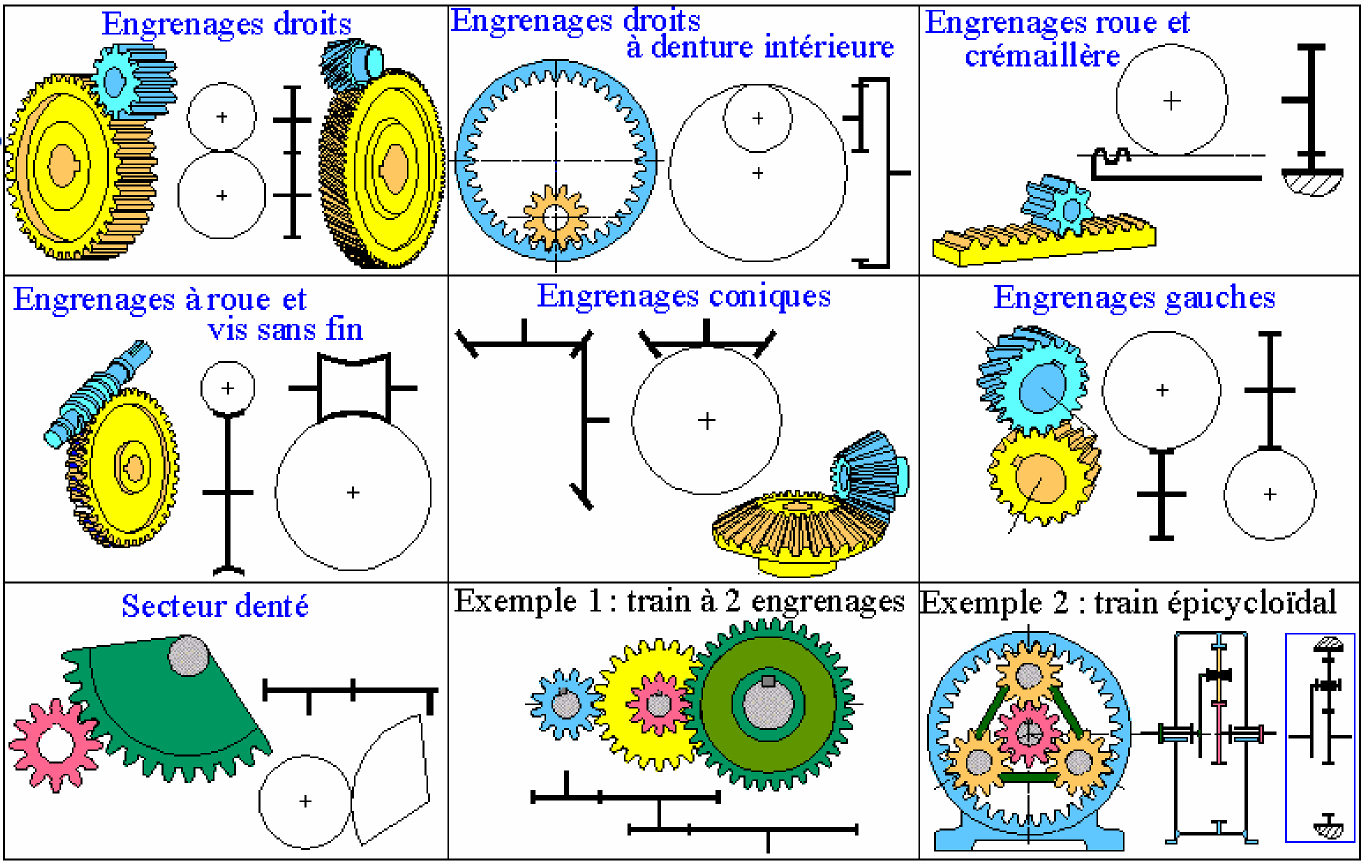
TRAINS D'ENGRENAGES

1. GENERALITES

Les trains d'engrenages sont utilisés dans une grande quantité de machines et mécanismes divers. Les engrenages cylindriques sont les plus courants, les engrenages coniques réalisent la transmission entre arbres concourants. Les engrenages roue et vis permettent l'irréversibilité et une grande réduction avec un seul couple de roues (leur faible rendement les écarte des grandes puissances).
Les dentures hélicoïdales, plus silencieuses sont les plus utilisées lorsqu'il s'agit de transmettre de la puissance.
Afin de réduire l'encombrement et économiser la matière on limite le rapport de transmission d'un même couple de roue (**$1/8 \leq Z_1/Z_2 \leq 8$**). Au-delà de ces valeurs, il est préférable d'utiliser deux couples de roues ou plus.
Dans la plupart des applications, les trains d'engrenages fonctionnent en réducteur (réduisent la vitesse et augmentent le couple).

