

Objectifs : A la fin de la séance, je dois être capable de :

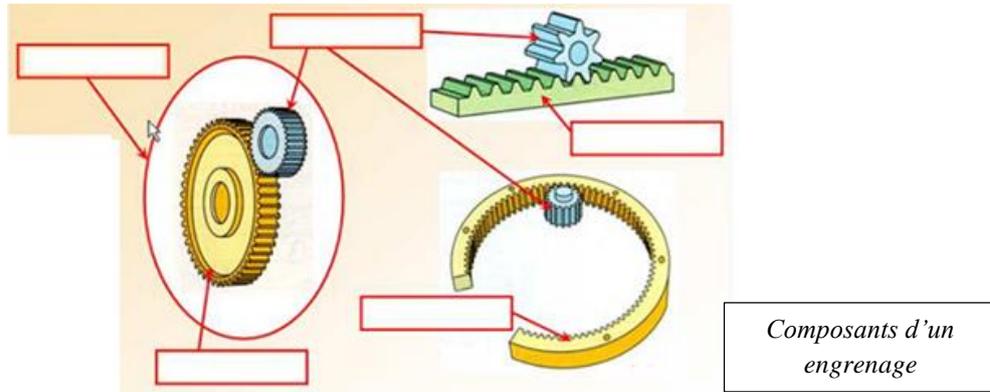
- Nommer les éléments constituant un engrenage ;
- Classifier les différents types d'engrenage ;
- Calculer les efforts sur une dent de pignon;
- Choisir le module normalisé d'une roue dentée ;
- Déterminer les caractéristiques géométriques d'une roue dentée ;
- Réaliser son dessin de définition.

Prérequis : Notions de dessin industriel, de trigonométrie, calcul de puissance et de rendement.

1- Définition et vocabulaire :

Les engrenages sont des composants essentiels. Ils font partie des systèmes de transmission de puissance les plus utilisés, les plus résistants et les plus durables.

Un engrenage est composé de deux roues dentées (la plus petite est appelée pignon) servant à la transmission d'un mouvement de rotation. En contact l'une avec l'autre, elles transmettent de la puissance par obstacle.



2. Fonction globale :

La fonction globale d'un engrenage est de transmettre un mouvement de rotation par obstacles en changeant ses caractéristiques (le couple et la vitesse angulaire donc la puissance).

3. Classification :

Suivant la position relative des axes des roues, on distingue:

| Les engrenages parallèles (axes parallèles) | Les engrenages concourants (axes concourants) | Les engrenages gauches (axes ne sont pas dans le même plan) |
|---|---|---|
| | | |

Classification selon la position des axes

On peut aussi classifier les engrenages par familles:

