

# Transmission de puissance

## I LES REDUCTEURS DE VITESSE

Les réducteurs permettent **d'adapter** le couple ( $C_e$ ) et la vitesse de rotation ( $\omega_e$ ) d'un moteur en entrée en un couple ( $C_s$ ) et une vitesse de rotation ( $\omega_s$ ) sur l'arbre de sortie.



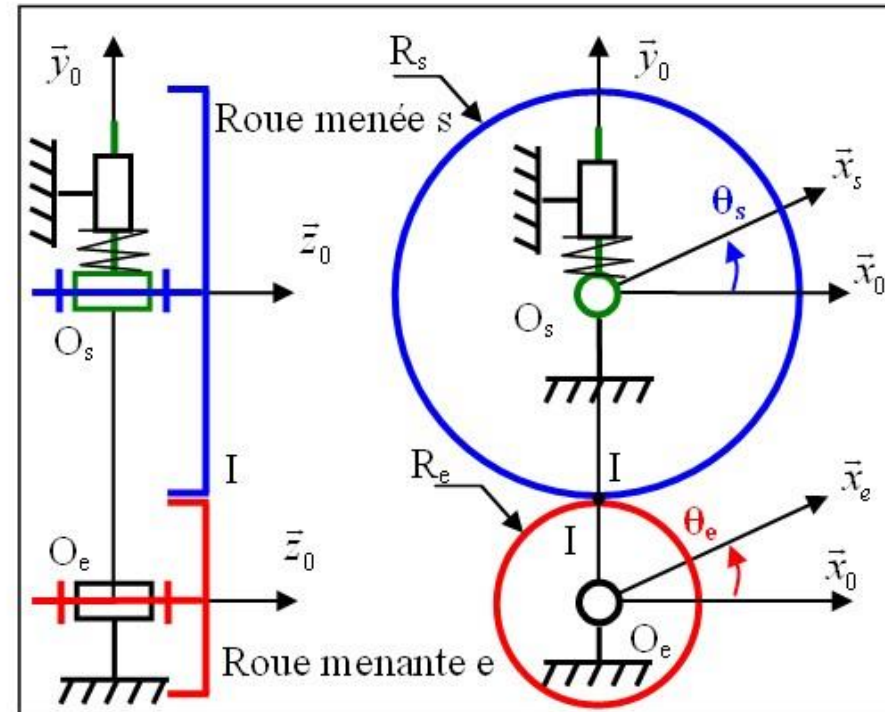
La vitesse d'un moteur est souvent trop élevée vis-à-vis de la vitesse souhaitée sur l'arbre en sortie, par conséquent l'interposition d'un réducteur permet **d'adapter cette vitesse de rotation**. D'autre part le couple résistant en sortie imposé par l'effecteur est généralement trop important pour le moteur. Le réducteur permet alors de **réduire le couple moteur** à fournir en entrée.

## 1-1 Les roues de friction

**Principe :** Deux roues cylindriques ou coniques sont en contact sur une génératrice et soumises à un effort presseur. Le frottement au contact des deux roues permet de transmettre le mouvement de la roue motrice vers la roue réceptrice.

Pour un bon fonctionnement, il faut donc choisir un couple de matériaux ayant un coefficient de frottement important.

**Utilisation :** transmissions à faible puissance (petits appareils portables), dynamo de vélo, ...



### Rapport de réduction :

La condition de roulement sans glissement au point de contact I implique :

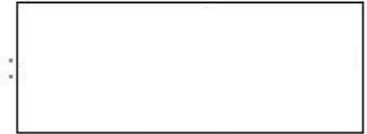
$$\omega_s = \frac{\dot{\theta}_s}{R_s} = -\frac{\dot{\theta}_e}{R_e} = \omega_e$$

Cette solution reste limitée car elle nécessite des pressions de contact importantes pour assurer le roulement sans glissement en I. Pour pallier à ce problème on utilise plutôt des transmissions par obstacles.

## 1-1 Les roues de friction (suite)

### Rapport de réduction :

La condition de roulement sans glissement au point de contact I implique :



**Ce calcul est développé plus tard à propos des engrenages**

Cette solution reste limitée car elle nécessite des pressions de contact importantes pour assurer le roulement sans glissement en I. Pour pallier à ce problème on utilise plutôt des transmissions par obstacles.



On peut classer les réducteurs en deux grandes familles vis à vis de la technologie employée pour transmettre le mouvement :

- Les réducteurs utilisant la transmission par adhérence : roues à friction (dynamo de vélo), système poulies-courroie (alternateur de voiture).
- Les réducteurs utilisant la transmission par obstacle : poulies-courroie avec courroie dentée (courroie de distribution d'une voiture), système à chaîne (vélo, moto), à engrenages.

## 1.2- Les liens flexibles

Les liens flexibles sont particulièrement avantageux lorsqu'il s'agit de relier de grands entraxes car ils sont moins coûteux que les autres solutions techniques. Ils sont utilisés dans tous les secteurs de la construction mécanique (machines outils, moteurs, convoyeurs, engins de BTP, ...).

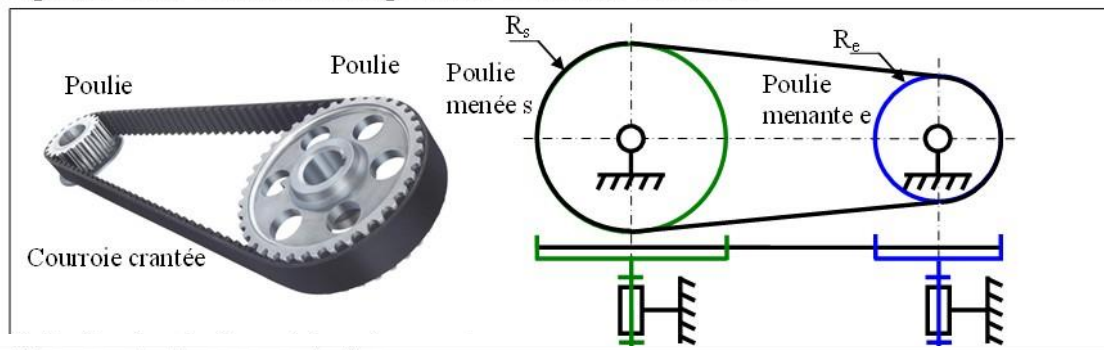
Dans les réducteurs à liens flexibles, les poulies et les roues tournent dans le même

sens sauf si les liens sont croisés. Le rapport de réduction s'écrit :

$$r = \frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{\dot{\theta}_s}{\dot{\theta}_e} = \frac{R_e}{R_s}$$

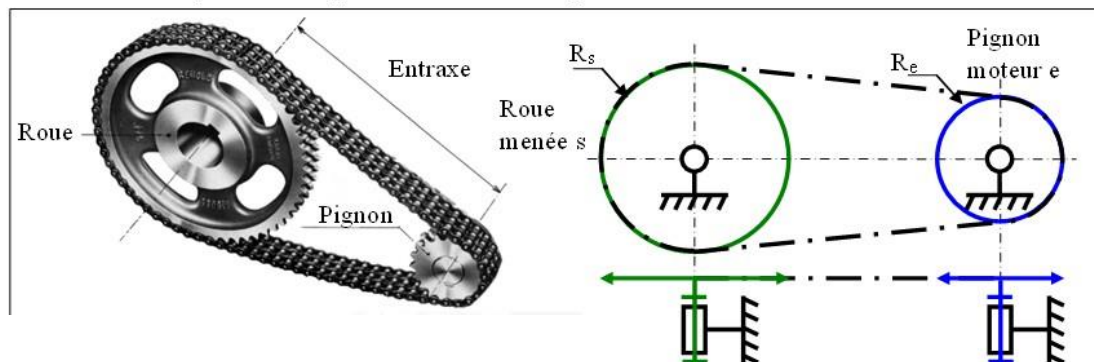
## 1.3- Transmission par poulie courroie

La transmission de puissance par poulie courroie se fait par l'intermédiaire de l'adhérence entre la poulie et la courroie (sauf pour les courroies crantées).



## 1.4- Transmission par chaîne

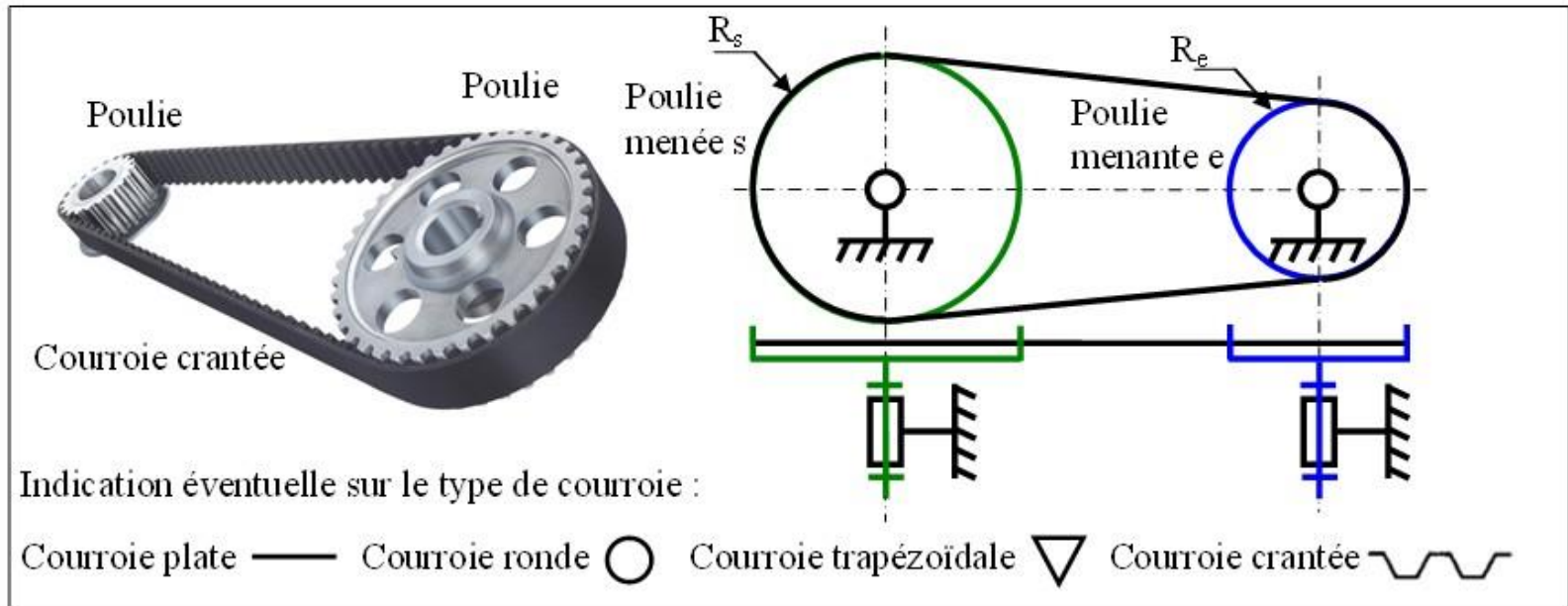
La transmission de puissance par chaîne se fait par obstacle.





