

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI-MOKHTAR-ANNABA UNIVERCITY
UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingéniorat
Département de Génie Mécanique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

INTITULE

**Etude et contribution à l'amélioration d'une gamme d'usinage
d'un arbre pignon à cannelures droites**

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNIQUE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : PRODUCTIQUE MECANIQUE

PRESENTE PAR : SOUIDI CHAIMA

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Dr. CHELLIA. A MAA Université Annaba

DEVANT LE JURY

PRÉSIDENT :	Pr. LAOUAR. L	Prof	U.B.M Annaba
EXAMINATEURS:	Dr. LAGRED. A	MCA	U.B.M Annaba
	Dr. MEKHILEF. S	MCA	U.B.M Annaba

Année universitaire 2018 – 2019

La théorie,

C'est quand on sait tout et que rien ne fonctionne.

La pratique,

C'est quand tout fonctionne et que personne ne sait pourquoi.

Ici, sont réunies théorie et pratique :

Rien ne fonctionne... et personne ne sait pourquoi !

✦ Albert Einstein ✦

Remerciements

En préambule à ce mémoire je remercie ALLAH qui m'aide et me donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude, et la force d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens d'abord à remercier très chaleureusement monsieur CHELLIA A qui m'a permis de bénéficier de son encadrement. Les conseils qu'il m'a prodigués, l'orientation ficelée tout au long de ma recherche, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Il est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail.

*J'exprime toutes mes reconnaissances et gratitude à l'ensemble du corps enseignant et de la faculté **BADJI MOKHTAR ANNABA** de technologie, département génie mécanique pour la richesse et la qualité de leur enseignement, notamment mes professeurs **Mr. Lagred A, Mr. Boulanouar L***

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

Ainsi je voudrai bien remercié tous les ingénieurs du bureau technique du complexe El-Hadjar, au niveau des AMM, et aussi pour tout l'ensemble des opérateurs pour les conseils qu'ils ont pu me prodiguer au cours de ces deux mois qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à :

Mes parents, mes frères et mes sœurs.

Mes Proches : Fatima Zohra, Roumaïssa et Meriem et tous Amis qui m'ont toujours soutenus et encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Dédicace

À la fin de ce travail et avant tout, je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'en arriver là.

Je dédie ce mémoire :

À mes très chers parents de ses précieux conseils, de tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour me permettre de suivre mes études dans les meilleures conditions possibles et de m'avoir toujours entourés et motivés à sans cesse devenir meilleurs.

À mon frère.

À mes oncles, mes tantes, mes cousins et mes cousines sans exception.

À mes chers amis.

À toutes les personnes qui m'ont aidé de près et de loin par le fruit de leurs connaissances pendant mes années d'étude.

Chaima Souaidi

Chapitre I

Théorie générale sur les engrenages

Figure. I.1 : Système d'engrenage.....	2
Figure. I.2 : différents types d'engrenage.....	3
Figure. I.3 : Différents types de denture.....	4
Figure. I.4 : dispositifs de transmission par engrenages.....	5
Figure. I.5 : les familles des engrenages.....	5
Figure. I.6 : Engrenage droite (axes parallèles).....	6
Figure. I.7 : Engrenage hélicoïdale (axes parallèles).....	6
Figure. I.8 : Profil en développante de cercle.....	6
Figure. I.9 : Profil à arc de cercle.....	6
Figure. I.10 : Engrenages conique à denture droite.....	7
Figure. I.11: Types de dentures coniques.....	7
Figure. I.12 : Engrenage gauches hélicoïdaux.....	8
Figure. I.13 : Engrenages à roue et vis sans fin.....	8
Figure. I.14 : Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture droite extérieur.....	9
Figure. I.15 : Différents systèmes de transmission par engrenages à denture droite.....	10
Figure. I.16 : Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture hélicoïdale.....	12
Figure. I.17 : Caractéristiques d'engrenage à axes concourants (conique à denture droite). ..	15
Figure. I. 18 : principaux types d'engrenage conique.....	17
Figure. I.19 : Caractéristiques d'engrenage gauche (système roue et vis sans fin).....	17

Chapitre II

Etude du système roue à vis sans fin

Figure. II.1 : Roue et vis sans fin.....	25
Figure. II.2 : Type de formes d'engrenages à vis sans fin.....	26
Figure. II.3 : Principales familles du système roue et vis sans fin.....	26
Figure. II.4 : Exemples de vis sans fin.....	26
Figure. II. 5 : Caractéristiques et géométriques de la roue et la vis sans fin.....	27
Figure. II. 6 : Définition et fabrication des flancs de la vis : vis de type ZA et ZN.....	28
Figure. II. 7 : Définition et fabrication des flancs de la vis : vis de types ZK, ZH et ZI....	29
Figure. II.8 : Circulation de la puissance d'un système roue à vis sans fin.....	33

Chapitre III :

*Amélioration de la gamme d'usinage d'une pièce fabriquée au niveau des
AMM complexe sidérurgique d'El-Hadjar Annaba*

Figure. III. 1 : Vue générale du complexe El-Hadjar.....	36
Figure. III. 2 : Découpage zonal des AMM.....	38
Figure. III. 3 : Chaîne cinématique d'un réducteur à vis sans fin.....	39
Figure. III. 4 : Cycle de recuit.....	52

Chapitre I

Théorie générale sur les engrenages

Tableau. I.1 : Avantages et inconvénients des engrenages.....	3
Tableau. I.2 : Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture droite extérieur.....	9
Tableau. I.3 : Instructions pour le choix des matériaux pour les engrenages cylindriques et coniques.....	11
Tableau. I.4 : Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture hélicoïdale.....	13
Tableau. I.5 : caractéristiques mécaniques des matériaux pour les engrenages cylindriques coniques (les valeurs sont données pour une rugosité $R_t \approx 3 \dots 6 \mu\text{m}$).....	14
Tableau. I.6: Caractéristiques d'engrenage à axes concourants (conique à denture droite)..	16
Tableau. I.7 : Caractéristiques d'engrenage gauche (système roue et vis sans fin).....	18

Chapitre II

Etude du système roue à vis sans fin

Tableau. II. 1 : Caractéristiques d'engrenage système roue et vis sans fin.....	27
Tableau. II. 3 : Avantages et inconvénients des engrenages à vis sans fin.....	31

Chapitre III :

Amélioration de la gamme d'usinage d'une pièce fabriquée au niveau des AMM complexe sidérurgique d'El-Hadjar Annaba

Tableau. III. 1 : Choix des matériaux pour la vis sans fin.....	42
Tableau. III. 2 : Composition chimique de l'acier XC 48.....	43
Tableau. III. 3 : Caractéristiques mécaniques après traitements thermiques de l'acier XC48 selon sa section.....	44
Tableau. III. 4 : Le pourcentage d'allongement par rapport au diamètre.....	44
Tableau. III. 5 : Valeurs indicatives moyennes des vitesses de coupe pour les opérations de fraisage.....	54
Tableau. III. 6 : Valeurs indicatives moyennes de la vitesse de coupe dans les opérations de perçage.....	55
Tableau. III. 7 : Valeurs indicatives moyennes de la vitesse de coupe pour les opérations de tournage.....	56

Tableau. III. 9 : Valeurs indicatives moyennes de la vitesse de coupe pour les opérations de taraudage
Tableau. III. 10 : Vitesses de coupe et des avances pour le taillage.....

Chapitre IV :

Conception du système roue à vis sans fin

Tableau IV.1 : Caractéristiques et dimensions de la v.s.f..... 85
Tableau IV. 2 : Caractéristiques et dimensions de la roue creuse..... 94

NOMENCLATURE

Z_v	Nombre de filets (entier positif sans unité).
β_v	Angle d'hélice (en degré).
α	Angle de pression (en degré).
m_n	Module réel (réel positif sans unité).
m_x	Module axial (réel positif sans unité).
P_n	Pas réel (en mm).
P_x	Pas axial (en mm).
D_p	Diamètre primitif (en mm).
D_a	Diamètre extérieur (en mm).
D_f	Diamètre de fond (en mm).
L	Longueur de la vis (en mm).
i	Rapport de transmission (réel positif sans unité).
a	Entraxe (en mm).
N	Fréquence de rotation (en tr/mn).
V	Vitesse linéaire (en mm/mn).
ω	Vitesse angulaire (en rad/mn).
h	Hauteur de la dent (en mm).
h_a	Hauteur de la saillie (en mm).
h_f	Profondeur du creux (en mm).

Chapitre I : Théorie générale sur les engrenages

Dédicace.....	i
Remerciements.....	ii
Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux.....	iv
Nomenclature.....	v
Introduction générale	
1. Généralités.....	3
1.1 Avantages et inconvénients des engrenages.....	3
1.2 Définition d'un engrenage.....	4
1.3 Rôle des engrenages.....	5
1.4 Classification des engrenages.....	5
a) Engrenages à axes parallèles (engrenages cylindriques)	6
b) Engrenages à axes concourants (engrenages coniques)	7
c) Engrenages à axes orthogonaux.....	8
1.5 Les type d'engrenages	9
1.5.1 Les engrenages cylindriques	9
1.5.1.1 Engrenage cylindrique à denture droite	9
1.5.1.2 Engrenage cylindrique à denture hélicoïdale	11
1.5.2 Engrenages coniques	15
1.5.2.1 Généralités.....	15
1.5.2.2 Engrenages coniques à denture droite.....	15
1.5.2.3 Engrenages coniques à denture hélicoïdale.....	16
1.5.3 Engrenage gauche (système roue et vis sans fin)	17
1.6 Les forces d'engrenages.....	19
1.7 Les matériaux utilisés pour les engrenages.....	22
1.12 Qualité des engrenages.....	23
Conclusion.....	23

Chapitre II : Etude du système roue à vis sans fin

2.1 Généralité sur le système roue à vis sans fin.....	25
2.1.1 Géométrie du système roue à vis sans fin.....	25
2.1.2 Dimension et caractéristiques des engrenages à roue et vis sans fin.....	27
2.2 Définition des types de vis sans fin à profil cylindrique.....	28
2.3 Les matériaux utilisés pour la roue et la vis sans fin.....	30
a) Matériau de la vis sans fin.....	30
b) Matériau de la roue.....	30
2.4 Particularités du système roue et vis sans fin.....	30
2.4.1 Avantages et inconvénients.....	30
2.4.2 Irréversibilité du système roue et vis sans fin.....	31
2.4.3 Rendement d'engrenage à vis sans fin.....	31
2.4.4 Utilisation du système roue et vis sans fin.....	33
2.5 Réducteur à roue et vis sans fin.....	33
Conclusion.....	33

Chapitre III : Amélioration de la gamme d'usinage de la vis sans fin fabriquée au niveau des AMM complexe sidérurgique d'El-Hadjar Annaba

3. présentation complexe SIDER EL-HADJAR.....	35
3.1 Analyse de l'ensemble.....	39
3.1.1 Chaîne cinématique.....	39
3.1.2 Fonctionnement.....	39
3.1.3 Dessin d'ensemble.....	40
3.2 Dessin de définition de la V.S.F au niveau des AMM	41
3.2.1 Rôle de la V.S.F dans l'ensemble.....	42
3.3 Choix de matériau de la V.S.F.....	42
3.3.1 Matériau d'étude XC 48.....	44
3.3.3 Compositions chimiques et caractéristiques mécaniques.....	44

3.4 Gamme d'usinage de la V.S.F au niveau des AMM.....	45
3.5 Types de production.....	51
3.6 Traitements thermiques.....	52
3.6.1 Recuit d'affinage	52
3.6.2 Traitement thermique superficielle (trempe superficielle).....	52
3.7 Mode d'obtention de l'ébauche.....	53
3.8 Calculs des régimes de coupe de la V.S.F.....	53
3.9 Gamme d'usinage proposée de la V.S.F.....	65
3.9.1 Contrats des phases.....	72
3.10 Programme CNC de tournage, filetage trapézoïdale au niveau des AMM.....	77
Conclusion.....	79

Chapitre IV : *Etude du système roue à vis sans fin*

4. Introduction.....	81
4.1 Conception assistée par ordinateur (CAO).....	81
a) Les avantages de la CAO.....	81
b) Les inconvénients de la CAO.....	82
4.2 Les outils de CAO.....	82
4.3 Historique sur SolidWorks.....	82
4.3.1 Qu'est-ce que le logiciel SolidWorks ?.....	82
4.3.2 Utiliser les fonctions de SolidWorks	83
4.4 Modélisation géométrique de la roue et la vis sans fin.....	84
4.4.1 Etapes de modélisation une vis sans fin dans SolidWorks.....	84
4.4.2 Etapes de modélisation une roue creuse dans SolidWorks.....	94
4.4.3 Assemblage du système roue à vis sans fin.....	100
Conclusion.....	103
Conclusion général.....	104

Références bibliographies

INTRODUCTION GENERAL

Les engrenages sont des organes mécaniques couramment utilisés pour transformer et transmettre à un organe récepteur le couple et le mouvement de rotation générés par un moteur.

Ils constituent en général le meilleur choix technologique lorsqu'on veut transmettre un mouvement de rotation à vitesse élevée sous un couple moteur important. En effet, outre l'avantage d'avoir un rendement élevé et une bonne précision, ce type de mécanisme conduit, par rapport aux autres solutions technologiques, à la plus faible perturbation de la loi entrée sortie (loi de transmission). Pour toutes ces raisons, les engrenages sont exploités dans de nombreux domaines et en particulier dans celui des moyens de transport (air, mer et terre) et dans celui des machines.

Lorsque le domaine des engrenages est très large et précis. Notre étude est consacrée sur le système roue à vis sans fin d'un réducteur de vitesse d'une pompe hydraulique au niveau de complexe Sider-Elhadjar exactement au niveau de LRB.

Le système roue et vis sans fin est utilisé dans les équipements mécaniques pour réduire la vitesse de rotation, augmenter le couple disponible du moteur permet de changer la direction ou le sens de la transmission de la puissance ainsi que la répartition de la puissance disponible entre plusieurs machines.

J'ai l'opportunité d'effectuer ce stage au sein de complexe Sider-El Hadjar, dans l'unité des AMM (Ateliers maghrébin de mécanique), un axe essentiel de mon projet de fin d'études. Où le Bureau technique de l'LRB a fait une demande de travail (D.T) au niveau des AMM pour la confection de la vis sans fin.

Il s'agit dans notre travail d'essayer d'élargir la production, d'améliorer la qualité, le rendement des produits, et de diminuer le temps d'usinage en proposant une gamme d'usinage adéquate pour la vis sans fin.

Chapitre I

Théorie générale sur les engrenages

Introduction

Les engrenages sont des éléments de machines qui permettent de transférer un mouvement de rotation d'un arbre à un autre. Les systèmes engrenant sont utilisés depuis des milliers d'années et leur première application technique remonte à plus de 4500 ans. En ces temps-là, la fabrication d'un engrenage tenait plus de l'art et de l'habileté de l'artisan que de la science.

Avec le temps, les applications que l'on a trouvées aux engrenages se multiplient, et ils deviennent vite un élément de machine très varié et indispensable pour la transmission de mouvement et de puissance. Dès le 16^{ème} siècle, des mathématiciens commencent à se pencher sur le problème de la théorie des engrenages.

Aujourd'hui encore, les engrenages sont couramment utilisés et demeurent un moyen très efficace pour transmettre un mouvement de rotation et une puissance d'un arbre menant à un arbre mené. On trouve plusieurs types d'engrenages, dont quelques-uns sont représentés sur la figure. I.1. On distingue trois grandes classes d'engrenages. Ces classes sont divisées selon la position relative des axes des arbres en rotation. La première classe concerne les engrenages aux axes parallèles. On inclut dans cette catégorie les engrenages cylindriques droits et les engrenages cylindriques hélicoïdaux. Ces derniers, pour des dimensions similaires, permettent d'obtenir un rapport de conduite plus élevé. Les engrenages coniques, quant à eux, permettent la transmission du mouvement de rotation entre deux arbres concourants. Ceux-ci peuvent comporter une denture droite, inclinée ou spirale. Ces engrenages coniques à denture spirale sont plus communément appelés spiro-coniques [1].

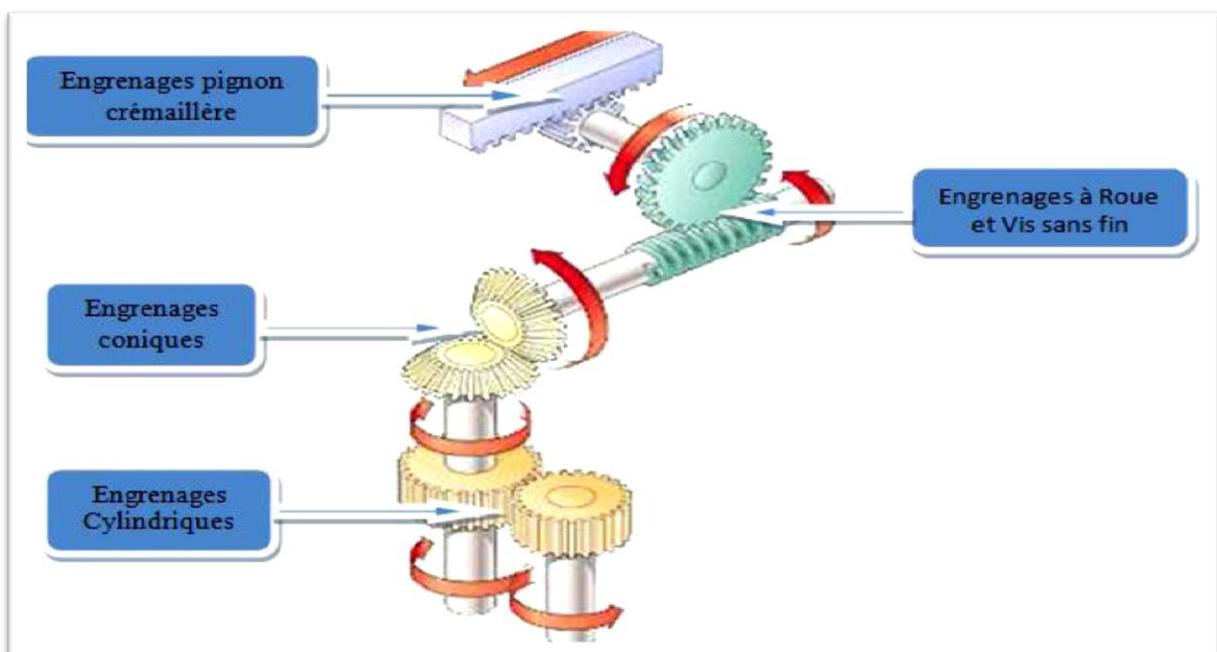


Figure. I.1 : Système d'engrenages [1].

1 Généralités

Les engrenages servant à la transmission de mouvement de rotation et de moments entre des arbres dont les axes sont soit parallèles, soit perpendiculaires, soit encore concourantes (figure. 1. 2) [2].

Ils sont parmi les systèmes de transmission de mouvement et de puissance les plus utilisés, les plus résistants et les plus durables.

Ils sont normalisés ce qui permet leur interchangeabilité et réduit leur coût de fabrication.

Une combinaison d'engrenages est appelée « train d'engrenages » [3].

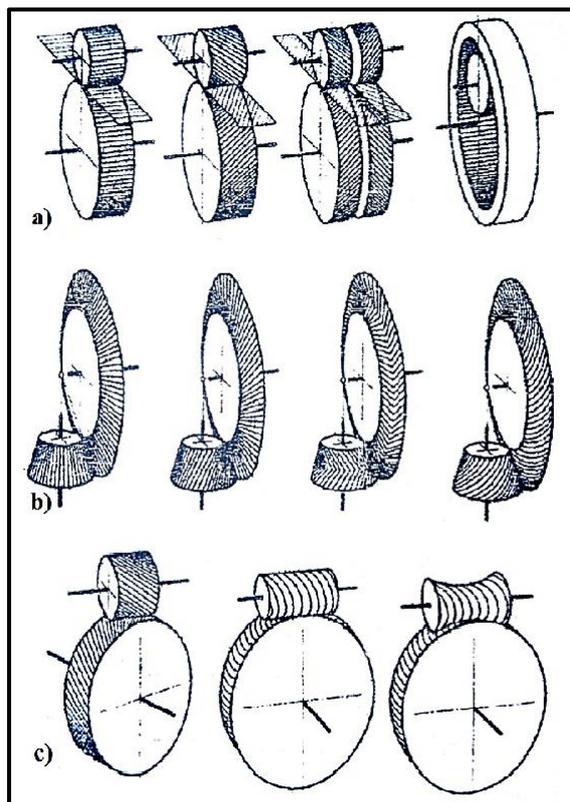


Figure. 1.2 : différents types d'engrenage [2].

1.1 Avantages et inconvénients des engrenages

On peut voir les avantages et les inconvénients des engrenages dans le tableau suivant :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Transmission de puissances élevées sous fréquences de rotation élevées. • Transmission à rapport rigoureusement constante (transmission synchrone). • Transmission parfaitement homocinétique. • Possibilités de transmissions entre plusieurs arbres. • Bon rendement général, suivant classe de qualité. • Durée de vie importante. • Bonne fiabilité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'un entraxe précis et constant. • Niveau sonore variable suivant type d'engrenage. • Transmission des à-coups et vibrations. • Nécessité d'une lubrification, souvent par fluide. • Réversibilité possible suivant type d'engrenage. • Coût très variable suivant type d'engrenage et classe de qualité.

Tableau. 1.1 : Avantages et inconvénients des engrenages [1].

D'après le profil de la denture on distingue les dentures suivantes :

- a) Droite.
- b) Hélicoïdale. En chevrons.
- c) En arc de cercle.
- d) En spirale.
- e) En développante de cercle.

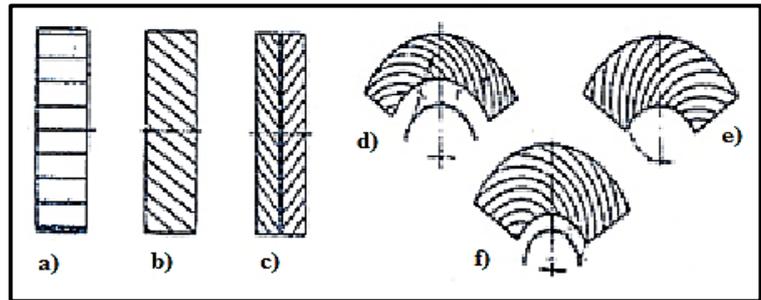


Figure. 1.3 : Différents types de denture [2].

1.2 Définition d'un engrenage

Un ENGRENAGE est un mécanisme élémentaire constitué de deux roues d'engrenages mobile autour d'axes de position relative invariable, et dont l'une entraîne l'autre, l'action des dents venant successivement en contact.

Un engrenage (ou train) réducteur est un engrenage (ou train d'engrenage) dont la vitesse angulaire de la dernière roue menée est inférieure à celle de la première roue menant [1].

Le rapport de transmission dans les réducteurs pour les différents types d'engrenage est :

- Pour les engrenages cylindriques à axes parallèles : $I_{\max} \approx 10$.
- Pour les engrenages cylindriques à denture hélicoïdale gauche : $I_{\max} \approx 5$.
- Pour les engrenages coniques : $I_{\max} \approx 6$.
- Pour les engrenages à vis sans fin : $I_{\max} \approx 60$, ($I_{\min} \approx 5$).

Un engrenage (ou train) multiplicateur est un engrenage ou train d'engrenages dont la vitesse angulaire de la dernière roue menée est supérieure à celle de la roue menant.

On appelle généralement :

Pignon : la plus petite des deux roues dentées.

Roue : la plus grande des deux roues dentées (une roue dentée extérieurement).

Couronne : une roue dentée intérieurement.

Crémaillère : un profil denté continu plan [2].

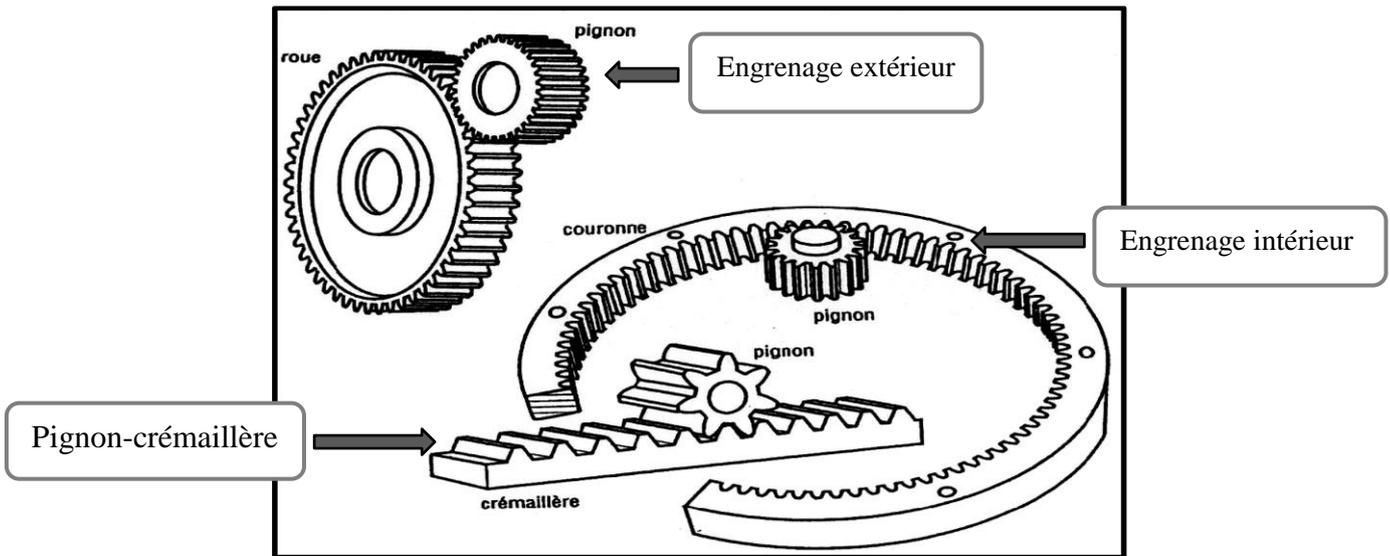


Figure. I.4 : dispositifs de transmission par engrenages, [4].

1.3 Rôle des engrenages

Dans un contexte industriel, il est fréquent que les moteurs disponibles sur le commerce, qu'ils soient électriques, thermiques, pneumatiques ou hydrauliques, ne fournissent pas les couples/vitesses nécessaires au bon fonctionnement des systèmes développés (à moins de développer son propre moteur, ce qui a de fortes répercussions sur le coût du produit).

Il est nécessaire dans ce cas d'adapter la vitesse de rotation et le couple. Ces deux paramètres étant liés l'un à l'autre car à puissance constante, si l'un augmente, l'autre diminue : $P=C\omega$, [4].

1.4 Classification des engrenages :

Les engrenages peuvent se répartir en trois familles selon la position et l'orientation relative de leurs axes :

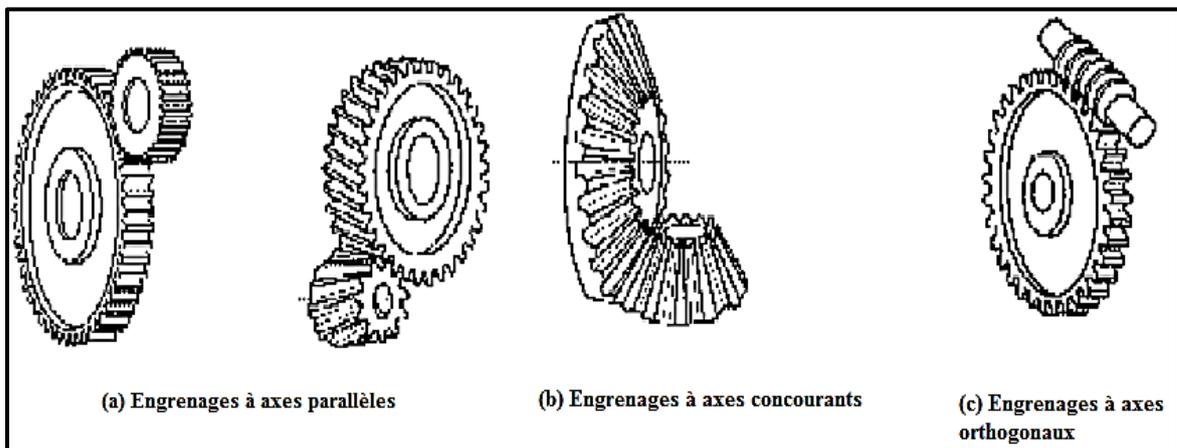


Figure. I.5 : les familles des engrenages [4].

Les engrenages sont utilisés dans toutes les branches de la mécanique pour transmettre des mouvements, de l'horlogerie jusqu'au réducteur de l'industrie lourde. La transmission se fait avec un très bon rendement énergétique. La variation de vitesse obtenue entre l'entrée et la sortie ne dépend que du nombre de dents des pièces en contact [5].

Dans chacune de ces familles on retrouve différents types d'engrenages :

a) Engrenages à axes parallèles (engrenages cylindriques)

- Les arbres sont parallèles et les dents des deux engrenages sont également parallèles à l'axe de rotation des arbres.
- Ce sont les plus simples et les plus économiques.

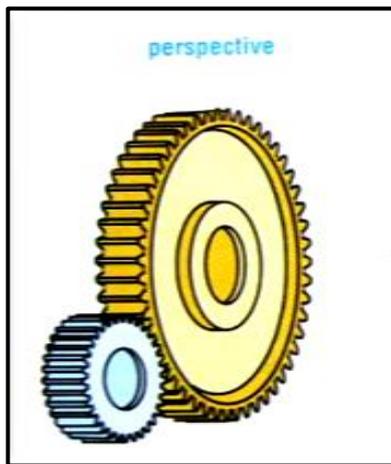


Figure. I.6 : Engrenage droite
(axes parallèles)

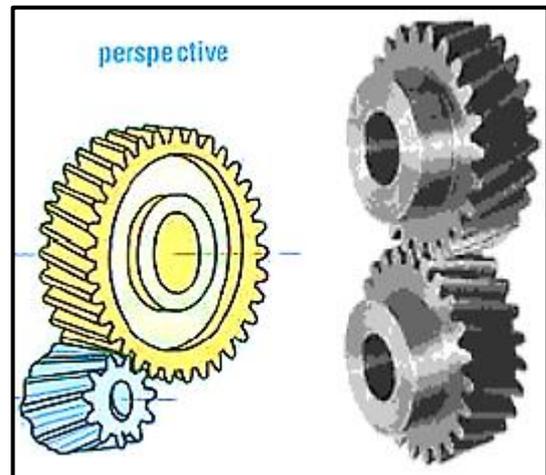


Figure. I.7 : Engrenage hélicoïdale
(axes parallèles)

Pour ces types, le profil de denture est presque exclusivement en développante de cercle (figure I-8). Cependant, on rencontre d'autres profils pour les dentures droites : à arc de cercle (roue à chaîne) (figure I-9), [6], mais leur utilisation est moins courante.

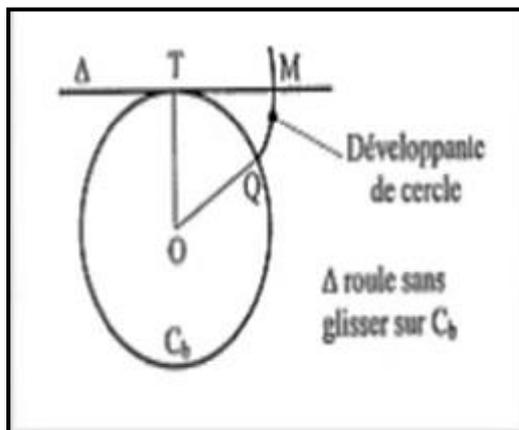


Figure I.8 : Profil en développante de cercle.

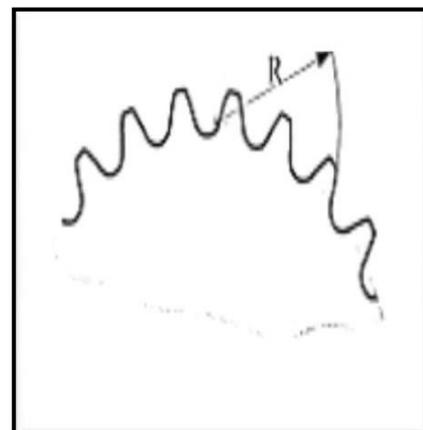


Figure. I.9 : Profil à arc de cercle.

b) Engrenages à axes concourants (engrenages coniques)

- Les dents sont taillées dans des surfaces coniques.
- Ils sont utilisés pour transmettre le mouvement entre des arbres concourants, perpendiculaires ou non.
- La denture peut être droite mais aussi hélicoïdale ou spirale [3].

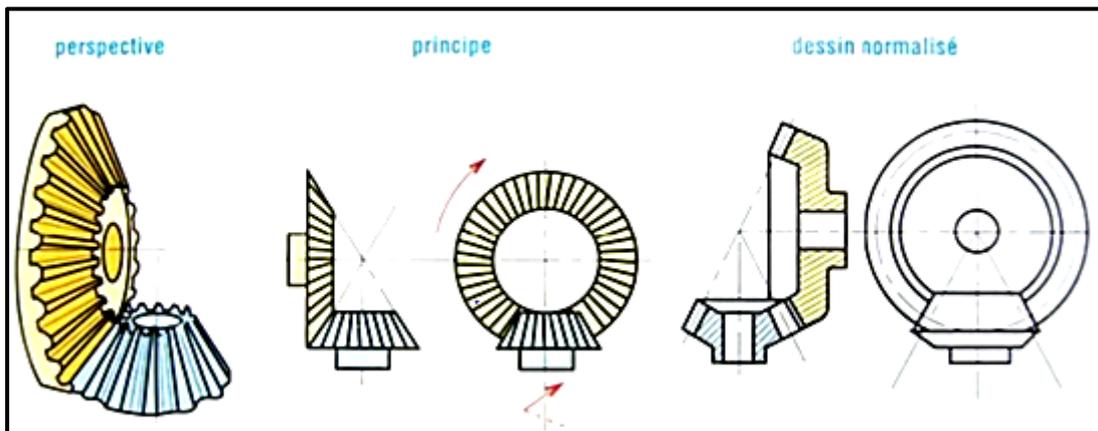


Figure. I.10 : Engrenages conique à denture droite

Pour les deux premiers types, le profil de denture est en développante sphérique (denture théorique) ou en octoïde de 1ère ou 2ème espèce (denture pratique). Pour les engrenages spiro-coniques, le profil de denture est défini à partir de la roue plate génératrice dont le profil de denture est un arc de cercle pour la denture Gleason, une développante de cercle pour la denture Klingelnberg, une épicycloïde allongée pour la denture Oerlikon (**Figure. I.11**).

