



30

TRAINS D'ENGRENAGES

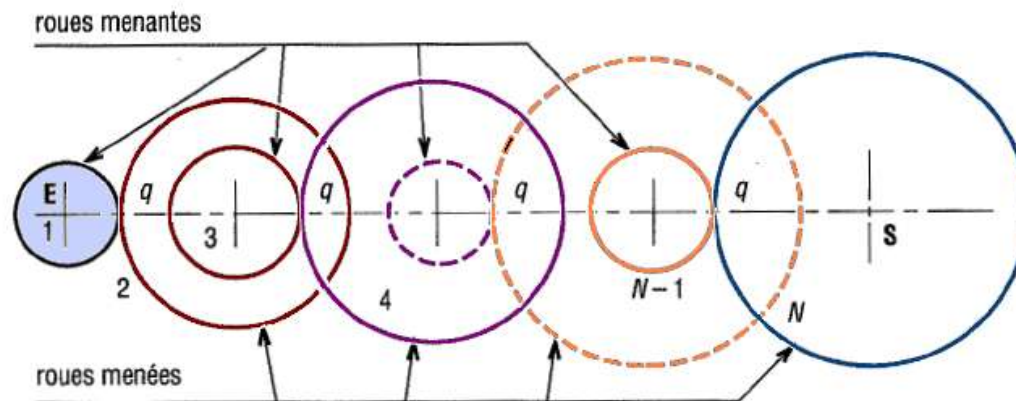
OBJECTIFS

- Donner des recommandations pour la conception.
- Indiquer la schématisation normalisée.
- Fournir des éléments pour le calcul des trains classiques et des trains épicycloïdaux.
- Proposer des exercices d'application.

4. Cas général : trains à N engrenages

(Axes fixes)

$$\frac{\omega_{\text{sortie}}}{\omega_{\text{entrée}}} = (-1)^p \frac{\prod z_{\text{menants}}}{\prod z_{\text{menés}}}$$



$$R_{S/E} = \frac{n_S}{n_E} = (-1)^y \frac{\text{produit nbre de dents des roues menantes}}{\text{produit nbre de dents des roues menées}}$$

avec $y = \text{nbre de contact extérieur (type } q)$

$$R_{S/E} = \frac{n_S}{n_E} = (-1)^y \cdot \frac{z_1 \cdot z_3 \dots z_{N-1}}{z_2 \cdot z_4 \dots z_N} = R_{2/1} R_{4/3} \dots R_{N/N-1}$$

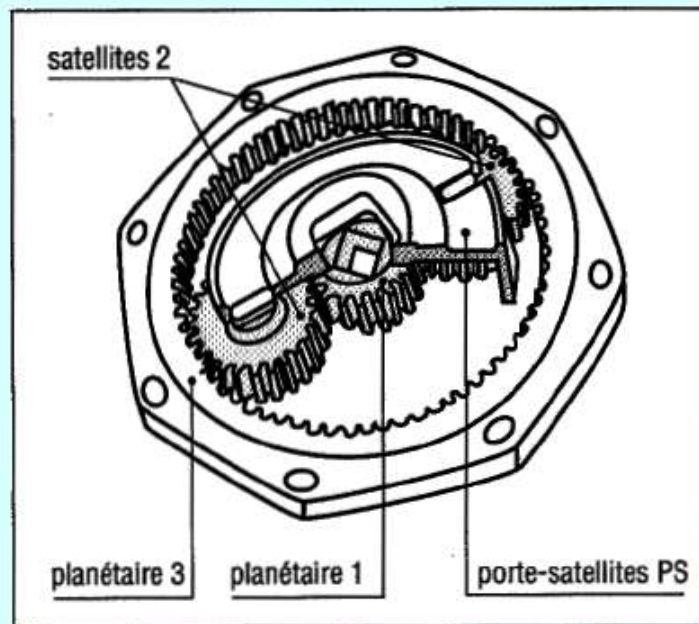
IV - Trains épicycloïdaux ou planétaires

Ils autorisent de grands rapports de réduction sous un faible encombrement et sont régulièrement utilisés dans les boîtes de vitesse automatiques.

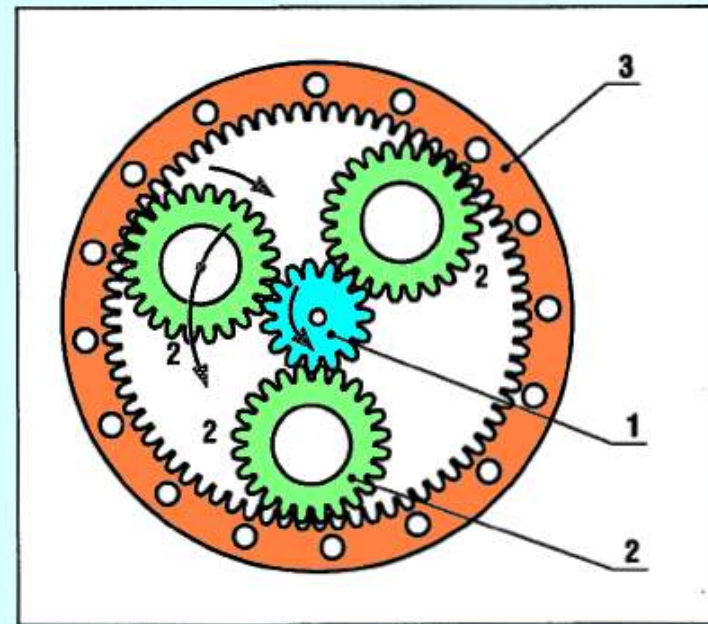
Les puissances transmises sont modérées et les rendements diminuent quand le rapport de réduction augmente. Leur étude est plus complexe que les autres cas.

Une particularité permet de les identifier : les axes de rotation des roues appelées satellites ne sont pas fixes dans le bâti mais tourbillonnent par rapport aux autres roues.

