

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou
Faculté du Génie de la Construction
Département de Génie Mécanique



En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Génie Mécanique
Option : Fabrication Mécanique et Productique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

**Étude et Conception d'un
outil d'encochage des tôles
rotoriques des moteurs
électriques.**

Proposé par :

Mr : Larbi Arezki (Enel)

Encadré par :

Mr : HACHOUR : Kamel

Réalisé par :

Mr : GUIRI Rabah

Mr : IMESSAOUEDEN Youcef

2018 /2019

Remerciements

Au terme de ce travail,

Nous tenons en premier lieu à remercier le Bon Dieu pour le courage et la patience qui nous a donné afin de mener ce projet à terme.

Ce travail que nous avons fait sous le suivi de Mr.LARBI.A que nous remercions beaucoup pour son aide et son orientation tout au long de notre travail à l'entreprise ainsi que tous les personnes de l'unité Electro-industrielle de l'ENEL l'importance qu'il accorde aux stagiaires.

Nous remercions notre promoteur Mr.HACHOUR.K qui nous a aidé et soutenu tout le long de notre travail.

Nos remerciements également tous les membres du jury qui ont bien accepté de juger ce travail.

Nous tenons 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 nos amis(es).

Dédicaces

Je dédier ce travail à toute ma famille:

❖ *Mes parents*

❖ *Mes frères et sœurs*

❖ *Mes amis (es) : Mouhoub et Mehdi*

❖ *Tous mes camarades et tous ce qui mon aidé de près ou de loin.*

RABAH

Il m'est agréable de saisir cette

Occasion pour dédier ce travail à :

❖ *Mes parents*

❖ *Mes frères et mes sœurs*

❖ *Mes amis (es) : Saliha, Lounes, Brahim et Azdine*

❖ *Tous mes camarades et tous ce qui mon aidé de près ou de loin.*

YOUCEF

Sommaire

Introduction : 1

Chapitre (I) : présentation de l'entreprise et moteur électrique

I.1 présentation : 2

I.2 Localisation de l'entreprise et ses coordonnées : 2

I.3 Présentation des unités : 2

I.3.1 Unité (direction) de fabrication de transformateurs de distribution : 2

I.3.2 Unité (direction) moteurs et prestations : 2

I.4 Description et organisation des ateliers et fonction principale : 3

I.4.1 Atelier de découpage : 3

I.4.1.1 Découpage : 3

I.4.1.2 Le contrôle : 3

I.4.1.3 Empaquetage : 4

a) Empaquetage du paquet statoriques : 4

b) Contrôle du paquet : 4

c) Empaquetage du paquet rotorique : 4

I.4.2 Atelier de fonderie sous pression : 4

I.4.2.1 Moulage sous pression de rotor et pièces constitutives du rotor : 4

I.4.2.2 Contrôle : 4

I.4.3 Atelier d'usinage : 5

I.4.3.1 Les différents types d'usinages : 5

a) Fabrication de l'arbre : 5

b) Usinage du rotor :	5
Tournage du paquet :	5
c) Fraisage :	5
d) Equilibrage du rotor :	5
I.4.3.2 Usinage des différentes pièces (carcasse, flasque, boîte à bornes) :	5
a) Carcasse :	5
b) Flasque (As et Bs) :	5
c) Boîte à bornes :	6
d) Lavage des pièces :	6
I.4.4 Atelier de bobinage :	6
I.4.4.1 Préparation des bobines :	6
I.4.4.2 Connexion des bobines :	6
I.4.4.3 Imprégnation :	6
I.4.5 Atelier de montage :	7
I.4.6 Secteur prés montage :	7
I.5 Conclusion :	7

Chapitre (II) : Les procédés de mise en forme des pièces mécaniques

II.1 Introduction :	8
II.2 Le pliage : [2]	8
II.2.1 Définition de pliage :	8
II.2.2 Principe de pliage :	8
II.2.3 Différents techniques de pliage :	8
II.2.3.1 Pliage en frappe :	9

II.2.3.2 Pliage en l'air :	9
II.2.3.3 Pliage sur élastomère :	9
II.2.4 Outils spéciaux :	9
II.2.4.1 Pliage en V :	10
II.2.4.2 Pliage en U :	10
II.2.4.3 Pliage en Z :	11
II.2.5 Calcul de l'effort de pliage :	12
II.2.5.1 Le pliage en V :	12
II.2.5.2. Pliage en U :	13
II.2.6 Avantages et inconvénient:	14
II.3 L'emboutissage [1]	14
II.3.1 Définition de l'emboutissage :	14
II.3.2 Outillage :	14
II.3.3 Fonctionnement :	15
II.3.4 Types d'emboutissages :	16
II.3.4.2 l'emboutissage à chaud :	16
II.3.5 Paramètre d'emboutissage :	17
II.3.6 L'effort d'emboutissage cylindrique :	18
II.3.7 La lubrification :	21
a. Les avantages de l'emboutissage :	22
b. Les inconvénients fréquemment rencontrent en emboutissage :	22
II.4 Le découpage : [1]	22
II.4.1 Définition de découpage :	22
II.4.2 Principe	22
II.4.3 Quelques Types de découpage :	23

a) Crevasse :	23
b) Encochage :	23
c) Le grignotage :	24
d) Détournement :	24
e) Le soilage :	25
f) Ajournement :	25
II.4.4 Matrice et poinçon :	25
II.4.5 Effort de découpage :	26
II.4.6 Effort d'extraction :	27
II.5 Poinçonnage : [2]	27
II.5.1 Définition de poinçonnage :	27
II.5.2 Principe :	27
II.5.3 Les trois types de poinçonnage :	27
II.5.4 Les différentes étapes de poinçonnage :	28
1. Pénétration :	28
2. Découpage :	28
3. Fin de course :	28
4. Le retrait :	28
II.5.5 Le jeu (entre le poinçon et la matrice) :	29
II.5.6 Effort de poinçonnage :	30
II.5.7 Avantages et inconvénients du poinçonnage :	31
1. Avantage :	31
2. Inconvénient :	31
II.6 Conclusion :	31

Chapitre (III) : Présentation de cahier de charge de l'étud

III.1 Généralité sur les moteurs asynchrones :	32
III.2 Constitution des moteurs asynchrones :	33
III.2.1 Inducteur « stator » :	33
III.2.2 Induit « rotor » :	33
III.3 Le principe de fonctionnement :	34
III.4 Processus de fabrication d'un moteur asynchrone triphasé :	34
III.4.1 Présentation de l'Unité moteur électrique :	34
III.4.2 Définition d'un groupes électrogènes : [7]	34
III.4.3 Présentation de l'atelier Bâtiment 2A :	34
III.4.3.1 Secteur de découpage :	35
III.4.3.2 Secteur empaquetage :	36
a) Empaquetage rotor :	36
III.4.3.3 Secteur moulage sous pression :	38
III.5 Présentation de Bâtiments 2 :	39
III.5.1 Atelier usinage et fabrication mécanique :	39
III.5.1.1 Section usinage rotor :	39
a) Partie arbre moteur :	39
b) Partie carcasse moteur :	41
III.5.1.2 Secteur usinage fonte :	42
III.5.2 Atelier bobinage :	43
III.5.2.1 Secteur préparation des bobines :	43
III.5.2.2 Secteur de bobinage :	44
a) La préparation des déferents isolants et câbles de couplage entre les bobines :	44
b) Bobinage final du stator :	45
c) Insertion des bobines :	46

III.5.2.3 Secteur de contrôle :	46
III.5.3 Atelier de montage :	46
III.5.3.1 Secteur montage des petits moteurs :	46
a) L'assemblage du stator avec sa carcasse :	46
b) L'usinage de parties intérieures de la carcasse :	47
c) La fixation des pattes pour les moteurs de types B3 et leur usinage :	47
III.5.3.2 Secteur Montage des grands moteurs :	48
III.5.3.3 Secteur de contrôle :	49
a) Les essais séries :	49
b) Essai en charge :	49

Chapitre (IV) : Etude et conception de l'outil

IV.1 Introduction :	51
IV.2 Problématique :	51
IV.3 Fiche technique de rotor :	53
IV.3.1 Composition chimique:	53
IV.3.2 Caractéristique mécanique de la tôle:	53
IV 3.3 processus de fabrication de rotor :	54
IV.4 La conception mécanique :	55
IV.4.1 Définition :	55
IV.4.2 Les étapes de la conception :	55
IV.4.3 Conception assisté par ordinateur:	56
IV.5 Etude et calcul :	57
IV.6 Calcul des efforts :	57
IV.6.1 L'effort de découpage :	57
IV.6.2 Calcul l'effort de découpage est l'effort nécessaire à découper le contour de l'encoche :	58

IV.6.3 Calcul de l'effort du poinçon :	59
IV.6.4 Calcul de l'effort de dévêtissage :	59
IV.6.5 Calcul de l'effort fourni par la presse F_{pr} :	60
IV.6.6 Choix de la presse utilisée :.....	60
IV.7 Vérification de la résistance du poinçon au flambage :	62
➤ Le poinçon :	62
➤ Caractéristiques mécaniques du poinçon:.....	62
IV.7.1 Résistance du poinçon :	64
IV.8 Détermination de jeu de découpage :.....	67
IV.9 La résistance à la compression de l'amortisseur (caoutchouc) :.....	68
IV.10 Conception de l'outil d'encochage :	70
IV.10.1 Détail des pièces de l'outil :	70
1) La semelle supérieure :	70
2) La matrice :.....	71
3) Le poinçon :	71
4) le porte poinçon :	72
5) Amortisseur (caoutchouc) :	72
6) Cale :	73
7) Le dévêtisseur :	73
IV.11 Conclusion :.....	74
Conclusion général :.....	75

Listes des figures

Figure I.1 : Organigramme de l'entreprise.....	03
Figure II.1 : principe de pliage.....	11
Figure II.2 : pliage sur élastomère.	12
Figure II.3 : pliage en V.....	13
Figure II.4 : pliage en U.....	14
Figure II.5 : pliage en Z.	14
Figure II.6 : Pliage équerre.	15
Figure II.7 : pliage en V.....	16
Figure II.8 : l'emboutissage.	17
Figure II.9 : principe d'emboutissage.	18
Figure II.10 : L'emboutissage à froid.....	19
Figure II.11 : L'emboutissage à chaud.	20
Figure II.12 : Variation de l'arrondi sur la matrice.....	21
Figure II.13 : opération de découpage	26
Figure II.14 : Crevage.....	26
Figure II.15 : L'encochage.....	26
Figure II.16 : Le grignotage.	27
Figure II.17 : L'arasage.....	27
Figure II.18 : Le détourage.	27
Figure II.19 : Le soyage.	28
Figure II.20 : Ajourage.	28
Figure II.21 : poinçon.	29
Figure II.22 : les étapes de poinçonnage.....	32
Figure II.23 : le jeu entre le poinçon et la matrice.	33
Figure II.24 : pièce poinçonner.....	34
Figure III.1: Paquet statorique.....	32
Figure III.2 : rotor à cage d'écureuil en aluminium.	32
Figure III. 3: Tôles rotorique.....	35
Figure III. 4: Tôles statorique.....	35
Figure III. 5: Paquet rotorique riveté.....	36

Figure III. 6: Rotor à cage d'écureuil en cuivre.	36
Figure III. 7: Rotor après injection d'aluminium.	37
Figure III. 8: Paquet statorique.....	37
Figure III. 9: Carcasses brute.	38
Figure III. 10: Flasques bruts.	38
Figure III. 11: Scie (débitage).	39
Figure III. 12: Arbres brutes dressés et centrés.	39
Figure III. 13: Arbre moteur.....	40
Figure III. 14: Arbre clavette moteur.	40
Figure III. 15: Carcasse en alliage d'aluminium.	41
Figure III. 16: Carcasses fontes brutes.	41
Figure III. 17: Boite à bornes et piéd de fixation.	42
Figure III. 18: Bobine mère (à l'achat).....	43
Figure III. 19: Spires de bobinage.	43
Figure III. 20: Caniveaux d'encoche.....	44
Figure III. 21: Maintenir les bobines au caniveaux d'encoche.	44
Figure III. 22: Presse de pré-montage.	46
Figure III. 23: Equilibrage rotor (à cage en aluminium).	46
Figure III. 24: Moteur semi-fini.	47
Figure III. 25: Moteur à l'état final.	49
Figure IV 1: Forme et dimensions de rotor.	51
Figure IV 2: L'emplacement de rotor dans le moteur électrique.	52
Figure IV 3: Fenêtre principale de SolidWorks (Outil).	57
Figure IV 4: presse avec outil.....	61
Figure IV 5: l'outil sur la presse.....	62
Figure IV 6: Cette figure donne les valeurs de la longueur libre de flambement L, en fonction de longueur réelle l, selon le mode de flexion des extrémistes de barre.....	64
Figure IV 7: jeu de découpage.	68
Figure IV 8: Outil d'encochage.....	70
Figure IV 9: la semelle supérieure.	71
Figure IV 10: la matrice.	71
Figure IV 11: le poinçon.	72
Figure IV 12: le porte poinçon.	72

Figure IV 13: l'amortisseur.....	73
Figure IV 14: la cale.....	73
Figure IV 15: le dévêtitseur	74

Liste des tableaux

Tableau II 1: les avantages et les inconvénients de pliage.....	14
Tableau II 2: Le coefficient K en fonction de d/D.	20
Tableau II 3: Matériaux du flan et leurs pressions spécifiques.....	21
Tableau II 4: résistance au cisaillement des mâtereaux.	26
Tableau IV 1: Composition chimique du matériau de rotor.....	53
Tableau IV2: Caractéristique mécanique du matériau de la pièce.	53
Tableau IV 3: Caractéristique de la presse à col de cygne.	60
Tableau IV 4: Caractéristique mécanique de poinçon.....	63
Tableau IV 5: Charge critique selon la valeur de γ	65
Tableau IV 6: jeu entre poinçon et matrice dans le cas des différents matériaux.	68

Introduction générale

Le monde de l'industrie mécanique ne cesse pas de se développer en matière de nouvelles techniques ces dernières années. Elles sont mis à jour afin de permettre aux utilisateurs de mieux profiter de ses outils qui deviennent plus qu'indispensable.

Les plus grands constructeurs insèrent de nouvelles techniques pour rendre leurs produit plus performant et plus sur; d'une part, et d'autre pour l'amélioration et l'aménagement de ce produit et même pour espérer des nouvelles parts dans le marché.

Dans le souci de répondre à un besoin d'adaptation aux exigences mondiale et d'être compétitif sur le marché, les responsables de CEI (complexe Electro Industrie d'Azazga) ont engagé une réforme qui vise à moderniser les processus de fabrication de ces produits. Elle est avant tout une exigence primordiale dans l'esprit des responsables de bureau des méthodes.

L'unité de prestation technique de cette entreprise nous a confié de faire une étude et une conception d'un outil pour la réalisation des encoches sur la tôle rotorique constituant les moteur électriques.

Dans ce mémoire, on a départagé le travail en quatre chapitres, le premier est consacré à la présentation et à la structure de l'entreprise, son histoire ainsi que son développement, nous avons aussi cité quelques-produits fabriqués par cette entreprise.

Ensuite dans le deuxième chapitre, on a présenté quelques procédés de mise en forme tel que le pliage, l'emboutissage, pour enfin finir par le découpage et le poinçonnage vu que l'outil de cette étude est un outil de poinçonnage.

Ensuite dans le troisième chapitre, on a présenté le cahier de charge d'étude de la pièce jusqu'à l'état finie (moteur à l'Etat final).

Dans le quatrième chapitre, on a présenté la tôle rotorique, sa fiche technique et ses caractéristiques chimiques et mécaniques. Ensuite on a donné la définition de la conception d'un produit et on a présenté le logiciel SolidWorks utilisé dans cette étude suivie de la partie étude et calcul et la conception de l'outil nécessaire à la réalisation des encoches da la tôle rotorique.

I.1 présentation

L'entreprise *ELECTRO-INDUSTRIES* est issue de la réorganisation du secteur industriel opérée en Algérie entre 1980 et 2000 qui ont conduit en 1999 (en fin d'année 1998) à la restructuration de l'ancienne entreprise *ENEL*. L'entreprise *ELECTRO-INDUSTRIES* est constituée d'un complexe intégré, réalisé avec des partenaires allemands (SIEMENS), qui produit et commercialise des moteurs, alternateurs, transformateurs depuis 1985 date de son démarrage sur un statut juridique SPA. Elle est la principale Entreprise Nationale dans le domaine de l'Industrie Electrotechnique. Son activité s'adresse au marché des biens d'équipements avec une production de :

- Transformateurs de distribution ;
- Moteurs Electriques asynchrones ;
- Alternateurs triphasés ;
- Montage de groupes Electrogènes.
- Le complexe occupe une surface totale de 45 hectares, dont 06 hectares bâtis

I.2 Localisation de l'entreprise et ses coordonnées :

Le siège social de l'entreprise est : Route nationale N°12 à AZAZGA à 35 Km à l'est du chef-lieu de la wilaya de TIZI-OUZOU et à 150 Km de la capitale Alger. L'entreprise dispose de deux unités de production situées sur le même site à AZAZGA.

Adresse : BP 17 15300 Azazga Algérie.

Téléphone : (00213) 26.34.16.86 (Standard).

Fax : (00213) 26.34.14.24.

E-mail : contact.ei@electro-industries.com

I.3 Présentation des unités :**I.3.1 Unité (direction) de fabrication de transformateurs de distribution :**

Capacité de production : 5.000 transformateurs par an ;
Puissance des transformateurs : 50 à 2000 kVa ; Tensions usuelles en moyenne tension : 5,5-10 et 30 kV ; Tension usuelle en basse tension : 400 V.

I.3.2 Unité (direction) moteurs et prestations :

Capacité de production de moteurs asynchrones : 50.000 de 0,25 à 400 kW ;

Capacité de production de moteurs monophasés : 20.000 de 1.1 KW à 2.2 kW ;

Capacité de production d'alternateurs : 2.000 de 17,5 à 200 kVA ; Montage

de groupes électrogènes : de 17,5 à 200 kVA.



Figure I . 1 : Organigramme de l'entreprise

I.4 Description et organisation des ateliers et fonction principale

- Atelier de découpage.
- Atelier de moulage sous pression ;
- Atelier de bobinage ;
- Atelier d'usinage ;
- Atelier de montage.

I.4.1 Atelier de découpage :

I.4.1.1 Découpage :

Dans cet atelier, sont découpés les deux types de tôles utilisées pour la conception de deux catégories de moteur de hauteur d'axe : 71 à 160 mm et 180 à 400 mm, Le découpage s'effectue sur presse rapide mécanique pour aboutir aux forme voulues après plusieurs opération successives ; La tôle avance et arrive entre l'outil et la matrice de la machine, c'est ainsi que le découpage commence

I.4.1.2 Le contrôle

Une fois le découpage des tôles statoriques et rotoriques et fini, un échantillon subi un contrôle des cotes fonctionnelles :

- Le diamètre intérieur.
- Le diamètre extérieur.
- La Co axialités.
- Le contrôle des bavures.
- Le contrôle de l'épaisseur de la tôle.

I.4.1.3 Empaquetage :

La réalisation des paquets statoriques et rotorique, s'effectue sur une presse à empaqueter, en plusieurs étapes :

a) Empaquetage du paquet statoriques :

Après l'emplacement des tôles en nombres définis, dans un outil monté sur une presse à empaqueter, on place les agrafes dans les rainures.

b) Contrôle du paquet :

Après sa réalisation le paquet statorique passe au contrôle visuel et dimensionnel

- Visuel, on contrôle le décalage des tôles, les bavures, ...
- Dimensionnel, les cotes fonctionnelles, cylindricité, diamètres intérieurs et extérieurs.

c) Empaquetage du paquet rotorique :

Ici on empile les tôles sur un calibre triage, pour obtenir la hauteur du paquet rotorique qui contrôlé à l'aide d'un pied à coulisse.