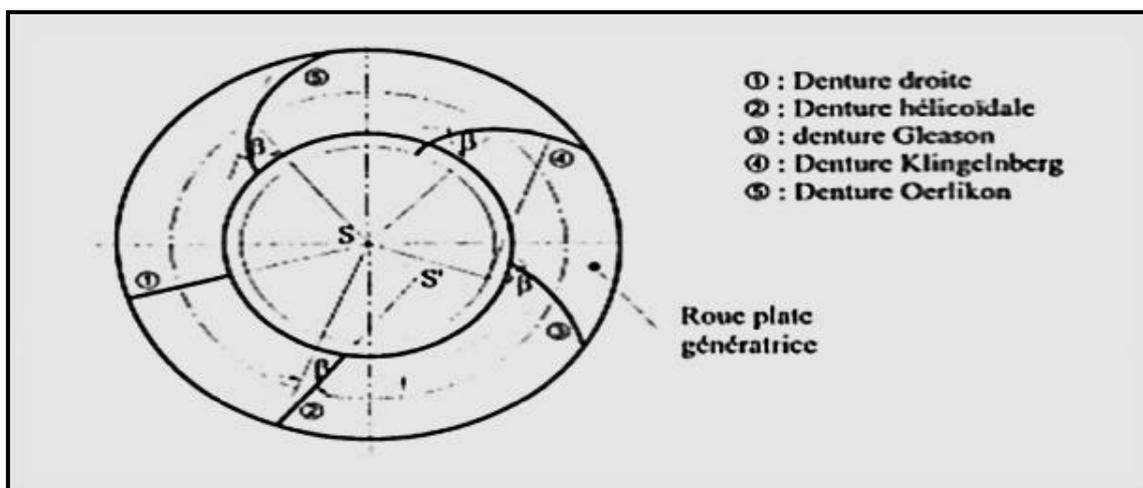


Figure. I.11: Types de dentures coniques.

c) Engrenages à axes orthogonaux

❖ Engrenages gauches hélicoïdaux :

Les dentures sont à développante de cercle (théoriquement, des hyperboloïdes de révolution).

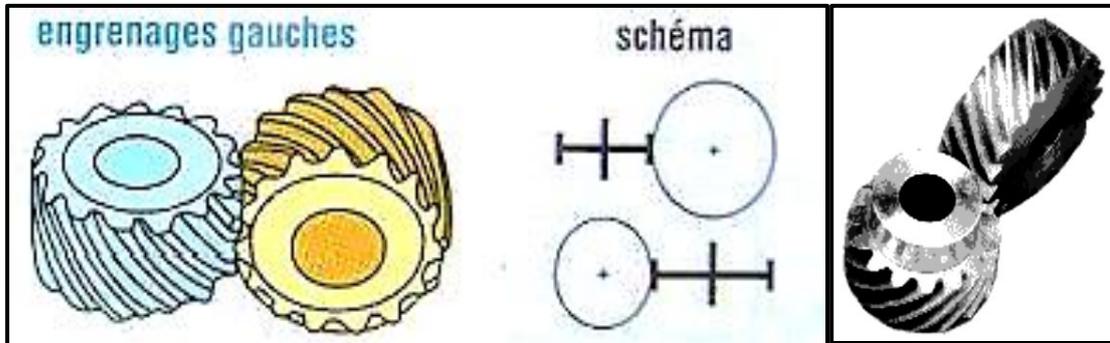


Figure. I.12 : Engrenage gauches hélicoïdaux

❖ Engrenages à roue et vis sans fin :

- L'une des roues ressemble à une vis et l'autre à une roue hélicoïdale.
- Le sens de rotation de la roue dépend de celui de la vis mais aussi de l'inclinaison de la denture, filet à gauche ou à droite.
- la surface de denture est engendrée par un outil matérialisant la vis conjuguée (taillage suivant la méthode des enveloppes). La vis peut être à filet trapézoïdal, à filet engendré par un tronc de cône de révolution, à filet en hélicoïde développable.
- L'irréversibilité est possible [7].

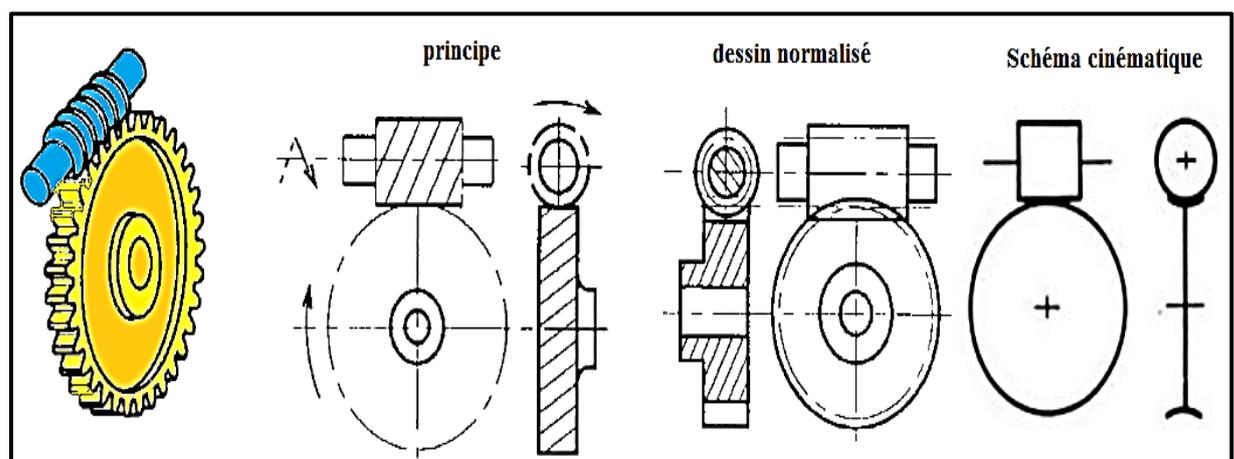


Figure. I.13 : Engrenages à roue et vis sans fin

1.5 Les types des engrenages

1.5.1 Engrenage cylindrique

1.5.1.1 Engrenage cylindrique à denture droite

La génératrice de forme des dents est une droite parallèle à l'axe de rotation. C'est le type de denture le plus courant. Il est utilisé dans toutes les applications de mécanique générale. C'est ce système qui permet de transmettre le maximum d'effort. Son principal défaut est d'être bruyant.

On remarquera que les roues tournent (par rapport au support) en sens opposé l'une de l'autre.

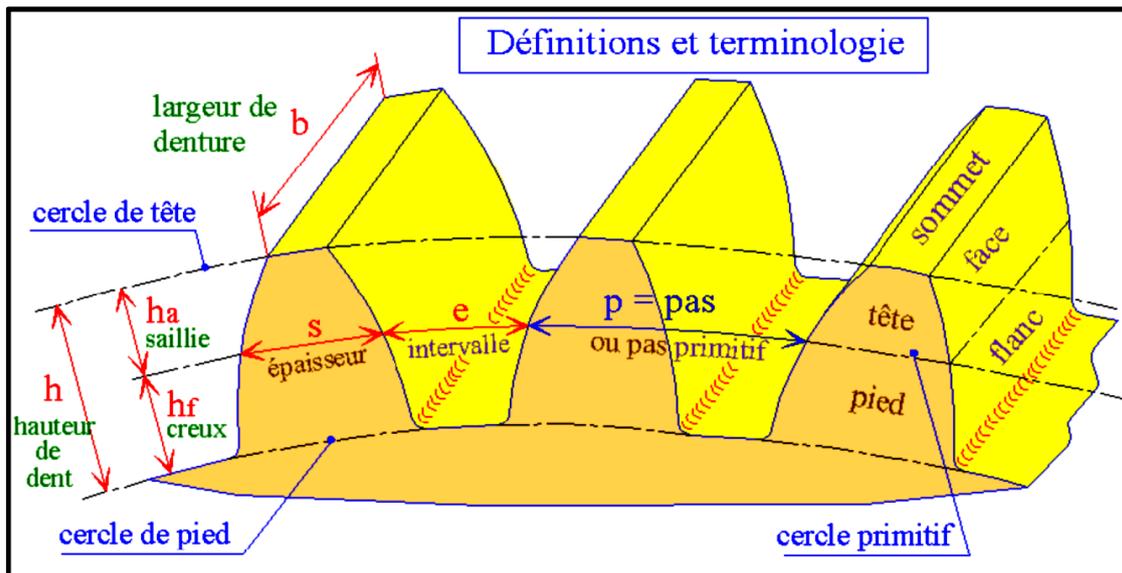


Figure. I.14 : Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture droite extérieur.

Désignation	Symbole	Valeur
Module		déterminé par un calcul de résistance des matériaux
Nombre de dents		nombre entier positif lié aux conditions de fonctionnement et de fabrication
Pas		
Saillie de la dent	h_a	$h_a = m$
Creux de la dent	h_f	$h_f = 1,25 m$
Hauteur de la dent	h	$h = 2,25 m$
Largeur de denture	b	$b = k m$ (k compris entre 8 et 10, souvent 10)
Diamètre primitif		
Diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2 h_a = m (Z + 2)$
Diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2 h_f = m (Z - 2,5)$
Entraxe de l'engrenage		
Angle de pression	α	Généralement $\alpha = 20^\circ$

Tableau. I.2 : Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture droite extérieur [7].

On utilise les engrenages à denture droite pour les basses et moyennes vitesses (jusqu'à $v \approx 20\text{m/s}$) et pour des exigences normales comme par exemple dans les boîtes vitesses universelles, pour des dispositifs de manutention, treuils, machines agricoles.

Les avantages de ces engrenages par rapport aux engrenages cylindriques à denture hélicoïdale sont :

- Absence d'efforts axiaux.
- Rendement un peu plus élevé.
- Les dents peuvent être plus larges, d'où une plus petite pression de contact et de là une faible usure.

Les inconvénients sont :

- Non appropriés pour les grandes vitesses à cause des vibrations et du bruit.
- La résistance pour les mêmes dimensions est plus petite.
- Sensible aux erreurs de forme de denture et aux charges dynamiques parasites [2].

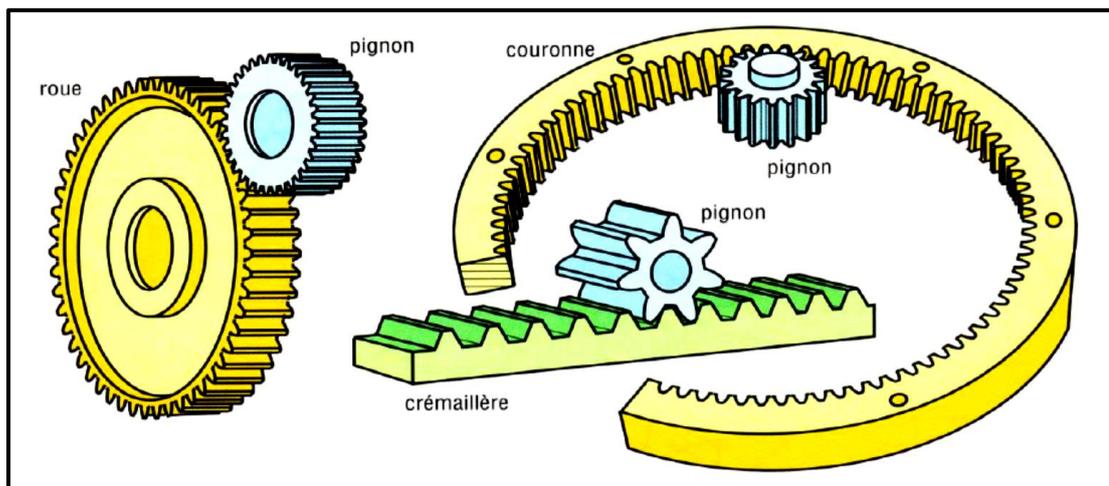


Figure. I.15 : Différents systèmes de transmission par engrenages à denture droite [7].

❖ Choix des matériaux

Les matériaux des roues peuvent être, d'après les conditions de fonctionnement, s'ils doivent être connus pour la détermination approximative dimensions principales. Ils peuvent, quand la vérification de la résistance l'exige, changés.

Les pignons sont souvent en acier, alors que les grandes roues dentées, selon les sollicitations, sont soit en fonte, soit en acier moulé soit encore en acier, les grandes roues dont les dents ont subi un revenu ou sont trempées.

Le matériau du pignon doit, à cause de la grande usure, être toujours plus dur celui de la grande roue. En générale, on pose :

$$Hb_{\text{pignon}} \geq Hb_{\text{roue}} + 150 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{N/mm}^2)$$

Le choix préalable des matériaux et leur appariement peut être effectué à l'aide du tableau suivant :

		Matériaux	
N°	Exigences et exemples d'utilisation	Pignon	Grande roue
1	Petites charges et petites vitesses ; fonctionnement intermittent, treuil, mécanisme de levage.	Ft, A 42, A 50, matières plastiques.	Ft 15, Ft 20, matières plastiques.
2	Charges et vitesses moyennes, transmission usuelle, installation de transport, petites machines-outils.	Ft, A 50, A 60, acier moulé, matières plastiques	Ft 20, Ft 25, Ft 30, FG 380, FG 420, 190-380M, 230-450M, matières plastiques
3	Charges et vitesses élevées ; réducteurs universels, machines-outils, construction de machines en général.	A 60, A 70, Aciers d'amélioration.	De Ft 30 à Ft 40, de FGS 500 à FGS 700, 260-520M, 300-600M, Aciers d'amélioration (bandage)
4	Les exigences les plus élevées ; automobiles, machines motrices, réducteurs de bateaux.	A 60, A 70, aciers trempés, aciers d'amélioration, acier de cémentation.	300-600M, aciers d'amélioration, aciers cémentation (bandage).

Tableau. I.3 : Instructions pour le choix des matériaux pour les engrenages cylindriques et coniques [2].

1.5.1.2 Engrenage cylindrique à denture hélicoïdale

La génératrice de forme des dents est une ligne hélicoïdale de même axe que l'axe de rotation. Ce type de denture présente l'avantage d'être plus silencieux que la denture droite, en créant moins de vibrations. Les dentures hélicoïdales permettent également d'augmenter la conduite de la transmission, en faisant en sorte que le nombre de dents simultanément en contact devienne constant. Ce qui permet de transmettre des efforts plus importants et surtout d'atténuer les vibrations et les bruits. En contrepartie ce type de denture engendre un effort axial dont l'intensité dépend de l'angle d'inclinaison de denture. Les roulements ou les paliers doivent être dimensionnés pour reprendre cet effort.

Pour les engrenages à axes parallèles, les hélices sont obligatoirement de sens contraires pour que les dentures puissent engrener, sauf dans le cas très particulier de l'engrenage paradoxal.

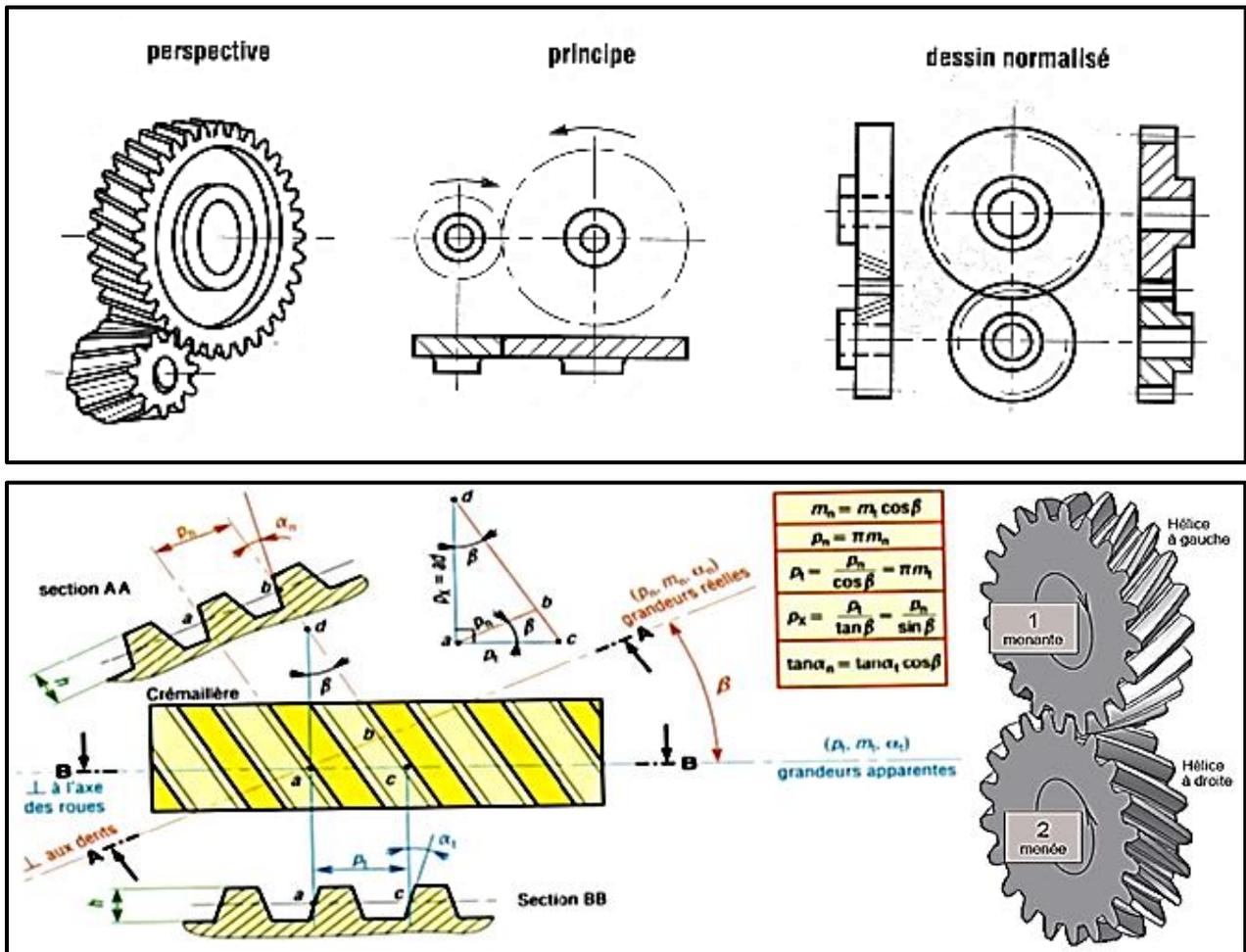


Figure. I.16 : Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture hélicoïdale [7].

Avec : β^* : angle d'hélice.

Pt : pas apparent.

Pn: pas réel.

Relation : $P_n = P_t \cos \beta$ $m_n = m_t \cos \beta$ $d = m_t * Z$

On constate que le diamètre primitif varie avec l'angle d'hélice β , il en est de même pour les diamètres de tête et de pied.

❖ **Avantages et Inconvénients de la denture hélicoïdale par rapport à la denture droite :**

Les avantages sont :

- Transmission plus souple.
- Moins de bruit.
- 2, 3 ou 4 dents toujours en prise ; efforts transmis plus importants.
- Variation d'entraxe en faisant varier l'angle d'hélice.

Les inconvénients sont :

- Rendement moins bon.
- Engendre un effort axial.
- Utilisation impossible en baladeur.
- Plus coûteux [2].

Désignation	Symbole	Valeur
Angle d'hélice	β	Valeur comprise entre 15° et 30°
Sens de l'hélice		Si le pignon a une hélice à gauche, la roue aura une hélice à droite
Nombre de dents	Z	Nombre entier positif lié aux conditions de fonctionnement et de fabrication
Module réel	m_n	Déterminé par un calcul de résistance des matériaux et choisi parmi les valeurs normalisées
Pas réel	p_n	$p_n = \pi \cdot m_n$
Module apparent	m_t	$m_t = m_n / \cos \beta$
Pas apparent	p_t	$p_t = \pi \cdot m_t$
Diamètre primitif	d	$d = m_t \cdot Z$
Entraxe de l'engrenage	a	$a = (d_1 + d_2) / 2$
Angle de pression	α	Généralement, $\alpha = 20^\circ$

Tableau. I.4 : Caractéristiques d'engrenage cylindrique à denture hélicoïdale [7].

Pour ce type d'engrenage on distingue :

- Les dimensions apparentes (indiquée par t) qui sont les dimensions perçues en regardant dans la direction de l'axe de rotation.
- Les dimensions réelles (indiquée par n) qui sont les dimensions perçues en regardant dans la direction des dents.

Remarque : Deux roues dentées engrenant ensemble doivent avoir des angles d'hélices égaux mais en sens inverse.

N°	Matériaux	Traitement Thermique	Degré de dureté de surface des flancs ¹⁾ HV10, HV1*	Résistance de roue dentée					
				Limite d'endurance des flancs P _D ²⁾ N/mm ²	Limite d'endurance à la flexion répétée ³⁾ σ _{DAF} N/mm ²	Limite d'endurance à la flexion alternée ³⁾ σ _{DAF} N/mm ²	Résistance à la rupture R _m N/mm ²		
01	Fontes grises	Ft 20		270	50	35	200		
02				Ft 25	310	60	42	250	
03				Ft 35	360	80	56	350	
04	Fonte à graphite Sphéroïdale	FGS 420		360	200	140	800		
05		FGS 500		420	210	150	900		
06		FGS 600		490	220	155	1000		
07		FGS 700		525	230	160	1100		
08	Aciers moulés	230-450M		280	130	90	410		
09		260-520M		340	150	105	470		
10		300-600M		420	170	120	520		
11	Aciers de construction a usage générale	A42		290	170	120	450		
12		A50		340	190	135	550		
13		A60		400	200	140	650		
14		A70		460	220	140	800		
15	Aciers d'amélioration	XC25	Revenu	140	440	170	120	600	
16		XC48	Trempé en rotation	560	1100	270	190	1000	
17		XC48	Nitruré dans un bain	400*	1100	350	250	1100	
18		XC65		210	620	220	155	900	
19		32 C 4	Revenu	260	650	260	180	900	
20		37 C 4	Revenu	260	650	270	190	950	
21		37 C 4	Revenu	610	1280	310	220	1150	
22		42 CD 4	Trempé en rotation	280	670	290	200	1100	
23		42 CD 4	Revenu	650	1360	350	250	1300	
24		42 CD 4	Trempé en rotation	500*	1220	430	300	1450	
25		34 CND 6	Nitruré dans un bain Revenu	310	770	320	225	1300	
26	Aciers de Cémentation	XC18		720*	1600	230	160	900	
27		16 MC 5		720*	1630	460	320	1400	
28		20 MC 5		720*	1630	480	335	1500	
29		20 DC 4	Cémenté		720*	1630	400	280	1300
30		16 CN 6			720*	1630	500	350	1600
31		18 CN 8			740*	1630	500	350	1700
32		18 CND 6			740*	1630	500	350	1700

Tableau. 1.5 : caractéristiques mécaniques des matériaux pour les engrenages cylindriques et coniques (les valeurs sont données pour une rugosité $R_t \approx 3 \dots 6 \mu m$) [2].

¹⁾ l'essai de dureté Vickers HV10 ou encore HV 1* ; par exemple un degré de dureté de 560 correspond à une dureté $\approx 5600 \text{ N/mm}^2$ (exactement à 560 kgf/mm^2).

²⁾ les valeurs de P_D correspondent à une formation de piqures sur 1...2% de la surface active des flancs après environ 5.10^7 passages du pignon.

³⁾ valeurs de σ_{DAF} correspondent à ou moins 3.10^6 cycles de charge sans risque de rupture.

1.5.2 Engrenages coniques

1.5.2.1 Généralités

Les engrenages coniques sont utilisés pour la transmission de couples entre deux arbres à axes concourants. On distingue les engrenages coniques à denture soit droite soit hélicoïdale soit encore en arc de cercle. Les axes des roues se coupent en un point M sous un angle quelconque $\Sigma = 90^\circ$. Il existe aussi des engrenages coniques dont les axes des roues ne sont pas concourants [2].

Les surfaces primitives ne sont plus des cylindres mais des cônes (cônes primitifs). Les cônes sont tangents sur une ligne MM' et leur sommet commun est le point S . c'est aussi le point d'intersection des axes de rotation des 2 roues (*figure. I.17*).

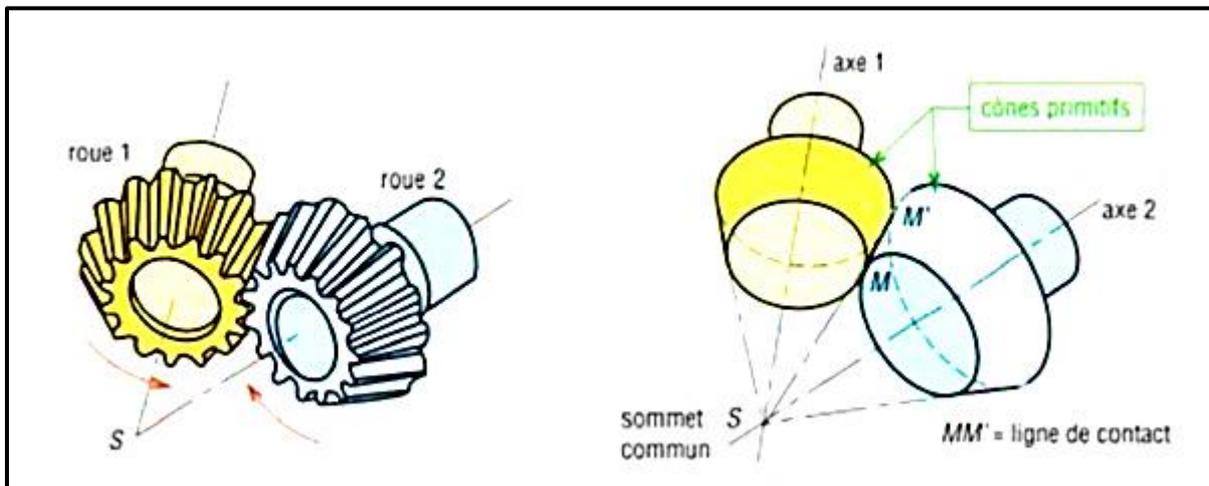
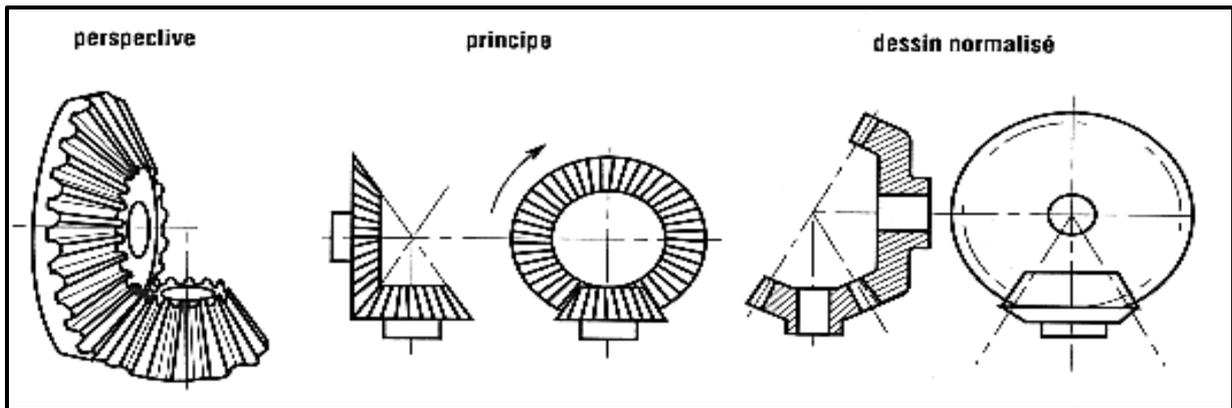


Figure. I.17 : Caractéristiques d'engrenage à axes concourants (conique à denture droite) [7].

1.5.2.2 Engrenage conique à denture droite

La denture droite d'un engrenage conique est déterminée à partir de l'angle primitif de référence et de la denture plate correspondante. La roue plate (avec le plan primitif plat $\Sigma = 90^\circ$) a pour la roue conique la même signification cinématique qu'a la crémaillère pour la roue cylindrique [2].



Désignation	Symbole	Valeur
Module	m	Déterminé par un calcul de résistance des matériaux
Nombre de dents	Z	Nombre entier positif lié aux conditions de fonctionnement et de fabrication
Pas	p	$p = \pi \cdot m$
Angle entre les arbres	Σ	fonction de l'architecture du système
Rapport de transmission	i	$i = N_1 / N_2 = \omega_1 / \omega_2 = Z_2 / Z_1 = d_2 / d_1$
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot Z$
Angle primitif	δ	$\tan \delta_1 = Z_1 / Z_2 = N_2 / N_1 \quad \tan \delta_2 = Z_2 / Z_1 = N_1 / N_2$
Saillie de la dent	h_s	$h_s = m$
Creux de la dent	h_f	$h_f = 1,25 m$
Hauteur de la dent	h	$h = 2,25 m$
Épaisseur de la dent	s	$s = p / 2 = \pi \cdot m / 2$
Intervalle de la dent	e	$e = p / 2 = \pi \cdot m / 2$
Largeur de denture	b	$b = k m$ (k compris entre 8 et 10, souvent 10)
Diamètre de tête	d_s	$d_s = d + 2 h_s \cdot \cos \delta = m (Z + 2 \cos \delta)$
Diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2 h_f \cdot \cos \delta = m (Z - 2,5 \cos \delta)$
Angle de pression	α	Généralement, $\alpha = 20^\circ$
Etc		

Tableau. I.6: Caractéristiques d'engrenage à axes concourants (conique à denture droite) [7].

1.5.2.3 Engrenage conique à denture hélicoïdale et à denture spéciale

Comme ce qui concerne les engrenages cylindriques, les engrenages coniques à denture hélicoïdale et à denture spéciale ont des propriétés de fonctionnement comme que celles des engrenages conique à denture droite.

Les axes des roues peuvent être concourants ou seulement se croiser (hypoïde, fig.1.).

Comme pour tous les engrenages coniques, on utilise les roues plates. Dans les roues plates des engrenages coniques à denture droite les lignes des flancs sont dirigées radialement, alors que dans les engrenages coniques hélicoïdaux ou en chevrons ce lignes sont inclinées et tangentielles à un cercle plus petit que le cercle intérieur. Les engrenages, dont les lignes de flanc sont en forme de spirale, ont trouvé un vaste domaine d'utilisation à cause du meilleur

engrènement, de la capacité de charge plus grande, de la régularité de rotation et de la grande insensibilité aux mes alignements et aux déformations.

L'angle moyen de la spirale β_m est souvent compris entre 35° et 40° mais peut aller jusqu'à 0° [2].

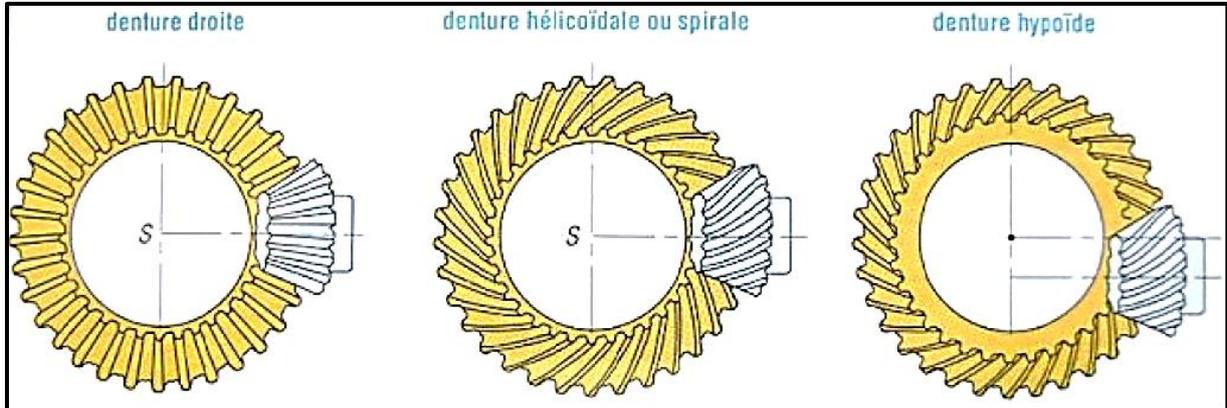


Figure. I. 18 : principaux types d'engrenage conique

1.5.3 Engrenage gauche (système roue et vis sans fin)

Un engrenage à vis est un engrenage gauche constitué d'une vis et d'une roue à vis conjuguée. Le profil de la vis est (en général) trapézoïdal.

Dans de nombreux cas ce dispositif est irréversible, ce qui signifie que si la vis peut entraîner la roue, la roue ne peut pas, en raison des frottements, entraîner la vis. Ce cas est intéressant par exemple pour la commande d'un treuil qui ne peut pas se dérouler tout seul.

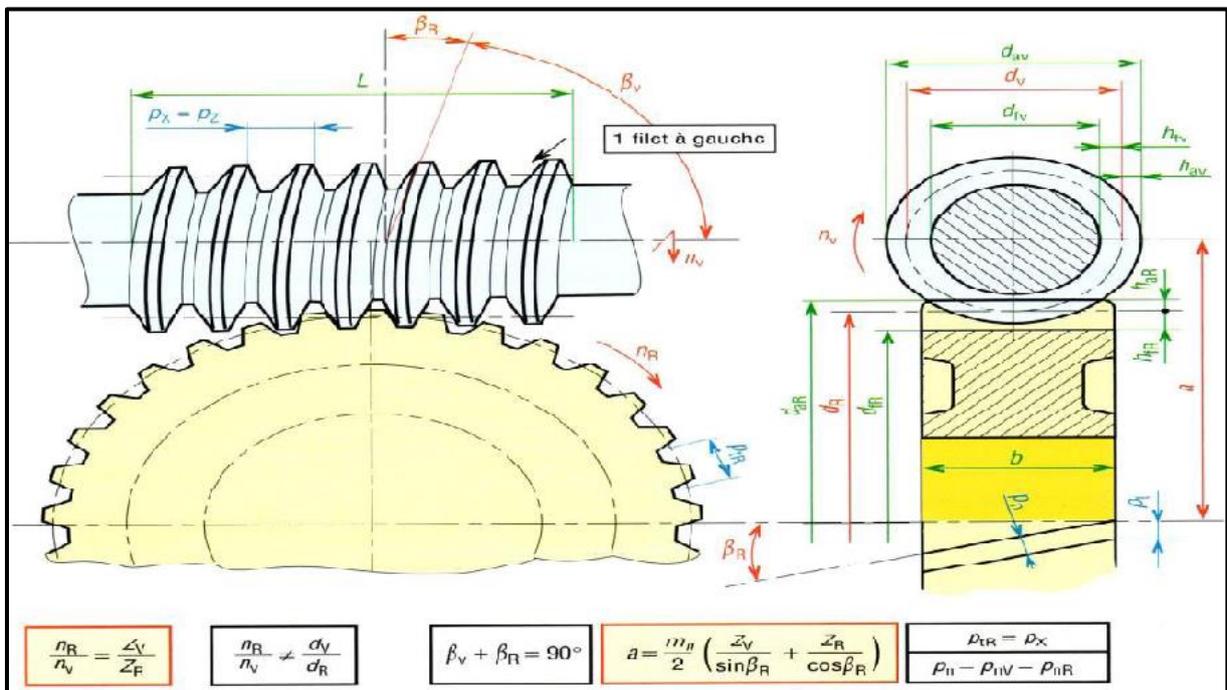


Figure. I.19 : Caractéristiques d'engrenage gauche (système roue et vis sans fin) [7].

