et de son fonctionnement. Les deux principaux modes de transmission d'énergie sont les suivants

2.1.1 Transmission mécanique directe :

Dans ce mode, l'énergie est transmise directement du moteur ou de la source d'énergie à la pièce à travailler par l'intermédiaire d'un système mécanique tel qu'un volant d'inertie, une bielle-manivelle, des engrenages, etc. Ce type de transmission est souvent utilisé dans les presses mécaniques plus anciennes ou de plus petite taille. Il peut nécessiter une configuration complexe de pièces mécaniques, ce qui peut rendre l'ensemble plus encombrant et moins efficace en termes de transfert d'énergie.



Figure III.1 : Presse Mécanique

2.1.2 Transmission hydraulique

Dans ce mode, l'énergie est transmise à travers un système hydraulique composé d'un fluide sous pression (généralement de l'huile) qui est pompé dans un vérin hydraulique. Le vérin hydraulique convertit ensuite cette énergie hydraulique en énergie mécanique pour effectuer le travail. Ce type de transmission est couramment utilisé dans les presses mécaniques modernes de grande taille. Il offre plusieurs avantages, notamment une transmission d'énergie plus efficace, une régulation précise de la force et de la vitesse de descente du coulisseau, une meilleure sécurité et une maintenance réduite.



Figure III 2 : *Presse hydraulique*

2.2 Classement Selon la forme du bâti :

La forme du bâti d'une presse mécanique peut varier, ce qui peut avoir un impact sur ses performances et ses fonctionnalités. Voici quelques différences courantes en fonction de la forme du bâti :

2.2.1 Presse à colonnes :

Ce type de presse mécanique a une structure en forme de colonne, avec des colonnes verticales qui soutiennent le bâti et guident le mouvement du coulisseau. Les presses à colonnes offrent une bonne stabilité et une rigidité élevée, ce qui les rend adaptées aux opérations nécessitant une précision élevée et une force importante.



Figure III 3: *Presse à colonnes*

2.2.2 Presse à montants

Dans ce type de presse mécanique, le bâti est constitué de montants verticaux situés de part et d'autre du coulisseau. Les montants fournissent un support solide et une meilleure résistance aux forces latérales, ce qui les rend adaptés aux opérations nécessitant une grande stabilité et une résistance accrue.



Figure III 4 : Presse à montants

2.2.3 Presse à genouillère

Dans une presse mécanique à genouillère, le bâti est composé d'une genouillère, qui est une structure en forme de genou pliée. La genouillère offre une grande flexibilité dans le mouvement du coulisseau, ce qui permet des opérations de formage complexes. Cependant, ce type de presse peut être moins rigide que d'autres conceptions et peut présenter des limitations en termes de force appliquée.



Figure III 5 : Presse à genouillère

Il est important de choisir la forme du bâti de la presse mécanique en fonction des besoins spécifiques de l'application, en tenant compte de facteurs tels que la précision requise, la force nécessaire, la complexité des opérations et l'accessibilité à la zone de travail.

2.3 Classement selon le nombre de coulisseau :

En fonction du nombre de coulisseaux, les presses mécaniques peuvent être classées en différentes catégories :

2.3.1 Presse à simple coulisseau

C'est le type de presse mécanique le plus courant, avec un seul coulisseau qui exerce la force sur la pièce à travailler. Ce coulisseau peut se déplacer de manière rectiligne (dans un mouvement vertical ou horizontal) ou suivre une trajectoire plus complexe, en fonction de la conception de la presse. Les presses à simple coulisseau conviennent à une large gamme d'applications, du découpage au poinçonnage en passant par le formage.

2.3.2 Presse à double coulisseau

Ces presses mécaniques comportent deux coulisseaux indépendants qui peuvent fonctionner simultanément sur la même pièce ou sur des pièces différentes. Les presses à double coulisseau offrent une plus grande flexibilité pour des opérations telles que le formage symétrique ou la réalisation de deux opérations distinctes en une seule étape

2.3.3 Presse à triple coulisseau :

Les presses à triple coulisseau ont trois coulisseaux qui peuvent être utilisés pour des opérations plus complexes nécessitant des mouvements coordonnés ou des configurations spécifiques. Elles sont moins courantes que les presses à simple ou double coulisseau et sont généralement utilisées pour des applications très spécifiques et avancées.

3 Caractéristique d'une presse

Une presse mécanique possède plusieurs caractéristiques qui définissent ses capacités et son fonctionnement. Voici quelques-unes des caractéristiques importantes d'une presse mécanique :

- Capacité de charge
- Course du coulisseau
- Vitesse de fonctionnement (cadence)
- Taille de la table
- Flexibilité

4 Exigence de choix d'une presse :

Le choix d'une presse mécanique doit être fait en tenant compte de plusieurs exigences spécifiques à l'application envisagée. Voici quelques-unes des principales exigences à prendre en considération lors du choix d'une presse :

- Type d'opération
- Capacité de charge
- Course du coulisseau
- Dimension de l'outil et de la pièce.
- Longueur de course des coulisseaux.

5 Les constituants essentiels d'un outil d'une presse :

Les outils de presse sont des dispositifs utilisés dans les presses mécaniques pour façonner les matériaux, tels que les métaux, en réalisant des opérations de formage, de découpe, de poinçonnage ou d'emboutissage. Ils sont spécifiquement conçus pour répondre

aux besoins de chaque application de production et sont essentiels pour obtenir des pièces conformes aux spécifications requises.

Cet outil de presse est fabriqué avec une grande précision mécanique, supposé être indéformable, et généralement composé d'une partie mobile supérieure (le poinçon) fixée sur le coulisseau, et d'une partie inférieure fixe (la matrice) fixée sur la table de la presse. Cet ensemble, parfaitement guidé, permet de travailler la tôle en effectuant des opérations successives telles que le découpage, le pliage, le cambrage, l'emboutissage, etc., afin d'obtenir la pièce souhaitée.

5.1 Le poinçon

Le poinçon est un composant essentiel d'un outil de presse utilisé pour réaliser des opérations de découpage, de poinçonnage ou de formage sur différents matériaux. Il exerce une force sur le matériau pour le découper, le perforer ou le former selon une forme spécifique. Le poinçon peut avoir une variété de formes en fonction de l'opération et de la géométrie souhaitée pour la pièce finale. Il est généralement fabriqué à partir d'un matériau résistant à l'usure et aux contraintes mécaniques, tel que l'acier trempé ou les aciers à outils.

5.2 La matrice:

La matrice est un composant d'un outil de presse utilisé pour façonner les matériaux lors d'opérations de découpage, de formage ou d'emboutissage. Elle complète le poinçon et détermine la forme finale de la pièce à réaliser. Fabriquée en matériau résistant, elle est fixée à la table de la presse et équipée de dispositifs de guidage pour assurer un alignement précis avec le poinçon. La matrice joue un rôle clé dans le processus de formage et contribue à obtenir des résultats de qualité.

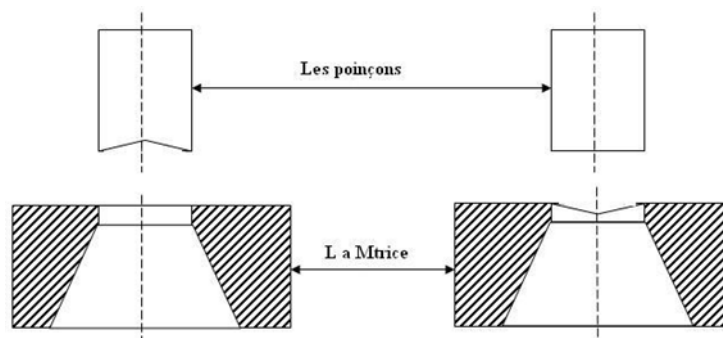


Figure III 6 : Illustration poinçon et matrice

6 Types d'outils de presse [11]

L'outil à presse-bande : également connu sous le nom d'outil à bande transporteuse, est un type d'outil utilisé dans les opérations de formage et de fabrication où une bande de matériau continu est alimentée à travers l'outil pour effectuer des opérations de découpe, de poinçonnage, de perforation, de marquage, etc.

Cet outil est généralement utilisé pour le traitement de matériaux minces tels que les métaux, le plastique, le papier, le tissu, le cuir, etc. Il permet de réaliser des opérations à haute cadence et de manière continue, ce qui en fait un choix efficace pour les processus de production à grande échelle.

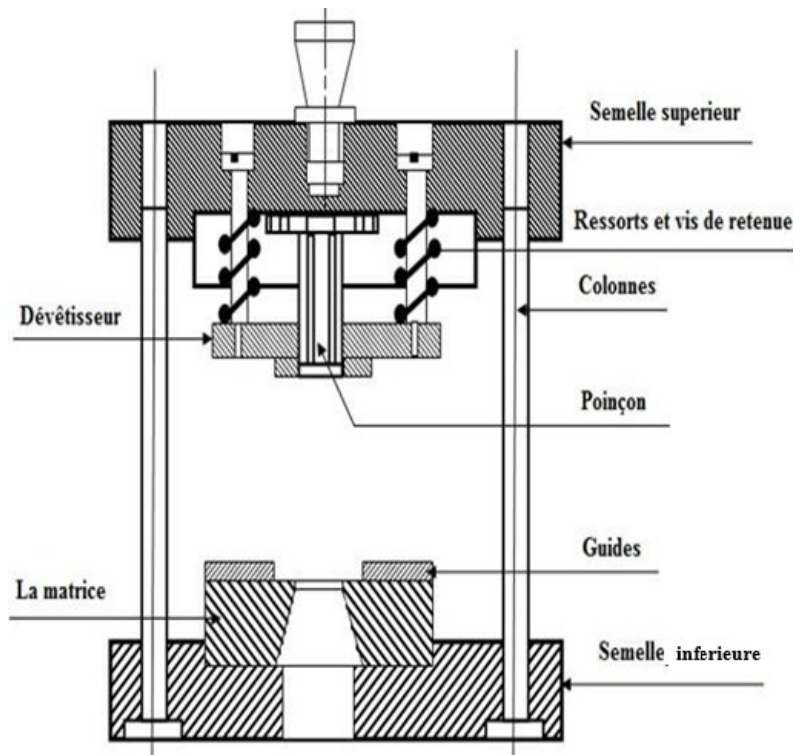


Figure III 7: Outil à presse-bande.

6.1 L'outil de détourage

L'outil détourage a pour fonction de découper les pièces obtenues après emboutissage en éliminant les excédents de matière tels que les collerettes ou les bords irréguliers. On peut distinguer trois types d'outils de détourage différents pour cette tâche.