### 1.3- Transmission par poulie courroie

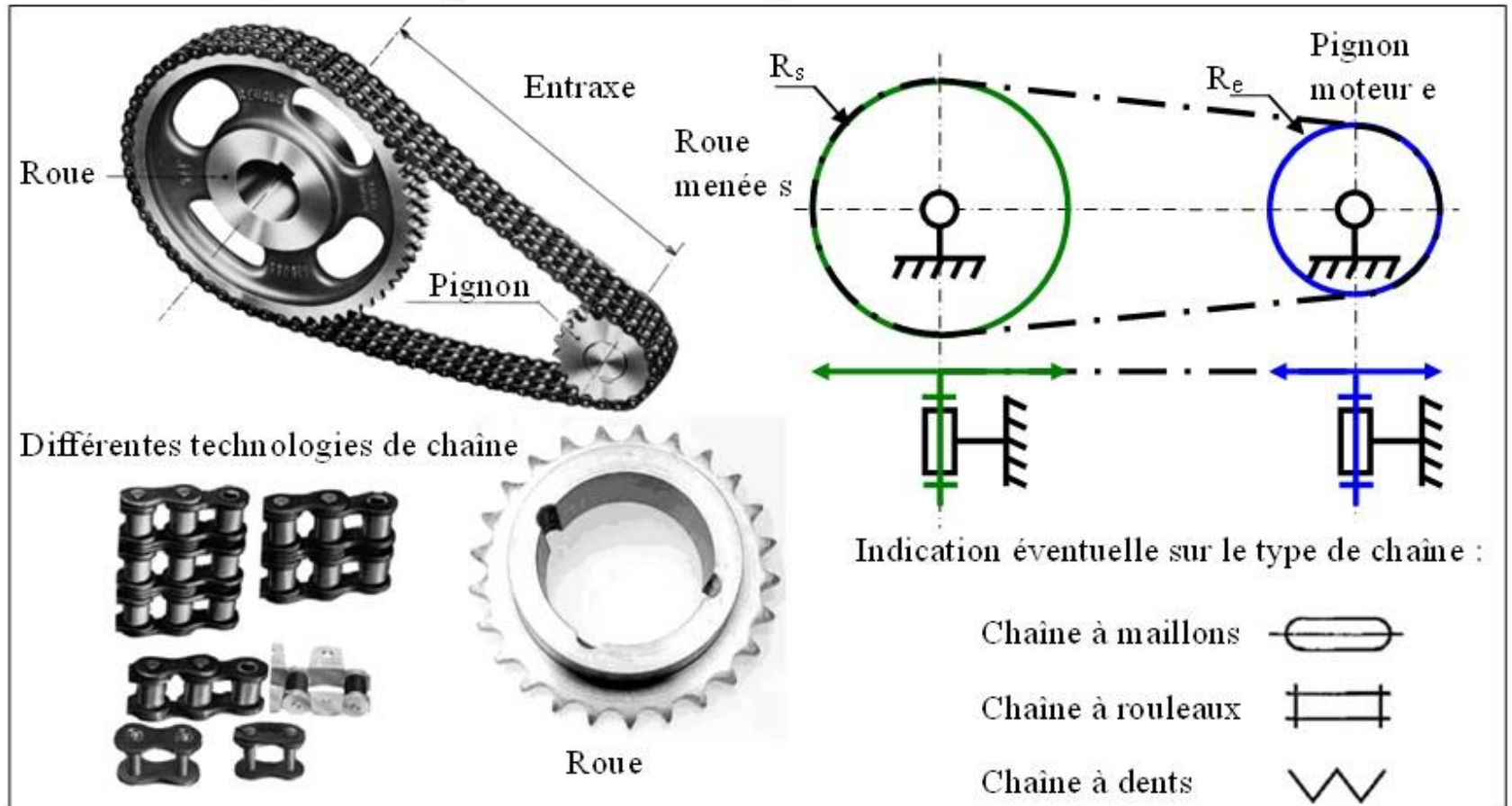
La transmission de puissance par poulie courroie se fait par l'intermédiaire de l'adhérence entre la poulie et la courroie (sauf pour les courroies crantées).



- ☺ Solution économique.
- ☺ Utilisation possible lorsque les axes des poulies ne sont pas parallèles grâce à l'ajout de galets intermédiaires.
- ☺ Silencieux.
- ☺ Amortissement des à coups grâce à l'élasticité des courroies.
- ☹ Non adapté aux conditions difficiles ( $T^{\circ}C$  élevée par exemple) à cause des matériaux de la courroie.
- ☹ Durée de vie limitée et nécessite une surveillance périodique en vue du remplacement de la courroie.
- ☹ Glissement possible sauf pour les courroies crantées

## 1.4- Transmission par chaîne

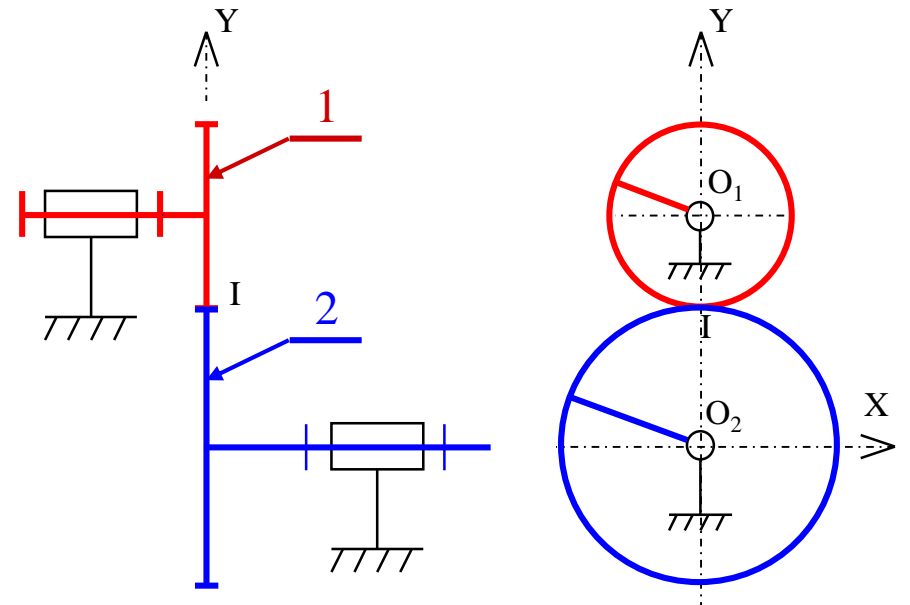
La transmission de puissance par chaîne se fait par obstacle.



- ☺ Transmission de couples très important.
- ☺ Aucun glissement.
- ☺ Entraînement à rapport constant (indépendamment du couple).
- ☺ Le sens de rotation peut être facilement inversé.
- ☹ Technologie bruyante.
- ☹ Lubrification nécessaire.

## 1.5- Les trains d'engrenages

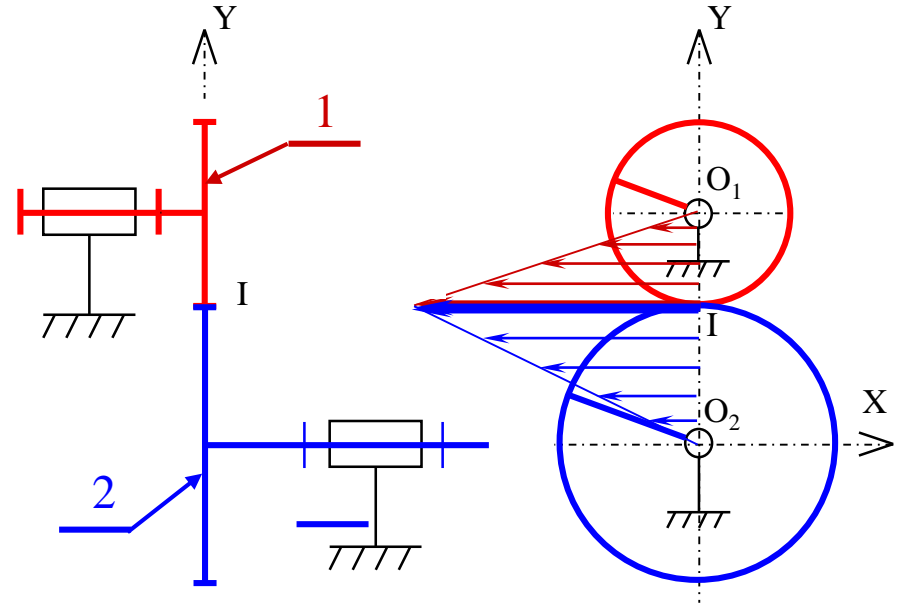
### 1.5.1- Définitions





## 1.5.2-Rapport de réduction.

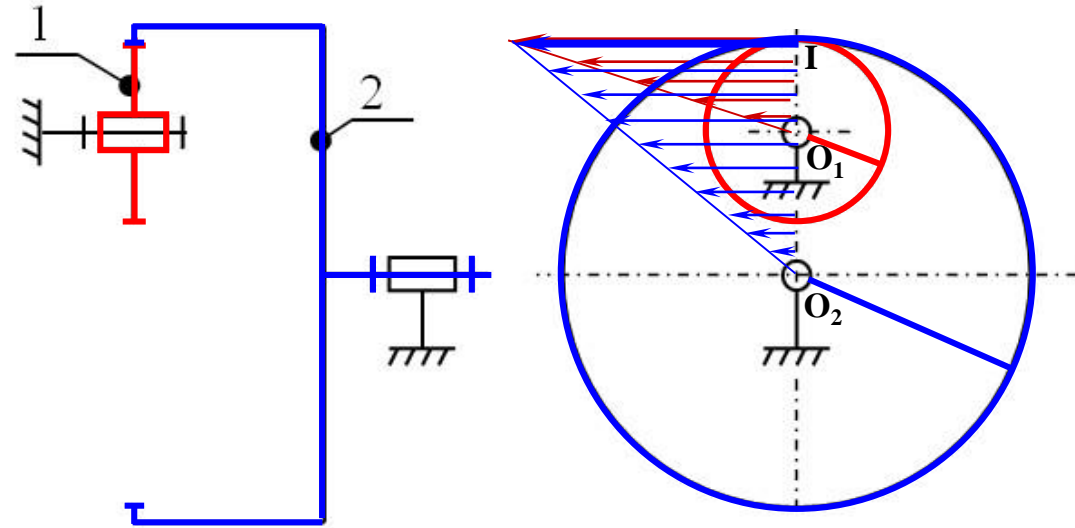
On note  $\vec{\Omega}_0^1 = \omega_0^1 \cdot \vec{z}$  et  $\vec{\Omega}_0^2 = \omega_0^2 \cdot \vec{z}$ . Déterminer le rapport de réduction  $r = \frac{\Theta_0^2}{\Theta_0^1}$



$$r = \frac{\Theta_0^2}{\Theta_0^1} =$$

## Cas les engrenages intérieurs

La couronne 1 engrène avec le pignon 2.



$$r = \frac{\omega_0^2}{\omega_0^1} =$$

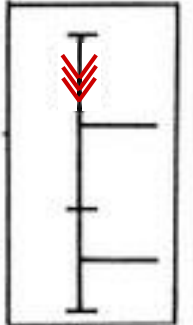
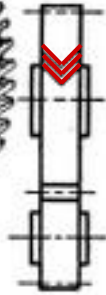
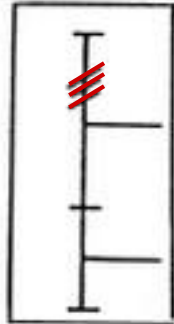
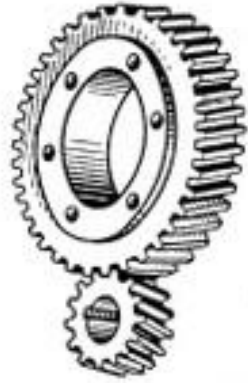
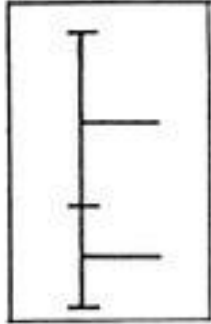
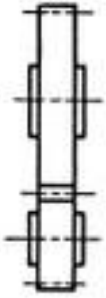
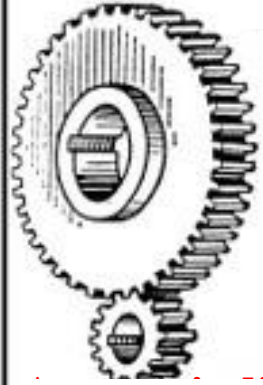
## Cas les engrenages coniques et roue et vis sans fin.

