

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI de TIZI-OUZOU



Faculté du Génie de la Construction
Département de Génie Mécanique

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme
de Master académique en Génie Mécanique
Spécialité : -Comportement et Mise en Forme des Matériaux 1
-Fabrication mécanique et productique 2, 3

Thème

Étude, conception et simulation pour la réalisation de
deux outils à presse bande pour les plaques d'appuis

Proposé par :

Electro industries
Azazga

Elaboré par :

1-ALOUANE Djaffar
2-AMRANI Abdelkrim
3-SALHI Mahfoud

Soutenu le 10/12/2016 devant les membres de jury

M. HACHOUR Kamel	MC-B	UMMTO	Président
M. ASMA Farid	MC-A	UMMTO	Encadreur
M. HADJAZ Yacine	Chef de Service	E.I	Co-encadreur
M. HAMMOUR	MC-A	UMMTO	Examineur
M. MENOUEUR Ahcene	MA-A	UMMTO	Examineur

Promotion 2015 / 2016

REMERCIEMENTS

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.

Le projet de fin d'études présenté dans ce manuscrit a été réalisé en collaboration avec l'Entreprise Electro-Industries E.I ex E.N.E.L.

Ce travail que nous avons réalisé a été suivi par Monsieur HADJAZ, et l'équipe d'ingénieurs et de techniciens du secteur moyens productions de l'unité moteurs électriques, que nous tenons à remercier énormément pour leur aide et leur orientation, tout au long de ce travail. Ils ont su nous faire profiter de leurs connaissances techniques, et de leurs méthodes. Ce fut un réel plaisir de travailler avec eux.

Nous tenons à remercier tout particulièrement, notre promoteur Mr. ASMA. F Maitre de conférences à l'U.M.M.T.O, qui a encadré au quotidien notre travail. Son expertise, ainsi que ses conseils avisés ont été très formateurs et d'un très grand secours, au cours de ce projet, ce qui nous a aidé et soutenu tout le long de notre travail.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers les membres du jury qui ont eu la lourde tâche, d'examiner ce travail.

Nous remercions, sincèrement tout l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation en fabrication mécanique et productique, et nous remercions ainsi, l'ensemble d'étudiants du département de Génie mécanique de l'U.M.M.T.O, pour leurs soutiens, qui nous a beaucoup aidé.

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

Abdelkrim & Mahfoud

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire à:

*Mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse
exprimer mes sentiments pour leur patience illimité,
leurs encouragement contenu, leur aide, en
témoignage de mon profond respect et gratitude pour
leur grand sacrifice.*

*Mes chers frères et sœur pour leur soutien sans
limite que je salue avec haute gratitude.*

*Mes chers amis que sans eux ce travail n'aura jamais
vu le jour.*

*Tous les enseignants et professeurs qui m'ont instruit
depuis mon premier pas à l'école jusqu'aujourd'hui.*

*Et à tous les militants et martyres de la liberté
et la démocratie.*

« Quelqu'un a existé. il n'est pas là, mais il continue d'exister »

Alouane Djaffar

Dédicaces

Je dédie ce travail A :

- ❖ *Mes chers parents pour leurs sacrifices, leur dévouement pour mon bonheur et leur soutien dans ma vie.*
- ❖ *Mes frères et sœurs*
- ❖ *Tous mes amis (es) et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin*

Mahfoud

Je dédie ce travail A :

- ❖ *A la mémoire de ma mère et de mes grands parents que dieu les accueille dans son vaste paradis*
- ❖ *A ma chère tante « fatma »*
- ❖ *Mes frères et sœurs*
- ❖ *Mes chers amis qui ont toujours été là pour moi*

Abdelkrim

Liste des figures

Figure I-1) Principe d'une cage d'écureuil	4
Figure I-2) Vue éclatée d'un moteur électrique à cage.....	5
Figure I-3) Bobine de tôle magnétique	7
Figure I-4) Encochage de la couronne statorique.....	8
Figure I-5) Couronne rotorique Encoché	8
Figure I-6) Couronne statorique Encoché	8
Figure I-7) Couronne statorique et Couronne rotorique	8
Figure I-8) Empaquetage du paquet statorique	9
Figure I-9) paquet statorique fini	9
Figure I-10) Bobineuse de fil électrique	10
Figure I-11) une bobine.....	10
Figure I-12) Tôle rotorique	11
Figure I-13) Arbre usinée.....	11
Figure I-14) Rotor après injection d'aluminium et équilibre	11
Figure I-15) Arbre fini	12
Figure I- 16) Couronne de court-circuitage en cuivre.....	14
Figure I-17) Soudage de la couronne de court-circuitage	14
Figure I-18) Equilibrage de rotor	14
Figure I- 19) Lingot d'alliage d'aluminium	15
Figure I-20) Carcasse en aluminium	16
Figure I- 21) Flasque en alliage d'aluminium	16
Figure I-22) Bride finie	16
Figure I-23) Carcasse finie.....	17
Figure I- 24) Flaque fini	18
Figure I-25) Boite à bornes sans cache de couverture	18
Figure I-26) Stator émanché dans la carcasse	20
Figure I-27) Montage des roulements, flasque et ventilateur	20
Figure I- 28) Moteur électrique avant montage des flasques	20
Figure I-29) Boite à bornes et flasque montés sur la carcasse du moteur.....	20
Figure I- 30) Moteur fini sans peinture	21
Figure I- 31) Moteur avec peinture	21

Figure II-1) Identification des procédés en fonction des matériaux et du programme de production.....	24
Figure II-2) Usinage outil coupant.....	25
Figure II-3) Usinage par fil.....	26
Figure II-4) Usinage par enfonçage	26
Figure II-5) Machine électroérosion à fil.....	26
Figure II-6) Rectification plane	27
Figure II-7) Moulage injection plastique	28
Figure II-8) Machine a injection plastique.....	29
Figure II-9) Pièce brute de matriçage	30
Figure II-10) Principe de découpage.....	32
Figure. II.11) Cisailage	32
Figure. II .12) Encochage.....	33
Figure II.13) Crevage.....	33
Figure II.14) Ajourage	34
Figure II.15) Détourage	Erreur ! Signet non défini. 34
Figure II.16) Pièce obtenu par soyage	Erreur ! Signet non défini. 35
Figure II.17) Jeu de découpage	36
Figure II.18) Contraintes à l'origine de l'effort de dévêtissage.....	37
Figure II.19) Pièce poinçonnée	38
Figure- II-20) Phase de poinçonnage	39
Figure II-21) Pénétration d'un poinçon	40
Figure III-1) Presse mécanique.....	43
Figure III-2) Presse hydraulique	44
Figure III-3) Presse à Col de cygne	45
Figure III-4) Presse à arcade.....	45
Figure III-5) Presse à mentant droit.....	46
Figure III-6) Presse à colonne.....	47
Figure III-7) Presse à table mobile et bigorne	48
Figure III-8) Presse à double effet	49
Figure III-9) Presse à triple effet	50
Figure III-10) Illustration poinçon et matrice	51
Figure III-11) Affûtage de la matrice	51
Figure III-12) Angle de dépouille de la matrice	52

Figure III-13) Outil simple découvert	52
Figure III-14) Outil découvert à butée	53
Figure III-15) Outil à presse-bande	54
Figure III-16) Outil à contre plaque - engrenage.....	55
Figure III-17) Outil à contre plaque -couteau	56
Figure III-18) Outil suisse	57
Figure III-19) Outil de repris	58
Figure III-20) Outil de détournage normal	58
Figure III-21) Outil de détournage à ras	59
Figure III-22) Outil de détournage poinçonnage	59
Figure III-23) Outil à came.....	60
Figure III-24) Outil de cambrage en V	61
Figure III-25) Outil a cambrage en U	62
Figure III-26) Outil de cambrage en équerre	62
Figure III-27) Outil d'emboutissage sans sert flan	63
Figure III-28) Outil à serre -flan monté sur presse à double effets	63
Figure III-29) Outil à serre-flan monté sur presse à simple effet	64
Figure III-30) La machine utilisé	65
Figure III-31) Les éléments de la machine utilisée.....	65
Figure III-32) Système excentrique de la machine.....	67
Figure III-33) Entraînement de la boîte à cames	68
Figure III-34) Système de fixation de la semelle sur le plateau avant montage des flasques.....	71
Figure III-35) Système de fixation de la partie supérieure d'outil	71
Figure IV-1) Pièce 1 à réaliser 10x10	74
Figure IV-2) Pièce 2 à réaliser 13x13	74
Figure IV-3) Emplacement de la pièce réalisé.....	74
Figure IV-4) Découper sous forme d'une bande	75
Figure IV-5) Découpage de pas	75
Figure IV-6) Réalisation de 1 ^{er} perçage	76
Figure IV-7) Réalisation de 2 ^{eme} perçage.....	76
Figure IV-8) Opération de détournage	76
Figure IV-9) Mise en bande simple	77
Figure IV-10) Commende de ressort (1) sur site VANEL.....	85

Figure IV-11) Ressort de l'outil (1)	85
Figure IV-12) Commende de ressort (2) sur site VANEL.....	86
Figure IV-13) Ressort de l'outil (2)	87
Figure VI-14) Position adéquate de l'outil(1) sur la presse (centre inertie).....	88
Figure VI-15) Position adéquate de l'outil(2) sur la presse (centre d'inertie)	89
Figure IV-10) Commende de ressort (1) sur site VANEL.....	85
Figure V-1) Schéma de résolution dans Abaqus	112
Figure V-2) Eprouvette de traction normalisée selon la norme DI 50 114	115
Figure V-3) Les directions de découpage des éprouvettes.....	115
Figure V-4) L'éprouvette positionnée entre les mors de la machine de traction	115
Figure V-5) Courbes de traction conventionnelles.....	117
Figure V-6) Une éprouvette avant et après l'essai de traction.....	118
Figure V-7) Superposition des courbes de traction	119
Figure V-8-A) Le mécanisme simplifié utilisé dans la simulation	120
Figure V-8-B) Vue éclatée de la figure (V-8-A).....	120
Figure V-9) Forme de la tôle utilisé dans la simulation	121
Figure V-10) Etape d'importation du mode sur Abaqus	122
Figure IV-11) Mécanisme de simulation importé dans ABAQUS	122
Figure V-12) capture d'écrans pour la fenêtre et Edit Matériel	123
Figure V-13) capture d'écrans pour l'insertion des comporetement elastique.....	123
Figure V-14) capture d'écrans pour l'insertion des comportements plastique.....	124
Figure V-15) capture d'écrans pour l'insertion de l'endommagement	124
Figure V-16) L'influence de la taille des éléments sur les formes circulaires	125
Figure V-17) Visualisation du maillage des éléments de l'outil	125
Figure V-18) Visualisation de maillage de la tôle.....	125
Figure V-19) Les conditions limites et les efforts appliqués	126
Figure V-20) Le découpage simulé avec l'effort théorique	128
Figure V-21) Le découpage simulé avec l'effort machine.....	128
Figure V-22) Comparaison des résultats des contraintes équivalentes de Von Mises.....	129
Figure V-23) Comparaison des résultats des composantes de la déformation plastique.....	129
Figure V-24) Comparaison des résultats des critères des endommagements ductile	129
Figure V-25-a) Vue zoomer de la 1 ^{ère} simulation	130
Figure V-25-b) Vue zoomer de la 2 ^{ème} simulation.....	130

Liste des tableaux

Tableau II.1) Résistance au cisaillement R_c de quelques matériaux	37
Tableau IV-4) Centre d'inertie des efforts de découpage de l'outil (1).....	87
Tableau IV-5) Centre d'inertie des efforts de découpage de l'outil (2).....	90
Tableau IV-6) Valeurs de la longueur de flambage l en fonction de la longueur réelle L	94
Tableau IV-7) Charge critique selon la valeur d'élancement des poinçons γ	95
Tableau IV-7) Caractéristique mécanique de La tôle	120

Sommaire

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Historique de l'entreprise.....	2
----------------------------------------	----------

Chapitre I : Généralité sur les moteurs électriques

I-1) Introduction	Erreur ! Signet non défini.3
-------------------------	-------------------------------------

I-2) définition	Erreur ! Signet non défini.3
-----------------------	-------------------------------------

I-3) Description d'une machine asynchrone	Erreur ! Signet non défini.3
-------------------------------------------------	-------------------------------------

I-3-1) éléments constitutifs des moteurs électriques	Erreur ! Signet non défini.5
------------------------------------------------------------	-------------------------------------

I-3-2) Machine en moteur.....	Erreur ! Signet non défini.5
-------------------------------	-------------------------------------

I-3-3) Processus de fabrication du moteur électrique.....	Erreur ! Signet non défini.6
-----------------------------------------------------------	-------------------------------------

I-3-3-1) Première phase : Contrôle de la matière première	Erreur ! Signet non défini.6
-----------------------------------------------------------------	-------------------------------------

I-3-3-2) Deuxième phase: Atelier découpage, emballage et moulage	Erreur ! Signet non défini.7
------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

I-3-3-3)Troisième phase : usinage et montage	Erreur ! Signet non défini.16
----------------------------------------------------	--------------------------------------

I-4) Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.22
----------------------	--------------------------------------

Chapitre II : Procédés de mises en forme des métaux

II-1) Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.23
-------------------------	--------------------------------------

II-2) Classification des procédés de mise en forme	Erreur ! Signet non défini.23
----------------------------------------------------------	--------------------------------------

II-3) Identification des procédés en fonction du matériau et du programme de production	Erreur ! Signet non défini.24
-----------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------

II-4) Réalisation par enlèvement de matière	Erreur ! Signet non défini.24
---------------------------------------------------	--------------------------------------

II-4-1) Usinage à l'outil coupant	Erreur ! Signet non défini.25
-----------------------------------------	--------------------------------------

II-4-1-1) Principe général.....	Erreur ! Signet non défini.25
---------------------------------	--------------------------------------

II-4-2) Usinage par étincelage	Erreur ! Signet non défini.25
--------------------------------------	--------------------------------------

II-4-2-1) Principe général	Erreur ! Signet non défini.25
----------------------------------	--------------------------------------

II-4-2-2) Mise en œuvre du procédé.....	Erreur ! Signet non défini.26
-----------------------------------------	--------------------------------------

II-4-3) Usinage par abrasion.....	Erreur ! Signet non défini.26
-----------------------------------	--------------------------------------

II-5) réalisation par ajout de matière	Erreur ! Signet non défini.27
----------------------------------------------	--------------------------------------

II-5-1) Principe général	Erreur ! Signet non défini.27
--------------------------------	--------------------------------------

II-6) réalisation par moulage	Erreur ! Signet non défini.27
-------------------------------------	--------------------------------------

II-6-1) moulage par injection plastique	Erreur ! Signet non défini.28
-----------------------------------------------	--------------------------------------

II-6-2) Moulage à injection métal (MIM)	Erreur ! Signet non défini.	29
II-7) réalisation par déformation de matière	Erreur ! Signet non défini.	30
II-7-1) matriçage et l'estampage	Erreur ! Signet non défini.	30
II-7-2) thermoformage.....	Erreur ! Signet non défini.	31
II-7-3) le découpage	Erreur ! Signet non défini.	31
II-7-3-1) Principe de découpage	Erreur ! Signet non défini.	31
II-7-3-2) Différentes Types de découpage.....	Erreur ! Signet non défini.	32
II-7-3-3) Jeu de découpage.....	Erreur ! Signet non défini.	35
II-7-3-4) Effort de découpage et d'extraction.....	Erreur ! Signet non défini.	36
II-7-4) Le poinçonnage.....	Erreur ! Signet non défini.	38
II-7-4-1) Définition de poinçonnage	Erreur ! Signet non défini.	38
II-7-4-2) Principe de poinçonnage.....	Erreur ! Signet non défini.	38
II-7-4-3) les phases de poinçonnage.....	Erreur ! Signet non défini.	38
II-7-4-4) pénétration de poinçon	Erreur ! Signet non défini.	39
II-7-4-5) efforts de poinçonnage dans différentes matières.....	Erreur ! Signet non défini.	40
II-7-4-5) Avantages et inconvénients du poinçonnage.....	Erreur ! Signet non défini.	41
II-8) Conclusion	Erreur ! Signet non défini.	41

Chapitre III : La Machine utilisée

III-1) Introduction	Erreur ! Signet non défini.	42
III-2) les presses	Erreur ! Signet non défini.	42
III-2-1) définition	Erreur ! Signet non défini.	42
III-2-2) Classification des presses	Erreur ! Signet non défini.	42
III-2-2-1) selon le mode de transmission d'énergie.....	Erreur ! Signet non défini.	44
III-2-2-2) selon la forme de bâti	Erreur ! Signet non défini.	44
III-2-2-3) Selon le nombre de coulisseau	Erreur ! Signet non défini.	48
III-2-3) Différents constituants d'une presse.....	Erreur ! Signet non défini.	50
III-2-3-1) le poinçon.....	Erreur ! Signet non défini.	50
III-2-3-2) la matrice.....	Erreur ! Signet non défini.	50
III-2-4) affûtage.....	Erreur ! Signet non défini.	51
III-2-5) dépouille	Erreur ! Signet non défini.	51
III-3) quelque type d'outils de presse.....	Erreur ! Signet non défini.	52
III-3-1) outil découvert simple	Erreur ! Signet non défini.	52
III-3-2) outil découvert à buttées.....	Erreur ! Signet non défini.	53
III-3-3) outil à contre plaque	Erreur ! Signet non défini.	53

III-3-3-1) à presse-bande	Erreur ! Signet non défini.	53
III-3-3-2) à engrenage.....	Erreur ! Signet non défini.	54
III-3-3-3) A suivre	Erreur ! Signet non défini.	55
III-3-3-4) A couteau	Erreur ! Signet non défini.	55
III-3-4) outil suisse	Erreur ! Signet non défini.	56
III-3-5) outil à pilotage	Erreur ! Signet non défini.	57
III-3-6) outil de reprise	Erreur ! Signet non défini.	57
III-3-7) outil de détournage	Erreur ! Signet non défini.	58
III-3-7-1) outil de détournage normal.....	Erreur ! Signet non défini.	58
III-3-7-2) Outil de détournage à ras.....		59
III-3-7-3) Outil de détournage-poinçonnage		59
III-3-8) outil de coupe à longueur	Erreur ! Signet non défini.	60
III-3-8-1) outil de coupe à longueur sans perte	Erreur ! Signet non défini.	60
III-3-8-2) outil de coupe à longueur avec perte	Erreur ! Signet non défini.	60
III-3-9) outil à cames.....		60
III-3-10) les outils de cambrage	Erreur ! Signet non défini.	61
III-3-10-1) outil de cambrage en vé.....	Erreur ! Signet non défini.	61
III-3-10-2) Outil de cambrage en « u »	Erreur ! Signet non défini.	61
III-3-10-3) outil de cambrage en équerre	Erreur ! Signet non défini.	62
III-3-11) outils d'emboutissage	Erreur ! Signet non défini.	62
III-3-11-1) outil d'emboutissage sans sert flan.....	Erreur ! Signet non défini.	62
III-3-11-2) outil d'emboutissage avec sert flan	Erreur ! Signet non défini.	63
III-4) La machine utilisée.....	Erreur ! Signet non défini.	64
III-4-1) caractéristique principales de la presse.....	Erreur ! Signet non défini.	66
III-4-2) description et service de la machine	Erreur ! Signet non défini.	66
III-4-2-1) commande de la presse.....	Erreur ! Signet non défini.	66
III-4-2-2) moteur de commande	Erreur ! Signet non défini.	67
III-4-2-3) boî à cames.....	Erreur ! Signet non défini.	67
III-4-2-4) commande de l'embrayage et de frein	Erreur ! Signet non défini.	68
III-4-2-5) frein à mâchoire avec cylindre de frein.....		69
III-4-2-6) guidage de coulisseau de la machine.....	Erreur ! Signet non défini.	70
III-4-2-7) sécurité contre les surcharges dans le coulisseau	Erreur ! Signet non défini.	70
III-4-2-8) montage d'outil sur la presse.....	Erreur ! Signet non défini.	70
III-4-2-9) protection	Erreur ! Signet non défini.	72
III-4-2-10) les perturbations et leur remèdes.....	Erreur ! Signet non défini.	72
III-5) Conclusion	Erreur ! Signet non défini.	72

Chapitre IV : Etude et conception de l'outil

IV-1) Introduction	Erreur ! Signet non défini.	73
IV-2) cahier des charges.....	Erreur ! Signet non défini.	73
IV-2-1) caractéristiques de la tôle fine galvanisée au feu	Erreur ! Signet non défini.	73
IV-2-1-1) composition chimique du matériau	Erreur ! Signet non défini.	73
IV-2-1-2) caractéristiques mécaniques de matériau	Erreur ! Signet non défini.	73
IV-2-1-3) caractéristiques de revêtement	Erreur ! Signet non défini.	73
IV-2-2) description de deux pièces.....	Erreur ! Signet non défini.	74
IV-2-3) emplacement de la pièce	Erreur ! Signet non défini.	74
IV-2-4) Le travail demandé	Erreur ! Signet non défini.	75
IV-3) Le processus de fabrication	Erreur ! Signet non défini.	75
IV-4) calculs des flans théoriques	Erreur ! Signet non défini.	76
IV-4-1) calcule la largeur de flan	Erreur ! Signet non défini.	77
IV-4-2): calcul la largeur de brute	Erreur ! Signet non défini.	77
IV-5) calcul des efforts.....		78
IV-5-1) calcul des efforts de coupe		78
IV-5-1-1) calcul de l'effort découpage de pas F_1		78
IV-5-1-2) calcul l'effort de poinçon de perçage F_2		79
IV-5-1-3) calcul l'effort de poinçon de détournage F_3		80
IV-5-2) calcul l'effort total de coupe.....	Erreur ! Signet non défini.	81
VI-5-3) calcul l'effort de dévêtissage ($F_{\text{dév}}$)	Erreur ! Signet non défini.	81
IV-5-4) calcule l'effort qui doit fournir la presse F_p	Erreur ! Signet non défini.	82
IV-5-5) le choix de ressort.....	Erreur ! Signet non défini.	83
IV-5-5-1) calcul la raideur (K)	Erreur ! Signet non défini.	83
IV-5-5-2) ressort de l'outil (1).....	Erreur ! Signet non défini.	84
IV-5-5-3) ressort de l'outil (2).....	Erreur ! Signet non défini.	85
IV-5-6) calcule de barycentre de l'outil		87
IV-5-6-1) l'outil de la pièce 1 (10x10)		87
IV-5-6-2) l'outil de la pièce 2 (13x13)		89
IV-5-7) calcul de la résistance des poinçons à la compression		90
IV-5-7-1) pour le poinçon de pas	Erreur ! Signet non défini.	91
IV-5-7-2) pour le poinçon de perçage	Erreur ! Signet non défini.	91

IV-5-7-3) pour le poinçon détournage.....	Erreur ! Signet non défini.	92
IV-5-8) résistance des poinçons au flambage.....	Erreur ! Signet non défini.	93
IV- 5-8-1) résistance au flambage pour des poinçons de l'outil (1) .	Erreur ! Signet non défini.	95
IV-5-8-2) la resistance des poinçons au flambage pour l'outil (2)	Erreur ! Signet non défini.	101
IV-5-9) Détermination du jeu de découpage	Erreur ! Signet non défini.	106
IV-6) conception des deux outils.....	Erreur ! Signet non défini.	107
IV-7) Détail des deux outils	Erreur ! Signet non défini.	107
IV-8) Liste des planches.....	Erreur ! Signet non défini.	108
IV-9) caractéristiques des éléments des deux outil	Erreur ! Signet non défini.	109
Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.	110

Chapitre V : Simulation numérique du découpage

V-1) Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.	111
V-2) But de la simulation	Erreur ! Signet non défini.	111
V-3) Logiciel de simulation abaqus	Erreur ! Signet non défini.	111
V-3-1) Presentation générale d'Abaqus	Erreur ! Signet non défini.	111
V-3-2) Les principaux modules	Erreur ! Signet non défini.	113
V-3-3) Les algorithmes de résolution	Erreur ! Signet non défini.	114
V-4) Caractérisation mécanique de la tôle ST 05 Z275 MA.....	Erreur ! Signet non défini.	114
V-4-1) L'éprouvette utilisée et son positionnement sur la machine de traction.....	Erreur ! Signet non défini.	114
V-4-2) Essai de traction	Erreur ! Signet non défini.	116
V-4-3) Les Caractéristique de l'essai de traction	Erreur ! Signet non défini.	118
V-4-3-1) Limite élastique R_e	Erreur ! Signet non défini.	118
V-4-3-2) Résistance à la traction R_m	Erreur ! Signet non défini.	119
V-4-3-3) Allongement à la rupture A%	Erreur ! Signet non défini.	119
V-5) Résultats expérimentaux des essais de traction	Erreur ! Signet non défini.	119
V-6) Simulation numérique du découpage.....	Erreur ! Signet non défini.	120
V-7) Les étapes de la simulation	Erreur ! Signet non défini.	121
V-7-1) Création de l'objet	Erreur ! Signet non défini.	121
V-7-2) Création de matériaux	Erreur ! Signet non défini.	122
V-7-3) Maillage	Erreur ! Signet non défini.	124
V-7-4) Définir les pas d'analyse	Erreur ! Signet non défini.	126
V-7-5) Appliquer des conditions aux limites et les efforts	Erreur ! Signet non défini.	126
V-7-6) Créer et soumettre un travail d'analyse	Erreur ! Signet non défini.	127
V-7-7) Visualiser les résultats	Erreur ! Signet non défini.	128

V-8) Comparaison des résultats des deux simulations	Erreur ! Signet non défini.	129
Conclusion	Erreur ! Signet non défini.	131

Introduction générale

L'industrialisation du produit est une étape fondamentale dans le processus de développement. Elle intervient après les travaux de recherche et elle a pour but d'étudier la faisabilité de la fabrication du produit en tenant compte des données commerciales et des objectifs industriels de l'entreprise. Cependant pour fabriquer des pièces en feuille plus légères avec un travail en série, et de moindre prix de revient, les procédés de mise en forme comme le forgeage ou la fonderie utilisés autrefois, sont remplacés par des machines-outils.

L'entreprise Electro-industries, EI ex ENEL, connue par sa fabrication des moteurs électriques et des transformateurs tient toujours à acheter une partie des éléments constitutifs de ses produits, à l'instar des plaques d'appuis pour les blocs à borne qui contient le circuit électrique d'un moteur, jusqu'au jour où elle a décidé d'en fabriquer. Par conséquent, elle nous a honoré de nous avoir confié de faire une étude, conception et simulation d'un outil de découpage par poinçonnage pour la réalisation de ces plaques d'appuis.

La conception et la simulation numérique du procédé de mise en forme confié qui est découpage par poinçonnage sont devenues des outils primordiaux pour concevoir et fabriquer les plaque d'appuis dans des conditions opératoires, optimales et selon un critère de qualité définie, la conception et la simulation seront réalisées avec les logiciels de CAO nommés solidworks et Abaqus respectivement.

Le découpage reste l'un des procédés les plus utilisés pour fabriquer des pièces à partir des tôles métalliques. Il permet l'obtention des pièces à des cadences très élevées, son intérêt économique est donc indéniable.

La géométrie de cette pièce nous a amené à utiliser les procédés suivants : le détournage et le poinçonnage, afin d'arriver à l'obtention des pièces finies.

Pour répondre au besoin de l'entreprise nous devons de notre part arriver à la fin de notre travail à satisfaire aux critères de réalisation fixés, en respectant la norme DIN exigée par l'entreprise. Pour cela nous avons rédigé notre travail comme suit :

Après introduction générale et l'historique de l'entreprise vient : Le premier chapitre intitulé « généralités sur les moteurs électriques », présente une étude générale sur les moteurs électriques et leurs différents processus de fabrication.

Le deuxième chapitre traite « les Procédés de mise en forme des métaux », présentant les procédés de mise en forme d'une manière générale.

Introduction générale

Le troisième chapitre nommé « la machine utilisée » englobe toutes les machines et les outils utilisés dans ces procédés de mise en forme, en se basant à la fin sur notre propre machine.

Le quatrième chapitre est réservé à l'étude et conception de l'outil et les résultats des efforts de détournage et de poinçonnage pour calculer l'effort total que doit fournir la presse pour la réalisation de nos pièces.

Le dernier chapitre est consacré à la présentation de la partie simulation sur logiciel Abaqus.

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

HISTORIQUE SUR L'ENTREPRISE

1. Introduction :

La naissance de l'entreprise nationale des industries électrotechnique (E.I) ex (E.N.E.L) est issue de la restriction de la société nationale de fabrication et de montage du matériel électrique et électronique (sonelec) créée par le décret N° 83-18 du 1^{er} janvier 1983.

Le projet (M.E.I) de AZAZGA programmé au sein de cette entreprise, a été individualisé sous le N°6146-2-015-12-01 en avril 1975, l'usine a été réalisée dans le cadre d'un contrat (produit clé main) avec des partenaires Allemands, en l'occurrence SIEMENS et TRAFICO-UNION (TU), pour le produit et FRITZIWERMER pour l'ingénierie et la contraction.

LELECTRO-INDUSTRIES est composée de trois (03) unités, toutes situées sur le même site :

- Unité de fabrication mécanique MT/BT ;
- Unité de moteur électrique, alternateurs et montage de groupes électrogènes
- Unité présentation technique, poste essentiel pour les deux unités de production ci-dessus citées et sous-traitance externe.
- Unité de transformateur.

Les produits fabriqués par ELECTRO-INDUSTRIES sont conformes aux recommandations C.E.I. La production actuelle d'ELECTRO-INDUSTRIES est écoulee sur le marché Algérien et génère un chiffre d'affaire d'un (1) Milliard de dinars. La capacité de production de transformateur de l'entreprise couvre les besoins du marché à 70% environ. Les ventes de moteur présentent 30% environ de notre capacité de production. Il est à signaler que L'Electro-Industries est le seul fabricant de ces produits en Algérie.

L'entreprise emploie un effectif de 941 agents dont 19% de cadres, 31% de maîtrise et 50% d'exécution.

En matière de qualité L'EI dispose de ses propres laboratoires d'essais et de mesure, de ses produit ainsi pour des principaux matériaux utilisés dans sa fabrication.

2. Identification de l'entreprise :

On identifie l'entreprise par les éléments suivants :

- Désignation (raison sociale) : L'Electro-industries.
- Forme juridique : Entreprise Publique économique E.P.E (société par action)
- Activité principale : Azazga, Willaya de Tizi-ouzou.
- Adresse : Route nationale N°12, B.P17-Azazga, 15300, Tizi-ouzou
- Superficie totale du complexe : 48 627 m² dont 65 120 couverte avec :
 - Deux (2) lignes HT de 3 000 (une principale, la seconde de secours).
 - Quatre (4) forges d'eau, capacité globale de dix (10) litre\seconde
- Capacité : 3 689 500 000 DA. (Chiffre d'affaire)
- Part en DA consacré à l'importation : 450 000 DA
- Date de mise en exploration : 1984\1985 (E.N.E.L ; complexe M.E.I)

Source : document officiel de l'E.N.E.L

Chapitre I

Généralité sur le moteur électrique

I-1) Introduction

Les machines électriques produisant une énergie mécanique à partir d'une énergie électrique sont habituellement appelées moteurs électriques. Ces derniers étant utilisés quotidiennement commençant par le plus petit moteur à quartz au moteur d'un navire de plus d'un million de chevaux. Les moteurs ont trouvé d'innombrables applications dans divers domaines. Une multitude de moteurs de différents types sont à notre disposition. Chaque type possède ses propres caractéristiques qui permettent de l'adapter à une application ou à une autre.

Dans le but de savoir le principe de fonctionnement et de connaître le processus de fabrication du moteur électrique, nous avons visités les différentes ateliers de l'entreprise. (électro-industries d'Azazga).

I-2) définition

La machine électrique tournante est un dispositif électromagnétique destiné à transformer de l'énergie électrique en énergie mécanique ou, inversement. Elle comprend principalement deux parties mobiles l'une par rapport à l'autre : l'inducteur qui crée un champ magnétique et l'induit dans lequel ce champ crée une force électromotrice ; ces deux parties sont séparées par un entrefer.

Les moteurs fabriqués au niveau de l'entreprise EI sont de type asynchrone à cage à double ou triple phase.

I-3) Description d'une machine asynchrone

Le moteur asynchrone est constitué de différentes parties qui sont:

➤ La carcasse

Elle sert à trois choses:

1. supporter les différentes parties de la machine.
2. refermer le champ magnétique.
3. supporter les enroulements statoriques triphasés qui permettront de créer un champ tournant.

➤ Le stator (inducteur)

C'est la partie stationnaire d'un moteur électrique d'un alternateur. Selon la configuration de la machine, le stator peut créer un champ magnétique qui par interaction avec le champ magnétique rotorique produit le couple électromagnétique

Le feuilletage du stator permet de réduire très fortement les pertes par courant de Foucault, donc l'échauffement.

➤ Rotor (induit)

Le rotor tourne dans l'inducteur de la machine asynchrone. Il se compose de l'axe, du noyau et de l'enroulement rotoriques. Sa structure est un noyau d'acier feuilleté pour réduire les pertes par courants de Foucault.

Deux types de rotors existent pour une machine asynchrone:

a) Le rotor bobiné

Il comprend un bobinage triphasé câblé en étoile et logé dans les encoches rotoriques. L'extrémité libre de chaque enroulement est reliée à une bague qui tourne avec le rotor. Ces bagues permettent de raccorder une résistance qui permet le démarrage du moteur. Une fois celui-ci terminé, les trois bagues sont court-circuitées.

b) Le rotor à cage d'écureuil

A la place des enroulements bobinés sur le rotor, on a coulé, à l'emplacement des encoches, des barres d'aluminium qui vont servir de bobines pour la machine. De cette façon, il n'y a plus besoin de bagues pour permettre l'insertion d'une résistance dans le rotor. En effet ces barres ont une résistance qui évolue en fonction de la fréquence (mettre ceci en rapport avec le démarrage d'une machine asynchrone sur cage d'écureuil).

Une machine à rotor à cage d'écureuil est beaucoup plus robuste que la machine à rotor bobiné. En effet, il n'y a aucun contact électrique entre le rotor et le stator.

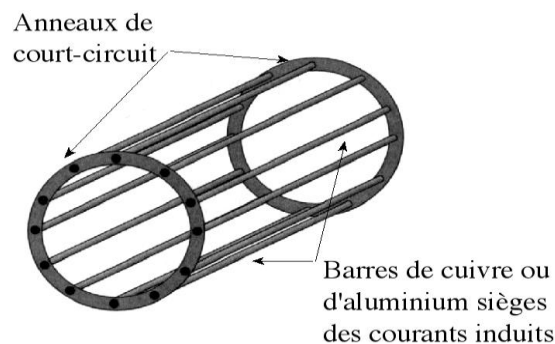


Figure I-1) principe d'une cage d'écureuil

I-3-1) éléments constitutifs des moteurs électriques

Trois bobines, fixées sur un circuit magnétique appelé stator, sont alimentées par un réseau de tension triphasé. Ces trois tensions étant déphasées chacune de 120° , elles produisent au travers des bobinages statoriques un champ magnétique tournant s'exerçant sur un cylindre en aluminium appelé rotor [1]. Le rotor se met alors à tourner dans le même sens que le champ tournant, mais à une vitesse légèrement plus faible d'où le terme asynchrone.

