

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : CONSTRUCTION MÉCANIQUE

PAR :

TOUATI BILAL

AZIL MEROUANE

Thème

**METHODOLOGIE DE FABRICATION DES SPIRES
D'UNE VIS D'ARCHIMEDE PAR EMBOUTISSAGE.**

Soutenu le 28/06/2018 devant le jury composé de:

Mlle. HIMED. L.

Presidente.

Mr. HAMRI. O.

Rapporteur.

Mlle .ADJOUADIL.

Examinatrice.

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2017-2018

DEDICACES

Je dédiés ce travail à :

Ma mère, sources de tendresse et d'amours pour son soutien tout le long de ma vie scolaire.

Mon père, qui m'a toujours soutenu et qui a fait tout possible pour m'aider.

Mes frères et leurs petites familles et mes sœurs, que j'aime beaucoup.

A ma grande famille TOUATI.

A ma chérie (Sabrina) pour son soutien.

Mes chers amis (Issam, Sabri, Mouloud, Lounes, Sofiane, Walid, Merouane, Fahem, Ilyes, Hamza, Kheiradine), et Les enseignants de mon parcours universitaire.

Tout qu'on collaboré de prés ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Que dieu vous accorde santé et prospérité.

Touati Bilal.

DEDICACES

**A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices,
leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs
prières tout au long de mes études,**

**A mes chères sœurs pour leurs encouragements
permanents, et leur soutien moral,**

**A mon cher frère pour son appui et son
encouragement,**

**A toute ma famille pour leur soutien tout au long
de mon parcours universitaire,**

A ma chérie (ziza) pour son soutien.

***Mes chers amis (Rahim, Elhadi, Mouloud, alla dine,
Sofiane, amir, Bilal, Fahem, Ilyes, amine, Kheiradine),
et l'association TAFATH Irayhen.***

***Tout qu'on collaboré de près ou de loin à l'élaboration
de ce travail.***

**Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux
tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,**

Merci d'être toujours là pour moi.

AZIL MEROUANE

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr : HAMRI.O, son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

AZIL ET TOUATI.

SYMBOLES MATHÉMATIQUES UTILISÉS

- Q : débit (m^3/h).
- D : Diamètre nominal de la spire(m).
- B : pas de la spire(m).
- N : vitesse de rotation (tr/min).
- K : rendement du débit transporté par la vis.
- V : vitesse d'écoulement du produit (ms^{-1}) .
- M_{max} : Résistance mécanique de l'arbre à la torsion
- M_{max} couple maximal pouvant être transmis par un moteur à la vis (N.m).
- P_{max} : Puissance maximale du moteur(W).
- Max: Vitesse maximale de rotation de l'arbre (tr.mn^{-1}).
- τ_t : La contrainte de cisaillement (en N/mm^2).
- W_p : Module de torsion (mm^3).
- I_0 : moment quadratique polaire (mm^2).
- ρ : Rayon de l'arbre (mm).
- d_{ext} : diamètre extérieur de l'arbre (mm).
- d_{int} : Diamètre intérieur de l'arbre (mm).
- F_r : Calcul de la force radiale qui agit sur la vis (N).
- S_h : la section de l'hélice (mm^2).
- S_a : la section de l'arbre (mm^2).
- m_h : la masse de l'hélice (kg).

TABLE DES MATIERES

Introduction generale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LA VIS D'ARCHIMEDE

I.1.Introduction	2
I.2.Constitution et principe de fonctionnement.....	3
I.2.1.Vis d'Archimède avec âme	3
I.2.2.Vis d'Archimède sans âme	4
I.3.Cinématique d'une vis d'Archimède.....	4
I.3.1.Hélice circulaire de la vis.....	4
I.4.Variantes et adaptation de la vis suivant les secteurs d'application	5
I.4.1.Variantes de la vis d'Archimède.....	5
I.4.1.1.Vis d'Archimède horizontale	5
I.4.1.2.Vis inclinées	7
I.4.1.3.Vis vertical	7
I.4.2. Adaptation de la vis suivant les secteurs d'application	8
I.4.2.1.Mélangeur a vis	8
I.4.2.2. Vis d'extraction à sacs.....	9
I.4.2.3. Echangeur thermique a vis d'Archimède.....	9
I.4.2.4. Machine élévatoires simples à vis d'Archimède.....	10
I.3.2.5. Doseur a vis	11
I.4.2.6 Forage a vis d'Archimède (tarière continue).....	11
I.5.Dessins de fabrication des engrenages à vis sans fin.....	12
I.6.Conclusion	14

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE II : PROCEDE DE FABRICATION D'UNE VIS PAR EMBOUTISSAGE

II.1.Introduction	15
II.2.Généralités sur la mise en forme des métaux	15
II.3.Généralités de l'emboutissage industriel.....	22
II.3.1. Définitions	22
II.3.1.1 Modes d'emboutissage	23
II.3.1.1.1.L'expansion :	23
II.3.1.1.2.Le rétreint :	23
II.3.2 L'emboutissage en température.....	24
II.3.2.1 L'emboutissage à froid	24
II.3.2.2 L'emboutissage à chaud.....	25
II.3.3.Matériaux et formes d'emboutis.....	26
II.3.3.1 Comportement du matériau lors de l'opération d'emboutissage	26
II.3.3.1.1.Les aciers :	29
II.3.3.1.2.Les alliages non ferreux :	30
II.3.3.2 Formes des pièces emboutis.....	30
II.3.3.2.1.Forme cylindrique :	31
II.3.3.2.2.Forme conique :	31
II.3.3.2.3.Forme demi sphérique :	31
II.3.3.2.4.Forme rectangulaire :	32
II.4.Caractérisation en emboutissage	33
II.4.1.Mesure de déformations en emboutissage.....	33
II.4.1.1. Principe et analyse des déformations	33
II.4.1.2.Courbes limites de formage	34
II.4.1.3 .Mesure des déformations	35
II.4.1.4. Les modes de déformations	39

TABLE DES MATIERES

II.4.2.Essais d'emboutissage.....	40
II.4.2.1.Essais d'expansion Bi axiale.....	41
II.4.2.2. Essais de rétreint	41
II.4.2.3. Essais mixtes	42
II.4.3.Aspects métallurgiques d'emboutissage.....	43
II.4.3.1.Prise en compte de directions de laminage	43
II.4.3.2.Validité de ces critères	45
II.4.4. Aspects opératoires.....	45
II.4.4.1. Paramètres liés à la presse.....	46
II.4.4.1.1.Le jeu entre le poinçon et la matrice :	46
II.4.4.1.2.Le rayon sur la matrice :	47
II.4.4.1.3.Arrondi sur le poinçon :	48
II.4.4.1.5.La pression du serre-flan :	48
II.4.4.1.6.L'effort d'emboutissage :	49
II.4.4.2 Paramètres liés à la tôle.....	49
II.4.4.2.1.La taille du flan :	49
II.4.4.2.2.La lubrification :	50
II.5. Formage incrémental des tôles	51
II.6.Conclusion.....	54

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE III : METHODOLOGIE DE FABRICATION DE LA SPIRE D'UNE VIS D'ARCHIMEDE ET DIMENSIONNEMENT PAR SOLIDWORKS

III.1. Introduction.....	55
III.2. Vis d'Archimède avec âme	55
III.3. L'Hélice	56
III.3.1 Définition	56
III.3.2. Longueur de l'hélice	57
III.3.3. Longueur d'une spire d'hélice.....	58
III.3.4. Longueur de plusieurs spires d'hélice	59
III.3.4.1. Deux spires sur deux cylindres	59
III.3.4.2. Deux spires sur un seul cylindre.....	60
III.3.4.3. Plusieurs spires sur un cylindre	61
III.4. Les spires embouties	62
III.5. Gammes et tolérances de fabrication	63
III.6. Les spires en filet continu	64
III.6.1. Tolérances de fabrication	64
III.7. La fabrication des spires avec des disques.....	65
III.8. Fabrication des spires d'une vis d'Archimède par des disques	66
III.8.1 Les étapes de la fabrication	66
III.8.2. Le matériel nécessaire	66
III.9. Dimensionnement des spires par SOLIDWORKS	67
III.9.1. Dimensionnement de disque :	67
III.9.2. Dimensionnement de l'arbre de la vis.....	68
III.9.3. Dimensionnement des spires embouties	69
III.9.4. Dimensionnement de la vis d'Archimède :	70
III.10. Conclusion	70

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE IV : ELEMENT DE CALCUL ET DIMENSIONNEMENT

IV.1. Introduction.....	71
IV.2. Géométrie	71
IV.3. Profondeur et largeur du chenal	71
IV.4. Le pas de la vis	72
IV.5. L'angle d'inclinaison du filet	72
IV.6. Longueur des spires (hélice).....	73
IV.7. Longueur de la vis d'Archimède	73
IV.8. Vitesse de rotations de la vis	73
IV.9. Calcul de débit Q (m ³ /h).....	74
IV.10. Resistance mécanique de l'arbre a la torsion.....	75
IV.11. L'effort de l'emboutissage :.....	77
IV.12. La pression du serre-flan :.....	77
IV.13. Conclusion	77

CHAPITRE V : APPLICATIONS

V.1.Introduction.....	78
V.2. Cahier des charges	78
V.2.1. Détermination des différents paramètres.....	78
V.2.2. Matériau utilisé.....	78
V.2.3. Applications numériques sur les lois de la vis	79
V.2.3.1. Calcul de L :(longueur de la vis)	79
V.2.3.2. Calcul de H : (la profondeur du chenal)	79
V.2.3.3. Calcul de θ : (l'angle d'inclinaison du filet).....	79
V.2.3.4. Calcul de W: (largeur du chenal).....	79
V.2.3.5. Calcul de Z : (longueur déroulée d'un tour d'hélice)	80
V.2.3.6. Calcul de N (la vitesse de rotation de la vis) à partir du débit.....	80

TABLE DES MATIERES

V.2.3.7.Calcul du diamètre intérieur de l'arbre	80
V.2.3.8. Résistance mécanique de l'arbre à la torsion.....	81
V.2.3.8.1. Calcul de la force radiale qui agit sur la vis.....	82
V.2.3.9. Calcul du poids total de la vis.....	82
V.2.3.10. Résistance de l'arbre à la compression.....	83
V.2.3.11. Résistance de l'arbre à la flexion.....	84
V.2.3.11.1 Calcul des réactions aux appuis	84
V.2.3.11.1.1.Calcul de l'effort tranchant.....	85
V.2.3.11.1.2.Calcul du moment fléchissant	86
V.2.3.12. Résistance de l'hélice au cisaillement	89
V.3.Conclusion	91
CONCLUSION GENERALE.....	92
BIBLIOGRAPHIE.....	93

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1 : vis d'Archimède avec âme.....	3
Figure I.2 : vis d'Archimède sans âme.	4
Figure I.3: hélice circulaire.....	5
Figure I.4: Forme principale des spires.....	7
Figure I.5: les mélangeurs à vis	8
Figure I.6: coupe d'une vis d'extraction à sacs.....	9
Figure I.7 : échangeur thermique à vis d'Archimède a double rotor	10
Figure I.8: machine élévatoire à vis d'Archimède.....	10
Figure I.9 : système Auger.....	11
Figure I.10: tarière continue.....	12
Figure I.11: Dessin de fabrication d'une vis sans fin	13
Figure I.12 : Dessin de fabrication d'une roue d'engrenage à vis	13

Chapitre II

Figure II.1 : Principaux procédés de mise en forme des matériaux métalliques.	16
Figure II.2: Procédé d'emboutissage	17
Figure II.3 : Procédé d'emboutissage avec freinage de la tôle sous serre-flan.	17
Figure II.4. Retour élastique	18
Figure II.5 : l'emboutissage d'aile d'une voiture.....	19
Figure II.6 : Ligne de presses d'emboutissage.....	19
Figure II.7 : statistique industriel sur l'emboutissage en 2004	20
Figure II.8 : Emboutissage par expansion et profond avec rétreint.	23
Figure II.9 : Modes de déformation dans le repère des déformations principales majeure et mineure.....	26
Figure II.10: Emboutissage en expansion pure type Erichsen.	27
Figure II.11 : le repère de déformation sur un embouti.	28
Figure II.12 : Plissement dans la partie libre de l'embouti.	29

LISTE DES FIGURES

Tableau 1. Caractéristiques des différentes catégories de tôles.....	29
Figure II.13: Emboutissage renversé.....	31
Figure II.14. Emboutissage de pièce demi sphérique.....	32
Figure II.15 : Emboutis rectangulaires.....	33
Figure II.16 : Courbes limites de formage : X6Cr17.....	35
Figure II.17 : Différentes nature de grille de déformation.....	36
Figure II.18: Exemple de grille déformée.....	37
Figure II.19 : Mesure par méthode optique GOM.....	38
Figure II.20 : Résultats obtenus par GOM.....	39
Figure II.21 : Principaux modes de déformation en emboutissage illustrés par des emboutis servant à des essais de caractérisation.....	41
Figure II.22 : Essai Swift.....	42
Figure II.23 : Essai Fukui et rupture caractéristique.....	43
Figure II.24: Hauteur relative des cornes.....	45
Figure II.25 : Variation de l'arrondi sur la matrice.....	48
Figure II.26 : Ajout de 2 à 3 mm pour détournage.....	51
Figure II.27 : Équipement expérimental.....	52
Figure II.28: Formage incrémental d'un cône.....	53
Figure II.29 : Poinçon.....	54
Figure II.30 : Pièce en aluminium obtenue par le formage incrémental.....	55

Chapitre III

Figure III.1 : vis d'Archimède avec âme.....	55
Figure III.2 : vis d'Archimède avec auge.....	56
Figure III.3 : hélice.....	57
Figure III.4 : Développement du cylindre.....	58
Figure III.5 : Une spire sur un cylindre.....	59
Figure III.6 : longueur de deux spires sur deux cylindres.....	60

LISTE DES FIGURES

Figure III.7 : longueur de deux spires sur un seul cylindre	61
Figure III.8 : Courbe pour L (verte) et son approximation (rouge)	62
Figure III.9 : spires embouties	63
Figure III.10 : le dimensionnement géométrique d'une spire. [18]	64
Figure III.11 : spires en filet continu.	64
Figure III.12 : tolérance d'une coupe de filet.	65
Figure III.13 : spires par disques.....	65
Figure III.14 : dimensionnement de disque par SOLIDWORKS	67
Figure III.15 : dimensionnement de l'arbre de la vis par SOLIDWORKS.	68
Figure III.16 : dimensionnement des spires embouties par SOLIDWORKS	69
Figure III.17 : dimensionnement de la vis d'Archimède réalisée par SOLIDWORKS	70

Chapitre IV

Figure IV.1 : Géométrie de la vis avec âme.....	71
Figure IV.2 : schéma de démonstration de l'angle du filet.....	72

Chapitre V

Figure V.1 : Diagramme des efforts tranchants des moments fléchissant.....	87
--	----

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des différentes catégories de tôles.....	29
Tableau 2 : les dimensions normalisé emprunté à la série de RENARD.....	72
Tableau 3 : tableau récapitulatif des éléments principaux de la vis.....	91

INTRODUCTION GENERALE

À l'époque de néolithique et au siècle de bronze est déjà apparue la roue, quelque temps après dans la vie pratique on utilise le plan incliné et le levier pour produire des travaux de levage et de manutention des quantités énormes de matériaux.

Les premières pyramides égyptiennes étaient bâties à peu près il y a 3000 ans avant notre ère. Toutes les civilisations anciennes : babyloniennes, chinoises, hindou, égyptiennes grecque, nous ont laissés des témoignages qui peuvent qu'elles connaissaient bien les constructions des mécanismes primitif de levage et de manutention des charges et s'en servaient pour les besoins.

L'invention de la vis d'Archimède est liée avec le nom d'Archimède brillant théoricien (savant grecque vers 278-212 av J-C) la vis sans fin était utilisée pour des levages et déplacements des différents matières, sous forme liquide, grains et poudre.

Tous les savants antiques de la mécanique ; Archimède, Aristote, Héron, Vitruve ont consacré leur travaux de recherche en générale aux machines de levage.

La vis d'Archimède devient plus en plus célèbre dans l'industrie. Et pour ce la on utilise le procédé d'emboutissage car c'est un bon procédé au point économique et aussi fiable et aide à avoir des dimensionnement de la vis plus précise et durable

Dans notre étude, on a intéressé particulièrement à l'étude de la vis d'Archimède et nous avons aussi présenté des applications de cette dernière dans le 1^{er} chapitre. Le procédé d'emboutissage est exposé au 2^{ème} chapitre, la méthode de fabrication des spires par emboutissage et généralité sur l'hélice et aussi le dimensionnement de la vis d'Archimède par SOLID WORKS dans le 3^{ème} chapitre. Dans le 4^{ème} chapitre nous avons fait le dimensionnement et les méthodes de calcul. En fin, une application à partir d'un cahier de charges est faite dans le 5^{ème} chapitre.

Chapitre I

Généralités sur la vis d'Archimède

I.1.Introduction

La vis d'Archimède, parfois aussi nommée escargot, voire abusivement appelée vis sans fin, est un dispositif qu'Archimède aurait mis au point lors d'un voyage en Égypte, permettant aux habitants du bord du Nil d'arroser leurs terrains. La tradition d'attribuer cette invention à Archimède peut seulement refléter que ce dispositif était connu chez les Grecs à l'époque hellénistique et qu'il a été introduit au IIIe siècle av. J.-C. par des ingénieurs grecs non connus, bien que certains auteurs ont suggéré qu'il était déjà en usage en Assyrie 350 ans avant, notamment pour alimenter en eau les jardins suspendus de Babylone. Léonard de Vinci s'en est inspiré pour sa vis aérienne.

Bien que proche des vis de fixation par le nom et l'apparence, son mode de fonctionnement la classe dans la famille des hélices. Il faut distinguer la vis d'Archimède d'origine, qui est un système de pompage de liquide, et les systèmes ayant un rotor qui permettent de transférer des solides ou d'impulser un mouvement à un liquide. Le premier type de vis d'Archimède est une machine élévatoire fonctionnant à pression atmosphérique. On la trouve généralement en entrée de station d'épuration ou dans des postes de drainage de terres agricoles (par exemple dans le nord de la France dans les wateringues). C'est la forme spécifique du rotor qui fait que le liquide remonte le long de la vis. Physiquement les paramètres majeurs d'influence sont le diamètre extérieur, le pas des spires, le nombre de spires, l'angle d'inclinaison et la vitesse de rotation. À débit équivalent, la section de passage d'une vis d'Archimède est supérieure à celle des pompes centrifuges. C'est pour cela qu'on la trouve généralement dans les réseaux d'assainissement.

Certains véhicules spécifiques (sur neige et sur sable, entre autres) sont équipés d'un système de propulsion utilisant ce type de vis. Les vis y sont généralement installées en paire, l'une tournant en sens inverse de l'autre [17]

I.2. Constitution et principe de fonctionnement**I.2.1. Vis d'Archimède avec âme**

La vis d'Archimède se compose d'une auger métallique à fond cylindrique, à l'intérieur de laquelle tourne une vis sans fin (figure I.1). Cette vis comporte des spires fixées sur un axe central, plein ou creux, c'est l'élément moteur.

Le produit introduit dans l'appareil est entraîné sur le fond de l'auger, il progresse de la valeur d'un pas à chaque tour de la vis sans fin et se déverse à l'extrémité de l'auger par une ouverture aménagée sur le fond.

Les deux valeurs associées, diamètre et pas, concernent les spires d'une vis d'Archimède. Ils constituent un standard d'appareils équipés de vis sans fin à pas constant. Ils fonctionnent en position horizontale et sont alimentés de façon régulière et continue « alimentation dosée ».



Figure I.1 : vis d'Archimède avec âme.

I.2.2. Vis d'Archimède sans âme

Constitués d'un filet de vis d'Archimède reposant sur un fond d'usures, ce convoyeur permet le transport de produit voutant et granulométries variées sur de longues distances.

Les domaines d'applications de produit : particulièrement, il est adapté pour le convoyage des boues, de produits visqueux et déchets hétérogènes.



Figure I.2 : vis d'Archimède sans âme.

I.3. Cinématique d'une vis d'Archimède

La vis d'Archimède est constitué en fais, par deux cylindres coaxiaux réunis Par une surface hélicoïde a cône directeur, c'est-a-dire une surface réglée dont la génératrice passe par l'axe commun des deux cylindres, fait avec lui un angle constant et s'appuie sur deux hélices de même pas.

I.3.1. Hélice circulaire de la vis

D'après les techniques de l'ingénieur : [1]

C'est une courbe définie par ses coordonnées paramétrique :

$$\vec{OM} = [x, y, z]_{R0}$$

$$x = a \cos t ; y = a \sin t ; z = bt$$

a : c'est le rayon de cylindre.

b : c'est une constante.

Lorsque t augmente de $2n$, x et y reprennent la même valeur et z augmente de :

$$B = 2nb$$

B est le pas de spires. Il y a des hélices droite (figure 3a) et hélices gauches (figure 3b).

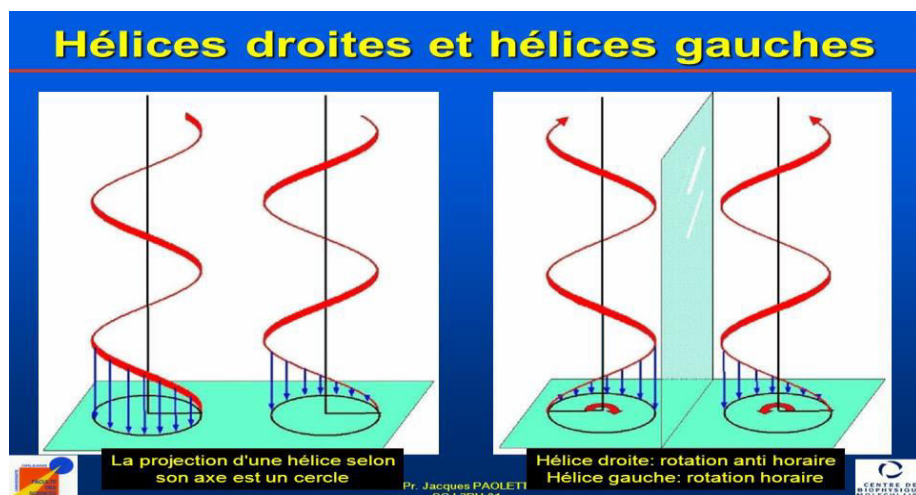


Figure I.3: hélice circulaire.

I.4. Variantes et adaptation de la vis suivant les secteurs d'application

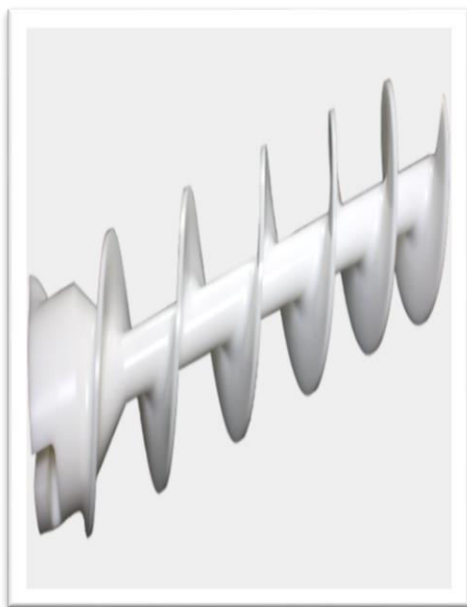
I.4.1. Variantes de la vis d'Archimède

I.4.1.1. Vis d'Archimède horizontale

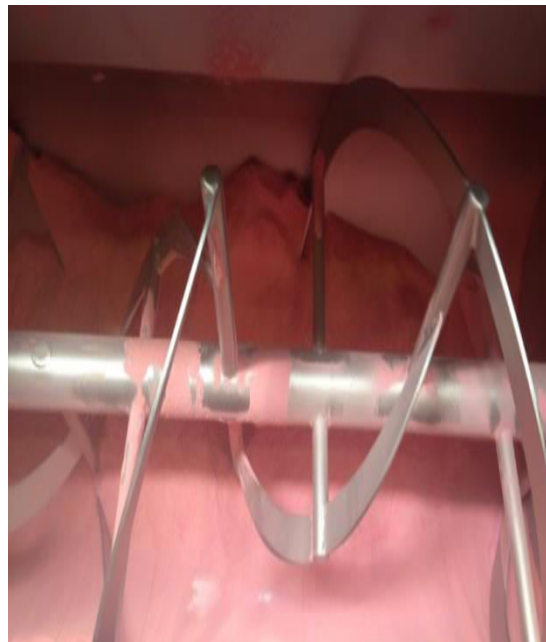
La vis sans fin peut être équipée de spires de formes différentes. Trois formes principaux (figure I.4) : plane, en ruban continu et a palette séparées, ces dernières étant des secteurs de spires ou de ruban soudés ou boulonnés sur l'axe central.

- Spires pleines, ou les produits polyvalents ou ne comportant que des petits morceaux.
- Spires a ruban, intéressant en cas de surcharge ponctuelles ou accidentelles (évitent de tasser le produit) ; elles utilisent sur les vis de reprise sous électro-filtres.
- Spires à palettes, intéressant pour le brassage du produit en plus de son entrainement elles équipent les rotors de vis extractrice de reprise sous trémies de grande longueur et de grande capacité. Elles permettent de réduire la perte de puissance engendrée par les frottements des spires noyées dans le produit.

