



TRANSMISSION DE PUISSANCE



Compétences visées:

A3-05

Caractériser un constituant de la chaîne de puissance.

B2-13

Proposer un modèle cinématique paramétré à partir d'un système réel, d'une maquette numérique ou d'un plan d'ensemble.

E1-05

Lire et décoder un document technique.

Table des matières

1	Généralités sur la transmission de puissance.	3
1.1	Notion de puissance mécanique.	3
1.2	Notion de rendement.	3
1.3	Notion de rapport de transmission	3
1.4	Transmissions permanentes et temporaires	4
2	Transmission avec transformation de mouvement	4
2.1	Bielle-manivelle	4
2.2	Vis-écrou	5
2.3	Pignon-crémaillère	5
2.4	Excentrique	6
3	Transmission sans transformation de mouvement	6
3.1	Transmission par engrenages	6
3.1.1	Généralités	6
3.1.2	Train d'engrenage simple	8
3.1.3	Transmission par trains épicycloïdaux	9
3.2	Conditions de montage et de fonctionnement :	11
3.3	Transmission par liens flexibles	12



1 Généralités sur la transmission de puissance.

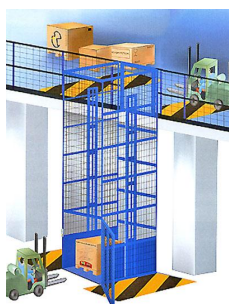
1.1 Notion de puissance mécanique.

La puissance d'un phénomène correspond à la quantité d'énergie échangée par unité de temps entre le système isolé et l'extérieur, lors du phénomène observé. Par exemple, un moteur entraînant un solide en rotation fourni de l'énergie à ce solide.

Il existe deux manières de calculer une puissance mécanique, suivant que le phénomène observé soit un phénomène en translation ou en rotation. On a ainsi :

Mouvement	Translation	Rotation
Calcul de puissance	$P = F \cdot V$	$P = C \cdot \omega$
Unités utilisées	P la puissance en W F la force en N V la vitesse en $m.s^{-1}$	P la puissance en W C le couple en $N.m$ ω la vitesse de rotation en $rad.s^{-1}$

Exemple :



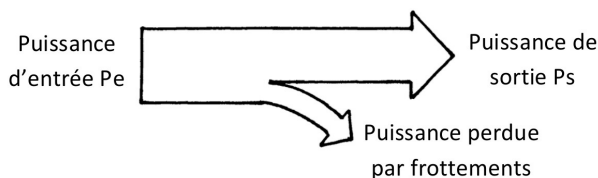
Un monte-charge monte un carton de $100kg$ à une vitesse constante de $0,5m.s^{-1}$. La puissance nécessaire est donc de :

$$P = 100 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 490,5W$$

1.2 Notion de rendement.

Si l'on reprend l'exemple précédent, on comprend bien que puissance que doit fournir le moteur du monte-charge est supérieure à celle que le monte-charge fournit au carton. En effet, des pertes existent dans le système (à travers des frottements et par dissipation thermique la plupart du temps).

On définit alors le rendement η de la manière suivante :



$$\eta = \frac{P_{utile}}{P_{absorbe}} = \frac{P_{sortie}}{P_{entre}}$$

1.3 Notion de rapport de transmission

On ne s'intéresse ici qu'aux systèmes de transmission de puissance travaillant en rotation.

On peut définir le rapport de transmission k comme le rapport entre la vitesse en sortie du système ω_{sortie} et la vitesse en entrée du système ω_{entree} .

$$k = \frac{\omega_{sortie}}{\omega_{entree}}$$

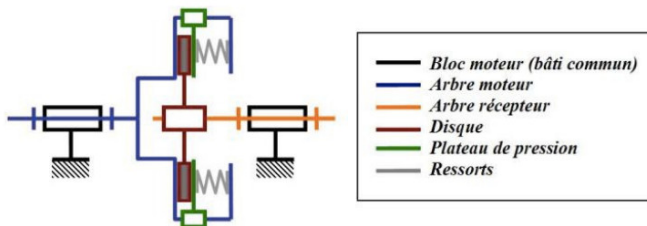
1.4 Transmissions permanentes et temporaires

Dans les systèmes de transmission de puissance, on peut dissocier deux grandes catégories de transmission : les transmissions permanentes et les transmissions temporaires.