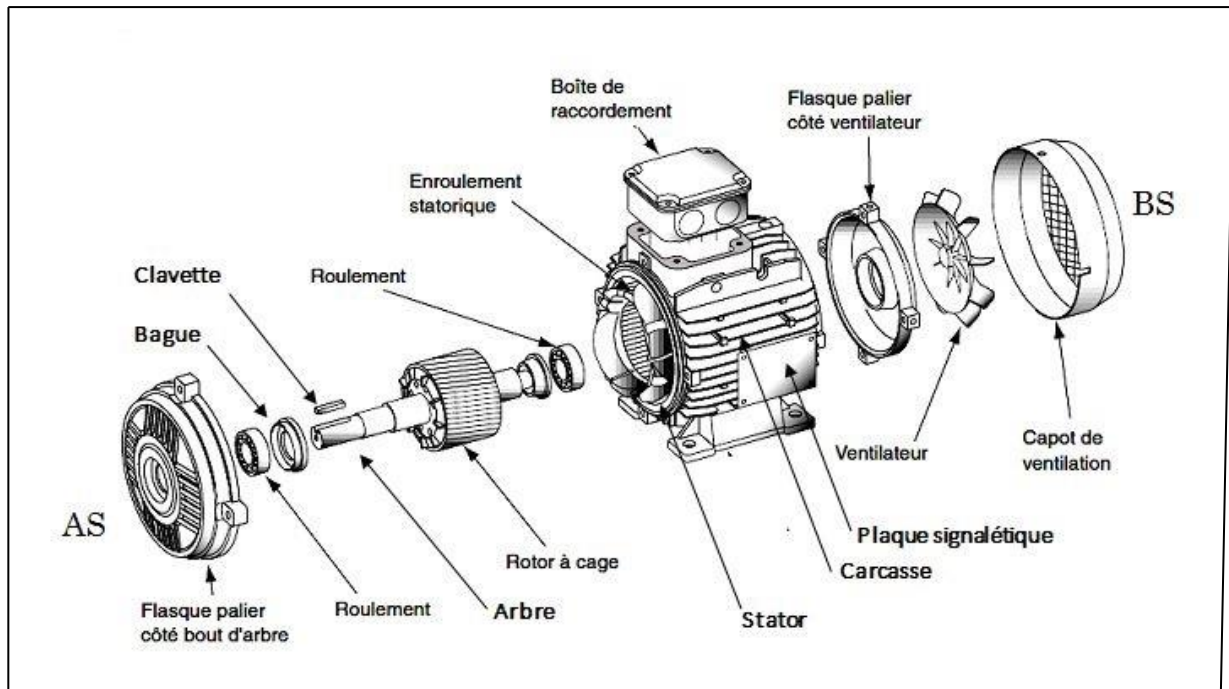


Figure I-2) Vue éclatée d'un moteur électrique à cage

I-3-2) Machine en moteur

La puissance fournie à la machine va se répartir de la façon suivante : Les pertes mécaniques correspondent à des frottements sur l'arbre et éventuellement de la ventilation dans la machine (évacuation de l'énergie dissipée par les pertes). Les pertes seront liées à des variations de flux locales occasionnant des courants de Foucault. Ces pertes vont dépendre de la vitesse de rotation de la machine.

Rendement

Du fait de ces différentes pertes, le rendement d'une machine à courant continu varie entre 80 et 95 %.

I-3-3) Processus de fabrication du moteur électrique [1]

Consiste à présenter les étapes de fabrication de chaque constituant du moteur électrique, le contrôle de matière première utilisé, ainsi que son montage et les différents contrôles qu'il subit avant d'être achevé et emballé.

I-3-3-1) Première phase : Contrôle de la matière première

➤ Matières premières reçus par l'entreprise :

- lingots d'alliage d'aluminium ;
- lingots d'aluminium pur à 99,5 % ;
- ronds d'acier de diamètres différents ;
- carcasses, flasques, pattes, ventilateurs : en fonte pour les grands moteurs ;
- ventilateurs en plastique pour les petits moteurs ;
- roulements à billes et à rouleaux cylindriques ;
- fils électriques de connexion ;
- rouleaux de fil de bobinage ;
- matériaux d'isolation du bobinage ;
- anneaux élastiques, visserie, rondelles, rondelles ondulées ;
- peinture ;
- bobines de tôle magnétique.

La matière première subit différents contrôles selon sa nature et son domaine d'utilisation afin de vérifier et d'assurer que la qualité et les caractéristiques de la matière achetée sont conformes aux besoins.

➤ Le laboratoire de chimie

Il contrôle :

- la conductivité (électrique et thermique) ;
- La viscosité ;
- vérifie le taux de composants chimiques (carbone, soufre, silicium) dans la matière achetée.

➤ Le laboratoire de physique

Il s'occupe de vérifier :

- l'allongement ;
- la résistance à la traction ;
- la limite élastique ;
- La tension de claquage ;
- La résilience ;
- la dureté.

Après avoir vérifié les caractéristiques de la matière première, on la stocke dans le magasin si elle est conforme, sinon on fait un bon de non-conformité pour rendre le produit au fournisseur.

I-3-3-2) Deuxième phase: Atelier découpage, emballage et moulage

➤ Découpage des couronnes rotoriques et statoriques :

L'atelier reçoit des bobines de tôle magnétique d'épaisseur 0,5mm de deux sortes :

- Isolées : au vernis pour les moteurs à hauteur d'axe $183\text{ mm} \rightarrow 404\text{ mm}$.
- Non isolées : leurs isolation se fait dans des fours par oxydation pour les moteurs à hauteur d'axe $70\text{ mm} \rightarrow 163\text{ mm}$.

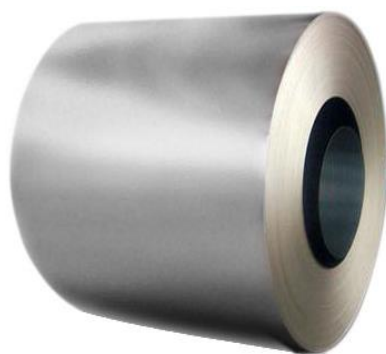


Figure I-3) Bobine de tôle magnétique

Le procédé le plus répandu dans cet atelier est celui du découpage automatique successif avec la presse rapide. Ce procédé permet de découper et d'encoche dans le même cycle les tôles statoriques et rotoriques des moteurs petits et moyens selon la commande

Généralités sur les moteurs électriques

lancée à la machine. Une fois découpées et encochées, les tôles statoriques et rotoriques sont évacuées vers l'extérieur de la machine par des convoyeurs empilés séparément.

Le procédé de découpage à l'aide d'une presse semi-automatique permet de découper la tôle en couronnes statoriques (pièce semi finie), puis encochage. (Voir les figures en dessous).

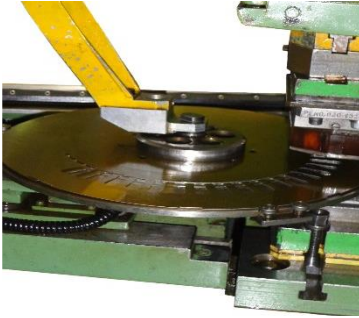


Figure I-4 : Encochage de la couronne statorique

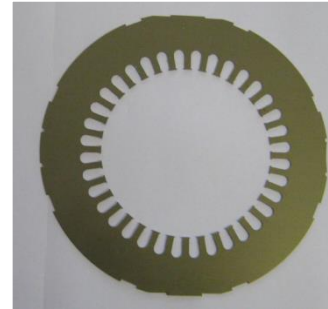


Figure I-5) Couronne rotorique Encochée

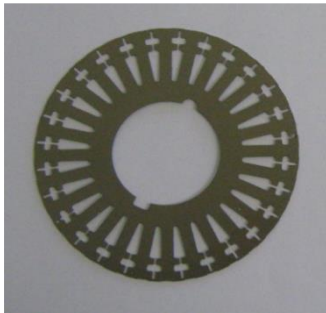


Figure I-6) couronne statorique encochée

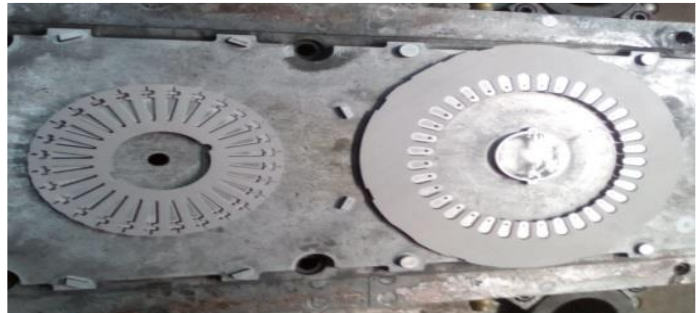


Figure I-7) : Couronnes statorique et rotorique

➤ Fabrication des stators

• Empaquetage du stator

On assemble plusieurs tôles magnétiques sous pression tout en respectant la côte demandée, sans oublier les tôles d'extrémités, puis on assemble le paquet statorique par des agrafes maintenues à l'aide d'une presse hydraulique.



Figure I-8) Empaquetage du paquet statorique



Figure I-9) paquet statorique fini

Pour Faciliter l'entrée du stator dans la carcasse on réalise un petit chanfrein.

- **Bobinage du stator**

L'atelier de bobinage est divisé en trois sections principales qui travaillent en parallèle : section de préparation des éléments d'isolation des bobines, section de préparation des bobines, et la section de bobinage.

- **Préparation des éléments d'isolation**

A l'aide des opérations de découpage et pliage, les éléments suivants sont fabriqués :

1. Caniveaux d'encoches ;
2. Cales de fermeture ;
3. Gaines isolantes ;
4. Séparateurs de phases ;
5. Lames intermédiaires ;
6. Câbles de raccordement.

- **Préparation des bobines**

L'ouvrier chargé de préparer les bobines suit une feuille de calcul sur laquelle les caractéristiques suivantes sont notées :

- Type de moteur à bobiner (choix de gabarit) ;
- Nombre des bobines ;
- Section du fil.

Les bobines sont réalisées à l'aide d'une bobineuse équipée d'un gabarit, et réglable pour un nombre de spires définit. (Voir les figures 10 et 11).

Une fois le fil est bobiné, le paquet est attaché pour garder sa forme jusqu'à l'étape de bobinage du stator.



Figure I-10) Bobineuse de fil électrique



Figure I-11) une bobine

• Introduction des bobines dans le stator

Le bobineur suit une feuille de calcul qui lui est fourni avec chaque série de stators à bobiner, cette feuille comporte :

1. type de moteur ;
2. section du fil ;
3. nombre de pôles ;
4. nombre de spires par encoche de stator ;
5. schéma de bobinage ;
6. type de connexions ;
7. nombre de bobines en série par phase ;
8. nombre de bobines en parallèle par phase ;
9. type d'enroulement ;
10. nombre de conducteurs par encoche ;
11. câbles de raccordement (nombre, section) ;
12. caractéristiques mécaniques du stator : nombre d'encoches, longueur du paquet ;
13. Angle d'inclinaison du paquet rotorique.

- **Les étapes de bobinage du stator sont :**

- à l'aide d'une machine automatique pour les petits moteurs et manuellement pour les grands, on enfonce les caniveaux d'encoches dans le stator empaqueté ;
- introduction des bobines et emplacement des séparateurs de phases puis frettage manuel des côtés AS et BS avec un fil isolant ;
- connexion entre bobines de même phase pour obtenir trois bobines de phases différentes et isolation du point de soudure avec une gaine ;
- connexion des bobines avec des câbles de raccordement des phases U, V et W (orange, noir, rouge respectivement) ;
- pressage du stator afin de donner la forme et les dimensions pour les têtes des bobines pour éviter tout contact possible avec la carcasse ou les flasques ;
- contrôle visuel des séparateurs de phases et des têtes par rapport au diamètre extérieur et intérieur du paquet statorique ;
- mesure des résistances ohmique de chaque phase et entre phases ;
- contrôle des courts circuits entre phases et entre phase et carcasse ;
- contrôle de polarité des trois phases en cas d'anomalie en vue de localiser les trois entrées et les trois sorties ;
- imprégnation dans un bain de résine afin de solidifier le bobinage du stator.

➤ **Fabrication des rotors**

Le rotor est composé d'un paquet de tôle emmanché dans un arbre, il est soit court-circuité par injection d'aluminium sous pression, soit avec des barres et couronnes en cuivre.

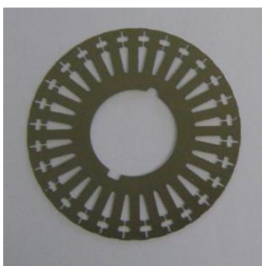


Figure I-12)
Tôle rotorique



Figure I-13)
arbre usinée



**Figure I-14) Rotor après
injection d'aluminium et équilibré**

- **Fabrication de l'arbre**

Les étapes à suivre sont :

- découpage d'un acier laminé à chaud à l'aide d'une scie circulaire ou mécanique ;
- centrage et dressage à l'aide d'une cintreuse ;
- perçage et taraudage (côté AS pour les petits moteurs ; côté AS et BS pour les grands moteurs) ;
- tournage sur un tour à copier équipé de deux gabarits cylindriques ;
- fraisage des rainures de clavette ;
- contrôle de concentricité et des côtes fonctionnelles ;

Rectification des sièges de roulement et du bout d'arbre (tolérance en micromètre).



Figure I-15) arbre fini

- **Montage des rotors**

- **petits moteurs**

Un paquet rotorique est maintenu à l'aide des rivets, en respectant la côte demandée, avec une inclinaison pour faciliter le couple de démarrage, on obtient un paquet rotorique dont on va emmancher l'arbre. Donc la fabrication des petits moteurs se fait en respectant les étapes suivantes :

- emmanchement de l'arbre dans le paquet rotorique, avec un pré-positionnement (inclinaison de l'empilement) ;

- moulage sous pression du rotor par l'injection de l'aluminium sous pression dans les encoches et moulage des couronnes de court-circuitage ;
- usinage du rotor semi fini (chariotage et chanfreinage) ;
- rectification des sièges de roulement et des bouts d'arbre ;
- contrôle des cotes fonctionnelles et de la concentricité.

- Moteurs de taille moyenne

Leur fabrication scinde en plusieurs étapes :

- empilement des couronnes encochées ;
- pré-positionnement pour avoir une position inclinée du paquet rotorique à l'aide d'un arbre provisoire retiré avant l'injection de l'aluminium ;
- injection de l'aluminium puis arrachement de l'arbre de pré-positionnement ;
- emmanchement de l'arbre usiné dans le paquet rotorique court-circuité ;
- chariotage du rotor au niveau du paquet rotorique puis finition sur une rectifieuse ;
- chanfreinage du paquet de tôle rotorique afin de faciliter son entrée dans le stator ;
- contrôle des côtes finales.

- Grands moteurs

Un paquet rotorique dont on va emmancher l'arbre usiné est maintenu avec des barres de cuivre, on trouve deux sortes de rotors à une ou à double cages selon le nombre de formes d'encoches dans la tôle rotorique.

Deux couronnes de cuivre sont soudées aux extrémités par un soudage par induction, la couronne est remplie de grains (alliage de cuivre et 15% d'argon).

• Fabrication des couronnes de court-circuitage :

- découpage des barres de cuivre ;
- cintrage des barres afin de réaliser des couronnes à l'aide d'une cintreuse ;
- soudage de type Mig-Mag des couronnes;
- réalisation d'une rainure circulaire.

Le rotor d'un grand moteur sera fabriqué comme suit :

- empilement des couronnes encochées ;
- emmanchement de l'arbre avec clavette inclinée ;
- introduction des barres de cuivres dans les encoches à l'aide d'une presse hydraulique ;
- dressage des extrémités des barres de cuivre ;
- dressage de la couronne sur un tour parallèle afin d'atteindre la côte demandée.

Même procédure pour la deuxième couronne de l'autre côté.



Figure I- 16) Couronne de court-circuitage en cuivre



Figure I-17) Soudage de la couronne de court-circuitage

• Equilibrage du rotor

Le but de cette opération est d'éliminer le balourd caractérisant une masse non parfaitement répartie sur un volume de révolution entraînant un déséquilibre.

L'équilibrage dynamique du rotor se fait en ajoutant des rondelles d'équilibrage pour les petits moteurs, et par enlèvement de matière s'il y a excès de matière ou bien par ajout de matière (soudage) si c'est le contraire.



Figure I-18) équilibrage de rotor

➤ Moulage sous pression

Le moulage est de type sous pression pour lequel la pression d'injection de métal liquide peut aller jusqu'à 700 bar, Cette technique est utilisée dans les productions de grandes série.

Des carcasses, flasques et boîtes à bornes pour les petits moteurs sont moulées au niveau de l'entreprise EI.

L'atelier dispose de deux fours de fusion et des fours de maintien :

- 1^{er} four de fusion de l'Aluminium pour l'injection sous pression du rotor.
- 2^{ème} four de fusion de l'alliage Aluminium- Silicium (Al-Si) pour la fabrication des carcasses, flasques.



Figure I- 19) Lingots d'alliage d'aluminium

Les Etapes du moulage sous pression des pièces fabriquées au sein de l'électro-industrie :

- fusion des lingots d'alliage d'aluminium (silicium, cuivre, fer, manganèse) à des températures allant de 710 à 740°C ;
- maintien des températures à l'aide des fours de maintien dont chaque machine de moulage est équipée ;
- injection sous pression pour fabriquer des pièces telles que les carcasses, les brides, les flasques, les boîtes à bornes, ...
- ébarbage et décarottage (enlèvement des bavures) ;
- emmagasinage puis transfert vers l'atelier d'usinage.



Figure I-20) carcasse en aluminium



Figure I- 21) Flasque en alliage d'aluminium

I-3-3-3)Troisième phase : usinage et montage

➤ Les procédés d'usinage

- **Usinage de l'arbre (Expliqué précédemment mais on cite ses étapes) :**

- découpage de l'acier laminé à chaud ;
- centrage et dressage puis perçage et taraudage ;
- tournage complet sur un tour à copier (tour à reproduire) ;
- rectification ;
- rainure de clavette sur une fraiseuse.

- **Usinage de la bride :**

- usinage de la pièce (brute) sur un tour révoluer pour faciliter la tâche à l'ouvrier ;
- usinage sur un tour parallèle en respectant le dessin donné par le bureau des méthodes ;
- rectification des côtes fonctionnelles (logements des roulements).



Figure I-22) bride finie

- **Usinage de la carcasse :**

- alésage de l'intérieur de carcasse : jusqu'à atteindre le diamètre de paquet statorique sur un tour vertical pour les grands moteurs, et tour parallèle pour les petits moteurs ;
- contrôle de la cote finale avec un instrument de mesure pneumatique ;
- perçage des trous de fixation de :
 - flasque AS et BS.
 - capot de ventilateur.
 - boîte à bornes.
 - plaque signalétique.
- taraudage des trous de fixation sauf ceux de la plaque signalétique ;
- tournage des bords de centrage ;
- fraisage des appuis des carcasses ;
- fixation des pattes en fontes des grands moteurs ;
- fraisage des pates pour obtenir la hauteur d'axe désirée.



Figure I-23) carcasse finie

- **Usinage des flasques :**

- perçage des trous de fixation sur la carcasse ;
- taraudage des trous de fixation ;
- sur un tour à commande numériques :
 - ✓ tournage de bord de centrage ;

- ✓ alésage de siège de roulement ;
- ✓ alésage de trous de bouts d'arbre.
- contrôle des cotes usinées, et concentricité du bord de centrage.



Figure I- 24) flaue fini

- **Usinage des pattes en fonte :**

- perçage des trous de fixation sur la carcasse ;
- taraudage des trous de fixation ;
- fraisage de surface d'appui sur la carcasse ;
- fixation sur la carcasse et fraisage des appuis pour assurer la hauteur d'axe désirée.

- **Usinage de la boîte à bornes :**

- Perçage des trous de fixation du cache, et de la boîte sur la carcasse ;
- Fraisage de la surface de fixation sur carcasse (boîtes en fonte pour les grands moteurs).



**Figure I-25) Boîte à bornes sans
cache de couverture**

• Montage du moteur électrique

Le montage se fait comme suit :

- le stator bobiné, connecté et imprégné dans la résine se monte à l'intérieur d'une carcasse en aluminium (petits moteurs) et en fonte (grands moteurs) ;
- emmanchement du stator dans la carcasse avec une presse équipée de :
 - . plateau de centrage du rotor.
 - . fourreau d'emmanchement.
 - . anneau intermédiaire.
 - . chapeau de pression.
 - . tige de coulisseau.
 - . En respectant la pression et la hauteur d'emmanchement qui sont indiquées sur la feuille de calcul.
- Réalisation des opérations d'usinage suivantes sur une machine nommée « Pitler » (petits moteurs) :
 - . mise en longueur des carcasses.
 - . fraisage des appuis de carcasses.
 - . Tournage des bords de centrage des cotés AS et BS.

• Assemblage

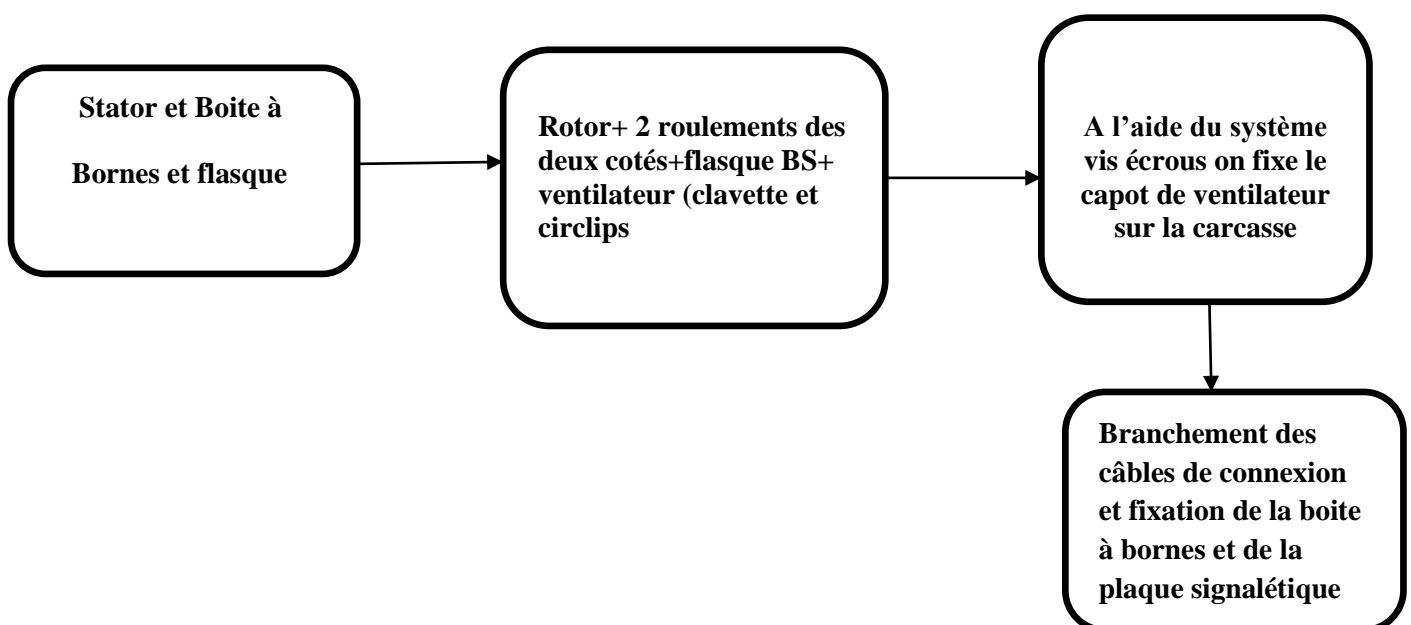




Figure I-26)

Stator émanché dans la carcasse



figure I-27) montage

des roulements, flasque et ventilateur



Figure I- 28) Moteur électrique avant montage des flasques

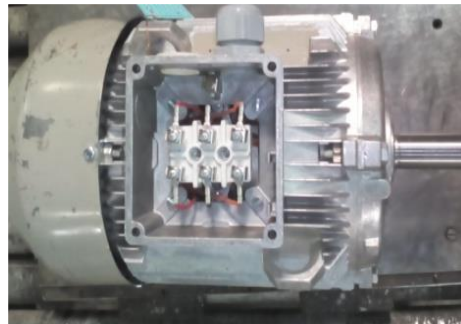


Figure I-29) Boîte à bornes et flasque montés sur La carcasse du moteur

➤ Contrôle

• Contrôle mécanique et qualité :

- identification du type de moteur ;
- contrôle visuel du moteur ;
- contrôle des cotes fonctionnelles et de la hauteur d'axe ;
- contrôle de la surface de l'arbre et de la bride (concentricité) à l'aide d'un comparateur ;
- contrôle de longueur du bout d'arbre ;
- planéité pour les moteurs à bride pour les moteur B5.

- **Contrôle électrique :**

- contrôle des documents avec la plaque signalétique ;
- contrôle visuel (câbles, vis, ...) ;
- mesure des résistances.

Ces essais sont appliqués à toutes les séries fabriquées, mais il y'a d'autres essais électriques destinés à quelques échantillons seulement pour approuver la conformité de la série qui sont :

- ✓ **Essai de court-circuit (rotor bloqué)**

Par injection du courant nominal pour avoir la puissance et la tension du court-circuit avec une tolérance de 10%.

- ✓ **Essai à vide (rotor libre)**

Quand l'interrupteur est ouvert, la machine ne débite aucun courant. On relève la tension pour plusieurs valeurs de (I_e), courant d'excitation, injecté dans l'inducteur par injection de la tension nominale pour avoir le courant et la puissance à vide.

- ✓ **Essai de haute tension (série grand moteurs)**

On applique une tension de 2,1 KV entre la masse et les trois phases et entre les phases elle mêmes pour vérifier s'il n'y a pas un court-circuit. Si tout est bon on place les plaques signalétiques.

A la fin de ces contrôles, le moteur passe par l'atelier de peinture.



Figure I- 30) moteur fini sans peinture



figure I- 31) moteur avec peinture

Si l'échantillon (moteur) est conforme, les autres moteurs de la même série seront approuvés et emballés, mais dans le cas contraire d'autres échantillons seront testés pour valider l'hypothèse de non-conformité de la série.

I-4) Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons présenté une étude générale sur les moteurs électrique et leur différents processus de fabrication. Pour conclure nous dirons que le moteur électrique est largement utilisé dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable et qui demande peu d'entretien.

Chapitre II

Procèdes de mise en forme des
métaux

II-1) Introduction

Les procédés de mise en forme ont une incidence directe sur les caractéristiques morphologiques et mécaniques des pièces, il est donc nécessaire de connaître les principes physiques et technologiques de ceux-ci, afin de concevoir efficacement nos produits.

Le choix d'un procédé de mise en forme est fonction du matériau retenu et des caractéristiques produit. En effet, chaque procédé dépend d'une famille de matériaux et impose ses règles de tracé. De la même manière, les caractéristiques des pièces peuvent imposer un procédé, On peut classer les procédés en trois catégories suivant le degré de finition de la pièce :

- Primaire : Mise en forme à partir d'un semi-produit
- Secondaire : Mise en forme de surface fonctionnelle
- Tertiaire : Augmente la qualité pièce (polissage)

II-2) Classification des procédés de mise en forme

On entend par procédé de mise en forme tout moyen permettant de passer du virtuel au réel. On peut classer les procédés dans quatre familles suivant la méthode de mise en forme.

➤ Par enlèvement de matière

On part d'un bloc, et on crée les formes de la pièce en enlevant la matière à l'aide d'un outil

Exemple : usinage

➤ Par ajout de matière

On part d'un plateau vide, et on ajoute de la matière pour créer la pièce. Exemple : dépôt de fil ABS

➤ Par transformation (moulage)

On coule la matière à l'état liquide ou pâteux dans un moule, et on obtient la pièce après solidification.

Exemple : Injection plastique

➤ Par déformation

On part d'un matériau en feuille que l'on déforme à l'aide d'un outillage spécifique.

Exemple : Découpage

II-3) Identification des procédés en fonction du matériau et du programme de production

Chaque procédé dépend essentiellement du matériau et du nombre de pièces à réaliser. On retrouve ainsi le triptyque : Produit – Matériau – Procédé.

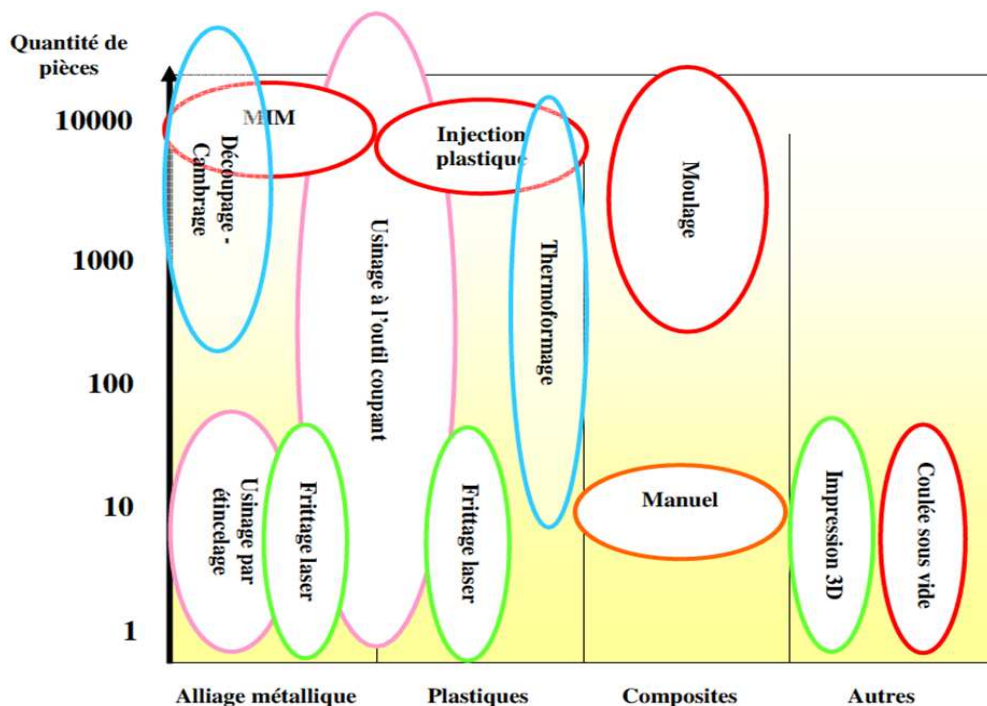


Figure II-1) identification des procédés en forme des matériaux et
Du programme de production

II-4) Réalisation par enlèvement de matière

Les procédés de réalisation par enlèvement de matière les plus courants sont :

- L'usinage à l'outil coupant
- L'électroérosion (usinage par étincelage)
- L'enlèvement de matière par abrasion

L'usinage par étincelage regroupe l'électroérosion par enfonçage et l'électroérosion à fil. Le premier consiste à reproduire l'empreinte d'une électrode et le second utilise un fil de laiton dont le parcours constitue le contour de la pièce.

II-4-1) Usinage à l'outil coupant

L'usinage à l'outil coupant regroupe les opérations de fraisage, de tournage et de perçage. La mise en œuvre se fait sur des machines spécifiques (centre de tournage ou centre de fraisage) ou sur des machines à cinématique « multi procès » (Tournage et fraisage).

II-4-1-1) Principe général

Pour réaliser un usinage il est nécessaire que l'outil et la pièce soient animés de mouvements adaptés. Ainsi, au contact de la pièce et de l'outil, en fonction des vitesses de déplacement, des trajectoires choisies, se crée un copeau provenant de la pièce usinée. Cette cellule d'usinage se compose d'une machine-outil, d'un ensemble porte-outil – outil et d'un ensemble porte pièce – pièce.

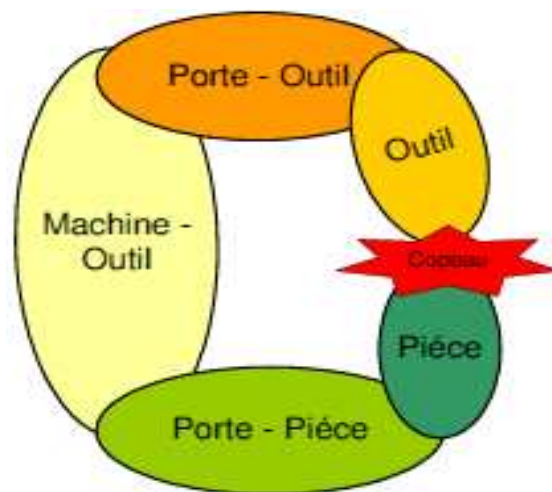


Figure II-2) usinage outil coupant

II-4-2) Usinage par étincelage

L'usinage par étincelage regroupe l'électroérosion par enfonçage et l'électroérosion à fil. Le premier consiste à reproduire l'empreinte d'une électrode et le second utilise un fil de laiton dont le parcours constitue le contour de la pièce.

II-4-2-1) Principe général

L'électroérosion est un procédé d'usinage qui consiste à enlever de la matière dans une pièce en utilisant des décharges électriques comme moyen d'usinage. Cette technique se caractérise par son aptitude à usiner tous les matériaux conducteurs de l'électricité quelle que soit leur dureté (métaux, alliages, carbures, graphites, etc.).

Procèdes de mise en forme des métaux

On distingue deux procédés d'enlèvement de matière basé sur le principe de l'usinage par étincelage : L'enfonçage et l'électroérosion à fil.

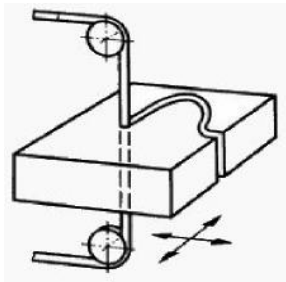


Figure II-3) usinage par fil

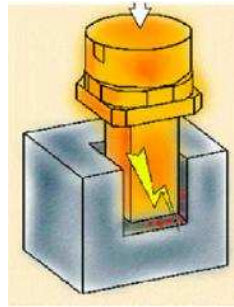


Figure II-4) usinage par enfonçage

II-4-2-2) Mise en œuvre du procédé

En électroérosion à fil, la mise en œuvre est basée sur le modèle numérique, et on génère la trajectoire du fil à l'aide d'un logiciel de FAO de la même manière qu'en fraisage.

En enfonçage, il s'agit de concevoir puis de réaliser l'électrode, généralement en usinage.



Figure II-5) machine électroérosion à fil

II-4-3) Usinage par abrasion

Il existe beaucoup de procédés de mise en forme basés sur le principe d'usinage par abrasion et notamment les procédés de rectification, Le principe est d'utiliser une meule

Procèdes de mise en forme des métaux

animée d'un mouvement de rotation et de faire translater la pièce afin d'enlever une fine couche de matière (environ 0,02 mm), ces procédés ne permettent pas de mettre en forme la pièce, mais sont utilisés afin d'améliorer les caractéristiques géométriques d'une surface fonctionnelle.

Ce procédé permet, dans les matériaux métalliques même très durs, d'obtenir des qualités géométriques et micro-géométriques

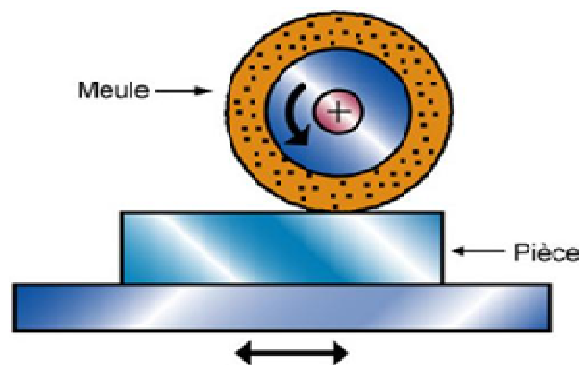


Figure II-6) rectification plane

II-5) réalisation par ajout de matière

II-5-1) Principe général

On regroupe sous le terme de réalisation par ajout de matière les procédés de prototypage rapide, ces procédés sont essentiellement utilisés en validation car ils ne nécessitent aucun outillage et aucune mise en œuvre de processus spécifique. En effet, ils permettent de réaliser la pièce directement à partir de son modèle numérique.

Dans des cas précis (concernant le matériau et la série souhaités), ces procédés de fabrication par ajout de matière peuvent être utilisés pour la production des pièces, on parle de production rapide

Exemple : imprimante 3D

II-6) réalisation par moulage

Le principe de ces procédés est de couler le matériau à l'état liquide ou pâteux dans un moule, Et après solidification d'ouvrir ou de détruire le moule afin de récupérer la pièce. On

peut mouler tout type de matériaux (plastique, métallique, résine). Ces procédés nécessitent la réalisation d'un moule, et sont donc réservés à la fabrication de pièces en série, mais les techniques de prototypage rapide peuvent être utilisées afin d'optimiser l'utilisation des ces procédés.

Les moules peuvent être :

- **Permanent** : Dans ce cas le moule est en plusieurs parties et s'ouvre pour libérer la Pièce
- **Non permanent** : Dans ce cas, le moule est détruit pour récupérer la pièce.

Suivant le matériau à mouler et le nombre de pièces souhaitées, les moules sont réalisés en silicone, en plâtre, en sable ou en acier.

Certains procédés utilisant des modèles perdus permettent la réalisation de pièces de grande précision et de grande complexité.

Domaines : notamment celui des prothésistes dentaires ou articulaires (couronne, appareil dentaire, genou, hanche...).

II-6-1) moulage par injection plastique

L'injection plastique utilise un moule permanent généralement métallique, dans lequel on injecte sous pression un polymère à l'état pâteux. Après solidification, le moule s'ouvre et la pièce est éjectée.

Ce procédé permet de grandes cadences de production et est donc utilisé dans le cadre de fabrication en série. La modélisation et la réalisation du moule sont basées sur la modèle numérique pièce. En effet, les modeleurs possèdent des outils spécifiques de moulage.

