

# Sommaire

Sommaire .....	I
Liste des figures .....	V
Liste des tableaux .....	I
Listes des symboles .....	VII
Introduction.....	1

## Chapitre 1 : Engrenages

1.1. Historique.....	2
1.2. Introduction.....	2
1.3. Définition .....	3
1.4. Dentures d'engrenages.....	4
1.5. Angle de pression $\alpha$ .....	5
1.6. Profil des dents .....	5
1.7. Profil en développante de cercle .....	6
1.7.1. Ligne d'engrènement ou ligne d'action .....	6
1.7.2. Equation de la développante de cercle .....	7
1.8. Caractéristiques d'une denture, terminologie .....	7
1.9. Engrenages cylindriques à denture droite .....	8
1.9.1. Géométrie .....	8
1.9.2. Dimensions normalisées .....	8
1.9.3. Caractéristiques et formule des engrenages cylindriques à denture droite .....	10
1.10. Matériaux utilisés .....	11
1.11. Cotation d'une roue dentée .....	11
1.12. Systèmes d'engrenages cylindriques à denture droite .....	11
1.13. Engrenages cylindriques à denture hélicoïdale .....	12
1.13.1. Les domaines d'applications .....	12
1.13.2. Caractéristiques des engrenages à denture hélicoïdale .....	13
1.13.2.1. <i>Géométrie</i> .....	13
1.13.3. Caractéristiques et formule des engrenages cylindrique à denture hélicoïdale .....	14
1.13.4. Compensation de l'effort axial dans les réducteurs à engrenages hélicoïdaux .....	15
1.14. Engrenage conique ou à axes concourants.....	15
1.14.1. Principaux types.....	16
1.14.2. Caractéristiques des engrenages coniques à dentures droites .....	17
1.14.3. Principales caractéristiques des engrenages coniques .....	17
1.14.4. Dimensions normalisées.....	18
1.15. Engrenages à roue et vis sans fin.....	18
1.15.1. Principe.....	19
1.15.2. Avantages – Inconvénients.....	19
1.15.3. Caractéristiques cinématiques et géométriques.....	19
1.15.4. Différents types du système roue et vis sans fin.....	20
1.15.5. Principales caractéristiques des engrenages roues et vis sans fin.....	20
1.15.6. Dispositions constructives.....	21

1.16. Conclusion.....	22
<b>Chapitre 2 : Interface de calcul des différents paramètres d'engrenages</b>	
2.1. Introduction .....	23
2.2. Organigramme du programme .....	23
2.3. Présentation du module Gear CAD 18.2 .....	24
2.4. Fonctions principales .....	24
2.5. Représentation des différents types d'engrenages sans entraxe.....	24
2.5.1. Engrenage à denture droite.....	25
2.5.1.1. <i>Fenêtre des cases vides</i> .....	25
2.5.1.2 <i>Fenêtre de message</i> .....	26
2.5.1.3. <i>Représentation des données des engrenages droites</i> .....	26
2.5.1.4. <i>Représentation des résultats</i> .....	27
2.5.1.5. <i>Représentation la commande « annuler »</i> .....	28
2.5.2. Engrenage à denture hélicoïdale .....	28
2.5.2.1. <i>Représenter les cases vides</i> .....	28
2.5.2.2. <i>Fenêtre de message</i> .....	29
2.5.2.3. <i>Représentation des données des engrenages droits à denture hélicoïdale</i> .....	30
2.5.2.4. <i>Représentation des résultats</i> .....	30
2.5.3. Engrenage conique.....	31
2.5.3.1. <i>Fenêtre des cases vides</i> .....	31
2.5.3.2. <i>Fenêtre de message</i> .....	32
2.5.3.3. <i>Représentation des données des engrenages coniques</i> .....	32
2.5.3.4. <i>Représentation des résultats</i> .....	33
2.5.4. Engrenage vis sans fin .....	34
2.5.4.1. <i>Fenêtre des cases vides</i> .....	34
2.5.4.2. <i>Fenêtre de message</i> .....	34
2.5.4.3. <i>Représentation des données des engrenages roues et vis sans fin</i> .....	35
2.5.4.4. <i>Représentation des résultats</i> .....	35
2.5.5. Crémaillère à denture droite.....	36
2.5.5.1. <i>Fenêtre des cases vides</i> .....	36
2.5.5.2. <i>Fenêtre de message</i> .....	37
2.5.5.3. <i>Représentation des données des crémaillères à denture droite</i> .....	37
2.5.5.4. <i>Représentation des résultats</i> .....	38
2.5.6. Crémaillères à denture hélio-oblique .....	39
2.5.6.1. <i>Fenêtre des cases vides</i> .....	39
2.5.6.2. <i>Fenêtre de message</i> .....	39
2.5.6.3. <i>Représentation des données des crémaillères à denture hélio-oblique</i> .....	40
2.5.6.4. <i>Représentation des résultats</i> .....	40
2.6. Représentation des différents types des engrenages avec entraxe .....	41
2.6.1. Engrenage à denture droite.....	42
2.6.1.1. <i>Fenêtre des cases vides</i> .....	42
2.6.1.2. <i>Fenêtre de message</i> .....	43
2.6.1.3. <i>Représentation des données des engrenages droits</i> .....	43
2.6.1.4. <i>Représentation des résultats</i> .....	44
2.6.2. Engrenage à denture hélicoïdale .....	45
2.6.2.1. <i>Représentation des cases vides</i> .....	45
2.6.2.2. <i>Fenêtre de message</i> .....	45
2.6.2.3. <i>Représentation des données des engrenages droits à denture hélicoïdale</i> .....	46
2.6.2.4. <i>Représentation des résultats</i> .....	46
2.6.3. Engrenages roues et vis sans fin .....	47

2.6.3.1. Fenêtre des cases vides .....	47
2.6.3.2. Fenêtre de message .....	48
2.6.3.3. Représentation des données sur les engrenages roues et vis sans fin .....	48
2.6.3.4. Représentation des résultats .....	49
2.7. Contrôle avec pied module .....	50
2.7.1. Fenêtre des cases vides .....	50
2.7.2. Fenêtre de message .....	50
2.7.3. Représentation des données de contrôle .....	51
2.7.4. Représentation des résultats .....	51
2.8. Contrôle avec micromètre à plateaux .....	52
2.8.1. Représentation des résultats .....	52
2.9. Choix fraise module.....	53
2.9.1. Fenêtre des cases vides .....	53
2.9.2. Fenêtre de message .....	54
2.9.3. Représentation des données pour choisir fraise module .....	54
2.9.4. Représentation des résultats .....	55
Conclusion .....	56
Références bibliographiques .....	57

# Lise des figures

<b>Figure 1.1</b>	: Dessin représente des mécanismes par léonard de vinci .....	2
<b>Figure 1.2</b>	: Type d'engrenement .....	3
<b>Figure 1.3</b>	: Différents types d'engrenages .....	4
<b>Figure 1.4</b>	: Les types de dentures .....	4
<b>Figure 1.5</b>	: Angle de pression .....	5
<b>Figure 1.6</b>	: Profil d'une dent en comparaison avec une droite et un arc de cercle .....	5
<b>Figure 1.7</b>	: Développante de cercle .....	6
<b>Figure 1.8</b>	: Approche et retraite dans un couple d'engrenage .....	6
<b>Figure 1.9</b>	: Paramétrage de la développante de cercle .....	7
<b>Figure 1.10</b>	: Caractéristiques d'une denture .....	7
<b>Figure 1.11</b>	: Engrenages cylindriques à denture droite .....	8
<b>Figure 1.12</b>	: Les différents cylindres de roue dentée .....	8
<b>Figure 1.13</b>	: Exemple de module .....	9
<b>Figure 1.14</b>	: Cotation et caractéristiques d'une roue dentée .....	11
<b>Figure 1.15</b>	: Différents engrenages cylindrique à denture droite .....	11
<b>Figure 1.16</b>	: Engrenages cylindrique à denture hélicoïdale .....	12
<b>Figure 1.17</b>	: Boite à vitesse automobile .....	13
<b>Figure 1.18</b>	: Caractéristiques des engrenages à denture hélicoïdale .....	13
<b>Figure 1.19</b>	: Roue à chevron .....	15
<b>Figure 1.20</b>	: Roue à denture inversée accolées .....	15
<b>Figure 1.21</b>	: Engrenage conique ou à axes concourants .....	15
<b>Figure 1.22</b>	: Engrenages coniques à denture droite .....	16
<b>Figure 1.23</b>	: Engrenages coniques à denture hélicoïdale ou spirale .....	16
<b>Figure 1.24</b>	: Offset E pour l'engrenage hypoïde .....	16
<b>Figure 1.25</b>	: Principaux paramètres des roues coniques .....	18
<b>Figure 1.26</b>	: Principaux engrenages roue et vis .....	18
<b>Figure 1.27</b>	: Engrenages gauche hélicoïdale .....	19
<b>Figure 1.28</b>	: Principaux paramètres du système roue et vis .....	20
<b>Figure 1.29</b>	: Différents types du système roue et vis sans fin .....	20
<b>Figure 1.30</b>	: Solution de réglage de la roue creuse .....	22
<b>Figure 2.1</b>	: Organigramme général du module .....	23
<b>Figure 2.2</b>	: Présentation du module Gear CAD 18.2 .....	24
<b>Figure 2.3</b>	: Représentation des différents types des engrenages .....	25
<b>Figure 2.4</b>	: Représentation des cases vides .....	25
<b>Figure 2.5</b>	: Affichage du message .....	26
<b>Figure 2.6</b>	: Données des engrenages cylindriques à dentures droites .....	27
<b>Figure 2.7</b>	: Calcul des résultats des engrenages cylindriques droites .....	27
<b>Figure 2.8</b>	: Commande annuler .....	28

---

<b>Figure 2.9 :</b> Représentation une fenêtre contient des cases vides .....	<b>29</b>
<b>Figure 2.10 :</b> Affichage du message.....	<b>29</b>
<b>Figure 2.11 :</b> Données des engrenages droits à denture hélicoïdale .....	<b>30</b>
<b>Figure 2.12 :</b> Calcul des résultats des engrenages doits à denture hélicoïdale .....	<b>31</b>
<b>Figure 2.13 :</b> Représentation une fenêtre contient des cases vides .....	<b>31</b>
<b>Figure 2.14 :</b> Affichage du message.....	<b>32</b>
<b>Figure 2.15 :</b> Données des engrenages coniques .....	<b>33</b>
<b>Figure 2.16 :</b> Calcul des résultats des engrenages coniques .....	<b>33</b>
<b>Figure 2.17 :</b> Représentation une fenêtre contient des cases vides .....	<b>34</b>
<b>Figure 2.18 :</b> Affichage de message.....	<b>34</b>
<b>Figure 2.19 :</b> Données des engrenages roues et vis sans fin.....	<b>35</b>
<b>Figure 2.20 :</b> Calcul des résultats des engrenages roues et vis sans fin .....	<b>36</b>
<b>Figure 2.21 :</b> Représentation une fenêtre contient des cases vides .....	<b>36</b>
<b>Figure 2.22 :</b> Affichage de message.....	<b>37</b>
<b>Figure 2.23 :</b> Données des crémaillères à denture droite .....	<b>38</b>
<b>Figure 2.24 :</b> Calcul des résultats des crémaillères à denture droite.....	<b>38</b>
<b>Figure 2.25 :</b> Représentation une fenêtre contient des cases vides .....	<b>39</b>
<b>Figure 2.26 :</b> Affichage de message.....	<b>39</b>
<b>Figure 2.27 :</b> Données des crémaillères à denture hélio-oblique .....	<b>40</b>
<b>Figure 2.28 :</b> Calcul des résultats des crémaillères à denture hélio-oblique .....	<b>41</b>
<b>Figure 2.29 :</b> Représentation des différents types des engrenages sans entraxe .....	<b>42</b>
<b>Figure 2.30 :</b> Fenêtre des cases vides .....	<b>42</b>
<b>Figure 2.31 :</b> Fenêtre de message.....	<b>43</b>
<b>Figure 2.32 :</b> Représentation des données des engrenages droites .....	<b>44</b>
<b>Figure 2.33 :</b> L'affichage des résultats .....	<b>44</b>
<b>Figure 2.34 :</b> Représentation des cases vides.....	<b>45</b>
<b>Figure 2.35 :</b> Fenêtre de message .....	<b>45</b>
<b>Figure 2.36 :</b> Représentation des données des engrenages à denture hélicoïdales .....	<b>46</b>
<b>Figure 2.37 :</b> Représentation des résultats des engrenages à denture hélicoïdales .....	<b>47</b>
<b>Figure 2.38 :</b> Fenêtre des cases vides .....	<b>47</b>
<b>Figure 2.39 :</b> Fenêtre de message .....	<b>48</b>
<b>Figure 2.40 :</b> Représentation des données sur les engrenages roues et vis sans fin .....	<b>49</b>
<b>Figure 2.41 :</b> Représentation des résultats.....	<b>49</b>
<b>Figure 2.42 :</b> Fenêtre des cases vides .....	<b>50</b>
<b>Figure 2.43 :</b> Fenêtre de message .....	<b>50</b>
<b>Figure 2.44 :</b> Représentation des données de contrôle .....	<b>51</b>
<b>Figure 2.45 :</b> Représentation des résultats .....	<b>52</b>
<b>Figure 2.46 :</b> Représentation des résultats.....	<b>53</b>
<b>Figure 2.47 :</b> Fenêtre des cases vides .....	<b>53</b>
<b>Figure 2.48 :</b> Fenêtre de message .....	<b>54</b>
<b>Figure 2.49 :</b> Représentation des données pour choisir fraise module.....	<b>54</b>
<b>Figure 2.50 :</b> Représentation des résultats.....	<b>55</b>

---

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau 1.1 :</b> Modules normalisés des engrenages .....	<b>9</b>
<b>Tableau 1.2 :</b> Les caractéristiques des engrenages à denture droite .....	<b>10</b>
<b>Tableau 1.3 :</b> Les caractéristiques des engrenages cylindriques à denture hélicoïdale.....	<b>14</b>
<b>Tableau 1.4 :</b> Les caractéristiques des engrenages coniques.....	<b>17</b>
<b>Tableau 1.5 :</b> Les caractéristiques des engrenages roues et vis sans fin .....	<b>21</b>

## Liste des symboles

<b>a</b>	entraxe normal, ou de taillage	<b>m</b>	module
<b>a'</b>	entraxe de fonctionnement	<b>mo</b>	module d'outil
<b>b1</b>	largeur de denture du pignon	<b>m'</b>	module de fonctionnement
<b>b2</b>	largeur de denture de la roue	<b>mn</b>	module réel
<b>d</b>	diamètre primitif de taillage	<b>mt'</b>	module apparent de fonctionnement
<b>r</b>	rayon primitif de taillage	<b>mx</b>	module axial
<b>d'</b>	diamètre primitif de fonctionnement	<b>p</b>	pas (primitif)
<b>r'</b>	rayon primitif de fonctionnement	<b>po</b>	pas d'outil
<b>da</b>	diamètre de tête	<b>pb</b>	pas de base
<b>ra</b>	rayon de tête	<b>pt</b>	pas apparent (primitif)
<b>df</b>	diamètre de pied	<b>pn</b>	pas réel (primitif)
<b>rf</b>	rayon de pied	<b>pbt</b>	pas de base apparent
<b>db</b>	diamètre de base	<b>pbn</b>	pas de base réel
<b>rb</b>	rayon de base	<b>px</b>	pas axial
<b>e</b>	intervalle	<b>pz</b>	pas hélicoïdal
<b>et</b>	intervalle apparent	<b>rinv</b>	rayon du point limite de la développante.
<b>en</b>	intervalle réel	<b>rA</b>	rayon actif de pied
<b>gf</b>	longueur d'approche	<b>b</b>	épaisseur
<b>ga</b>	longueur de retraite	<b>b'</b>	épaisseur à la corde
<b>ga</b>	longueur d'action	<b>sa</b>	épaisseur de tête
<b>gb</b>	longueur de recouvrement	<b>sf</b>	épaisseur de pied
<b>h</b>	hauteur de dent	<b>st, sn</b>	épaisseur apparente, réelle
<b>ha</b>	saillie	<b>sc</b>	corde constante
<b>ha</b>	saillie à la corde	<b>so</b>	épaisseur d'outil
<b>hf</b>	creux	<b>v</b>	vitesse
<b>hc</b>	saillie à la corde constante	<b>vg</b>	vitesse de glissement
<b>jn</b>	jeu réel	<b>vr</b>	vitesse de roulement

## **Introduction générale**

Les engrenages sont les composantes mécaniques les plus utilisées lors de la transmission du mouvement et de la puissance. Ils sont définis par plusieurs paramètres interdépendants.

Vu la complexité des formules utilisées lors de la conception, le calcul manuel des caractéristiques des engrenages nécessite un temps considérable.

Ce travail a pour but de développer un module d'aide au calcul des paramètres des différents types d'engrenages.

L'écriture du programme a été faite en Visual Basic 6.0 en logique séquentielle sous un environnement Windows. L'avantage de cette programmation est son intégration ou son utilisation comme module dans les logiciels Catia et Solidworks dans ses différentes versions.

Afin d'atteindre notre objectif ; Deux chapitres ont été développés :

Le premier chapitre est consacré aux différents types d'engrenages tels que l'engrenage à denture droite, hélicoïdale ; conique et roue avec vis sans fin.

Le deuxième chapitre est consacré à une présentation de l'outil développé.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale et perspective.

## Chapitre 1

## Engrenages

### 1.1. Historique

L'histoire des engrenages commence dans les civilisations antiques, avec les roues de friction. Cependant, c'est seulement dans la période de la Renaissance que les mathématiciens ont commencé à appliquer les principes géométriques pour déterminer le meilleur profil de la dent d'engrenage. La conception d'un engrenage comprend des calculs mathématiques, l'aspect géométrique, la détérioration, les matériaux, la fabrication et la vérification. Parmi tous ces paramètres, il est essentiel de connaître avec précision les contraintes se trouvant dans la dent d'engrenage pour prévenir certains risques de rupture. Par conséquent, plusieurs méthodes théoriques et expérimentales ont été développées, à partir de la fin du XIXème siècle ; la figure 1.1 montre un dessin des mécanismes par Léonard de Vinci.

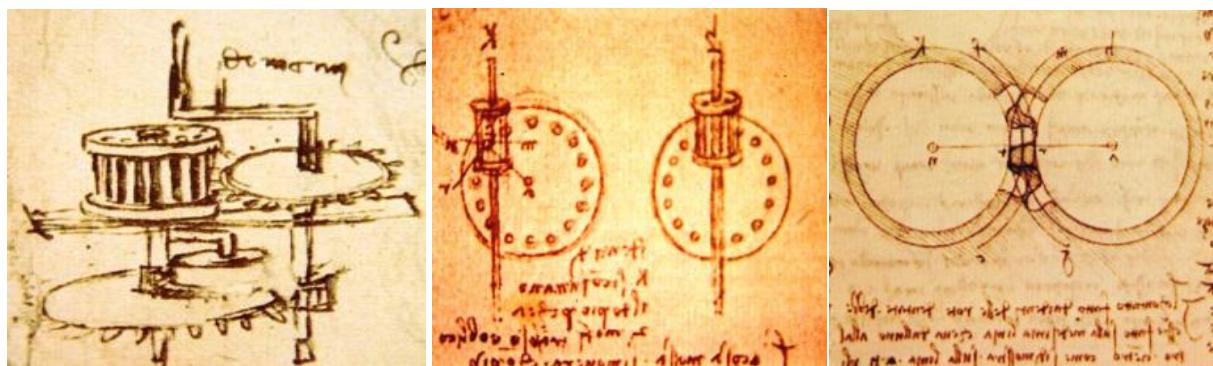


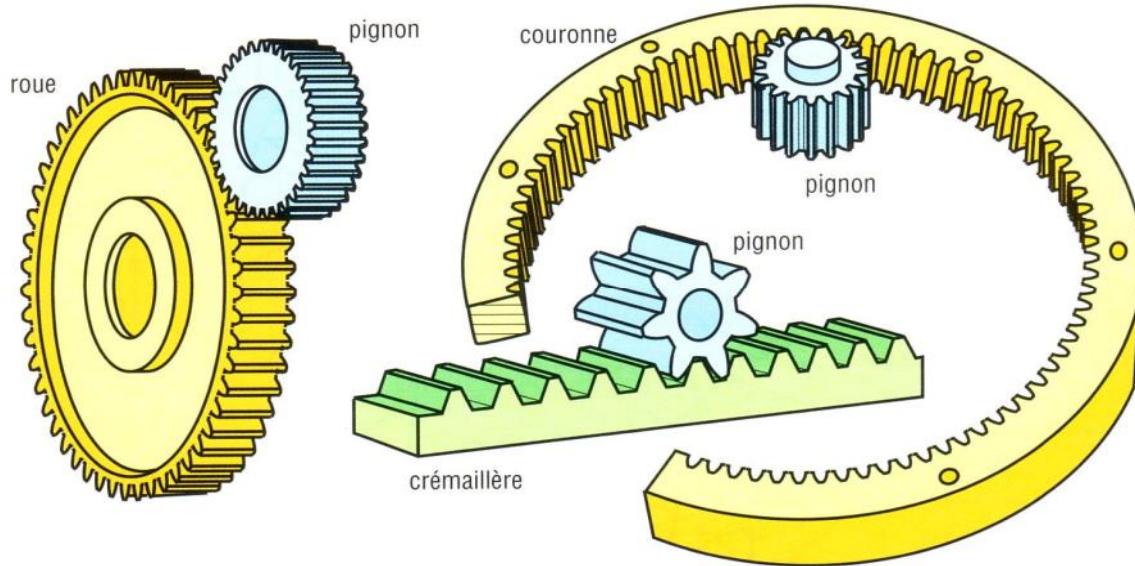
Figure 1.1 : Dessin représentant des mécanismes par Léonard de Vinci [1].

### 1.2. Introduction

Les engrenages sont utilisés comme moyen de transmission de puissance dans les boîtes de vitesses et d'avances des machines où ils réalisent les vitesses, les couples et les sens de rotation des éléments de machines. Ces transmissions peuvent être simples ou composées. Ces engrenages doivent réaliser des rapports de transmission qui sont égaux au rapport des nombres de dents des roues qui constituent la chaîne cinématique. L'engrènement est un phénomène connu depuis plusieurs siècles, les moulins à vent utilisaient des engrenages en bois assez perfectionnés, et les mécanismes d'horlogerie ont utilisé très tôt les roues dentées. Le développement des moteurs thermiques et électriques a provoqué un fort développement de ce type de transmission.

L'importance de l'engrenage, comme élément mécanique nécessaire et idéal, est démontrée par la vaste gamme qu'on trouve dans toutes les industries. Le développement des nouvelles technologies, comme l'électronique, a remplacé quelques applications de l'engrenage, mais il reste toujours un élément mécanique dont l'utilisation croît continuellement.

La petite roue se nomme le pignon, la grande roue extérieure s'appelle la roue, la grande roue intérieure s'appelle la couronne. L'une des roues peut avoir un rayon infini, elle s'appelle alors une crémaillère ; la figure 1.2 représente type d'engrènement.



**Figure 1.2 :** Type d'engrènement [1].

$$\text{Le rapport de transmission } R \text{ est par définition : } R = \frac{\omega \text{ entrée}}{\omega \text{ sortie}} \quad (1.1)$$

On appelle surfaces primitives, les surfaces fictives des roues de friction associées donnant la même cinématique que l'engrenage.

On distingue les différents types d'engrenages suivants :

- Les engrenages à axes parallèles à denture droite ou hélicoïdale,
- Les engrenages à axes concourants à denture droite ou hélicoïdale,
- Les engrenages à axes non concourants ou gauches (roue - vis sans fin, hypoïde, etc.)

### 1.3. Définition

Un engrenage est un mécanisme composé de deux roues dentées mobiles autour d'axes de position fixe et dont l'une entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact et on dit que les deux roues sont conjuguées. La plus petite roue est appelée pignon, la plus grande est la roue. [1] Il existe quatre types d'engrenages différents (figure 1.3).