Désignation	Symbole	Valeur
Nombre de filets	Z_V	
Angle d'hélice	β_V	Fonction de la réversibilité de la transmission
Sens de l'hélice		
Module réel	m_a	Déterminé par un calcul de résistance des matériaux
Module axial	m_x	$m_x = m_a / \cos \gamma_{vis}$
Pas réel	p_a	$p_x = \pi m_a$
Pas axial	p_x	$p_x = p_a / \cos \gamma_{vis}$
Pas de l'hélice	p_t	$p_t = p_x \cdot Z_{vis}$
Diamètre primitif	d	$d = p_t / \pi \tan \gamma_{vis}$
Diamètre extérieur	d_e	$d_e = d + 2 m_a$
Diamètre intérieur (ou du noyau)	d_f	$d_f = d - 2,5 m_a$
Longueur de la vis	L	$L = 5 p_x$ environ

Tableau. 1.7 : Caractéristiques d'engrenage gauche (système roue et vis sans fin) [7].

Les avantages de ces engrenages par rapport aux engrenages cylindriques et coniques sont :

- Le fonctionnement est silencieux et amortissant.
- Pour les mêmes puissances et rapport de transmission ces engrenages sont moins encombrants et faciles à réaliser.

Parmi les inconvénients par rapport aux engrenages cylindriques et coniques, on peut citer :

- Le mouvement de glissement des flancs causent une grande usure, une grande perte de puissance et un rendement plus bas.
- La présence de forces axiales nécessite pour les arbres l'utilisation de paliers plus rigides [2].

1.6 Forces d'engrenage [8]

<p>Denture droite</p> <p>Flèche blanche : pignon menant.</p> <p>Flèche noire : roue menée.</p> <p>F_{u1} = Force d'action tangentielle sur le pignon.</p> <p>F_{u2} = Force d'action tangentielle sur la roue.</p> <p>F_{r1} = Force d'action radiale sur le pignon.</p> <p>F_{r2} = Force d'action radiale sur la roue.</p>	
<p>Engrenages parallèles à denture hélicoïdales</p> <p>Flèches blanche : pignon menant à denture hélicoïdale droite.</p> <p>Flèche noire : roue menée à denture hélicoïdale gauche.</p> <p>F_{u1} = Force d'action tangentielle sur le pignon.</p> <p>F_{u2} = Force d'action tangentielle sur la roue.</p> <p>F_{a1} = Force d'action axiale sur le pignon.</p> <p>F_{a2} = Force d'action axiale sur la roue.</p> <p>F_{r1} = Force d'action radiale sur le pignon.</p> <p>F_{r2} = Force d'action radiale sur la roue.</p>	
<p>Engrenages parallèles à denture hélicoïdales</p> <p>Flèches blanche : pignon menant à denture hélicoïdale gauche.</p> <p>Flèche noire : roue menée à denture hélicoïdale droite.</p> <p>F_{u1} = Force d'action tangentielle sur le pignon.</p> <p>F_{u2} = Force d'action tangentielle sur la roue.</p> <p>F_{a1} = Force d'action axiale sur le pignon.</p> <p>F_{a2} = Force d'action axiale sur la roue.</p> <p>F_{r1} = Force d'action radiale sur le pignon.</p> <p>F_{r2} = Force d'action radiale sur la roue.</p>	

<p>Engrenages gauches hélicoïdaux</p> <p>Flèche blanche : Graine de pin menant à denture hélicoïdale droite.</p> <p>Flèche noire : Roue menée à denture hélicoïdale droite.</p> <p>F_{u1} = Force d'action tangentielle sur le pignon.</p> <p>F_{u2} = Force d'action tangentielle sur la roue.</p> <p>F_{a1} = Force d'action axiale sur le pignon.</p> <p>F_{a2} = Force d'action axiale sur la roue.</p> <p>F_{r1} = Force d'action radiale sur le pignon.</p> <p>F_{r2} = Force d'action radiale sur la roue.</p>	
<p>Engrenages gauches hélicoïdaux</p> <p>Flèche blanche : Pignon menant à denture hélicoïdale gauche.</p> <p>Flèche noire : Roue menée à denture hélicoïdale gauche.</p> <p>F_{u1} = Force d'action tangentielle sur le pignon.</p> <p>F_{u2} = Force d'action tangentielle sur la roue.</p> <p>F_{a1} = Force d'action axiale sur le pignon.</p> <p>F_{a2} = Force d'action axiale sur la roue.</p> <p>F_{r1} = Force d'action radiale sur le pignon.</p> <p>F_{r2} = Force d'action radiale sur la roue.</p>	
<p>Engrenage concourants à denture droite</p> <p>Flèche blanche : Pignon menant.</p> <p>Flèche noire : Roue menée.</p> <p>F_{u1} = Force d'action tangentielle sur le pignon.</p> <p>F_{u2} = Force d'action tangentielle sur la roue.</p> <p>F_{r1} = Force d'action radiale sur le pignon.</p> <p>F_{r2} = Force d'action radiale sur la roue.</p> <p>F_{a1} = Force d'action axiale sur le pignon.</p> <p>F_{a2} = Force d'action axiale sur la roue.</p>	

Engrenage concourants à denture spirale

Flèche blanche: Pignon menant à denture spirale gauche.

Flèche noire : Roue menée à denture spirale droite.

F_{u1} = Force d'action tangentielle sur le pignon.

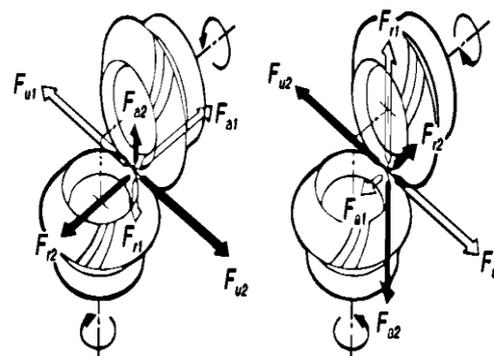
F_{u2} = Force d'action tangentielle sur la roue.

F_{r1} = Force d'action radiale sur le pignon.

F_{r2} = Force d'action radiale sur la roue.

F_{a1} = Force d'action axiale sur le pignon.

F_{a2} = Force d'action axiale sur la roue.



Engrenage concourants à denture spirale

Flèche blanche: Pignon menant à denture spirale droite.

Flèche noire : Roue menée à denture spirale gauche.

F_{u1} = Force d'action tangentielle sur le pignon.

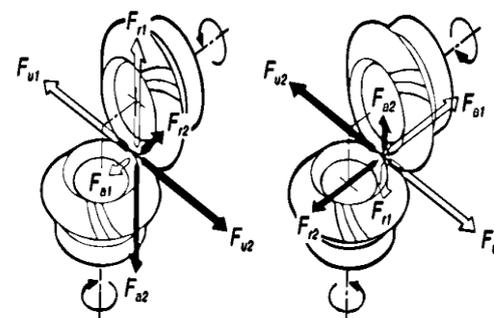
F_{u2} = Force d'action tangentielle sur la roue.

F_{r1} = Force d'action radiale sur le pignon.

F_{r2} = Force d'action radiale sur la roue.

F_{a1} = Force d'action axiale sur le pignon.

F_{a2} = Force d'action axiale sur la roue.



Engrenage à vis sans fin

Flèche blanche : Vis menant à filet droite.

Flèche noire : Roue à vis menée à denture droite.

F_{u1} = Force d'action tangentielle à la vis sans fin.

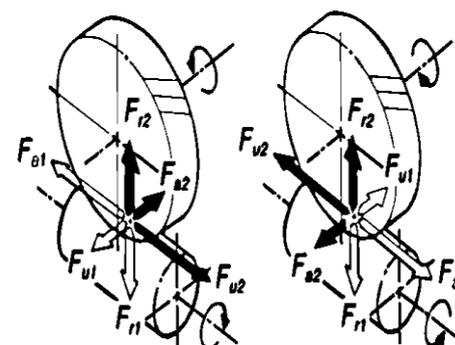
F_{u2} = Force d'action tangentielle à la roue à vis sans fin.

F_{r1} = Force d'action radiale sur la vis sans fin.

F_{r2} = Force d'action radiale sur l'engrenage à vis sans fin.

F_{a1} = Force d'action axiale sur la vis sans fin.

F_{a2} = Force d'action axiale sur la roue à vis sans fin.



Engrenage à vis sans fin

Flèche blanche : Vis menant à filet droit.

Flèche noire : Roue à vis menée à denture droite.

F_{u1} = Force d'action tangentielle à la vis sans fin.

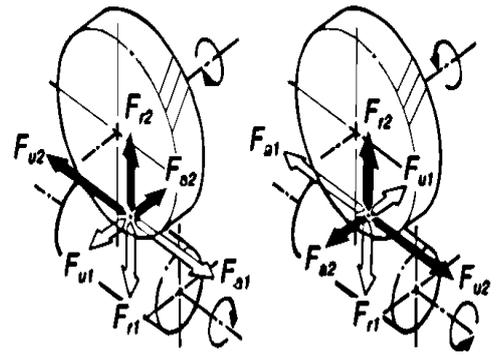
F_{u2} = Force d'action tangentielle à la roue à vis sans fin.

F_{r1} = Force d'action radiale sur la vis sans fin.

F_{r2} = Force d'action radiale sur l'engrenage à vis sans fin.

F_{a1} = Force d'action axiale sur la vis sans fin.

F_{a2} = Force d'action axiale sur la roue à vis sans fin.



1.7 Les matériaux utilisés pour les engrenages

Bon nombre de matériaux sont utilisés pour la fabrication des engrenages:

- Aciers de toutes nuances.
- Fontes ordinaires et spéciales.
- Bronzes.
- Matières synthétiques, etc.

Le choix dépend d'un assez grand nombre de facteurs :

- Types d'engrenages.
- Vitesses de rotation.
- Résistances demandées à la rupture et à l'usure.
- Silence de fonctionnement.
- Dimensions de l'engrenage.
- Matériel d'usinage disponible, etc...

On peut toutefois à l'exception des engrenages à vis sans fin pour lesquels le bronze est pratiquement le seul matériau possible pour la roue, ce sont les aciers qui sont de loin les plus utilisés. Ils permettent d'obtenir le maximum de sécurité avec un encombrement minimum, les questions de fonderie, de forge est d'usinage des grandes roues ne constituent même plus un obstacle dans l'industrie moderne. [8]

1.8 Qualité des engrenages

Classes de précision :

- Classe 1 à 4 : Précision exceptionnelle et grandes vitesses ($V > 30$ m/s). Engrenages étalons, turbines.
- Classe 5 et 6 : Denture rectifiée ou rasée, vitesses élevées ($V < 20$ m/s). Appareil de mesure, turbine, automobiles, machine outils.
- Classe 7 : Denture taillée et rectifiée, bonne qualité en mécanique générale, vitesses ($V < 10$ m/s). Manutention, machines-outils, automobiles, machines de bureau.
- Classe 8 et 9 : Qualité courante pour roues trempées non rectifiées, vitesses ($V < 7$ m/s).
- Classe 10 : Procédés usuels de fabrication, incluant engrenages en plastique.
- Classe 11 et 12 : Engrenages lents ($V < 2$ m/s) et/ou à gros modules [3].

Conclusion

Les transmissions par engrenages sont très répandues dans l'industrie. Ils sont d'une grande utilité lorsqu'il s'agit de transmettre des couples importants, de produire de grandes vitesses de rotation ou d'effectuer un changement de direction du mouvement de rotation.

Lorsque les inconvénients fonctionnels sont importants, les calculs incorrects ou le régime normal d'exploitation compromis, les engrenages travaillent dans des conditions sévères et sont par conséquent soumis à une détérioration progressive de leur état, notamment au niveau des dentures, d'où la nécessité de les soumettre à une surveillance conditionnelle continue afin de détecter à un stade précoce les éventuels défauts.

Chapitre II

Etude du système roue à vis sans fin



2.1 Généralité sur le système roue à vis sans fin

La vis sans fin est constituée d'un long cylindre étroit, présentant une denture hélicoïdale continue, analogue au filetage d'une vis cylindrique, se mettant en prise avec une roue à denture hélicoïdale. Les engrenages à vis sans fin diffèrent des engrenages à roues à denture hélicoïdale.

En effet, les dents de la vis sans fin s'engagent continûment en glissant sur celles de la roue menée, mais ne leur appliquent pas directement un effort de rotation. Les vis sans fin servent principalement à transmettre une rotation, avec une forte réduction de vitesse, entre deux arbres orthogonaux [15].

Une roue creuse est une roue cylindrique légèrement creusée, ce qui accroît la surface de contact entre les dents et permet d'augmenter les efforts transmissibles. Même principe avec la vis globique (assemblage plus difficile).



Figure. II.1 : Roue et vis sans fin [16].

2.1.1 Géométrie du système roue à vis sans fin

L'engrenage à vis sans fin est un cas spécial de l'engrenage avec un angle d'axe de 90° et avec un nombre limité de dents de pignon/vis sans fin (dans la majorité des cas $z_1=1-4$).

Selon la forme, nous différons :

1. Roue cylindrique / vis sans fin cylindrique (transmissions cinématiques et sans force, petit moment de torsion, commande manuelle, mécanismes de blocage, contact de dents ponctuel, fabrication peu coûteuse).
2. Vis sans fin cylindrique / roue globoïde – le plus fréquent (transmissions de puissance, compacts, classement selon la forme de la vis sans fin – voir ci-dessous).
3. Vis sans fin globoïde / roue cylindrique (non utilisé).

4. Roue et vis sans fin globoïdes (hautes puissances, compact, fabrication spéciale, de meilleure qualité, prix élevé).

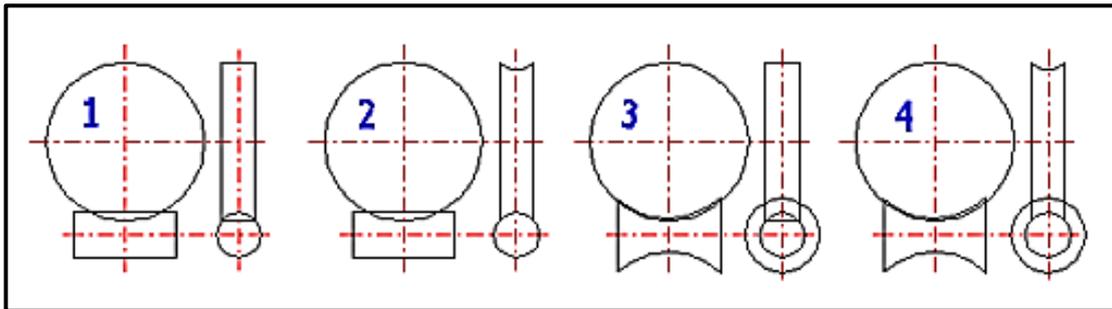


Figure. II.2 : Type de formes d'engrenages à vis sans fin [17].

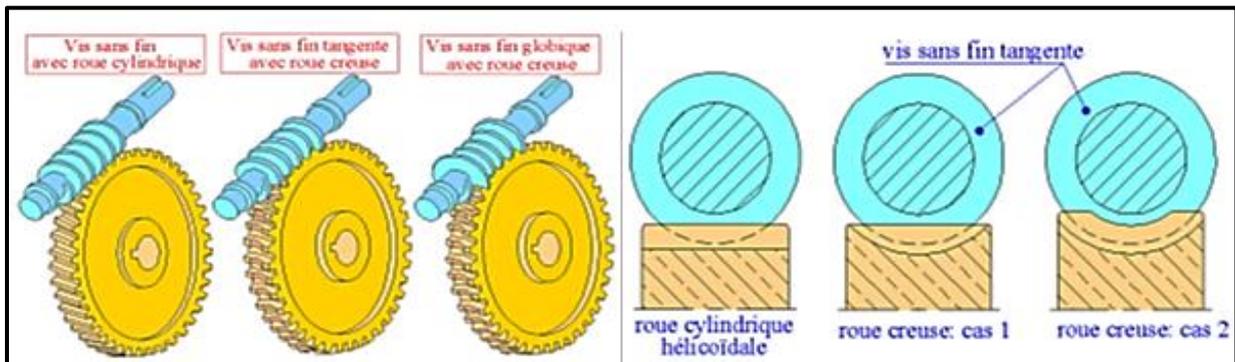


Figure. II.3 : Principales familles du système roue et vis sans fin [9].

Contrairement aux autres engrenages, le rapport des nombres de dents est différent du rapport des diamètres primitifs.

Les caractéristiques de la roue sont celles d'une roue droite à denture hélicoïdale.

Z_v représente le nombre de filets de la vis ($Z_v = 1, 2$ ou 4 mais aussi $3, 5, 6, 8$ filets et parfois plus).

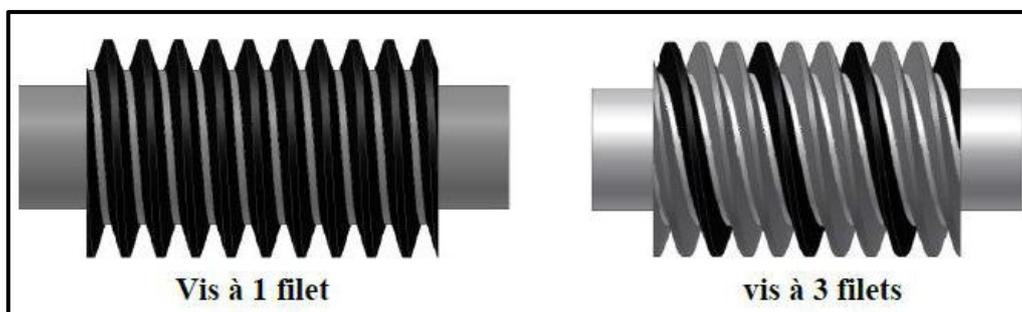


Figure. II.4 : Exemples d'une vis sans fin à 3 filets.

Le pas axial p_x , mesure la distance, suivant l'axe, entre deux filets consécutifs de la vis.

Le pas de l'hélice p_z représente le pas du filet (ou d'un des filets) de la vis :

$$P_z = Z_v \cdot p_x \text{ et } \tan \beta_R = P_z / P_{dv} \text{ avec } \beta_R = 90^\circ - \beta_v$$

La vis et la roue ont le même pas normal P_n . De plus le pas axial de la vis est égal au pas apparent de la roue ($P_{x_{vis}} = P_{t_{roue}}$) [10].

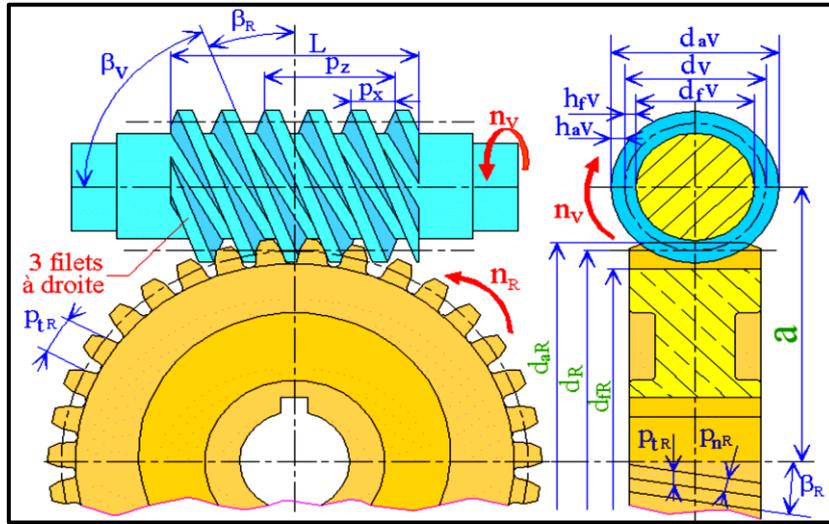


Figure. II. 5 : Caractéristiques et géométries de la roue et la vis sans fin [9].

2.1.2 Dimension et caractéristiques des engrenages à roue et vis sans fin

Principales caractéristiques des engrenages à roue et vis sans fin		
Caractéristique	Symbole ISO	Observations, définitions formules
vitesse angulaire	ω	en rad.s^{-1} ; $\omega = \pi N/30$
nombre de tours	n	n en tours par minute ou tr.min^{-1}
nombre de dents de la vis	Z_V	$Z_V = 1, 2, 3 \dots$
nombre de dents de la roue	Z_R	$Z_V + Z_R > 40$
angle d'hélice de la roue	β_R	$\beta_V + \beta_R = 90^\circ$
angle d'hélice de la vis	β_V	irréversibilité si $\beta_V < 6$ à 10°
sens des hélices		le même pour la vis et la roue
module réel roue	m_n	normalisé (voir tableau): $m_n \text{ vis} = m_n \text{ roue}$
module axial vis	m_x	$m_x = p_x/\pi = m_n/\cos\beta_R = m_n/\sin\beta_V$
pas réel roue	p_n	$p_n = \pi m_n$
pas apparent roue	p_t	$p_t = p_n/\cos\beta_R = \pi m_t$
pas axial de la vis	p_x	$p_x = p_t$ (pas axial vis = pas apparent roue)
pas de l'hélice	p_z	$p_z = Z_V \cdot p_x$
diamètre primitif vis	d_V	$d_V = p_z/\pi \cdot \tan\beta_R$ et $a^{0,875}/3 \leq d_V \leq a^{0,875}/1,7$
diamètre primitif roue	d_R	$d_R = m_t Z_R$
entraxe	a	$a = \frac{1}{2}(d_V + d_R)$
angle de pression réel	α_n	valeur usuelle: $\alpha_n = 14^\circ 30', 20^\circ, 25^\circ$ et 30° , commun à la vis et à la roue
angle de pression axial vis	α_x	$\alpha_x = \alpha_t$ (roue)
diamètre de tête vis	d_{aV}	$d_{aV} = d_V + 2m_n$
diamètre de pied vis	d_{fV}	$d_{fV} = d_V - 2,5m_n$
saillie	h_a	$h_a = m_n$
creux	h_f	$h_f = 1,25m_n$
hauteur de dent	h	$h = 2,25m_n = h_a + h_f$
Longueur de la vis	L	$L \approx 5p_x$ à $6p_x$

Tableau. II. 1 : Caractéristiques d'engrenage système roue et vis sans fin [10].

2.2 Définition des types de vis sans fin à profil cylindrique

La forme de la denture d'un engrenage composé d'une vis cylindrique et d'une roue torique est imposée par le profil adopté sur la vis. Ce profil peut se définir soit dans la section axiale de la vis, soit dans la section normale. La forme de la dent sur la vis est normée selon DIN et la désignation de la vis commence par la lettre Z suivie d'une lettre fixant le mode de définition. Les formes normées sont :

a) *Vis de type ZA* : Flancs définis en profil axial

La forme du profil de la vis est obtenue par une fraise disque de grande dimension, de profil trapézoïdal, dont l'axe de rotation est perpendiculaire au filet moyen d'angle γ_m . La finition de la vis peut se faire par une meule profilée. Le bombé de la dent dépend du diamètre de l'outil générateur.

b) *Vis de type ZN* : Flancs définis en profil normal

La définition s'effectue dans la section normale, perpendiculaire à l'hélice moyenne de la vis. Le profil de la vis est trapézoïdal dans cette section, la droite génératrice étant dans un plan perpendiculaire au filet moyen d'angle γ_m . La fabrication de la vis se réalise par un burin placé dans le plan normal ou approximativement : par une fraise conique en bout ou une fraise disque de petite dimension à profil trapézoïdal.

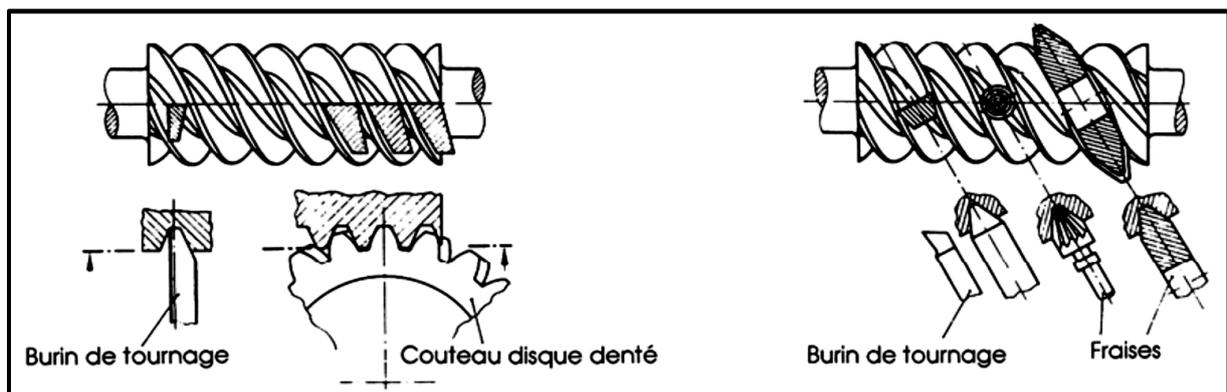


Figure. II. 6 : Définition et fabrication des flancs de la vis : vis de type ZA et ZN, [12].

c) *Vis de type ZK* : Flancs engendrés par outil disque

La forme du profil de la vis est obtenue par une fraise disque de grande dimension, de profil trapézoïdal, dont l'axe de rotation est perpendiculaire au filet moyen d'angle γ_m . La finition de

la vis peut se faire par une meule profilée. Le bombé de la dent dépend du diamètre de l'outil générateur.

d) Vis de type ZI : Flancs en hélicoïde développable

La forme du profil de la vis correspond à celui d'une roue hélicoïdale à développante de cercle ($I = \text{involuté}$). Les flancs sont en hélicoïde développable ce qui autorise, en principe, l'emploi de tous les outils usuels de fabrication des roues dentées hélicoïdales. Le profil peut aussi se créer par tournage au moyen d'un burin, la droite de génération devant être tangente au cercle de base de la vis.

e) Vis de type ZH : Flancs engendrés par outil disque convexe (non normé par DIN)

La forme des flancs de la vis est concave dans la section axiale. La fabrication s'effectue par fraise disque à profil convexe et la rectification utilise des meules de même profil. La forme du profil de l'outil est habituellement en arc de cercle.

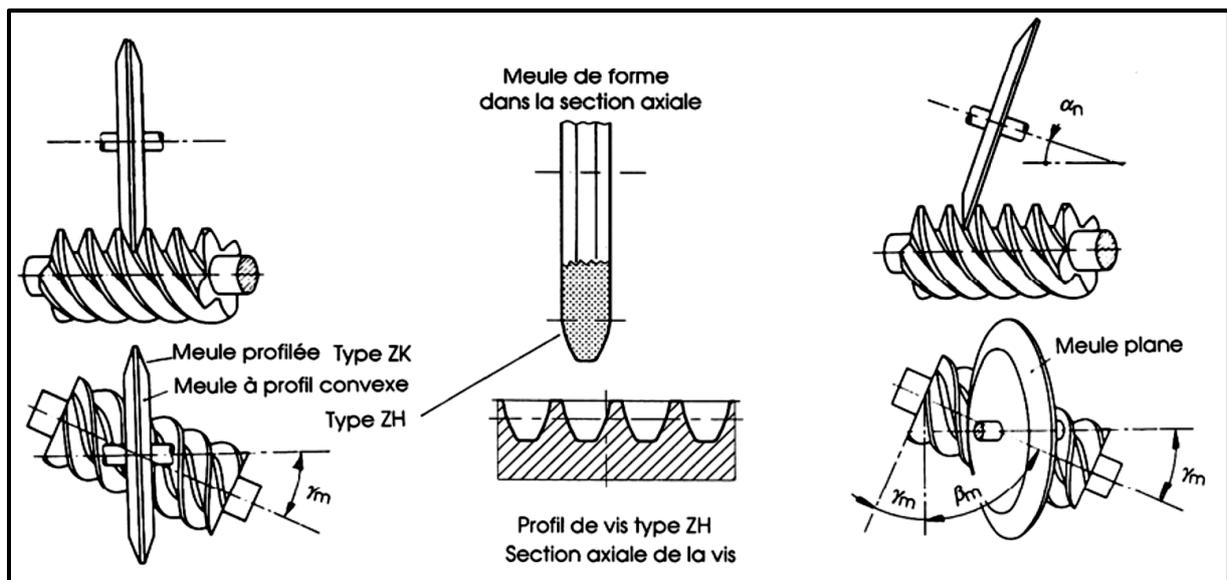


Figure. II. 7 : Définition et fabrication des flancs de la vis : vis de types ZK, ZH et ZI. [12]

❖ **Remarque**

Le comportement des vis des types ZA, ZN, ZK et ZI est assez semblable de telle sorte que le calcul mécanique des vis à hélicoïde développable comme la capacité de charge, la formation du film lubrifiant, le rendement, peut être étendu aux autres types. La forme du profil des meules pour les vis des types ZA et ZN est très difficile à réaliser et à contrôler, ce qui n'est pas le cas pour le type ZK. Le type ZI possède un énorme avantage car il permet de fabriquer des couples avec une géométrie à haute précision, de mesurer les flancs et d'entretenir facilement l'outillage. Le type ZH avec une denture de vis concave permet d'atteindre des

conditions très favorables de portance et de glissement grâce à la forme et la position des lignes de contact obtenues par déport de denture.

2.3 Les matériaux utilisés pour la roue et la vis sans fin

La capacité de chargement des engrenages à vis sans fin est limitée à cause des conditions variées :

- Piqûre (Pitting) sur les flancs des dents de la roue.
- Usure des flancs des dents.
- Rupture par fatigue en pied de dent.
- Flexion de l'arbre.
- Échauffement de l'huile.

a) Matériau de la vis sans fin

Le choix du matériau de la vis sans fin et de la roue doit être adapté à ces conditions. Dans la majorité des cas, on choisit pour la vis sans fin l'acier durcie et meulée.

Pour les vis sans fin, on utilise un acier non allié ou allié qui permet le traitement thermique de durcissement superficiel (trempe à HRC 45-50, carburation et trempe à HRC 56-62 et nitruration). Les flancs des dents sont meulés, éventuellement polis. Pour la vis sans fin nitrurée, vous pouvez omettre le meulage et n'effectuer que le polissage. Les vis sans fin en acier traité thermiquement ou ayant subi un recuit de normalisation ne sont utilisées que pour les puissances moins importantes et les vitesses périphériques moins élevées.

b) Matériau de la roue

Le matériau fondamental est le bronze, la fonte et le laiton sont moins fréquents. Les roues en matière plastique sont utilisées pour les puissances plus basses (amortissent des chocs, sans bruit) et les engrenages ne transmettant pas la puissance. Pour raisons d'économie, les roues en bronze sont fabriquées comme composées (couronne en bronze, roue en acier ou en fonte). La coulée centrifuge convient parfaitement dans ce cas.

Pour les petites puissances, le chargement calme et les basses vitesses périphériques jusqu'à 2m/s, il est possible d'utiliser de la fonte grise en couple avec la vis sans fin en acier [12].

2.4 Particularités du système roue et vis sans fin

2.4.1 Avantages et inconvénients :

La transmission est réalisée à l'aide d'une vis à un ou plusieurs filets de forme trapézoïdale engrenant avec une roue cylindrique à denture hélicoïdale. La vis et la roue ont des sens d'inclinaison identiques. Le frottement important établi au contact roue et vis entraîne les conséquences décrites dans le tableau suivant [13].

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Transmission sans à-coups ni vibrations. • Niveau sonore le plus faible des engrenages. • transmission de couples importants sous fréquence de rotation élevées. • Durée de vie plus importante. • Irréversibilité très fréquente. • Rapport de transmission très important sous un encombrement très réduit. • Un rendement plus faible que pour les autres types d'engrenages : $0,3 < \eta < 0,8$. 	<ul style="list-style-type: none"> • La nécessité de retenir des matériaux à faibles facteurs de frottement : acier / bronze dur. • Échauffement lors du fonctionnement continu en charge. • Nécessité absolue d'une lubrification abondante, souvent par huile. • Présence d'un effort axial très important sur la vis se répercutant sur les paliers de guidage.

Tableau. II. 3 : Avantages et inconvénients des engrenages à vis sans fin [13].

2.4.2 Irréversibilité du système roue et vis sans fin

La vis peut toujours entraîner la roue, par contre l'inverse n'est pas toujours possible. Si l'angle d'inclinaison de l'hélice β_R est suffisamment petit (moins de 6° à 10°), le système devient irréversible et la roue ne peut pas entraîner la vis. Il y a blocage en position. Cette propriété est intéressante pour des dispositifs exigeant un non-retour.

Ce phénomène est comparable à l'irréversibilité du système vis-écrou. De tous les engrenages, les systèmes roue et vis sans fin sont les seuls à posséder cette propriété [10].

2.4.3 Rendement d'engrenage à vis sans fin

Le rendement d'un système est le rapport entre l'énergie absorbée en entrée et l'énergie fournie en sortie de ce système souvent appelée énergie utile.

$$\eta = P_{\text{sortie}} / P_{\text{entrée}}$$

Dans l'engrenage à vis sans fin, il est possible de diviser une perte totale de puissance en perte aux dentures, perte aux paliers et perte causée par les joints. Les pertes liées avec le système de lubrification éventuel et de refroidissement de l'engrenage ne sont pas incluses dans le calcul.

Un rendement d'engrenage est défini comme proportion entre l'élément entraîné et l'élément entraîneur, et il varie dans le cas, où l'élément entraîneur est la vis sans fin ou la roue [12].

Il exprime aussi l'efficacité énergétique d'un composant, notion de plus en plus importante pour un ingénieur. Sa valeur est comprise entre 0 et 1 et souvent exprimée en pourcentage (%).

L'efficacité des transmissions à vis sans fin est souvent inférieure à celle des transmissions à axes parallèles présentant le même rapport. C'est la raison pour laquelle ce type d'expédition n'est souvent pas accepté. Toutefois, des calculs et des études récentes ont considérablement amélioré l'efficacité. Le rendement dépend de divers facteurs, notamment:

- L'angle de tangage du ver
- Le coefficient de frottement des matériaux utilisés.
- La douceur et la dureté des flancs des dents.
- La forme de la dent.
- La qualité des lubrifiants utilisés.
- Le frottement change également avec la vitesse périphérique du ver.

La formule simplifiée pour calculer le rendement est :

$$\eta = \tan (\gamma_m) / \tan (\gamma_m + f) \cdot 100\%$$

η : efficacité en%.

