

TRANSMISSION DE PUISSANCE

COURS et TRAVAUX DIRIGÉS



Table des matières

| | |
|---|----|
| 1. QUELQUES ELEMENTS DE COURS BASIQUES | 2 |
| 2. DÉMARREUR ÉLECTRIQUE DE MOTEUR THERMIQUE | 6 |
| 3. ETUDE CINEMATIQUE D'UNE TETE A POLIR LE MARBRE | 7 |
| 4. MOTORISATION D'UN SCANNER | 9 |
| 5. REDUCTEUR DE POIDS LOURD A TRAIN EPICYCLOIDAL..... | 11 |
| 6. MOBILISATION DES CONNAISSANCES : SECATEUR PELENC | 13 |
| 7. POULIE REDEX : RAPPORT DE REDUCTION..... | 14 |

Illustration de la première de couverture

Transmission de puissance de vélo et moto avec changement de rapports : système de « dérailage » pour le vélo, boîte de vitesse à crabotage pour la moto. Une même exigence, deux mondes technologiques différents !

1. QUELQUES ELEMENTS DE COURS BASIQUES

Définition : rapport de réduction

Soit un système de transmission de mouvement incluant des composants fondamentaux tels qu'engrenage, poulie/courroie, chaîne... Les vitesses de l'arbre d'entrée et de sortie sont ω_e (rad/s) et ω_s (rad/s).



Le rapport de réduction r du système de transmission est défini par le rapport des vitesses : $r = \frac{\omega_s}{\omega_e}$.

Le rapport de transmission est : $i = \frac{1}{r} = \frac{\omega_e}{\omega_s}$

Les vitesses sont sous entendues par rapport au bâti.

Vocabulaire : système inverseur/non inverseur, réducteur/multiplicateur

$\frac{\omega_s}{\omega_e} < 0$: Système inverseur

$\frac{\omega_s}{\omega_e} > 0$: Système non inverseur

$\left| \frac{\omega_s}{\omega_e} \right| < 1$: Système réducteur (la TRÈS grande majorité des cas)

$\left| \frac{\omega_s}{\omega_e} \right| > 1$: Système multiplicateur

Pour $\omega_e(t)$ constante, si $\omega_s(t)$ est constante, on parle de **transmission homocinétique**.

Le rapport de réduction est alors constant : $\frac{\omega_s}{\omega_e} = C^{te}$. Les transmissions par engrenage, poulie/courroie, pignon/chaîne sont homocinétiques.

Rapport de réduction : poulie/courroie et Pignon/Chaîne

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

D_i = diamètre de la poulie i

z_i = nombre de dents du pignon i

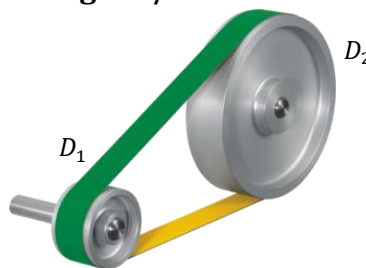


Figure : poulie/courroie



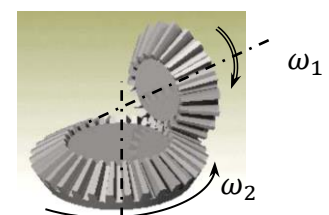
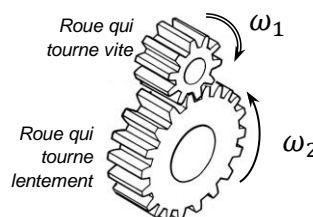
Figure : pignon/chaîne

Rapport de réduction : engrenage

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\theta_2}{\theta_1} = \pm \frac{z_1}{z_2}$$

Attention : le signe \pm n'a de sens que pour une transmission entre arbres parallèles.

Sinon on écrit le rapport des vitesses en valeur absolue. En effet la comparaison du sens des vitesses n'a pas de

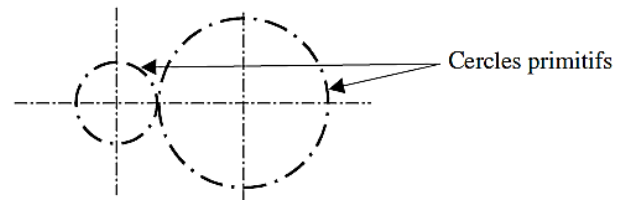


Engrenage conique : axes sécants

signification pour des arbres non parallèles.

Cinématique d'un engrenage

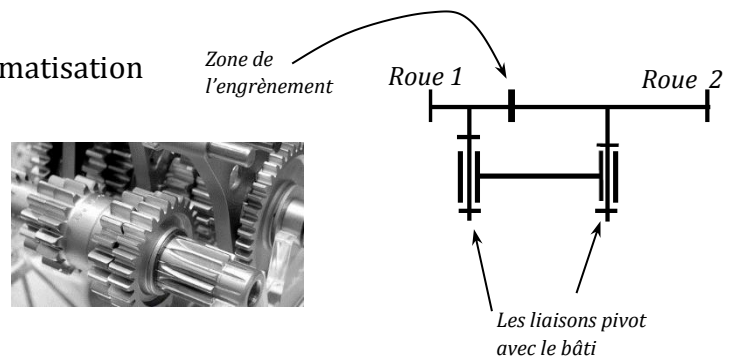
L'engrenage se comporte comme s'il n'y avait pas glissement entre les cylindres primitifs (roulement sans glissement des cylindres primitifs au point de contact). En revanche, il y a bien glissement et frottement entre les dents (d'où lubrification, graissage). Pour un engrenage à axes parallèles, le non glissement entre surfaces primitive garanti la vitesse constante de la roue menée (sortie) quand la roue menante (entrée) tourne à vitesse constante.



Schématisation d'un engrenage

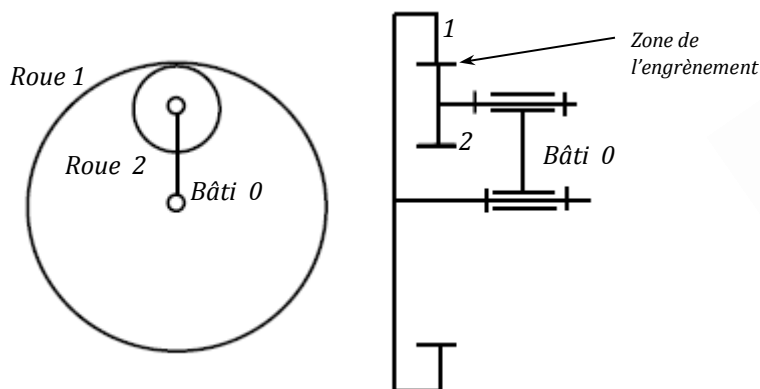
Engrenage **extérieur** à axes parallèles : schématisation

Remarque : l'engrenage extérieur est inverseur.