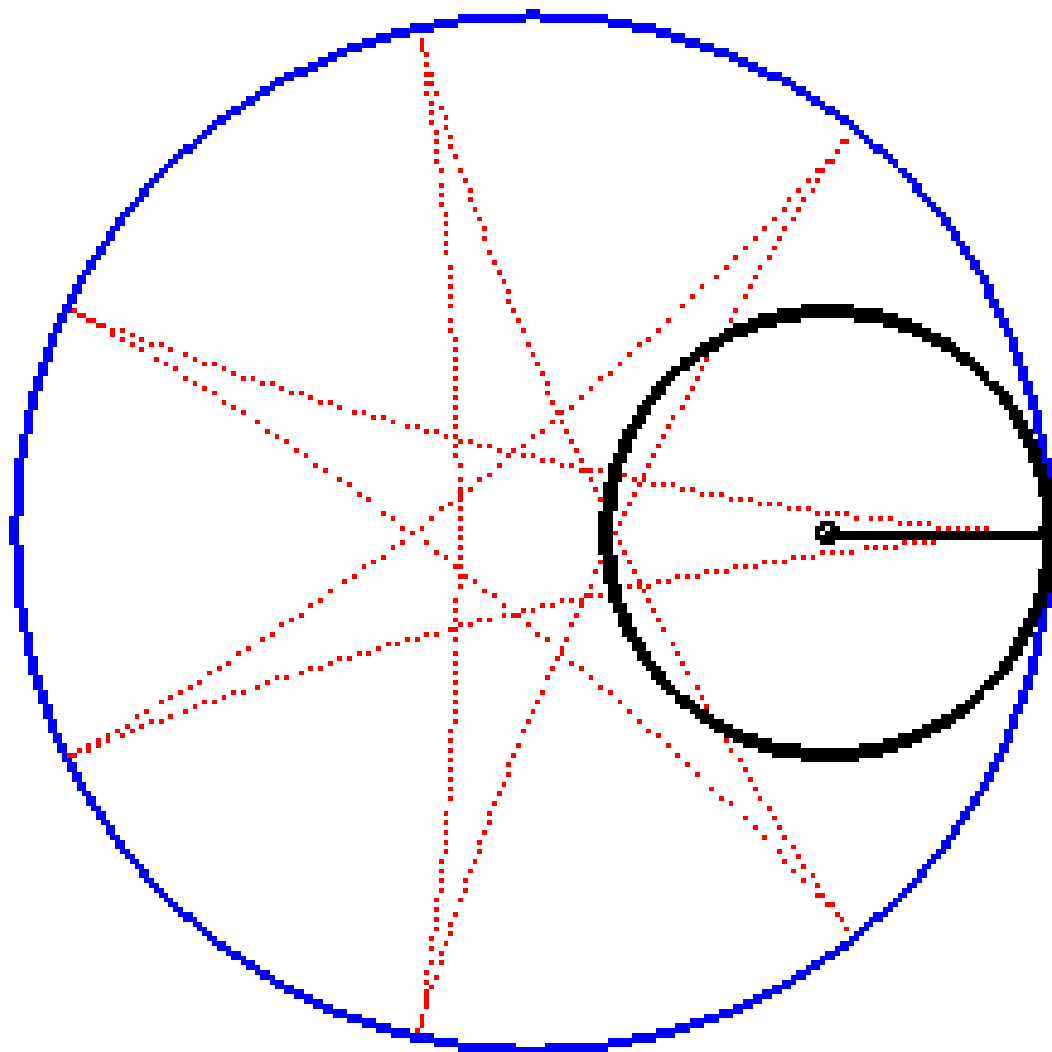
1. Train épicycloïdal simple



7. Train épicycloïdal simple avec deux satellites.



8. Configuration à trois satellites.

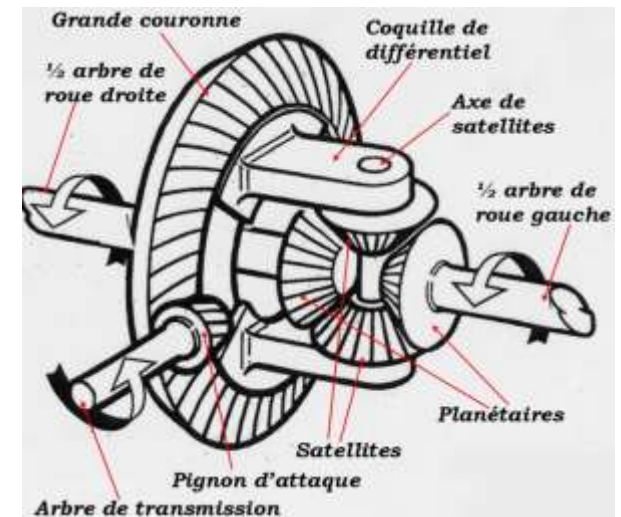
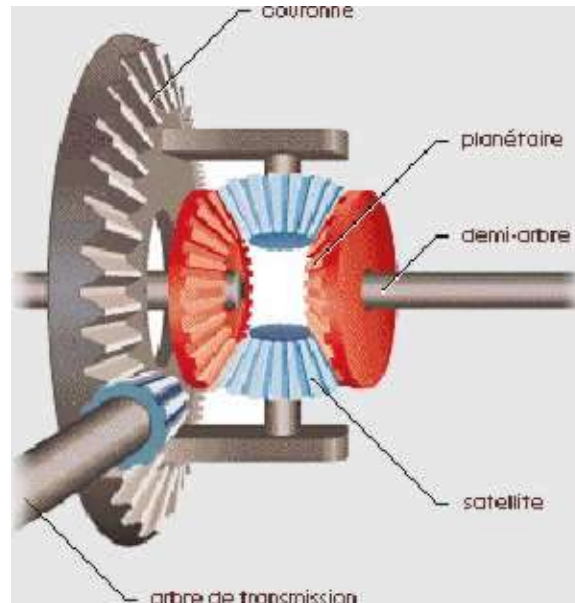
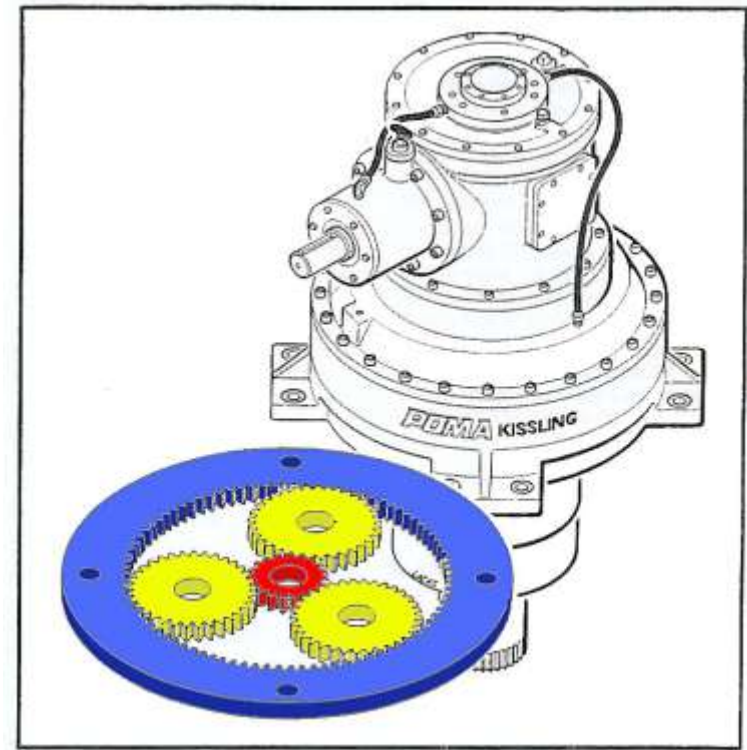