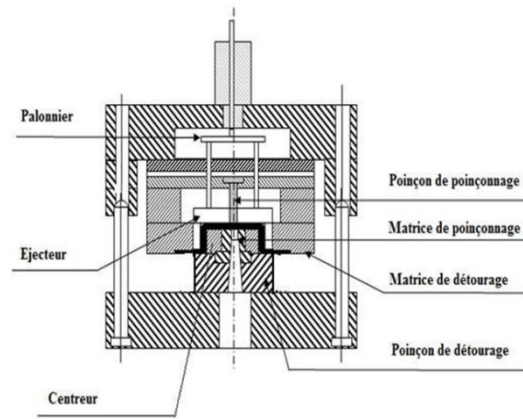


Figure III 8 : *Outil de détournage-poinçonnage.*

6.2 L'outil d'emboutissage

est un équipement utilisé dans le processus d'emboutissage, qui consiste à déformer une feuille de matériau pour lui donner une forme spécifique. Cet outil est conçu pour exercer une force sur la feuille de matériau afin de la contraindre à prendre la forme voulue. L'outil d'emboutissage se compose généralement de deux parties principales : le poinçon supérieur et la matrice inférieure. Le poinçon est une pièce mobile qui descend sur la feuille de matériau pour la déformer, tandis que la matrice est une pièce fixe qui soutient la feuille de matériau et lui donne la forme souhaitée. Ces deux parties s'ajustent de manière précise pour garantir une déformation uniforme de la feuille.

L'outil d'emboutissage peut être utilisé avec ou sans l'utilisation d'un serre-flan. Le serre-flan, également appelé pince-flan, est un dispositif qui maintient le matériau en place pendant le processus d'emboutissage pour éviter le mouvement indésirable ou le déplacement de la feuille de matériau.

Lorsque l'outil d'emboutissage est utilisé sans serre-flan, le matériau est généralement maintenu en place par des dispositifs de serrage ou des fixations intégrées à la presse ou à l'outil lui-même. Ces systèmes de fixation assurent que la feuille de matériau reste stable et en position pendant le processus d'emboutissage.

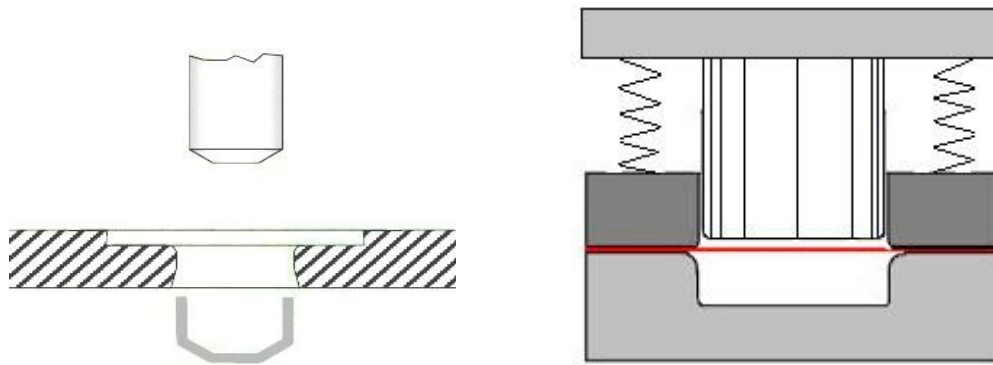


Figure III 8 : a) *Outil d'emboutissage Sans Serre-Flan*

b) *Outil d'emboutissage à Serre-Flan*

6.3 L'outil de pliage

Les outils de pliage sont variés à l'infini et sont déterminés par la pièce à produire. On distingue trois de ces derniers :

6.3.1 Outil de pliage en V

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

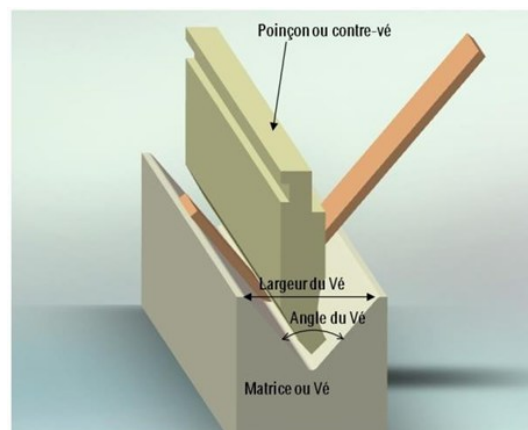


Figure III 9 : *Outil de pliage en V.*

6.3.2 Outil de pliage en U

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

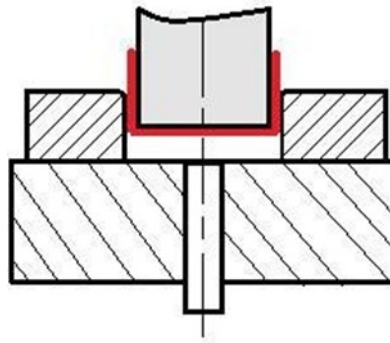


Figure III 10 : Exemple d'outil de pliage en U.

6.4 Outil de Détourage :

L'outil de détourage est utilisé pour découper les pièces obtenues après l'emboutissage en éliminant la matière superflue, comme les collerettes ou les bords irréguliers. On distingue trois (03) types principaux d'outils de détourage pour accomplir cette tâche.

6.4.1 Détourage normale

Le détourage normal consiste à éliminer les excédents de matière sur une pièce emboutie, comme les rebords ou les irrégularités, afin d'obtenir des contours nets et conformes aux spécifications. Ce type de détourage est couramment utilisé pour préparer les pièces à l'assemblage ou à d'autres opérations de finition.

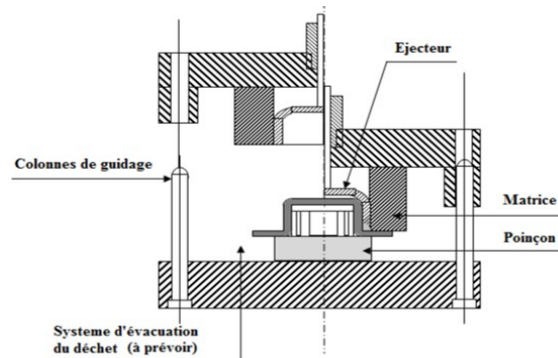


Figure III 10 : Outil de détourage normale

6.4.2 Détourage a ras

Le détourage à ras consiste à enlever la matière en excès en suivant de près les contours de la pièce. Cette méthode permet d'obtenir des bords propres et réguliers, sans laisser de surplus. Elle est utilisée quand on a besoin d'un ajustement précis et d'une finition soignée.

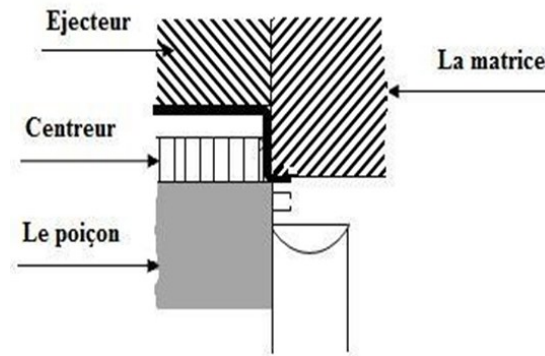


Figure III. 11 : Outil de détournage à ras

6.4.3 Détournage-poinçonnage

Le détournage-poinçonnage combine deux opérations en une seule : le découpage de la matière excédentaire et le poinçonnage de trous ou d'ouvertures spécifiques dans la pièce. Ce procédé est particulièrement efficace pour les pièces qui nécessitent à la fois un ajustement précis des contours et l'ajout de perforations, réduisant ainsi le nombre d'étapes de fabrication et augmentant la productivité.

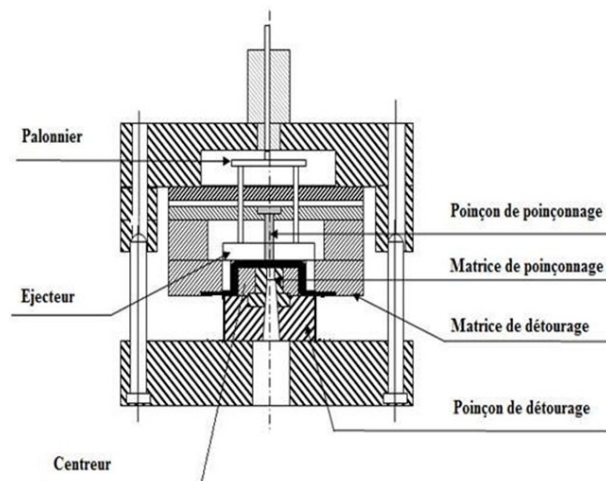


Figure III. 12 : Outil de détournage-poinçonnage.

7 Montage des Outils sur les Presses

Le montage des outils sur les presses est une étape essentielle dans le processus de production. Il consiste à fixer les différents composants de l'outil, tels que le poinçon, la matrice et éventuellement d'autres éléments, sur la presse de manière sécurisée et précise. Voici les étapes générales du montage des outils sur les presses :

7.1 Préparation de la presse :

Avant de commencer le montage de l'outil, il est important de préparer la presse en s'assurant qu'elle est propre, en bon état de fonctionnement et adaptée à l'outil à monter. Cela peut impliquer le nettoyage de la presse, la vérification des systèmes de serrage et de guidage, ainsi que l'ajustement des paramètres de la presse en fonction des spécifications de l'outil.

7.2 Positionnement de l'outil :

L'outil est positionné sur la presse en fonction de la configuration requise pour le processus de production spécifique. Le poinçon, la matrice et éventuellement d'autres éléments de l'outil sont placés de manière à permettre le bon fonctionnement du processus d'emboutissage ou de découpe. Des dispositifs de serrage ou de bridage sont utilisés pour maintenir l'outil en place pendant les opérations.

7.3 Alignement et réglages :

Une fois l'outil positionné, il est important de s'assurer de son alignement précis par rapport à la presse. Cela peut nécessiter l'utilisation de dispositifs de réglage tels que des cales, des entretoises ou des vis de réglage. L'objectif est d'obtenir un alignement correct entre le poinçon et la matrice, afin d'assurer un emboutissage ou une découpe précise et de minimiser les risques de défauts ou de dommages.

7.4 Vérification de la sécurité :

Avant de démarrer la production, il est important de vérifier la sécurité de l'installation de l'outil sur la presse. Cela implique de s'assurer que tous les dispositifs de sécurité de la presse sont en place et fonctionnent correctement, tels que les dispositifs de protection des mains, les interrupteurs de sécurité et les systèmes d'arrêt d'urgence. La formation des opérateurs sur les procédures de sécurité est également essentielle.