(voir les documents sur la schématisation des engrenages pages suivantes)

Les calculs des rapports de réduction s'effectuent de la même façon.

Le nombre de filets de la vis remplace le nombre de dents.

	<b>Engrenage cylindrique extérieur</b>	
	<b>Engrenage cylindrique intérieur</b>	
	<b>Engrenage à roue et crémaillère</b>	



## **Classification**

### Les engrenages à axes parallèles.

#### Cas des engrenages à denture droite :

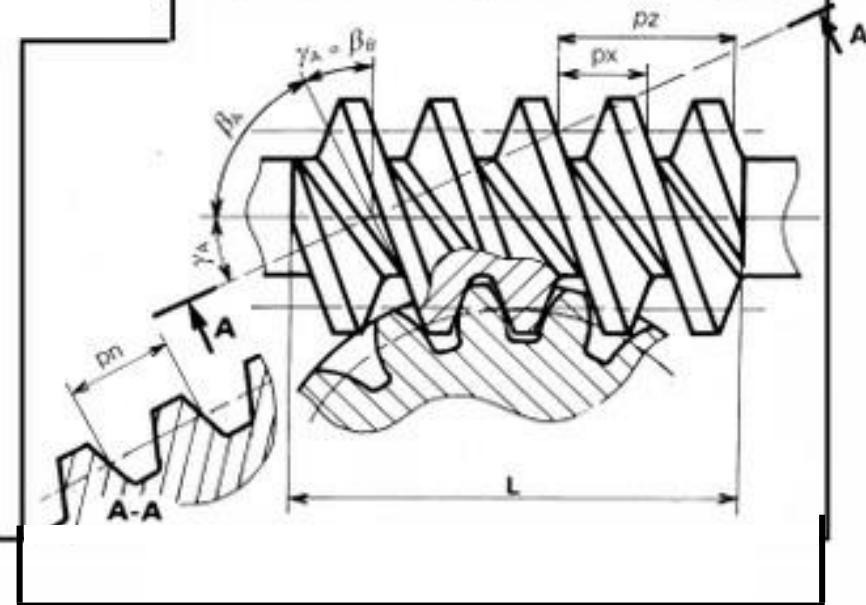
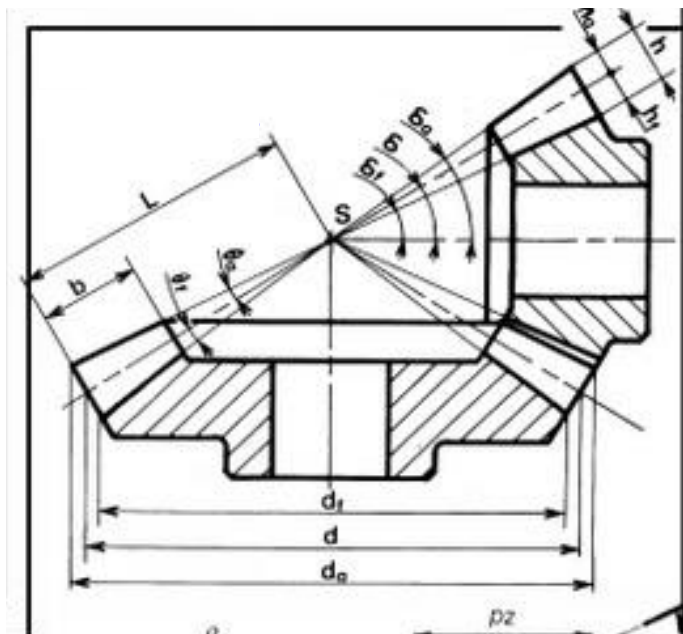
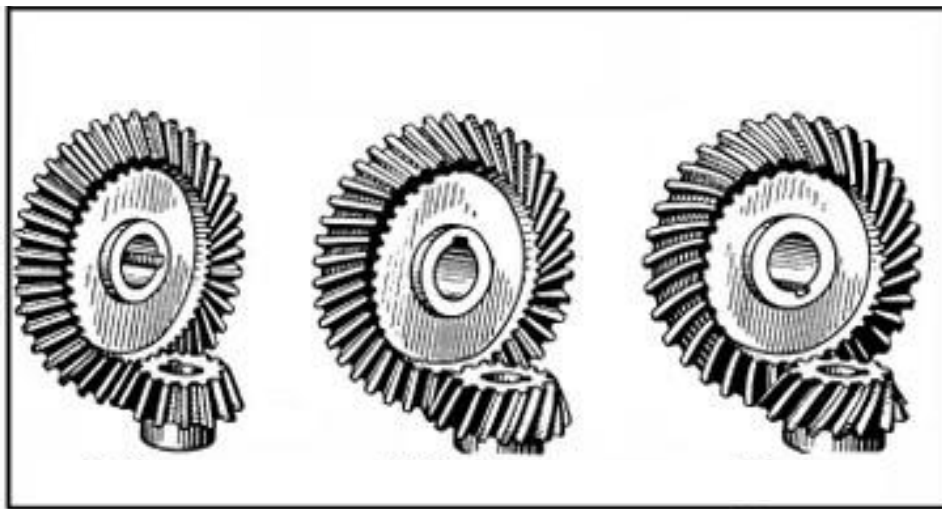
- ☺ Ce sont les plus simples et les plus économiques. Comme leurs dents sont parallèles aux axes de rotation, ils peuvent admettre des déplacements axiaux.
- ☹ Ils sont bruyants.

#### Cas des engrenages à denture hélicoïdale :

- Les deux éléments de l'engrenage doivent avoir leurs hélices de sens opposé pour engrener.
- ☺ Le nombre de couple de dents en prise est plus important que sur les dentures droites, l'engrènement est donc plus progressif et plus continu. Par conséquent ils sont donc plus silencieux et peuvent transmettre des efforts plus importants.
- ☹ Employé seul, l'engrenage à denture hélicoïdale génère des efforts axiaux. Pour compenser cet effort, on utilise un jumelage de 2 engrenages à dentures hélicoïdales inversées ou des roues à chevrons.



	<b>Engrenage de roues côniqes</b>	
	<b>Engrenage à roue et vis sans fin</b>	
	<b>Engrenage gauche hélicoïdal</b>	



## Classification

Les engrenages coniques à denture hélicoïdale ou droite :

Ils transmettent un mouvement entre deux arbres à axes concourants perpendiculaires ou non.

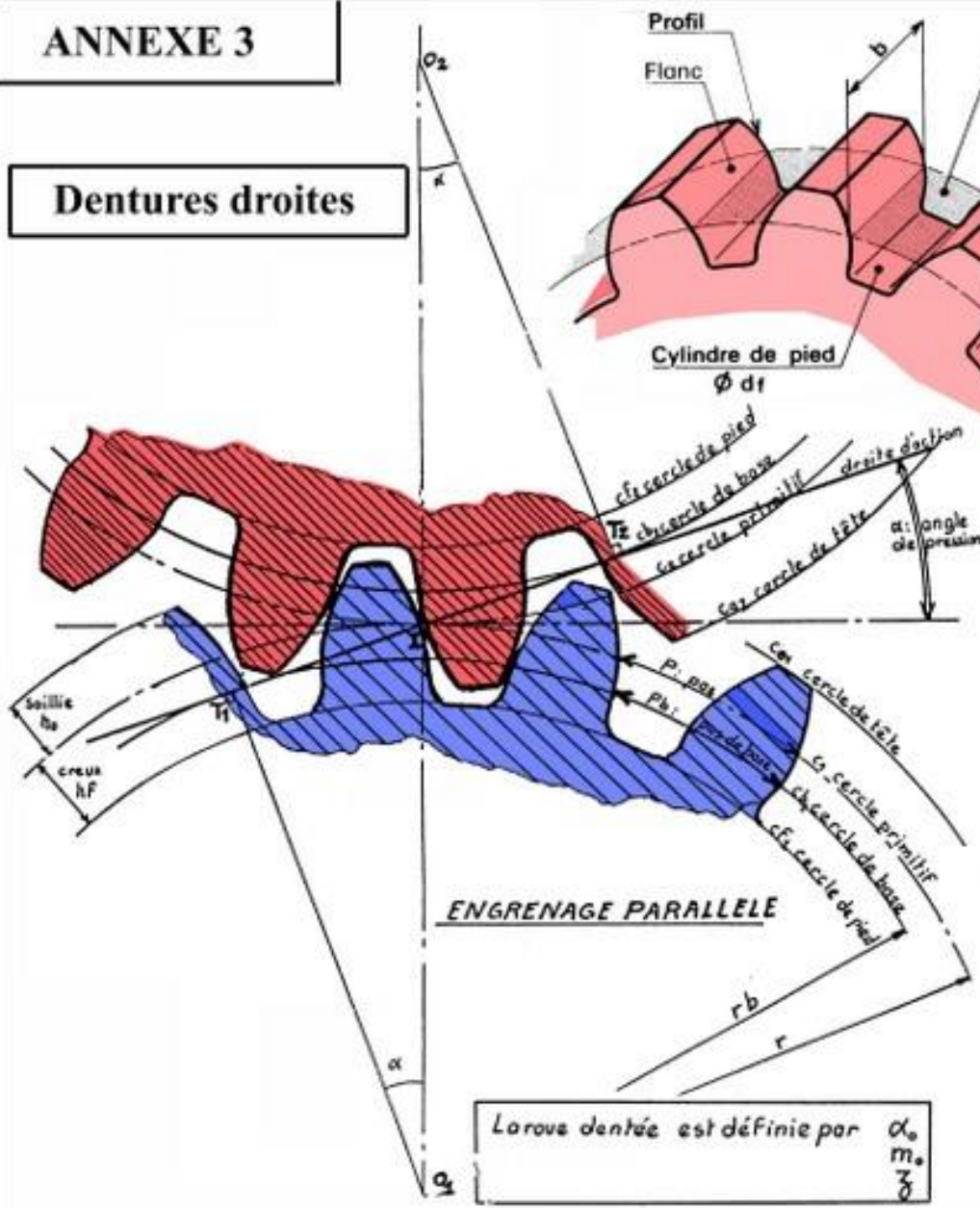
- ☹ Les arbres sont en porte à faux.
- ☹ Ils génèrent des efforts axiaux.
- ☹ Les sommets des cônes doivent coïncider.

Les engrenages à roue et vis sans fin :

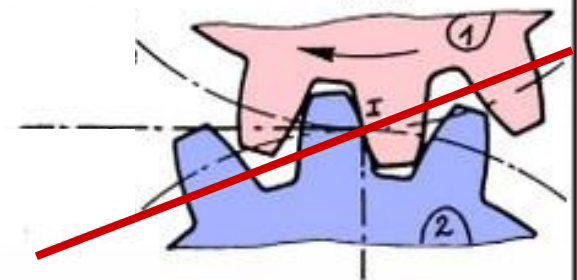
Ils transmettent un mouvement entre deux arbres à axes non concourants.

- ☺ Irréversibilité possible → sécurité anti-retour utile quand le récepteur peut devenir moteur (appareil de levage par exemple).
- ☺ Grands rapports de réduction (entre 1/5 et 1/150)
- ☹ L'engrènement se fait avec beaucoup de glissement entre les dentures. Il y a donc une usure importante et rendement faible (entre 50 et 60%).
- ☹ La vis doit supporter un effort axial important.
- Afin d'augmenter la surface de contact entre les dentures, on utilise très souvent des systèmes à roue creuse ou avec une vis globique (encore mieux mais beaucoup plus cher).