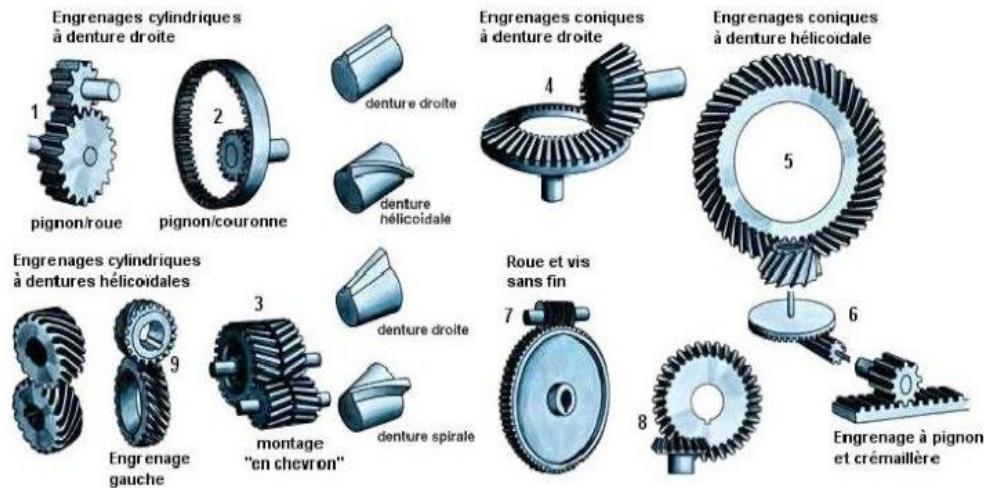


Figure 1.3 : Différents types d'engrenages [1].

#### 1.4. Dentures d'engrenages

Il existe plusieurs types de dentures, aux propriétés particulières. La quasi-totalité des formes sont dites conjuguées : pendant la rotation, les dents restent en contact dans un plan sagittal, et quand le lieu géométrique de ce point de contact est une droite, les profils des dents sont des développantes de cercle. Une exception notable est l'engrenage « Novikov », dit aussi quelque fois de « Fisher », dans lequel le contact entre deux dents se fait pendant un temps « ponctuel » tout le long du profil.

Ces dentures sont donc toujours hélicoïdales permettent de transmettre des puissances importantes avec de très bons rendements, même si le pignon n'a que peu de dents, mais exigent un positionnement rigoureux ; la figure 1.4 illustre les types de dentures.

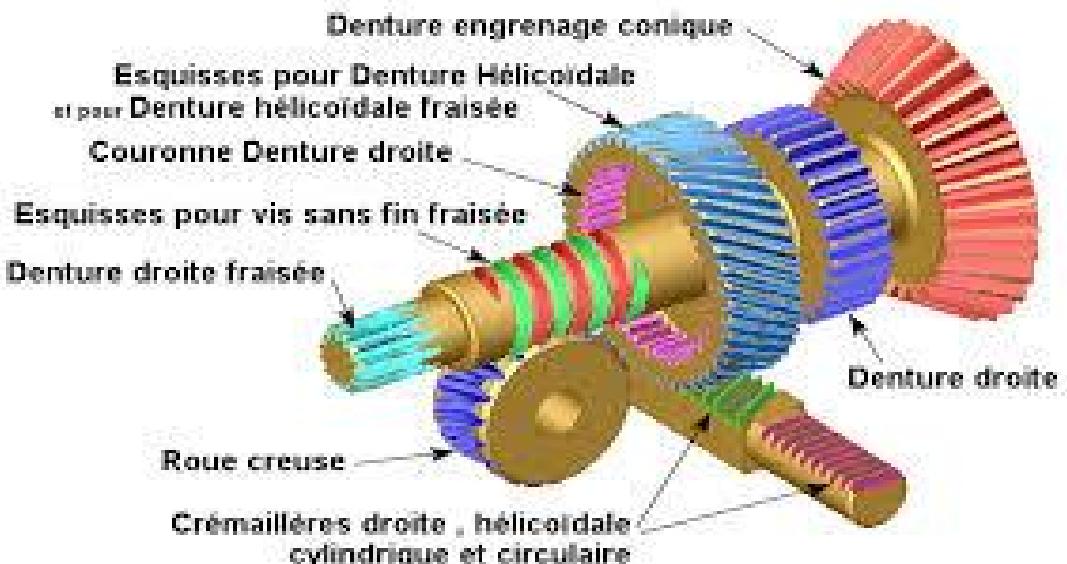
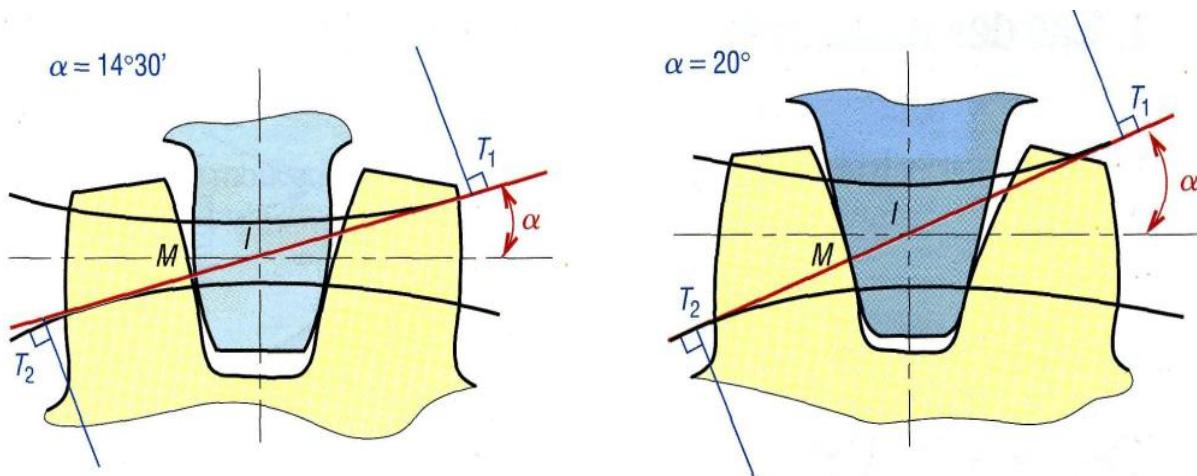


Figure 1.4 : Les types de dentures [1].

## 1.5. Angle de pression $\alpha$

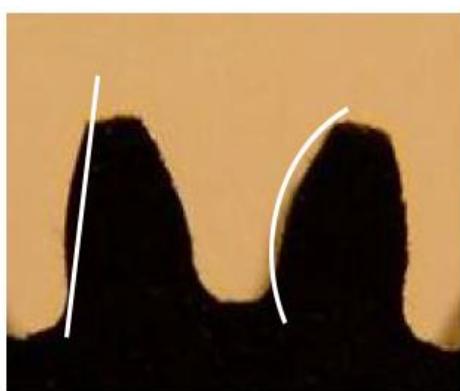
Pour une position de contact quelconque entre le pignon et la roue le long de la ligne d'engrènement, les angles de pressions respectifs  $\varnothing_r$  de la roue et  $\varnothing_p$  du pignon sont différents. Cependant, lorsque ce point de contact se fait en O (point primitif), les angles de pression deviennent égaux à  $\varnothing_c$  qui est aussi l'angle de pression de l'outil de taillage (figure 1.5).



**Figure 1.5 :** Angle de pression [5].

## 1.6. Profil des dents

Les dents doivent permettre de toujours maintenir les deux roues en contact, d'assurer une rotation continue d'une roue par rapport à l'autre et de ne pas bloquer le fonctionnement de l'engrenage. Le profil d'une dent de roue dentée n'est ni une droite ni un arc de cercle (figure 1.6).



**Figure 1.6 :** Profil d'une dent en comparaison avec une droite et un arc de cercle [1].

## 1.7. Profil en développante de cercle

La développante de cercle est donc la courbe dont les normales restent tangentes à un cercle fixe. Plus concrètement, c'est la courbe que trace une main déroulant une bobine de fil tenue dans l'autre main.

Si on considère deux cercles de base associés à deux roues d'un même engrenage, il est possible de faire rouler sans glisser une droite simultanément sur les deux cercles. De ce fait la vitesse circonférentielle des points des cercles est la même que ceux de la droite. Un point de la droite (point d'engrènement) va générer, sur les deux pignons, le flanc de dent ; la figure 1.7 représente la développante de cercle.

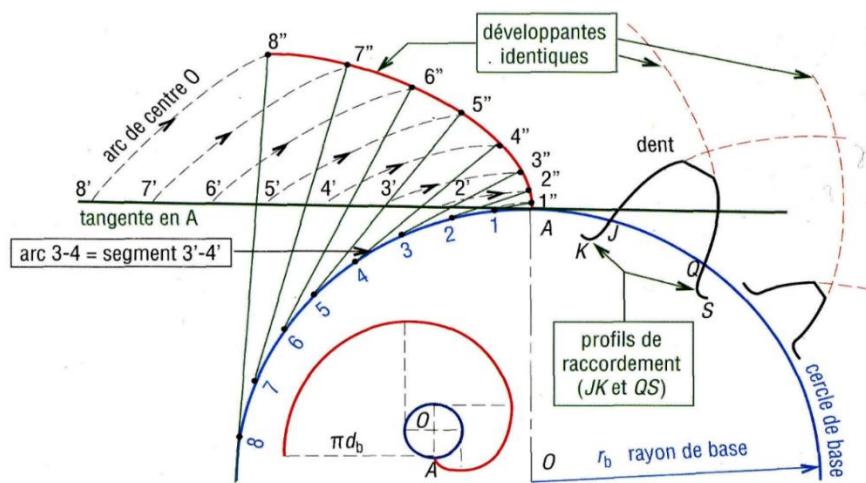


Figure 1.7 : Développante de cercle [4].

### 1.7.1. Ligne d'engrènement ou ligne d'action

L'approche se définit comme étant la phase où le point de contact C entre une paire de dents sur la ligne d'action se déplace de T1 à O, soit du début du contact jusqu'au point primitif. La retraite se définit comme étant la phase où le point de contact C entre une paire de dents sur la ligne d'engrènement se déplace de O à T2, soit du point primitif jusqu'à la fin du contact ; la figure 1.8 représente approche et retraite dans un couple d'engrenage.

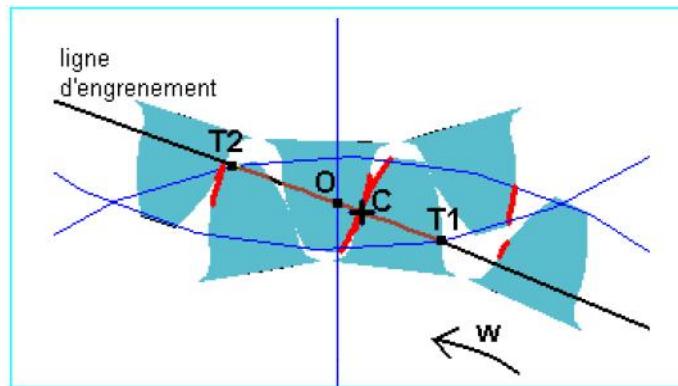


Figure 1.8 : Approche et retraite dans un couple d'engrenage [1].

### 1.7.2. Equation de la développante de cercle

Une développante de cercle est une courbe définie par l'ensemble des points M tels que, en coordonnées polaires ; la figure 1.9 montre les paramètres de la développante de cercle.

$$\overline{TM} = \text{arc}(TP) \quad (1.2)$$

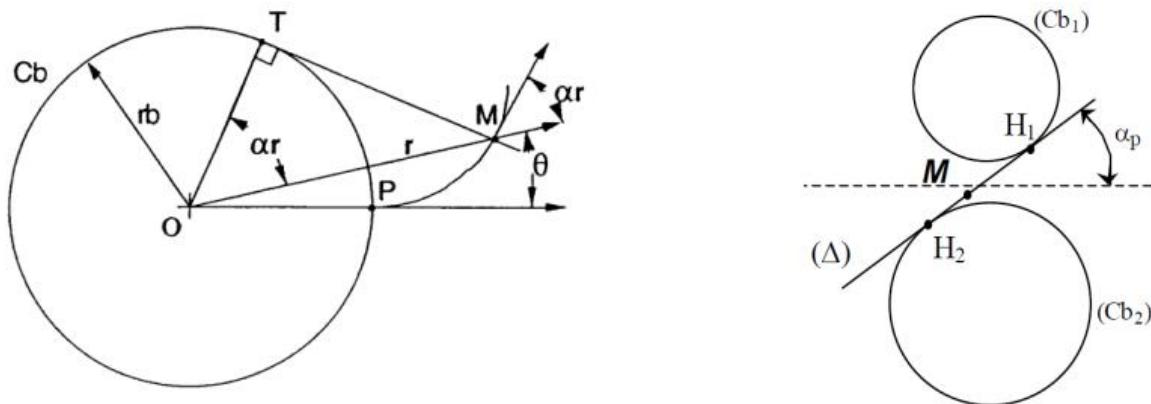
Le cercle de base  $C_b$  de rayon  $r_b$  définit la développante de cercle.

$$r_b \tan \alpha = r_b(\theta + \alpha) \quad (1.3)$$

$$p = r_b / \cos \alpha \quad (1.4)$$

$$\theta = \tan \alpha - \alpha \quad (1.5)$$

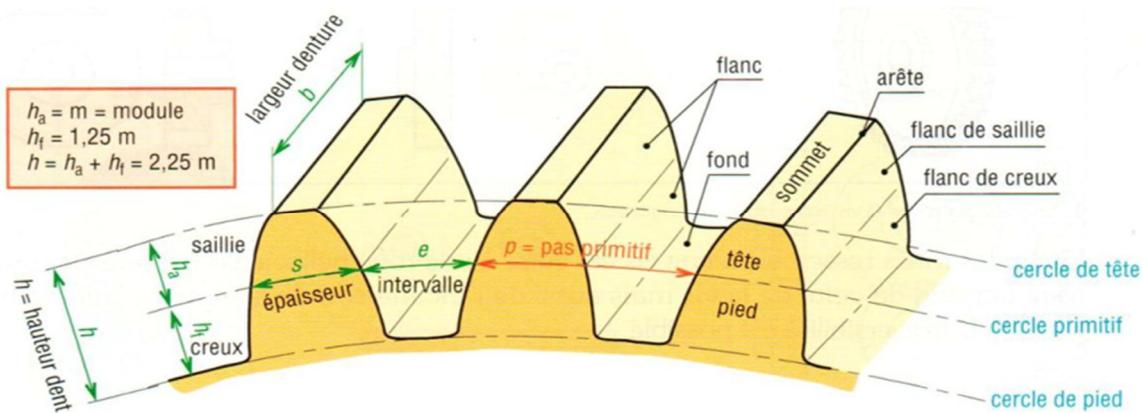
Avec :  $\theta = \text{inv} \alpha$ , et  $\text{inv} 20^\circ = 0,0149043839$



**Figure 1.9 :** Paramétrage de la développante de cercle [1].

### 1.8. Caractéristiques d'une denture, terminologie

Le cercle primitif est celui représentant le diamètre de la roue de friction (figure 1.10). Le cercle de tête est le diamètre extérieur de la roue dentée au sommet des dents, le cercle de pied est à la base des dents : cercle de tête = cercle de pied + 2 x hauteur des dents. La hauteur des dents est décomposée en un creux et une saillie, proportionnels au module.



**Figure 1.10 :** Caractéristiques d'une denture [1].

## 1.9. Engrenages cylindriques à denture droite

Ces engrenages sont les plus simples et les plus répandus, leurs surfaces primitives sont des cylindres parallèles tangents et le contact entre les dents se fait suivant une ligne droite variable parallèle aux arbres (voir figure 1.11).

Du fait de leur relative simplicité, ils sont souvent utilisés pour introduire les relations de cinématique et les définitions normalisées concernant la géométrie des engrenages.

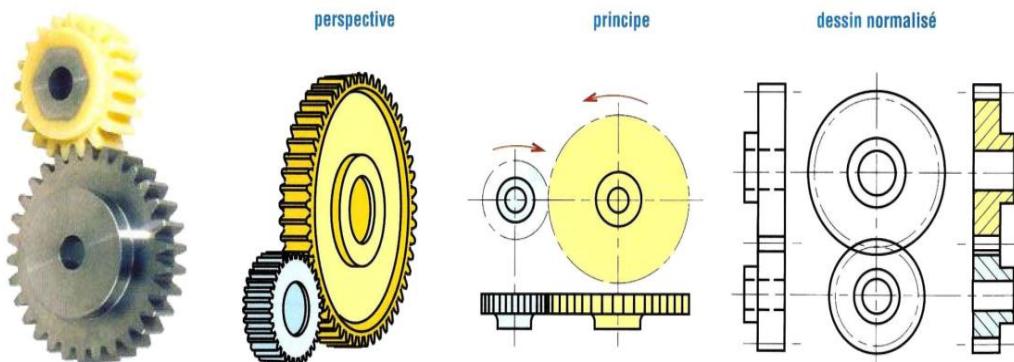


Figure 1.11 : Engrenages cylindriques à denture droite [1].

### 1.9.1. Géométrie

Les engrenages cylindriques à denture droite portent plusieurs cylindres sont (voir figure 1.12) :

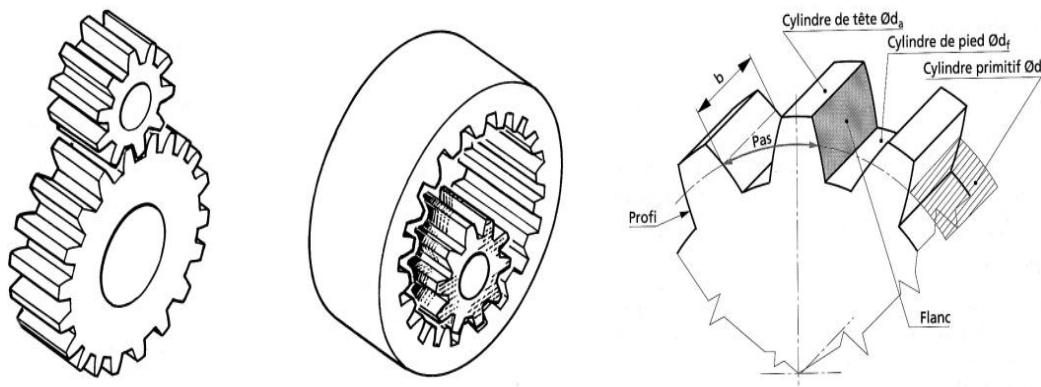


Figure 1.12 : Les différents cylindres de roue dentée [1].

### 1.9.2. Dimensions normalisées

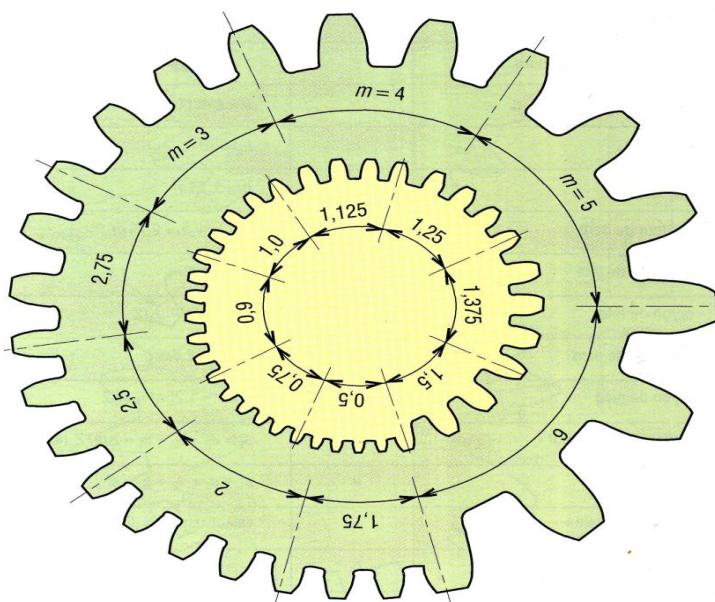
Deux valeurs permettent de définir les roues dentées :

#### - Le module m

Le module, désigné généralement par  $m$ , est une caractéristique importante des engrenages qui représente la dimension des dents. Il est égal au nombre de <mm> de diamètre primitif par dent. Pour qu'il y ait engrènement correct entre un pignon et une roue, il est nécessaire que leurs modules soient les mêmes (voir Tableau 1.1, et figure 1.13).

**Tableau 1.1 : Modules normalisés des engrenages [5].**

Valeurs normalisées du module m									
Valeurs principales en mm					Valeurs secondaires en mm				
<b>0.06</b>	<b>0.25</b>	<b>1.25</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>0.07</b>	<b>0.28</b>	<b>1.125</b>	<b>5.5</b>	<b>22</b>
<b>0.08</b>	<b>0.30</b>	<b>1.5</b>	<b>6</b>	<b>25</b>	<b>0.09</b>	<b>0.35</b>	<b>1.375</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>0.1</b>	<b>0.40</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>32</b>	<b>0.11</b>	<b>0.45</b>	<b>1.75</b>	<b>9</b>	<b>36</b>
<b>0.12</b>	<b>0.5</b>	<b>2.5</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>0.14</b>	<b>0.55</b>	<b>2.75</b>	<b>11</b>	<b>45</b>
<b>0.15</b>	<b>0.75</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>50</b>	<b>0.18</b>	<b>0.7</b>	<b>3.5</b>	<b>14</b>	<b>55</b>
<b>0.2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>60</b>	<b>0.22</b>	<b>0.9</b>	<b>4.5</b>	<b>18</b>	<b>70</b>

**Figure 1.13 : Exemple de module [5].**

La relation (voir élément de machines) permettant un calcul de ce module est :

$$m \geq 2.34 \sqrt{\frac{T}{K * R_{pe}}} \quad (1.6)$$

Avec :

R<sub>pe</sub> dépend du matériau utilisé ;

T : effort tangentiel sur la dent ;

k : coefficient de largeur de denture ;

R<sub>pe</sub> : résistance pratique à l'extension ;

Le nombre de dents Z de chaque roue dentée permettant de définir le rapport des vitesses r de l'engrenage.

### 1.9.3. Caractéristiques et formule des engrenages cylindriques à denture droite

Le tableau 1.2 représente les caractéristiques et formule des engrenages cylindriques à denture droite.

**Tableau 1.2 : Caractéristiques des engrenages à denture droite [5].**

Caractéristiques et formules des engrenages droits à denture droite		
caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \approx 0,1n$ (unités : rad/s)
nombre de tours par minute	$n$	$n_1$ (roue 1) et $n_2$ (roue 2)
module	$m$	valeurs normalisées (tableau des modules)
pas primitif	$p$	$p = \pi m = 3,14159 m$ ( $p = p_1 = p_2$ )
nombre de dents	$Z$	$Z_1$ (roue 1) et $Z_2$ (roue 2)
rayon primitif	$r$	$r_1$ (roue 1) et $r_2$ (roue 2) ; $r = d/2$
diamètre primitif	$d$	$d_1 = mZ_1$ et $d_2 = mZ_2$
entraxe entre les 2 roues	$a$	$a = r_1 + r_2 = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$
largeur de la dent	$b$	$b = k.m$ ( $7 \leq k \leq 12$ )
saillie	$h_a$	$h_a = m$
creux	$h_f$	$h_f = 1,25m$
hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f = 2,25m$
diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2m$
rayon de tête	$r_a$	$r_a = r + m = d_a/2$
diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5m$
rayon de pied	$r_f$	$r_f = r - 1,25m = d_f/2$
épaisseur de la dent	$s$	$s_1 = s_2 = s_2 = \theta_1 = \pi m/2$ (avec jeu nul)
intervalle	$e$	$s_1 + e_1 = s_2 + e_2 = p$
angle de pression	$\alpha$	valeur usuelle : $\alpha = 20^\circ$
rayon de base	$r_b$	$r_b = d_b/2$
diamètre de base	$d_b$	$d_b = d \cos \alpha$
pas de base	$p_b$	$p_b = p \cos \alpha$

★ Inconvénient de ce type de l'engrenage

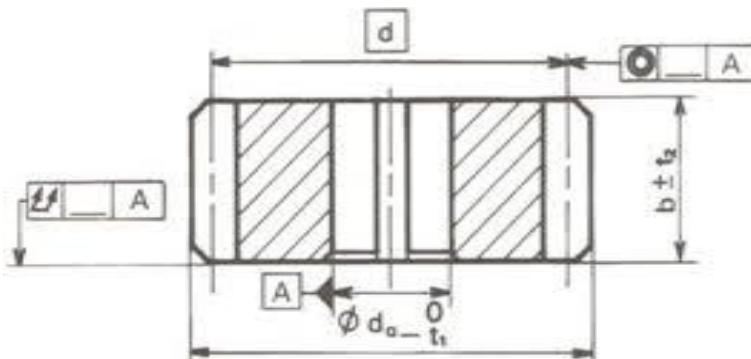
Durant l'engrènement, les dents en prise fléchissent de plus leur nombre varie (2-3), ce qui engendre du bruit et des vibrations.