Le train épicycloïdal : les axes ne sont pas tous fixes, un ou des pignons ou roues engrènent et entraînent leur axe.

On distingue

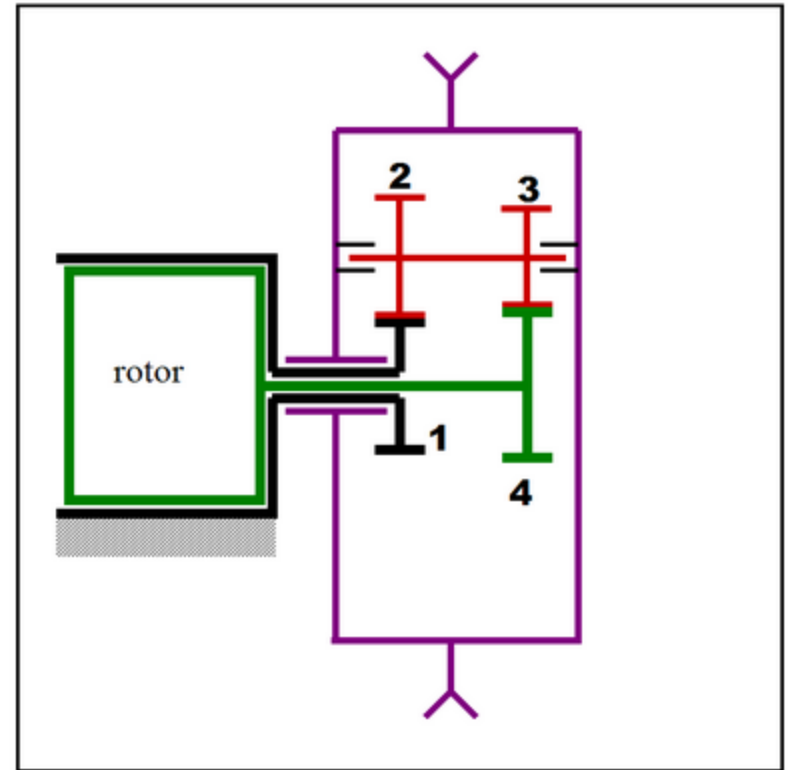
les trains épicycloïdaux plans

les trains épicycloïdaux sphériques (différentiels).



Prenons comme exemple la poulie réductrice :

- Le pignon 1 est fixe, lié au bâti. Souvent, mais pas toujours, on trouve une roue fixe.
- Les roues 2 et 3 forment le planétaire.
- La roue 4 est liée au moteur
- La poulie motrice forme le porte-satellite, c'est elle qui reçoit la puissance de sortie.



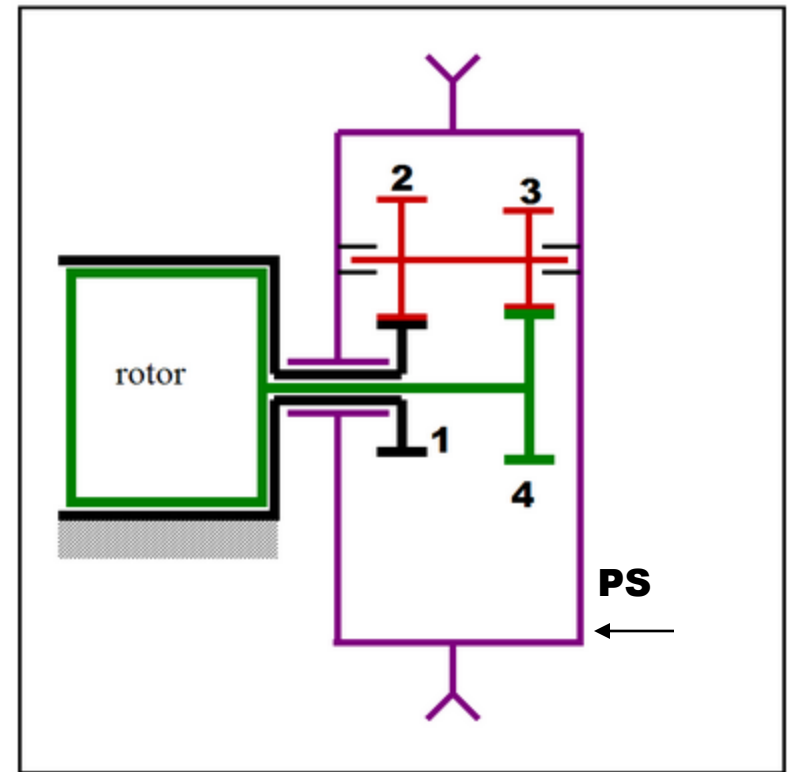
Loi d'entrée-sortie : inutile de retenir la formule, retenir la méthode.

Pour un observateur situé sur le porte satellite (ici la poulie), tous les axes sont fixes. Il faut s'imaginer que tout tourne autour de l'observateur, le bâti aussi.

Sur le manège, on voit la terre tourner autour de nous!

Appelons PS le porte-satellite.

$$\frac{\omega_{S/PS}}{\omega_{E/PS}} = (-1)^p \frac{\prod z_{\text{menants}}}{\prod z_{\text{menés}}}$$



$$\frac{\omega_{S/PS}}{\omega_{E/PS}} = \frac{\omega_{S/0} - \omega_{PS/0}}{\omega_{E/0} - \omega_{PS/0}}$$

On se place sur le porte satellite.