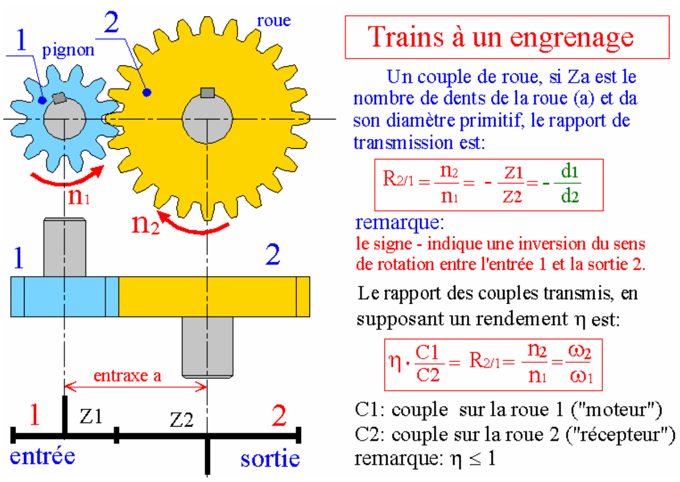
2. SCHEMATISATIONS



3. ETUDE DES TRAINS CLASSIQUES.

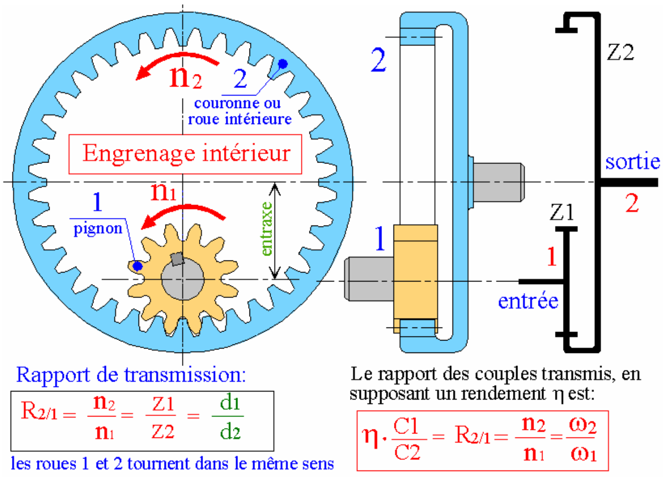
3.1. Trains à un engrenage

Contact extérieur (**p = 1**)



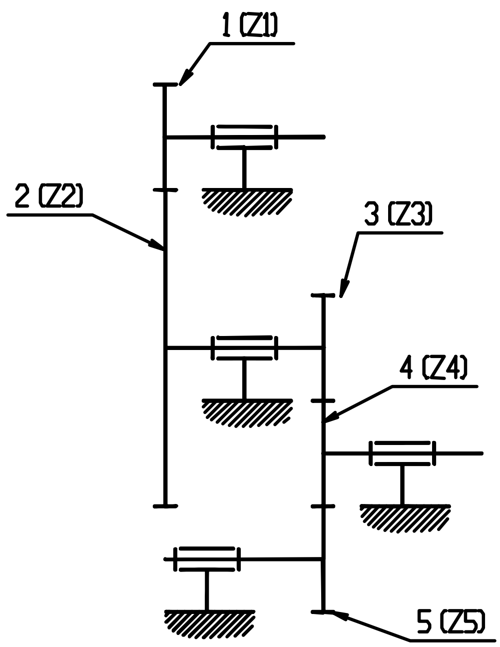
$$\boxed{r = \frac{N_2}{N_1} = -\frac{Z_1}{Z_2}}$$

Contact intérieur (**p = 0**)



$$\boxed{r = \frac{N_2}{N_1} = \frac{Z_1}{Z_2}}$$

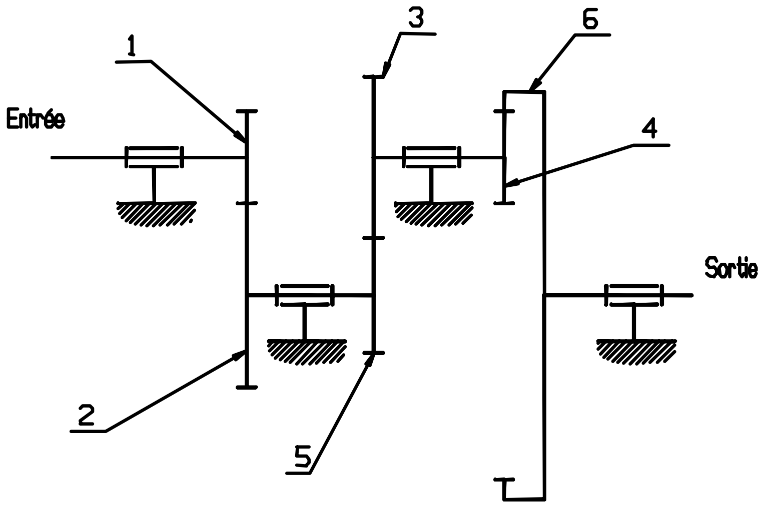
3.2. Trains à deux engrenages plus une roue d'inversion



3 Contacts extérieurs (**p = 3**)
Une roue d'inversion **4**

$$\boxed{r = \frac{N_5}{N_1} = -\frac{Z_1 . Z_3}{Z_2 . Z_5}}$$

3.3 Cas général



Z_1 = 32 dents
Z_2 = 65 dents
Z_3 = 80 dents
Z_4 = 18 dents
Z_5 = 25 dents
Z_6 = 85 dents

En utilisant la relation cinématique précédente pour chaque engrenage et en tenant compte que $N_2 = N_5$ et $N_3 = N_6$, déterminer :

- $N_2 / N_1 =$
- $N_3 / N_5 =$
- $N_6 / N_4 =$

En déduire $N_6 / N_1 = N_s / N_e =$

raison d'un train d'engrenage: $\mathbf{r} = \dfrac{\omega_s}{\omega_e} = \dfrac{\mathbf{N_s}}{\mathbf{N_e}} = \mathbf{(-1)^p} \cdot \dfrac{\textbf{produit des nombres de dents des roues menantes}}{\textbf{produit des nombres de dents des roues menees}}$

avec : **p :** nombre de **contacts extérieurs.**
ω_S **:** vitesse de rotation de la pièce de sortie du réducteur.
ω_e **:** vitesse de rotation de la pièce d'entrée du réducteur.