γ_m : angle d'inclinaison de la ligne de flanc sur le cylindre de couture.

f : angle de frottement [18].

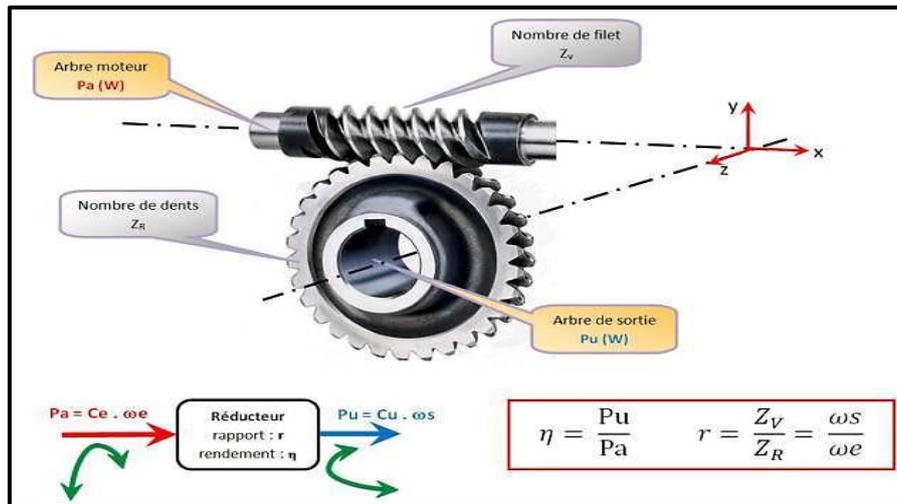


Figure. II.8 : Circulation de la puissance d'un système roue à vis sans fin [18].

2.4.4 Utilisation du système roue et vis sans fin

Les engrenages à vis sans fin (globoïdes) peuvent transmettre des grandes puissances, normalement 50 à 100 kW (optimales 0.04kW-120kW, extrêmes 1000 kW); à simple réduction, ils sont capables de réaliser les hauts rapports d'engrenage $i = 5$ à 100, (dans le cas de transmissions cinématiques même $i=1000$). Néanmoins, ils ont les petites dimensions et sont légers et compacts. Ils présentent un fonctionnement tranquille et calme et peuvent être proposés comme transmission à blocage automatique.

Leur désavantage est le grand glissement entre les dents qui cause des pertes plus élevées par frottement et de cette manière aussi un rendement plus bas; l'effort déployé en vue de l'améliorer oblige à utiliser des métaux non ferreux déficitaires pour les couronnes de roue. La fabrication de la denture est plus exigeante et plus coûteuse; à cause de l'usure, sa durée de vie est plus courte que dans le cas d'autres engrenages.

Ils sont utilisés comme transmissions de puissance pour mélangeurs, tours verticaux, véhicules et dispositifs de levage, machines textiles, presses, transporteurs, cisailles, tambours, élévateurs, commandes d'hélices, raboteuses, machines-outils, automobiles...

Dans ce calcul, on résout les plus utilisés des engrenages à vis sans fin cylindrique et à roue globoïde [17].

2.5 Réducteur à roue et vis sans fin

La transmission se fait entre deux axes orthogonaux non coplanaires. Ces engrenages permettent des rapports de réduction très grands et offrent la possibilité d'irréversibilité. Ils offrent un engrènement le plus doux des engrenages mais génèrent un frottement important engendrant un rendement médiocre [3].

Conclusion

La complexité ascendante de la géométrie des pièces et la nécessité de réduire les coûts de production, imposent l'utilisation d'outils plus performants servants au contrôle de ces dernières pour une meilleure retranscription de la fonctionnalité de service que peut avoir la pièce lors de son assemblage et montage dans le mécanisme.

Les engrenages qui sont largement utilisés dans les transmissions ont des géométries de denture complexes, l'initiative de leurs études est de répondre aux exigences industrielles de plus en plus strictes.

Chapitre III :

***Amélioration de la gamme d'usinage de la vis sans fin
fabriquée au niveau des AMM complexe sidérurgique
d'El-Hadjar Annaba***

1.1 Présentation complexe SIDER EL-HADJAR :

Historique :

L'Entreprise nationale de sidérurgie (ENS) a été créée par la société bônoise sidérurgie (SBS) en 1959 à la mise en application du plan de Constantine créée le 4 septembre 1964, la SNS a été chargée de construire un complexe sidérurgique à EL HADJAR. En exécution d'une politique définie et exprimée par le gouvernement.

Les minerais seront acheminés par les chemins de fer depuis les mines du L'OUENZA située à 150 km de la côte depuis le port d'Annaba. Issue de la restructuration de la société nationale SNS, l'Entreprise (SNS) par abréviation SIDER a été créée par décret (N 83-628) le 05 novembre 1983 et après c'est la création de MITAL STEEL Annaba le 25 juin 2005, et devenir ARCELOR MITAL ANNABA le 06 mars 2007. En 2017, il est devenu le nom du complexe Sider Hadjar.

❖ situation géométrique du complexe :

Le complexe sidérurgique d'EL HADJAR situe de 15 km au sud de la ville d'Annaba, il occupe une superficie de 800 hectare qui se repartie en 3 zone :

- **Zone 1** : l'atelier de production 300 hectare.
- **Zone 2** : les superficies de stockage 300 hectare.
- **Zone 3** : la surface de service 200 hectare.

Le complexe a pour mission de valoriser de minerai de fer national et de fabriquer des demi-produits sidérurgiques.

Le complexe a pour ses besoins d'énergie et de fluides est équiper par des dispositifs tel que :

- Trois (3) centrales thermiques d'une capacité totale de 65mW/h.
- Quatre (4) centrales à oxygène d'une capacité totale de 3500m³/h.
- Trois (3) usines à eau d'une capacité de 28400m³/h.

Le complexe dispose au niveau du périmètre du port d'Annaba les installations suivantes :

Un quai sidérurgique équipé de grues dont 5 d'une capacité de 25 tonnes et deux de 40 tonnes.

On distingue trois phases :

1. Une phase allant du démarrage du premier déliner (HFN'1) jusqu'à 1974 ; c'est l'année de mise en service des premières installations du LAF (laminoir réversible) capacité de 400000 tonne d'acier liquide.

2. Une phase dite (Extension des gammes) entre 1974 et 1977, il s'agit de la construction de la filière tube sans soudure pour une meilleure sécurité du complexe. Il s'agit aussi par un organigramme de produit en tubes à pétrole pour SONATRACH et du laminoir à fils rond.

3. Une phase dite de 2.000.000 de tonnes entre 1978 et 1981 caractérisée par l'installation du haut fourneau de 120 mille tonnes de fonte, et l'extension de la zone produit avec une capacité de 130.000 tonnes d'acier liquide et la création d'une filière produit long d'une capacité de 540.000 tonnes suite à la construction d'une aciérie à billettes.

Des 1966, la SNS a participé à la création des centres de formation d'ouvriers techniciens et argent de maîtrises.

- 1- Centre de formation ouvrière (4RSS).
- 2- Centre de formation professionnelle des adultes de (lauriers roses).
- 3- Centre entreprise de formation de techniciens et agent de maîtrise (CITAM).
- 4- L'ensemble de ces activités est regroupé en 1978 dans un seul centre (CEFOS) créée à 2 Km de l'usine dans la localité de SIDI AMAR, pour la formation de 1200 ouvriers professionnels contre maître et techniciens.

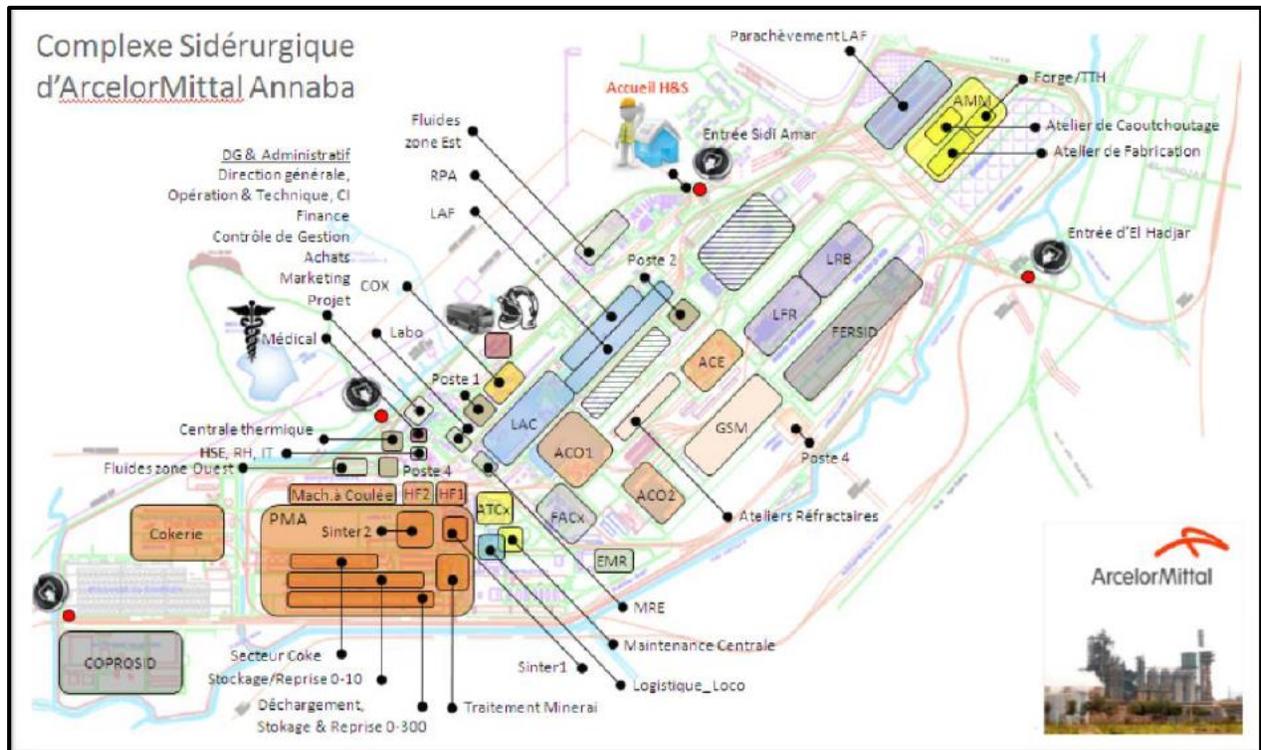


Figure. III. 1 : Vue générale du complexe El-Hadjar

Dans le souci de répondre aux besoins accrus en pièce de rechange, l'entreprise nationale de sidérurgie s'est dotée en 1993 de nouvelles capacités de production, les ateliers maghrébins de mécanique (A.M.M) constituant une filiale de SIDER.

Les A.M.M ont pour vocation principal de répondre aux besoins de l'industrie sidérurgique et mécanique aussi bien en : pièces de rechanges consommables, ensembles mécaniques neufs, mais aussi rénovation et réparations.

Leurs capacités tant matérielles qu'humaines, les mettent en position de satisfaire les besoins aussi bien sur le marché local qu'à l'export, la pétrochimie, les industries de transformation et autres.

Les ateliers maghrébins de mécanique (A.M.M) sont situés dans l'enceinte du complexe sidérurgique IMITAL SIDER. Ils sont reliés au réseau routier, ferroviaire national et maghrébin ainsi qu'au port commercial d'ANNABA.

Leurs atelier s'étalent sur un terrain d'une superficie de 36 hectares et se composent d'un ensemble d'ateliers et de bâtiments auxiliaires :

- Un atelier mécanique ou usinage de $16128m^2$
- Un atelier de forge de $5256 m^2$
- Un parc à fer central de $2160 m^2$
- Un atelier de caoutchoutage $3200 m^2$
- Des bâtiments auxiliaires (Bâtiment Administratif, Techno Commercial, etc....)

Devant constituer un ensemble industriel intègre, les A.M.M seront dotés d'un atelier de fonderie actuellement en projet pour l'élaboration de pièces moulées en fonte, acier et métaux non ferreux.

Le potentiel humain des A.M.M est composé d'ingénieurs, de techniciens et d'opérateurs hautement qualifiés ayant accumulés plusieurs années d'expérience dans les différentes spécialités de la mécanique (études, méthodes de programmation, forage, traitement thermique, tournage, fraisage, alésage, etc....).

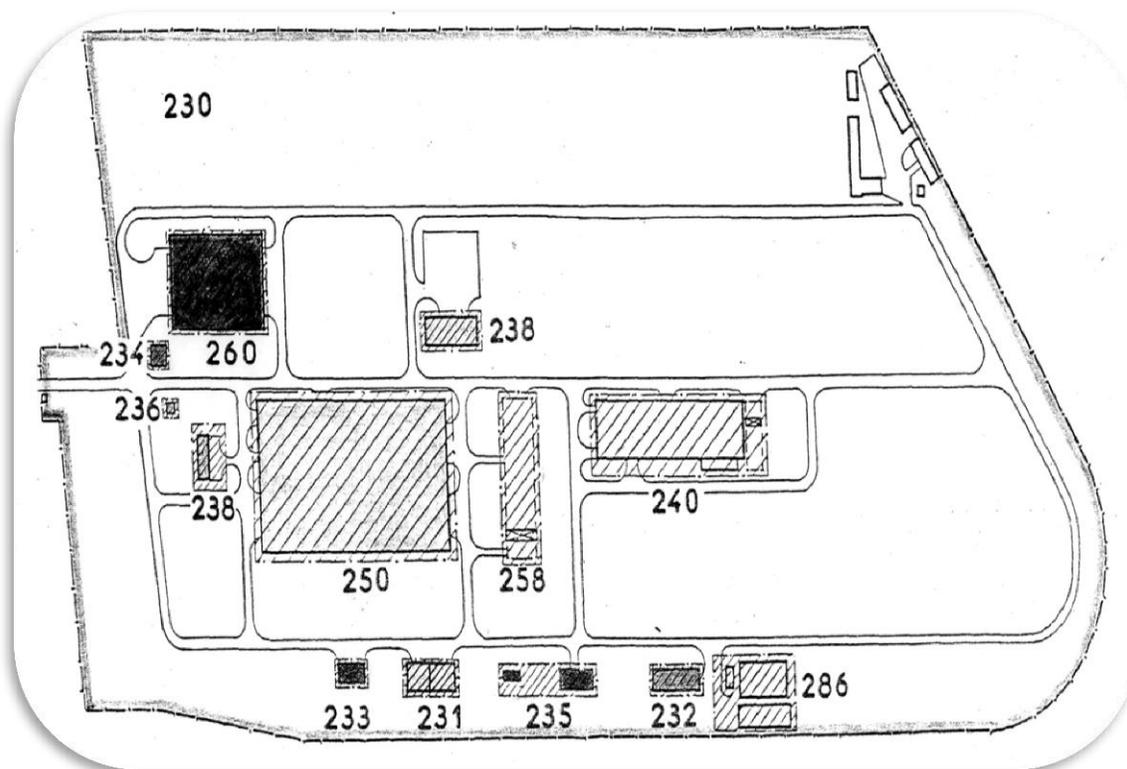


Figure. III. 2 : Découpage zonal des AMM

230 - AMM-service communs.

231- Sous-traitance de distribution électrique.

232 - Station des compresseurs

234 - Station de pompage du condensat.

233 - Chaufferie.

236 - Station de pompage des eaux usées.

238 - Services administratifs.

240 - AMM-Forage.

250 - AMM-Usinage.

258 - AMM- parc à fer central.

286 - Magasins centraux.

260 - AMM-Caoutchoutage.

Données de départ

La pièce est l'arbre menant d'un réducteur (vis sans fin).

Les données représentent des éléments de base qui nous permettent de faire, en essayant d'établir l'analyse de fabrication.

1. Dessin de l'ensemble.
2. Dessin de définition.
3. Matière de la pièce : Nuance : XC 48.
4. Volume de production : 500 pièces/an.
5. Poids finis de la pièce : 3 Kg.

3.1 Analyse de l'ensemble

3.1.1 Chaîne cinématique

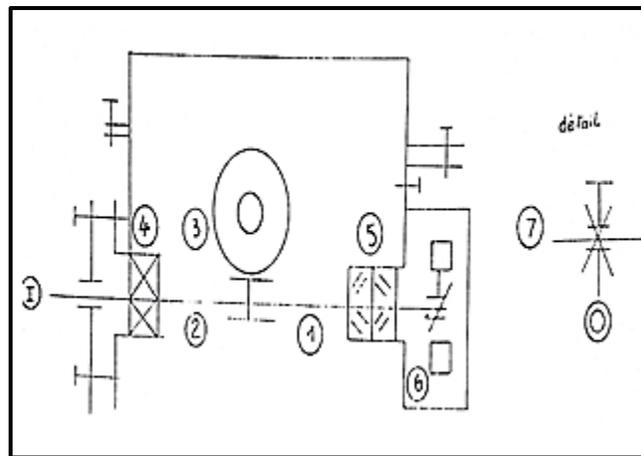


Figure. III. 3 : Chaîne cinématique d'un réducteur à vis sans fin

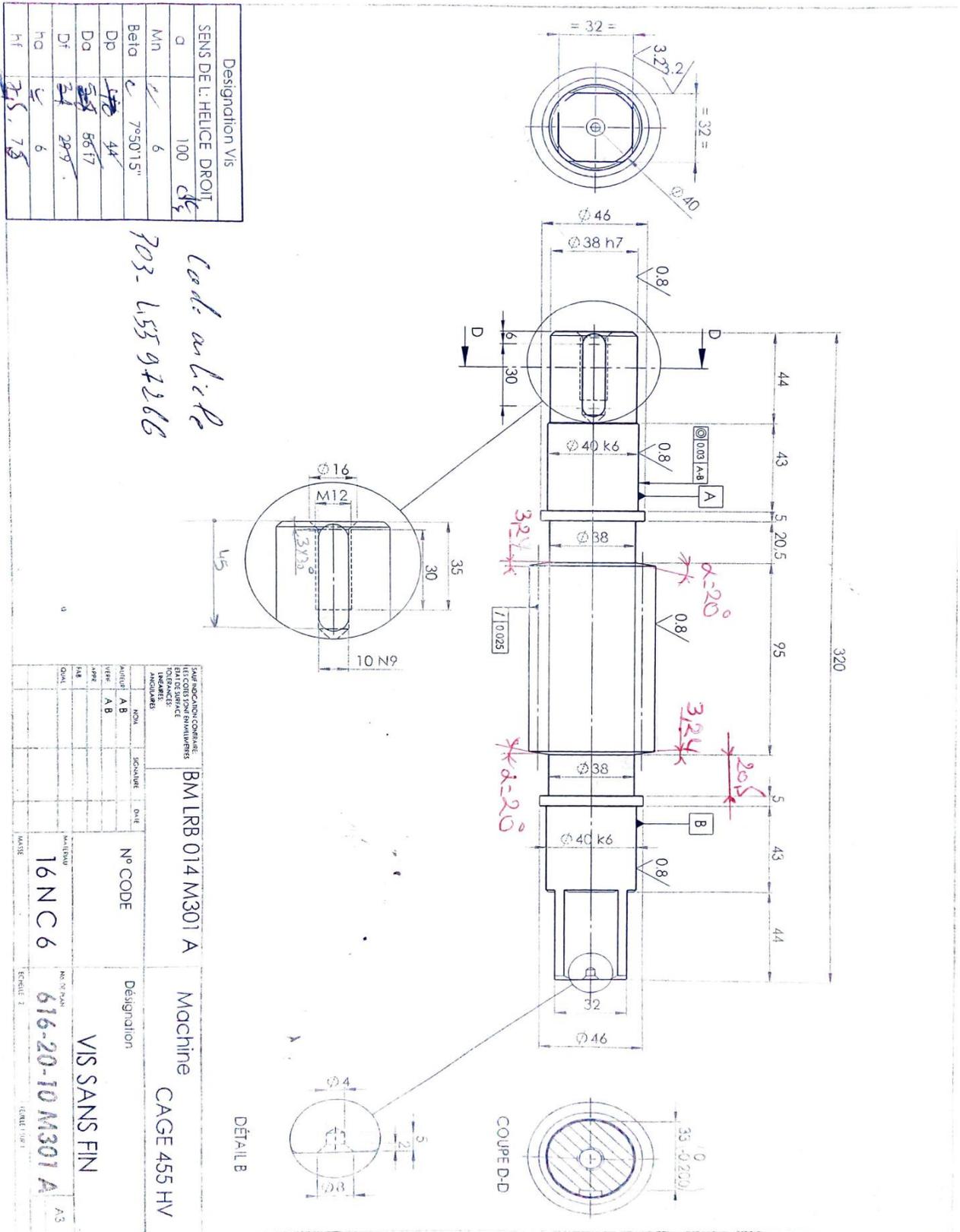
3.1.2 Fonctionnement :

Le fonctionnement de ce réducteur se fait comme suit :

Nous avons un moteur dans la pièce I qui fait entraîner l'arbre 1 en rotation par l'intermédiaire d'une clavette, l'arbre 1 tourne facilement par l'intermédiaire des deux blocs de roulement (4) et (5), le mouvement de rotation de la zone (3) est effectué à l'aide de la vis sans fin (2) qui est accouplée sur l'arbre (1).

La roue fait tourner l'arbre de sortie (7) à l'aide d'une liaison complète. Tout le système baigne dans l'huile, que le malaxeur permet son mouvement et son refroidissement(6).

3.2 Dessin de définition de la vis sans fin au niveau des AMM



3.2.1 Rôle de la pièce dans l'ensemble

Le rôle de la pièce est transmettre le mouvement de rotation du moteur à l'arbre de sortie.

3.3.1 Choix de matériau de la vis sans fin

Le choix de la matière d'œuvre d'une vis sans fin doit être fait de manière à rendre possible le taillage et l'achèvement de ses dents avec la précision et l'état de surface imposés, et à assurer une résistance à la flexion suffisante pour tenir aux charges dynamiques alternatives, une résistance suffisante de la couche superficielle des dents et une tenue à l'usure élevée.

Les matériaux usuels dans la fabrication des engrenages sont l'acier, la fonte et les matières plastiques. La tendance à réduire l'encombrement, à accroître les puissances transmises par un groupe et à augmenter les vitesses a déterminé une large application des vis sans fin en acier. La grande variété des nuances des aciers et la possibilité d'obtenir par traitement thermique et thermo-chimique des propriétés variées permettent de réaliser la combinaison la plus favorable des propriétés imposées.

L'acier au carbone est le plus courant pour les charges moyennes ; sa teneur en carbone varie de 0.38 à 0.42%.

Le tableau (III. 1) donne un aperçu sur les matériaux les plus fréquemment utilisés [19].

Vis sans fin		
A	Acier de construction à usage général	A 60, A 70
	Acier d'amélioration	XC 48, XC 65, 34 CD 4, 42 CD 4,
B	Acier de cémentation	XC 18, 12 C 3

Tableau. III. 1 : Choix des matériaux pour la vis sans fin [2].

3.3.2 Matériau d'étude C 45 E (XC 48)

Le matériau étudié est un acier à Haute Résistance XC 48 appartient à la famille des aciers non allié pouvant subir des traitements thermiques.

Autres appellations pour cette acier : (**Européennes (NF EN/EN)** : C 45 E ; **AISI** : 1045 ; **DIN** : 17200), il est utilisé pour la fabrication des engrenages, les vilebrequins, les essieux ainsi que les bielles et tous les pièces résistantes à l'usure.

Leurs caractéristiques mécaniques facilitent le formage sur presses et sur lignes automatisées. Ils se caractérisent de plus par une bonne tenue à la fatigue et à la résistance au choc. Grâce à leur limite élastique élevée (R_e), ils sont particulièrement adaptés lorsqu'une réduction de poids et recherchée, c'est pourquoi ces aciers s'utilisent fréquemment en remplacement des aciers de construction.

3.3.3 Compositions chimiques et caractéristique mécanique

Composition chimique de l'acier XC48 est représentée dans le tableau ci-dessous :

Eléments	C	Mn	Si	P	S
%	0.45-0.50	0.50-0.80	0.15-0.40	Max 0.035	Max 0.035

Tableau. III. 2 : Composition chimique de l'acier XC 48.

✚ Avec :

- C : Carbone
- S: Soufre.
- Mn: Manganèse.
- P: Phosphore.
- Si: Silicium.

Les caractéristiques mécaniques réalisables selon la norme EN10083-1 sont:

Diamètre (mm)	A l'état normalisé	A l'état trempé
$d < 16$	$R_m > 620 \text{ Mpa}$ $R_{p0,2} > 340 \text{ Mpa}$	$> 700 \text{ Mpa}$ $R_{p0,2} > 490 \text{ Mpa}$ $K_{cu} \text{ min} > 255 \text{ j/cm}^2$
$16 < d < 40$	$R_m > 580 \text{ Mpa}$ $R_{p0,2} > 305 \text{ Mpa}$	$> 650 \text{ Mpa}$ $R_{p0,2} > 430 \text{ Mpa}$ $K_{cu} \text{ min} > 255 \text{ j/cm}^2$
$40 < d < 100$	$R_m > 580 \text{ Mpa}$ $R_{p0,2} > 305 \text{ Mpa}$	$> 700 \text{ Mpa}$ $R_{p0,2} > 490 \text{ Mpa}$ $K_{cu} \text{ min} > 255 \text{ j/cm}^2$
$100 < d < 160$	$R_m > 560 \text{ Mpa}$ $R_{p0,2} > 375 \text{ Mpa}$	

Tableau. III. 3 : Caractéristiques mécaniques après traitements thermiques de l'acier XC48 selon sa section [20].

Avec :

R_m : Résistance à la rupture.

R_p : Limite conventionnelle ou limite élastique

Diamètre	A%
$d \leq 16$	≥ 14
$16 < d \leq 100$	≥ 16
$100 < d \leq 250$	≥ 16

Tableau. III. 4 : Le pourcentage d'allongement par rapport au diamètre [2].

3.4 Gamme d'usinage de la V.S.F au niveau des AMM

Confection d'une vis sans fin au niveau de les AMM									
N° PHASE	Désignation des opérations	Groupe machine-outil	Outil	Instrument de contrôle	Accessoire de montage	Conditions de coupe			Temps estimé
						V _c	N	A	
10	Pièce forgé			Laboratoire d'analyse structurelle					
20	Débitage - Couper rond : Ø70 * L=340 - Matière XC 48	Scie alternative	EBS360	Pied à coulisse					30'
30	Dressage ; Centrage - Dresser les (02) faces L= 320	Dresseuse centreuse SABO basis	Outil à dresser	Pied à coulisse	Montage mixte				01H
31	- Réaliser les (02) trous de centre Dresseuse centreuse ø6.3 * L=14	160	Foret à centrer ø6.3	Jauge de profonde					

40	Tournage (Montage mixte) - Charioter $\phi 56 * L= 320$	Tour parallèle 16D20	Outil à charioter	Pied à coulisse	Mandrin 3 mors	85	480	0.5	04H
41	- Charioter : $\phi 46 * L= 112.5$		Outil à charioter			85	580	0.5	
42	- Charioter $\phi 40.5 * L= 87$		Outil à charioter			85	680	0.5	
44	- Charioter $\phi 40 * L= 44$		Outil à charioter			85	680	0.5	
45	- À $L= 92$; Réaliser la gorge $\phi 38 *$ $b= 20.5$		Outil de Gorge			85	720	0.5	
46	- Exécuter chanfrein de $9 * 20^\circ$ au $\phi 56$		Outil à chanfreiner						
Tourner la pièce									
50	- Charioter $\phi 46 * L= 112.5$		Outil à charioter			85	580	0.5	
51	- Charioter $\phi 40.5 * L= 87$					85	680	0.5	

52	- Exécuter la gorge de dégagement de la meule $\phi 38 * b=2$		Outil de Gorge						
53	- Charioter $\phi 38.5 * L=44$		Outil à charioter			85	720	0.5	
54	- Exécuter chanfrein de $2 * 45^\circ$ au $\phi 38.5$		Outil à chanfreiner						
55	- Exécuter un gorge de dégagement de la meule $\phi 38 * b= 2$		Outil de Gorge						
56	- À $L= 92$; Réaliser la gorge $\phi 38 * b= 20.5$					85	720	0.5	
57	- Exécuter chanfrein de $9 * 20^\circ$ au $\phi 56$		Outil à chanfreiner						
58	- Percer (01) trou de centre $\phi 10.2 * L=45$		Foret à centrer $\phi 10$						
59	Chanfrein de $2.9 * 30^\circ$		Outil à chanfreiner						

60	<p>Tournage CNC</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réaliser le filetage trapézoïdal de la vis sans fin - Module : $mn= 6$ - Nombre de dent : $Z= 1$ [01 seul filet] - Sens de l'hélice : Droite - Angle d'inclinaison : $\beta= 7^{\circ}.50'.15'$ - Diamètre extérieur : $Da= 56$ - Diamètre primitif : $Dp= 44$ -Diamètre intérieur : $Di= 29$ - Pas de l'hélice : Pas réel= 18.84 - Pas axial : $Px= 19.017$ 	Tour parallèle à CNC 16k20	Outil à fileter trapèze	Pied à coulisse	Mandrin 3 mors				03H
70	<p>Fraisage</p> <p>Brider la pièce</p> <ul style="list-style-type: none"> - de bout de la pièce : réaliser (04) méplat ; opposées 2 à 2 ; coté sur plat, $a=32$; $L= 44$ 	Fraiseuse universelle HURON MU6	Fraise plaquette en carbure $\phi 12.5$	Pied à coulisse	Bride + vérin				03H

71	- À L= 6 sur $\phi 38.5$; Réaliser la rainure de clavette ; b= $10N9\left(-0.036\right)^0$, L= 30 (02) rayons ; R= 5 Profondeur= 5.25 [avant réactif]		Fraise en acier rapide $\phi 10$						
80	Taraudage Tarauder le trou M12 ; L=35	Taraudage manuelle	Taraud M12 -Ebauche - Semi-finition - finition		Mandrin 3mors				30'
90	Traitement thermique Traitement superficielle 50HRC	Machine à traitement superficiel							
100	Rectification - Rectifier $\phi 40k6\left(+0.018\right)^0_{+0.002}$, L=43	Rectifieuse cylindrique universelle 3Y133	Meule	Palmer					02H
101	-Rectifier $\phi 38h6\left(-0.016\right)^0$, L=44								

Contribution d'amélioration

3.5 Type de production

Introduction

Le type de production est déterminé en fonction de volume du programme annuel et des caractères du produit à fabriquer.

1) Production en masse :

Les produits sont fabriqués sous discontinuité pendant plusieurs années, l'indice caractéristique de ce type de production est exécution d'une phase fixée sur la plupart des portes de travail.

Dans ce type de production on utilise des MO automatique simple (tour mono broche, multibroche), des MO pour réaliser une famille de pièces et comportant plusieurs tels d'usinage autonome qui permettent la fabrication de plusieurs pièces plus de 10 000 pièces.

2) Production en série :

Elle subdivise trois sous-groupes :

❖ Petite série :

C'est un travail de 10 à 100 pièce dans ce type on recherche les solutions et les moyennes les plus économique donc il faut penser à minimiser les temps manuels, les temps morts par moyen simple de mise en position, des outils, système de blocage...

❖ Moyenne série :

On travaille pour cela une analyse de fabrication élaborée le plus possible avec contrat de chaque phase détaillée.

❖ Grande série :

De 1000 à 10000 pièces, on établit, pour cela une analyse de fabrication détaillée avec contrat de chaque phase plus le problème de la réduction du prix de revient diminue.

3) Production unitaire :

On exécute les produits de larges nomenclatures en petite quantité qui ne se répètent pas complètement ou bien dans un temps défini.

Dans la production unitaire on établit une analyse de fabrication simple et on calcul le travail T_c .

Le type de production est de la moyenne série.

3.6 Traitement thermique

3.6.1 Recuit d'affinage :

Cycle de recuit :

1. Chauffage à une température T° d'austénitisation.
2. Maintien à cette température T° pour une transformation complète.
3. Refroidissement lent dans le four.

Le but de ce traitement thermique est d'éliminer les contraintes internes (issues du forgeage), d'améliorer l'usinabilité et stabiliser la structure de la pièce.

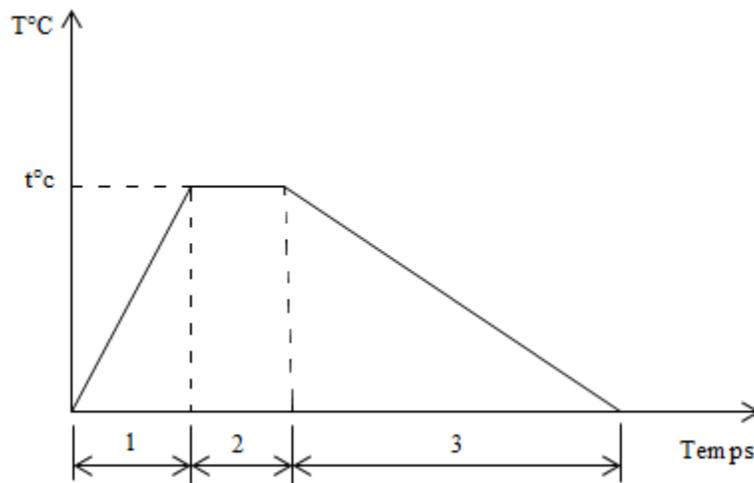


Figure. III. 4 : Cycle de recuit

3.6.2 Traitement thermique superficielle (trempe superficielle)

Après avoir terminé l'usinage de la pièce et avant la rectification ; on pratique une trempe superficielle afin d'augmenter la dureté de la périphérie sans modifier celle du centre de la pièce. Car la pièce doit présenter une grande résistance à l'usure en surface tout en gardant sa grande résilience au cœur.

❖ Définition de la trempe superficielle :

C'est un traitement thermique réalisé en surface. La trempe est réalisée localement sur une mince couche superficielle maximum 3 mm toute en laissant intacte la couche sous-jacente.

❖ **Les avantages de la trempe superficielle**

- Augmentation de la dureté de la couche superficielle.
- Amélioration de la résistance de la couche superficielle..
- Amélioration de la limite de l'usure de la couche superficielle.

3.7 Mode d'obtention de l'ébauche

Le choix d'une ébauche pour la fabrication d'une pièce prévoit l'analyse de forme, des dimensions et du poids.

- Du nombre (volume de production).
- De la matière imposée et les exigences techniques que la pièce doit satisfaire.
- Du prix de revient d'obtention de l'ébauche.

Pour notre cas, on a choisi l'estampage comme mode d'obtention de l'ébauche.

L'estampage confère à la pièce une grande rigidité du à la continuité des fibres.

3.8 Calculs des régimes de coupe de la vis sans fin

Matière usinée : XC 48 ; acier non allié.