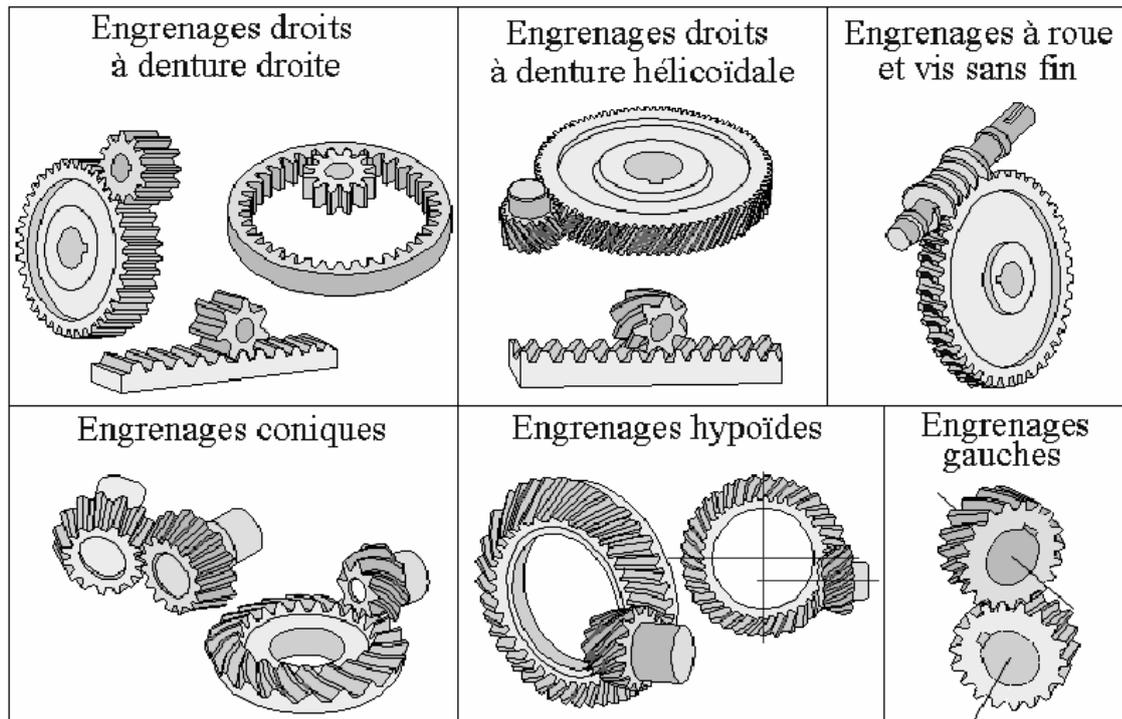


Fig. 3: classification des engrenages par familles

4. Principe de l'engrènement

Pour assurer la continuité de l'engrènement, *il faut qu'un couple de dents entre en contact avant que le précédent ne perde le contact.*

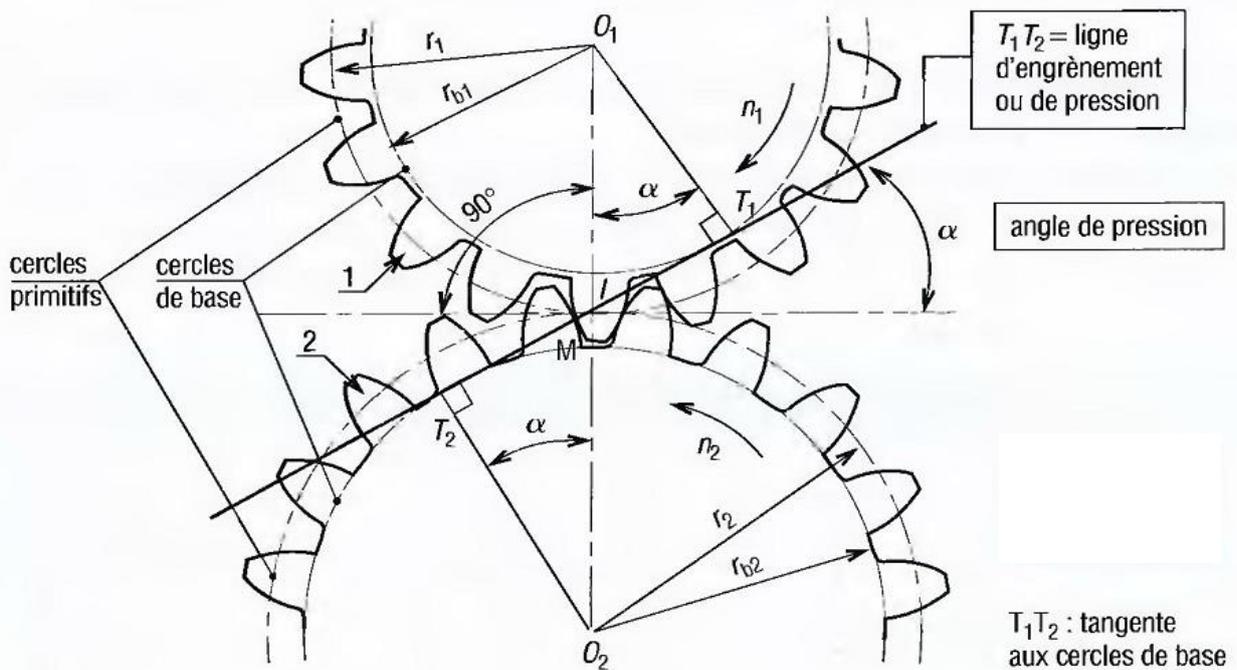
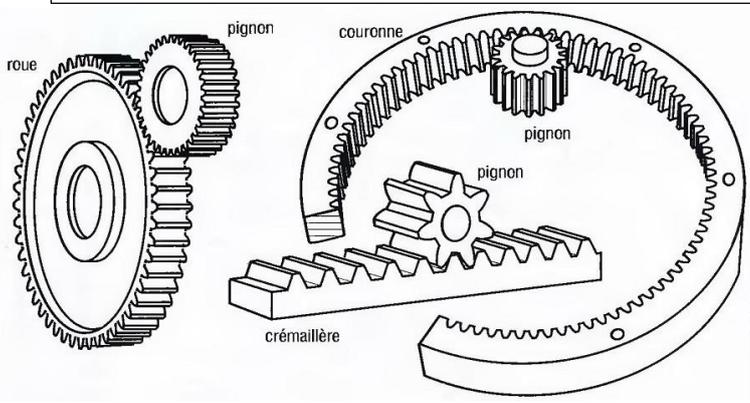