7.5 Essais et ajustements :

Une fois l'outil monté, des essais peuvent être réalisés pour s'assurer de son bon fonctionnement. Cela peut impliquer l'exécution de cycles d'emboutissage ou de découpe de test pour vérifier la qualité des pièces produites, ainsi que l'ajustement des paramètres de la presse ou de l'outil si nécessaire pour optimiser les résultats.

8 Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons exploré en détail les diverses presses utilisées dans l'industrie, en nous concentrant sur leur classification, leur mode de fonctionnement et les mécanismes de commande associés. De plus, nous avons examiné les nombreux types d'outils utilisés dans l'industrie, ce qui nous a permis d'acquérir une compréhension globale de la conception de notre outil.

En résumé, ce chapitre nous a fourni une vue d'ensemble complète des presses et des outils utilisés dans l'industrie. Cette connaissance approfondie nous permet de mieux comprendre les différentes options disponibles pour concevoir nos propres outils, en tenant compte des spécificités de chaque type de presse. Cela nous donne une base solide pour prendre des décisions éclairées lors de la conception et de l'utilisation d'outils adaptés à nos besoins spécifiques.

CHAPITRE IV

ETUDE ET CONCEPTION

1 Introduction

Pour fabriquer une pièce industrielle, il est nécessaire de passer par plusieurs machines, telles que les presses, qui sont adaptées aux exigences des fabricants. Le concepteur de l'outil doit respecter des dimensions précises afin d'assurer un bon montage sur la presse. Son objectif est de produire des pièces avec un minimum de chutes, à moindre coût et dans les meilleures conditions.

Dans ce chapitre, nous présentons les informations et les étapes essentielles à la conception de l'outil. Nous examinons également l'étude et le calcul de tous les paramètres nécessaires pour répondre aux besoins de l'entreprise.

2 Le cahier des charges

2.1 Travail demandé

L'ENIEM nous a confié la mission de concevoir un outil capable de réaliser trois opérations (poinçonnage, découpage et pliage) pour la fabrication d'un support tourné-branche destiné à leur nouvelle cuisinière ventilée (Figure IV.1). Après avoir examiné plusieurs types d'outils de presse, nous avons choisi un outil à bande, qui permet d'effectuer plusieurs opérations simultanément.

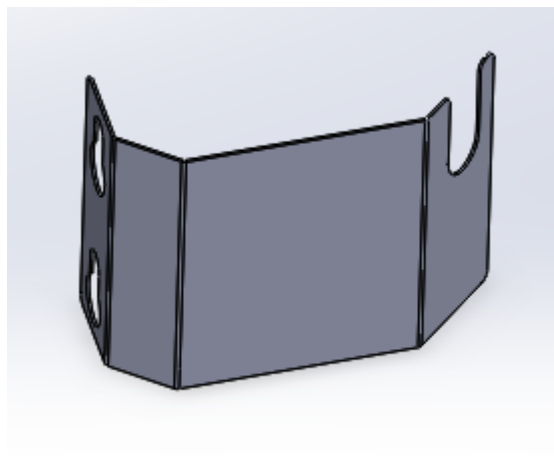
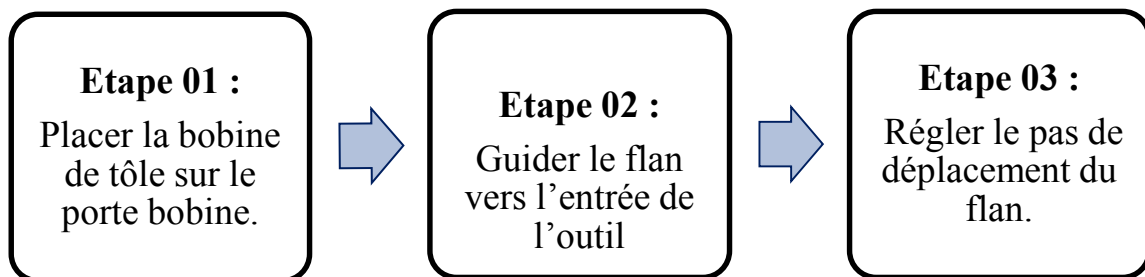


Figure IV.10 : support tourné-branche pour cuisinière ventilée.

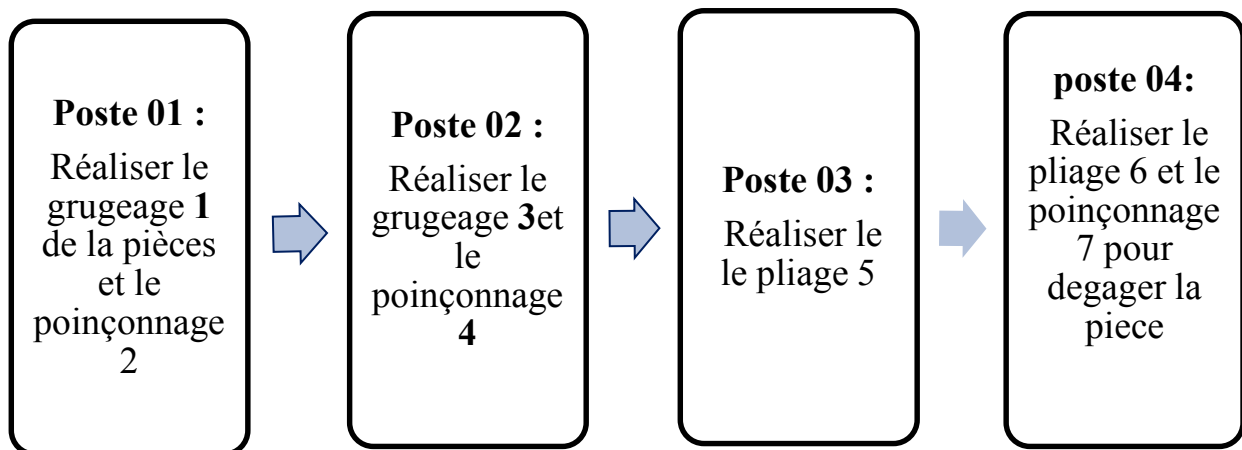
Notre pièce est de dimensions suivantes : **111 × 60** avec une épaisseur de **0.6mm**.

2.2 Processus de fabrication

Lors de la fabrication, le support tourné-branche doit passer par trois étapes avant son montage sur chaîne :



Une fois ces trois étapes sont réalisées, on commence les différentes opérations de support tourné-branche dans les trois postes suivant (voir **Figure IV.2**) :



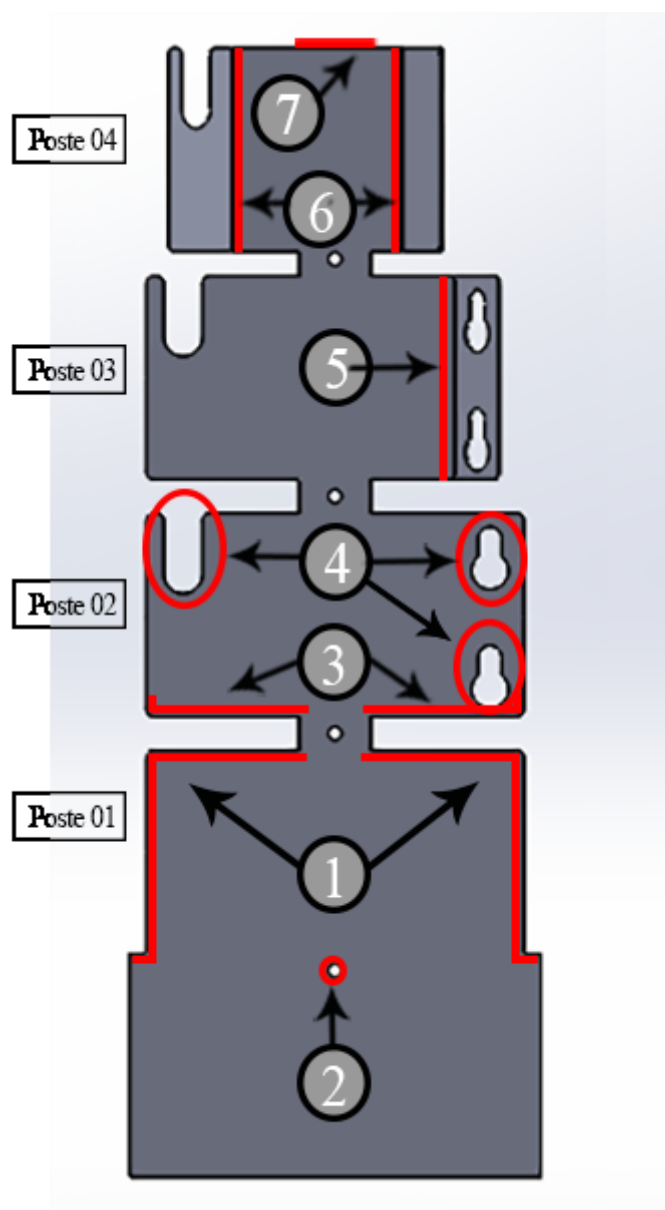


Figure IV. 11 :Les différents postes de fabrication d'un support tourné-branche.

2.3 Fiche technique

2.3.1 Dimensions nominales selon la norme FN EN 10088-2 :

- **Epaisseur** : 0.6 mm
- **Largeur** : 950 mm

La tôle est en acier Inoxydable brillant (effet miroir), avec la nuance X5CrNi18-10 et conforme à la norme FN EN 10088-2.

2.3.2 Propriétés mécanique de la pièce

D'après le cahier des charges, voici quelques propriétés mécaniques de la pièce :

FN EN 10088-2	R_p N/mm min	R_m (MPa)	A (80%) min
X5CrNi18-10	230	540 –750	45

Tableau IV. 3 :propriétés mécanique de la pièce.

2.3.3 Composition chimique de la pièce

Les propriétés chimiques de la pièce d'après le cahier des charges sont:

C(%)	Cr(%)	Mn(%)	P (%) max	S (%)	Si(%)	N (%)	Ni(%)	Cu
≤0.07	17.00 à 19.50	≤2.00	0.045	≤0.015	≤1.00	≤0,11	8.00 À 10.50	≤1.00

Tableau IV. 4 :Composition chimique de la pièce.

3 Détails de l'outil

L'outil de travail est un ensemble d'éléments assemblés avec précision pour assurer un bon fonctionnement. L'outil de poinçonnage, découpage et du pliage est composé de deux parties essentielles ; La partie inférieure (Fixe) et la partie supérieure (Mobile).

3.1 Partie inférieure

C'est la partie fixe de l'outil, qui contient les éléments suivants :

3.1.1 Semelle inférieure

C'est une plaque sur laquelle sont montés et fixés le porte-matrices, les colonnes de guidage et les butées de fin de course. Elle est constituée de fonte grise à graphite lamellaire FT 30.