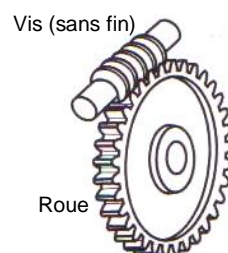
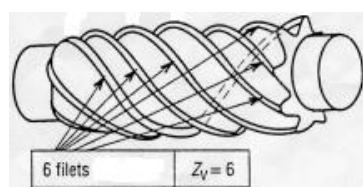
Engrenage **intérieur** à axes parallèles : schématisation

Remarque : l'engrenage intérieur est **non**-inverseur.

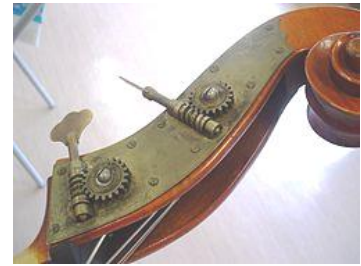


Cas particulier : engrenage roue/vis sans fin

$$\frac{\omega_{roue}}{\omega_{vis}} = \frac{\theta_{roue}}{\theta_{vis}} = \frac{nb_filet_{vis}}{Z_{roue}}$$

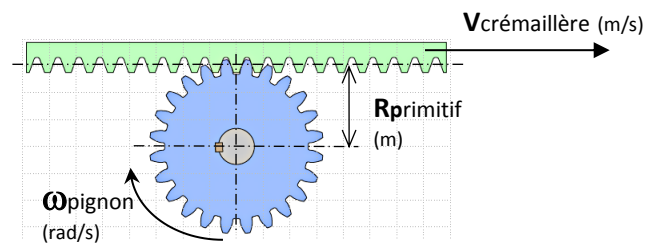


Attention : le rapport de réduction n'a pas de signe pour l'engrenage roue/vis, car les arbres ne sont pas parallèles. On ne peut pas comparer les sens de rotation d'arbres non parallèles. Cela ne signifie rien !



Cas particulier : réduction d'un engrenage pignon/crémaillère

$$\frac{V_{\text{crémaillère}}}{\omega_{\text{pignon}}} = \frac{X_{\text{roue}}}{\theta_{\text{pignon}}} = R_{\text{primitif}}$$

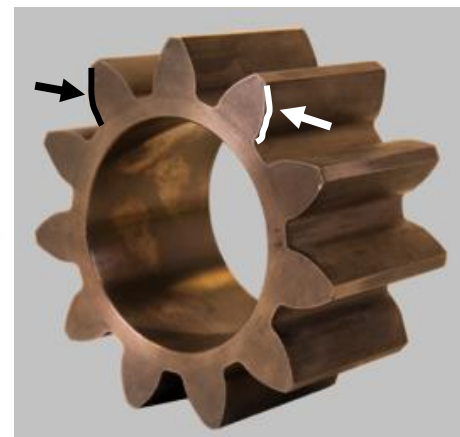
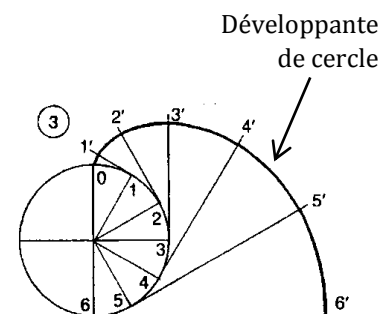


Géométrie d'un engrenage : profil de la dent

La possibilité de roulement sans glissement entre deux surfaces primitives (cylindres pour un engrenage à axes parallèles), n'est pas évidente. Cela n'est possible qu'avec un seul type de profil de dent. On démontre que seules des dents dont le profil est en développante de cercle permettent le roulement sans glissement de deux surfaces primitives. Cela signifie que le profil de dents en développante de cercle est le seul permettant, pour une vitesse de la roue menante constante d'avoir une vitesse de la roue menée constante.

Si le profil de dent n'est pas en développante de cercle la vitesse de sortie oscille autour de deux valeurs min/max alors que la vitesse d'entrée est constante.

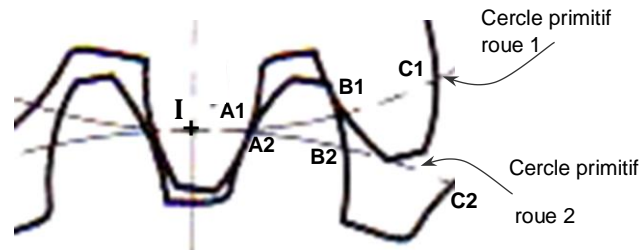
Une développante de cercle s'obtient en enroulant un fil autour d'un cylindre de diamètre donné (cercle de base). Si un stylo est attaché au bout du fil tendu, la courbe obtenue est une développante de cercle.



Condition d'engrènement de deux roues dentées

La condition nécessaire, minimale, pour que deux roues dentées puissent engréner est qu'elles aient même morphologie. Cela semble évident : deux roues à denture droite, une roue avec sa vis sans fin, une roue conique avec une roue conique, etc. Cette condition est juste nécessaire et qualitative.

Condition quantitative : pour deux roues dentées de même morphologie quelle est la condition quantitative pour qu'elles engrènent ?



Pour qu'il y ait engrènement, c'est simple : il faut que chaque dent d'une roue, s'insère dans le creux de l'autre roue. Il faut donc que les distances curvilignes suivantes soient égales :

$$\overline{A_1B_1} = \overline{A_2B_2} = \overline{B_1C_1} = \overline{B_2C_2}$$

Il faut donc que les dents aient même largeur au niveau du cercle primitif. C'est tout ! Cela se traduit mathématiquement et technologiquement de la manière suivante :

$$\overline{A_iB_i} = \text{pas de la roue dentée } i = p_i = \frac{\text{circonférence du cercle primitif}}{\text{nombre de dents}} = \frac{\pi \cdot D_i}{Z_i}$$

Il faut donc que les **pas** de chaque roue dentée soient égaux pour que l'engrènement soit possible $\Rightarrow p_1 = p_2 \Rightarrow \frac{D_1}{Z_1} = \frac{D_2}{Z_2} = m \Rightarrow m = \text{module de l'engrènement (mm)}$

Le module représente la « grosseur » de la dent. Plus le module est élevé, plus la dent est haute, large, profonde donc apte à transmettre des efforts élevés.