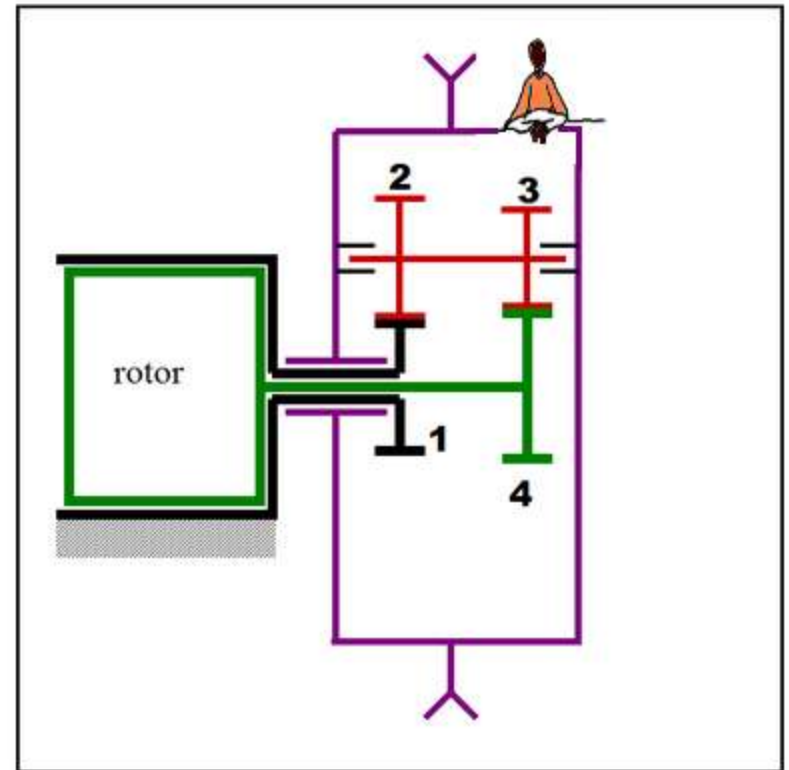
$$\frac{\omega_{4/PS}}{\omega_{1/PS}} = (-1)^2 \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

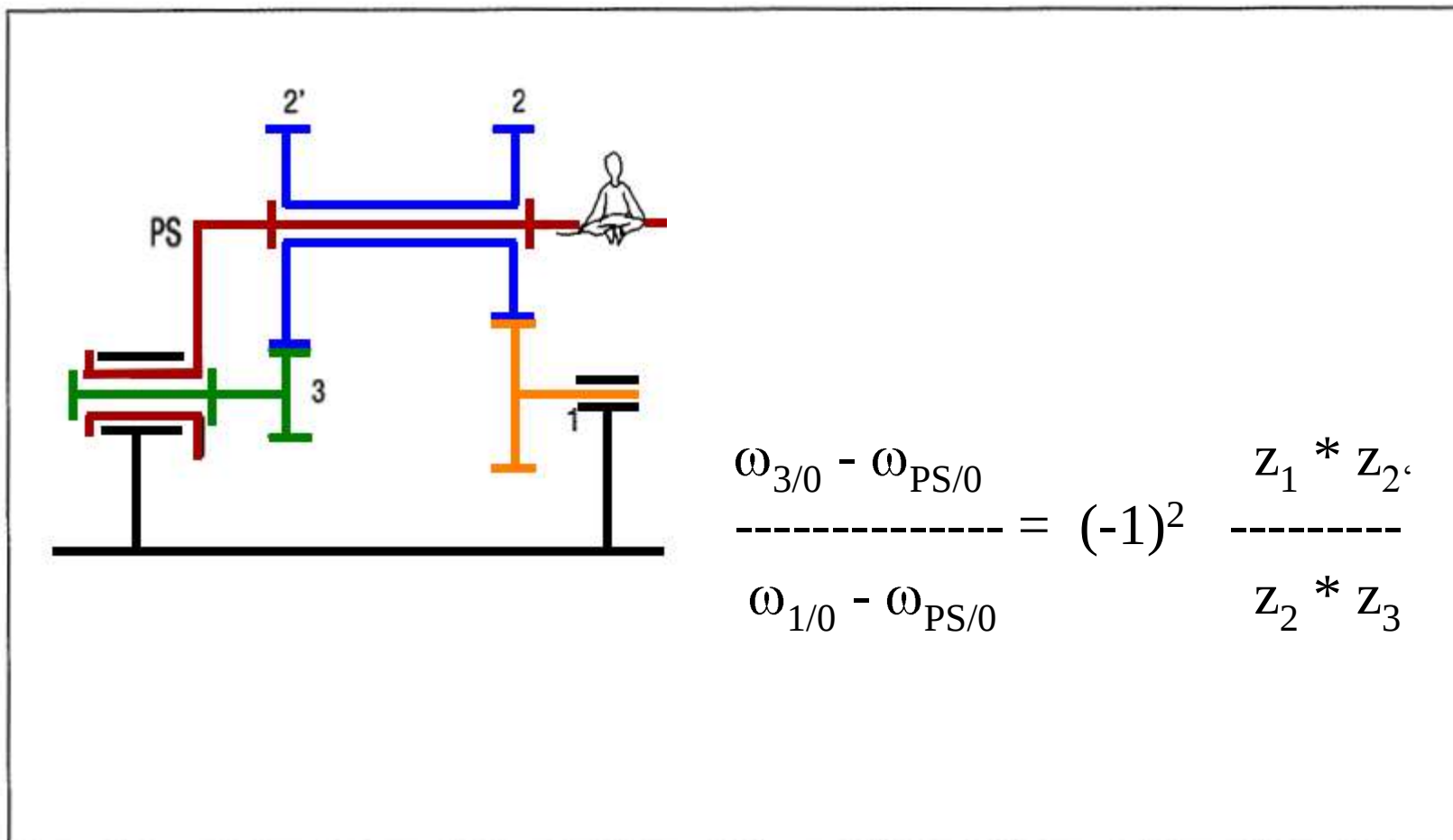
On prend indifféremment 1 ou 4 comme entrée ou sortie. Cela ne changera pas la loi d'entrée-sortie.

$$\frac{\omega_{4/0} - \omega_{PS/0}}{\omega_{1/0} - \omega_{PS/0}} = (-1)^2 \frac{z_1 * z_3}{z_2 * z_4}$$