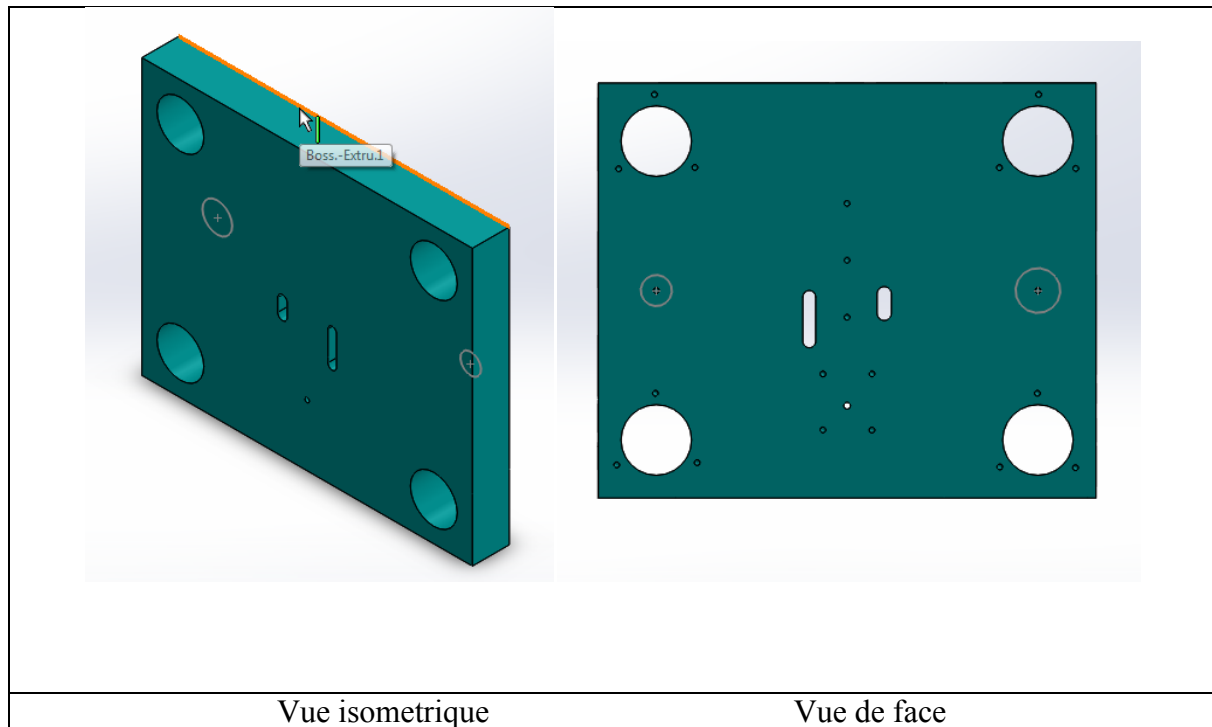


Figure IV. 3 : Semelle inferieure.

3.1.2 Matrices

C'est un support d'empreinte dans lesquels les poinçons pénètrent lors des opérations de poinçonnage, découpage ou pliage. Elle doit être suffisamment épaisse pour résister à l'effort de serrage du flan. Elle est fabriquée en acier Z200C12.

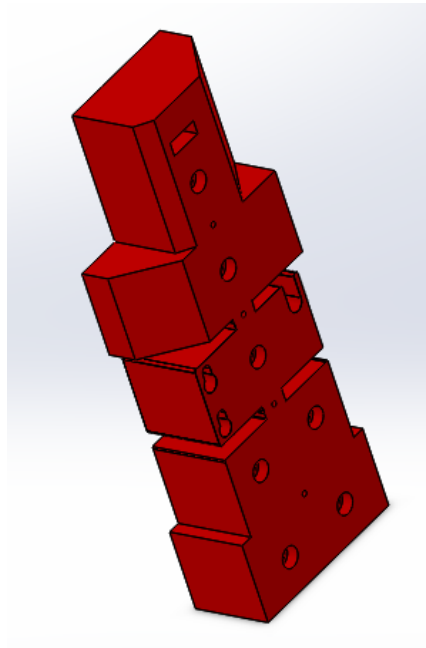


Figure IV. 4 matrices (Découpage . Poinçonnage et .Pliage).

3.1.3 La butée

C'est un élément fixe qui consiste à limiter le déplacement de la partie supérieure par rapport à la partie inférieure. Elle est en acier C 45 (XC 48).



Figure IV. 5 :Butée fin de course.

3.1.4 Colonne de guidage

Elles coulissent dans les embases supérieures avec glissement et elles sont emmanchées sur les embases inférieures. Elles sont en acier C 60E (XC 65).



Figure IV. 6 :Colonne de guidage.

3.1.5 Tasseaux

Porte la partie inférieure de l'outil et assure sa fixation sur la table de presse avec bridage. Ils sont en acier XC 38 (C 35).

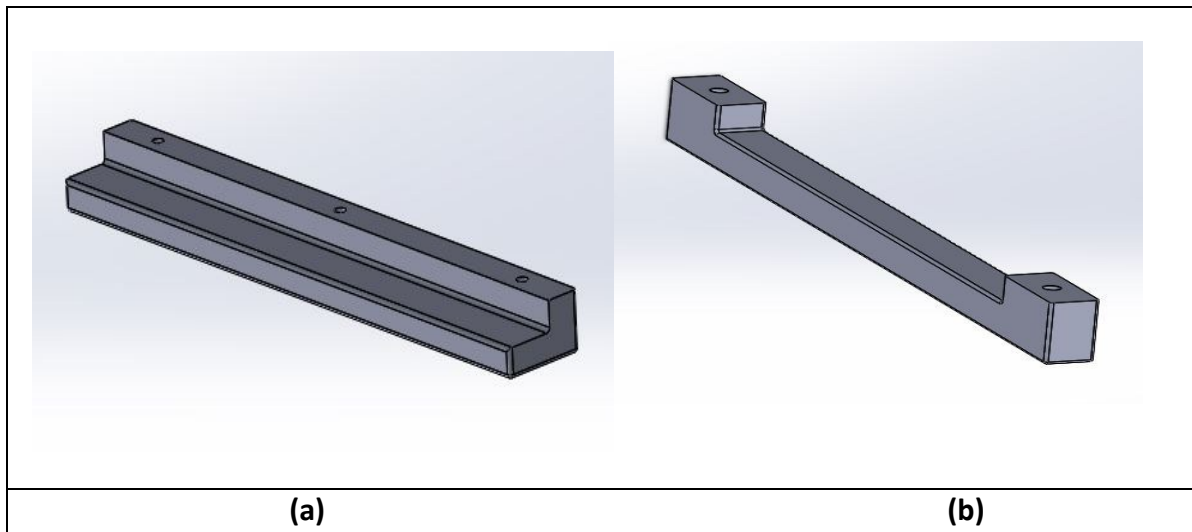


Figure IV.7 : (a) : Tasseau lateral. (b) : Tasseau central

3.1.6 Partie inferieur assemblee :

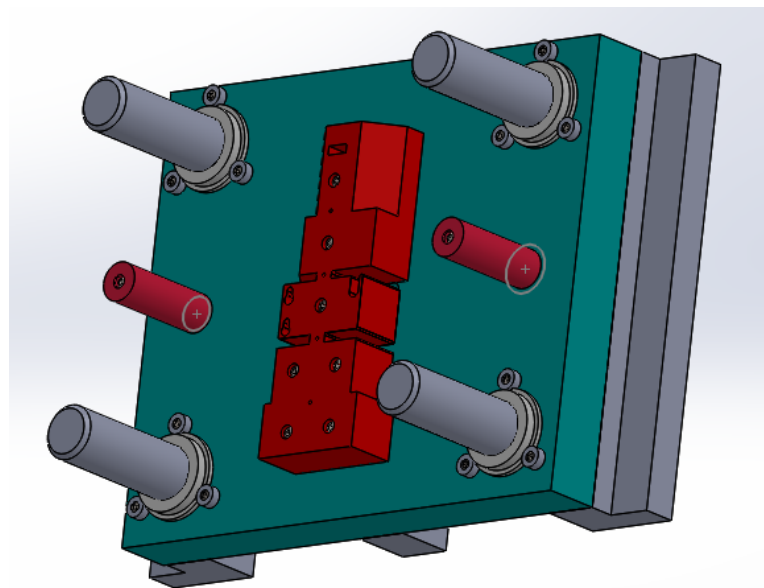


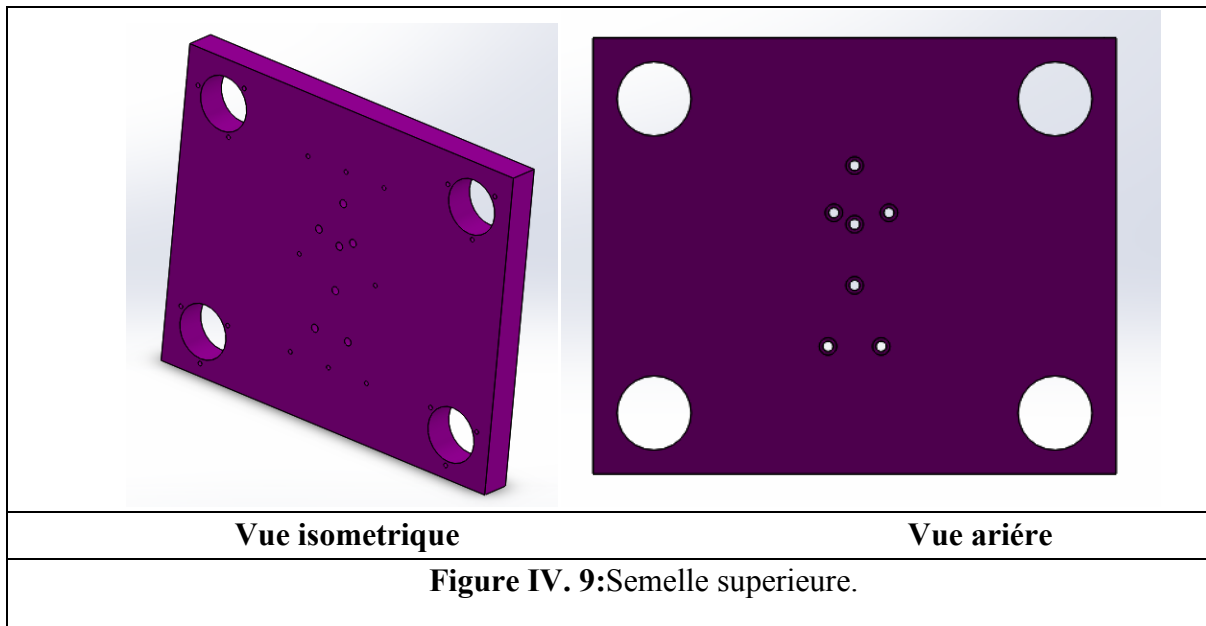
Figure IV. 8 :Partie inferieure assemblee.