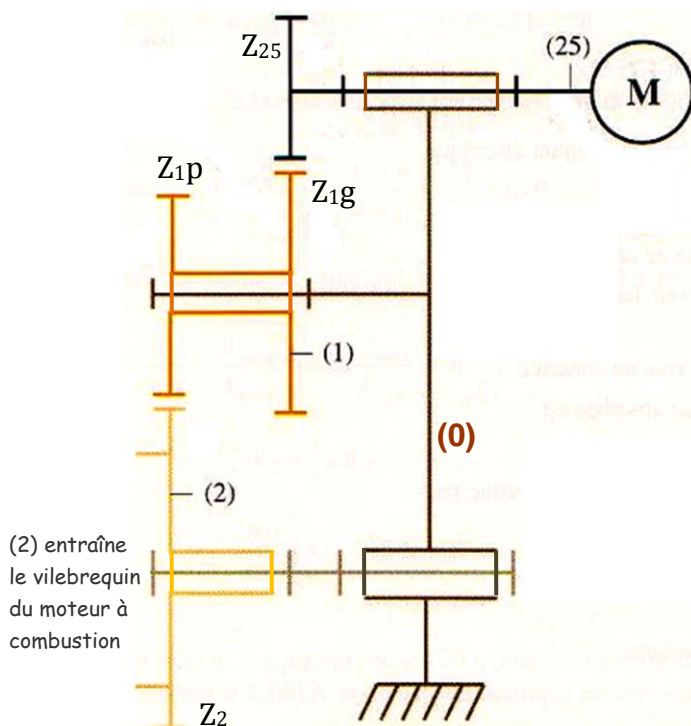
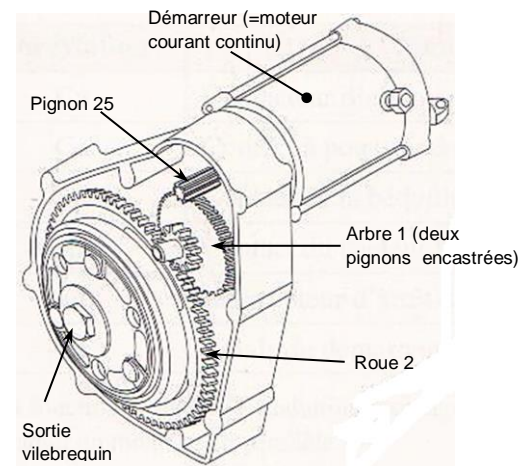
La formule à retenir : $D = m \cdot Z$ où D est le diamètre primitif de la roue dentée (mm), Z est son nombre de dents, m son module (mm).

2. DÉMARREUR ÉLECTRIQUE DE MOTEUR THERMIQUE

Un moteur à combustion ne démarrent pas « seuls ». Contrairement au moteur électrique où l'apport d'énergie suffit au démarrage (application d'une tension électrique), un Moteur à Combustion Interne (MCI) ne peut pas se contenter du seul apport de carburant. Il faut le **lancer** pour qu'il démarre et soit autonome : c'est l'amorçage du cycle thermodynamique de Beau de Rochas.

Le démarrage d'une motocyclette (ou d'une voiture) s'effectue grâce à un moteur électrique à courant continu qui entraîne une cascade d'engrenages, puis le moteur à combustion.

Sur le schéma cinématique ci-dessous, le pignon 25 encastré sur le rotor du moteur CC, entraîne la roue dentée 1g encastrée avec 1p. 1p entraîne alors la roue dentée 2 qui est encastrée sur le vilebrequin du moteur à combustion.



(2) entraîne le vilebrequin du moteur à combustion

Cahier des charges : Pour que le moteur thermique puisse démarrer, son vilebrequin doit tourner à la vitesse angulaire minimale de : $N_{\text{accr}} = 25 \text{ tr/min}$. Cette vitesse est appelée vitesse d'**accrochage**.

Objectif : vérifier que le moteur électrique est capable d'assurer les deux conditions, cinématique et statique.

Données

Vitesse de rotation maxi du moteur électrique : $N_{25/0} = 950 \text{ tr/min}$

Nb de dents des roues dentées : $Z_{25}=9$, $Z_{1g} = 53$, $Z_{1p} = 12$, $Z_2=68$.

Q1. Combien d'engrenage(s) compte la chaîne cinématique de démarrage ? Entourez sur le schéma cinématique les zones d'engrènement. Colorier le schéma cinématique. Reportez les valeurs des nb de dents sur le schéma.

Q2. Calculez le rapport de réduction du premier couple de roues dentées (25 et 1g).

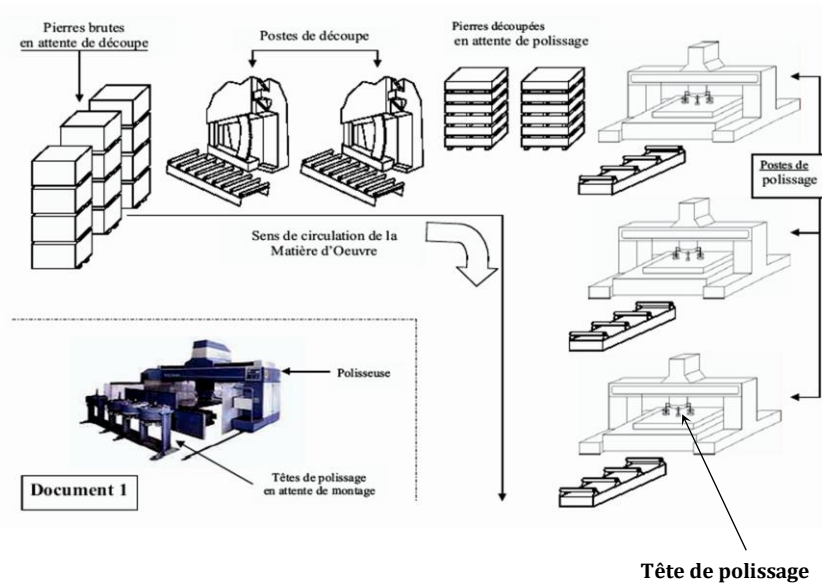
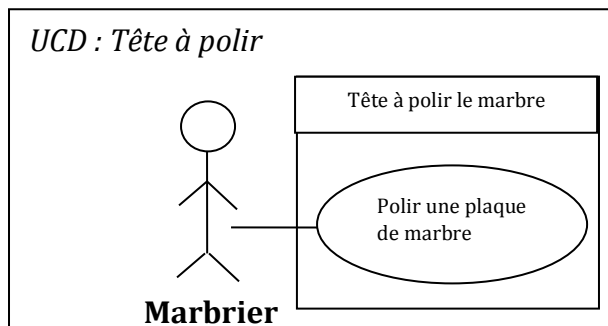
Q3. Calculez le rapport de réduction global de la chaîne cinématique.

