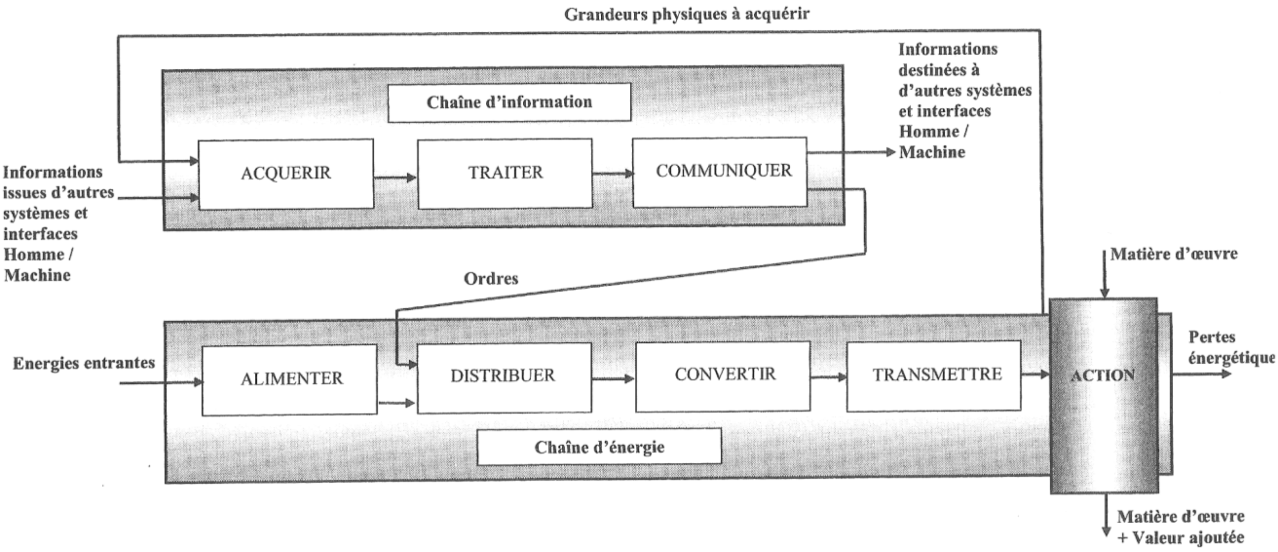
COURS SUR LES TRANSMETTEURS

I. INTRODUCTION

A la chaîne d'information et à la chaîne d'énergie d'un système pluri technique, on peut en général associer les fonctions élémentaires suivantes :



On va étudier dans ce chapitre les sous systèmes réalisant la fonction « Transmettre ».

II. TRANSMETEURS USUELS SIMPLES

1. Système vis-écrou

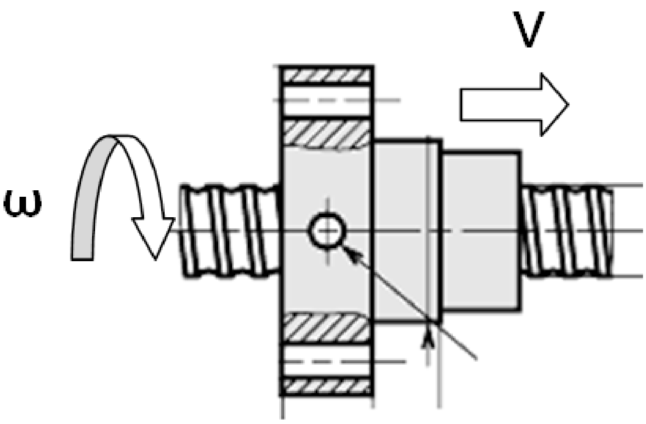
Il transforme un mouvement de rotation en mouvement de translation (et inversement).

<u>Retenir</u> :

Quand on fait un tour, on avance du pas p.

On a : $$V = \frac{p.\omega}{2.\pi}$$

V (m/s) p (m) ω(rad/s)



De même : $x = \dfrac{p.\theta}{2.\pi}$ x (m) p (m) θ(rad)

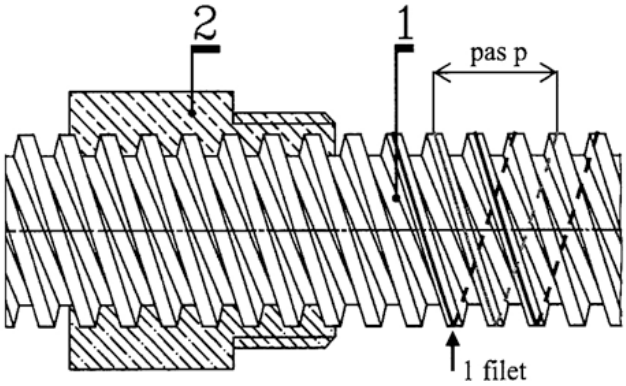
<u>Attention :</u>

- ✓ Au signe de la relation en fonction du pas (à gauche ou à droite) et du paramétrage.
- ✓ La vis peut comporter plusieurs filets.

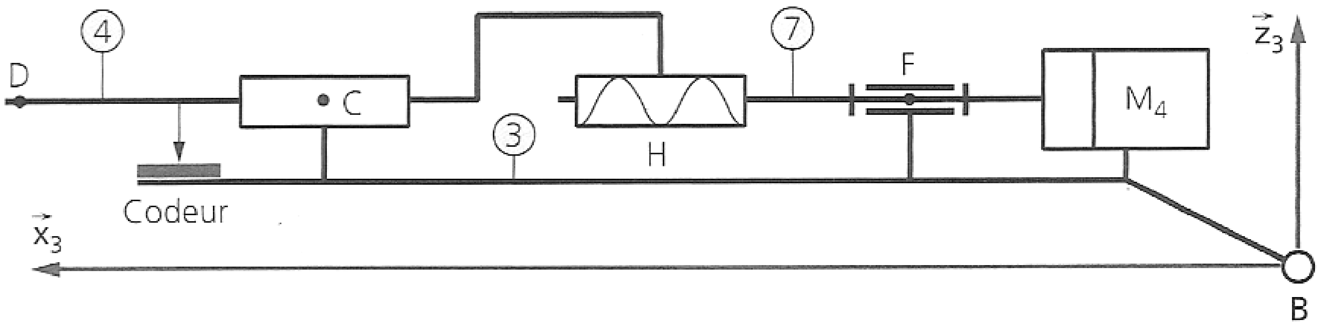
Exemple :

Vis (1) à 3 filets, hélice à droite.

Ecrou (2) en bronze.

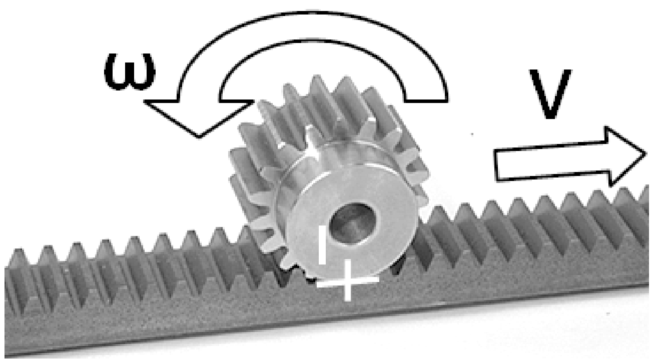


Exemple d'utilisation fréquente : Un vérin mécanique.



2. Système pignon-crémaillère

Ce type de transmetteur de puissance est un engrenage particulier.

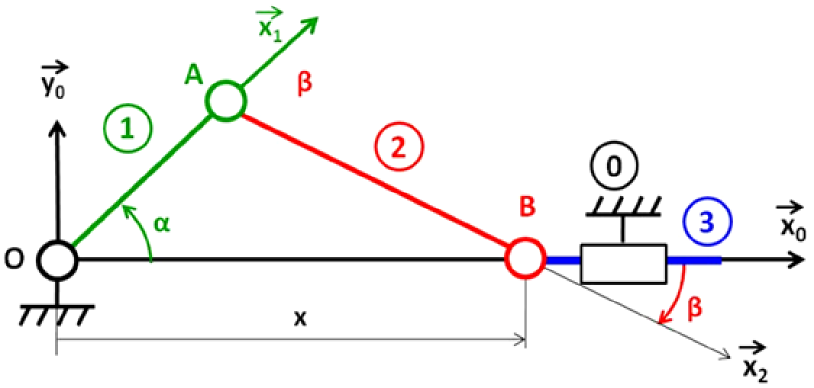


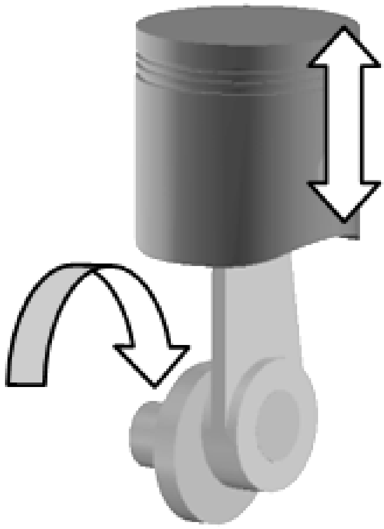
On a : $V = R.\omega$ V (m/s) R (m) ω (rad/s)

De même : $x = R.\theta$ X (m) R (m) θ (rad)

3. Système bielle-manivelle

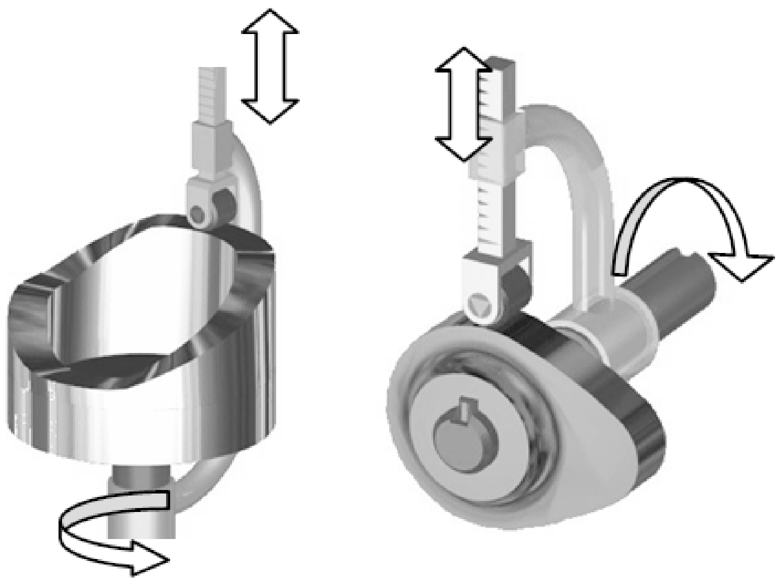
Il transforme un mouvement de rotation en mouvement de translation.