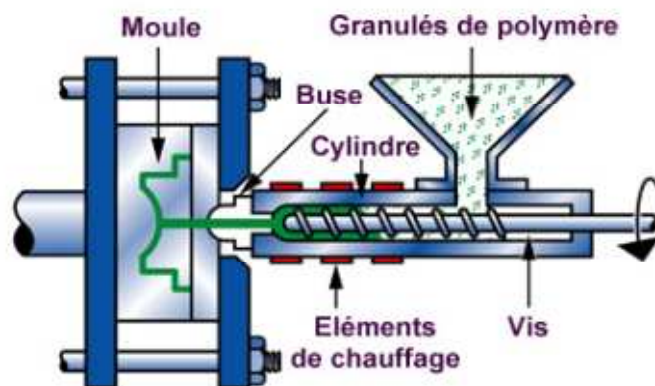


Figure II-7) moulage injection plastique

Les presses d'injection plastique se composent :

- D'un bâti
- D'une unité de plastification
- D'une unité d'injection
- D'une unité d'éjection

Le bâti peut être horizontal ou vertical, ce dernier est utilisé dans le cas de surmoulage (moulage autour d'un insert, le plus souvent métallique).

Le moule qui comprend une partie fixe, une partie mobile et un système d'éjection se monte sur la machine par bridage sur deux plateaux.

Pour une pièce complexe, avec contre dépouille, le moule peut être équipé de tiroirs ou de cinématique d'ouverture particulière.



Figure II-8) machine à injection plastique

II-6-2) Moulage à injection métal (MIM)

Le procédé MIM (Moulage par injection de métal) est un dérivé de l'injection plastique. On injecte un mélange poudre métallique - polymère dans un moule chauffé à l'aide d'une presse à injecter classique.

La pièce obtenue, dite pièce verte, est alors placée dans un four pour une opération de frittage. La pièce subit un retrait de l'ordre de 30%.

Ce procédé permet d'obtenir des pièces métalliques de formes complexes ayant de fortes caractéristiques mécaniques.

II-7) réalisation par déformation de matière

Le principe de ces procédés est de déformer un matériau à l'aide d'un outillage spécifique. Cette déformation peut se réaliser à chaud ou à froid sur des matériaux plastiques ou métalliques, les matériaux métalliques à mettre en forme peuvent se présenter sous la forme de tôle ou de lopin. Le principe du procédé est d'amener la déformation dans le domaine plastique à l'aide de matrices, de manière à donner à la matière la forme souhaitée.

Les procédés de mise en forme par déformation nécessitent la réalisation d'un outillage onéreux, ce qui les destine à la production en série.

II-7-1) matriçage et estampage

Le procédé de matriçage consiste à mettre en forme un lopin porté à la température adéquate dans les gravures d'un jeu de matrices reproduisant en creux les formes de la pièce à réaliser. Le principe consiste à rapprocher les deux matrices ce qui force le métal à épouser les formes des gravures. Généralement, afin de remplir complètement les cavités, le métal a la possibilité de déborder des gravures ce qui génère une bavure et donc une opération d'ébavurage.

Le matriçage fait partie des procédés de forgeage au même titre que la forge libre, l'extrusion et l'estampage. Matriçage et estampage sont en réalité un seul et même procédé mais on parle usuellement d'estampage pour la mise en forme des métaux ferreux tandis que le matriçage concerne les matériaux non ferreux.



Figure II-9) pièce brute de matriçage

II-7-2) thermoformage

Une technique qui consiste à prendre un matériau sous forme de plaque (verre, plastique, ...), à le chauffer pour le ramollir, et à profiter de cette ductilité pour le mettre en forme avec un moule. Le matériau rendurcit lorsqu'il refroidit, gardant cette forme.

Il existe différentes méthodes pour thermoformer une pièce :

- **Par le vide** : le vide, créé entre la matière et le moule, force la matière à épouser la forme du moule sous l'effet de la pression atmosphérique.
- **Sous pression** : la mise en forme est assurée par une pression de 3-4 bars, chassant l'air entre la matière et le moule. Cette méthode permet une meilleure précision des contours et répartition des épaisseurs mais l'installation est plus coûteuse, l'air comprimé est également plus coûteux que le vide.

II-7-3) le 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 :

- Découpage, afin d'obtenir un pourtour défini selon une forme et des cotes précises
- Poinçonnage, afin d'ajouter une pièce (exemple : une perforation).

Deux autres procédés sont complémentaires du découpage :

- **Le cambrage** : est une opération consistant à effectuer sur la tôle un pli rectiligne.
- **L'emboutissage** : permet de déformer la matière entre un poinçon et une matrice, ce qui entraîne une variation d'épaisseur de la bande.

II-7-3-1) Principe de découpage

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

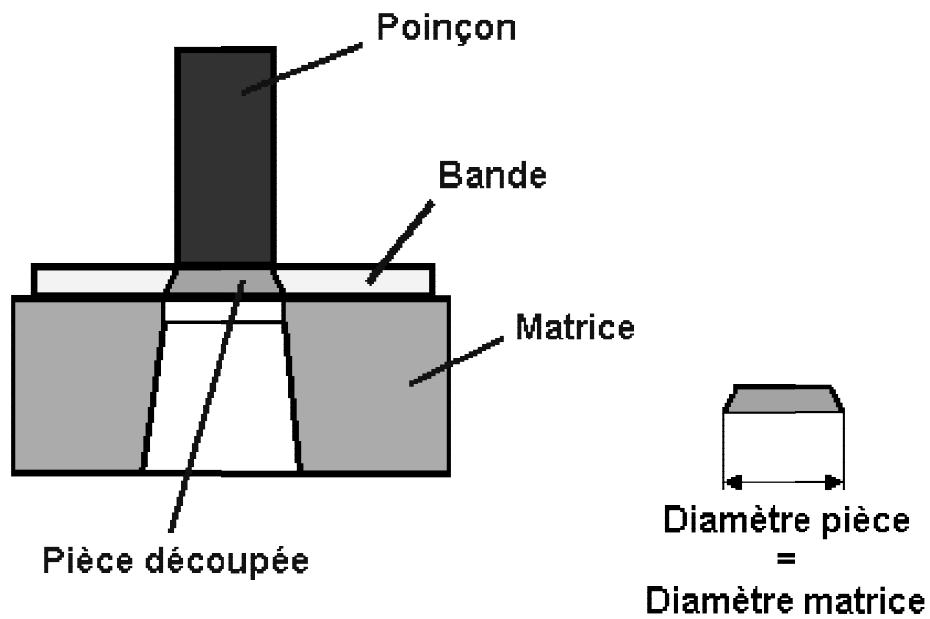


Figure II-10) principe de découpage

II-7-3-2) Différentes Types de découpage

a) Le cisailage

Le cisailage est une technique de découpage sans création de déchet. Il consiste à séparer un flan suivant un contour non fermé qui affecte toute la largeur de la bande.

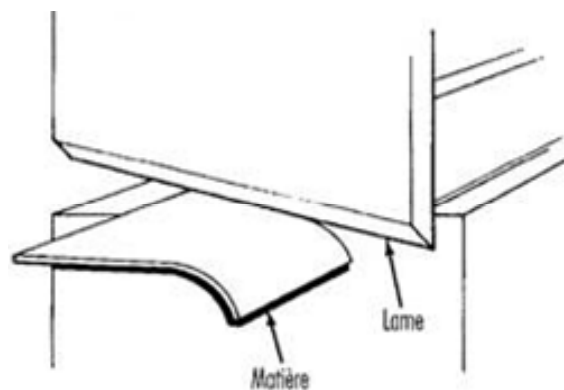


Figure. II.11) : cisailage

b) Encochage

Cette opération est effectuée sur une pièce déjà découpée, une encoche est ensuite effectuée selon les besoins.

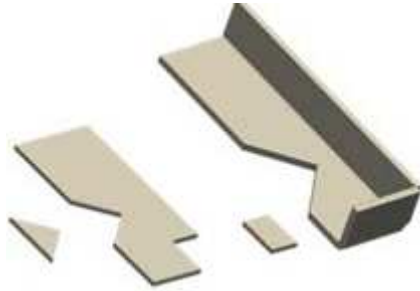


Figure. II .12) Encochage

c) Crevage

C'est un découpage incomplet, généralement effectué en plein tôle, c'est une opération qui combine le découpage et le cambrage

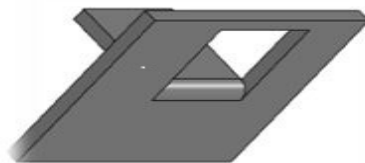


Figure II.13) crevage

d) Ajourage

C'est une opération qui consiste à découper dans un flan des trous sous forme d'allongés

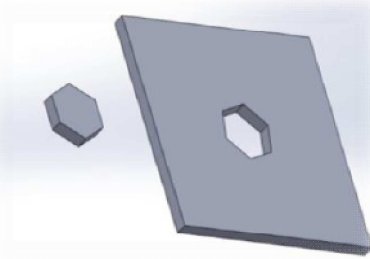


Figure II.14) ajourage

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. Suivant le type de pièce, on trouve plusieurs techniques :

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

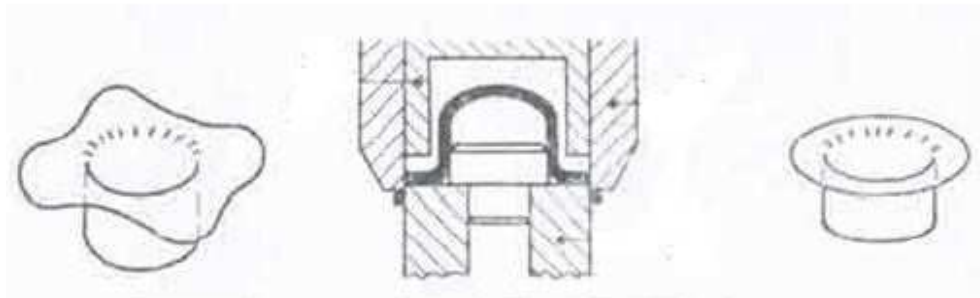


Figure II.15) détourage

f) 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.16) pièce obtenu par soyage

II-7-3-3) Jeu de découpage [6]

C'est l'un des paramètres les plus importants dans le découpage. Ce jeu est l'écart entre les arêtes de coupe de poinçon et la matrice. Il influe sur les bords de la pièce obtenue.

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

Le jeu total varie selon la nature et l'épaisseur du matériau découpé ;

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

e : étant l'épaisseur du matériaux découpé en mm.

Ce jeu diminue l'effort de poinçonnage et l'écrouissage de la zone poinçonnée. Ce jeu de découpage sera proportionnel à l'épaisseur découpée et dépendra de la résistance du métal.

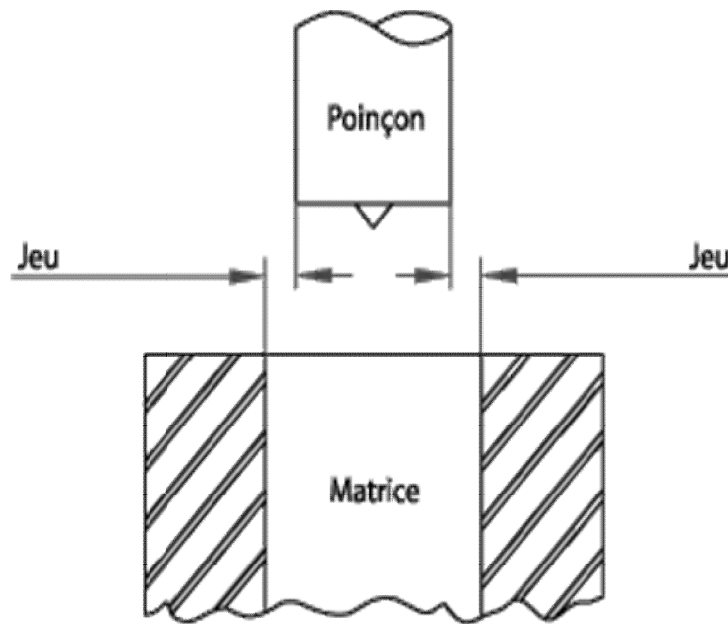


Figure II.17) jeu de découpage

II-7-3-4) Effort de découpage et d'extraction

➤ Effort de découpage

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

$$\boxed{\mathbf{F = P \times e \times Rc}} \dots\dots\dots \text{(II-1) [6]}$$

Avec :

P : le périmètre de la surface à découper, (en mm);

e: épaisseur de la surface à découper, (en mm);

Rc : résistance au cisaillement de la tôle à découper, (daN/mm²).

Le choix de la presse à employer est directement lié à l'effort de découpage.

➤ Résistance au cisaillement

Le tableau ci-dessous donne Rc pour les métaux les plus fréquemment découpés à la presse

métaux	Rc(daN/mm ²)
Aluminium	10
Cuivre recuit	20
Laiton recuit	30
duralumin	30
Tôle d'emboutissage	35
Acier dur	70
Acier doux	40

Tableau II.1) Résistance au cisaillement Rc de quelques matériaux [6]

➤ **Effort d'extraction (dévêtissage) :**

C'est l'effort nécessaire pour dégager les poinçons de la bande après découpage ou poinçonnage, Il varie de 2 À 7 % d'effort de découpage suivant l'importance de la bande entourant le poinçon, soit :

- 7 % de l'effort de découpage en pleine tôle ;
- 2 % si la chute de découpage est faible.

$$F_{d\hat{e}v} = C \cdot F \quad \dots\dots\dots \text{(II-2) [6]}$$

C : c'est la valeur forfaitaire choisie qui, selon l'usure de l'outil que l'on admet, pourra varier de 2 à 7 % de l'effort de découpage ;

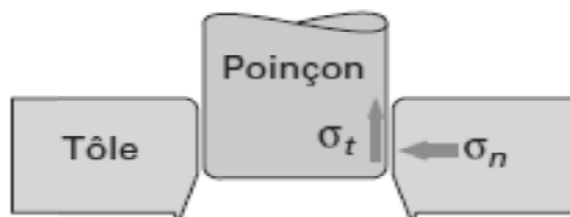


Figure II.18) Contraintes à l'origine de l'effort de dévêtissage

II-7-4) Le poinçonnage

II-7-4-1) Définition de poinçonnage

Le poinçonnage est un procédé par cisailage des tôles. La tôle est coincée entre un poinçon et une matrice. La descente du poinçon dans la matrice découpe le matériau comme le ferait une paire de ciseaux. En principe il n'y a pas de limite au poinçonnage, seule la puissance de la machine limite l'épaisseur des matériaux à découper en fonction des caractéristiques mécaniques du matériau. Ce procédé permet d'obtenir de grandes précisions de découpe.

II-7-4-2) Principe de poinçonnage

On considère que le poinçonnage est un cisailage de forme fermée, donc par conséquence comme pour le cisailage, c'est un glissement de métal dans un plan transversal entre deux barres, sans que celles-ci se déforment et ne cessent d'être parallèle. Le débouchage du trou est exécuté à l'aide d'un poinçon et d'une matrice, deux outils comparables aux lames de cisailage.

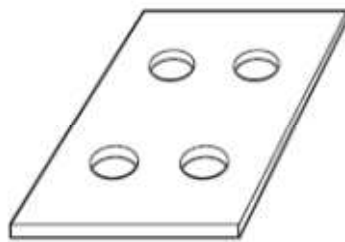


Figure II.19) pièce poinçonnée

II-7-4-3) les phases de poinçonnage

Le poinçonnage se fait à plusieurs phases :

- a) **l'impact** : provoque un gonflement dans la surface de la pièce.
- b) **pénétration** : Fibres superficielles coupées et Fibres internes en extension.
- c) **Découpage**: Forte contrainte de compression, dépassement de la limite élastique donne naissance à des fissures de la tôle entre le poinçon et la matrice.
- d) **Séparation** : Rupture par extension des fibres.

e) **dévêtissage** : En fin de course, le poinçon recule en surmontant la friction qui est due au serrage de la pièce qui l'entrouvre (déboucheur).

a. impact b. pénétration c. découpage d. séparation e. dévêtissage

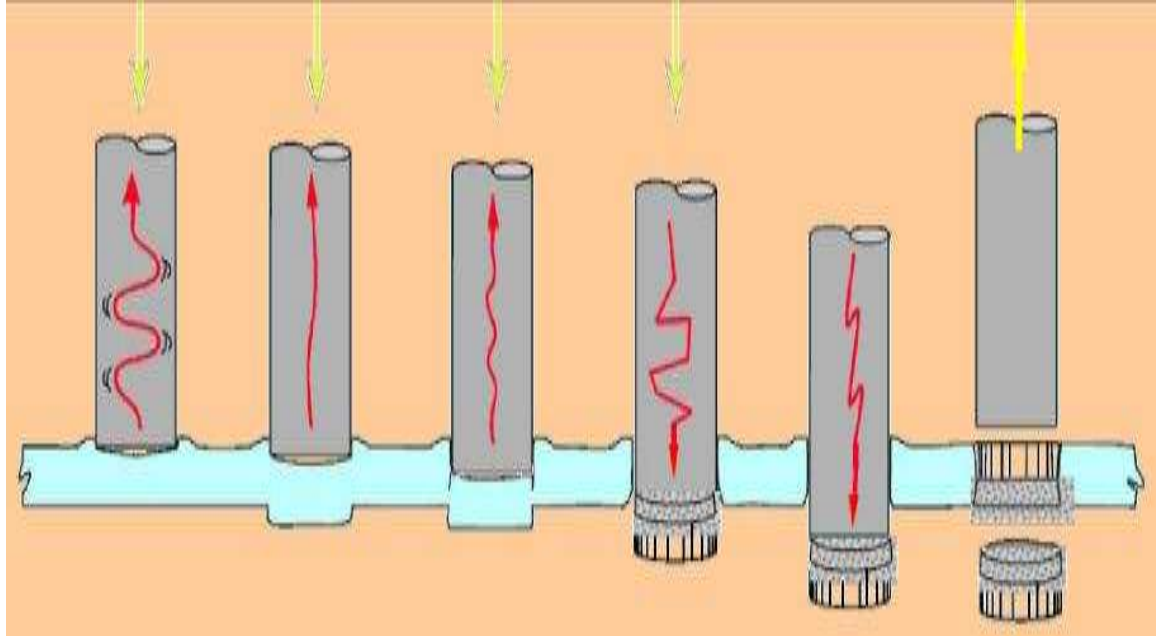


Figure- II-20) phase de poinçonnage

II-7-4-4) pénétration de poinçon

Elle doit être minimale sinon nulle ; les pièces s'évacuent par poussé et entassement dans la matrice. Une grande pénétration entraîne souvent des détériorations de l'outil car le poinçon n'est pas toujours parfaitement centré par rapport à la matrice.

La pénétration est rigoureusement nulle dans le cas d'outil en carbure métallique.

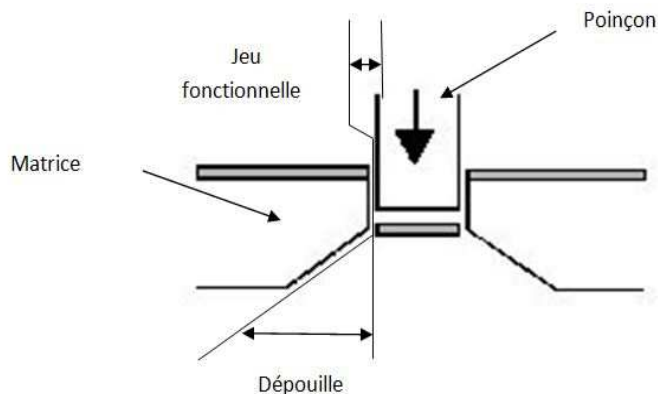


Figure II-21) pénétration d'un poinçon

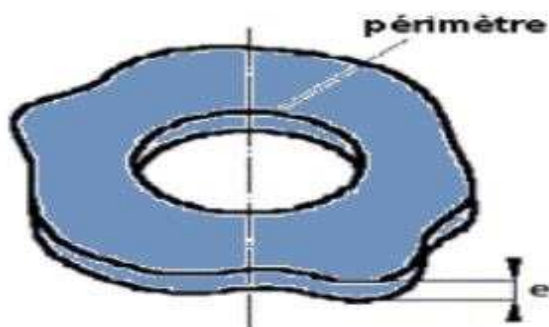
La déviation est de 5% soit environ 3°

II-7-4-5) Efforts de poinçonnage dans différentes matières

L'effort de poinçonnage dépend de l'épaisseur, du périmètre de la section du trou, de la résistance du métal et des frottements qui sont généralement négligés. Une lubrification est conseillée pour ne pas user prématurément les outils. Par conséquent :

La force à appliquer est donnée par :

$$F = k .L. e. R_c \quad \dots\dots\dots (II-2) [7]$$



L : périmètre découpé, (en mm) ;

e : épaisseur de la tôle, (en mm) ;

Rc : résistance au cisaillement, (en daN/mm²) ;

K : Coefficient d'ajustement de la formule de calcul. Ce coefficient varie de 0,5 à 1 selon la nature du matériau découpé,

Pour des raisons de simplicité, le coefficient K est souvent pris égal à 1.

II-7-4-5) Avantages et inconvénients du poinçonnage

a)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, de découper de grands formats, et d'utiliser des outils simples et peu onéreux.

b) Inconvénients :

- Limité dans les épaisseurs
- Section minimale du poinçon limitée

III-8) Conclusion

L'étude effectuée dans ce deuxième chapitre est destinée aux différents procédés de mise en forme des métaux, parmi les techniques de déformation de la matière on y trouve la mise en forme des métaux par déformation tels que le découpage et le poinçonnage, la fabrication d'une pièce demande cette technique qui dépend des caractéristiques mécaniques du matériaux, de la forme des outils, de la lubrification, de la température de formage, des force de serrage, l'usure des outils. Compte tenu de la dépendance de ces différents paramètres, cette technique est restée pendant longtemps un art réservé à quelques initiés.

Chapitre III

La machine utilisée

Généralités sur les presses

III-1) Introduction

Beaucoup de pièces métalliques, autrefois produites par forgeage ou par fonderie sont maintenant remplacées par des éléments en tôle, découpés puis emboutis, parfois soudés ou brasés, parfois coudés, pour constituer des produits légers et d'un moindre prix de revient, à égalité de résistance mécanique. D'autre part l'usinage est simplifié ou même supprimé.

Ces pièces façonnées dans le métal en feuilles, peuvent être réalisées par le chaudronnier avec les outils courants de sa profession dans le cas d'une production à l'unité ou à quelques exemplaires seulement, car c'est un mode de travail lent et coûteux, comme tout travail artisanal. Le travail en série est réalisé mécaniquement, l'exécution de pièces découpées et embouties exige :

- un métal d'œuvre (en feuille, en bande, ...)
- outillages appropriés et des machines comme le cas des presses.

III-2) les presses

III-2-1) définition

Nous entendons par presse, toute machine mue à la main ou par un moteur, dont l'objet est de découper, emboutir, estamper, graver, gaufrer, forger des métaux par la chute ou la pression d'un outil approprié.

Elles sont composées de deux parties essentielles à savoir :

- une partie fixe (bâti), qui porte la matrice
- une partie mobile (coulisseaux) : un mécanisme de travail qui anime un ou plusieurs coulisseaux de mouvements rectilignes alternatifs perpendiculaires à la table solidaire au bâti.

III-2-2) Classification des presses

Les presses peuvent être classées suivant plusieurs particularités ;

- Selon le mode de transmission d'énergie.
- Selon le nombre de coulisseaux.
- Selon la forme du bâti.

III-2-2-1) selon le mode de transmission d'énergie

On distingue deux types de presses :

- mécaniques
- hydrauliques

➤ Les presses mécaniques

Une presse mécanique est une machine qui utilise un mécanisme (commandé mécaniquement) pour faire fonctionner les outils à la vitesse appropriée, et leur donner l'énergie suffisante pour découper, percer, ...etc. Cette dernière est ensuite transmise au coulisseau en mouvement de translation par un volant et un mécanisme nécessaire.

Les presses mécaniques sont d'une plus grande rapidité de fonctionnement et généralement d'un prix moindre que celui des presses hydrauliques équivalentes, elles sont plus répandues car elles permettent d'atteindre des cadences élevées.



Figure III-1) presse mécanique

➤ Les presses hydrauliques

Ces structures sont comparables à celles des presses mécaniques, ce qui diffère c'est le mode d'action du coulisseau. Elles sont actionnées par la pression d'un liquide (huile) qui entraîne le coulisseau par l'intermédiaire d'un vérin.



Figure III-2) presse hydraulique

III-2-2-2) selon la forme du bâti

➤ presse à col de cygne

La forme de cette presse rend la table et le coulisseau très accessible et son inclinaison de 20° en arrière lui permet l'évacuation facile des pièces par gravité. Ce type de presse est employé pour tous les travaux de découpage, d'ajourage, de pliage et souvent pour des petites pièces et des grandes séries.

Elles peuvent supporter au maximum 2000 KN d'effort, sous charge le bâti se déforme élastiquement et provoque un déplacement angulaire des deux parties de l'outil, ce qui justifie l'utilisation des tirants (bretelles) pour permettre au bâti une plus grande rigidité, mais réduit l'accessibilité de la table.



Figure III-3) presse à Col de cygne

➤ Presse à arcade

Ces machines présentent une rigidité maximale parce qu'elles ont un bâti monobloc coulé ou parfois soudé, ce qui lui permet de supporter des efforts beaucoup plus importants, tout en assurant une plus grande précision dans le guidage des outils. Elles peuvent être simple ou à double effets.



Figure III-4) presse à arcade

➤ Presses à montants droits

Le bâti est du type «assemblé» c'est-à-dire que la table, les montants et le chapiteau sont reliés par quatre forts tirants en acier serrés à chaud (donc précontraints). Ces presses, très robustes, peuvent atteindre de très grandes dimensions. Elles peuvent développer une force jusqu'à 10 000 KN.

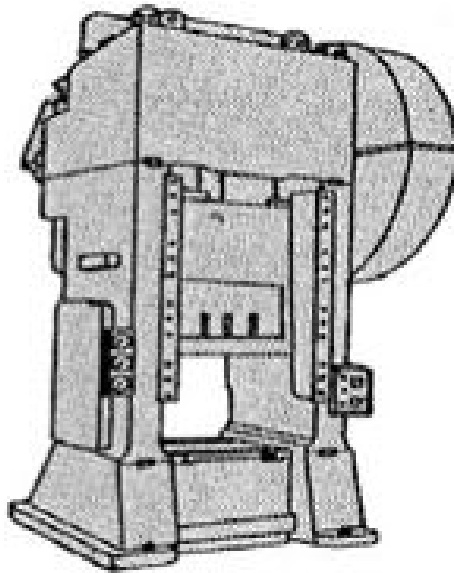


Figure III-5) presse à montant droit

➤ Presses à colonne

Ce type de machines est dit à coulisseau. L'entraînement du coulisseau est réalisé par quatre colonnes cylindriques liant la partie supérieure et la partie inférieure (table) et d'un coulisseau guidé par les colonnes.

On utilise généralement ces presses dans le poinçonnage à cadence élevée.



Figure III-6) Presse à colonne

➤ **Presse à table mobile et bigorne**

Elles sont équipées d'une table mobile et réglable en hauteur, ce qui autorise le montage d'outil très haut. La table est éolisable par simple rotation, ce qui permet l'utilisation de la bigorne. La bigorne permet d'effectuer des poinçonnages latéraux de gros emboutis.



Figure III-7) Presse à table mobile et bigorne

III-2-2-3) Selon le nombre de coulisseaux

➤ Presses simple effet

Ce type de presse comporte un seul coulisseau actionné par une ou plusieurs bielles. Elles sont spécifiquement destinées aux opérations de reprise, équipées d'un coussin inférieur logé sous la table qui est destiné à assurer l'effet du serre-flan.

➤ Presse à double effets

Cette presse possède deux coulisseaux l'un dans l'autre, chaque coulisseau est attaché à l'arbre excentrique avec deux jonctions.

Les courses des deux coulisseaux sont différentes et temporisées, le coulisseau extérieur porte le flan et le coulisseau intérieur termine l'opération.



Figure III-8) Presse à double effet

➤ **Presses à triple effet**

De conception similaire aux presses double effet, elles sont équipées d'un coulisseau inférieur qui possède sa propre cinématique.

Ce type de presse est souvent utilisé pour la réalisation des formes complexes.



Figure III-9) Presse à triple effet

III-2-3) Différents constituants d'une presse

Composée d'une partie mobile supérieure (poinçon) bridée sur le coulisseau et d'une partie inférieure fixe (matrice) bridée sur la table de la presse.

III-2-3-1) le poinçon

Le poinçon est un outil qui a pour fonction de laisser une empreinte sur un flan, le découper ou même de le percer. Il est nécessaire de vérifier les poinçons à la compression et au flambement pour déterminer leur longueur.

III-2-3-2) la matrice

Une matrice est l'empreinte en creux, réalisée dans un bloc de matière, qui représente la pièce à créer. La matrice est dépendante du poinçon, elle sert d'appui à la tôle, et elle réduit les déformations dues au cisailage.

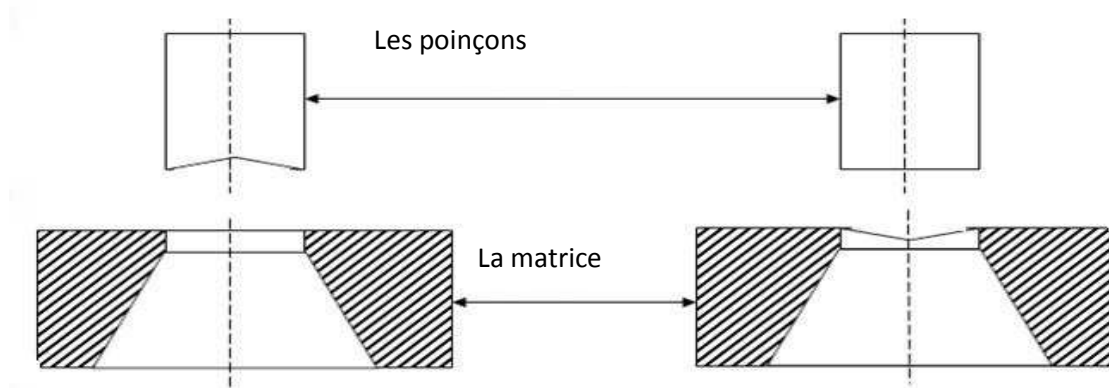


Figure III-10) Illustration poinçon et matrice

III-2-4) Affûtage

Après découpage de nombreuse pièces (de 50 à 200 000 pièces pour des outils en acier) les arêtes coupantes s'émousent, s'agrandissent.

Après démontage de l'outil, poinçon et matrice sont affûtés par rectification plane.

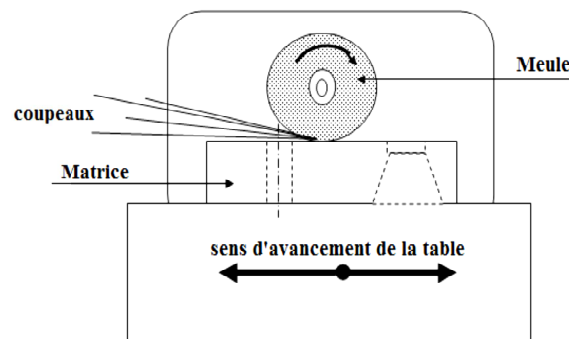


Figure III-11) Affûtage de la matrice

III-2-5) dépouille

➤ poinçon

Aucune dépouille sur le poinçon. Le poinçon a une section constante pour conserver exactement ses dimensions après affûtage.

➤ Matrice

Pour la même raison on serait tenté de donner également une section constante à la matrice, mais le poinçon ne devant pas pénétrer en matrice, la dernière pièce découpée pousse les précédentes. La dépouille a pour but de limiter le nombre des pièces empilées, donc de réduire l'effort de poussée.

Une partie à section constante, dite « cylindrique », sur 4 à 5 mm permet l'affutage la dépouille est de 5% soit environ 3°

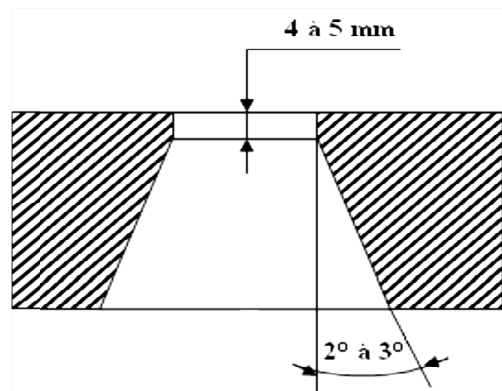


Figure III-12) Angle de dépouille de la matrice

III-3) Quelques types d'outils de presse

III-3-1) Outil découvert simple

L'outil découvert, dans sa simplicité, illustre bien le principe du découpage, mais il ne peut être employé dans les travaux de série du fait de la remontée de la bande de tôle avec le poinçon. En outre, cette bande n'est pas guidée sur la matrice et doit être déplacée à vue après chaque coup de presse. D'autre part le centrage du poinçon par rapport à la matrice, assuré par le seul coulisseau de la presse, est insuffisant.

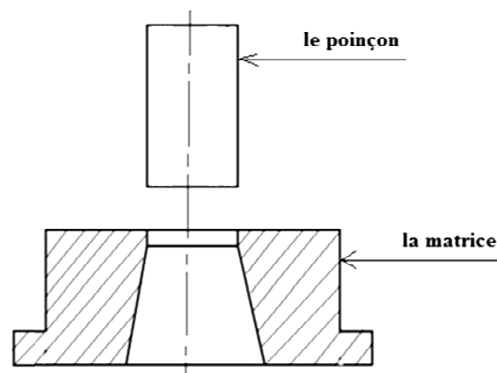


Figure III-13) outil simple découvert

III-3-2) Outil découvert à butées

Utilisé pour découpage de flans circulaire, deux butées sont placées, une butée assure le guidage de la bande, l'autre assure le contrôle de l'avance.

Le découpage des flans, tangents entre eux, sépare le déchet. L'adhérence du déchet sur le poinçon devient négligeable.

Cet outil ne peut se monter que sur une presse en bon état de fonctionnement (pas de jeu dans la glissière du coulisseau).

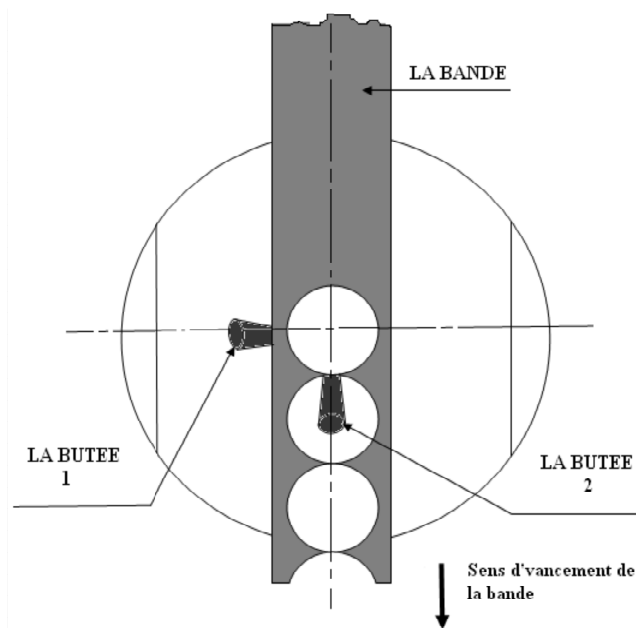


Figure III-14) Outil découvert à butée

III-3-3) Outil à contre-plaque

III-3-3-1) à presse-bande

Pour découper des tôles minces de quelques dixièmes de millimètre, il faut maintenir la bande pendant l'opération afin d'éviter toute déformation. Le guidage de l'ensemble poinçons-matrice impose des colonnes de guidage. Ces colonnes sont montées par deux ou par quatre selon les dimensions d'outil.

La machine utilisée

La mise en place des colonnes ne peut s'effectuer qu'après un usinage précis sur machine à pointer. Ceci explique le cout élevé de ces outillages, plus élevés encore si l'on utilise des colonnes à billes.

