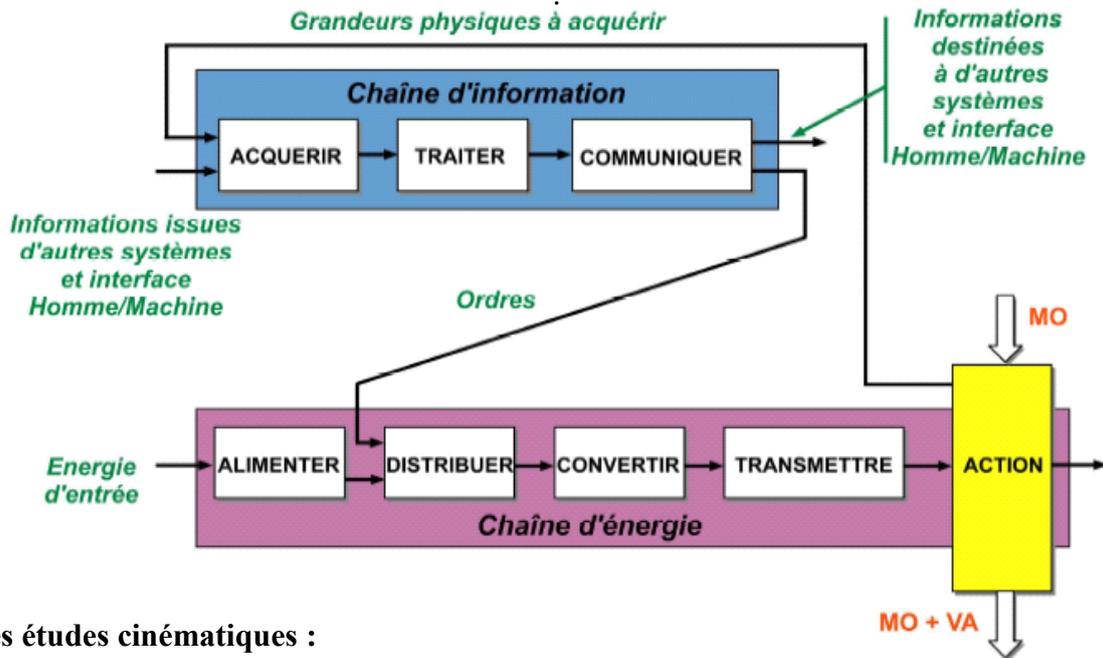


Synthèse sur les mécanismes

1- Introduction :

La chaîne d'énergie transforme, adapte et transmet le flux de puissance nécessaire à l'obtention d'une valeur ajoutée. Elle comprend principalement :

- les actionneurs (vérins, moteurs) qui transforment une énergie électrique, hydraulique ou pneumatique en énergie mécanique
- les transmetteurs qui modifient pour adapter l'énergie mécanique
- les effecteurs qui agissent directement sur la matière d'oeuvre.



Objectifs des études cinématiques :

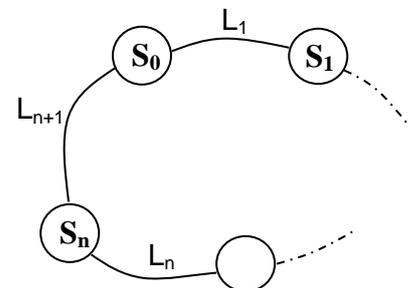
- Concevoir la cinématique du mécanisme
- Dimensionner les constituants
- Piloter les systèmes

Pour cela il faut

- Etablir une relation entrée/sortie
- Déterminer les limites de fonctionnement
- Valider les performances

2- Aspect calculatoire : méthodes générales

Dans le cas d'une chaîne continue fermée dont le graphe de structure est :



2.1 Etude géométrique:

On écrit les fermetures géométriques :

Aspect linéaire: On parcourt le mécanisme en passant par un point A_i de chaque liaison:

$$\overrightarrow{A_1 A_2} + \overrightarrow{A_2 A_3} + \dots + \overrightarrow{A_{n+1} A_1} = \vec{0} \Rightarrow 3 \text{ équations scalaires par projection dans une base}$$

Aspect angulaire : A partir d'une base de référence, on parcourt les différentes bases attachées aux différents solides:

$$(\vec{x}_0, \vec{x}_1) + (\vec{x}_1, \vec{x}_2) + \dots + (\vec{x}_n, \vec{x}_0) = 0$$

idem dans deux autres plans perpendiculaires $\Rightarrow 3$ équations scalaires.

2.2 Etude cinématique :

On écrit la fermeture cinématique :
$$\mathcal{V}(S_1/S_2) + \mathcal{V}(S_2/S_3) + \dots + \mathcal{V}(S_n/S_0) + \mathcal{V}(S_0/S_1) = \{0\}$$

⇒ 6 équations scalaires (3 en résultante et 3 en moment) par projection dans une base.