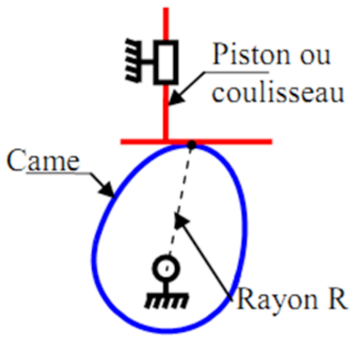


4. Systèmes à cames

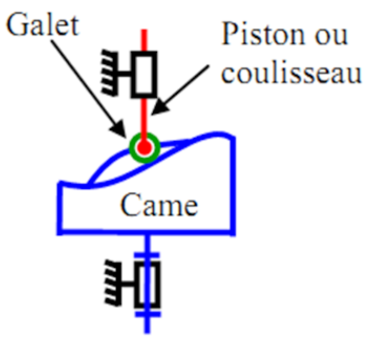
Ils transforment un mouvement de rotation en un mouvement de translation, suivant une loi donnée par la forme de la came.



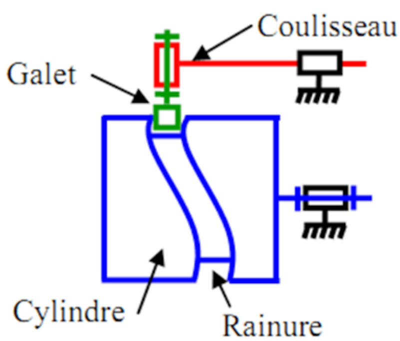
Différents types de systèmes à cames:



Came radiale



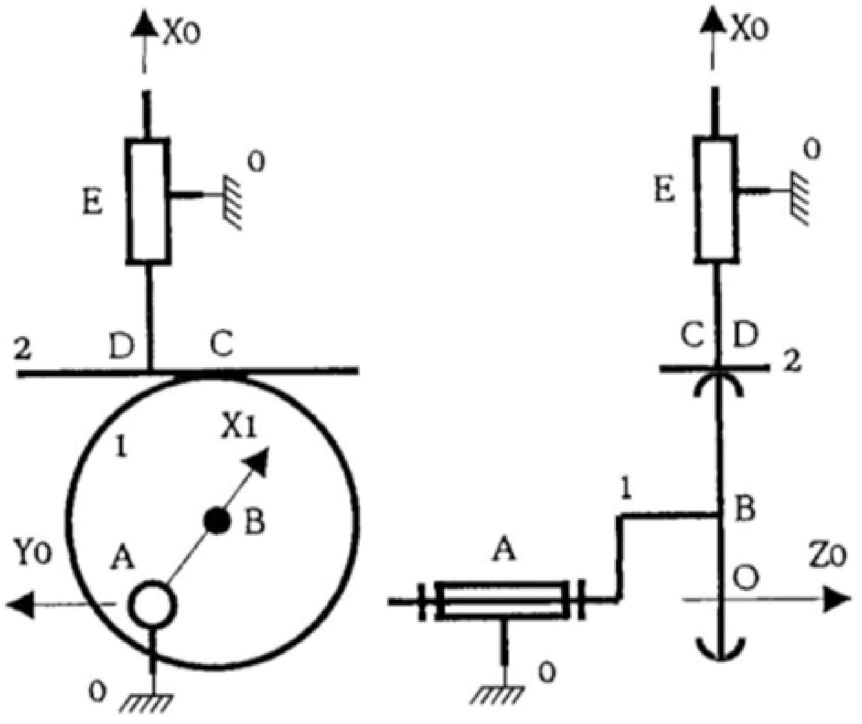
Came axiale



Came axiale (tambour)

5. Système à excentrique

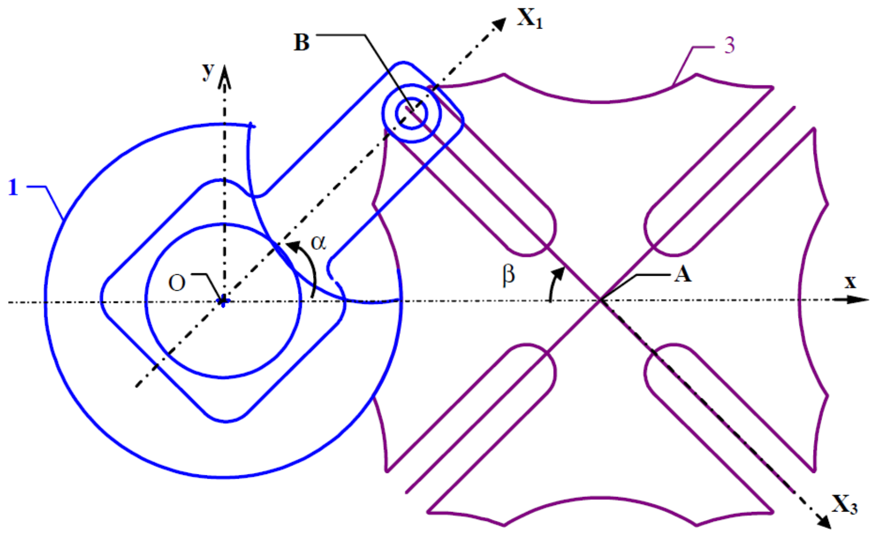
Un excentrique est une came radiale circulaire.



6. Système à croix de malte

Il transforme un mouvement de rotation en un mouvement de rotation discontinu.

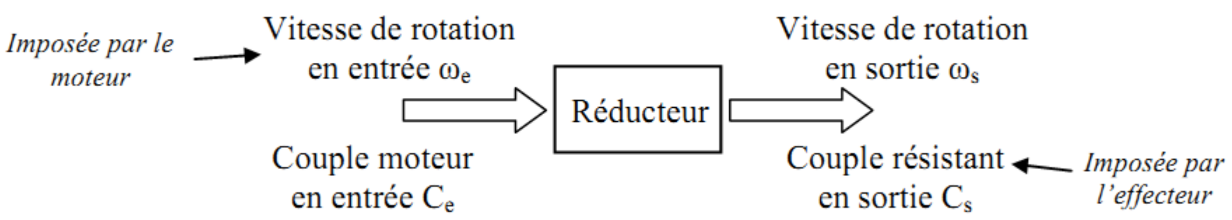
Quand le solide (1) fait un tour, le solide (3) fait un quart de tour.



III. REDUCTEURS DE VITESSE.

La puissance mécanique de rotation d'un actionneur (moteur électrique par exemple) est rarement utilisable directement.

Les réducteurs permettent d’adapter le couple et la vitesse de rotation d’un moteur.



On définit un rapport de transmission λ tel que $\lambda = \dfrac{\omega_s}{\omega_e}$.

Si $\lambda > 1$ le système est multiplicateur de vitesse

Si $\lambda < 1$ le système est réducteur de vitesse.

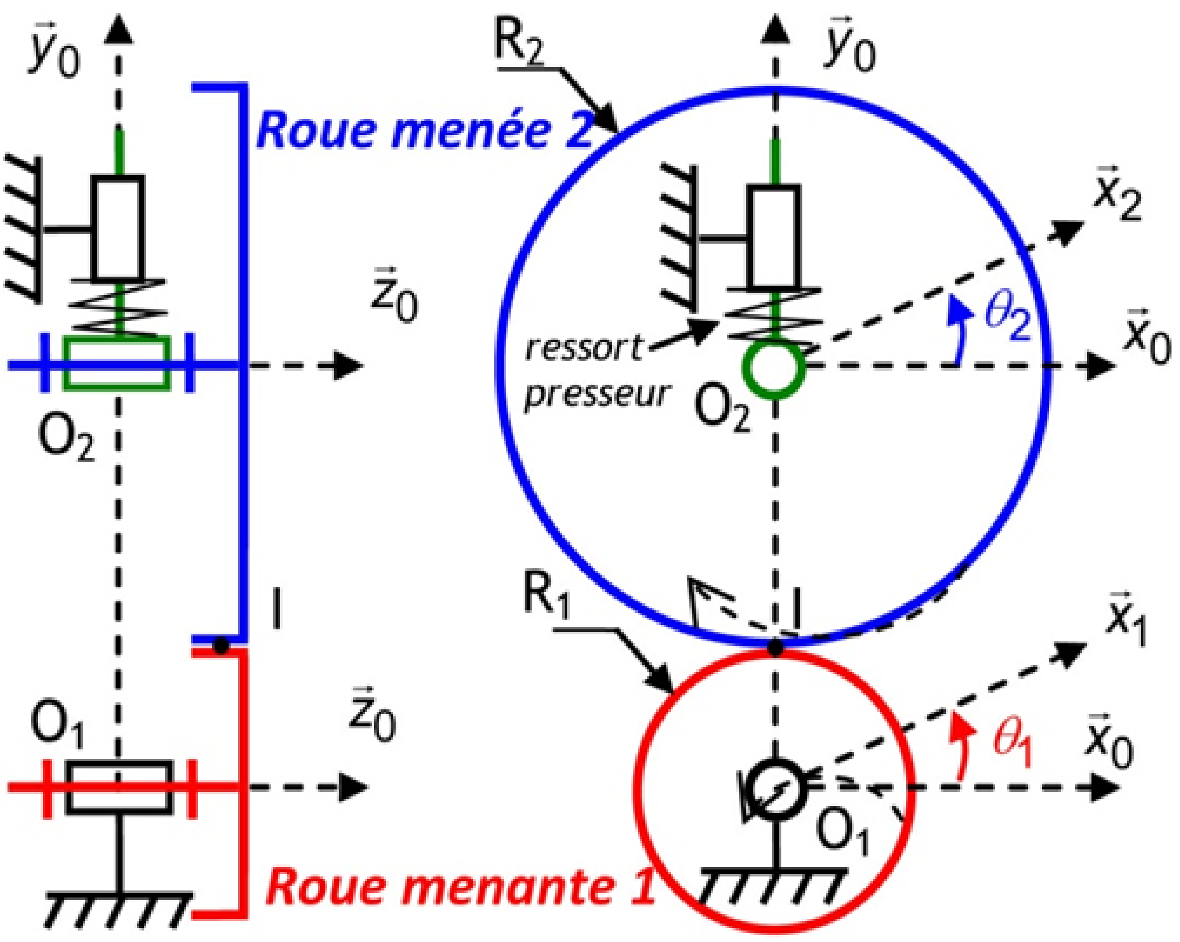
La plupart des systèmes de transmissions sont réversibles et peuvent être utilisés en réducteurs ou multiplicateurs.

On peut classer les réducteurs en deux grandes familles :

- ✓ Les réducteurs utilisant la transmission par adhérence (poulie-courroie avec courroie lisse…).
- ✓ Les réducteurs utilisant la transmission par obstacle (poulie-courroie avec courroie dentée, chaîne, engrenage…).

En effet, pour transmettre de fortes puissances, les solutions techniques par adhérences ne conviennent plus. Il faut alors ajouter des obstacles (dents).

1. Les roues de frictions



Deux roues cylindriques ou coniques sont en contact sur une génératrice et soumises à un effort presseur.