Dans la suite de ce cours, nous ne nous intéresserons qu'aux transmissions permanentes.

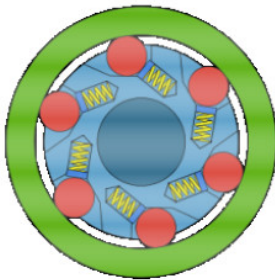
Les transmissions temporaires sont des solutions technologiques permettant de transmettre une puissance ou non en fonction des conditions de fonctionnement (sens, action de l'utilisateur, valeur limite, etc.). On peut citer par exemple :

- Les embrayages :



Les **embrayages** permettent de réaliser une transmission temporaire entre deux arbres. Il existe différentes technologies, permettant une transmission par **adhérence** ou par **obstacle**.

- Les roues libres :



Les **roues libres** permettent d'accoupler deux axes coaxiaux **uniquement dans un sens**. On retrouve notamment ces systèmes sur les vélos.

- Les limiteurs de couple :

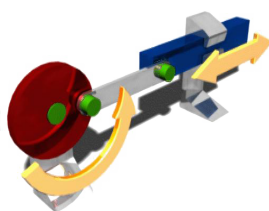


Les **limiteurs de couple** permettent de ne transmettre une puissance que lorsque le couple à transmettre est inférieur à une valeur limite fixée. Cela permet **d'éviter la détérioration** du système en cas de couple résistant trop important.

2 Transmission avec transformation de mouvement

Certains systèmes de transmission de puissance permettent au passage de réaliser une **transformation du mouvement**.

2.1 Bielle-manivelle



Ce système permet de passer d'un mouvement de rotation continue à un mouvement de translation oscillant (ou inversement).

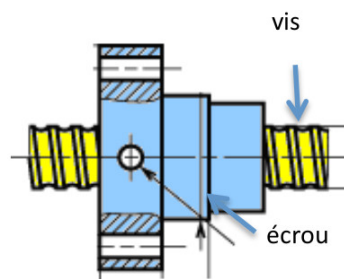
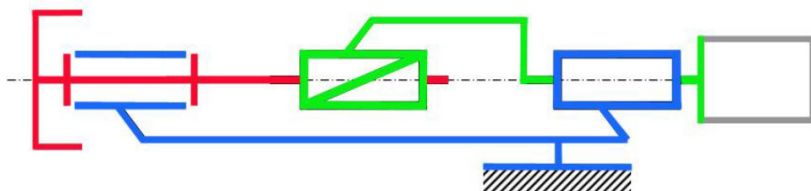
2.2 Vis-écrou

Ce système est très fréquemment rencontré. Il permet de **convertir un mouvement de rotation continue en un mouvement de translation continue ou inversement (si réversible)**.

Le système est toujours constitué de 3 liaisons :

1. Une liaison pivot,
2. Une liaison hélicoïdale,
3. Une glissière

On obtient, pour qu'il y ait transformation du mouvement, le schéma cinématique suivant :



Représentation d'une vis à bille : permet d'améliorer le rendement et d'assurer la réversibilité.

Pour caractériser un système vis-écrou, on peut chercher :

- le pas p (de la liaison hélicoïdale existant entre l'écrou et la vis) ;
- le rendement.

Dans le cas (le plus fréquent mais pas toujours!) où c'est un moteur qui entraîne la vis, on aura alors les relations suivantes :

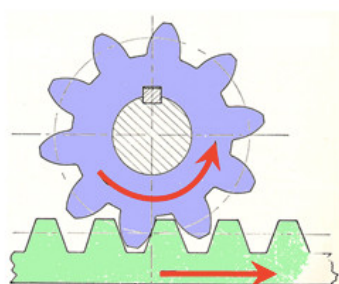
$$C \cdot \omega \cdot \eta = F \cdot V$$

$$V = \frac{p}{2\pi} \cdot \omega$$

- ω vitesse de rotation en $rad.s^{-1}$ C le couple fourni par le moteur en $N.m$
- p le pas de l'hélicoïdale en m F fournie par l'écrou en N
- V la vitesse de l'écrou en $m.s^{-1}$ η le rendement, sans unité.