Q4. Calculez la vitesse angulaire du vilebrequin $N_{2/0}$ en tr/min et rad/s. Conclusion.

3. ETUDE CINEMATIQUE D'UNE TÊTE A POLIR LE MARBRE

Mise en situation

Le système étudié est un sous ensemble d'une unité de production de plaques de marbre destinées à l'industrie du bâtiment. Les pierres brutes, en provenance de carrières, sont découpées avant d'être polies. Nous nous intéresserons plus particulièrement à **la tête de la polisseuse**.



Principe du polissage

Les patins abrasifs sont :

- entraînés en rotation continue autour d'un axe vertical ;
- animés d'un mouvement d'oscillation autour d'un axe horizontal.

Les patins utilisés sont des patins standards, parallélépipédiques, dont la face inférieure devient progressivement cylindrique, sous l'effet de l'usure.

- Les grains d'abrasif usés ne restent pas sous les patins et sont facilement éliminés par aspersion d'eau sur la pierre à polir.

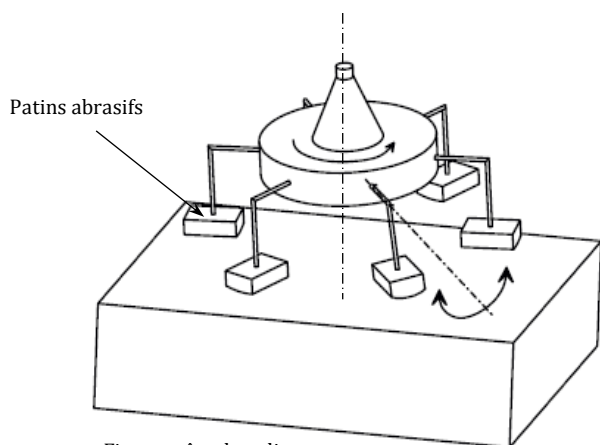
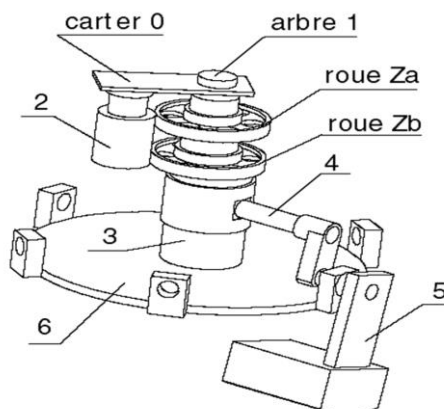


Figure : vue en perspective de la tête de polisseuse



Deux des multiples exigences assurées par ce système sont :

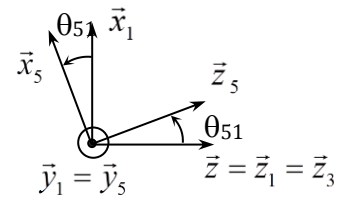
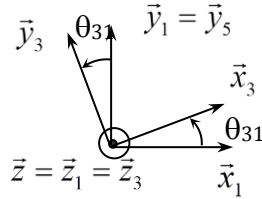
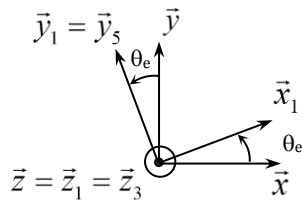
E2-1 : Réduire la fréquence de rotation de la broche

E2-3 : Transformer un mouvement de rotation continue et mouvement d'oscillation

L'étude va porter sur l'étude de ces deux exigences.

Modélisation cinématique

Vitesse d'entrée : $\vec{\Omega}_{1/0} = \omega_e \cdot \vec{z}$ et $\omega_e = 500$ tr/min.

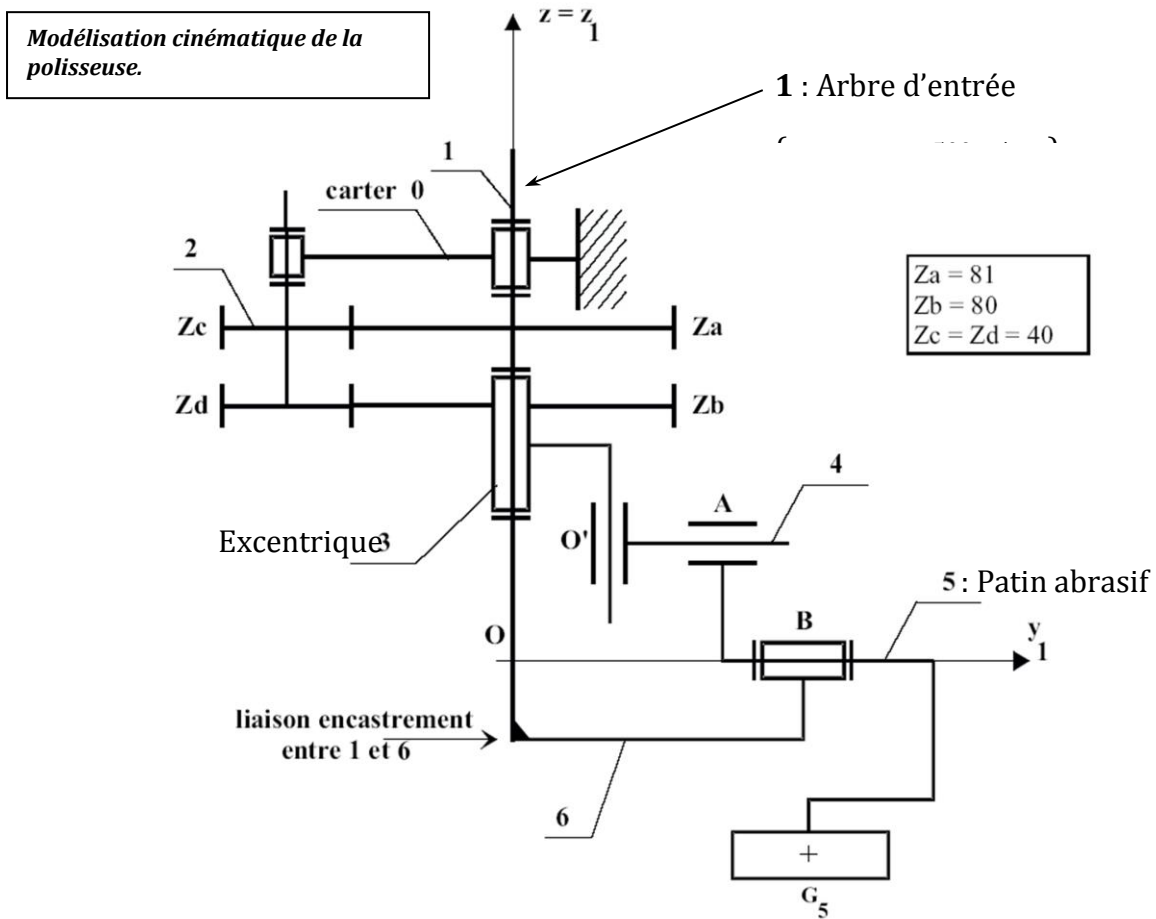


Base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ liée au carter 0.