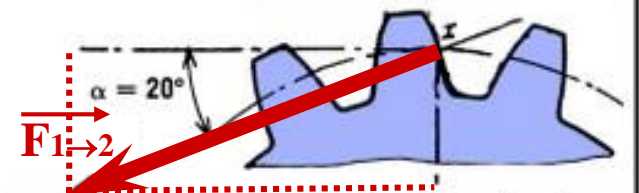
Dentures droites



Etude statique  
Moteur

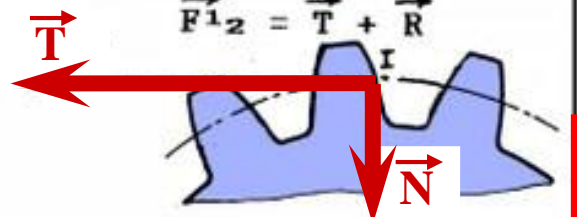


On isole 2

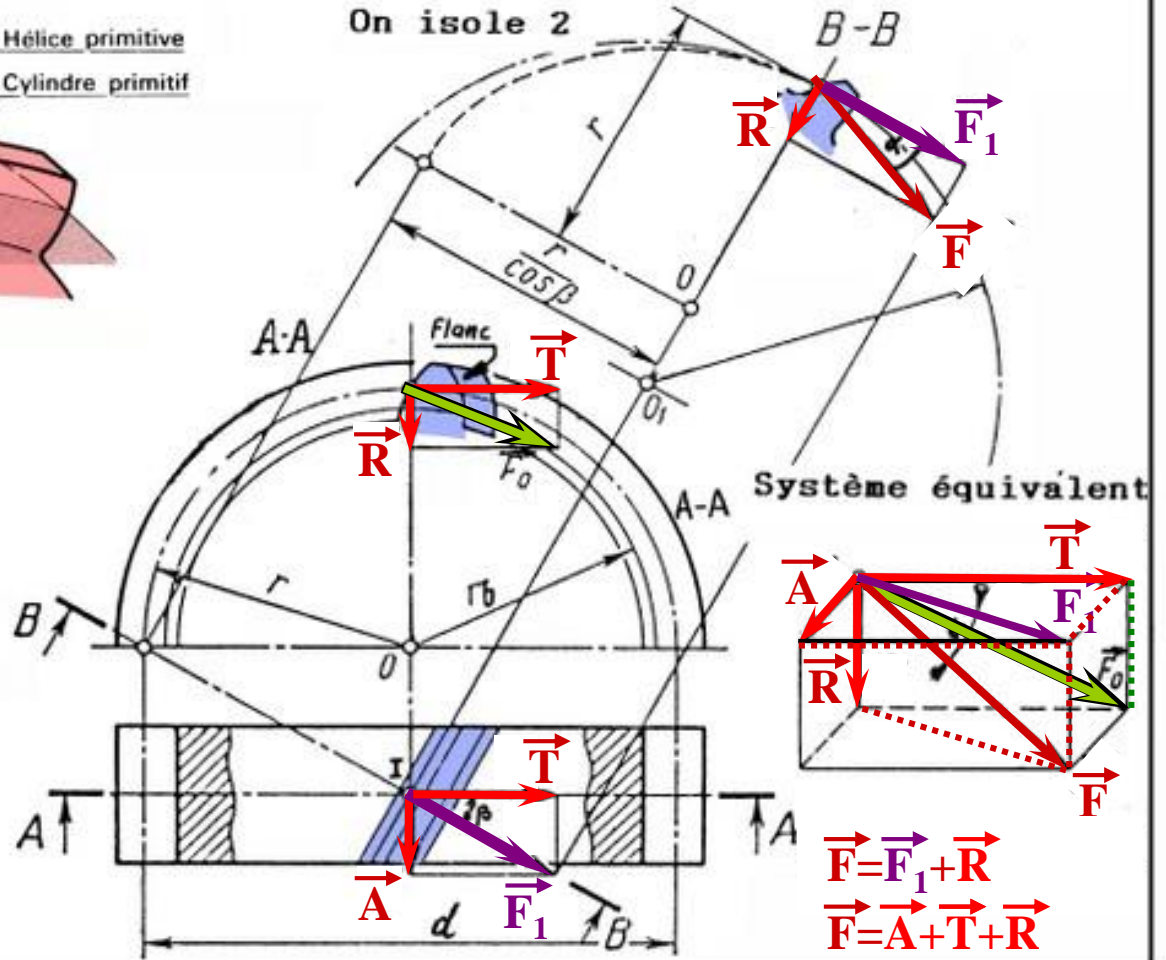
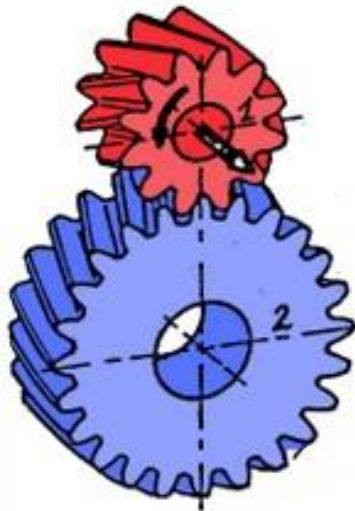
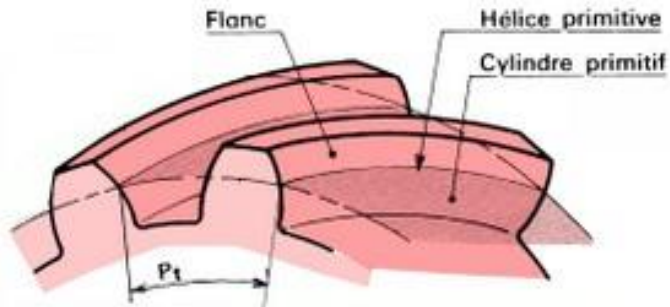


Système équivalent :

$$\vec{F}_{12} = \vec{T} + \vec{R}$$



# Dentures hélicoïdales

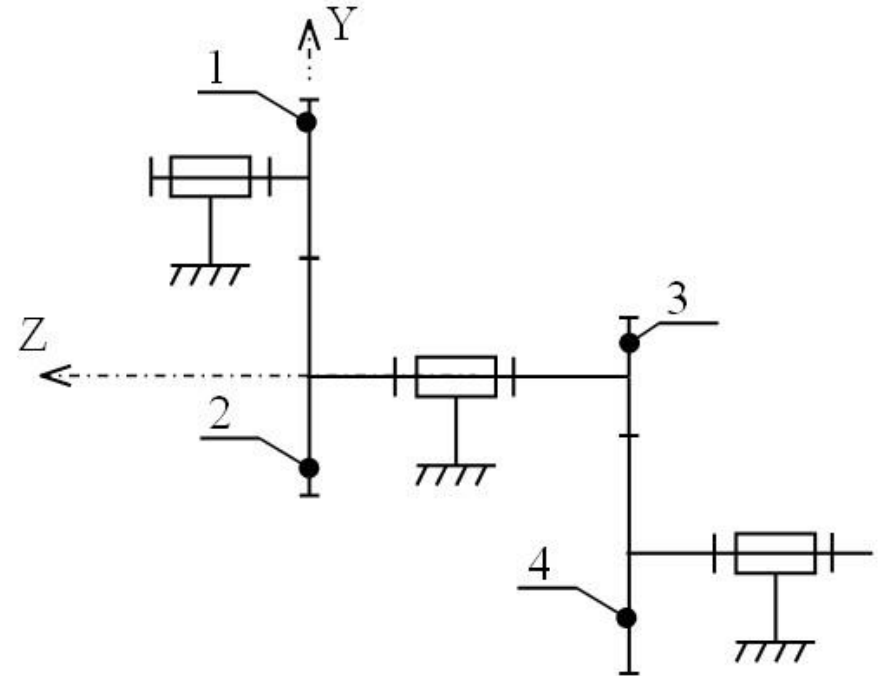


On note donc une composante tangentielle  $\vec{T}$  utile



## 1.6- -Les trains fixes

Sur le schéma ci-dessous les roues dentées tournent autour de d'axes qui sont fixes par rapport au bâti.

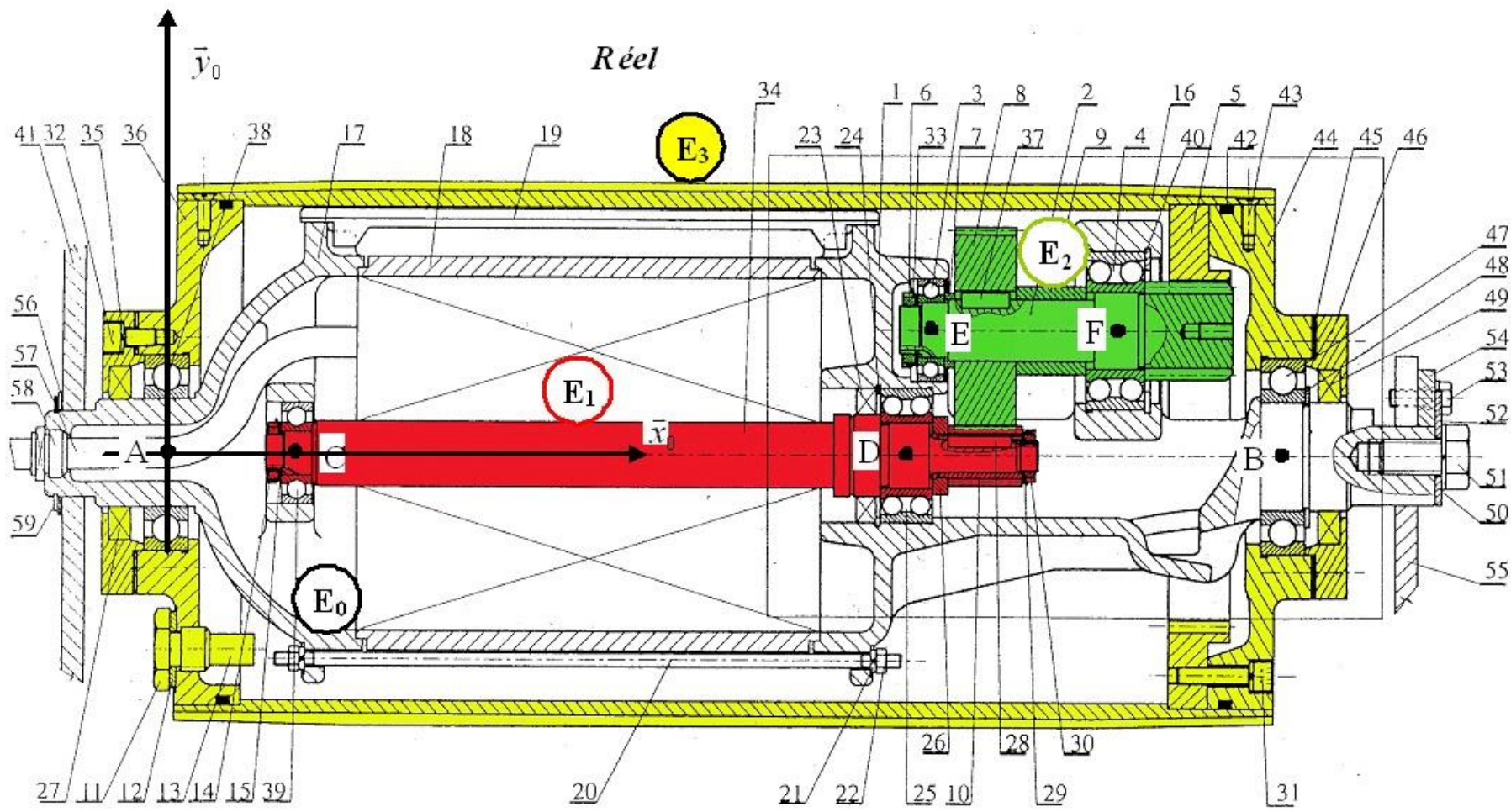


On généralise la relation du calcul du rapport de réduction.

$$r = \frac{\omega_0^s}{\omega_0^e} = \underline{\hspace{15em}}$$

En pratique, et pour des raisons d'encombrement, on limite le rapport de réduction d'un étage à 1/5.