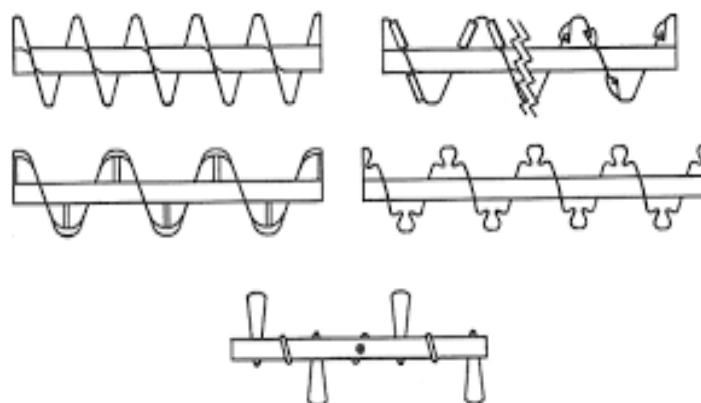
Dans chacun des cas évoqués ci-dessus, la vis sans fin comporte un axe plein ou creux. Ce n'est pas le cas de la vis appelé vis sans axe ou « âme » qui comporte uniquement un ruban continu supporté coté entrainement et qui repose sur le fond de l'auger métallique tapissée d'un revêtement synthétique.



Spires pleines



spires à ruban



Spires à palettes

Figure I.4: Forme principale des spires

I.4.1.2. Vis inclinées

Jusqu'à une inclinaison voisine de 20° , la conception de la vis peut être identique à celle d'une vis horizontale mais au détriment de l'appareil : une vis standard inclinée de 15° sur l'horizontale réalise plus que 70% environ de débit obtenu par la même vis horizontale ; si elle est inclinée à 20° , ce débit chute à 40% .

Pour les vis fortement inclinées, l'auge en forme de U sera remplacée par une auge turbine. Citons par exemple les vis de relevage d'eau utilisées dans les stations d'épuration. Les mêmes nominaux de ces vis sont de 400 à 2000 mm, l'inclinaison est en moyenne de 38° [3]

I.4.1.3. Vis vertical

Cette vis, pendant longtemps déconsidéré, ne manque pas pourtant pas d'intérêt. Il existe deux types principaux caractérisés par leur technique : gravitaire ou forcée. L'alimentation est gravitaire pour les céréales, elle est forcée pour les produits plus difficiles (grains humides, aliments composés, ciment ...) et, dans ce cas, une vis pousseuse introduite produit dans le pied de la vis vertical.

Bien conçu, cet appareil peu encombrant fonctionne « en douceur » et sans vibration, il est autonettoyant s'il tourne à vide quelques minutes. La hauteur d'élévation du produit peut être supérieure à 30 m. Seul ou jumelé, il équipe avec beaucoup de succès le portique de déchargement de navires.

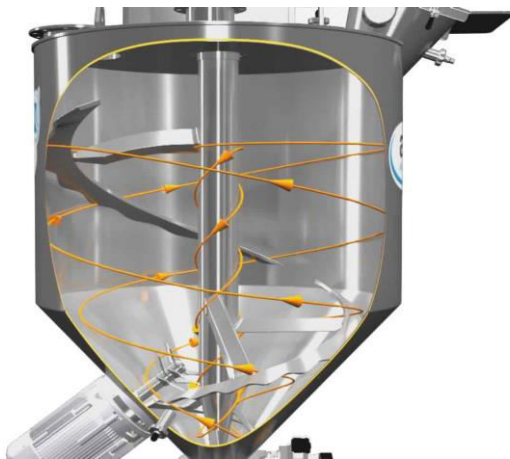
I.4.2. Adaptation de la vis suivant les secteurs d'application

Il existe des nombreuses applications de la vis, on décrit quelques une dans ci après ;

I.4.2.1. Mélangeur a vis

Dans cet appareil, une vis sans fin plonge depuis la partie supérieure dans la cuve de mélange qui est presque toujours verticale et dont la forme peut être cylindrique ou conique.

Le mouvement des particules d'effectues de bas ver le haut, mais est plus ou moins complexe selon que la vis (figure I.5a) ou orbitale (figure I.5b). Dans ce dernier cas, ne n'est pas seulement le mouvement de la vis sur elle-même (avec des vitesses de l'ordre de 100 tr.min^{-1}) qui crée le mélange, c'est aussi sa rotation sur les bords de la cuve .il faut également ajouter qu'il existe des mélangeurs a double vis orbitale.



A : vis vertical



B : vis orbitale

Figure I.5: les mélangeurs à vis

Au contraire de l'agitation des fluides, la complexité des milieux pulvérent et granulaires hypothèque encore le développement des méthodes d'analyse dimensionnelle classiques pour l'agitation des solides divisés. la notion de viscosité d'un écoulement granulaire semble en effet difficilement définissable.

I.4.2.2. Vis d'extraction à sacs

Cet appareil est particulièrement approprié pour les produits fluides et colmatant. Il assure une extraction aux gaz et aux suppressions de produit en vrac. La conception permet de désirer et comparer le produit (figure I.6), il est étanche même à des surpressions élevées. L'usure n'a aucune influence sur le degré d'étanchéité.

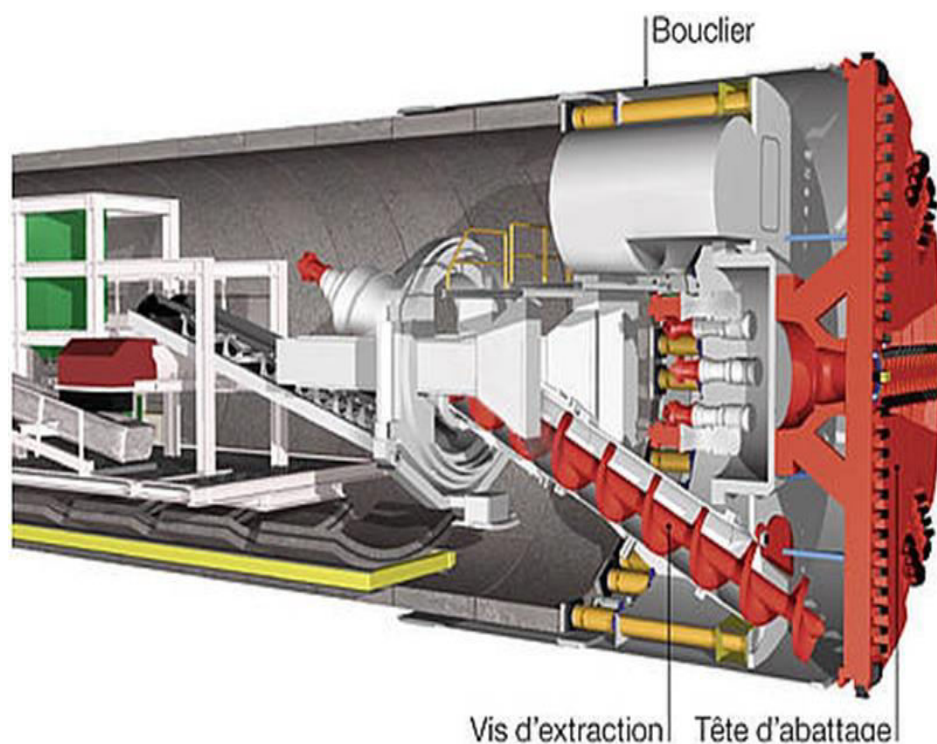


Figure I.6: coupe d'une vis d'extraction à sacs.

I.4.2.3. Echangeur thermique a vis d'Archimède

A simple ou double rotor, cet appareil est utilisé pour sécher, réchauffer ou refroidir le produit pulvérulent, granulés, liquide ou produit plateaux. Le remplissage de l'auger doit être compris entre 50 et 80% de sa capacité utile. La vitesse de rotation est voisine de 10 tr/min. Le fluides est prévu de circuler sous pression (5 bar max) soit dans les spires a double fluide de refroidissement peut être de l'eau (froid ou chaud), de vapeur d'eau, ou encore un autre fluide.



Figure I.7 : échangeur thermique à vis d'Archimède a double rotor

I.4.2.4. Machine élévatoires simples à vis d'Archimède

Ces machines sont pourvues de capacités se remplissant par immersion dans le bief aval et soulevant la masse liquide jusqu'au bief ou l'eau et déversée. La masse liquide est toujours maintenue à la pression atmosphérique.

Ce sont les machines les plus anciennes dans l'histoire de l'élévation d'eaux. La vis est supportée par deux paliers par l'intermédiaire des plateaux, au palier inférieur immergé en pied de vis et un palier supérieur positionné hors d'eau. Avec le groupe de commande.



Figure I.8: machine élévatrice à vis d'Archimède

I.3.2.5. Doseur a vis

La figure I.9 montre un tel système très utilisé, tant pour les produits à écoulement libre (exemple : sucre en poudre) que pour les produits qui ne s'écoulent pas facilement, car ceux-ci sont repartis de façon homogène par l'agitateur et poussés vers la machine de remplissage par la vis sans fin, qui peut être à pas variable afin d'obtenir un certain compactage du produit.

Un clapet de fermeture peut obturer le flot pour le produit qui s'écoule trop rapidement. La rotation de la vis sans fin est continue ou intermittente.

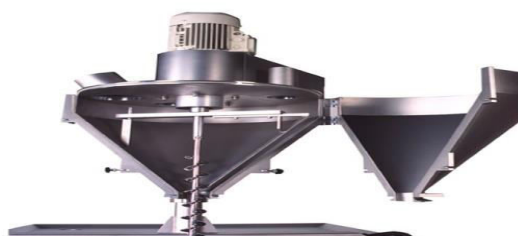


Figure I.9 : système Auger.

I.4.2.6 Forage a vis d'Archimède (tarière continue)

Les tarières continues sont constituées de tiges hélicoïdales assemblées de bout à bout au fur et à mesure de la progression de forage (figure I.10).

L'avantage de cette technique c'est qu'il n'est pas nécessaire de remonter l'outil après chaque passe car les sols sont remontés en continu le long des spires grâce au mouvement ascendant de l'hélicoïde généré par la rotation. En revanche, les sols sont remaniés lors de leur remontée ce qui ne favorise pas la prise d'échantillons de sol représentatifs d'une profondeur donnée. On peut cependant utiliser la tarière continue comme une tarière simple en la remontant pour récupérer un échantillon en bout de tarière qui sera assez représentatif des sols à la profondeur de fond du trou.

Avec une tarière continue, la précision des cotes des terrains traversés s'altère de façon croissante avec la profondeur mais l'espérance de sondeur peut cependant pallier en partie cet inconnu venant dans certains cas.

La profondeur d'investigation est couramment de 20 à 25 m et peut atteindre 50 m dans des terrains favorable. La vitesse de progression est généralement rapides et peut être atteindre 10 a 15 m/h.

Dans le cas de terrain ébouleux, les parois de forage s'effondrent si la tarière est remontée. Dans ce cas, un casing est utilisé pour pallier cet inconvénient mais la progression du forage est alors plus lente.



Figure I.10: tarière continue

I.5.Dessins de fabrication des engrenages à vis sans fin

Dans un dessin d'assemblage, on représente habituellement la vis et la roue engagées dans leurs positions respectives mais, dans la plupart des cas, on représente chaque élément non taillée et sans denture, comme l'illustre la partie inférieure de la figure I.11

Dans les dessins de détail, la vis et la roue sont habituellement représentées séparément comme aux figures I.11 et I.12.

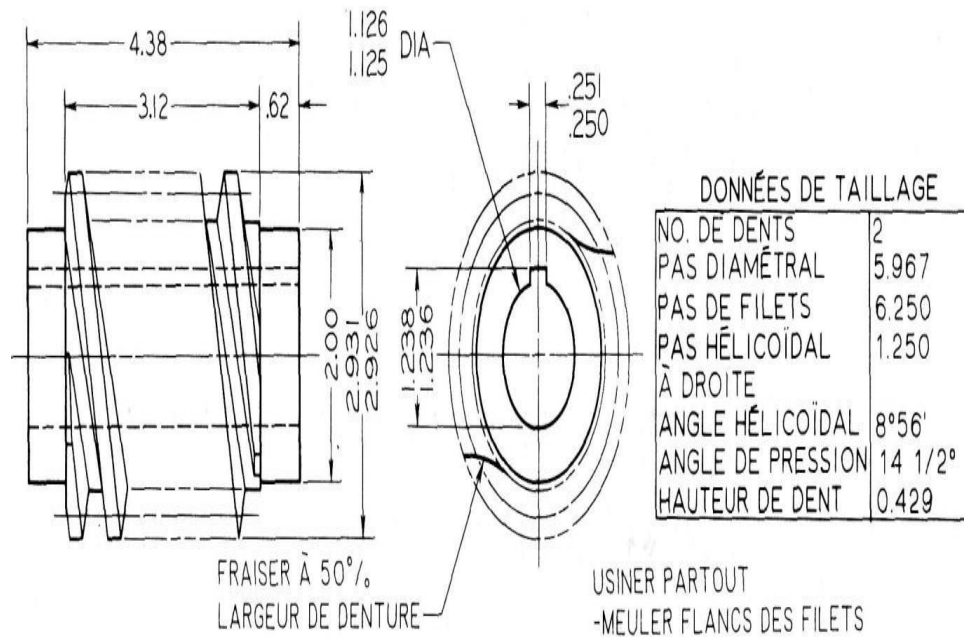


Figure I.11: Dessin de fabrication d'une vis sans fin

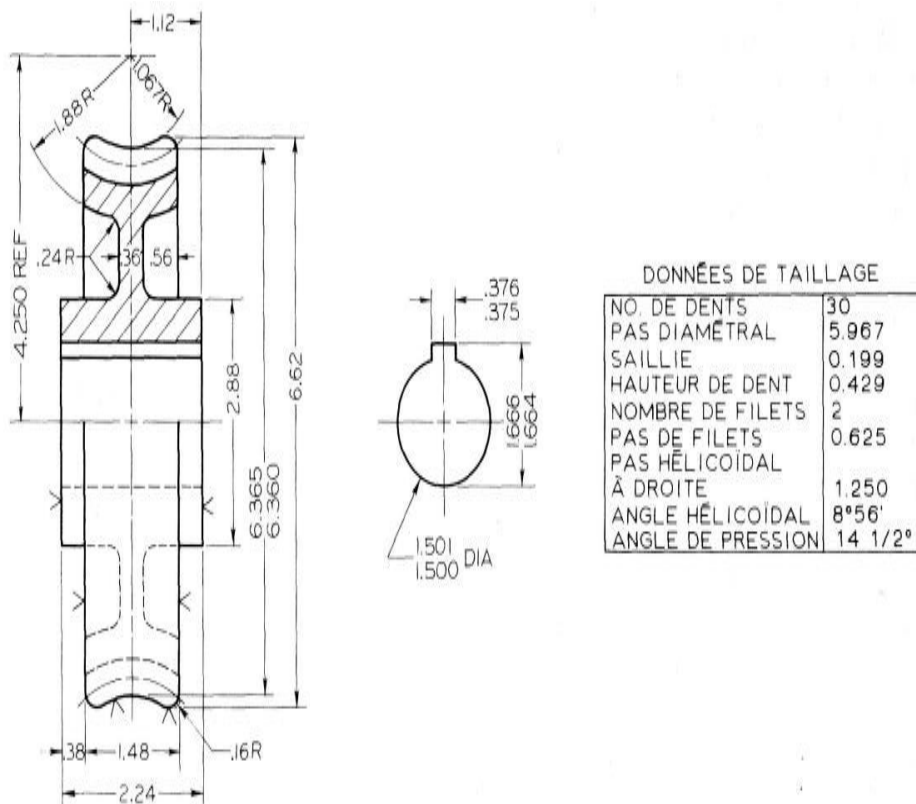


Figure I.12 : Dessin de fabrication d'une roue d'engrenage à vis

Quoique la cotation soit largement fonction des procédés de l'usine et des méthodes de production, il est de pratique courante de fournir les données relatives au taillage des filets et de la denture sous forme de tableau et les dimensions de la roue et de la vis non taillée, dans les vues du dessin.

On notera que les dimensions qui peuvent affecter l'engrènement de la vis sur la roue sont présentées avec trois décimales, tandis que les autres dimensions, telles que le diamètre de tête et la largeur, sont données avec deux décimales.

I.6.Conclusion

Après avoir décrit la vis d'Archimède et exposé ses différentes applications. Nous allons aborder la méthode de fabrication de cette vis par emboutissage.

Chapitre II

Procédé de fabrication de la vis par emboutissage

II.1.Introduction

L'Emboutissage est un terme qui définit une technique de fabrication permettant d'obtenir, à partir d'une feuille de tôle plane et mince, un objet dont la forme n'est pas développable. L'ébauche en tôle est appelée « Becker », c'est la matière brute qui n'a pas encore été emboutie. La température de déformation se situe entre le tiers et la moitié de la température de fusion du matériau.

L'emboutissage est un procédé de fabrication très utilisé dans l'industrie automobile, dans l'électroménager, etc. [5].

II.2.Généralités sur la mise en forme des métaux

Il existe trois voies principales de mise en forme selon l'état de départ du matériau métallique (le moulage, le façonnage et le frittage). La Figure II.1 récapitule les principaux procédés de mise en forme des métaux utilisés actuellement. Parmi les techniques de formage sans enlèvement de matière des métaux en feuilles on trouve le procédé d'emboutissage. Il est l'un des procédés de mise en forme des tôles minces le plus ancien et le plus répandu dans le milieu industriel [6].

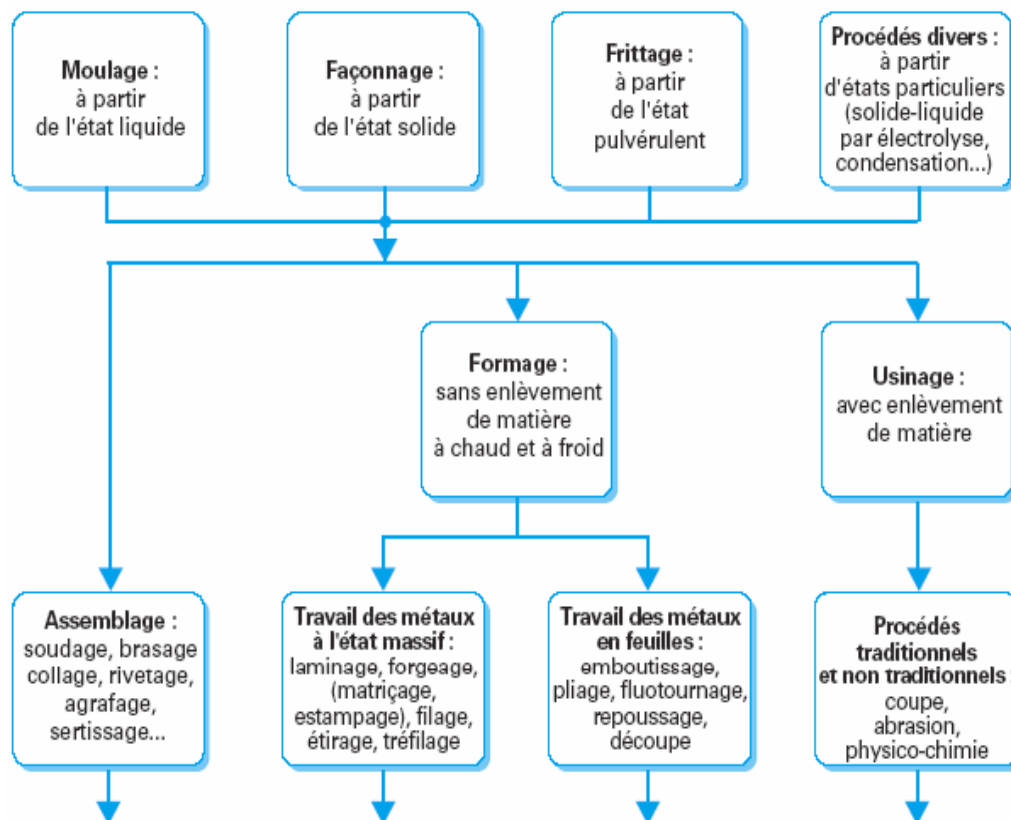


Figure II.1 : Principaux procédés de mise en forme des matériaux métalliques.

L'emboutissage consiste alors à fabriquer, à partir d'un flan plan de faible épaisseur, une pièce de forme complexe généralement non développable. Le flan étant plaqué, avec une certaine force contre la matrice, par le serre flan et mis en forme par avancée du poinçon à l'aide d'une presse [7].

Nous pouvons présenter le procédé d'emboutissage comme suit (Figure II.2 et II.3) :

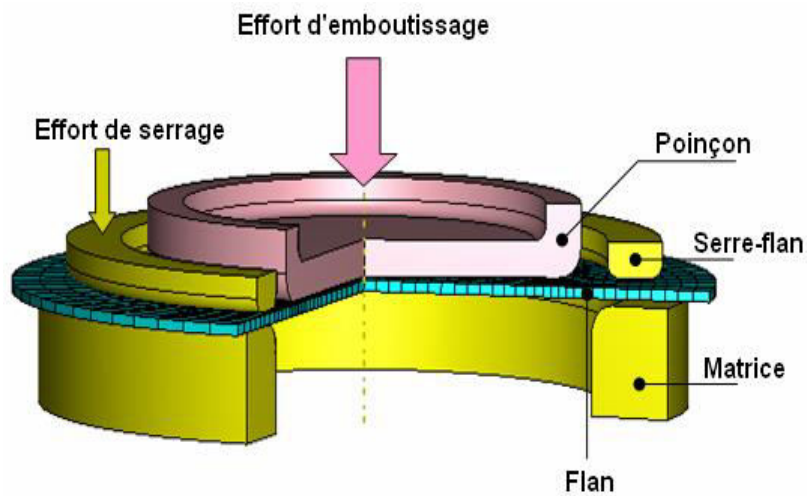


Figure II.2: Procédé d'emboutissage [8].

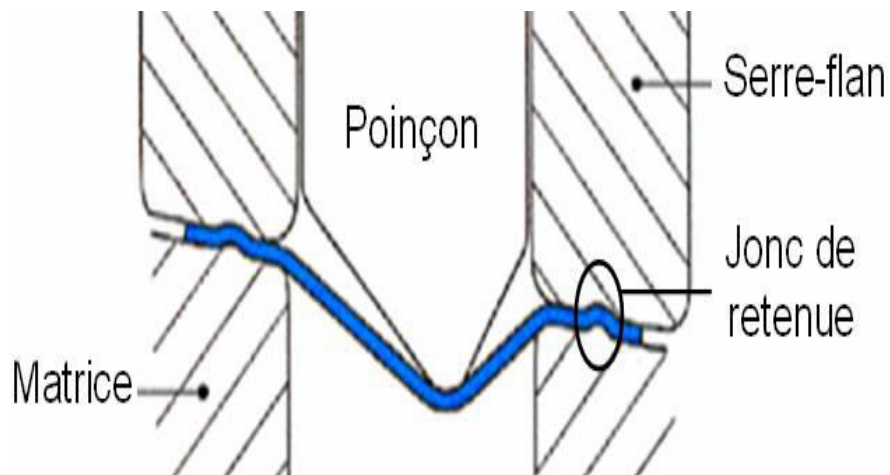


Figure II.3 : Procédé d'emboutissage avec freinage de la tôle sous serre-flan. [8].

Le processus d'emboutissage se décompose de la manière suivante :

- Définition de la direction d'emboutissage ;
- Définition du contour et de la position du flan initial ;
- Descente du serre-flan pour plaquer la tôle sur la matrice ;

- Mise en forme de la tôle par avancée du poinçon ;
- Découpage des habillages de l'embouti afin d'obtenir la pièce finale.

Au cours de l'opération d'emboutissage, le flan est tout d'abord pincé entre la matrice et le serre-flan puis, lorsque le serrage est effectué, le poinçon descend à l'intérieur de la matrice entraînant ainsi le métal dans sa course et l'obligeant à épouser son contour sous l'effet des tensions engendrées par la retenue du serre-flan. Comme pour tous les procédés de formage, l'opération d'emboutissage engendre de grandes déformations dans la tôle. Si les conditions opératoires ne sont pas optimales, ces déformations conduisent à des défauts comme la rupture, le plissement et des distorsions géométriques dues au retour élastique (Figure II.4).



Figure II.4. Retour élastique. [8].

Le procédé d'emboutissage est important dans les divers secteurs industriels : transport, carrosserie automobile (Figure II.5), appareils électroménagers, emballages métalliques, etc. Un des intérêts principaux expliquant le succès de ce procédé réside dans la variété des composants réalisables et la cadence de production élevée.



Figure II.5 : l'emboutissage d'aile d'une voiture.

L'opération d'emboutissage peut se faire à froid ou à chaud, par l'intermédiaire d'une presse ou d'une ligne des presses lorsque plusieurs opérations sont nécessaires [9]. (Figure II.6).



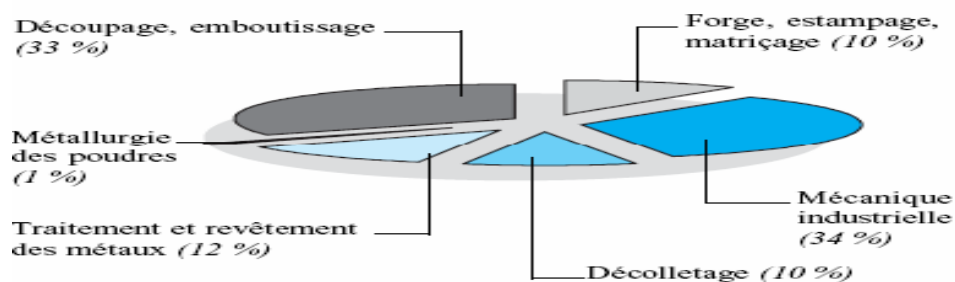
Figure II.6 : Ligne de presses d'emboutissage.

D'après une étude du Service des Études et des Statistiques Industrielles en 2004 du Ministère de l'Économie des Finances et de l'Industrie de France, les entreprises travaillant dans le secteur découpage emboutissage, occupent la première

place des fournisseurs de pièces et d'équipements automobile, avec 47% des investissements (Figure II.7) [10].