Base $(\vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i)$ liée au solide i.

$\vec{OO'} = e \cdot \vec{y}_3 + h \cdot \vec{z}_1$; $\vec{AB} = a \cdot \vec{y}_5 - b \cdot \vec{z}_5$; $\vec{OB} = v \cdot \vec{y}_1$; On note la longueur $O'A = u$.

On donne les distances : $e = 10$ mm ; $b = 55$ mm



Transmission de puissance

Q1. Coloriez le schéma cinématique de la tête de polisseuse. Le carter 0 sera laissé en noir.

Q2. Déterminer le rapport des vitesses de rotation : $r = \frac{\omega_{3/0}}{\omega_{1/0}}$. Faites l'application numérique.

Q3. Déterminer le rapport $r' = \frac{\omega_{3/1}}{\omega_{1/0}}$. Faites l'application numérique. Donnez la vitesse $\omega_{3/1}$ en tr/min.

Transformation de mouvement

Q4. Mouvement de 4/1 : effectuer une composition des vitesses sur $\vec{\Omega}_{4/1}$ avec les solides 1, 4, 5, puis une nouvelle composition sur $\vec{\Omega}_{4/1}$ avec les solides 1, 3, 4. Déduire le taux de rotation $\vec{\Omega}_{4/1}$. Quel est le mouvement de 4 par rapport à 1 ?

Q5. Ecrire la fermeture géométrique sur les points O, O', A, B. Donnez les équations scalaires qui en découlent si on exprime cette fermeture dans la base $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$.

Q6. Déduire l'amplitude du mouvement d'oscillation de 5/1 : $\Delta\theta_{51}$ (°).

Q7. Calculer le taux de rotation de 5 par rapport à 1, $\vec{\Omega}_{5/1}$ en fonction de ω_{31} et θ_{31} , puis de ω_e et θ_e .

Q8. Déterminer la valeur maximale de $\|\vec{\Omega}_{5/1}\|$ notée $|\omega_{51}|_{\max}$, en remarquant que $\frac{e}{b}$ est petit devant 1 et en faisant la simplification nécessaire. Faites l'application numérique.

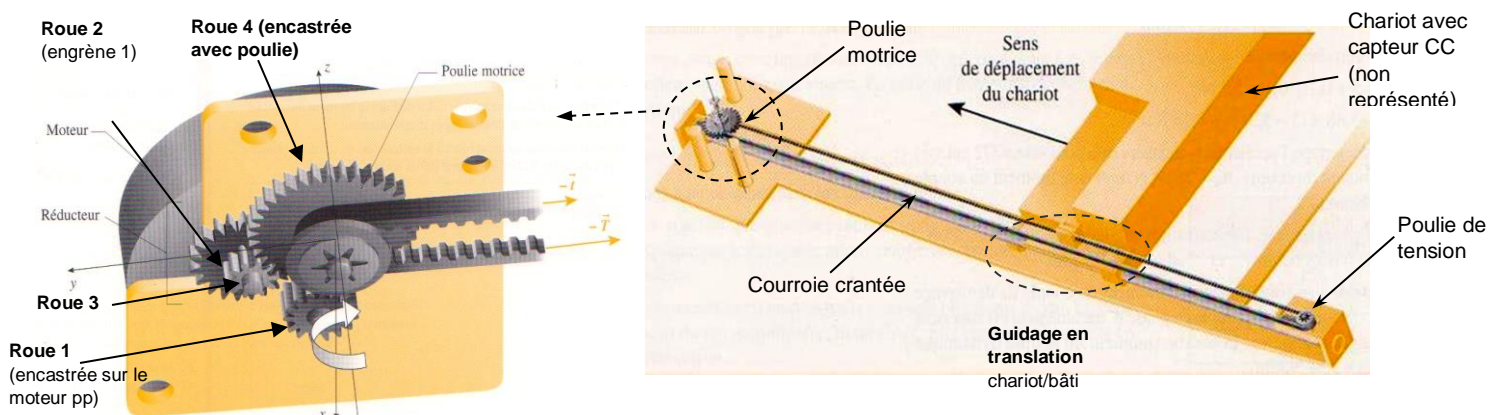
4. MOTORISATION D'UN SCANNER

Idée extraite de l'ouvrage Sciences de l'Ingénieur, Hachette. Je remercie les auteurs.

Présentation

Le système étudié est un scanner à plat. Il permet de numériser des documents. Un chariot y est guidé en translation. Ce chariot est muni d'un capteur CCD (Coupled Charged Device) qui délivre un courant variant avec la lumière qu'il reçoit. Entraîné par le chariot, ce capteur se déplace le long du document et détecte l'image à numériser.

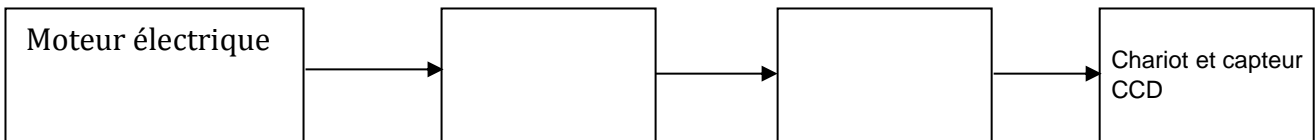
Le chariot est mis en mouvement grâce à un moteur pas à pas, un réducteur, et un système poulie/courroie crantée.



| Scanner à plat AGFA : caractéristiques générales (CDCF) | | Scanner à plat AGFA : Technologie | |
|---|--|-----------------------------------|--|
| Résolution optique horizontale | 600 dpi (=Dot per Inch , Points par pouce) | Motorisation | Moteur pas à pas (354 tr/min maxi, 9 N.mm maxi), précision=96 pas/tr |
| Résolution optique verticale | 1200 dpi | Poulie/Courroie | Crantée, Diamètre primitif = 7,76 mm |
| Résolution optique en prénumérisation | 75 dpi | | Rendement poulie/courroie = 0,88 |
| Technologie de capteur | CCD (72 points par seconde maxi) | Réducteur | à engrenages - 2 étages de réduction |
| Echantillonnage | 36 bits | Roue dentée 1 | Z1 = 15 |
| Format de numérisation | A4 | Roue dentée 2 | Z2 = 28 |
| | | Roue dentée 3 | Z3 = 10 |
| | | Roue dentée 4 | Z4 = 30 |
| | | Rendement | 0,96 par engrenage |

Structure de la chaîne cinématique

Q1. Compléter la structure de la chaîne cinématique ci-dessous : flux et transmetteurs.