3.2 Partie superieure

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

3.2.1 Semelle supérieure

Elle sert à porter les poinçons et les porte-poinçons. Elle est fabriquée en fonte grise à graphite lamellaire FT 30.



3.2.2 Porte poinçons

Il sert à fixe et guider les différents poinçons dans leurs positions. Il est en acier XC 48.

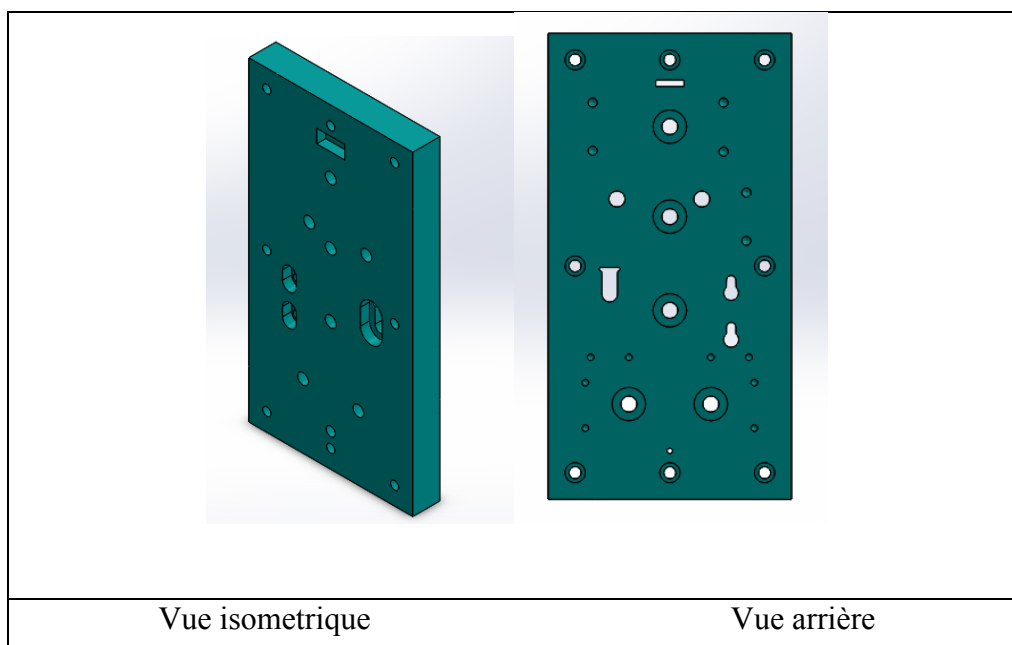


Figure IV. 10 : Porte poinçons.

3.2.3 Poinçons

Ce sont les principaux éléments utilisés lors des opérations de découpage, poinçonnage et pliage. Ils sont fabriqués en acier Z200C12 pour le poinçonnage et le découpage, et en acier XC48 pour le pliage.

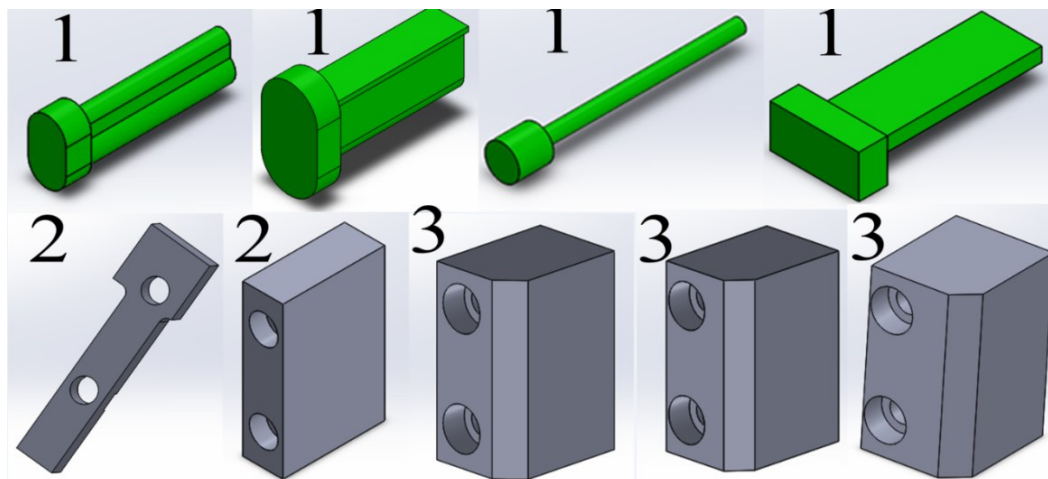


Figure IV. 11 : Différents poinçons utilisés (Poinçonnage 1 . Découpage 2. Pliage 3)

3.2.4 Serre-flan

Il sert au guidage des poinçons et de fixer la tôle. Il est en acier XC 48.

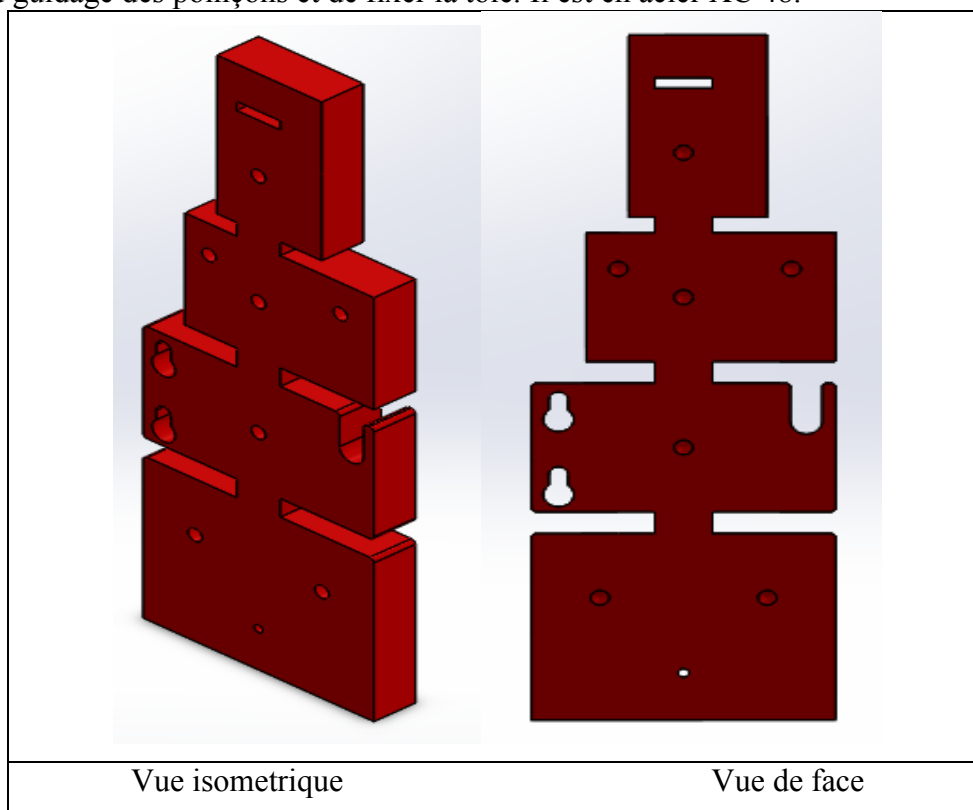


Figure IV. 12: Serre-flan.

3.2.5 Embases

Ce sont des éléments qui assurent le guidage entre la semelle supérieure et la semelle inférieure, en utilisant des colonnes de guidage. Elles sont fabriquées en bronze.

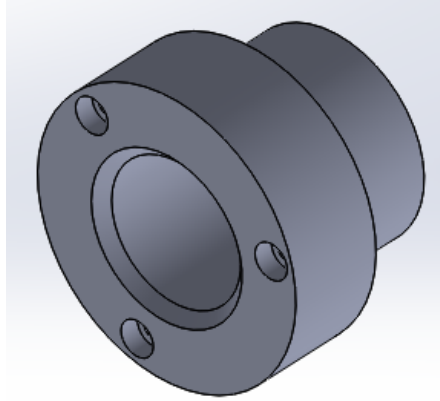


Figure IV. 13 :Embase supérieure.

3.2.6 Ressorts

Ce sont les éléments qui assurent le dévêtissage. Ils sont fabriqués en acier au chrome-silicium 52SiCrNi5

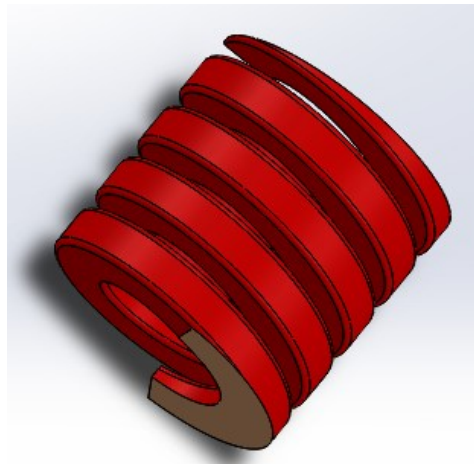


Figure IV 14 . : Ressort de dévêtissage

3.2.7 Partir supérieur assemblée

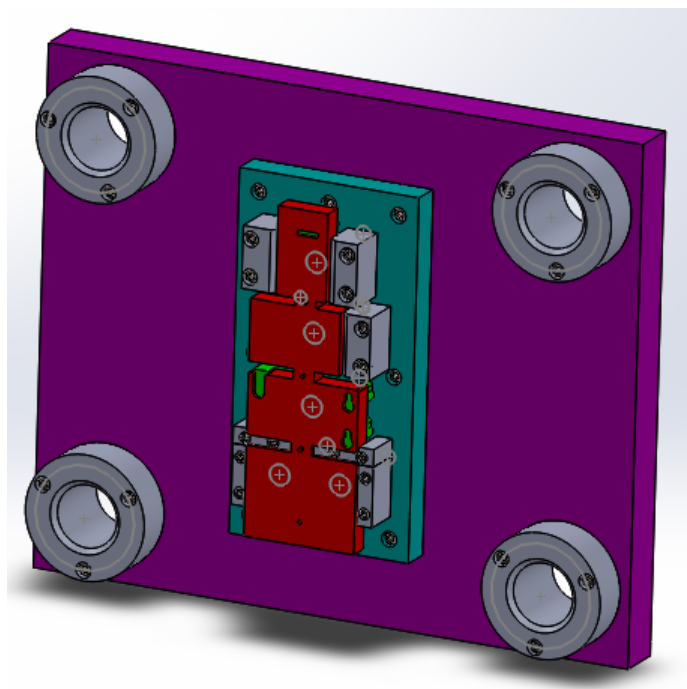


Figure IV.15: Partie supérieur assemblée.