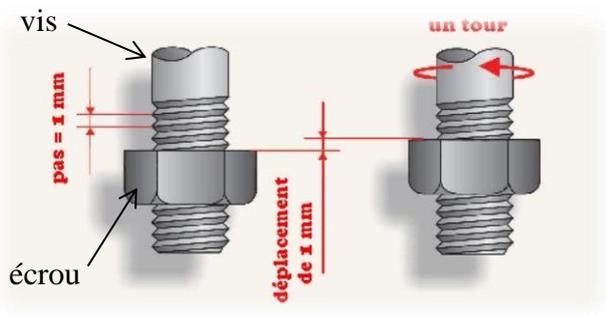
Une solution souvent plus rapide consiste à dériver les équations issues des fermetures géométriques.

3- Quelques transmetteurs vus en TP :

3.1 Transformation d'un mouvement de rotation en mouvement de translation :

- Système vis-écrou :

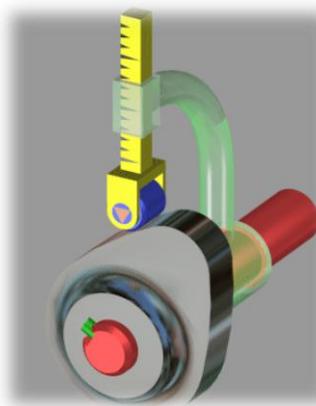
La cinématique du système vis-écrou est définie par le pas de la vis p (en mm) qui est la distance parcourue le long de l'axe de l'hélice pour un tour, par la relation : si le pas est à droite.



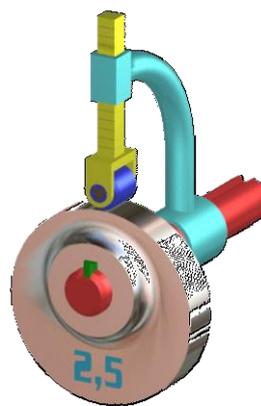
Vis/écrou à billes

- Système de came ou excentrique

La loi entrée-sortie (relation entre l'angle de rotation de la came et la translation générée) est fonction du profil de la came (généralement défini en coordonnées polaires). Les systèmes varient en fonction de la position de l'axe de rotation par rapport à l'axe de la translation. Les systèmes à excentrique reposent sur le même principe. La rotation continue d'entrée est transformée en translation alternative de la sortie.



Système à came



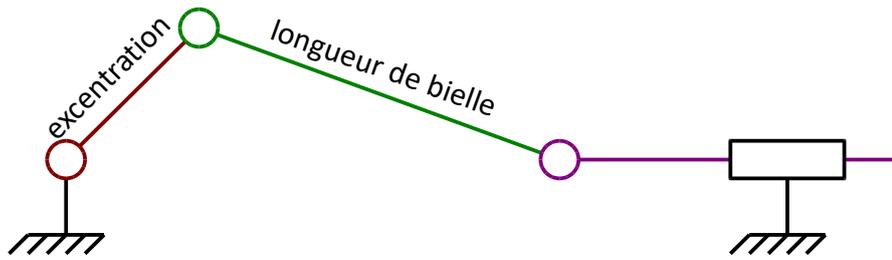
Système à excentrique



arbre à cames de moteur 4 temps

- Système à biellettes articulées :

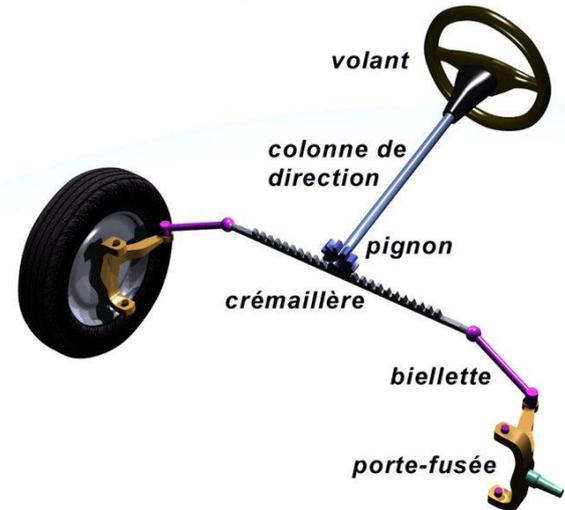
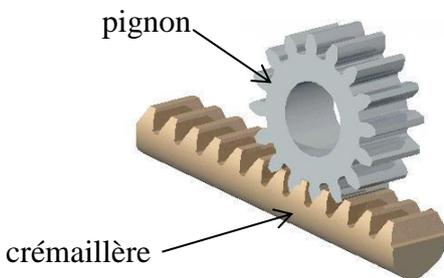
Le système le plus connu (utilisé entre autre dans les moteurs de voiture) est le système bielle manivelle. La longueur de l'excentration sur la manivelle et la longueur de la bielle jouent sur la relation entre l'angle de la manivelle et la translation de la tige.



Moteur thermique à 4 cylindres

• **Système pignon-crémaillère**

Cette transformation fait partie de la famille des engrenages. La vitesse de translation de la crémaillère (v) est fonction du diamètre de la roue dentée ($d = 2r$). ($\dots = \dots \omega$).