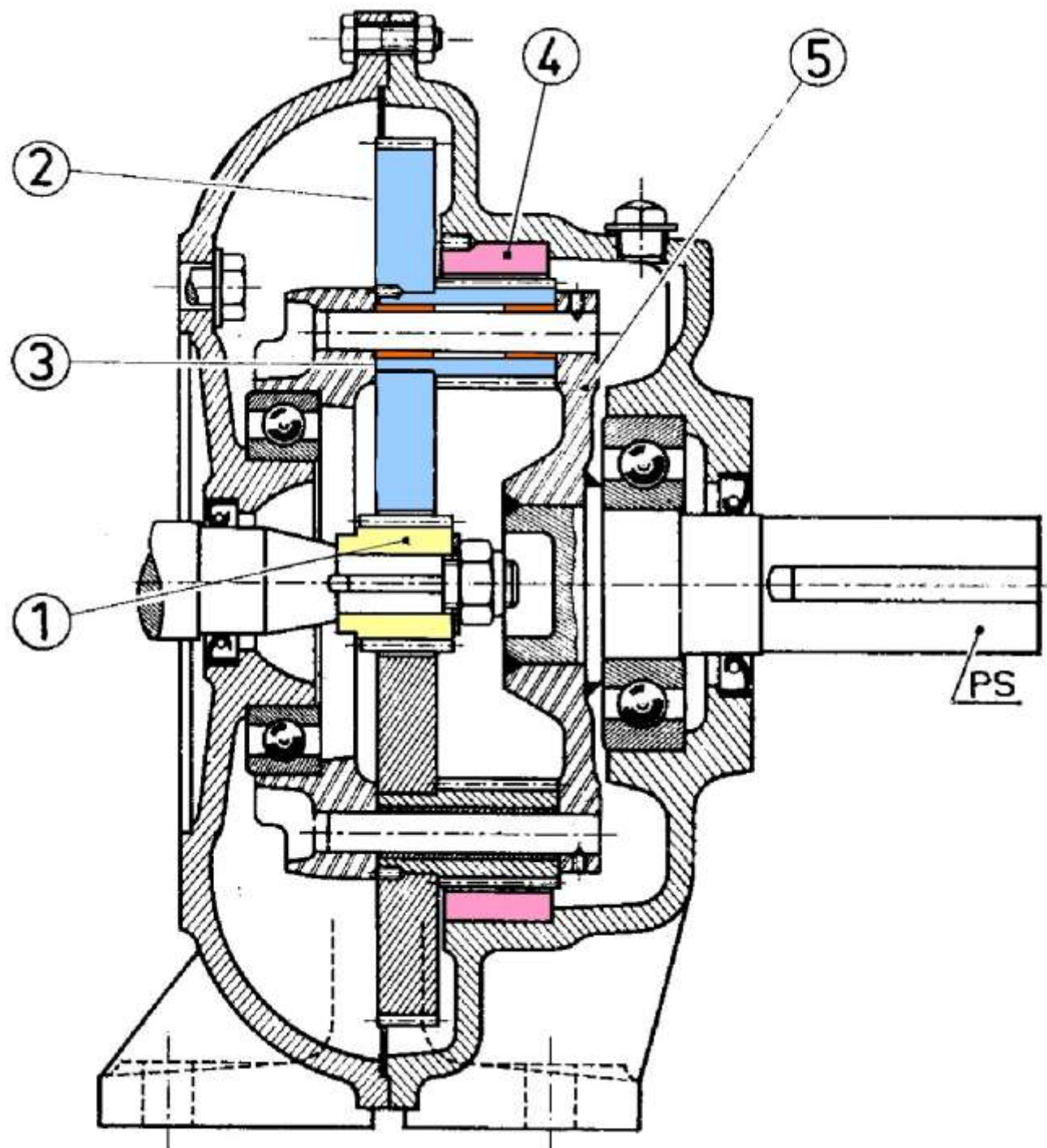
Ici le pignon 1 est fixe par rapport au bâti $\Rightarrow$

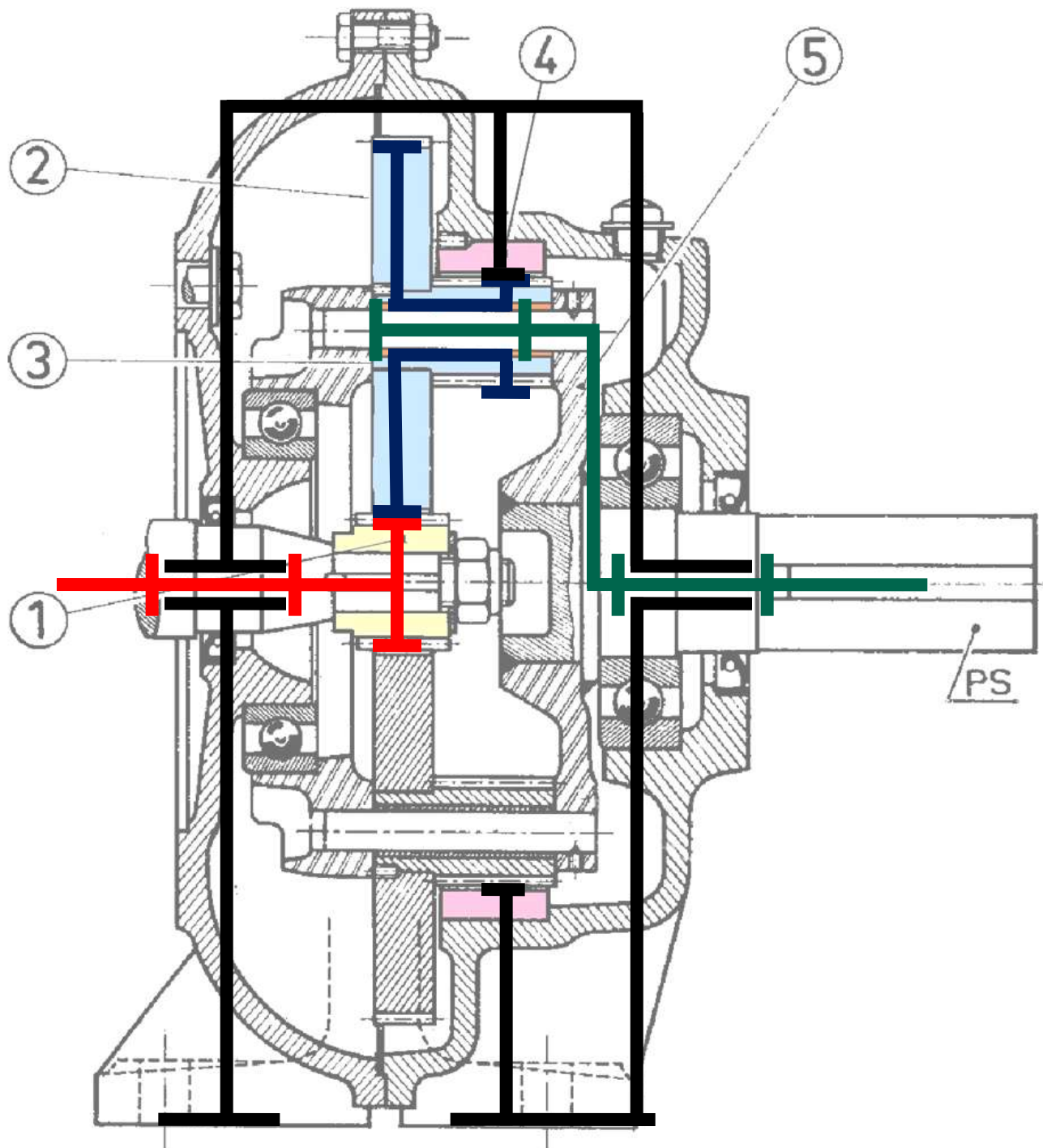
$$\omega_{4/0} = \omega_{PS/0} (1 - z_1 \cdot z_3 / z_2 \cdot z_4)$$