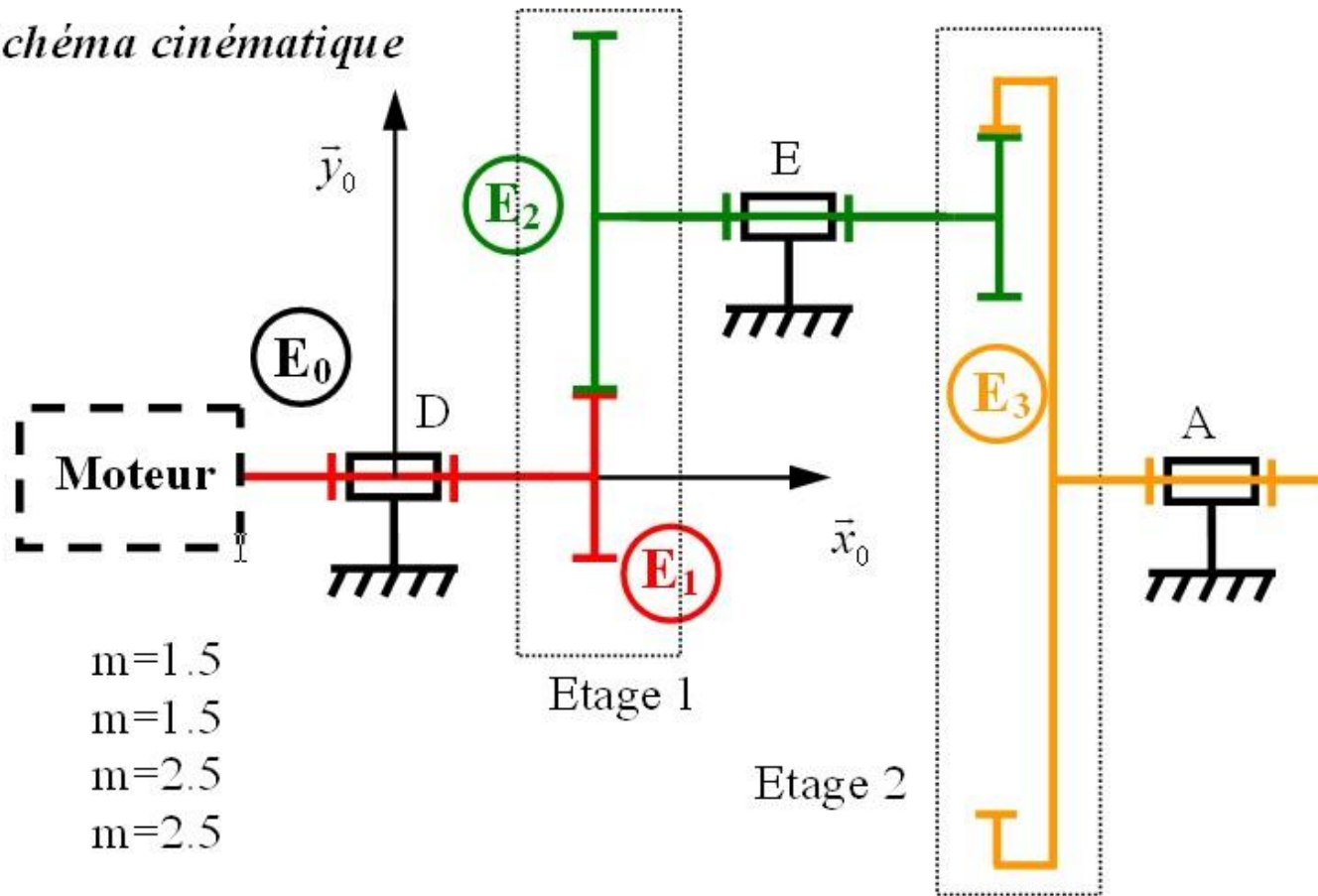
### Exemple : Train d'engrenage d'un tambour moteur



Un convoyeur à bande est un dispositif de transport ou de manutention permettant le déplacement continu de marchandises en vrac ou de charges isolées. Il est constitué essentiellement d'une bande sans fin (ou courroie) en matériau souple entraînée par un tambour moteur. La bande, plus ou moins large, comporte un brin inférieur et un brin supérieur, lequel supporte et entraîne les marchandises posée dessus.

L'objectif est de calculer le rapport de réduction du tambour moteur.

*Modèle – Schéma cinématique*



$Z_{E1}=16$	$m=1.5$
$Z_{E2}=59$	$m=1.5$
$Z_{E2'}=16$	$m=2.5$
$Z_{E3}=62$	$m=2.5$

On a une mise en série d'un engrenage à contact extérieur (train 1) et d'un engrenage à contact intérieur (train 2)  $\rightarrow n = 1 \rightarrow r = \frac{\omega_{E3}}{\omega_{E1}} = (-1)^1 \cdot \frac{Z_{E1} \cdot Z_{E2'}}{Z_{E2} \cdot Z_{E3}} = -\frac{16 \times 16}{59 \times 62} = -0,07$

Nombre d'étages de réductions nécessaires pour obtenir un rapport  $r$  imposé

Pour connaître le nombre  $n$  d'étages de réduction à mettre en place, il faut écrire que

$$\left[\frac{1}{5}\right]^n \leq r.$$

Exemple pour obtenir un rapport  $r = \left[\frac{1}{100}\right]$ , il faut :  $n \cdot \ln\left[\frac{1}{5}\right] \leq \ln\left[\frac{1}{100}\right]$  soit

$$n \cdot \ln(5) \geq \ln(100)$$

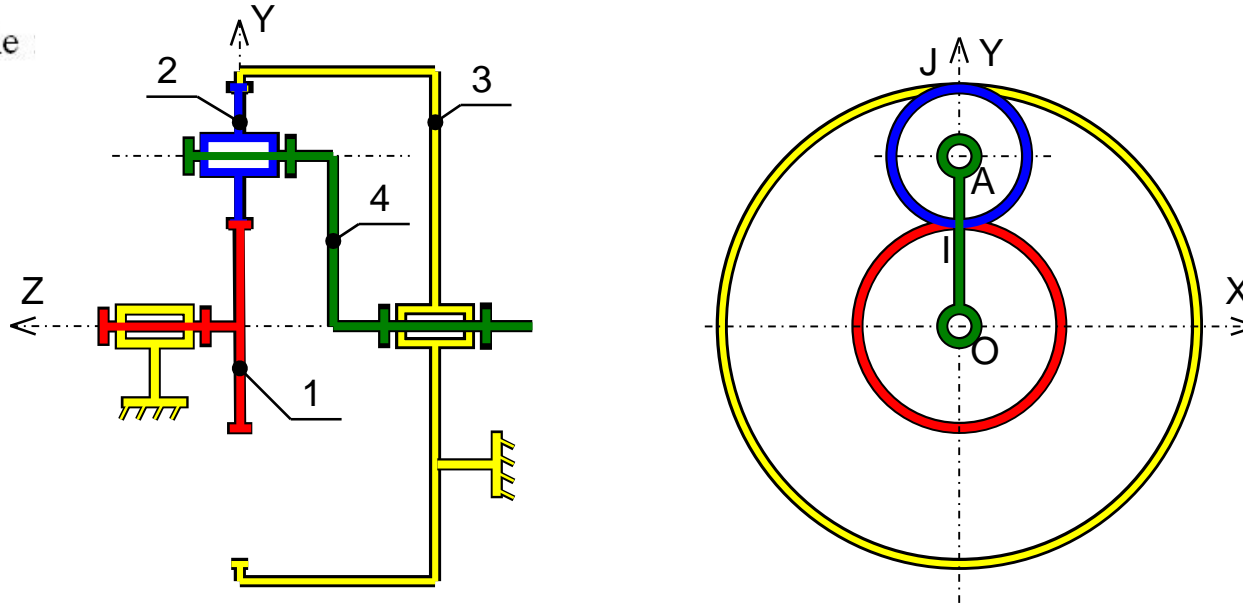
ou encore  $n \geq \frac{\ln(100)}{\ln(5)} = 2,86$ . On choisira donc l'entier supérieur  $n = 3$ .

## 1.7- Les trains épicycloïdaux

### 1.7.1- Définitions :

Un réducteur est dit à train épicycloïdal si l'une des roue (pignon, couronne..) du train est en rotation par rapport à un axe qui lui même est en mouvement par rapport au référentiel fixe.

Exemple :



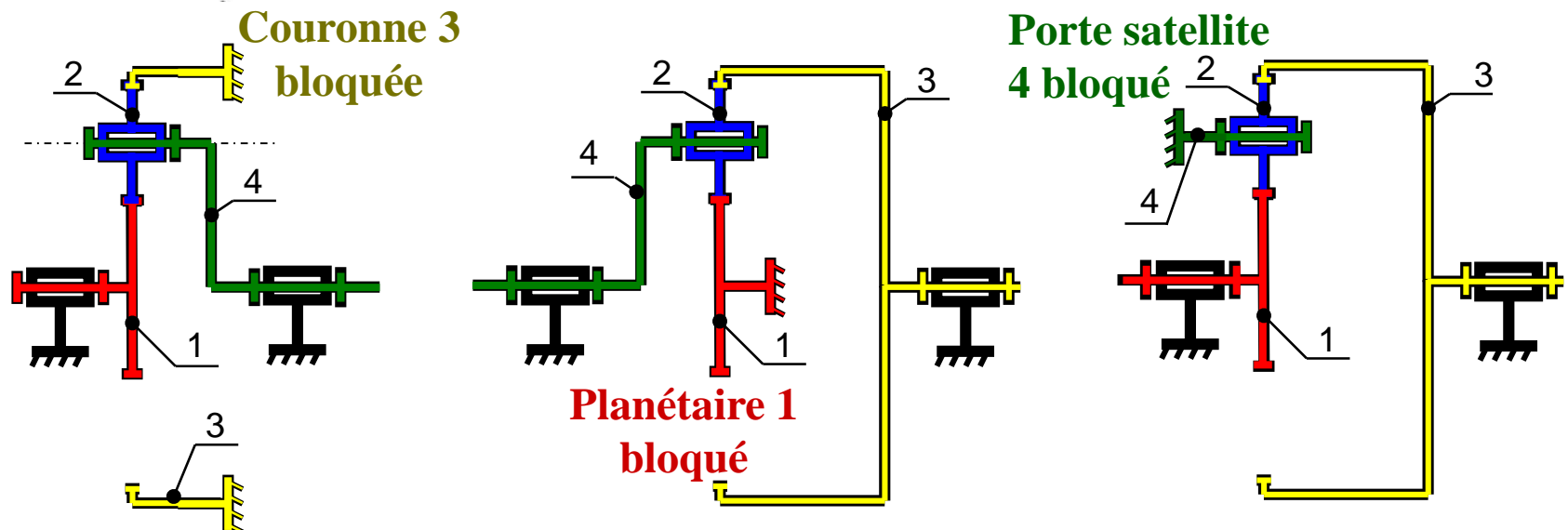
Repère	Désignation	Nb de dents	Identification
1	<b>1.8- Petit planétaire</b>	$Z_1$	roue dentée dont l'axe de rotation est fixe par rapport au bâti. ( <i>petit car <math>Z_1 &lt; Z_3</math></i> )
2	Satellite	$Z_2$	roue dentée dont l'axe de rotation est en mouvement par rapport au bâti.
3	Grand planétaire	$Z_3$	roue dentée dont l'axe de rotation est fixe par rapport au bâti. ( $Z_3 > Z_1$ . <i>Il s'agit ici d'une couronne dentée</i> )
4	Porte satellite		n'est pas une roue dentée.