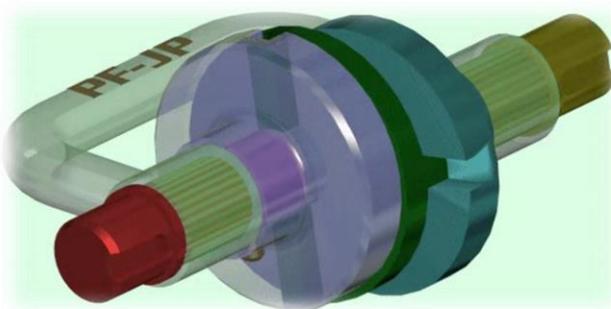


Crémaillère de direction de voiture

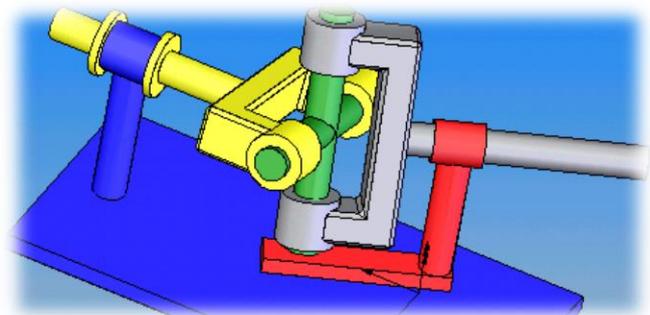
3.2 transmission ou transformation d'un mouvement de rotation en mouvement de rotation différent

• **Joints de transmission ou accouplements mécaniques**

Plusieurs solutions permettent de transmettre un mouvement de rotation entre deux arbres non co-axiaux (exemple pour les roues d'une automobile). L'homocinétisme (vitesse de sortie constante pour une vitesse d'entrée constante) est parfois recherché. Ci-dessous, trois solutions sont présentées. Le joint de Oldham est, le joint de cardan (sauf monté en double avec axes entrée et sortie parallèles) tandis que le tripode l'est quasiment.



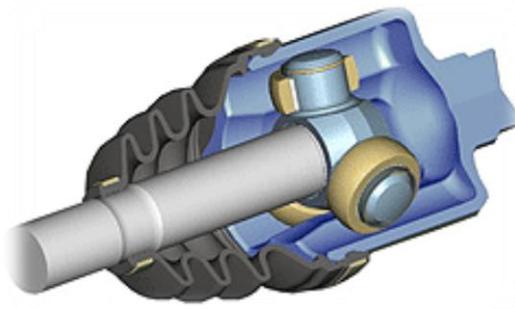
joint de Oldham



joint de cardan simple



Joint de cardan double



joint tripode (celui des voitures)

- **Réducteurs – variateurs**

Les réducteurs permettent d'adapter le couple et la vitesse de rotation d'un moteur en un couple et une vitesse sur l'arbre de sortie (loi $\dots = \dots$). La vitesse d'un moteur est souvent élevée et le couple faible alors que la vitesse souhaitée sur l'arbre récepteur est beaucoup plus faible et le couple bien plus élevé.

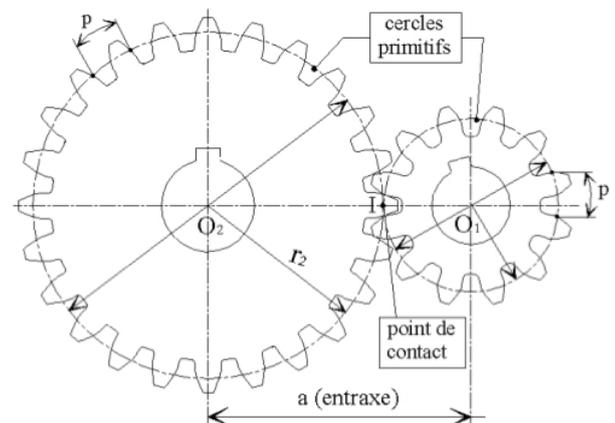
On peut classer les réducteurs en différentes catégories en fonction de la technologie employée pour transmettre le mouvement :

- transmission par adhérence : roue à friction (dynamo de vélo), système poulie-courroie (alternateur de voiture)
- transmission par obstacle : système poulie-courroie avec courroie dentée (courroie de distribution d'une voiture), système à chaîne (vélo, moto), système à engrenage (boite de vitesse).

4- Engrenages

4.1 Vocabulaire :

- denture : partie dentée des roues
- pignon : lorsque l'on considère une engrenage composé de deux roues, le pignon est la plus petite des deux, l'autre s'appelle la roue
- profil de denture : il s'agit de la forme des dents, on parle de denture droite, de denture hélicoïdale...
- rapport de réduction : rapport entre la vitesse de rotation de la roue de sortie et du pignon d'entrée.



4.2 Rapport de réduction :

Le rapport de réduction, ou rapport entre les vitesses des deux roues en contact, dépend uniquement du nombre de dents de chaque roue. On définit :

- **d** le diamètre primitif : si on l'on représente un engrenage par deux roues lisses, qui ont le même rapport de réduction que l'engrenage à roue dentées, le diamètre primitif est le diamètre de la roue lisse (d roue), ou du pignon (d pignon).
- **z** le nombre de dents : on note par convention z le nombre de dents d'un roue (exemple : $z = 13$ dents)
- **m** le module : c'est le rapport entre le diamètre primitif et le nombre de dents ($\dots = \dots$). Celui-ci est normalisé et caractérise la « taille » des dents. Pour que deux roues engrènent, elles doivent donc avoir le même module.