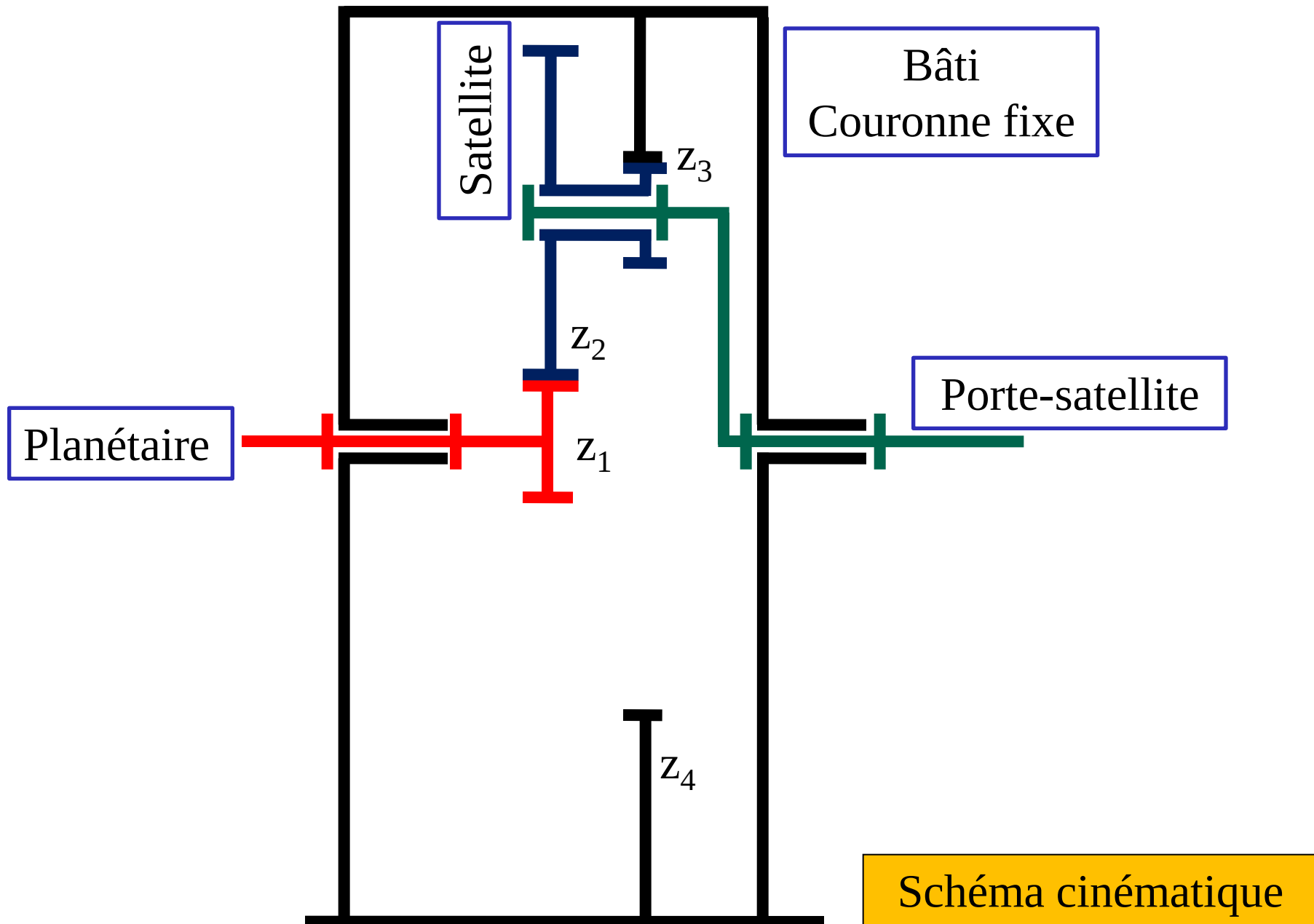




12. Trains épicycloïdaux avec satellite à deux roues.

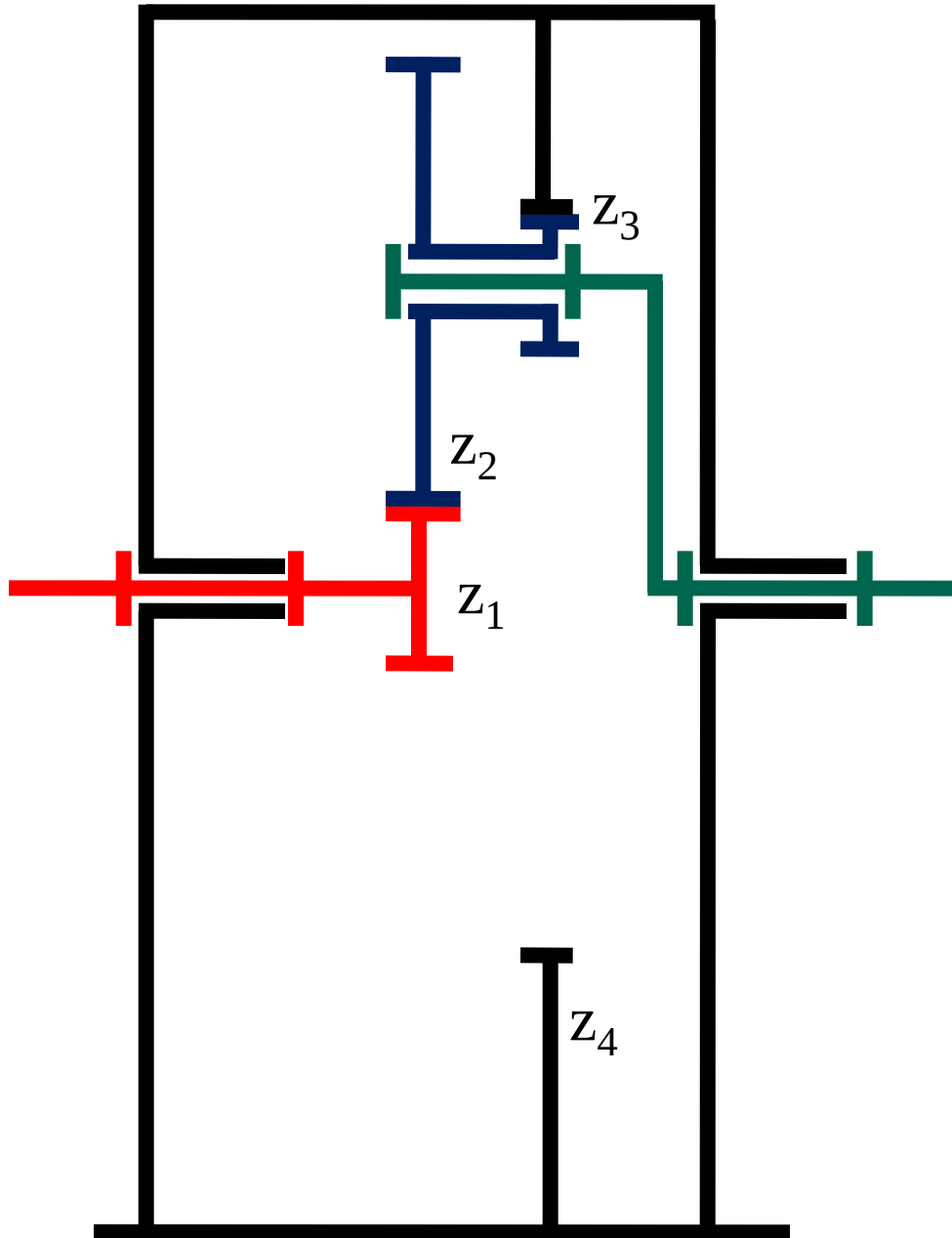






Par rapport au satellite

...



Dans le cas du train épicycloïdal ci-dessous :

$$P_e = C_{\text{moteur}} \cdot \omega_1$$

$$P_s = C_{PS} \cdot \omega_{PS}$$

$$\text{si } z_1 = 24, z_2 = 40, z_3 = 104.$$

$$\omega_1 > 0$$

Pour un observateur sur PS