Dimensionnement du motoréducteur

La vitesse de déplacement du chariot est maximale en prénumérisation : numérisation rapide des documents pour un simple aperçu, définition moins bonne, qualité brouillon.

C'est donc en prénumérisation que nous allons calculer la vitesse du motoréducteur.

Q2. Calculer la vitesse de déplacement du chariot V_c en mm/s, nécessaire pour assurer la résolution (1 pouce = 25,4 mm). Vous donnerez la résolution d'un point, λ en mm.

Q3. Vérifiez la capacité du moteur pas à pas à assurer la prénumérisation.

Q4. Vérification du point de vue de la résolution : Déduire le déplacement ε du chariot, correspondant à un pas du moteur pas à pas. Conclusion.

CAS DES TRAINS EPICYCLOIDAUX

5. REDUCTEUR DE POIDS LOURD A TRAIN EPICYCLOIDAL

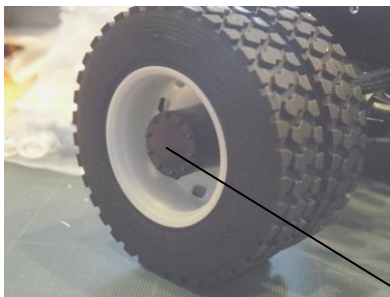
Le dessin d'ensemble ci-dessous représente un des deux moyeux de l'essieu arrière d'un tracteur de camion semi-remorque. Chaque moyeu est équipé de deux roues jumelées (donc deux roues de chaque côté du véhicule tracteur).



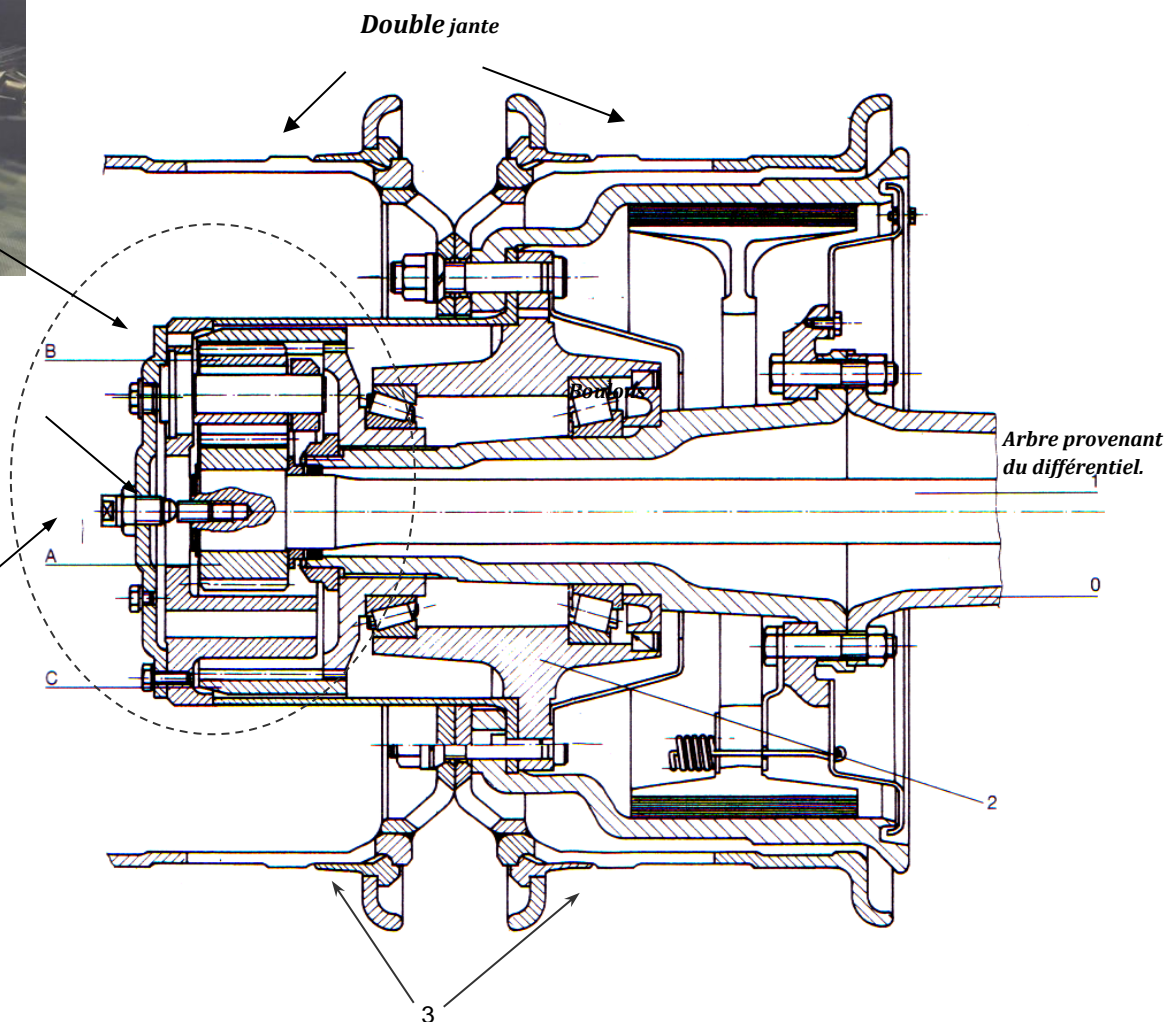
Ce moyeu de roue arrière incorpore un réducteur à engrenage épicycloïdal : 0 est la fusée (« bâti ») encastrée dans le châssis du camion. 1 est l'arbre primaire de transmission provenant du différentiel et transportant le couple nécessaire à l'avancement du véhicule. L'arbre 1 est encastré sur le pignon planétaire A. A entraîne le pignon satellite B qui engrène avec la roue intérieure planétaire C encastrée sur la fusée.

Le mouvement de rotation de sortie est récupéré sur le moyeu 2. La double jante 3 est fixée grâce à des boulons sur 2.

Le diamètre des roues est $D=1,10$ m. Le poids du tracteur est $P=100$ kN.