3.2.8 Outil complet assemblé

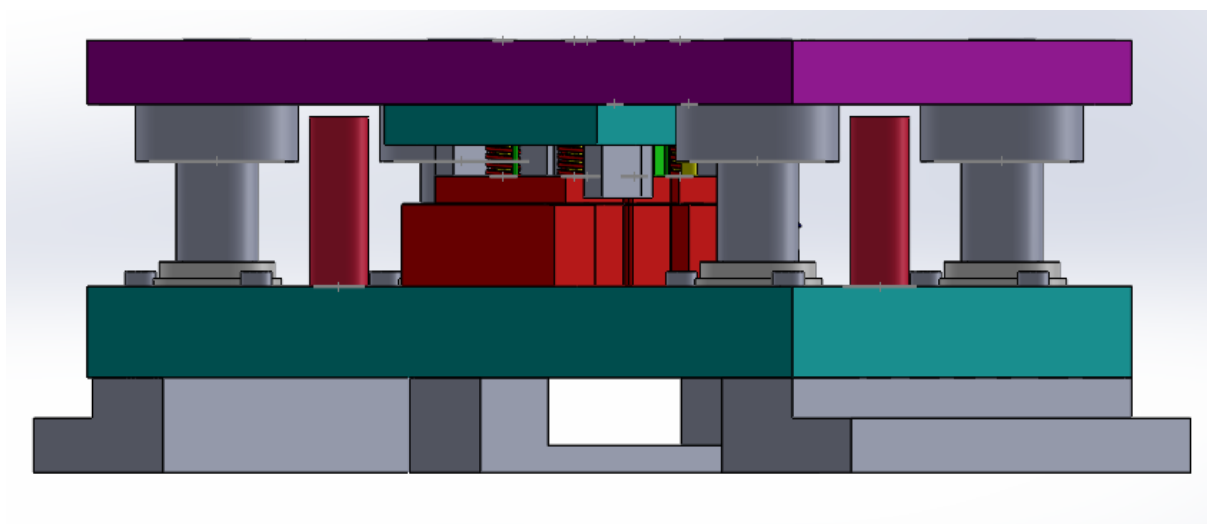


Figure IV. 126 : Outil complet assemblé.

4 Etude de l'outil

4.1 Calcul des efforts de poinçonnage

L'effort de poinçonnage se calcul comme suit:

$$F_p = P_{\text{poinçon}} \times e \times R_c$$

Avec:

- F_p : effort de poinçonnage en(N)
- $P_{\text{poinçon}}$: périmètre du poinçon en (mm)
- e :Epaisseur de latôle en (mm) dans notre cas $e=0.6\text{mm}$
- R_c : La résistance de la tôle au cisaillement en (Mpa);

4.2 Calcul de la résistance au cisaillement R_c :

$$R_c = 0,8 \times R_m$$

Avec :

R_m : Résistance à la traction (540-750 Mpa).

Application numérique :

$$R_c = 0,8 \times 750$$

$$R_c = 600 \text{ Mpa}$$

- Calcul de l'effort de poinçon1« F_{p1} »

$$F_{p1} = P_{\text{poinçon 1}} \times e \times R_c$$

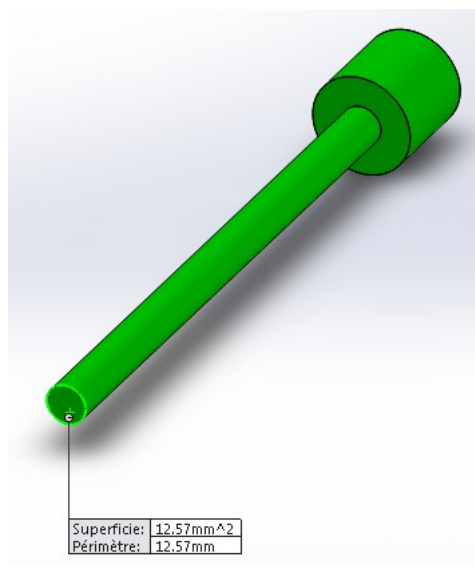


Figure IV. 17: Périmètre de poinçon 1.

D'après la mesure et l'évaluation sur SOLID WORKS, le périmètre du poinçon 1

$$P_{\text{poinçon1}} = 12.57 \text{ mm}$$

Application numérique :

$$F_{p1} = 12.57 \times 0.6 \times 600$$

$$F_{p1} = 4525.2 \text{ N}$$

- Calcul de l'effort de poinçon 2 « F_{p2} »

$$F_{p2} = P_{\text{poinçon2}} \times e \times R_c$$

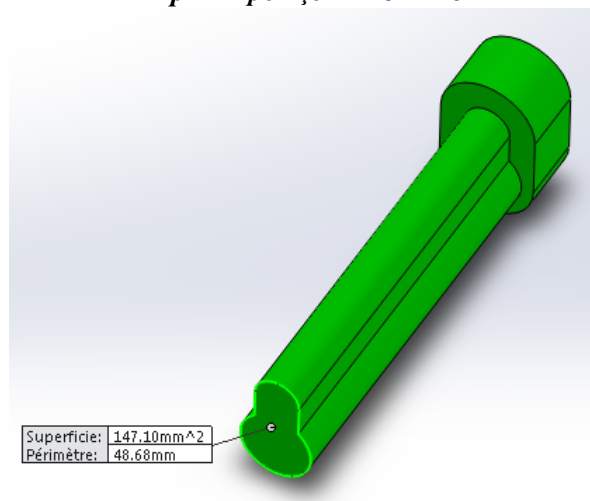


Figure IV. 18: périmètre de poinçon 2.

D'après la mesure et l'évaluation sur SOLID WORKS, le périmètre du poinçon 2

$$P_{\text{poinçon2}} = 48.68 \text{ mm}$$

Application numérique :

$$F_{p2} = 48.68 \times 0.6 \times 600$$

$$F_{p2} = 17524.8 \text{ N}$$

- Calcul de l'effort de poinçon 3 « F_{p3} »

$$F_{p3} = P_{\text{poinçon 3}} \times e \times R_c$$

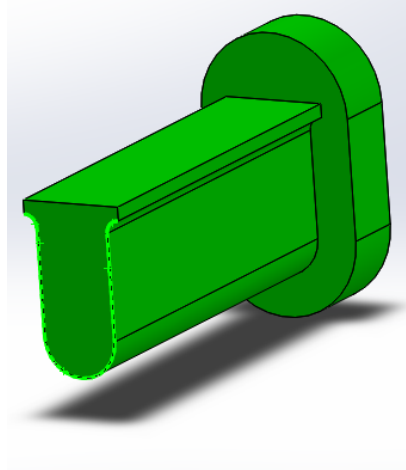


Figure IV. 19:périmètre de poinçon 3.

D'après la mesure et l'évaluation sur SOLID WORKS, le périmètre du poinçon 3

$P_{\text{poinçon 3}} = 56.35\text{mm}$

Application numérique :

$F_{p3} = 56.35 \times 0.6 \times 600$

$F_{p3} = 20286 \text{ N}$

- Calcul de l'effort de poinçon 4« F_{p4} »

$$F_{p4} = P_{\text{poinçon 4}} \times e \times R_c$$

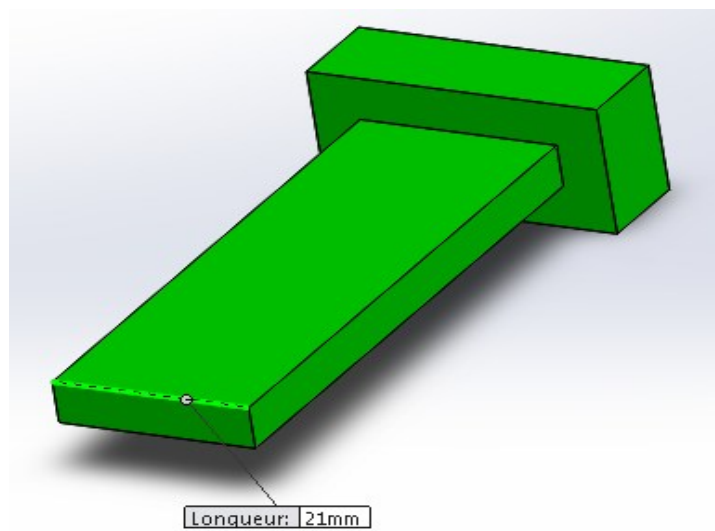


Figure IV.20:périmètre de poinçon 4

D'après la mesure et l'évaluation sur SOLID WORKS, le périmètre du poinçon 4

$P_{\text{poinçon 4}} = 21 \times 2 = 42 \text{ mm}$

Application numérique:

$$F_{p4} = 42 \times 0.6 \times 600$$

$$F_{p4} = 15120 \text{ N}$$

- Calcul l'effort total de poinçonnage

$$F_{p \text{ total poinçonnage}} = F_{p1} + 2F_{p2} + F_{p3} + F_{p4}$$

Application numérique:

$$F_{p \text{ total poinçonnage}} = 74\,980,8 \text{ N}$$

4.3 Calcule des efforts de pliage

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

$$F'_{\text{pliage}} = \frac{e \cdot l \cdot R_c}{10}$$

Avec :

l : la longueur de pli

e : épaisseur la tôle

$$R_c = 0,8 \times R_m = 600 \text{ Mpa}$$

- Calcul l'effort de pli 01:

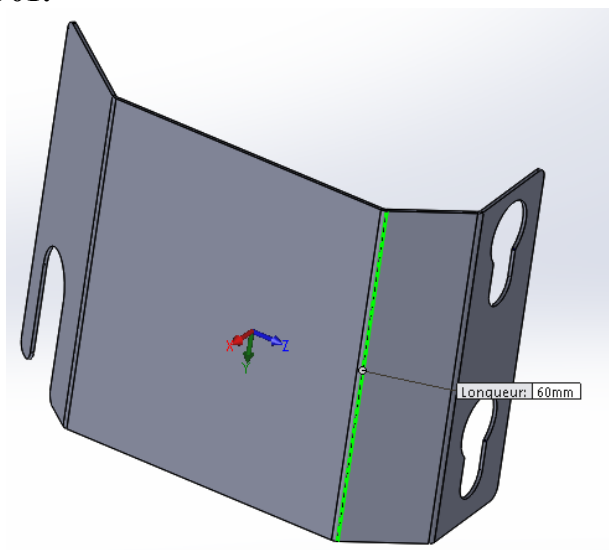


Figure IV. 21 : longueur de pli l.