❖ **Fraisage des bouts en ébauche**

- Choix de la machine-outil : Machine fraiseuse-centreuse.
- Choix de l'outil : fraise à surfacer en bout Ø63 en carbure métallique.
- Choix de la profondeur de passe :

En surfaçage :

$$ap \text{ maxi} = 0.2 \times \varnothing \text{ fraise}$$

Donc :

$$ap \text{ maxi} = 0.2 \times \varnothing \text{ fraise}$$

$$ap \text{ maxi} = 0.2 \times 63$$

$$ap \text{ maxi} = 12.5 \text{ mm}$$

- Choix de l'avance : (en mm/dent)

$$fz \text{ ébauche ARS} = 0.15 \times K$$

$$fz \text{ ébauche carbure} = 0.25 \times K$$

- K=0.8 pour des opérations de surfaçage.
- K=0.5 pour des opérations de rainurage, contournage, sciage.
- K=0.3 pour des opérations en plongées verticale (Ex : perçage avec une fraise).

$$\mathbf{fz\ finition\ ARS = fz\ ébauche \times 0.5}$$

$$\mathbf{fz\ finition\ carbure = fz\ ébauche \times 0.4}$$

Dans notre cas :

$$fz\ \text{ébauche}\ CM = 0.25 \times 0.8$$

$$\mathbf{fz\ \text{ébauche}\ CM = 0.2\ mm/dent}$$

- Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau suivant : $V_c = 120\text{m/min}$.

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Fraisage				Fraisage filetage
		Acier Rapide		Carbure		Carbure
		0.03 à 0.1	0.1 à 0.2	0.05 à 0.2	0.2 à 0.3	f = pas du filet
P	Acier Non Allié	50	40	140	120	150
	Acier Faiblement Allié	30	25	100	80	130
	Acier Fortement Allié	20	15	80	70	100
	Acier Moulé Faiblement Allié	25	20	90	80	120
M	Acier inoxydable	20	15	100	90	150
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	35	30	100	90	120
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	30	25	80	70	100
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	40	35	100	90	120
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	250	200	500	400	300
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	120	80	300	200	250
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	80	40	120	80	100
Vitesse de coupe V_c en m/min						

Tableau. III...5 : Valeurs indicatives moyennes des vitesses de coupe pour les opérations de fraisage [21].

- Calcul de nombre de tour **N** :

$$N = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 120}{3,14 \times 63} = 606.30\ \text{tr/min}$$

Nombre de tour corrigé : **N = 600 tr/min**

- Calcul de la vitesse de coupe corrigé :

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3,14 \times 63 \times 600}{1000} = 118.7\ \text{m/min}$$

❖ **Centrage**

- Choix de l'outil : foret à centrer $\varnothing 6.3$ en ARS.

- Choix de l'avance :

- Foret hélicoïdal :

$$f \text{ perçage} = 0.01 \times \varnothing \text{ foret}$$

$$f \text{ perçage} = 0.01 \times 6.3$$

$$f \text{ perçage} = 0.063 \text{ mm/tr}$$

- Choix de la profondeur de passe : (en mm)

Profondeur de perçage entre débouillage ou brise copeaux :

- Diamètre foret <14 mm :

$$ap = \varnothing \text{ foret}$$

- Diamètre foret >14 mm :

$$ap = 0.5 \times \varnothing \text{ foret}$$

Dans notre cas $\varnothing \text{ foret} = 6.3 < 14 \text{ mm}$

Donc :

$$ap = \varnothing \text{ foret} = 6.3 \text{ mm}$$

- Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau suivant : $V_c = 30 \text{ m/min.}$

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Perçage		
		Acier Rapide	Acier Rapide Revêtu	Carbure
P	Acier Non Allié	30	45	70
	Acier Faiblement Allié	20	40	60
	Acier Fortement Allié	15	35	40
	Acier Moulé Faiblement Allié	10	30	70
M	Acier inoxydable	12	20	40
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	25	50	80
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	15	30	80
	Fonte Sphéroïdales (EN-GJS...)	25	50	80
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	60	90	100
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	60	90	100
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	40	60	100
		Vitesse de coupe Vc en m/min		

Tableau. III. 6 : Valeurs indicatives moyennes de la vitesse de coupe dans les opérations perçage

-Calcul du nombre de tours **N** :

$$N = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 30}{3,14 \times 6.3} = 1515.76 \text{ tr/mn}$$

- Nombre de tours corrigé **N = 1500 tr/mn**

- Vitesse de coupe corrigée :

$$V_C = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3,14 \times 6.3 \times 1500}{1000} = 29.67 \text{ m/min}$$

❖ **Chariotage ébauche des différents diamètres**

- Choix de la machine : Tour à copie

- Choix de l'outil : Outil à chariotage à plaquette rapportée en carbure métallique.

- Choix de la profondeur de passe : $a_p = 1.5 \text{ mm}$

- Choix de l'avance d'après le tableau : $a = 0.3 \text{ tr/mm}$

- Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau suivant : **Vc = 200 m/mn**

Nuance ISO	Matériaux à usiner Avance f en mm/tr	Tournage d'Extérieur				Tournage Filetage	
		Acier Rapide		Carbure		Acier Rapide	Carbure
		0.05 à 0.1	0.1 à 0.2	0.05 à 0.2	0.2 à 0.3	f = pas du filet	
P	Acier Non Allié	50	40	250	200	35	120
	Acier Faiblement Allié	30	20	150	130	20	80
	Acier Fortement Allié	20	15	120	100	15	60
	Acier Moulé Faiblement Allié	30	20	150	120	20	75
M	Acier inoxydable	25	20	150	130	20	90
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	40	30	80	60	20	30
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	30	25	100	80	15	40
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	55	45	90	70	25	40
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	250	200	550	400	150	230
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	120	80	250	200	90	110
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	80	40	120	100	45	60
Vitesse de coupe Vc en m/min							

Tableau. III. 7 : Valeurs indicatives moyennes de la vitesse de coupe pour les opérations de tournage

- Calcul du nombre de tours **N ébauche** :

Moyen des diamètres de la pièce en ébauche :

$$D_{\text{moy}} = (49+59)/2 = 54 \text{ mm}$$

$$N_{\text{ébauche}} = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 200}{3,14 \times 54} = 1178.92 \text{ tr/mn}$$

- Nombre de tours corrigé : **N ébauche = 1200 tr/mn**

- Vitesse de coupe corrigée :

$$V_c \text{ ébauche} = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3,14 \times 54 \times 1200}{1000} = 203.472 \text{ m/min}$$

- Calcul du nombre de tours **N finition** :

Diamètre moyenne de la pièce fini :

$$D_{\text{moy}} = (38+40+46+56)/4 = 45 \text{ mm}$$

$$N \text{ finition} = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 250}{3,14 \times 45} = 1768.39 \text{ tr/mn}$$

- Nombre de tours corrigé :

$$N \text{ finition} = 1800 \text{ tr/mn}$$

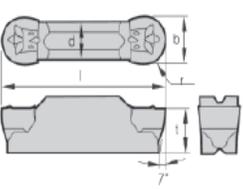
- Vitesse de coupe corrigée :

$$V_c \text{ finition} = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3,14 \times 45 \times 1800}{1000} = 254.34 \text{ m/min}$$

❖ Réalisation des gorges

- Choix de la machine : Tour à copie

- Choix de l'outil : Outil de gorge à plaquette carbure de gorge multifonction MRMN [22].

<i>MRMN gorge multi-fonction</i>	NUANCES					DIMENSIONS (mm)					Porte-outils
	RS	RS6	RX	RX3	K	b	r	l	d	t	
	●					2	1	16	1,5	3,5	KMGEH KMGIV
	●					3	1,5	21	2,35	4,8	
	●					4	2	21	3,3	4,8	

❖ Pour les gorges de L = 3mm et L = 5mm :

- Choix de la profondeur de passe :

$$a_p \text{ ébauche} = 4 \times R_\epsilon \text{ (mm)}$$

$$a_p \text{ ébauche} = 4 \times 1 = 4 \text{ mm}$$

$$a_p \text{ finition} = 0.7 \times R_\epsilon \text{ (mm)}$$

$$a_p \text{ finition} = 0.7 \times 1 = 0.7 \text{ mm}$$

- Choix de l'avance :

$$f \text{ ébauche} = 0.4 \times R_\epsilon$$

$$f \text{ ébauche} = 0.4 \times 1 = 0.4 \text{ mm/tr}$$

$$f \text{ Finition} = 0.2 \times R\epsilon$$

$$f \text{ finition} = 0.2 \times 1 = 0.2 \text{ mm/tr}$$

❖ Pour les deux gorges de $L = 20.5\text{mm}$:

- Choix de la profondeur de passe :

$$ap \text{ ébauche} = 4 \times R\epsilon \text{ (mm)}$$

Donc :

$$ap \text{ ébauche} = 4 \times 2 = 8 \text{ mm}$$

$$ap \text{ finition} = 0.7 \times R\epsilon \text{ (mm)}$$

Donc :

$$ap \text{ finition} = 0.7 \times 2 = 1.4 \text{ mm}$$

- Choix de l'avance :

$$f \text{ ébauche} = 0.4 \times R\epsilon$$

Donc :

$$f \text{ ébauche} = 0.4 \times 2 = 0.8 \text{ mm/tr}$$

$$f \text{ Finition} = 0.2 \times R\epsilon$$

Donc :

$$f \text{ finition} = 0.2 \times 2 = 0.4 \text{ mm/tr}$$

- Calcul de nombre de tours $N \text{ ébauche}$:

- Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau de tournage :

❖ Pour des opérations de tournage intérieur et de tronçonnage il faut diviser les valeurs du tableau par 2.

Donc :

$$Vc \text{ ébauche}/2 = 100 \text{ m/min}$$

$$N \text{ ébauche} = \frac{1000 \times vc}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 100}{3,14 \times 49} = 649.61 \text{ tr/mn}$$

- Nombre de tours corrigé **N ébauche = 650 tr/mn**

- Vitesse de coupe corrigée :

$$Vc \text{ ébauche} = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3,14 \times 49 \times 650}{1000} = 100.009 \text{ m/min}$$

- Calcul de nombre de tours **N finition :**

- Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau : **Vc finition/2 = 125 m/min**

Le moyen des diamètres gorgés :

$$D \text{ moy} = (38+29)/2 = 33.5 \text{ mm}$$

$$N \text{ finition} = \frac{1000 \times vc}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 125}{3,14 \times 33.5} = 1187.72 \text{ tr/mn}$$

- Nombre de tours corrigé **N finition = 1200 tr/mn**

- Vitesse de coupe corrigée :

$$Vc \text{ finition} = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3,14 \times 33.5 \times 1200}{1000} = 126.228 \text{ m/min}$$

❖ **Perçage du trou**

- Choix de la machine : tour à copier

- Choix de l'outil : foret de Ø 10 en ARS.

- Choix de l'avance :

- Foret hélicoïdal :

$$f \text{ perçage} = 0.01 \times \text{Ø foret}$$

$$f \text{ perçage} = 0.01 \times 10$$

$$f \text{ perçage} = 0.1 \text{ mm/tr}$$

- Choix de la profondeur de passe :

Profondeur de perçage : (en mm)

Profondeur de perçage entre déburrage ou brise copeaux :

- Diamètre foret < 14 mm :

$$ap = 0.5 \times \text{Ø foret}$$

$$\text{Ø foret} = 10 < 14 \text{ mm}$$

Donc :

$ap = 0.5 \times \text{Ø foret} = 5 \text{ mm}$

- Choix de la vitesse de coupe d'après (**Tableau. III. 7**) : $V_c = 30 \text{ m/min.}$

-Calcul du nombre de tours **N** :

$$N = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 30}{3,14 \times 10} = 955.41 \text{ tr/min}$$

- Nombre de tours corrigé **N = 1000 tr/min**

- Vitesse de coupe corrigée :

$$V_C = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3,14 \times 10 \times 1000}{1000} = 31.4 \text{ m/min}$$

❖ **Taraudage du trou**

- Choix de la machine : tour à copier

- Choix de l'outil : Taraud M12 en ARS (ébauche, semi-finition, finition).

- Choix de l'avance :

f taraudage = pas du filet

Ci-dessous sont indiqués les pas pour les diamètres des vis les plus courantes.

Ø vis	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
Pas	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5

f taraudage = 1.75 mm/tr

- Choix de la vitesse de coupe d'après (**Tableau. III. 9**) : $V_c = 13 \text{ m/min.}$

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Taraudage
		Acier Rapide
P	Acier Non Allié	13
	Acier Faiblement Allié	10
	Acier Fortement Allié	5
	Acier Moulé Faiblement Allié	7
M	Acier inoxydable	5
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	10
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	8
	Fonte Sphéroidales (EN-GJS...)	12
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	18
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	13
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	10
		Vitesse de coupe Vc en m/min

Tableau. III. 8 : Valeurs indicatives moyennes de la vitesse de coupe pour les opérations de taraudage

- Calcul du nombre de tours **N** :

$$N = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 30}{3,14 \times 10} = 955.41 \text{ tr/min}$$

- Nombre de tours corrigé **N = 1000 tr/min**

- Vitesse de coupe corrigée :

$$VC = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3,14 \times 10 \times 1000}{1000} = 31.4 \text{ m/min}$$

❖ **Taillage de filetage trapézoïdal de la vis sans fin**

- Choix de la machine : Tailleuse

- Choix de l'outil : Fraise mère Ø fraise = 80 mm, nombre de filet : Z = 1, angle de pression : $\alpha = 20^\circ$

- Choix de la profondeur de passe :

$$ap = 2.2 \times mn = 2.2 \times 6$$

$$\mathbf{ap = 13.2 \text{ mm}}$$

- Choix de l'avance :

$$\mathbf{f = 1.5 \text{ mm/tr pour l'ébauche.}}$$

$$\mathbf{f = 0.8 \text{ mm/tr pour la finition.}}$$

- Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau suivant : **Vc ébauche = 100 m/min**

	Matière	Dureté Brinell HB	Vc [m/min]	Avance f [mm/dent]
			VBX	
Acier non allié	Carbone faible (C=0.1-0.25%)	125	100-210	0.20-0.32
	Carbone moyen (C=0.25-0.55%)	150	100-180	0.20-0.32
	Carbone haut (C=0.55-0.85%)	170	100-170	0.15-0.23
Acier faiblement allié (constituants d'alliages ≤5%)	Non traité	180	60-90	0.17-0.28
	Traité	275	80-150	0.15-0.28
	Traité	350	70-140	0.15-0.25
Acier hautement allié (constituants d'alliages >5%)	Revenu / Malléable	200	60-130	0.15-0.22
	Traité	325	70-110	0.13-0.21

Tableau. III. 9 : Vitesses de coupe et des avances pour le taillage

- Calcul de nombre de tours **N ébauche** :

$$\mathbf{N \acute{e}bauche} = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 100}{3,14 \times 80} = 397.88 \text{ tr/mn}$$

- Nombre de tours corrigé **N ébauche** = **400 tr/mn**

- Vitesse de coupe corrigée :

$$V_c \text{ ébauche} = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3,14 \times 80 \times 400}{1000} = 100.48 \text{ m/min}$$

- Calcul de nombre de tours **N finition** :

- Choix de la vitesse de coupe d'après (**Tableau. III. 10**) : **Vc finition** = **150 m/min**

$$\mathbf{N \acute{f}inition} = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 150}{3,14 \times 80} = 596.83 \text{ tr/mn}$$

- Nombre de tours corrigé **N finition** = **600 tr/mn**

- Vitesse de coupe corrigée :

$$V_c \text{ finition} = \frac{\pi \times D \times N}{1000} = \frac{3,14 \times 80 \times 600}{1000} = 150.72 \text{ m/min}$$

❖ **Fraisage de la rainure de clavette :**

- Choix de la machine : Fraiseuse universelle

- Choix de l'outil : Fraise deux tailles Ø fraise = 10 mm en ARS.

- Choix de la profondeur de passe :

En Rainurage :

- Ebauche (denture ravageuse)

$$\mathbf{ap \text{ maxi} = 0.6 \times \text{Ø fraise}}$$

Donc :

$$\mathbf{ap \text{ maxi} = 0.6 \times 10 = 6 \text{ mm}}$$

- Finition (denture lisse)

$$\mathbf{ap \text{ maxi} = 0.3 \times \text{Ø fraise}}$$

Donc :

$$\mathbf{ap \text{ maxi} = 0.3 \times 10 = 3 \text{ mm}}$$

- Choix de l'avance :

$$\mathbf{fz \acute{e}bauche \text{ ARS} = 0.15 \times K}$$

$K=0.5$ pour des opérations de rainurage, contournage, sciage.

Donc :

$$fz \text{ ébauche ARS} = 0.15 \times 0.5$$

$$fz \text{ ébauche ARS} = 0.075 \text{ mm/dent/tr}$$

$$fz \text{ finition ARS} = fz \text{ ébauche} \times 0.5$$

Donc :

$$fz \text{ finition ARS} = 0.075 \times 0.5$$

$$fz \text{ finition ARS} = 0.0375 \text{ mm/dent/tr}$$

- Calcul de nombre de tours **N ébauche** :

- Choix de la vitesse de coupe d'après (Tableau. III. 6) : **Vc ébauche = 40 m/min**

$$N \text{ ébauche} = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 40}{3,14 \times 10} = 1273.24 \text{ tr/mn}$$

- Nombre de tours corrigé **N ébauche = 1200 tr/mn**

- Calcul de nombre de tours **N finition** :

- Choix de la vitesse de coupe d'après le tableau : **Vc finition = 50 m/min**

$$N \text{ finition} = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 50}{3,14 \times 10} = 1591.55 \text{ tr/mn}$$

- Nombre de tours corrigé **N finition = 1600 tr/mn**

❖ Fraisage surfaçage de (04) méplat carré opposé

- Choix de la machine : Fraiseuse universelle.

- Choix de l'outil : Fraise à surfacer \emptyset fraise = 125 mm en carbure métallique.

- Choix de la profondeur de passe :

En surfaçage :

$$ap \text{ maxi} = 0.1 \times \emptyset \text{ fraise}$$

Donc :

$$ap \text{ maxi} = 0.1 \times 125$$

$$ap \text{ maxi} = 12.5 \text{ mm}$$

- Choix de l'avance :

$$fz \text{ ébauche CARBURE} = 0.25 \times K$$

K=0.8 pour des opérations de surfaçage

Donc :

$$fz \text{ ébauche CARBURE} = 0.25 \times 0.8$$

$$fz \text{ ébauche CARBURE} = \mathbf{0.2 \text{ mm/dent/tr}}$$

$$fz \text{ finition CARBURE} = fz \text{ ébauche} \times 0.4$$

Donc :

$$fz \text{ finition CARBURE} = 0.2 \times 0.4$$

$$fz \text{ finition ARS} = \mathbf{0.08 \text{ mm/dent/tr}}$$

- Calcul de nombre de tours **N ébauche** :

- Choix de la vitesse de coupe d'après (**Tableau. III. 6**) : **Vc ébauche = 120 m/min**

$$N \text{ ébauche} = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 120}{3,14 \times 125} = 305.57 \text{ tr/mn}$$

- Nombre de tours corrigé **N ébauche = 300 tr/mn**

- Calcul de nombre de tours **N finition** :

- Choix de la vitesse de coupe d'après (**Tableau. III. 6**) : **Vc finition = 140 m/min**

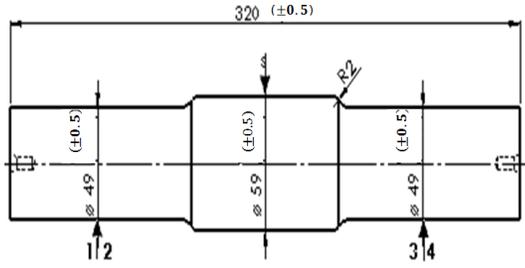
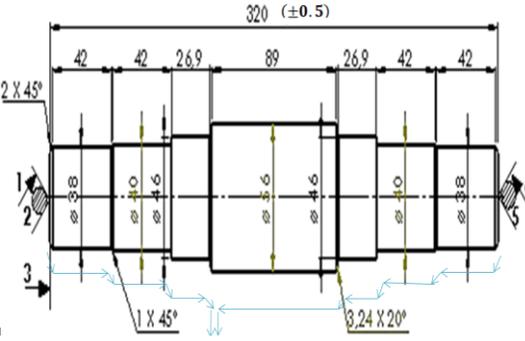
$$N \text{ ébauche} = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 140}{3,14 \times 125} = 356.5 \text{ tr/mn}$$

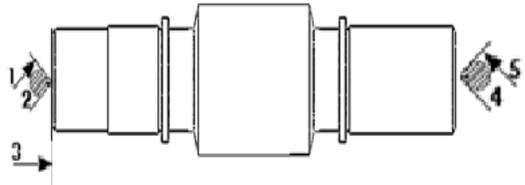
- Nombre de tours corrigé **N ébauche = 350 tr/mn**

3.9 Gamme d'usinage proposée de la V.S.F

Gamme d'usinage proposée de la vis sans fin										
N° PHASE	Désignation des opérations	machine-outil	Outil	Instrument de contrôle	Accessoire de montage	Conditions de coupe			Temps estimé (min)	Croquis
						V _c m/min	N Tr/min	a mm/tr		
10	Pièce forgé Estampé			Laboratoire d'analyse structurelle						
20	Traitement thermique : Recuit 800°C	Four à l'air								
30	Fraisage ; Centrage : - Fraisage en bout des (02) faces L= 320 (± 0.1)	fraiseuse centreuse	Deux Fraise à dresser Ø63	Pied à coulisse 1/10	Deux vé avec serrage par bride	120	600	0.2	0.4	

Chapitre III : Amélioration de la gamme d'usinage de la vis sans fin fabriquée au niveau des AMM complexe sidérurgique d'El-Hadjar Annaba

31	- Réaliser les (02) trous de centre $\varnothing 6.3 * L=14$		Deux Foret à centrer $\varnothing 6.3$ en acier rapide	Jauge de profondeur		30	1500	0.063	0.18	
40 41	Tournage recopiage - Chanfreinage : $\varnothing 38 ; 2*45^\circ$ - Chariotage ébauche $\varnothing 38 ; L= 42$ - Chanfreinage : $\varnothing 40 ; 1*45^\circ$ - Chariotage ébauche $\varnothing 40 ; L= 42$ - Chariotage ébauche $\varnothing 46 ; L= 20.5$ - Chanfreinage : $\varnothing 56 ; 3.64*20^\circ$ - Chariotage ébauche $\varnothing 56 ; L= 95$	Tour à recopier	- Outil à charioter à plaquette en carbure métallique	Pied à coulisse 1/10	Entre pointes (Entraîneur à griffes + contre pointe)	200 250	1200 1800	0.3 0.1	0.9 1.8	

42	- Chanfreinage : $\varnothing 56 ; 3.64 * 20^\circ$ - Chariotage ébauche $\varnothing 46 ; L = 5$ - Chariotage ébauche $\varnothing 40 ; L = 42$ - Chanfreinage : $\varnothing 38 ; 1 * 45^\circ$ - Chariotage ébauche $\varnothing 38 ; L = 42$ - Chanfreinage : $\varnothing 38 ; 2 * 45^\circ$ - Chariotage de finition de ces diamètres (on suivre le même cycle).									
	Réalisation des gorges : - A L= 84 ; $\varnothing 38$, l= 3 - A L= 92 ; $\varnothing 38$, l= 20.5 - A L= 107.5 ; $\varnothing 29$, l= 5	Outils de gorge (b= 2 r= 1) en CM Outil de gorge (b= 4 r= 2) en CM				100	650	0.4	0.37	
					125	1200	0.2			
					/	/	0.8			
					/	/	0.4			
										

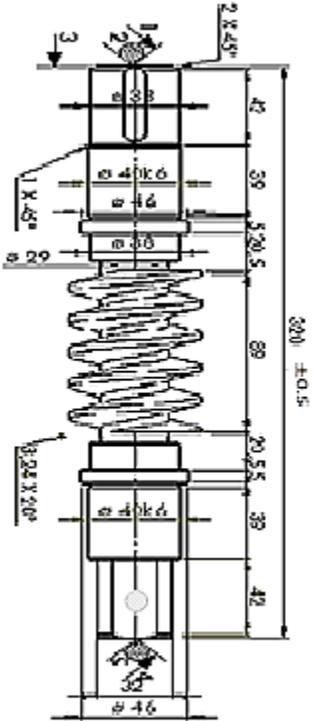
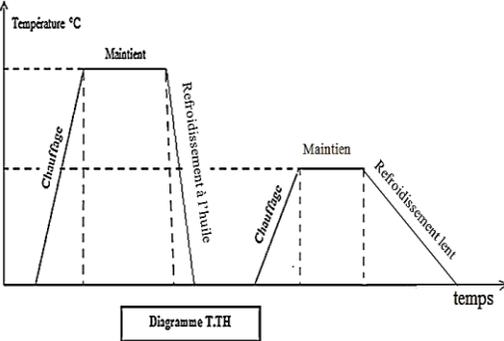
Chapitre III : Amélioration de la gamme d'usinage de la vis sans fin fabriquée au niveau des AMM complexe sidérurgique d'El-Hadjar Annaba

<p>43 44 45</p>	<p>- Percer (1) trou : Ø10.2 * L=45 - Chanfreinage 2/45° - Taraudage de Ø12</p>		<p>- Foret Ø10 En acier rapide. - outil à chanfreiner. - taraud Ø12 Ebauche, Semi-finition, Finition.</p>	<p>Jauge de profondeur Calibre de forme</p>	<p>Montage en l'air (Mandrin 3 mors)</p>	<p>30 13</p>	<p>1000 350</p>	<p>0.1 1.75</p>		
<p>50</p>	<p>- Fraisage de la rainure de : Ø38 ; largeur = 10, Longueur = 40, Profondeur = 5</p>	<p>Fraiseuse universelle</p>	<p>Fraise de deux tailles Ø10 mm en acier rapide</p>	<p>Pied à coulisse 1/10</p>	<p>Deux vé avec serrage par bride</p>	<p>40 140</p>	<p>300 350</p>	<p>0.075 0.037</p>	<p>0.46 0.7</p>	

Chapitre III : Amélioration de la gamme d'usinage de la vis sans fin fabriquée au niveau des AMM complexe sidérurgique d'El-Hadjar Annaba

51	<p>- De bout de la pièce : réaliser (04) méplat ; opposées 2 à 2 ; coté sur plat, a=32 ; L= 44</p>	Fraiseuse universelle	<p>- Fraise Ø125 mm à plaquettes en carbure métallique</p>	<p>- Equerre - Pied à coulisse 1/10</p>	Deux vé avec serrage par bride	120 140	300 350	0.2 0.08	0.82 1.75	
60	<p>- Réaliser le taillage trapézoïdal de la vis sans fin</p> <p>- Module : mn= 6mm</p> <p>- Nombre de dent : Z= 1 [01 seul filet]</p> <p>- Sens de l'hélice : Droite.</p> <p>- Angle d'inclinaison : $\beta = 7^{\circ}.50'.15''$</p>	Tailleuse	<p>Fraise mère Ø80 en carbure métallique. Nombre de filet 1 Mn = 6</p>	<p>- Pied à coulisse 1/10 - Pied à module</p>	Entre pointe Entrainement	150	600	0.2	0.83	

Chapitre III : Amélioration de la gamme d'usinage de la vis sans fin fabriquée au niveau des AMM complexe sidérurgique d'El-Hadjar Annaba

	<ul style="list-style-type: none"> - Diamètre extérieur : Da= 56mm - Diamètre primitif : Dp= 44mm -Diamètre intérieur : Di= 29mm Pas de l'hélice : - Pas réel : Pn = 18.84mm - Pas axial : Px= 19.017mm 							 <p>The drawing shows a worm gear assembly with a central worm and a meshing gear. Key dimensions include: outer diameter of the gear (56 mm), primitive diameter (44 mm), inner diameter (29 mm), and a total length of 200 ± 0.5 mm. Various diameters and axial distances are also indicated.</p>
70	<ul style="list-style-type: none"> - Trempe superficielle par induction à 850°C 3mm max - Revenu à 550°C 	Machine à trempe superficielle par induction	Générateur de courant HF + Indicateur	Essai de Rockwell				 <p>The T.T.H. diagram plots Temperature (°C) against time. It shows two cycles: 1) Heating to 850°C (Chauffage), holding at 850°C (Maintient), and cooling in oil (Refroidissement à l'huile). 2) Heating to 550°C (Chauffage), holding at 550°C (Maintient), and slow cooling (Refroidissement lent).</p>

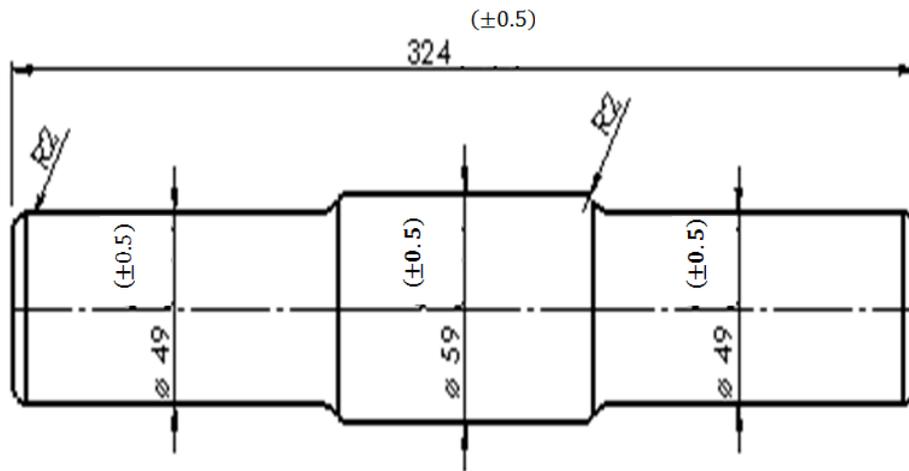
80	Rectification - Rectifier $\varnothing 40k6^{(+0.018)}_{(+0.002)}$, L=43 - Rectifier $\varnothing 38h7^{(0)}_{(-0.016)}$, L=44	Rectifieuse cylindrique universelle 3Y133	Meule plate à rectification extérieur type 1-38A 60 L 5V D = 355 mm, d = 127 mm, e = 80 MM	Palmer		15	119.4	0.003	0.39	
----	--	--	--	--------	--	----	-------	-------	------	--

Chapitre III : Amélioration de la gamme d'usinage de la vis sans fin fabriquée au niveau des AMM complexe sidérurgique d'El-Hadjar Annaba

Contrat de phase prévisionnel Phase N° :10	Ensemble : Réducteur	DATE : 06/2019
	Elément : vis sans fin	1/1
	Matière : XC 48 acier non allié	
Nom : SOUAIDI	Programme : production en moyen série	

Désignation : atelier de contrôle

Machine-outil : Bureau contrôle

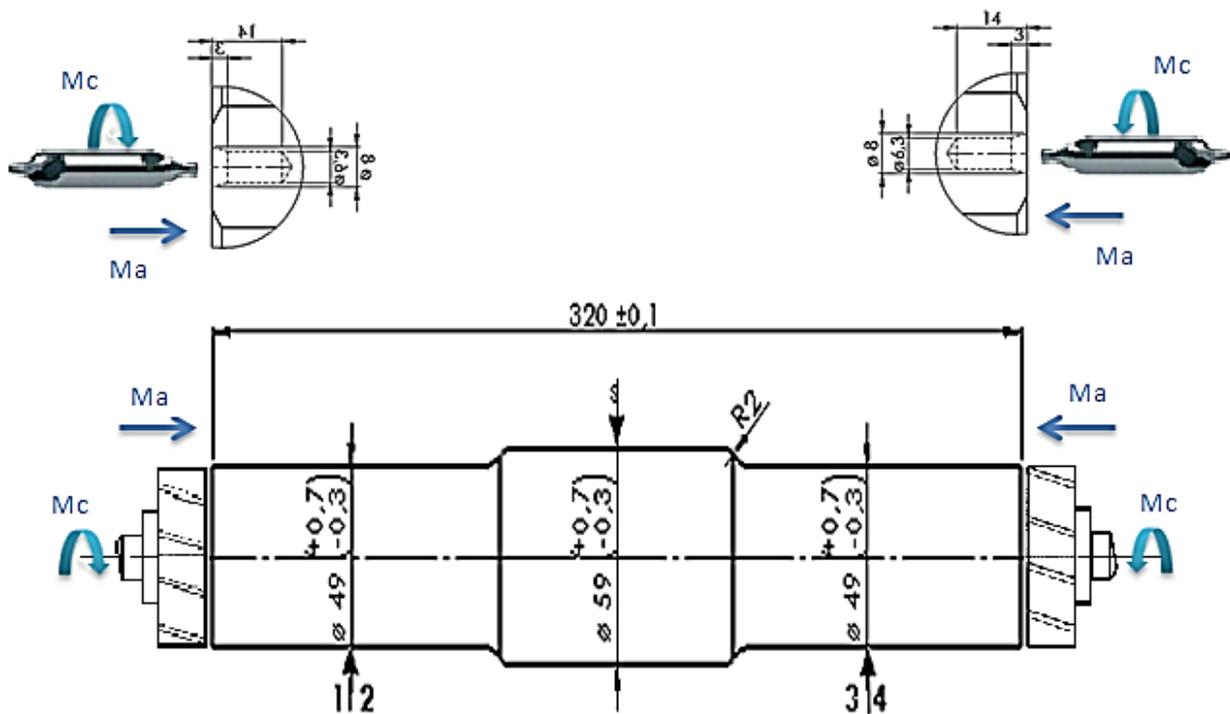


Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	P mm	F mm/tr	V m/mn	N Tr/mn
Contrôle de la pièce brute	Pied à coulisse	/	/	/	/

Contrat de phase prévisionnel Phase N° : 30 Nom : .SOUAIDI	Ensemble : Réducteur	DATE : 06/2019
	Elément : vis sans fin	1/1
	Matière : XC 48 acier non allié	
Programme : production en moyen série		

Désignation : fraisage surfaçage, centrage

Machine-outil : Fraiseuse centreuse (duplexe)