Lorsque la roue 1 engrène avec la roue 2, les cercles primitifs des roues roulent l'un sur l'autre sans glisser au point I (pas de patinage, analogie avec deux roues de friction roulant l'une sur l'autre sans glisser).

$$\overrightarrow{V}(M_2 \in 2/1) = \dots\dots\dots$$

$$\overrightarrow{V}(M_3 \in 3/1) = \dots\dots\dots$$

La condition de roulement sans glissement en I donne :

$$\overrightarrow{V}(I \in 2/3) = \vec{0}$$

D'où le rapport de réduction :

$\frac{\omega_3}{\omega_2} = \dots\dots\dots$

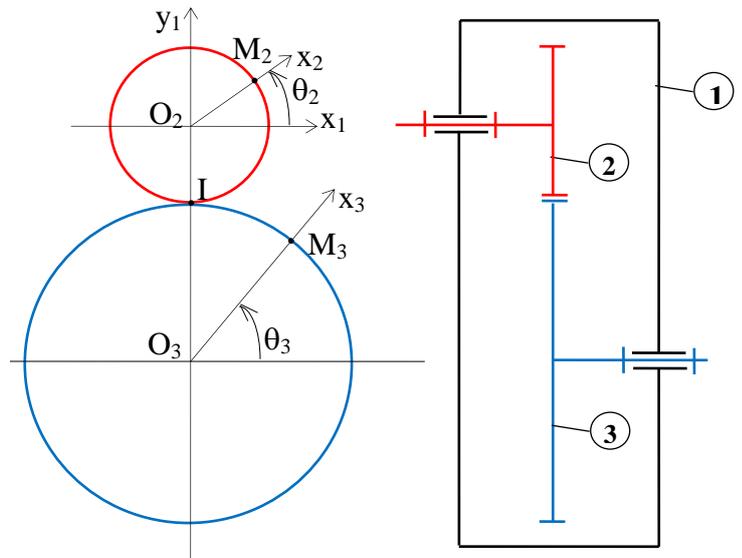
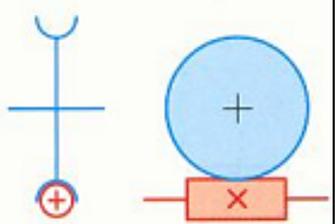
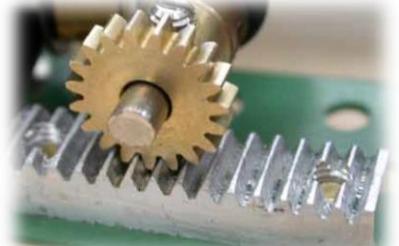


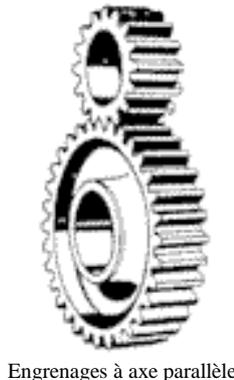
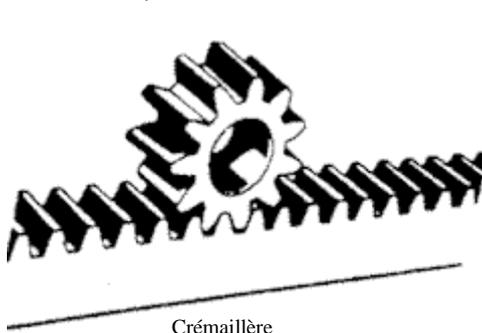
schéma cinématique

Cas particuliers :

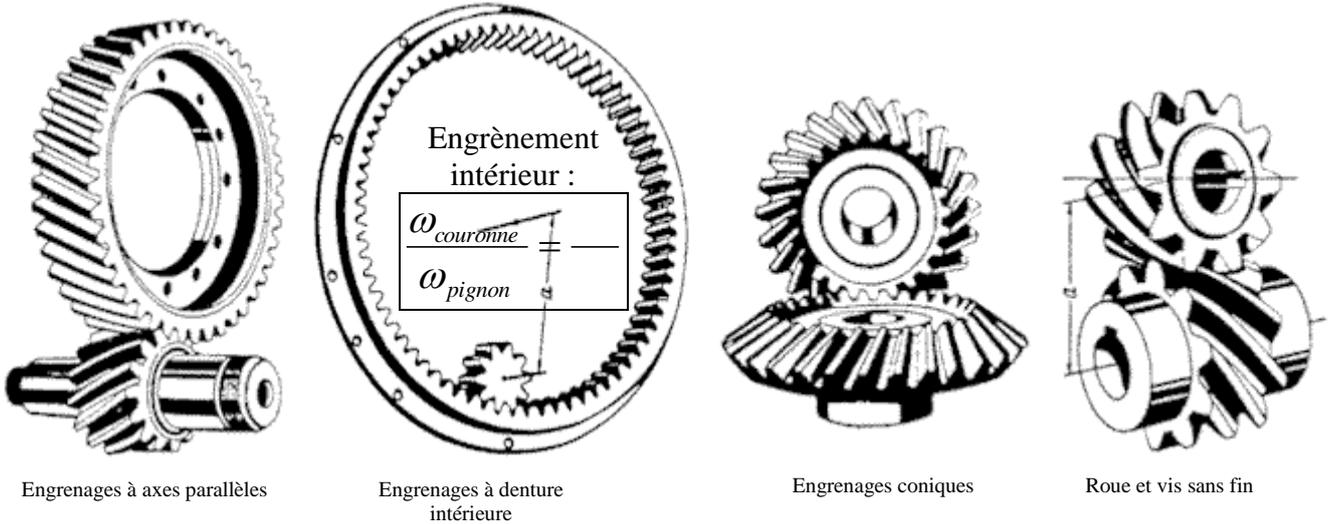
 <p>Roue et vis sans fin rapport = _____</p>	 <p>schéma cinématique</p>	 <p>Pignon crémaillère rapport = $\frac{v_{\text{crémaillère}}}{\omega_{\text{pignon}}} = \frac{d}{2} = \frac{\dots}{2}$</p>
--	--	---