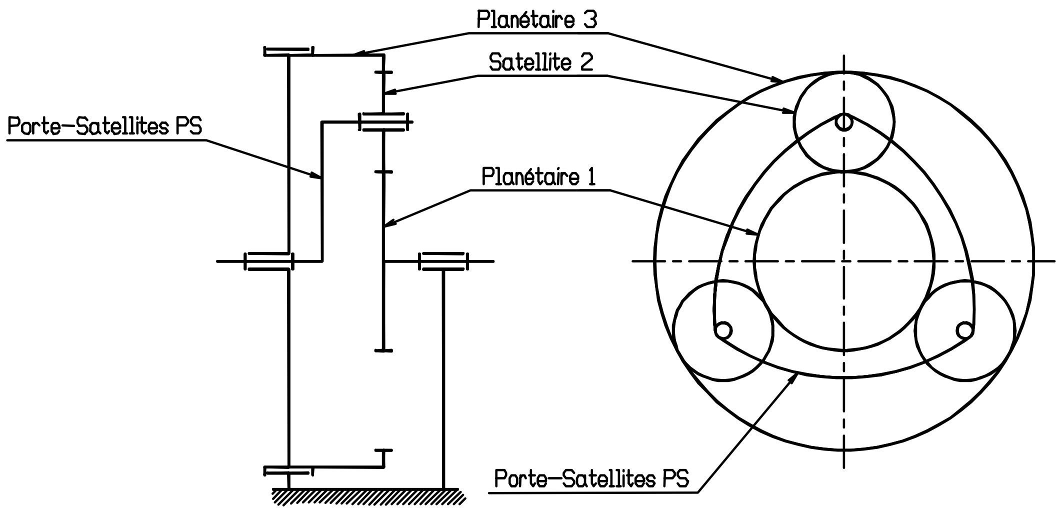
3.4. Trains avec engrenages coniques et systèmes roues et vis sans fin

La formule générale est applicable en supprimant le $\mathbf{(-1)^p}$.
Dans le cas d'un engrenage roue et vis, le nombre de filet de la vis correspond à son nombre de dents.

4. TRAINS EPICYCLOÏDAUX OU PLANETAIRES

Un train d'engrenage est dit "*train épicycloïdal*" lorsque, au cours du fonctionnement **une ou plusieurs roues dentées tournent autour d'un arbre mobile en rotation.** Ces roues dentées possèdent donc un mouvement relatif de rotation autour de leur axe et un mouvement d'entraînement de rotation autour de l'axe de l'arbre.
Ils autorisent de grands rapports de réduction sous un faible encombrement et sont régulièrement utilisés dans les boîtes de vitesse automatique.

4.1. Train épicycloïdal simple.



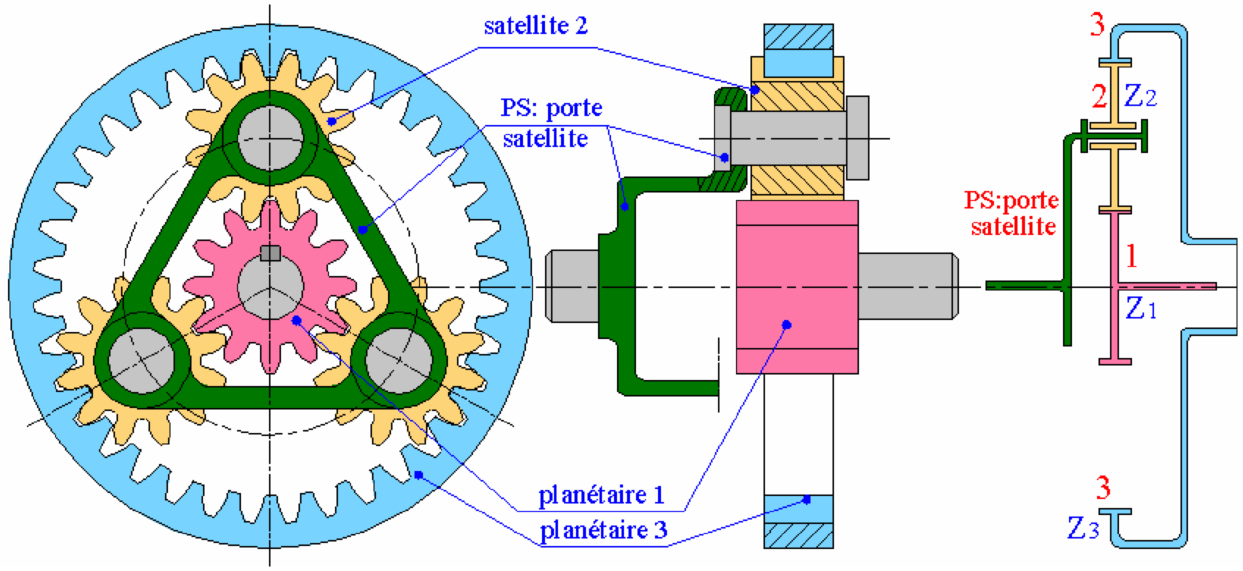
La configuration ci-dessus est la plus utilisée. On peut avoir 2,3 ou 4 satellites. Leur nombre est sans influence sur le rapport de transmission.
Le fonctionnement n'est possible que si l'un des trois éléments principaux, planétaire **1**, planétaire couronne **3** ou porte satellites **PS**, est bloqué ou entraîné par un autre dispositif.