2.3 Pignon-crémaillère

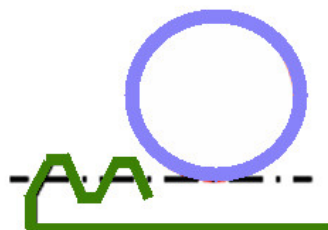
Ce système permet de convertir un mouvement de rotation en mouvement de translation ou inversement.



Soit R le rayon primitif du pignon en m , ω sa vitesse de rotation en $rad.s^{-1}$ et V la vitesse relative de la crémaillère par rapport à l'axe de rotation du pignon (au point de contact des dents, la vitesse relative est nulle) en $m.s^{-1}$.

On a alors la relation suivante :

$$V = R\omega$$

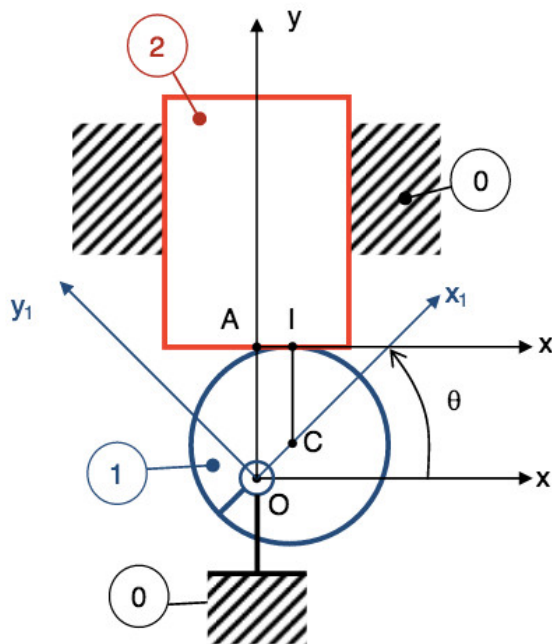
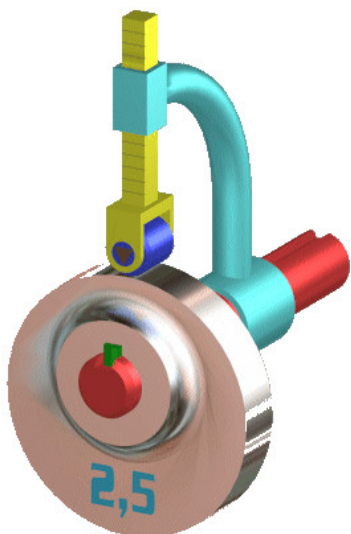


De même, on pourra montrer par un bilan de puissance que, pour F la force de poussée de la crémaillère en N et C le couple au pignon en $N.m$, on a (hypothèse de rendement de 1) :

$$FR = C$$

2.4 Excentrique

Ce système est proche du système piston-bielle-manivelle, mais possède une liaison ponctuelle (ou rectiligne suivant la modélisation), voire un roulement sans glissement si un galet existe (comme sur l'illustration ci-contre).

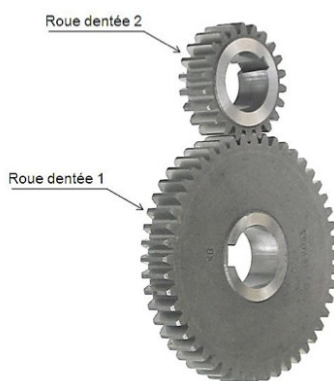
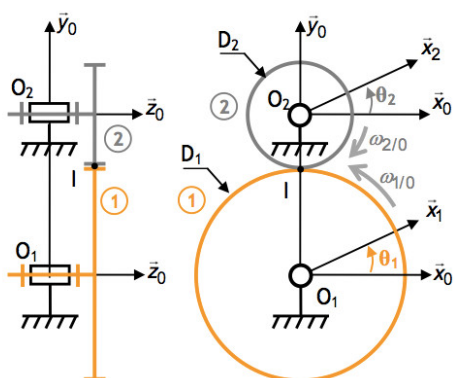