4.3 Différents types d'engrenages :

- Engrenages à denture droite : le plus simple et le plus économique. Une seule dent est en prise, l'effort moteur passe donc brutalement d'une dent à l'autre ce qui génère un fonctionnement bruyant (exemple : marche arrière des voitures).



- Engrenages à denture hélicoïdale : À taille égale, ils sont plus performants que les précédents pour transmettre puissance et couple. Du fait d'une meilleure progressivité et continuité de l'engrènement ils sont aussi plus silencieux.



L'inclinaison de la denture engendre des efforts axiaux, suivant l'axe de l'arbre, qui doivent être supportés par paliers et des couples supplémentaires qui accentuent le fléchissement des arbres. Une solution consiste à utiliser deux engrenages pour que les efforts axiaux se compensent. Citroën a été le précurseur de cette idée avec son chevron.



4.4 Les trains d'engrenages simples

On appelle train d'engrenages simple une succession d'engrenages constitués de roues dont les axes de rotation sont fixes les uns par rapport aux autres.

Les roues d'entrée et de sortie étant identifiées, on exprime en général le

rapport de transmission $\lambda = \frac{\omega_{sortie / bâti}}{\omega_{entrée / bâti}}$

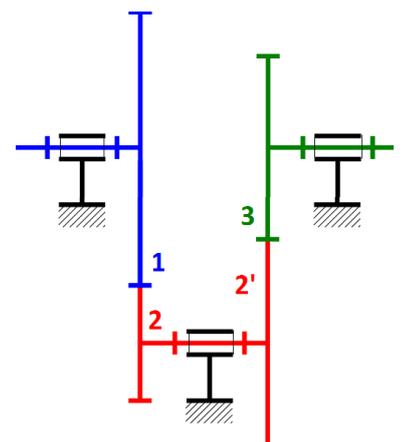
Si $\lambda < 1$, le train est réducteur (rapport de réduction), si $\lambda > 1$ le train est multiplicateur.

Pour calculer le rapport du train, on effectue le produit des rapports des engrenages qui constituent le train tout en identifiant clairement pour chaque engrenage l'entrée et la sortie :



Train d'engrenages d'une montre

Dans l'exemple ci-contre : $\lambda = \frac{\omega_{sortie / bâti}}{\omega_{entrée / bâti}} = \frac{\omega_3 / bâti}{\omega_1 / bâti} = \dots = \dots$



4.5 Les trains épicycloïdaux

4.5.1 Présentation :

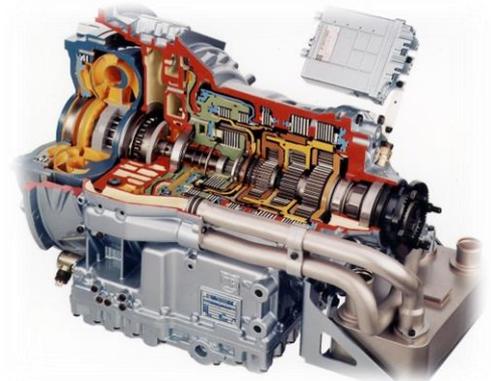
Sous le nom de train épicycloïdal ou engrenage planétaire, on désigne un système de transmission de puissance entre deux ou plusieurs arbres dont certains tournent non seulement autour de leur propre axe, mais aussi avec leur axe autour d'un autre axe. Les engrenages peuvent être cylindriques ou coniques.

Ceux dont l'axe coïncide avec un axe fixe dans l'espace s'appellent "**planétaire**" et ceux qui tournent avec leur axe autour d'un autre s'appellent "**satellites**". Ces derniers sont généralement maintenus en place par une pièce mobile nommée "**porte-satellite**".



Les avantages des systèmes planétaires sont :

- possibilité d'arrangement coaxial des arbres.
- réduction du poids et de l'encombrement pour une puissance donnée.
- rapport de réduction très élevé possible avec un minimum d'éléments pour transmissions à faible puissance.
- excellent rendement quand le système est judicieusement choisi.