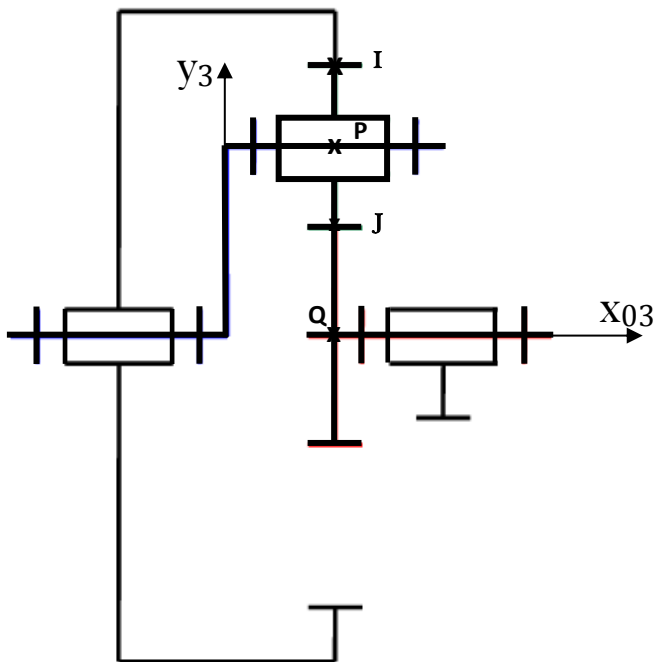


Cette protubérance, que vous avez certainement remarquée, renferme un réducteur épicycloïdal...



On donne le schéma cinématique du réducteur épicycloïdal et le graphe des liaisons associé.

Quatre solides y sont représentés.



| Repère roue dentée | Appellation « train épi » | Nombre de dents |
|--------------------|---------------------------|-----------------|
| A | Planétaire extérieur 1 | $Z_1 = 37$ |
| B | Satellite 4 | $Z_4 = 22$ |
| C | Planétaire intérieur 2 | $Z_2 = 80$ |

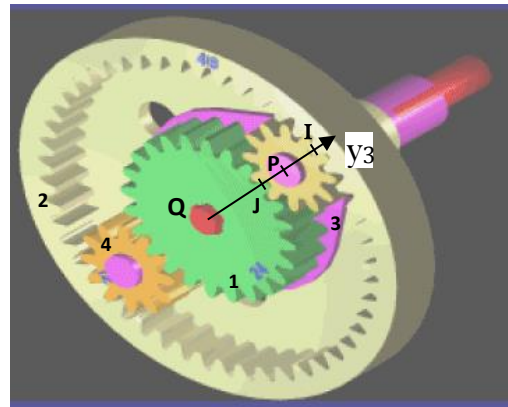
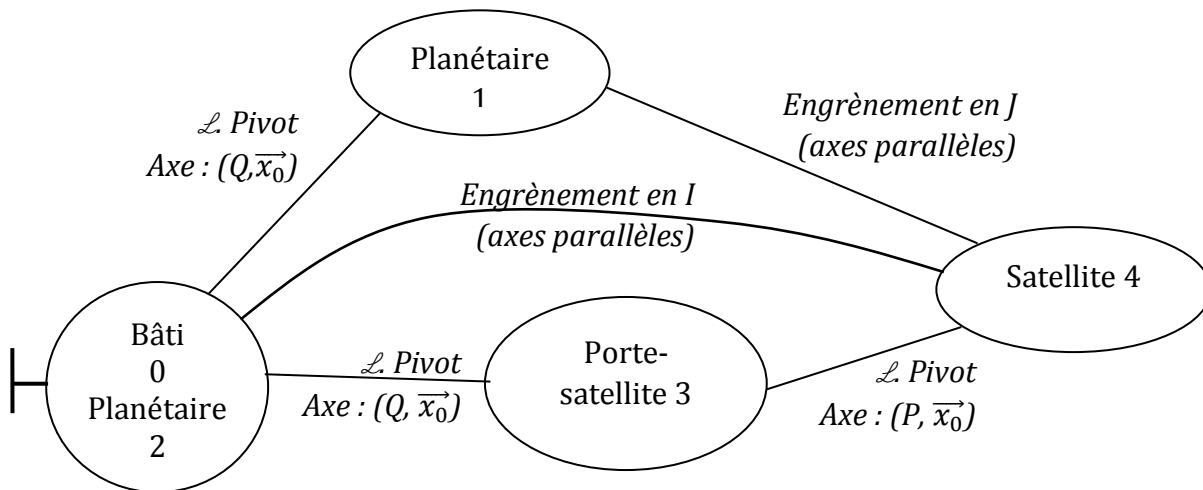


Schéma naïf d'un train épicycloïdal (celui du moyeu de Poids Lourd)



PARTIE I : MODELISATION ET CONSTITUTION DU MECANISME

Q1. Donnez la définition :

- d'un planétaire
- d'un satellite
- du porte satellite

Q2. Sur le schéma cinématique :

- coloriez en BLEU la classe d'équivalence incluant les jantes jumelées 3. Coloriez en ROUGE la classe d'équivalence de l'arbre moteur 1. Laisser en noir le châssis du PL (fusée 0).
- Fléchez les solides par leur repère : 1, 2, 3, 4

PARTIE II : RAPPORT DE REDUCTION DU TRAIN EPICYCLOIDAL

On souhaite calculer le rapport de réduction du réducteur épicycloïdal :

$$i = \frac{\omega_{(roue\ ch\ssis)}}{\omega_{(arbre\ ch\ssis)}} = \frac{\omega_{(3/0)}}{\omega_{(1/0)}}.$$

Q3. Calculer le rapport des vitesses, $\frac{\omega_{2/3}}{\omega_{1/3}}$, dans le repère lié au porte satellite 3 en fonction des nombres de dents.