Fig. 4: condition d'engrènement de deux roues dentées

5. Engrenages cylindriques à denture droite :

5.1. Présentation :

Différents types d'engrenages cylindriques à dentures droites



Différentes formes de roue dentées

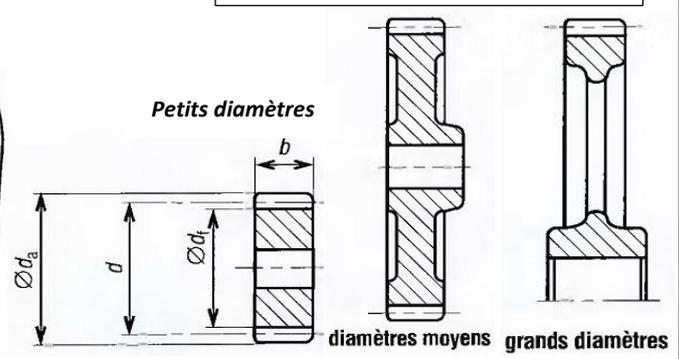
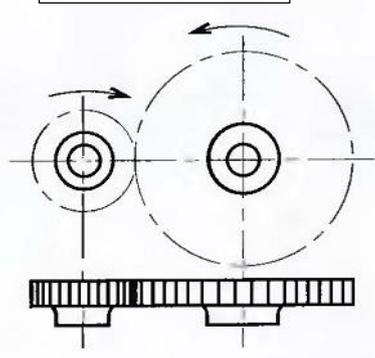
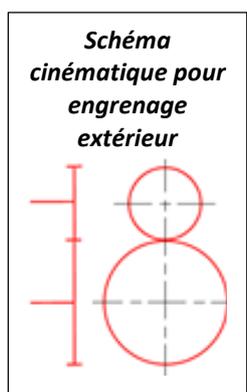
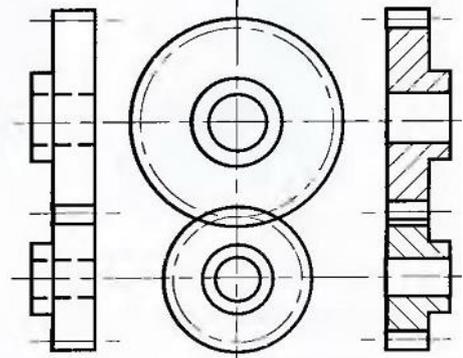