L'arbre est placé sur la partie supérieure de la presse via un piston, il emmanché de force dans le paquet rotorique.

I.4.2 Atelier de fonderie sous pression :**I.4.2.1 Moulage sous pression de rotor et pièces constitutives du rotor :**

L'empaquetage du paquet rotorique est fini, il passera au moulage sous pression, pour l'injection de l'aluminium dans les encoches, qui forme des anneaux de court-circuit.

Les pièces telles que : (carcasse, flasque, ...) sont aussi réalisées en alliage d'aluminium pour les moteurs à hauteur d'axe < 130mm.

Pour les moteurs à hauteur d'axe > 130mm, la carcasse et les flasques sont en fonte.

I.4.2.2 Contrôle :

On achemine cinq (05) échantillons du paquet rotorique vers le service contrôle pour subir la vérification suivante :

- La conductivité de l'aluminium.
- La longueur du paquet.
- Visuel.

I.4.3 Atelier d'usinage :

Dans cet atelier s'exécute la fabrication des arbres du rotor et aussi l'usinage des pièces comme : flasque, carcasse, etc.

I.4.3.1 Les différents types d'usinages :

a) Fabrication de l'arbre :

L'atelier reçoit les ronds d'acier qui subissent le contrôle de diamètre, concentricité, ... Une fois l'acier contrôlé les arbres sont découpés à l'aide d'une scie mécanique. L'arbre est ensuite acheminé au centre d'usinage pour être centré. Cette opération consiste à percer deux trous qui servent de référence pour pouvoir tourner le rotor dans un axe bien défini.

b) Usinage du rotor :

On effectue les opérations suivantes sur le rotor :

➤ Tournage du paquet :

C'est à l'aide d'un tour parallèle (dressage, chariotage, gorge,).

➤ Rectification :

A l'aide d'une rectifieuse on modifie l'état de surface où les roulements seront montés et les sorties d'arbre.

c) Fraisage :

A l'aide d'une fraiseuse on réalise les rainures de clavette.

d) Equilibrage du rotor

Deux méthodes d'équilibrage sont utilisées :

- Equilibrage avec l'ajout de rondelles d'acier.
- Equilibrage avec enlèvement de matières.

I.4.3.2 Usinage des différentes pièces (carcasse, flasque, boîte à bornes) :

a) Carcasse :

- Alésage des carcasses à l'aide des tours verticaux ;
- Perçage et taraudage des trous de fixation où seront fixés les flasques et la boîte à bornes.

b) Flasque (As et Bs) :

Tournage des bords de centrage et cage des roulements.

c) Boite à bornes :

Perçage et taraudage des trous de fixation recevant le couvercle.

d) Lavage des pièces :

Les pièces usinées sont lavées afin d'éliminer les encrassements.

Remarque :

Les techniciens qui travaillent dans cet atelier doivent suivre ce qu'on appelle la gamme d'usinage.

Exemple : gamme de fabrication de l'arbre

1. Scier la longueur ;
2. Centrer à la longueur ;
3. Tournage complet ;
4. Rectification ;
5. Fraisage des rainures ;
6. Huiler ;
7. Stockage au magasin.

I.4.4 Atelier de bobinage :**I.4.4.1 Préparation des bobines :**

Une fois le cuivre est contrôlé, il transite au magasin pour être remis aux bobineurs pour la confection des bobines qui se fait à l'aide des gabarits montés sur les machines rotatives qui s'appelle bobineuse qui sont réglés selon nombre de spires faisceaux.

I.4.4.2 Connexion des bobines :

Les bobines de chaque phase sont liées entre elles de façon précise en conformité avec le schéma de bobinage soit pour le type triphasé, la sortie de la phase u est l'entrée de v, la sortie de v est l'entrée de w, ...

Les points de connexion sont isolés avec des gaines isolantes déjà placées.

I.4.4.3 Imprégnation :

Cette opération consiste à mettre de la résine au stator pour le rendre plus compact et solidaire, deux méthodes sont utilisées :

- Imprégnation goutte à goutte (pour les petites hauteurs d'axes) ;
- Imprégnation dans un bain de résine puis séché dans des fours à 150°C (pour les moyens et les grands axes).

I.4.5 Atelier de montage :

Dans ce secteur sont effectuées les opérations suivantes :

- Mise on place du couvercle du palier intérieur coté Bs.
- Emmanchement des roulements coté As et Bs avec une presse verticale et emplacement des clavette
- Visser le couvercle de palier sur les flasques, cela permet de cerner le roulement entre ces deux pièces
- Emplacement de clavette coté Bs et emmanchement du ventilateur, puis insertion de la bague d'arrêt (circlips).
- Intégration du rotor complet dans le stator et fixation de flasque coté Bs avec vis
- Emplacement des rondelles sur le flasque coté As pour éviter les jeux axial des rotors.
- Fixations du flasque sur la carcasse ainsi que le montage du capot du ventilateur.
- Préparation de la boîte à borne et fixation des câbles de raccordement sur la plaque à borne.

I.4.6 Secteur prés montage :

Les opérations réalisées dans ce secteur sont :

- Huiler l'intérieur de la carcasse pour faciliter l'insertion du paquet statorique.
- Emmanchement du paquet avec une presse.
- Mise en longueur et tournage des bords de centrage de la carcasse coté AS et BS.
- Fraisage des pattes pour retrouver la hauteur d'axe exacte ; entiellement.

I.5 Conclusion

Cette expérience nous a permis de découvrir beaucoup de choses, non seulement le processus de fabrication, mais aussi les différentes méthodes utilisées dans le monde de l'industrie au sein de l'entreprise *ELECTRO-INDUSTRIES* qui à prouver par ses efforts internes qu'elle est la dominante dans ce domaine dans notre pays.

II.1 Introduction :

L'objectif premier de la mise en forme des métaux est de conférer à une pièce métallique des dimensions situées dans une fourchette de tolérance donnée. Les principaux procédés de mise en forme des métaux sont apparus progressivement, donnant naissance par la suite à diverses variantes, parfois très nombreuses. Les formes modernes des divers procédés sont le plus souvent apparues récemment pour assurer la production en grande série de pièces à faible coût. Parmi ces procédés, nous citerons : le découpage, le poinçonnage et le pliage.

II.2 Le pliage : [2]**II.2.1 Définition de pliage :**

Plier une tôle, c'est relever une partie de cette tôle de façon à former un angle l'arrête est rectiligne et plus ou moins arrondie.

Le pliage peut être considéré comme cintrage de faible rayon.

II.2.2 Principe de pliage :

Le pliage s'obtient par un effort de flexion provoqué sur toute la longueur de pliement :

- Par choc : par pression ou par choc.
- Mécaniquement : sur plieuse ou sur presse plieuse.

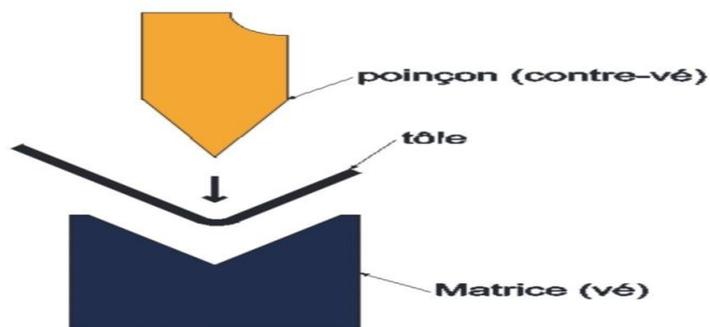


Figure II.2.1 : principe de pliage.

II.2.3 Différents techniques de pliage :**II.2.3.1 Pliage en frappe :**

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

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

II.2.3.2 Pliage en l'air :

Les branches libres du pli ne viennent pas au contact des faces intérieures du vé. La limitation de la descente du poinçon et l'écartement du vé, permettent d'obtenir les plis aux angles désirés. Ce mode de pliage est couramment utilisé car les forces appliquées sont environ 5 fois moins importantes que pour du pliage en frappe.

II.2.3.3 Pliage sur élastomère :

Ce procédé consiste à remplacer la matrice en métal par un coussin élastique en caoutchouc enchâssé dans un support métallique.

Le pliage à l'aide d'un outil élastique convient particulièrement à la mise en œuvre des tôles minces ayant reçues un traitement superficiel. Cette technique a l'avantage de ne jamais marquer la tôle, et nécessite des efforts très importants.

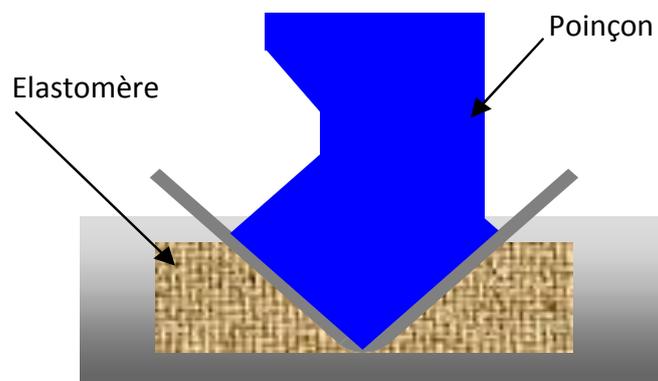


Figure II.2.2 : pliage sur élastomère.

II.2.4 Outils spéciaux :

Les outils utilisés pour le pliage sont en acier traité, et ils sont classés en deux catégories :

- Outils simples : de formes très variées, ils sont les plus utilisés en tôlerie, chaudronnerie.
- Outils combinés : ils peuvent effectuer plusieurs opérations simultanées (plusieurs plis, des poinçonnages, découpages...). Ces outils sont très spécialisés et coûteux.

II.2.4.1 Pliage en V :

Outillage simple, le poinçon est fixé sous le coulisseau de presse, la matrice sur la table. Un éjecteur facilite la récupération de la pièce et drageoir positionne le flan sur la matrice.

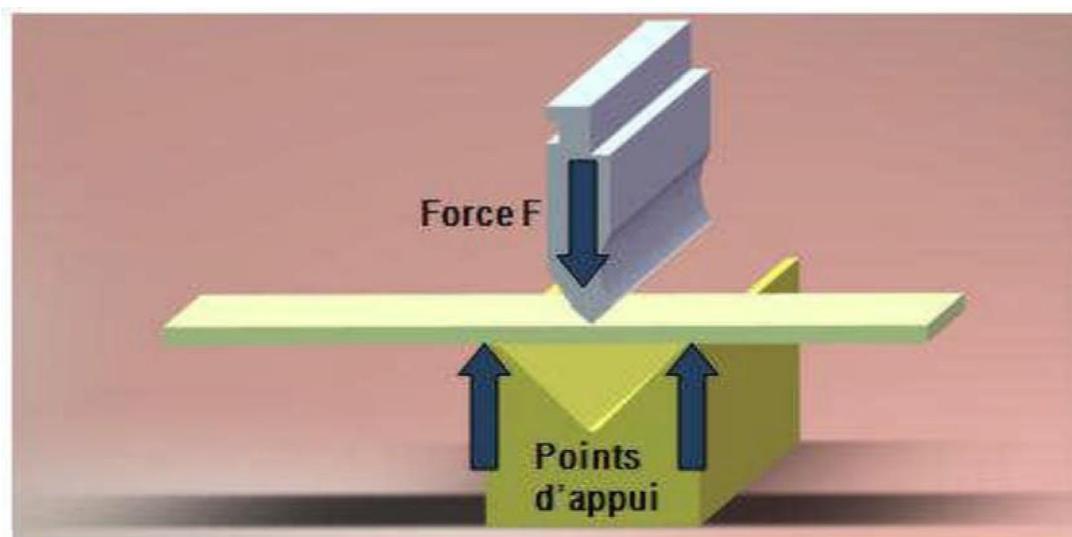


Figure II.2.3 : pliage en V.

II.2.4.2 Pliage en U :

- A. Pliage avec ailes extérieures : limité aux faibles hauteurs, si est importante la pièce est réalisée en deux passes.
- B. Pliage avec ailes intérieures : réalisé en deux opérations ou en une opération avec un outil à cames mais longueur de pièce limitée.
- C. Pliage fermé : l'ébauche est faite en deux opérations, frappée ensuite sur mandrin intérieur pour obtenir des cotes précises.

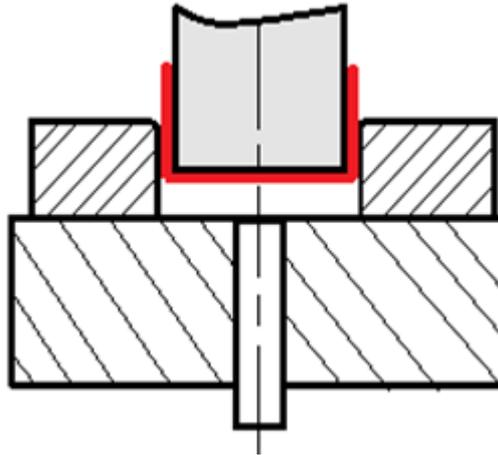


Figure II.2.4 : pliage en U.

II.2.4.3 Pliage en Z :

L'outil utilisé est simple et peu coûteux mais fournissant des pièces peu précises. L'outil est présenté en fin de course. Les ressorts sont calculés pour qu'au cours de la descente, le pliage s'effectue en premier lieu en (a) sur l'arête de l'éjecteur, puis en (b) lorsque la serre flan vient en butée sur son support. Les parties frottantes sont rapportées en acier dur.

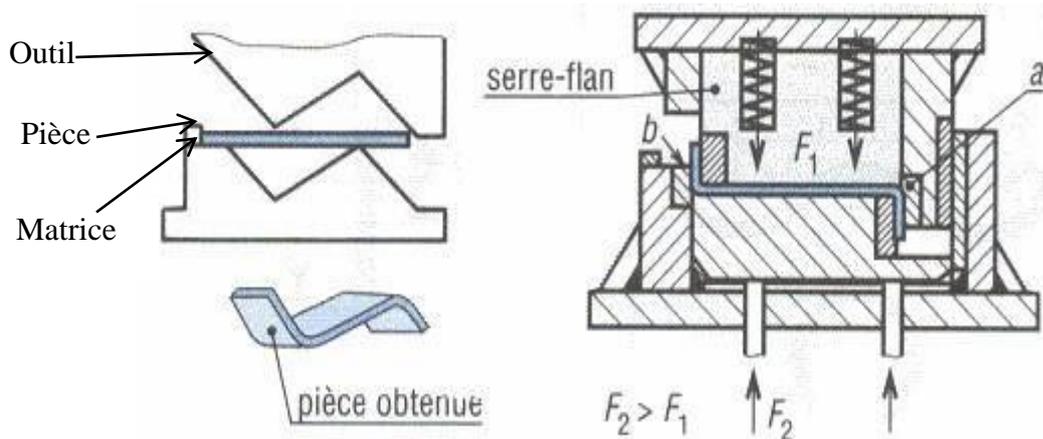


Figure II.2.5 : pliage en Z.

II.2.4.4 Pliage en équerre :

La zone pliée produit un effet de chasse qui doit être compensé par une surface de réaction L'aile la plus courte qui celle qui doit être relevée.

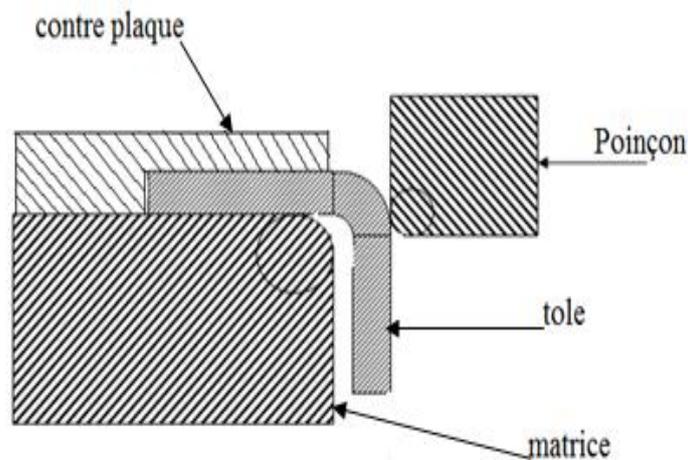


Figure II.2.6 : Pliage équerre.

II.2.5 Calcul de l'effort de pliage :

La connaissance de l'effort à fournir dans le pliage est utile pour le choix de la presse, pour cela on utilise les formules expérimentales ou les abaques. L'effort de pliage dépend de plusieurs facteurs englobant :

- Le matériau (la résistance, l'épaisseur).
- La forme de la pièce (en V, Z, U, ...).
- La façon d'exécution du pliage (pliage avec poinçon et matrice ou avec plaque Pivotante).
- Le frottement entre le demi-produit et l'outillage.
- La vitesse de déformation.....etc.

II.2.5.1 Le pliage en V :

❖ Pliage sans frappe :

L'effort de pliage exercé par le poinçon est donné par la formule suivante :

$$F1 = K \times (L \times e^2 \times Rm)$$

Avec

R_m : La résistance mécanique du métal à plier (N/mm²)

L : Longueur pliée e : Épaisseur de la tôle (mm)

V : Ouverture du V (mm)

K : Un coefficient dépendant de V

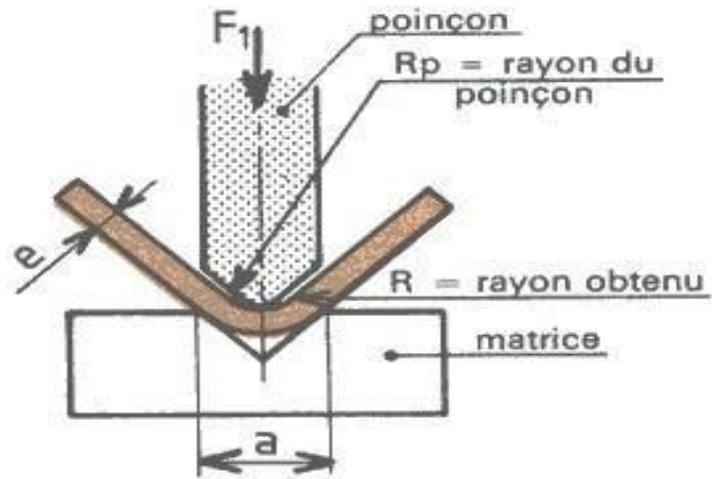


Figure II.2.7 : pliage en V.

❖ **Pliage avec frappe :**

$$\text{L'effort : } F_2 = 2F_1$$

II.2.5.2. Pliage en U :

❖ **Sans frappe :**

Dans ce cas, l'effort est fortement tributaire du jeu entre poinçon et matrice. Si le jeu égale épaisseur nominale de la tôle plus tolérance maximale, l'effort peut être défini par la relation :

$$F_3 = \frac{2}{3} \times R_m \times e \times \left(1 + \frac{e}{a}\right)$$

La relation suivante permet d'obtenir de bons résultats :

$$F_4 = 2,5 \times F_3$$

II.2.6 Avantages et inconvénient:

Avantages.	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Outillage simple ➤ Pièces réalisées de formes complexes ➤ Cintrage de tôles de forte épaisseur (faibles plis régulièrement espacés). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Longueur de pli limité à la longueur des machines. ➤ Elasticité résiduelle difficilement contrôlable.

Tableau II.2 : les avantages et les inconvénients de pliage.

II.3 L'emboutissage [1]

II.3.1 Définition de l'emboutissage :

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation plastique des métaux, cette déformation consiste en un allongement ou un rétrécissement local de la tôle, cette technique de fabrication transforme une feuille de tôle mince appelée flan en une pièce de forme bien minée à l'aide d'un outillage simple (un poinçon, une matrice et un serre flan) et avec une application d'une pression métrisée.