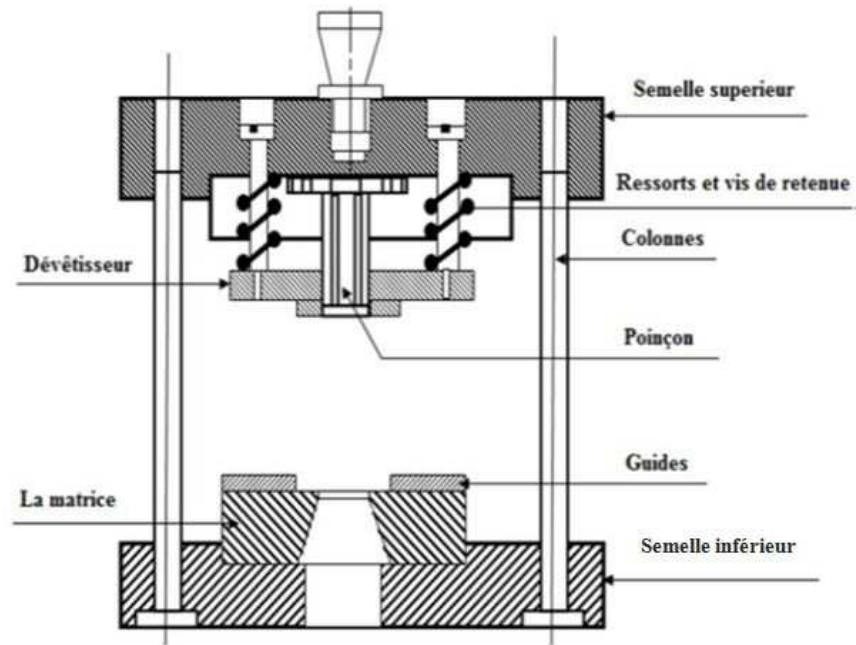


Figure III-15) Outil à presse-bande

III-3-3-2) à engrenage

Il est composé de deux semelles servant d'appuis pour la matrice et offre la possibilité d'extraction des déchets dans un plateau de presse non ajouré. Le guidage de la bande est assuré par deux éléments appelés « guide », ainsi le poinçon est guidé par une contre plaque pour lui assurer un bon centrage. La longueur de déplacement de la pièce (pas) est limitée par une butée « engrenage », ce genre d'outil n'est utilisé que pour le découpage de tôle d'épaisseur supérieure à 1 mm.

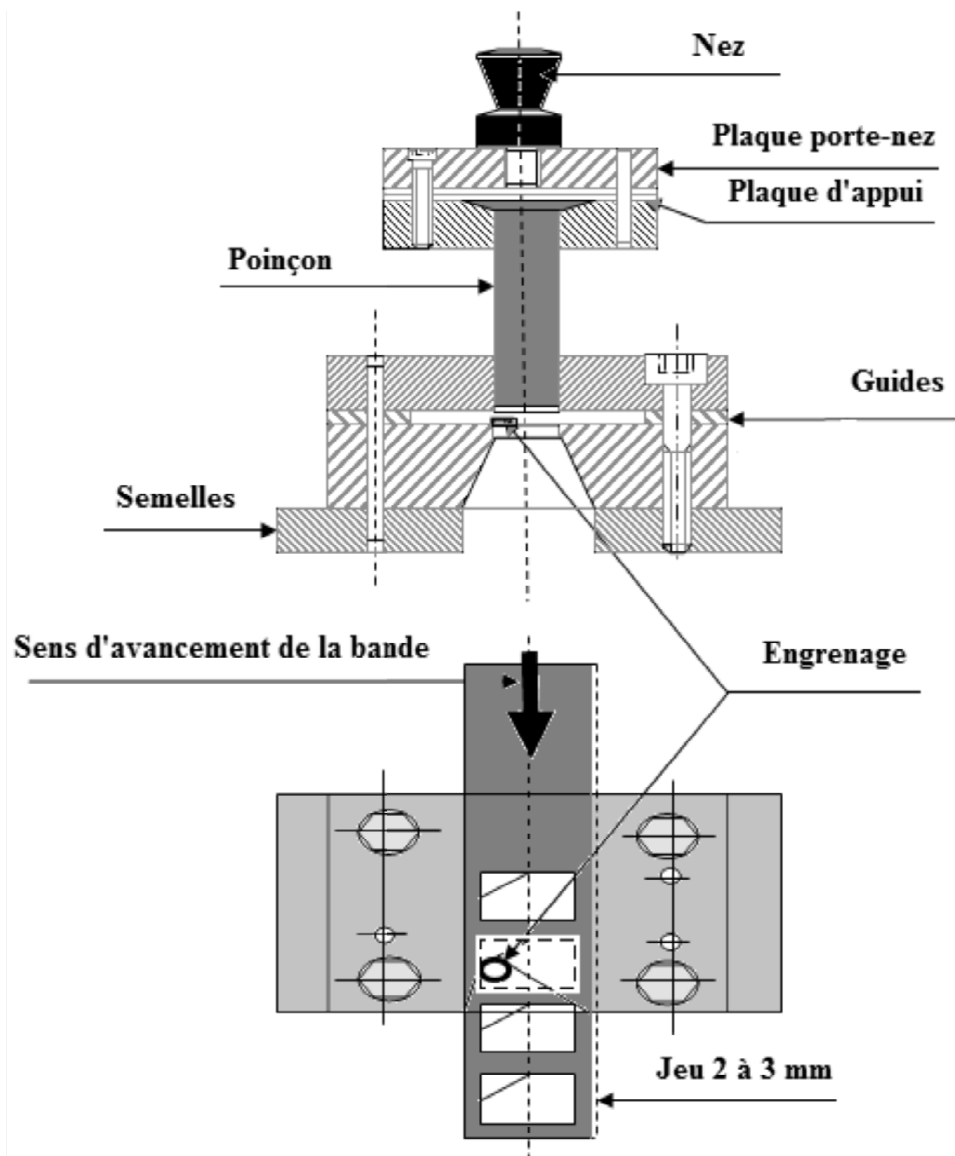


Figure III-16) Outil à contre plaque - engrenage

III-3-3-3) A suivre

Deux ou plusieurs poinçons sont montés sur cet outil. La presse travaille coup à coup et l'avance de la tôle est guidée par des butées de départ. Le trou est poinçonné d'abord puis le découpage rectangulaire se fait après l'avance de la pièce d'un pas avec un autre poinçon.

III-3-3-4) A couteau

La machine utilisée

C'est un outil à suivre, sa conception est identique à celle des outils précédents, sauf en ce qui concerne le contrôle de l'avance

- L'engrenage est supprimé ; il est remplacé par un poinçon latéral, le couteau
- La longueur de couteau est égale au pas.
- La largeur de coup est d'environ 3 mm (à prévoir lors de la mise en bande).
- Le couteau ne travaillant que d'un côté (effet de chasse), l'emploi de cet outil est limité aux tôles d'épaisseur inférieure à 2 mm

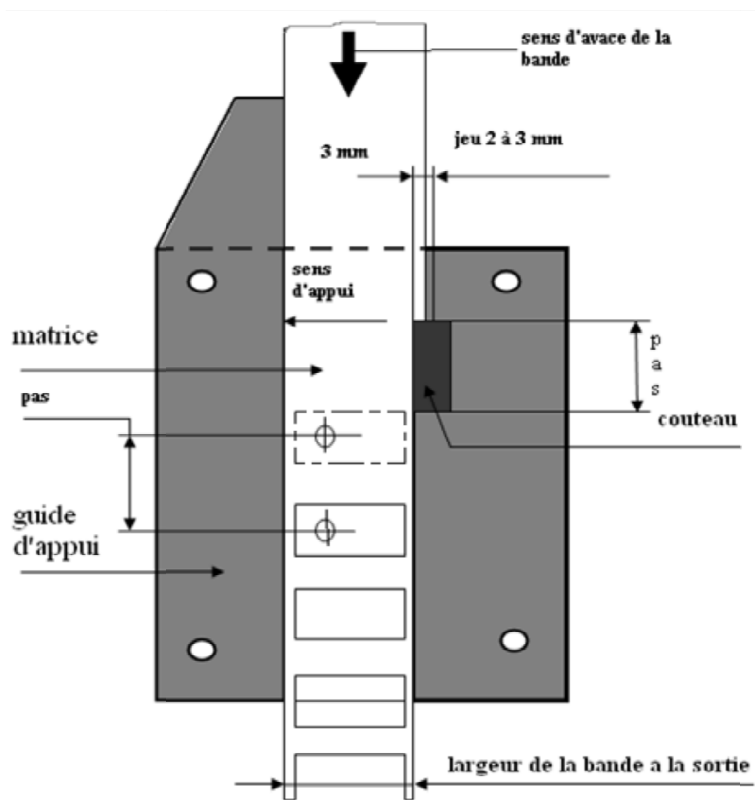


Figure III-17) Outil à contre plaque -couteau

III-3-4) outil suisse

La précision des pièces obtenues sur les outils précédemment décrits dépend du système de contrôle d'avance, puisque le transfert d'un poste au suivant altère la précision, on a cherché à le supprimer. Cette suppression du transfert est réalisée sur outil suisse, appelé aussi outil bloc, qui découpe et poinçonne la pièce en un seul coup de presse.

La machine utilisée

L'outil suisse est un outil à presse-bande mais inversé, le poinçon à la partie inférieure, la matrice à la partie supérieure. De plus on trouve à l'intérieur de la matrice des poinçons d'ajourage et dans le poinçon de détournage, les matrices correspondantes.

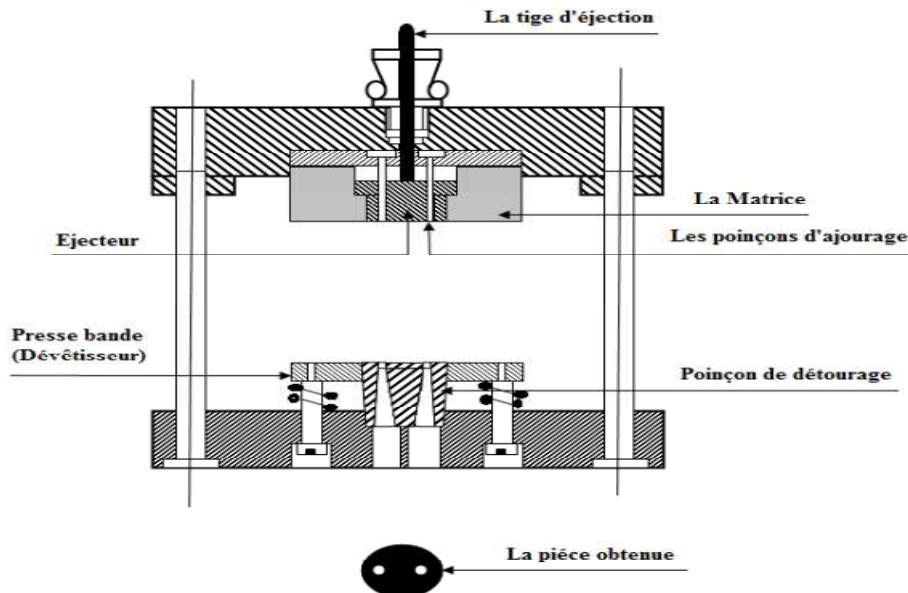


Figure III-18) outil suisse

III-3-5) Outil à pilotage

C'est un outil à presse-bande, la presse effectue l'aménage automatique de la bande (rouleaux ou princes) ; des pilotes assurent le contrôle de l'avance (engrenage et couteau insuffisamment précis sont exclus). Au premier poste sont poinçonnés un ou deux trous cylindriques qui n'intéressent pas la pièce définitive et assure le bon fonctionnement de la bande avant que la presse-bande le fixe, pendant la remontée des poinçons, le système d'aménage propre à la presse avance la bande d'une longueur égale au pas.

La matrice de l'outil est un ensemble de plusieurs pièces appelées « pavés » ces pavés sont assemblés sans jeu dans une boîte entièrement rectifiée.

III-3-6) Outil de reprise

On distingue deux types :

- Outil de poinçonnage à contre-plaque
- Outil à serre flan

➤ Outil de poinçonnage à contre- plaque

Utilisé pour poinçonner des flans déjà découpés, le flan est mis en position dans un « drageoir ». Cet outil convient pour les flans dont l'épaisseur est supérieure à 1 mm.

➤ Outil de poinçonnage à serre flan

Même utilisation que pour l'outil précédent, cet outil convient pour flans de faible épaisseur (généralement inférieure à 1 mm).

Les colonnes de guidage sont indispensables pour assurer le centrage des poinçons par rapport à la matrice



Figure III-19) Outil de reprise

III-3-7) Outil de détournage

Utilisé généralement pour la finition des pièces embouties (enlèvement des bords irréguliers). Il est indispensable de détourner pour obtenir une collerette régulière ou un bord franc.

On distingue différents types d'outils de détournage :

III-3-7-1) Outil de détournage normal

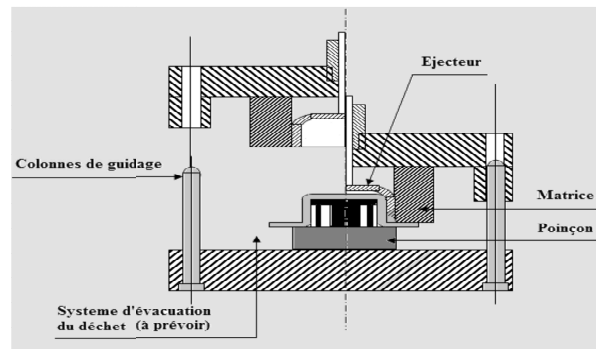


Figure III-20) Outil de détournage normal

Le centreur est toujours rapporté afin de permettre l'affutage du poinçon, après démontage, par rectification plane. L'éjecteur doit sortir la pièce de la matrice en exerçant l'effort d'éjection dans la zone où la pièce résiste à l'évacuation, d'où la forme tubulaire de l'éjecteur.

III-3-7-2) Outil de détournage à ras

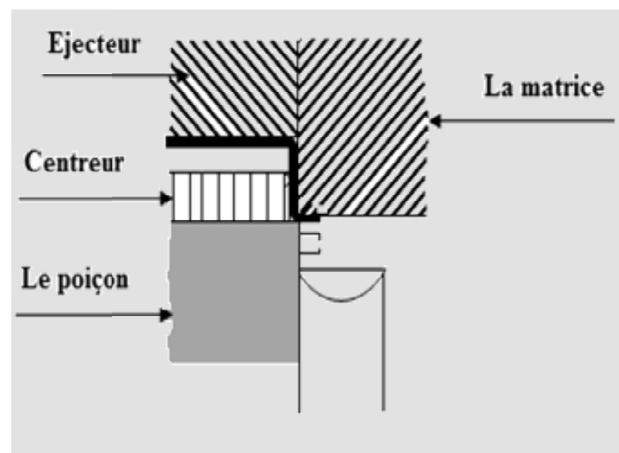


Figure III-21) Outil de détournage à ras

Il est nécessaire d'effectuer une passe de calibrage avant détournage pour obtenir un rayon minimal à l'endroit du coup.

III-3-7-3) Outil de détournage-poinçonnage

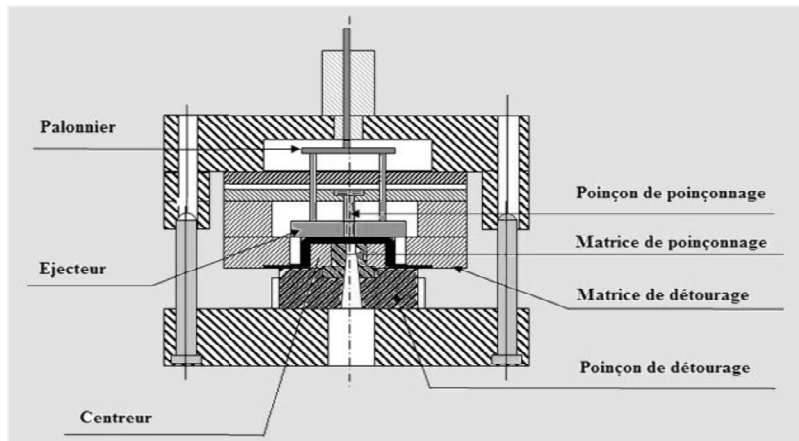


Figure III-22) outil de dévissage poinçonnage

Le palonnier est nécessaire lorsqu'un poinçon est dans l'axe de la tige d'éjection.

III-3-8) Outil de coupe à longueur

Ces outils sont utilisés pour poinçonner et simplement couper à longueur du feuillard de faibles largeurs, de la barre étirée ou de la barre laminée.

On distingue différents types d'outils :

III-3-8-1) outil de coupe à longueur sans perte

Cet outil convient pour pièces à extrémités droites

III-3-8-2) outil de coupe à longueur avec perte

Cet outil convient pour pièces à extrémités arrondies

III-3-9) outil à cames

Les cames ont pour but de transformer le mouvement vertical du coulisseau en mouvement horizontal, oblique ou vertical en sens contraire. Elles sont utilisées dans les outils de poinçonnage ou de cambrage lorsque plusieurs opérations sont simultanées.

On l'emploie aussi dans les outils combinés à suivre pour cambrer ou poinçonner les pièces liées à la bande.

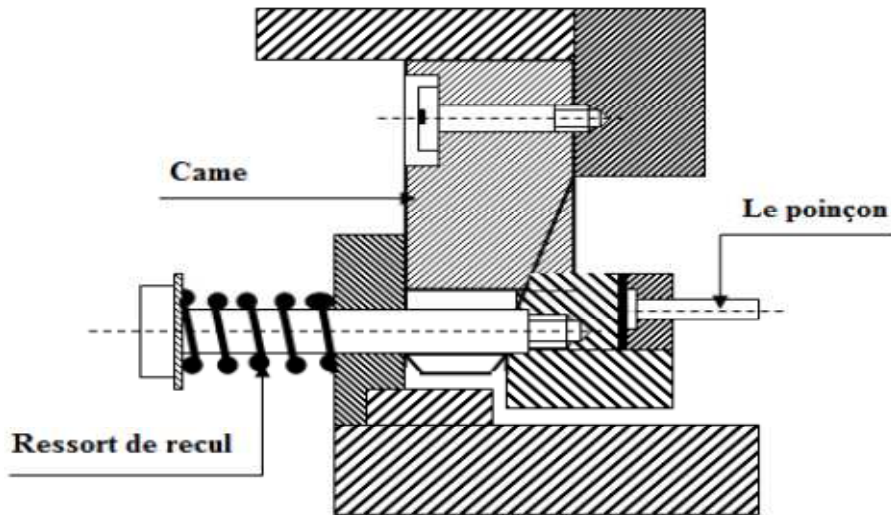


Figure III-23) Outil à came

III-3-10) Outils de cambrage

III-3-10-1) Outil de cambrage en vé

Le principe de l'outillage de presse plieuse est valable pour cambrer en vé de petites pièces. L'outil se compose d'une matrice, d'un poinçon et de deux drageoirs permettant la mise en position du flan. Le poinçon forme la pièce contre la matrice, afin de limiter le glissement du flan sur le poinçon, le cambrage de la matrice est plus petit que la pièce à réaliser. Après cambrage, l'élasticité du métal tend à ouvrir l'angle « α » des pièces, il sera donc nécessaire de compenser ce retour élastique par une diminution de l'angle de l'outil.

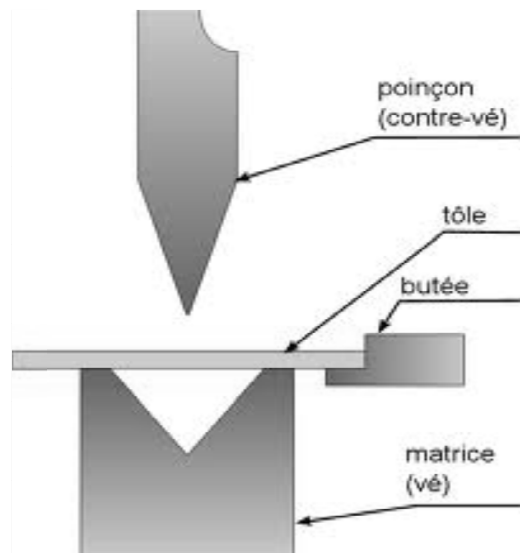


Figure III-24) Outil de cambrage en vé

III-3-10-2) Outil de cambrage en « u »

C'est le même principe avec l'outil précédent, ce qui change c'est la forme de la matrice et du poinçon. Cet outil relève simultanément les deux ailes de U et il travaille symétriquement.

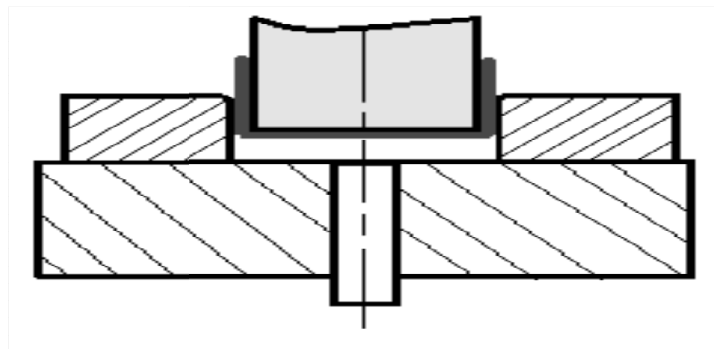


Figure III-25) Outil à cambrage en U

III-3-10-3) Outil de cambrage en équerre

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

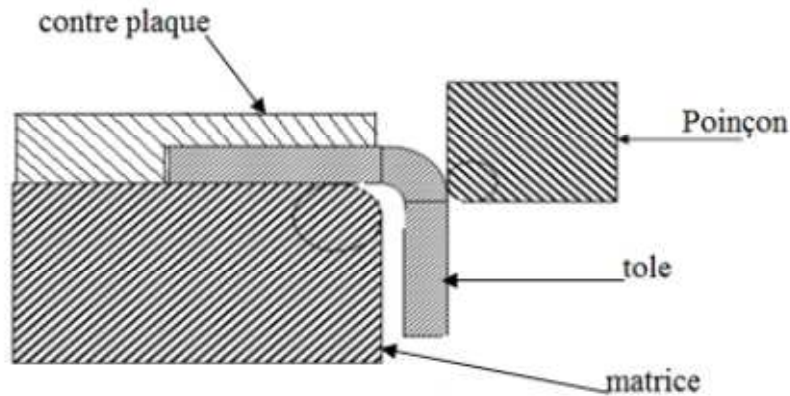


Figure III-26) Outil de cambrage en équerre

III-3-11) outils d'emboutissage

L'outil d'emboutissage nous permet de former des corps creux par déformation plastique des métaux en feuille.

III-3-11-1) Outil d'emboutissage sans serre flan

Le plus simple se compose d'un poinçon et d'une matrice, il est également appelé outil d'emboutissage par passe à travers. Le poinçon entraîne la pièce formée à travers la matrice. Au cours de l'opération les parois de l'embouti augmentent légèrement l'épaisseur de la sortie de la matrice. A la remontée du coulisseau de la presse, la pièce est décrochée du poinçon par la face inférieure de la matrice.

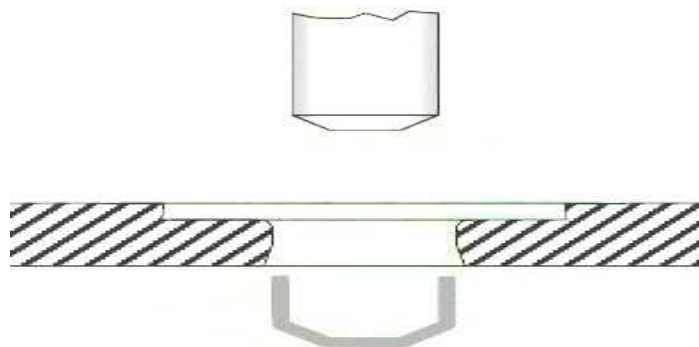


Figure III-27) Outil d'emboutissage sans serre flan

III-3-11-2) Outil d'emboutissage avec sert flan

Il existe deux genres d'outils à serre flan, suivant qu'il est destiné à une presse simple effet ou à une presse à double effets.

- **Outil monté sur presse à double effets**

Dans les presses à double effets, le coulisseau extérieur porte le serre-flan qui maintient la tôle pendant que le poinçon fixé au coulisseau intérieur déforme le métal.

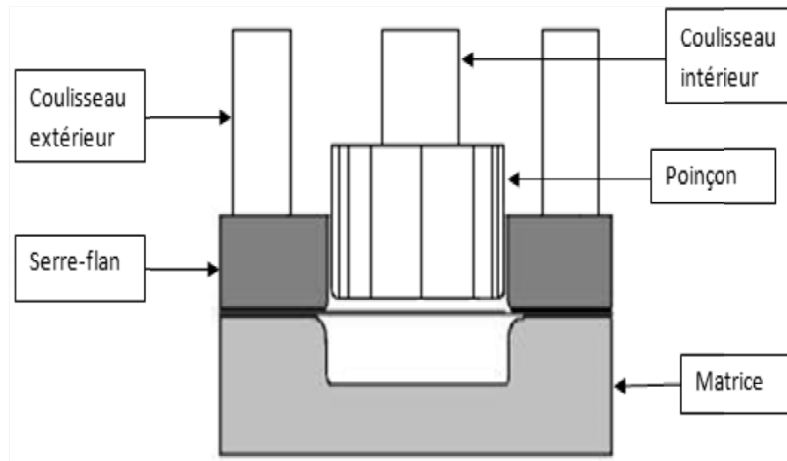


Figure III-28) Outil à serre-flan monté sur presse à double effets

- **Outil monté sur presse à simple effet**

Cet outil se compose simplement d'une matrice, d'un poinçon et d'un serre-flan qui est actionné le plus souvent par des ressorts situés sous le plateau de la presse. En conséquence, l'outil est inversé au précédent ; le poinçon et le serre-flan constituent la partie inférieure de l'outil tant dis que la matrice occupe la partie supérieure.

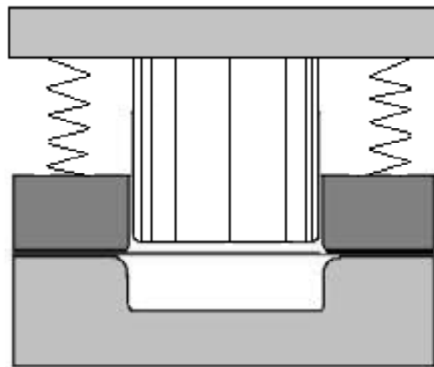


Figure III-29) Outil à serre-flan monté sur presse à simple effet

III-4) La machine utilisée [8]

Notre outil sera monté sur une presse mécanique à Col de cygne et à bâti inclinable, la presse comprend un système de commande excentrique (presse à excentrique). La figure (III-31) donne les éléments de la presse utilisée, ces presses sont particulièrement recherchées pour le découpage et l'estampage d'articles de ménage, de pièces de quincaillerie de jouets, de boîtes métalliques ; on s'en sert également pour des opérations de cambrage, d'ajourage, d'ébarbage, et d'emboutissage.

Le bâti peut être incliné aisément pour permettre la chute des objets derrière la presse par leur propre poids, cela évite aux ouvriers de se servir des mains pour enlever les pièces, l'inclinaison de la presse s'obtient au moyen d'une vis sans fin calée sur les pieds, et d'un écrou mobile fixé sur le bâti. La vis est elle-même commandée par un volant à main.

La presse est à cours variable et munie d'un arbre vilebrequin. L'embrayage se fait à pédale et la presse est munie en dehors de l'embrayage automatique ordinaire, d'un dispositif de sûreté qui empêche qu'un deuxième coup se produise inopinément.



Figure III-30) la machine utilisée

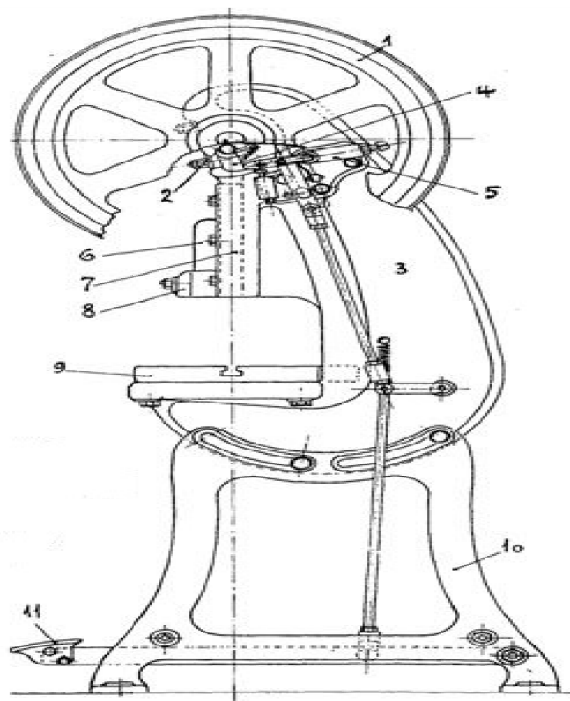


Figure III-31) Les éléments de la machine utilisée

- | | |
|-----------------------------------|------------------------|
| 1. volant | 7. Glissière |
| 2. arbre vilebrequin | 8. Coin de montage |
| 3. bâti | 9. Table |
| 4. clavette d'embrayage | 10. Pied |
| 5. verrou amortisseur de sécurité | 11. Pédale d'embrayage |
| 6. coulisseau | |

III-4-1) caractéristique principales de la presse [1]

Pression à exercer25t
Profondeur de col de cygne.....200 mm
Dimension de la table : largeur x profondeur.....560x400 mm
Passage dans la table : diamètre à épaulement.....180 /160 mm

La machine utilisée

Base du coulisseau : largeur x profondeur.....	355x220 mm
Trou dans le coulisseau : diamètre x profondeur.....	32/80 mm
Distance entre plateau mobile et coulisseau.....	175 mm
Distance entre table et coulisseau.....	250 mm
Cours variable.....	de 8-80 mm
Réglage du coulisseau.....	50 mm
Epaisseur du plateau mobile.....	75 mm
Diamètre de Passage dans le plateau mobile.....	90 mm
Passage entre les montants du bâti.....	200 mm
Distance entre table et guide du coulisseau.....	385 mm
Nombre de coups par minute.....	100
Puissance du moteur, environ.....	4 kW
Nombre des tours /minute du moteur.....	750 t /min
Poids approximatif avec plateau mobile.....	1800 kg

III-4-2) Description et service de la machine [1]

III-4-2-1) Commande de la presse

La presse est prévue pour la commande directe électrique. La transmission de la puissance sur le volant moteur s'effectue par une courroie siegling. L'embrayage de la machine s'effectue par embrayage à friction. Il s'agit d'un embrayage de sûreté qui, à la descente du coulisseau, peut être arrêté instantanément en toute position voulue, tandis que la remontée du coulisseau s'effectue sans interruption.

III-4-2-2) Moteur de commande

Le démarrage et l'arrêt du moteur de commande s'effectue par les boutons-poussoirs correspondants sur l'armoire. Le sens de rotation est indiqué par une flèche sur le volant.

III-4-2-3) Boite à cames

Une boite à cames entraînée par l'arbre à excentrique est prévue pour la commande de la presse et pour la commande des dispositifs d'automatisation.

Remarque : on ne peut entreprendre aucune modification les jeux de cames servant à la commande de la presse, les autre jeux de cames sont à disposition et peuvent être réglés.

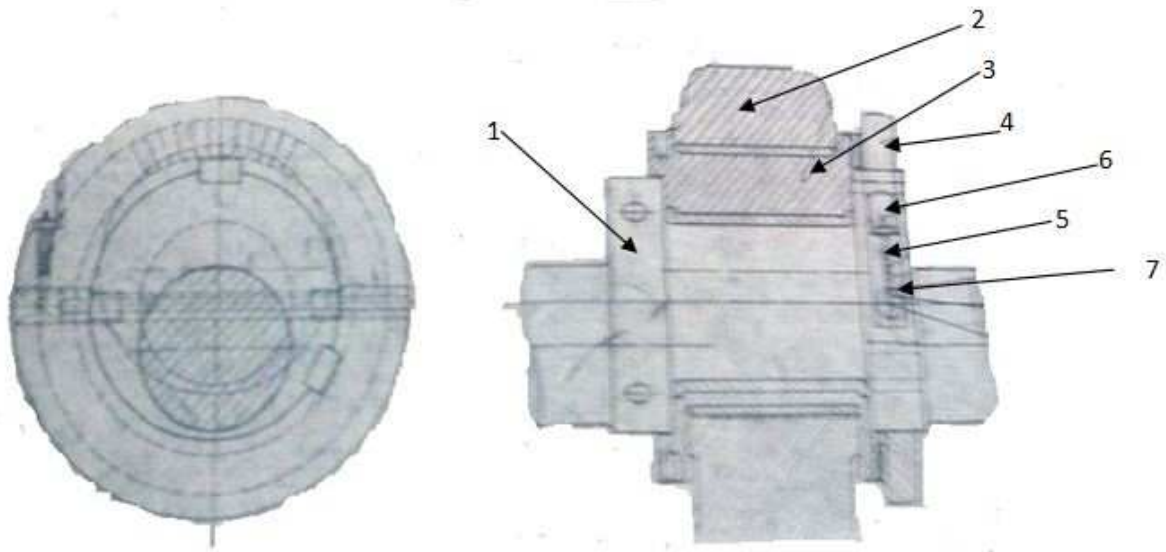


Figure III-32) Système excentrique de la machine

- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1. Arbre vilebrequin | 6. Extrémité de la goupille de sureté |
| 2. Bielle | 7. Goupille de sureté |
| 3. Douille à excentrique | |
| 4. Bague à griffes | |
| 5. Ressort | |

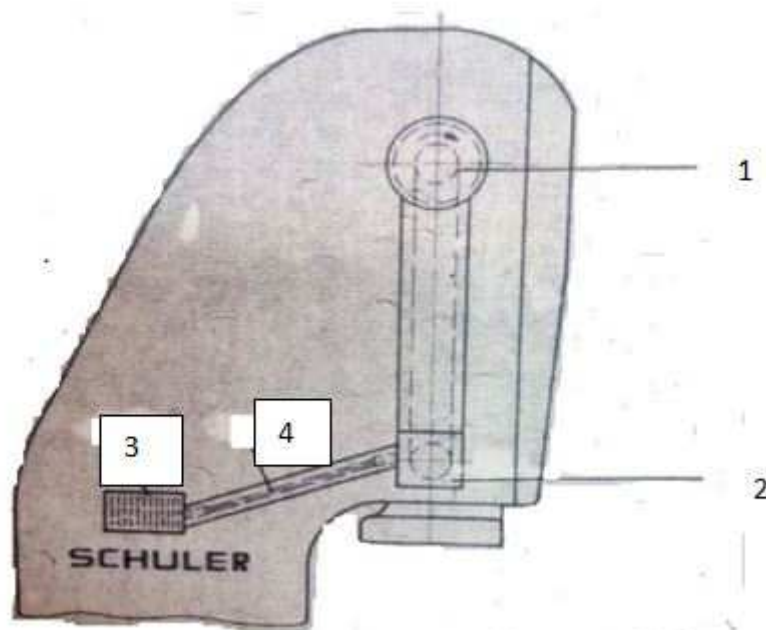


Figure III-33) Entraînement de la boîte à cames

- | | |
|-------------------------------|------------------|
| 1. Courroie à dents | 3. Boite à cames |
| 2. Engrenage à roues coniques | 4. arbre |

III-4-2-4) Commande de l'embrayage et de frein

La commande de l'arrivée d'air comprimé s'effectue par une valve électromagnétique à 3 voies montée dans la conduite d'air devant l'embrayage et le cylindre du frein. Lors de l'embrayage de la presse, la bobine de l'électrovalve est mise sous tension et l'air pour l'embrayage et le frein se trouve libéré, ce qui provoque l'ouverture du frein et la mise en action de l'embrayage. Lors du débrayage, l'air comprimé de l'embrayage et du cylindre de frein s'échappe par l'électrovalve à l'air libre, provoquant le débrayage de l'accouplement et la mise en action du frein par le ressort.

La pression d'air nécessaire pour l'embrayage et le frein 5,5 atmosphères, est réglée au manodétendeur. Le Mano-contacteur monté sur le réservoir à air coupe le courant de l'électrovalve lorsque la pression d'air dans le réservoir s'abaisse au dessous de 4.0 atmosphère. L'embrayage se dégage et le frein entre en action par les ressorts et arrête la machine instantanément. La machine ne peut être embrayée à nouveau que lorsque la pression d'air est remontée à nouveau à 4.5 atmosphères.