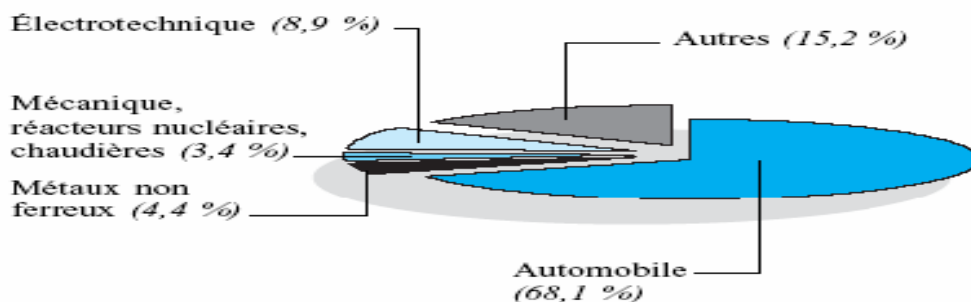
RÉPARTITION DU CHIFFRE D'AFFAIRES DES SERVICES INDUSTRIELS

Facturations : 14 842 millions d'euros



L'AUTOMOBILE : MARCHÉ MAJORITAIRE

Facturations : 4 872 millions d'euros



RÉPARTITION DES SERVICES INDUSTRIELS DESTINÉS À L'AUTOMOBILE

Facturations : 7 099 millions d'euros

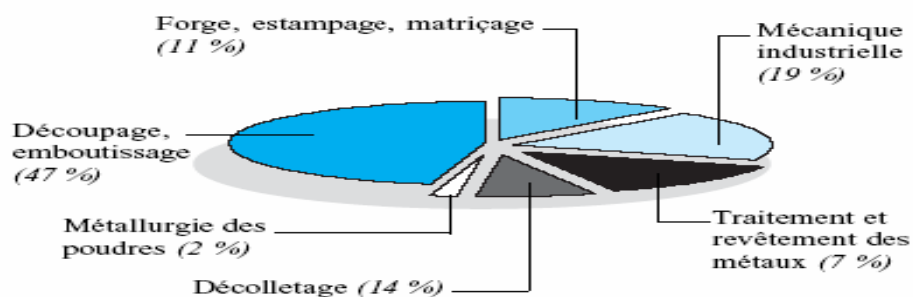


Figure II.7 : statistique industriel sur l'emboutissage en 2004

Le secteur découpage emboutissage, qui est la deuxième grande composante des services industriels en termes de chiffre d'affaires (33%), est caractérisé par sa forte corrélation avec l'industrie automobile qui représente plus des deux tiers de ses débouchés (68.1%). Les fournisseurs de cette branche bénéficient tout naturellement de la demande en provenance de ce secteur. Mais ils doivent suivre les orientations stratégiques des constructeurs automobiles et les nouveaux besoins des consommateurs.

Comme pour tous les procédés de mise en forme des matériaux métalliques (estampage, découpage, pliage, forgeage, fonderie, etc.) les exigences actuelles sont de plus en plus grandes, et la compétition industrielle se joue désormais en grande partie sur la qualité des produits et la fiabilité du procédé.

A cet égard, les entreprises se tournent de plus en plus vers les innovations du procédé afin d'identifier les technologies clés pour :

- Améliorer la qualité des pièces embouties et la flexibilité des outils ;
- Réduire les coûts de la production ;
- Améliorer la productivité et la compétitivité.

Les principaux paramètres du procédé sont :

- L'épaisseur initiale de la tôle ;
- La loi de comportement du matériau et l'anisotropie de ce dernier ;
- La vitesse du poinçon ;
- La position du flan initial et le dimensionnement du contour initial ;
- La force de serrage serre-flan et les coefficients de frottement, ainsi qu'éventuellement la forme et la position de joncs (Figure II.3) [8].

La réalisation d'un emboutissage s'avère donc complexe, et sa réussite est souvent liée à l'expérience.

En effet, l'emboutissage se définit, rappelons le, par une transformation permanente d'une feuille de métal en une forme tridimensionnelle par l'action d'outils.

Ce qui permet de mettre en exergue les aspects suivants :

- Les grandes transformations géométriques d'une structure mince ;
- Le comportement élastoplastique anisotrope du matériau ;
- Les contacts et frottements entre les outils et la tôle.

Ainsi, nombreux sont ceux qui, désireux de connaître mieux le processus afin de l'améliorer, ont développés des aides à la conception des outils et autres outils d'analyses et de simulation.

Nous pouvons répertorier des méthodes géométriques, expérimentales et analytiques sur des formes simples. Plus proche de nous, l'ordinateur et l'avènement de la méthode des éléments finis, qui ont permis le développement du calcul numérique, ont mené à la création de logiciels permettant la simulation de crashes, via la recherche militaire, et le calcul des structures. A partir de ces codes, des progiciels de simulation numérique d'emboutissage des tôles sont apparus.

II.3.Généralités de l'emboutissage industriel

II.3.1. Définitions

L'emboutissage industriel est un procédé de formage en série par déformation à chaud ou à froid des métaux visant à transformer une tôle en une pièce plus ou moins creusée de surface non développable.

Dans le cas d'emboutissage de tôles minces, cette dernière se présente sous la forme d'une feuille de moins de 3 mm d'épaisseur, appelé flan. Ce mode de formage s'effectue sur une presse au moyen d'un outillage dont la configuration détermine l'effet obtenu sur le flan :

- **Outils à simple effet** : configuration la plus simple, composée principalement d'une matrice et d'un poinçon.
- **Outils double effet** : comprend en plus de l'outil simple effet, un serre-flan.

II.3.1.1 Modes d'emboutissage

L'emboutissage impose à la tôle différents modes de déformation dont le but est l'obtention d'une surface creusée. Le type d'outillage conditionne les deux cas limites de déformation :

II.3.1.1.1.L'expansion :

C'est l'accroissement du diamètre d'un corps creux, par action sur sa paroi interne à l'aide d'un outil, d'un fluide ou d'un matériau élastique. Le schéma (Figure 20-a) met en évidence un emboutissage par expansion sur le poinçon, le flan étant bloqué sous le serre-flan, l'épaisseur sous le poinçon diminue.

II.3.1.1.2.Le rétreint :

C'est la réduction diamétrale de l'extrémité ouverte d'un corps creux. Le schéma (Figure II.8-b) montre un emboutissage profond avec rétreint du métal glissant sous le serre-flan, l'épaisseur entre serre-flan et matrice peut augmenter.

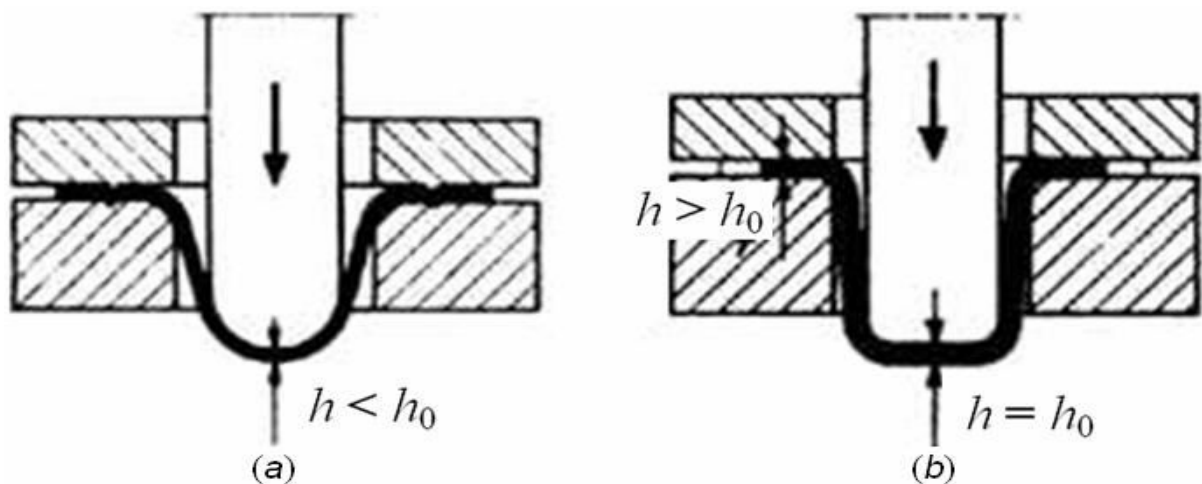


Figure II.8. a) Emboutissage par expansion, II.8.b) Emboutissage profond avec rétreint.

L'art de l'emboutissage consiste à réaliser le meilleur compromis entre ces deux modes de déformation et à optimiser ainsi l'écoulement du métal entre le poinçon, la matrice et le serre-flan.

Remarque :

- L'épaisseur de la pièce finie diffère de l'épaisseur du flan, l'épaisseur du fond de la pièce étant proche de celle du flan. Aux endroits de passage du fond à la paroi latérale on peut constater un amincissement de 10 à 25%, et près de la face d'about un épaissement de 15 à 25%.

- Le critère industriel de faisabilité de pièces automobiles est donné par :
 - $25\% \leq \text{Variation d'épaisseur} \leq +15\%$: Si on est en dessous de la limite inférieure on a une déchirure, si on est en dessus de la limite supérieure, alors, on a des plis.
- La valeur de l'amincissement dans la zone de passage du fond à la paroi est fonction du rayon du congé des angles de la matrice et du poinçon, du degré de déformation, du jeu entre la matrice et le poinçon, de l'effort de serrage, elle dépend aussi des conditions de frottement de contact [11].

II.3.2 L'emboutissage en température

Il existe deux techniques d'emboutissage :

II.3.2.1 L'emboutissage à froid

Cette technique consiste à former une pièce à température ambiante. Elle est principalement utilisée sur un outillage double effet mais peut aussi l'être sur un outillage simple effet dans le cas où les emboutis sont peu profonds ou s'ils nécessitent peu d'effort de serrage. Ce type de formage permet d'obtenir une meilleure précision dimensionnelle, limite les coûts et évite la formation d'oxyde. Néanmoins, l'épaisseur des tôles à emboutir ainsi que les caractéristiques mécaniques sont à l'origine des limitations de cette technique. En effet, il devient nécessaire pour les grandes épaisseurs d'effectuer l'emboutissage en plusieurs passes. A ceci, il faut ajouter d'une part l'effet de l'écrouissage apparaissant lors de la mise en forme et se traduisant par un durcissement structural et une baisse de la ductilité. D'autre part, la création de contraintes résiduelles au sein de la pièce finie en limite ses applications (risque de rupture fatigue II.9).

II.3.2.2 L'emboutissage à chaud

Principalement utilisé sur presses hydrauliques simple ou double effet, le formage de fonds de réservoir [12] en acier est le plus important domaine d'application. Cette technique facilite la déformation du matériau, permet l'emboutissage de pièces profondes par chauffage du flan (et de la matrice) et évite l'écrouissage et la formation de contraintes résiduelles. Les cadences de production de

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

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

L'emboutissage sous presse présente de nombreux intérêts tant par son aspect économique que qualitatif : Cette technique de mise en œuvre offre un bas prix de revient et permet des cadences de production très élevées : 100 à 200 pièces par heure pour des pièces de gros volumes (carrosserie automobile) et jusque 3000 à 4000 pièces par heure pour des petites pièces (renfort, capuchon de réservoir). L'écroutissage résultant des déformations imposées par la tôle donne des caractéristiques supérieures à celle du flan. Ces fortes caractéristiques permettent un allègement des pièces. La qualité de l'état surface d'une pièce brute d'emboutissage est nettement supérieure à celle des pièces coulées. L'esthétique des pièces embouties en est donc bien supérieure et les travaux de finition tel que le polissage sont moins lourds à gérer et surtout moins coûteux.

Les débouchés de cette technique de mise en forme sont donc extrêmement larges. Nous noterons notamment la présence de l'emboutissage dans les domaines :

- **Des transports** : que ce soit dans le domaine de l'automobile, des transports routiers ou des deux roues, l'emboutissage intervient pour de très nombreuses pièces extérieures (carrosserie) et intérieures (renforts).
- **De l'électroménager** : radiateurs, machines à laver, ballon d'eau chaude,...
- **Du sanitaire** : lavabos métalliques, bacs de couches,...
- **De l'emballage** : boîtes de boisson, conserves,...
- **Des pièces mécaniques** : des biens de consommation courante,...

II.3.3. Matériaux et formes d'emboutis

La technique d'emboutissage permet de mettre en forme de nombreux matériaux que ce soit des aciers, des alliages non ferreux ou des pâtes. Néanmoins, la mise en œuvre d'une tôle nécessitera certains réglages ou certaines actions préalables dépendant de la nature même du matériau.

II.3.3.1 Comportement du matériau lors de l'opération d'emboutissage

Au cours de l'opération d'emboutissage des tôles minces, différents modes des sollicitations peuvent apparaître dans certaines zones de l'embouti, conduisant à la formation d'ondulations que nous désignerons généralement sous le nom plis ou à des amincissements conduisant à la rupture. Pour un matériau donné, ces capacités de déformation peuvent différer fortement d'un mode à l'autre et c'est la raison pour laquelle nous aborderons l'étude de la formabilité des tôles par la définition de ces différents modes [13] (Figure II.9)

- Expansion bi axiale ;
- Traction uni axiale ;
- Cisaillement pur ;
- Rétreint ;
- Compression uni axiale.

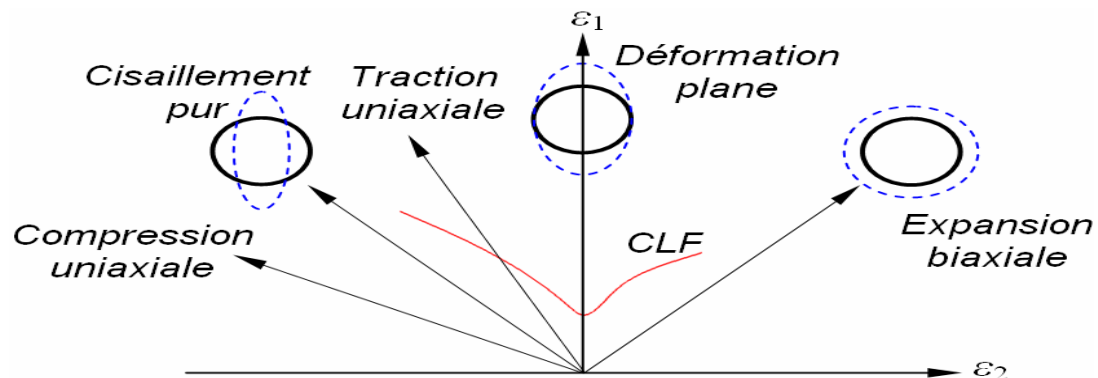


Figure II.9 : Modes de déformation dans le repère des déformations principales majeure et mineure.

La Figure II.10 met en évidence un emboutissage par expansion pure type Erichsen. La tôle est soumise à l'action d'un poinçon hémisphérique alors que le métal du flan est bloqué sous le serre-flan :

La surface du flan a donc augmenté au détriment de son épaisseur. Les conditions de lubrification ont peu d'influence sur l'évolution de l'aire de contact et sur la force d'emboutissage, mais beaucoup sur la déformation plastique. A faible frottement, l'amincissement est maximal au pôle de l'embouti où se produit la rupture. Plus le frottement augmente, plus l'amincissement s'éloigne du pôle [14].

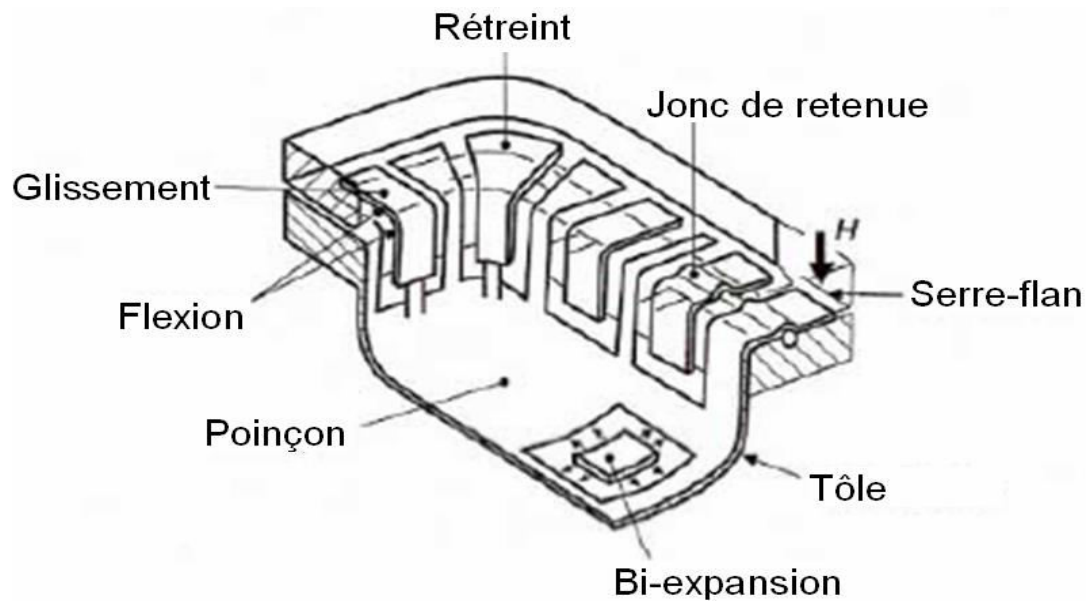


Figure II.11 : le repère de déformation sur un embouti.

Dans le cas d'un godet conique (Figure II.12-a), la partie libre de l'embouti située entre la matrice et le poinçon se contracte parce que le rayon R de l'arc ab qui se déplace en $a'b'$ diminue. Il en résulte des contraintes de compression circonférentielles, qui peuvent atteindre des valeurs critiques conduisant à la formation des plis (Figure II.12-b).

Pour éviter ce type de problèmes la meilleure réponse consiste à limiter autant que possible les brins libres dans les zones centrales des pièces, avec des presseurs ou en utilisant des systèmes appliquant une pression sur la face intérieure (hydroformage ou électroformage). Mais cela n'est bien sûr pas toujours possible.

Les métaux en feuille sont très sensibles à ces modes de déformation.

L'emboutissage consiste à réaliser le meilleur compromis entre ces modes et à optimiser l'écoulement du métal entre le poinçon, la matrice et le serre-flan.

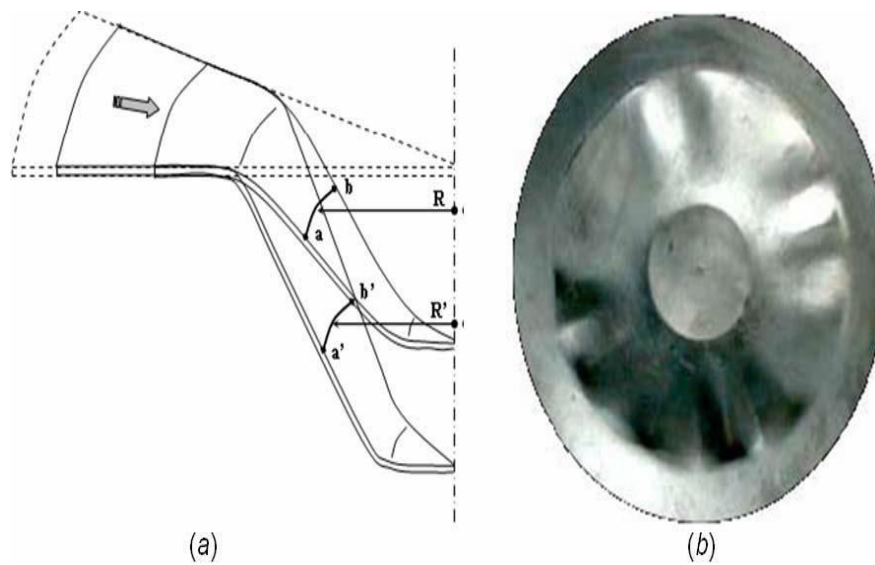


Figure II.12 : Plissement dans la partie libre de l'embouti.

Deux grandes familles de matériaux largement utilisés en industrie:

II.3.3.1.1. Les aciers :

Les techniques modernes de laminage permettent d'obtenir des tôles d'acier très minces, avec une surface propre et lisse, une structure homogène et une gamme de caractéristiques mécaniques adaptées aux exigences de l'emboutissage. Ces tôles sont classées en trois catégories : **tôle de fabrication courante (TC)**, **tôle d'emboutissage (E)**, et **tôle d'emboutissage spéciale (ES)** (Tableau 1).

	Résistance à la rupture (daN/mm^2)	Allongement (%)	Dureté Rockwell
<i>TC</i>	42	24	65
<i>E</i>	38	30	57
<i>ES</i>	35	36	50

Tableau 1. Caractéristiques des différentes catégories de tôles.

Les **aciers inoxydables** se comportent différemment de l'**acier doux** en raison de la présence de nickel et de chrome. Ainsi les vitesses d'emboutissage doivent être plus lentes que pour l'acier, le métal s'écrouissant plus rapidement.

II.3.3.1.2. Les alliages non ferreux :

- ❖ **Les laitons** : Les plus couramment utilisés sont ceux désignés sous le nom de 60/40 (avec addition de plomb pour les utilisations en horlogerie et sans addition pour les pièces optique, de sidérurgie) et de 72/28 (pour l'emboutissage extra profond. Cette qualité (72% cuivre, 28% de zinc) est employée pour la fabrication de cartouches et de douilles évitant des opérations de recuit).
- ❖ **L'aluminium et ses alliages** : ces alliages s'écrouissant à l'emboutissage, l'étirage le plus profond ne s'obtient qu'avec les qualités les plus douces. On peut toutefois obtenir des emboutis peu profond avec des qualités plus dures.
- ❖ **Le cuivre** : non allié à un autre élément, le cuivre rouge possède d'excellentes qualités d'emboutissage extra profond, souvent supérieures à celles du laiton ou de l'acier spécial.
- ❖ **Le zinc** : il s'emboutit facilement mais, dans le cas d'emboutissage de forme complexe, il est nécessaire de le chauffer entre 100° et 150°C.
- ❖ **Le nickel et ses alliages** : ils possèdent d'excellentes qualités d'emboutissage. Les plus couramment utilisées sont ceux contenant 60 à 65% de cuivre, 20 % de zinc, et 15 à 20 % de nickel.
- ❖ **Le magnésium** : c'est le plus léger des métaux utilisés dans l'industrie. A température ambiante le magnésium ne peut être embouti que dans certaines limites. Pour réaliser des pièces semblables à celles obtenues avec l'acier, il est indispensable de chauffer de 200° à 500°C en fonction de la qualité d'emboutis souhaités.
- ❖ **Le titane** : ce métal se comporte comme le magnésium : les flans doivent être chauffés entre 200° et 350°C, selon s'il s'agit de titane pure ou d'un alliage. La matrice et le poinçon sont également chauffés pour éviter le choc thermique auquel le métal est sensible.

II.3.3.2 Formes des pièces emboutis

D'une façon générale, les pièces embouties sont de forme simple telle que cylindrique, conique, sphérique ou prismatique. Cependant, ces formes simples sont déjà relativement difficiles à réaliser et ne sont généralement réalisables qu'avec un emboutissage par étapes, c'est à dire un emboutissage où la forme désirée n'est obtenue qu'après un certain nombre de phases successives.

II.3.3.2.1. Forme cylindrique :

La forme cylindrique est facilement réalisable avec de bonnes conditions opératoires. A partir de cette forme simple il est possible de réaliser des formes plus évoluées avec la méthode d'emboutissage dit renverser.

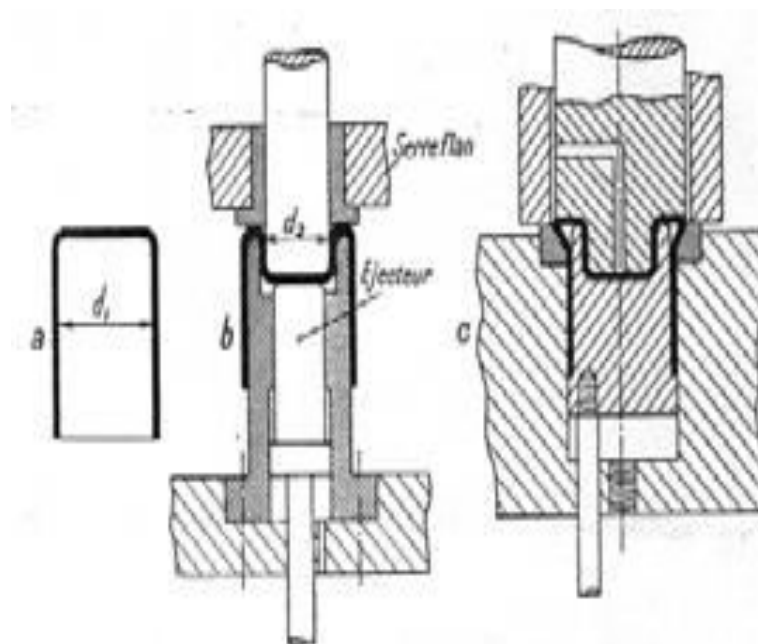


Figure II.13: Emboutissage renversé.

II.3.3.2.2. Forme conique :

La forme conique ne peut être obtenue qu'après au moins 4 passes. Cette technique permet d'obtenir des formes qu'il aurait été impossible à former en une seule passe.

II.3.3.2.3. Forme demi sphérique :

L'emboutissage d'une demi-sphère est difficile en raison de la formation de plis, mais il est possible en une seule passe si la matrice est munie d'un bourelet.