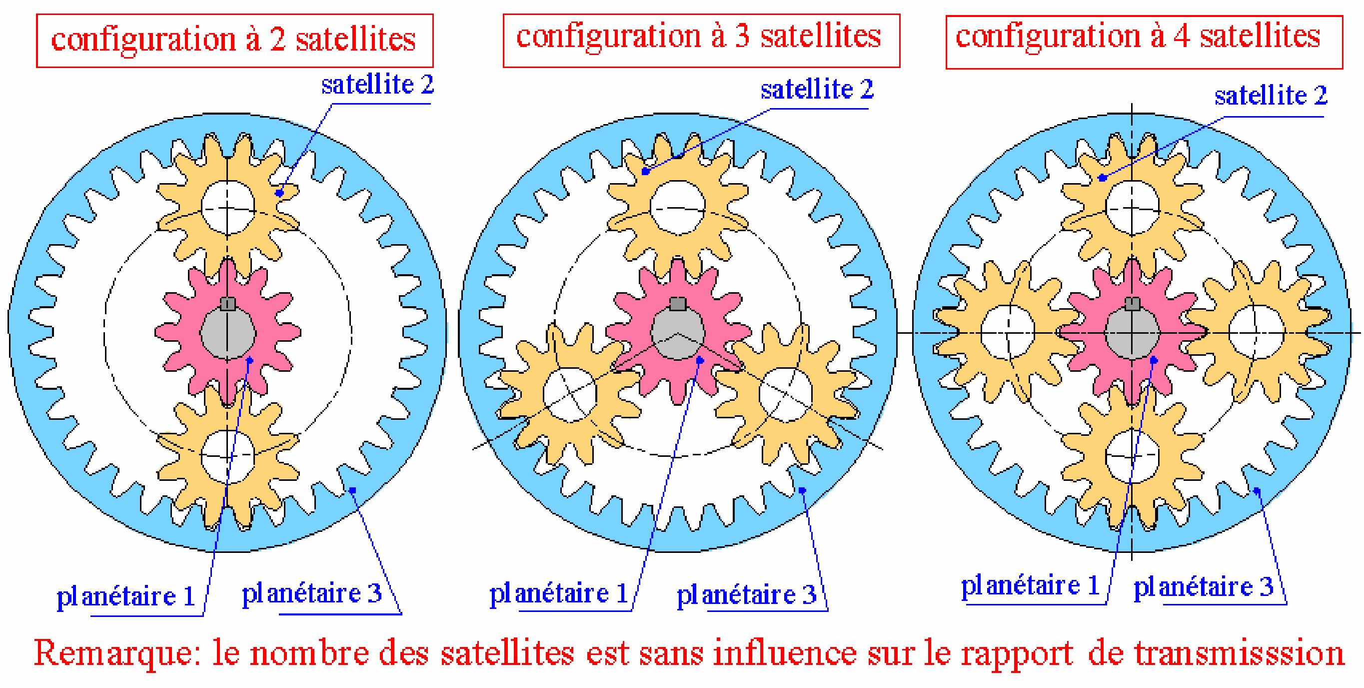
Train épicycloïdal simple

Formule de Willis

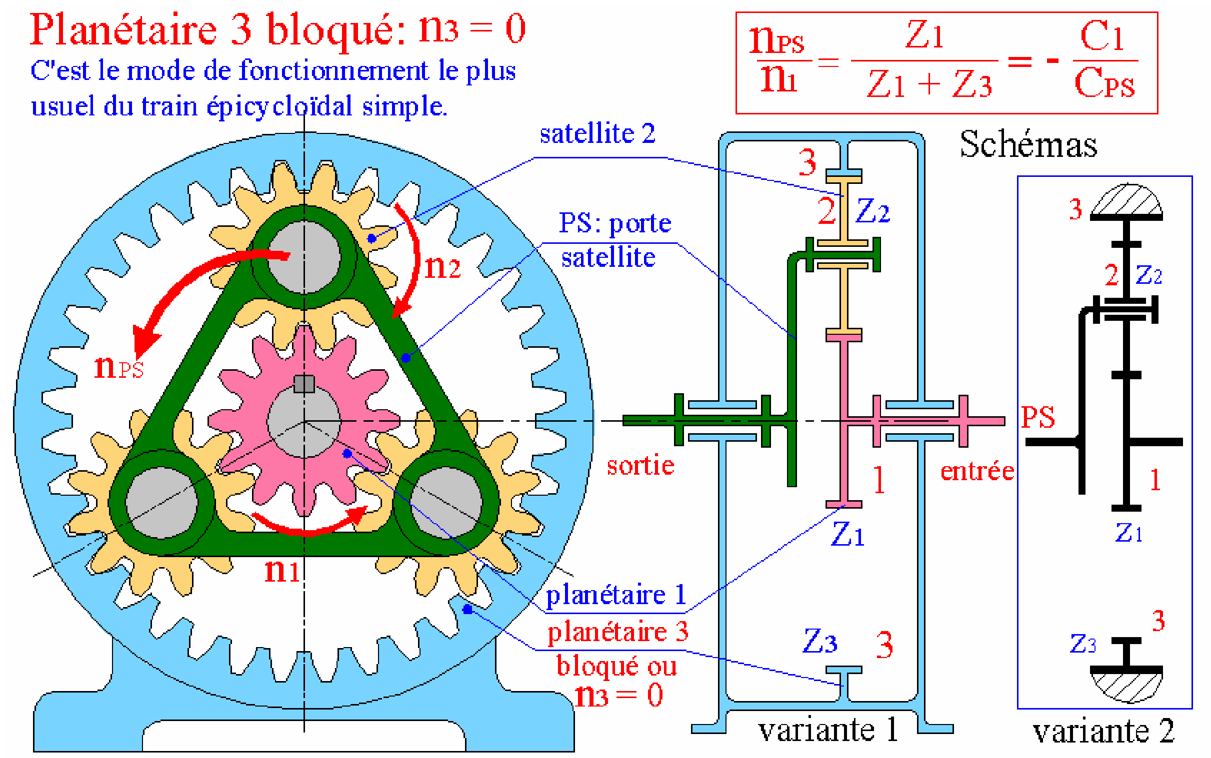
$$\frac{n_1 - n_{PS}}{n_3 - n_{PS}} = (-1)^y \cdot \frac{Z_3}{Z_1} = (-1)^y \cdot \frac{\omega_1 - \omega_{PS}}{\omega_3 - \omega_{PS}}$$