Pour le fonctionnement irréprochable de l'électrovalve, un air comprimé parfaitement épuré est absolument nécessaire. L'air comprimé doit être amené à la machine à l'état déjà purifié. Entre le réservoir d'air et l'électrovalve, on a prévu un pulvérisateur d'huile. L'air nettoyé par le filtre est mélangé avec de l'huile au moyen du pulvérisateur de l'huile et graisse simultanément lors de son passage dans les vannes de commande et les cylindres de commande, de l'embrayage et du frein

➤ mode de fonctionnement

Lors de l'embrayage, l'air comprimé (pression de service 5.5at) parvient à la membrane par l'intermédiaire d'une vanne de commande et d'un raccord d'air à travers des canaux d'air comprimé et presse le disque contre les patins de frottement et les plateaux de pression, ce qui établit une liaison mécanique et l'arbre est entraîné par la roue de l'embrayage. Le disque se trouve sous l'effet opposé des ressorts précontraints de l'embrayage

Lors de débrayage, l'air comprimé agissant sur la membrane s'échappe à l'extérieur par la vanne de commande et les ressorts de l'embrayage ramènent le disque dans sa position initiale.

III-4-2-5) frein à mâchoire avec cylindre de frein

Deux freins à mâchoires articulés avec le boulon entourent la roue du frein. La mâchoire est reliée au boulon de suspension de façon articulée au bâti de la machine. D'autre part, l'éclisse établit la liaison entre les mâchoires et le cylindre de frein boulonné sur le bâti de la machine. La roue du frein est solidaire de l'arbre.

➤ mode de fonctionnement

En position de repos, le frein est fermé, les ressorts de pression tirent les deux mâchoires de freinage contre la roue du frein et maintiennent cette dernière par l'intermédiaire des ressorts Belleville, des écrous à six pans, de la tige de piston et de l'éclisse. Le frein est ouvert simultanément à la manœuvre d'embrayage. Dans ce cas, de l'air comprimé est amené au cylindre du frein par intermédiaire d'une vanne de commande (pression de service 5,5 at.) qui compresse les ressorts de pression et ouvre les mâchoires du frein. Le mouvement d'ouverture des mâchoires du frein est assisté par le ressort de pression et simultanément limité par la vis de limitation de course. L'arbre supportant la roue du frein peut alors tourner librement.

Remarque : La presse possédant un frein supplémentaire contre des accidents.

➤ contrôle automatique de la course de freinage

Le contrôle automatique de la course de freinage agit à chaque mise hors circuit au point mort haut en marche coup par coup, tend à ce qu'il bloque la commande en cas de dépassement de la course de freinage admissible. Une fois que cela se produise il faut régler le frein. La rupture de frein peut entraîner, en effet, la chute brutale du coulisseau et par la suite la rupture du bâti ou d'organes de la presse.

Remarque : l'expérience montre que, le réglage de l'embrayage et du frein étant mis à part, il arrive extrêmement rarement qu'on ait à effectuer un réglage par suite de l'usure de l'une des pièces de la presse.

III-4-2-6) guidage de coulisseau de la machine

Le guidage du coulisseau comporte à droite une glissière trapézoïdale réglable, dont le réglage correct a été effectué à l'usine avant expédition. Pour permettre un rattrapage de jeu, il y a lieu de desserrer d'environ un demi-tour les vis de fixation de la glissière de droite et de faire tourner l'écrou dans le sens de l'aiguille d'une montre, jusqu'à ce que le coulisseau se déplace avec un jeu convenable (d'environ 0.02 à 0.03 mm). Après avoir effectué ce réglage, il faut resserrer à nouveau les vis de fixation et vérifier encore une fois le jeu nécessaire.

III-4-2-7) Sécurité contre les surcharges dans le coulisseau

Une plaque de cisaillement avec une bague de cisaillement sont installées dans le coulisseau pour protéger la presse contre les surcharges. En cas de surcharge de la presse la plaque de cisaillement est cisailée. Le cisailage de la plaque de cisaillement est parfaitement audible. Après destruction de la plaque de cisaillement le coulisseau ne peut plus exercer de pression sur la pièce. La presse doit cependant être tout de suite arrêtée pour éviter des coups pernicieux en remontée du coulisseau contre le couvercle à billes.

Remarque : un dispositif de déblocage du coulisseau prévu pour desserrer le coulisseau grippé est logé dans la roue d'embrayage.

III-4-2-8) Montage d'outil sur la presse

Pour la fixation de l'outil, le coulisseau comporte un trou devant recevoir le nez du poinçon. Pour permettre le montage d'outils d'une certaine hauteur, le chapeau de retenue est amovible. La vis de fixation prévue empêche un déplacement du nez de poinçon. Le chapeau de retenue doit toujours être bloqué avant le serrage de la vis de fixation.

Avant le montage ou le changement des outils, il faut arrêter le moteur et le combinateur-sélecteur dans le coffret de commande de l'armoire de distribution et doit être placé sur position « pédale coup par coup », le commutateur principal sur l'armoire devant se trouver sur position « marche avant ». On effectue alors l'embrayage par le contacteur à pédale et on fait tourner lentement le volant à l'aide de la clé à douille, en procédant simultanément au réglage précis de l'outil. Après un nouveau déplacement du coulisseau, on vérifie le réglage correct de l'outil.

Pour permettre à tous les organes de se roder, il est recommandé pour le début de ne travailler qu'avec des outils qui ne nécessitent qu'environ la moitié de la pression maximum admise.

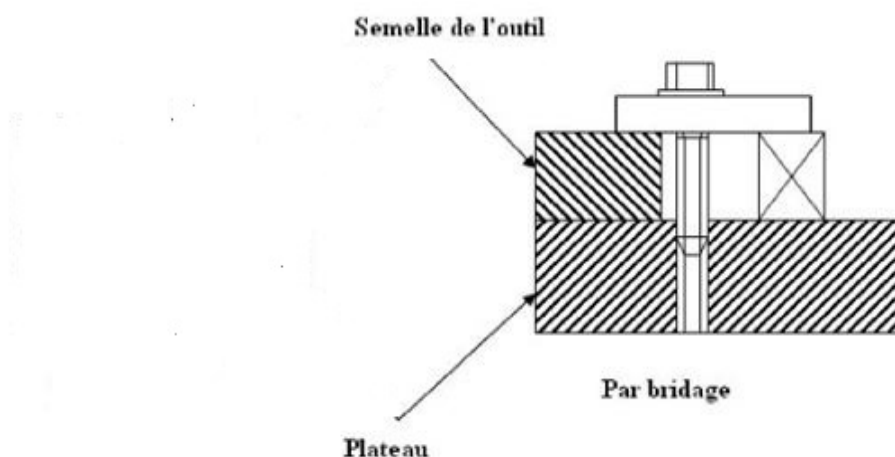


Figure III-34) Système de fixation de la semelle sur le plateau

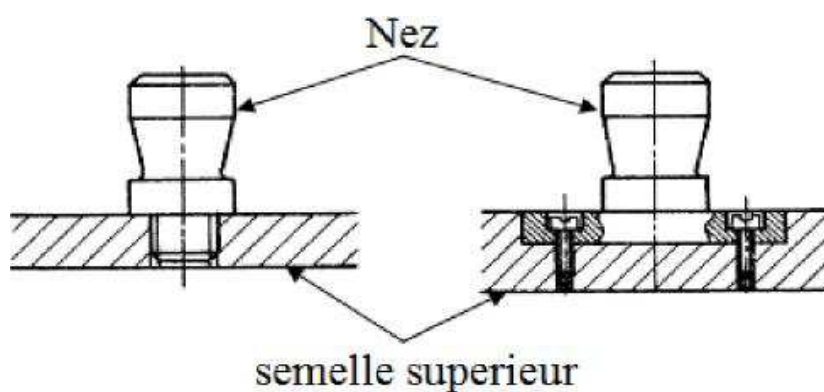


Figure III-35) Système de fixation de la partie supérieure de outil

III-4-2-9) Protection

Tous les éléments mobiles sont protégés sous carters. Les carters ne doivent pas être retirés pendant le fonctionnement de la presse. Grâce au dispositif de sécurité à l'arrêt, à la commande électrique à deux mains et au contacteur à pédale mobile qui sont reliés au collecteur de sélection, toute la prescription de sécurité est parfaitement remplie.

III-4-2-10) Les perturbations et leur remèdes

- Le contrôleur du couple de freinage ne réagit pas

Cause	Remède
Fermeté des segments de freinage	Monter de nouveaux segments
Disque de freinage encrassé de l'huile ou de graisse	Dégraisser le disque et monter de nouveaux segments

La machine utilisée

Contrôleur de couple de freinage mal réglé	Faire vérifier par un spécialiste compétent
--------------------------------------------	---------------------------------------------

- **Le frein ne réagi pas**

Cause	Remède
Pression d'air trop basse	Régler la pression d'air sur 6 bars environ

- **Le disque de frein s'échauffe**

Cause	remède
Came à commande mal réglée	Décaler le pt de commutation du frein plus près du PMH. Contacter le fabricant machine

III-4-2-11) Conclusion

La fabrication des presses à connu une grande progression, il existe actuellement des presses automatique et semi automatique où le risque d'accident est extrêmement faible, ces presses permettent de rendre le travail en quelque sorte indépendant de la main d'œuvre, mais leur coût est excessivement cher.

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu global sur les différentes presses utilisées dans l'industrie ainsi que les différents outils qui existent et donc essentiellement de la machine utilisée dans le cas de notre projet. L'utilisation de ce type de machines qui est destinée pour les travaux de série est souvent la solution la plus économique.

Chapitre IV

Étude et conception de l'outil

IV-1) Introduction

Il existe une grande variété des presses utilisées pour l'obtention des pièces de diverses formes, le choix de ces presses dépend de l'opération à effectuer et de l'effort fourni. Comme on doit prendre en compte tous les paramètres nécessaires pour produire dans les meilleurs délais, et à moindre coût. Dans notre travail l'effort total que doit fournir la presse est égale à l'effort de découpage de deux poinçons et d'une lame de coupe plus l'effort de dévêtissage.

IV-2) cahier des charges

Dans notre travail la pièce à réaliser est une « plaque d'appuis » dont les caractéristiques sont présentées au dessin de définition de la pièce (voir annexe). Le cahier des charges fourni par l'entreprise E.I est présenté ci-après [1]

IV-2-1) caractéristiques de la tôle fine galvanisée au feu

IV-2-1-1) composition chimique du matériau (Selon la norme **DIN 59 232-ST05Z275MA** Édition août 1975)

- **Compositions chimiques en %**

C	SI	Mn	P	S	AL
≤0.06	≤0.50	≤0.70	0.08	0.025	≥0.020

IV-2-1-2) caractéristiques mécaniques du matériau

$R_{p0.2}(N/mm^2)$	$R_m(N/mm^2)$	A80 (%)
≤ 280	270-380	30

IV-2-1-3) caractéristiques du revêtement

Après transformation, des pièces recevront une couche de couverture (galvanisation).

Dénomination EN 10292	Le poids de revêtement deux faces (g/m ²)	Épaisseurs de revêtement (μm par face)
Z275	275	20

IV-2-2) description des deux pièces :

Les deux pièces que nous avons à produire sont des « plaques d'appuis » pour un bloc à borne pour circuit principal d'un moteur électrique.

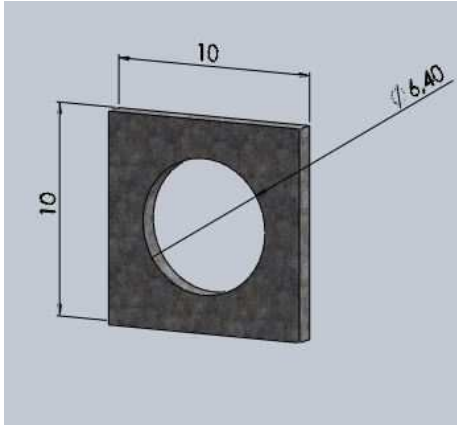


Figure IV-1) pièce 1 à réaliser (10x10)

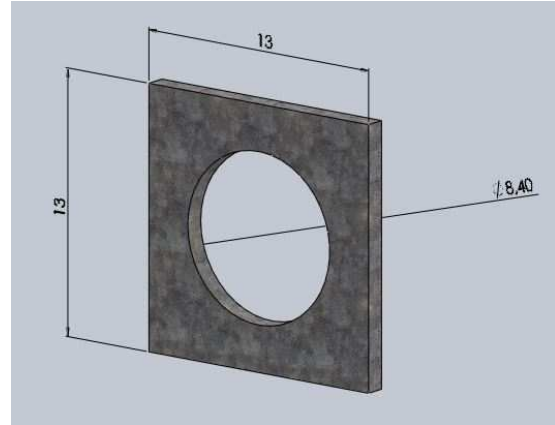


Figure IV-2) pièce 2 à réaliser (13x13)

IV-2-3) emplacement de la pièce

La figure ci-dessous illustre l'emplacement de la pièce sur le bloc à borne pour circuit principal d'un moteur électrique.

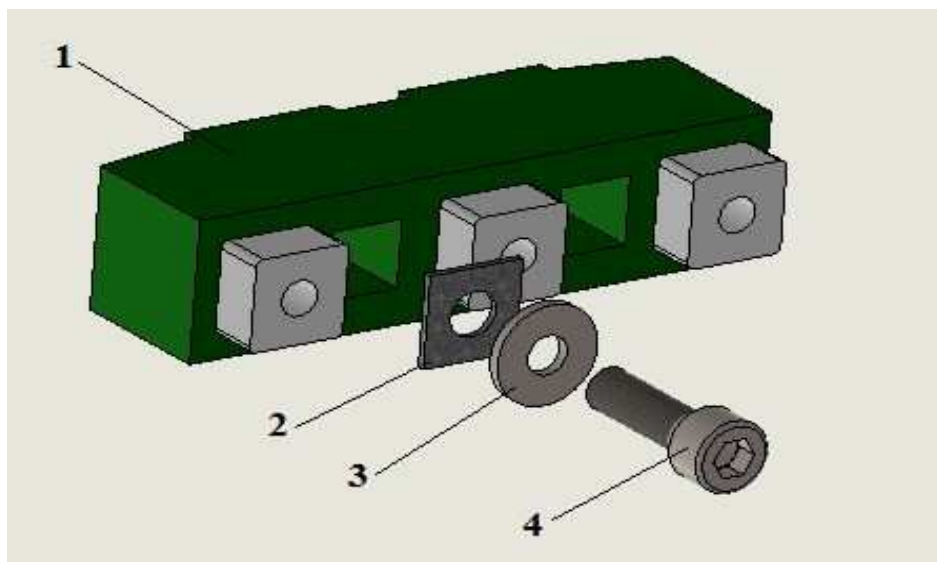


Figure IV-3) emplacement de la pièce réalisée

Avec :

1 : bloc à borne pour circuit principal

3 : rondelle de freinage

2 : plaque intercalaire (pièce à réaliser)

4 : vis de fixation

IV-2-4) Le travail demandé

➤ Le but

Le contact de la rondelle de freinage avec la surface de bloc à borne pour circuit principal provoque certaines détériorations au niveau de ce dernier, pour éviter ces détériorations il est nécessaire de mettre une plaque d'appui entre la surface de bloc à borne et la rondelle de freinage, qui à le rôle de sécurité.

Le travail qui nous a été confié est l'étude, conception, simulation et la réalisation d'un outil de découpage des plaques d'appui.

IV-3) processus de fabrication de la pièce

Le processus de fabrication de cette plaque d'appui passe par 4 étapes.

1^{re} étape : découper sous forme des bandes



Figure IV-4) découper sous forme d'une bande

2^{eme} étape : découpage de pas.

L'opération de découpage de pas consiste à limiter l'avance de la bande, pour pouvoir effectuer une autre opération.



Figure IV-5) découpage du pas

h : étant la largeur de brut, (en mm).

3eme étapes : l'opération de perçage, qui est composé de 2 opérations :

1^{er} opération : Consiste à faire le premier perçage au centre de la plaque d'appui.

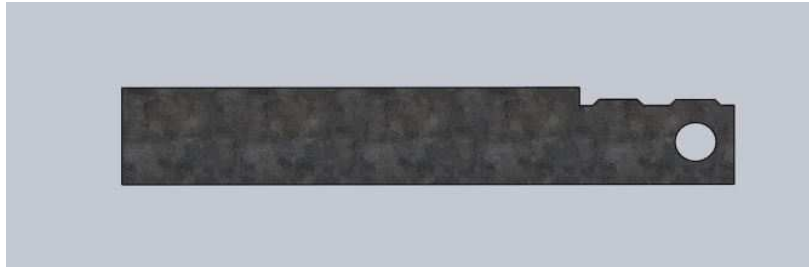


Figure IV-6) réalisation du 1^{er} perçage

2^{ème} opération : consiste à faire le deuxième perçage au centre de la plaque d'appui.

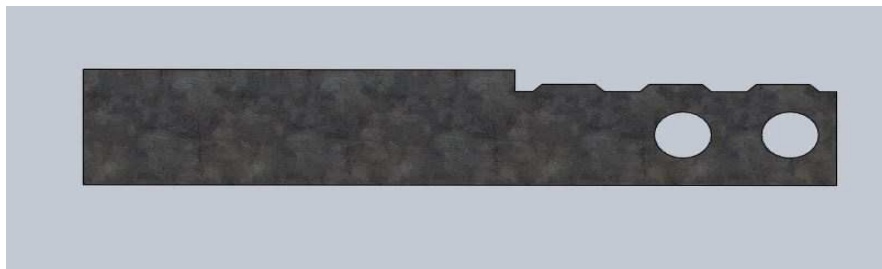


Figure IV-7) réalisation du 2^{ème} perçage

4^{ème} étapes : l'opération de détournage

L'opération consiste à détourner le flanc avec un poinçon de détournage, qui donnera une forme finale à la pièce.

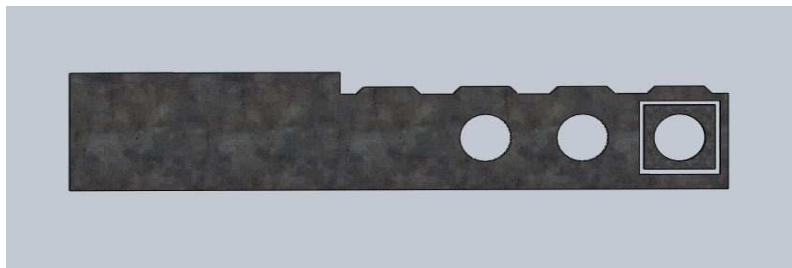


Figure IV-8) Opération de détournage

IV-4) calculs des flancs théoriques

Dans le cas de mise en bande simple, les pièces sont disposées comme montré sur la figure IV-4.

Dans le cas du découpage de métal de faible épaisseur, Il est prudent de conserver une certaine tenue au déchet. La largeur de ce dernier est de 2 mm au minimum.

$$d \geq 2 \text{ mm}$$

Étude et conception de l'outil

Le travail qui nous a été confié est l'étude, conception, simulation et la réalisation d'un outil de découpage des plaques d'appuis.

IV-3) calculs des flans théoriques

Dans le cas de mise en bande simple, les pièces sont disposées comme sur la figure IV-4.

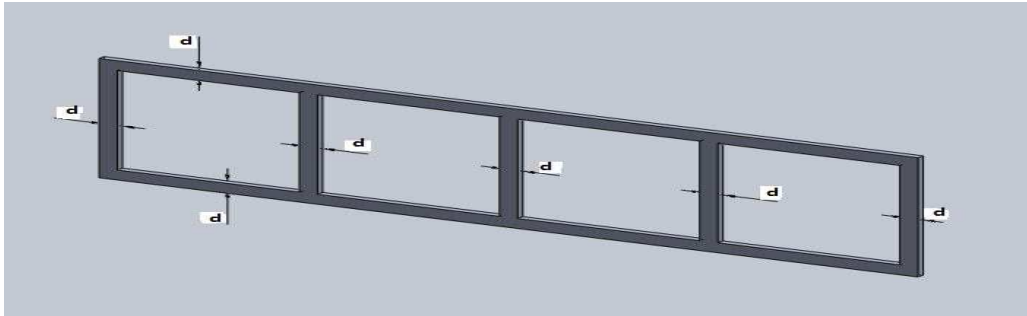


Figure IV-9) mise en bande simple

Dans le cas de découpage de métal faible épaisseur. Il est prudent de conserver une certaine tenue au déchet. La largeur de ce dernier est de 2 mm au minimum.

$$d \geq 2 \text{ mm}$$

IV-3-1) calcule la largeur de flan

$$L \geq L_{\text{(plaque)}} + 2 * (2 * e) \dots\dots\dots (IV.1)[2]$$

Avec :

L : largeur de flan (en mm).

$L_{\text{(plaque)}}$: largeur de la plaque d'appuis (en mm).

e : épaisseur de la tôle (e = 1 mm).

Application Numériques :

➤ Pièce 1

$$L = 10 + 2 * (2 * 1) = 14 \text{ mm}$$

$$L = 14 \text{ mm}$$

➤ Pièce 2

$$L = 13 + 2 * (2 * 1) = 17 \text{ mm}$$

$$L = 17 \text{ mm}$$

IV-3-2): calcul la largeur de brute

$$h = L + 2$$

..... (IV.2) [6]

Application Numérique :

➤ Pièce 1

$$h = 14 + 2 = 16 \text{ mm}$$

$$h = 16 \text{ mm}$$

➤ Pièce 2

$$h = 17 + 2 = 19 \text{ mm}$$

$$h = 19 \text{ mm}$$

IV-4) calcul des efforts

IV-4-1) calcul des efforts de coupe

Les efforts de coupe se calculent, selon la loi suivante :

$$F = P * e * Rc$$

..... (IV.3) [4]

Avec :

F : effort de coupe, (en N) ;

P : le périmètre de coupe, (en mm) ;

Rc : la résistance au cisaillement de la bande de tôle, (en Mpa) ;

e : épaisseur de la bande de tôle, (e = 1 mm).

➤ Calcule la résistance au cisaillement Rc

$$Rc = 0.5 Rm$$

..... (IV.4)[3]

Étude et conception de l'outil

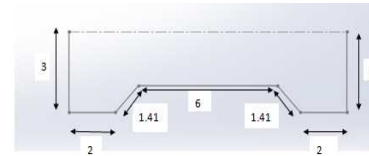
P_1 : étant le périmètre de la ligne de coupe, (en mm).

Application Numériques :

- La pièce 1(10 x10)

$$P_1 = 3 + 2 + 1.4 + 6 + 1.4 + 2 + 3 = 18.8 \text{ mm}$$

$$P_1 = 18.8 \text{ mm}$$



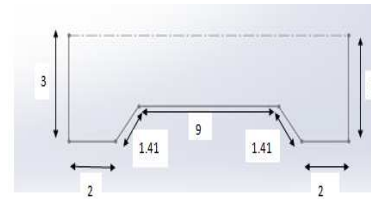
$$F_1 = 18.8 * 1 * 190 = 3572 \text{ N}$$

$$F_1 = 3\,572 \text{ N}$$

- La pièce 2 (13x13)

$$P_1 = 3 + 2 + 1.41 + 9 + 1.41 + 2 + 3 = 21.82 \text{ mm}$$

$$P_1 = 21.82 \text{ mm}$$



$$F_1 = 21.82 * 1 * 190 = 4145.8 \text{ N}$$

$$F_1 = 4\,145.8 \text{ N}$$

IV-5-1-2) calcul de l'effort du poinçon de perçage F_2

$$F_2 = P_2 * e * R_c$$

P_2 : étant le périmètre de perçage, (en mm).

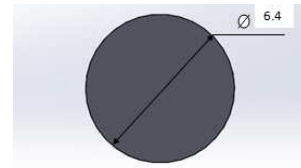
$$P_2 = 2 * \pi * R \dots\dots\dots(IV.5)$$

Application Numérique :

- Pièce 1 (10x10)

$$P_2 = 2 * 3.14 * 3.2 = 20.096 \text{ mm}$$

$$P_2 = 20.096 \text{ mm}$$

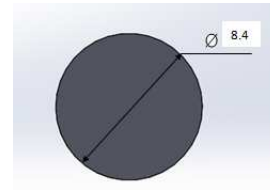


$$F_2 = 20.096 * 1 * 190 = 3818.34 \text{ N}$$

$$F_2 = 3\,818.34 \text{ N}$$

➤ Pièce 2 (13x13)

$$P_2 = 26.376 \text{ mm}$$



$$F_2 = 26.376 * 1 * 190 = 5011.44 \text{ N}$$

$$F_2 = 5\,011.44 \text{ N}$$

IV-5-1-3) calcul de l'effort du poinçon de détournage F_3

$$F_3 = P_3 * e * Rc$$

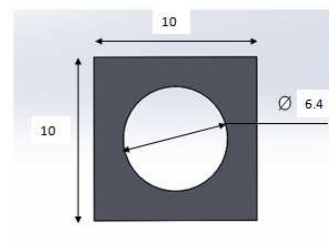
P_3 : étant le périmètre du poinçon de détournage, (en mm).

Application Numérique :

➤ Pièce 1 (10 x 10)

$$P_3 = (10 + 10) * 2 = 40 \text{ mm}$$

$$P_3 = 40 \text{ mm}$$



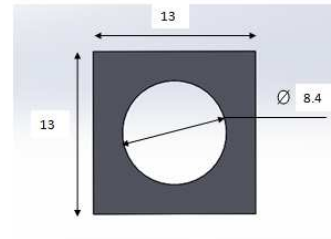
$$F_3 = 40 * 1 * 190 = 7600 \text{ N}$$

$$F_3 = 7\,600 \text{ N}$$

➤ Pièce 2 (13x13)

$$P_3 = (13 + 13) * 2 = 52 \text{ mm}$$

$$P_3 = 52 \text{ mm}$$



$$F_3 = 52 * 1 * 190 = 9880 \text{ N}$$

$$F_3 = 9880 \text{ N}$$

IV-5-2) calcul de l'effort total de coupe

L'effort total de coupe F_t nécessaire pour le découpage de la pièce est égal à la somme des efforts de chaque poinçon.

$$F_t = F_1 + F_2 + F_3 \dots\dots\dots(IV.6)$$

Application Numérique :

➤ Pièce 1 (10x10)

$$F_t = 3572 + 3818.34 + 7600 = 14990.34 \text{ N}$$

$$F_t = 14990.34 \text{ N}$$

➤ Pièce 2 (13x13)

$$F_t = 4145.8 + 5011.44 + 9880 = 19037.24 \text{ N}$$

$$F_t = 19037.24 \text{ N}$$

VI-5-3) calcul de l'effort de dévêtissage ($F_{\text{dév}}$)

C'est l'effort nécessaire pour dégager les poinçons de la bande après découpage ou poinçonnage, quand la chute est faible l'effort de dévêtissage est égal, en général à 2.5% de l'effort total (F_t)

$$F_{\text{dév}} = 0.025 * F_t \quad \dots\dots\dots(\text{IV.7}) [5]$$

Application Numérique :

- Pièce 1 (10x10)

$$F_{\text{dév}} = 0.025 * 14990.34 = 374.75 \text{ N}$$

$$F_{\text{dév}} = 374.75 \text{ N}$$

- Pièce 2 (13x13)

$$F_{\text{dév}} = 0.025 * 19037.24 = 475.93 \text{ N}$$

$$F_{\text{dév}} = 475.93 \text{ N}$$

IV-5-4) Calcul de l'effort que doit fournir la presse F_P

La force produite provient de la presse à utiliser, elle doit produire un effort supérieur à la somme des efforts de l'outil plus l'effort de dévêtissage, nous avons présenté dans le chapitre précédant (chapitre III) la presse utilisée, c'est une presse mécanique à col de cygne qui produit un effort (F_P) égal à 245 200 N.

$$F_P \geq F_t + F_{\text{dév}} \quad \dots\dots\dots(\text{IV.8})$$

Avec :

F_P : effort de la presse, ($F_P = 245\,200 \text{ N}$) ;

F_t : effort total de découpage-poinçonnage (en N).

$F_{\text{dév}}$: effort de dévêtissage, (en N).

Application Numérique :

- Pièce 1 (10x10)

$$F_P \geq 14990.34 + 374.75 = 15365.09 \text{ N}$$

$$F_P \geq 15\,365.09 \text{ N}$$

- Pièce 2(13x13)

$$F_P \geq 19037.24 + 475.93 = 19512.17 \text{ N}$$

$$F_P \geq 19\,512.17 \text{ N}$$

La condition est vérifiée.

IV-5-5) Choix du ressort

Le choix de ressort est une opération très importante, la raideur des ressorts doit assurer le dévêtissage qui consiste à plaquer la bande contre la matrice pour éviter la remontée de la bande lors du retour des poinçons, pour des raisons d'équilibre on utilise 4 ressorts.

$$\boxed{F_{\text{ressort}} = \frac{F_{\text{dév}}}{4}} \dots\dots\dots (IV.9) [2]$$

Avec :

F_{ressort} : la force d'un seul ressort, (en N) ;

$F_{\text{dév}}$: la force d'extraction des poinçons, (en N) ;

N : le nombre de ressorts (N= 4 ressorts).

Application Numérique :

➤ Outil (1)

$$F_{\text{ressort1}} = 374.75 / 4 = 93.68 \text{ N}$$

$$\boxed{F_{\text{ressort1}} = 93.68 \text{ N}}$$

➤ Outil (2)

$$F_{\text{ressort2}} = 475.93 / 4 = 118.98 \text{ N}$$

$$\boxed{F_{\text{ressort2}} = 118.98 \text{ N}}$$

Dans le cas de notre travail, on utilise deux types de ressorts.

IV-5-5-1) calcul la raideur (K)

On a:

$$F_{\text{ressort}} = K * X \Rightarrow K = \frac{F_{\text{ressort}}}{X} \dots\dots\dots (IV.9)[2]$$

Avec :

F_{ressort} : effort du ressort, (en N)

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

X : déplacement du ressort, (X = 13 mm).

Application Numérique :

$$K_1 = \frac{93.68}{13} = 7.20 \text{ N/mm}$$

$$K_1 = 7.20 \text{ N/mm}$$

$$K_2 = \frac{118.98}{13} = 9.15 \text{ N/mm}$$

$$K_2 = 9.15 \text{ N/mm}$$

D'après les valeurs de K on peut trouver le ressort désiré, sur internet nous avons trouvé une entreprise qui fabrique toutes sortes de ressorts, cette entreprise est appelée VANEL. [9]

L'entreprise VANEL a décidé de vendre des ressorts par l'intermédiaire d'un site internet, ce site aide les clients à trouver le ressort correspondant exactement à ses besoins.

IV-5-5-2) ressort de l'outil (1)

Ressorts > Ressorts compression > Recherche simple Délais de livraison indicatifs. Voir mentions légales ci-jointes

100 000 articles !

Commandes en ligne

0.00 EUR

Données techniques

- Ressorts compression
- Boudes allemandes
- Boudes anglaises
- Ressorts de torsion
- Ressorts coniques

Référence : Unité :

Le signe % remplace n'importe quelle partie de référence.

Matière ☐ Meulage Poids [g] Env.

☐ Corde à piano ☒ Inox ☐ Chrome Silicium ☒ Acier galvanisé

Raideur [N/mm] Env.

L. libre [mm]

Diam. ext. [mm] Env.

Diam. int. [mm] Env.

Diam. fil. [mm] Env.

Figure IV-10) commande de ressort (1) sur site VANEL

Étude et conception de l'outil

La recherche donne le tableau suivant :

Nbre de spires	9.6
Référence	C.200.250.0500.I
Diam. fil. [mm]	2.5
Diam. ext. [mm]	20
L. libre [mm]	50
Raideur [daN/mm]	0.84303
Matière	Inox
Meulage	Oui
Closed ends	Oui
Diam. int. [mm]	15
Lc À bloc [mm]	25.25
Poids [g]	20.560791
Alésage [mm]	20.5
Arbre [mm]	14.625
Pas [mm]	5.94
Code tarif	4K
Flambage sous longueur [mm]	aucun risque
longueur autorisée	28.54

Tableau IV-1) dimension du ressort (1)

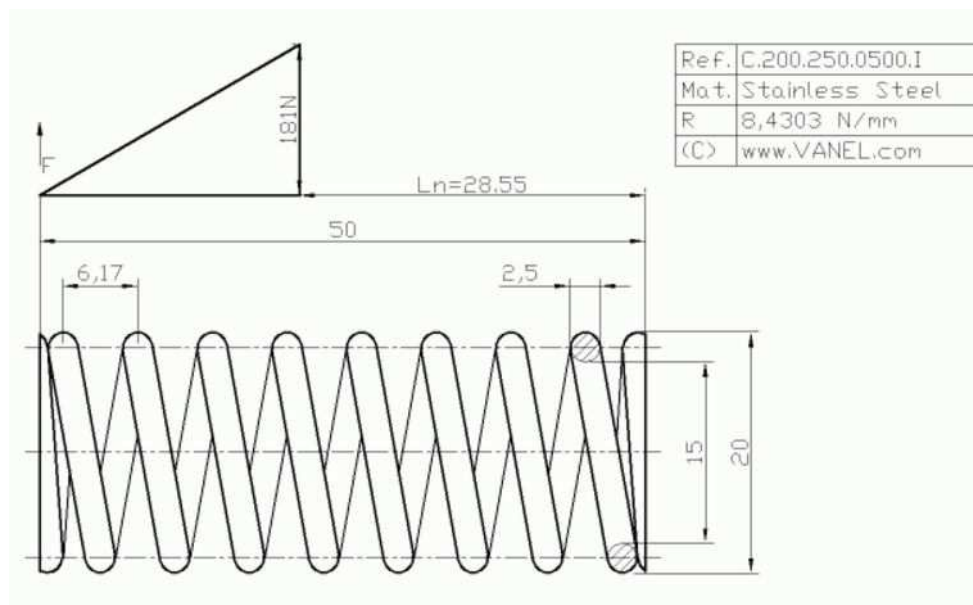


Figure IV-11) ressort de l'outil (1)

IV-5-5-3) ressort de l'outil (2)

On suit les mêmes procédures

Étude et conception de l'outil

Ressorts > Ressorts compression > Recherche simple Délais de livraison indicatifs. Voir [mentions légales](#) ci-jointes

Référence : Unité :

Le signe % remplace n'importe quelle partie de référence.

Matière ☐ Meulage Poids [g]
Env.

☐ Corde à piano
☒ Inox
☐ Chrome Silicium
☒ Acier galvanisé

Raideur [N/mm]
 Env.

L. libre [mm]

Diam. ext. [mm]
 Env.

Diam. int. [mm]
 Env.

Diam. fil. [mm]
 Env.

Référence

100 000 articles !
Commandes en ligne

Données techniques

Figure IV-12) commande le ressort (2) sur site VANEL

La recherche donne le tableau suivant :

Nbre de spires	9.7
Référence	C.200.250.0500.NF
Diam. fil. [mm]	2.5
Diam. ext. [mm]	20
L. libre [mm]	50
Raideur [daN/mm]	0.969
Matière	Acier galvanisé
Meulage	Oui
Closed ends	Oui
Diam. int. [mm]	15
Lc À bloc [mm]	25.5
Poids [g]	20.641307
Alésage [mm]	20.5
Arbre [mm]	14.625
Pas [mm]	5.87
Code tarif	4K
Flambage sous longueur [mm]	aucun risque
longueur autorisée	28.83

Tableau IV-2) dimensions de ressort (2)

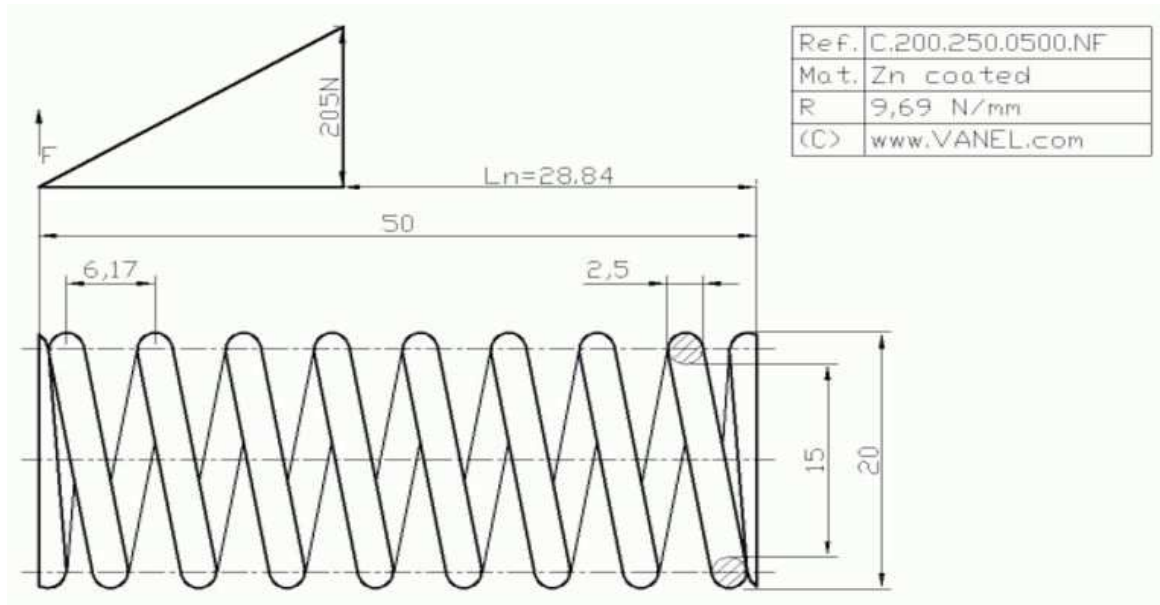


Figure IV-13) ressort de l'outil (2)

IV-5-6) calcul du barycentre des deux outils

Pour centrer les poinçons sur la matrice, il faut choisir une position adéquate de l'outil sur la presse. Il est impératif de connaître le centre de tous les efforts qui doit coïncider avec l'axe vertical du coulisseau.