3 Transmission sans transformation de mouvement

Il est très fréquent de rencontrer des systèmes permettant de transmettre une puissance sans transformation du mouvement, notamment en rotation. L'ensemble des systèmes présentés ci-après concerne d'ailleurs des phénomènes en rotation.

3.1 Transmission par engrenages

3.1.1 Généralités

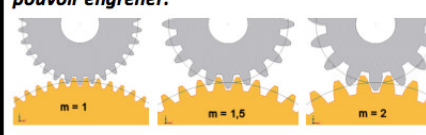


Un engrenage est constitué de deux roues dentées qui engrènent l'une avec l'autre. La géométrie de la denture permet d'obtenir la même cinématique que celle imposée par deux roues de friction correspondant aux cercles primitifs :

au niveau du point de contact des cercles primitifs, on peut considéré qu'il y a roulement sans glissement (*I* sur la figure ci-contre).

On retrouve ce type de transmission pour de faibles comme de fortes puissances, de la montre à la voiture.

Caractéristiques :

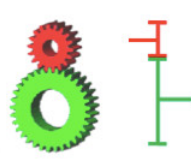
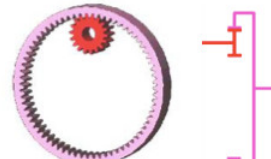
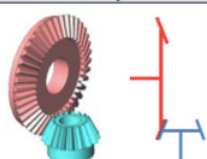


Diamètres primitifs	Pas primitif
D_1 et D_2	$pas = \frac{2\pi.R_1}{z_1} = \frac{2\pi.R_2}{z_2}$
<p>La forme des dents assure le roulement sans glissement au point de contact I des cercles fictifs de diamètres D_1 et D_2.</p> <p>Ces cercles sont appelés <u>cercles primitifs</u>. Ils correspondent aux profils des roues de friction qui assureraient le même rapport de transmission.</p>	<p>Le pas primitif correspond à la longueur de l'arc de cercle primitif compris entre deux dents successives.</p> <p>Pour garantir l'engrènement, les pas primitifs des deux roues dentées doivent être égaux.</p>
Nombre de dents	Module
Z_1 et Z_2	$m = \frac{D}{z}$ $pas = \pi.m$
	<p>Le module (en mm) caractérise la forme de la dent. Les deux roues dentées doivent impérativement avoir le même module pour pouvoir engrèner.</p> 

Rapport de transmission :

La condition de roulement sans glissement au point de contact I entre les deux cercles primitifs permet d'obtenir le rapport de transmission d'un engrenage à contact extérieur :

$$i = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = \frac{\dot{\theta}_1}{\dot{\theta}_2} = -\frac{R_1}{R_2} = -\frac{D_1}{D_2} = -\frac{Z_1}{Z_2}$$

Types d'engrenages :

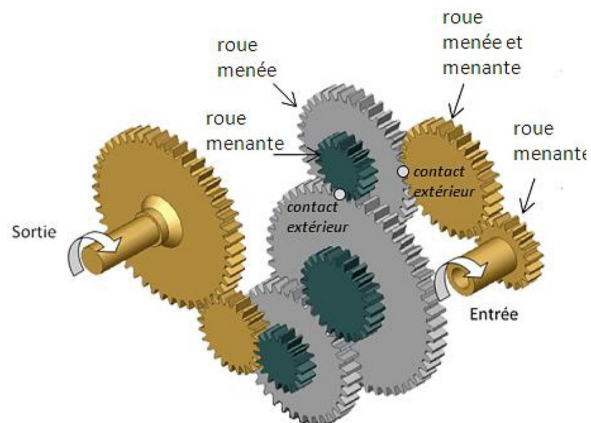
Engrenage cylindrique extérieur	Engrenage cylindrique intérieur ⁽¹⁾	Engrenage conique
		