Repère	Désignation	Nb de dents	Identification
①	<b>1.8- Petit planétaire</b>	$Z_1$	roue dentée dont l'axe de rotation est fixe par rapport au bâti. ( <i>petit car</i> $Z_1 < Z_3$ )
②	Satellite	$Z_2$	roue dentée dont l'axe de rotation est en mouvement par rapport au bâti.
③	Grand planétaire	$Z_3$	roue dentée dont l'axe de rotation est fixe par rapport au bâti. ( $Z_3 > Z_1$ . Il s'agit ici d'une couronne dentée)
④	Porte satellite		n'est pas une roue dentée.

L'utilisation la plus répandue est l'utilisation en réducteur. On bloque alors l'une des liaisons pivot.

(2) Noter les repères des composants et indiquer celui qui est bloqué.

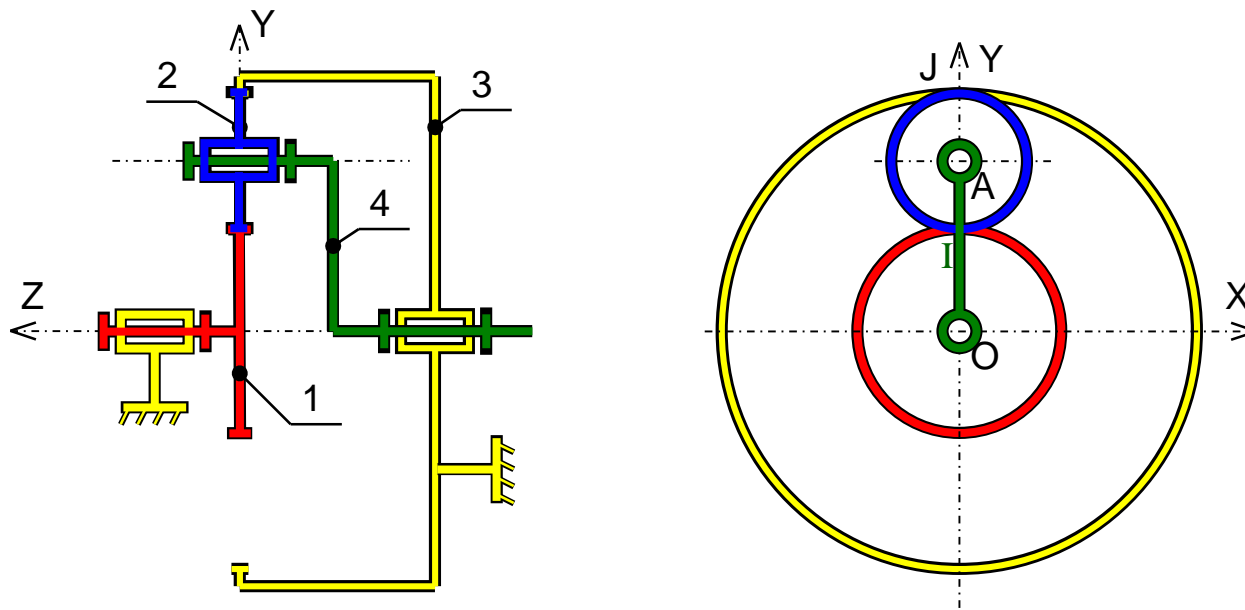


## 1.7.2- Rapports de transmission

### A-Cas de la couronne bloquée

- l'entrée du mouvement est sur le planétaire 1 ( $\omega_e = \omega_{1/0}$ )
- la sortie est sur le porte satellite 4 ( $\omega_s = \omega_{4/0}$ )

I



Méthode : on raisonne en relatif.

a - On suppose le porte-satellite fixe ( $\Rightarrow \omega_{4/0} = 0$ )

→ on observe alors un mouvement d'entrée sur l'arbre 1

→ un mouvement de sortie sur l'arbre 3 (le bâti est alors en mv).

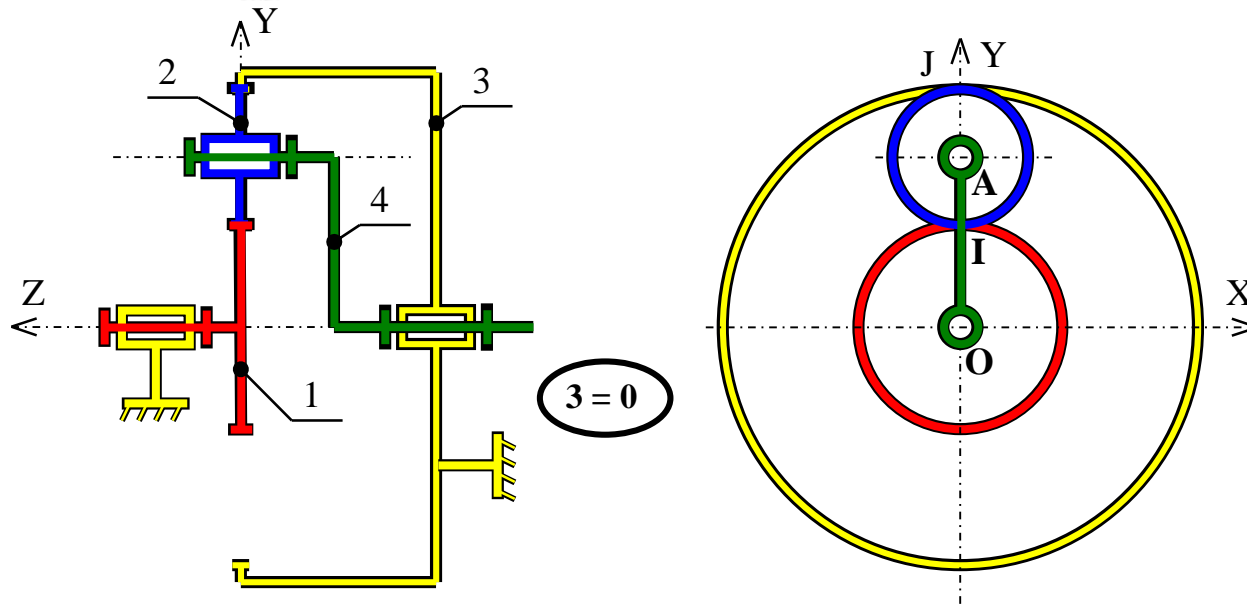
→ le train ainsi constitué est un train fixe. On sait donc calculer son rapport de réduction noté **r** : c'est la raison du train.

$$r = \frac{\omega_{3/4}}{\omega_{1/4}} =$$

r =

## A-Cas de la couronne bloquée

- l'entrée du mouvement est sur le planétaire 1 ( $\omega_e = \omega_{1/0}$ )
- la sortie est sur le porte satellite 4 ( $\omega_s = \omega_{4/0}$ )



b - On revient par rapport au référentiel terrestre.

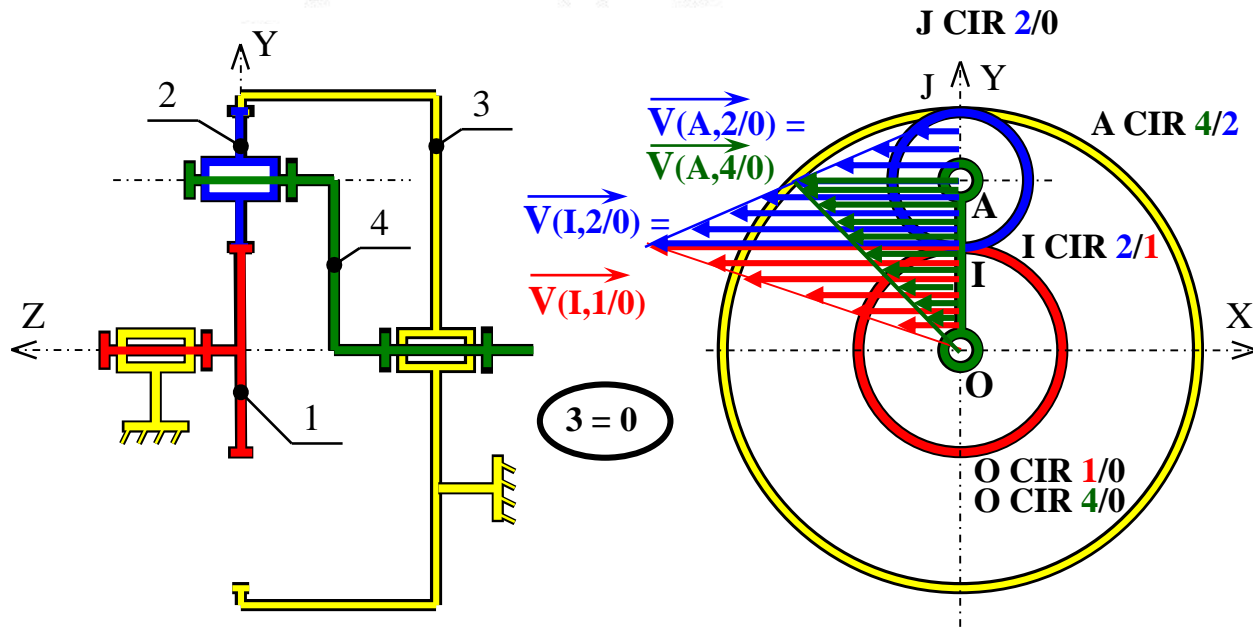
→ par la composition de mouvement on voit que  $r = \frac{\omega_{3/0} - \omega_{4/0}}{\omega_{1/0} - \omega_{4/0}}$  c'est la relation de WILLIS.