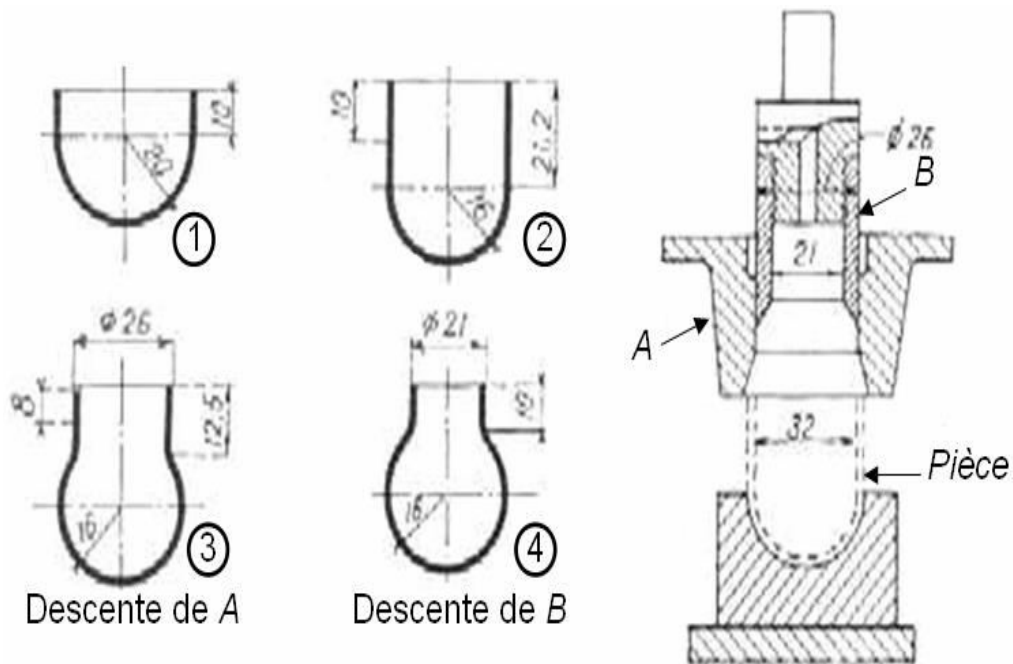


Figure II.14. Emboutissage de pièce demi sphérique.

II.3.3.2.4. Forme rectangulaire :

Dans les emboutis rectangulaires on peut considérer que seuls les rayons Latéraux sont emboutis (quart d'embouti cylindrique), les flancs étant simple Liement cambrés.

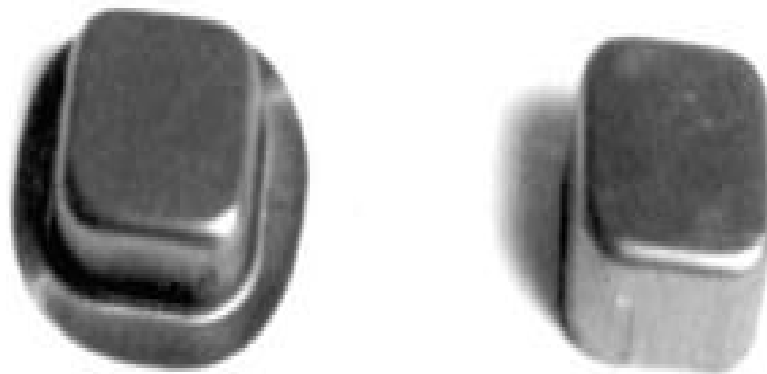


Figure II.15 : Emboutis rectangulaires.

II.4. Caractérisation en emboutissage

Dans les buts de réussir au plus vite un nouvel embouti, de réduire le temps entre deux séries et donc de caractériser l'emboutissage, le recours à des machines de traction est souvent nécessaire. Cette machine permet de reproduire de petits emboutis sans demander un outillage perfectionné.

Afin de permettre cette caractérisation, deux approches sont possibles mais surtout complémentaires

D'une part, un aspect que l'on peut qualifier de **métallurgique** et qui correspond aux relations entre les propriétés du métal et ses performances. D'autre part, un aspect **opérateur** ayant pour objectif de préciser l'influence des différents paramètres de la presse sur la réussite de la pièce. Néanmoins, il est important de préciser que l'étude de ces deux aspects nécessite une analyse préalable des déformations subies par le flan. Ce type de mesures s'effectue à l'aide d'une grille gravée sur la face externe de la future pièce.

II.4.1. Mesure de déformations en emboutissage

II.4.1.1. Principe et analyse des déformations

L'état des déformations d'un élément de flan est correctement décrit à partir des déformations dans trois directions principales :

— dans le sens de la longueur (généralement la direction de laminage) :

$$\varepsilon_1 = \ln (L/L_0)$$

— dans le sens de la largeur (généralement la direction perpendiculaire) :

$$\varepsilon_2 = \ln (b/b_0)$$

— dans le sens de l'épaisseur :

$$\varepsilon_3 = \ln (h/h_0)$$

Avec L_0 , b_0 , h_0 longueur, largeur et épaisseur initiales, respectivement, L , b , h longueur, largeur et épaisseur finales de l'élément, respectivement.

La conservation du volume pendant la déformation permet d'écrire :

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$$

II.4.1.2. Courbes limites de formage

Dans le but d'observer, sur un embouti, les déformations pendant et à la fin du formage, on utilise les déformations rationnelles principales, longitudinale ε_1 (ou radiale $r \varepsilon$ s'il s'agit d'un embouti circulaire) et transversale ε_2 (ou circonférentielle ε_θ pour la même raison que précédemment).

Sur la Figure II.16 on représente la courbe limite de formage pour un acier inoxydable ferritique à 17 % de chrome (X6Cr17/1.4016). L'axe des abscisses ε_2 sépare les domaines de l'allongement et du raccourcissement. L'axe des ordonnées ε_1 sépare les domaines de l'élargissement et du rétrécissement.

Les courbes limites de formage qui représentent le lieu géométrique des déformations principales ε_1 et ε_2 sont obtenues à l'aide d'essais spécifiques tels : soit des essais de traction sur éprouvettes lisses, soit des essais de traction sur éprouvettes entaillées, soit des essais : Erichsen, Olsen, Bulge et Swift avec différents lubrifiants.

Dans le tracé des courbes limites de formage, on admet que les trajectoires de formage sont rectilignes,

C'est-à-dire que le rapport $\varepsilon_2/\varepsilon_1$ est constant [13].

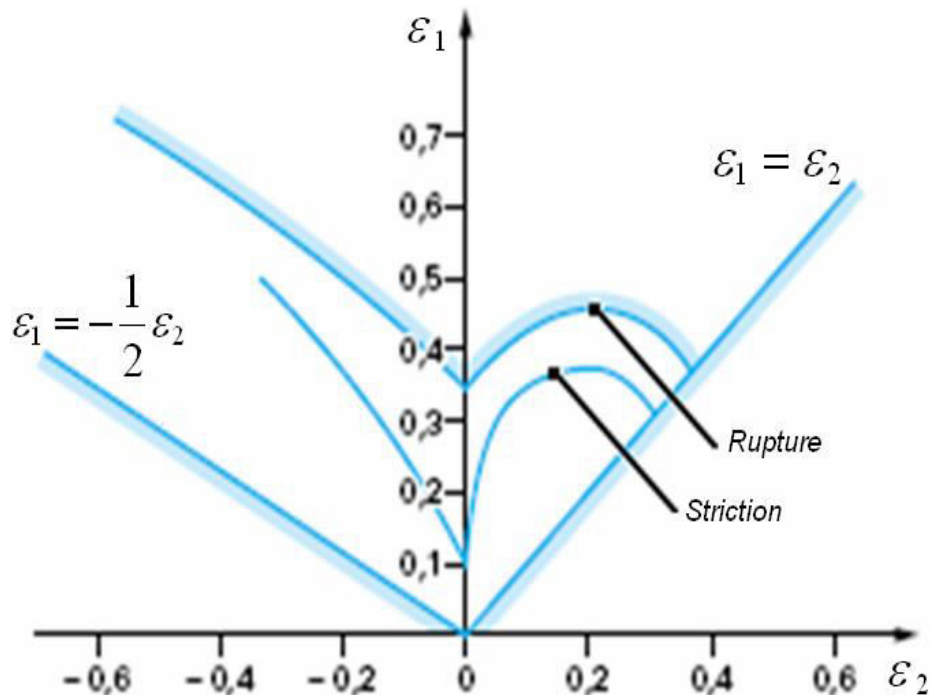


Figure II.16 : Courbes limites de formage : X6Cr17.

II.4.1.3 .Mesure des déformations

L'emboutissabilité d'une tôle, c'est à dire sa capacité à être emboutie, pose le problème de la mesure de ses caractéristiques. Il faut donc trouver un système de mesure des déformations qui permettrait de comparer la réussite d'un embouti suivant le matériau, les paramètres opératoires (la lubrification, la pression, les frottements, les jeux entre poinçon et matrice,...) et les paramètres métallographiques (état de surface du flan, orientation cristallographique,...). Dans cette optique, il est commun de s'aider d'une petite grille tracée sur le flan. Cette grille est généralement formée de petits cercles et de carrés tendant à se déformer lors de l'emboutissage. Plusieurs procédés sont employés pour effectuer ce tracé, tel que :

- tracé à la pointe sèche.

- tracé à l'encre, à l'aide d'un tampon.
- tracé par gravage électrochimique.
- tracé à l'aide de résine ou de vernis photosensible.

De nombreux modèles ont été imaginés mais chacun se doit de respecter trois points essentiels desquels dépendent la précision et la signification des mesures effectuées. Il s'agit de :

- ❖ **La nature** de grille la plus utilisée est celle proposée par Caillot (Figure II.17), consistant en un quadrillage régulier de carrés auxquels viennent s'ajouter un réseau de cercles tangents. D'autres motifs ont été imaginés tels que des réseaux de cercles disjoints, tangents ou enchevêtrés. Ces motifs bien que moins communs, apportent des résultats des plus satisfaisants dans le cas d'essais de rétreint pur.

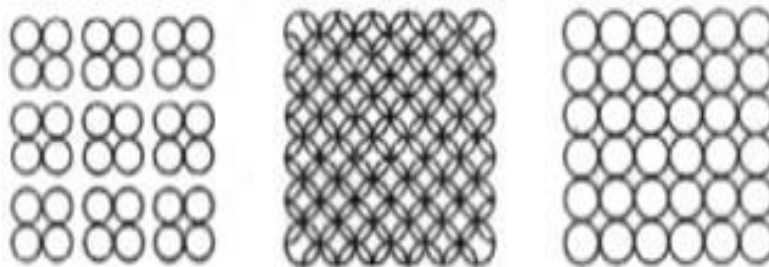


Figure II.17 : Différentes nature de grille de déformation.

- ❖ **Les dimensions** à donner aux mailles dépendent non pas de celles de la pièce mais du gradient de déformation local à un endroit critique. En effet, ces gradients sont très localisés et ne permettent pas de considérer la déformation comme homogène à l'échelle du motif. Afin de réaliser une mesure précise dans les zones critiques, il est important d'utiliser un pas de 2 à 5 mm. Un pas supérieur conduirait à une étude sans grande retombée.
- ❖ **La position** de la rupture est primordiale si l'on souhaite étudier de manière réaliste une rupture. Cette scission doit prendre naissance dans le cercle et

passer par son centre. Lors de la déformation du flan, la grille de Caillot entraîne la création de parallélépipèdes et d'ellipses (Figure II.18).

De la direction et de la mesure des axes d'une ellipse, on peut déduire la direction et la grandeur des deux déformations principales au centre du cercle. De par ces déformations, on détermine les allongements et les trois déformations principales.

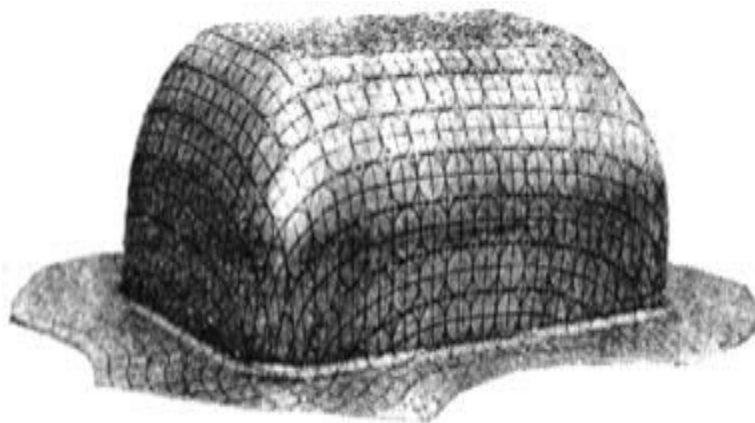


Figure II.18: Exemple de grille déformée.

Actuellement, la mesure des déformations s'effectue par des méthodes plus sophistiquées, parmi ces méthodes :

Mesure par Méthode Optique (GOM1) (Figure II.19), où une grille de points est déposée par électro-marquage sur le flan avant emboutissage. Lors de la mise en forme, ce réseau de point suit les mouvements de la matière et reste visible malgré les forces et les frottements mis en jeu.

L'analyse de ce nouveau réseau de points mène directement à l'analyse des déformations subies par le flan. La mesure de ces centres de points se fait par photogrammétrie en utilisant une caméra numérique haute résolution.

Plusieurs images sont enregistrées sous des angles variés. Puis un logiciel calcule la position 3D des Points. Ce jeu de points permet la définition de la forme de l'embouti, forme indispensable à la projection du champ de déformation sur la surface du flan pour un réel calcul des déformations à la surface de l'objet. Par conservation du volume, le système détermine ensuite l'amincissement subi par les tôles.



Figure II.19 : Mesure par méthode optique GOM.

En plus de la forme 3D de la pièce, le logiciel calcule et visualise sous forme de cartographie 3D couleur les déplacements, les déformations, l'amincissement et même la raideur due à la mise en forme pour les nouveaux matériaux (Figure II.20). Des sections peuvent être librement définies pour estimer l'évolution des paramètres.

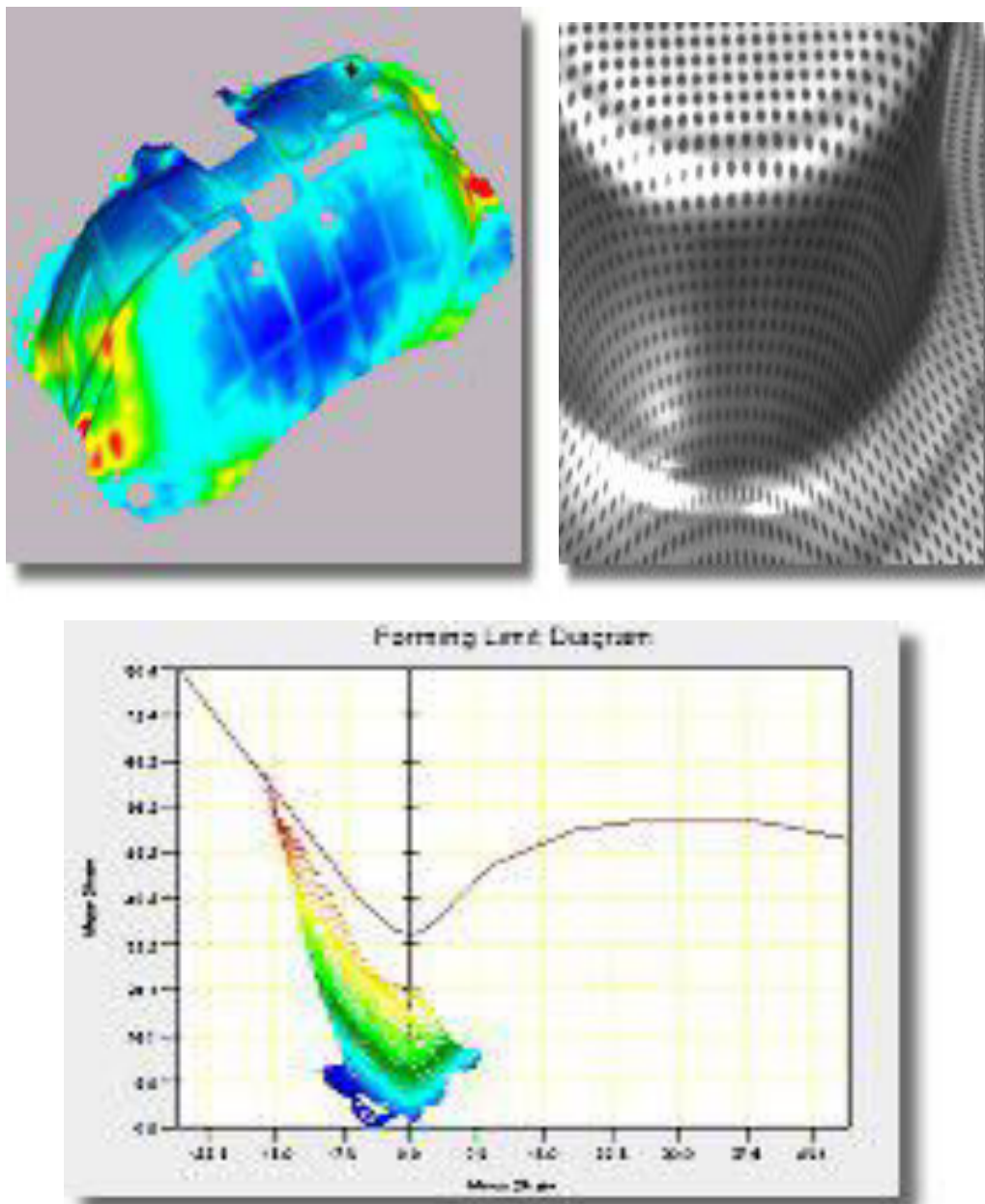


Figure II.20 : Résultats obtenus par GOM.

La comparaison par rapport à la CLF (Figure II.22), incluant plusieurs limites de sécurité, courbes d'iso amincissement, choix du matériau dans la base de données, permet un diagnostic rapide et précis des points chauds. Puis, l'interaction directe entre les points mesurés, les images acquises et toutes les données de calcul permet de les localiser à coup sûr.

II.4.1.4. Les modes de déformations

L'étude des déformations à l'aide de ces grilles a permis de mettre en évidence les différents modes de déformations existant lors d'un emboutissage. On distingue principalement :

- l'expansion bi axiale ;
- l'expansion symétrique ;
- la déformation plane ;
- l'allongement uni axial ;
- la distorsion pure ;
- la compression pure ;
- le rétreint ;
- le pliage sous tension.

II.4.2. Essais d'emboutissage

De nombreux essais spécifiques ont été imaginés et utilisés pour juger l'aptitude d'une tôle à subir l'opération d'emboutissage. Nous les avons classés selon le mode de déformation prédominant.

La Figure II.21, représente les principaux modes de déformations tels qu'ils apparaissent sur des emboutis servant à des essais de caractérisation (essais Swift, Erichsen, etc.) [13]. Les cercles sur le graphe montre l'état des déformations de la matière, c'est à dire on dessine sur la tôle initiale des petits cercles puis on fait l'emboutissage et après formage on regarde la forme du cercle, il devient ellipse où l'axe Y (vertical) de l'ellipse est ε_1 et l'axe X (horizontal) est ε_2 .

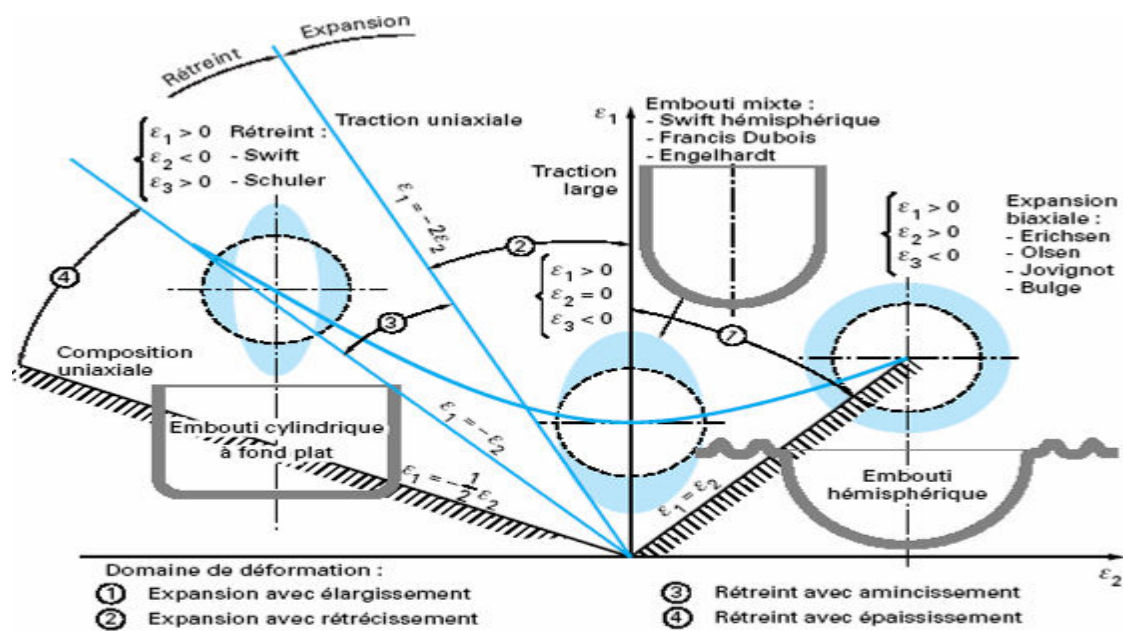


Figure II.21 : Principaux modes de déformation en emboutissage illustrés par des emboutis servant à des essais de caractérisation.

La représentation la plus fidèle des déformations sur un embouti pendant et après formage est donnée par les déformations rationnelles qui peuvent être représentées dans un diagramme dont les axes orthogonaux sont les déformations principales ϵ_1 et ϵ_2 .

Le domaine de l'expansion est défini par la surface comprise entre les demi-droites :

Le domaine du rétreint est défini par les demi-droites :

$$\epsilon_1 = -2\epsilon_2 \text{ et } \epsilon_1 = -1/2\epsilon_2$$

Dans le mode de déformation en rétreint, on notera, en particulier, l'augmentation d'épaisseur au sommet de la jupe de l'embouti ($\epsilon_3 > 0$), alors que dans le mode en expansion il y a amincissement de l'épaisseur du flan sous le nez du poinçon ($\epsilon_3 < 0$).

II.4.2.1. Essais d'expansion Bi axiale

Comme les frottements modifient la répartition des déformations dans la tôle, il faut distinguer le cas des essais sans frottement (gonflement hydraulique : Jovignot,

Bulge test) de celui avec frottements (poinçon hémisphérique : Erichsen modifié; essai suédois; Persoz; et Renault).

II.4.2.2. Essais de rétreint

Ces essais relèvent de deux familles, celles des essais élémentaires (déformation d'une éprouvette de tôle de forme trapézoïdale) et celle des essais simulatifs (essais Swift–IDDRG1). Nous traiterons juste de cette dernière famille.

Les essais simulatifs consistent à emboutir des coupelles profondes à fond plat et à flan non bloqué sous le serre-flan. En effet, si le rayon de raccordement du poinçon est suffisamment petit, il n'y a pas d'expansion sous le nez du poinçon, et la déformation dominante est le rétreint sous serre flan.

Dans le cas de l'essai Swift, codifié par l'IDDRG, le flan est transformé en coupelle cylindrique (Figure II.22). Le but de cette expérimentation est de caractériser le rapport entre le diamètre d du poinçon et le diamètre D du flan.

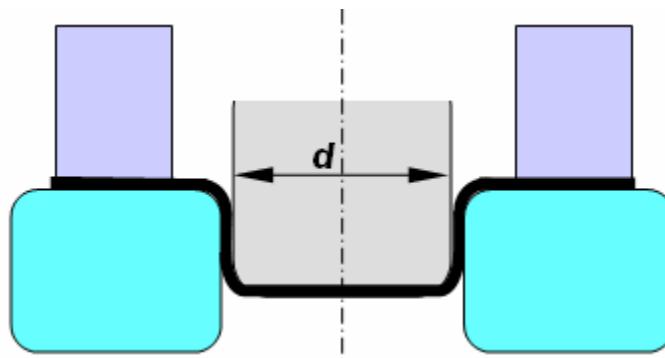


Figure II.22 : Essai Swift.

Malgré ses difficultés d'exécution, cet essai a connu un certain développement récemment

Principalement suite à l'excellente corrélation trouvée par Witheley entre le rapport limite d'emboutissage d/D et le coefficient d'anisotropie r que nous présenterons par la suite.

II.4.2.3. Essais mixtes

Ce sont les essais les plus répandus car ils permettent d'analyser tous les modes de déformation présentés précédemment. Nous noterons par exemple la présence d'essais :

- de coupelle cylindrique à flan non bloqué et à poinçon hémisphérique (Erichsen, Swift) ou ellipsoïdal
- (Renault), hémicylindriques (Chausson).
- de coupelle cylindrique à fond plat mais à grand rayon de raccordement (Dubois).
- de coupelle à fond plat avec successivement emboutissage à flan non bloqué puis rupture à flan bloqué (Engelhardt).
- d'expansion d'un trou sur un poinçon où la fibre située le long du trou s'allonge jusqu'à rupture.
- de coupelle conique, sans serre-flan, à fond plat, ou hémisphérique (Fukui) (Figure II.23).