### 1.10. Matériaux utilisés

- Fonte à graphite sphéroïdal EN-GJS (ex « FGS ») : Roues des grandes dimensions.
- Aciers ordinaires type C : Engrenages peu chargés.
- Matières plastiques : Nylon, Téflon.

### 1.11. Cotation d'une roue dentée

Sur le dessin ci-contre figurent les cotes devant figurer sur le dessin de définition de la roue. Le diamètre primitif est en cote encadrée car il s'agit d'une valeur théorique non mesurable. Doit également figurer sur le dessin de définition un tableau indiquant les principales caractéristiques de la denture comme sur l'exemple de la figure 1.14.



**Figure 1.14 :** Cotation et caractéristiques d'une roue dentée [1].

### 1.12. Systèmes d'engrenages cylindriques à denture droite

La figure 1.15 représente les différents engrenages cylindriques à denture droite.

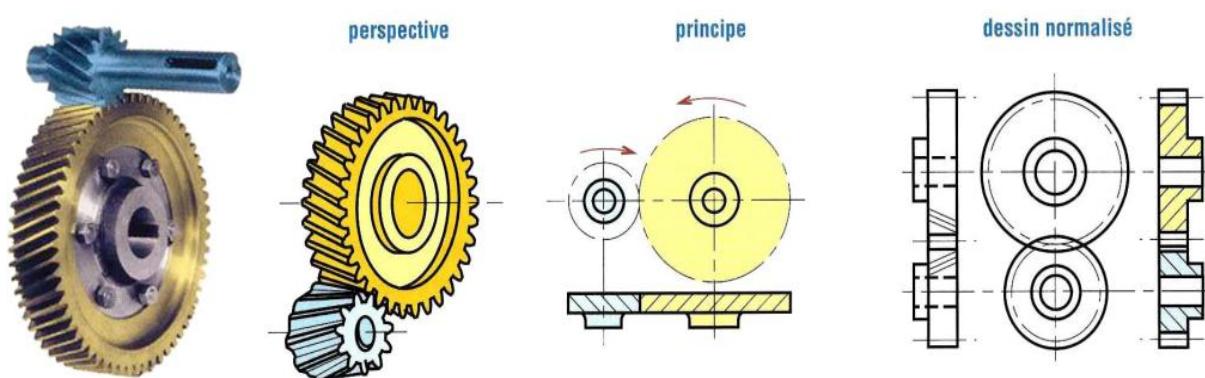
Engrenage à contact extérieur	Engrenage à contact intérieur	Système pignon crémaillère
$\frac{\omega_{20}}{\omega_{10}} = -\frac{R_1}{R_2}$	$\frac{\omega_{20}}{\omega_{10}} = \frac{R_1}{R_2}$	$ V  = R \cdot  \omega $

**Figure 1.15:** Différents engrenages cylindriques à denture droite [1].

### 1.13. Engrenages cylindriques à denture hélicoïdale

Les engrenages à denture hélicoïdale permettent une transmission plus souple, plus progressive et moins bruyante que les engrenages à dentures droite. La transmission des efforts est plus importante (nombres de dents en contacts plus élevés), y compris aux vitesses élevées, ils sont notamment utilisés dans les boîtes de vitesses d'automobiles, les réducteurs et les multiplicateurs de vitesses. Les inconvénients de ce type d'engrenage sont (figure 1.16): - Des efforts supplémentaires dus à l'angle d'hélice (force axiale sur les paliers et augmentation des efforts de flexion).

- Rendement un peu moins bon.



**Figure 1.16 : Engrenages cylindrique à denture hélicoïdale [1].**

#### \* Avantages et Inconvénient

Les engrenages cylindriques à denture hélicoïdale ont un rapport de conduite (nombre de dents en prises) plus important.

L'engrènement est plus progressif que pour les engrenages à denture droite, et de ce fait réduisent notablement les bruits et vibrations engendrés durant l'engrènement.

En revanche, ils sont plus chers et l'inclinaison de l'effort entre les dentures du fait de l'hélice engendre un effort axial durant l'engrènement.

#### 1.13.1. Les domaines d'applications

Les engrenages à denture hélicoïdale permettent un fonctionnement plus silencieux que celui des engrenages à denture droite ; ils présentent également un meilleur rendement. Ils sont notamment utilisés dans les boîtes de vitesses d'automobiles, les réducteurs et les multiplicateurs de vitesses (figure 1.17).



**Figure 1.17 :** Boite à vitesse automobile [1].

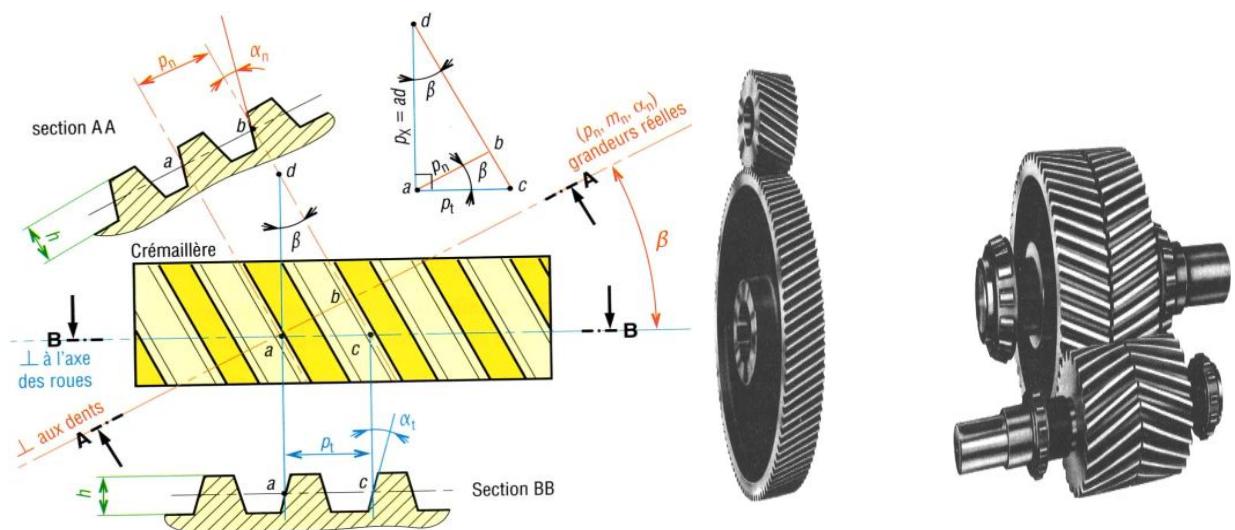
### 1.13.2. Caractéristiques des engrenages à denture hélicoïdale

#### 1.13.2.1. Géométrie

Toutes les roues à denture hélicoïdale de même module et de même angle d'hélice engrenent entre elles (quels que soient leurs diamètres ou leurs nombres de dents).

Seules les hélices doivent être de sens contraire sur les roues.

Les dentures hélicoïdales provoquent une poussée axiale, d'où la nécessité de l'emploi de butées. La poussée axiale est proportionnelle à l'angle d'hélice  $\beta$ . On peut donc réduire la poussée axiale en diminuant l'angle d'hélice, mais on peut également la supprimer, en utilisant des roues jumelées dont les dentures sont inclinées en sens opposé ou encore par l'utilisation d'une denture en chevrons ; la figure 1.18 représente les caractéristiques des engrenages à denture hélicoïdale.



**Figure 1.18 :** Caractéristiques des engrenages à denture hélicoïdale [1].

### 1.13.3. Caractéristiques et formule des engrenages cylindrique à denture hélicoïdale

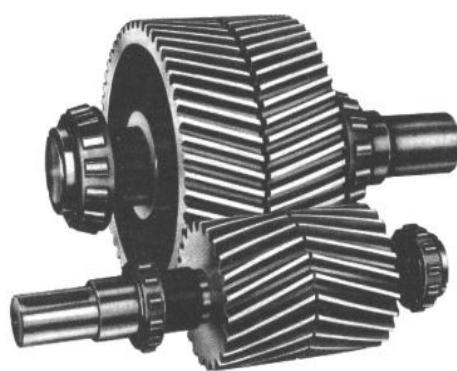
Le tableau 1.3 représente les caractéristiques et formule des engrenages droits à denture hélicoïdale.

**Tableau 1.3 :** Les caractéristiques des engrenages cylindriques à denture hélicoïdale [5].

Principales caractéristiques des engrenages droits à denture hélicoïdale		
caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
angle d'hélice	$\beta$	valeurs usuelles : $15^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$
sens de hélice		si la roue 1 a une hélice à droite, alors la roue 2 a une hélice à gauche
module réel	$m_n$	$m_n$ est à choisir dans la série des modules normalisés
pas réel	$p_n$	$p_n = \pi \cdot m_n$
module apparent	$m_t$	$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$ (augmente avec $\beta$ )
pas apparent	$p_t$	$p_t = \frac{p_n}{\cos \beta} = \pi \cdot m_t$
vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \approx 0,1n$ (unités rad/s)
nombre de tours/minute	$n$	$n_1$ (roue 1) $n_2$ (roue 2)
nombre de dents	$Z$	$Z_1$ (roue 1) $Z_2$ (roue 2)
diamètre primitif	$d$	$d_1 = m_t Z_1$ et $d_2 = m_t Z_2$
entraxe entre 2 roues	$a$	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m_t(Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{m_n(Z_1 + Z_2)}{2 \cos \beta}$
saillie	$h_a$	$h_a = m_n$
creux	$h_f$	$h_f = 1,25 m_n$
hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f = 2,25 m_n$
diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2m_n$
diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5m_n$
diamètre de base	$d_b$	$d_b = d \cos \alpha_t$
angle de pression réel	$\alpha_n$	valeur la plus usuelle : $\alpha = 20^\circ$
angle de pression apparent	$\alpha_t$	$\tan \alpha_n = \tan \alpha_t \cdot \cos \beta$
pas de base réel	$p_{bn}$	$p_{bn} = p_n \cdot \cos \alpha_n$
pas de base apparent	$p_{bt}$	$p_{bt} = p_t \cdot \cos \alpha_t$
pas axial	$p_x$	$p_x = \frac{p_t}{\tan \beta} = \frac{p_n}{\sin \beta} = \frac{p_z}{Z}$
pas de l'hélice primitive	$p_z$	$p_z = \frac{\pi \cdot d}{\tan \beta} = Z \cdot p_x$
largeur de dent	$b$	$b > 2 \frac{\pi \cdot m_n}{\sin \beta} = 2p_x$

### 1.13.4. Compensation de l'effort axial dans les réducteurs à engrenages hélicoïdaux

- Roues à chevrons : Deux dentures hélicoïdales sont taillées en sens inverse sur la même roue. Ces roues ont donné le sigle des usines Citroën, de la société des engrenages Citroën exploitant un brevet polonais sur la taille des engrenages à chevrons en 1913 (voir figure 1.19) .
- Roues à dentures inversées accolées : Les roues sont fixées entre-elles, un positionnement angulaire précis entre les deux roues accolées doit être réalisé (voir figure 1.20).

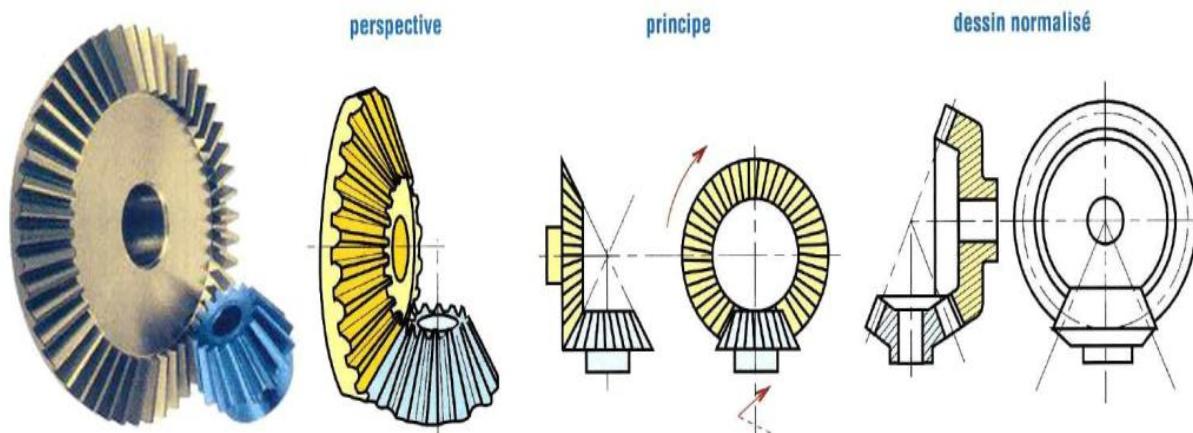


**Figure 1.19 :** Roue à chevron [1].

**Figure 1.20 :** Roue à denture inversée accolées [1].

### 1.14. Engrenage conique ou à axes concourants

Les engrenages coniques permettent la transmission du mouvement entre deux arbres concourants dont le point de rencontre est obligatoirement le sommet des deux cônes primitifs. Par conséquent, il y a un couple unique de surfaces coniques conjuguées pour chaque rapport de vitesse d'un couple conique sans changer ensemble les deux engrenages ; la figure 1.21 illustre type d'engrenage conique ou à axes concourants.

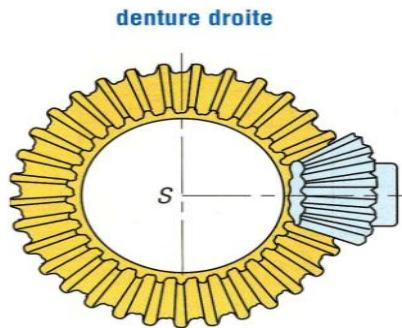


**Figure 1.21 :** Engrenage conique ou à axes concourants [1].

### 1.14.1. Principaux types

#### ★ Engrenages coniques à denture droite

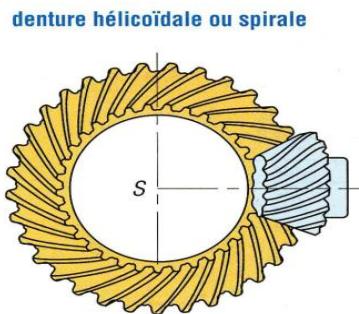
Ce sont les plus simples. La direction des génératrices du profil de la denture passe par le sommet S. Aux vitesses élevées on retrouve les mêmes inconvénients que les engrenages droits à dentures droites (bruits de fonctionnement, fortes pressions sur les dents...) (voir figure 1.22).



**Figure 1.22 :** Engrenages coniques à denture droite [1].

#### ★ Engrenages coniques à denture hélicoïdale ou spirale

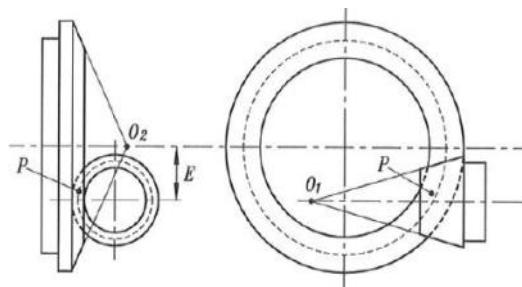
Les engrenages coniques à denture spirale Gleason tels que nous les usinons, se calculent comme les coniques à denture droite en ce qui concerne les cônes primitifs de référence uniquement et en considérant leur module apparent (voir figure 1.23).



**Figure 1.23 :** Engrenages coniques à denture hélicoïdale ou spirale [1].

#### ★ Engrenages hypoïdes

Sont des engrenages spiro-coniques possédant un décalage (ou offset : E) entre les axes des engrenages (figure 1.24).



**Figure 1.24 :** Offset E pour l'engrenage hypoïde [4].

### 1.14.2. Caractéristiques des engrenages coniques à dentures droites

La taille et la forme de la dent (module m, pas p, d, da, df ,h, ha ,hf ) sont définies à partir du plus grand cercle ou sur l'extrémité la plus large de la denture.

### 1.14.3. Principales caractéristiques des engrenages coniques

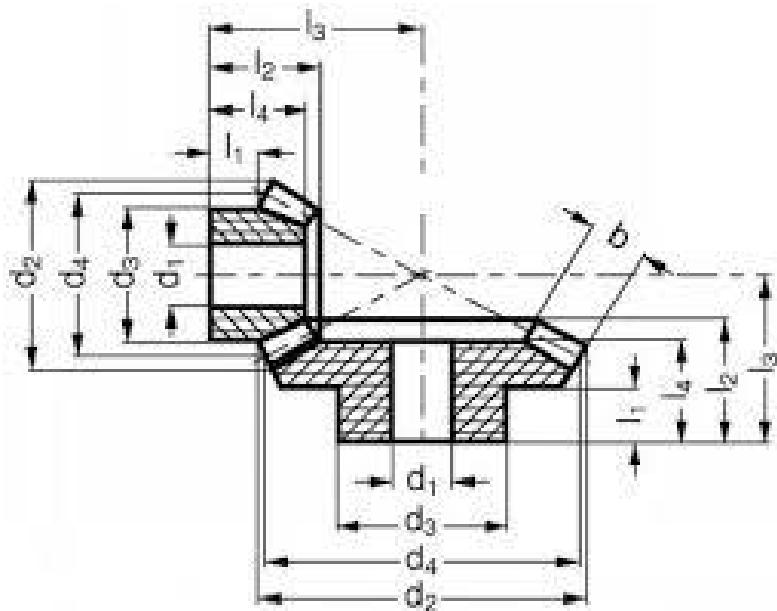
Le tableau 1.4 illustre des calculs concernant des engrenages coniques.

**Tableau 1.4 : Les caractéristiques des engrenages coniques [5].**

Principales caractéristiques des engrenages coniques à denture droite		
caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = (\pi \cdot n)/30 \approx 0,1n$ (unités : rad/s)
nombre de tours/minute	$n$	$n_1$ (roue 1) $n_2$ (roue 2)
module	$m$	valeurs normalisées (tableau 1) mesurée sur cône complémentaire
pas primitif	$p$	$p = \pi \cdot m = 3,141\,59m$ (avec $p = p_1 = p_2$ )
nombre de dents	$z$	$Z_1$ (roue 1) $Z_2$ (roue 2)
diamètre primitif	$d$	$d_1 = mZ_1$ et $d_2 = mZ_2$
angle primitif	$\delta$	$\delta_1$ (roue 1) $\delta_2$ (roue 2)
angle de pression	$\alpha$	valeur la usuelle $\alpha = 20^\circ$
angle de tête	$\delta_a$	$\delta_a = \delta + \theta_a$
angle de creux	$\delta_f$	$\delta_f = \delta - \theta_f$
angle de saillie	$\theta_a$	$\tan \theta_a = 2m \sin \delta/d$
angle de creux	$\theta_f$	$\tan \theta_f = 2,5m \sin \delta/d$
angle de hauteur	$\theta$	$\theta = \theta_a + \theta_f$
longueur génératrice primitive		$L = d/2 \sin \delta_1 = d_2/2 \sin \delta_2$
largeur de dent	$b$	$L/4 \leq b \leq L/3$ (raisons de taillage)
saillie	$h_a$	$h_a = m$
creux	$h_f$	$h_f = 1,25m$
hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f = 2,25m$
diamètre de tête	$d_a$	$d_a = d + 2m \cos \delta$
diamètre de pied	$d_f$	$d_f = d - 2,5m \cos \delta$
$\delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$	$\delta_1 + \delta_2 < 90^\circ$	$\delta_1 + \delta_2 > 90^\circ$
$\phi_1 = \delta_2$ $\phi_2 = \delta_1$ $\tan \delta_1 = Z_1/Z_2$ $\tan \delta_2 = Z_2/Z_1$	$\phi_1 = 90 - \delta_1$ $\phi_2 = 90 - \delta_2$ $\tan \delta_2 = \frac{\sin(\delta_1 + \delta_2)}{Z_1/Z_2 + \cos(\delta_1 + \delta_2)}$	$\phi_1 = 90 - \delta_1$ $\phi_2 = 90 - \delta_2$ $\tan \delta_2 = \frac{\sin[180 - (\delta_1 + \delta_2)]}{Z_1/Z_2 - \cos[180 - (\delta_1 + \delta_2)]}$

#### 1.14.4. Dimensions normalisées

Elles doivent être mesurées sur la partie de la denture la plus éloignée des sommets des cônes ; la figure 1.25 montre les principaux paramètres des roues coniques.

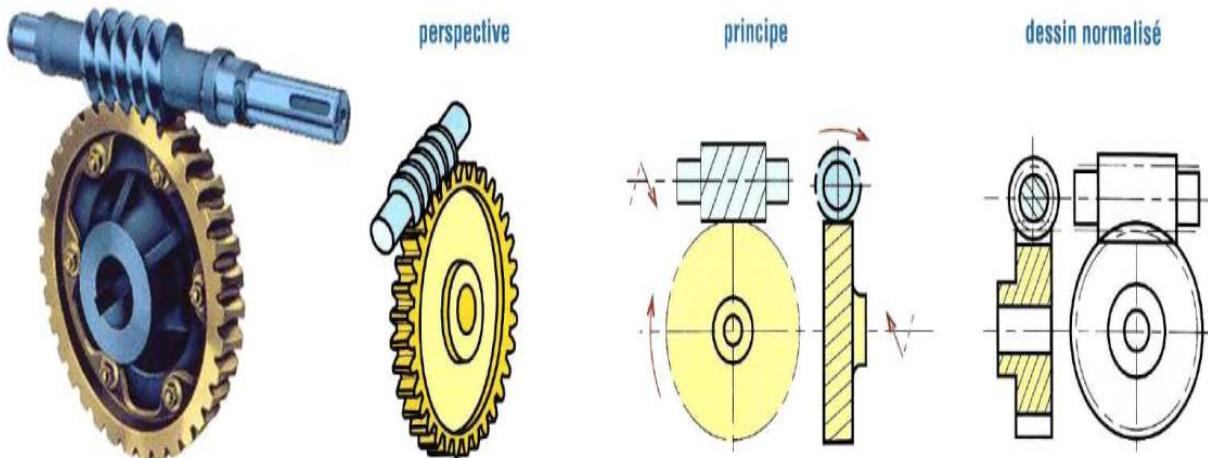


**Figure 1.25 :** Principaux paramètres des roues coniques [5].

#### 1.15. Engrenages à roue et 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 (figure 1.26).

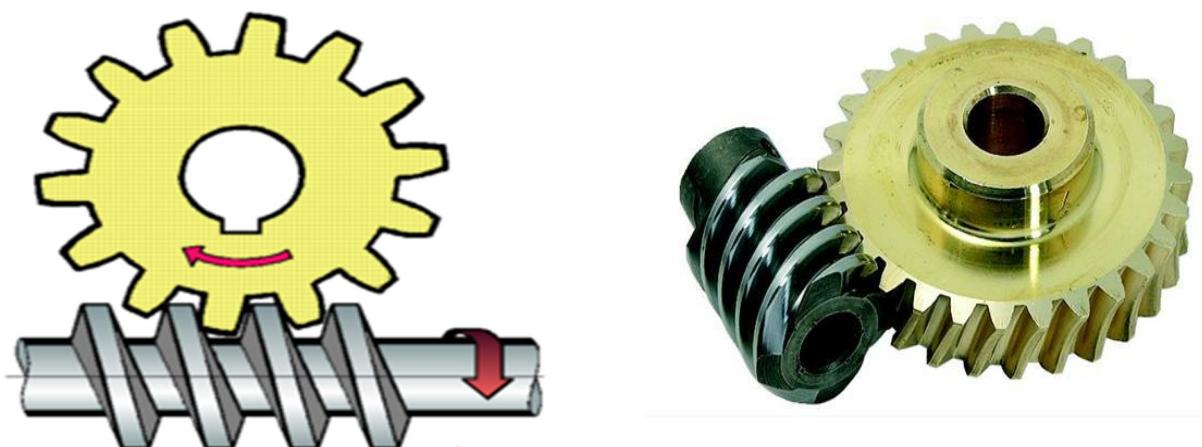


**Figure 1.26 :** Principaux engrenages roue et vis [1].

### 1.15.1. Principe

Cas particulier des engrenages gauches hélicoïdaux, un système roue-vis sans fin est tel que l'une des roues a un très petit nombre de dents (1 à 8). Elle est alors appelée vis.