Le non glissement au contact des deux roues permet de transmettre le mouvement de la roue motrice vers la roue réceptrice.

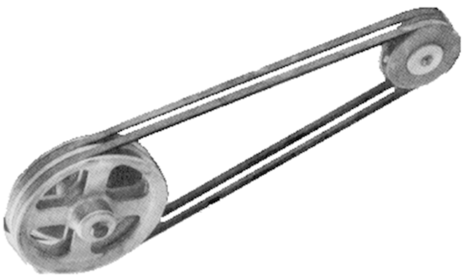
Pour un bon fonctionnement, il faut assurer un roulement sans glissement en utilisant :

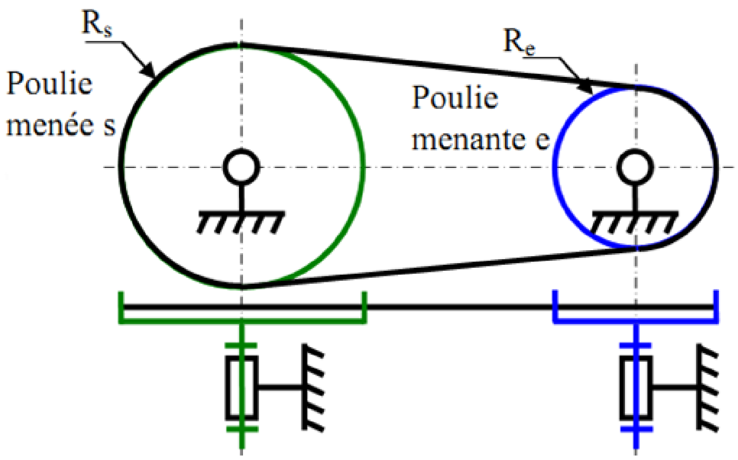
- ✓ Un couple de matériaux avec un fort coefficient d'adhérence.
- ✓ Un effort presseur entre les deux roues.

Condition de roulement sans glissement au point I ⇨ $V(I \in 2/1) = \vec{0}$

On en déduit la relation : $\dfrac{\omega_{20}}{\omega_{10}} = -\dfrac{R_1}{R_2}$.

2. Les systèmes poulies-courroies lisses (transmission par adhérence et par lien flexible)





L'ajout d'un lien flexible (courroie) entre la poulie motrice et réceptrice permet d'augmenter l'entraxe.

Dans le cas du système poulie courroie lisse, la transmission de puissance se fait par l'intermédiaire de l'adhérence entre la poulie et la courroie.

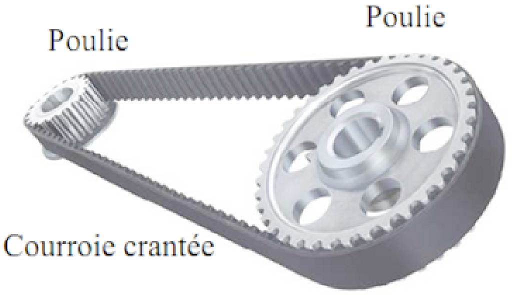
Les poulies tournent dans le même sens contrairement aux engrenages ou aux roues de frictions.

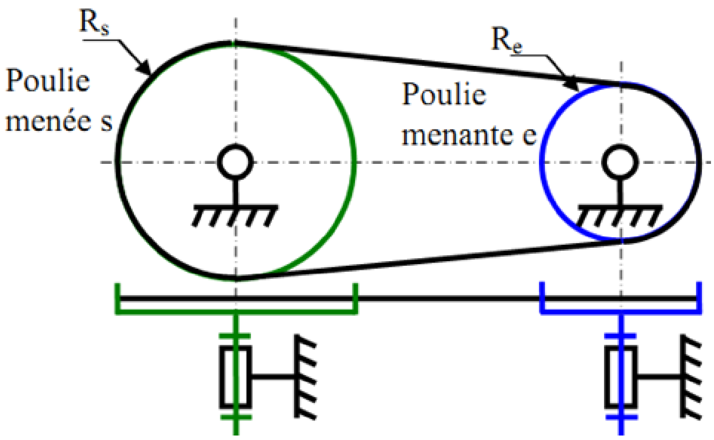
On a : $\dfrac{\omega_S}{\omega_E} = \dfrac{R_e}{R_s}$

Indication éventuelle sur le type de courroie :

Courroie plate —— Courroie ronde ○ Courroie trapézoïdale ▽

3. Les systèmes poulies-courroies synchrones (crantées)

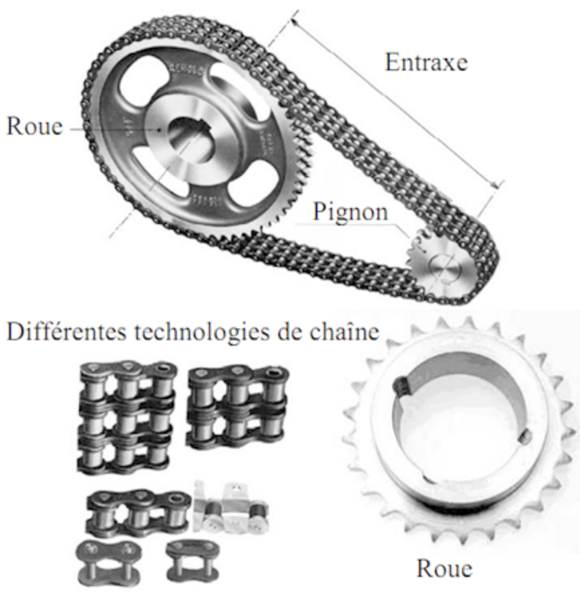


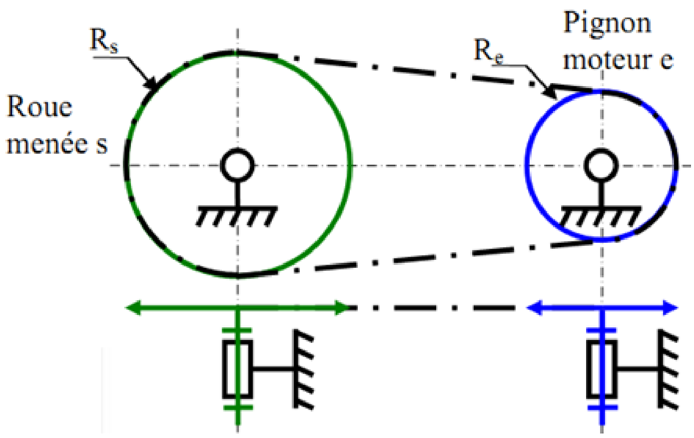


Courroie crantée : 

On a de même : $$\frac{\omega_S}{\omega_E} = \frac{R_e}{R_s}$$

4. Les systèmes pignons-chaîne





Indication éventuelle sur le type de chaîne :

Chaîne à maillons 

Chaîne à rouleaux 

Chaîne à dents 

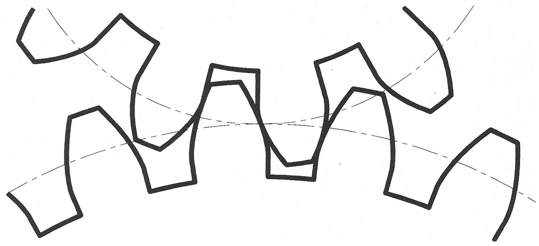
On a de même : $$\frac{\omega_S}{\omega_E} = \frac{R_e}{R_s}$$

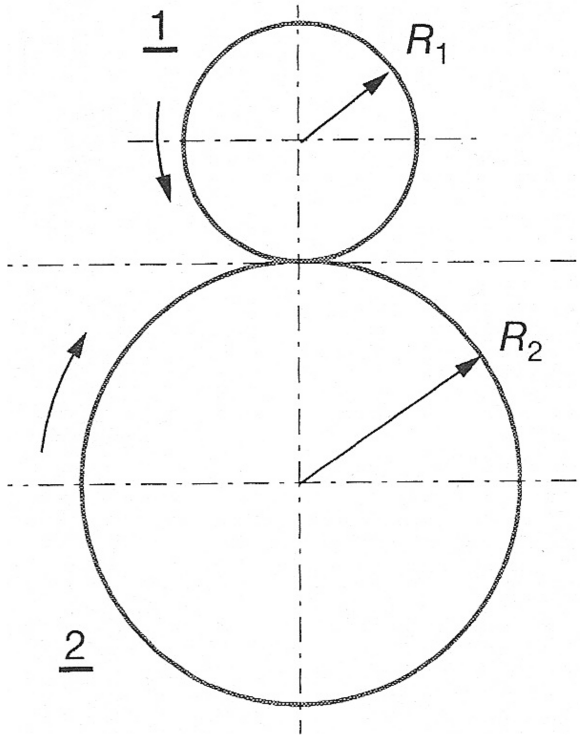
IV. REDUCTEURS DE VITESSE A ENGRENAGE

1. Définitions.

Pour que la roue (1) entraîne la roue (2), il faut qu'il y ai roulement sans glissement au point de contact entre les 2 roues.

Pour éviter le glissement, même avec des efforts importants, on interpose des obstacles (des dents) au niveau des surfaces primitives.





On appelle engrenage deux roues dentées qui engrènent l'une avec l'autre.

On a l'habitude d'appeler « pignon » la roue dentée la plus petite et « roue » la plus grande.

Pour que deux roues dentées engrènent entre elles il faut qu'elles aient le même module.

Pour toutes les roues dentées qui engrènent ensemble on a la relation :

$$m = \frac{d_1}{Z_1} = \frac{d_2}{Z_2}$$

d_1 : diamètre primitif

m : module

Z_1 : nombre de dents

On peut aussi écrire : $d_1 = m.Z_1$ et $d_2 = m.Z_2$

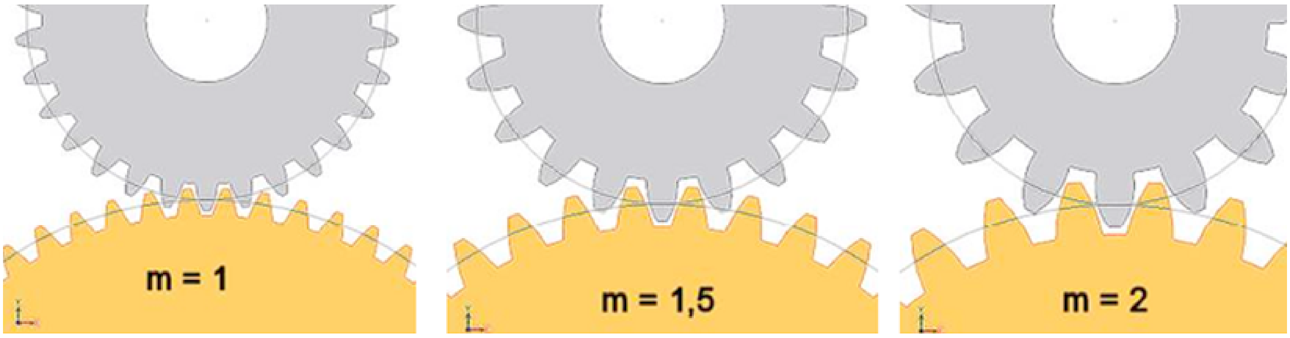
Le module d'une roue dentée n'est pas choisi au hasard. Il fait partie d'une série de nombres normalisés.