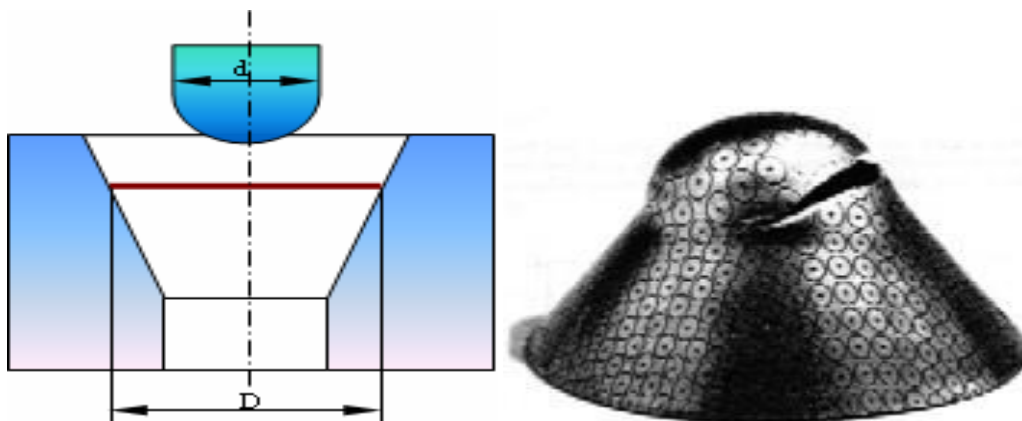


Figure II.23 : Essai Fukui et rupture caractéristique.

Ce dernier essai a connu une grande reconnaissance justifiée par sa grande simplicité, sa rapidité d'exécution et son excellente reproductibilité. Celle-ci est en grande partie attribuable à la suppression de la dispersion due aux frottements par suite de l'absence du serre-flan et l'emploi d'un outillage (matrice et poinçon) poli. Il permet de calculer le rapport entre le diamètre d du poinçon et le diamètre à mi-hauteur D de la matrice conique.

II.4.3.Aspects métallurgiques d'emboutissage

L'étude de l'emboutissage suivant l'aspect métallurgique tend à mettre en évidence une relation générale entre l'influence des caractéristiques du métal et les performances obtenues sur presse. On parle dans ce cas des critères d'emboutissabilité, de la taille des grains, de la structure cristallographique ainsi que des éléments constitutifs du métal.

II.4.3.1.Prise en compte de directions de laminage

L'anisotropie de déformation plastique des tôles tient un rôle prépondérant dans la caractérisation d'une tôle. L'étendue de ce critère a été mis en évidence grâce à l'analyse de la déformation du flan sur le serre flan (rétreint) dans les parois d'une coupelle ou aux pôles d'embouti (expansion). Du fait de l'orientation préférentielle des cristaux, la tôle ne possède pas les mêmes propriétés mécaniques suivant la direction considérée. Il en résulte aussi une perte de l'équilibre des déformations entre la largeur et l'épaisseur lors d'un essai de traction uni axiale. C'est sur ce point que **Lankford** a décidé de baser le second critère d'emboutissabilité, qui est une proportionnalité entre la déformation rationnelle dans le sens de la largeur ϵ_2 et celle dans le sens de l'épaisseur ϵ_3 , définie par le coefficient d'anisotropie :

$$r = \frac{\ln\left(\frac{b}{b_0}\right)}{\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)} = \epsilon_1 / \epsilon_2$$

- ❖ Il représente, en fait, la façon dont l'alliage se comporte entre le rétrécissement et l'amincissement.
- ❖ Si $r < 1$, le métal aura tendance à s'amincir plutôt qu'à se rétrécir alors que si $r > 1$, le métal aura plutôt tendance à se rétrécir qu'à s'amincir.
- ❖ Le coefficient d'anisotropie r dépend de la direction de la déformation.
- ❖ Ainsi, pour caractériser l'anisotropie d'un matériau, il est nécessaire de la mesurer à 45° , à 90° et dans le sens de laminage (direction 0°).
- ❖ Ainsi, on définit le coefficient d'anisotropie moyen :

$$r_n = 1/4 (r_0 + r_{90} + r_{45})$$

Et le coefficient moyen d'anisotropie plane :

$$\Delta r = 1/2 (r_0 + r_{90} - 2r_{45})$$

Pour les aciers inoxydables on lui préfère souvent la formule :

$$\Delta r_n = [(r_0 - r_n)^2 + (r_{90} - r_n)^2 + (r_{45} - r_n)^2]^{1/2}$$

La détermination du coefficient d'anisotropie est simple puisqu'il suffit de mesurer la largeur et l'épaisseur d'une éprouvette ayant subi un allongement déterminé, par exemple de 20 ou 40 %.

Le coefficient d'anisotropie moyen permet de traduire l'aptitude au rétreint de la tôle et le coefficient d'anisotropie plane Δr présente une bonne corrélation avec la hauteur des cornes observées sur embouti (Figure II.24).

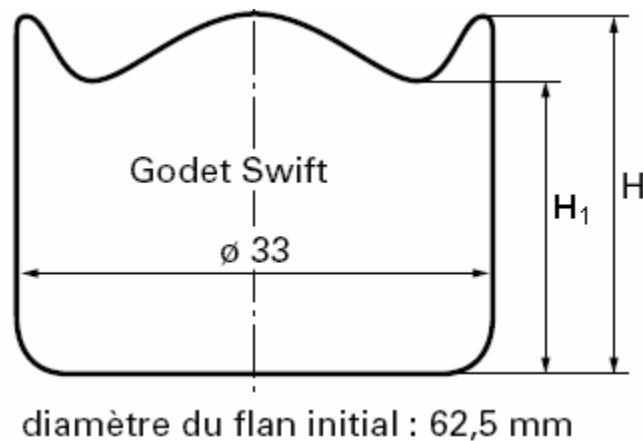


Figure II.24: Hauteur relative des cornes.

II.4.3.2. Validité de ces critères

Afin de déterminer les caractéristiques des coefficients d'érouissage et d'anisotropie, plusieurs études ont été effectuées parmi lesquelles celle de la Commission Emboutissage de l'IDDRG. Ces essais ont consisté à noter le pourcentage de pièces réussies (ou de casse) dans la fabrication de 3 pièces

particulières : un panneau de portière de voiture correspondant à de l'expansion pur, un capot de ventilateur pour le rétreint et un tableau de bord pour les essais mixtes. Les essais ont été réalisés sur plusieurs séries de lots caractérisées par leur valeur de r et n tel que :

- r et n élevé.
- r élevé et n faible.
- r et n faible.
- r faible et n élevé.

Il fut déduit que les pièces à dominance d'expansion obtiennent un pourcentage de réussite pour n fort alors que celles à dominance de rétreint correspondent à un coefficient r fort. Dans le cas de pièces mixtes, ce sont les tôles à r et n forts qui conduisent à un minimum de casses. Il est donc possible de généraliser en disant que les pièces ayant des critères d'emboutissabilité de fortes valeurs permettent de faire toutes les pièces alors que celles à faibles valeurs aboutissent à des casses.

II.4.4. Aspects opératoires

Lors de l'emboutissage d'une pièce, que ce soit en laboratoire ou en industrie, plusieurs paramètres

Permettent d'aboutir à un embouti de bonne qualité. Ces réglages doivent tenir compte de la nature de la tôle, ainsi que de la forme souhaitée.

Une presse, ou une machine de traction ayant pour objectif la réalisation d'emboutis, sont composées

D'une matrice, d'un poinçon et d'une serre flan (Figure 16). Cet outillage offre déjà plusieurs possibilités de réglages :

- ❖ La pression du poinçon ;
- ❖ La vitesse du poinçon ;
- ❖ La pression de serrage des serres flan ;
- ❖ Le jeu entre le poinçon et la matrice...

A ces paramètres, il faut ajouter la lubrification, la taille optimale de la tôle ainsi que son épaisseur. Les nombreuses interactions existant entre ces paramètres font que pendant longtemps, l'emboutissage est resté un art. Ces réglages doivent être précis car ce sont eux qui déterminent la qualité du produit final, mais doivent également

tenir compte du besoin de rentabilité de l'entreprise. En effet, si la vitesse de poinçon est trop faible, la durée de mise en forme d'une pièce dépasserait son niveau de rentabilité.

II.4.4.1. Paramètres liés à la presse

II.4.4.1.1. Le jeu entre le poinçon et la matrice :

Lorsque l'espace entre le poinçon et la matrice est théoriquement égal à l'épaisseur de la tôle, il se produit une augmentation de l'épaisseur de la paroi.

L'augmentation de ce jeu a une influence favorable sous l'effet du poinçon mais entraîne certains

Inconvénients tels que :

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

Inversement, si l'épaisseur du flan est plus grande que l'espace existant entre le poinçon et la matrice, il se produit un écrasement et un amincissement indésirables de la paroi. Il est courant d'utiliser des tables donnant le jeu en fonction de l'épaisseur du flan(h). Elles sont basées sur les formules suivantes [13] :

- Pour l'acier : $Jeu = (h) + 0,07$.
- Pour l'aluminium : $Jeu = (h) + 0,02$.
- Pour métaux non ferreux : $Jeu = (h) + 0,04$.

II.4.4.1.2. Le rayon sur la matrice :

Ce paramètre a une très grande importance autant pour la qualité de l'embouti que pour la répartition des forces. En effet, on comprend parfaitement que dans les deux cas Extrêmes, l'emboutissage n'est pas viable. On observera pour $r_m = 0$ un déchirement du flan et pour $r_m = (D - d)/2$ la formation de plis.

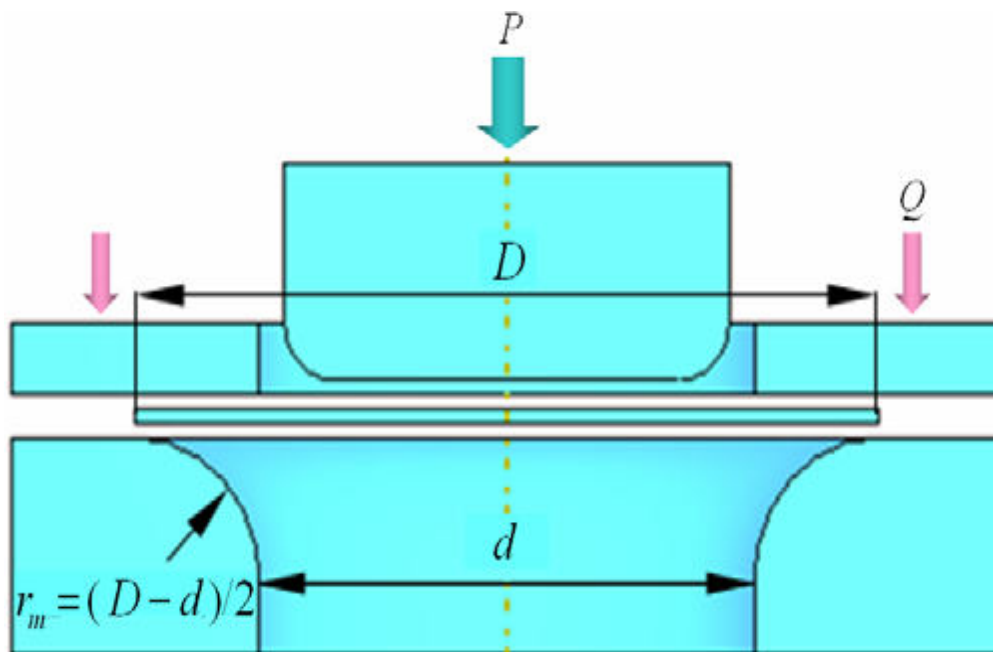


Figure II.25 : Variation de l'arrondi sur la matrice.

Afin de déterminer le rayon efficace, on utilise la relation de Kaczmarek donnant :

— Pour l'acier :

$$r_m = 0.8 [(D - d) h]^{1/2}$$

— Pour l'aluminium :

$$r_m = 0.9 [(D - d) h]^{1/2}$$

D diamètre du flan (mm), d diamètre de l'embouti (mm) et h épaisseur du flan (mm).

II.4.4.1.3. Arrondi sur le poinçon :

La partie de la tôle qui se trouve en contact avec la surface inférieure du Poinçon subit l'action des forces de frottements qui empêchent la matière de bouger. L'effort du poinçon se transmet aux parois de l'embouti. Le poinçon doit contenir un

arrondi pour ne pas percer le flan. Généralement, on prend le rayon du poinçon inférieur à celui de la matrice.

II.4.4.1.4. La vitesse d'emboutissage :

Elle se définit comme la vitesse du poinçon au moment de l'attaque de la tôle. Les transformations que subit le métal à froid entraînent un écrouissage de celui-ci dépendant de cette vitesse. Une vitesse trop faible, tend donc à générer un écrouissage trop important sur le métal, le rendant moins malléable. Une grande vitesse tend à empêcher la propagation de la force du poinçon jusqu'au niveau du flan. Cette altération pouvant alors se traduire par une rupture du flan. D'après BLISS1, il existe une vitesse optimale pour chaque métal :

- Pour l'acier : 200 mm/s
- Pour les aciers doux : 280 mm/s.
- Pour l'aluminium : 500 mm/s.

II.4.4.1.5. La pression du serre-flan :

La suppression des plis est un des objectifs majeurs de l'emboutissage. Le rôle du serre-flan consiste à empêcher la formation de plis sur le rebord du flan en exerçant une pression appropriée. La présence du serre-flan ne s'impose que si $d < 0.95D$ ou $h < 0.2 (D - d)$.

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

- Si la paroi est sans plis et d'aspect brillant, la pression est adaptée.
- Si la paroi est bonne mais que les bords supportent des marques de dentures, c'est que la pression est trop faible.
- S'il se produit un déchirement lors de la descente du poinçon, c'est que la pression est trop
- Importante. Ainsi, pour un embouti cylindrique de diamètre d et de flan de diamètre D , l'effort de serrage appliqué sur le serre-flan sera :

$$Q = (\pi /4) [D^2 - (d + 2r_m)^2] p \quad (13)$$

Où p pressions spécifique :

- Pour les aciers doux : $p = 25 \text{ daN/cm}^2$
- Pour les aciers inox : $p = 20 \text{ daN/cm}^2$

— Pour l'aluminium : $p = 10 \text{ daN/cm}^2$

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

II.4.4.1.6.L'effort d'emboutissage :

L'effort nécessaire pour emboutir des pièces cylindriques dépend tout d'abord des diamètres de l'embouti et du flan primitif, de l'épaisseur et de la qualité de la tôle. Il dépend également de la pression de serre-flan, de la vitesse d'emboutissage, de l'arrondi de la matrice, du jeu entre poinçon et matrice et de la lubrification. Il est difficile de tenir compte de tous ces facteurs dans la détermination de l'effort du poinçon, c'est pourquoi il est commun d'employer la formule simplifiée suivante :

$$P = \pi d h k R_m$$

Avec k coefficient en fonction de d/D , h épaisseur du flan, R_m résistance à la rupture en traction.

II.4.4.2 Paramètres liés à la tôle

II.4.4.2.1.La taille du flan :

Il est important de déterminer la taille du flan primitif pour d'une part économiser la matière et d'autre part faciliter l'emboutissage. La détermination des dimensions du flan a pour base l'égalité des volumes de l'embouti et du flan primitif.

— **Flan pratique** : Il ne se peut déterminer qu'à la suite d'essais sur des outils d'emboutissage réalisés. L'outil de découpage du flan n'est exécuté qu'après ces essais.

— **Flan théorique** : D'après le dessin de l'embouti désiré et en ajoutant de 2 à 3 mm autour du flan pour détournage (Figure 26), on détermine le diamètre du flan donné par :

$$D_2 = 4S/\pi \quad (15)$$

Où S est la surface de l'embouti, calculée par le théorème de **Guldin** :

La surface engendrée par une ligne plane tournante autour d'un axe situé dans son plan et ne le traversant pas est égale au produit de la longueur développée de cette ligne par la circonférence décrite par son centre de gravité.

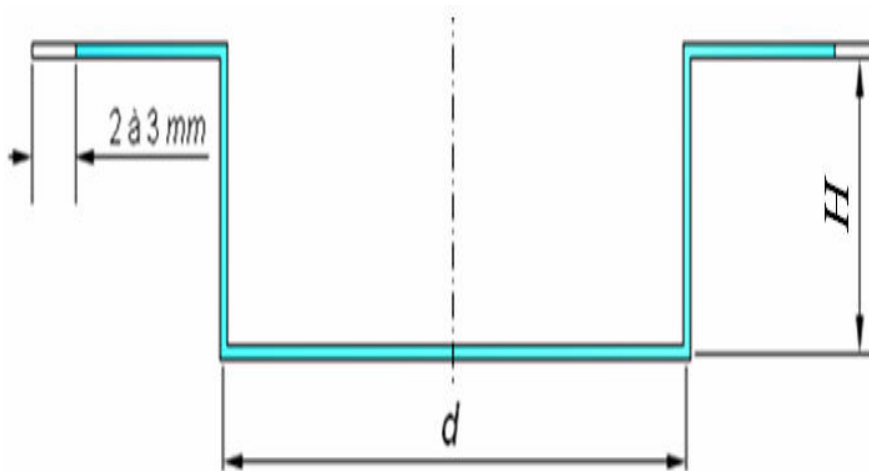


Figure II.26 : Ajout de 2 à 3 mm pour détourage.

II.4.4.2.2. La lubrification :

Parmi les techniques permettant de maîtriser le frottement, l'adhésion et l'usure entre deux corps, la lubrification est certainement la plus courante et la plus anciennement pratiquée. Elle consiste à intercaler entre les deux corps, un troisième corps de faible scission et de contrainte de rupture faible. Ainsi, une lubrification adaptée facilite l'écoulement de la tôle entre la matrice, le serre-flan et le poinçon. Cependant, la lubrification de la partie centrale du flan a un effet néfaste. On peut expliquer ce phénomène par le fait que lubrifiant diminue l'adhérence entre le poinçon et les parois de l'embouti. L'effort est alors concentré sur le fond de l'embouti à proximité duquel il y a rupture. C'est pour cette raison qu'il n'est utile de lubrifier que la face du flan opposée au poinçon. Dans le cas d'un poinçon de petit rayon, il est

préférable de ne pas lubrifier voir même d'augmenter la rugosité du poinçon afin d'éviter une forte déformation par expansion localisée [10].

II.5. Formage incrémental des tôles

L'attente du client industriel va vers une richesse accrue de variantes et des cycles d'innovation de plus en plus courts. Les procédés de fabrication classiques ne permettent plus d'offrir la disponibilité et la rentabilité requise quand il s'agit de petits lots de fabrication, à la différence de la fabrication en grande série où l'emboutissage, par exemple, s'avère parfaitement capable de répondre à ces attentes en termes de cadence, de fiabilité et de coût unitaire.

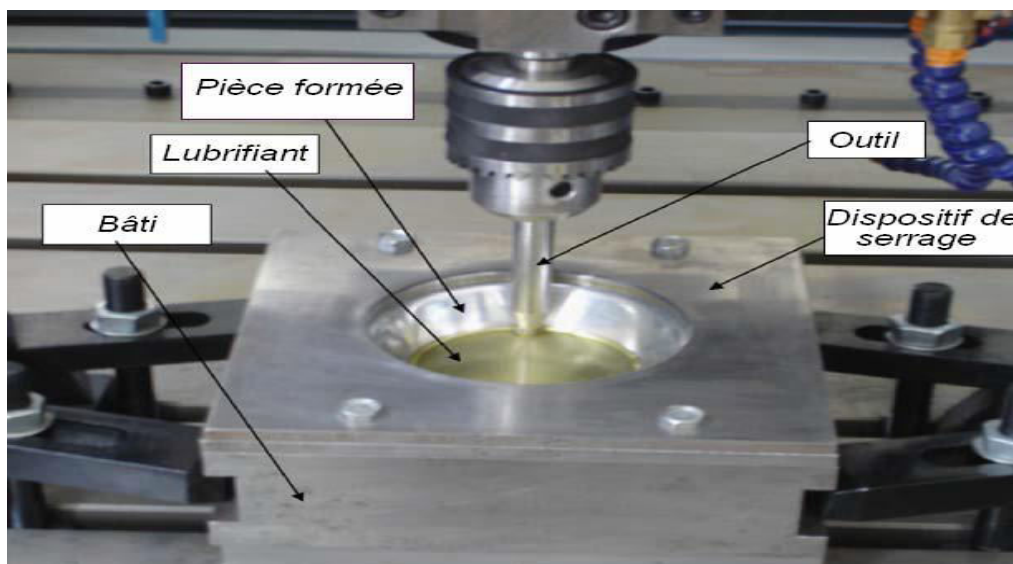


Figure II.27 : Équipement expérimental.

Le formage incrémental des tôles est une technologie très prometteuse pour fabriquer des produits en tôles métalliques en séries réduites et des pièces uniques avec une efficacité. Bien que ce soit un procédé lent, la réduction des coûts liés au fait que les poinçons ou les matrices sont évités. À la différence des autres procédés de mise en forme, le formage incrémental fait appel à une fraiseuse CNC trois axes courante équipée d'un dispositif de serrage pour les tôles à déformer et un seul poinçon universel, monté dans le mandrin de la fraiseuse, capable d'effectuer des

mouvements complexes grâce à la commande CNC (Figure II.27), . Suivant la complexité et la forme géométrique de la pièce à réaliser, la fabrication ne nécessitera souvent qu'un support de forme simple obtenu par usinage en acier, aluminium, matière plastique ou même du bois. Le formage résulte d'une suite d'itinéraires parcourus, lentement, chacun par l'outil à une hauteur précise. Entre deux itinéraires, le poinçon se déplace verticalement de sorte que le formage se fait du haut vers le bas (Figure II.28) [14].

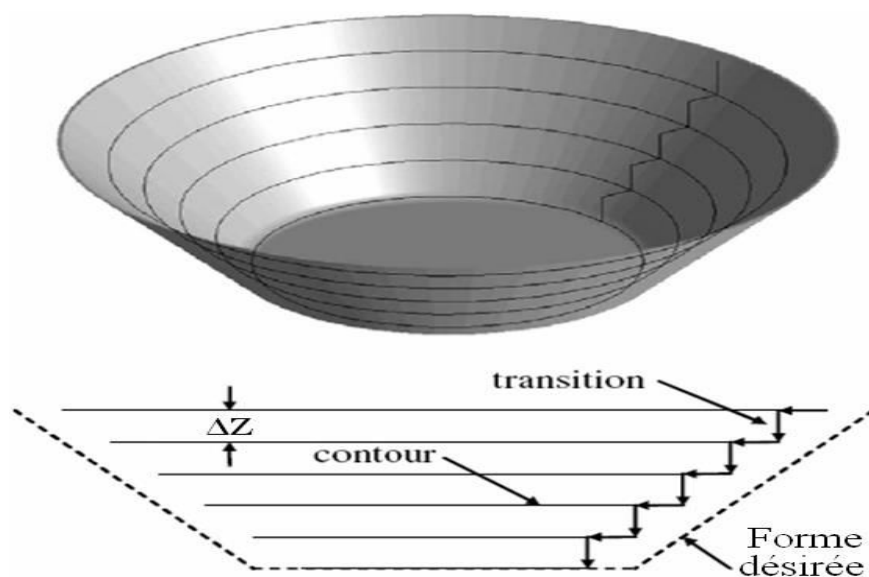


Figure II.28: Formage incrémental d'un cône.

Le poinçon a un corps cylindrique avec une tête sphérique (10 mm de diamètre) (Figure II.29). La tête peut être fixe ou peut tourner autour de l'axe de la broche de la machine. Dans le deuxième cas l'outil roule sur la tôle ce qui produit un frottement de roulement au lieu de glisser. Par conséquent, un meilleur état de surface peut être obtenu [15]. D'autres auteurs, Ambrogio et al [17], ont utilisé un poinçon tournant à une faible vitesse (500 tr/min).



Figure II.29 : Poinçon.

Néanmoins, le procédé a besoin toujours d'une autre optimisation pour garantir la fiabilité requise pour des applications industrielles. L'analyse de processus basée sur les essais expérimentaux et la modélisation est exigée pour analyser l'effet des paramètres du procédé sur les caractéristiques des pièces incrémentalement formées et pour aller plus profond dans l'arrangement du procédé soi-même. Le formage incrémental sur machine CNC permet ainsi de réaliser rapidement des séries très réduites de pièces en acier d'emboutissage, en acier inox, en aluminium, voire même en titane (Figure II.30) [8],

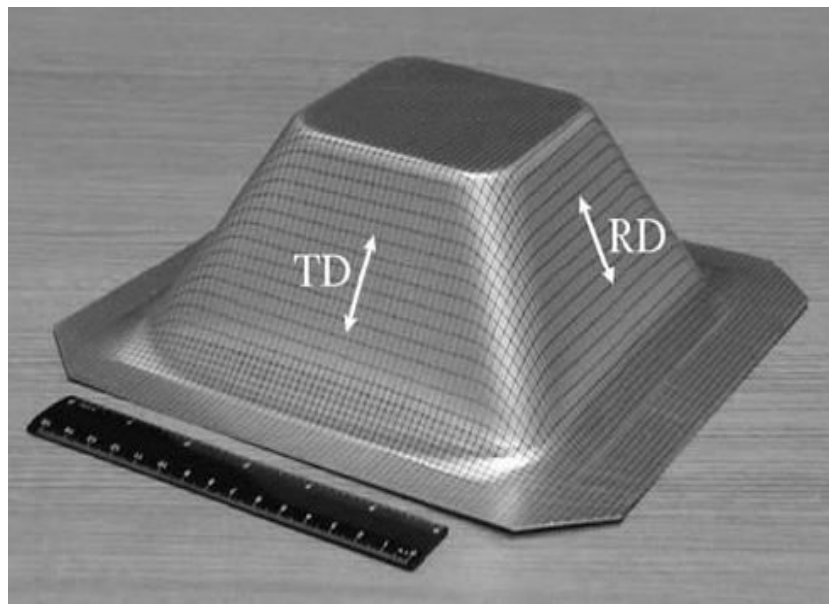


Figure II.30 : Pièce en aluminium obtenue par le formage incrémental.