→ on observe que la vitesse de rotation  $\omega_{3/0}$  est nulle. On en déduit  $\frac{\omega_s}{\omega_e} = \frac{\omega_{4/0}}{\omega_{1/0}}$

## A-Cas de la couronne bloquée

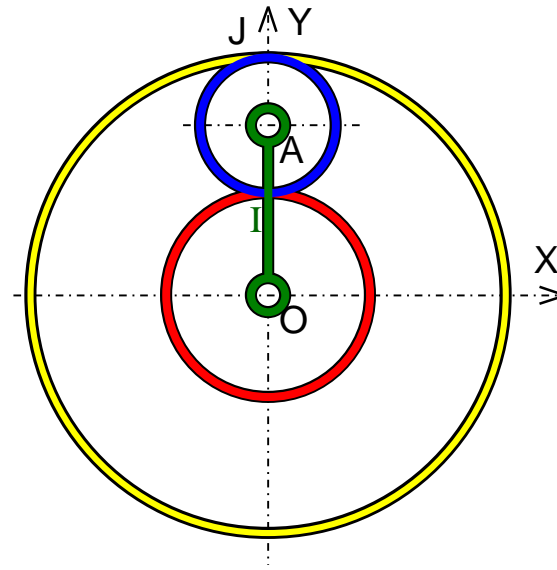
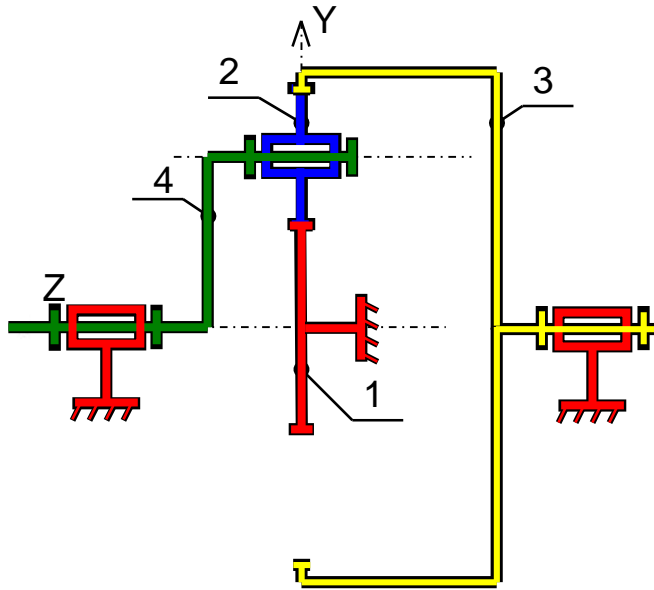
- l'entrée du mouvement est sur le planétaire 1 ( $\omega_e = \omega_{1/0}$ )
- la sortie est sur le porte satellite 4 ( $\omega_s = \omega_{4/0}$ )

## Interprétation graphique



## B- Cas du planétaire 1 bloqué

- l'entrée du mouvement est sur le porte satellite 4 ( $\omega_e = \omega_{4/0}$ )
- la sortie est sur le planétaire 3 ( $\omega_s = \omega_{3/0}$ )



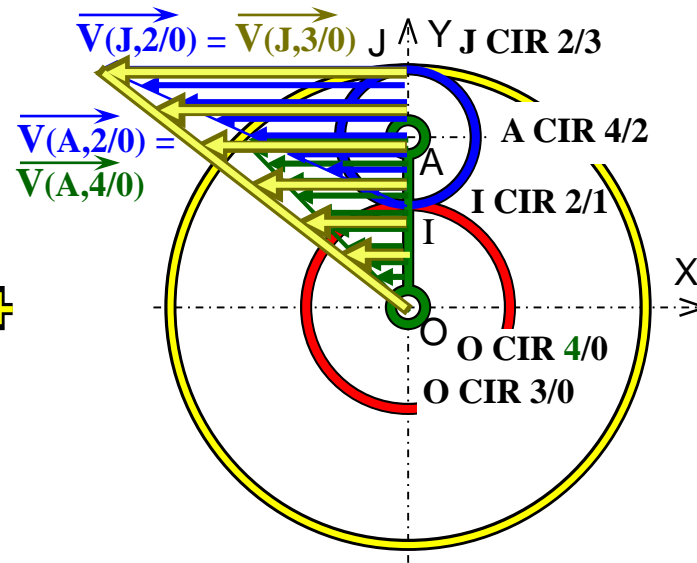
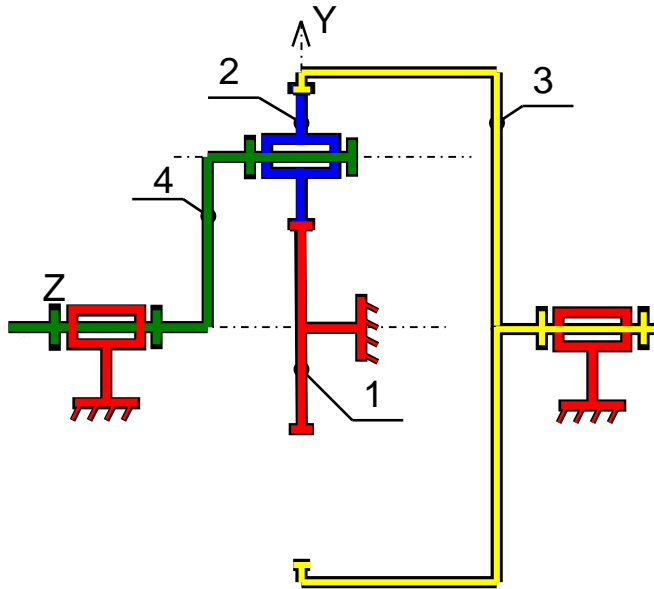
Déterminer la raison du train et en déduire  $\frac{\omega_s}{\omega_e}$



## B- Cas du planétaire 1 bloqué

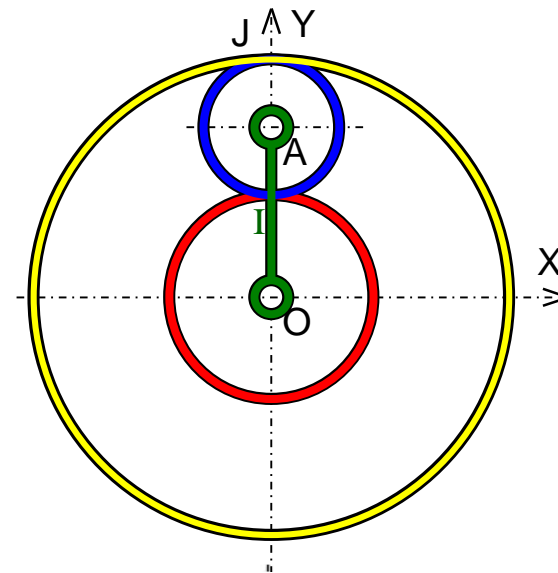
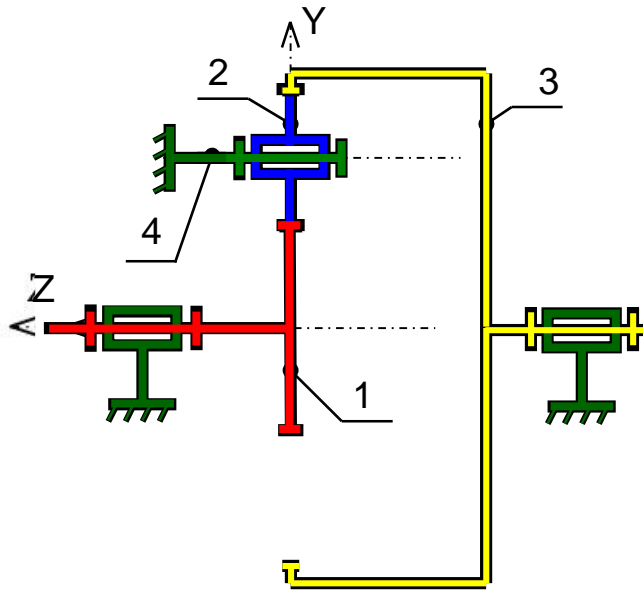
- l'entrée du mouvement est sur le porte satellite 4 ( $\omega_e = \omega_{4/0}$ )
- la sortie est sur le planétaire 3 ( $\omega_s = \omega_{3/0}$ )

Interprétation graphique



**C- Cas du porte satellite 4 bloqué**

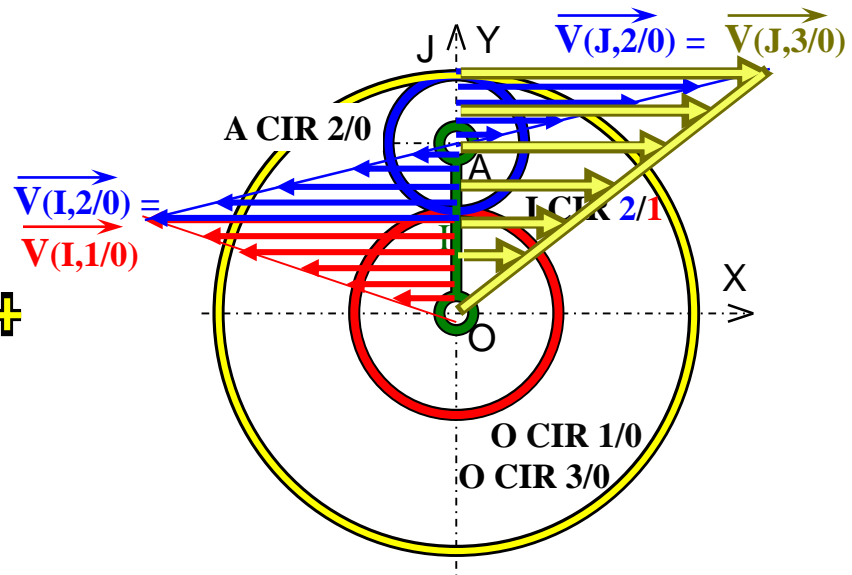
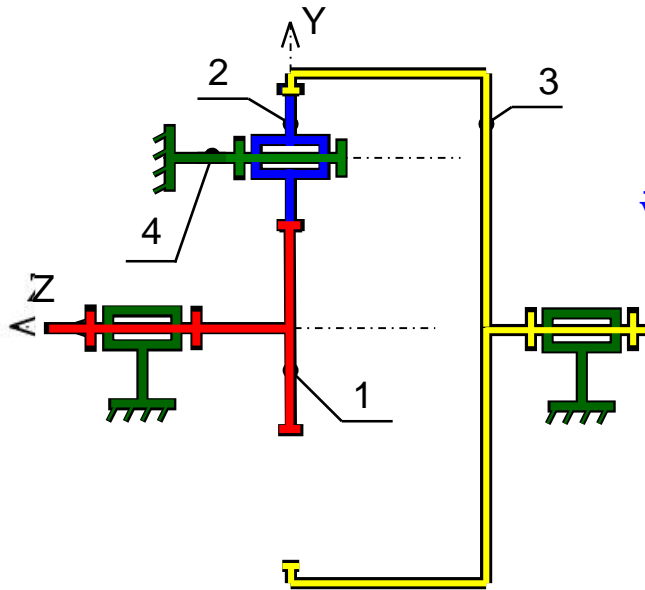
L'entrée est sur 1 et la sortie sur 3.