Pour engrener ensemble, la roue et la vis doivent avoir leurs hélices de même sens (voir figure 1.27).



**Figure 1.27 : Engrenages gauche hélicoïdale [1].**

### 1.15.2. Avantages – Inconvénients

- Ce mécanisme permet d'obtenir un grand rapport de réduction avec seulement deux roues dentées (1/200).
- Les systèmes roue-vis sans fin sont presque toujours irréversibles. On peut donc les utiliser pour maintenir une orientation.
- L'engrènement se fait avec beaucoup de glissement entre les dentures, donc usure et rendement faible (60%).
- La vis supporte un effort axial important.

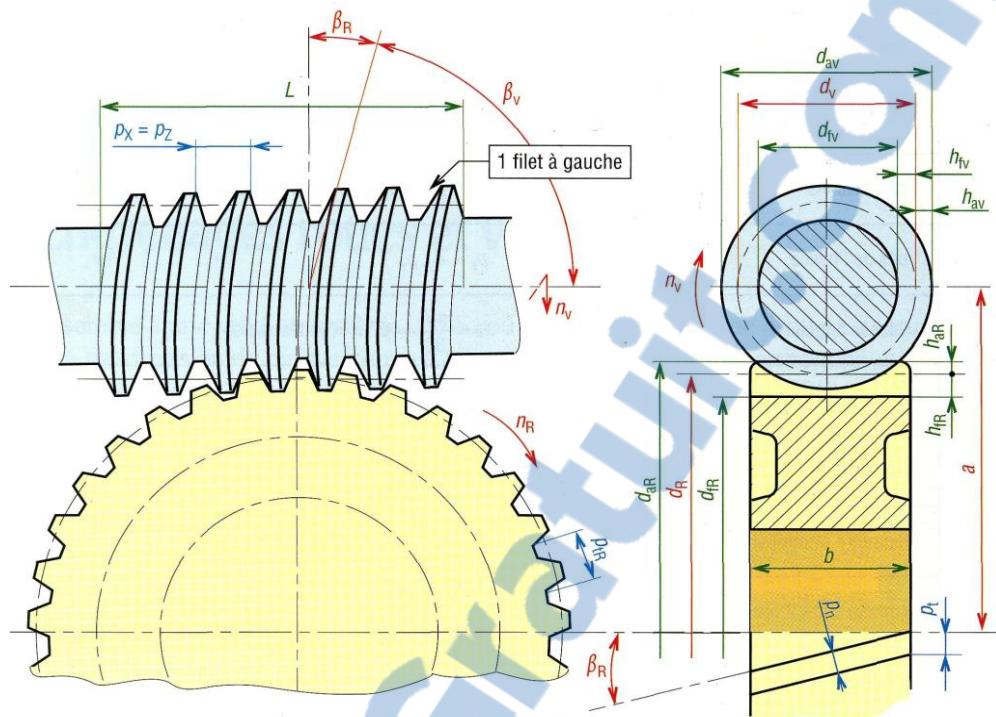
### 1.15.3. Caractéristiques cinématiques et géométriques

Particularité : le rapport des nombres de dents est différent du rapport des diamètres primitifs comme pour les engrenages hypoïdes.

Les caractéristiques de la roue sont celles d'une roue droite à denture hélicoïdale.  $Z_v$  représente le nombre de filets de la vis (de 1 à 8 filets et parfois plus).

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.

La vis et la roue ont même pas normal  $p_n$ . Le pas axial de la vis est égal au pas apparent de la roue ; la figure 1.28 illustre les principaux paramètres du système roue et vis.

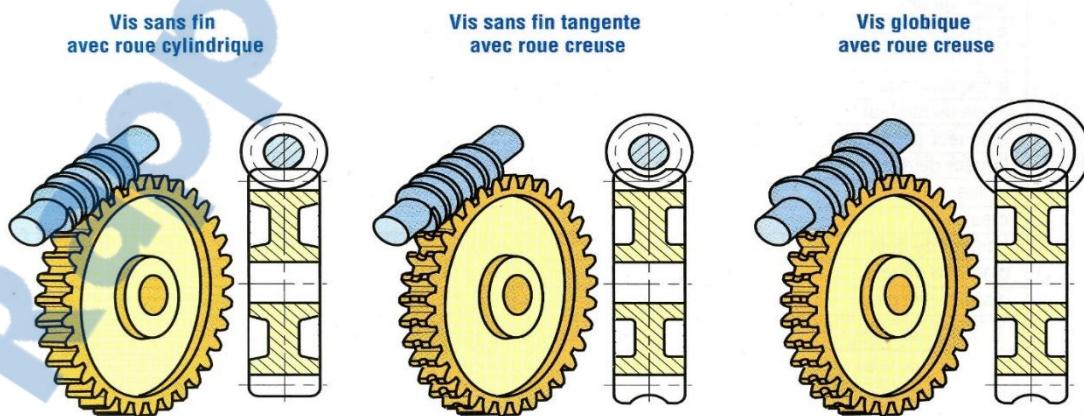


**Figure 1.28 :** Principaux paramètres du système roue et vis [1].

#### 1.15.4. Différents types du système roue et vis sans fin

Afin d'augmenter la surface de contact des dentures, on utilise très souvent des systèmes à roue creuse.

L'utilisation d'une vis globique permet d'augmenter encore cette surface, mais le cout de la vis est important ; la figure 1.29 représente les différents types du système roue et vis sans fin.



**Figure 1.29 :** Différents types du système roue et vis sans fin [1].

#### 1.15.5. Principales caractéristiques des engrenages roues et vis sans fin

Le tableau 1.5 illustre des calculs concernant des engrenages roues et vis sans fin.

**Tableau 1.5 : Les caractéristiques des engrenages roues et vis sans fin [5].**

Principales caractéristiques des engrenages roue et vis		
caractéristiques	symboles ISO	observations et formules usuelles
nombre de filets vis	$Z_V$	
nombre de dents roue	$Z_R$	$Z_R + Z_V > 40$
angle d'hélice vis	$\beta_V$	irréversibilité si $\beta_V < 6^\circ$ à $10^\circ$
angle d'hélice roue	$\beta_R$	$\beta_V + \beta_R = 90^\circ$
sens des hélices		le sens (à droite ou à gauche) est le même pour la vis et la roue
module réel roue	$m_n$	$m_n$ (le même pour la vis et la roue)
module axial vis	$m_x$	$m_x = \frac{p_x}{\pi} = \frac{m_n}{\cos \beta_R} = \frac{m_n}{\sin \beta_V}$
pas réel roue	$p_n$	$p_n = \pi \cdot m_n$
pas apparent roue	$p_t$	$p_t = \frac{p_n}{\cos \beta_R} = \pi \cdot m_t$
pas axial vis	$p_x$	$p_x = p_t$ (pas axial vis = pas apparent roue)
pas de l'hélice	$p_z$	$p_z = Z_V \cdot p_x$
vitesse angulaire	$\omega$	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \approx 0,1n$ (unités rad/s)
nombre de tours/minute	$n$	$n_V$ vis et $n_R$ roue
diamètre primitif roue	$d_R$	$d_R = m_t \cdot Z_R$
diamètre primitif vis	$d_V$	$d_V = \frac{p_z}{\pi \tan \beta_R}$ et $\frac{a^{0,875}}{3} \leq d_V \leq \frac{a^{0,875}}{1,7}$
entraxe entre 2 roues	$a$	$a = \frac{d_V + d_R}{2}$
saillie	$h_a$	$h_a = m_n$
creux	$h_f$	$h_f = 1,25 m_n$
hauteur de dent	$h$	$h = h_a + h_f$
diamètre de tête vis	$d_{av}$	$d_{av} = d_V + 2m_n$
diamètre de pied vis	$d_{rv}$	$d_{rv} = d_V - 2,5m_n$
angle de pression réel	$\alpha_n$	commun à la vis et à la roue valeur : $14^\circ 30'$ , $20^\circ$ , $25^\circ$ et $30^\circ$
angle de pression axial vis	$\alpha_x$	$\alpha_x = \alpha_t$ (roue)
longueur de la vis	$L$	$L \approx 5p_x$ ou $6p_x$

### 1.15.6. Dispositions constructives

Du fait de l'usure importante due au glissement des dentures pendant l'engrenement, il convient de choisir correctement les matériaux des deux pièces.

La vis sera choisie dans le matériau le plus dur, son prix de revient étant plus élevé, son usure

devra être réduite au minimum. En général la vis est en acier dur.

- La roue sera choisie dans un matériau plus tendre afin de supporter la majeure partie de l'usure.

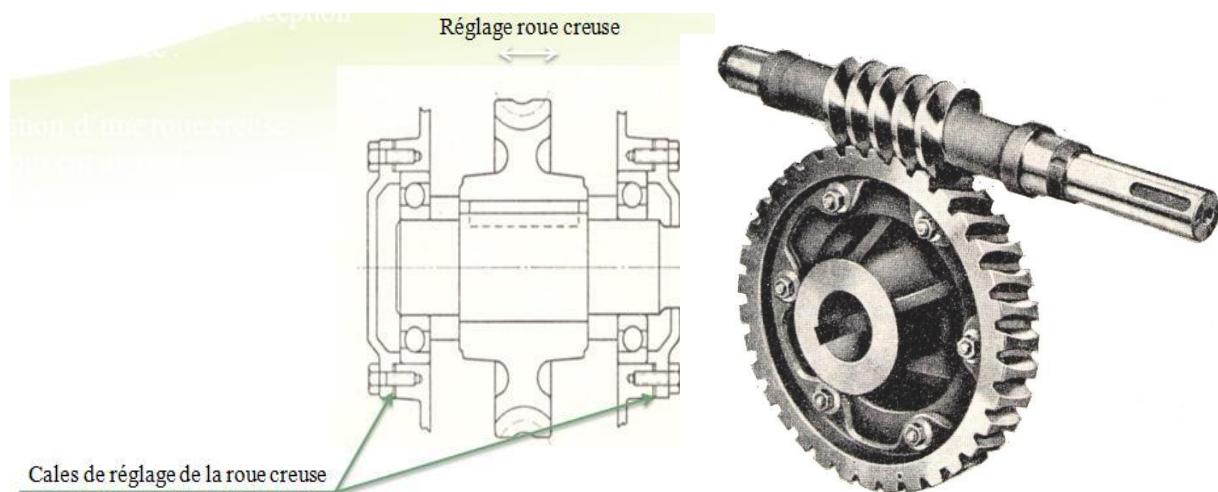
En général la roue est en bronze.

- Pour des roues de grands diamètres, il convient de prévoir à la conception une denture rapportée ; la figure 1.30 montre une solution de réglage de la roue creuse.

- L'utilisation d'une roue creuse impose souvent un réglage axial de celle-ci pour assurer la portée correcte des dents.

Le dessin ci-contre montre une solution pour ce réglage par l'intermédiaire de cales sous les couvercles d'appui des roulements.

L'engrènement, il convient correctement les matériaux des deux pièces.



**Figure 1.30 : Solution de réglage de la roue creuse [1].**

## 1.16. Conclusion

La complexité des engrenages L'initiative de ces études est de répondre aux exigences industrielles de plus en plus strictes. Les études induites sur les calculs globaux des engrenages deviennent aussi extrêmement difficiles pour cela on développe un outil de calcul pour gagner le temps.

## Chapitre 2 Interface de calcul des différents paramètres d'engrenages

### 2.1. Introduction

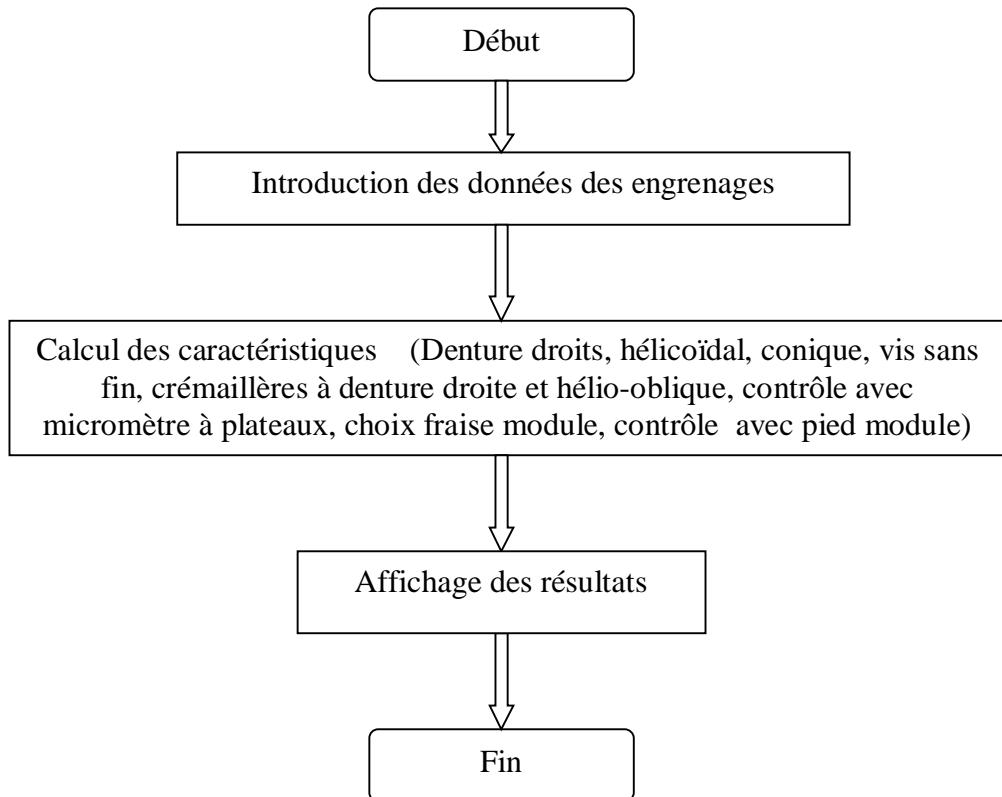
Les études induites sur les comportements globaux des engrenages deviennent aussi extrêmement complexes.

L'automatisation du calcul des différentes caractéristiques d'engrenages, a fait l'objet d'une programmation en langage Visual Basic version 6.0.

Ce chapitre présente le module développé regroupant les principales fonctions.

### 2.2. Organigramme du programme

La figure 2.1 présente l'organigramme générale du module.



**Figure 2.1 :** Organigramme général du module

### 2.3. Présentation du module Gear CAD 18.2

La figure 2.2 représente l'interface permettant le calcul des caractéristiques des engrenages.



**Figure 2.2 : Présentation du module Gear CAD 18.2.**

### 2.4. Fonctions principales

Ce module remplit plusieurs paramètres des différents types d'engrenages :

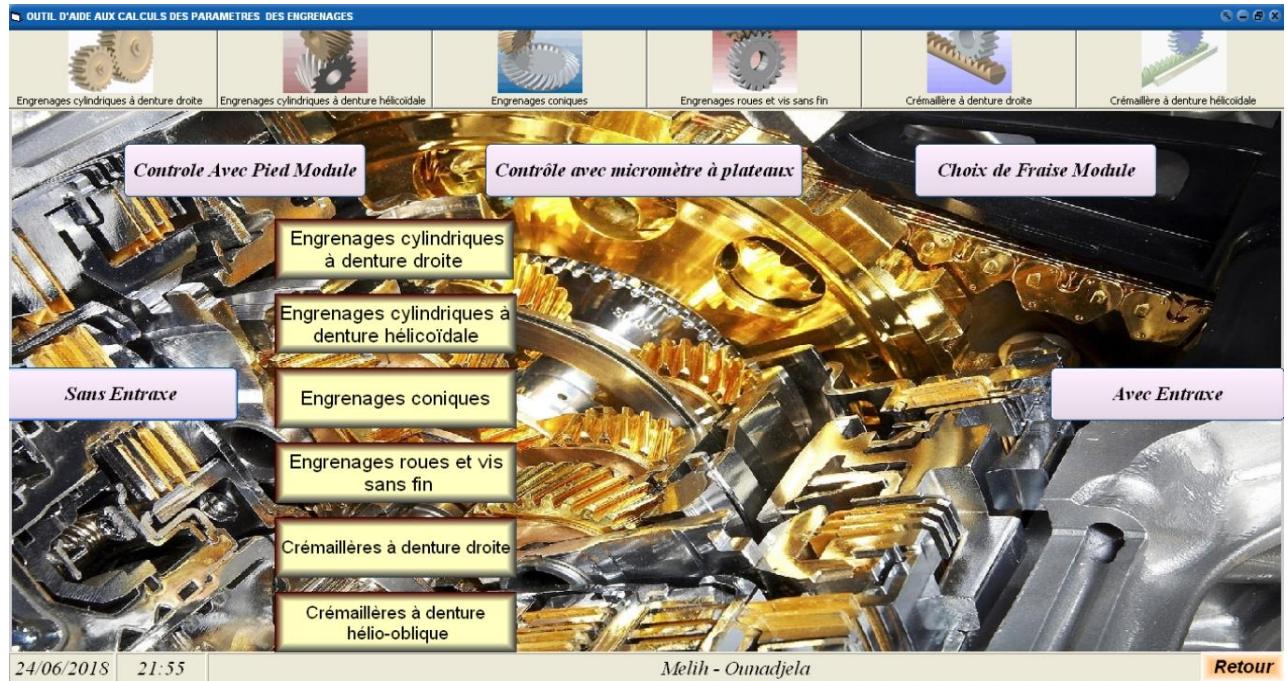
- Engrenage à denture droite ;
- Engrenage à denture hélicoïdale ;
- Engrenage conique ;
- Engrenage vis sans fin ;
- Crémaillères à denture droite ;
- Crémaillères à denture hélio-oblique.

### 2.5. Représentation des différents types d'engrenages sans entraxe

La figure 2.3 illustre les différents types d'engrenages sans entraxe :

- Engrenage à denture droite ;
- Engrenage à denture hélicoïdale ;
- Engrenage conique ;
- Engrenage vis sans fin ;

- Crémaillère à denture droite ;
- Crémaillère à denture hélio-oblique.



**Figure 2.3 :** Représentation des différents types des engrenages.

## 2.5.1. Engrenage à denture droite

### 2.5.1.1. Fenêtre des cases vides

La figure 2.4 représente des cases vides qu'il faut remplir des données pour les engrenages à denture droite.



**Figure 2.4 :** Représentation des cases vides.

### 2.5.1.2 Fenêtre de message

La figure 2.5 illustre un exemple si les données sont incomplètes.



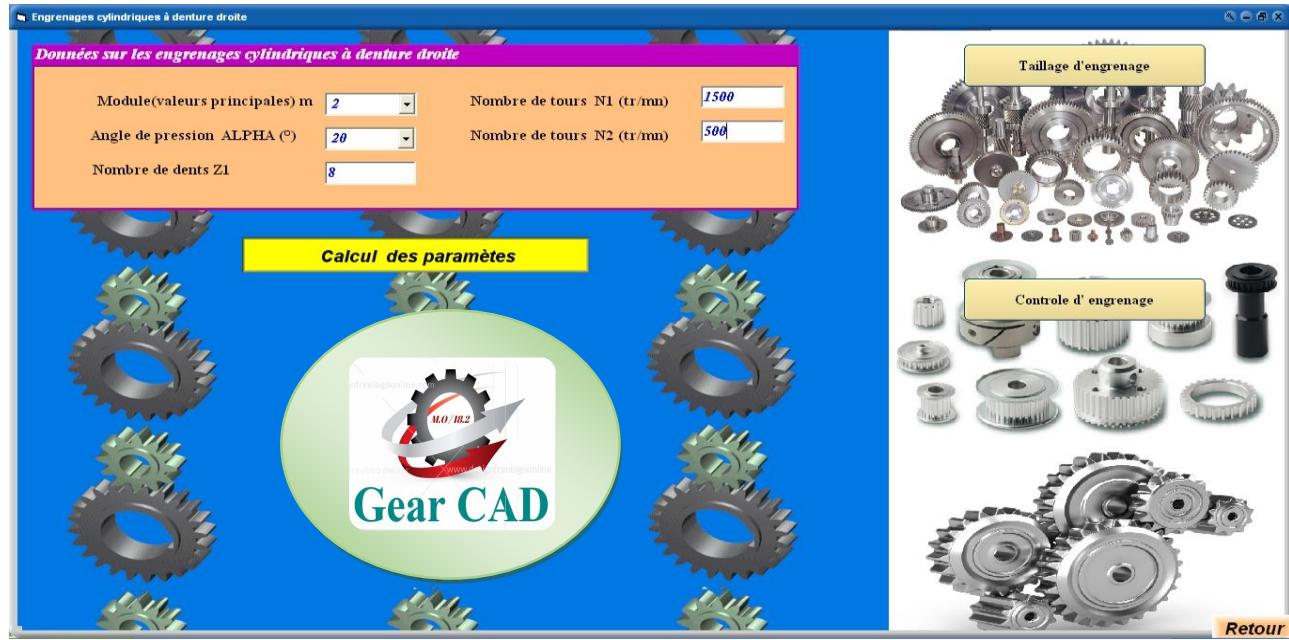
**Figure 2.5:** Affichage du message.

### 2.5.1.3. Représentation des données des engrenages droites

La figure 2.6 illustre les données sur les engrenages cylindriques à denture droite sont :

- Module ;
- Angle de pression ;
- Le nombre de tours ;
- Nombre de dents.