IV-5-6-1) l'outil de la pièce 1 (10x10)

Soit (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , (X_3, Y_3) respectivement les coordonnées des centres d'inertie des poinçons sur l'axe (O, x, y) :

G1 : centre d'inertie du poinçon de pas ;

G2 : centre d'inertie du poinçon de perçage ;

G3 : centre d'inertie du poinçon de détournage.

Le centre d'inertie des efforts de découpage s'écrit comme suite :

$$\mathbf{X}_G = \sum_{i=1}^3 F_i * X_i / \sum_{i=1}^3 F_i \quad \dots\dots\dots(\text{IV.11}) \quad [4]$$

$$\mathbf{Y}_G = \sum_{i=1}^3 F_i * Y_i / \sum_{i=1}^3 F_i \quad \dots\dots\dots(\text{IV.12}) \quad [4]$$

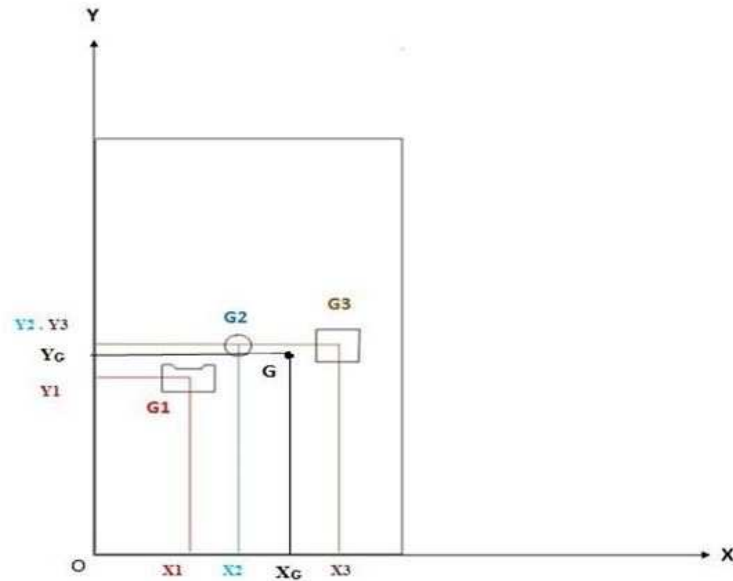


Figure VI-14) position adéquate de l'outil(1) sur la presse (centre inertie)

Gi	Xi (mm)	Yi (mm)	Fi (N)	Fi* Xi (N*mm)	Fi*Yi (N*mm)
G1	26	80	3572	92 872	285 760
G2	38	90	3818	145 096	343 650
G3	62	90	7600	471 200	68 4000
			$\sum_{i=1}^3 F_i =$ 14 990	$\sum_{i=1}^3 F_i * X_i =$ 709 168	$\sum_{i=1}^3 F_i * Y_i =$ 1 313 410

Tableau IV-4) centre d'inertie des efforts de découpage de l'outil (1)

Application Numérique :

$$X_G = \frac{709168}{14990} = 47.3 \text{ mm}$$

$$X_G = 47.3 \text{ mm}$$

$$Y_G = \frac{1313410}{14990} = 87.61 \text{ mm}$$

$$Y_G = 87.61 \text{ mm}$$

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

$X_G = 35.14$ mm et $Y_G = 87.61$ mm par rapport à (O, x, y).

IV-5-6-2) Outil de la pièce 2 (13x13)

Soit $(X', Y'1)$, $(X'2, Y'2)$, $(X'3, Y'3)$ respectivement les coordonnées des centres d'inerties des poinçons sur l'axe (O, x', y')

G'1 : centre d'inertie de poinçon de pas ;

G'2 : centre d'inertie de poinçon de perçage ;

G'3 : centre d'inertie de poinçon de détournage.

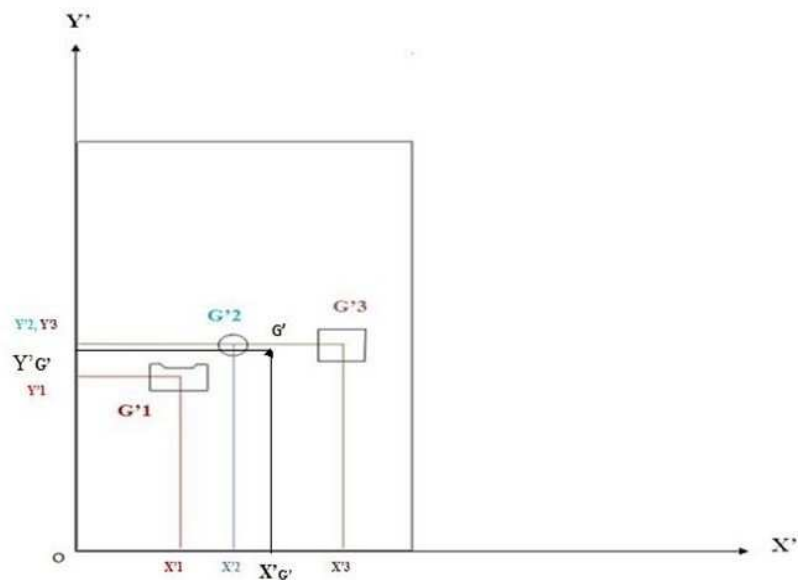


Figure VI-15) position adéquate de l'outil(2) sur la presse (centre d'inertie)

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

$$X'_{G'} = \frac{\sum_{i=1}^3 F_i * X'_i}{\sum_{i=1}^3 F_i}$$

$$Y'_{G'} = \frac{\sum_{i=1}^3 F_i * Y'_i}{\sum_{i=1}^3 F_i}$$

Tableau IV-5) centre d'inertie des efforts de découpage de l'outil (2)

G'i	X'i (mm)	Y'i (mm)	Fi (N)	Fi*X'i (N*mm)	Fi* Y'i (N*mm)
G'1	27.5	78.5	4 145.8	114 009.5	325 445.3
G'2	42.5	90	5 011.44	212 986.2	451 029.6
G'3	72.5	90	9 880	71 6300	889 200
			$\sum_{i=1}^3 F_i =$ 19 037.24	$\sum_{i=1}^3 F_i * X'_i =$ 1 043 295.7	$\sum_{i=1}^3 F_i * Y'_i =$ 1 665 674.9

Application Numérique :

$$X'_{G'} = \frac{1043295.7}{19037.24} = 54.8 \text{ mm}$$

$X'_{G'} = 54.8 \text{ mm}$

$$Y'_{G'} = \frac{1665674.9}{19037.24} = 87.49 \text{ mm}$$

$Y'_{G'} = 87.49 \text{ mm}$

IV-5-7) calcul de la résistance des poinçons à la compression

La condition de la résistance à la compression est donnée par :

$\sigma_{\text{comp}} \leq R_e$

(IV.13)

Les matériaux utilisés pour la fabrication des poinçons (pas, perçage, détournage) est XC200C12, la résistance élastique de ce matériau est égale à 750 Mpa

$\sigma_{\text{comp}} = F/S$

(IV.14) [3]

Avec :

F : effort de découpage, (en N) ;

S : section de poinçon, (en mm²).

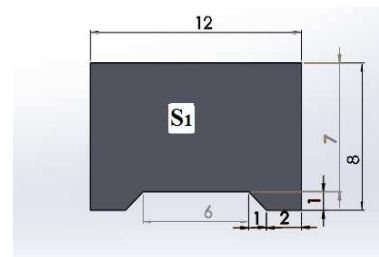
IV-5-7-1) pour le poinçon de pas

$$\sigma_{\text{comp1}} = F_1 / S_1$$

Application Numérique :

➤ Pièce 1 (10x10)

$$S_1 = 89 \text{ mm}^2$$

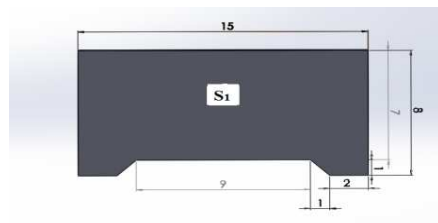


$$\sigma_{\text{comp1}} = 3572 / 89 = 40.13 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{comp1}} = 40.13 \text{ N/mm}^2$$

➤ Pièce 2 (13x13)

$$S_1 = 110 \text{ mm}^2$$



$$\sigma_{\text{comp1}} = 4145.8 / 110 = 37.68 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{comp1}} = 37.68 \text{ N/mm}^2$$

IV-5-7-2) pour le poinçon de perçage

$$\sigma_{\text{comp2}} = F_2 / S_2$$

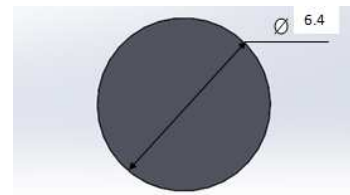
$$S_2 = (\pi * D^2) / 4$$

Application Numérique :

➤ Piece1 (10x10)

$$S_2 = \frac{3.14 * (6.4)^2}{4} = 32.15 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 32.15 \text{ mm}^2$$



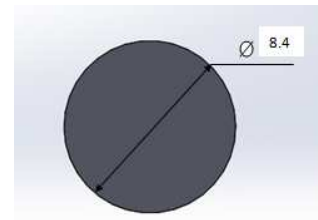
$$\sigma_{\text{comp2}} = 3818.24 / 32.15 = 118.76 \text{ N / mm}^2$$

$$\sigma_{\text{comp2}} = 118.76 \text{ N/ mm}^2$$

➤ Pièce 2 (13x13)

$$S_2 = \frac{3.14 * (8.4)^2}{4} = 55.38 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 55.38 \text{ mm}^2$$



$$\sigma_{\text{comp2}} = 5011.44 / 55.38 = 90.49 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{comp2}} = 90.49 \text{ N/mm}^2$$

IV-5-7-3) pour le poinçon de détournage

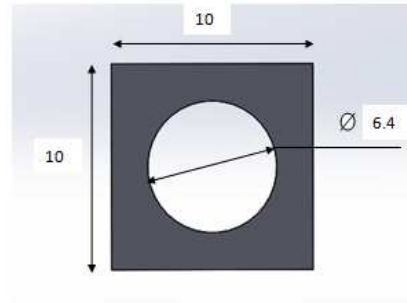
$$\sigma_{\text{comp3}} = F_3 / S_3$$

Application Numérique :

➤ Pièce 1 (10x10)

$$S_3 = (10 * 10) - 32.15 = 67.85 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = 67.85 \text{ mm}^2$$



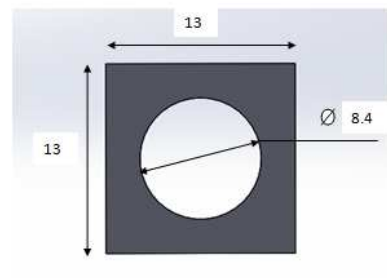
$$\sigma_{\text{comp}3} = 7600 / 67.85 = 112.01 \text{ N/ mm}^2$$

$$\sigma_{\text{comp}3} = 112.01 \text{ N/ mm}^2$$

➤ Pièce 2 (13x13)

$$S_3 = (13 * 13) - 55.38 = 113.62 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = 113.62 \text{ mm}^2$$



$$\sigma_{\text{comp}3} = 9880 / 113.62 = 86.95 \text{ N/ mm}^2$$

$$\sigma_{\text{comp}3} = 86.95 \text{ N/ mm}^2$$

D'après les résultats précédents, les contraintes de compression sont inférieures à la limite élastique du matériau, donc la condition de compression est vérifiée.

IV-5-8) résistance des poinçons au flambage

Le flambement est un phénomène qui se produit pour une certaine valeur de la charge appelée, charge critique P_{cr} , et pour les calculs de flambement on fait appel à la formule d'Euler ou de Rankine.

Étude et conception de l'outil

La formule d'Euler est donnée par :

$$P_{cr} = \pi^2 * E * I_{xx} / l^2 \quad \dots\dots\dots(IV.15) [3]$$

Avec :

E : module d'élasticité, $E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$;

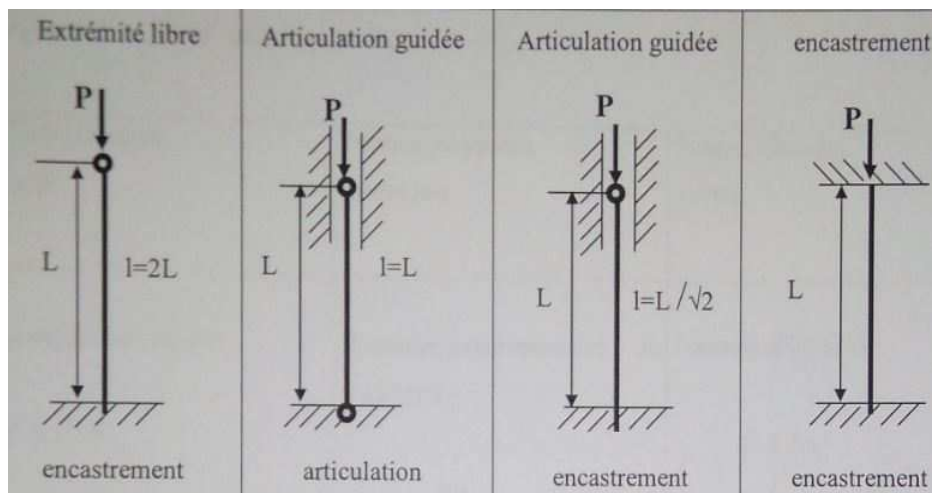
I_{xx} : moment d'inertie, (en mm^4) ;

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

La longueur libre de flambement l est donnée en fonction du type d'appui. Dans le cas de notre outil, les poinçons sont encastres d'un côté, et articulés guidés de l'autre côté, la longueur Libre de flambement est donc égale à :

$$l = L / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots(IV.16)$$

Tableau IV-5) Valeurs de la longueur de flambage l en fonction de la longueur réelle L



L : étant la longueur réelle des poinçons, (en mm).

Tableau IV-6) charge critique selon la valeur d'élancement des poinçons γ [3]

Poutres courtes $\gamma < 20$	Poutres moyennes $20 < \gamma < 100$	Poutres élancées $\gamma > 100$
compression simple: $F = R_P * S$	Formule expérimentale de Rankine : $\frac{F}{S} \leq \frac{R_p}{1 + \beta(l/r)^2}$	Formule d'Euler : $P_{cr} = \pi^2 * E * I / l^2$

Avec :

F : effort axial des poinçons, (en daN) ;

S : section des poinçons, (en mm) ;

γ : élancement des poinçons, (sans unité) ;

R_p : résistance pratique à la compression, (daN/mm²) ;

r : rayon de giration par apport à l'axe XX', (en mm) ;

β : coefficient qui ne dépend que de la nature du matériau considéré, (sans unité). [3]

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = 0.0001 \text{ pour le fer et l'acier ;} \\ \beta = 0.00025 \text{ pour la fonte ;} \\ \beta = 0.0002 \text{ pour le bois.} \end{array} \right.$$

➤ Calcul du rayon de giration (r)

Soit S la surface du poinçon et $I_{xx'}$ son moment d'inertie par apport à l'axe xx'

Le rayon de giration par apport à l'axe xx' est une grandeur définie par la relation suivante :

$$r = \sqrt{\frac{I_{xx'}}{s}} \quad \dots\dots\dots (IV.17) [3]$$

➤ Calcul élancement (γ)

On appelle élancement du poinçon le quotient

$$\gamma = l / r \quad \dots\dots\dots (IV.18) [3]$$

IV- 5-8-1) Résistance au flambage pour les poinçons de l'outil (1)

➤ le poinçon de pas

Calcul du rayon de giration : $r_1 = \sqrt{\frac{I_{xx'1}}{s_1}}$

Calcul de l'élancement : $\gamma_1 = l_1 / r_1$

Le moment d'inertie, mesuré, à partir de CAO-solidworks est : $I_{xx'1} = 417.92 \text{ mm}^4$

Application Numérique :

Calcul de la longueur libre au flambement : $l_f = 100 / \sqrt{2} = 70.92 \text{ mm}$

$$l_f = 70.92 \text{ mm}$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{417.66}{89}} = 2.16 \text{ mm}$$

$$r_1 = 2.16 \text{ mm}$$

$$\gamma_1 = 70/2.16 = 32.40$$

$$\gamma_1 = 32.40$$

Pratiquement la formule d'Euler n'est pas applicable car élancement du poinçon de pas γ_1 est inférieur à 100 (voir le tableau IV-6).

selon la valeur de $\gamma_1 = 32.40$ on utilise la formule de Rankine.

$$\frac{F_1}{S_1} \leq \frac{Rp}{1 + \beta(l_1/r_1)^2} \dots\dots\dots(\text{IV.19}) \text{ [3]}$$

Avec :

F_1 : effort de poinçon de pas, (en daN)

S_1 : section de poinçon, (en mm^2)

β : coefficient de la nature d'acier, ($\beta=0.0001$).

On tire de la formule de Rankine (IV.19) ce qui suit :

$$Rp \geq \frac{F_1}{S_1} \left[1 + \beta \left(\frac{l_1}{r_1} \right)^2 \right] \Rightarrow Rp \geq \frac{F_1}{S_1} \left[1 + \beta \frac{l_1^2 * S_1}{I_{xx'1}} \right] \dots\dots\dots(\text{IV.20})$$

Avec :

$$R_p = \frac{R_r}{\alpha} \dots\dots\dots(\text{IV.21}) \text{ [4]}$$

D'où :

Étude et conception de l'outil

R_r : la résistance à la rupture du poinçon, (en daN/mm²).

$R_r = 207$ daN/mm² pour l'acier de nuance Z200C12 ;

$\alpha = 1.5$: coefficient de sécurité pour l'acier ; [3]

D'après les données et les résultats précédents on a :

$$F_1 = 357.2 \text{ daN}$$

$$S_1 = 89 \text{ mm}^2$$

$$\beta = 0.0001$$

$$l_f = 70.92 \text{ mm}$$

$$I_{xx'} = 417.66 \text{ mm}^4$$

$$R_r = 207 \text{ daN/mm}^2$$

Application Numérique :

$$\frac{207}{1.5} \geq \frac{357.2}{82.31} \left[1 + 0.0001 \left(\frac{70.92^2}{417.66} \right) \right]$$

$$138 > 4.75$$

Avec cette formule de Rankine la condition de non flambage du poinçon de pas est vérifiée.

➤ le poinçon de perçage

Le rayon de giration : $r_2 = \sqrt{\frac{I_{xx'2}}{S_2}}$

L'élanement : $\gamma_2 = l_2 / r_2$

Le moment d'inertie du poinçon de perçage :

$$I_{xx'2} = \pi \cdot D^4 / 64$$

Application Numérique :

Calcul la longueur libre au flambement : $l_2 = 100 / \sqrt{2} = 70.92 \text{ mm}$

$$l_2 = 70.92 \text{ mm}$$

Calcul du moment d'inertie du poinçon de perçage :

Étude et conception de l'outil

$$I_{XX'2} = 3.14 * (6.4)^4 / 64 = 82.31 \text{ mm}^4$$

$$I_{XX'2} = 82.31 \text{ mm}^4$$

Calcul du rayon de giration :

$$r_2 = \sqrt{\frac{82.31}{32.15}} = 1.6 \text{ mm}$$

$$r_2 = 1.6 \text{ mm}$$

Calcul de l'élancement :

$$\gamma_2 = 70.92 / 1.6 = 44.32$$

$$\gamma_2 = 44.92$$

Pratiquement la formule d'Euler n'est pas applicable car l'élancement du poinçon de perçage γ_2 est inférieur à 100 (voir le tableau IV-6).

selon la valeur de $\gamma_2 = 44.92$ on utilise la formule de Rankine.

$$\frac{F_2}{S_2} \leq \frac{Rp}{1 + \beta(l_2/r_2)^2}$$

Avec :

F_2 : effort du poinçon de perçage, (en daN) ;

S_2 : section du poinçon de perçage, (en mm) ;

β : coefficient de la nature d'acier, (sans unité).

Donc la formule de Rankine devient comme suit :

$$Rp \geq \frac{F_2}{S_2} \left[1 + \beta \left(\frac{l_2}{r_2} \right)^2 \right] \Rightarrow Rp \geq \frac{F_2}{S_2} \left[1 + \beta \frac{(l_2^2 * S_2)}{I_{XX'2}} \right]$$

D'après les données et les résultats précédents on a :

$$F_2 = 318.83 \text{ daN}$$

$$S_2 = 32.15 \text{ mm}^2$$

$$\beta = 0.0001$$

$$l_2 = 70.92 \text{ mm}$$

$$I_{XX'2} = 82.31 \text{ mm}^4$$

$$R_r = 207 \text{ daN/mm}^2$$

Application Numérique :

$$\frac{207}{1.5} \geq \frac{381.83}{32.15} \left[1 + 0.0001 \left(\frac{70.92^2 * 32.15}{82.31} \right) \right]$$

$$138 > 14.25$$

Avec cette formule de Rankine la condition de non flambage du poinçon de perçage est vérifiée.

➤ le poinçon de détournage

Le rayon de giration : $r_3 = \sqrt{\frac{I_{xx'3}}{S_3}}$

L'élanement : $\gamma_3 = l_3 / r_3$

Le moment d'inertie du poinçon de détournage : $I_{XX'3} = (b * h^3 / 12) - I_{xx'2}$

Application Numérique :

Calcul de la longueur libre au flambement : $l_3 = 100 / \sqrt{2} = 70.92 \text{ mm}$

$$l_3 = 70.92 \text{ mm}$$

Calcul du moment d'inertie du poinçon de perçage :

$$I_{XX'3} = (10 * 10^3 / 12) - 82.31 = 751.02 \text{ mm}^4$$

$$I_{XX'3} = 751.02 \text{ mm}^4$$

Calcul du rayon de giration :

$$r_3 = \sqrt{\frac{751.02}{67.85}} = 3.32 \text{ mm}$$

$$r_3 = 3.32 \text{ mm}$$

Calcul de l'élancement :

$$\gamma_3 = 70.92 / 3.32 = 21.36$$

$$\gamma_3 = 21.36$$

Pratiquement la formule d'Euler n'est pas applicable car l'élancement du poinçon de détournage γ_3 est inférieur à 100 mm et supérieur à 20 mm.

selon la valeur de $\gamma_3 = 21.36$ on utilise la formule de Rankine.

$$\frac{F_3}{S_3} \leq \frac{R_p}{1 + \beta(l_3/S_3)^2}$$

Avec :

F_3 : effort du poinçon de détournage, (en daN) ;

S_3 : section du poinçon de détournage, (en mm²) ;

β : coefficient de la nature d'acier, (sans unité).

Donc la formule de Rankine devient comme suit :

$$R_p \geq \frac{F_3}{S_3} \left[1 + \beta \left(\frac{l_3}{r_3} \right)^2 \right] \Rightarrow R_p \geq \frac{F_3}{S_3} \left[1 + \beta \frac{l_3^2 * S_3}{I_{xx'3}} \right]$$

D'après les données et les résultats précédents on a :

$$F_3 = 760 \text{ daN}$$

$$S_3 = 67.85 \text{ mm}^2$$

$$\beta = 0.0001$$

$$l_3 = 70.92 \text{ mm}$$

$$I_{xx'3} = 751.02 \text{ mm}^4$$

$$R_r = 207 \text{ daN/mm}^2$$

Application Numérique :

$$\frac{207}{1.5} \geq \frac{760}{67.85} \left[1 + 0.0001 \left(\frac{70.92^2 * 67.85}{751.02} \right) \right]$$

$$138 > 11.7$$

Avec cette formule de Rankine la condition de non flambage du poinçon de détournage est vérifiée.

IV-5-8-2) Resistance des poinçons au flambage pour l'outil (2)

➤ le poinçon de pas

Calcul le rayon de giration : $r_1 = \sqrt{\frac{I_{xx'1}}{S_1}}$

Calcul élancement : $\gamma_1 = l_f / r_1$

Le moment d'inertie, mesuré, à partir de CAO-Solidworks :

$$I_{xx'1} = 504.26 \text{ mm}^4$$

Application Numérique :

Calcul de la longueur libre au flambement : $l_f = 100 / \sqrt{2} = 70.92 \text{ mm}$

$$l_f = 70.92 \text{ mm}$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{504.26}{110}} = 2.14 \text{ mm}$$

$$r_1 = 2.14 \text{ mm}$$

$$\gamma_1 = 70.92 / 2.14 = 33.14$$

$$\gamma_1 = 33.14$$

selon la valeur de $\gamma_1 = 33.14$ on utilise la formule de Rankine.

$$\frac{F_1}{S_1} \leq \frac{Rp}{1 + \beta(l_1/S_1)^2}$$

Avec :

F_1 : effort du poinçon de pas, (en daN) ;

S_1 : section du poinçon de pas, (en mm²) ;

β : coefficient de la nature d'acier.

Donc la formule de Rankine devient comme suit :

$$Rp \geq \frac{F_1}{S_1} \left[1 + \beta \left(\frac{l_1}{r_1} \right)^2 \right] \quad \Rightarrow \quad Rp \geq \frac{F_1}{S_1} \left[1 + \beta \frac{l_1^2 * S_1}{I_{xx'}'} \right]$$

Avec :

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

D'où :

R_r : la résistance à la rupture du poinçon, (en daN/mm²).

$R_r = 207$ daN/mm² pour l'acier de nuance Z200C12 ;

$\alpha = 1.5$: coefficient de sécurité pour l'acier ;

D'après les données et les résultats précédents on a :

$$F_1 = 414.58 \text{ daN}$$

$$S_1 = 110 \text{ mm}^2$$

$$\beta = 0.0001$$

$$l_1 = 70.92 \text{ mm}$$

$$I_{xx'} = 504.26 \text{ mm}^4$$

$$R_r = 207 \text{ daN/mm}^2$$

Application Numérique :

$$\frac{207}{1.5} \geq \frac{414.58}{110} \left[1 + 0.0001 \left(\frac{70.92^2 * 110}{504.26} \right) \right]$$

$$138 > 4.18$$

La condition de non flambage du poinçon de pas est vérifiée.

➤ le poinçon de perçage

Le rayon de giration : $r_2 = \sqrt{\frac{I_{xx'}_2}{s_2}}$

L'élanement : $\gamma_2 = l_2 / r_2$

Le moment d'inertie du poinçon de perçage :

$$I_{xx'}_2 = \pi * D^4 / 64$$

Application Numérique :

Calcul de la longueur libre au flambement : $l_2 = 100 / \sqrt{2} = 70.92 \text{ mm}$

$$l_2 = 70.92 \text{ mm}$$

Calcul du moment d'inertie du poinçon de perçage :

$$I_{xx'}_2 = 3.14 * (8.4)^4 / 64 = 244.26 \text{ mm}^4$$

$$I_{xx'}_2 = 244.26 \text{ mm}^4$$

Calcul du rayon de giration : $r_2 = \sqrt{\frac{244.26}{55.38}} = 2.10 \text{ mm}$

$$r_1 = 2.10 \text{ mm}$$

Calcul de l'élanement : $\gamma_1 = 70.92 / 2.10 = 33.77$

$$\gamma_1 = 33.77$$

Pratiquement la formule d'Euler n'est pas applicable car élanement du poinçon de perçage γ_2 est inférieur à 100 (voir le tableau IV-6).

selon la valeur de $\gamma_2 = 33.77$, on utilise la formule de Rankine.

$$\frac{F_2}{S_2} \leq \frac{Rp}{1 + \beta(l_2/S_2)^2}$$

Avec :

F_2 : effort du poinçon de perçage, (en daN) ;

S_2 : section du poinçon de perçage, (en mm) ;

β : coefficient de la nature d'acier, (sans unité).

Donc la formule de Rankine devient comme suit :

$$Rp \geq \frac{F_2}{S_2} \left[1 + \beta \left(\frac{l_2}{r_2} \right)^2 \right] \quad \Rightarrow \quad Rp \geq \frac{F_2}{S_2} \left[1 + \beta \frac{l_2^2 * S_2}{I_{xx'2}} \right]$$

D'après les données et les résultats précédents on a :

$$F_2 = 501.14 \text{ daN}$$

$$S_2 = 55.38 \text{ mm}^2$$

$$\beta = 0.0001$$

$$l_2 = 70.92 \text{ mm}$$

$$I_{xx'2} = 244.26 \text{ mm}^4$$

$$R_r = 207 \text{ daN/mm}^2$$

Application Numérique :

$$\frac{207}{1.5} \geq \frac{501.14}{55.38} \left[1 + 0.0001 \left(\frac{70.92^2 * 55.38}{244.26} \right) \right]$$

$$138 > 10.08$$

La condition de non flambage du poinçon de perçage est vérifiée.

➤ le poinçon de détournage

Le rayon de giration : $r_3 = \sqrt{\frac{I_{xx'3}}{S_3}}$

L'élancement : $\gamma_3 = l_3 / r_3$

Étude et conception de l'outil

Le moment d'inertie du poinçon de détournage : $I_{XX'3} = (b \cdot h^3 / 12) - I_{XX'2}$

Application Numérique :

Calcul de la longueur libre au flambement : $l_3 = 100 / \sqrt{2} = 70.92 \text{ mm}$

$$l_3 = 70.92 \text{ mm}$$

Calcul du moment d'inertie du poinçon de perçage :

$$I_{XX'3} = (13 \cdot 13^3 / 12) - 244.26 = 2135.82 \text{ mm}^4$$

$$I_{XX'3} = 2135.82 \text{ mm}^4$$

Calcul du rayon de giration : $r_3 = \sqrt{\frac{2135.82}{113.62}} = 4.33 \text{ mm}$

$$r_3 = 4.33 \text{ mm}$$

Calcul de l'élancement : $\gamma_3 = 70.92 / 4.33 = 16.37$

$$\gamma_3 = 16.37$$

La valeur de γ_3 est inférieure à 20 donc la formule d'Euler n'est pas applicable et selon sa valeur de 16.37 on utilise la formule de la compression simple (voir le tableau IV-6).

$$F_3 \leq R_p \cdot S_3$$

.....(IV.22) [3]

$$R_p = \frac{F_3}{S_3}$$

avec :

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

D'où:

F_3 : effort du poinçon de détournage, (en daN) ;

S_3 : section du poinçon de détournage, (en mm^2) ;

R_p : résistance pratique à la compression du poinçon de détournage, (en daN/ mm^2)

$\alpha = 1.5$: coefficient de sécurité pour l'acier

R_r : résistance à la rupture, (en daN).

D'après les données et les résultats précédents on a :

$$F_3 = 988 \text{ daN}$$

$$S_3 = 113.62 \text{ mm}^2$$

$$R_r = 207 \text{ daN/mm}^2$$

Application Numérique :

$$\frac{R_r}{\alpha} \geq \frac{F_3}{S_3} \quad \Rightarrow \quad \frac{207}{1.5} \geq \frac{988}{113.62}$$

$$138 > 8.69$$

Avec cette formule la condition de non flambage du poinçon de détournage est vérifiée.

IV-5-9) Détermination du jeu de découpage

Le jeu de découpage correspond à la distance entre le poinçon et la matrice. Pour un découpage, le jeu est à prendre sur le poinçon et pour un poinçonnage il est à prendre sur la matrice. [6]

En effet, lors du découpage d'une rondelle c'est la matrice qui détermine le diamètre extérieur ; lors de son poinçonnage c'est le poinçon qui détermine le diamètre du trou.

Le jeu varie selon la nature et l'épaisseur « e » des matériaux découpés :

Jeu total :

Jeu diamétral :

$(1/20) * e$ pour le laiton et l'acier doux.... (1)

$(1/15) * e$ pour l'acier dur.... (2)

$(1/10) * e$ pour l'aluminium.... (3)

Calcul du jeu de découpage :

Dans notre cas on utilise la loi (1)

$$(1/20) * 1 = 0.05 \text{ mm} \dots\dots\dots (IV.23)$$

D'où : $e = 1 \text{ mm}$ (l'épaisseur de la tôle)

Jeu de découpage = 0.05 mm

$J = 0.05 \text{ mm}$

IV-6) La conception des deux outils :

Dans cette étape, nous avons réalisé la conception des deux outils demandés en respectant la norme DIN et prenant compte de tous les paramètres géométriques et conditions de résistance prédites dans la partie calcul.

Nous avons aussi inclus la possibilité de procéder à l'affutage des éléments de ces outils (matrices et poinçons) en cas d'usure.

Dans le but d'économiser et d'optimiser le coût et le temps de fabrication, la partie de guidage qui constitue les éléments suivants : Semelle supérieure, Semelle inférieure, douilles de guidage, colonnes de guidage, arrêts douilles de guidage, sera la même pour les deux outils, contrairement à la partie active qui comporte ; la matrice, les poinçons, les portes poinçons, dévêtisseur, la plaque d'orientation, la plaque de choc, vis de rappel et les ressorts qui doivent être en deux organes différents.

Cette conception sera présentée sous forme de dessins d'ensemble accompagnés des dessins de définition à la fin de ce travail.

IV-7) detail des deux outils

Après la description de deux outils employé, une étude détaillée de tout les éléments qui le constituent a été effectuées :

➤ Corps supérieur

Il sert porté les portes poinçons ainsi que les douilles , il sert aussi de lien avec le porte nez de la presse.

➤ Plaques d'appui

Il sert à protéger la semelle supérieure contre les déformations au cours de travail, il sert aussi à absorber les chocs dus de découpage ou poinçonnage.

➤ Plaques d'orientation

Sert à orienter les poinçons, pour assurer une bonne position des poinçons

➤ Porte poinçons

Il sert à fixer et guider les différents poinçons pendant leur travail et aussi à maintenir le dévêtisseur

➤ Poinçons

Ce sont les éléments qui travaillent le plus au sein de l'outil donc leur calcul est éminent. Il est nécessaire de vérifier les poinçons à la compression et au flambement pour déterminer leur longueur.

Étude et conception de l'outil

➤ Devetisseur

Le devetisseur à deux rôle : décoller la bande du poinçon et aussi guider les poinçons ainsi que les vis epaulé qui jouent le rôle de relais entre les portes poinçons et le devetisseur.

➤ Semelle inferieur

C'est une plaque plaque sur laquelle la matrice sont ajoutées , son épaisseur doit etre suffissante pour résister à l'effort de découpage.

➤ Matrice

Elle doit resister aux differents efforts de coupe, elle doit être suffisamment épaisse pour supporter l'effort de devetissage et éviter les deformation.

➤ La butée

Elle sert a positionner le flan, limitant aussi son deplacement tout en assurant un bon guidage du flan.

➤ Listel de guidage

Sert a assurer le guidage et l'enchement de la tole.