Déterminer  $\frac{\omega_s}{\omega_e}$

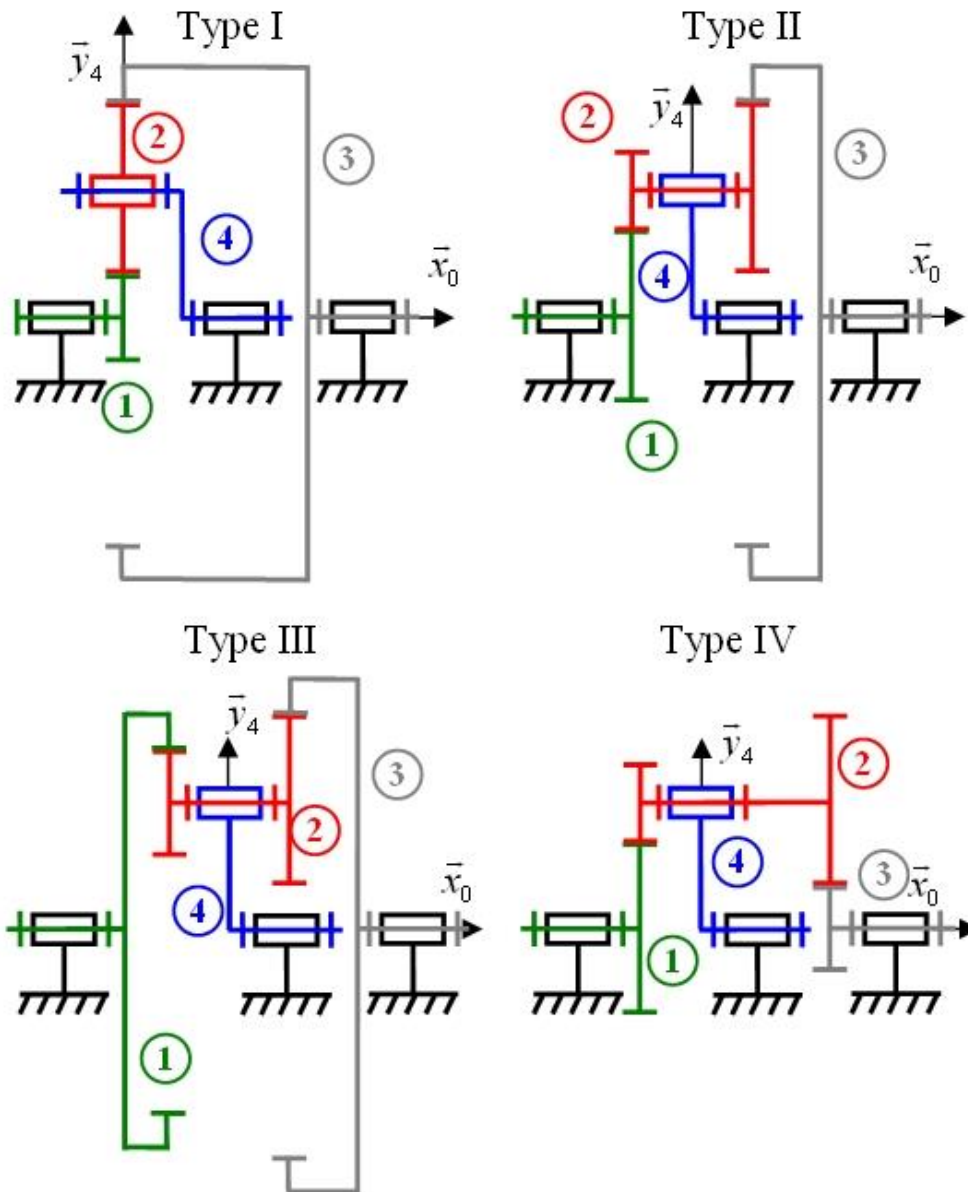
## C- Cas du porte satellite 4 bloqué

L'entrée est sur 1 et la sortie sur 3.



### 1.7.3 - Compléments sur les trains d'engrenages épicycloïdaux

Les 4 configurations de trains épicycloïdaux plans.

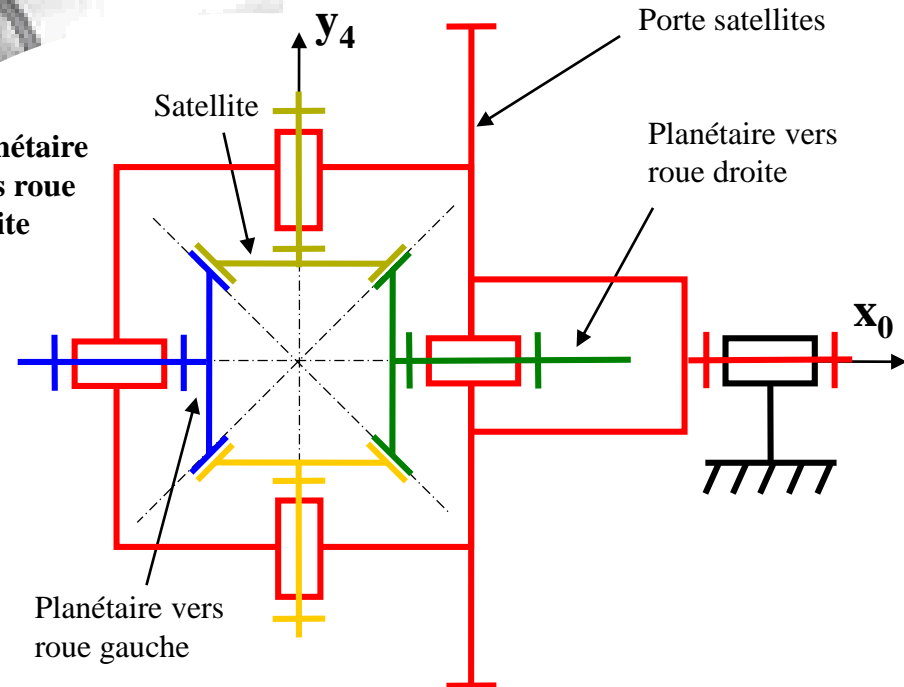
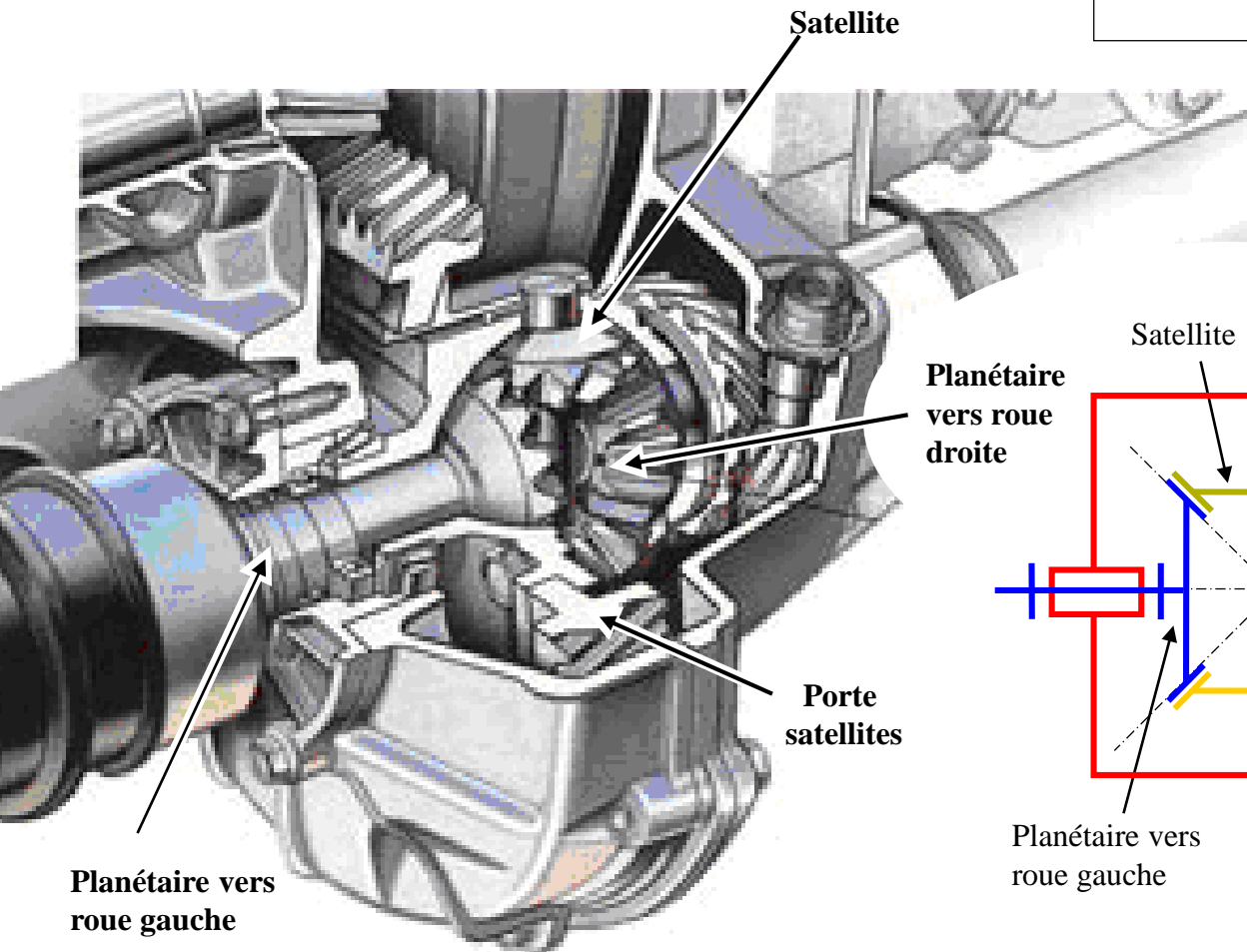
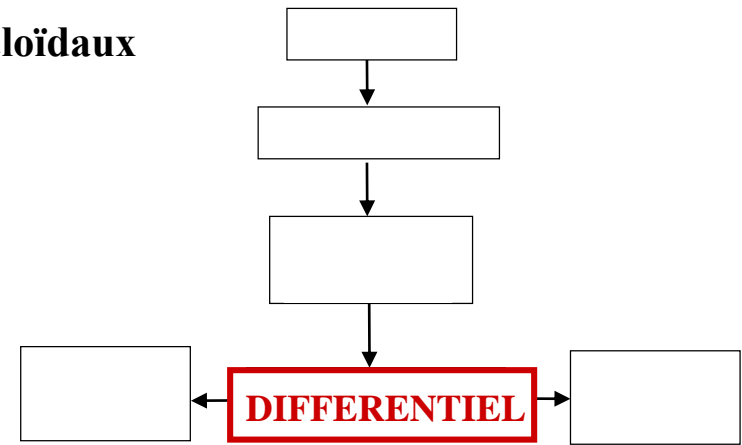


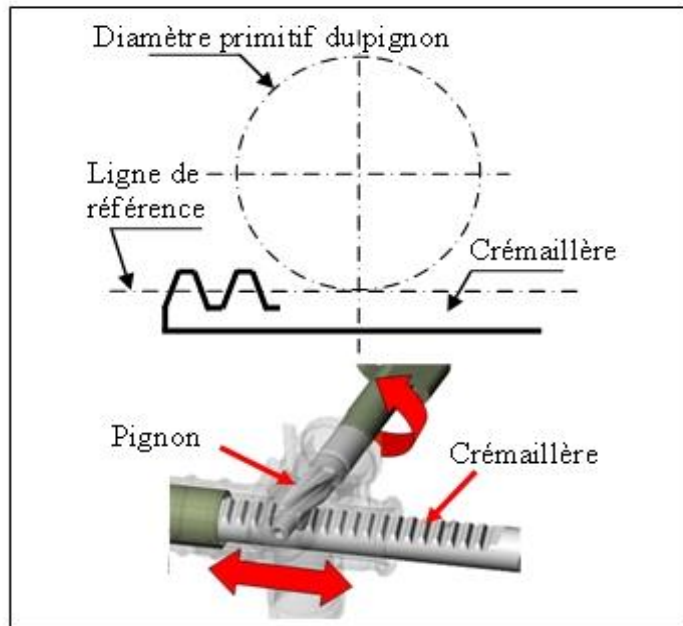
Un train épicycloïdal est dit plan si tous les axes sont parallèles, ce sont la majorité des trains (roue de camion, treuil, motoréducteur, ...).

Il existe 4 configurations de train épicycloïdal plan.

## 1.73 Compléments sur les trains d'engrenages épicycloïdaux

Un train épicycloïdal est dit sphérique si tous les axes sont concourants, on y retrouve donc des engrenages coniques (différentiel de voiture, ...)





## 2.3 - Le système pignon crémaillère

Cette transformation fait partie de la famille des engrenages (Voir chapitre 2).

**Type de transformation :** Rotation continue en translation intermittente.

**Réversibilité :** oui.

**Utilisation :** Portes de TGV, portes de garage, directions de voiture, ...

**Caractéristiques :** La vitesse de translation de la crémaillère  $V$  est fonction du rayon primitif  $R$  de la roue dentée et de la vitesse de rotation du pignon  $\omega$  ( $V = R \cdot \omega$ ).

## 2.4 - Le système croix de malte

**Type de transformation :** Rotation continue en rotation intermittente.

**Réversibilité :** jamais.

**Utilisation :** Plateau tournant de machine de transfert, indexage...

**Caractéristiques :** La rotation continue de l'ergot (de rayon  $r$ ) est transformée en rotation intermittente par l'intermédiaire des rainures de la croix (4 ici sur le schéma soit une rotation de  $\frac{1}{4}$  de tour de la croix tout les tours d'ergot).