Schéma de principe



Dessin normalisé



5.2. Caractéristiques d'une denture droite :

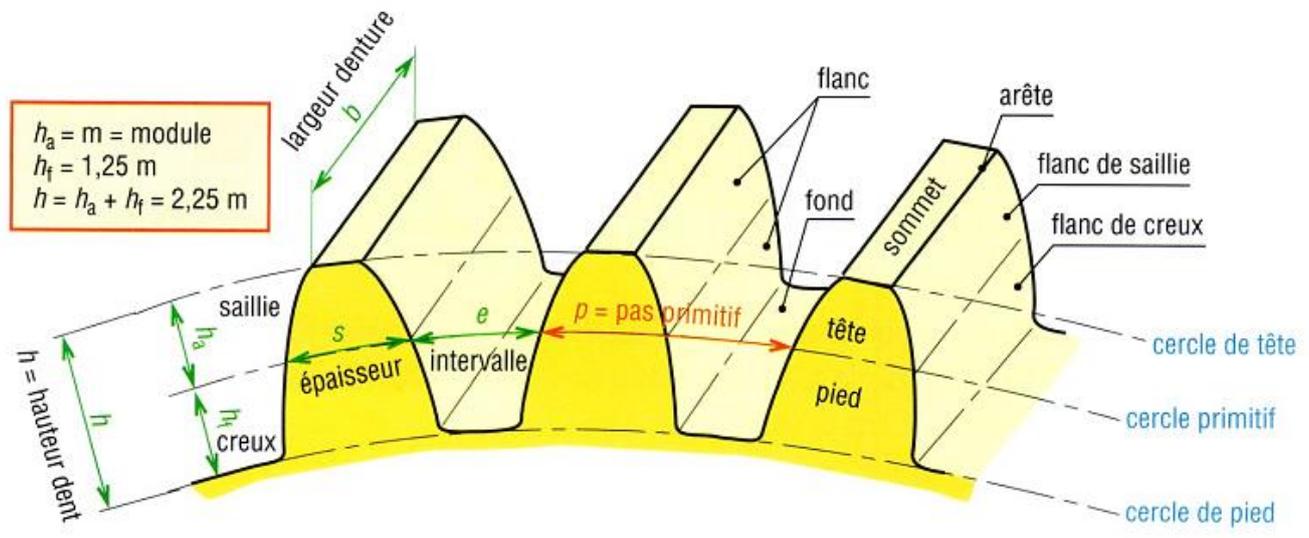


Fig. 5: Symboles et vocabulaire utilisés pour décrire la forme de la denture

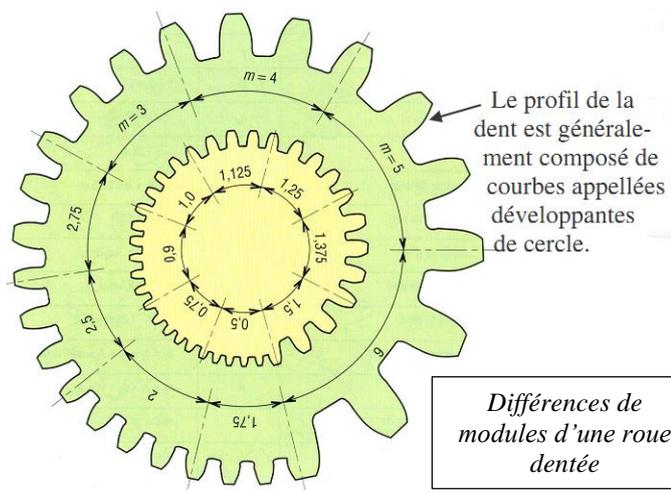
| | | Pignon ou roue | Roue intérieure (couronne) |
|----------------------------------|-----------|---|--|
| Module | m | Déterminé par un calcul de résistance des matériaux Deux roues dentées en prise ont le même module | |
| Nombre de dents | Z | Nombre entier | |
| Pas | p | $p = m \cdot \pi$ | |
| Saillie | ha | $ha = m$ | |
| Creux | hf | $hf = 1,25 \cdot m$ | |
| Hauteur de dent | h | $h = ha + hf = 2,25 m$ | |
| Diamètre primitif | d | $d = m \cdot Z$ | |
| Diamètre de tête | da | $da = d + 2 ha$ $da = d + 2 m$ $da = m \cdot (Z + 2)$ | $da = d - 2 m$ $da = m \cdot (Z - 2)$ |
| Diamètre de pied | df | $df = d - 2 hf$ $df = d - 2,5 \cdot m$ $df = m \cdot (Z - 2,5)$ | $df = d + 2,5 m$ $df = m \cdot (Z + 2,5)$ |
| Entraxe de 2 roues A et B | a | $a = \frac{(dA + dB)}{2} = \frac{m \cdot (ZA + ZB)}{2}$ | |

Entraxe pour eng int

Coefficient b :

- Le module (m):

Le module d'une denture est la valeur qui permet de définir les caractéristiques d'une roue dentée. Le module est une grandeur normalisée.