Cette configuration, la plus répandue, utilise un satellite à une seule roue dentée. Le rendement est bon et l'encombrement axial faible.
Le nombre des satellites (2, 3 ou 4) est sans influence sur le rapport de la transmission. Le fonctionnement n'est possible que si l'un des 3 éléments (1), (3) ou PS est bloqué.

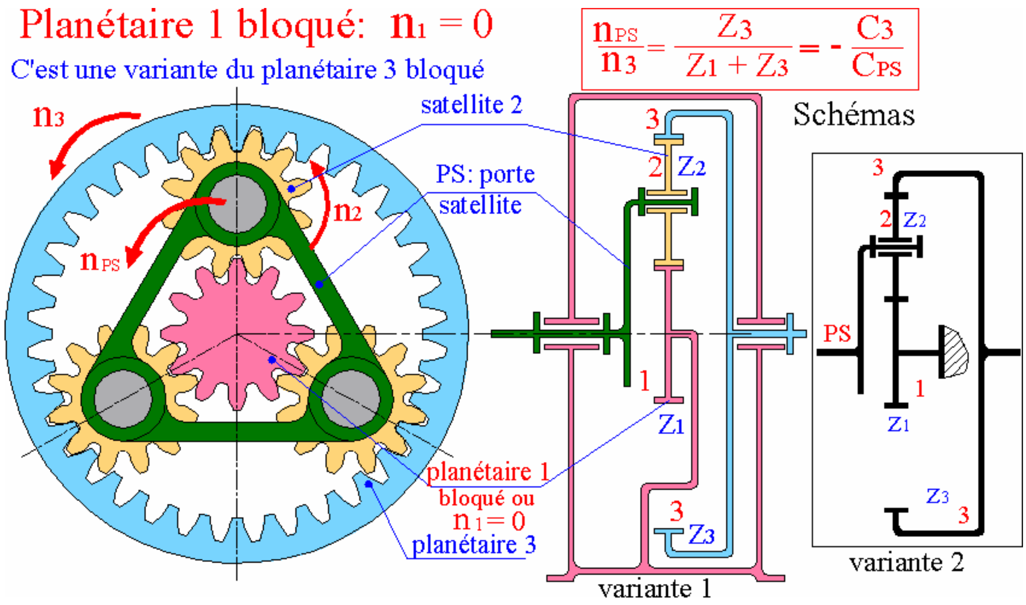


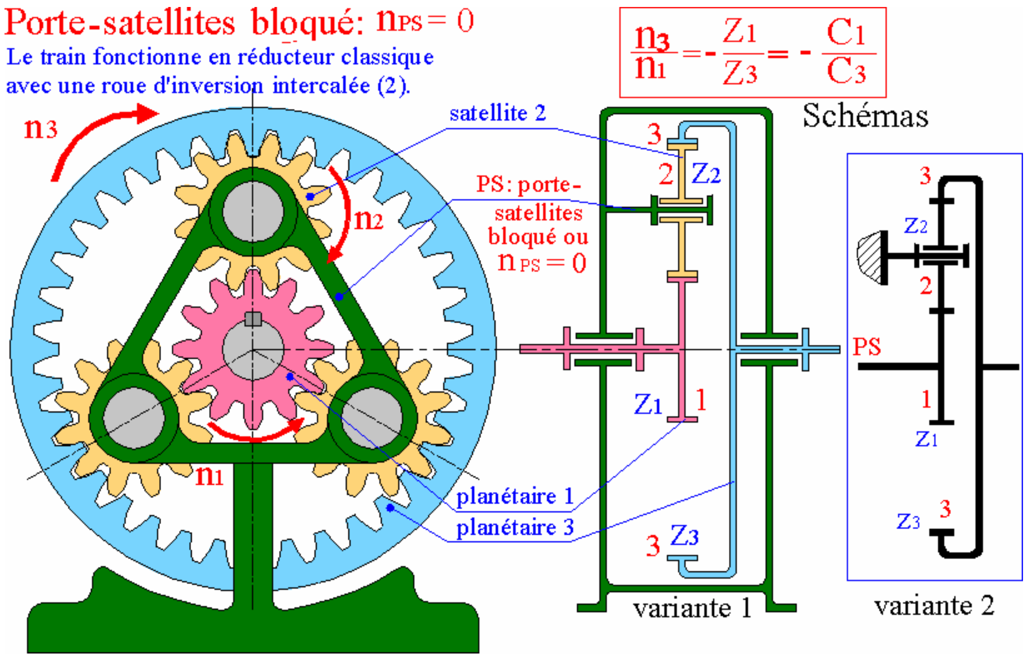


4.1.1. Cas usuels de fonctionnement.



La configuration avec planétaire couronne 3 bloquée est de loin la plus utilisée : planétaire 1 en entrée et porte satellites PS en sortie.