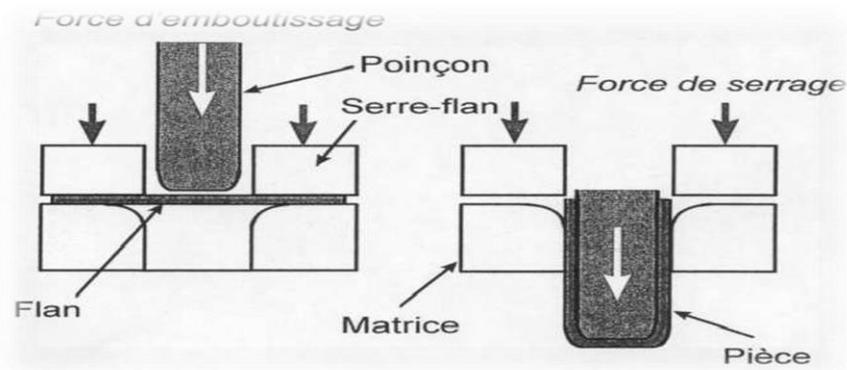


Figure II.3.1 : l'emboutissage.

II.3.2 Outillage :

L'emboutissage se pratique à l'aide de presses à emboutir de forte puissance munies d'outillages spéciaux qui comportent trois pièces principales :

- Une matrice en creux : épouse la forme extérieure de la pièce.

- Un poinçon en relief : épouse sa forme intérieure en gardant l'épaisseur de la tôle.
- Un serre flan : entoure le poinçon et il s'applique contre le contour de la matrice et il sert à coincer la tôle pendant l'application du poinçon.

Des joncs sont parfois utilisés pour freiner le glissement de la tôle.

L'entrée de la matrice doit être très arrondie et polie pour éviter toute déchirure du métal et pour optimiser le comportement des zones de rétreint, aucun angle ne doit être vif et un parfait état de surface est primordial, la mise au point de tels outils est une opération très spécialisée et très coûteuse notamment sur les pièces d'aspect (exemple : plusieurs mois pour l'extérieur d'une portière, capot, etc.).

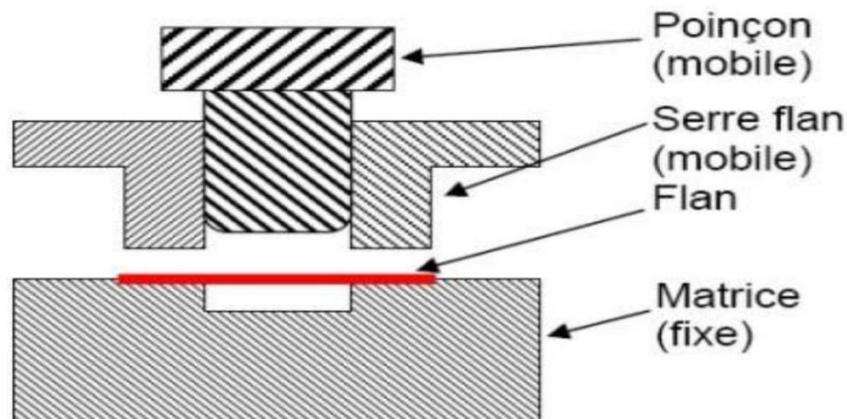


Figure II.3.2 : principe d'emboutissage.

II.3.3 Fonctionnement :

L'opération d'emboutissage :

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

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

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

Phase 4 : le poinçon et le serre-flan se relèvent : la pièce conserve la forme acquise.

Phase 5 : on procède au détournage des pièces, c'est-à-dire à l'élimination des parties devenues inutiles.

II.3.4 Types d'emboutissages :

II.3.4.1 l'emboutissage à froid :

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

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

A ceci, il faut ajouter d'une part l'effet de l'écrouissage apparaissant lors de la mise en forme et se traduisant par un durcissement structural et une baisse de la ductilité. D'autre part, la création de contraintes résiduelles au sein des pièces finies limite ses applications (risque de rupture fatiguée).

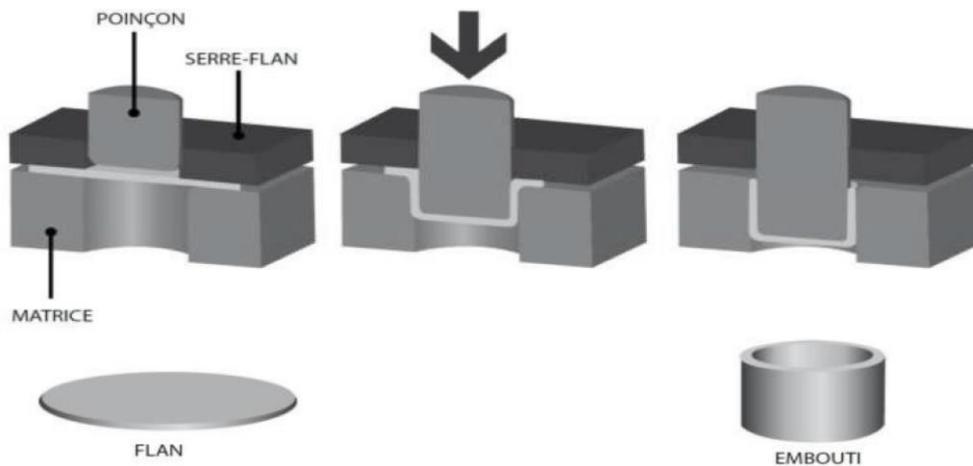


Figure II.3.2 : L'emboutissage à froid.

II.3.4.2 l'emboutissage à chaud :

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

Cette technique facilite la déformation du matériau. Permet l'emboutissage de des pièces profondes par chauffage du flan et de la matrice et évite l'écrouissage et la formation de contraintes résiduelles.

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

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

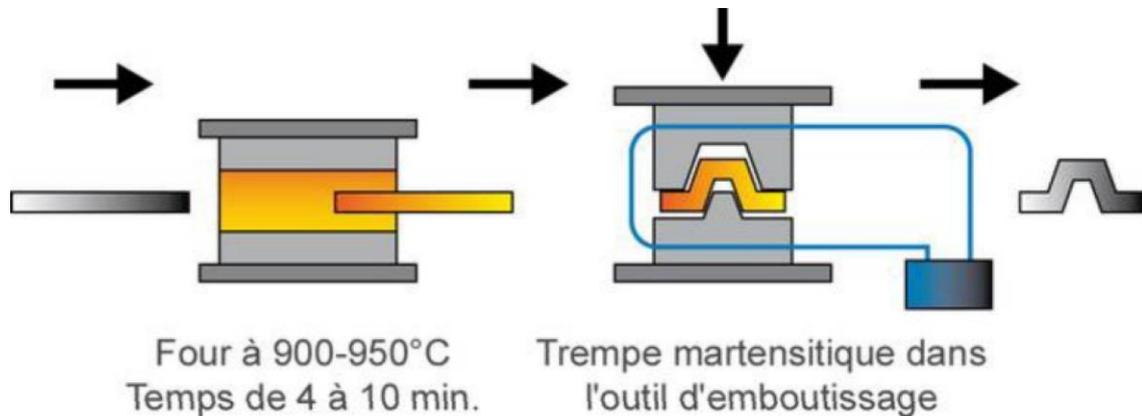


Figure II.3.3 : L'emboutissage a chaud.

II.3.5 Paramètre d'emboutissage :

❖ **Le jeu entre le poinçon et la matrice :**

Lorsque l'espace entre le poinçon et la matrice est théoriquement égale à l'épaisseur de la tôle, il se produit une augmentation de l'épaisseur de la paroi. L'augmentation de ce jeu a une influence sous l'effet du poinçon mais entraîne certains inconvénients tels que :

1. La détérioration du profil de la paroi.
2. Déviation du poinçon entraînant la formation de languettes sur le bord de l'embouti.
3. Apparition de plis sur la paroi de l'embouti.

Inversement si l'épaisseur de flan est plus grande que l'espace existant entre le poinçon et la matrice. Il se produit un écrasement et un amincissement indésirables de la paroi. Il est courant d'utiliser des tables donnant le jeu en fonction de l'épaisseur du flan et de la matrice.

Elles sont basées sur les formules suivantes :

- Pour l'acier $W=e+0.07 \times (10 \times e)^{1/2}$
- Pour l'aluminium $W=e+0.02 \times (10 \times e)^{1/2}$
- Pour les métaux ferreux $W=e+0.04 \times (10 \times e)^{1/2}$

❖ Le rayon sur la matrice :

Ce paramètre a une très grande importance autant pour la qualité de l'embouti que pour la réparation des force. En effet, on comprend parfaitement que dans les deux cas extrêmes dessous. L'emboutissage n'est pas viable.

On observera pour

- $R=0$: un déchirement du flan.
- $R= (D-d)$: la formation de plis.

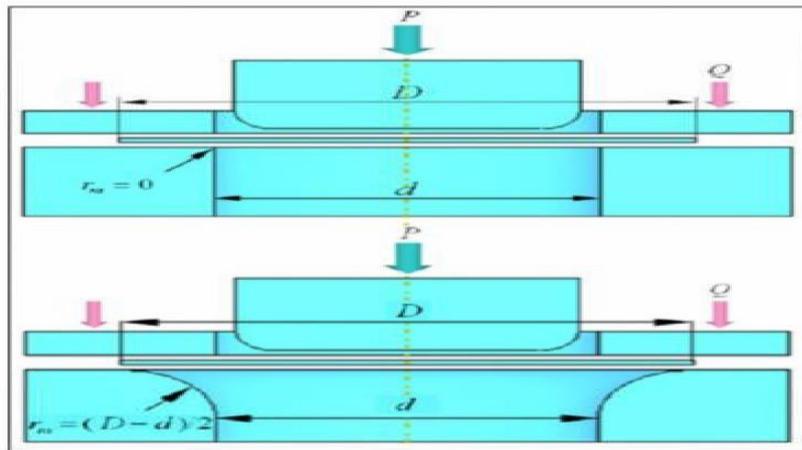


Figure II.3.4 : Variation de l'arrondi sur la matrice

Afin de déterminer le rayon efficace, on utilise cette relation :

- Pour l'acier $r=0.8 \times [(D-d) \times e]^{1/2}$
- Pour l'aluminium $r=0.9 \times [(D-d) \times e]^{1/2}$

Avec :

D : diamètre du flan (mm).

d : diamètre de l'embouti (mm).

e : épaisseur du flan (mm).

❖ Arrondi sur le poinçon :

La partie de la tôle qui se trouve en contact avec la surface inférieure du poinçon subit l'action des forces de frottement qui empêchent la matière de bouger. L'effort du poinçon se transmet aux parois de l'embouti. Le poinçon ne doit contenir un arrondi pour ne pas percer le flan. Généralement, on prend le rayon de poinçon inférieure à celui de la matrice.

❖ La vitesse d'emboutissage :

Elle se définit comme la vitesse de poinçon au moment de l'attaque de la tôle. Les transformations qui subit le métal à froid entraînent un écrouissage de celui-ci dépend de cette vitesse. Une vitesse trop faible, tend donc à générer un écrouissage trop important sur le métal, le rendant moins malléable.

Une grande vitesse tend empêcher la propagation de la force du poinçon jusqu'au niveau du flan. Cette altération pouvant alors se traduire par une rupture du flan.

D'après BLISS, il existe une vitesse optimale pour chaque métal :

- Pour l'acier : 200mm/s ;
- Pour le zinc : 200mm/s ;
- Pour les aciers doux : 280mm/s ;
- Pour l'aluminium : 500mm/s ;
- Pour le laiton : 750mm/s ;

❖ La pression de serre flan :

La suppression des plis est un des objectifs majeurs de l'emboutissage. Le rôle du serre-flan consiste à empêcher la formation de plis sur le rebord du flan en exerçant une pression appropriée. La présence du flan ne s'impose que si :

$$d < 0,95 \times D \text{ ou } e < 0,2 \times (D-d)$$

Dans la pratique, il faut que le serre-flan soit bien trempé et rectifié. La pression est réglée à l'aide de clés dynamométriques. De ressort ou de caoutchouc. En fonction de l'aspect de l'embouti :

- Si la paroi est sans plis et d'aspect brillant. La pression est adaptée.
- Si la paroi est bonne mais que les bords supportent des marques de denture, c'est que la pression est trop faible.
- S'il se produit un déchirement lors de la descente du poinçon. C'est que la pression est trop importante

Ainsi, pour un embouti cylindrique de diamètre de flan de diamètre D , la pression des ressorts ou de caoutchouc sera :

- Pour l'aluminium : $0,10 \text{ k}^8 / \text{g} \cdot \text{mm}^2$
- Pour le zinc : $0,12 \text{ k}^8 / \text{g} \cdot \text{mm}^2$
- Pour le l'aiton : $0,20 \text{ k}^8 / \text{g} \cdot \text{mm}^2$
- Pour les aciers inox : $0,20 \text{ k}^8 / \text{g} \cdot \text{mm}^2$
- Pour les aciers doux : $0,25 \text{ k}^8 / \text{g} \cdot \text{mm}^2$

Il est également possible de faire appel à une installation pneumatique où Hydraulique offrant un réglage de la pression plus facile qu'avec un dispositif a ressort ou en caoutchouc.

II.3.6 L'effort d'emboutissage cylindrique :

L'effort nécessaire pour emboutir des pièces cylindriques dépend tout d'abord des Diamètres de l'embouti et du flan primitif. De l'épaisseur et de la qualité de la tôle .il dépend également de la pression de serre-flan, de la vitesse d'emboutissage.

Il est difficile de tenir compte de tous ses facteurs dans la détermination de la pression du poinçon, c'est pourquoi il est commun d'employer les formules simplifiées suivantes :

$$F_e = \pi \cdot d \cdot e \cdot R_m \cdot K$$

Avec :

F_e : effort d'emboutissage (daN).

d : diamètre du poinçon (mm).

D : diamètre du flan (mm).

e : épaisseur de la tôle (mm).

R_m : résistance de la tôle à la traction (daN/mm²)

$\frac{d}{D}$	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8
K	1	0.86	0.72	0.6	0.5	0.4

Tableau II-1 : Le coefficient K en fonction de d/D.

Lorsque l'emboutissage se fait sur une presse à simple effet, l'effort sur le serre flan

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

Avec :

P : pression spécifique sur le serre-flan

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

Tableau II-2 : Matériaux du flan et leurs pressions spécifiques.

II.3.7 La lubrification :

Parmi les techniques permettant de maîtriser le frottement, la lubrification est certainement la plus anciennement pratiquée. Elle consiste à intercaler les deux corps de faible scission et de contrainte de rupture faible.

Ainsi, une lubrification adaptée facilite l'écoulement de la tôle entre la matrice, le serre flan et le poinçon.

Dans le cas d'un poinçon de petit rayon, il est préférable de ne pas lubrifier voir même d'augmenter du poinçon afin d'éviter une déformation par expansion localisée.

II.3.7 Les avantages et les inconvénients de l'emboutissage :**a. Les avantages de l'emboutissage :**

- L'emboutissage est un procédé permettant d'obtenir des pièces de surface non développable à partir de feuille de tôle mince. C'est-à-dire qu'il est possible d'obtenir des formes très variées impossible à obtenir avec un tour ou une fraise.
- L'état de surface d'une pièce brute d'emboutissage est nettement meilleur que celui d'une pièce coulée. L'esthétique des pièces embouties en est donc bien supérieure.
- Cette technique de mise ouvre offre un bas prix de revient et permet des cadences de production très élevée.

b. Les inconvénients fréquemment rencontrent en emboutissage :

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

II.4 Le découpage [1]**II.4.1 Définition de découpage :**

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

Une différence est faite sur les termes :

II.4.2 Principe :

C'est une opération qui consiste à serrer la bande du métal entre une matrice et un poinçon, qui pénètre à l'aide d'une pression dans la tôle, jusqu'à ce qu'il produise un cisaillement total du métal.

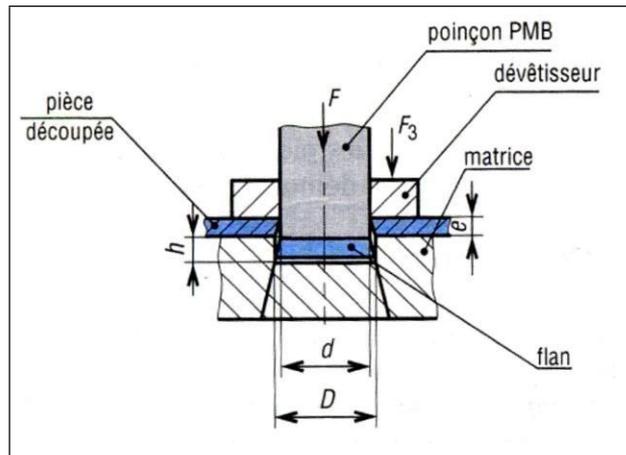


Figure II.4.1: opération de découpage.

II.4.3 Quelques Types de découpage :

a) Crevage :

C'est un découpage partiel, il consiste à ne pas détacher la chute avec la pièce.

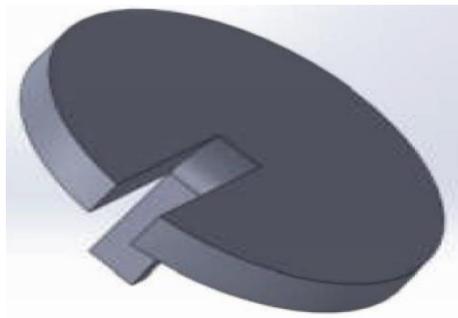


Figure II.4.2 : Crevage

b) Encochage :

Découpage débouchant sur un contour.

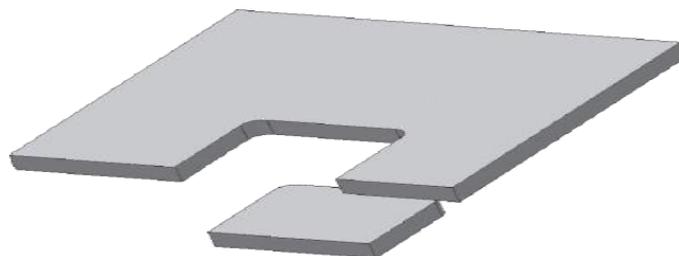


Figure II.4.3 : L'encochage.

c) Le grignotage :

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

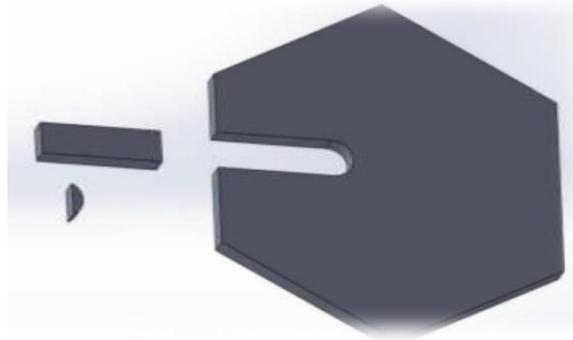


Figure II.4.4 : Le grignotage

d) L'arasage :

Découpage en reprise (précision de côtes et d'états de surfaces).

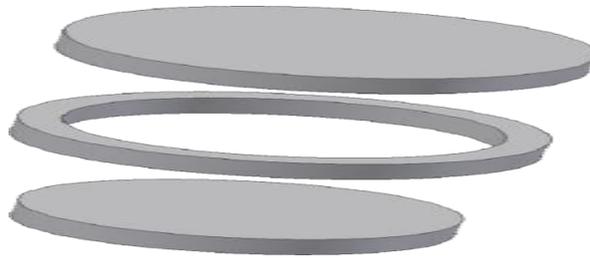


Figure II.4.5 : L'arasage.

e) Détourage

Finition d'un contour déjà ébauché, modifié au cours d'une déformation. Il consiste à enlever par découpage un excédent de métal autour d'une pièce préalablement formée. Le détourage est alors la dernière opération de formage.