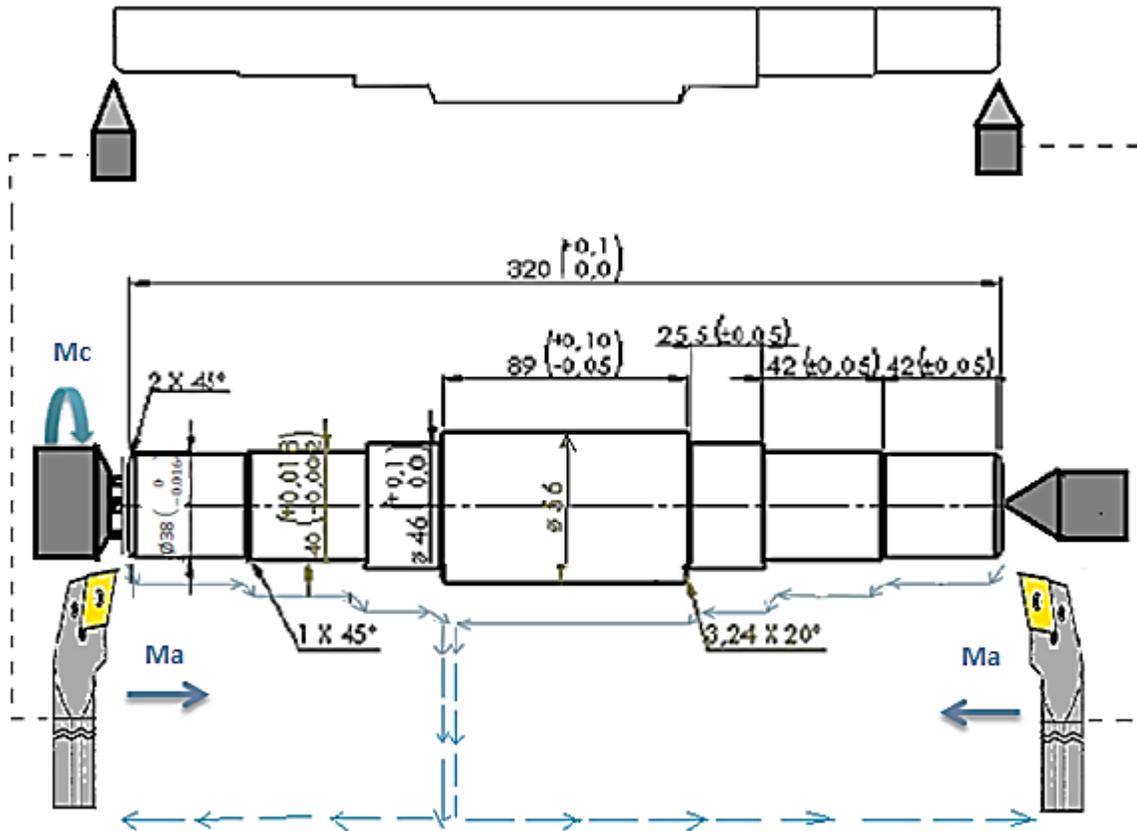


Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	P mm	f mm/tr	Vc m/mn	N Tr/mn	Tm Min
- Fraisage en bout des deux surfaces L= 320 (±0.1) - Centrage : Ø6.3 X 14	- Deux vé avec serrage par bride.	12.5	0.2	120	600	0.4
	- Deux Fraises à dresser Ø63 en carbure métallique. - Deux Foret à centrer ø6.3 en acier rapide.	6.3	0.063	30	1500	0.18

Contrat de phase prévisionnel Phase N° :50	Ensemble : Réducteur	1/1
	Elément : vis sans fin	
	Matière : XC 48 acier non allié	
Nom : SOUAIIDI	Programme : production en moyen série	

Désignation : Tournage recopiage

Machine-outil : Tour à recopier

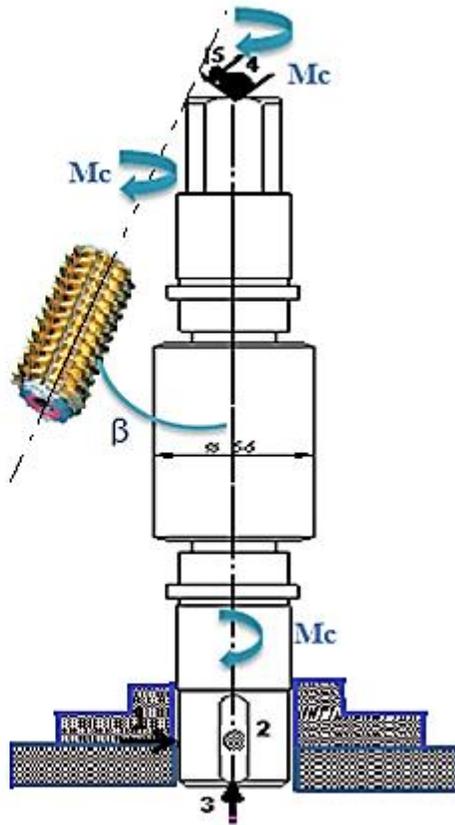


Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	f mm/tr	Vc m/min	N Tr/mn	Tm Min
Tournage recopiage - chariotage préalable $\phi 38$, $\phi 40$, $\phi 46$, $\phi 56$, $\phi 46$. - chariotage finition des diamètres.	- Montage entre pointes. - Outil à charioter en carbure métallique. - Contrôle par Pied à coulisse.	0.3	200	1200	0.9
		0.1	250	1800	1.8

Contrat de phase prévisionnel Phase N° :10	Ensemble : Réducteur	DATE : 06/2019
	Elément : vis sans fin	1/1
	Matière : XC 48 acier non allié	
Nom : SOUAYDI	Programme : production en moyen série	

Désignation : taillage de filetage trapézoïdale

Machine-outil : tailleuse



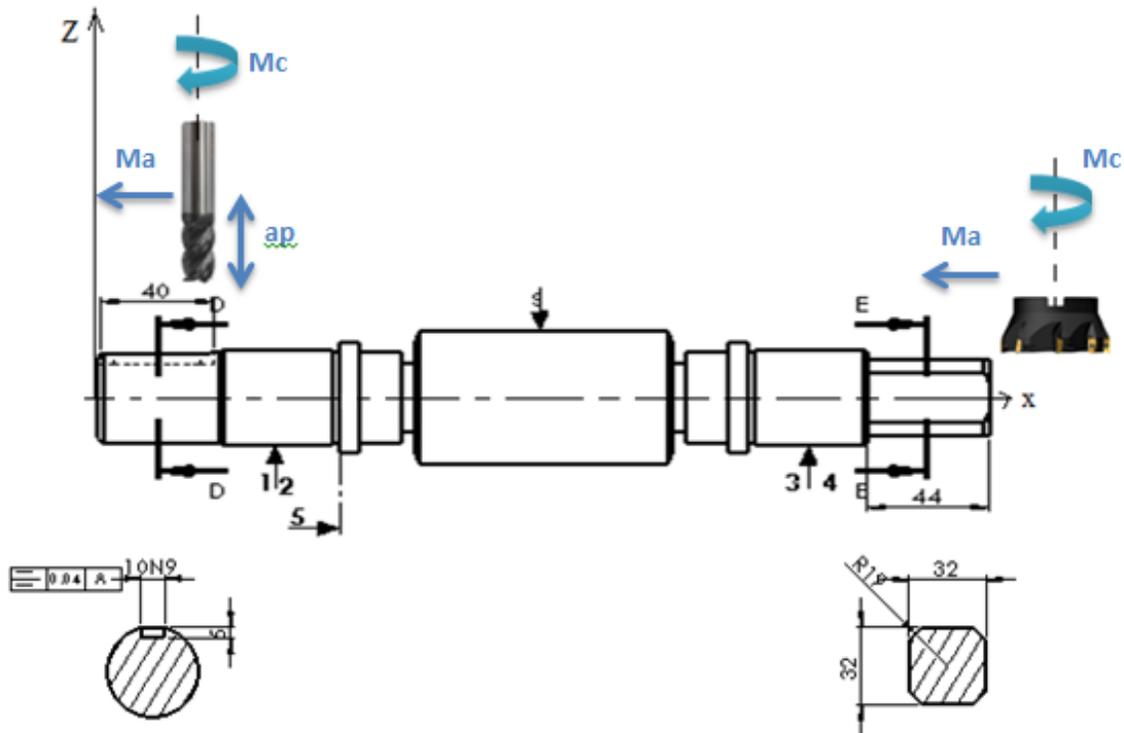
Module axial	Mx	6.056
Nombre de filets	Z	1
Angle d'hélice	B	7° 50' 15''
Sens de l'hélice	/	Droit
Pas axial	Px	19.017

Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	P Mm	f mm/dent	Vc m/mn	N Tr/mn	Tm min
- Taillage Taillage de la vis sans fin à filet trapézoïdal Mx= 6.056, Z=1 filet	- Montage Mixte - Fraise mère ø 80 en carbure métallique Nbr de filet 1, Mn= 6. - Contrôle : pied à coulisse, pied à module.	13.2	0.2	150	600	0.83

Contrat de phase prévisionnel Phase N° : 60	Ensemble : Réducteur	DATE : 06/2019
	Elément : vis sans fin	1/1
	Matière : XC 48 acier non allié	
Nom : SOUAIDI	Programme : production en moyen série	

Désignation : Fraisage : rainure, méplat carré

Machine-outil : Fraiseuse universelle



Mise en position et désignation des opérations	Montage et outil de coupe	P mm	f mm/dent	Vc m/mn	N Tr/mn	Tm min
- Fraiser une rainure de : Ø38 ; largeur = 10, Longueur = 40, Profondeur = 5.	- Deux vé avec serrage par bride.	6	0.075	40	1200	0.46
- Réaliser (04) méplat opposés 2 à 2, coté sur plat, a= 32, ==L= 44	- Fraise deux tailles Ø10 en acier rapide	3	0.0375	50	1600	0.7
- Contrôler par Pied à coulisse.	- Fraise Ø125 à plaquettes en carbure métallique.	12.5	0.2	120	300	0.82
			0.08	140	350	1.75

Programme CNC de tournage, filetage trapézoïdale de la vis sans fin au niveau des AMM sur tour à CNC BOCH

1 ^{ER} FACE		2 ^{ème} FACE
N 10 G 78 A	X +56	N 270 T 404
N 20 T 404	Z -207.5	N 280 G 97 S 400 M 3
N 30 G 97 S 400 M3	N 130 G 0 X +150 Z +10 M09	N 290 G 0 X +70 Z +2 M 08
N 40 G 0 X +2 Z +2 M 08	N 140 T 202	N 300 G 81 X +48 Z -112.5 R
N 50 G 1 F 0.3	N 150 G 0 X +47 Z -98 M 08	70 L -112.5 D 2 H0
N 60 G 81 X +58 Z -210 R 70 L	N160 G 1 X +29.5	N 310 G 0 Z +2
-210 D2 H0	N 170 G 0 X +47	X +48
N 70 G 0 Z +2	Z -104	N 320 G 81 X +42 Z -87 R 48
X +58	N 180 G 1 X +29.5	L -87 D 1.5 H 0
N 80 G81 X +48 Z -112.5 R 56	N 190 G 0 X +47	N 330 G 0 Z +2
L -112.5 D 2 H 0	Z -110	X +36
N 90 G 0 Z +2	N 200 G 1 X 29.5	N340 G 1 Z +0
X +48	N 210 G 0 X +47	X +38 Z -1
N 100 G 81 X +42 Z -87 R 48 L	Z -112.5	Z -44
-87 D 1.5 H 0	N 220 G 1 X +29.5	X +38
N 110 G 0 Z +2	N 230 G 0 X +57	X +40.5 Z -45
X +36	Z -115.74	N 350 G 1 Z -85
N 120 G 1 Z 0	N 240 G1 X +56	N 360 G 1 X +39.6 Z -87
X +38.5 Z -2	N 250 G 1 X +29 Z -112.5	X +46
Z -44	Z -98	Z -112.5
X +37.8	Z -99	N 370 G 0 X +150 Z +10 M09
X +39	N 260 G 0 X +150 M 09	N 380 T 202
X +40.5 Z -44.8	Z +10 M 5	N 390 G 0 X +47 Z -98 M 08
Z -85	M 0 C 95	N 400 G 1 X +29.5
X +39.5 Z -87		N 410 G 0 X +47
X +46		Z - 104
Z -112.5		N 420 G 1 X +29.5

N 430 G 0 X +47

Z -110

N 440 G 1 X +29.5

N 450 G 0 X 47

Z -112.5

N 460 G 1 X +29.5

N 470 G 0 X +57

Z -115.75

N 480 G 1 X + 56

X +29 Z -112.5

Z -98

Z -99

N 490 G 0 X +150 M 09

Z +10 M5

M 0

Filetage trapézoïdale

N 500 T 303

N 510 G 97 S 100 M 3

N 520 G 0 X +56 Z +10

N 530 G 22 A 21 B 34

N 540 G 0 X +49

N 550 G22 A 22 B 99

N 560 G 90

N 570 G 0 X +150 Z +10 M8

N 580 M5

N 590 M 30 C95

Sous-programme 1

N 10 G 98 A 21

N 20 G91

N 30 G 1 X -0.1 F 0.2

N 40 G 33 Z -115 R 18.84

N 50 G 0 X +5

Z +115

X -5

N 60 G 99

SOUS PROGRAMME 2

N 10 G 98 A 22

N 20 G 91

N 30 G 1 X -0.05 F 0.3

N 40 G 33 Z -115 R 18.84

N 50 G 0 X +15

Z +115

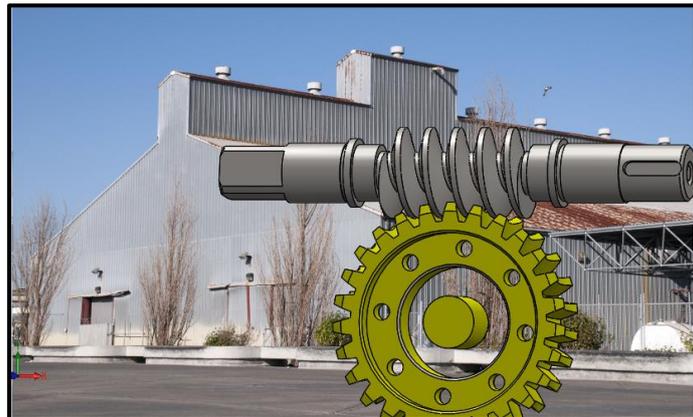
X -15

N 60 G 99

Conclusion

Durant ce chapitre, nous avons proposé une amélioration d'une gamme d'usinage de la vis sans fin pour une production moyenne série avec des facteurs plus appropriés en particulier dans le choix des machines-outils, des outils et des conditions de coupes, pour optimiser essentiellement le rendement, la qualité et aussi la durée de vie des produits.

Chapitre IV :
Conception du système roue à vis sans fin



4 Introduction

L'industrie doit aujourd'hui répondre de plus en plus vite aux demandes des consommateurs ; de plus les nouveaux produits sont très vite concurrencés, leur cycle de vie devient plus court.

Il faut donc réduire les temps de conception des produits nouveaux, par exemple certains constructeurs d'électroménager renouvellent leurs produits tous les 6 mois.

Il est impératif de concevoir vite et bien du premier coup. Depuis l'introduction de l'informatique adaptée à la conception, la CAO et la FAO, il est possible de dessiner, de simuler les nouveaux produits avec une rapidité et une précision toujours plus grandes.

Depuis quelques années, on parle de plus en plus de réduire le nombre de prototypes utilisés dans le cycle de conception. Ces prototypes servent à valider les choix de conception ou à ; vérifier le bien-fondé des simulations ou des calculs de résistance par exemple [23].

4.1 Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

Nous pouvons définir la **Conception Assistée par Ordinateur (CAO)** par l'ensemble des outils logiciels et des techniques informatiques qui permettent d'assister les concepteurs dans la conception et la mise au point d'un produit. Un logiciel de **CAO** se compose généralement de quatre parties majeures qui peuvent être organisées comme suit :

- Le modelleur géométrique.
- L'outil de visualisation.
- Un certain nombre d'applications.
- Un contrôleur.

a) Les avantages de la CAO

Grâce aux solutions de CAO, vous pouvez transformer rapidement vos idées innovantes en produits d'exception. Son interface intuitive et ses puissantes fonctionnalités de conception favorisent un développement rapide et efficace de vos produits, ce qui renforce la réussite de votre entreprise. Des outils conviviaux tout en étant puissants, une diffusion claire des informations de conception, un prototypage virtuel et une génération rapide des données et des mises en plan prêtes à être fabriquées. Tous ces atouts vous donnent un avantage très net sur un marché concurrentiel.

b) Les inconvénients de la CAO

- Gain économique reste à prouver
- Il n'y a pas un environnement réel.
- Considérer les dimensions aux chiffres arrondis,
- La surface est considérée parfaite,
- Le matériau est considéré comme étant un milieu continu.

4.2 Les Outils de CAO

Parmi les outils de la CAO, nous citons :

- a) Solid Works
- b) Rhinoceros
- c) Auto CAD
- d) Catia

4.3 Historique sur SolidWorks

En 1993, trois ingénieurs ont créé un logiciel de CAO de la génération des modelers 3D. Le développement de ce logiciel a nécessité trois années, et sa venue en Europe date de 1996. Dix mises à jour depuis ont participé à l'évolution de ce produit. C'est un produit qui a été écrit et optimisé pour l'environnement Windows.

En juillet 1997, DASSAULT SYSTEM rachète la société qui est détentrice de la licence du produit et l'intègre dans l'univers DASSAULT.

A ce jour, 50 000 licences industries et 50 000 licences Education Nationale ont été vendues en France. Plusieurs partenaires ont contribué au développement de ce logiciel au niveau HARD et SOFT. Ces partenaires au nombre de 300, ont été à différents niveaux d'intégration au sein du logiciel. Il existe notamment les « Gold Partner » qui implémentent leurs produits directement dans les menus de SolidWorks [24].

4.3.1 Qu'est-ce que le logiciel SolidWorks ?

Le logiciel de conception mécanique SolidWorks est un outil de conception de modélisation volumique paramétré, basée sur des fonctions, qui tire parti des fonctionnalités de Windows, connu pour sa convivialité. Vous pouvez créer des modèles volumiques 3D entièrement intégrés* avec ou sans contraintes** tout en utilisant des relations automatiques ou définies par l'utilisateur pour saisir l'intention de conception.

*Un modèle SolidWorks est entièrement intégré par rapport aux mises en plan et aux assemblages qui le référence. Les changements introduits dans le modèle sont entièrement

reflétés dans les mises en plan et les assemblages qui lui sont associés. Inversement, si vous effectuez des changements dans le contexte d'une mise en plan ou d'un assemblage, ces changements sont reflétés dans le modèle.

**Les relations géométriques telles que les relations parallèles, perpendiculaires, horizontales, verticales, concentriques et coïncidentes sont des exemples des contraintes supportées par SolidWorks. Des équations peuvent également être utilisées pour établir des relations mathématiques entre les paramètres. Par ces moyens, vous pouvez garantir que des concepts seront établis et conservés.

***L'intention de conception représente votre plan quant à la manière dont le modèle doit se comporter lorsqu'il subit des changements. Les techniques que vous utilisez pour créer le modèle déterminent le type d'intention de conception que vous saisissez [24].



Figure. IV. 1 : Slogan de logiciel SolidWorks [19]

4.3.2 Utiliser les fonctions de SolidWorks

Tout comme un assemblage est constitué d'un certain nombre de pièces individuelles, un modèle SolidWorks est formé d'éléments individuels. Ces éléments sont appelés des fonctions.

Lorsque vous créez un modèle à l'aide du logiciel SolidWorks, vous travaillez avec des fonctions géométriques intelligentes et faciles à comprendre telles que bossages, les enlèvements de matière, les perçages, les nervures, les congés, les chanfreins et les dépouilles. Au fur et à mesure qu'elles sont créées, les fonctions sont directement appliquées à la pièce en cours de construction.

Les fonctions sont classées en deux catégories : les fonctions esquissées (nécessitant la création préalable d'une esquisse plane) et les fonctions appliquées.

Le logiciel SolidWorks vous montre graphiquement la structure basée sur des fonctions de votre modèle dans une fenêtre spéciale appelée l'arbre de création Feature Manager. L'arbre de création Feature Manager ne se contente pas d'afficher la séquence de création des fonctions, il vous donne en plus un accès facile à toutes les informations connexes sous-jacentes [24].

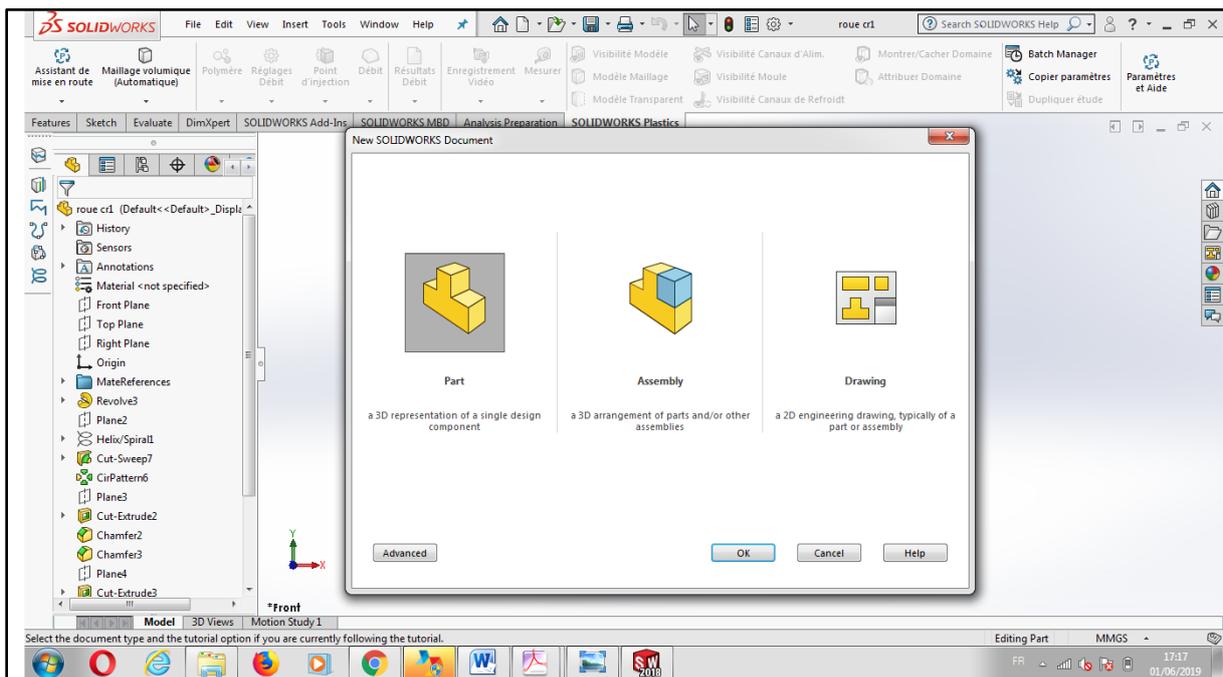


Figure. IV. 2 : Interface du SolidWorks avec les trois concepts de base

4.4 Modélisation géométrique de la roue et la vis sans fin :

A partir des résultats de dimensionnement nous procédons à la modélisation géométrique de la roue et vis sans fin sous logiciel SolidWorks.

4.4.1 Etapes de modélisation une vis sans fin dans SolidWorks

La vis sans fin à profile trapézoïdale droites à créer est représenté par ces proportions et leurs dimensions générales données dans le tableau suivant :

Caractéristiques	Dimensions calculé
Sens d'hélice droite	
Entraxe	$a = 100 \text{ mm}$
Nombre de dents	$Z = 1$
Module réel	$m_n = 6 \text{ mm}$
Module axiale	$m_x = 6.056 \text{ mm}$
Pas réel	$P_n = 18.84 \text{ mm}$
Pas axial	$P_x = 19.017 \text{ mm}$
Diamètre de tête	$D_a = 56 \text{ mm}$
Diamètre primitif	$d_p = 44 \text{ mm}$
Diamètre de pied	$D_f = 29 \text{ mm}$

Tableau IV.1 : Caractéristiques et dimensions d'engrenage

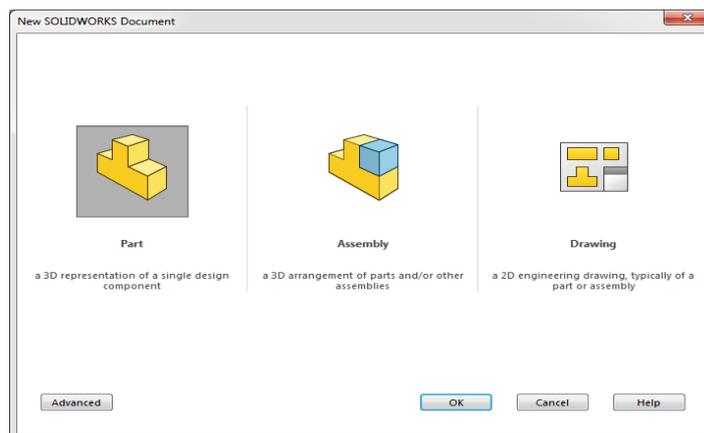
- **La conception de la pièce**

Ouvrir Solidworks →  :

Lors de l'ouverture, cliquer sur nouveau document apparition de l'écran de démarrage :

(3 possibilités sont proposées)

1. Pièce.
2. Assemblage (de pièces).
3. Mise en plan (de pièces ou d'assemblage de pièces).



Sélectionner Pièce puis click OK.

Étape 1 :

Après la définition du plan de travail en deux dimensions (2D) et la premier étape est dessin la forme de la vis qui est possible de deux façons soit par le dessin des cercles ou par dessin demi-forme de la vis sans fin à partir des lignes.

Cette phase contient l'ensemble des spécifications géométriques (Cotation : nécessaires à la complète définition de la section (**Figure. IV. 4**).

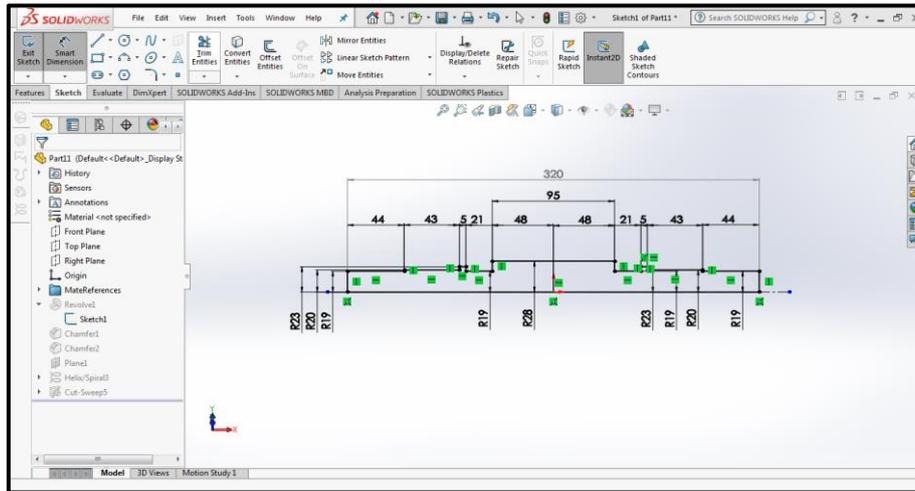
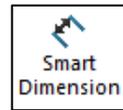


Figure. IV. 3 : création de la forme de la vis sans fin

Etape 2 :

De deux dimensions (2D) vers trois dimensions (3D) c'est une opération de révolution de la section droite. La section est définie dans une esquisse (qui apparaît alors dans l'arbre de création comme élément générateur de la fonction).

- Click sur l'icône (base/bossage avec révolution)  dans la barre d'outils.
- On sélectionne l'axe, l'angle et le type de révolution (**Figure. IV. 5**)

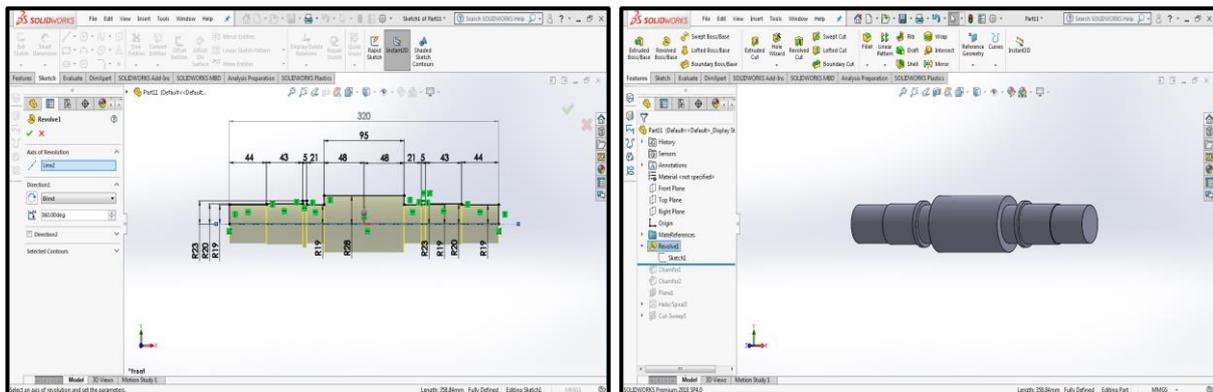


Figure. IV. 4 : Etape de révolution

Etape 3 :

A cette phase on réalise les chanfreins de (L= 2mm et à 45°) sur les deux surfaces d'extrémité de la pièce et de (L= 3.24mm et à 70°) sur la longueur du filetage pour casser

l'angle vif (**Figure. VI. 6**), à partir de la fonction



puis click sur

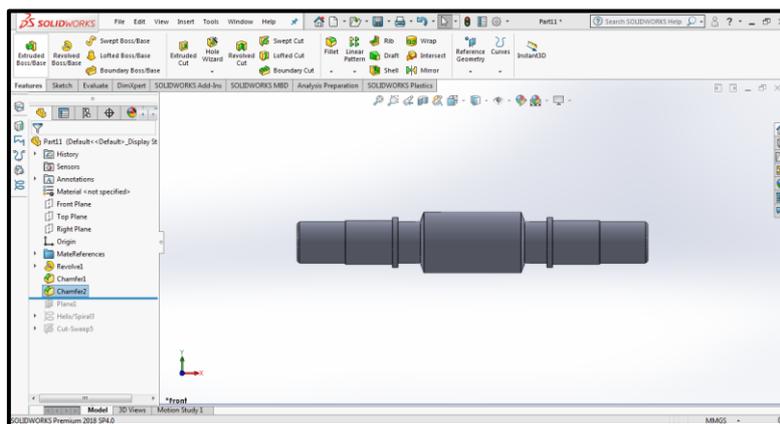
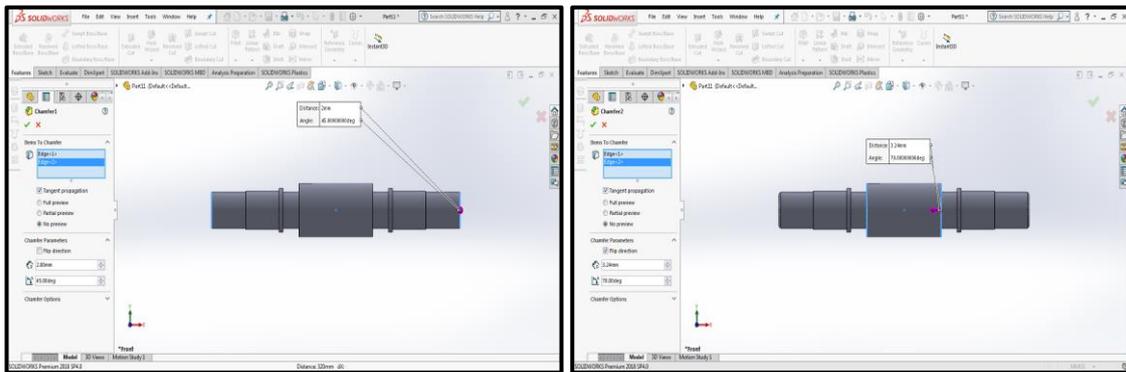


Figure. IV. 5 : Etape de chanfreinage

Etape 4 :

Réalise des deux gorges de dégagement de l'outil de forme de filetage :

- Sélectionné le plan droite, crée leur référence sur les 2 bords de la zone personnalisé au filetage.
- Dessiner un cercle de diamètre symétrie au diamètre de pied de filet $\varnothing 29$ mm.
- Utiliser la fonction d'enlèvement de matière extrudé, on clique sur l'icône



puis entrez la distance d'enlèvement de matière L= 5mm et en dépouiller vers l'extérieur.

- Et cliquez sur Ok.

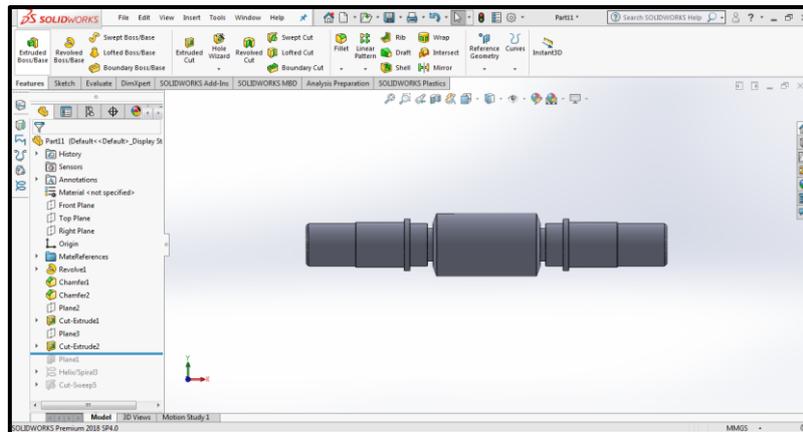
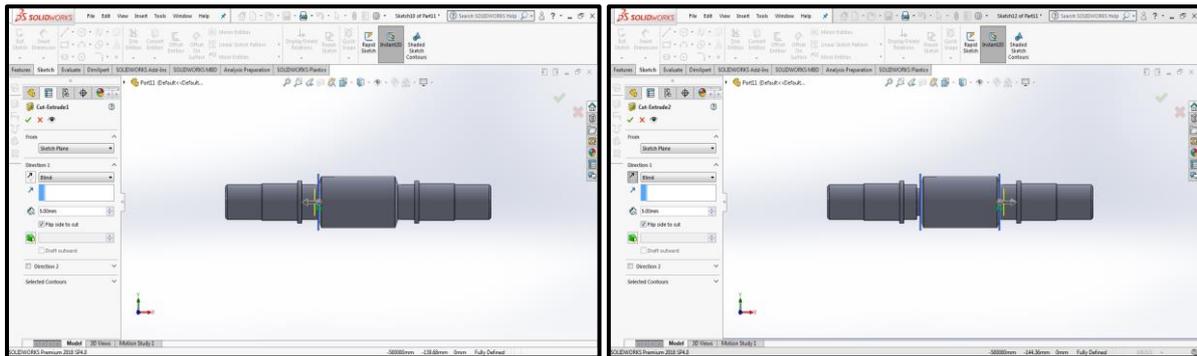


Figure. IV. 6 : Enlèvement de matière extrudé $\phi 29\text{mm} * L= 5\text{mm}$

Etape 5 :

Réaliser les deux gorges de dégagement de la meule (de $\phi 38\text{mm}$ et à $L= 3\text{mm}$) sur les 2 diamètres $\phi 40\text{mm}$ (nous suivons les mêmes étapes 4).