II.6.Conclusion

Dans ce chapitre, après avoir défini le procédé d'emboutissage et montré l'importance de ce procédé parmi les autres procédés de mise en forme, nous avons mis en clair tout ce qui concerne le procédé d'emboutissage industriel. En premier lieu, une description des modes du procédé, des matériaux emboutisables, du comportement du matériau lors de l'opération d'emboutissage et des différentes formes des pièces embouties, a été faite. Ensuite, nous avons montré les différentes caractéristiques du procédé telles que : les modes de déformation lors de l'opération du procédé et leur mesure, les différents essais du procédé, l'aspect métallurgique et les différents paramètres entrant en jeu liés aux outils et à la tôle. Finalement, une présentation succincte du procédé de formage incrémental.

Chapitre III

**Méthodologie de fabrication des
spires d'une vis d'Archimède par
emboutissage et dimensionnement
par SOLIDWORKS.**

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons voir la méthode de fabrication des spires par emboutissage en utilisant des disques. On va voir aussi le dimensionnement de la vis d'Archimède par SOLIDWORKS.

III.2. Vis d'Archimède avec âme

Les vis avec âme sont formées à partir de disques ou en continu. Elles ont la particularité d'avoir un centre plein de forme ronde ou carrée, caractéristique leur permettant une efficacité de transport pouvant atteindre 45 % de leur volume. Leur section est généralement mince et haute. Faites principalement d'acier au carbone ou d'acier inoxydable, elles sont capables de transporter des matériaux secs ou humides.

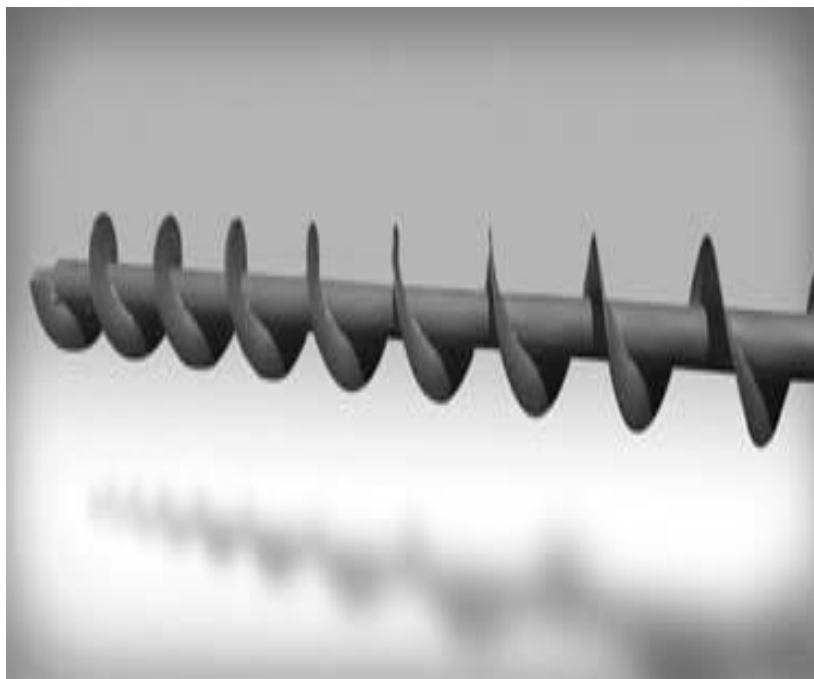


Figure III.1 : vis d'Archimède avec âme

La plupart du temps, les vis avec âme sont régies par la norme CEMA, un standard de l'industrie. Aussi, elles doivent être supportées par les deux extrémités ou avoir des roulements intermédiaires qui réduisent la flexion. Elles peuvent être offertes en main droite, en main gauche ou en combinaison des deux. Le pas peut être

standard (diamètre = pas), court ou long, et nous offrons une dureté variant de 180 à 500 Brinell.



Figure III.2 : vis d'Archimède avec auge.

III.3. L'Hélice [19]

III.3.1 Définition

L'hélice est une courbe dans l'espace dont la tangente en tout point forme un angle constant avec une droite fixe.

C'est aussi le plus court chemin entre deux points sur un cylindre (hors deux points sur le même axe). Développée à plat, l'hélice est une droite.

On trouve cette courbe sur:

- les ressorts
- le filetage des vis,
- les escaliers en colimaçon (notamment la main courante),
- le solénoïde en électronique
- l'ADN en double hélice,

- les cornes de certains animaux,
- les éléments de certaines plantes,
- la course des écureuils autour d'un tronc d'arbre,
- les bouclettes des cheveux

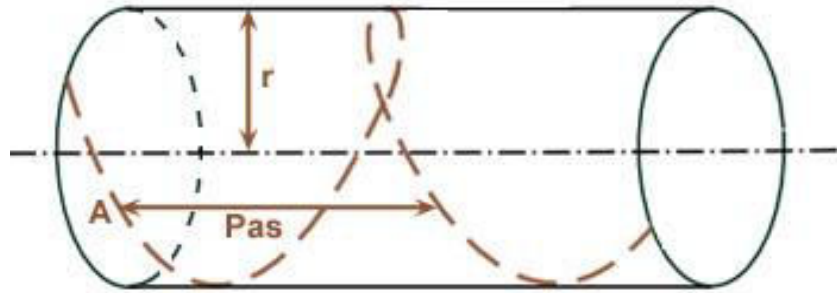


Figure III.3 : hélice.

III.3.2. Longueur de l'hélice [19]

- H: longueur de l'hélice;
- l: la longueur d'une spire;
- h: hauteur du cylindre;
- p: le pas de l'hélice;
- n: la quantité de spires ($h = np$);
- r: rayon du cylindre; D son diamètre et P son périmètre ($P = \pi D$).

Pour n spires :

$$H = \sqrt{h^2 + (n\pi D)^2} \approx n\pi D = PD$$

Pour une spire :

$$l = \sqrt{p^2 + (\pi D)^2} = \pi \sqrt{D^2 + \left(\frac{p}{\pi}\right)^2}$$

L'approximation est valable pour n grand ou h petit. Plus le nombre de spires est grand sur une petite hauteur, plus la longueur de l'hélice se rapproche de n fois le périmètre du cercle.

Exemple

L'hélice est enroulée sur un cylindre. La méthode consiste à dérouler le fil de la spire sur un plan et appliquer le théorème de Pythagore.

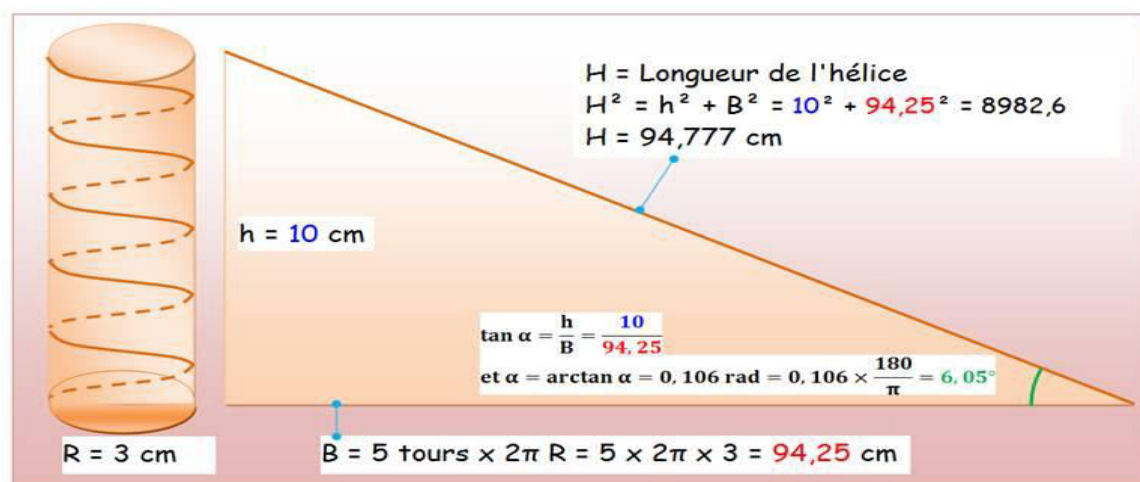


Figure III.4 : Développement du cylindre

III.3.3. Longueur d'une spire d'hélice

Sur un cylindre, une spire d'hélice régulière.

Elle part d'un point sur le cercle du bas pour arriver au point sur le cercle d'en haut situé sur la même verticale. De sorte que la spire fait exactement un tour.

La résolution de ce type de problème consiste à pratiquer une coupe sur une verticale et à développer la surface latérale du cylindre sur un plan.

On imagine que nous coupons le cylindre le long d'une verticale et que nous le déroulions nous obtiendrons un rectangle avec un trait oblique représentant la spire.

La spire (régulière) devient une droite et le théorème de Pythagore est appliqué

$$L^2 = 10^2 + (6)^2 = 455,3$$

$$L = 21,33 \text{ cm}$$

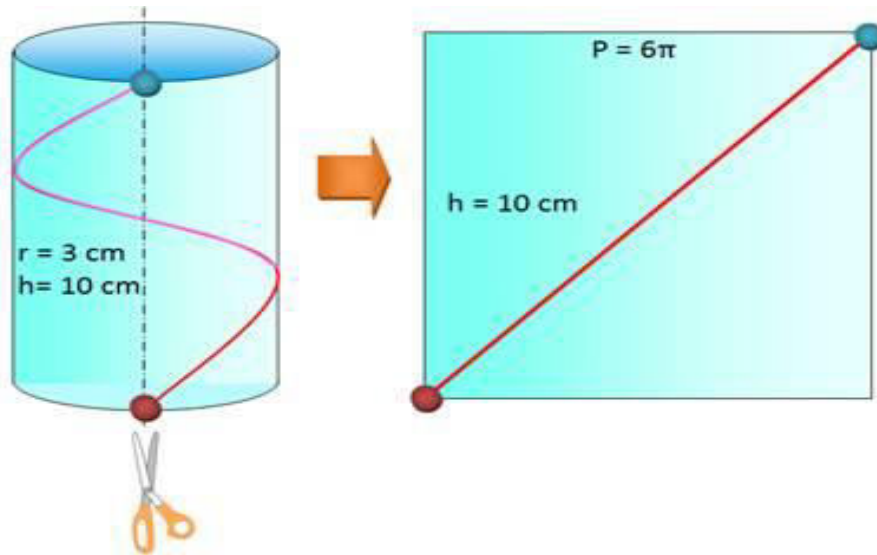


Figure III.5 : Une spire sur un cylindre

III.3.4. Longueur de plusieurs spires d'hélice

III.3.4.1. Deux spires sur deux cylindres

En empilant deux cylindres de ce type, la longueur de l'hélice (deux spires sur 20 cm) devient évidemment :

$$2 \times 21,33 = 42,66 \text{ cm}$$

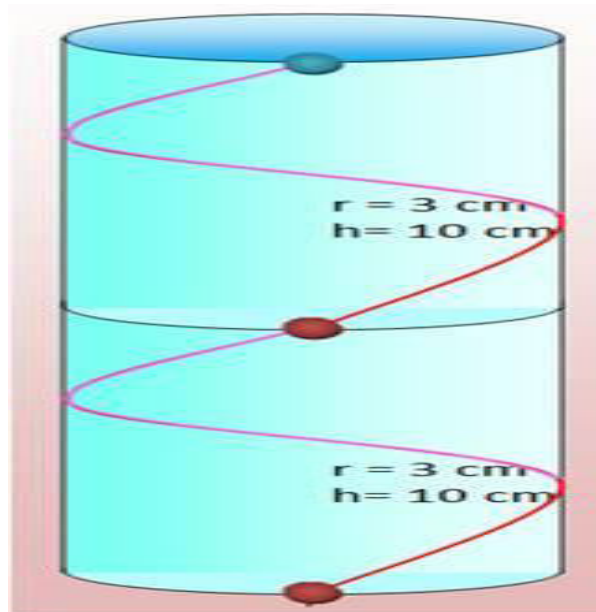


Figure III.6 : longueur de deux spires sur deux cylindres.

III.3.4.2. Deux spires sur un seul cylindre

Si, on conserve le cylindre initial (10 cm) pour y placer deux spires, il faut reprendre le calcul avec deux cylindres de chacun 5 cm)

Pour une spire:

$$S^2 = 5^2 + (6)^2 = 380,3 = 19,5^2$$

Pour deux spires:

$$L = 2 \times 19,5 = 39 \text{ cm}$$

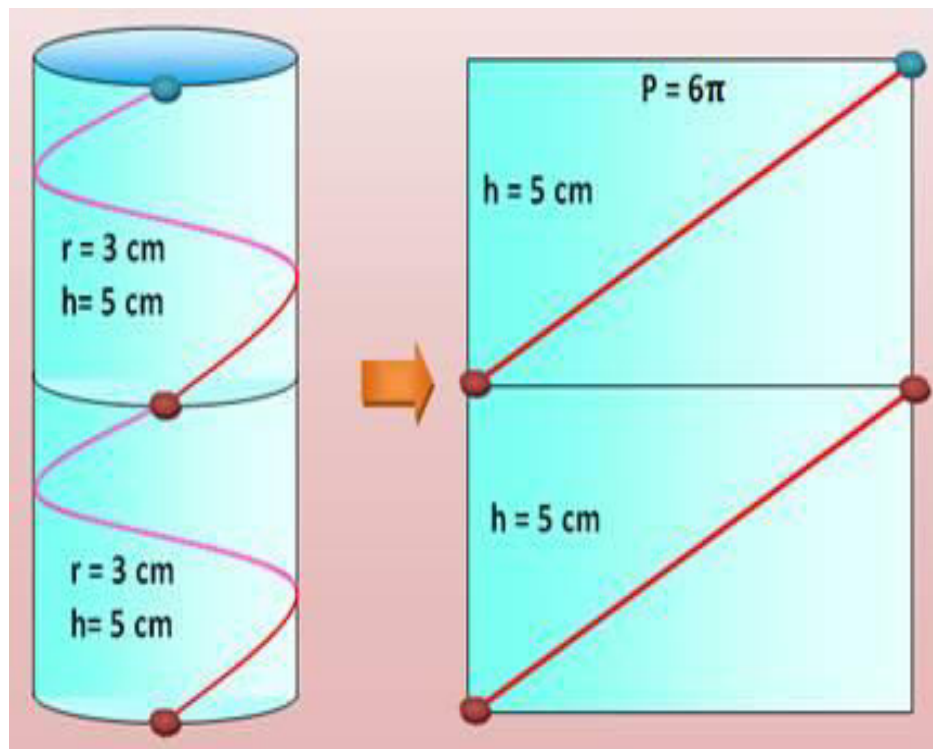


Figure III.7 : longueur de deux spires sur un seul cylindre

III.3.4.3. Plusieurs spires sur un cylindre

La formule de calcul devient:

$$H = \sqrt{h^2 + (n\pi D)^2} \approx n\pi D = PD$$

Approximation valable si n grand et h petit

Avec $h = 10$ cm et $r = 3$ cm, on obtient une bonne approximation dès $n = 5$ spires.

Notre exemple numérique

La formule devient:

$$L = \sqrt{100 + 36\pi^2 n^2} \approx 6\pi n = nP$$

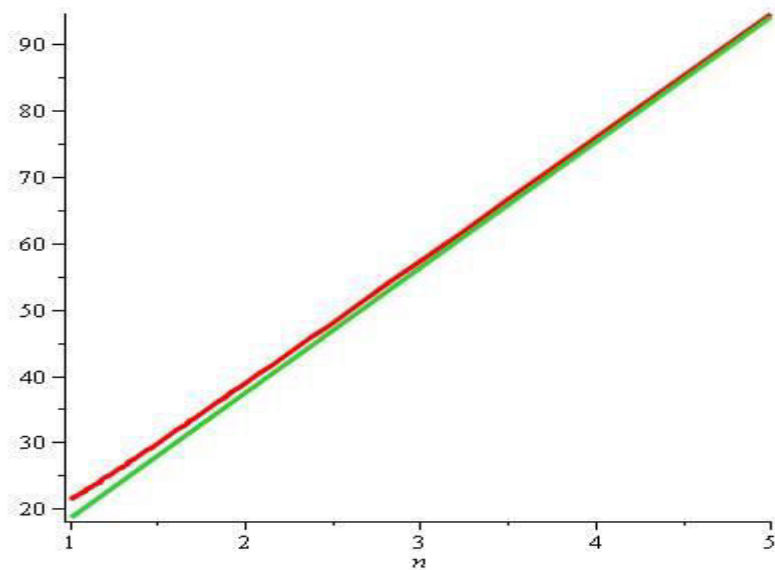


Figure III.8 : Courbe pour L (verte) et son approximation (rouge)

Pour $n = 5$, $L = 94,778$ et l'approximation vaut 94,248, soit un écart de 0,5%. [19]

III.4. Les spires embouties

La spire emboutie est obtenue par emboutissage à chaud ou à froid sur presse. L'épaisseur de la spire est constante de la base à sa périphérie, d'où une durée de vie prolongée. Le calibrage de chaque spire garantit la régularité du pas et un fonctionnement optimal du convoyeur. Après emboutissage et afin de faciliter le montage ultérieur de la spire sur son arbre, nos techniciens procèdent à l'ajustement de chaque spire sur un gabarit.

Les spires embouties conviennent bien pour des usages intensifs : industries chimiques, agroalimentaires, minières, etc.... [18]



Figure III.9 : spires embouties

III.5.Gammes et tolérances de fabrication

Généralement on utilise ces mesures et tolérance pour fabriquer les spires embouties :

Diamètre : 50 à 3000mm / **Epaisseur** : de 2 à 50 mm.

Matières : aciers au carbone, aciers alliés, aciers inoxydables et anti-abrasion.

Tolérance sur Ø intérieur : +/- 0,2 % du Ø.

Tolérance sur Ø extérieur : + 0 /- 3 mm.

Tolérance sur pas : +/- 2 mm.

Tolérance sur épaisseur : tolérance de laminage.

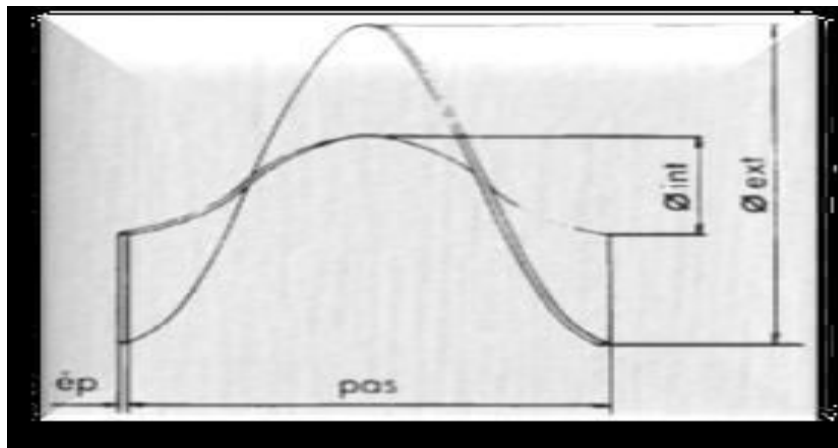


Figure III.10 : le dimensionnement géométrique d'une spire. [18]

III.6. Les spires en filet continu

La spire en filet continu est obtenue par roulage : déformation hélicoïdale à chaud ou à froid d'un feuillard dont la largeur correspond à la hauteur de la spire que l'on veut obtenir.

Ce type de spire possède deux caractéristiques propres : une épaisseur de filet non constante de l'intérieur à l'extérieur et une grande longueur de filet.



Figure III.11 : spires en filet continu.

III.6.1. Tolérances de fabrication [18]

Tolérance sur Ø extérieur : $\pm 2\%$.

Tolérance sur Ø intérieur : $\pm 2\%$.

Tolérance sur pas : +/- 5 %.

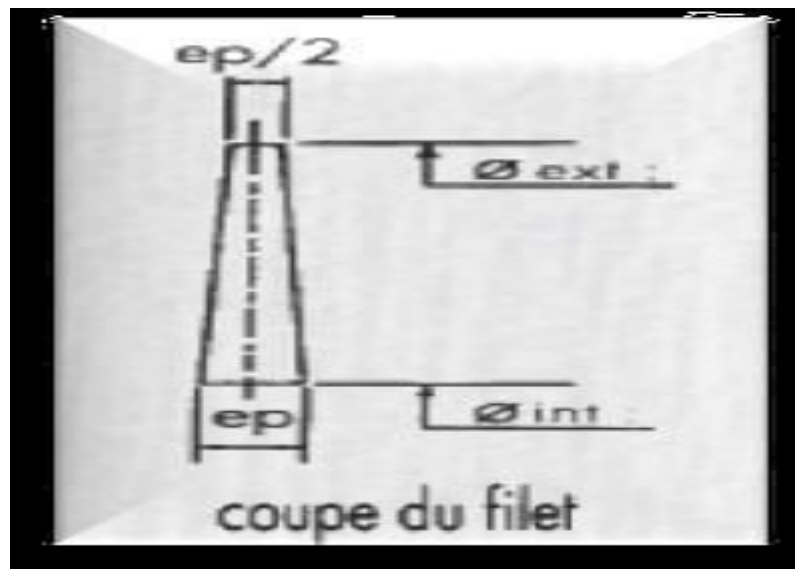


Figure III.12 : tolérance d'une coupe de filet.

III.7. La fabrication des spires avec des disques

Ce procédé débute par la déformation à froid d'une série de disques à l'aide d'une plieuse qui donne la forme d'une hélice, on prend le nombre de disques selon la longueur de l'arbre, sachant les disques aussi seront choisis plier selon le besoin (diamètre de l'arbre, le pas de l'hélice, son diamètre, l'angle et l'épaisseur, enfin on fait un assemblage avec soudage les uns aux autres sur l'un des bords de la découpe.



Figure III.13 : spires par disques

III.8. Fabrication des spires d'une vis d'Archimède par des disques

III.8.1 Les étapes de la fabrication

La fabrication d'une vis sans fin débute par la découpe d'une série de disques. Pour chaque disque, on dessine au préalable deux cercles concentriques de 25 et 5 cm de diamètre (pour un tube en acier de 5 cm de diamètre) sur la plaque de tôle, puis on découpe-les en suivant les deux tracés.

- On répète l'opération autant de fois que nécessaire. Une vis sans fin de 9 m de longueur nécessite généralement plusieurs disques.
- On découpe ensuite chacun des disques sur un rayon, puis on déforme-les afin de leur donner une forme d'hélice par une presse d'emboutissage.
- On assemble-les en les soudant les uns aux autres sur l'un des bords de la découpe.
- On insère alors le tube en acier dans la partie centrale du colimaçon ainsi obtenu.
- On réalise un point de soudure sur la partie basse de la vis sans fin afin de fixer le colimaçon au tube d'acier. Avec une pince-étau, on étire ensuite le colimaçon le plus possible vers le haut de la vis, puis réaliser un nouveau point de soudure pour le fixer. on doit alors le travailler pour obtenir la courbure la plus parfaite possible.
- On Soude ensuite tous les disques au tube d'acier. La vis sans fin est terminée !
- Astuce : la fabrication d'une vis sans fin est la première étape dans la réalisation d'une tarière manuelle. On Prévoit alors un tube plus long adapté au gabarit et on soude une poignée sur sa partie supérieure. Pour plus d'efficacité, on doit affûter les lames de la vis et à ajouter des disques pour creuser plus profondément.

III.8.2. Le matériel nécessaire

Pour une vis sans fin de 9 m de longueur et de 5 cm de diamètre :

- ❖ un tube en acier de 9 m de hauteur et 5 cm de diamètre ;
- ❖ Des plaques de tôle de 25 cm et d'2 mm d'épaisseur ;
- ❖ un fer à souder ;
- ❖ un compas ;
- ❖ une pince-étau ;

III.9. Dimensionnement des spires par SOLIDWORKS

Grâce à SOLIDWORKS, logiciel qui permet de concevoir tous les éléments de la vis d'Archimède, basant sur ces concepts dans ce présent chapitre nous allons dimensionner les différents éléments de cette dernière dans le but de fabriquer une vis d'Archimède avec âme par emboutissage.

III.9.1. Dimensionnement de disque :

La géométrie de notre disque est :

- ❖ Diamètre total : 250 mm.
- ❖ Diamètre intérieur : 50 mm.
- ❖ Epaisseur de disque : 2 mm.

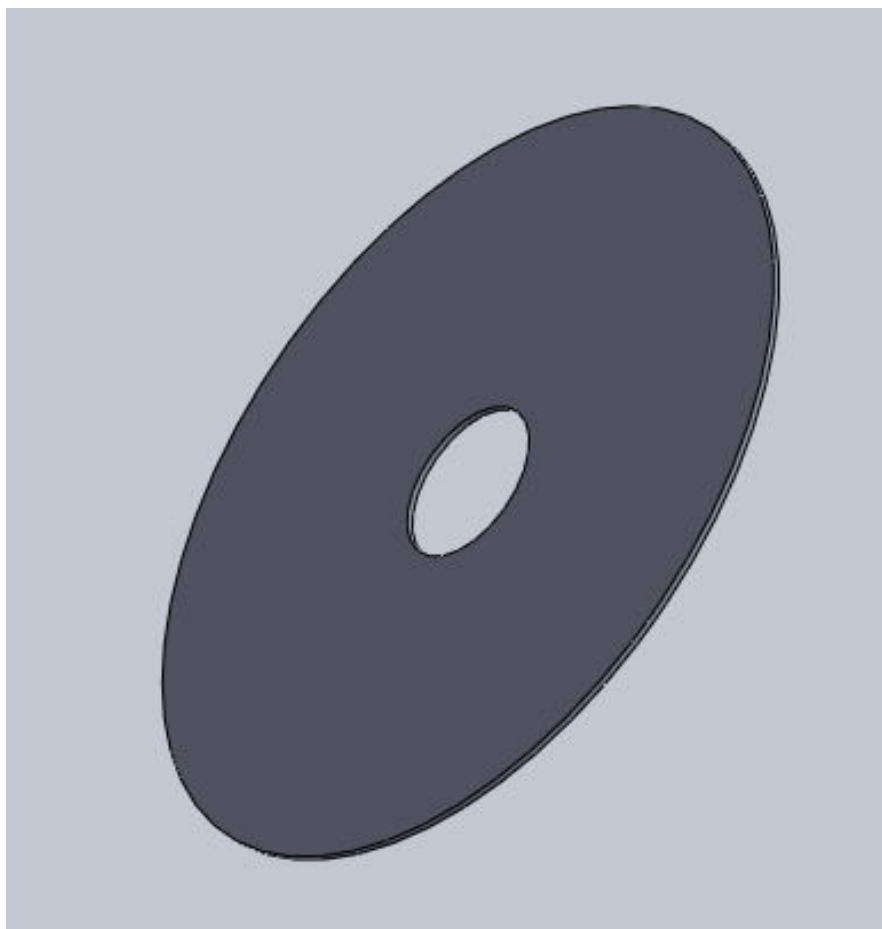


Figure III.14 : dimensionnement de disque par SOLIDWORKS

III.9.2. Dimensionnement de l'arbre de la vis

Pour notre vis on utilise les dimensions suivantes pour dimensionner l'arbre de la vis :

- ❖ Diamètre de l'arbre : 50mm.
- ❖ Longueur de la vis : 9 m.