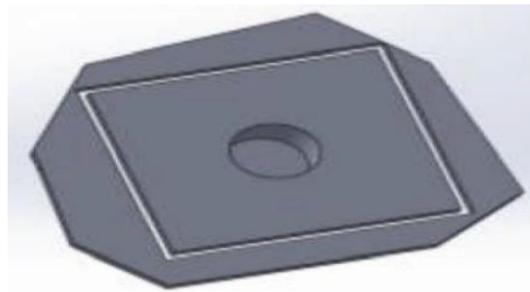


Figure II.4.6 : Le détourage.

f) Le soyage :

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

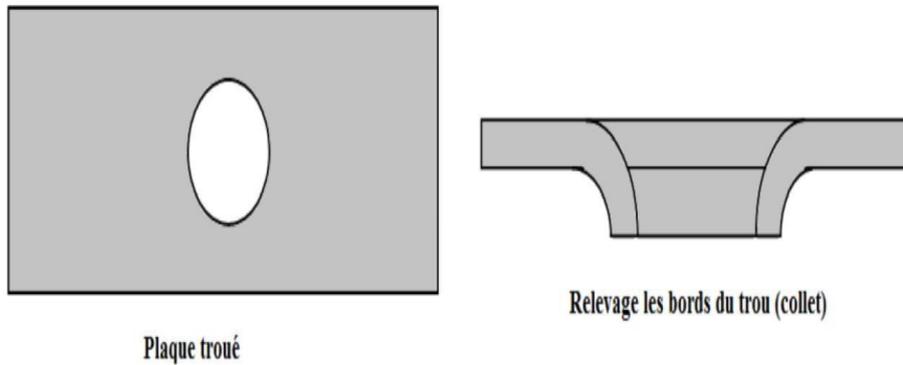


Figure II.4.7 : Le soyage.

g) Ajourage :

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

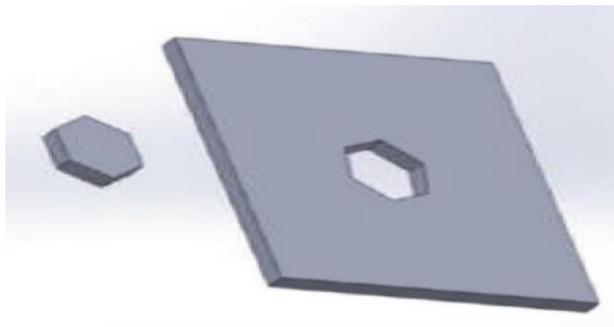


Figure II.4.8 : Ajourage.

II.4.4 Matrice et poinçon :

Les poinçons sont fixes si les matrices sont mobiles. Ils doivent résister à la compression et au flambage. Pour les poinçons cylindriques on prend à la limite : $d \geq 1.6e$ pour les aciers doux. Une matrice en acier peut produire environ 50 000 pièces sans être affûtée l'affûtage diminue h de 0.2 à 0.5 mm.

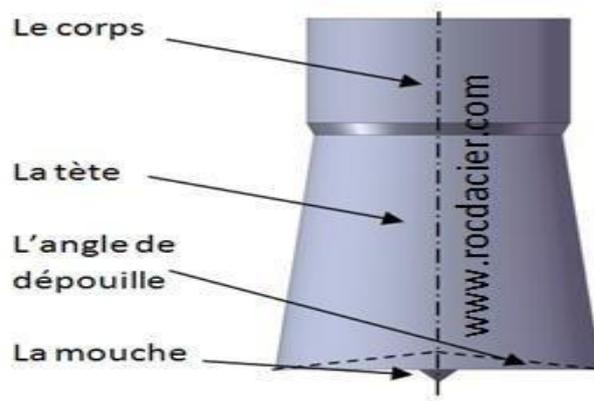


Figure II.4.9 : poinçon.

II.4.5 Effort de découpage :

C'est l'effort nécessaire au découpage d'une pièce donnée, il est égale au produit du périmètre (P) de la pièce par son épaisseur (e) et par la résistance (R_c) à la rupture au cisaillement du métal à découper.

$$F = P \times e \times R_c$$

Tels que :

F: Efforts de découpage (daN) ;

P : Périmètre de la surface à découpée (mm) ;

e : Épaisseur de la surface à découpée (mm) ;

R_c : La résistance au cisaillement de la pièce à découpée (daN/mm²).

Et voici quelques valeurs de résistances au cisaillement des matériaux les plus utilisés :

Matériaux	R _c (daN/mm ²)
Acier dur	70
Acier inoxydable	55
aluminium	10
Cuivre	20

Tableau II.3 : résistance au cisaillement des matériaux.

II.4.6 Effort d'extraction :

C'est l'effort nécessaire pour dégager le poinçon de la zone de découpage, il varie de 2 à 7 pour cent de celui de découpage. Soit :

- 7 % de l'effort quand la chute est plus grande de deux ou trois fois que l'épaisseur de la tôle.
- 5% de l'effort quand la chute est moyenne par rapport à l'épaisseur de la tôle.
- 2 % : si la chute de découpage est faible.

II.5 Poinçonnage [2]**II.5.1 Définition de poinçonnage :**

Le poinçonnage est une opération de découpage qui consiste à exécuter un trou dans le métal à l'aide d'un poinçon qui enlève la matière en totalité d'un seul coup.

Le poinçonnage est selon le corps de métier, une marque ou poinçon laissés sur un objet ou une perforation occasionnée par une poinçonneuse.

Le poinçonnage s'exécute soit à la main pour les travaux unitaires et moins précis à l'aide des petits poinçons manuel. Soit avec des poinçonneuses (machines) pour les travaux de grandes séries et de bonne précision dimensionnelle.

II.5.2 Principe :

On appelle le poinçonnage, le cisailage sur un contour fermé, effectué par un Poinçon agissant sur une matrice. Le principe reste le même que pour le cisailage. La rupture s'effectue donc après un effort de traction.

Généralement, le poinçonnage est utilisé en tôlerie pour réaliser des trous et découper des flancs de formes complexes parfois non rectangulaires, donc difficiles ou impossibles à réaliser par cisailage.

II.5.3 Les trois types de poinçonnage :

- Le poinçonnage classique : enlèvement de matière par simple réalisation de trous.
- Le grignotage : qui consiste à découper un pourtour intérieur ou extérieur par des multiples coups de poinçon.
- Le découpage à la presse : découpe de flan à l'aide d'un outillage spécifique.

II.5.4 Les différentes étapes de poinçonnage :

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

Le poinçonnage se fait à plusieurs étapes :

1. L'impact :

Provoque un gonflement dans la surface de la pièce. (**Figure A**),

2. Pénétration :

Fibres superficielles coupées et Fibres internes en extension. (**Figure B**),

3. Découpage :

Forte contrainte de compression, dépassement de la limite élastique donne naissance à des fissures de la tôle entre le poinçon et la matrice. (**Figure C**),

4. Séparation :

Rupture par extension des fibres. (**Figure D**),

5. Fin de course :

L'enfoncement du déboucheur et du poinçon dans la matrice, le déboucheur s'enfonce vers le cœur de la pièce puis se retire lentement. (**Figure E**),

6. Le retrait :

En fin de course, le poinçon recule en surmontant la friction qui est due à serrage de la pièce qui l'entrouvre (déboucheur) (**Figure F**).

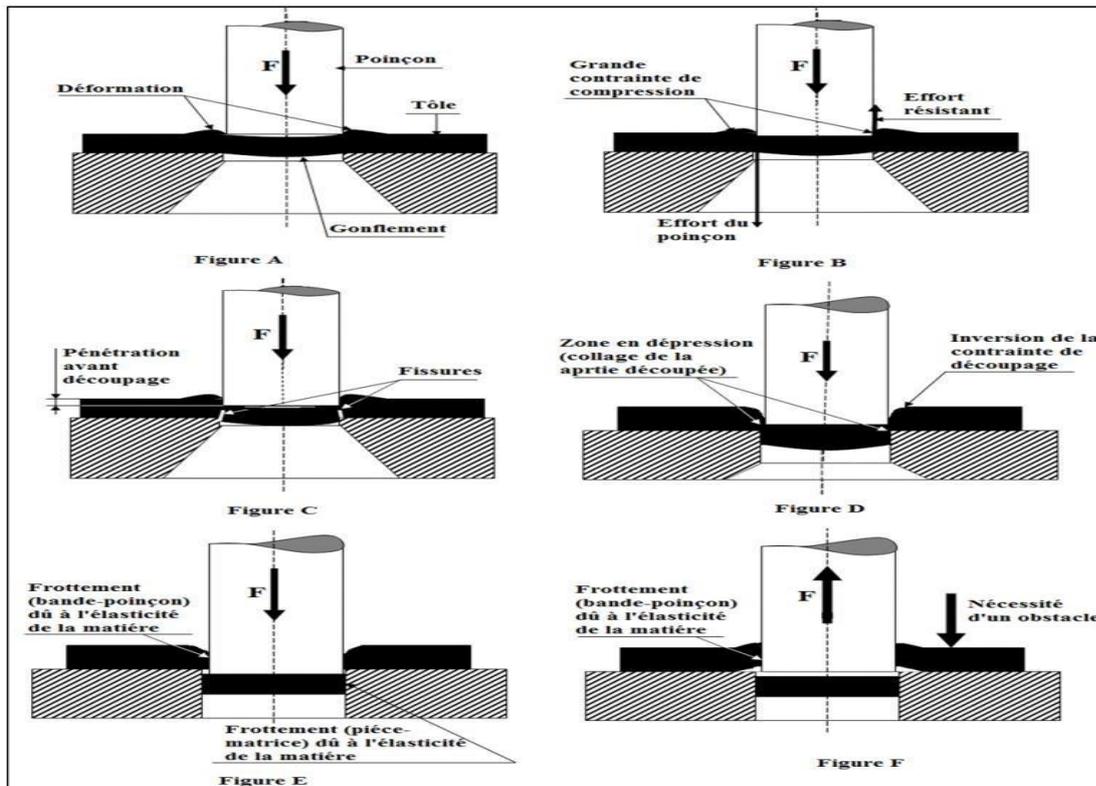


Figure II.5.1: les étapes de poinçonnage.

II.5.5 Le jeu (entre le poinçon et la matrice) :

Tout comme en cisailage, un jeu est nécessaire entre les arêtes des outils. Ce jeu démunies les efforts de poinçonnage de la zone poinçonnée. Ce jeu de poinçonnage sera proportionnel à l'épaisseur poinçonnée et dépendra de la résistance du métal, il permet également de garantir une coupe naitre et franche.

Donc :

$$2j = D-d$$

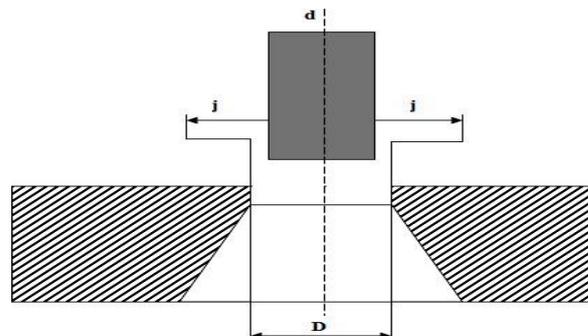


Figure II.5.2 : le jeu entre le poinçon et la matrice.

Le jeu entre le poinçon et la matrice

Tels que : j

: jeu (mm)

D : diamètre de la matrice (mm) d

: diamètre du poinçon (mm)

- Pour le découpage le jeu est à prendre sur le poinçon.
- Pour le poinçonnage le jeu est à prendre sur la matrice.

II.5.6 Effort de poinçonnage :

L'effort de poinçonnage dépend de l'épaisseur de la tôle, du périmètre de la section du trou et de la résistance du métal. Et les frottements qui sont généralement négligés. Une lubrification est conseillée pour ne pas user prématurément les utiles. Par conséquent, la section minimale de poinçonnage dépend de l'effort de poinçonnage. De la forme se de la surface de la section poinçonnée et aussi de flambage de l'outil.

Voici la formule générale de calcul des efforts de poinçonnage :

$$F = R_c \times e \times P$$

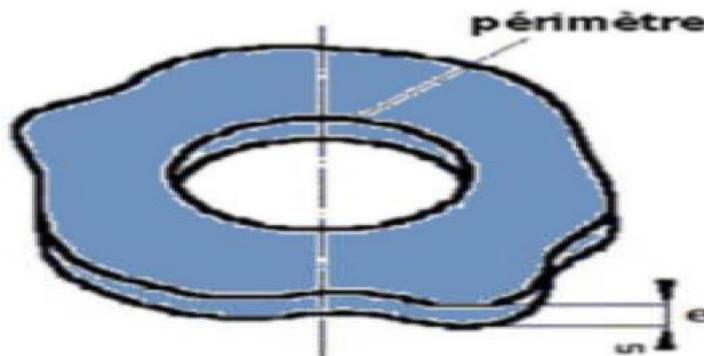


Figure II.5.3 : pièce poinçonner.

Tels que :

F = effort de poinçonnage (daN) ;

P = périmètre du poinçon (mm) ; e

= épaisseur de tôle (mm) ;

R_c = résistance du matériau au cisaillement (daN/mm²).

II.5.7 Avantages et inconvénients du poinçonnage :**1. Avantage :**

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

2. Inconvénient :

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

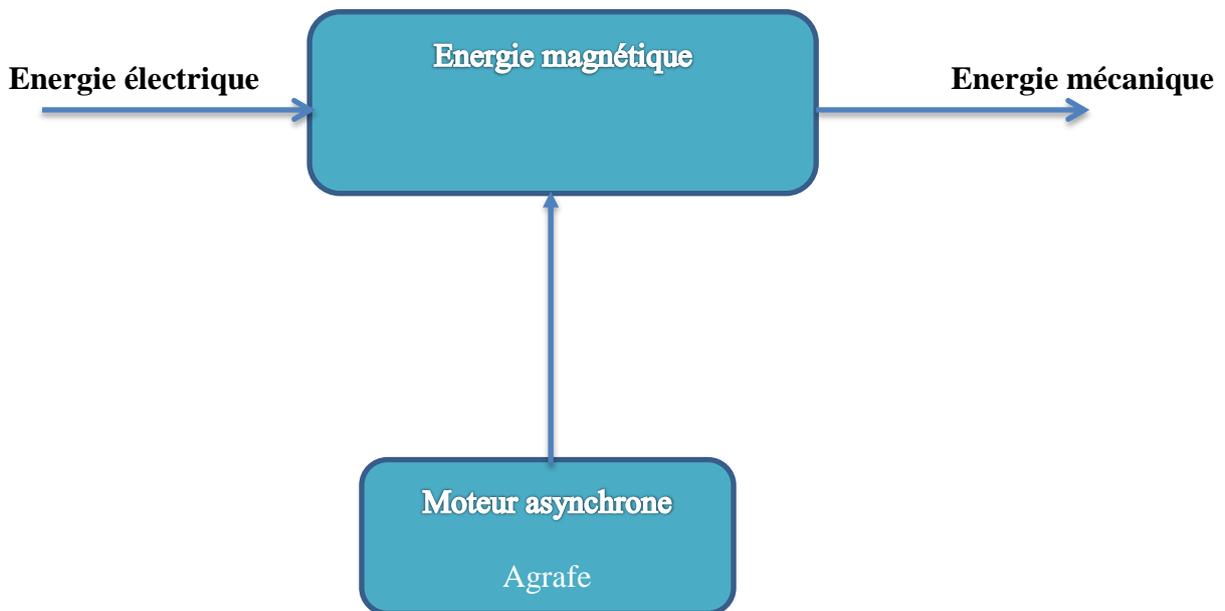
II.6 Conclusion :

Les techniques de mise en forme des matériaux : découpage, poinçonnage, pliage, emboutissage ont pour Objectif de donner une forme déterminée au matériau tout en lui imposant une certaine microstructure, afin d'obtenir un objet ayant les propriétés souhaitées. C'est un travail qui nécessite de maîtriser parfaitement certains paramètres expérimentaux tels que : la composition du matériau et ses différentes caractéristiques mécaniques.

Ce chapitre nous a permis d'étudier le procédé de mise en forme des pièces mécaniques Effectuées sur presses.

III.1 Généralité sur les moteurs asynchrones :

La machine asynchrone, connue également sous le nom de machine à induction, qui est une machine électrique à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor. Les machines possédant un rotor « en cage d'écureuil » sont aussi connues sous le nom de la machine à cage ou machines à cage d'écureuil. Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de rotation du rotor de ces machines n'est pas exactement déterminée par la fréquence des courants qui traversent leur stator. Ce moteur permet la conversion d'une énergie électrique en énergie mécanique, comme il est représenté, comme il est dans le schéma suivant :



Donc on définit les moteurs asynchrones qui représentent plus de 80% du parc moteur électrique, comme étant des machines utilisées pour transformer l'énergie électrique en énergie mécanique grâce à des phénomènes électromagnétiques. Et elles représentent des machines robuste, économique et ne nécessitant que peu de maintenance. De plus, la vitesse de rotation est presque constante sur une plage de puissance.

III.2 Constitution des moteurs asynchrones :

Ce type de moteur comporte deux parties principales :

III.2.1 Inducteur « stator » :

Ça représente la partie fixe du moteur Soit une carcasse en fonte ou en alliage léger « aluminium » qui renferme une couronne de tôles minces « 0.5 mm » en acier au silicium qui Représente les plaques magnétiques.

Ces tôles sont isolées entre elles par Oxydation ou par un vernis isolant ce qui réduit aussi le frottement entre les plaques et qui réduit l'augmentation de la température de notre moteur Le feuilletage du circuit magnétique réduit les pertes par hystérésis et par courants de Foucault. Les tôles sont munies d'encoches dans lesquelles prennent les enroulements statoriques « bobinage » destiné à produire le champ tournant Et le couplage des bobines entre elle définit le nombre de paires de pôles du moteur.



Figure III.1 : Paquet statorique.

III.2.2 Induit « rotor » :

Représente l'élément mobile du moteur Comme le stator il est constitué d'un empilage de tôles minces isolées entre elles et formant un cylindre claveté sur l'arbre moteur.



Figure III.2 : rotor à cage d'écureuil en aluminium.

III.3 Le principe de fonctionnement :

Le stator support plusieurs enroulements alimentés par une tension alternative triphasée. Les bobines produisent un champ magnétique variable qui a la particularité de tourner autour de l'axe du stator suivant la fréquence de la tension d'alimentation

- Le champ tournant (statorique) induit des courants dans le rotor
- Leur interaction entraîne la rotation du rotor à une fréquence

III.4 Processus de fabrication d'un moteur asynchrone triphasé :

Au niveau de l'entreprise Electro Industrie d'Aazazga (CEI), le processus de fabrication des moteurs asynchrones est assuré par l'unité moteur électrique.

III.4.1 Présentation de l'Unité moteur électrique :

Au sien de cette unité l'entreprise ce charge de la fabrication à partir du brute les moteurs électriques, les groupes électrogènes et les génératrices.

Pour ce qui concerne les génératrices leur fabrication est de plus en plus moins :

III.4.2 Définition d'un groupes électrogènes : [7]

Un groupe électrogène est un dispositif autonome capable de produire de l'électricité. La plupart des groupes sont constitués d'un moteur thermique qui actionne un alternateur. Leur taille et leur poids peuvent varier de quelques kilogrammes à plusieurs dizaines de tonnes la puissance d'un groupe électrogène s'exprime en VA (voltampère), kVA(kilovoltampère) ou MVA (méga voltampère) selon la puissance.

Les unités les plus puissantes sont mues par des turbines à gaz ou de gros moteurs Diesel et pour assurer un bon fonctionnement de la phase de fabrication les taches sont réparties sur deux bâtiments : bâtiment 2A, bâtiment 2.