$$\omega_{1/PS} / \omega_{3/PS} = (-1)^1 z_3 z_2 / z_2 z_1$$

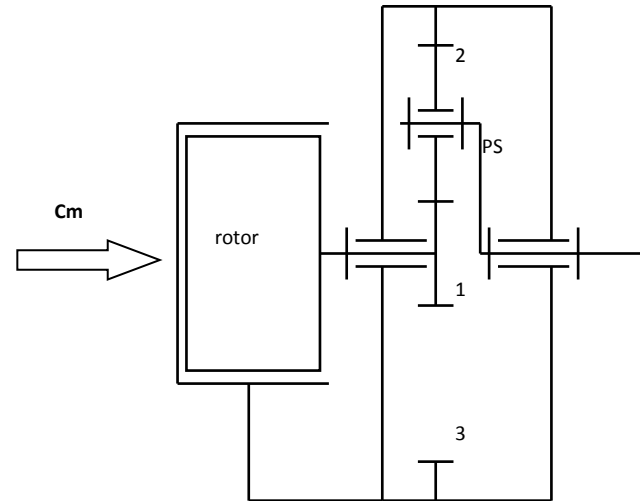
$$(\omega_1 - \omega_{PS}) / (\omega_3 - \omega_{PS}) = - z_3 / z_1$$

$$\omega_1 = \omega_{PS} (1 + z_3 / z_1)$$

$$\text{A.N. : } \omega_1 = \omega_{PS} (1 + 4,33)$$

$$\omega_{PS} = (1/5,33) \omega_1$$

$$C_{PS} = 5,33 \eta_{\text{réducteur}} C_{\text{moteur}}$$



Applications :