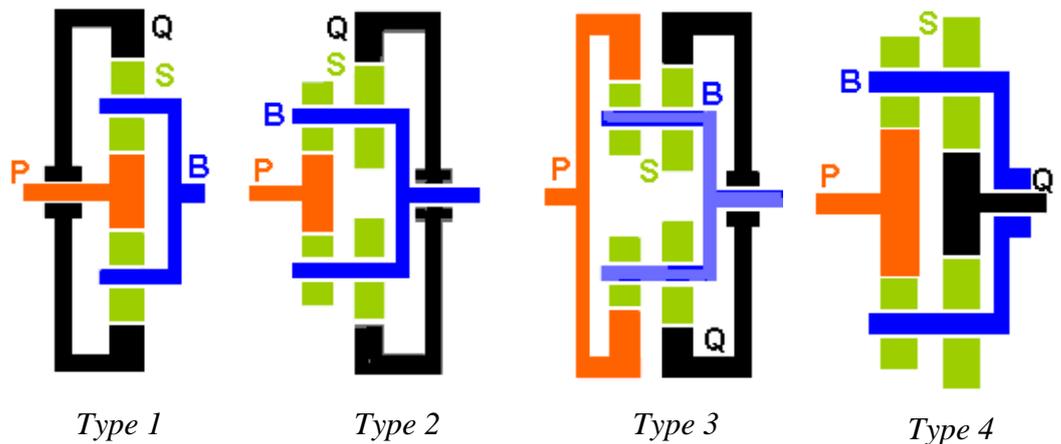


Boîte de vitesses automatique à 3 trains épicycloïdaux

4.5.2 Quatre types de trains épicycloïdaux :

P et Q sont des planétaires,
S sont les satellites,
B est le porte-satellite.

Cette classification permet l'identification d'un train en fonction de sa morphologie. Les **4 principaux types** présentés permettent le calcul du rapport de vitesse de la plupart des trains d'engrenages.



4.5.3 Formule de Willis :

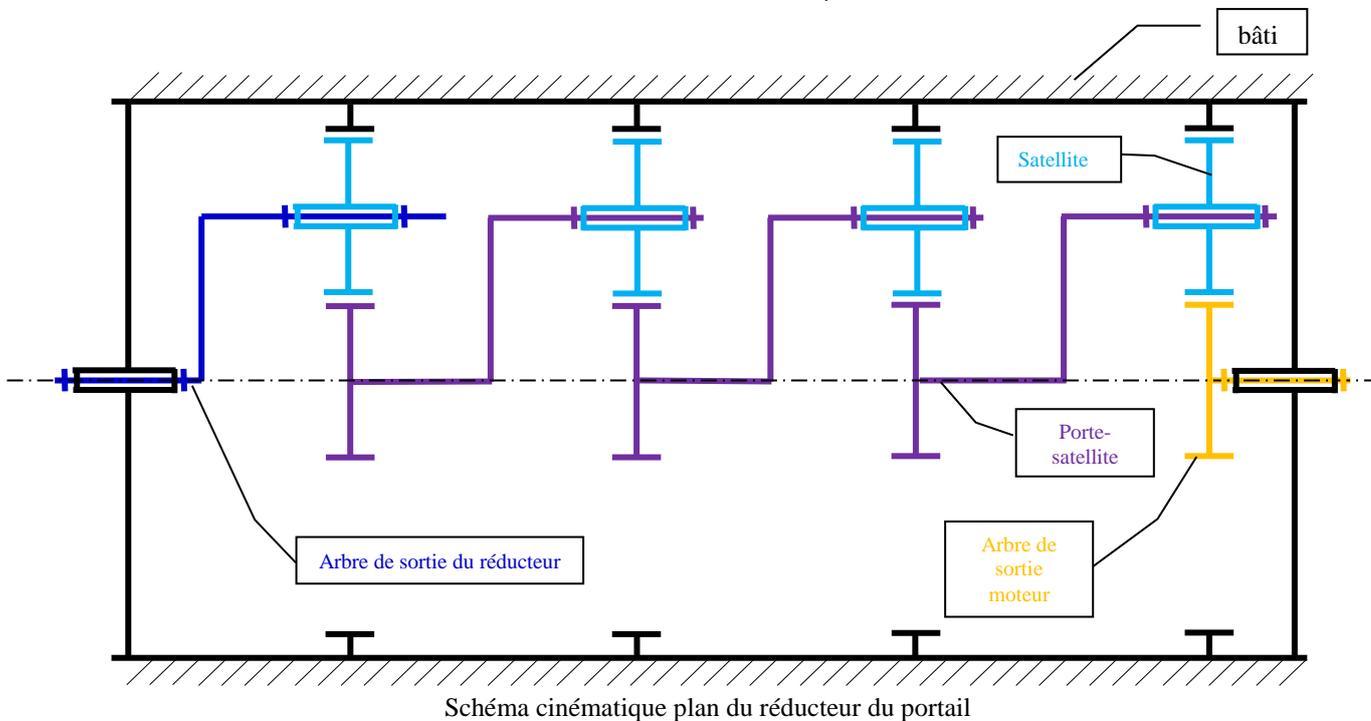
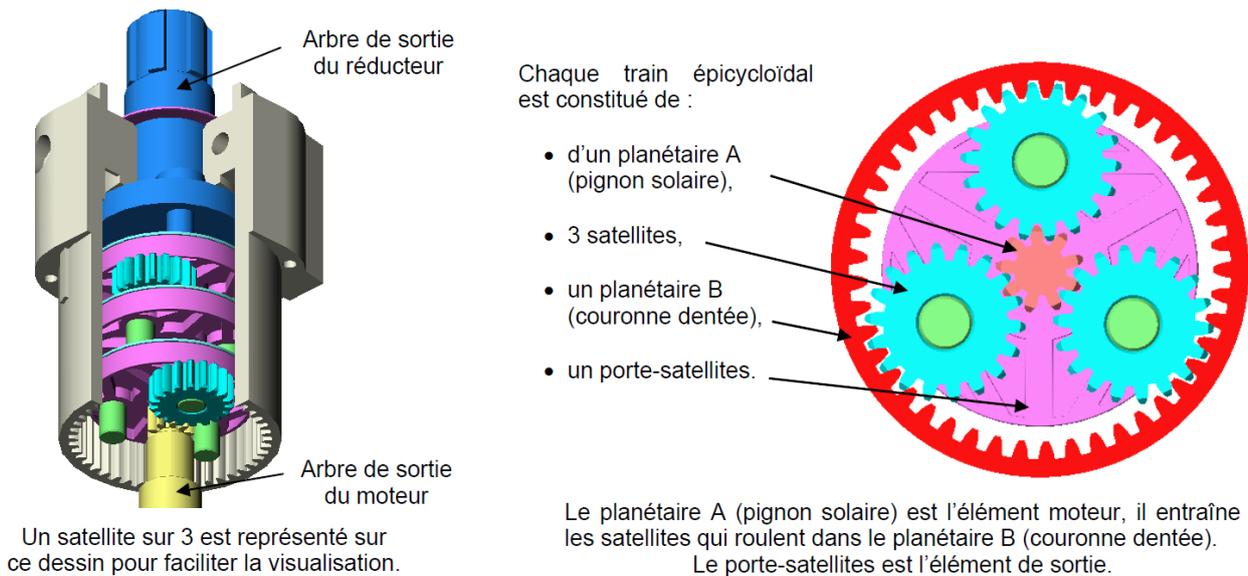
La formule de Willis permet de déterminer facilement le rapport de réduction d'un train épicycloïdal :