Application numérique :

$$F'1 = \frac{0.6 \times 60 \times 600}{10}$$

$$F'1 = 2160 \text{ N}$$

- Calcul effort de pli 02 :

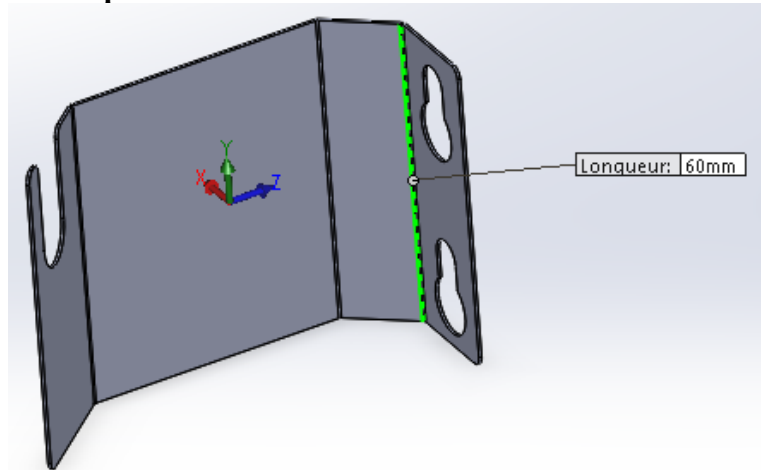


Figure IV.22: longueur de pli 2. [18]

Application numérique :

$$F'2 = \frac{0.6 \times 60 \times 600}{10}$$

$$F'2 = 2160 \text{ N}$$

- Calcul effort du pli 03 (90°) :

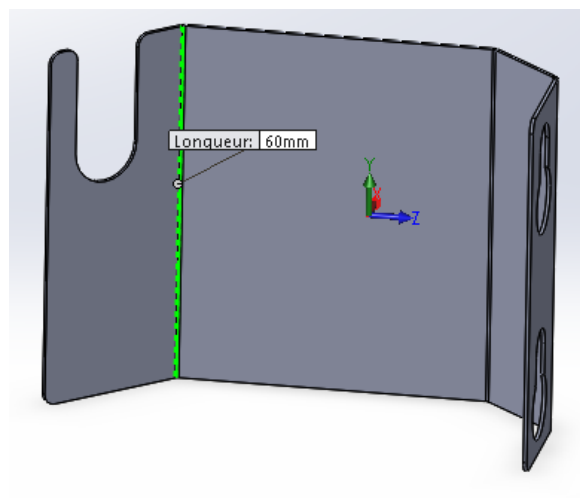


Figure IV.23 :Longeure de plie 3.

Application numérique :

$$F'3 = \frac{0.6 \times 60 \times 600}{10}$$

$$F'3 = 2160 \text{ N}$$

- Calcul l'effort total de pliage

$$F' \text{ total pliage} = F'1 + F'2 + 2F'3$$

Application numérique:

$$F' \text{ total pliage} = 6480 \text{ N}$$

4.4 Calcul de l'effort total F_d :

L'effort de détournage est calculé par la relation suivante :

Avec :

$$F_d = P \times e \times R_c$$

F_d : effort de détournage ;

P : périmètre à découper ;

e : épaisseur de la tôle ;

R_c : résistance de la tôle au cisaillement, avec $R_c = 0,8 \times R_m = 600 \text{ Mpa}$

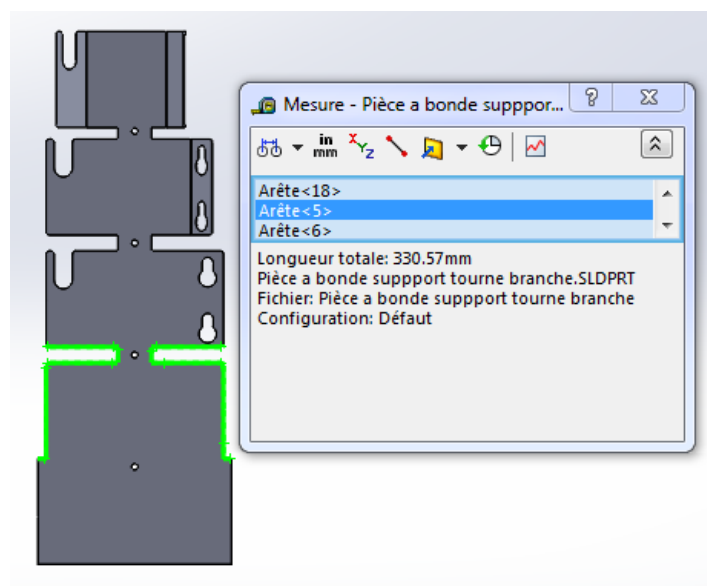


Figure IV 24 : Mesure du périmètre de détournage de la pièce avec le logiciel Solid-Works.

Application numérique :

$$F_d = 108\,205,2 \text{ N}$$

4.5 Calcul de l'effort de dévêtissage

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

Il est égal, en général, à 7% de la somme des efforts de poinçonnage et détournage et pliage .)

$$F_{\text{dév}} = 7\% \times (F_d + F_p \text{ total} + F' \text{ total})$$

Application numérique:

$$F_{\text{dév}} = 0,07 \times (108\,205,2 + 6\,480 + 74\,980,8)$$

$$F_{\text{dév}} = 13\,276,578 \text{ N}$$

4.6 Calcul de l'effort total que doit fournir la presse (F_{pr})

$$F_{pr} > (F_d + F_p \text{ total} + F' \text{ total})$$

Application numérique :

$$F_{pr} > 108\,205,2 + 6\,480 + 74\,980,2$$

$$F_{pr} > 189\,665,4 \text{ N}$$

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

$$F_{pr} > 19,34 \text{ Tonnes -force}$$

5 Le choix de la presse à utiliser

Le choix de la presse à utiliser dans les travaux des métaux en feuille dépend de plusieurs paramètres essentiels. Voici une explication détaillée de ces critères :

- 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 fermé.
- La nature des opérations à réaliser.

Pour notre cas ,il s'agit de poinçonnage, découpage et du pliage. Une presse mécanique est mieux indiquée. A partir de l'effort que nous avons calculé, nous avons opté pour une presse **T31C excentrique** qui a les caractéristiques suivantes :

- Capacité de la presse : **200tonnes**
- Distance entre la table et le coulisseau en(PMH) : **1040mm**
- Distance entre la table et le coulisseau en(PMB) : **725mm**
- Dimensions de la table (longueur et largeur) : **1850 mm×1250mm**
- Cours du coulisseau : **315mm**

6 Nombre et choix de ressorts

6.1 Ressort de dévêtissage

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

On distingue 6 types de ressorts classés par couleur, qui signifie le type de charge



Figure IV. 25 : Différents types de ressort.

- La course de compression des ressorts est **8 mm** (course de déplacement des poinçons).

Le nombre de ressort N_r assurant l'opération de dévêtissage est donné par la formule suivante :

$$N_r = \frac{F_{dev}}{F_{ressort}}$$

Avec :

N_r : Nombre de ressort

F_{dev} : Effort de dévêtissage

$F_{ressort}$: Effort d'un seul ressort

Vu que l'effort assurant le dévêtissage est d'une grande intensité et la course de compression est très importante, nous avons opté pour les ressort de couleur rouge .

Du tableau IV.3, on tire la valeur de la force du ressort choisi qui est égale à 2851 N

$$F_{ressort}=2851 \text{ N}$$

Application numérique :

$$N_r = \frac{13276,578}{2851}$$

$$N_r = 4.656$$

On prend donc 5 ressorts

Le ressort qui pourra répondre aux conditions de travail est le ressort à charges fortes (couleur rouge) tiré du tableau IV.3 qui a les caractéristiques suivantes :

- La longueur du ressort non chargé $L = 32 \text{ mm}$.
- Diamètre de douille (guidage extérieur) $D = 25 \text{ mm}$.
- Diamètre du mandrin (guidage intérieur) $D1 = 12.5 \text{ mm}$.
- Course du ressort comprimée $S = 9.6 \text{ mm}$.
- Force du ressort $F = 2851 \text{ N}$.

Sleeve Ø D_h^{H15}	Pin Ø D_c^{H15}	Wire	L_0	Spring rate (N/mm) $c \pm 10\%$	long life time		max. stroke		Item number			
					$s_1^{20\%}$	F_1 (N)	$s_2^{30\%}$	F_2 (N)				
20.0	10.0	4.0 x 3.2	51	94.0	10.2	959	15.3	1438	SZ8030 20 x 051			
			64	72.1	12.8	923	19.2	1384	SZ8030 20 x 064			
			76	59.7	15.2	907	22.8	1361	SZ8030 20 x 076			
			89	50.5	17.8	899	26.7	1348	SZ8030 20 x 089			
			102	44.2	20.4	902	30.6	1353	SZ8030 20 x 102			
			115	38.4	23.0	883	34.5	1325	SZ8030 20 x 115			
			127	34.1	25.4	866	38.1	1299	SZ8030 20 x 127			
			139	31.0	27.8	862	41.7	1293	SZ8030 20 x 139			
			152	28.2	30.4	857	45.6	1286	SZ8030 20 x 152			
			305	14.0	61.0	854	91.5	1281	SZ8030 20 x 305			
			25.0	12.5	5.6 x 4.1	25	375.0	5.0	1875	7.5	2813	SZ8030 25 x 025
						32	297.0	6.4	1901	9.6	2851	SZ8030 25 x 032
						38	219.0	7.6	1664	11.4	2497	SZ8030 25 x 038
44	187.0	8.8				1646	13.2	2468	SZ8030 25 x 044			
51	156.0	10.2				1591	15.3	2387	SZ8030 25 x 051			
64	123.0	12.8				1574	19.2	2362	SZ8030 25 x 064			
76	99.0	15.2				1505	22.8	2257	SZ8030 25 x 076			
89	84.0	17.8				1495	26.7	2243	SZ8030 25 x 089			
102	73.0	20.4				1489	30.6	2234	SZ8030 25 x 102			
115	65.0	23.0				1495	34.5	2243	SZ8030 25 x 115			
127	57.7	25.4	1466	38.1	2198	SZ8030 25 x 127						
139	52.7	27.8	1465	41.7	2198	SZ8030 25 x 139						

Tableau IV. 5 : Catalogue STEINEL NORMALIEN ressort charge forte .