Différences de modules d'une roue dentée

Le module **m** choisi parmi les modules normalisés est déterminé par un calcul de résistance des matériaux. La relation permettant le calcul de ce module est :

$$m \geq 2.34 \sqrt{\frac{T}{k \cdot Rpe}}$$

*T : effort tangentiel sur la dent pris au diamètre primitif (en Newton).
k : coefficient de largeur de denture (sans unité).
Rpe : résistance pratique à l'extension (en N/mm² ou MPa). Elle dépend du matériau utilisé.*

Quelques valeurs normalisées du module :

| Valeurs normalisées du module <i>m</i> (NF ISO 54...) | | | | | | | | | |
|---|--------|------|----|----|---------------------------|--------|-------|-----|----|
| valeurs principales en mm | | | | | valeurs secondaires en mm | | | | |
| 0,06 | 0,25 | 1,25 | 5 | 20 | 0,07 | 0,28 | 1,125 | 5,5 | 22 |
| 0,08 | 0,30 | 1,5 | 6 | 25 | 0,09 | 0,35 | 1,375 | 7 | 28 |
| 0,10 | 0,40 | 2 | 8 | 32 | 0,11 | 0,45 | 1,75 | 9 | 36 |
| 0,12 | (0,50) | 2,5 | 10 | 40 | 0,14 | (0,55) | 2,75 | 11 | 45 |
| 0,15 | (0,80) | 3 | 12 | 50 | 0,18 | (0,7) | 3,5 | 14 | 55 |
| 0,20 | 1,0 | 4 | 16 | 60 | 0,22 | (0,9) | 4,5 | 18 | 70 |

5.3. Rapport de vitesses :

ω_1 et ω_2 sont les vitesses angulaires respectives des roues dentées (1) et (2) :

Z_1 : Nombre de dents de la roue (1)

Z_2 : Nombre de dents de la roue (2)

Non glissement au point (M) :

$$||\vec{V}_{(M1/O)}|| = ||\vec{V}_{(M2/O)}||$$

$$\omega_1 \cdot \frac{d_1}{2} = \omega_2 \cdot \frac{d_2}{2} \quad r = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

ω : Vitesse angulaire exprimée en rad/s

N : fréquence de rotation exprimée en tr/min

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad \Rightarrow \quad r = \frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

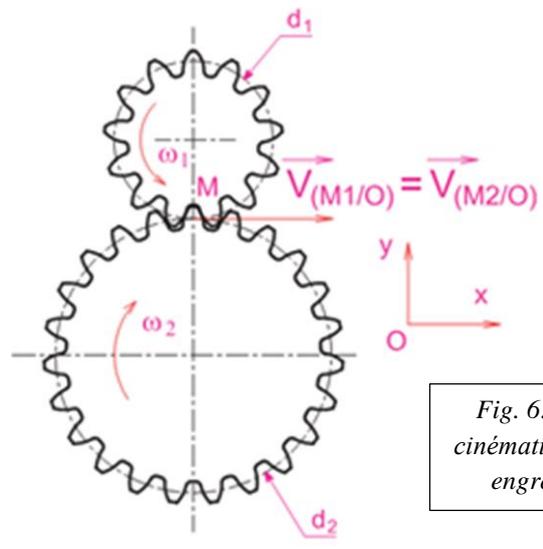


Fig. 6: Étude cinématique d'un engrenage

- Cas d'un système pignon-crémaillère :

Expression de la vitesse

Linéaire de la crémaillère

$$V_2 = \omega_1 r_1$$

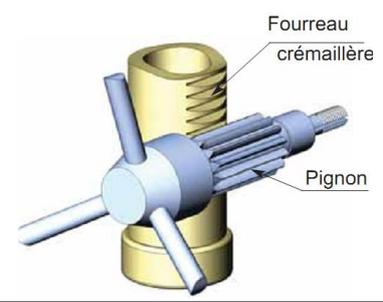
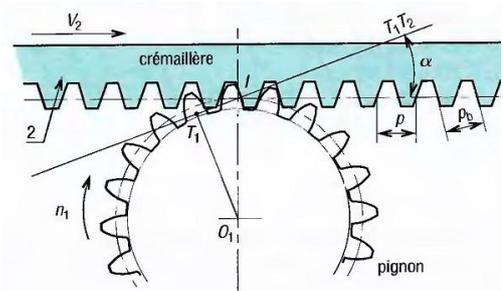


Fig. 7: Exemple de système pignon crémaillère utilisé en transformation de mouvement

5.4. Efforts sur la denture:

L'effort $\vec{F}_{1/2}$ normal à la dent (Action de la roue menante sur la roue menée) étant incliné de l'angle de pression α (20° en général), on considère les deux projections de $\vec{F}_{1/2}$ suivant:

- la tangente commune aux cercles primitifs qui donne \vec{F}_T (effort tangentiel en Newton, utilisé pour le calcul du module)
- la normale commune aux cercles primitifs qui donne \vec{F}_R (effort radial en Newton, utilisé pour le calcul des dimensions transversales des arbres en flexion).