$$r = \frac{\Omega_{\text{planétaire1/ porte-satellite}}}{\Omega_{\text{planétaire2/ porte-satellite}}} = (-1)^n \frac{\prod Z_{\text{menante}}}{\prod Z_{\text{menée}}}$$

n = nombre de contacts extérieurs entre les pignons qui permet de déterminer le sens de rotation de sortie

Z = nombre de dents roues menantes ou menées.

Exemple du réducteur du portail : Il est constitué de 4 trains épicycloïdaux de Type 1 en série



Les nombres de dents des différentes roues dentées sont : $Z_{\text{arbre sortie moteur}} = 9$; $Z_{\text{satellite}} = 18$; $Z_{\text{couronne bâti}} = 45$

Détermination du rapport de réduction d'un train épicycloïdal : $\lambda_1 = \frac{\omega_{\text{portesatellite / bâti}}}{\omega_{\text{arbre sortie moteur / bâti}}} =$

Détermination du rapport de réduction du réducteur : $\lambda = \frac{\omega_{\text{arbre sortie réducteur / bâti}}}{\omega_{\text{arbre sortie moteur / bâti}}} =$

5- Poulies/courroies et chaînes

Les systèmes poulie-courroie sont utilisés pour transmettre un mouvement de rotation sur des distances importantes (qui nécessiteraient plusieurs trains d'engrenage par exemple). Ils sont utilisés dans de nombreux domaines, comme l'automobile, la bureautique (commande de scanner), la robotique, les vélos (transmission par chaîne)... Ils possèdent un fonctionnement identique à un système à chaîne.

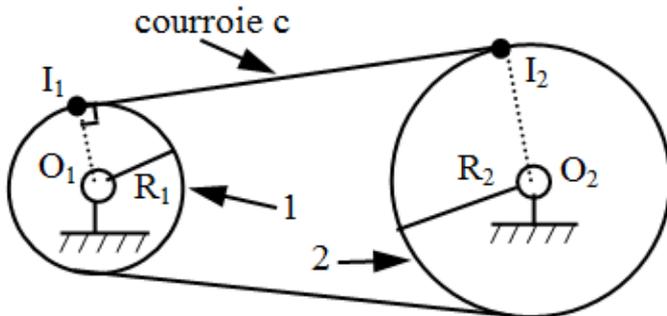
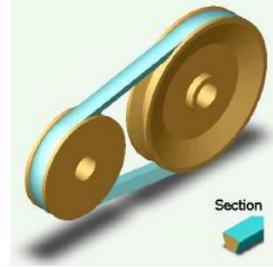
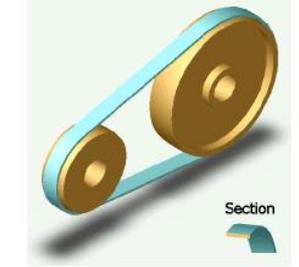


Schéma cinématique système poulie courroie

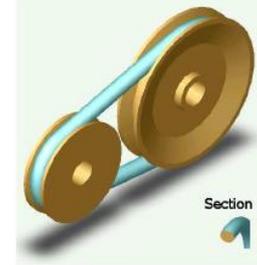
Courroie à section trapézoïdale



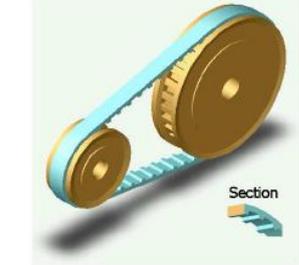
Courroie à section rectangulaire



Courroie à section circulaire



Courroie et poulies crantées



Du fait de l'inextensibilité de la courroie, les vitesses de tous ses points ont la même norme. Si la courroie ne glisse pas sur les poulies, alors on en déduit que le rapport de réduction :

$$\lambda = \frac{\omega_{2/bâti}}{\omega_{1/bâti}} = \frac{R_1}{R_2}$$

Cette relation n'est valable que s'il y a non glissement entre la courroie et les poulies ce qui nécessite un coefficient de frottement non nul et un système permettant de tendre constamment la courroie.