<p>Ils transmettent un mouvement de rotation entre des arbres à axes parallèles.</p>		<p>Ils transmettent un mouvement de rotation entre des arbres à axes perpendiculaires.</p>
 <p>à denture droite</p>		 <p>à denture hélicoïdale</p>
<p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> réalisation simple ; économiques ; ils peuvent admettre des déplacements axiaux. 	<p>Inconvénient</p> <ul style="list-style-type: none"> bruyants. 	<p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> plus silencieux ; ils permettent de transmettre des couples plus importants. <p>Inconvénient</p> <ul style="list-style-type: none"> Ils sont à l'origine d'efforts axiaux.

(1) : Dans le cas d'un contact intérieur, il n'y a pas inversion du sens de rotation. Le rapport de transmission est donc $i = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = + \frac{Z_1}{Z_2}$

3.1.2 Train d'engrenage simple

Dans un réducteur, pour augmenter le rapport de réduction, on peut associer plusieurs engrenages en série. On parle alors de **train d'engrenage**. Lorsque toutes les roues dentées sont en mouvement de rotation par rapport au bâti, on parle de « **train simple** ».

Dans la pratique, pour calculer la loi entrée-sortie d'un train d'engrenage simple, il est inutile de déterminer et combiner les rapports de transmission de chacun des couples de roues dentées.



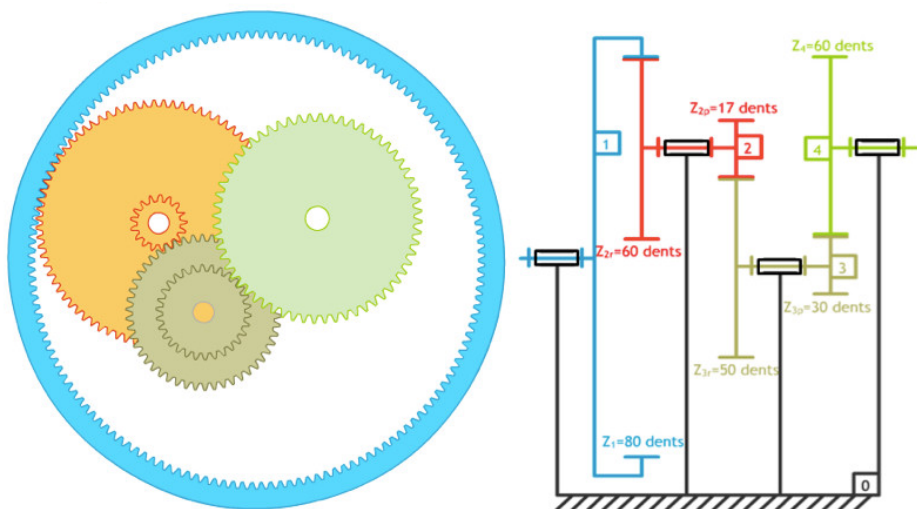
Définition Rapport de transmission d'un train simple

Le rapport de transmission d'un train d'engrenage simple s'écrit :

$$i = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = (-1)^n \frac{\prod_{\text{Roues menantes}}}{\prod_{\text{Roues menes}}}$$