Plus le module est grand, plus la taille des dents est grande et plus l'effort transmissible par l'engrenage est important.

Les *diamètres primitifs* des roues dentées correspondent aux diamètres qu'auraient 2 roues de friction générant le même rapport de réduction.

Valeurs normalisées principales du module :

0,06	0,08	0,10	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
0,75	1	1,25	1,50	2	2,50	3	4	5	6
8	10	12	16	20	25	32	40	50	60



2. Forme des dentures.

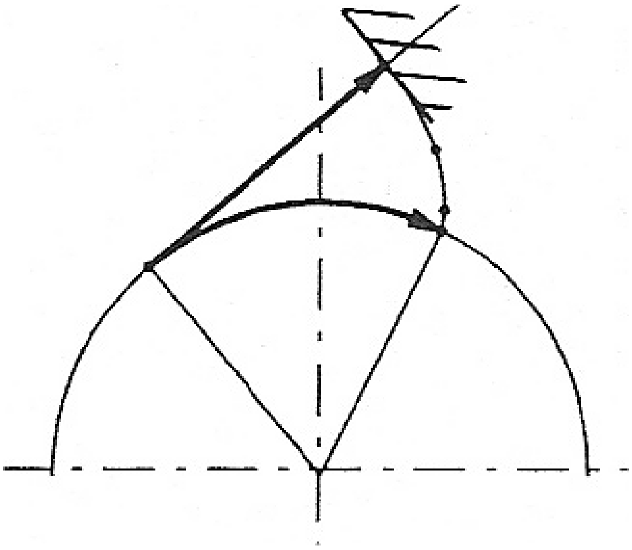
Les dents ont un profil en développante de cercle.

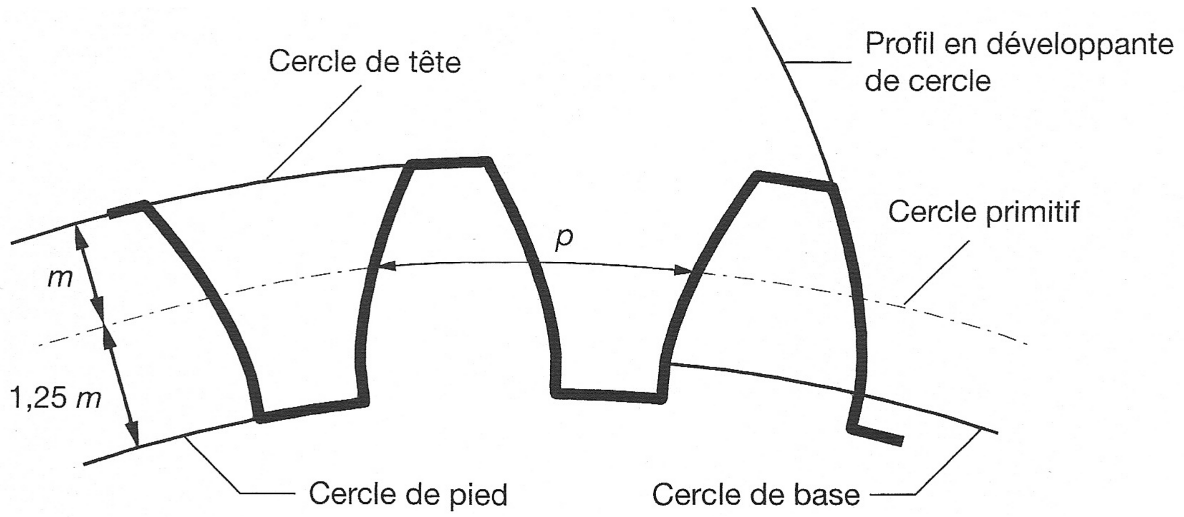
La distance entre deux dents consécutives, mesurée sur le cercle primitif se nomme le « pas circonférentiel ».

On a : $p.Z = \pi.d$.

d : diamètre primitif

Z : nombre de dents.





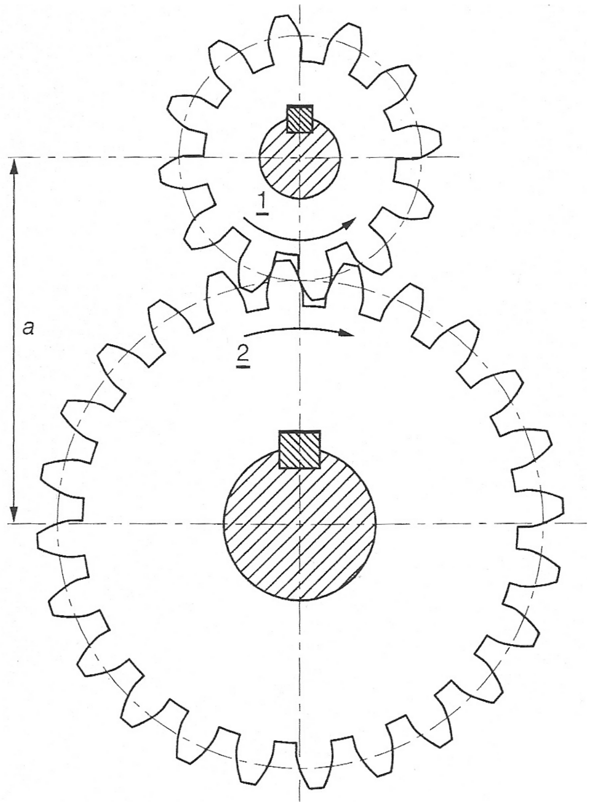
On utilise dans certains cas des roues à dentures hélicoïdales pour éviter des interférences de fonctionnement.

3. Engrenage cylindrique extérieur.

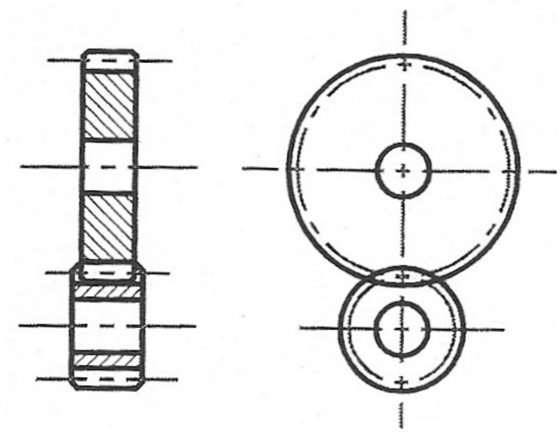
Les axes de rotation sont parallèles, le sens de rotation est inversé.

$$k = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = -\frac{R_1}{R_2} = -\frac{D_1}{D_2} = -\frac{m.Z_1}{m.Z_2} = -\frac{Z_1}{Z_2}$$

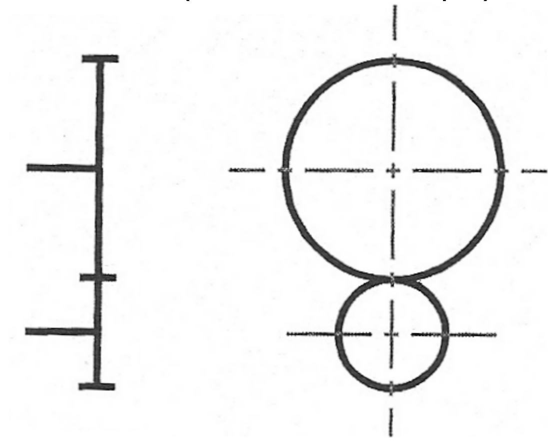
L'entraxe est égal à la somme des rayons primitifs : $a = R_1 + R_2$



Représentation



Schématisation (schéma cinématique)

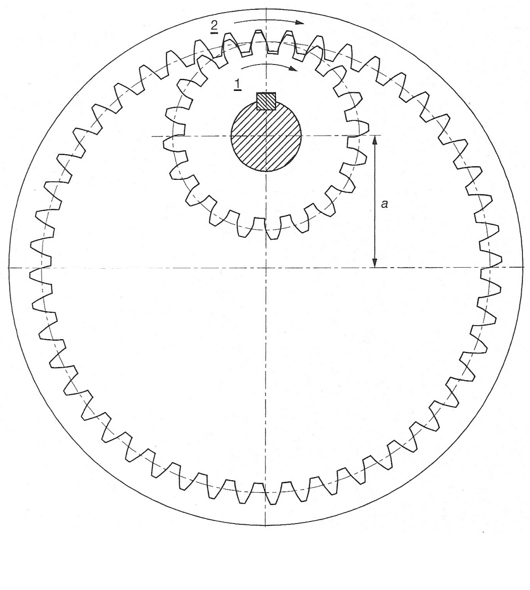


4. Engrenage cylindrique intérieur.

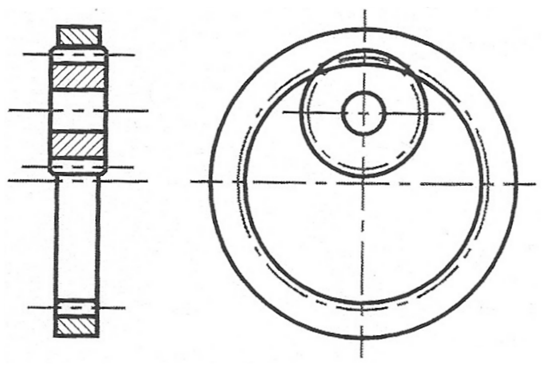
Les axes de rotation sont parallèles, le sens de rotation est conservé.

$$k = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{m.Z_1}{m.Z_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

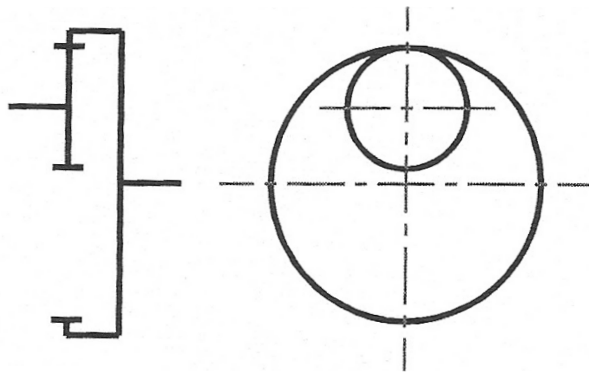
L'entraxe est égal à la différence des rayons primitifs : $a = R_2 - R_1$



Représentation



Schématisation (schéma cinématique)



5. Pignon crémaillère.

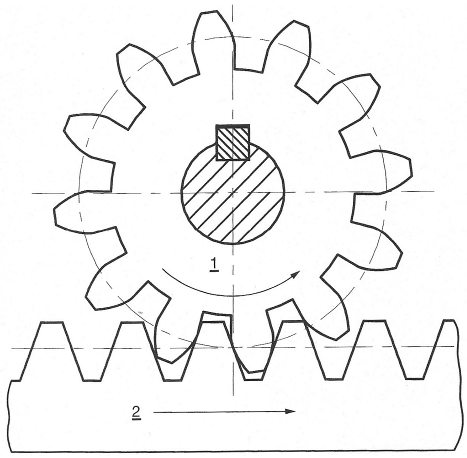
Une des deux roues a un diamètre infini, c'est la crémaillère.