Pour augmenter le couple transmissible par un tel système, on utilise des courroies à section trapézoïdale (la surface de contact augmente ce qui améliore l'adhérence) ou des courroies crantées qui suppriment le glissement (courroie de distribution dans les moteurs 4 temps...) ou encore des chaînes (moto, bicyclette...)



Chaîne reliant les deux arbres à cames d'un moteur de voiture

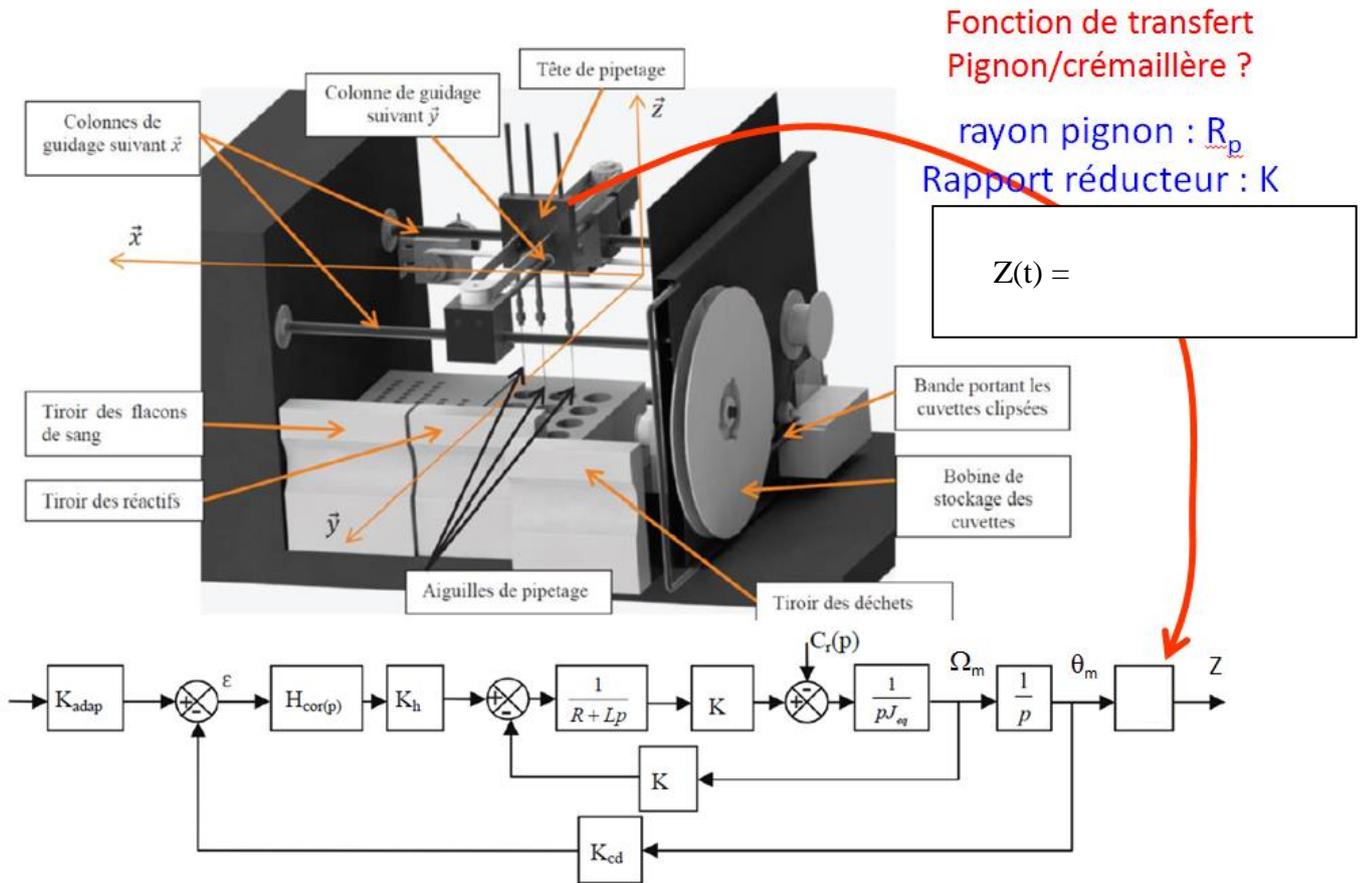
© MOTOMAG.COM - OR



Transmission par courroie crantée d'une moto

Illustrations sur des sujets de concours :

extrait CCP MP 2015



extrait Mines MP 2016