IV-8) Liste des planches

Tableau IV-7) les différentes planches des deux outils (1) et (2)

Outil (2)		Outil (1)	
Planche (1)	butée	Planche (12)	butée
Planche (2)	Centreur de poinçon	Planche (13)	Centreur de poinçon
Planche (3)	Couteau	Planche (14)	Couteau
Planche (4)	devetisseur	Planche (15)	devetisseur
Planche (5)	listel	Planche (16)	listel
Planche (6)	matrice	Planche (17)	matrice
Planche (7)	Plaque d'appuis	Planche (18)	Plaque d'appuis
Planche (8)	Plaque d'orientation	Planche (19)	Plaque d'orientation
Planche (9)	Poinçon cylindrique	Planche (20)	Poinçon cylindrique
Planche (10)	Poinçon détourage	Planche (21)	Poinçon détourage
Planche (11)	Porte poinçon	Planche (22)	Porte poinçon

Étude et conception de l'outil

Tableau IV-8) les planche de porte outil (1) et (2)

Planches de porte outil	
Planche (23)	Corps inferieur
Planche (24)	Colonne de guidage(230 D 32) mm
Planche (25)	Colonne de guidage (230 D 30)mm
Planche (26)	Corps superieur
Planche (27)	Douille de guidage (D 30) mm
Planche (28)	Douille de guidage (D 32) mm
Planche (29)	Arrets de douille de guidage

IV-9) caracteristique des elements de deux outils

Tableau IV-9) caractéristiques des éléments de deux outils

rep	constituant	Flambage	Flexion	Frottement ou usure	Choc	Traction ou compression	Materiaux choisis	
							nuance	propriété
1	Corps superieur				x	x	A33	Une bonne ténacité
2	Corps inferieur		x		x	x	A33	Une bonne ténacité
3	Porte poinçons				x		St 37-2	Une bonne ténacité
4	Matrice		x	x	x	x	Z200 c12	Une bonne résistance à l'usure
5	butée			x		x	C15	Grande dureté
6	dévétisseuse				x		St 37-2	Une bonne ténacité
7	listel				x		A33	Une bonne ténacité
8	Plaque de choc				x		Z200 c12	Une bonne ténacité
9	poinçon de pas	x		x	x	x	Z200 c12	Une bonne résistance à l'usure
10	Poinçon de perçage	x		x	x	x	Z200 c12	Une bonne résistance à l'usure

Étude et conception de l'outil

11	poinçon de détournage	x		x	x	x	Z200 c12	Une bonne résistance à l'usure
12	centreur			x			Z200 c12	Une bonne résistance à l'usure

Conclusion

Dans ce chapitre, un regard a été jeté sur la conception de notre outil suivi d'un calcul assez approfondis sur le brut au tout début, puis vient le plan théorique.

Nous avons présenté ensuite le calcul de résistance de chaque poinçon (poinçon de pas, de perçage et de détournage), puis le choix du ressort a été traité soigneusement, le barycentre (les coordonnées du centre de gravité de l'outil) aussi a été pris en considération suivi des calculs de résistance à la compression de chaque poinçon, et en fin le calcul de flambement.

Tous les calculs réalisés ont aboutit à un résultat correct et vérifiable, pour le premier outil (10x10) et le deuxième (13x13).

Chapitre V

Simulation numérique du
découpage

V-1) Introduction

Ce chapitre consiste à simuler les trois étapes du découpage présentées dans notre travail en prenant en compte le comportement élasto-plastique de la tôle utilisée dans l'étude de l'outil de découpage, (voir le chapitre IV).

Dans le but de caractériser mécaniquement le matériau, des essais expérimentaux ont été réalisés sur des éprouvettes de traction découpées d'une tôle selon les trois directions (0° , 45° et 90° par rapport au sens de laminage). Le comportement obtenu dans l'expérimental est implémenté dans le mode Abaqus/Explicit, en incluant l'endommagement, afin de procéder à la simulation.

La simulation dans le mode Abaqus/Explicit est réalisée en deux étapes :

En premier lieu, l'effort de dévêissage est appliqué comme charge répartie sur le dévêisseur et l'effort de coupe théorique sur le bloc qui porte les poinçons, cette étape représente la première simulation.

Au second lieu, l'effort théorique est remplacé par l'effort machine en gardant le même effort de dévêissage tout en gardant les mêmes paramètres de la première simulation.

A la fin, les résultats des deux simulations seront comparés.

V-2) But de la simulation

Dans notre travail, le choix de la machine a été proposé par l'entreprise, cette machine fournit un effort constant de 245200 N (voir le chapitre III).

Après les calculs théoriques de l'effort nécessaire pour que l'outil puisse découper la tôle, dont la valeur est de 14990.34 N (voir le chapitre IV), on remarque que l'effort fourni par cette machine est environ 16 fois supérieur à l'effort théorique, et cela peut d'une manière ou d'une autre influencer la qualité des pièces finales, c'est pour cela qu'on a prévu une simulation numérique avec les deux efforts afin de faire une comparaison entre les deux résultats et déduire la possibilité d'utilisation de cette machine.

V- 3) Logiciel de simulation Abaqus :

Abaqus est un logiciel de simulation des phénomènes mécaniques par éléments finis, connu pour ses traitements performants pour les systèmes non-linéaires. Il a été développé par Hibbit, Karlsson et Sorensen en raison du large spectre de ces capacités d'analyse et sa bonne ergonomie [11]. Utilisé largement dans l'industrie automobile et aéronautique, favorable pour l'analyse des comportements non-linéaires car Il possède une vaste gamme de lois de comportement.

En 2005, Abaqus/Inc a été racheté par Dassault Systèmes devenu SIMULIA [9].

V-3-1) Présentation générale d'Abaqus :

Abaqus est composé de trois produits : Abaqus/Standard, Abaqus/Explicit et Abaqus/Cae [11].

- Abaqus/Standard : est un solveur généraliste, qui recourt à un schéma traditionnel d'intégration implicite.

Simulation numérique du découpage

- Abaqus/Explicit : emploi un schéma d'intégration explicite, pour résoudre des problèmes dynamiques ou quasi-statiques non-linéaires.
- Abaqus/CAE : constitue une interface intégrée de visualisation et de modélisation pour les dits solveurs.

Abaqus effectue la résolution d'un problème, décrit par un fichier « entrée » (ou fichier de données), il écrit la solution vers un fichier « de sortie » (ou fichier de résultats):

-Le fichier (« texte ») de données a pour extension (.inp), et dont le contenu des mots clés qui décrivent les géométries, les matériaux, les conditions aux limites,...

-Le fichier de résultats a pour extension (.odb), et dont le contenu des contours et des courbes montrant les résultats.

-Les autres fichiers créés pendant le calcul sont :

- Le Fichier (.dat) qui contient :
 - Le fichier résumé de la modélisation,
 - Les messages d'erreurs concernant la modélisation,
 - Les temps de calcul.
- Le fichier (.msg) qui contient :
 - Le fichier résumé du calcul en cours,
 - Les messages d'erreurs lors du déroulement du calcul.

La figure suivante, illustre un schéma de résolution d'un problème sur Abaqus :

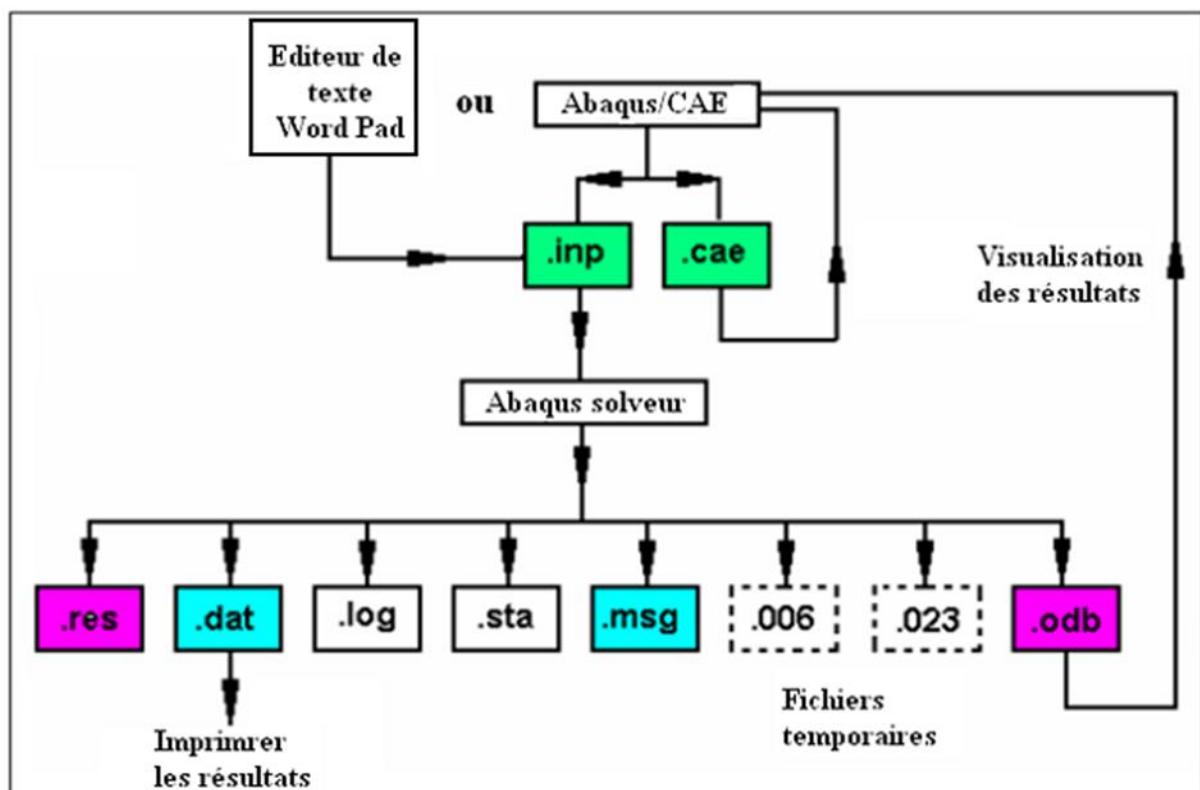


Figure V-1) schéma de résolution dans Abaqus.

V-3-2) Les principaux modules :

Abaqus/cae, est divisé en unités fonctionnelles appelées modules [11]. Chaque module contient les outils qui sont propres à une partie de la tâche de modélisation. Ses modules sont :

- « PART » : Le module Part, permet de créer tous les objets géométriques nécessaires à notre problème, soit en les dessinant dans Abaqus/cae, soit en les important d'un autre logiciel de dessin.
- Le module « PROPERTY » : Le module Property permet, comme son nom l'indique, de définir toutes les propriétés d'un objet géométrique ou d'une partie de ces objets.
- Le module « ASSEMBLY » : Ce module, permet d'assembler les différents objets géométriques créés dans un même repère, de coordonnées globales. Un modèle Abaqus contient un seul assemblage.
- Le module « STEP » : Ce module, permet de définir toutes les étapes et les requêtes pour le post traitement ; c'est-à-dire, le moment (temps) à partir duquel une force est appliquée et jusqu'à quand. il est aussi possible de créer des forces ou des conditions limites qui s'activent à des moments donnés.
- Le module « INTERACTION » : Grâce à ce module, il est possible de spécifier toutes les interactions entre les différentes parties et régions du modèle, qu'elles soient mécaniques, thermiques ou autres. Il faut savoir qu'Abaqus, ne prend en compte que les interactions explicitement définies.
- Le module « LOAD » : Le module Load, permet de spécifier tous les chargements, conditions limites et les champs.
- Le module « MESH » : Ce module, contient tous les outils nécessaires pour générer un maillage élément fini sur un assemblage.
- Le module « JOB » : Une fois que toutes les tâches de définition du modèle ont été réalisées, il faut utiliser le module Job pour analyser ce modèle. ABAQUS va alors réaliser tous les calculs nécessaires, et en tirer des résultats.
- Le module « VISUALIZATION » : Ce module, permet de visualiser les résultats, les courbes de charges, les déformations...
- Le module « SKETCH » : Ce module, permet de créer des formes bidimensionnelles qui ne sont pas associées à un objet. Il peut être utilisé pour des extrusions par exemple.

Abaqus, se compose aussi d'autres modules qui sont :

- Les modules de Abaqus/cae (Computer Aided Engineering), qui est un environnement interactif permettant :
 - La création du modèle E.F ;
 - Le lancement de calcul ;
 - Le diagnostic d'éléments ;
 - La visualisation des résultats.
- Le module Abaqus/Standard (faisant une résolution implicite) c'est le serveur de calcul qui permet :
 - Les analyses linéaires ou non-linéaires, telles que l'analyse statique ou dynamique en contraintes et en déplacements, la réponse viscoélastique ou viscoplastique, l'analyse de transfert thermique (transitoire et stationnaire), l'analyse de diffusion de masse (transitoire et stationnaire), et l'analyse acoustique.

- Les problèmes couplés telles que les problèmes thermo- mécanique avec couplage réciproque, Piézo-électrique, Mécanique des milieux poreux saturés et non-saturés, couplage avec l'écoulement thermomécanique avec diffusion de masse, Couplage mécanique/acoustique.
- les analyses linéaires de perturbations, telle que l'analyse statique ou dynamique en contraintes et en déplacements (modes propres, flambage,...).
- Le module Abaqus/Explicit (faisant une résolution explicite) c'est le serveur du calcul qui permet l'analyse dynamique en contraintes et en déplacements.
- Le module Abaqus/Viewer qui permet la visualisation des résultats.

V-3-3) Les algorithmes de résolution:

Abaqus, utilise des algorithmes de résolution qui traitent les différents problèmes [11] :

- le problème linéaire : solution obtenue directement,
- le problème non-linéaire en régime permanent : solution obtenue avec itération (avec contrôle de la précision),
- le problème non-linéaire en régime transitoire : solution obtenue avec itération (avec contrôle de la précision) et incrémentation (avec contrôle du pas de temps), utilise le schéma d'intégration implicite de Hilbert-Hughes-Taylor,
- des techniques de résolution,
- des non linéarités géométriques,
- la formulation de Lagrange et de Lagrange actualisées (problème d'élasticité ou d'élastoplasticité),
- la résolution d'équations non-linéaires,
- la méthode de Newton complète (qui consiste la reconstruction de la matrice de rigidité pour chaque itération),
- l'accélérateur de convergence pour des discontinuités sévères,
- le contrôle de la solution,
- le contrôle en forces, déplacements et températures pour chaque pas de temps,
- le critère sur les résidus (minimum) associés à chaque type d'équations.

V-4) Caractérisation mécanique de la tôle ST 05 Z275 MA.

Des essais de traction sont réalisés afin de caractériser le comportement mécanique de notre matériau.

V-4-1) L'Éprouvette utilisée et son positionnement sur la machine de traction

Les éprouvettes ont été découpées selon la norme DIN 50 114 (Figure V-2), dans une même feuille de tôle suivant les trois directions par rapport au sens de laminage (0° , 45° et 90°), dans le but d'étudier l'anisotropie de la tôle (Figure V-3).

Lors du prélèvement des éprouvettes, des précautions ont été prises pour éviter toutes modifications de la structure du métal, résultant soit à un réchauffement, soit une déformation du métal, pour éviter toute forme d'écrouissage.

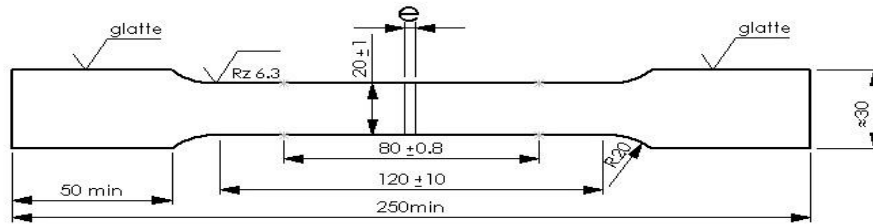


Figure V-2) éprouvette de traction normalisée selon la norme DI 50 114.

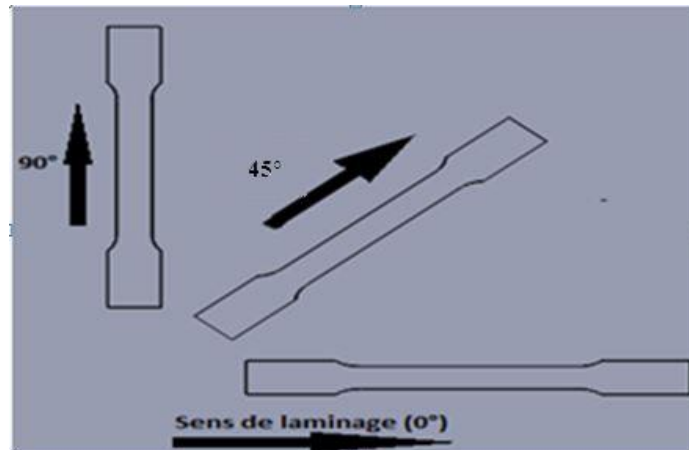


Figure V-3) les directions de découpage des éprouvettes

Les éprouvettes sont solidement maintenues par leurs têtes à l'aide des deux mâchoires (mors) de la machine (Figure V- 4), dont l'une est fixe et l'autre libre en translation. Ces mâchoires en s'écartant l'une de l'autre, exercent une force de traction suivant l'axe géométrique de l'éprouvette. Un ordinateur adapté à la mâchoire, permet de mesurer à chaque instant l'effort de traction, la charge et la déformation.



Figure V-4) l'éprouvette positionnée entre les mors de la machine de traction

V-4-1) Essai de traction

L'essai de traction, est l'essai mécanique le plus classique pour étude de la déformation plastique des matériaux. Il consiste à imposer un allongement à une éprouvette de section initiale S_0 et de longueur utile L_0 , L'éprouvette est soumise à un allongement croissant (et non un effort croissant) [10].

Les résultats finals d'un essai de traction représentés sur un graphe qui comporte :

- en abscisse : l'allongement pour-cent (ϵ). $\epsilon = \Delta L / L_0$
- en coordonnée : la contrainte dite conventionnelle (σ), $\sigma = F / S_0$, (en Mpa)

Avec :

L_0 : longueur de la base de mesure choisie pour l'éprouvette (80 mm pour les épaisseurs inférieures à 3 mm),

ΔL : accroissement de longueur de la base de mesure,

F : force mesurée à chaque instant de l'essai,

S_0 : section initiale de l'éprouvette.

Ce graphe porte quatre domaines qui sont :

a) Domaine élastique

Le métal a d'abord un comportement élastique, suivant la loi de Hooke :

$$\sigma = E * \epsilon$$

Avec :

σ : contrainte, $\sigma = F / S_0$, (en Mpa) ;

ϵ : déformation, $\epsilon = \Delta L / L_0$

E : module d'élasticité (module d'Young). Pour la tôle utilisée la valeur du module d'élasticité est de 205 000 MPa.

b) Domaine d'élasticité

C'est le début de la plasticité jusqu'à la rupture. Il correspond au déplacement irréversible des dislocations. Ce domaine peut se présenter sous deux aspects : homogène et continu (figure V-5-a) ou hétérogène et localisé (figure V-5-b), c'est alors le pic de limite d'élasticité suivi du palier [10].

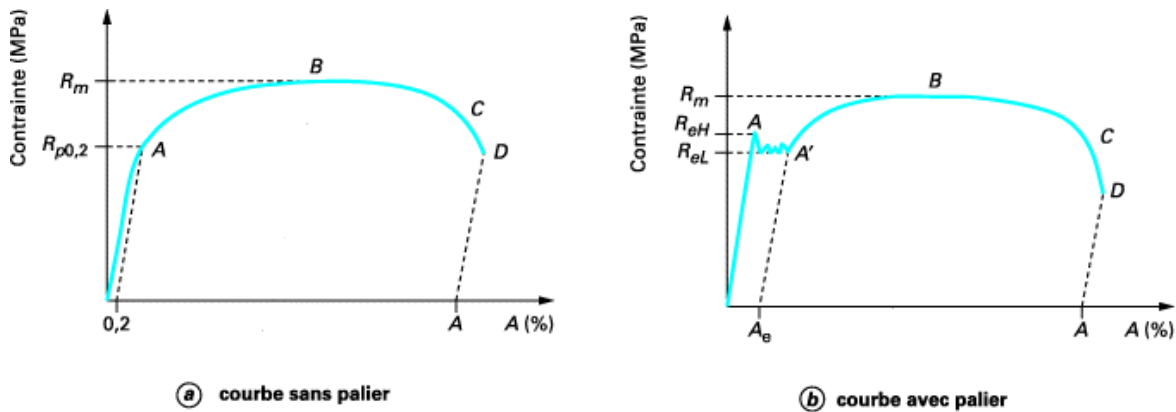


Figure V-5) Courbes de traction conventionnelles

Dans le premier cas, les dislocations commencent à se déplacer dans les grains ayant une orientation favorable vis-à-vis de la contrainte appliquée, puis le nombre des grains intéressés augmente jusqu'à ce que tous soient concernés. Cela explique l'absence de transition brutale ainsi c'est difficile de déterminer la limite d'élasticité, qui dépend de la résolution du système de mesure[10].

En pratique, on mesure une limite définie comme étant la déformation permanente correspondant à un très petit allongement prescrit par convention, égal la plupart du temps, à 0,2 %. La figure (V-5-a) illustre aussi la façon de calculer cette caractéristique, appelée dans ce cas $R_{p0,2}$. Ce n'est évidemment pas une véritable limite d'élasticité ; La limite véritable peut être très inférieure. Entre les deux existe ce qu'on appelle la micro-plasticité, phénomène que l'on peut le plus souvent ignorer en découpage[10].

Dans le second cas (figure V-5-b), la déformation élastique s'arrête de façon brutale lorsque le métal atteint une contrainte nommée R_{eH} nécessaire au décrochage des dislocations ancrées par des atomes interstitiels (c'est une interprétation simplifiée). C'est le cas du vieillissement de certaines qualités d'acier doux. Cela se fait par diffusion, donc migration entre les autres atomes du réseau. C'est un phénomène normalement lent (le vieillissement de l'acier peut demander six mois), ce qui explique que plus la température est basse ou la vitesse de traction élevée, plus la contrainte R_{eH} va croître pour forcer les atomes interstitiels à libérer plus vite la zone de dislocation[10].

Dans le palier, on mesure très souvent la limite d'écoulement inférieure (R_{eL}).

Le palier peut avoir pour conséquence la formation de défauts d'aspect, appelés vermiculure, dans les zones faiblement déformées des pièces. De plus, un long palier n'est pas favorable au découpage car n'assure pas une bonne répartition des déformations, il peut même être à l'origine des fissures dans le matériau.

c) Consolidation

Après que le domaine de déformation plastique est atteint, celle-ci progresse régulièrement, le métal s'allonge de façon homogène en diminuant de section (conservation du volume en déformation plastique). Le mouvement des dislocations devient de plus en plus difficile (multiplication, enchevêtrement et empilement), appelé consolidation. Cette augmentation de la contrainte d'écoulement compense l'affaiblissement dû à la diminution de section.

La consolidation se ralentit et à partir d'un certain allongement appelé allongement uniformément réparti (symbole A_g), n'est plus en mesure de compenser la diminution de section: la force passe par un maximum et la contrainte correspondante est appelée résistance à la traction mécanique (R_m)[10].

Au sommet de la courbe, le métal commence à se rétrécir localement : c'est la striction diffuse.

d) Striction

Selon le matériau, la rupture peut encore nécessiter un allongement supplémentaire de 5 à 30 %. Cela s'explique par l'effet de la sensibilité à la vitesse. En effet, la force décroît, les parties de l'éprouvette hors striction ne se déforment plus, ce qui reporte tout l'allongement sur la striction qui voit donc sa vitesse locale de déformation s'élever notablement [10].

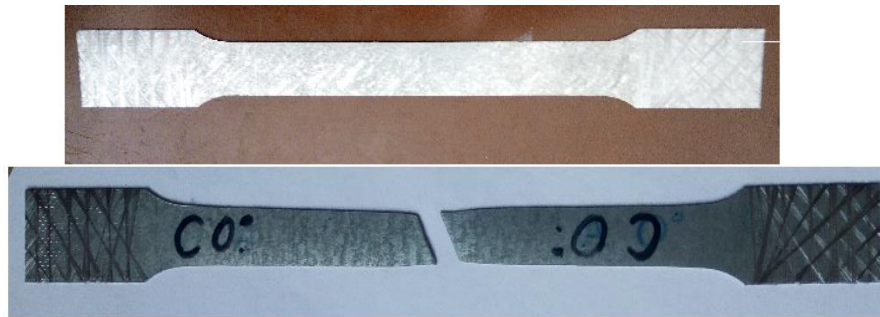


Figure V-6) une éprouvette avant et après l'essai de traction

V-4-2) Les caractéristiques de l'essai de traction :

V-4-2-1) Limite élastique R_e :

C'est la limite de proportionnalité ou limite élastique. Elle est bien marquée pour les matériaux ductiles. R_e correspond au seuil d'écoulement plastique.

$$R_e = F_e / S_0$$

R_e : limite d'élasticité apparente (MPa).

F_e : charge à la limite apparente d'élasticité.

S_0 : section initiale (mm^2).

En fait, certaines courbes de traction ne représentent pas de limite d'élasticité nette pour cela on adopte en général une limite conventionnelle d'élasticité $R_{p0.2}$ (correspond à une déformation permanente de 0.2%) :

$$R_{p0.2} = F_{p0.2} / S_0 \quad (\text{MPa}).$$

V-4-2-2) Résistance à la traction R_m

Elle correspond à la charge la plus élevée du diagramme de traction, rapportée à la section initiale de l'éprouvette

$$R_m = F_m / S_0 \quad (\text{MPa}).$$

F_m : Charge maximale.

V-3-2-3) Allongement à la rupture $A\%$

L'allongement à la rupture donne une valeur de l'aptitude du métal à la déformation plastique

$$A\% = (L_u - L_0) / L_0 * 100$$

L_u : longueur de l'éprouvette reconstituée après rupture.

L_0 : longueur initiale de l'éprouvette.

V-5) Résultats expérimentaux des essais de traction

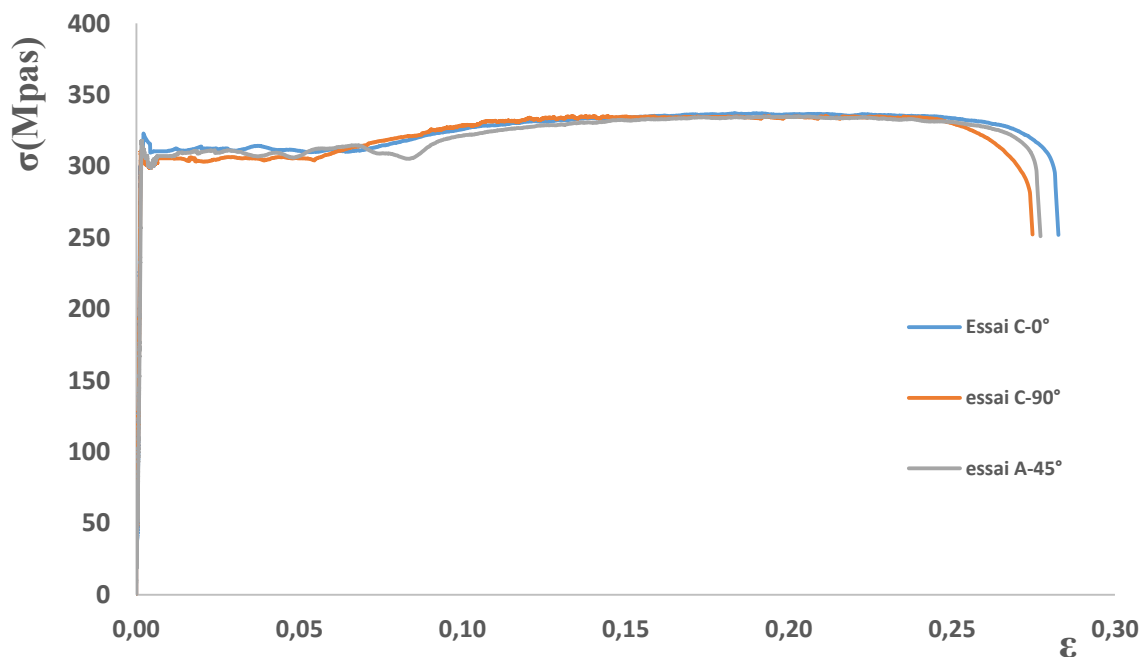


Figure V-7) Superposition des courbes de traction.

Cette figure montre la superposition des trois courbes obtenues dans les essais de traction selon les trois directions, cette superposition montre une légère différence dans le comportement de la tôle.

Simulation numérique du découpage

Les caractéristiques mécaniques tirées, sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau V-1) Caractéristique mécanique de La tôle

	0°/DL	45°/DL	90°/DL
E(MPa)	204707	195654	218559
Re(N/mm ²)	322,962	317,597	310,3962
Rm(N/mm ²)	337,2095	334,8954327	335,13535
ϵ	0.282637	0,277144	0,274702905

Ce tableau montre que les caractéristiques mécaniques obtenu par l'essai sur l'éprouvette découpée au sens de laminage (0°) sont plus élevés. Le comportement donné par cet essai sera utilisé dans les données de simulation.

V-6) Simulation numérique du découpage

Cette simulation est consacrée au découpage de la tôle par l'outil présenté dans le chapitre précédent, sachant que l'étude des éléments et le choix des matériaux qui compose cet outil, assure sa rigidité. Cela permis de prendre lors de la simulation tout les éléments de l'outil comme des pièces rigides « indéformables », et simplifier leurs forme afin de minimiser le temps de calcul.

La forme obtenue après la simplification des éléments de l'outil représenté dans la figure (8-V-) a rendu le mécanisme plus simple, et facilite le choix des paramètres de la simulation.

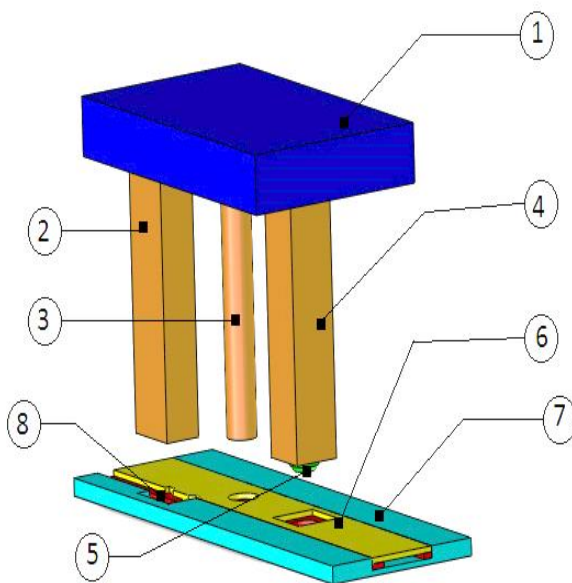
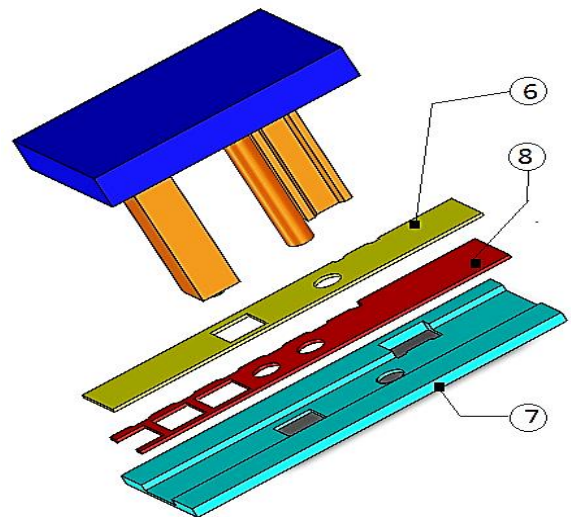


Figure V-8-A) le mécanisme simplifié utilisé dans la simulation



FigureV-8-B) vue éclatée de la figure (V-8-A)

- 1-Le bloque de guidage : il remplace la partie supérieure de l'outil.
- 2-Couteau à décrochement simplifié.
- 3-Poinçon cylindrique simplifié.
- 4-Poinçon de détournage simplifié.
- 5- Centreur de poinçon de détournage simplifié.
- 6- Dêvêisseur simplifié.
- 7- Bloc matrice : il remplace la matrice assemblée avec butée et listel de guidage.
- 8- Plaque de tôle.

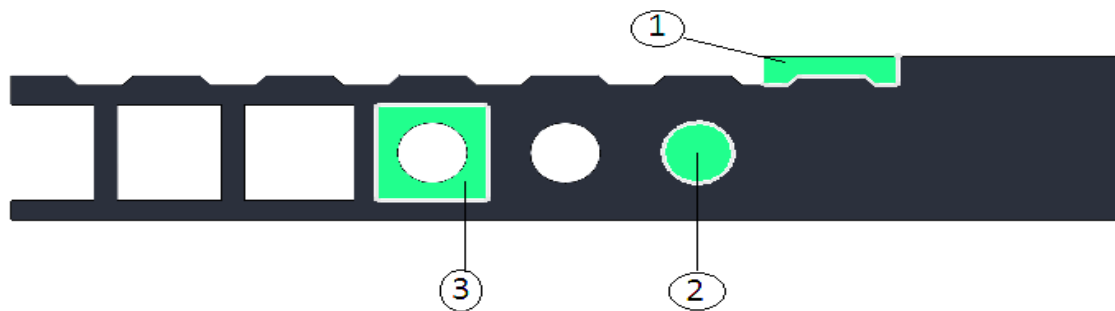


Figure V-9) la forme de la tôle utilisé dans la simulation

Lorsque l'outil est en position de travail, avant qu'il réalise une coupe. La partie de la tôle qui sera entre la matrice et le dêvêisseur est de la forme représentée dans la figure (V-9). Les zones 1, 2 et 3 sont les parties concernées par l'opération de coupe, et le reste de la tôle sert à subir l'effort de dêvétissage.

De ce principe est conçue la forme de tôle utilisée dans la simulation en respectant l'épaisseur ($e = 1\text{mm}$).

V-7) Les étapes de la simulation

La simulation par Abaqus passe par les étapes suivantes :

V-7-1) Création de l'objet

Pour créer un mécanisme pour la simulation dans Abaqus il est nécessaire de créer chaque élément séparément ensuite procéder à l'assemblage de tous les éléments. Dans le cas des éléments de forme compliquée, cette opération prend du temps, en revanche il donne la possibilité d'importer des mécanismes prêts à simuler (avec conditions du contact et les mouvements entre les différentes pièces) à partir de SolidWorks.

En effet, on a créé notre mécanisme à partir de SolidWorks au format **STEP AP214** (*.step ; *.stp)

Sur Abaqus ; on importe le fichier au format .stp comme elle le montre la figure suivante.

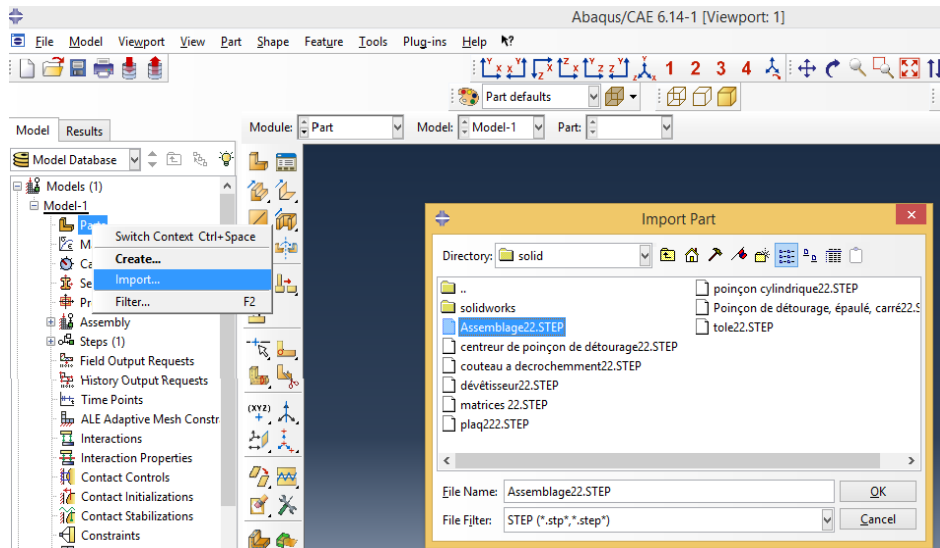


Figure V-10) étape d'importation du mode sur Abaqus.