L'entraxe n'est pas défini.

La relation cinématique s'écrit :

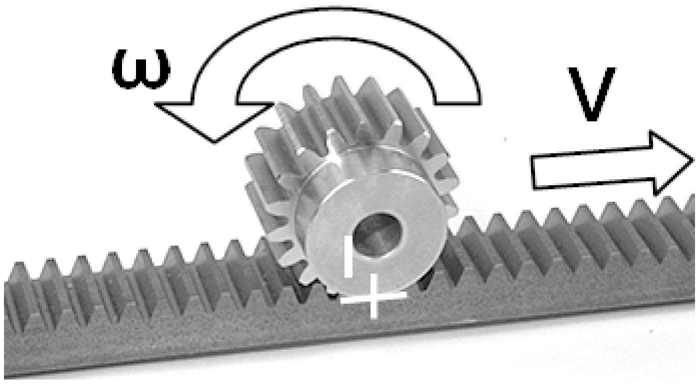
$$V_{2/0} = R_1 . \omega_{1/0}$$

Attention aux unités ($\omega_{1/0}$ en rad/s)

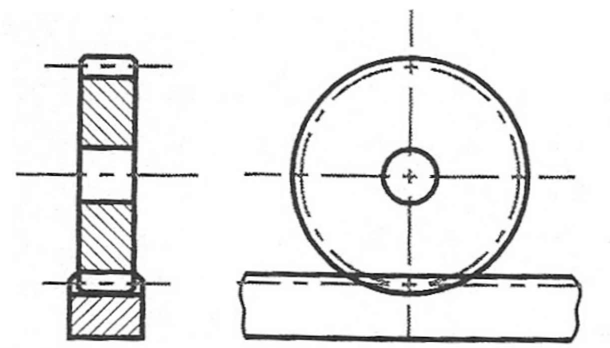


$$V = R \times \omega$$

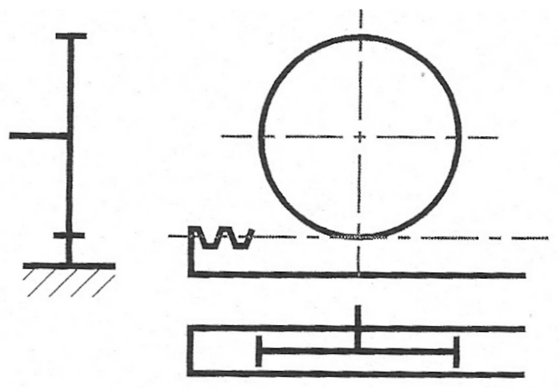
De même : $X = R \times \theta$



Représentation



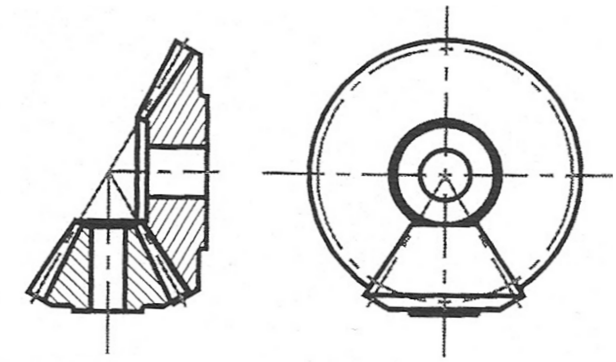
Schématisation



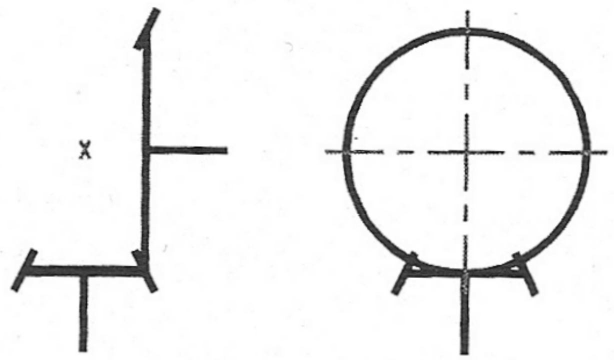
6. Engrenages coniques.

Ils permettent de transmettre le mouvement entre 2 arbres dont les axes sont concourants et non parallèles.

Représentation



Schématisation (schéma cinématique)



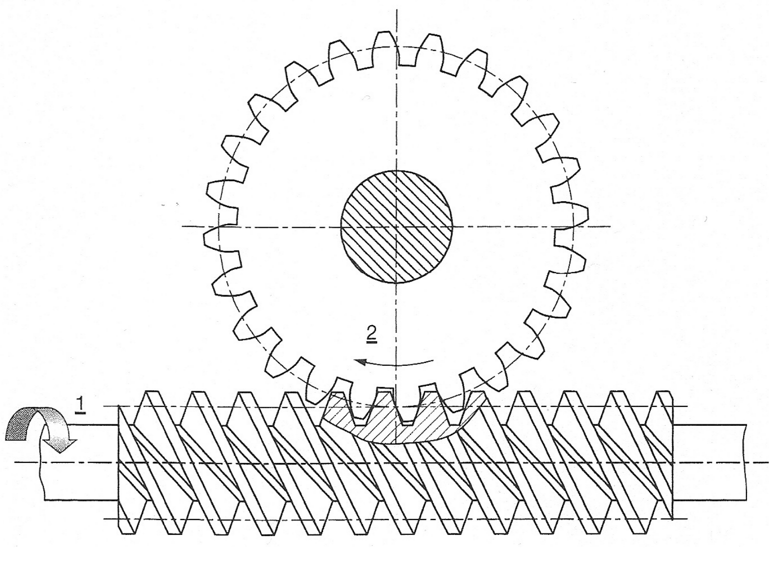
7. Roue et vis sans fin.

Les axes de rotations sont orthogonaux.

La relation cinématique entre la roue et la vis s’écrit :

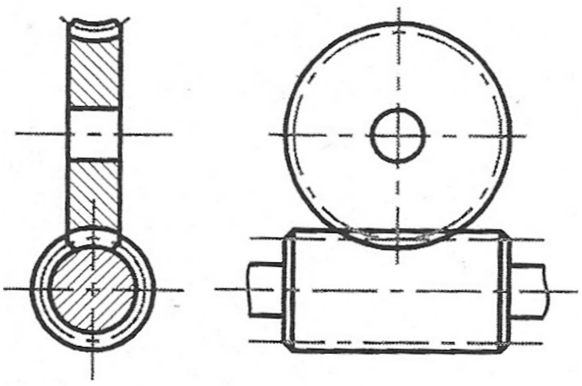
$$k = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Z_1 : nombre de filet de la vis

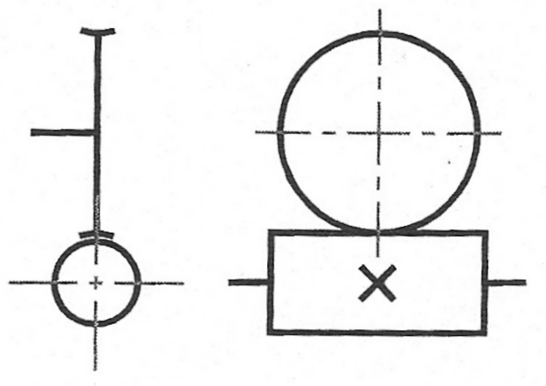


Le signe de ce rapport dépend de l’orientation des axes des roues mais aussi du sens de l’hélice (généralement à droite).

Représentation



Schématisation (schéma cinématique)

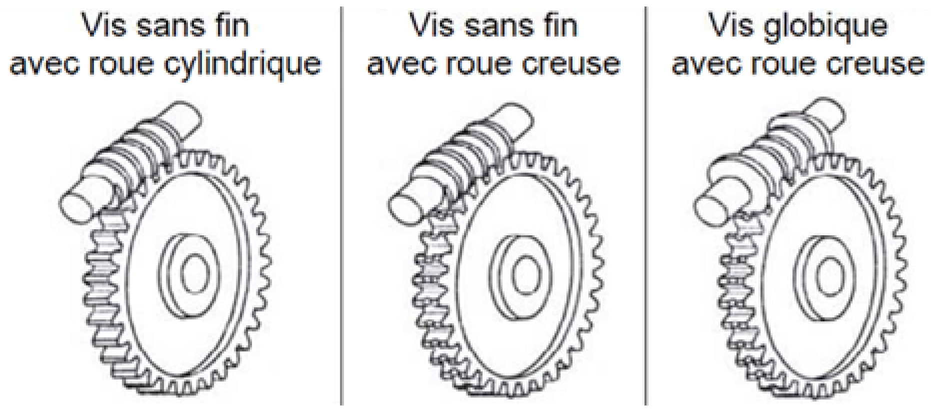


Avantages : Grands rapports de réduction (jusqu'à 1/200).
Possibilités d'irréversibilité.
Engrènement doux, silencieux et sans chocs.

Inconvénients : Rendement médiocre (glissement et frottement imposant).

De ce fait, une bonne lubrification est indispensable ainsi que des couples de matériaux à faible frottement (exemple : vis acier avec roue en bronze).

Afin d'augmenter la surface de contact entre les dentures, on utilise très souvent des systèmes à roue creuse ou avec une vis globique.



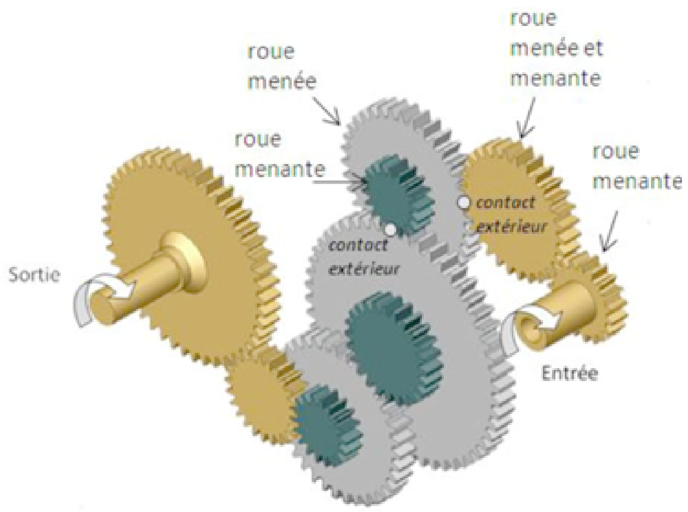
V. LES TRAINS D'ENGRENAGES

1. Train simple.

C'est une succession d'engrenages tournant autour d'axes fixes.