Figure III.15 : dimensionnement de l'arbre de la vis par SOLIDWORKS.

III.9.3. Dimensionnement des spires embouties

On prend notre spire et on applique notre procédé qui est l'emboutissage et on obtient une hélice. On utilise plusieurs disque emboutie pour avoir une hélice de la même longueur de l'arbre on obtient la figure :

- ❖ Le pas de la spire : 250 mm.
- ❖ L'angle d'inclinaison : 18°.

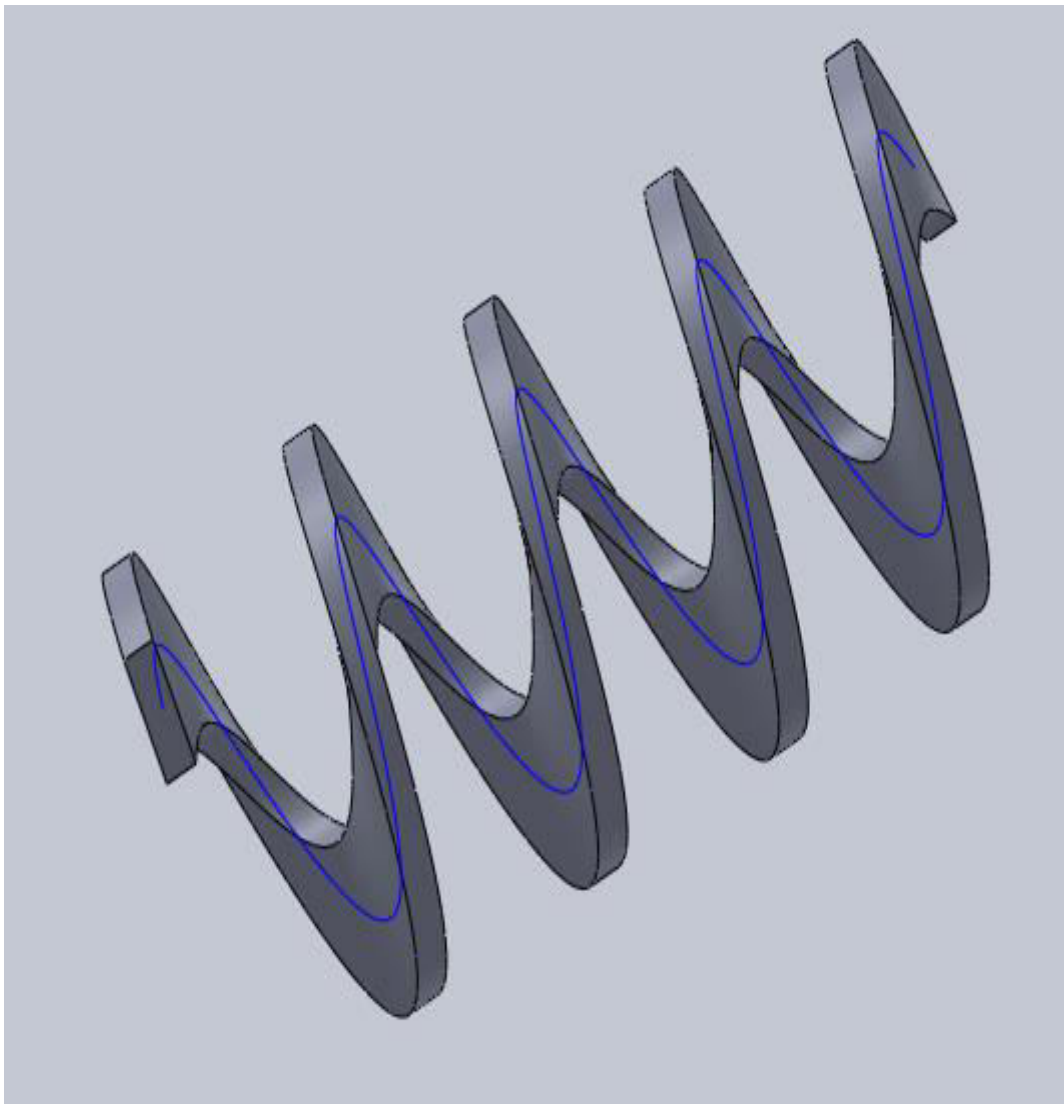
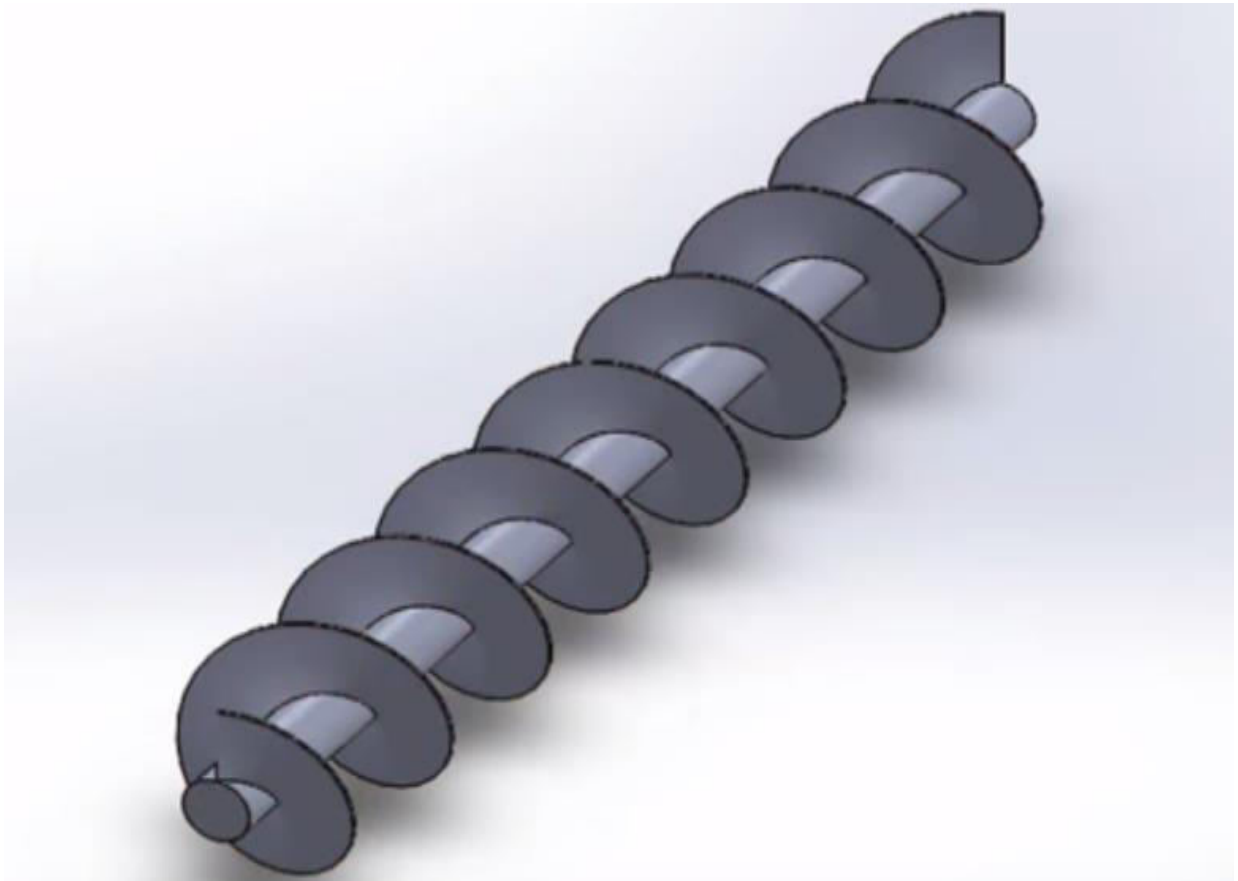


Figure III.16 : dimensionnement des spires embouties par SOLIDWORKS

III.9.4. Dimensionnement de la vis d'Archimède :

Après avoir embouties nos disques, on fait un assemblage entre l'hélice et l'arbre par soudage .on obtient la figure :



**Figure III.17 : dimensionnement de la vis d'Archimède réalisée par
SOLIDWORKS**

III.10. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé la méthode de fabrication des spires par le procédé emboutissage, une généralité sur l'hélice et un dimensionnement par SOLIDWORKS pour la vis. Dans le chapitre suivant on va faire la méthode de calcul et le dimensionnement de la vis.

Chapitre VI
Elément de calcul et
Dimensionnement.

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons montrer les méthodes de calculs concernant la vis d'Archimède.

IV.2. Géométrie

Les éléments géométriques essentiels de la vis d'Archimède sont indiqués sur la figure V.1. Les paramètres suffisent à définir cette géométrie sont :

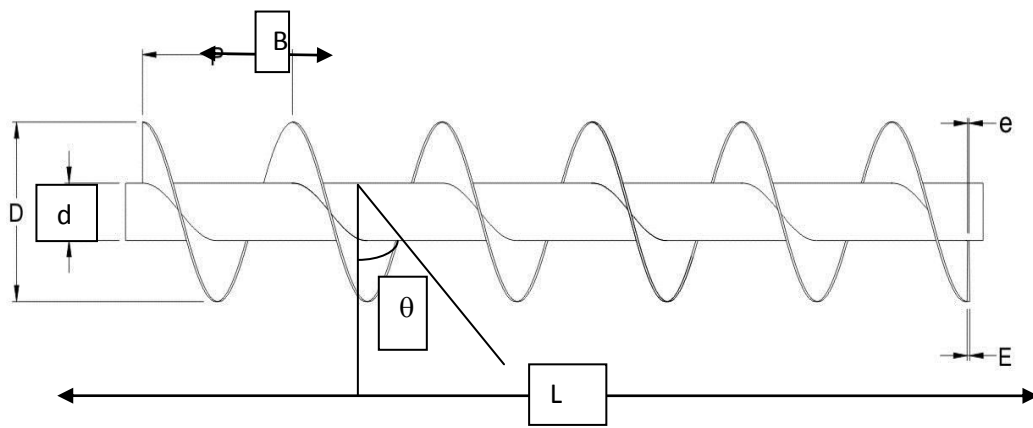


Figure IV.1 : Géométrie de la vis avec âme.

- Le diamètre de la vis : **D**,
- Le diamètre de l'arbre : **d**,
- Le pas de la vis : **B**,
- L'épaisseur du filet : **e**,
- Longueur de la vis : **L**,
- L'effort d'emboutissage : **P**,
- La pression du serre-flan : **Q**,

IV.3. Profondeur et largeur du chenal [3]

Le diamètre de la vis (D) et le diamètre de l'arbre (d) permettent de calculer la profondeur de chenal H :

$$H = \frac{D-d_{ext}}{2} \dots\dots\dots (IV.1)$$

La largeur du chenal peut être décrite par :

$$W = B \cos \theta - e \dots\dots\dots (IV.2)$$

IV.4. Le pas de la vis

Il varie en fonction du produit transporté, il prend des valeurs entre 0.5 et 1 fois le diamètre de la vis.

Dimensions normalisées (en mm, empruntées au nombre de la **séries de renard**) : elles sont regroupées dans le tableau suivant :

Diamètre	160	200	250	315	400	500	630
Pas	160	200	250	300	400	450	450

Tableau 2 : les dimensions normalisé emprunté à la série de RENARD

IV.5. L'angle d'inclinaison du filet [3]

Le pas détermine l'angle θ que fait le filet avec un plan perpendiculaire à l'axe de la vis. En fait, cet angle θ varie avec la distance à l'axe de la vis, mais si la profondeur du chenal est faible par rapport au diamètre de la vis (ce qui est généralement le cas), on se contente d'une valeur unique, prise au niveau du fourreau :

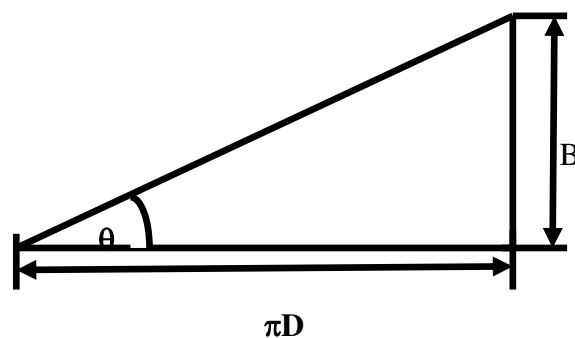


Figure IV.2 : schéma de démonstration de l'angle du filet

$$\tan\theta = \frac{B}{\pi D} \dots\dots\dots(\text{IV.3})$$

B : c'est le pas de la vis

IV.6. Longueur des spires (hélice)

La longueur déroulée d'un tour d'hélice s'écrit :

$$Z = \frac{\pi D}{\cos \theta} = \frac{B}{\sin \theta} \dots\dots\dots (\text{IV.4})$$

IV.7. Longueur de la vis d'Archimède

Longueur des appareils : éviter de dépasser 100a 150 fois le diamètre des spires car on engendre des frottements importants entre la périphérique des spires et l'auge. Pour palier ou supports intermédiaire, mais on gardera a l'esprit que ces éléments mécaniques placés a l'intérieur de l'auge tout les 3 mètres environ constituent des zones d'étranglement pour le flux de produit. Prendre donc la précaution de limiter la hauteur du produit transporté a l'intérieur de l'auge ; environ 1/3 du diamètre de la spire.

En pratique, une vi est caractérisée par son diamètre nominal, ou diamètre externe, D et sa longueur L, ou par le rapport L/D.

IV.8. Vitesse de rotations de la vis

Rappelons que le principe moteur de la vis d'Archimède, c'est le rotor ou l'hélice. Le rotor par l'action de combiné de sa rotation et de la pesanteur fait avancer le produit dans l'auge. La vitesse de rotation de la vis est inversement proportionnelle au :

- Poids de produit
- Le produit abrasif

- Diamètre de la vis

$N \cong 50 \text{tr.mn}^{-1}$ pour les produits lourds.

$N < 150 \text{tr.mn}^{-1}$ pour les produits légers.

IV.9. Calcul de débit Q (m³/h) [2]

Pour le calcul du débit, on tient compte de la section utile de la spire.

Section utile = Section de la spire – Section de support intermédiaire (IV.5)
--

Pour tenir compte de la section du support intermédiaire, il est nécessaire de minorer le volume par tour de rotor de :

- 20% environ (du diamètre 200 au diamètre 400).
- 10% environ (du diamètre 500 au diamètre 630)

Signalons qu'il est préférable d'éviter le support intermédiaire dans les vis de diamètre 160 ; en effet, l'encombrement du support et la coupure de spire à cet endroit sont à l'origine des bourrages. Nous allons prendre 1/4, 1/3 ou 1/2 de la section utile de la spire suivant le choix du remplissage de l'auge, c'est le facteur Φ :

- 1/4 pour un produit coulant mal ;
- 1/3 pour le produit coulant bien ;
- 1/2 pour une vis sans support intermédiaire ;

$$Q = 60 \square \Pi \frac{D^2}{4} B k N \dots \dots \dots (IV. 6)$$

Ce débit peut s'écrire en fonction de la vitesse de translation du produit comme suit :

$$Q = 3600 \square \Pi \frac{D^2}{4} V k \dots \dots \dots (IV. 7)$$

Avec :

D : (m) Diamètre nominal de la spire,

B : (m) pas de la spire,

N : (tr/min) vitesse de rotation

K : rendement du débit transporté par la vis,

V : (ms.⁻¹) vitesse d'écoulement du produit,

Avec :

$$V = \frac{BN}{60} \dots \dots \dots (IV. 8)$$

IV.10. Resistance mécanique de l'arbre a la torsion

Pour assurer un fonctionnement sans risque de casse, la vis doit pouvoir résister au couple maximal pouvant être fourni par un moteur placé sur la vis .cette valeur est obtenue a jouissance et a vitesse maximales :

$$M_{\max} = \frac{P_{\max}}{\frac{2\Pi}{60} N_{\max \text{ vis}}} \dots \dots \dots (IV. 9)$$

Avec :

Max (N.m) : couple maximal pouvant être transmis par un moteur à la vis,

PMA (W) : Puissance maximale du moteur,

Max (tr.mn⁻¹) : Vitesse maximale de rotation de l'arbre,

La contrainte de cisaillement τ_t (en N/mm²) d'une section soumise a la torsion, elle doit être inferieur a la contrainte de cisaillement a la torsion admissible $\tau_{t \text{ ad}}$, elle se calcul suit :

$$\tau_t = \frac{M_{max}}{W_p} < R_{pg} \dots \dots \dots \text{(IV.10)}$$

Tel que :

$$W_p = \frac{I_0}{\rho} \dots \dots \dots \text{(IV.11)}$$

Avec :

$$\rho = R_{ext} = \frac{d_{ext}}{2} \dots \dots \dots \text{(IV.12)}$$

W_p : (mm³) Module de torsion

I_0 : (mm²) moment quadratique polaire,

$$I_0 = \frac{\pi}{32} (d_{ext}^4 - d_{int}^4) \dots \dots \dots \text{(IV.13)}$$

Avec :

ρ : (mm) Rayon de l'arbre,

d_{ext} : (mm) diamètre extérieur de l'arbre,

d_{int} : (mm) Diamètre intérieur de l'arbre (il prend la valeur « 0 » si l'arbre plein),

On retrouve finalement :

$$\tau_t = \frac{16 \times M_{max} \times d_{ext}}{\pi (d_{ext}^4 - d_{int}^4)} < R_{pg} \dots \dots \dots \text{(IV.14)}$$

IV.11. L'effort de l'emboutissage :

L'effort de l'emboutissage est caractérisé par la loi :

$$P = \pi d h k R_m \dots \dots \dots (IV. 15)$$

IV.12. La pression du serre-flan :

Pour notre acier on utilise $p = 25 \text{ kN/cm}^2$

$$Q = \left(\frac{\pi}{4}\right) [D^2 - (d + 2r_m)^2] p \dots \dots \dots (IV. 16)$$

IV.13. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé les méthodes de calcul et dimensionnement d'une vis d'Archimède, les formules proviennent essentiellement de Technique de l'ingénieur. Dans le chapitre suivant nous allons voir la caractéristique de la vis d'Archimède.

CHAPITRE V
APPLICATIONS.

V.1.Introduction

La vis d'Archimède que nous allons dimensionner est utilisée dans une installation d'élévation de ciment dans un silo, les caractéristiques de cette dernière sont regroupé dans le cahier des charges.

V.2. Cahier des charges

Notre vis est caractérisée par les données suivantes:

- Débit volumique à transporter: $Q = 12 \text{ m}^3 / \text{heure}$
- Vitesse d'emboutissage : $V = 280 \text{ mm/s}$.
- Arbre de la vis: arbre creux, pour éviter la flexion.

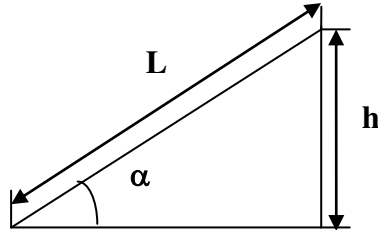
V.2.1. Détermination des différents paramètres

Les paramètres qui rentrent en jeu sont:

- Diamètre et pas de la vis : selon la technique de l'ingénieur le diamètre et le pas sont donnés dans le tableau 3 : [dimension normalisées du diamètre et pas de la vis]. On prend un diamètre : ($D = 250 \text{ mm}$) un pas ($b = 250 \text{ mm}$).
- L'angle d'inclinaison de la vis : pour diminuer la longueur de la vis et avoir un rendement acceptable on prend ($\alpha = 20^\circ$).
- Epaisseur du filet : dans le marché on trouve des tôles de 2mm donc on prend ($e = 2 \text{ mm}$).
- Diamètre extérieur de l'arbre : on prend un diamètre ($d_{\text{ext}} = 50 \text{ mm}$). Il présente généralement 1/5 du diamètre de la vis.

V.2.2. Matériau utilisé

On trouve dans le commerce des barres d'acier doux ou mi-dur du genre des anciens arbres de transmissions d'atelier, qui sont fabriquées aux diamètres normalisés. Donc le matériau qu'on va utiliser c'est l'acier doux (S 235 E24), la désignation commence par la lettre S pour les aciers d'usage général, et la lettre E pour les aciers construction mécanique. [4]

V.2.3. Applications numériques sur les lois de la vis**V.2.3.1. Calcul de L : (longueur de la vis)**

D'après le schéma ci-dessus on déduit la longueur de vis :

$$L = \frac{h}{\sin \alpha} \text{ d'où; } L = \frac{3}{\sin 20} = 8,77\text{m}$$

V.2.3.2. Calcul de H : (la profondeur du chenal)

D'après l'équation (IV.1), la profondeur du chenal est:

$$H = \frac{250 - 50}{100} = 100\text{mm}$$

V.2.3.3. Calcul de theta : (l'angle d'inclinaison du filet)

De l'équation (IV.3), l'angle d'inclinaison du filet est:

$$\tan \theta = \frac{250}{\pi \times 250} \cong 0,32 \text{ d'où } \theta \cong 17,74^\circ$$

V.2.3.4. Calcul de W: (largeur du chenal)

A partir de la relation (IV.2) la largeur du chenal est:

$$W = 250 \cos 17,74 - 2 \cong 236\text{mm}$$

V.2.3.5. Calcul de Z : (longueur déroulée d'un tour d'hélice)

D'après l'équation (IV.4), on aura la longueur d'un tour d'hélice:

$$Z = \frac{\pi \times 250}{\cos 17,74} = \frac{250}{\sin 17,74} \cong 825 \text{ mm}$$

V.2.3.6. Calcul de N (la vitesse de rotation de la vis) à partir du débit

D'après l'équation (IV.6), on peut calculer N:

$$Q = 60 \phi \pi \frac{D^2}{4} BkN$$

On a (D = 250 mm) donc pour tenir compte de la section du support intermédiaire, il est nécessaire de minorer le volume par tour de rotor de (- 20%). [2]

Pour avoir le débit réel donc:

$$Q_{réel} = Q - \frac{Q \times 20}{100} = Q \times 0,8$$

Ce qui fait:

$$Q_{réel} = 60 \phi \pi \frac{D^2}{4} BkN \times 0,8$$

$$\Rightarrow N = \frac{4 \times Q}{60 \phi \pi D^2 Bk \times 0,8} = \frac{4 \times 12}{60 \times \frac{1}{3} \pi \times 0,25^2 \times 0,25 \times 0,6 \times 0,8}$$

On trouve :

$$N \cong 101,86 \text{ tr /mn}$$

V.2.3.7. Calcul du diamètre intérieur de l'arbre

Pour déterminer le diamètre intérieur de l'arbre il suffit qu'on vérifie la relation (IV.12) en sachant que la limite minimale apparente d'élasticité de l'acier doux (S 235 E24) est de $R_e \text{ min} = 235 \text{ MPa}$. [4]

$$R_g \cong \frac{R_{e \text{ min}}}{2}$$

$$R_{P_g} \cong \frac{R_{e \text{ min}}}{2 \times 5}$$

En construction mécanique le coefficient de sécurité se trouve entre (2,5 à 3,5), on prendra le max

$R_{e_{min}}$: limite minimale apparente d'élasticité

S: coefficient de sécurité (S = 3,5).

$$\Rightarrow R_{pg} = \frac{235}{2 \times 3,5} \cong 33 \text{ MPa}$$

D'après (I.9), on déduit d_{int} :

$$d_{int}^4 < \frac{-16M_{max} \times d_{ext}}{R_{pg} \times \pi} + d_{ext}^4$$

$$d_{int} < \left(\frac{-16M_t \times d_{ext}}{R_{pg} \times \pi} + d_{ext}^4 \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\Rightarrow d_{int} < \left(\frac{-16 \times 84 \times 0,05}{33,57 \times 10^6 \times \pi} + 0,05^4 \right)^{\frac{1}{4}} \cong 48,67 \times 10^{-3} \text{ m} = 48,67 \text{ mm}$$

Pour faciliter le montage on prend:

$$d_{int} = 45 \text{ mm}$$

V.2.3.8. Résistance mécanique de l'arbre à la torsion

A l'aide des relations (IV.13) et (IV.14) on peut calculer le moment quadratique polaire et le module de torsion de l'arbre de la vis:

$$I_0 = \frac{\pi}{32} (50^4 - 45^4) \cong 211014,4 \text{ mm}^4$$

$$W_p = \frac{\pi}{16} \frac{(50)^4 - (45)^4}{50} \cong 8440,58 \text{ mm}^3$$

Ainsi on aura τ_t comme suit:

$$\tau_t = \frac{16 \times 84 \times 0,050}{\pi(0,050^4 - 0,045^4)} \cong \frac{10^7 \text{N}}{\text{m}^2} = 10 \text{ MPa}$$

D'où

$$\tau_t = 10 \times \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 10 \text{ MPa} < R_{pg} = 33 \text{ MPa}$$

On conclue que l'arbre de la vis va résister à la torsion.