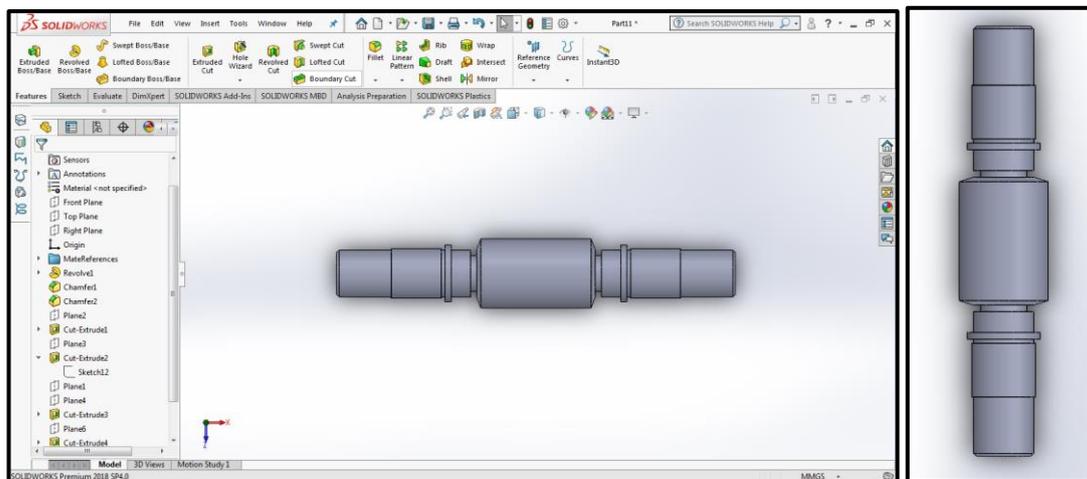
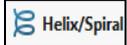


Figure. IV.7 : Enlèvement de matière extrudé $\phi 38 \text{ mm} * L= 3\text{mm}$

Etape 6 :

Réaliser l'hélice de filetage de la vis sans fin,

- Tracer l'esquisse d'un cercle de diamètre symétrie au diamètre extérieur de la vis $\varnothing 56$
- de la fonction courbe  , click sur l'icône (hélice et spirale). 
- De cette dernier nous entrer le pas, longueur, et le sens d'hélice comme dans notre cas ($P_x= 19.017\text{mm}$, $L= 95\text{mm}$, à hélice droite) (**Figure. IV. 9**).

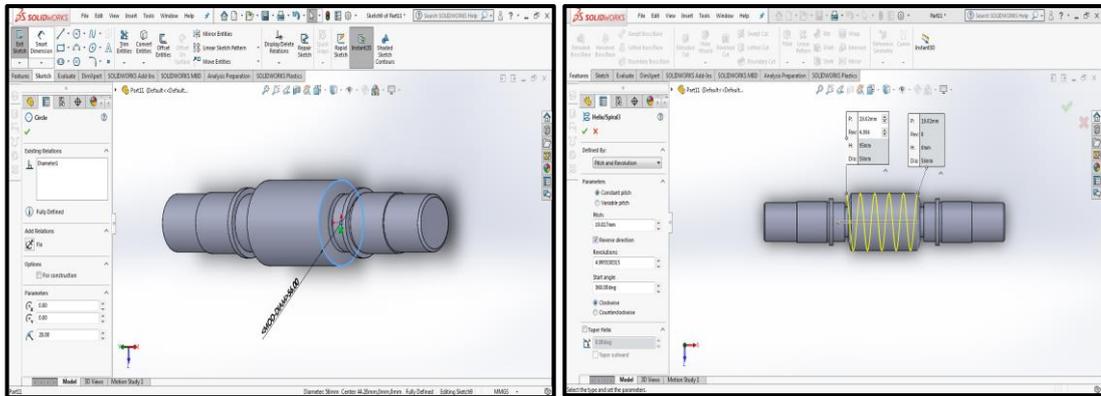


Figure. IV. 8 : Hélice de filetage

Etape 7 :

On à la trajectoire d'hélice. Maintenant, il reste tracer la forme trapézoïdale du filet, la première étape dans la création de filet est de les dessiner sur le plan de face une nouvelle esquisse de forme avec les dimensions calculés (**Figure. IV. 10**).

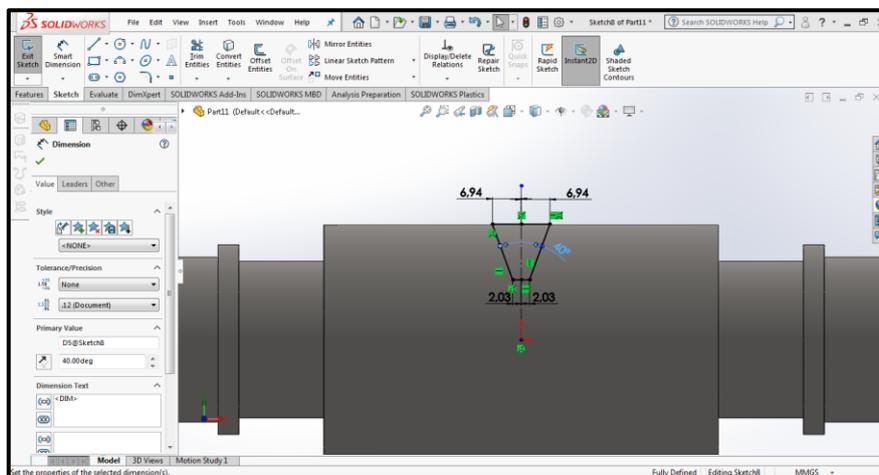
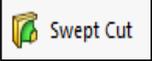


Figure. IV. 9 : Esquisse de création de la forme de filet

Ensuite en utilise la fonction d'extrusion (enlèvement de matière balayé) de l'icône  la fonction nous monter où entrer le profil d'esquisse avec la trajectoire d'hélice à suivre en bidirectionnelles (**Figure. IV.11**).

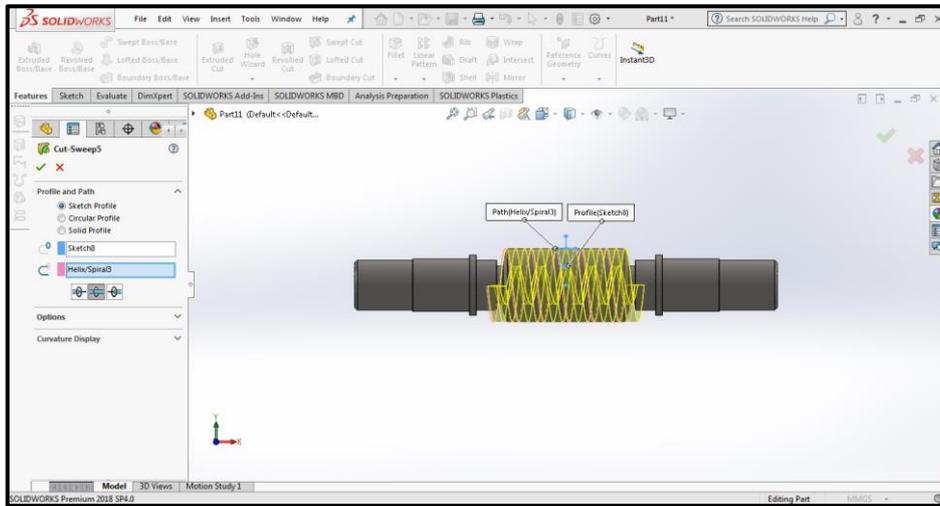


Figure. IV. 10 : Affichage première pour aperçu

Enfin, click sur Ok.

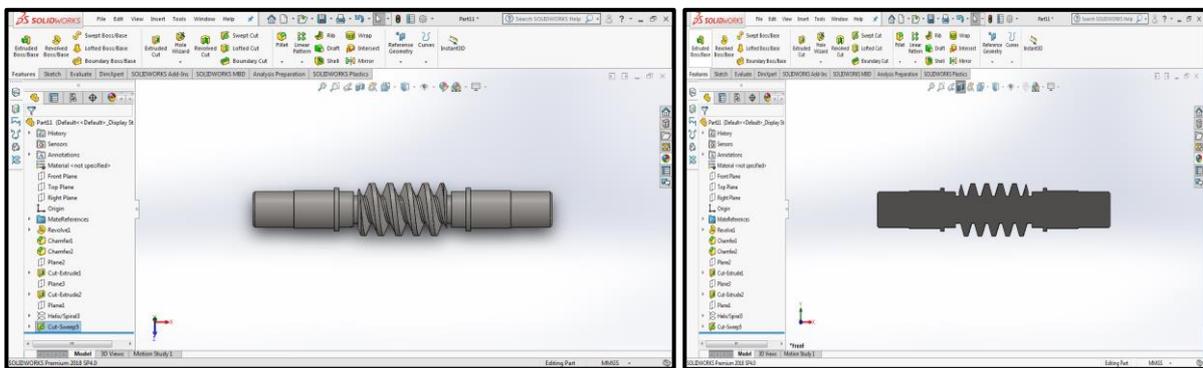


Figure. IV. 11 : Enlèvement de matière balayé

Etape 8 :

Pour faire les logements de clavette :

- Crée un plan vertical et tangent sur la surface de diamètre \varnothing 38 mm (**Figure. IV.13**).
- A partir esquisse d'une  rainure droite entrez les dimensions de (largeur 10mm, longueur 40mm) (**Figure. IV.14**).
- Utiliser la fonction enlèvement de matière extrudé, cliquez sur  puis enlevez la matière avec une profondeur de 10mm (**Figure. IV.15**).

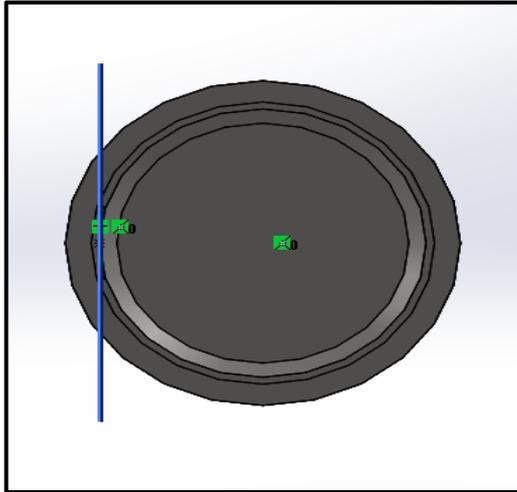


Figure. IV. 12 : Création du plan tangent

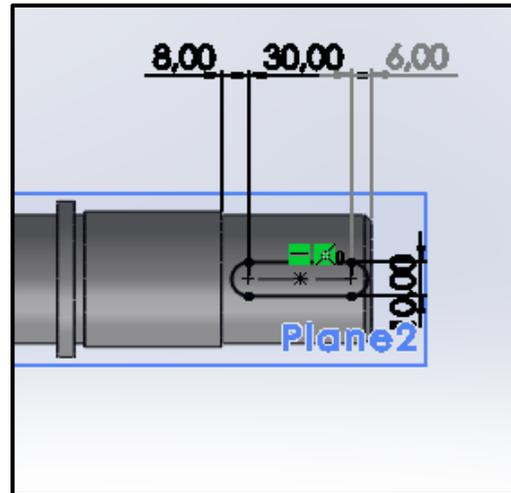


Figure. IV. 13 : Création de la rainure

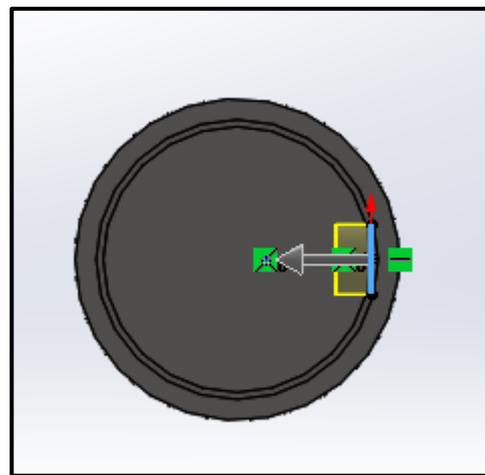
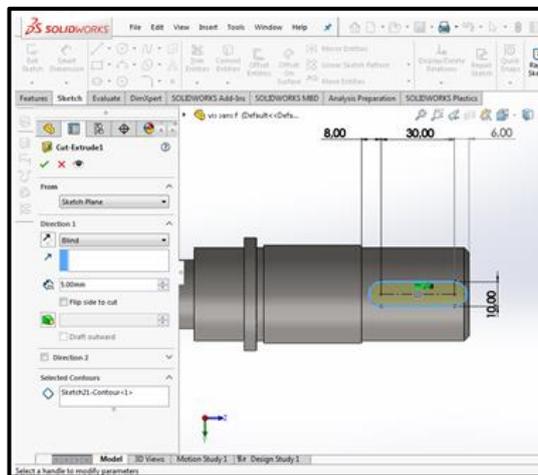


Figure. IV. 14 : Enlèvement de matière par extrusion

Etape 9 :

Exécuter deux (2) trous de centre sur les 2 surfaces à partir de l'icône (assistance pour le perçage) une boîte



de dialogue s'ouvre :

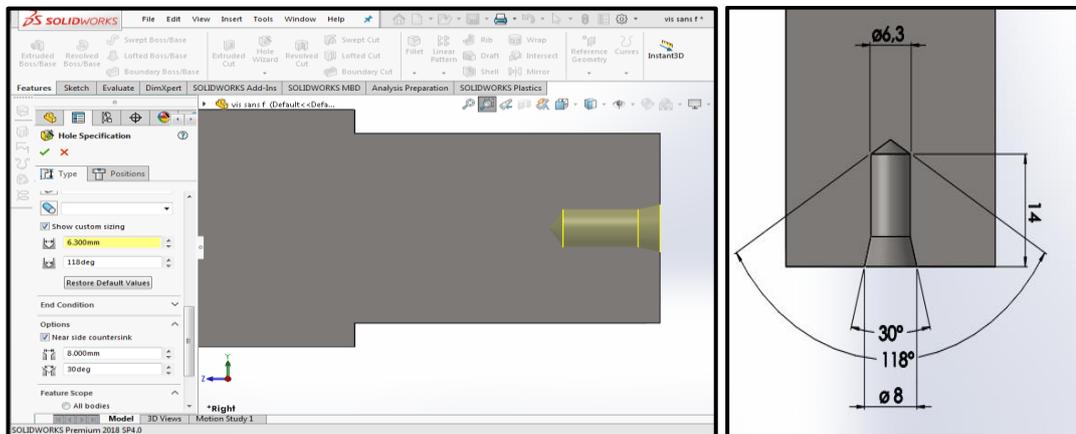


Figure. IV. 15 : Affichage première pour aperçu

- Cliquer sur positions
- cliquez sur 
- voilà les deux trous de centre

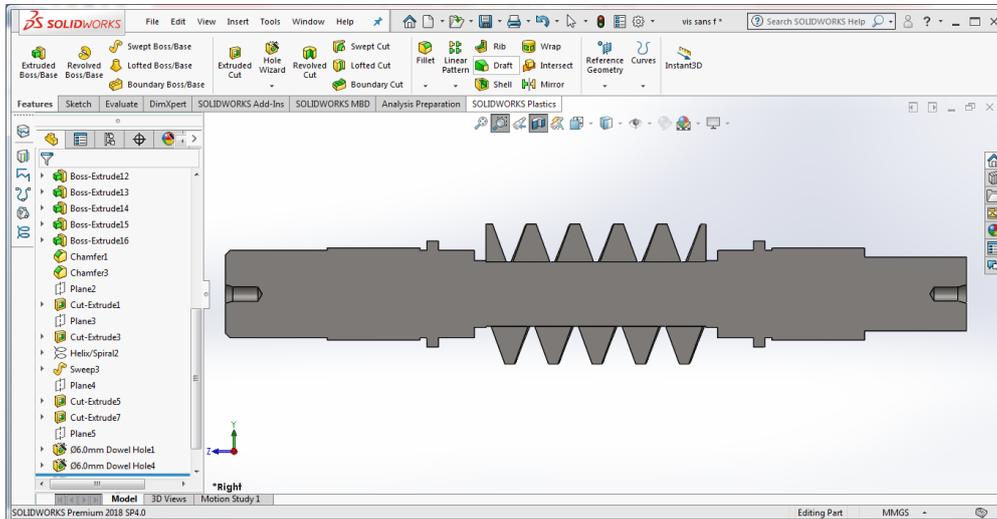


Figure. IV. 15 : Coupe zonale pour voir les trous de centre

Etape 10 :

Réaliser le perçage d'un trou de centre de $\varnothing 10.2\text{mm}$, $L = 45\text{mm}$ avec un chanfrein de $2.9\text{mm} * 30^\circ$ (en suivre la même étape 9).

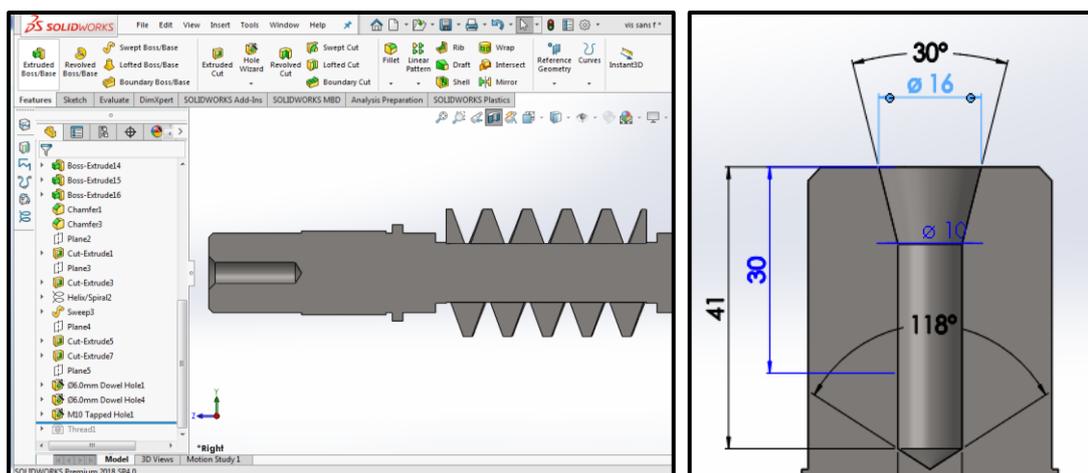


Figure. IV. 16 : Coupe zonale pour voir le perçage

On réaliser un taraudage de trou M12, L = 35mm lors de la fonction assistance pour perçage,



cliqué sur l'icone

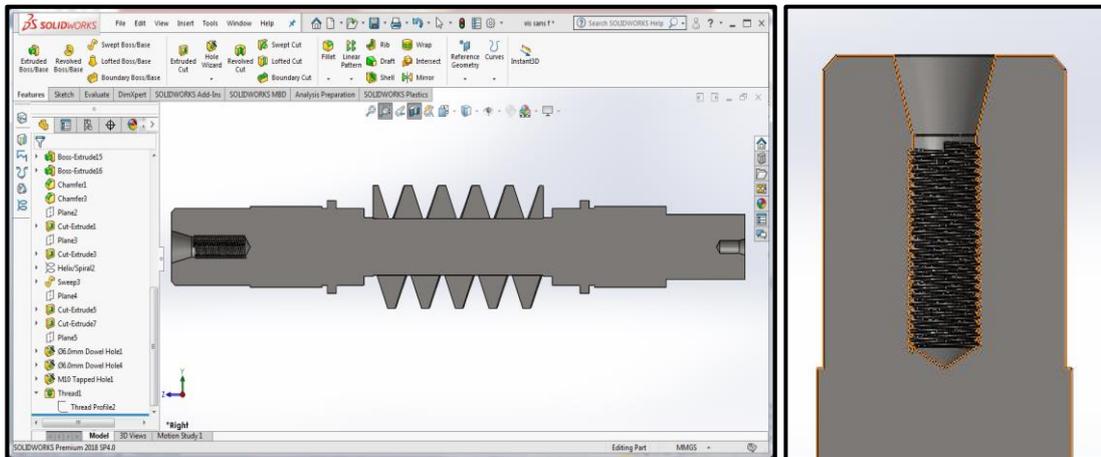


Figure. IV. 17 : Coupe zonale pour voir le taraudage de trou

Etape 11 :

Réalisation des méplats de forme carrée

- Créé un plan vertical sur la surface de diamètre \varnothing 38mm (Figure. IV.18).
- Tracer un esquisse carré de longueur L= 32mm (Figure. IV.19).
- Utiliser la fonction  pour enlèvement de matière extrudé, entrer le profondeur enlevé (L= 44mm) et dépouiller vers l'extérieur (Figure. IV.20).

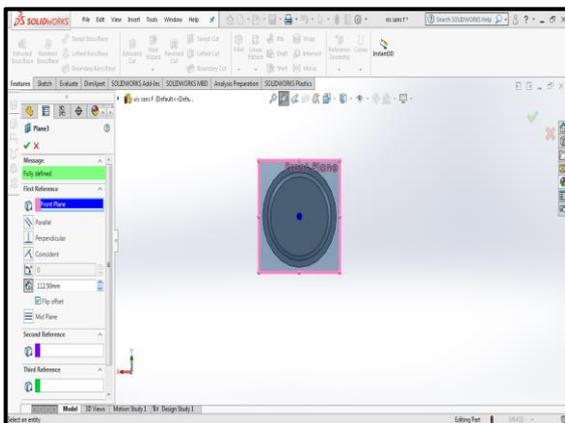


Figure. IV. 18 : Création du plan

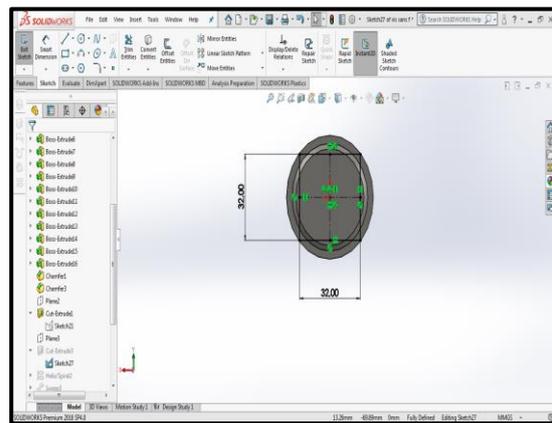


Figure. IV. 19 : Tracer le méplat carré

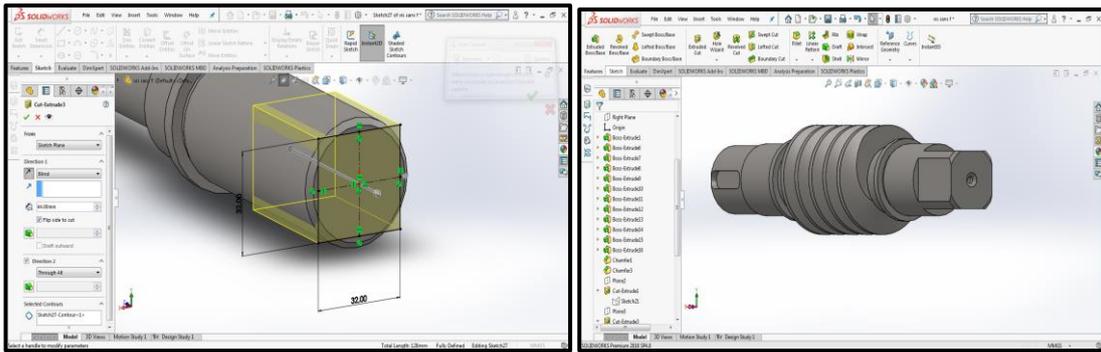


Figure. IV. 20 : Enlèvement de matière par extrusion

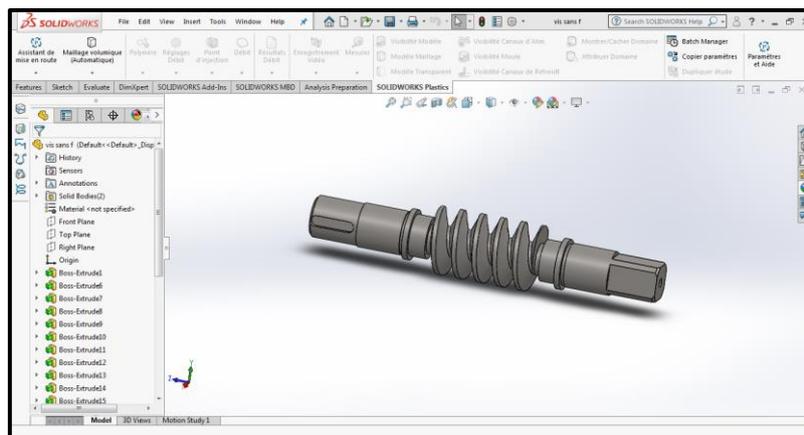


Figure. IV. 21 : Modèle 3D de la vis sans fin

4.4.2 Etapes de modélisation de la roue creuse dans SolidWorks

Caractéristiques	Dimensions calculé
Sens d'hélice droite	
Entraxe	$a = 100 \text{ mm}$
Nombre de dents	$Z = 27$
Module réel	$m_n = 6 \text{ mm}$
Module axiale	$m_x = 6.056 \text{ mm}$
Pas réel	$P_n = 18.84 \text{ mm}$
Pas axial	$P_x = 19.017 \text{ mm}$
Diamètre de tête	$D_a = 160.4 \text{ mm}$
Diamètre primitif	$d_p = 151.3 \text{ mm}$
Diamètre de pied	$D_f = 144 \text{ mm}$

Tableau IV. 2 : Caractéristiques et dimensions d'engrenage

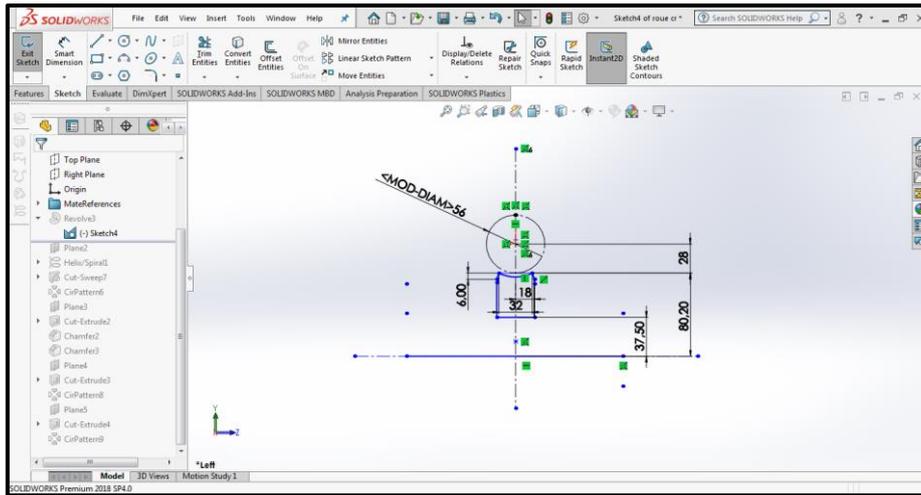


Figure. IV. 22 : Création de la forme de la roue creuse

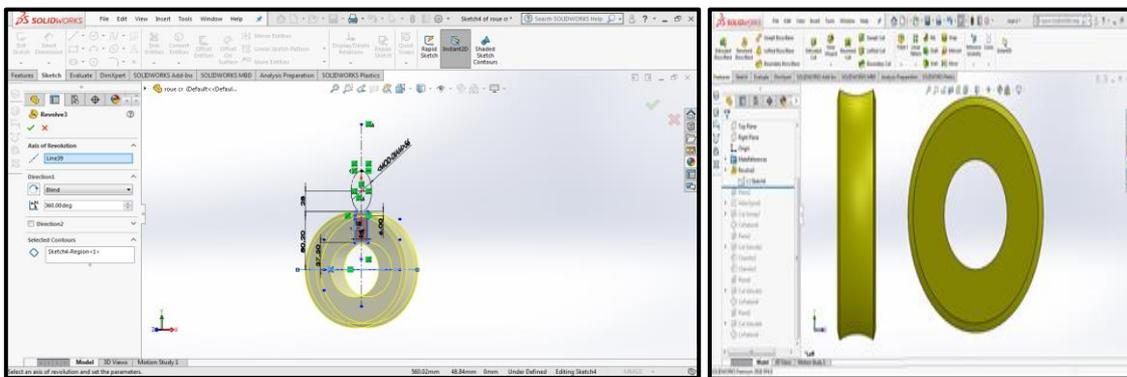


Figure. IV. 23 : Etape de révolution

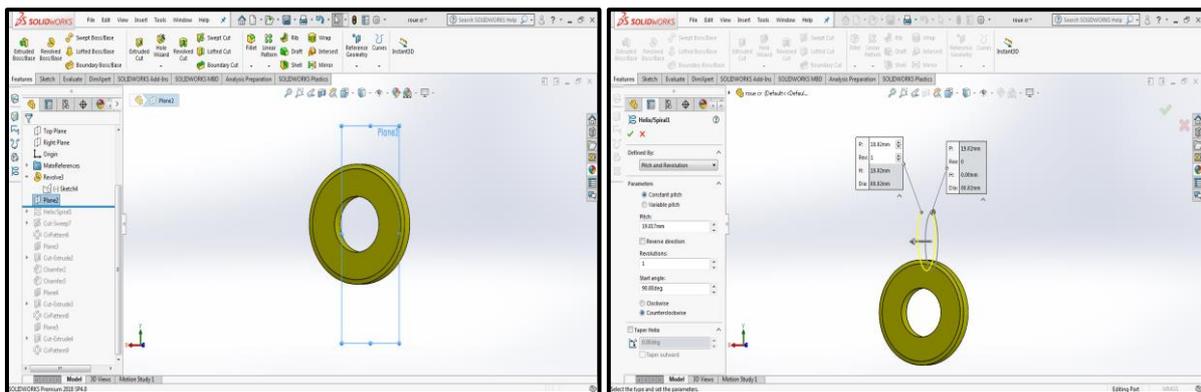


Figure. IV. 24 : Création du plan et trajectoire d'hélice

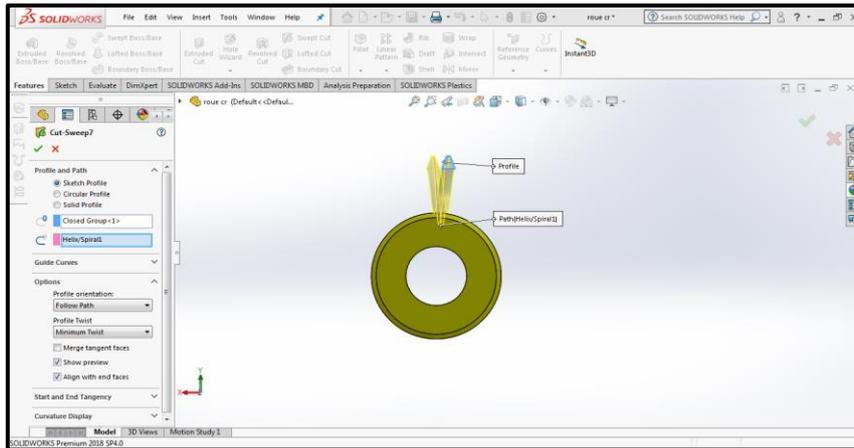


Figure. IV. 25 : Esquisse de création des flancs en 2D

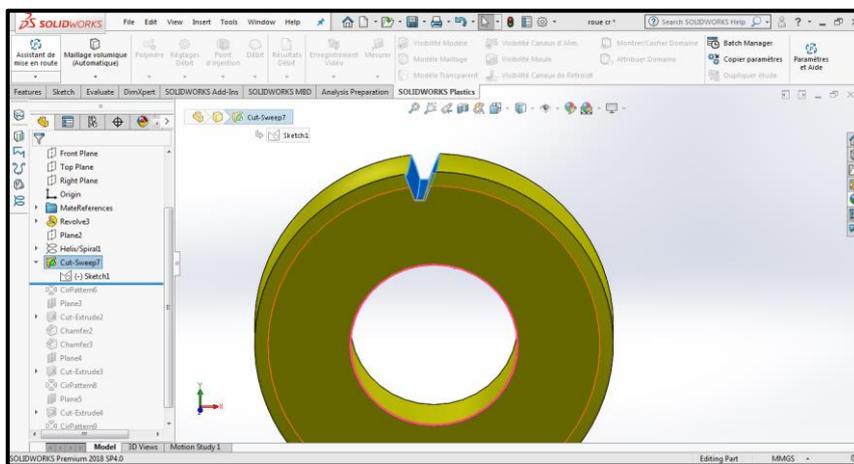


Figure. IV. 26 : Flancs de deux dents successives

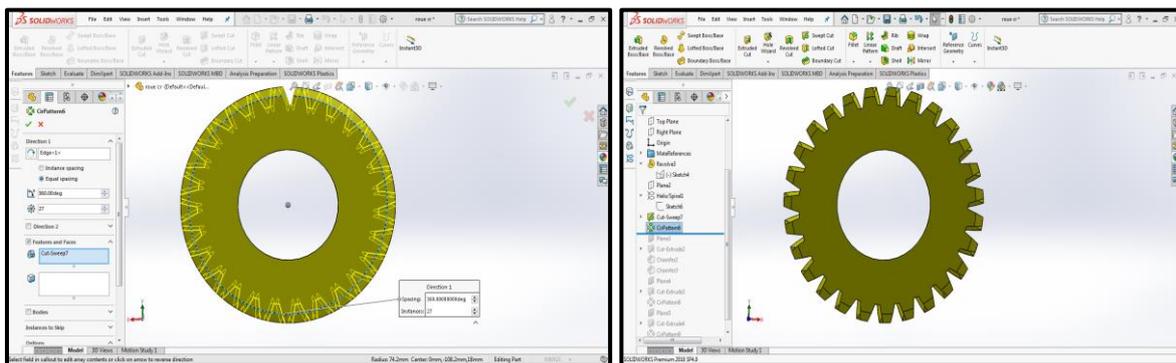


Figure. IV. 27 : Répétition circulaire

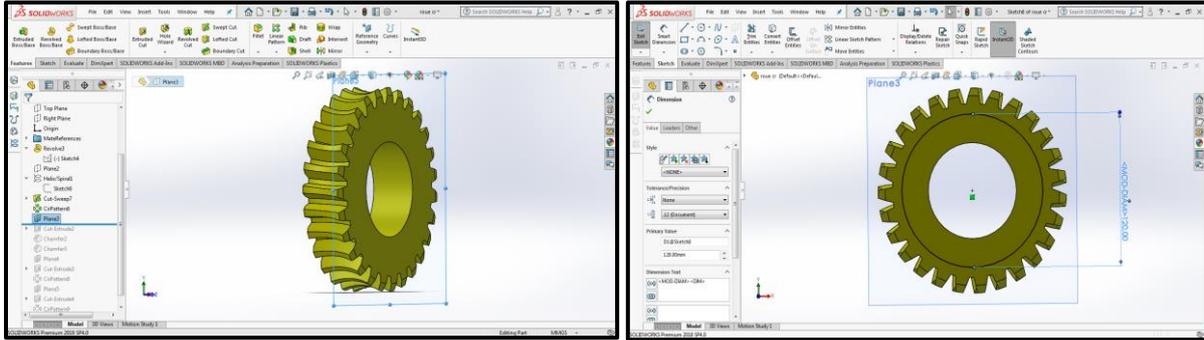


Figure. IV. 28 : Création d'un plan de référence à plan de face tangent et vertical au surface et tracer l'esquisse de cercle