On identifie l'entrée et la sortie et on définit le rapport de réduction k

Pour calculer ce rapport, on effectue le produit des rapports des engrenages qui constituent le train : $k = \dfrac{\omega_{sortie}}{\omega_{entrée}}$



Exemple 1

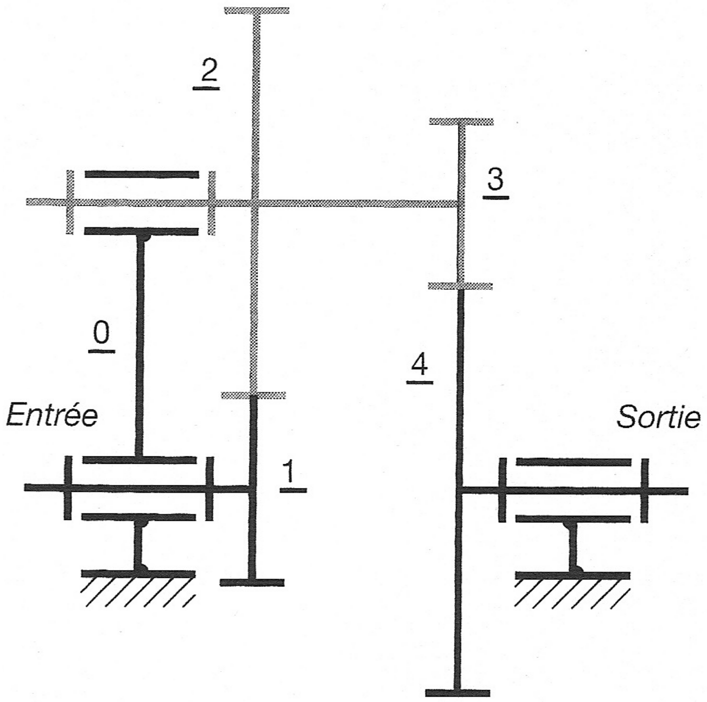
$$k = \frac{\omega_{sortie}}{\omega_{entrée}} = \frac{\omega_{4/0}}{\omega_{1/0}}$$

Engrenage (3-4) : $\frac{\omega_{4/0}}{\omega_{3/0}} = -\frac{Z_3}{Z_4}$

Engrenage (1-2) : $\frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = -\frac{Z_1}{Z_2}$

$$k = \frac{\omega_{4/0}}{\omega_{3/0}}.\frac{\omega_{3/0}}{\omega_{2/0}}.\frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}}$$

$$k = (-\frac{Z_3}{Z_4}).(1).(-\frac{Z_1}{Z_2}) = \frac{Z_3}{Z_4}.\frac{Z_1}{Z_2}$$



Généralisation :

$$k = \frac{\omega_{sortie}}{\omega_{entrée}} = (-1)^p.\frac{\prod Zmenantes}{\prod Zmenées}$$

p : nombres de contacts extérieurs

Z nombre de dents de la roue

Application avec l'exemple 1

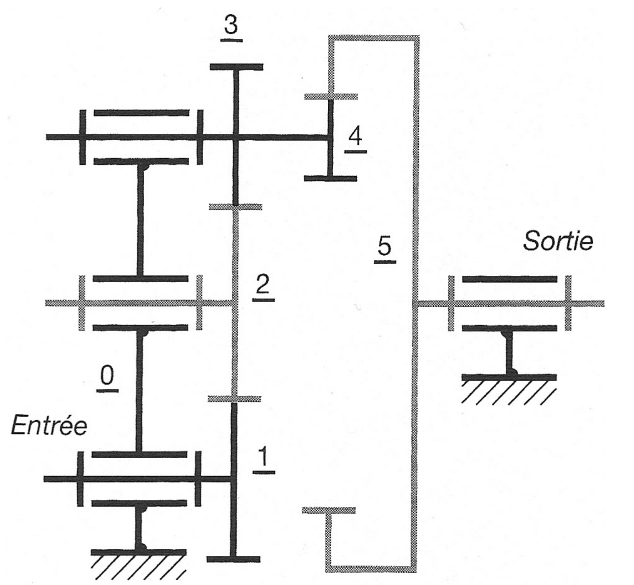
$$k = \frac{\omega_{sortie}}{\omega_{entrée}} = \frac{\omega_{4/0}}{\omega_{1/0}} = (-1)^2.\frac{Z_1.Z_3}{Z_2.Z_4} = \frac{Z_1.Z_3}{Z_2.Z_4}$$

Exemple 2

$$k = \frac{\omega_{sortie}}{\omega_{entrée}} = \frac{\omega_{5/0}}{\omega_{1/0}}$$

$$k = (-1)^2.\frac{Z_1}{Z_2}.\frac{Z_2}{Z_3}.\frac{Z_4}{Z_5}$$

$$k = \frac{Z_1}{Z_3}.\frac{Z_4}{Z_5}$$

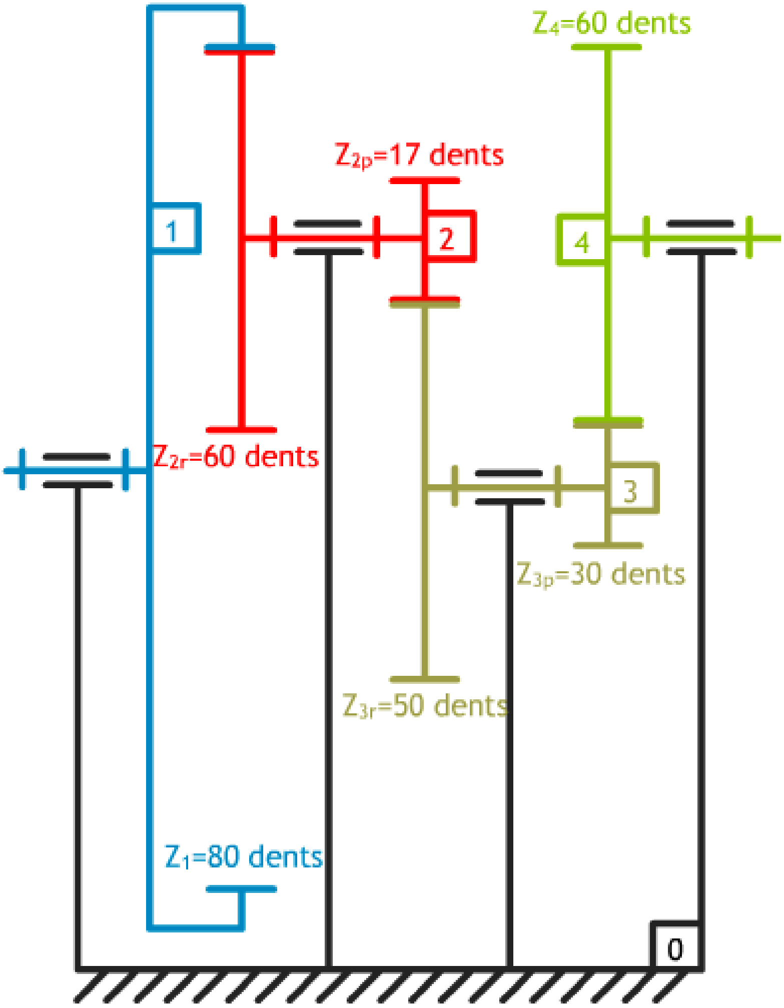


Exemple 3

$$k = \frac{\omega_{sortie}}{\omega_{entrée}} = \frac{\omega_{4/0}}{\omega_{1/0}}$$

$$k = (-1)^2 . \frac{Z_1}{Z_{2r}} . \frac{Z_{2p}}{Z_{3r}} . \frac{Z_{3p}}{Z_4}$$

$$k = \frac{Z_1}{Z_{2r}} . \frac{Z_{2p}}{Z_{3r}} . \frac{Z_{3p}}{Z_4}$$

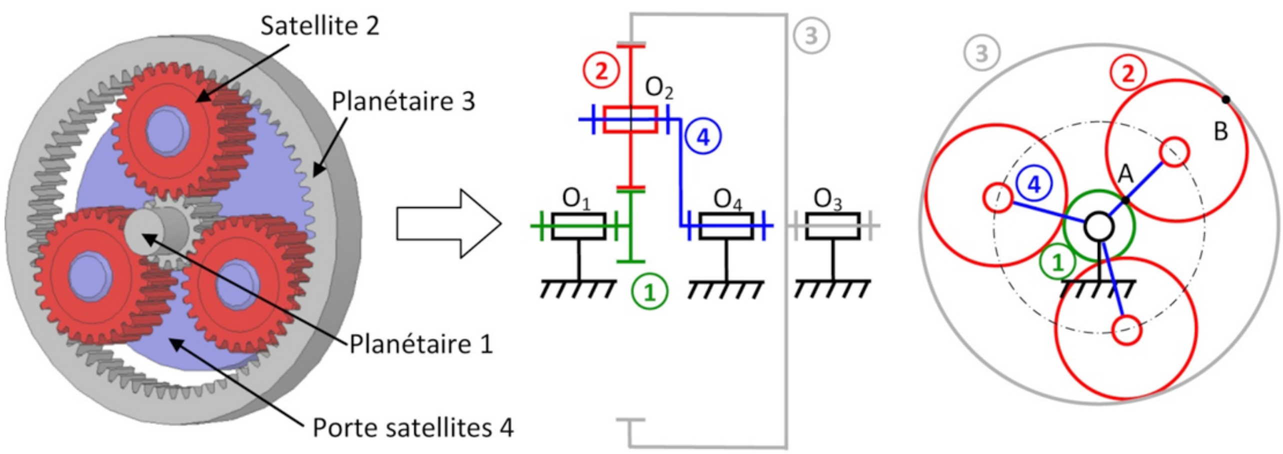


VI. LES TRAINS D'ENGRENAGES EPICYCLOIDAUX

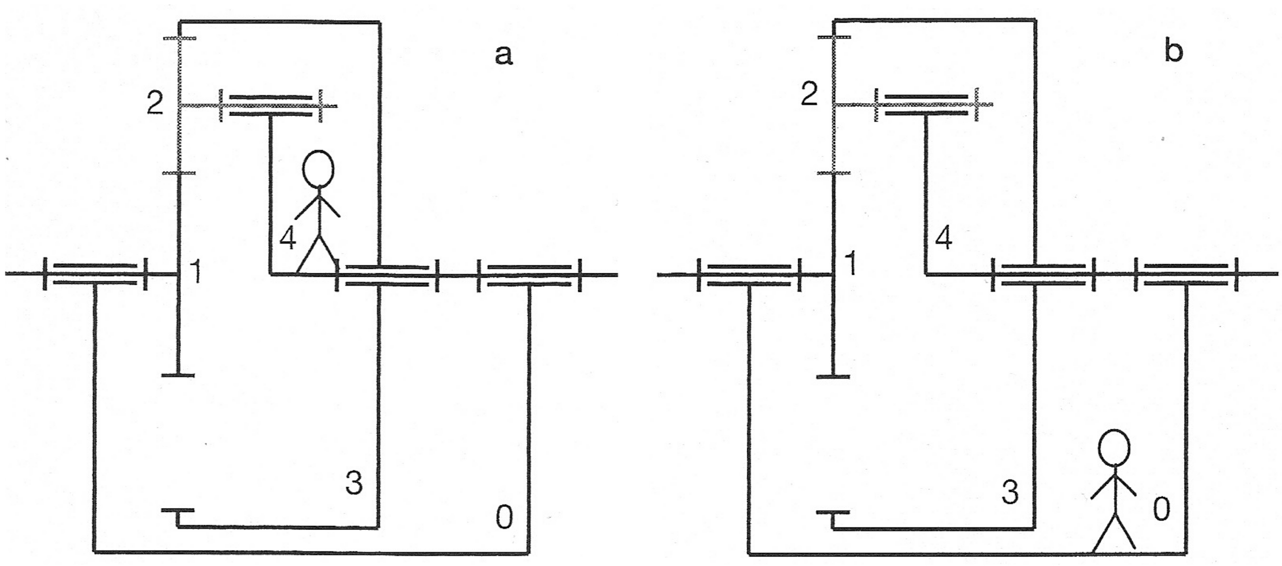
Définition : Un train d'engrenages est épicycloïdal lorsque les roues dentées ou les pignons qui composent le train ne tournent pas tous autour d'axes fixes dans le repère lié au bâti de l'appareil.