V.2.3.8.1. Calcul de la force radiale qui agit sur la vis

$$\begin{aligned} p &= C \times \Omega = F_r \frac{D}{2} \times \Omega \\ \Rightarrow F_r &= \frac{2 \times P}{D \times \Omega} \end{aligned}$$

AN:

$$F_r = \frac{2 \times 0,895 \times 10^3}{0,25 \times \left(\frac{101,86 \times 2\pi}{60} \right)} = 671,57 \text{ N}$$

V.2.3.9. Calcul du poids total de la vis

Sachant que la masse volumique de l'acier doux est de $7846,37 \text{ kg/m}^3$.

- Calcul de la section de l'hélice

$$S_h = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_{\text{ext}}^2) \times n_p$$

AN:

$$S_h = \frac{\pi}{4} (250^2 - 50^2) \times 35 \cong 1649336,14 \text{ mm}^2$$

- Calcul de la section de l'arbre

$$S_a = \frac{\pi}{4} (d_{\text{ext}}^2 - d_{\text{int}}^2)$$

AN:

$$S_a = \frac{\pi}{4}(50^2 - 45^2) \cong 373,06 \text{ mm}^2.$$

- Calcul de la masse de l'hélice

$$m_h = S_h \times e \times \delta_{\text{acier doux}}$$

AN:

$$m_h = 1649336,14 \times 10^{-6} \times 2,10^{-3} \times 7846,37 \cong 25,88 \text{ kg}$$

- Calcul de la masse de l'arbre

$$m_a = S_a \times L \times \delta_{\text{acier doux}}$$

AN:

$$m_a = 373,06 \times 10^{-6} \times 8,77 \times 7846,37 \cong 25,67 \text{ kg}$$

D'où le poids total est:

$$P_{\text{vis}} = (m_a + m_h) \times g = (25,88 + 25,67) \times 9,81 = 505,72 \text{ N}$$

V.2.3.10. Résistance de l'arbre à la compression

$$\sigma = \frac{F_a}{\pi \left(\frac{d_{\text{ext}}^2 - d_{\text{int}}^2}{4} \right)}$$

σ : contrainte à la compression.

F_a : force axiale qui s'exerce sur l'arbre.

AN :

$$\sigma = \frac{2109,87}{\pi \left(\frac{0,050^2 - 0,045^2}{4} \right)} \cong 3,64 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 5,66 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 5,66 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < R_{pe} = \frac{R_{\text{min}}}{s} = \frac{340}{3,5} \cong 97 \text{ N/mm}^2$$

R_{pe} : contrainte pratique d'élasticité.

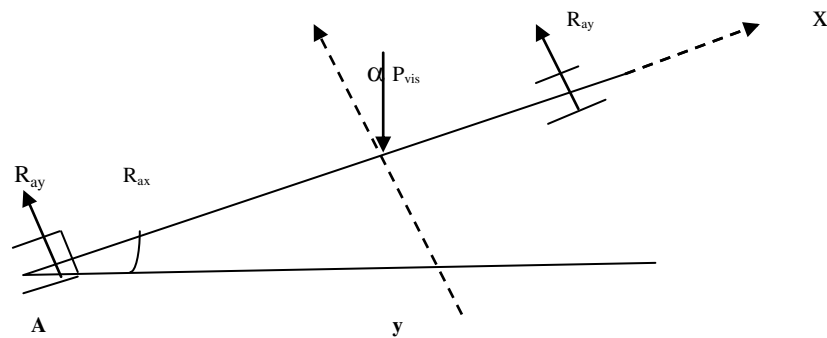
s : coefficient de sécurité

R_{min} : résistance minimale à la rupture par extension (MPa), on déduit que l'arbre va résister à la compression.

On remarque que la contrainte calculée est très faible devant la contrainte admissible.

V.2.3.11. Résistance de l'arbre à la flexion

Pour un arbre de section constante sur toute sa longueur, les calculs de déformation sont conduits à partir des méthodes habituelles de détermination des flèches d'une poutre.



V.2.3.11.1 Calcul des réactions aux appuis

$$\mathbf{R}_A \begin{Bmatrix} R_{Ax} \\ R_{Ay} \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{R}_B \begin{Bmatrix} R_{Bx} \\ R_{By} \end{Bmatrix}$$

En appliquant le principe fondamental de la dynamique:

$$\sum \overrightarrow{M/A} = \vec{0} \Rightarrow R_{by} \cdot L - \frac{L}{2} P_{vis} \cos \alpha = 0$$

$$\Rightarrow R_{by} = \frac{P_{vis}}{2} \cos \alpha$$

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0} \Rightarrow \overrightarrow{R_A} + \overrightarrow{R_B} + \overrightarrow{P_{vis}} = \vec{0} \dots \dots (*)$$

Si on projette (*) selon (xx) on trouve:

$$R_{Ag} + P_{vis} \sin \alpha = 0$$

$$\Rightarrow R_{Ax} = -P_{vis} \sin \alpha$$

AN:

$$R_{Ax} = 505,72 \times \sin 20 = 172,97N$$

On projette (*) sur l'axe (yy') on trouve:

$$\begin{cases} R_{Ay} + R_{by} - P_{vis} \cos \alpha = 0 \\ R_{by} = \frac{P_{vis}}{2} \cos \alpha \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_{Ay} = \frac{P_{vis}}{2} \cos \alpha \\ R_{by} = \frac{P_{vis}}{2} \cos \alpha \end{cases}$$

AN:

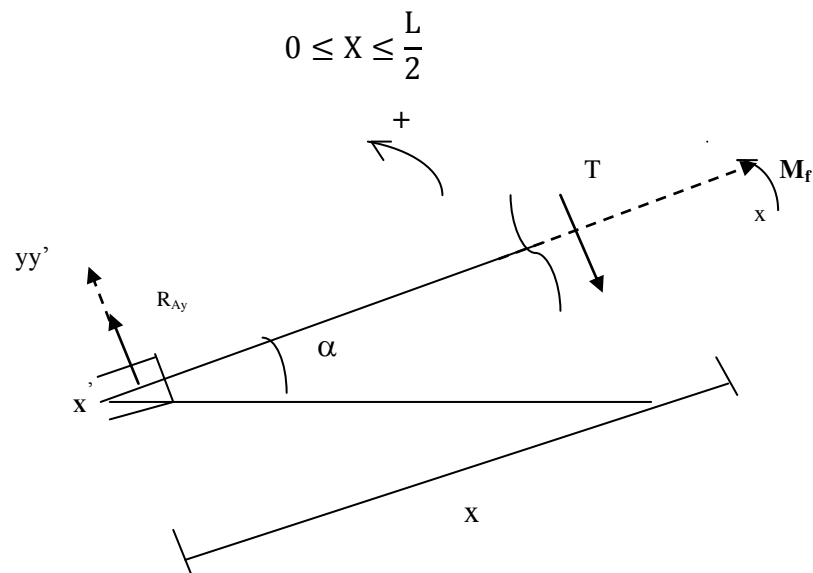
$$\Rightarrow R_{Ay} = \frac{505,72}{2} \cos 20 \cong 237,61N$$

$$\Rightarrow R_{Ay} = R_{By} = 237,61N$$

$$R_A \begin{cases} R_{Ax} = 172,97N \\ R_{Ay} = 237,61N \end{cases}, \quad R_B \begin{cases} R_{Bx} = 0N \\ R_{By} = 237,61N \end{cases}$$

V.2.3.11.1.1. Calcul de l'effort tranchant

• 1^{er} tronçon



En appliquant le principe fondamental de la dynamique on aura:

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{R}_A + \vec{T} = \vec{0}.$$

On projette cette équation sur (yy') on aura:

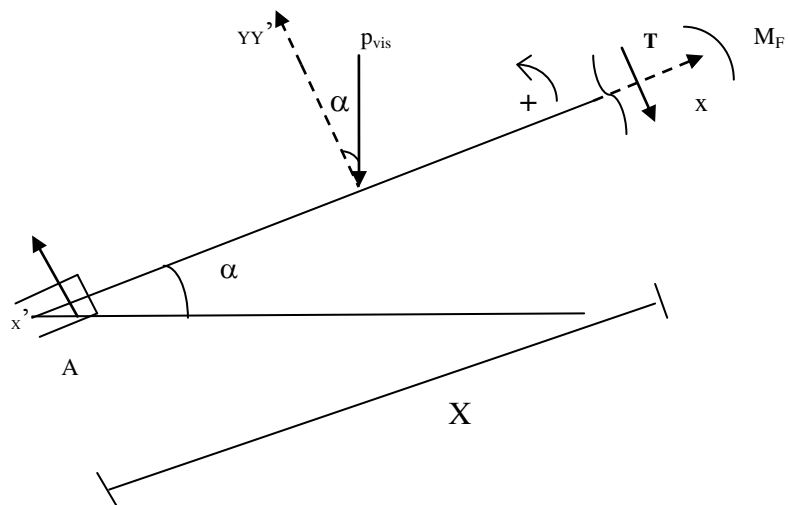
$$T = R_{Ay} = \frac{P_{vis}}{2} \cos \alpha$$

AN:

$$T = R_{Ay} = 237,61N$$

• 2^{ème} tronçon

$$\frac{1}{2} \leq X \leq L$$



Pour le deuxième tronçon si on applique le principe fondamental de la dynamique on trouve:

$$T = P_{vis} \cos \alpha - R_{Ay}$$

AN :

$$T = 505,72 \cos 20 - 237,61 \cong 237,61N$$

V.2.3.11.1.2. Calcul du moment fléchissant

• 1^{er} tronçon

$$0 \leq X \leq \frac{L}{2}$$

$$\sum \overrightarrow{M/z} = \overrightarrow{0} \Rightarrow M_f = R_{Ay} \cdot x$$

AN :

Pour $x = 0 \Rightarrow M_f = 0 \text{ m.N}$

Pour $x = L/2 \Rightarrow M_f = 1041,93$

• 2^{ème} tronçon

$$\frac{L}{2} \leq x \leq L$$

Le même principe pour le deuxième tronçon et on trouve :

$$M_f = R_{Ay} \cdot x - P_{vis} \cos \alpha \left(x - \frac{L}{2} \right)$$

Pour $x = L/2 \Rightarrow M_f = 1041,93 \text{ m.N}$

Pour $x = L \Rightarrow M_f = 0 \text{ m.N}$

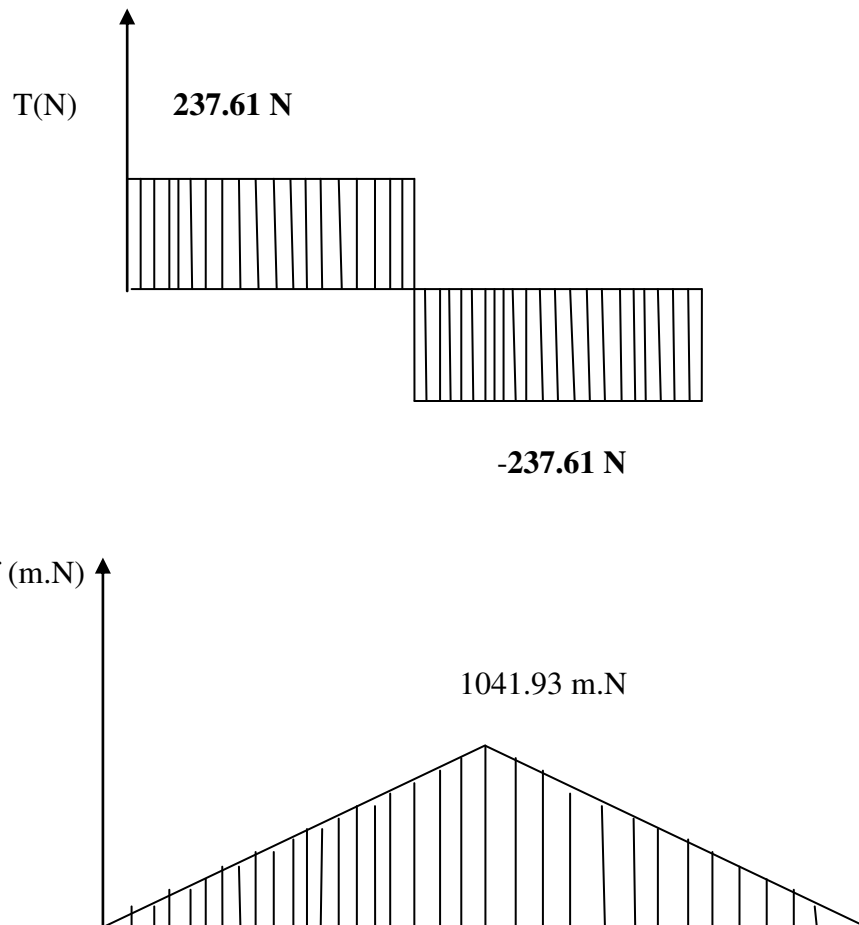


Figure V.1 : Diagramme des efforts tranchants des moments fléchissant

V.2.3.11.1.3. Calcul de la déformée

Pour des raisons de symétrie on prend uniquement le 1^{er} tronçon :

$$Y'' = \frac{-M_f}{EI_{G_z}}$$

V.2.3.11.1.4. Module d'élasticité = 210 GPa

$$\Rightarrow Y'' = \frac{-P_{vis} \cos \alpha}{2EI_{G_z}} \cdot x \Rightarrow Y' = \frac{-P_{vis} \cos \alpha}{2EI_{G_z}} \left(\frac{x^2}{2} + C_1^{te} \right),$$

$$\Rightarrow Y = \frac{-P_{vis} \cos \alpha}{2EI_{G_z}} \left(\frac{x^3}{6} + C_1^{te} \cdot x + C_2^{te} \right)$$

Pour $x = 0; y = 0 \Rightarrow C_2^{te} = 0$

Pour $x = L/2; y' = 0 \Rightarrow C_1^{te} = \frac{-L^2}{8}$

$$\Rightarrow y = \frac{-P_{vis} \cos \alpha}{2EI_{G_z}} \left(\frac{x^3}{6} - \frac{L^2}{8} \cdot x \right)$$

La déformée est maximale pour ($x = L/2$)

AN :

$$y = \frac{-505,72 \times \cos 20}{2 \times 210,10^9 \times 105507,2 \times 10^{-12}} \left(\frac{8,77^3}{48} - \frac{8,77^3}{16} \right)$$

$$\Rightarrow y \cong 0,30141\text{m.}$$

On remarque que la déformée est très considérable d'où l'installation nécessite des paliers intermédiaires.

V.2.3.12. Résistance de l'hélice au cisaillement

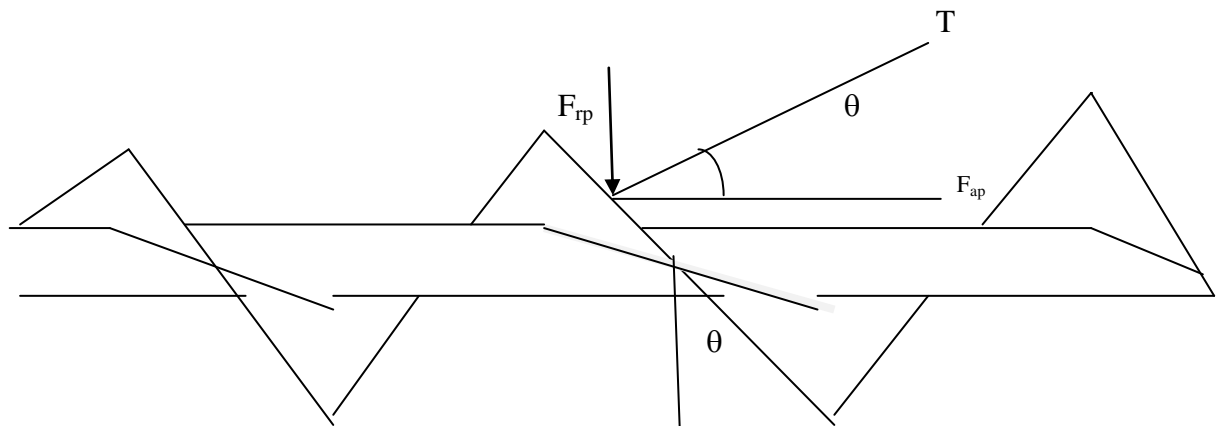


Figure V. : Les efforts exercés sur l'hélice.

F_{rp} : Effort radial exercé sur un pas.

F_{ap} : Effort axial exercé sur un pas.

T : C'est la normal.

$$F_{rp} = \frac{F_r}{\text{nombre de pas}(n_p)}$$

$$F_{ap} = \frac{F_a}{\text{nombre de pas}(n_p)}$$

$$\text{nombre de pas}(n_p) = \frac{\text{longueur de la vis}}{\text{pas}}$$

AN :

$$\text{nombre de pas}(n_p) = \frac{8,77 \times 10^3}{250} \cong 35$$

$$F_{rp} = \frac{671,57}{35} \cong 19,19\text{N}$$

$$F_{ap} = \frac{2109,87}{35} \cong 60,28N$$

Si on projette les deux forces sur la normale on trouve :

$$F = F_{ap} \cos \theta + F_{rp} \cos \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right)$$

La contrainte de cisaillement sur s'écrit comme suit :

$$\tau_c = \frac{F}{S_c}$$

S_c : section cisillée.

F : la somme de la force radiale projeté sur la normale.

$$S_c = \pi d_{ext} \times e$$

d_{ext} : diamètre extérieur de l'arbre de la vis.

e : Epaisseur du filet.

AN :

$$F = 60,28 \cos 17,74 + 19,19 \cos \left(\frac{\pi}{2} - 17,74 \right) \cong 63,26N$$

$$\begin{aligned} \tau_c &= \frac{63,26}{\pi \times 0,050 \times 2} = 0,2 \times 10^6 \times Pa = 0,2 MPa < \tau_{c_{adm}} = \frac{R_{e_{min}}}{s} = \frac{235}{3,5} \\ &= 67,14MPa \end{aligned}$$

On déduit que l'hélice résistera au cisaillement

Tableau 3 : tableau récapitulatif des éléments principaux de la vis.

Vis	Longueur de la vis	8,77m
	Diamètre total de la vis	250 mm
	Diamètre extérieur de l'arbre	50mm
	Diamètre intérieur de l'arbre	45mm
	Pas de la vis	250mm
	Epaisseur du filet	2mm
	Angle d'hélice	17,74°
	Vitesse de rotation	101,86 tr/mn

V.3.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une application sur le dimensionnement et calcul des différents éléments de la vis cités dans le chapitre précédent. Ainsi on a déterminé les différents paramètres de cette dernière, calcul de sa résistance.

CONCLUSION GENERALE

Dans notre étude nous nous sommes intéressés à la vis d'Archimède et la méthodologie de fabrication des spires par emboutissage. Cette méthode nous a permis de voir les différents aspects du problème.

Dans nos résultats il ressort que l'avantage majeur de la méthode de fabrication des spires est la précision de dimensionnement et le coût de fabrication. Leur inconvénient réside dans la nécessité d'un savoir-faire particulier des instruments qui sont d'ailleurs coûteux et une maintenance efficace pour contrôler la machine d'emboutissage.

En générale cette méthode est employée dans le cas :

- ✓ Dans la vis à faible diamètre et une faible épaisseur des spires.
- ✓ Les matériaux utilisés dans la fabrication des spires qui doivent être résistibles à la corrosion dans le cas d'utiliser la vis d'Archimède comme un transporteur des produits liquides.

La vis d'Archimède absorbe une puissance relativement importante par rapport aux autres systèmes d'élévation. Néanmoins, cet inconvénient peut être compensé par la technologie de fabrication de cette vis, contrôlée et organisée par un plan de maintenance pour avoir une vis résistible.

On espère qu'un prototype à échelle réduite sera introduit au niveau de l'atelier, ceci permettra de voir les difficultés à la réalisation et au fonctionnement réel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ❖ [1] BROSSARD Jean-Pierre. Mécanique générale : développement de la cinématique, technique de l'ingénieur. Réf : A 1663
- ❖ [2] SAUDEMONT Claude. *Manutention mécanique continue des produits en vrac, technique de l'ingénieur*. Réf : AG 7511
- ❖ [3] VERGNES Bruno et PUISSANT Stéphan. *Géométrie du système vis/auge, technique de l'ingénieur*. Réf : AM 3650
- ❖ [4] CHEVALIER A. *Guide du dessinateur industriel*, Edition HACHETTE. 1995-1996
- ❖ [5] : É. Felder, *Procédés de mise forme : Introduction*, Techniques de l'ingénieur, M 3000, 2000.
- ❖ [6] : Louis Lamontagne, *Mémoire de maîtrise en génie mécanique*, UC Laval, 2010.
- ❖ [7] : Felder E., « *Tribologie de l'emboutissage* », Techniques de l'ingénieur, Traité Mécanique et Chaleur, B7535.
- ❖ [8]. Toufik SEDRAT « *Étude et conception d'un procédé d'emboutissage Appliqué aux moules d'emboutissage pour emballage métallique* » thèse de magistère ,2007.
- ❖ [9] : K. Siegert, *Research and Development in the Field of Sheet Metal Forming Technology of the Institute for Metal forming Technology (IFU) of the University of Stuttgart*, in *New Developments in Sheet Metal Forming* ISBN 3-88355-292-5, Klaus Siegert (Editor) : 277-308, Fellbach, Germany, 23-24 May 2000.
- ❖ [10] : “*Service des Études et des Statistiques Industrielles (Sessi) du Ministère de l'Economie des Finances et del'Industrie; La sous-traitance en chiffres (métaux, plastiques, caoutchouc, électronique*”, Dossiers sectoriels.
- ❖ [11] : P. Poloukhine, V. Tiourine, P. Davidkov, D. Vitanov, *Traitement des métaux par déformation*. Mir Moscou, 1987.
- ❖ [12] : B. Wassilieff, *Emboutissage. Règles principales, calculs, exemples*. Edition Dunod, Paris, 1970.
- ❖ [13] : Col A., *Emboutissage des tôles : Importance des modes de déformation*, Techniques de l'ingénieur, BM 7 510,2002.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- ❖ [14] : É. Felder, *Tribologie de l'emboutissage*, Techniques de l'ingénieur, M 7535, 1994.
- ❖ [15] : E. Ceretti, C. Giardini, A. Attanasio, *Experimental and simulative results in sheet incremental forming on CNC machines*, Journal of Materials Processing Technology, 152 : 176–184, 2004.
- ❖ [16] : G. Ambrogio, L. De Napoli, L. Filice, F. Gagliardi, M. Muzzupappa, *Application of Incremental Forming process for high customized medical product manufacturing*, Journal of Materials Processing Technology, 162–163 :156–162, 2005.
- ❖ [17] : P. J. Kantert: "Manual for Archimedean Screw Pump", Hirthammer Verlag 2008.
- ❖ [18] : entreprise Corneloup ZI DU MOULIN. Spire pour vis d'Archimède[en ligne],
<http://www.corneloup.com/wp-content/uploads/2015/11/fiche-spires.pdf> (consulter en 2015).
- ❖ [19] : G.Villemin : HÉLICE CIRCULAIRE ou CYLINDRIQUE Longueur d'une forme hélicoïdale [en ligne], <https://journals.openedition.org/aldebaran/69>; Édition du: 29/01/2017.
- ❖ [20] : (P. J. Kantert: "Manual for Archimedean Screw Pump", Hirthammer Verlag 2008)

ملخص

في عملنا ، قمنا بدراسة منهجية حول طريقة صنع برغي أرخميدس بواسطة عملية الختم. لقد رأينا مراحل تصنيع المنعطفات المرسومة وكذلك تأثير هذه طريقة على المنعطف. الجزء الأول مكرس للدراسة البيبليوغرافية على برغي أرخميدس وأنواعه و مجالات الاستخدام ، أما الجزء الثاني فقد تحدثنا عن عملية الختم وكذلك عرض العيوب المختلفة التي يمكن أن نجدها في التنسيق ، ثم ركزنا على طريقة تصنيع برغي أرخميدس عن طريق الختم والتحجيم بواسطة SOLIDWORK. تحدثنا عن الهندسة والأبعاد الرقمية لمسارنا.

كلمات مفتاحية : SOLIDWORK , برغي أرخميدس , المنعطف

RESUME

Dans notre travail, on a étudié la méthodologie de fabrication des spires d'une vis d'Archimède par le procédé d'emboutissage. On a vu les différentes étapes de fabrication des spires embouties et aussi on a étudié l'influence de ce procédé sur la spire. La première partie est consacré a l'étude bibliographique sur la vis d'Archimède et ses différents types et domaines d'utilisation. la deuxième partie, on a parlé sur le procédé d'emboutissage et aussi à la présentation des différents défauts qu'on peut trouver dans la mise en forme. En suite, on a concentré sur la méthode de fabrication de la vis d'Archimède par emboutissage et le dimensionnement par SOLIDWORKS et on a parlé sur la géométrie et dimensionnement numérique de notre vis.

Mots clés : SOLIDWORKS, vis d'Archimède, spire

ABSTRACT

In our paintings, we studied the technique for making the turns of an archimedean screw by the stamping process. we have visible the defiling tiers of manufacture of the drawn turns and additionally the have an impact on of this manner at the turn. the first part is devoted to the bibliographical look at on archimedes screw and its defeats kinds and areas of use. the second part, we mentioned the stamping technique and also the presentation of the numerous defects can be located in the formatting .then, we attention on the approach of producing archimedes' screw by way of stamping and sizing by way of solidworks and we pointed out the geometry and digital dimensioning of our screw.

key words: solidworks, archimedean screw, the turns