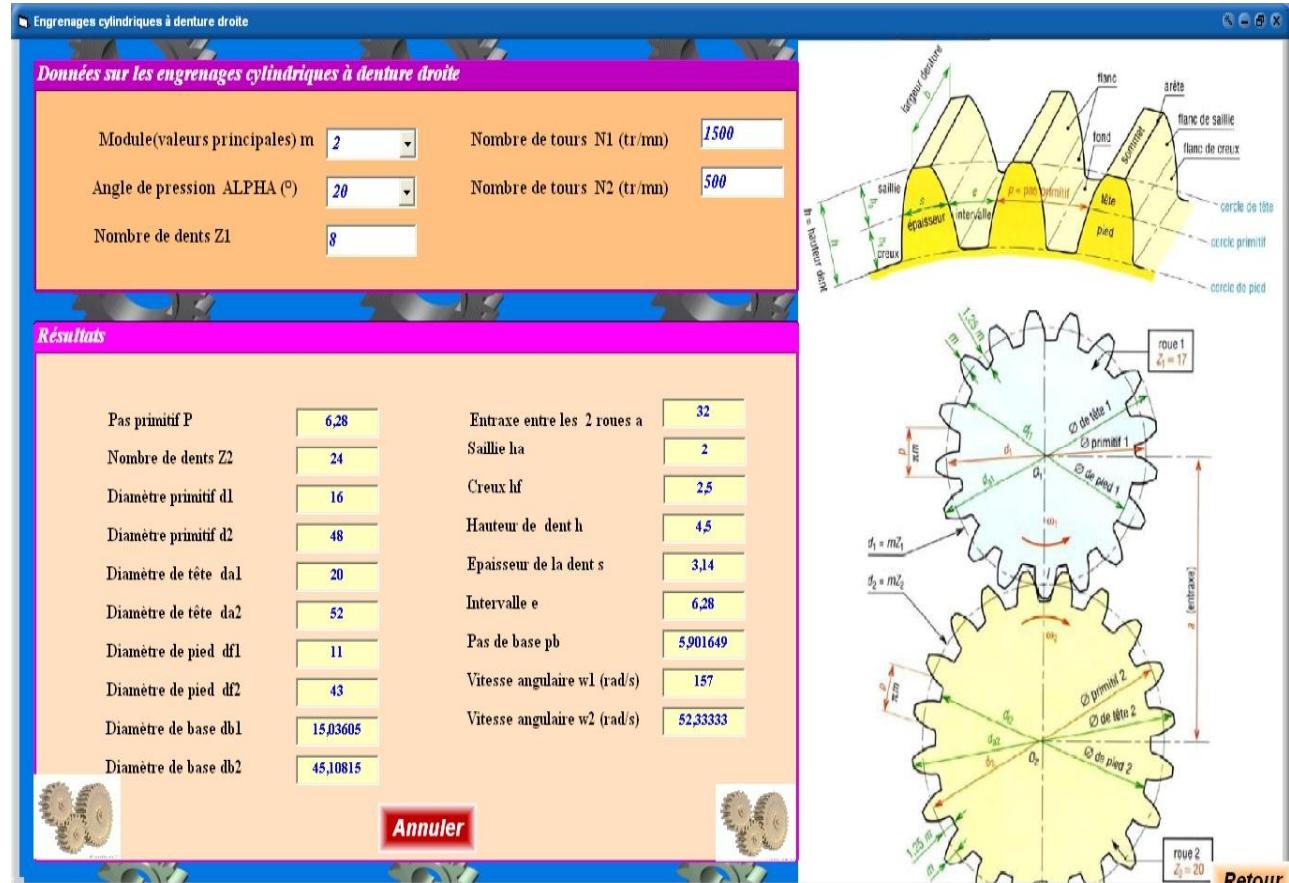
Après cliqué sur la commande : « calcule des paramètres ».



## 2.6 : Données des engrenages cylindriques à dentures droites.

### 2.5.1.4. Représentation des résultats

La figure 2.7 illustre l'affichage des résultats sur les engrenages cylindriques à denture droite des différentes caractéristiques.



**Figure 2.7 :** Calcul des résultats des engrenages cylindriques droits.

### 2.5.1.5. Représentation la commande « annuler »

La figure 2.8 représente la commande annuler.

Après de saisir les données.

Et clique sur la commande calcul des résultats pour quitter ces résultats cliquer sur la commande annuler pour saisir d'autre paramètre des données.

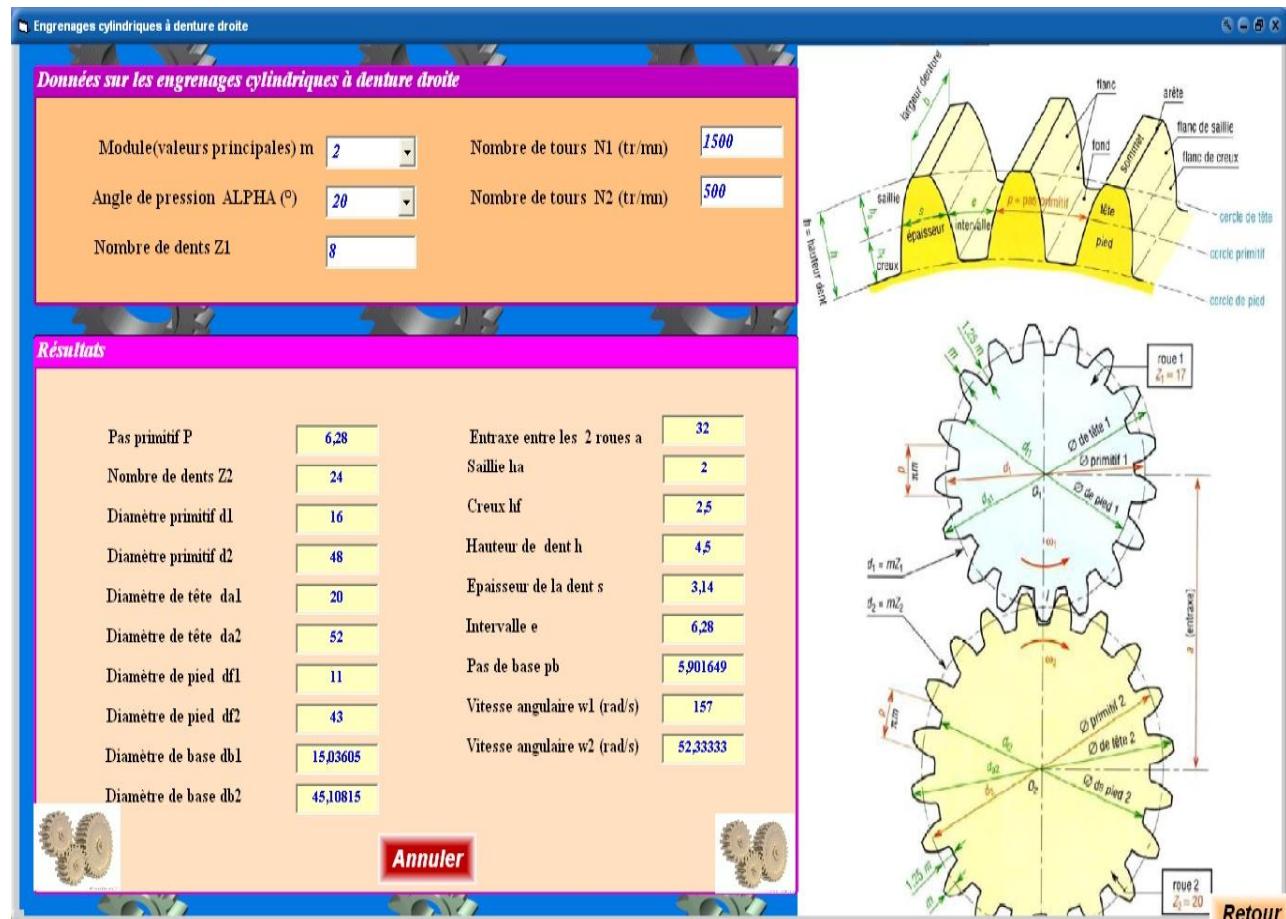


Figure 2.8 : Commande annuler.

## 2.5.2. Engrenage à denture hélicoïdale

### 2.5.2.1. Représentations des cases vides

La figure 2.9 représente des cases vides qu'il faut remplir pour les engrenages cylindriques à dentures hélicoïdales.



**Figure 2.9 :** Représentation une fenêtre contient des cases vides.

### 2.5.2.2. Fenêtre de message

La figure 2.10 illustre affichage de message si l'utilisateur oublie de remplir certaine case de données pour les engrenages hélicoïdaux.



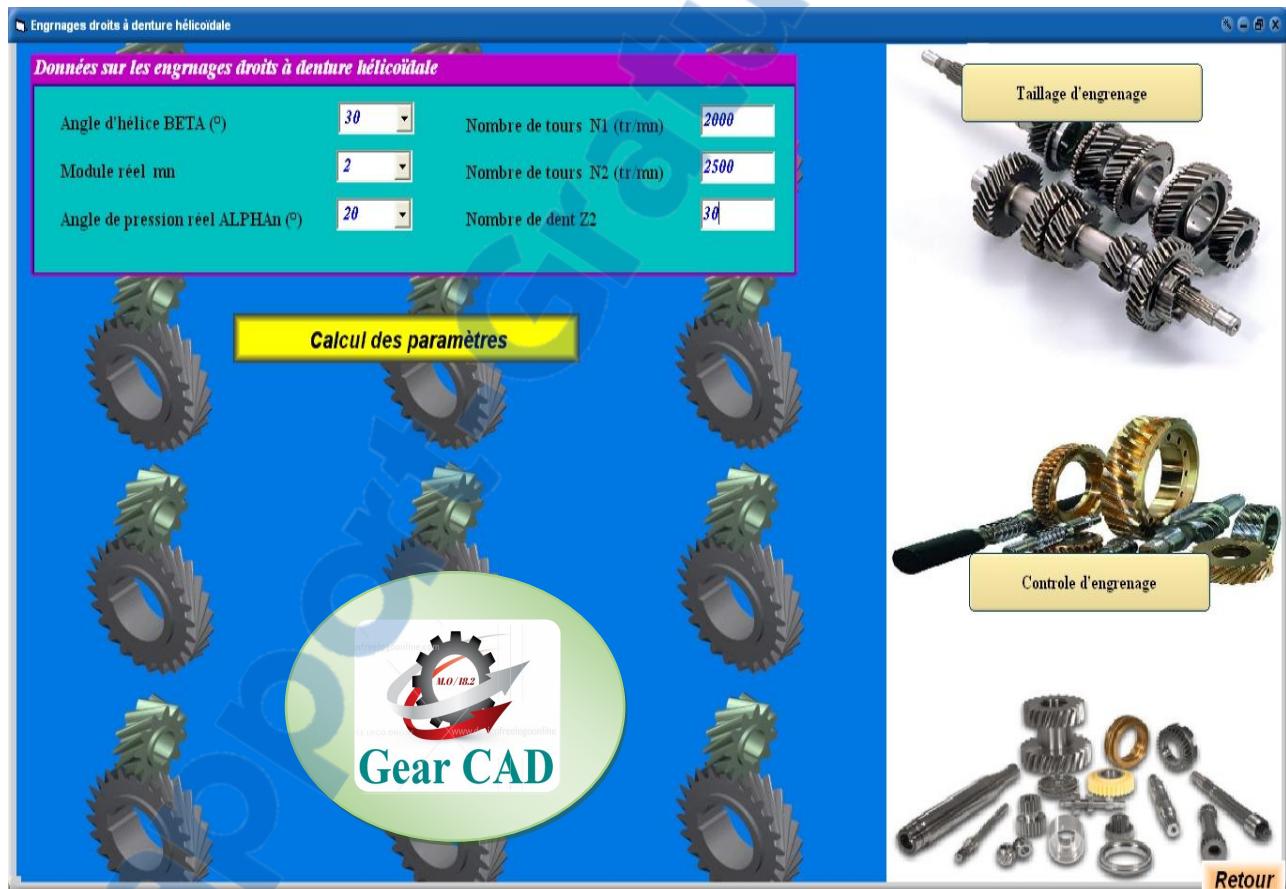
**Figure 2.10 :** Affichage du message.

### 2.5.2.3. Représentation des données des engrenages droits à denture hélicoïdale

La figure 2.11 illustre les données sur les engrenages droits cylindriques à denture hélicoïdale sont :

- Angle d'hélice BETA ;
- Module réelle mn ;
- Angle de pression réel ALPHAn ;
- Nombre de tours N (1 ; 2) ;
- Nombre de dents Z2 ;

Après cliqué sur la commande :"calcul des paramètres".



**Figure 2.11 :** Données des engrenages droits à denture hélicoïdale.

### 2.5.2.4. Représentation des résultats

La figure 2.12 illustre l'affichage des résultats sur les engrenages droits à denture hélicoïdale des différentes caractéristiques.

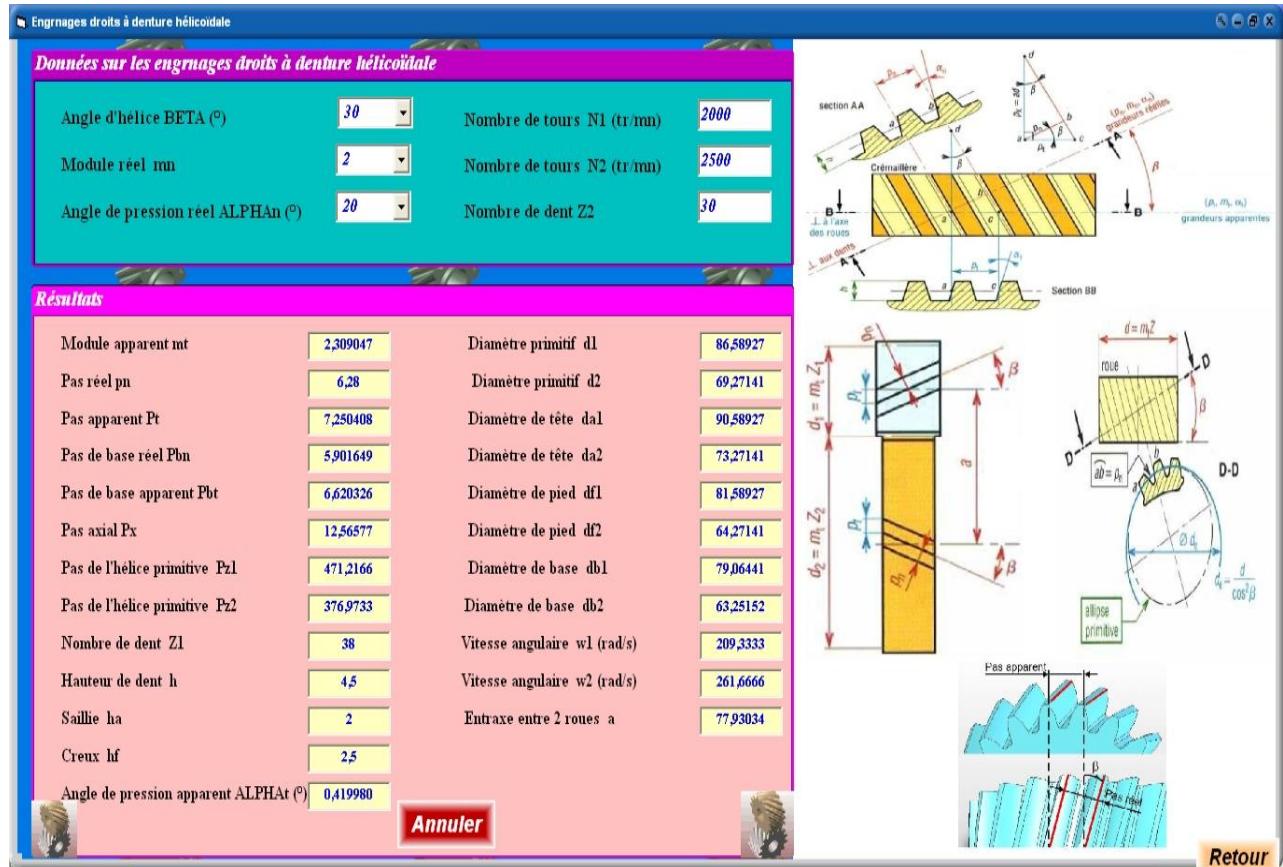


Figure 2.12 : Calcul des résultats des engrenages doits à denture hélicoïdale.

### 2.5.3. Engrenage conique

#### 2.5.3.1. Fenêtre des cases vides

La figure 2.13 représente des cases vides qu'il faut remplir pour les engrenages coniques.



Figure 2.13 : Représentation une fenêtre contient des cases vides.

### 2.5.3.2. Fenêtre de message

La figure 2.14 illustre affichage de message si l'utilisateur oublie de remplir certaine case de données pour les engrenages coniques.



**Figure 2.14 :** Affichage du message.

### 2.5.3.3. Représentation des données des engrenages coniques

La figure 2.15 illustre les données sur les engrenages coniques sont :

- Module (m) ;
- Angle de pression (ALPHA) ;
- Nombre de dents (Z1) ;
- Nombre de tours (N1, N2) ;

Après cliqué sur la commande :"calcul des paramètres".



Figure 2.15 : Données des engrenages coniques.

#### 2.5.3.4. Représentation des résultats

La figure 2.16 illustre l'affichage des résultats sur les engrenages coniques des différentes caractéristiques.

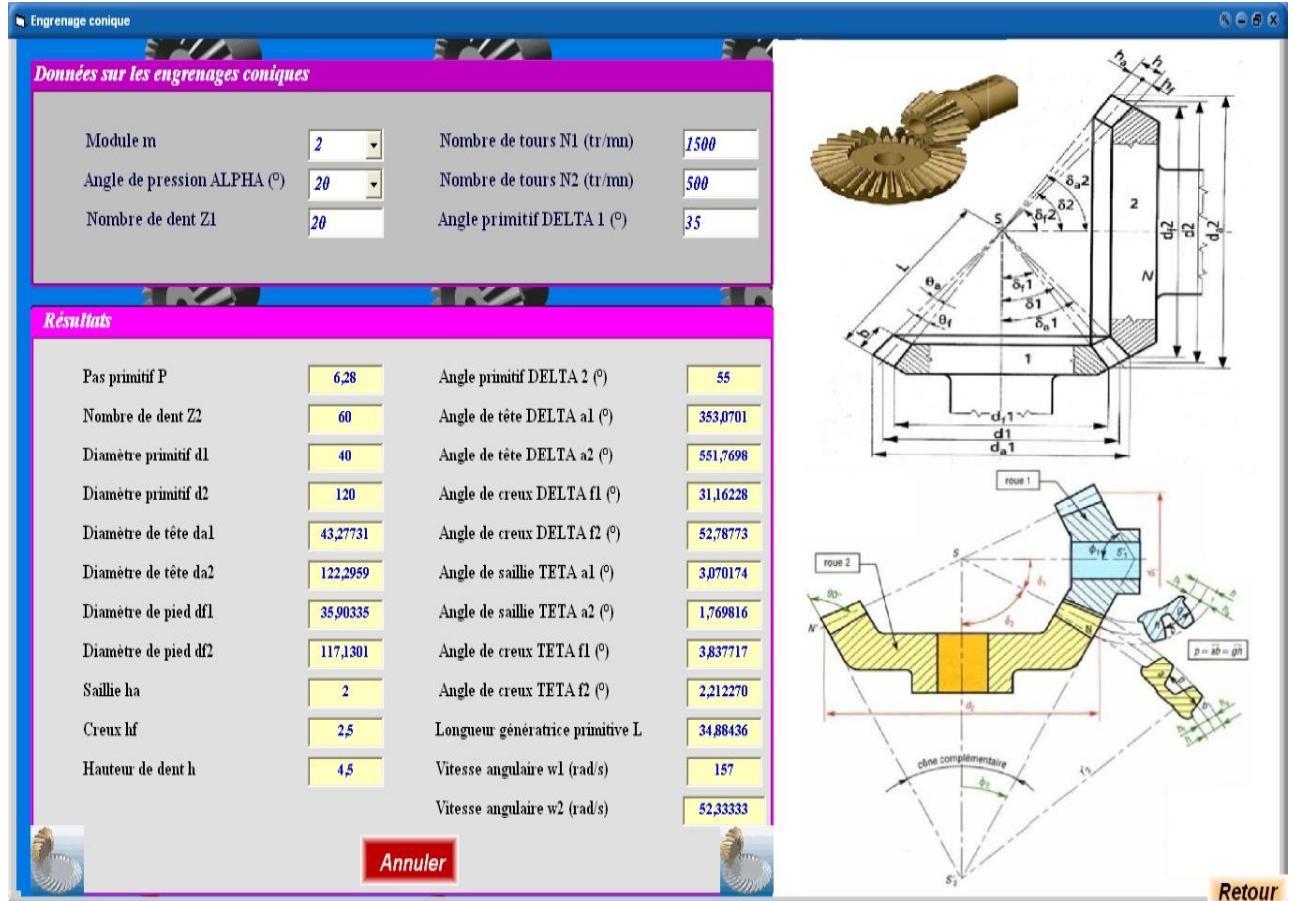


Figure 2.16 : Calcul des résultats des engrenages coniques.

## 2.5.4. Engrenage vis sans fin

### 2.5.4.1. Fenêtre des cases vides

La figure 2.17 représente des cases vides qu'il faut remplir pour les engrenages roues et vis sans fin.



**Figure 2.17 :** Représentation une fenêtre contient des cases vides.

### 2.5.4.2. Fenêtre de message

La figure 2.18 illustre affichage de message si l'utilisateur oublie de remplir certaine case de données pour les engrenages roues et vis sans fin.



**Figure 2.18 :** Affichage de message.

### 2.5.4.3. Représentation des données des engrenages roues et vis sans fin

La figure 2.19 illustre les données sur les engrenages roues et vis sans fin sont :

- Module réelle (mn) ;
- Angle de pression réel (ALPHAn) ;
- Nombre de filets vis (Zv) ;
- Angle d'hélice vis (BETAv) ;
- Nombre de tours vis ( Nv );
- Nombre de tours roue ( Nr ) ;

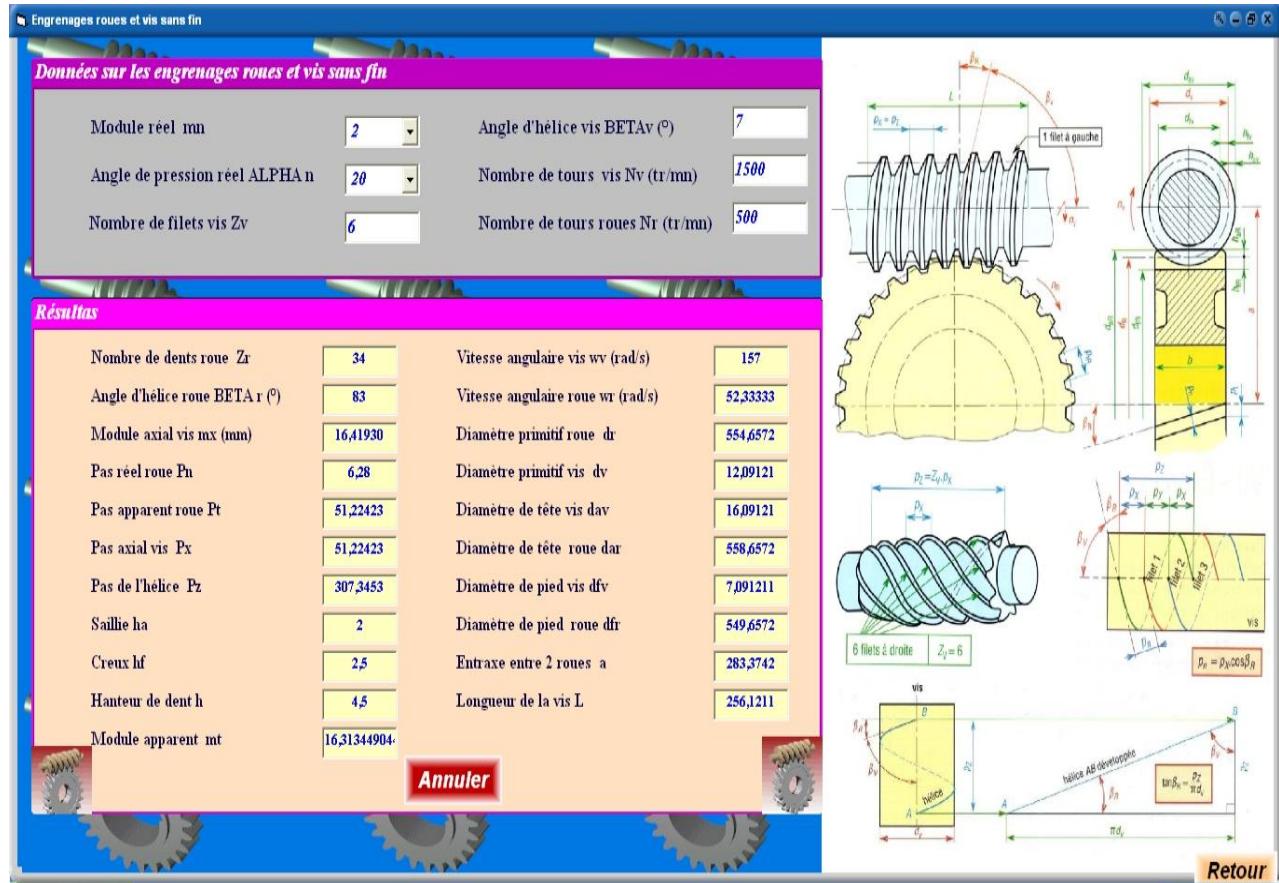
Après cliqué sur la commande :"calcul des paramètres".