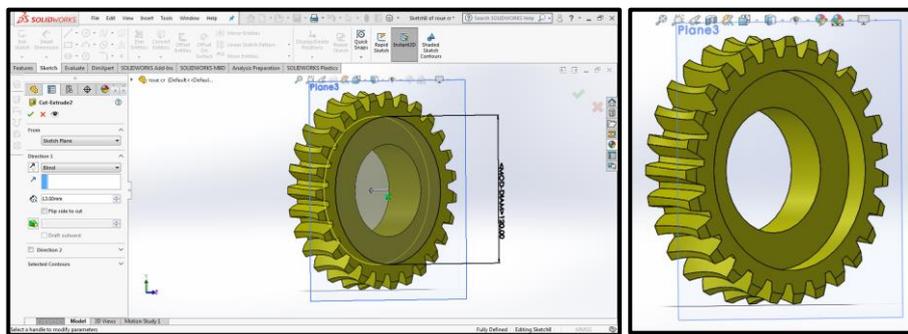


Figure. IV. 29 : Enlèvement de matière extrudé de profondeur 13 mm

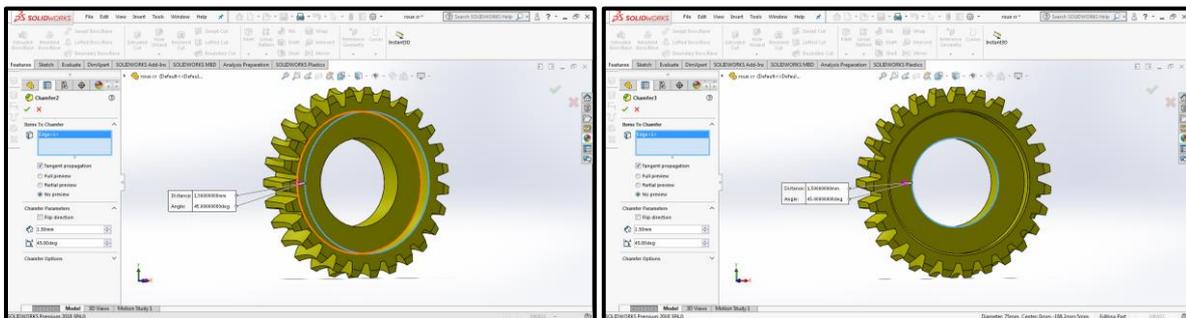


Figure. IV. 30 : chanfreiner les bords des cercles ϕ 120mm et ϕ 75mm de ($L= 1.5mm, 45^\circ$)

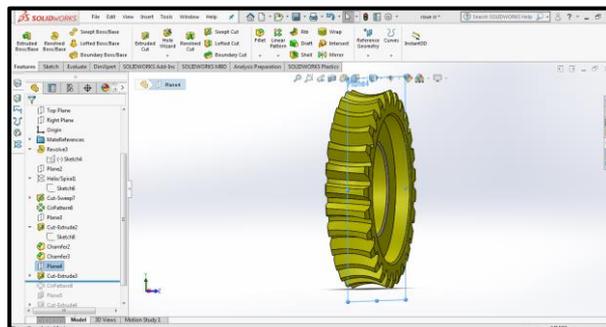


Figure. IV. 31 : Création du plan

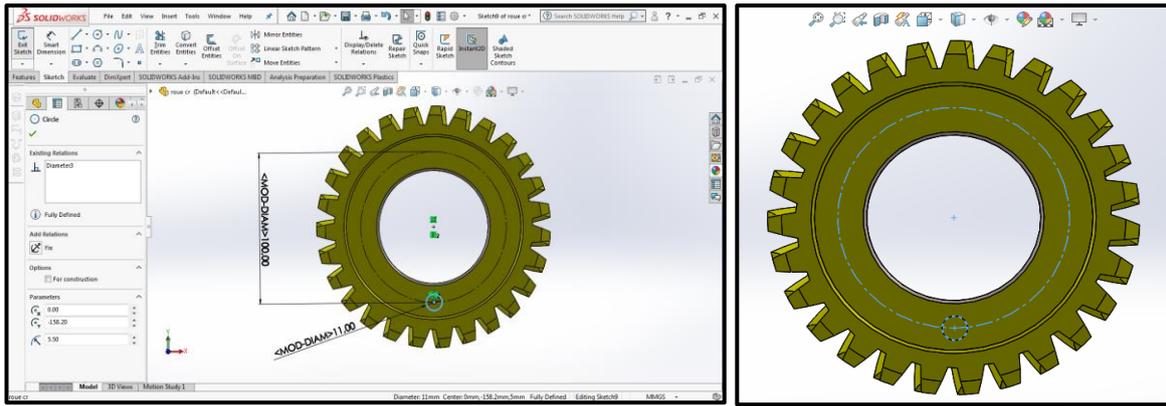


Figure. IV. 32 : Tracer cercle de construction de $\phi 100\text{mm}$ et un cercle de $\phi 11\text{mm}$

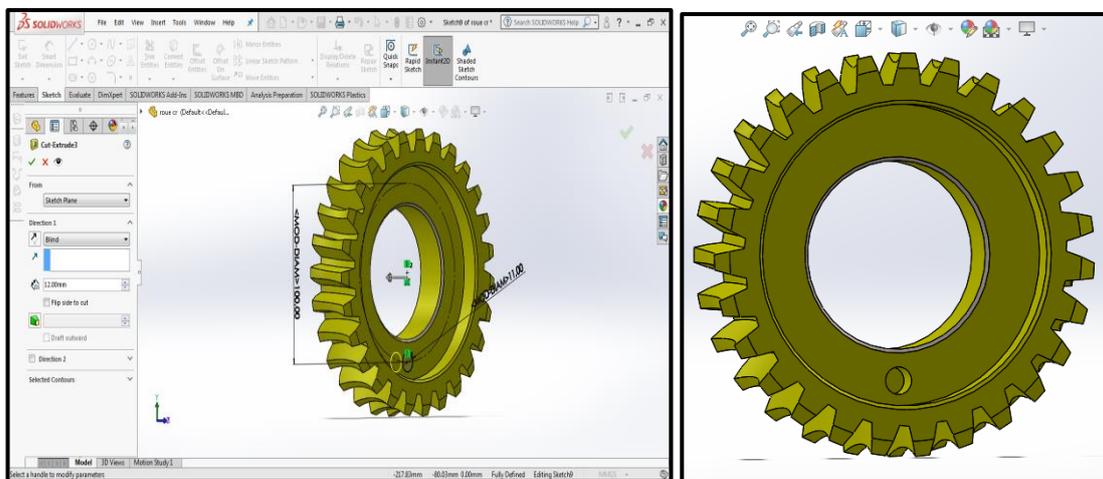


Figure. IV. 33 : Enlèvement de matière par extrusion

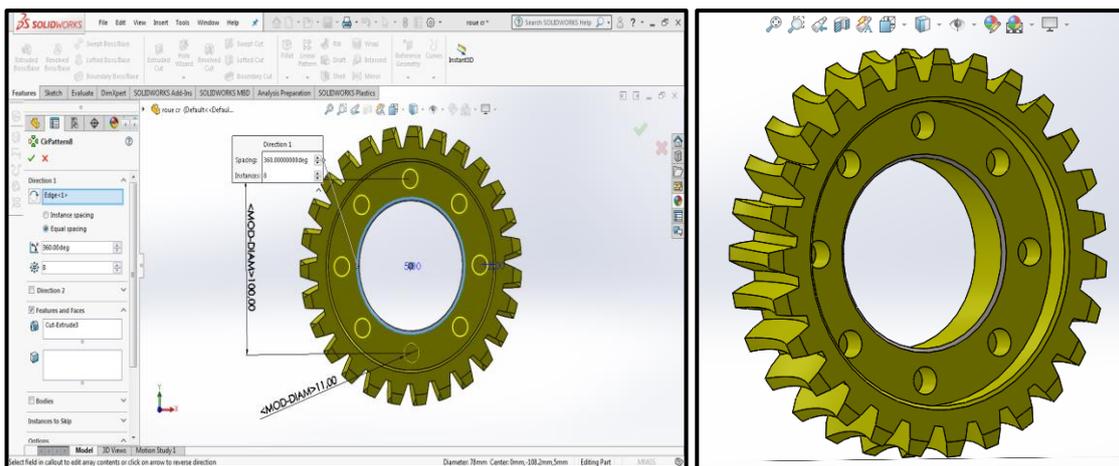


Figure. IV. 34 : Répétition circulaire

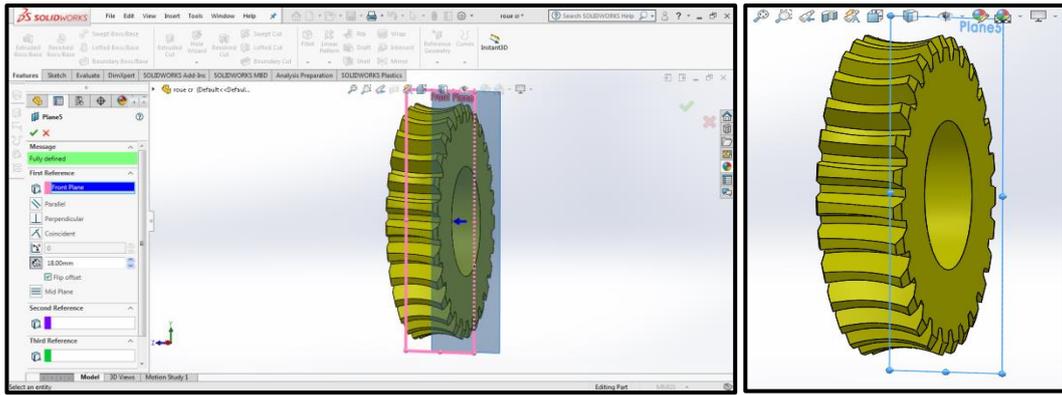


Figure. IV. 35 : Création du plan tangent à 2^{ème} surface de la roue

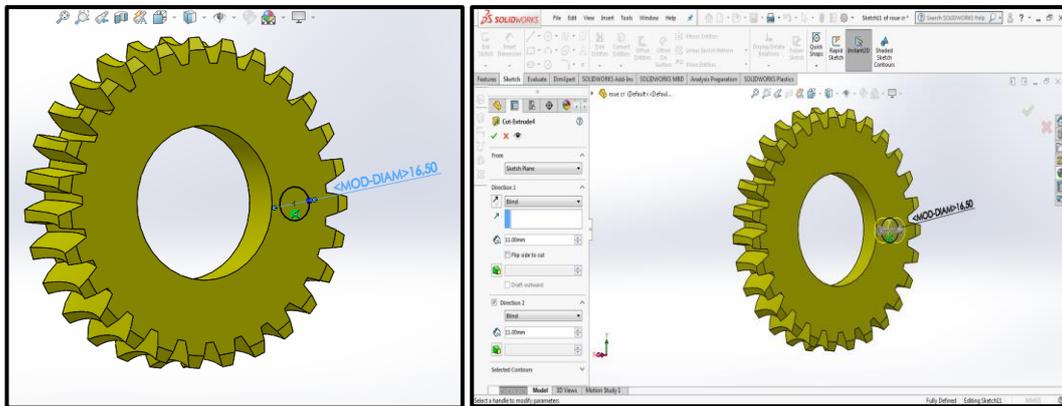


Figure. IV. 36 : Tracer un cercle de diamètre ϕ 16.5mm et enlèvement de matière extrudé

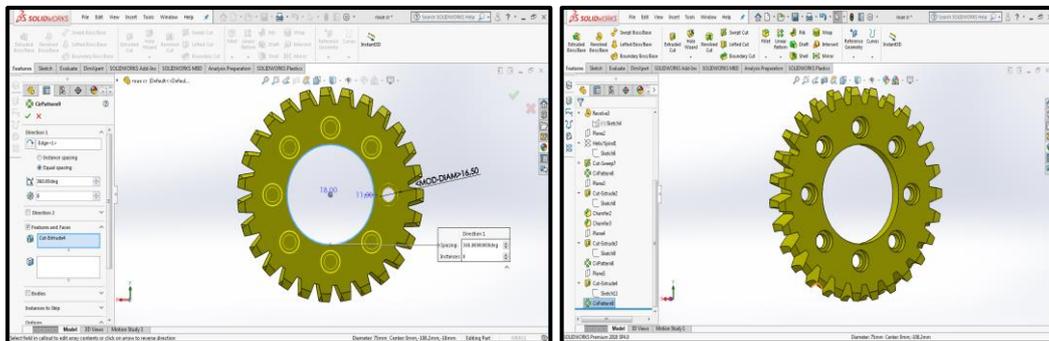


Figure. IV. 37 : Répétition circulaire

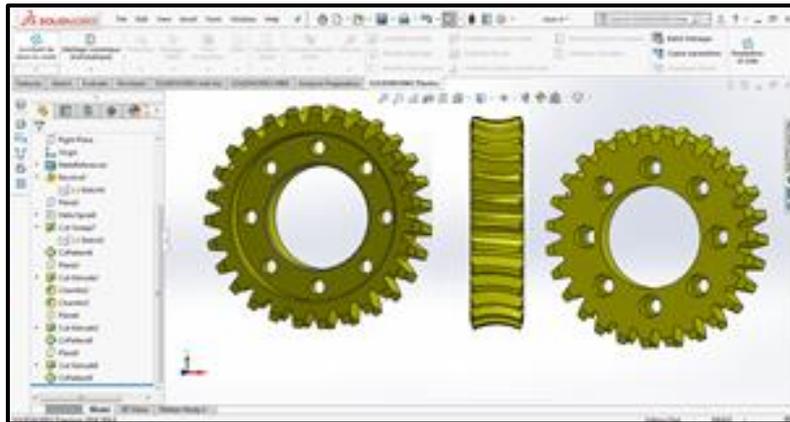
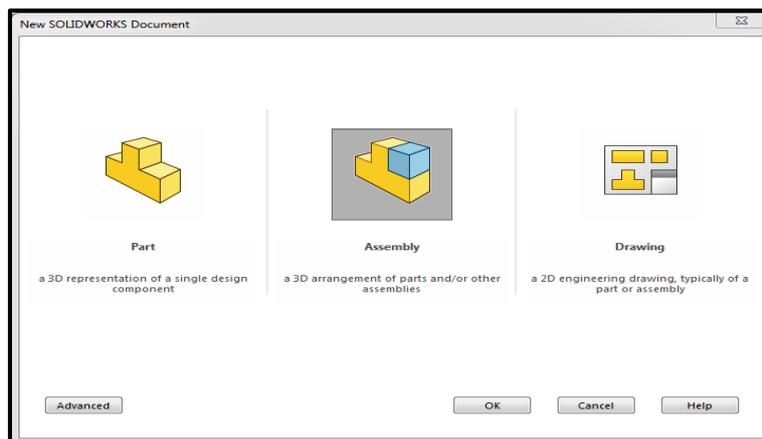


Figure. IV. 38 : Modèle 3D de la roue creuse

4.4.3 Assemblage du système roue à vis sans fin

Lors de l'ouverture de SolidWorks, cliquer sur nouveau document, sélectionner Assemblage puis click Ok.



Une boite de dialogue ouvert pour insérer les parties d'assemblage :

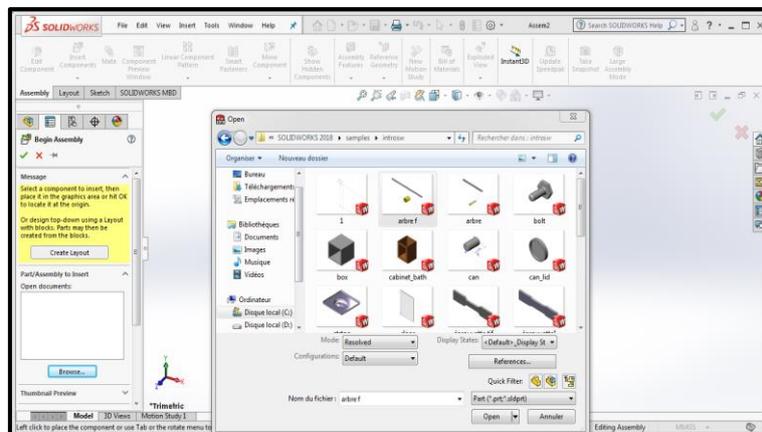


Figure. IV. 39 : Insérer les parties d'assemblage

Premièrement sélectionner les deux arbres l'un de la vis et l'autre de la roue qui sont déjà créé sur pièce avec un entraxe de 100mm.

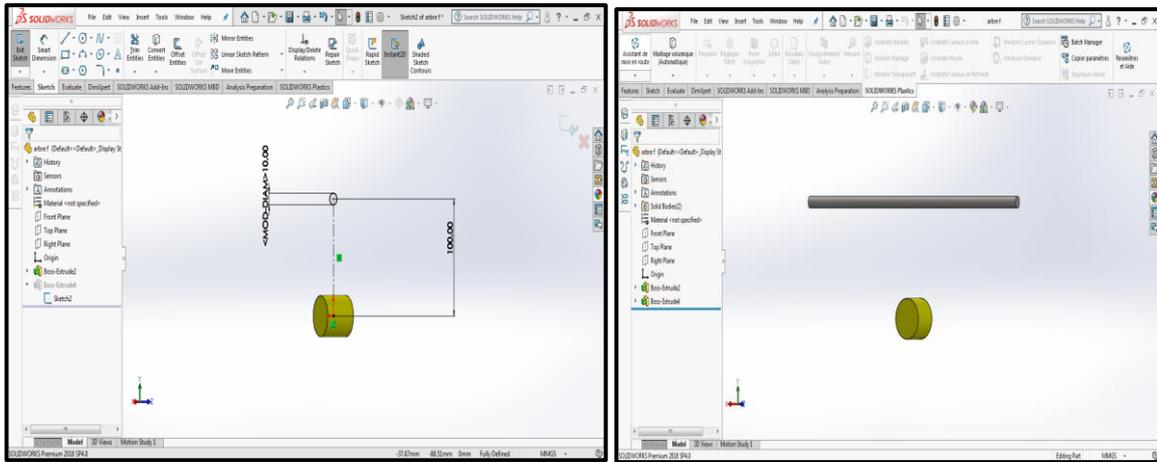
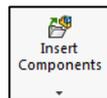


Figure. IV. 39 : Arbres pour la vis sans fin et la roue creuse

Cliquer sur l'icone d'assemblage



(insérer un composant), puis sélectionner la vis sans fin et concentrer le avec leur arbre (le plus long) (Figure. IV. 40).

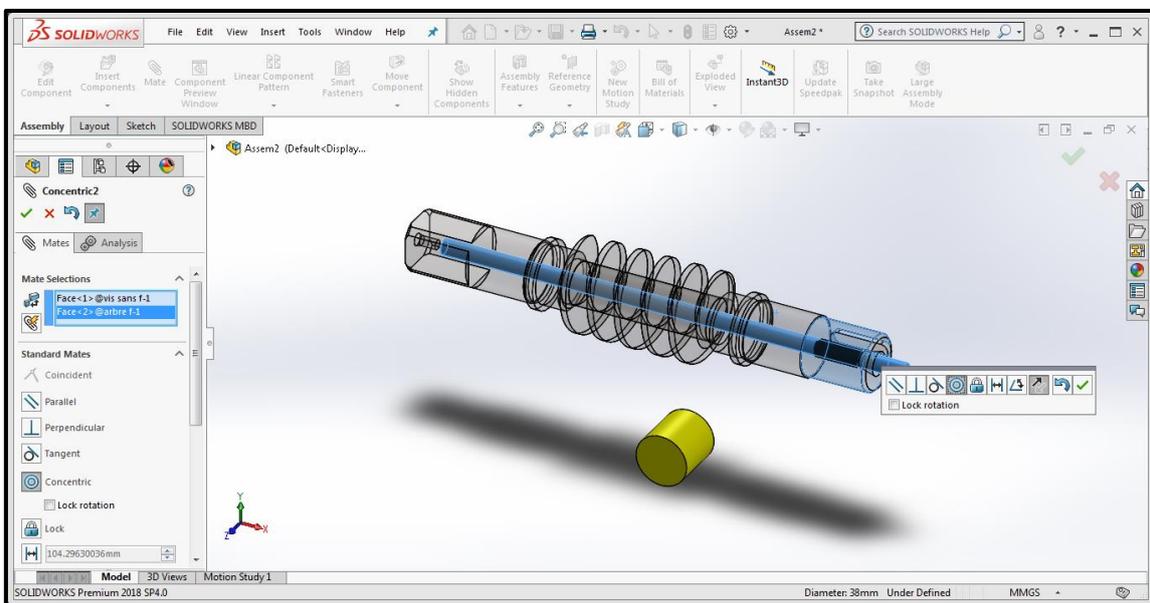


Figure. IV. 40 : Concentration de la vis sans fin avec l'arbre

Suivre les même étape pour la concentration de la roue creuse (Figure. IV. 41).

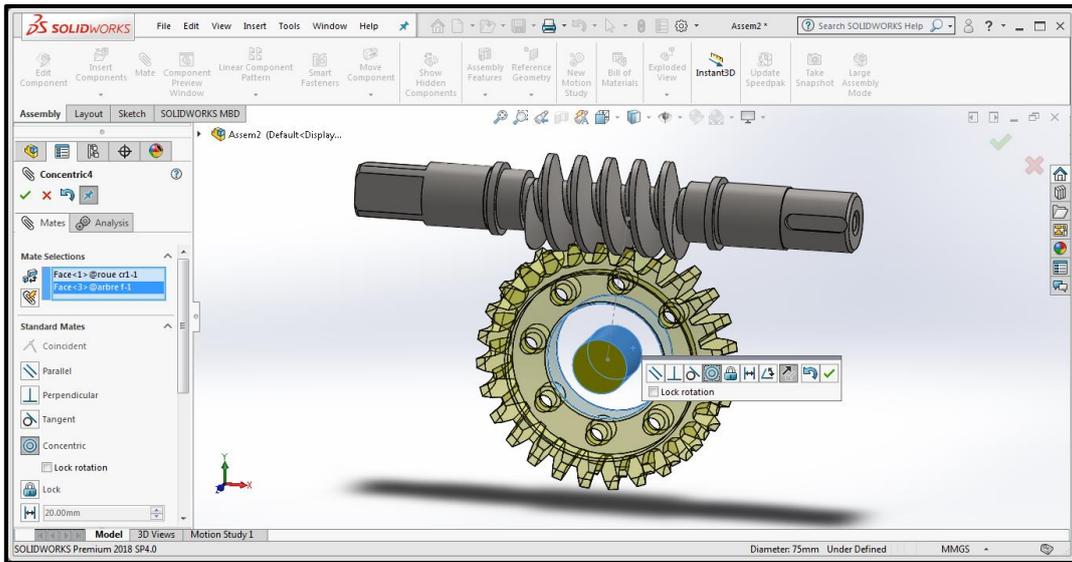


Figure. IV. 41 : Concentration de la roue creuse avec l'arbre

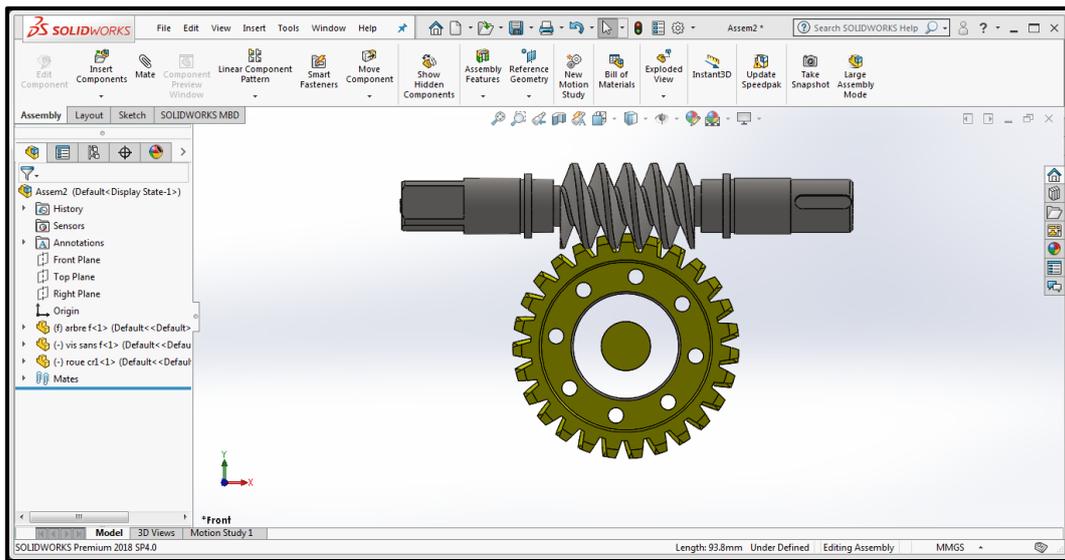


Figure.IV. 40 : Assemblage de la roue à vis sans fin

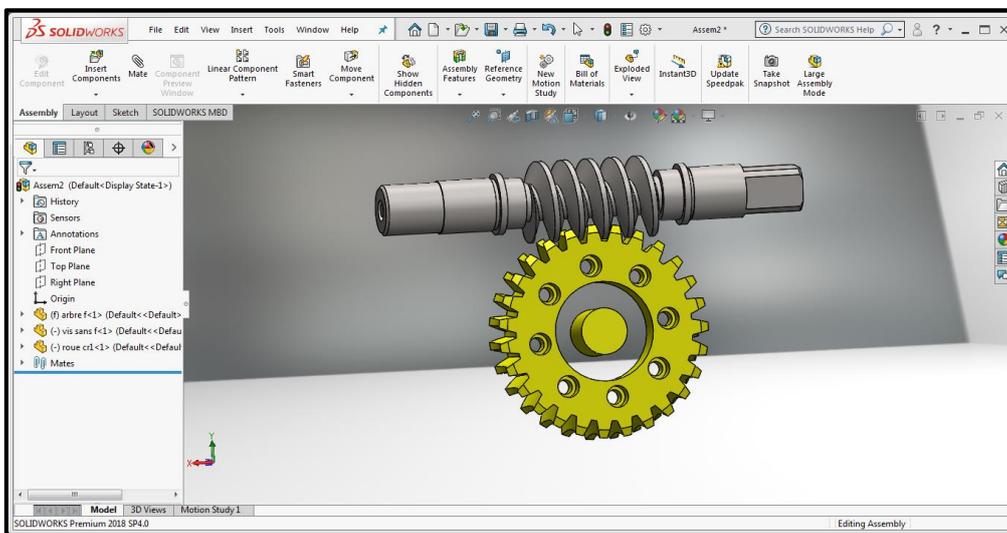
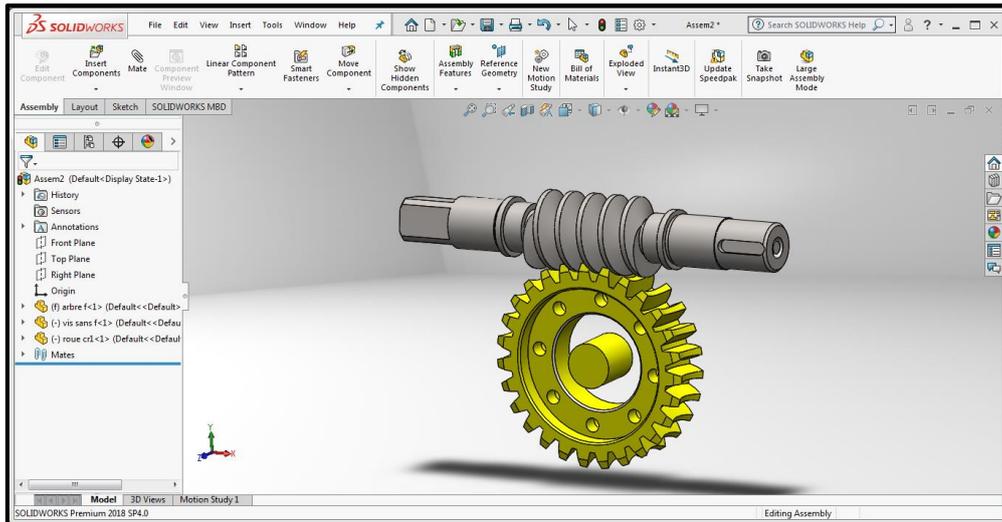


Figure.IV. 41 : Modèle 3D du mécanisme roue et vis sans fin

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons montré les étapes de conception pour chaque géométrie (cercle, arc,..) afin d'utiliser les différentes fonctions géométriques de l'application SolidWorks, qui nous ont permis d'appliquer nos connaissances acquises et d'apprendre les fonctions les plus avancées.

CONCLUSION

L'amélioration de la productivité en usinage nécessite un contrôle rigoureux du processus de coupe.

Mon stage pratique au niveau des AMM m'a permis de mettre en évidence mes connaissances acquises à l'université. Ce travail décrit la méthodologie d'élaboration de la gamme d'usinage de la vis sans fin. Néanmoins, Nous avons utilisé le logiciel de conception tel que le solidworks. Cette approche est aujourd'hui facilement dans la fabrication mécanique compte tenu du développement spectaculaire des moyens informatiques. L'intérêt de l'optimisation des conditions de coupe réside dans l'amélioration de certains paramètres technologiques ou techno-économiques d'usinage (prix de revient des pièces usinées, temps de production, productivité, état de surface,...etc.). On a changé le type de production et nous avons discuté la complexité des phénomènes qui régissent un processus d'usinage en fabrication mécanique qui fait intervenir un champ de connaissances pluridisciplinaire pour circonscrire la prédiction de la qualité d'une opération de coupe et l'élaboration de la gamme d'usinage. Par conséquent, la gestion optimale d'un processus d'usinage nécessite l'usage d'outils adaptés et fiables.

Liste des Références

- [1] Thierry GUERTIN, Mesure expérimentale de l'erreur de transmission cinématique d'engrenages spiro-coniques et hypoïdes, Université Laval, 1999, pp 1-2.
- [2] M. Mansouri, « Construction Mécanique », Edition , 04/2004, Annaba, Algérie.
H. ROLOFF; W.MATEK: Maschinenelemente. Vieweg Verlag (1994)
M. SZWARCMAN: Eléments de machines. Editions lavoisier (1983)
G. HENRIOT: Traité théorique et pratique des engrenages. Tome 1. Editions Dunod. (1979).
G. KOHLER ; H. ROGNIZ: Maschinenteile. Teil 2. B. G. Teubner Verlag (1989).
- [3] Cours des engrenages/Michel Delaboure
<https://plus.google.com/108095064783806447294>
<http://www.cours-et-exercices.com/2016/03/cours-des-engrenages.html>[14/02/2019 16:42:50]
- [4] Cours de Département GMP – Transmission par Engrenages / IUT-Mantes en Yvelines :
Tire par le moteur de recherche « Google » consulté le 19/04/2014
<http://www.e.campus.uvsq.fr/claroline/backends/download.php?url=L0NvbnN0cnVjdGlvbl9t6WNhbmlxdWUvQzJfLV9FbmdyZW5hZ2ZzLnBkZg%3D%3D&cidReset=true&cidReq=DPEMC>
- [5] H. Longeot et L. Jourdan, «Construction industrielle,» *Edition Dunod*, 1982.
- [6] G. HENRIOT, Traité théorique et pratique des engrenages, tome 1, Dunod, 1979, Paris, France.
- [7] R. LEBORZEC, Etude générale de l'engrenage, (polycopie de cours), ENSAM, 1989, Lille, France.
- [8] <http://www.tandwiel.info/algemene-werktuigbouwkunde/assen/>
- [9] Chaabane ROUBA, mémoire « Modélisation de l'influence de la variation du jeu fonctionnel sur le fonctionnement du couple conique de la boîte à vitesses tw55.4 », Université de Constantine 2012
- [10] <http://joho.monsite.orange.fr/pdf> - Engrenages à Roue et Vis sans Fin : ce site a été consulté le 14/04/2014
- [11] <http://76.74.128.40/~sti2d568/flsi/files/article/2191/ETUDE-RAPIDE-des-ENGRENAGES.pdf> .ce site a été consulté 25/04/2014

[12] www.mitcalc.com : ce site a été consulté le 14/04/2014

[13] Cours des Engrenages – Transmission de puissance, transformation de mouvement
-Lycée Sud Médoc – 33320 Le Taillan-Médoc

Tire par le moteur de recherche « Google » consulté le 25/04/2014

<http://www.google.dz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CEUQFjAF&url=http%3A%2F%2Fnajibac.yolasite.com%2Fresources%2FBac%2520cours%2520sciences%2520ingenieur%2520SM%2520B%2520engrenage%2520Najib.pdf&ei=6hRqU5PeJbDb7AbujoCYBg&usg=AFQjCNE4ydt1ZAfDS1Pe82yfiuq3RzQ53g&bvm=bv.66111022,d.ZGU>

C2- engrenage La plupart des images sont issues du Guide des Sciences et Technologie industrielles chez Afnor / Nathan

[14] MAZA Makhlouf, MOUSSI Zoher, mémoire « CFAO d'un système roue et vis sans fin »
Université de Bejaïa 2013/1014

[15] <https://fr.scribd.com/document/368650345/BEC4841-defauts-dentures-pdf>

[16] A. Chevalier et J. Lecrinier, «Guide de dessinateur industriel, Edition 2004,» *Hachette technique*, 2004.

[17] <http://www.sarl-dassonville.com/différents-type-de-roue-et-vis-sans-fin/>

[18] <http://dessineux.pam.free.fr/Blog->

[Pages/LesengrenagesRouetVissansfin_100A9/EngrRoueVisIrrCor_thumb.png](http://dessineux.pam.free.fr/Blog-Pages/LesengrenagesRouetVissansfin_100A9/EngrRoueVisIrrCor_thumb.png)

[19] GORDON JE. : Structure et Matériaux. L'explication mécanique des formes. Pour La Science Diffusion Belin, 1994, 213p. Aciers d'usage général et aciers au carbone | C 45 E (XC 48).

[20] THYSSEN ACIERS SPECIAUX. S. A, "Fiches techniques".Aciers _a outil.

[21] [Les_conditions_de_coupes.pdf](#) EC d'après site AC-Lyon.

[22] [catalogue-plaquettescarbure SUNSTEEL L'OUTIL COUPANT.pdf](#)

[23] Maurizio Targhetta – Fotolia.com-Nouvelle présentation 2013 © Dunod, Paris, 2003, 2008 ISBN 978-2-10-059861-8- Fabrication par usinage Photo de couverture.

[24] Formation académique SolidWorks année 2004.