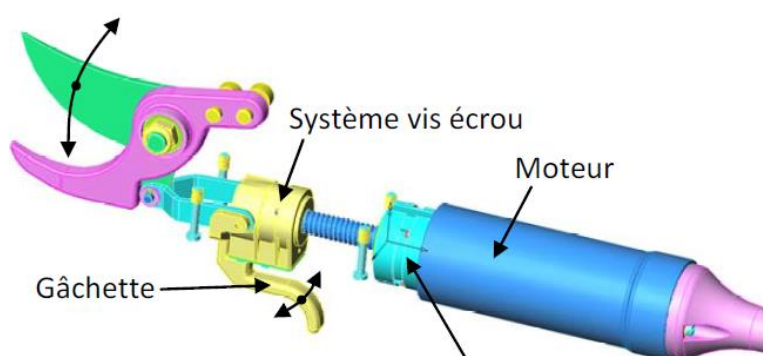
Q4. Dédire le rapport de réduction $i = \frac{\omega_{(roue\ ch\ssis)}}{\omega_{(arbre\ ch\ssis)}} = \frac{\omega_{(3/0)}}{\omega_{(1/0)}}.$

PARTIE III : MISE EN SITUATION FINALE – APPLICATION NUMERIQUE

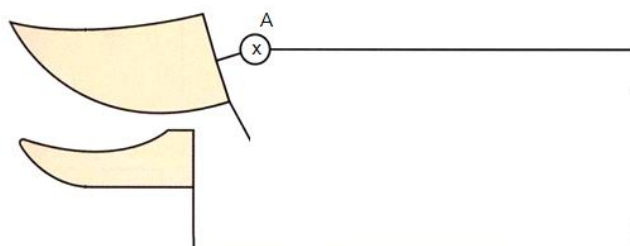
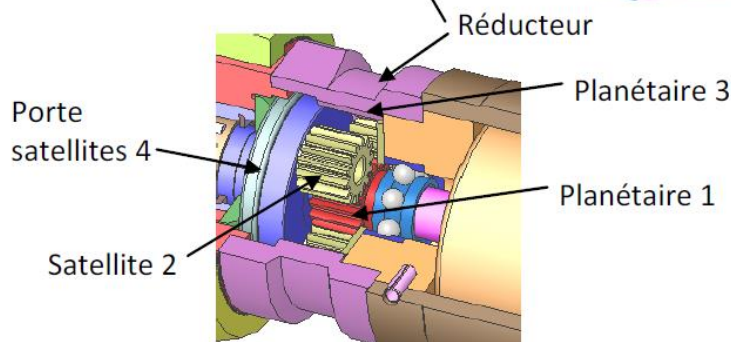
Q5. Quand le camion avance à une vitesse $V=100$ km/h, quelle est la vitesse angulaire de l'arbre primaire 1 : $N_{1/0}$ en tr/min.

Q6. Le régime moteur est $N_{mot}=1700$ tr/min à l'allure $V=100$ km/h et sur le dernier rapport de boîte de vitesse. Quel est le rapport de transmission i_1 de l'ensemble de la transmission comprise entre l'arbre moteur et l'arbre 1 ?

6. MOBILISATION DES CONNAISSANCES : SECATEUR PELENC



| Roue dentée | Nb dents |
|-------------|------------|
| Pl.1 | $Z_1 = 19$ |
| Pl.3 | $Z_3 = 57$ |
| Sat.2 | $Z_2 = 19$ |



Lorsque le viticulteur enfonce la gâchette, le moteur est alimenté. Il entraîne le réducteur (planétaire 1). Le porte satellite sortant de ce réducteur est encastré dans la vis à bille. Celle-

ci entraîne un écrou qui translate donc. Cet écrou tire une bielle qui actionne la lame mobile du sécateur. Les lames coupent ainsi le sarment de vigne : le viticulteur est heureux.

Pour une utilisation confortable de ce sécateur électrique, la vitesse de la vis doit être $N_{vis}=350 \text{ tr/min}$.

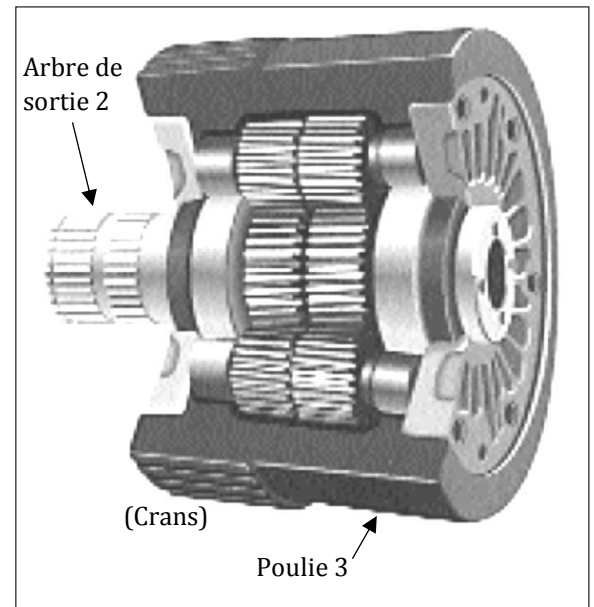
Question : déterminez la vitesse nécessaire de l'arbre moteur.

Avant, vous pourrez réaliser un schéma cinématique du sécateur sans le réducteur (déjà commencé ci-dessus), puis, sur une autre figure, un schéma cinématique du réducteur épicycloïdal seul. C'est le même que celui de l'exercice précédent. C'est fortement conseillé !

7. POULIE REDEX : RAPPORT DE REDUCTION

Ce système de réduction a pour fonction d'adapter la puissance mécanique dans un encombrement réduit (le réducteur tout entier est logé à l'intérieur de la poulie 3 !). Le mouvement d'entrée est transmis par la poulie. Celle-ci possède des dents (« crans ») dans lesquels se logent la courroie crantée. La puissance est récupérée en sortie du mécanisme sur l'arbre 2.

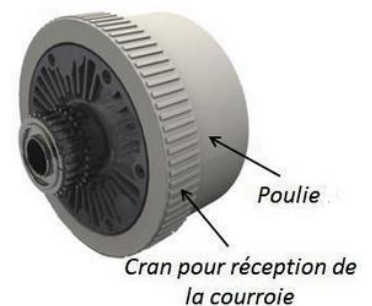
Une des multiples applications de la poulie Redex est son utilisation dans les imprimeries industrielles pour synchroniser les vitesses des rouleaux d'amenage du papier. Cela est possible grâce au réducteur de type épicycloïdal placé dans la poulie.



Le schéma cinématique de la poulie est donné ci-après.

Objectif : déterminer le rapport de réduction $\frac{\omega(2/0)}{\omega(3/0)}$.

| | | |
|--------------------------|---------------|---|
| $Z_0 = 43 \text{ dents}$ | $Z_{1p} = 25$ | Module de la roue 0 : $m_0 = 2 \text{ mm}$ |
| $Z_2 = 38$ | $Z_{1G} = 30$ | p =petite, G =Grande |



1. Colorier le schéma cinématique
2. Quels sont les planétaires, satellites, porte satellite de ce train épicycloïdal ?
3. Calculer le rapport de réduction de la poulie Redex.
4. La vitesse de la poulie est 300 tr/min . Déterminer la vitesse de l'arbre de sortie en rad/s .
5. Quel est le module de la roue 1p ?
6. Calculer le module nécessaire des roues 1G et 2 en écrivant l'égalité des entraxes des deux engrenages (engrenage 0/1p et engrenage 2/1G).