**Figure 2.19 :** Données des engrenages roues et vis sans fin.

### 2.5.4.4. Représentation des résultats

La figure 2.20 illustre l'affichage des résultats sur les engrenages roues et vis sans fin des différentes caractéristiques.

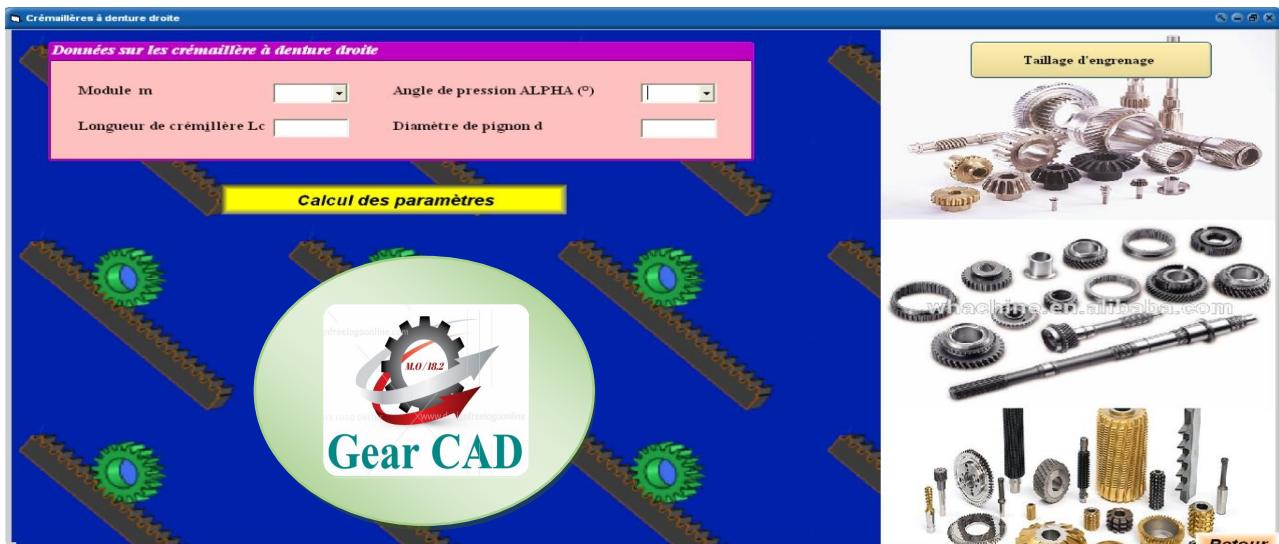


**Figure 2.20 :** Calcul des résultats des engrenages roues et vis sans fin.

## 2.5.5. Crémaillère à denture droite

### 2.5.5.1. Fenêtre des cases vides

La figure 2.21 représente des cases vides qu'il faut remplir pour les crémaillères à denture droite.



**Figure 2.21 :** Représentation une fenêtre contient des cases vides.

### 2.5.5.2. Fenêtre de message

La figure 2.22 illustre affichage de message si l'utilisateur oublie de remplir certaine case de données pour les crémaillères à denture droite.



**Figure 2.22 :** Affichage de message.

### 2.5.5.3. Représentation des données des crémaillères à denture droite

La figure 2.23 illustre les données sur les crémaillères à denture droite sont :

- Module (m) ;
- Angle de pression (ALPHA) ;
- Longueur de crémaillère (Lc) ;
- Diamètre de pignon (d);

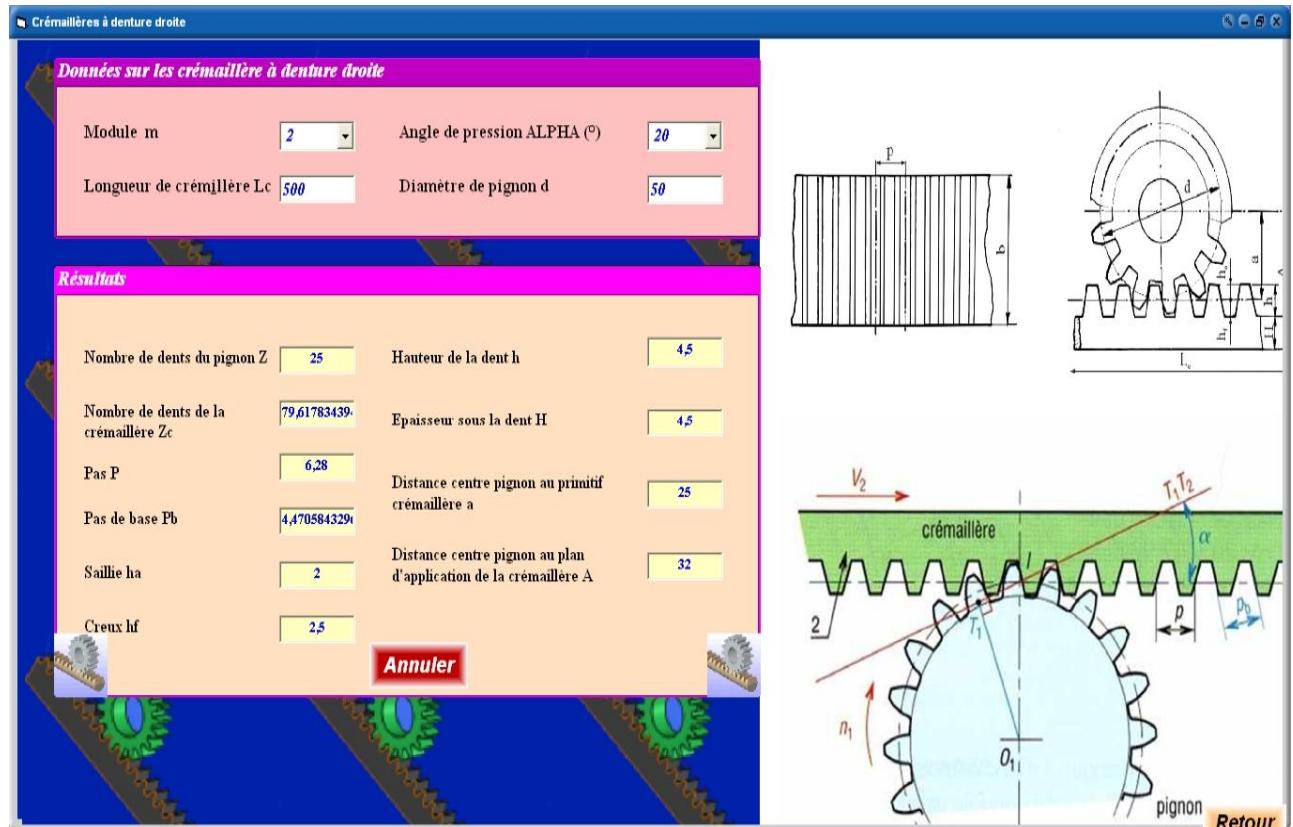
Après cliqué sur la commande :"calcul des paramètres".



**Figure 2.23 :** Données des crémaillères à denture droite.

#### 2.5.5.4. Représentation des résultats

La figure 2.24 illustre l'affichage des résultats sur les crémaillères à denture droite des différentes caractéristiques.

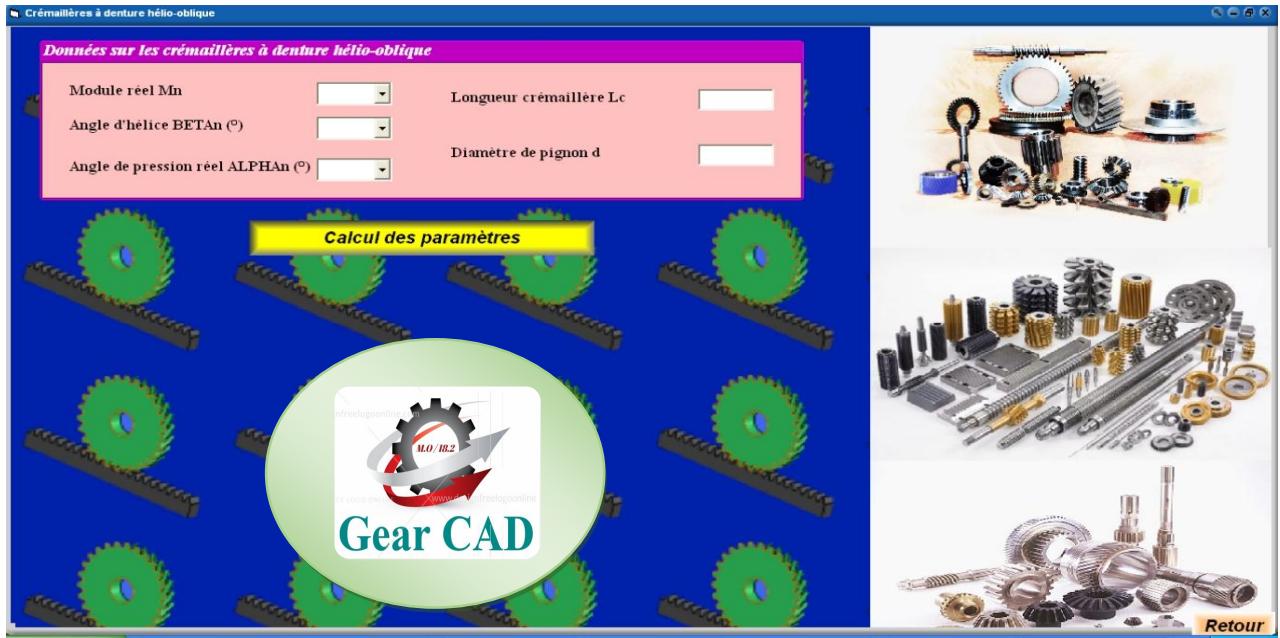


**Figure 2.24 :** Calcul des résultats des crémaillères à denture droite.

## 2.5.6. Crémaillères à denture hélio-oblique

### 2.5.6.1. Fenêtre des cases vides

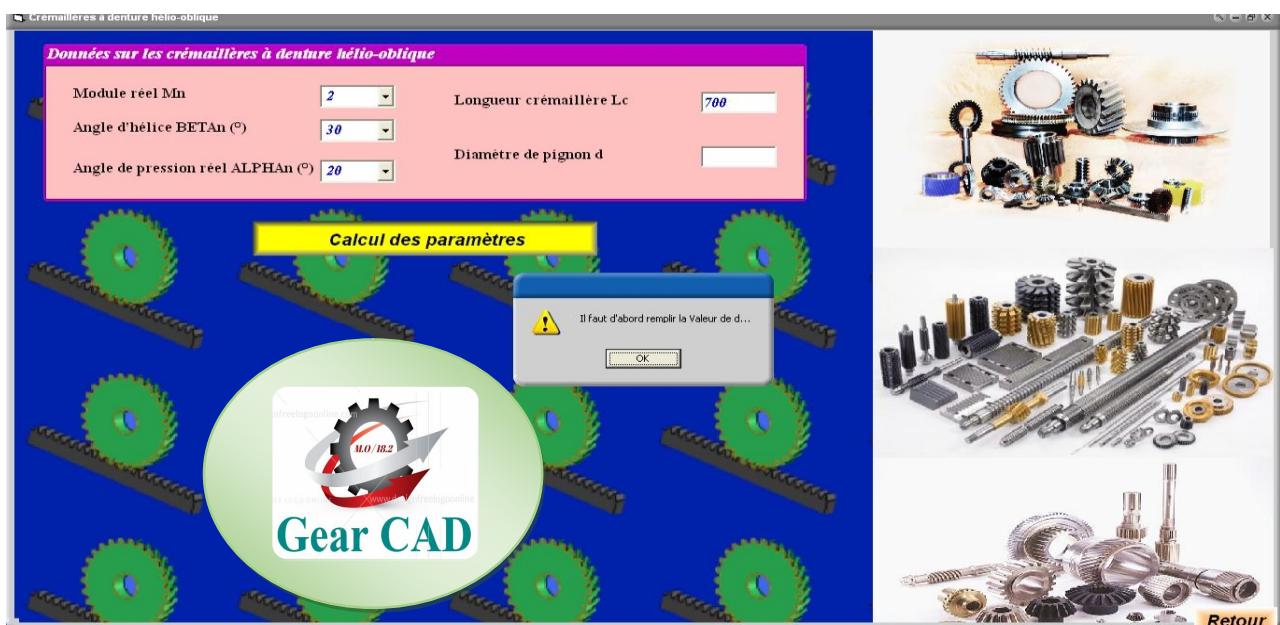
La figure 2.25 représente des cases vides qu'il faut remplir pour les crémaillères à denture hélio-oblique.



**Figure 2.25 :** Représentation une fenêtre contient des cases vides.

### 2.5.6.2. Fenêtre de message

La figure 2.26 illustre affichage de message si l'utilisateur oublie de remplir certaine case de données pour les crémaillères à denture hélio-oblique.



**Figure 2.26 :** Affichage de message.

### 2.5.6.3. Représentation des données des crémaillères à denture hélio-oblique

La figure 2.27 illustre les données sur les crémaillères à denture hélio-oblique sont :

- Module réelle mn ;
- Angle d'hélice BETAn ( $^{\circ}$ ) ;
- Angle de pression réel ALPHAn ;
- Longueur de crémaillère (Lc) ;
- Diamètre de pignon (d);

Après cliqué sur la commande :"calcul des paramètres".



Figure 2.27 : Données des crémaillères à denture hélio-oblique.

### 2.5.6.4. Représentation des résultats

La figure 2.28 illustre l'affichage des résultats sur les crémaillères à denture hélio-oblique.

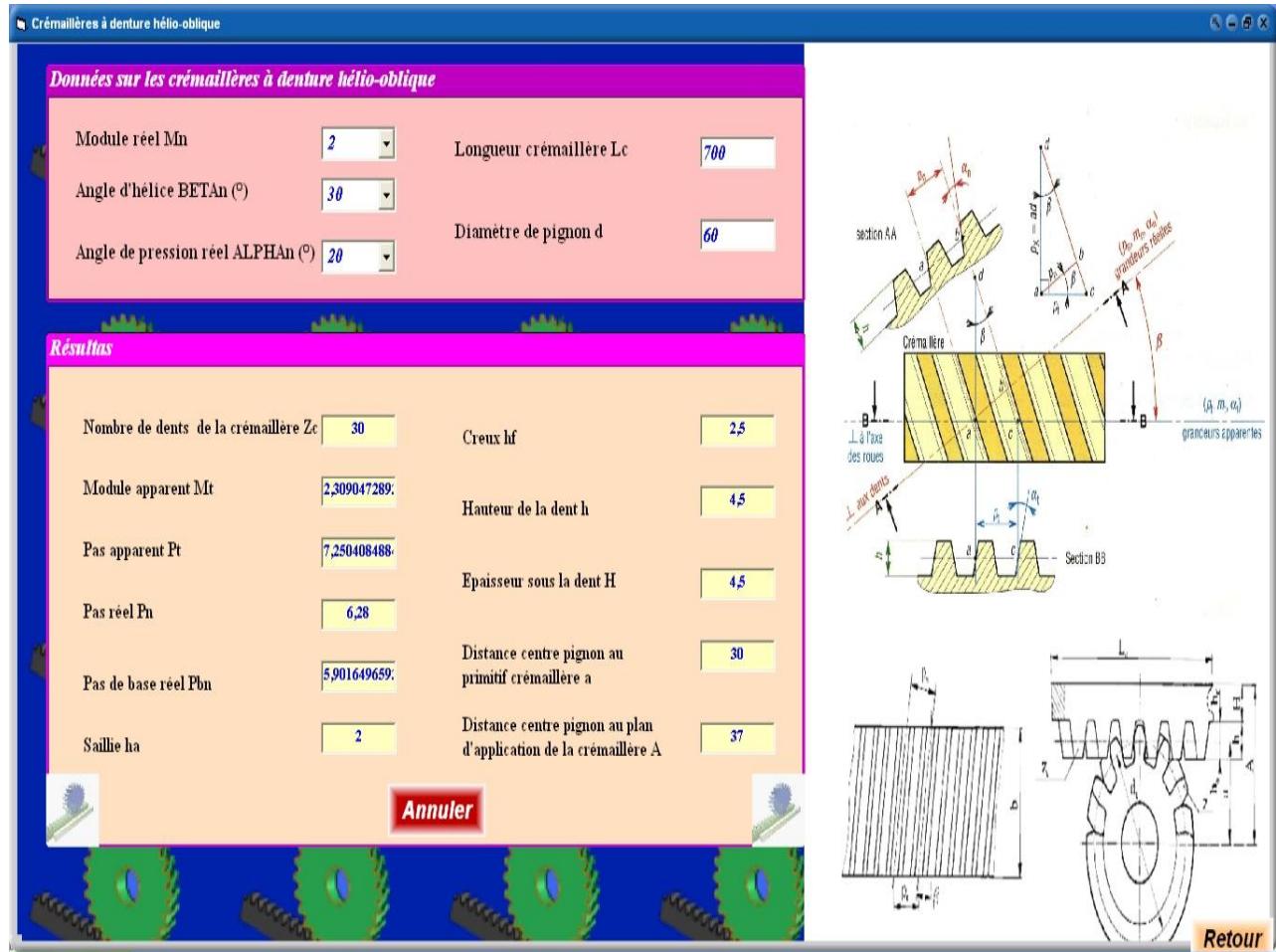
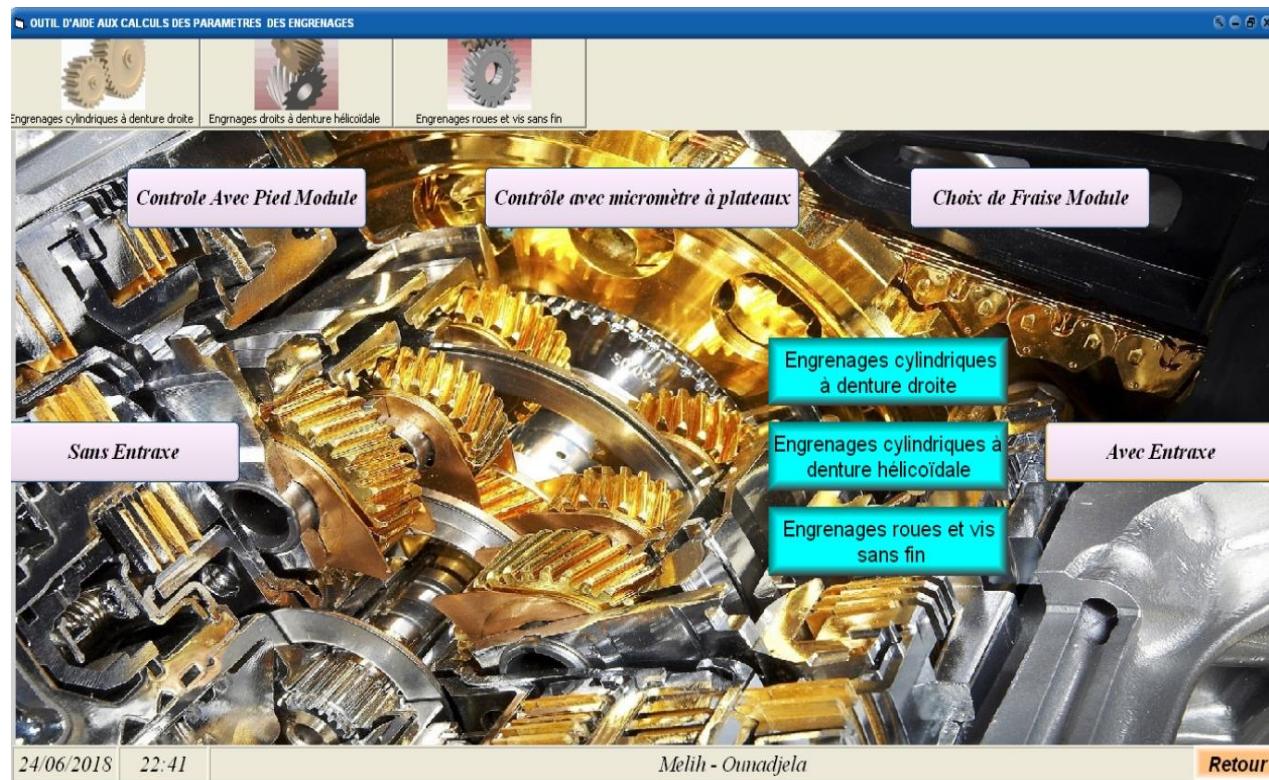


Figure 2.28 : Calcul des résultats des crémaillères à denture hélio-oblique.

## 2.6. Représentation des différents types des engrenages avec entraxe

La figure 2.29 représente les différents types des engrenages avec entraxe

- Engrenage à denture droite ;
- Engrenage à denture hélicoïdale ;
- Engrenage vis sans fin.

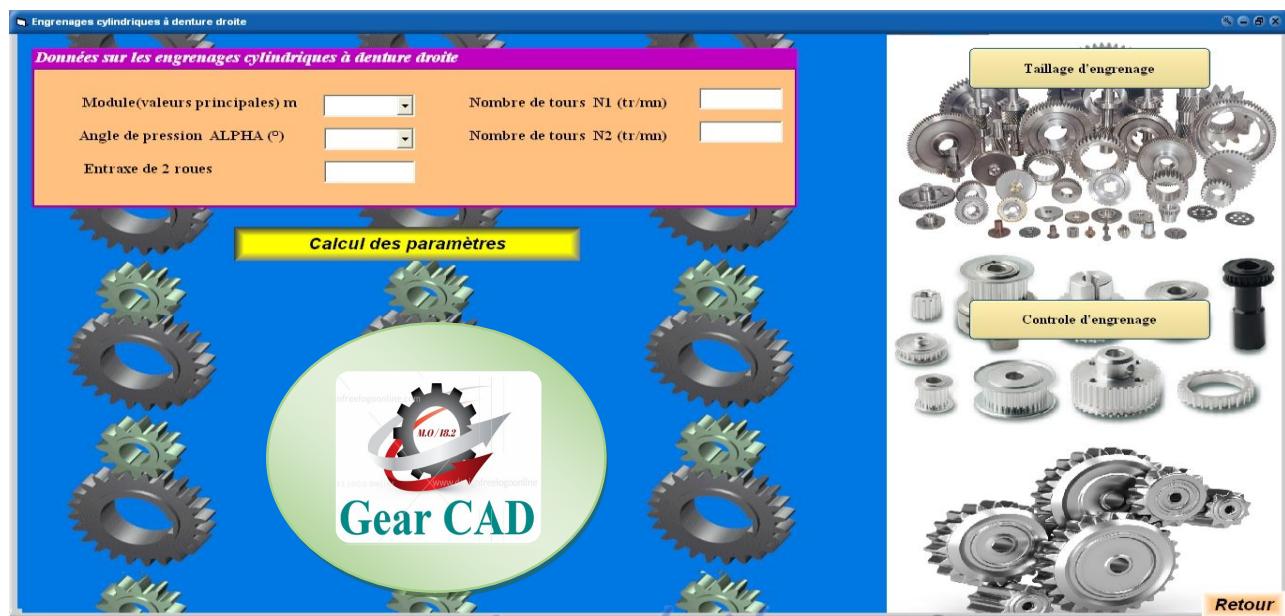


**Figure 2.29 :** Représentation des différents types des engrenages sans entraxe.

## 2.6.1. Engrenage a denture droite

### 2.6.1.1. Fenêtre des cases vides

La figure 2.30 représente des cases vides qu'il faut remplir pour les engrenages cylindriques à dentures droits.



**Figure 2.30 :** Fenêtre des cases vides.

### 2.6.1.2. Fenêtre de message

La figure 2.31 illustre affichage de message si l'utilisateur oublie de remplir certaine case de données.