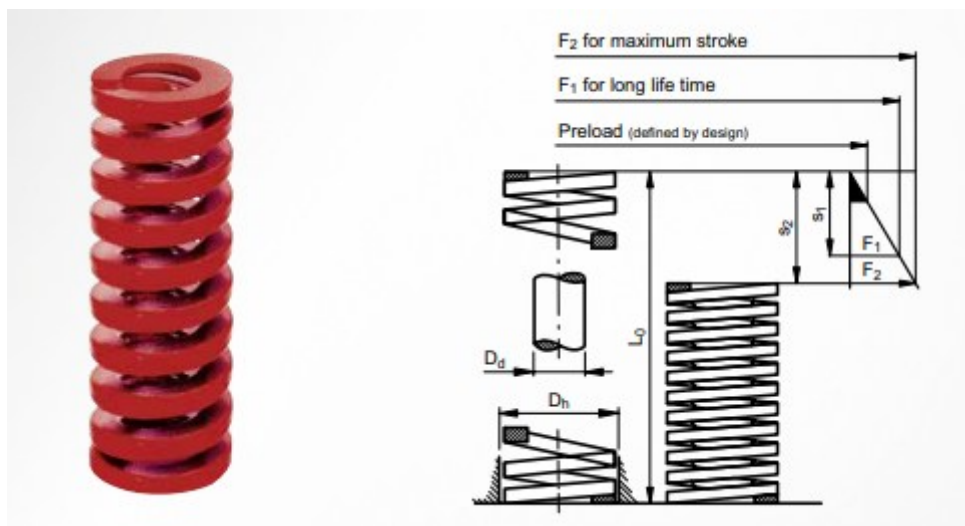


Figure IV. 26 :Schéma de dimensionnement d'un Ressort.

6.2 Emplacement des ressorts :

Les ressorts sont répartis de manière équilibrée afin de garantir le retour de tous les poinçons (poinçonnage, découpage et pliage) à leurs position initiale.

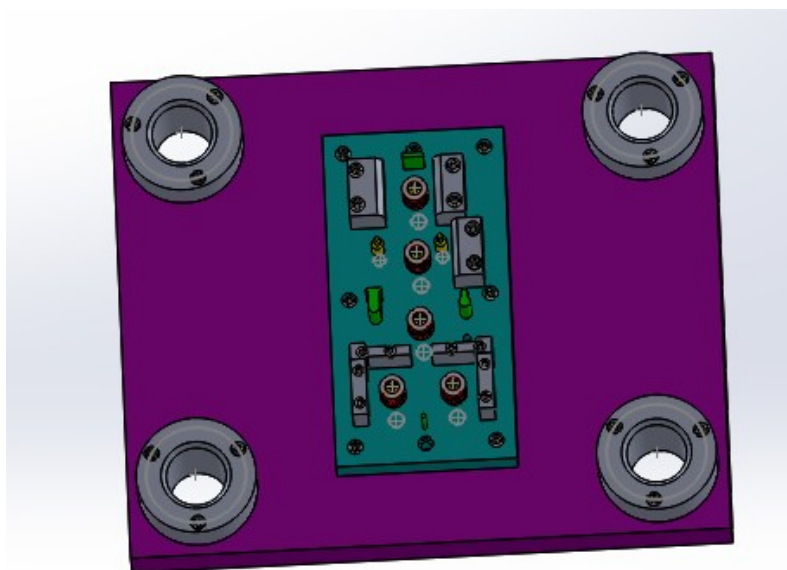


Figure IV. 27 : Emplacement des ressorts de dévêtissement.

7 Vérification de la résistance des poinçons au flambement

Les poinçons (\varnothing 4 mm, rectangle 21x4.88 mm) sont assimilés à des poutres longues et droites. Ces deniers sont soumis à des forces axiales opposées et qui subissent une déformation par flambement.

Ce dernier se produit pour une certaines valeurs de charge appelée charge critique (F_{cr}) :

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

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

La relation qui nous permet de calculer la charge critique d'Euler est donnée par la formule suivante :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{l^2}$$

Avec :

E : Module de Young (210 000 N/mm²)

I : Moment d'inertie,

L : Longueur du poinçon.

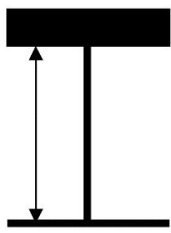
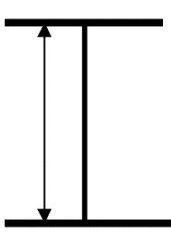
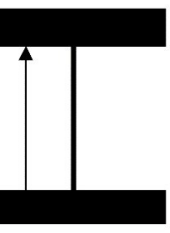
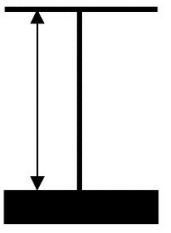
LONGUEUR LIBRE DE FLAMBAGE				
Type de Liaisons	Encastré en A Et Libre en B	Liaisons Pivotantes en A et B	Encastré en A Et B	Encastré en A Et Pivots en B
Valeurs de L	 $l=2L$	 $l=L$	 $l=L/2$	 $l=0.7L$

Tableau IV. 6 : Longueurs libres de flambage en fonction du type de liaisons.

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

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

- **Poinçon de $\varnothing 4 \text{ mm}$**

Le moment quadratique : $I = 12.57 \text{ mm}^4$ (Mesuré à partir du logiciel de CAO SOLIDWORKS),

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(l)^2} = \frac{3,14^2 \times 210000 \times 12.57}{(59)^2}$$

La force critique à ne pas dépasser est :

$$F_{cr} = 7476.69 \text{ N}$$

D'après les résultats obtenus,

On a $F_{P1} = 4525.2 \text{ N}$ (effort poinçonnage pour le poinçon $\varnothing 4 \text{ mm}$) . On a $F_{P1} < F_{cr}$

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

- **Poinçon rectancgle 21x4.88 mm**

Le moment quadratique : $I = 3763 \text{ mm}^4$ (Mesuré à partir du logiciel de CAO SOLIDWORKS),

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(2xL)^2} = \frac{3,14^2 \times 210000 \times 3763}{(2x59)^2}$$

La force critique à ne pas dépasser est :

$$F_{cr} = 559\,562 \text{ N}$$

D'après les résultats obtenus,

On a $F_{P1} = 15\,120 \text{ N}$ (effort poinçonnage pour le poinçon $\varnothing 4 \text{ mm}$) . On a $F_{P1} < F_{cr}$

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

8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mené une étude et conçu un outil à bande destiné à la fabrication d'un support tourne branche pour la nouvelle cuisinière ventilée ENIEM. Grâce à Solid-Works et aux divers calculs que nous avons réalisés, nous avons pu déterminer les dimensions approximatives du flan théorique, la capacité de la presse requise, ainsi que les efforts exercés par les ressorts et leur raideur, le tout sans avoir besoin de tests expérimentaux. Cela nous a permis de gagner du temps, d'améliorer la précision et de réaliser des économies.

Nous avons élaboré notre outil économique en choisissant des matériaux fiables, tout en évitant le surdimensionnement des composants et en optimisant la cadence de fabrication du support tourne branche

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, les compétences pratiques acquises au sein de l'unité de cuisson de l'entreprise de fabrication d'appareils électroménagers ENIEM nous ont offert l'opportunité de développer notre sens de la recherche tout en appliquant concrètement les connaissances acquises durant notre formation en "Master en Génie Mécanique".

Parmi les procédés industriels courants que nous avons étudiés, nous pouvons mentionner le poinçonnage, le découpage, et le pliage, qui jouent un rôle central dans le secteur de la transformation des tôles. Cette étude nous a permis d'approfondir nos connaissances sur ces techniques, qui continuent d'évoluer et de s'améliorer au fil des ans.

La compréhension des différentes propriétés des matériaux, en particulier de l'acier, a été un élément clé dans la conception de notre outil. L'utilisation de ces métaux est essentielle pour assurer la production de pièces de qualité tout en minimisant les coûts de fabrication.

L'utilisation du logiciel de conception assistée par ordinateur SolidWorks a été un atout majeur, nous permettant de définir avec précision les dimensions et les caractéristiques géométriques de chacune des pièces. La puissance de ce logiciel nous a aidés à concevoir un outil à la fois précis, fiable et rentable.

Bien que nous ayons déployé tous nos efforts pour mener à bien cette étude, nous sommes conscients qu'elle n'est pas exempte de défauts. C'est pourquoi nous restons ouverts aux critiques et suggestions qui pourraient contribuer à son amélioration.

Enfin, nous espérons que ce travail pourra servir de support pédagogique pour les futures promotions d'étudiants.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Classifications des aciers et des fontes, Professeur BEN SAADA.S. Université de BISKRA.

[2] Mlle : Berdous Assia Mr : Yakoubi Nacer « Etude et conception d'un outil à bande pour la réalisation d'une charnière inférieure du réfrigérateur FB1 ENIEM » mémoire fin d'étude master en génie mécanique option construction mécanique UMMTO 2017/2018.

[3] Guide traitement thermique / COMITE PERFORM, <http://www.comiteperform.ca>

[4] Mr : Oubraham Amar Mr : Belkhis Mohand « Etude et conception d'un outil à stations de poinçonnage et pliage de la nouvelle traverse de la cuisinière ENIEM » mémoire fin d'étude master en génie mécanique option construction mécanique UMMTO 2019/2020.

[5] Mr : BOUARABA Mohammed Mr : FERHAT Ismail « Etude et conception d'un outil de Poinçonnage et Détourage pour un cache ventilateur d'une cuisinière ENIEM » mémoire fin d'étude master en génie mécanique option construction mécanique UMMTO 2021/2022.

[6] R.Djabri ; I.Mihoubi ; Mémoire Master Académique; Etude Et Réalisation D'une Emboutisseuse Des Tôles de Faible Epaisseur ; Faculté de Technologie ; Département de Mécanique, Tlemcen; Année universitaire : 2017 /2018.

[7] Support de cours Génie Mécanique Niveau 1, Procédés de mise en forme : M. JERBI ; A.U 2017/2018 ; Institution supérieure des études technologiques de NABEUL.

[8] Cour du Module FAB 7, Procédés de fabrications, Pour les étudiants 2ème année, Spécialité Productique Mécanique Appliquée PMI, Instituts des Sciences et Techniques Appliquées, Université Frère Mentouri Constantine 1, Année universitaire 2019/2020.

[9] Mr : HAMOUR Aghiles Mr : HAMOUR Sofiane « Etude et Conception d'un outil Poinçonnage et Détourage d'un Cache Extra Plat d'une Cuisinière ENIEM 05 feux. » mémoire fin d'étude master en génie mécanique option construction mécanique UMMTO 2021/2022.

[10] BEN ABDESSELAM Siham « ETUDE NUMERIQUE DU PLIAGE DE TOLES EN ACIER TRIP 304L » mémoire fin d'étude master en génie mécanique option fabrication mécanique et productique UMMTO 2018/2019.

[11] Dridi Mohamed Salah ; Guendouzi Abdelghani, Master II, Académique, Conception d'une presse mécanique pour emboutissage de 40 tonnes, Université Mouloud MAMMARI, Promotion juin 2019.