Formules

$$F_T = F \cos \alpha$$

$$F_R = F \sin \alpha = F_T \cdot \tan \alpha$$

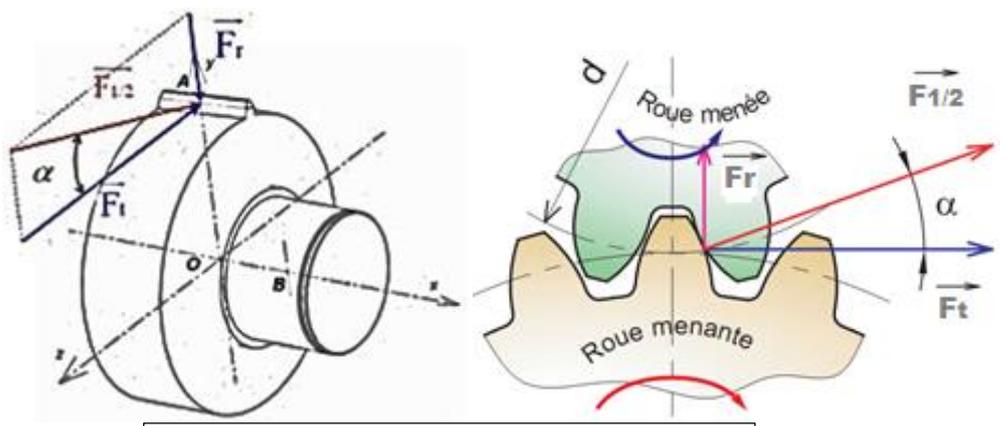
$$F = \sqrt{F_T^2 + F_R^2}$$


Fig. 8: illustration des efforts sur une denture droite

| | | |
|------------------------|---|---------------------------|
| Construction mécanique | Transmission de puissance par engrenages | LTI DELAFOSSE : 2014/2015 |
| Classe : Terminale | Chap 4 : Engrenages cylindriques à denture droite | Page 6/6 |

5.5. Inconvénient de ce type d'engrenage :

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

5.6. Matériaux utilisés:

Fonte à graphite sphéroïdal : Roues de grandes dimensions.
 Aciers ordinaires type C : Engrenages peu chargés.
 Aciers au nickel-chrome : Engrenages fortement chargés.
 Matières plastiques (Nylon, Téflon...) : Faible puissances.

Application 1 :

Un pignon d'engrenage droit à denture droite engrène avec une roue dentée. Sachant que le rendement de la transmission est 0,98 ; l'angle de pression 20° , l'entraxe 192 mm et un rapport de réduction 3/5 .
 on demande de:

- 1- Calculer la puissance disponible sur la roue si le moteur tourne à une fréquence de 500 tr/min à une puissance de 40 kW ;
- 2- Calculer les efforts sur une dent du pignon;
- 3- Choisir (parmi les series normalisées) le module pour chaque roue dentée ;
- 4- Déterminer les caractéristiques géométriques du pignon ;
- 5- Réaliser le dessin de définition du pignon en deux vues en indiquant les tolérances géométriques et les indications d'états de surfaces.

Nota : la valeur du coefficient de largeur de denture étant de 10 et la résistance pratique à l'extension 92,5 MPa.

Application 2:

Un pignon d'engrenage droit à denture droite de diamètre d_1 engrène avec une roue dentée de diamètre d_2 égal à celui du pignon. Sachant que le rendement de la transmission est 0,98 ; l'angle de pression 20° , l'entraxe 192 mm.

on demande de:

- 1- Calculer la valeur approchée du module en fonction de l'effort tangentiel du pignon puis, de le choisir parmi les series principales normalisées sachant que le couple C_2 disponible sur la roue équivaut à 390 N.m .
- 2- Déterminer, en utilisant un tableau, les caractéristiques géométriques de l'engrenage;

Nota : la valeur du coefficient de largeur de denture étant de 10 et la résistance pratique à l'extension 0,0925 GPa.