**Figure 2.31 :** Fenêtre de message.

### 2.6.1.3. Représentation des données des engrenages droits

La figure 2.32 illustre les données sur les engrenages cylindriques à denture droite sont :

- Module ;
- Angle de pression ;
- Le nombre de tours ;
- Nombre de dents ;
- Entraxe de deux roues ;

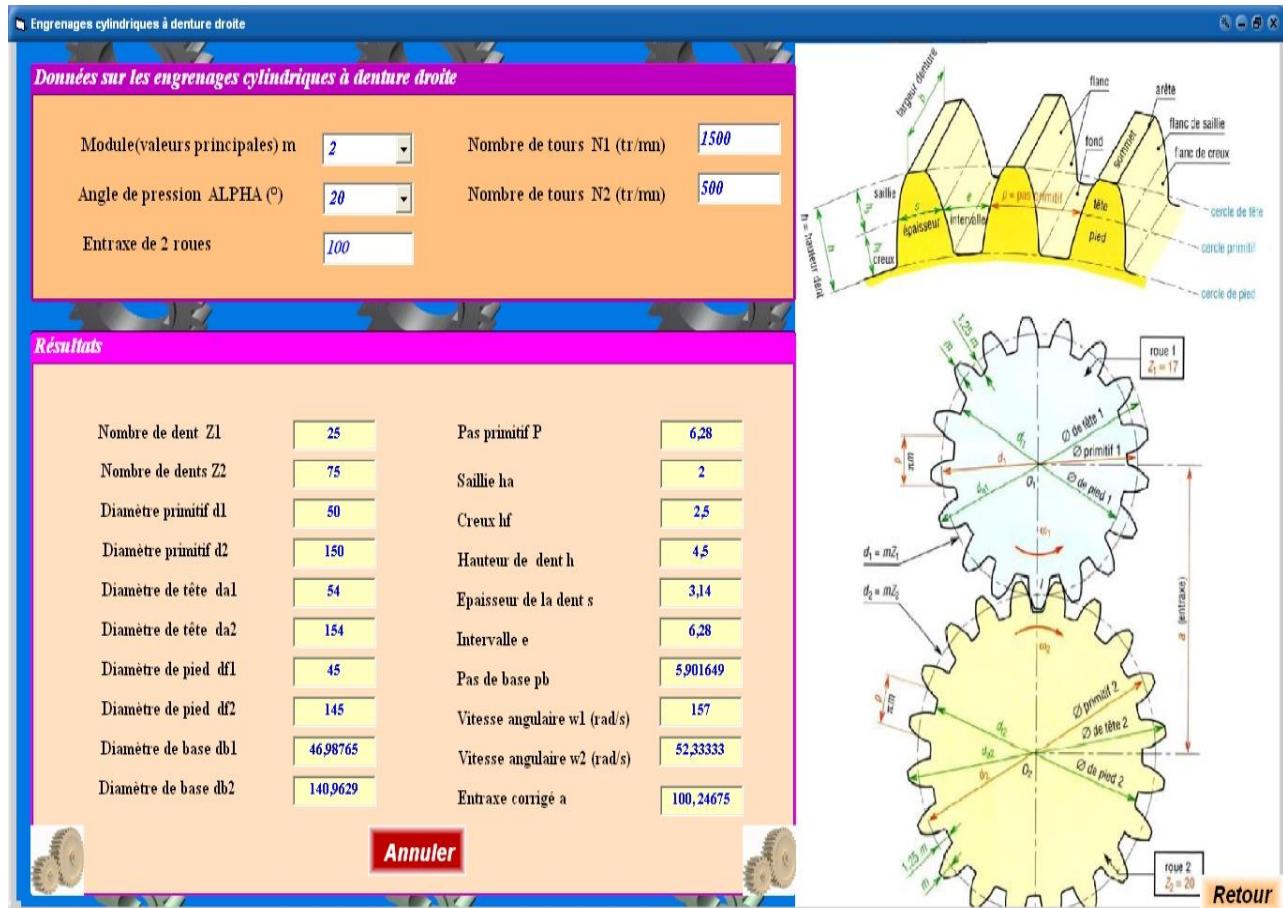
Après cliqué sur la commande :"calcul des paramètres".



**Figure 2.32 :** Représentation des données des engrenages droites.

#### 2.6.1.4. Représentation des résultats

La figure 2.33 illustre l'affichage des résultats.



**Figure 2.33 :** L'affichage des résultats.

## 2.6.2. Engrenage à denture hélicoïdale

### 2.6.2.1. Représentation des cases vides

La figure 2.34 illustre des cases vides qu'il faut remplir pour les engrenages droits à dentures hélicoïdales.



Figure 2.34 : Représentation des cases vides.

### 2.6.2.2. Fenêtre de message

La figure 2.35 illustre affichage de message si l'utilisateur oublie de remplir certaine case de données.



Figure 2.35 : Fenêtre de message.

### 2.6.2.3. Représentation des données des engrenages droits à denture hélicoïdale

La figure 2.36 illustre les données sur les engrenages droits à denture hélicoïdale sont :

- Angle d'hélice BETA ;
- Module réelle mn ;
- Angle de pression réel ALPHAn ;
- Nombre de tours N (1 ; 2) ;
- Nombre de dents Z2 ;
- Entraxe de deux roues ;

Après cliqué sur la commande :"calcul des paramètres".



**Figure 2.36 :** Représentation des données des engrenages à denture hélicoïdales.

### 2.6.2.4. Représentation des résultats

La figure 2.37 illustre l'affichage des résultats des engrenages à denture hélicoïdales.

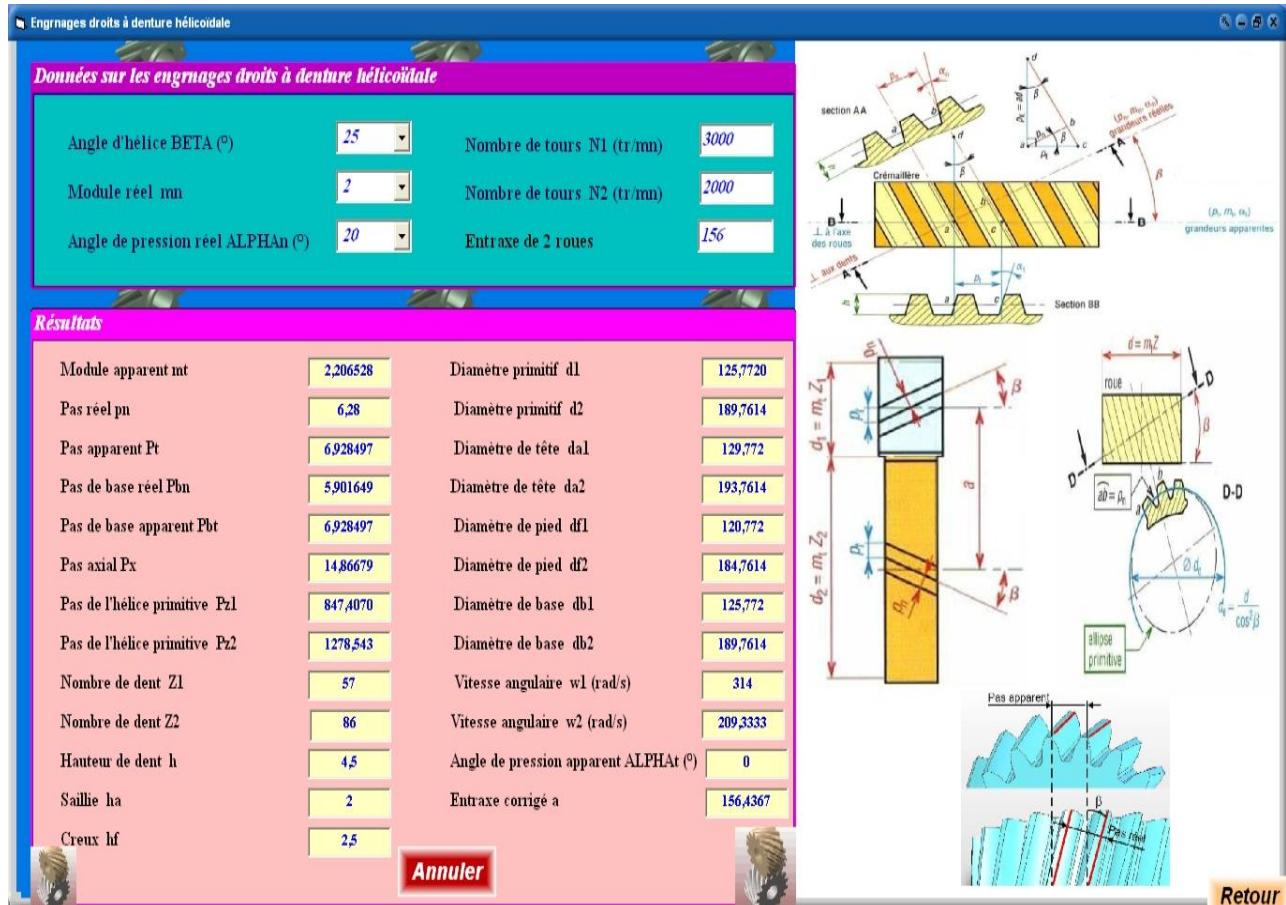


Figure 2.37 : Représentation des résultats des engrenages à denture hélicoïdales.

### 2.6.3. Engrenages roues et vis sans fin

#### 2.6.3.1. Fenêtre des cases vides

La figure 2.38 représente des cases vides qu'il faut remplir pour les engrenages roues et vis sans fin.

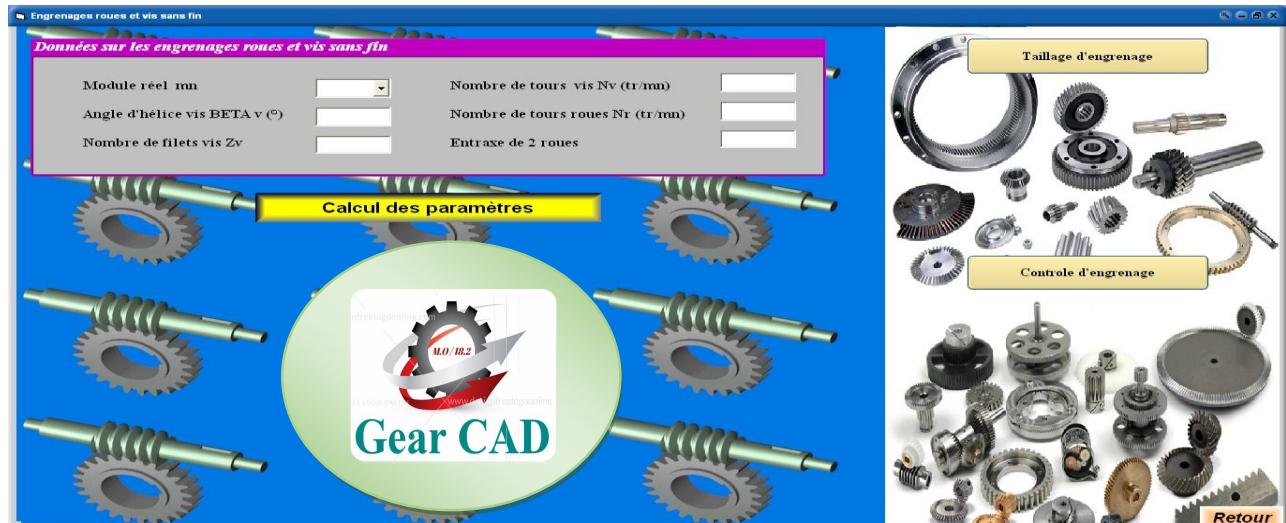


Figure 2.38 : Fenêtre des cases vides.

### 2.6.3.2. Fenêtre de message

La figure 2.39 illustre l'affichage de message si l'utilisateur oublie de remplir certaine case de données pour les engrenages roues et vis sans fin.



**Figure 2.39 :** Fenêtre de message.

### 2.6.3.3. Représentation des données sur les engrenages roues et vis sans fin

La figure 2.40 illustre les données sur les engrenages droits à denture hélicoïdale sont :

- Angle d'hélice vis BETAv ;
- Module réelle mn ;
- Nombre de filets vis Zv ;
- Nombre de tours vis Nv ;
- Nombre de tours roue Nr ;
- Entraxe de deux roues ;

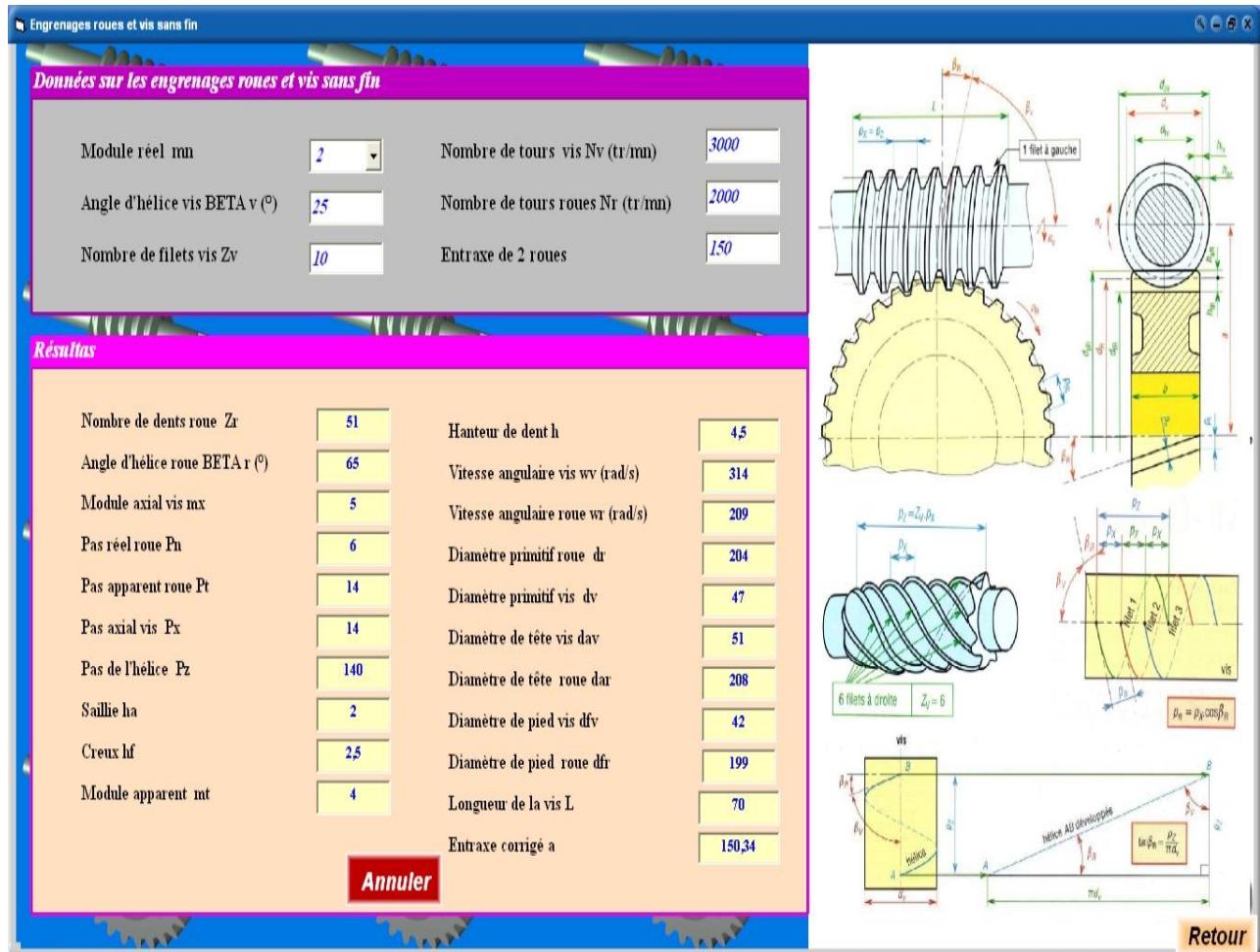
Après cliqué sur la commande :"calcul des paramètres".



**Figure 2.40 :** Représentation des données sur les engrenages roues et vis sans fin.

#### 2.6.3.4. Représentation des résultats

La figure 2.41 illustre l'affichage des résultats de la roue et la vis sans fin.



## 2.7. Contrôle avec pied module

### 2.7.1. Fenêtre des cases vides

La figure 2.42 représente des cases vides qu'il faut remplir pour vérifier les paramètres de denture.

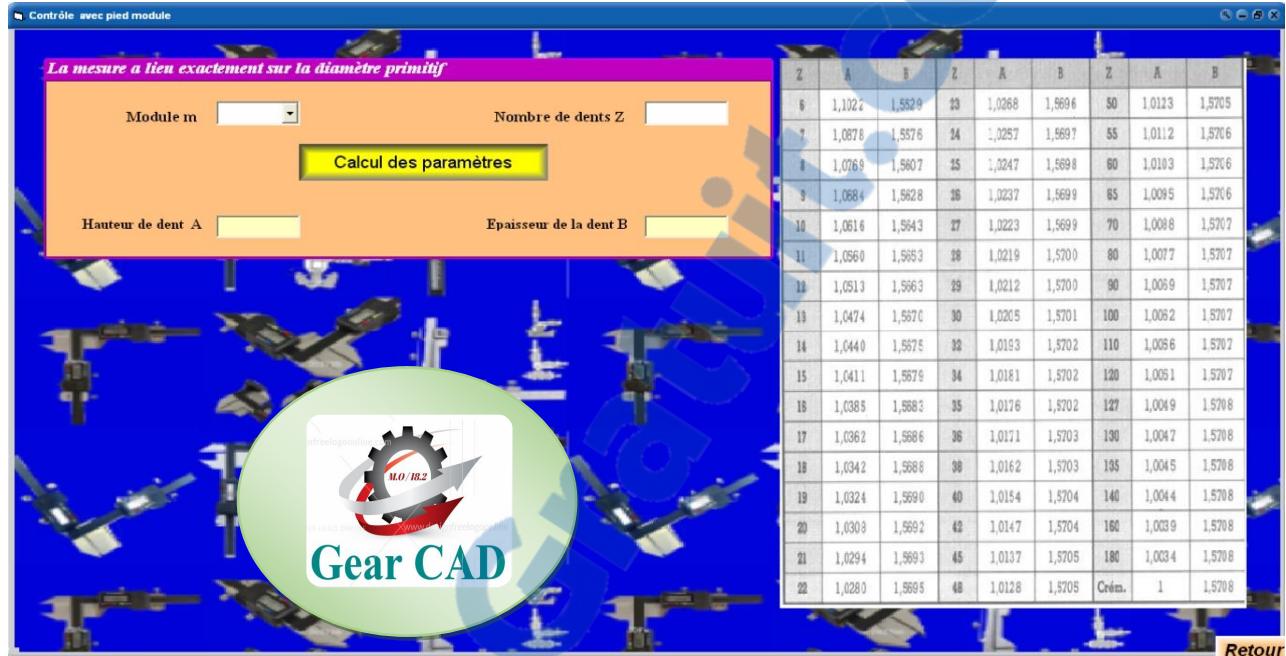


Figure 2.42 : Fenêtre des cases vides.

### 2.7.2. Fenêtre de message

La figure 2.43 illustre l'affichage de message si l'utilisateur oublie de remplir certaine case de données.

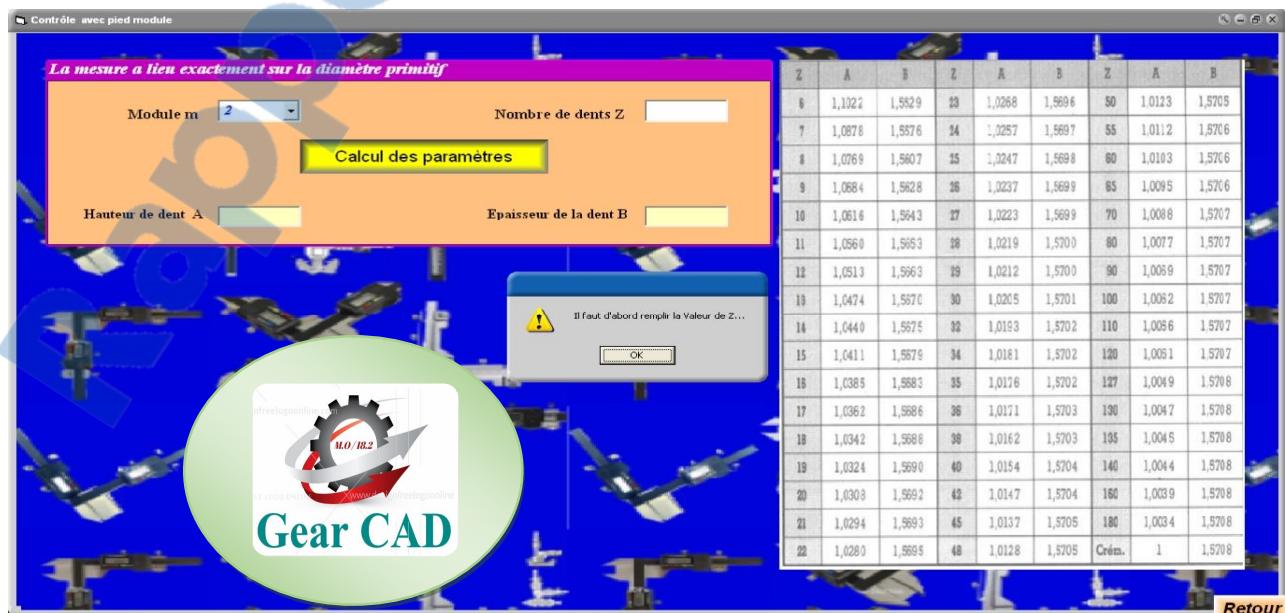


Figure 2.43 : Fenêtre de message.

### 2.7.3. Représentation des données de contrôle

La figure 2.44 illustre les données de contrôle sont :

- Module m ;
- Nombre de dents Z ;

Après cliqué sur la commande :"calcul des paramètres".

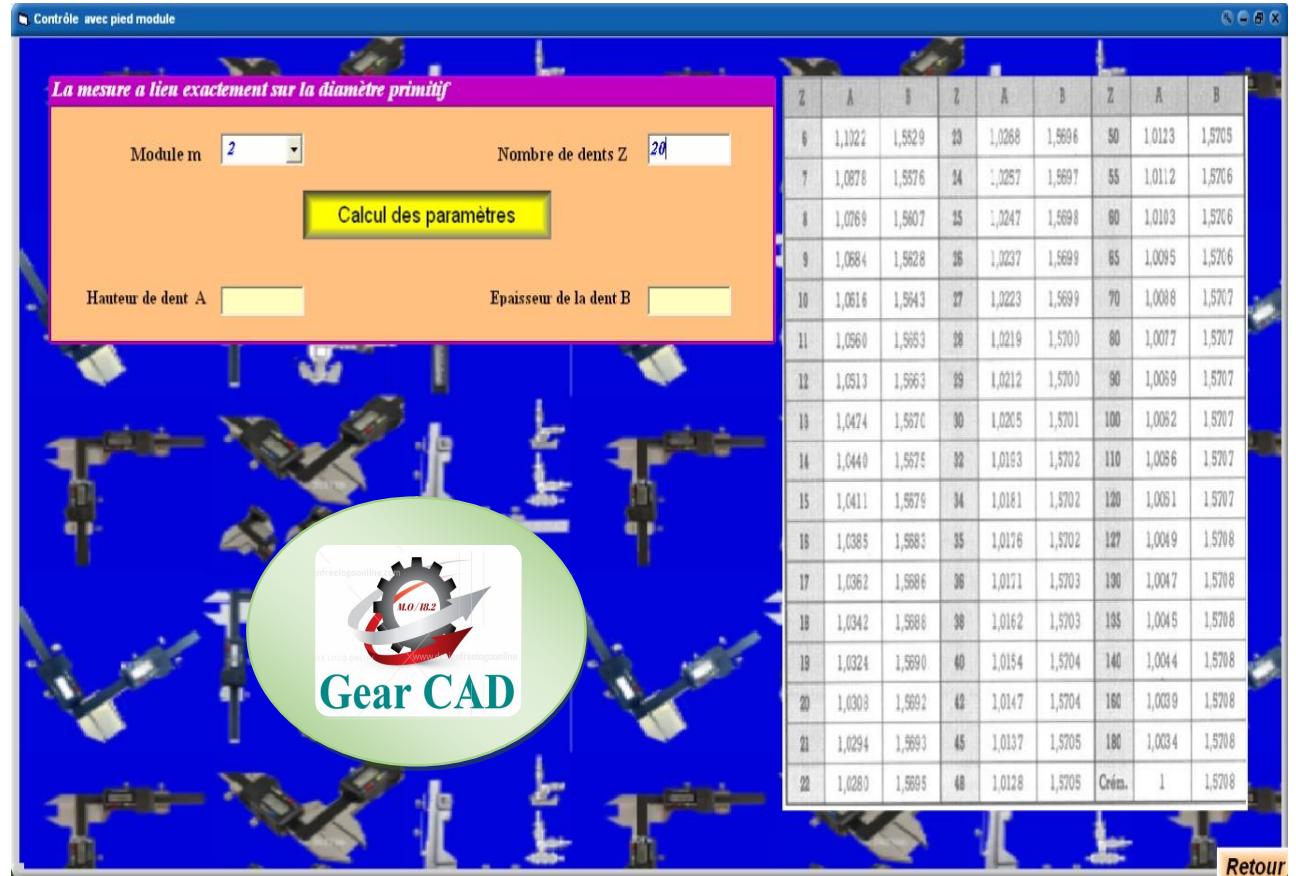


Figure 2.44 : Représentation des données de contrôle.