III.4.3 Présentation de l'atelier Bâtiment 2A :

Au niveau de cet atelier les ouvriers sont attendue de réaliser plusieurs taches sur le matériau brut jusqu'à l'amener à l'état attendue, et cela en passant sur trois secteur :

·Secteur découpage

·Secteur compactage

·Secteur moulage sous pression

III.4.3.1 Secteur de découpage :

Au niveau de ce dernier ils effectuent la préparation des pièces stator et rotors qui seront montées sur le stator et le rotor des moteurs successivement, et le processus est le suivant : Tout commence au niveau du magasin de stockage des matériaux magnétiques, au le matériau est stocké sous forme de bobine de dimension déférente et selon le besoin « taille du moteur » L'atelier reçoit deux sortes de tôles :

- Tôles isolées avec du vernis pour les moteurs à hauteur d'axe de 183 à 406 mm

- Tôles non-isolées, qui seront par suite isolées par oxydation et phosphatation dans des fours à haute température « réservée pour les moteurs à hauteur d'axe de 70 à 163 mm »

Puis ces dernières seront montées sur les mandrins des presses automatiques rapides qui s'occuperont du découpage des pièces stator et rotor en même temps, au niveau de ses presses l'opérateur effectue moins de 10% de la tâche, « récupération des pièce, et vérification de la première pièce »

En parallèle, l'usine dispose de presse bielle manivelle et d'encocheuse.

Les presse bielle manivelle : l'ouvrier à comme tache de réaliser des couronne « découpage en forme circulaire des tôles, dans le but de les envoyer vers les encochées pour réaliser les pièces stator et rotor séparément, chacune séparément au contraire des presse rapides.

Aussi en parallèle, ils réalisent l'usinage sur un tour de forme des couvercles des moteurs, Et l'emboutissage et le détourage de ces dernières grâce à des presses hydrauliques Ainsi ils réalisent la préparation de ces pièces à la peinture en lui subissant plusieurs traitements chimiques.

Rinçage dans solutions acide pour enlever les imputées organiques, ils utilisent le per chlore
Rinçage dans du phosphate « phosphatation »



Figure III.3 : Tôles rotorique

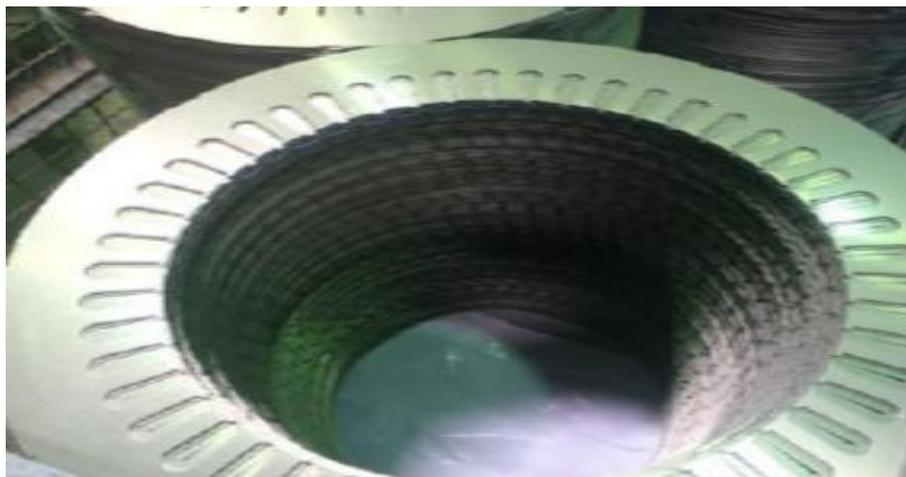


Figure III.4: Tôles rotorique.

III.4.3.2 Secteur empaquetage :

Au niveau de cet atelier ils effectuent l'empaquetage des pièces magnétiques et leur assemblage sur les arbres moteurs. Et cet atelier est divisé lui aussi en deux secteurs :

a) Empaquetage rotor :

L'opération est effectuée en plusieurs étapes les plaques magnétiques du rotor seront assemblées en paquet, puis compactées grâce à des presses hydrauliques « la fixation est réalisée soit à l'aide des rivets pour les grands moteurs dont la hauteur d'axe dépasse les 130 mm, et par injection d'aluminium pour les petits moteurs dont la hauteur d'axe ne dépasse pas les 130 mm Une fois les paquets sont assemblés, on les monte sur l'arbre moteur et seront clavetés avec ce dernier.



Figure III.5: Paquet rotorique riveté.

On insert des barres plates en cuivre à travers les encoches des pièces rotoriques qui joueront le rôle des conducteurs « bobines » pour les grands moteurs, et des barres cylindriques en bronze pour les petits moteur et pour réaliser le court-circuit de la partie rotorique on utilise des couronnes qui reliront les barres entre elles des deux côtés. Puis à l'aide des machines de soudage à moyenne fréquence on soude les couronnes avec les barres « on insert des granula à l'intérieur des couronnes et on le dissout puis il sera refroidi à l'aide d'un système de refroidissement à eau », ce procédé est réalisé sur les grands moteurs Et sur les petits moteurs, on utilise l'injection d'Aluminium par injection sous pression



Figure III.6: Rotor à cage d'écureuil en cuivre.



Figure III.7: Rotor après injection d'aluminium.

b) Empaquetage stator :

Pour ce qui concerne l'empaquetage des plaques statoriques :

On assemble les pièces statoriques par paquet puis ils seront compactés à l'aide des presses et fixés par des agrafes « 8 agrafes pour les petits moteurs et 12 agrafes pour les grands moteurs ».

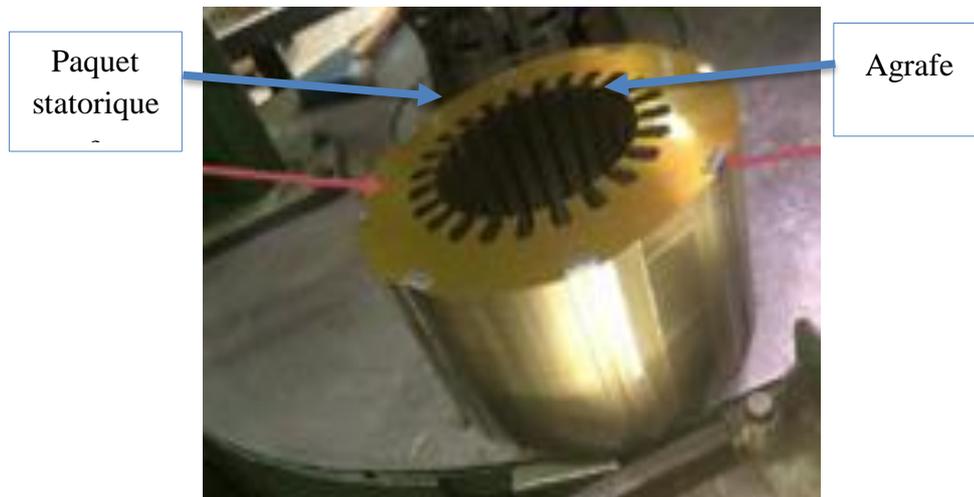


Figure III.8: Paquet statorique.

III.4.3.3 Secteur moulage sous pression :

Au niveau de cette section l'atelier dispose de deux fours de fusion, l'un est utilisé pour fondre l'Aluminium pour fixer les plaques rotorique des petits moteurs et l'autre pour fondre l'alliage d'Aluminium qui servira à la fabrication des carcasses des petits moteurs et d'autres pièces « les flasques 'AS et BS' pour les moteurs B3, flasques bride pour les moteurs B5 'AS et BS' ».



Figure III.9: Carcasses brute.



Figure III.10: Flasques bruts.

Au niveau du même secteur, une fois les composants moulés elles passeront dans la machine d'ébavurage ou ils enlèveront les bavures des pièces moulées grâce à du granula.

III.5 Présentation de Bâtiments 2 :

Le bâtiment 2 est divisé en trois ateliers :

- Atelier usinage et fabrication mécanique
- Atelier bobinage
- Atelier montage

III.5.1 Atelier usinage et fabrication mécanique :

C'est l'atelier qui occupe une grande partie, il est divisé en 2 secteurs, secteur usinage fonte, secteur usinage rotor :

III.5.1.1 Section usinage rotor :

a) Partie arbre moteur :

Cette section s'occupe de l'usinage du l'arbre moteur et du rotor, tel que :

L'opération commence au niveau du magasin des aciers où ils effectuent débitage « découpage en longueur des barres en acier suivant des longueurs voulues à l'aide de machine automatique et des scies mécaniques » et les trous de centrage.



Figure III.11: Scie (débitage).



Figure III.12 : Arbres brutes dressés et centrés.

A l'aide de tour à copier, il effectue l'usinage des deux parties de l'arbre moteur « chariotage » ;

Partie As :

Représente la partie sortante du moteur ;

Parties Bs :

Représente la partie sur laquelle on monte le ventilateur de refroidissement du moteur.



Figure III.13: Arbre moteur.

A l'aide des rectifieuses cylindriques, ils effectuent des rectifications sur les parties active tel que « les parties au on monte les roulements, les ventilateurs », et aussi il utilise des meules pour réaliser cette opération.

A l'aide des fraises automatiques et semi-automatique, l'opérateur réalise le rainurage sur l'arbre moteur pour quelle reçoivent les clavettes « coté ventilation, plaque rotorique »



Figure III.14: Arbre clavette moteur.

b) Partie carcasse moteur :

Cette partie s'occupe de l'usinage des petits moteurs qui sont en aluminium et des grands moteurs qui ont des carcasses en fonte.

➤ **Carcasse en alliage d'aluminium :**

à l'aide des machines à commande numérique, ils effectuent l'usinage des carcasses d'aluminium des petits moteurs, ils réalisent des perçages, des filetages. Aussi ils font l'usinage des flasques, des boites à bornes.



Figure III.15 : Carcasse en alliage d'aluminium.

III.5.1.2 Secteur usinage fonte :

Pour les grands moteurs Grâce à des tours verticales les opérateurs réalisent

« l'alésage, perçage, taraudage » sur les carcasses brutes des moteurs



Figure III.16 : Carcasses fontes brutes.

Et aussi l'atelier dispose des machines numériques pour réaliser cette tâche

Usinage des boites à bornes et des pieds de fixation pour les moteurs B3 grâce à des faiseuses.



Figure III.17: Boîte à bornes et pied de fixation.

Une fois les pièces usinées, elles sont renvoyées vers le bâtiment 2A pour les lavées

III.5.2 Atelier bobinage :

Au niveau de cet atelier les ouvriers s'occupent de la partie électrique des moteurs et la tâche est divisée en 3 secteurs principaux : bobinage petits moteurs, bobinage grands moteurs.

III.5.2.1 Secteur préparation des bobines :

Ce secteur s'occupe de la préparation des paquets de bobine pour les différents types de moteurs et ce on s'appuyant sur deux paramètres.

- **Diamètre du fil en cuivre**
- **Le nombre de spire pour chaque bobine**

Et à noter qu' avant d'entamer chaque stock de fils de bobine, les fils sont soumis à des tests et essais électrique et mécanique, au niveau du laboratoire :

➤ **Les teste électriques :**

on y contrôle :

- La résistance électrique.
- La résistivité.
- La rigidité électrique.

➤ **Essais mécaniques :**

- Essaie de traction.

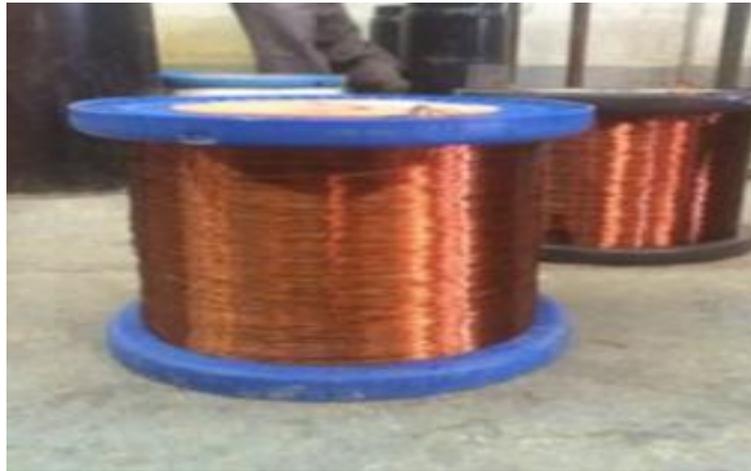


Figure III.18 : Bobine mère (à l'achat).

Après avoir assuré la conformité du fils suivre l'opération de préparation des bobines peut commencer.

La fabrication se fait sur des bobineuses moyennant des gabarits spécifique à chaque type d'enroulement

Le nombre de spire est obtenu grâce à des conteurs montés sur les bobineuses.



Figure III.19 : Spires de bobinage.

III.5.2.2 Secteur de bobinage :

Au niveau de ce secteur plusieurs tâches sont réalisées, tel que :

a) La préparation des différents isolants et câbles de couplage entre les bobines :

Pour pouvoir définir le nombre de pôles ainsi de séparer les phases entre elle.

A noter :

- La Gaine isolante.
- Les lames intercalaires.
- Câble de raccordement.
- Caniveau d'encoche.

Ils utilisent des papiers spéciaux en laine de verre pour assurer l'isolation.

Et de l'époxy pour les grands moteurs « ils utilisent deux types, F et H elles peuvent résistées jusqu'à 150 et 180 °C successivement ».

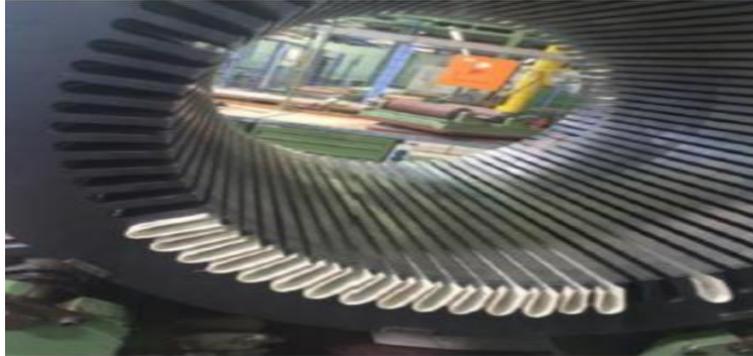


Figure III.20 : Caniveaux d'encoche.

b) Bobinage final du stator :

au niveau de cette partie le stator accueillera les bobines, et ses dernières seront isolées entre elles, entre bobine et stator et aussi entre les trois phases du moteurs, l'opération de bobinage est réalisée manuellement dans la plupart des cas, mais à noter que pour les petits moteurs ils utilisent aussi des machines pour réaliser cette tâche, ce qui n'est pas le cas pour les grands moteurs ou 100 % de la tâche est réalisés manuellement.

Insertion des cales de fermeture pour maintenir les bobines aux caniveaux d'encoches, ainsi de réaliser l'isolation avec l'autre bobine qui occupera le même caniveau d'encoche.

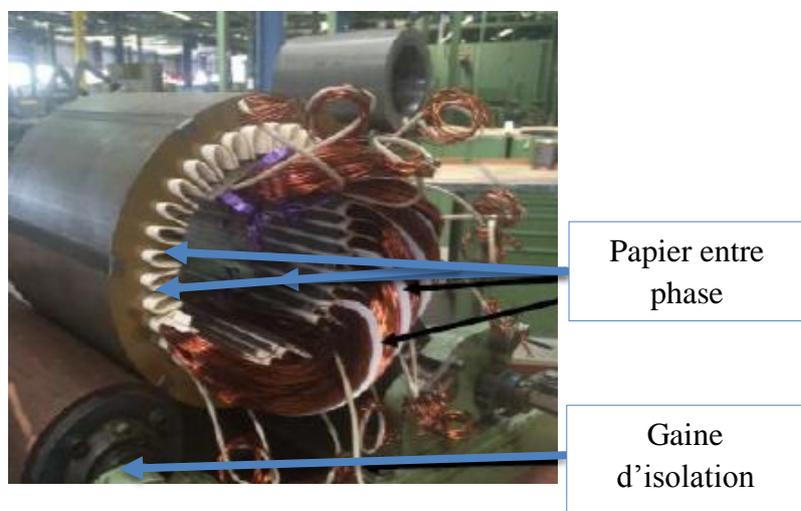


Figure III.21 : Maintenir les bobines aux caniveaux d'encoche.

c) Insertion des bobines :

Pour pouvoir assurer le couplage entre la carcasse des moteurs et leur stator, les bobines doivent être compactées et épouser une forme bien précise, et cela est réalisé grâce à des presses pour les petits moteurs et manuellement pour les grands moteurs. Pour s'assurer que les bobines sur stator gardent la même forme même après la mise en marche du produit, ses derniers passeront dans des bains de résine pour une durée de 2 à 5 min puis traverseront des fours de chauffage et un refroidissement à l'air « la durée du refroidissement peut aller jusqu'à 24 h selon le besoin » Cette opération est seulement réalisée sur les petits moteurs.

III.5.2.3 Secteur de contrôle :

Pour assurer un parfait bobinage du moteur, ils effectuent les tests suivants :

- **Contrôle électrique :**

Consiste à mesurer la résistance ohmique « la variation relative ne doit pas dépasser les 3 »

- **Contrôle de la polarité des phases :**

Durant ce contrôle, ils relient les couples de polarité des phases UV, UW, VW aux bornes d'une génératrice à courant continue puis ils s'assurent de leur polarité avec une boussole.

- **Vérification de présence de court-circuit :**

Une fois ils ont assuré le bon raccordement des bobines et l'absence de court-circuit.

Les stators seront transportés vers l'atelier de montage

III.5.3 Atelier de montage :

Au niveau de cet atelier les ouvriers effectuent l'assemblage des parties principales constitutives du moteur suivant un ordre bien déterminé, et cet atelier est divisé en 3 secteurs :

Secteur montage des grands moteurs, secteur des petits moteurs et enfin secteur de contrôle et de peinture et emballage :

III.5.3.1 Secteur montage des petits moteurs :

Ce secteur dispose de 2 chaînes de pré-montage et une chaîne de montage final tel que sur les deux chaînes de pré-montage Au niveau de la première chaîne ils effectuent :

a) L'assemblage du stator avec sa carcasse :

Le montage est réalisé grâce à des presses hydrauliques qui peuvent atteindre une force de 100 kN, mais l'opération d'assemblage des petits moteurs nécessite que 50 kN.

Et aussi pour assurer une bonne fixation du stator avec la carcasse ils utilisent des goupils pour seulement les petits moteurs.



Figure III.22 : Presse de pré-montage.

b) L'usinage de parties intérieures de la carcasse :

pour ajuster l'excentricité ainsi que la mise en longueur des carcasses et aussi la hauteur d'axe.

c) La fixation des pattes pour les moteurs de types B3 et leur usinage :

En parallèle sur la deuxième chaîne ils effectuent le pré-montage de la partie rotor tel que :

En premier lieu, ils effectuent l'équilibrage de l'ensemble arbre + rotor par ajout de matière, et cela grâce à des machines qui leur indique la position « angle » ou il faut ajuster de la matière aussi la quantité de matière à ajoutée

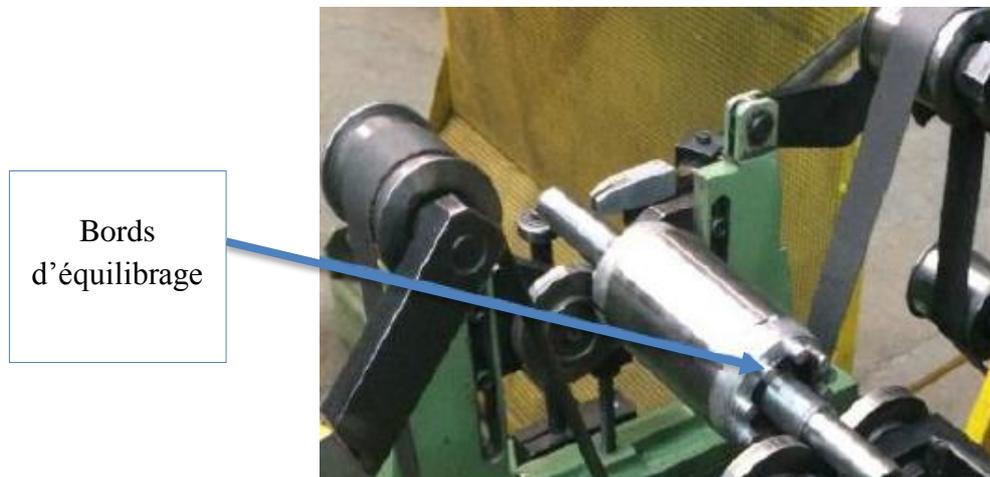


Figure III.23 : Equilibrage rotor (à cage en aluminium).