Intérêt des trains épicycloïdaux

- ✓ Les arbres d'entrée et de sortie sont coaxiaux.
- ✓ Le rapport de réduction est élevé dans un encombrement réduit.



Le caractère épicycloïdal d'un train d'engrenages dépend du repère dans lequel se place l'observateur. Les deux schémas représentent le même train d'engrenages.



L'observateur sur le solide 4 voit tous des autres solides qui composent le train tourner autour d'axes fixes.

On est en présence d'un train simple.

L'observateur sur le solide 0 voit le solide 2 tourner autour d'un axe qui se déplace.

C'est un train épicycloïdal

Dans le cas (b), le satellite a deux mouvements de rotation indépendants : une rotation autour de son axe (rotation propre) et une rotation par rapport à l'axe général du système.

Satellite : Le satellite est le pignon qui tourne autour d'un axe en mouvement dans le repère lié au bâti (solide 2 de la figure b).

Les trajectoires des points du satellite dans le repère fixe sont des courbes cycloïdales, d'où le nom donné au dispositif.

Porte satellite : Le satellite est en liaison pivot avec le porte-satellite (solide 4 de la figure b)

Planétaires : Les dentures du satellite sont en contact avec les deux planétaires.

Les planétaires tournent autour d'axes fixes dans le repère de l'observateur et engrènent avec le satellite.

Les planétaires sont des pignons (solide 1) ou des couronnes dentées intérieures (solide 3).

Le porte satellite et les deux planétaires constituent les trois entrées usuelles d'un train épicycloïdal.

Relation de Willis :

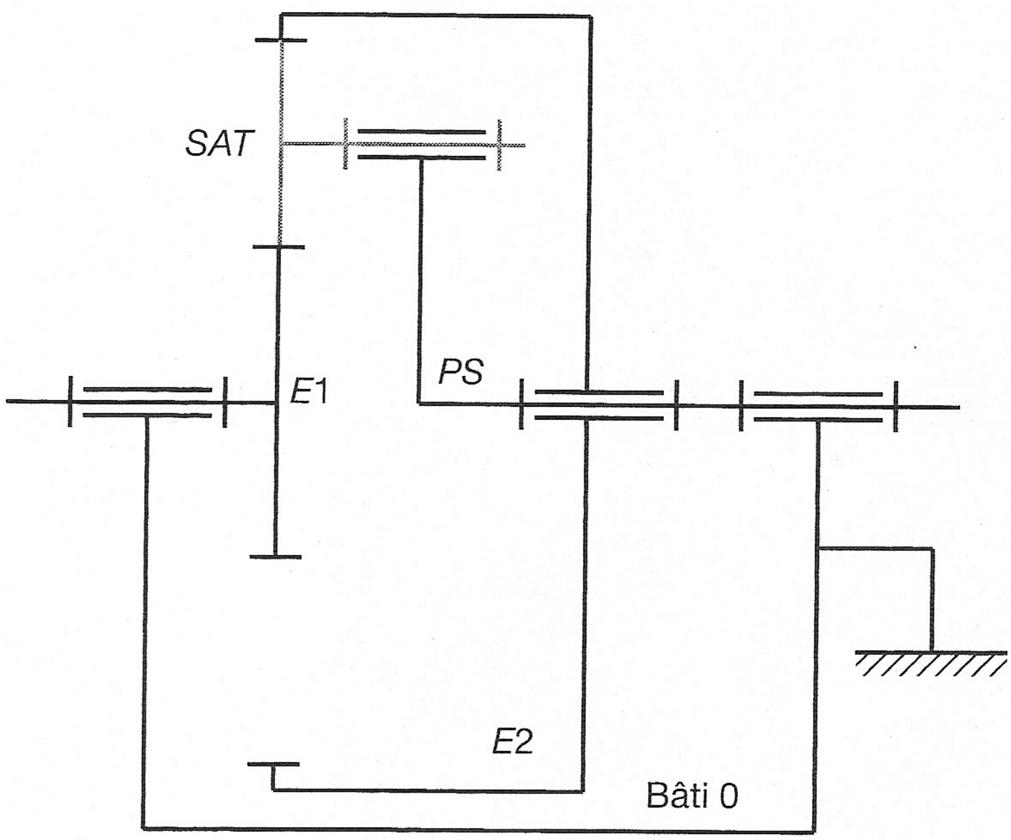
La relation de Willis traduit le comportement d'un train épicycloïdal.

Elle relie les fréquences de rotation des trois entrées (planétaires 1 et 2, porte satellite 4).

Méthode pour établir la relation de Willis :

- ✓ Définir clairement le train auquel on s'intéresse et déterminer les éléments du train : Satellite SAT, Porte satellite PS, Planétaire E1 (pignon), Planétaires E2 (couronne dentée).
- ✓ **Placer l'observateur sur le porte satellite PS** (Il voit alors un train simple).
- ✓ Fixer l'entrée sur un planétaire et la sortie sur l'autre planétaire.
- ✓ Utiliser la relation : $$\lambda = \frac{\omega_{sortie}}{\omega_{entrée}} = (-1)^p . \frac{\prod Zmenantes}{\prod Zmenées}$$

Exemple :



$$\lambda = \frac{\omega_{Sortie}}{\omega_{Entrée}} = \frac{\omega_{E2/PS}}{\omega_{E1/PS}} = (-1)^1 . \frac{Z_{E1}.Z_{SAT}}{Z_{SAT}.Z_{E2}} = -\frac{Z_{E1}}{Z_{E2}} \qquad \frac{\omega_{E2/PS}}{\omega_{E1/PS}} = -\frac{Z_{E1}}{Z_{E2}}$$

Dernière opération : Changer de repère pour écrire la relation définitive entre les trois entrées, appelée « formule de Willis » dans la littérature.

$$\frac{\omega_{E2/PS}}{\omega_{E1/PS}} = \frac{\omega_{E2/0} + \omega_{0/PS}}{\omega_{E1/0} + \omega_{0/PS}} = \frac{\omega_{E2/0} - \omega_{PS/0}}{\omega_{E1/0} - \omega_{PS/0}} = -\frac{Z_{E1}}{Z_{E2}}$$

Il ne faut apprendre la formule par cœur, il faut <u>retenir le raisonnement</u>

Fonctionnement d'un train épicycloïdal,

Pour faire fonctionner un train épicycloïdal, Il faut imposer la fréquence de rotation à deux des trois entrées. La manière la plus courante consiste à :

- ✓ Fixer l'une des entrées sur le repère d'observation (bâti),
- ✓ Imposer le mouvement d'une autre.
- ✓ Récupérer la sortie sur le troisième.

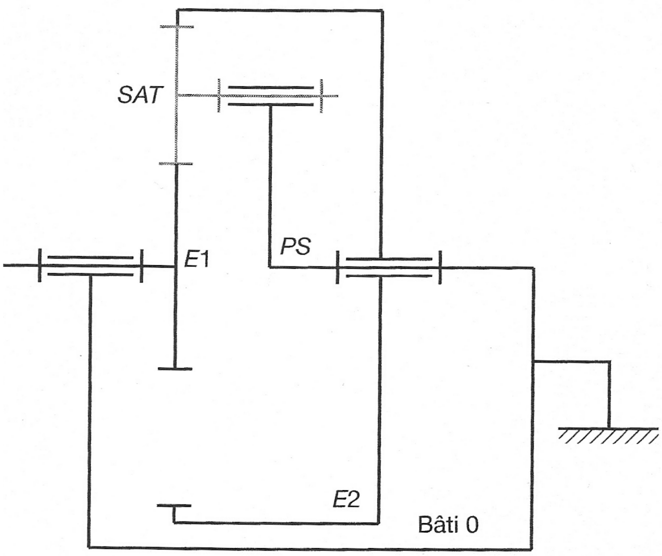
Exemples :

On bloque le porte satellite

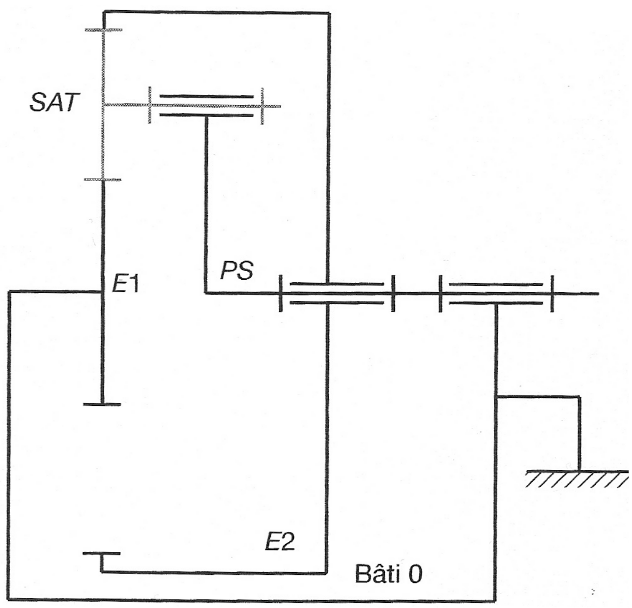
$$\omega_{PS/0} = 0$$

Remarque :

Ce n'est plus un train épicycloïdal, c'est un train simple (cas du Winch).