Avec n le nombre de contacts extérieurs entre les pignons

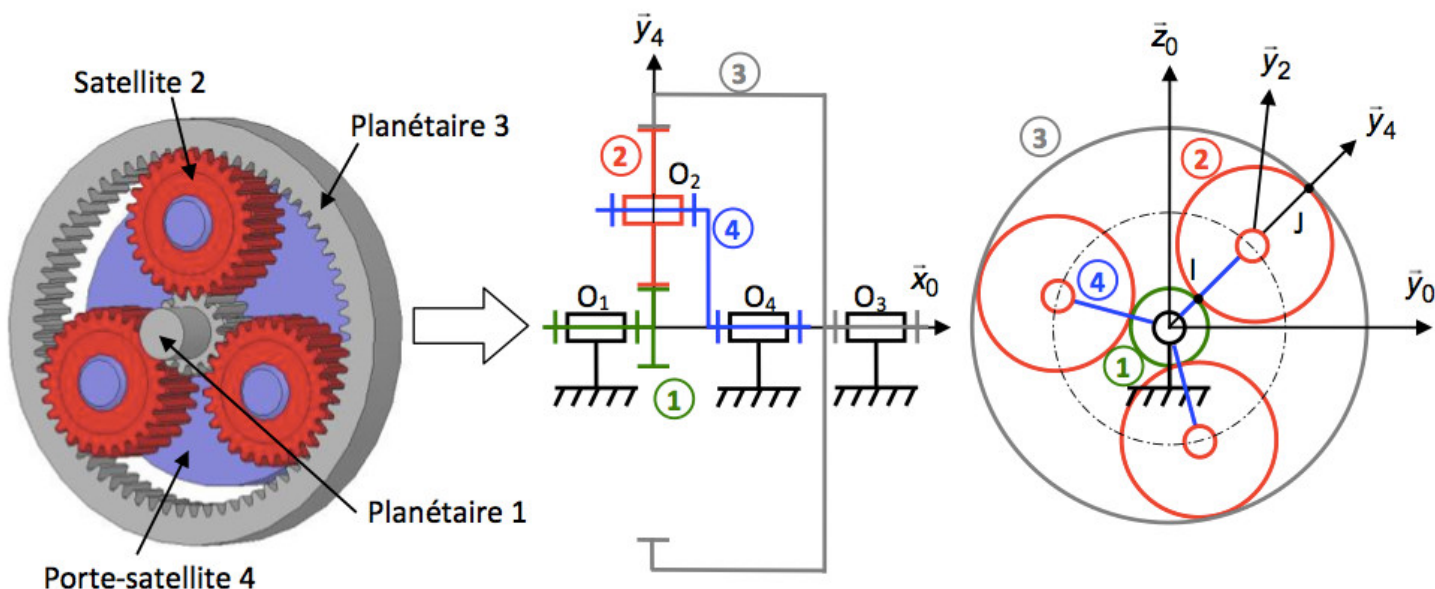
Exemple :



Soit la roue 1 la roue d'entrée de ce réducteur et 4 la roue de sortie. Le rapport de transmission $i = \frac{\omega_{4/0}}{\omega_{1/0}}$ est tel que :

3.1.3 Transmission par trains épicycloïdaux

Pour obtenir un rapport de transmission important avec un train d'engrenage simple, il est nécessaire d'utiliser plusieurs étages, solution encombrante et lourde. Une solution consiste à utiliser des **trains épicycloïdaux** qui permettent d'obtenir de **grand rapport de réduction dans un encombrement faible**.



On peut voir ici que sur ce train d'engrenage, les satellites (2) possèdent un axe de rotation mobile par rapport au bâti. C'est ce qui fait de ce train un train épicycloïdal.

Constituants	
Porte-satellite	Il s'agit d'une pièce en rotation par rapport au bâti sur laquelle sont montés le ou les satellites
Satellite	Il s'agit de roues dentées en rotation par rapport au porte-satellite. Leur axe de rotation n'est donc pas fixe par rapport au bâti
Planétaire	Les planétaires sont des roues dentées qui engrènent avec le ou les satellites.

Entrée du mécanisme : un des deux planétaires OU le porte satellite.

Sortie du mécanisme : un des deux planétaires OU le porte satellite.

Bien que ce mécanisme puisse paraître complexe au premier abord, il n'en est rien. En effet, si on considère, le temps de l'étude, toutes les vitesses de rotation par rapport au porte satellite (on imagine « bloquer » le porte satellite et « libérer » le bâti), alors le train se comporte comme un train simple !

Ainsi, pour déterminer la loi entrée-sortie d'un train épicycloïdal, on considère le train plan relativement au porte-satellite, en prenant comme entrée et sortie les planétaires :

$$\frac{\omega_{Pla.A/Po.Sa}}{\omega_{Pla.B/Po.Sa}} = \lambda$$

avec λ le rapport de transmission du train ainsi défini.