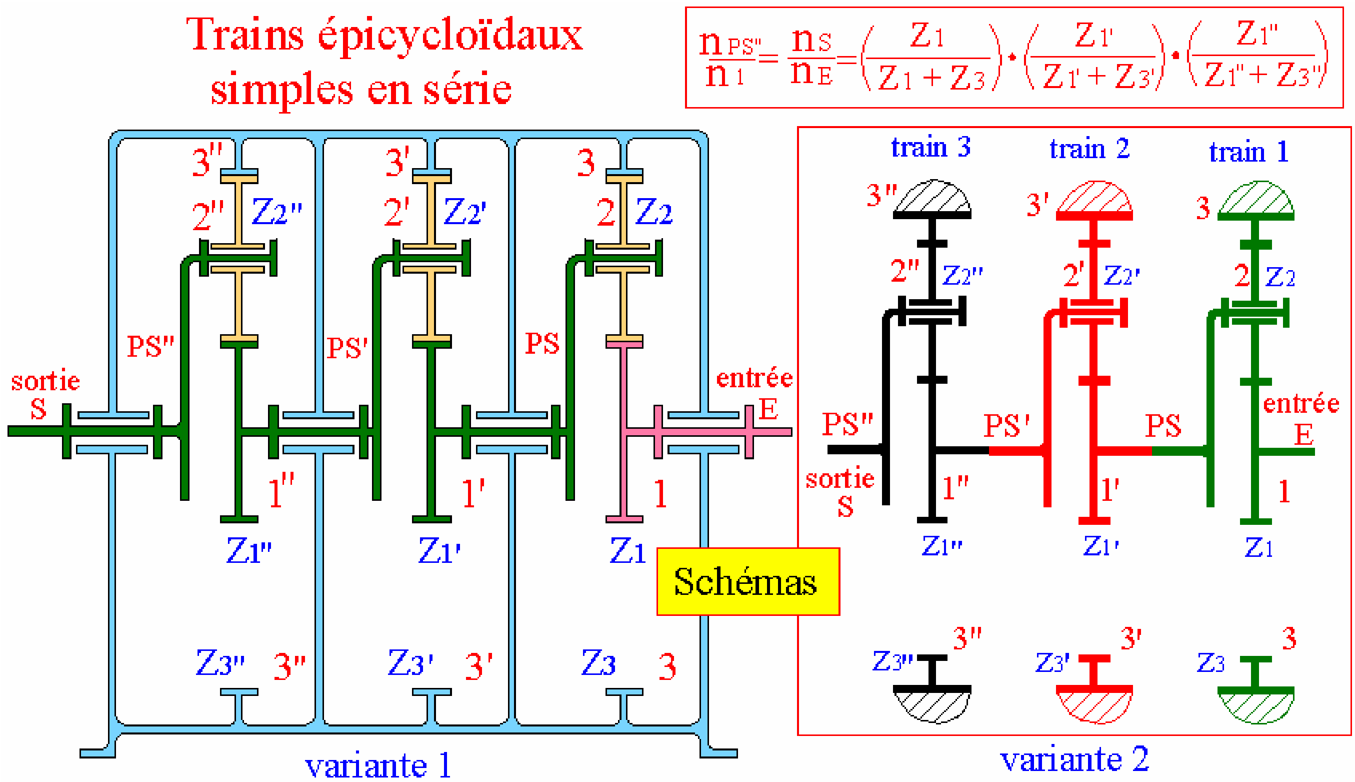
Si le porte satellites PS est bloqué, l'ensemble fonctionne comme un train classique à un engrenage intérieur avec roue d'inversion.

4.1.2. Formule de WILLIS

$$\frac{\omega_{Gp} - \omega_{ps}}{\omega_{Pp} - \omega_{ps}} = \frac{N_{Gp} - N_{ps}}{N_{pp} - N_{ps}} = (-1)^p \cdot \frac{\textbf{produit des nombres de dents des roues menantes}}{\textbf{produit des nombres de dents des roues menees}}$$

En utilisant la relation cinématique de WILLIS, déterminer $\frac{N_{ps}}{N_1}$ dans le premier cas, $\frac{N_{ps}}{N_3}$ dans le deuxième et $\frac{N_3}{N_1}$ dans le troisième.