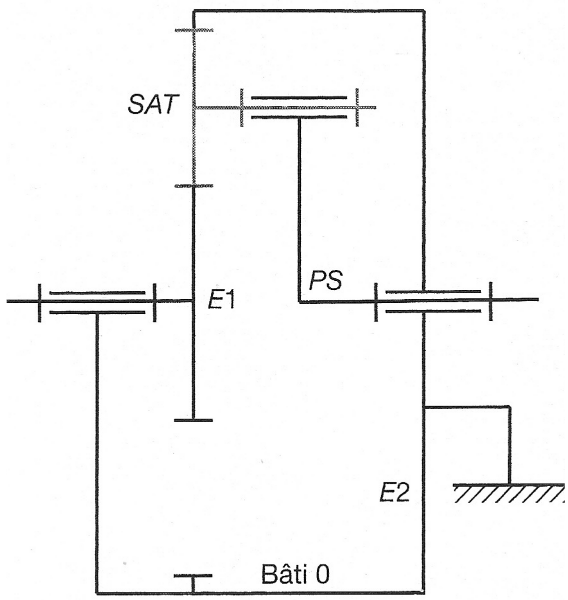


On bloque le planétaire E1



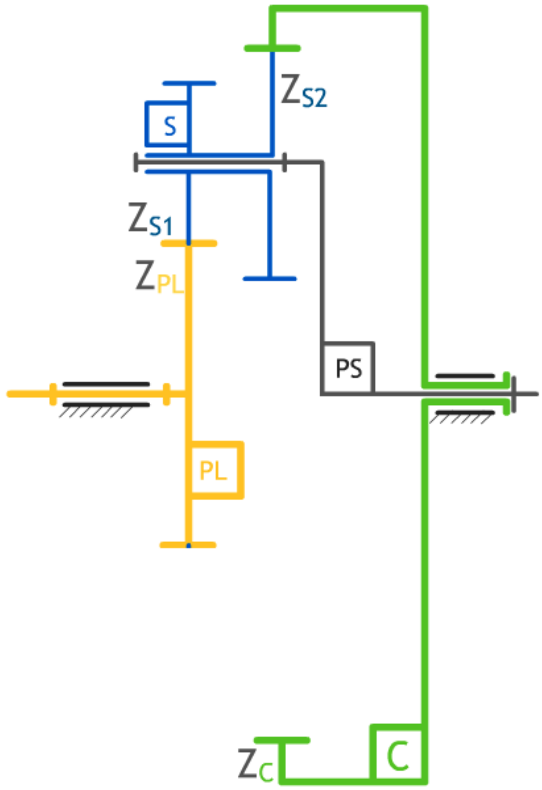
$$\omega_{E1/0} = 0$$

On bloque le planétaire E2



$$\omega_{E2/0} = 0$$

Cas d'un satellite double :



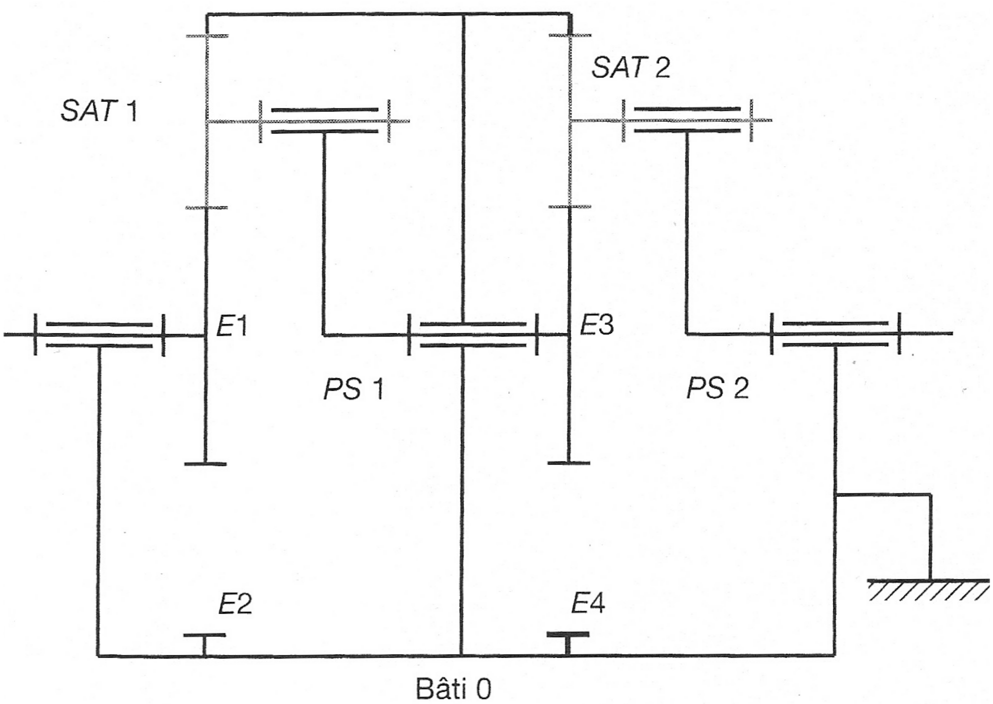
$$\lambda = \frac{\omega_{C/PS}}{\omega_{PL/PS}} = (-1)^1 . \frac{Z_{PL}.Z_{S2}}{Z_{S1}.Z_C}$$

$$\lambda = \frac{\omega_{C/PS}}{\omega_{PL/PS}} = -\frac{Z_{PL}.Z_{S2}}{Z_{S1}.Z_C}$$

Associations de trains épicycloïdaux

En examinant le mécanisme, on peut détecter un certain nombre de symptômes caractéristiques d'un train composé.

Exemple : plusieurs satellites guidés par des portes satellites différents

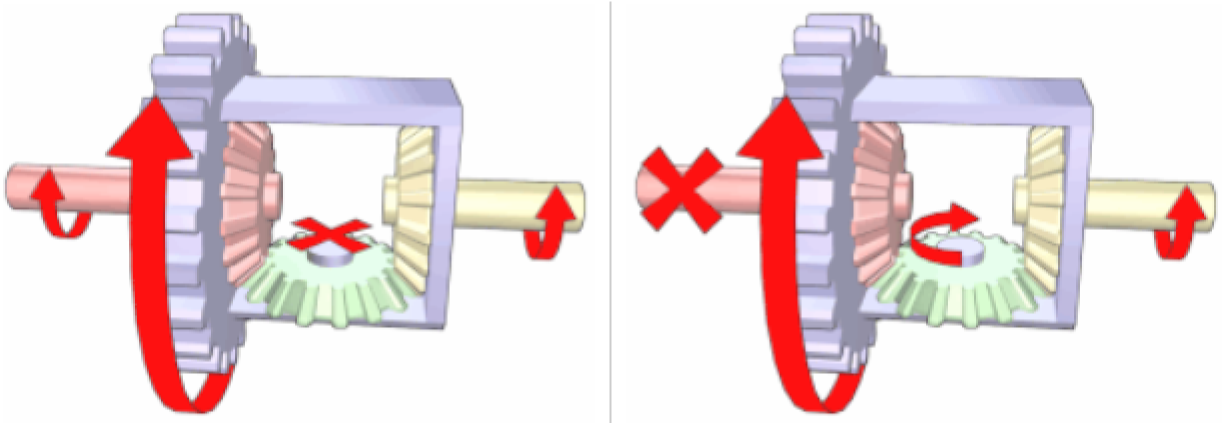


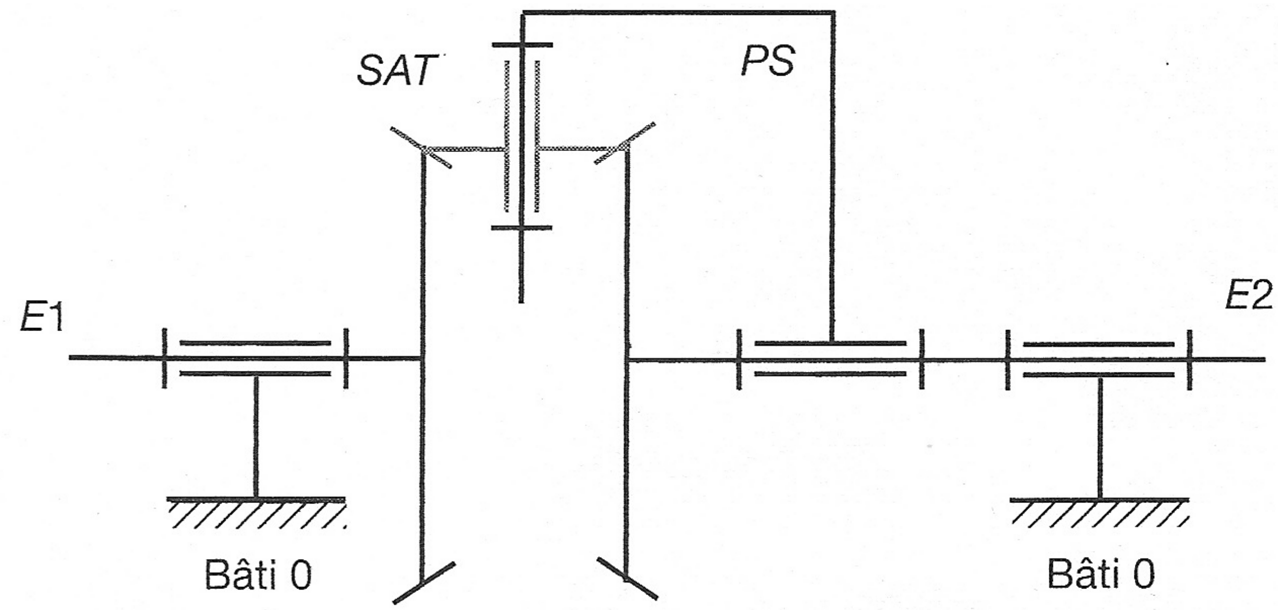
Méthode de mise en équation

- ✓ Rechercher les trains épicycloïdaux élémentaires. Pour cela on envisage chaque satellite séparément, et chaque couple de planétaires en contact avec ce satellite.
- ✓ Puis écrire les relations de Willis pour chacun de ces trains élémentaires, indépendamment de leur mode de fonctionnement dans l'ensemble.

VII. DIFFERENTIEL

Le différentiel est utilisé par exemple en automobile pour permettre en virage à la roue intérieure de tourner moins vite que la roue extérieure.





On appelle différentiel un train épicycloïdal de raison de base $\lambda = -1$.

Relation de Willis s'écrit : $$\frac{\omega_{E2/PS}}{\omega_{E1/PS}} = -\frac{Z_{E1}.Z_{SAT}}{Z_{SAT}.Z_{E2}} = -1$$

$$\frac{\omega_{E2/0} - \omega_{PS/0}}{\omega_{E1/0} - \omega_{PS/0}} = \lambda \quad \Rightarrow \quad \omega_{E2/0} + \omega_{E1/0} - 2.\omega_{PS/0} = 0$$

La fréquence de rotation du porte satellite est la moyenne des fréquences de rotation des deux autres entrées.