Puis, sur la même chaîne ils effectuent l'emmanchement des roulements sur l'arbre moteur des deux côtés As et Bs et aussi sur le côté Bs ils emmanchent les flasques ainsi que les ventilateurs

Une fois le tous assembler les ensembles rotor arbre et stator carcasse seront transportés vers la chaîne de montage finale où ils s'occuperont de l'assemblage de la partie rotor avec celle stator ainsi que :

- Montage et fixation des flasques As et Bs sur la carcasse
- Montage et fixation du ventilateur ainsi que le capot de ventilation
- Montage et fixation de la boîte à borne ainsi que le raccordement des files
- « étoile, triangle »



Figure III.24 : Moteur semi-fini.

Et une fois l'assemblage du moteur est terminé il sera transporté vers l'avant dernier secteur du Bâtiment 2, secteur de contrôle où ils valideront la bonne qualité du moteur.

III.5.3.2 Secteur Montage des grands moteurs :

De même les grands moteurs passeront par 2 chaînes de pré-montage pour le Montage des deux parties rotor et stator avec leurs pièces et une fois terminé il passera vers la chaîne de montage finale L'unique différence est au niveau des machines d'équilibrages utilisé ainsi que la méthode or que pour les grands moteurs on utilise la méthode d'enlèvement et d'ajout de matière pour équilibrée. Et comme les petits moteurs avant l'emballage, les grands moteurs doivent passés par le poste de contrôle.

III.5.3.3 Secteur de contrôle :

Afin d'assurer un bon fonctionnement du moteur ainsi garantir une certaine durée vie du moteur pour les clients, Electro Industrie d'Azazga (CEI) effectuent une série de tests sur ces moteurs, en l'occurrence :

a) Les essais séries :

Les moteurs qui arrivent à cette plateforme subissent :

- **Contrôle visuel :**

Il a pour objectif de contrôler le bon montage du moteur (vis, plaques signalétique ainsi que le raccordement des files »

- **Essai à vide :**

Le moteur est alimenté sous tension nominale U_n et on mesure :

Le courant à vide I_0

La puissance à vide P_0

Le facteur de puissance à vide $\cos(\varphi)$

- **Essai en court-circuit :**

Le moteur à rotor bloqué, est alimenté sous un courant nominal pour mesurer :

- ✓ La tension de court-circuit
- ✓ La puissance de court-circuit
- ✓ Le facteur de puissance

- **Essai de haute tension :**

Cet essai a pour objectif de contrôler la bonne isolation entre phase, et la masse à tension qui est choisie selon la puissance du moteur

Aussi les moteurs passeront par des essais spéciaux, tel qu'après avoir refait les essais cités précédemment deux fois à trois fois les ouvriers :

- ✓ Mesurent la résistance des enroulements et la comparer à la résistance de la consigne
- ✓ « elle ne doit pas dépasser 3 % de R_n »
- ✓ Mesurent des résistances entre phase et les comparer entre elles une déférence supérieure à 2% n'est pas toléré »

b) Essai en charge :

Appelé aussi essai d'échauffement, il a pour objectif de juger la bonne tenue de la classe d'isolation de moteur et de déterminer la température limite à la puissance nominale

- ✓ Ils prélèvent la température de la carcasse froide pour confirmer l'efficacité des ailettes de refroidissement.

- ✓ Ils font tourner le moteur sous sa tension nominale
- ✓ Au fur et à mesure que le moteur tourne, il s'échauffe les pertes augmentent et la puissance utile chute et pour compenser ces pertes on agit sur les charges à fin de rendre cette puissance constante
- ✓ L'essai durera jusqu'à ce que la température limite de la carcasse soit atteinte et stable.
- ✓ En ce moment-là toutes les données électrique et magnétiques sont prélevés et comparés à celle dans la plaque signalétique.
- ✓ Dans le cas où le moteur présente une anomalie, celui-ci est envoyé vers le poste de réparation mécanique ou il va être démonté et réparé dans le cas où la panne est
- ✓ Mécanique, sinon le paquet statorique bobiné est envoyé vers le poste de réparation électrique pour réparer ou refaire la bobine Et la fin de l'opération de contrôle et après la confirmation du bon fonctionnement des moteurs, ses derniers passeront par le secteur peinture et en fin ils seront emballés et seront à la livraison.



Figure III.25 : Moteur à l'état final.

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on présentera la problématique de ce travail, la solution proposée pour la réalisation des encoches sur une pièce constitua les moteurs électriques. Une conception d'un outil de poinçonnage et son étude sera présentée

IV.2 Problématique :

Durant notre présence au sien de l'unité moteur de l'unité moteur de l'entreprise au niveau du bureau de méthode, on nous a confié la tâche concevoir un outil de poinçonnage pour la réalisation des encoches sur tôle rotorique appartenant à un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil (figure IV1).

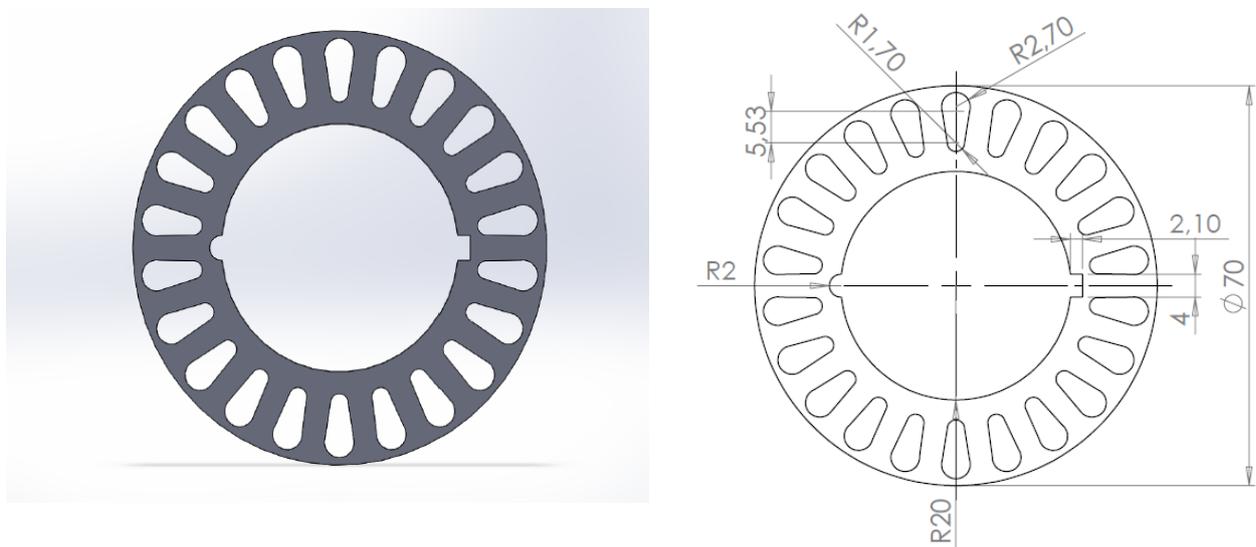


Figure IV.1. : Forme et dimensions de tôle rotorique.

❖ L'emplacement et rôle de tôle rotorique dans le moteur électrique:

Dans la figure IV2 on montre l'emplacement et le rôle des tôles rotoriques dans le moteur électrique. On insert ces tôles avec le cuivre à travers les encoches des pièces rotoriques qui joueront le rôle des conducteurs « bobines » pour les grands moteurs, et des barres cylindriques en bronze pour les petits moteur. Pour réaliser le court-circuit de la partie rotorique on utilise des couronnes qui reliront les barres entres elles des deux côtés.

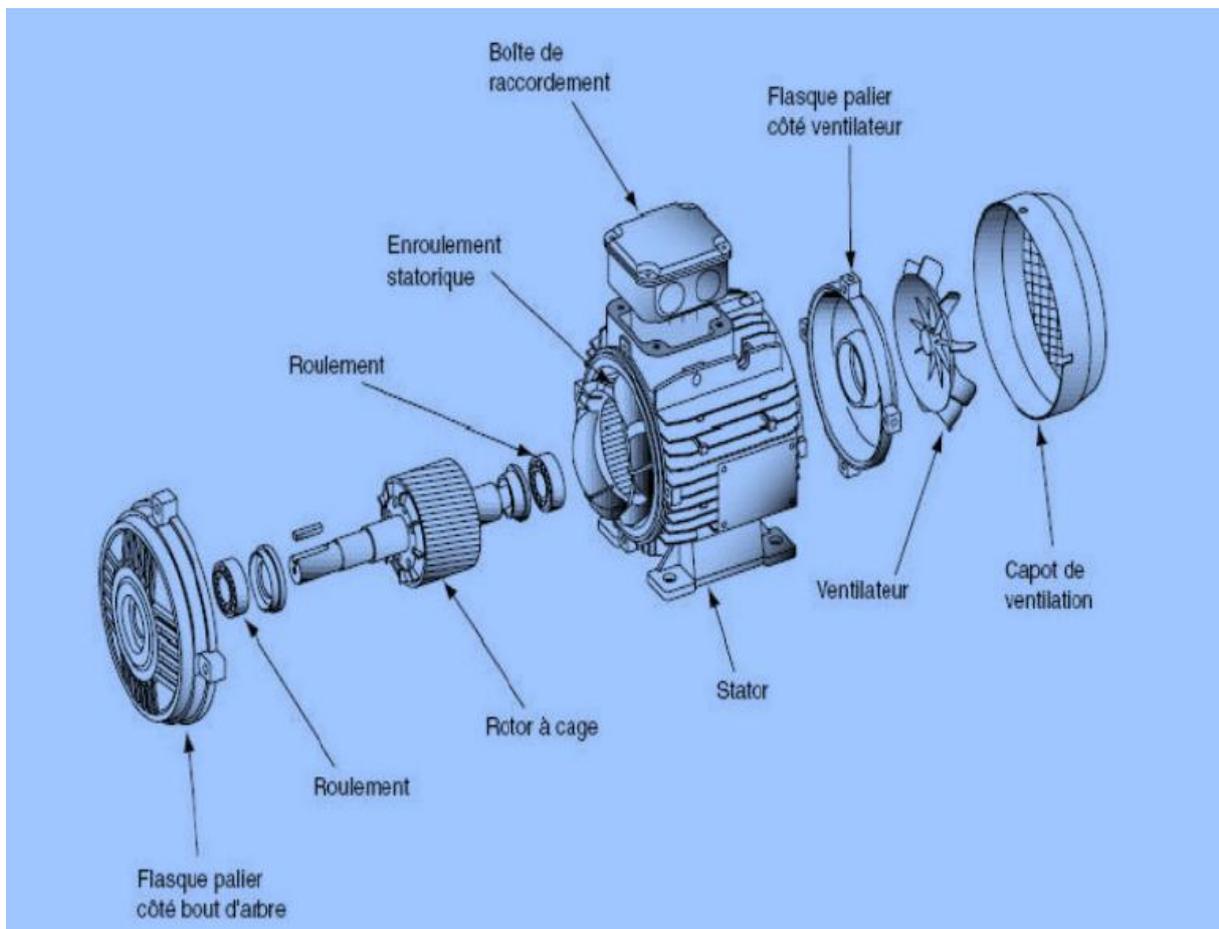
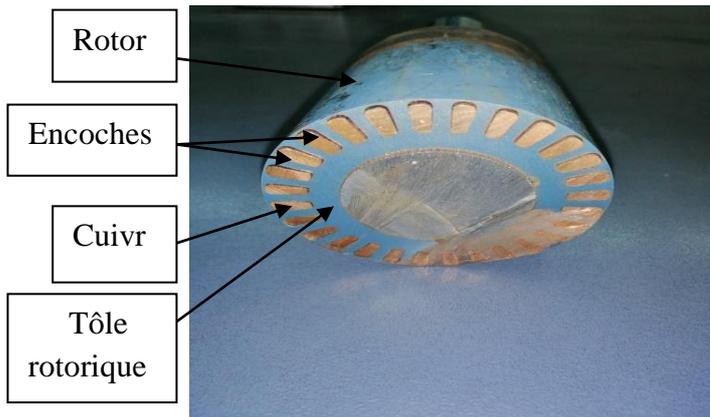


Figure IV.2 : L'emplacement de tôle rotorique dans le moteur électrique

IV.3 Fiche technique de tôle rotorique :

Cette pièce est en acier non allié, découpée d'une tôle laminée à froid, livrée en semi finie.

IV.3.1 Composition chimique:

La composition chimique de l'acier cette pièce est donnée par le tableau suivant :

Composition chimique en % (Max) sur coulée			
C	Mn	P	S
0.55	0.7	0.03	0.05

Tableau IV.1 : Composition chimique du matériau de tôle rotorique.

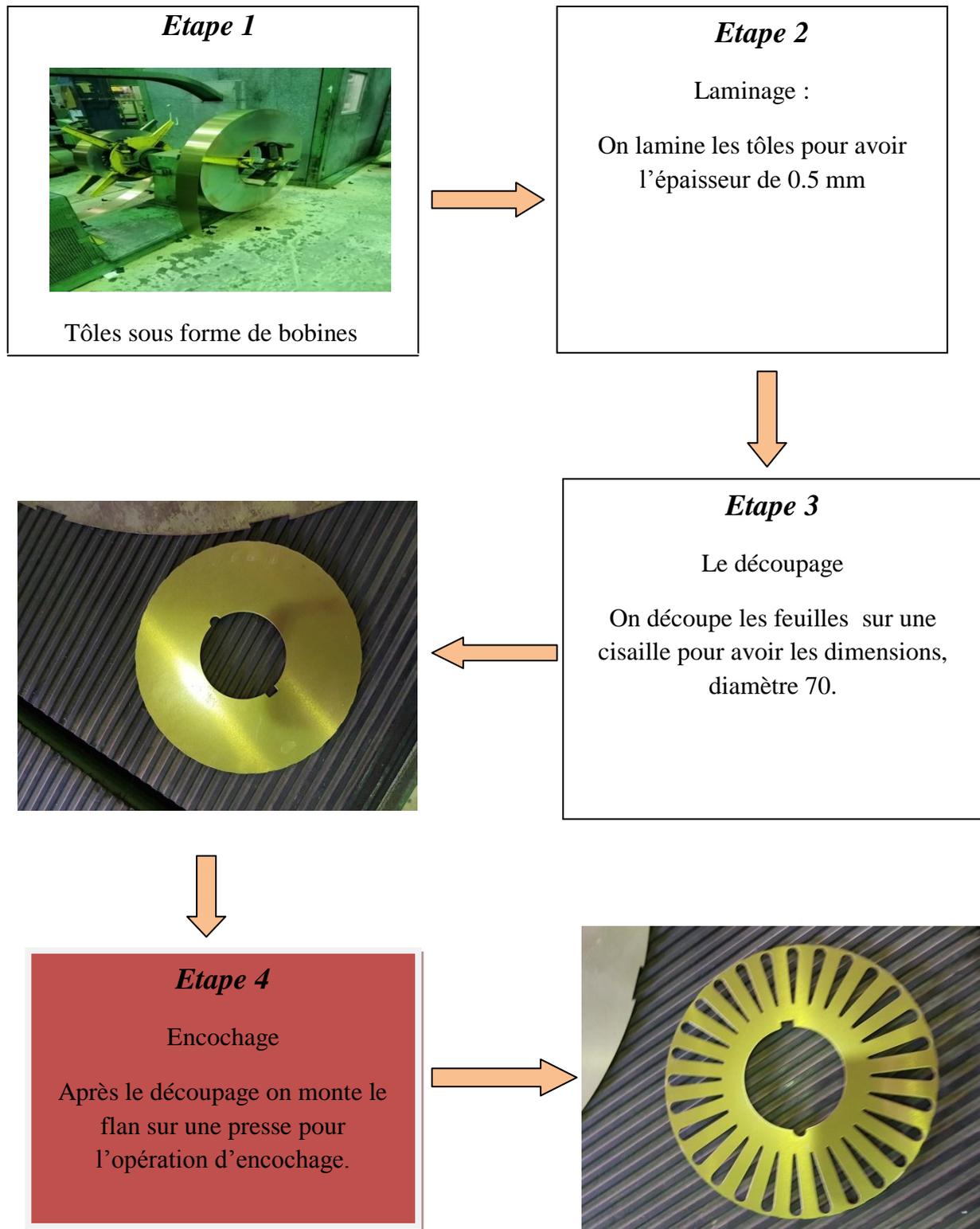
IV.3.2 Caractéristique mécanique de la tôle rotorique :

Les caractéristiques mécaniques du matériau sont donnés dans le tableau IV2 suivant la norme NF EN 10126-M660-50D.

Ep (mm)	Re/Rm %	Rm N/mm ²	A% Max
0.5	90	350 -550	22

Tableau IV.2: Caractéristique mécanique du matériau de la pièce.

IV 3.3 processus de fabrication de tôle rotorique :



Remarque : Les encoches de rotor sont réalisées individuellement, une après l'autre par la rotation de la porte pièce après chaque course du poinçon.

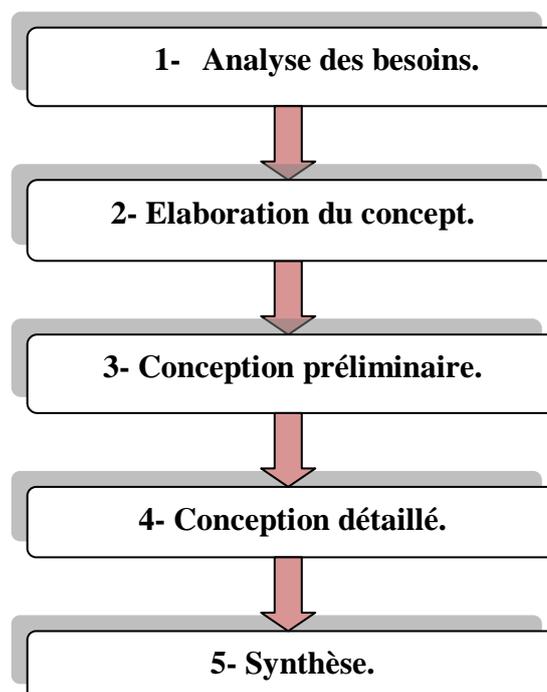
IV.4 La conception mécanique :

IV.4.1 Définition :

La conception est la phase créative d'un projet d'ingénierie. Son premier but (Le but premier de la conception) est de permettre de créer un système ou un processus répondant à un besoin en tenant compte des contraintes. Le système doit être suffisamment défini pour pouvoir être installé, fabriqué, construit et être fonctionnel, et pour répondre aux besoins du client. [8](Référence inutile puisqu'il s'agit juste d'une définition, à supprimer).

IV.4.2 Les étapes de la conception :

La conception peut être divisée en cinq étapes séquentielles. En premier lieu, l'analyse des besoins permet d'établir la ou les problématiques et les contraintes. Puis, l'ingénieur est en mesure d'imaginer un premier concept lui permettant de proposer une conception préliminaire, basée sur des calculs plus sophistiqués tenant compte d'un éventail plus large de paramètres. Par la suite, l'ingénieur augmente la précision des détails pour produire la conception détaillée qui mène à la finalité de son travail, notamment la fabrication, la construction, la réalisation ou l'opération. La finalité de la conception est généralement illustrée par un plan dont certains éléments sont détaillés et spécifiés dans un devis. [8]



IV.4.3 Conception assisté par ordinateur:

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, et de tester virtuellement des produits. Lorsqu'un système est affecté d'un nombre trop grand de paramètres, il devient difficile de tout contrôler. La CAO permet de concevoir des systèmes dont la complexité dépasse la capacité de l'être humain, et d'apprécier globalement le comportement de l'objet créé avant même que celui-ci n'existe. En CAO, on ne dessine pas, on construit virtuellement un objet capable de réagir dans son espace réel selon des lois régies par le logiciel. Durant notre conception nous avons utilisé le logiciel de conception (appelé : supprimer) « Solide Works ».