Par composition des vitesses on obtient :

$$\frac{\omega_{Pla.A/0} - \omega_{Po.Sa/0}}{\omega_{Pla.B/0} - \omega_{Po.Sa/0}} = \lambda$$



En travaillant sur cette équation on obtient finalement :

Définition Relation de Willis

Relation de Willis :

$$\omega_{Pla.A/0} - \lambda \cdot \omega_{Pla.B/0} + (\lambda - 1) \cdot \omega_{Po.Sa/0} = 0$$

Avec :

$$\lambda = \left. \frac{\omega_{Pla.A/0}}{\omega_{Pla.B/0}} \right|_{\omega_{Po.Sa/0}=0}$$

λ est **la raison basique du train épicycloïdal**, c'est le rapport de transmission du train d'engrenage simple obtenu si on immobilise le porte satellite.

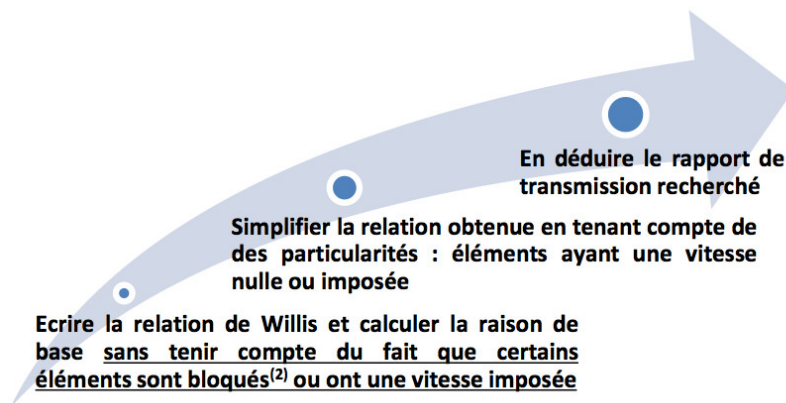
Remarque

Le choix du planétaire A ou B est arbitraire. Ainsi, on peut trouver la raison ou son inverse.

L'utilisation d'un train épicycloïdal nécessite d'imposer la vitesse angulaire par rapport au bâti de deux des trois entrées possibles : $\omega_{Pla.A/0}$, $\omega_{Pla.B/0}$, $\omega_{Po.Sa/0}$.

Dans la pratique, on bloque souvent l'une d'entre-elles (donc=0) ; on impose la vitesse de rotation à la deuxième ; la troisième est alors donnée par la relation de Willis en prenant en compte la vitesse nulle de l'entrée bloquée.

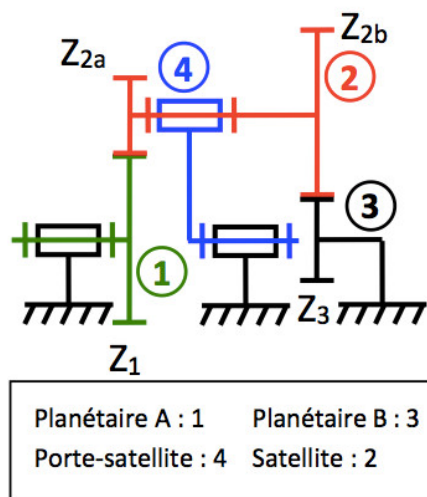
La démarche à utiliser pour déterminer le rapport de transmission d'un train épicycloïdal est la suivante :



(2) Cela implique qu'il faut même imaginer que certaines pièces sont « libérées ».