### 2.7.4. Représentation des résultats

La figure 2.45 illustre l'affichage des résultats de données de contrôle.

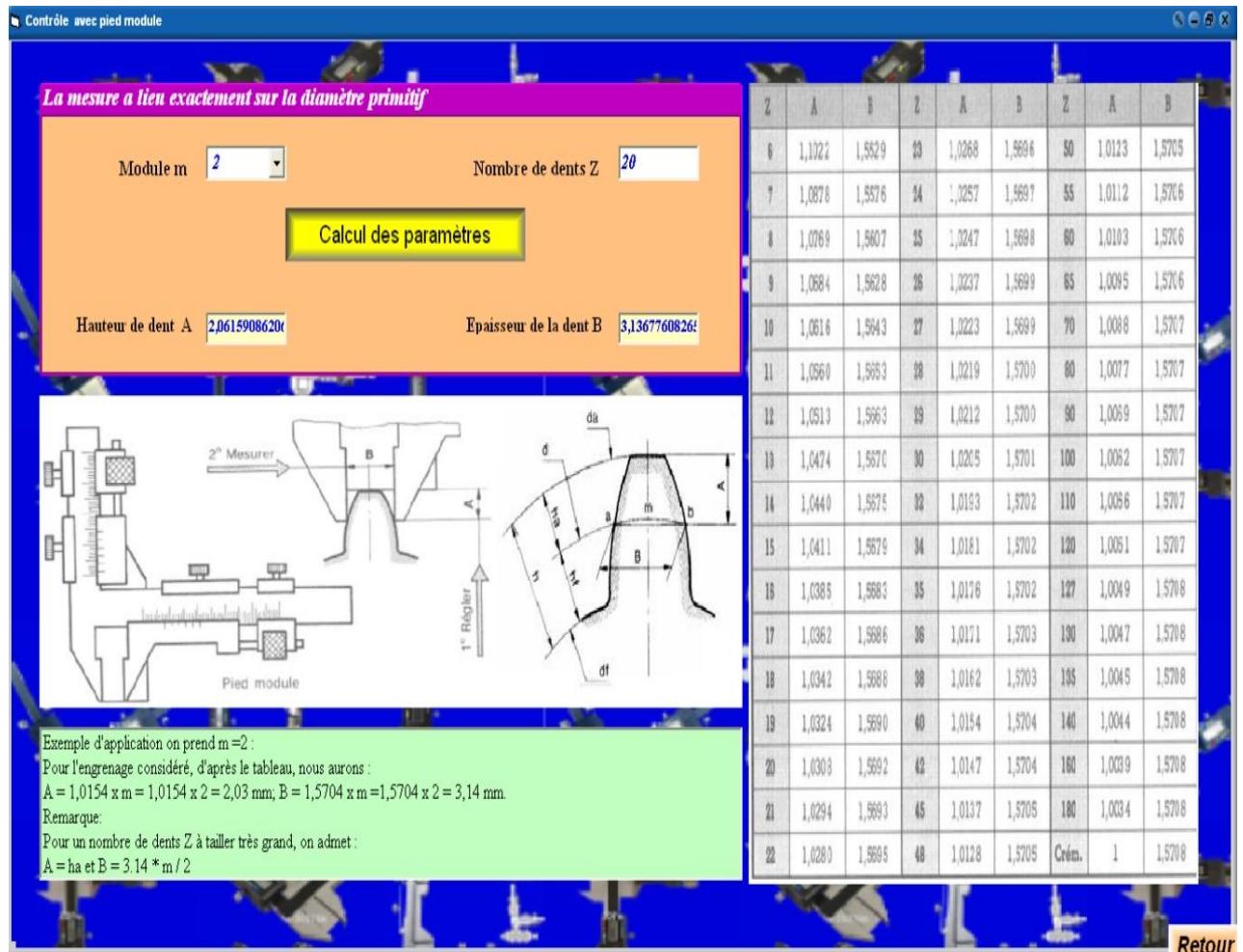


Figure 2.45 : Représentation des résultats.

## 2.8. Contrôle avec micromètre à plateaux

### 2.8.1. Représentation des résultats

La figure 2.46 illustre l'affichage des résultats de contrôle avec micromètre à plateaux.

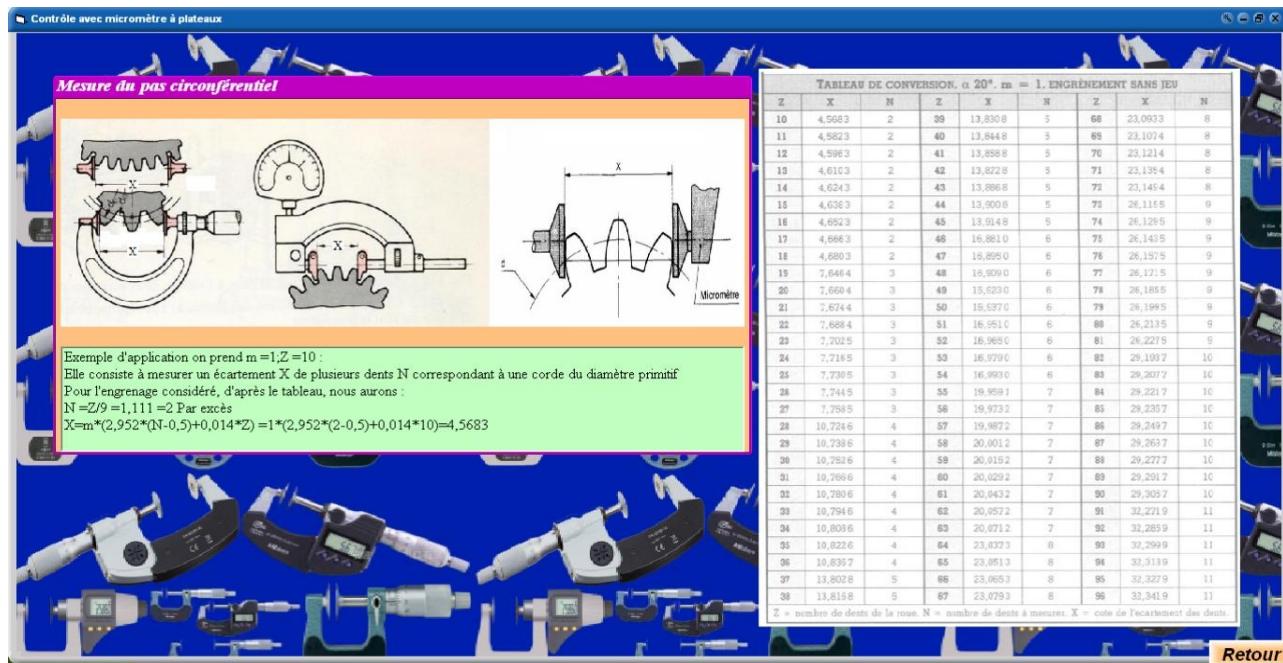


Figure 2.46 : Représentation des résultats.

## 2.9. Choix fraise module

### 2.9.1. Fenêtre des cases vides

La figure 2.47 représente des cases vides qu'il faut remplir pour choisir la fraise module.



Figure 2.47 : Fenêtre des cases vides.

### 2.9.2. Fenêtre de message

La figure 2.48 illustre affichage de message si l'utilisateur oublie de remplir certaine case de données.

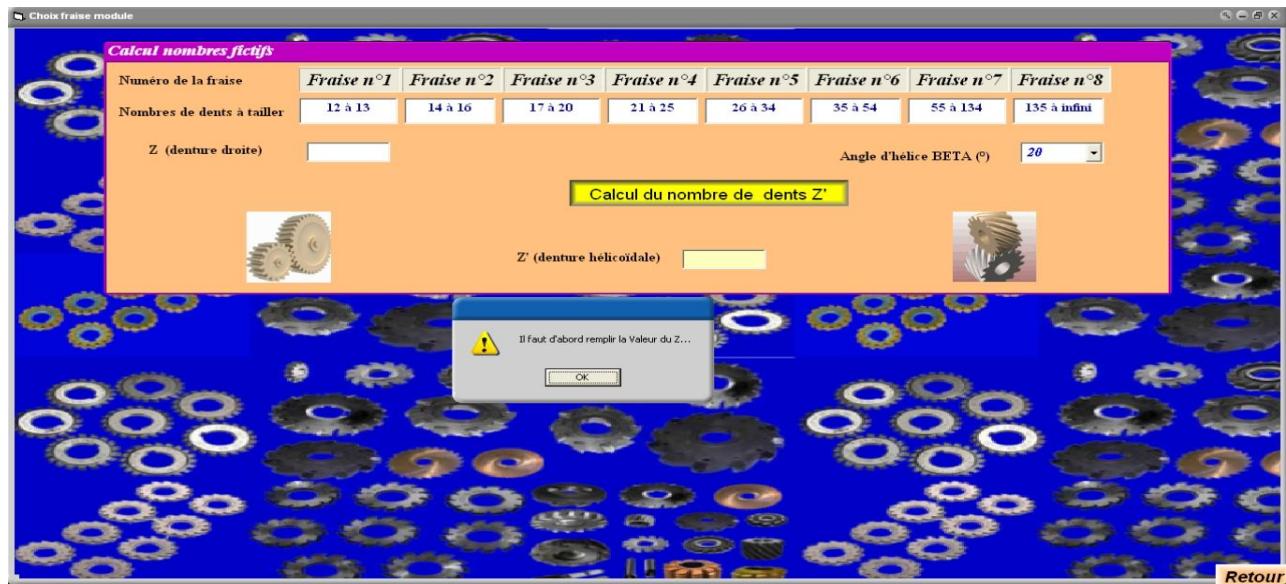


Figure 2.48 : Fenêtre de message.

### 2.9.3. Représentation des données pour choisir fraise module

La figure 2.49 illustre les données pour choisir fraise module sont :

- Module m ;
- Nombre de dents Z ;

Après cliqué sur la commande :"calcul des paramètres".

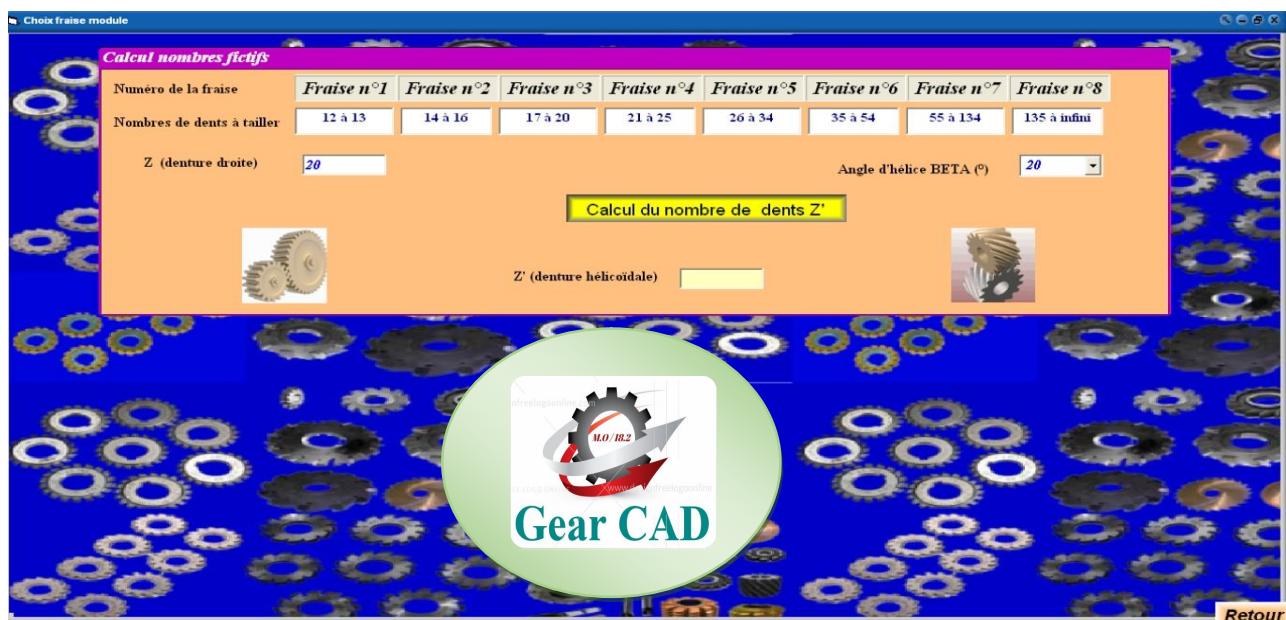


Figure 2.49 : Représentation des données pour choisir fraise module.

## 2.9.4. Représentation des résultats

La figure 2.50 illustre l'affichage des résultats pour choisir fraise module.

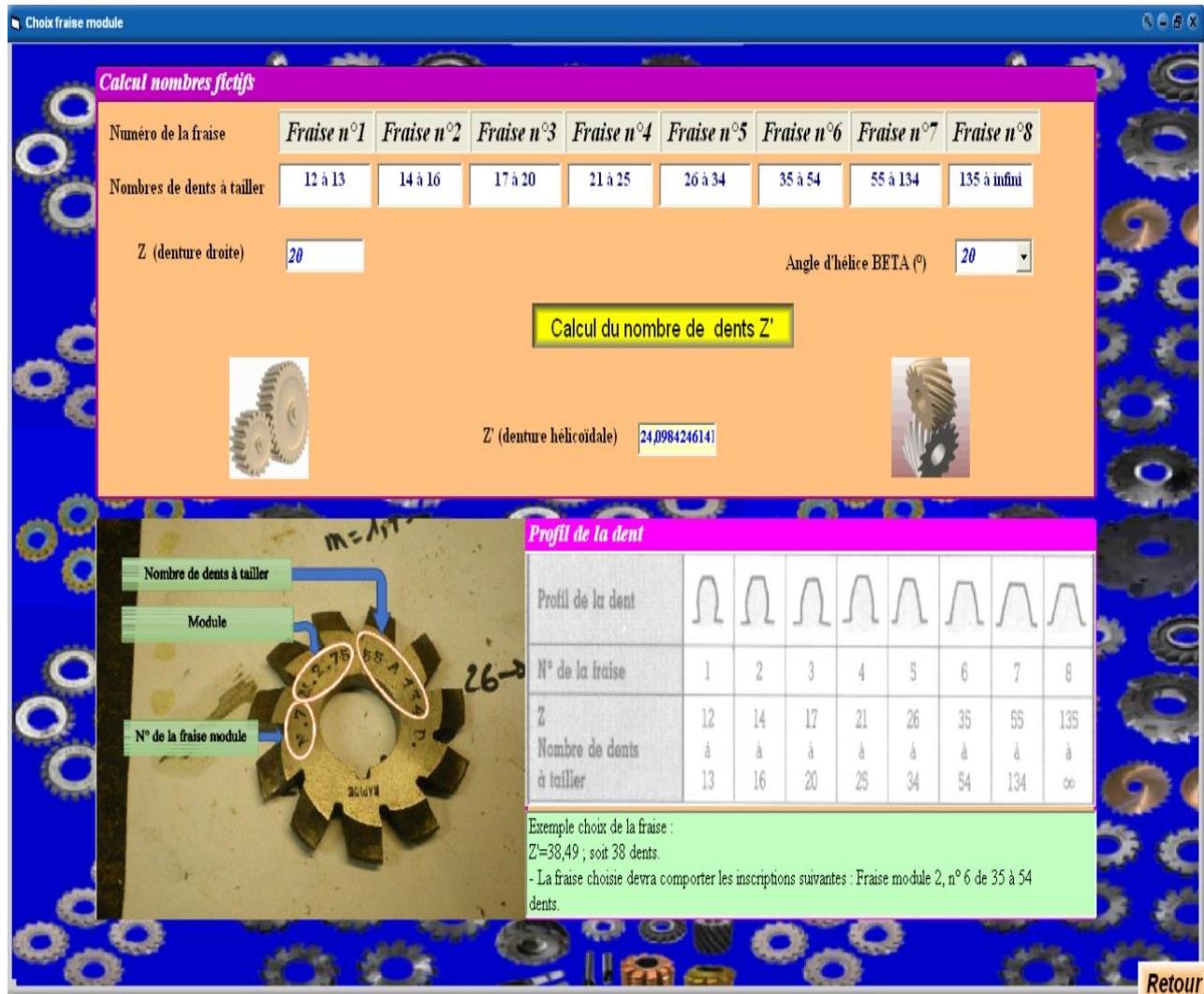


Figure 2.50 : Représentation des résultats.

## **Conclusion générale**

Dans l'industrialisation des machines, la transmission du mouvement par engrenage des différents types représente 95% dans les constructions mécanique, aéronautiques, et navales.

Ce travail a été orienté dans le but d'optimiser le temps de calcul des paramètres géométriques des différents types d'engrenages.

Afin d'atteindre cet objectif, une interface a été développée d'aide au calcul des paramètres tels que diamètre primitif, diamètre de tête, diamètre de pied, hauteur de dent, épaisseur de la dent, pour l'engrenage à denture droite, hélicoïdale ; conique et roue avec vis sans fin.

On conséquence les résultats obtenus sont très fiable et minutieux de prendre en considération le rapprochement de quelques valeurs pour justifier la normalisation des paramètres tels que le nombre de dents, et diamètre primitif.

## **Perspective**

Elargissement du module **Gear CAD/CAM** et **CIM** (productique) ce module est pourrait être utilisé pour didacticiel pour la formation en construction mécanique (BE , BM , Métrologie , FM ,...)

.

## Références bibliographiques

- [1] J. Dufailly,Ellipses. Etude géométrique des engrenages cylindriques de transmission de puissance.
- [2] G. Henriot, Traité théorique et pratique des engrenages, Paris : Dunod, 1979, 6ème édition, Tome I : Théorie et technologie, XII - 662 p.
- [3] G. Henriot, "Manuel pratique des engrenages", Paris : Dunod, 1965 - X- 230 p.
- [4] S. prayoonrat and D. Walton, "Practical approach to optimum gear train design", Computer Aided Design, 1988, Vol. 20, N° 2, pp. 83-92.
- [5] G. Lenormand, R. Mignée, J. Tinel, Foucher , Construction mécanique, tome 3,
- [6] G. Henriot, "Essai de comparaison entre méthodes de calcul de résistance I.S.O. et AGMA", Bulletin de L'I.E.T, Juin 1989, N° 94, pp. 1-66.
- [7] W. S. Rouverol and R. Errchello, "Standard-pitch gearing", Mechanical Engineering, April 1978, pp. 40-44.
- [8] H. L. Chang and Y. C. Tsai, "A mathematical model of parametric tooth profiles for spur gears", ASME, Journal of Mechanical Design, March 1990, Vol. 114, pp. 8-16.
- [9] H. L. Chang and Y. C. Tsai, "An investigation on the design space for parametric tooth profiles", Proc. of the Eighth World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms, Prague, Czechoslovakia, August 26-31, 1990, Vol. 2, pp. 539-542.
- [10] W. C. Orthwein, "Helical and worm gear design", Computers in Mechanical Engineering, Jan./Feb. 1988, pp. 38-43.
- [11] Z. Ou and A. A. Seireg, "Interactive form synthesis of gear coupling teeth", Computers in Mechanical Engineering, April 1983, pp. 40-46.

## ملخص

تعد المنسنات الأكثر استعمالاً لنقل الحركة ما بين محاور متوازية وغير متوازية، فهي أفضل حل تكنولوجي لنقل العزوم وتستخدم على نطاق واسع في المجالات الأكثر تنوّعاً في الهندسة الميكانيكية: الأدوات الآلية، والسيارات، وأجهزة الرفع ...، خاصة في علب التروس، مخفضات السرعة، إلخ. صناعة المنسنات تتطلب بعض الحسابات للتصنيع، هدفنا هو تسهيل هذه الحسابات وللهذا طورنا أداة لحساب هذه المعلومات لكل أنواع المنسنات من أجل تحقيق هذا الهدف، تم دراسة جزئين .

الجزء الأول مكرس لعرض أنواع مختلفة من المنسنات مثل منسنات اسطوانية ذات اسنان قائمة، وذات اسنان لولبية؛ منسنات مخروطية، عجلة وبرغي بلا نهاية.

الجزء الثاني مخصص لعرض الأداة المطورة لحساب المعطيات الهندسية لأنواع المختلفة من المنسنات مثل؛ عدد الأسنان، قطر الرأس، قطر الجذر، ارتفاع الأسنان، سماكة الأسنان.....

**كلمات البحث:** المنسنات؛ اسنان لولبية؛ قطر الجذر؛ علبة السرعات...

---

## Abstract

Gears are the most cost-effective, accurate and specific power transmission devices. They are the best technological solution for transmitting torque and movement in rotation. They are widely used in the most varied fields of mechanical engineering: machine tools, automobiles, lifting devices ..., especially in gearboxes, gearboxes, drives, etc.

The objective of this work is to develop a tool for calculating the parameters of different types of gears. In order to achieve this goal, two parts have been developed.

The first part is devoted to the presentation of the different types of gear such as the spur gear, helical gear; conical and worm wheel.

The second part is devoted to the presentation of the tool developed for the calculation of the geometrical parameters of the different types of gears such as; number of teeth, pitch diameter, head diameter, root diameter, tooth height, tooth thickness ...

**Keywords:** gear; helical gear; root diameter; gearboxes....

---

## Résumé

Les engrenages sont les organes de transmission de puissance les plus rentables, précis et spécifiques. Ils constituent la meilleure solution technologique pour transmettre le couple et le mouvement en rotation. Ils sont largement répandus dans les domaines les plus variés de la construction mécanique : machines-outils, automobiles, appareils de levage..., particulièrement dans les boîtes de vitesses, boîtes des avances, variateurs, ...

L'objectif de ce travail consiste au développement d'un outil d'aide au calcul des paramètres des différents types d'engrenages. Afin d'atteindre ce but, deux parties ont été développées.

La première partie est consacrée à la présentation des différents types d'engrenage tels que l'engrenage à denture droite, hélicoïdale ; conique et roue avec vis sans fin.

La deuxième est consacrée à la présentation de l'outil développé pour le calcul des paramètres géométriques des différents types d'engrenages tels que ; nombres de dents, diamètre primitif, diamètre de tête, diamètre de pied, hauteur de dent, épaisseur de la dent....

**Les mots clés :** engrenage ; hélicoïdale ; diamètre de pied ; boîtes de vitesses...