Solid Works est un modelleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 trois types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

Maquette numérique Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SolidWorks. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

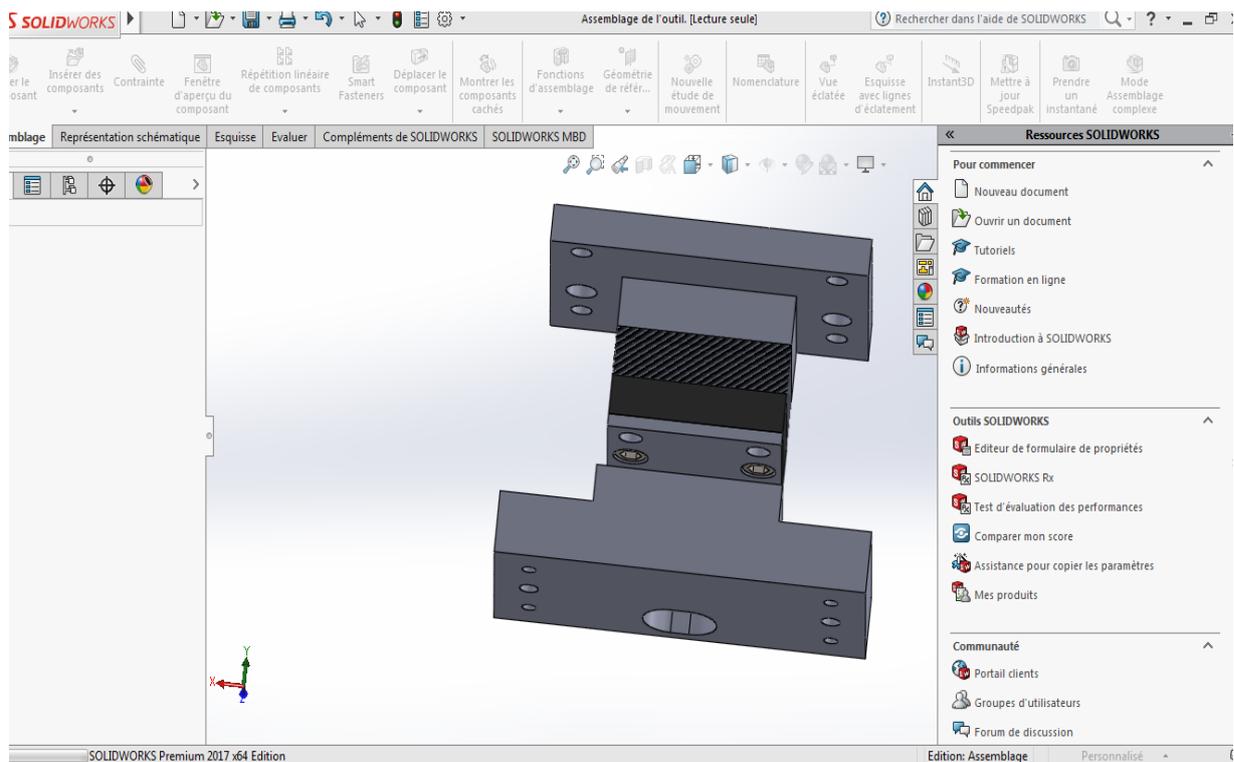


Figure IV.3 : Fenêtre principale de SolidWorks (Outil).

IV.5 Etude et calcul :

Pour pouvoir concevoir un outil de poinçonnage qui nous permettra de réaliser les encoches sur le tôle rotorique, on procède tout d'abord au calcul des efforts nécessaires à la réalisation de ces formes.

Cela nous guidera au choix de la presse qui convient dans ce cas.

IV.6 Calcul des efforts :

IV.6.1 L'effort de découpage :

L'effort \vec{F} nécessaire au découpage d'une pièce d'épaisseur « e », et d'un diamètre « d » est supérieur ou égal au produit du périmètre « P », et son épaisseur par la résistance de la rupture au cisaillement « R_c ».

$$R_c \leq F/S \Rightarrow F \geq R_c \cdot S \quad [9]$$

Avec: $S = P \cdot e$ S: surface découpée

Comme il est plus facile de déterminer la résistance limite à la rupture « R_r » que la résistance au cisaillement « R_c » on utilise la formule suivante :

$$R_c = 0,8 \cdot R_m \quad [9]$$

On aura :

$$F \geq R_c \cdot P \cdot e$$

$$F \geq 0,8 \cdot R_m \cdot P \cdot e$$

Avec :

F (N) : Force nécessaire au découpage,

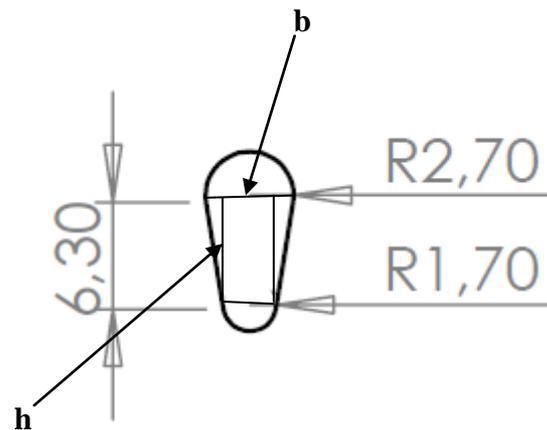
P (mm) : Périmètre des arêtes de coupe du poinçon,

e (mm) : épaisseur de la tôle à découper,

R_m (N/mm²) : résistance limite à la traction,

On prend une sécurité de 10 à 15% de découpage pour garantir l'effort d'extraction des pièces et des déchets. [9]

➤ Calcul du périmètre de l'encoche :



$$P = 1/2 \pi (d1 + d2) + 2.x$$

Tel que :

$$x = \sqrt{h^2 + b^2} = \sqrt{6.3^2 + 1^2} = 6.379 \text{ mm}$$

$$x = 6.379 \text{ mm}$$

Donc :

$$P = 1/2 \pi (5.4 + 3.4) + 2 * 6.379 = 26.574 \text{ mm}$$

$$P = 26.574 \text{ mm}$$

Remarque : d'autres facteurs contribuent à modifier légèrement la force totale nécessaire au découpage d'une pièce.

Tels que :

- La valeur du rayon, des arêtes de découpe ;
- La vitesse de travail de la presse ;
- La valeur de jeu de découpage ;

IV.6.2 Calcul l'effort de découpage est l'effort nécessaire à découper le contour de l'encoche :

On note:

F_{pr} (N) : effort fourni par la presse,

F_t (N) : effort de découpage de poinçons, plus l'effort de dévêtissage,

F (N) : effort de découpage du poinçon.

$$F_{pr} \geq F_t \geq F_{de} + F_{dév}$$

Avec :

$F_{de} \geq F$; effort de découpage.

$F_{dév} = 2\%F_{de}$; effort de dévêtissage.

Pour le calcul de cet effort de découpage on applique la formule suivante :

$$F_{de} \geq R_c \cdot e \cdot P \quad [9]$$

Avec :

F_{de} (N) : effort de découpage,

R_c (N/mm²) : résistance au cisaillement,

$R_c = 0,8 R_r$ (pour tous les aciers),

P (mm) : Périmètre des arêtes de coupe du poinçon,

IV.6.3 Calcul de l'effort du poinçon :

$$F1 \geq R_c \cdot e \cdot P$$

$$F1 \geq 0,8 \cdot R_m \cdot P$$

AN:

$$F1 \geq 0,8 \times \frac{(350+550)}{2} \times 0,5 \times 26.574$$

$$F_1 \geq 4783.32 \text{ N} = 4.78332 \text{ kN}$$

On obtient donc l'effort total :

$$F_{de} \geq F_1$$

$$F_{de} \geq 4783.32 \text{ N}$$

$$F_{de} \geq 4783.32 \text{ N} = 4.783 \text{ kN}$$

IV.6.4 Calcul de l'effort de dévêtissage :

C'est l'effort nécessaire à extraction du poinçon, car après un découpage, la tôle a tendance à rester solidaire au poinçon.

Pour effectuer le dégagement, les outils sont munis d'un dévétisseur. L'effort nécessaire pour effectuer cette extraction est évalué selon l'importance de la surface de tôle entourant le poinçon entre 2 et 7 % de l'effort nécessaire à la découpe.

- ✓ Pour un découpage en pleine tôle, donc avec d'important déchet, l'effort d'extraction est égal à 7% de l'effort de découpage.

$$F_{\text{extractions}} = 7\% F_{\text{découpage}}$$

- ✓ Pour une faible perte de métal (déchet faible), l'effort d'extraction est égal à 2% de l'effort de découpage.

$$F_{\text{extractions}} = 2\% F_{\text{découpage}}$$

On prend donc la relation suivante :

$$F_{dev} = F_{de} \times 2\%$$

Après application numérique on obtient :

$$F_{dev} = 4783.32 \times 0,02 = 95.666$$

L'effort de dévêtissage est donc égal à : $95.666\text{N} = 0.9566 \text{ kN}$

IV.6.5 Calcul de l'effort fourni par la presse F_{pr} :

$$F_{pr} \geq F_{de} + F_{dev}$$

$$F_{pr} \geq 4783.32 + 95.666$$

$$F_{pr} \geq 4878.986 \text{ N} \Rightarrow 4.878 \text{ kN}$$

IV.6.6 Choix de la presse utilisée :

Sur la base des calculs des efforts établis précédemment ou l'effort de coupe est de l'ordre de 12,30 kN ou 1,23 tonnes-forces ; et suivant la disponibilité des presses au niveau de l'entreprise, On prend par conséquent une presse à encocher excentrique à col de cygne (8 tonnes) ; dont les caractéristiques sont données par le tableau :

Caractéristique de la machine		Accessoires
Puissance de découpe	80 kN	Serrage pneumatique
Epaisseur maxi. De tôle	1,5 mm	Dispositif automatique de dévêtissage
Col de cygne	260 mm	
Cours en bas - réglage de coulisseau en haut	225 mm	HUBER – dispositif de Poinçonnage
Cours de coulisseau	20 mm	
Réglage de coulisseau	25 mm	
Diamètre extérieur maxi. De flan	1100 mm	
Porte-outil et centre coulisseau	325 mm	
Trou de nez centrage : Ø x profondeur	32/20 mm	
Surface de table : largeur x profondeur	360/220 mm	
Nombre mini d'encoche	11	
Nombre maxi d'encoche	192	
Cadence/min. réglable sans graduation	250-1200	
pression d'air nécessaire	5,5 bar	
Sans accessoire spéciaux env.	40 NL	

Tableau IV.4 : Caractéristique de la presse à col de cygne



Figure IV.4 : presse avec outil.



Figure IV.5 : l'outil sur la presse.

IV.7 Vérification de la résistance du poinçon au flambage :

➤ **Le poinçon :**

Le poinçon est en : **Z 210 C W 12** (acier fortement allié).

La nouvelle normalisation : **X 210 Cr W 12**, acier pour travail à froid avec une résistance à l'usure et une conservation du tranchant exceptionnelles (pour des feuilles de tôle jusqu'à 4 mm d'épaisseur). Haute trempabilité, faibles variations dimensionnelles des pièces, mais ténacité moyenne. En raison de sa teneur en tungstène, cette nuance offre une stabilité au revenu et une résistance à l'usure.

Carbone : **2 %** ; Chrome : **12 %** W : **0,6-0,8 %**

Dureté : 255 HB max (Dureté Brinell).

➤ **Caractéristiques mécaniques du poinçon:**

HRC max	Re N/mm ²	Rr N/mm ²	A%
59-63	900	2070	7

Tableau IV.4 : Caractéristique mécanique de poinçon.

Il y a flambement quand la longueur (l) est importante par rapport à la section de base.

Et pour les calculs de flambement, on fait appel à la formule d'EULER ou de RANKINE.

La formule d'EULER est comme suit :

$$F_C = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{xx'}}{L^2} \quad [9]$$

Et puisque le poinçon est encasté à son extrémité donc :

$$L = \frac{l}{\sqrt{2}} \quad [9]$$

Alors :

Ou :

$$F_C = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{xx'}}{\left(\frac{l}{\sqrt{2}}\right)^2}$$

F_C (N) : charge critique qu'est égale à la force de découpage.

E (N/mm²): module de Young.

$E = 210. 10^3$ N/mm² Pour l'acier.

$I_{xx'}$ (mm⁴) : Moment quadratique de la section droite.

l (mm) : longueur réelle de la section droite.

L (mm) : longueur libre réelle de flambage.

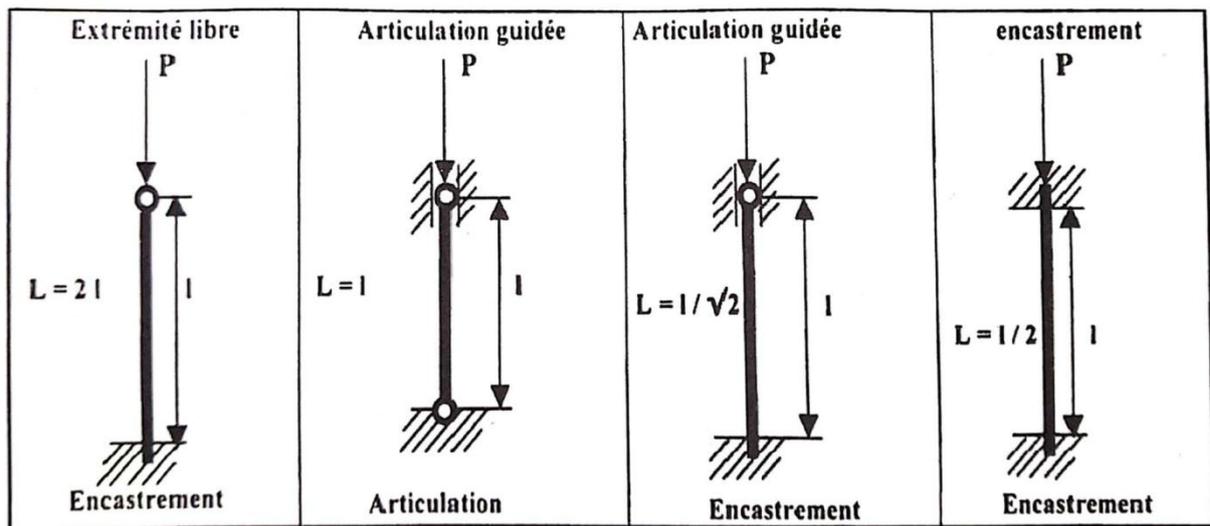


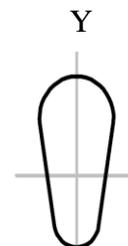
Figure IV.6 : Cette figure donne les valeurs de la longueur libre de flambement L , en fonction de longueur réelle l , selon le mode de flexion des extrémités de barre. [9]

Poutre courte $\gamma < 20$	Poutre moyenne $20 < \gamma < 100$	Poutres élancées $\gamma > 100$
Compression simple :	Formules expérimentales de RANKIN :	Formule d'EULER :
$F \leq R_p \cdot S$	$\frac{F}{S} \leq \frac{R_p}{1 + \beta \left(\frac{1}{i}\right)^2}$	$F_C = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{xx'}}{l^2}$

Tableau IV. 5 : Charge critique selon la valeur de γ .

IV.7.1 Résistance du poinçon :

➤ Calcul de rayon de giration (i_1) de la surface S_1 :



Soit S_1 la surface du poinçon (1) et soit $I_{xx'}$

Son moment d'inertie par rapport à l'axe xx' .

x' x

Le rayon de giration par rapport à l'axe xx' une

Grandeur définit par la relation suivante :

Y'

$$i_1 = \sqrt{\frac{I_{xx'}}{S}} \quad [9]$$

Avec :

$I_{xx'}$: obtenait par Solide Works

$$I_{xx'} = 2294,95 \text{ mm}^4$$

S : La surface de cisaillement :

$$S = P * e$$

e : épaisseur de la tôle.

P : périmètre de l'encoche.

$$S = 26.574 * 0.5 = 13.287 \text{ mm}^2$$

Donc :

$$i_1 = \sqrt{\frac{2294,95}{13.287}}$$

$$i_1 = 13.142 \text{ mm}$$

- **Calcul de l'élancement (γ_1) :**

Selon le mode de la fixation des poinçons dans ses extrémités, nos poinçons a une extrémité encastré et guidé à l'autre, et la valeur de la longueur libre de flambage (L) est égale à la longueur réelle (l) sur $\sqrt{2}$.

On appelle élancement du poinçon :

$$\gamma_1 = \frac{L_1}{i_1} \quad [9]$$

Avec : $L_1 = \frac{l_1}{\sqrt{2}}$

Donc : $\gamma_1 = \frac{\frac{l_1}{\sqrt{2}}}{i_1}$

Ou :

γ_1 (Sans unité) : élancement du poinçon,

l_1 (mm) : longueur réelle du poinçon qui est égale à 40 mm,

L_1 (mm) : longueur libre de flambement.

AN :

$$\gamma_1 = \frac{\frac{l_1}{\sqrt{2}}}{i_1} = \frac{\frac{40}{\sqrt{2}}}{13.142}$$

$$\gamma_1 = 2.152$$

Pratiquement la formule d'EULER n'est pas applicable car l'élancement du poinçon est inférieur à 20.

Et selon la valeur de $\gamma_1 = 2.152$ on utilise la formule de compression simple

$$F \leq R_p \cdot S \quad [9]$$

Ou : F (N) : effort de poinçon

S (mm²) : section de poinçon

R_p (N/mm²) : résistance pratique à la compression

Avec :

$$R_p = \frac{R_r}{\alpha}$$

Ou :

$R_r = 2070 \text{ N/mm}^2$: résistance à la rupture du poinçon pour l'acier de nuance :

X210 CrW12

$\alpha = 1,5$: coefficient de sécurité pour l'acier. [9]

Donc :

$$F_1 \leq \frac{R_r}{\alpha} \cdot S_1 \quad \Rightarrow \quad \frac{R_r}{\alpha} \geq \frac{F_1}{S_1}$$

D'après les données est les calculs précédents on a :

$$F_1 = 4783.32 \text{ N}$$

$$S_1 = 13.287 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = 1,5$$

$$R_r = 2070 \text{ N/mm}^2$$

AN:

$$\frac{2070}{1,5} \geq \frac{4783.32}{13.287}$$

$$1380 \geq 360$$

Avec cette formule de compression simple, la condition de non flambement du poinçon est vérifiée.

IV.8 Détermination de jeu de découpage :

Lors du découpage à la presse, le poinçon soumet les fibres du métal à une contrainte de traction qui atteint la résistance à la rupture de la tôle, ce qui peut provoquer les fissures en ce qui concerne les arêtes coupantes du poinçon et de la matrice.

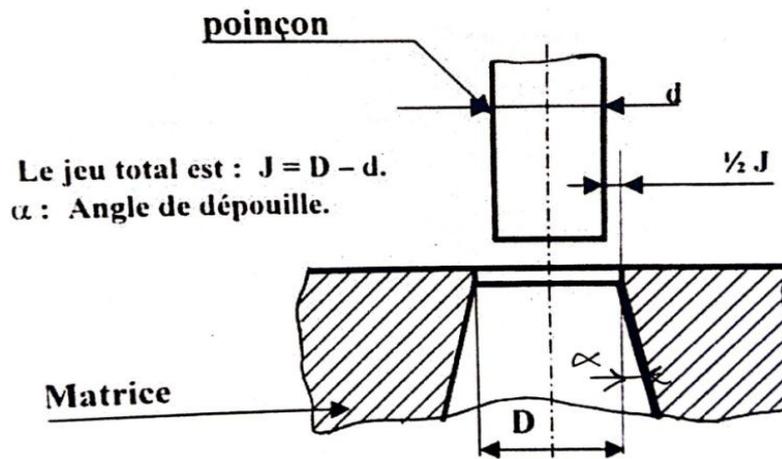


Figure IV.7 : jeu de découpage.