Exemple :

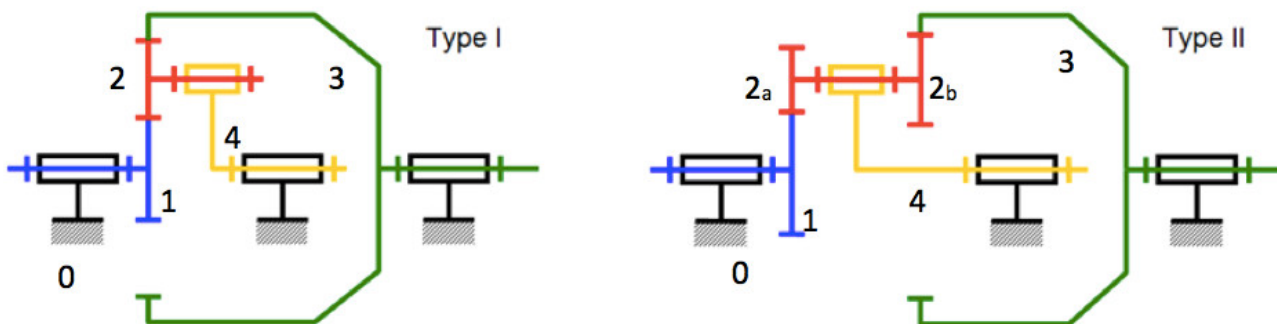
Soit la pièce **1** l'entrée de ce réducteur et la pièce **4** la sortie. Le rapport de transmission $i = \frac{\omega_{4/0}}{\omega_{1/0}}$ est tel que :



3.2 Conditions de montage et de fonctionnement :

Les conditions géométriques indispensables au montage et au fonctionnement du train épicycloïdal impliquent des relations entre les diamètres (ou rayons) primitifs des différentes roues dentées.

Ces relations peuvent se traduire sous la forme de relations liant les nombres de dents de roues dentées à condition que leurs modules soient égaux.

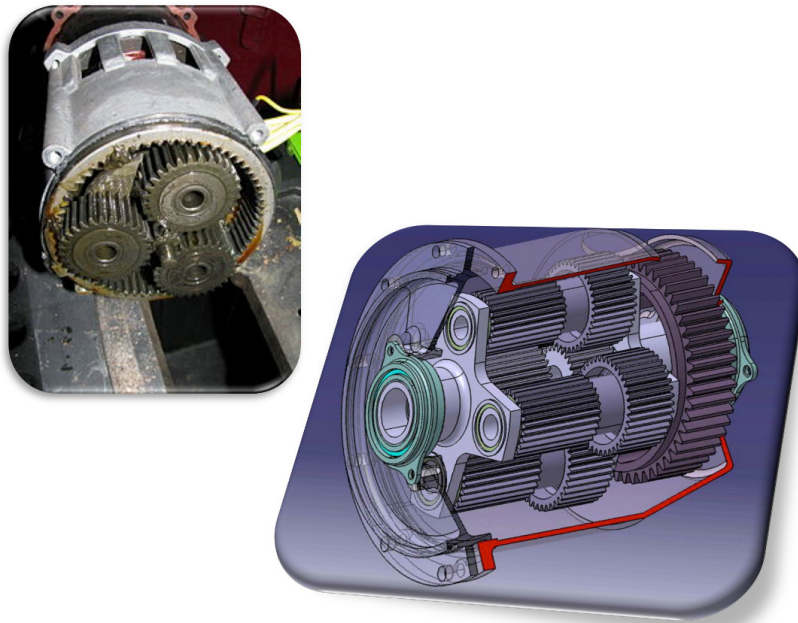


Exemple pour le train épi. de type I :

$$D_3 = D_1 + 2.D_2 \Rightarrow z_3 = z_1 + 2.z_2$$

Exemple pour le train épi. de type II :

$$R_1 + R_{2a} + R_{2b} = R_3 \Rightarrow z_1 + z_{2a} + z_{2b} = z_3$$



3.3 Transmission par liens flexibles

Les liens flexibles sont particulièrement avantageux lorsqu'il s'agit de transmettre un mouvement de rotation entre **deux axes parallèles très distants**.

Pignons-chaîne	Poulies-courroie

Dans les transmission à liens flexibles, les poulies tournent dans le même sens et le rapport de transmission d'écrit :

$$i = \frac{\omega_{s/0}}{\omega_{e/0}} = \frac{R_e}{R_s}$$