Une fois cette étape est franchie, le mécanisme sera importé dans Abaqus comme elle le montre la figure suivante (Figure V-11)

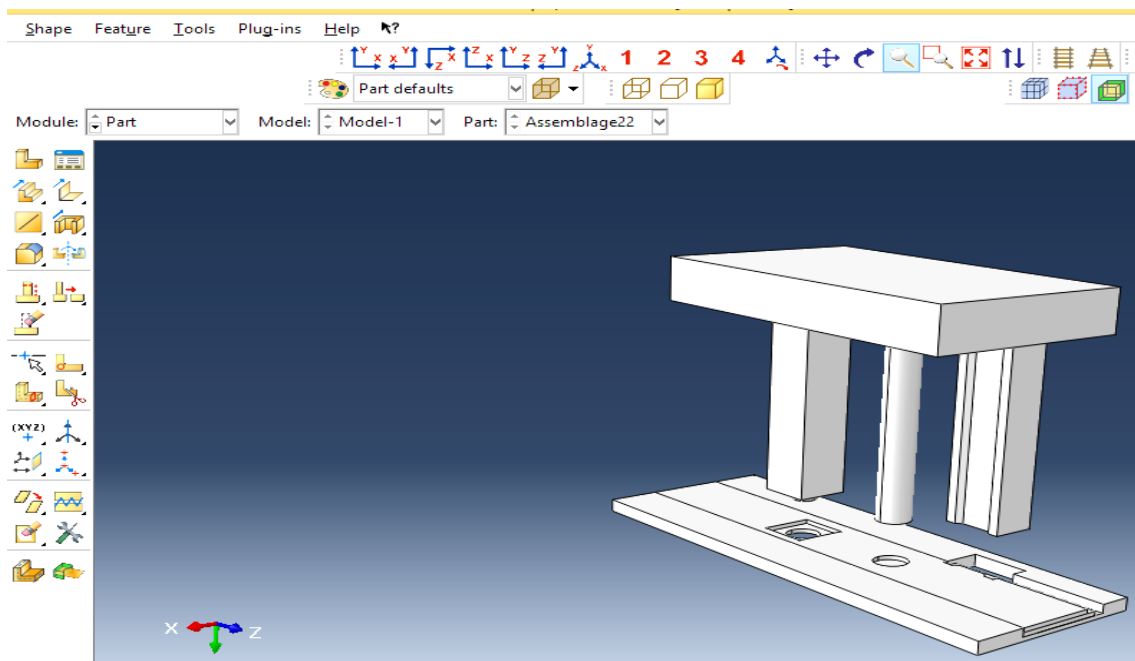


Figure V-11) mécanisme de simulation importé dans ABAQUS

V-7-2) création de matériaux

Pour les éléments de l'outil, les matériaux sont rigide, il reste donc a créé le matériau de la tôle, en lui accordant le comportement obtenu dans les essais précédent. En suivant ces étapes :

1. Double cliques sur Matériaux pour ouvrir Edit Matériel.

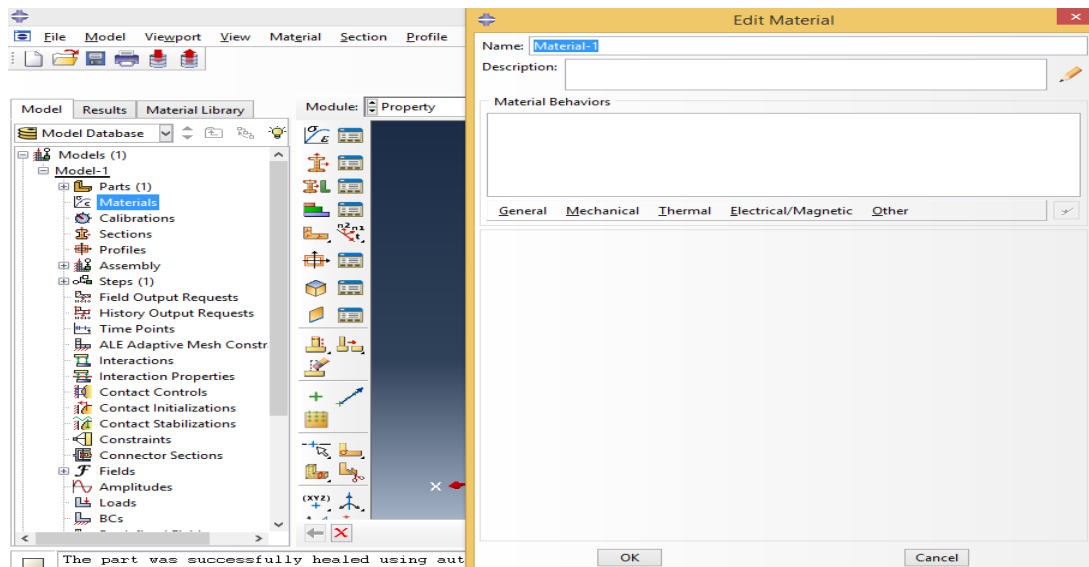


Figure V-12) capture d'écrans pour la fenêtre Edit Matériel

2. En cliquant sur **Mechanical-Elasticité-Elastique** pour insérer le comportement élastique de la tôle et introduire la valeur du module d'Young et le coefficient de poisson.

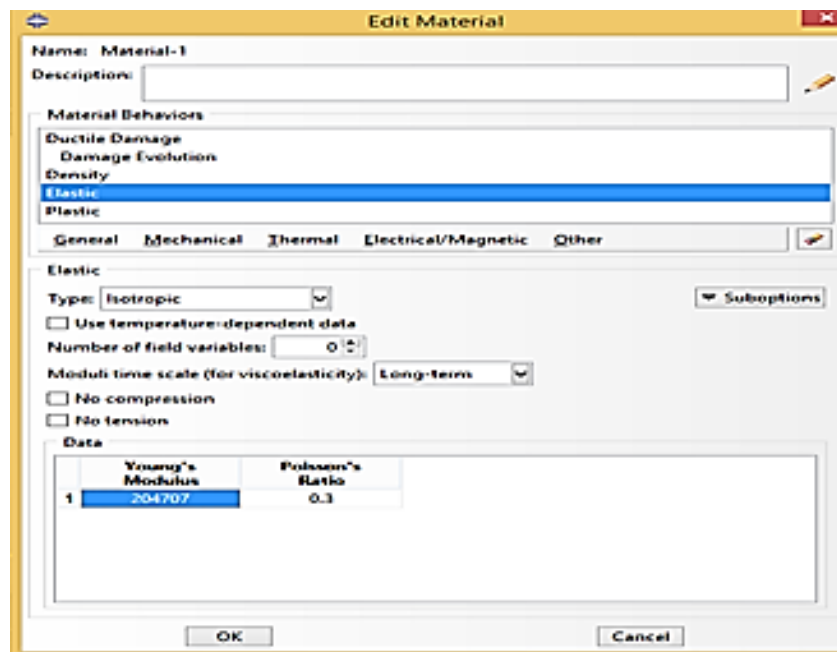


Figure V-13) capture d'écrans pour l'insertion de comportement élastique

3. En cliquant sur Mechanical-plasticity –plastic on insère le comportement plastique de la tôle et introduire les valeurs de contrainte-déformation située entre la valeur R_e (limite d'élasticité) et R_m (Résistance à la traction).

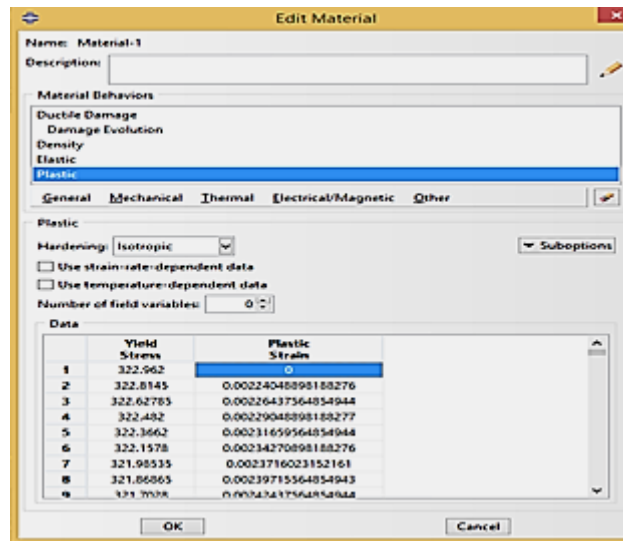


Figure V-14) capture d'écrans pour l'insertion de comportement élastique

4. en cliquant sur Mechanical-damage for ductile metals-ductile manage pour impliquer l'endommagement et en insérant ϵ (l'allongement à la rupture).

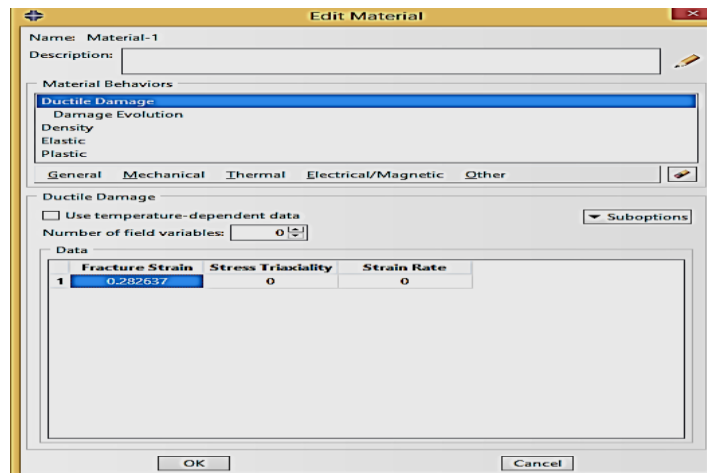


Figure V-15) capture d'écrans pour l'insertion de l'endommagement

5- Cliquant sur **ok**, pour validé la création de matériau. Passant en suite à la création de section ; la section créée doit être solide et homogène et à la fin de cette étape, en clique sur **Section Assignment** pour appliquer et valider le matériau créé sur la section.

V-7-3) Maillage

Avant de procéder au maillage des éléments de mécanisme de la simulation, il est primordial de prendre en compte les points suivants :

- Abaqus c'est un logiciel de calcul par élément fini, ce que signifie que le choix de maillage est une étape très importante.
- Dans Abaqus/Explicit, la taille et la forme des éléments influencent les résultats de la simulation.

- Le nombre des éléments dans notre structure détermine le temps de calcul.
- Dans les formes cylindriques et circulaires la taille des éléments détermine la forme des pièces ce qui influence sur les résultats de la simulation.

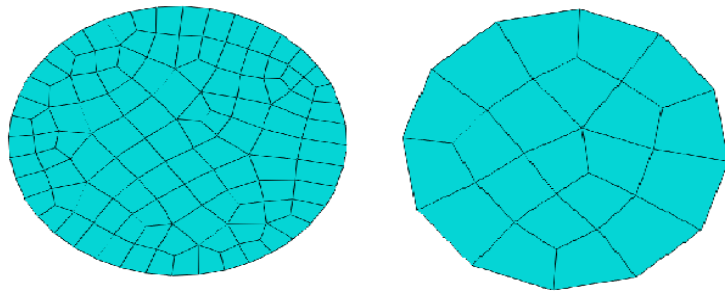


Figure V-16 : l'influence de la taille des éléments sur les formes circulaires

Le maillage de mécanisme est fait en deux parties. En premier lieu, nous avons procédé au maillage des éléments de l'outil tout en basant sur le raffinement des arrêtes circulaires qui rentrent en contact avec la tôle car elles influencent directement la qualité de découpage de la tôle.

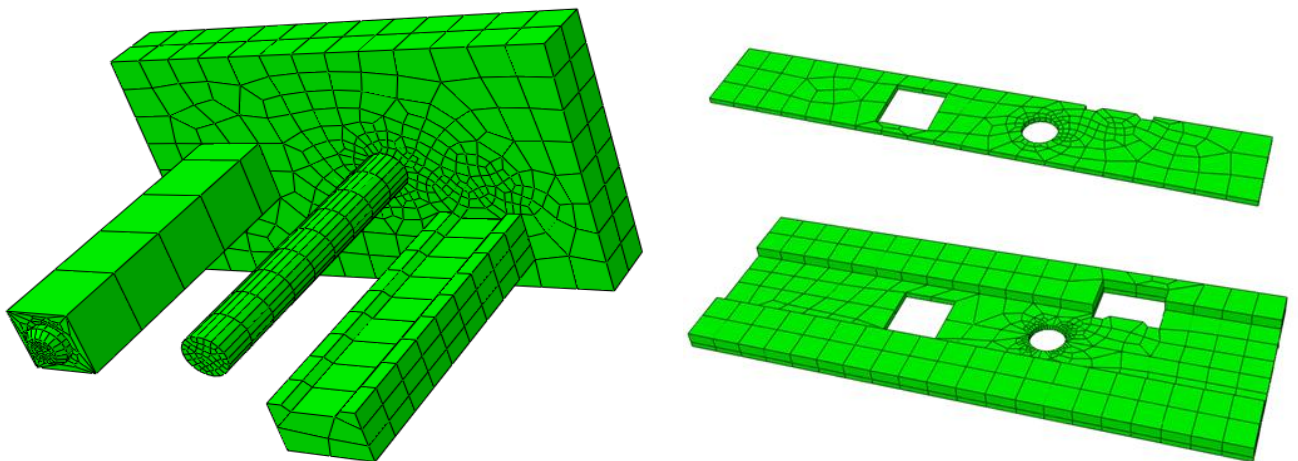


Figure V-17: visualisation de maillage des éléments de l'outil.

En deuxième lieu, nous avons procédé au maillage de la tôle en utilisant la méthode de maillage par partie, qui doit être raffiné au voisinage des zones concernées par le découpage.

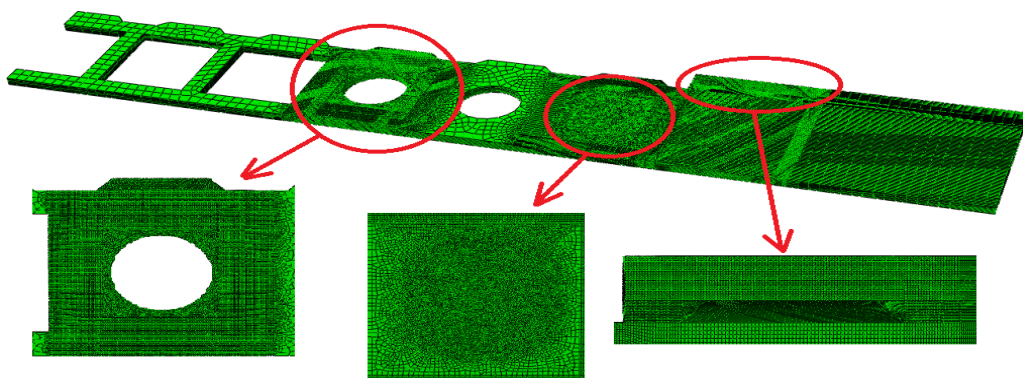


Figure V-18) : visualisation de maillage de la tôle.

V-7-4) Définir les pas d'analyse

Avant d'appliquer les conditions aux limites et les chargements sur le mécanisme, il est nécessaire de définir le pas d'analyse. En Ouvrant **Create Step** (double cliquer sur **Steps**), choisir **Dynamic Explicit**, puis cliquer sur **continuer**.

Lors de la création de pas d'analyse, Abaqus inclut les variables suivantes :

- S (Stress) : contrainte équivalente de Von Mises.
- PE (Plastic strain components): les composantes de la déformation plastique.
- PEEQ (Equivalent plastic strain) : la déformation plastique équivalente.
- DUCTCRT : (Ductil damage criterion) : critère d'endommagement ductile:
- PEMAG (Plastic strain magnitude).
- LE (Logarithmic strain components).
- U (Translations and rotations).
- RF (Reaction forces and moments).
- CF (Concentrated forces and moments).
- CSTRESS (Contact stresses).
- CDISP (Contact Displacements).

Une modification de ces variables est nécessaire, cela s'effectue en cliquant sur **F-Output-1 (Created)**, et la fenêtre **Edit Field Output Request** s'ouvre pour cocher les paramètres suivant : Stresses, Strains, Displacement/velocity/acceleration, Forces/Reactions, Failure/Fracture, Volume/thickness/Coordinates, et State/field/User/Time. Tout de même il faut définir le nombre des visualisations qui seront affichés lors de la simulation.

V-7-5) Appliquer des conditions aux limites et les efforts.

a. Appliquer des conditions aux limites : pour assurer la bonne simulation, chacun des éléments du mécanisme doit assurer ses mouvements.

La tôle sera libre dans toutes les directions.

La matrice sera fixée dans toutes les directions.

Les autres éléments de l'outil seront libres en mouvement vertical et bloqués dans les autres directions.

b. Application des efforts : dans ce travail, il y a deux efforts de nature différente qui seront appliqués sur l'outil. Le premier s'agit de l'effort de dévêtissage ($F_d = 475.93 \text{ N}$) qui s'applique sur le dévêtisseur sous forme d'une charge répartie.

Le deuxième, c'est l'effort de coupe, cet effort doit être appliqué sous forme d'une charge concentrée sur barycentre de l'outil (**Rp**, généré automatiquement par Abaqus). Dans la première simulation l'effort de coupe appliqué c'est l'effort théorique ($F_{th} = 14990.34$

N). Dans la deuxième simulation cet effort sera remplacé par l'effort de coupe appliqué par la machine (**F_m**).

L'effort de coupe appliqué par la machine, c'est l'effort généré par la machine (**F_g = 245200 N**) soustrayant de lui l'effort de dévêtissage (**F_d = 475.93 N**).

$$F_m = F_g - F_d = 245200 - 475.93 = 244\,724.07\text{N}$$

Donc l'effort de coupe appliqué par la machine **F_m = 244 724.07N**.

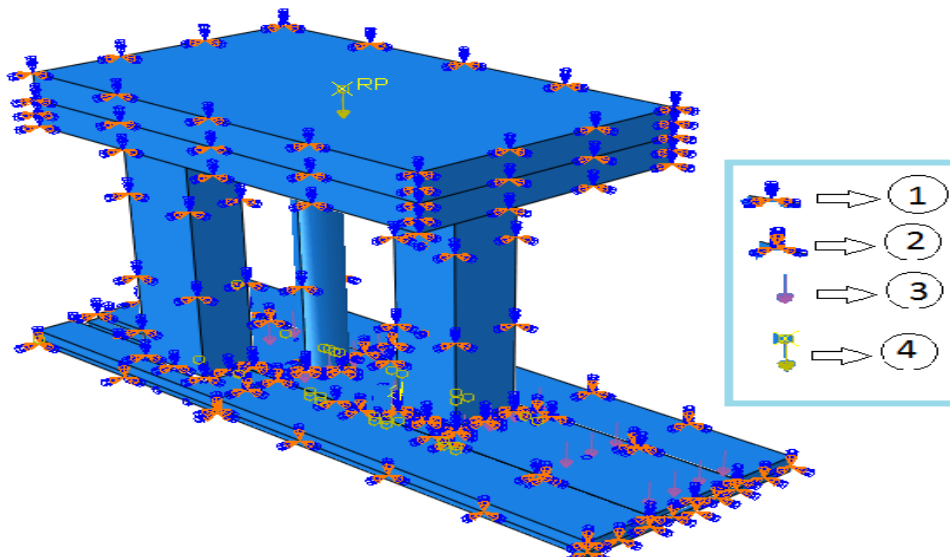


Figure V-19) les conditions limites et les efforts appliqués.

Dans cette figure : -1- représente l'appui double (pour assurer uniquement le déplacement vertical).

-2- représente l'encastrement (pour annuler tout les déplacements).

-3- représente la charge répartie.

-4- représente la charge concentrée.

V-7-6) Créer et soumettre un travail d'analyse

Une fois que tous les paramètres de la première simulation était créées, reste à créer et soumettre le travail:

1. Double cliquer sur **Jobs** pour ouvrir la boîte de dialogue **Create Job** et créer un travail nommé « **déco-effort-théorique** ». Ensuite continuer en cliquant sur **OK** pour valider.
2. Pour soumettre, il faut sélectionner le travail créé « **déco-effort-théor** » et puis cliquer sur **Submit**. ordonne le début de la simulation.
A la fin de cette opération un message qui indique la fin de la simulation va apparaître au-dessous de la fenêtre des rapports Abaqus.
3. pour sauvegarder le travail créé et ses résultats, il suffit de cliquer sur l'icône enregistré dans la barre de tâche abaqus.

Dans la deuxième simulation, après un remplacement de l'effort de coupe théorique par l'effort de coupe appliqué par la machine, la même procédure que la première simulation sera suivie, pour créer et soumettre le deuxième travail nommé « **déco-effort-mach** »

V-7-7) Visualiser les résultats

Pour visualiser les résultats de la première simulation cliquer sur **Jobs** pour ouvrir la boîte de dialogue **Job Manager**, puis sélectionner **déco-effort-théor** et cliquer sur **Results**. La fenêtre de visualisation des résultats s'affiche, en final, une clique sur l'icône **plot Contours on Deformed Shape** et les résultats de simulation s'affiche.

Pour pouvoir bien visualiser les résultats et étudier ce que se passe lors de la simulation de découpage, Abaqus donne une possibilité de cacher les éléments de l'outil et de revenir pour voir la simulation par détail.

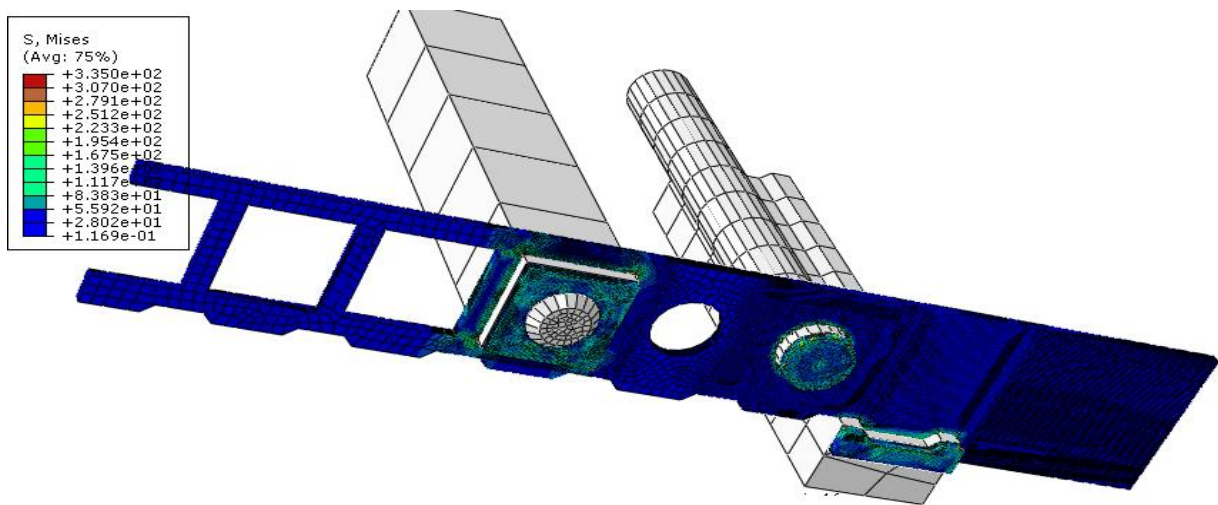


Figure v-20) le découpage simulé avec l'effort théorique

Pour visualiser les résultats de la deuxième simulation, sélectionner **déco-effort-mach** au lieu de **déco-effort-théor** et après continuer en utilisant les mêmes étapes que la première simulation.

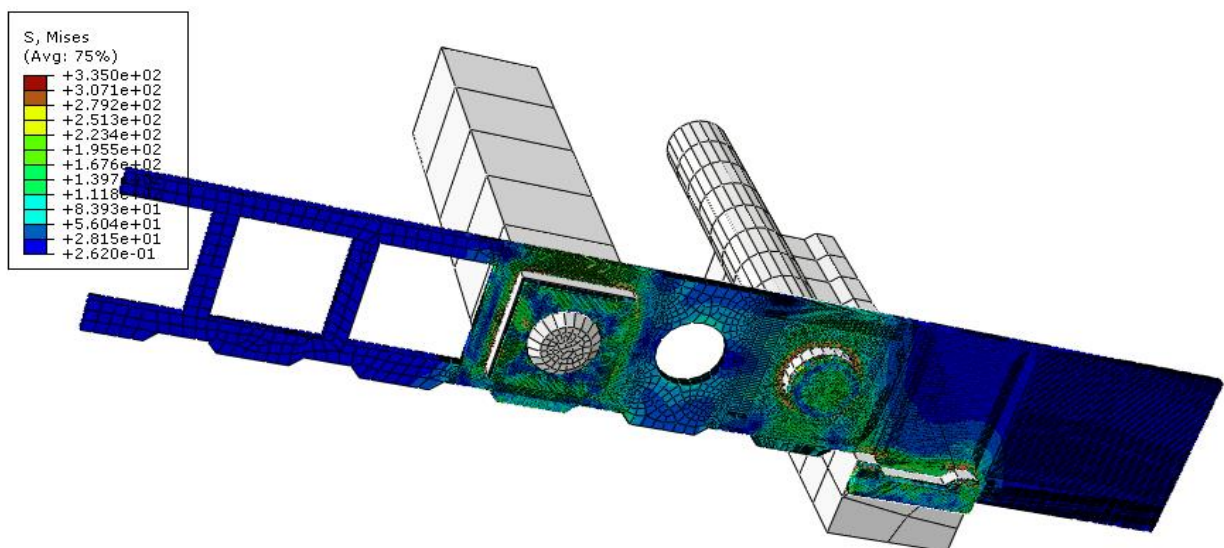
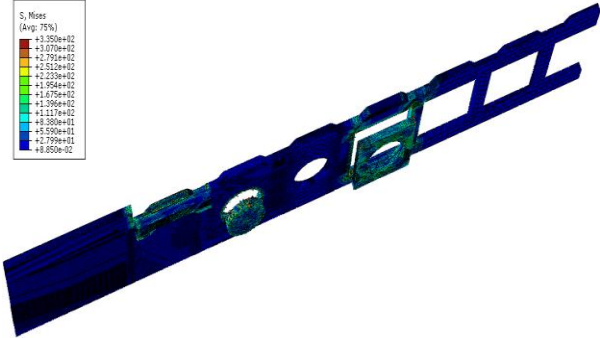
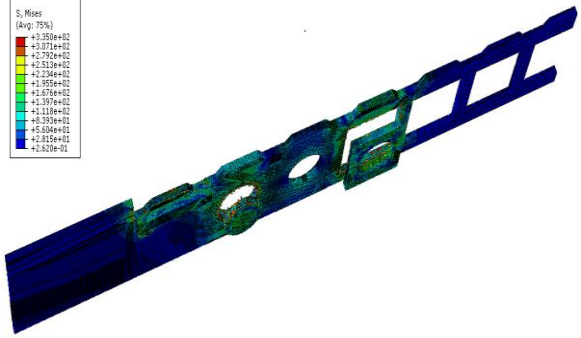
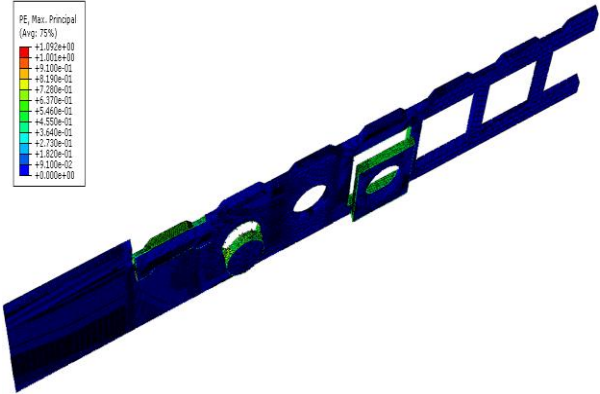
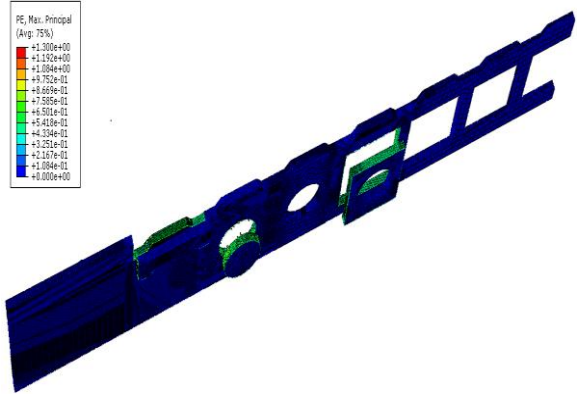
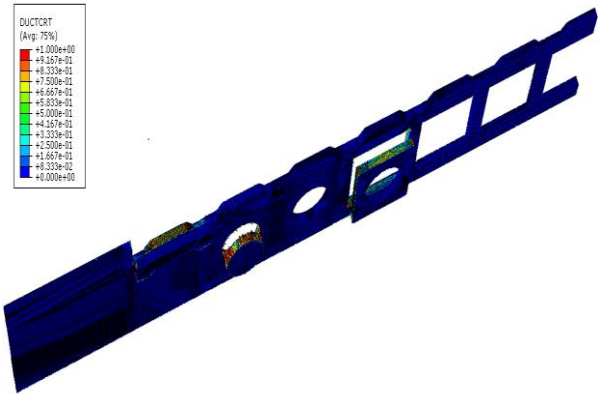
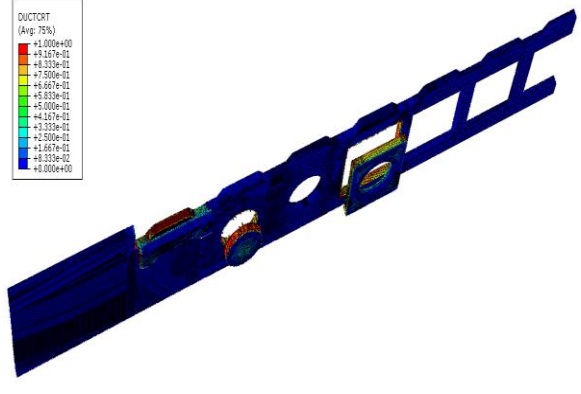


Figure V-21) le découpage simulé avec l'effort machine

V-8) Comparaison des résultats des deux simulations.

Pour bien comparer les résultats des deux simulations plusieurs comparaison ont été faite :

	La simulation avec l'effort théorique	La simulation avec l'effort machine
S	<div><p>(V-22-a)</p></div>	<div><p>(V-22-b)</p></div>
Figure V-22-) Comparaison des résultats des contraintes équivalentes de Von Mises.		
P E	<div><p>(V-23-a)</p></div>	<div><p>(V-23-b)</p></div>
Figure V-23-) Comparaison des résultats des composantes de la déformation plastique		
D U C T I L I T É	<div><p>(V-24-a)</p></div>	<div><p>(V-24-b)</p></div>
Figure V-24-) Comparaison des résultats des critères des endommagements ductile		

La figure V-22 montre la distribution de la contrainte équivalente de Von Mises (**S**). On voit que dans le cas de la première simulation (figure V-22-a) cette contrainte équivalente se situe dans les zones de contact des poinçons et le Couteau à décrochement avec la tôle (les zones découpée) en touchant un peu l'entourage de ces zones.

Dans la deuxième simulation (figure V-22-b) la contrainte équivalente s'est propagée d'une manière agressive sur des zones très importantes de la tôle, cela explique que dans la deuxième simulation la tôle a subi un choc très important ce qui peut créer des fissures dans la tôle.

La figure (V-23) montre les composantes de la déformation plastique, dans les deux simulations, c'est uniquement les éléments situés dans les surfaces de cisaillement qui sont touchés par cette déformation plastique.

La figure (24) montre l'endommagement ductile (**Ductrt**) ; On voit que Dans la première simulation (figure 24-a) mise à part les surfaces de cisaillement il y a aucune trace pour l'endommagement sur la tôle, dans la deuxième simulation (figure 24-b) on voit que l'endommagement apparaît sur les surfaces de cisaillement, et sur les surfaces découpées d'une manière légère.

La figure (V-25) montre une notre vue **Ductrt** qui permette l'apparition de l'endommagement ductile sur la tôle, la figure (25-a) obtenue dans la première simulation et la figure (V-25-b) obtenue dans la deuxième simulation.

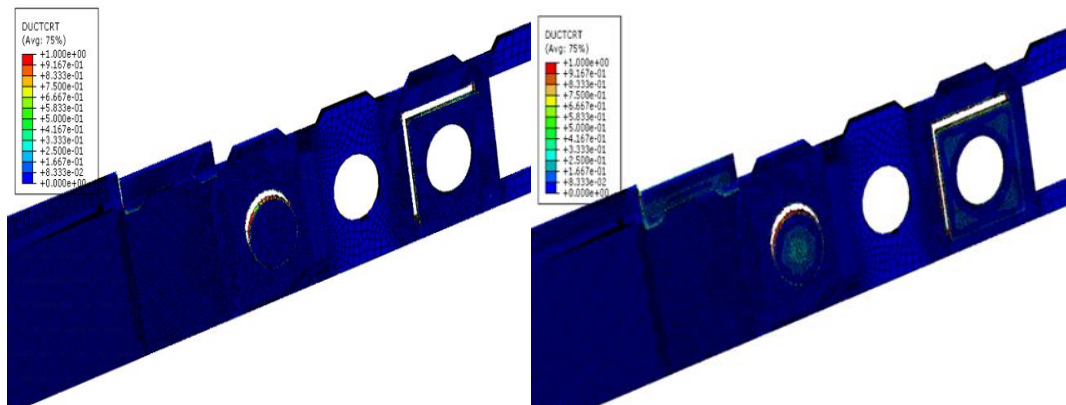


Figure V-25-a) Vue zoomer de la 1^{ère} simulation.

Figure V-25-b) Vue zoomer de la 2^{ème} simulation.

D'après la comparaison nous remarquons que le découpage avec l'effort machine influence la qualité de pièces obtenues. Cette influence se présente sous forme des faibles endommagements qui peuvent être des fissures microscopiques ou bien des légères déformations géométrique.

Conclusion :

La simulation numérique en 3D du découpage des tôles est un problème difficile à traiter en raison d'une part de la complexité d'établir les conditions et les paramètres de coupe et leur application dans la simulation, d'autre part de la complexité de faire le maillage de la tôle.

Les deux simulations ont montré que la différence entre l'effort théorique et l'effort appliqué par la machine influence la qualité des pièces produites par notre outil, mais ça n'empêche pas l'utilisation de la machine proposé par l'entreprise car la pièce obtenue dans cette procédé ne seront pas sollicitées aux efforts importants dans leurs emplacement.

De toute cette étude, nous pouvons dire que le modèle de calcul par éléments finis est un outil industriel robuste et fiable, permettant de traiter d'une façon générale les problèmes de découpage des métaux avec la prise en compte des phénomènes d'endommagement et de rupture. Il est alors possible, d'étudier l'influence des différents paramètres de découpe sur la qualité géométrique et mécanique des produits finaux.

Conclusion générale

Conclusion générale

Après avoir effectuée un stage pratique au sein de l'entreprise Electro-industries, EI ex ENEL, qui est une expérience bénéfique pour nous, nous avons découvert que le procédé de fabrication des pièces en tôlerie dans l'industrie est connu depuis longtemps, et qui ne cesse de se développer au fil des dernières années, parce que sa nécessité est toujours croissante. Il s'agit généralement de procédés simples à mettre en place, comme il permet d'obtenir un produit en grande série et à des prix de revient acceptables, l'inconvénient de ce procédé, ce que la précision des pièces obtenues ayant les cotes peu constantes, et cela dépend de plusieurs paramètres.

Étude de deux outils est faite de manière à faciliter la réalisation et la maintenance et assurer une longue durée de vie avec un bas prix de revient.

À l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (SolidWorks), qui nous a permis d'avoir les caractéristiques dimensionnelles et géométriques de différentes composantes de deux outils, ce logiciel nous a aidé à concevoir ses deux outils de manière à être fiable, précis et rentable. On a aussi parachevé notre travail par des dessins de définitions et d'un dessin d'ensemble des différents organes de deux outils, pour permettre une meilleure illustration de son fonctionnement.

D'après les résultats de la simulation, la machine peut être utilisée malgré son influence sur la qualité de produit final (pièces à réaliser). Car cette influence qui se présente sous forme des faibles endommagements (des fissures microscopiques et légères déformations) n'empêche pas la pièce à assurer son rôle.

Finalement, espérons bien que ce travail apportera une aide à l'entreprise Electro-industries, EI ex ENEL, et servira comme guide aux étudiants (es) de département génie mécanique.

Références BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Documentation de l'entreprise
- [2] HADADOU LOUNES Mémoire de fin d'étude master 2, étude et conception d'un outil à bande Pour la réalisation d'une rondelle de fixation de vitre intérieure d'un four de cuisinière, UMMTO 2015-2016
- [3] mécanique RDM Résistance passive, statistique graphique, cinématique appliquée, 2^{ème} partie février 1985 RENE BASQUIN.
- [4] D. Adem et M.BABACI, étude et conception d'un outil de découpage d'une rondelle plate pour un déflecteur U.T.R n°950.00.004 2003 /2004.
- [5] HADADOU YOUNES, mémoire fin d'étude master 2, étude et conception d'un outil à bande pour réalisation d'une rondelle de fixation De vitre intérieure pour de cuisinière E.N.I.E.M.
- [6] R.Quatreme, << déformation plastique des tôles >> édition DELAGRAVE 1981.
- [7] HADDADOU MAHDI .AICHOUN MOHAMMED, mémoire de master 2 en construction Étude et conception de deux outils de découpage –poinçonnage et de pliage pour clapet air bruler.
- [8] bureau international du travail « La protection des ouvriers travaillant aux presses à métaux
- [9] www.vanel.com accéder le 10-10-2016.
- [10] Emboutissage de la tôle, Technique d'ingénieur. Alain col
- [11] TALEB. MOURAD. Mémoire fin d'étude master 2, Simulation Numérique Du pliage Des Tôles minces.