Pour éviter ces fissures, et pour que la tranche de la pièce découpée soit propre, on doit prévoir un jeu entre poinçon et matrice.

- Pour un découpage, le jeu est à prendre sur le poinçon.
- Pour un poinçonnage, il est à prendre sur la matrice.

Le jeu varie selon la nature et l'épaisseur du matériau découper.

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

La tôle est en acier doux, d'épaisseur de 0,5mm d'où le jeu à prévoir doit être égale à $1/20$ de l'épaisseur.

AN :

$$J = 1/20 \times 0,5 = 0,025 \text{ mm}$$

$$J = 0,025 \text{ mm}$$

IV.9 La résistance à la compression de l'amortisseur (caoutchouc) :

L'amortisseur est en caoutchouc, c'est un système mécanique destiné à affaiblir la violence d'un choc, l'amplitude des oscillations d'un objet en amortissant ses vibrations, généralement par dissipation d'énergie. Et dans notre cas son rôle est de remettre le dévêtitseur à sa position initiale et amortisse aussi les vibrations.

Masse volumique : $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$;

La résistance à la rupture : $\sigma_r = 10 \text{ MPa}$;

Le module de Yong : $E = 0.6 \text{ à } 1 \text{ MPa}$;

L'allongement : $A = 500\%$.

La formule de la compression simple est comme suit :

$$\sigma = \frac{F}{S} \leq [\sigma]$$

Avec : σ : la résistance à la compression ;

F : l'effort de dévêtitseur ; $\Rightarrow F = 95.666\text{N}$

S : la section de l'amortisseur ; $\Rightarrow S = 75 \times 60 = 4500 \text{ mm}^2$

$[\sigma]$: la contrainte admissible de l'amortisseur ; $\Rightarrow [\sigma] = 10 \text{ MPa}$

AN:

$$\sigma = \frac{95.666}{4500} \leq 10$$

$$\sigma = 0,0212 \text{ MPa} \leq 10 \text{ MPa}$$

La condition de résistance à la compression est vérifiée.

- Calcul de l'allongement ΔL :

Avec la loi de **Hooke**

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Avec : σ : la résistance à la compression :

$$\sigma = 0.0212 \text{ MPa}$$

E : le module de Yong :

$$E = 0.6 \text{ à } 1 \text{ MPa}$$

ε : la déformation :

$$\varepsilon = \frac{L_0 - L}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\sigma = E \cdot \frac{\Delta L}{L_0} \Rightarrow \Delta L = \frac{\sigma \cdot L_0}{E}$$

$$\Delta L = \frac{0,0212 \times 15}{\frac{(0,6+1)}{2}} = 3.975 \text{ mm}$$

IV.10 Conception de l'outil d'encochage :

L'outil est conçu par le logiciel solidworks et est constitué de 7 éléments comme montre dans la figure :

- 1- La semelle supérieure
- 2- La matrice
- 3- Le poinçon
- 4- le porte poinçon
- 5-Amortisseur (caoutchouc)
- 6- Cale
- 7- Le dévétisseur

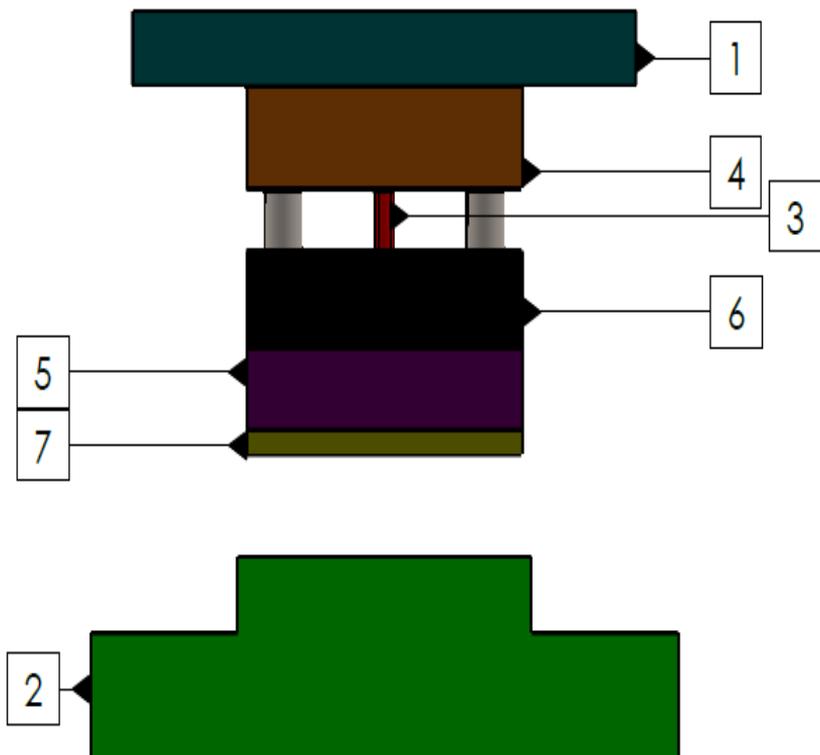


Figure IV.8 : Outil d'encochage.

IV.10.1 Détail des pièces de l'outil :

1) La semelle supérieure :

La semelle supérieure, est en haut de l'outil avec le nez fixé sur la partie supérieure, sa forme varie selon le type d'outil, elle comprend plusieurs trous (2 à 6) qui servent au guidage, elle sert à porter le porte poinçon, les dimensions et la formes sont donnée dans la planche 1.

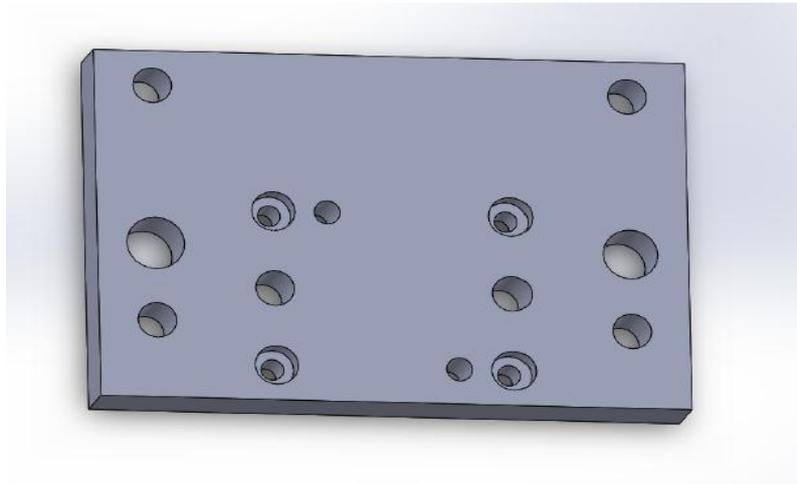


Figure IV.9 : la semelle supérieure.

2) La matrice :

C'est la partie de l'outil qui est bridée sur la table de la presse elle doit résister aux différents efforts de coupe, elle doit être suffisamment épaisse pour supporter l'effort de dévêtissage et éviter les déformations, les dimensions et la formes sont donnée dans la planche 2.

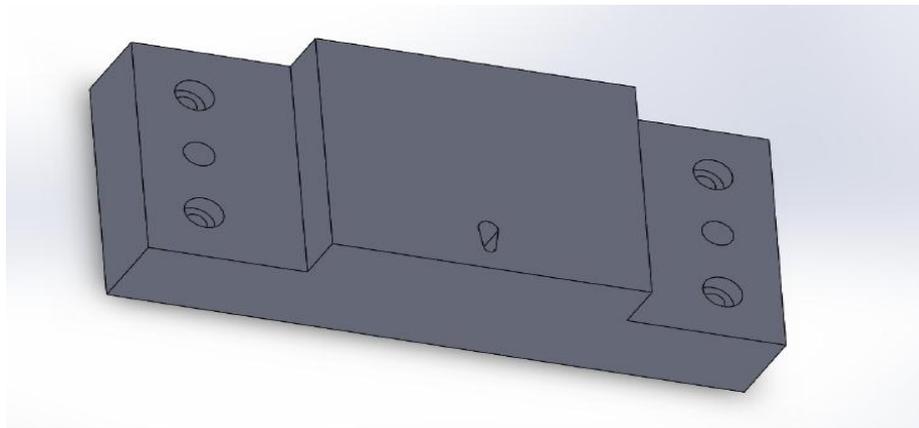


Figure IV.10 : la matrice.

3) Le poinçon :

C'est la partie la plus active de l'outil, il assure le découpage de la tôle, les dimensions et la forme sont données dans la planche 3.

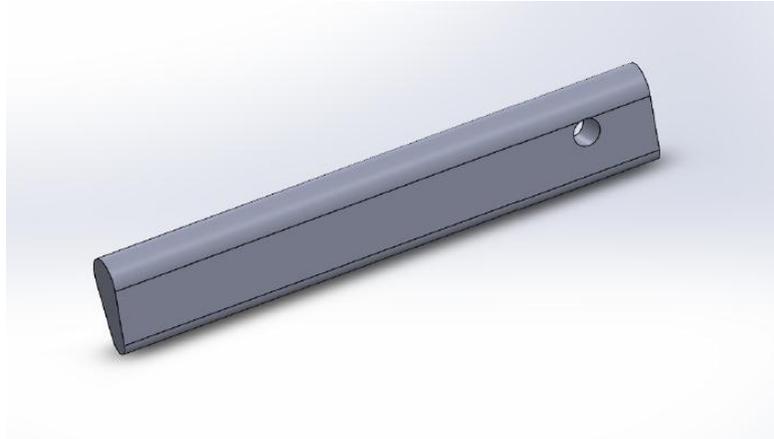


Figure IV.11 : le poinçon.

4) le porte poinçon :

Il sert à porter et fixer les poinçons, les dimensions et la forme sont données dans la planche 4.

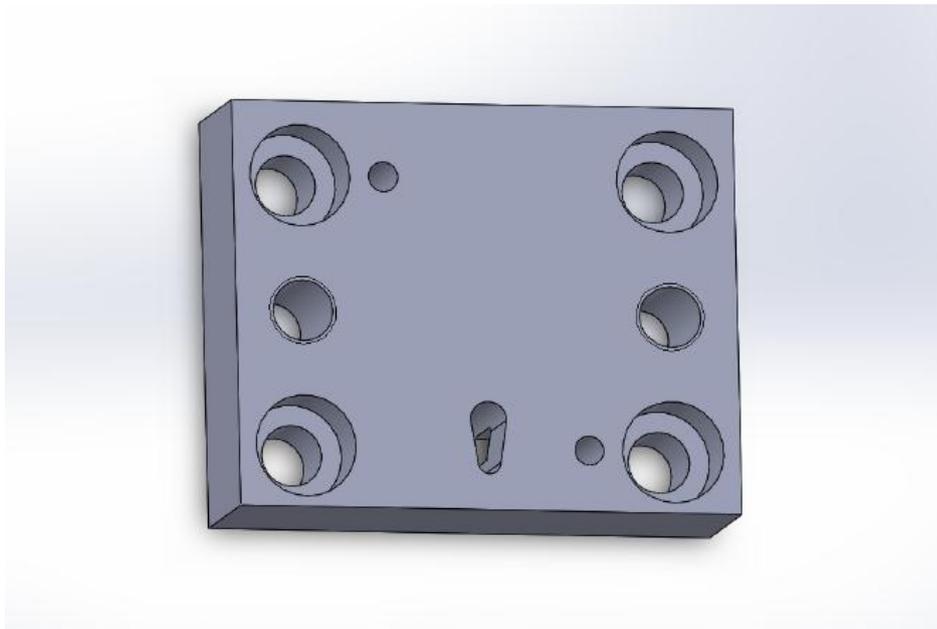


Figure IV.12 : le porte poinçon.

5) Amortisseur (caoutchouc) :

L'amortisseur, est placé entre le dévétisseur et le porte poinçon. Son rôle est de faire remettre le dévétisseur vers sa position initiale (vers le bas), les dimensions et la formes sont données dans la planche 5.

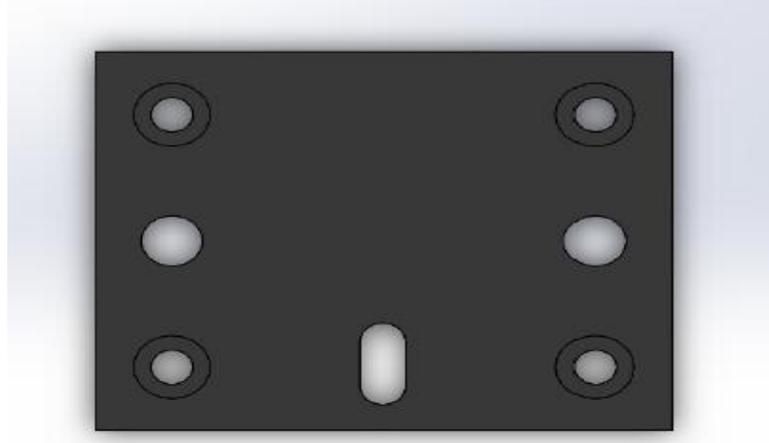


Figure IV.13 : l'amortisseur.

6) Cale :

Les cales sont placées entre le porte poinçon et l'amortisseur. Leur rôle est de rattraper l'usure de poinçon, les dimensions et la formes sont données dans la planche 6.

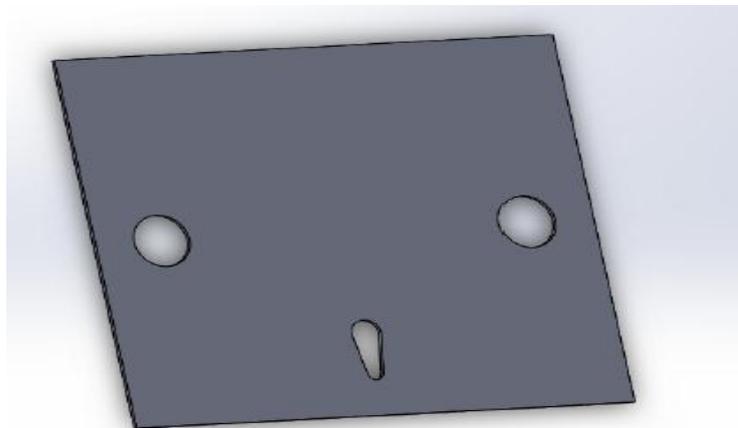


Figure IV.14 : la cale.

7) Le dévétisseur :

Le dévétisseur peut être fixe ou mobile, d'une part lorsque le poinçon découpe une pièce quelconque celui-ci est soumis à des efforts aux risques de flambement et de rupture par compression, cependant si ce dernier est maintenu sur les côtés à l'aide d'une pièce qui épouse parfaitement la forme du poinçon elle peut très bien palier à ces efforts et donc aux risques encourus.

D'autre part lors de découpage, l'effort fourni par le poinçon tend à faire remonter la pièce sur les côtés ce qui provoque la flexion de la tôle vers le haut, c'est donc pour palier à cet effet néfaste que cet organe est ajouré, les dimensions et les formes sont données dans la planche 7.

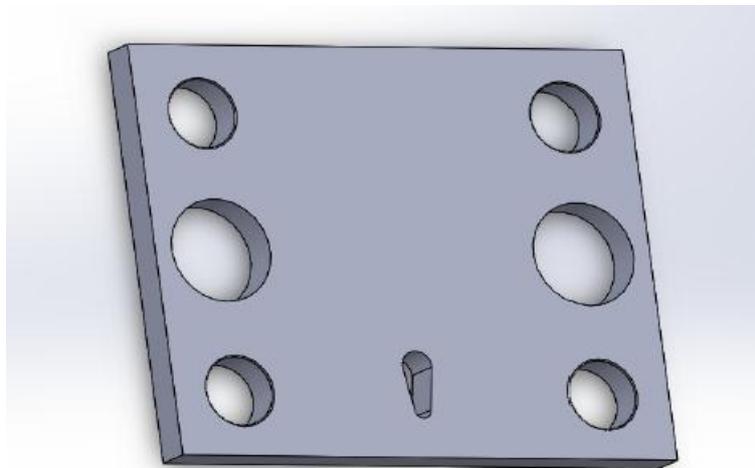


Figure IV.14 : le dévétisseur

IV.11 Conclusion :

Dans ce chapitre on a défini la conception en général, puis on a étudié et calculé les efforts nécessaires et on a choisi la presse à partir des paramètres et les efforts calculés. Ensuite on a fait la conception de l'outil à l'aide du logiciel SolidWorks en détaillant chaque partie de l'outil.

Conclusion générale

Lors du stage pratique effectué au sein du complexe Electro Industrie d'Azazga (CEI), on a eu l'occasion de mettre en application les notions théoriques acquises durant notre parcours à l'université, mais en plus de cela, cette expérience était enrichissante car on a découvert le monde professionnel qui nous a permis d'élargir nos connaissances ainsi que notre savoir-faire.

La conception d'un produit a pour but de satisfaire les conditions techniques, les besoins du client ainsi que l'amélioration de la compétitivité. Dans ce contexte, on a décrit les différents procédés de mise en forme ainsi que les phénomènes qui s'y produisent lors de la fabrication sur les tôles, et on a projeté de concevoir un outil de poinçonnage pour la réalisation des encoches sur les plaques rotoriques des moteurs électriques fabriqués par l'entreprise.

En occurrence, on a commencé par un cahier de charge puis on est passés au calcul des efforts, pour terminer par la conception de cet outil sur SolidWorks. Lors de ce travail, on a rencontré pas mal de problèmes auxquels on devait trouver des solutions toute en prenant en compte les moyens dont dispose l'entreprise.

Pour finir, nous estimons que la réalisation de l'outil de poinçonnage conçu dans cette étude est largement dans les moyens de l'entreprise. Nous espérons que cette étude sera bénéfique pour le complexe Electro Industrie ainsi que pour les étudiants du département génie mécanique.

BIBLIOGRAPHIE

[01] : COMPLEXE ELECTRO-INDUSTRIE, Découpage, Documentation de l'entreprise, En 2000.

[02]: Mr: S. LARBI PACHA Mr: S. HIDER. Étude et conception

d'un outil à suivre à bande, Mémoire fin d'étude, UMMTO ,Promotion 2012.

[03]: Mr. O. TEBANI, M^r L. MEGHENEM et M^r S. LOUNAS

Etude et conception d'un outil à bande pour la réalisation de la patte de fixation de la nouvelle poignée cuisinière, Mémoire fin d'étude, UMMTO ,Promotion 2010.

[04] : Hamid Makich, Etude théorique et expérimentale de l'usure des outils de découpe:

influence sur la qualité des pièces découpées, Thèse doctorat en Mécanique, Université de Franche-Comté 2011.

[05] : Christophe. Z, Le principe du poinçonnage, Cours de technologie, Université de Franche-Comté Janvier 2001.

[06] : A. CHEVALIER, Guide de dessinateur industriel. HACHETTE TECHNIQUE.

Edition 2001/2002.

[07] : COMPLEXE ELECTRO-INDUSTRIE, Définition d'un groupe électrogène, Documentation de l'entreprise, En 1998.

[08] : COMPLEXE ELECTRO-INDUSTRIE, Composition chimique du matériau de la tôle rotative, Documentation de l'entreprise, En 2000.

[9]: D.SPENLE .R.GOURHANT, Guide de calcul mécanique, Hachette technique, EDITION 2001-2002.