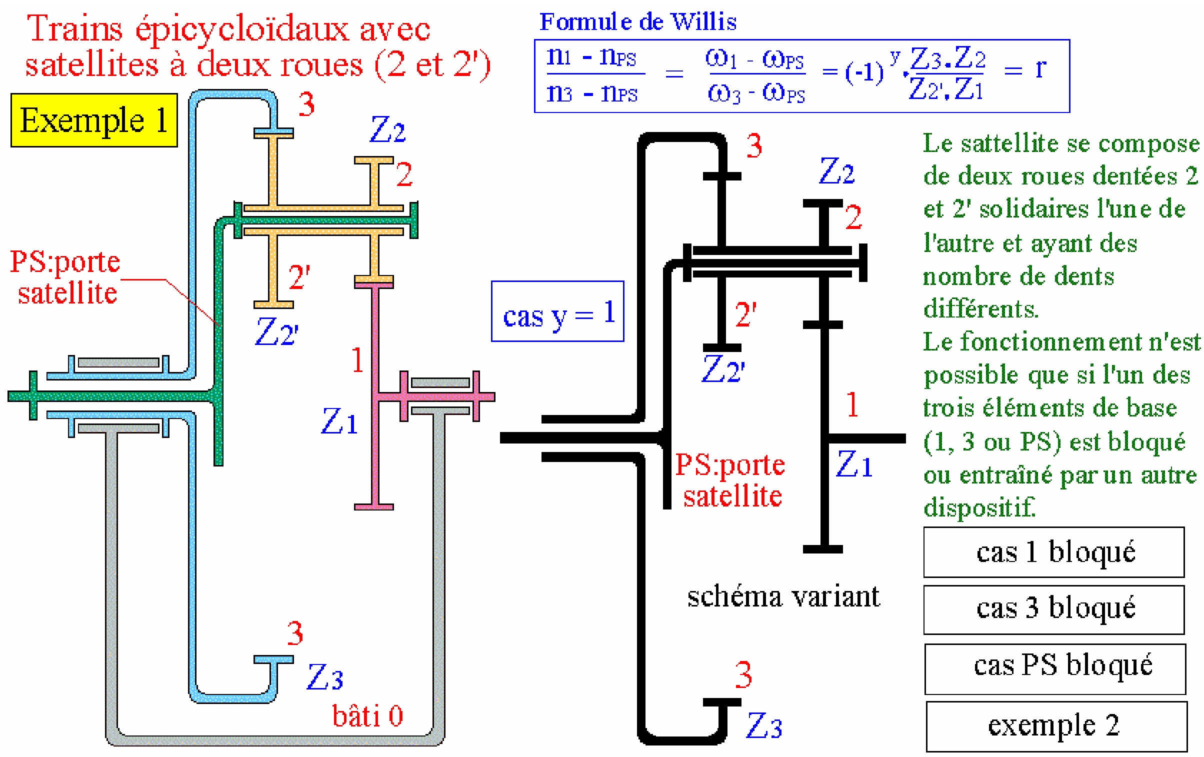
4.1.3. Configuration avec trains en série



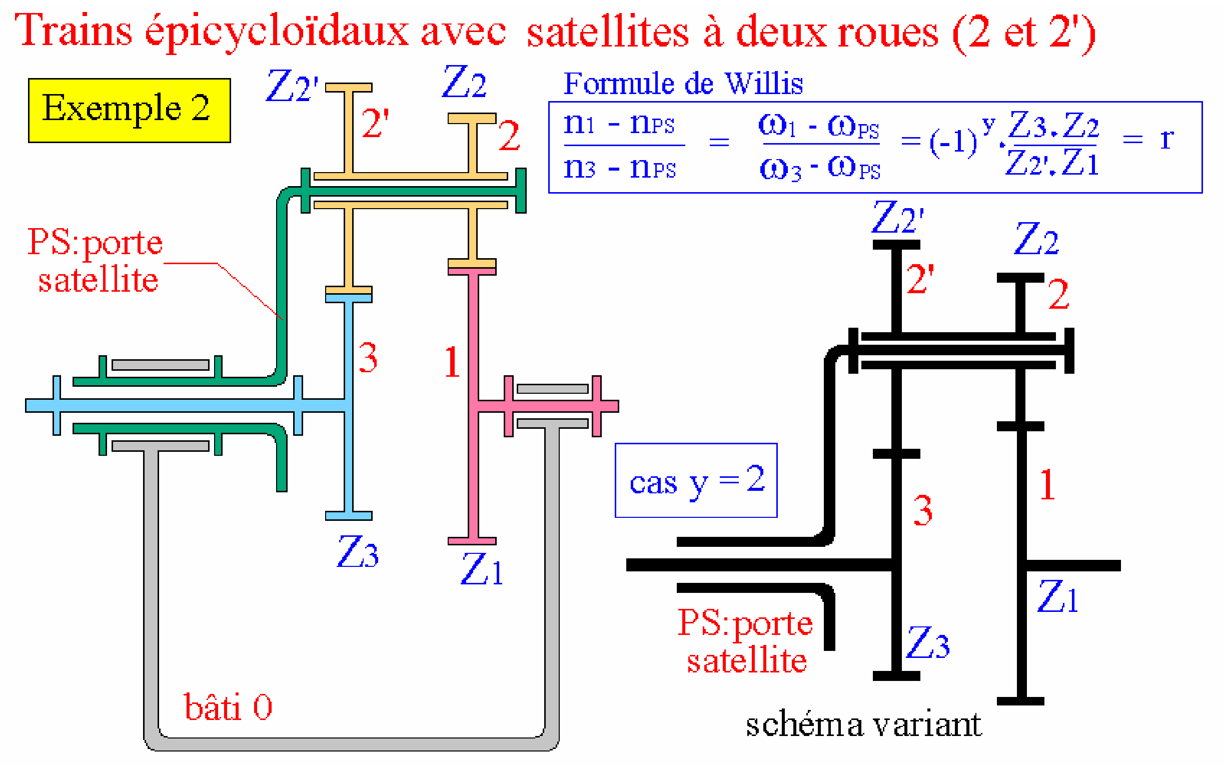
Déterminer $\frac{\mathbf{N_s}}{\mathbf{N_e}}$ en fonction du nombre de dents des différentes roues.

4.2. Trains épicycloïdaux avec satellites à deux roues.

Cas p = 1

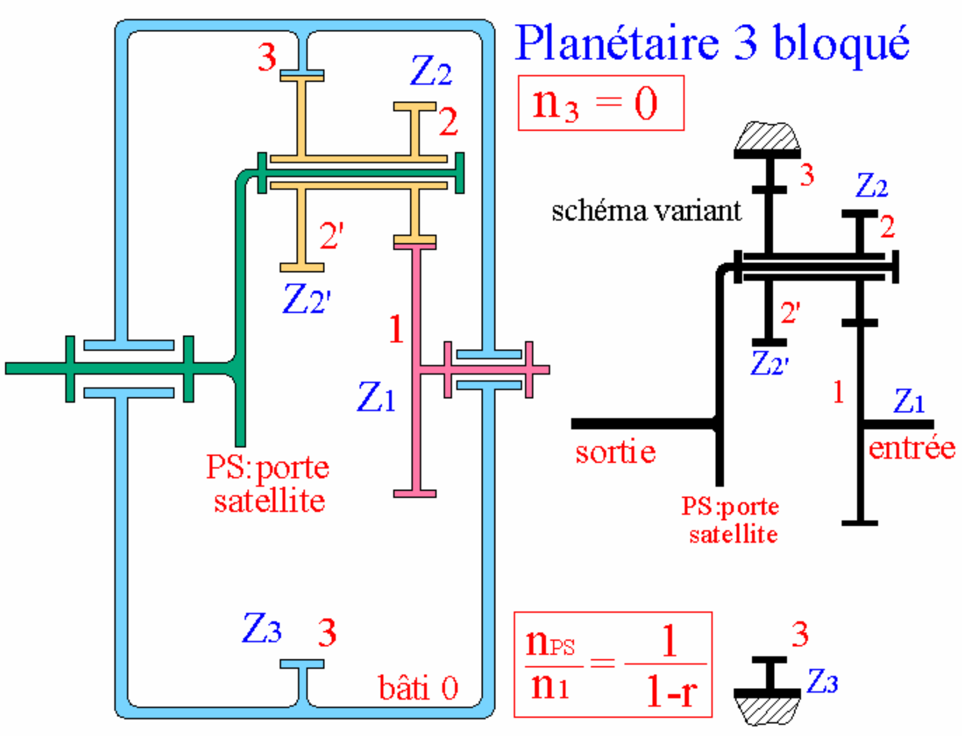


Cas p = 2



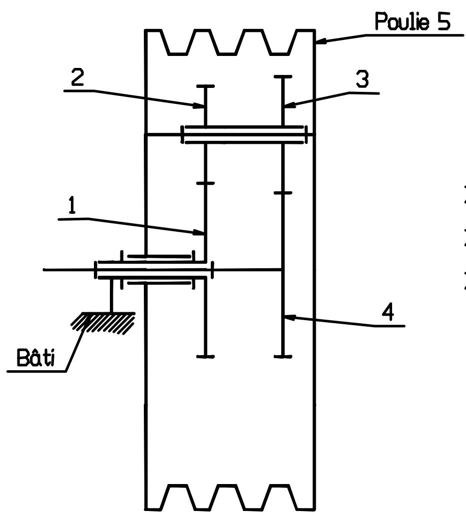
Ce type de trains épicycloïdaux permet de plus grands rapports de réductions. Le satellite est réalisé à partir de deux roues dentées **2** et **2'** dont le nombre de dents $\mathbf{Z_2}$ et $\mathbf{Z_{2'}}$ sont différents.
Comme pour les trains épicycloïdaux simples, les trois cas de fonctionnement peuvent exister.

Exemple 1 : Configuration avec p = 1 et planétaire couronne **3** bloqué, avec $\mathbf{Z_1 = 20}$ **dents ;** $\mathbf{Z_2 = 30}$ **dents ;** $\mathbf{Z_{2'} = 50}$ **dents ;** $\mathbf{Z_3 = 100}$ **dents ;** $\mathbf{N_1 = 1\,500}$ **tr/min.**
Déterminer N_{ps}.



Exemple 2 :

La poulie réductrice proposée reçoit la puissance sur la poulie **5** (entrée **E**) par plusieurs courroies trapézoïdales. Un train épicycloïdal réduit le mouvement et le transmet à l'arbre de sortie **4**.
Calculer la vitesse de sortie si la vitesse d'entrée $\mathbf{N_E}$ est de 500 tr / min.



Z1 = 37 dents
Z2 = 26 dents
Z3 = 23 dents
Z4 = 35 dents