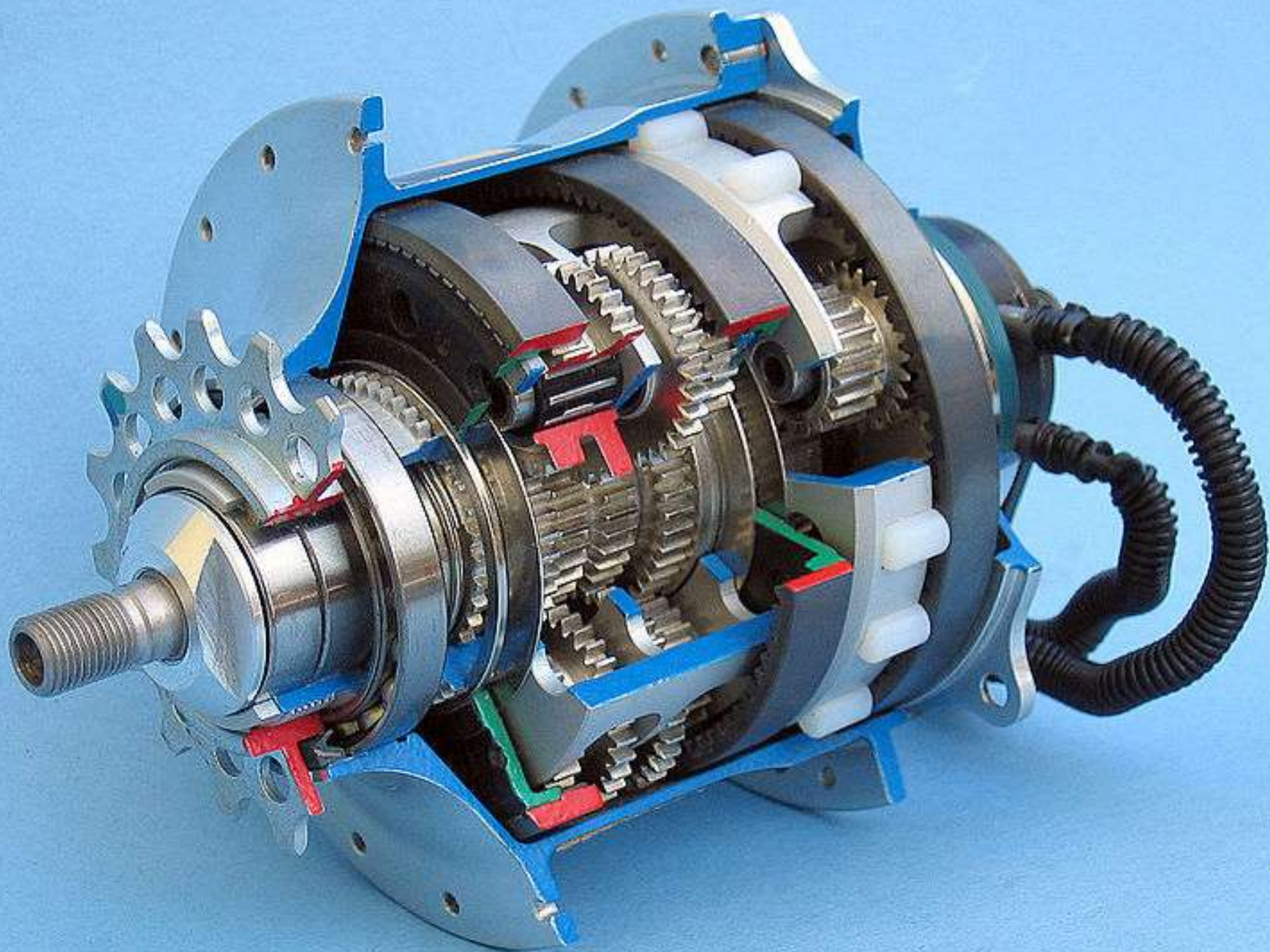
Réducteurs compacts et à grand rapport.

Ponts différentiels, plan et sphériques.

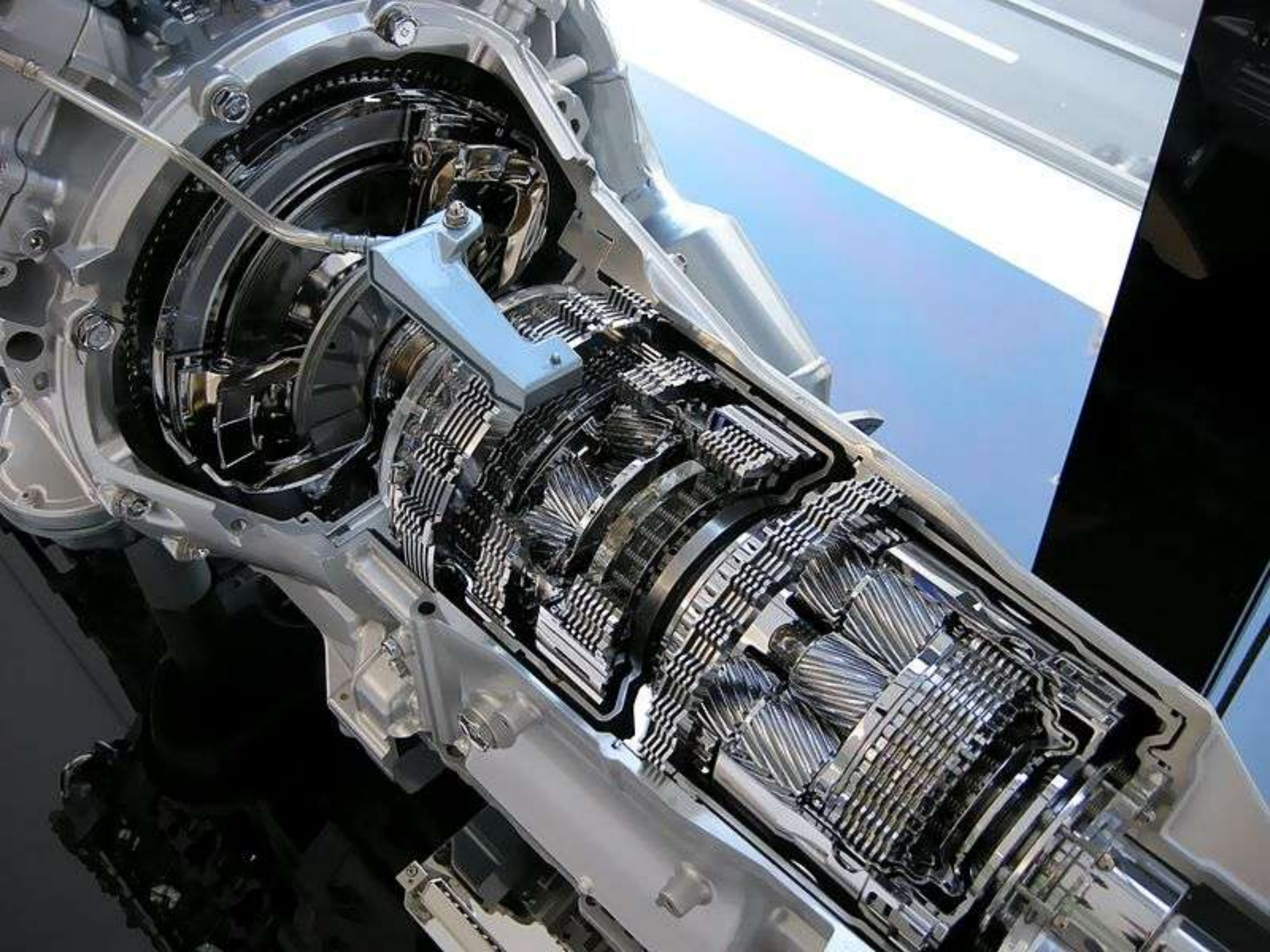
Boîtes de vitesse automatiques.

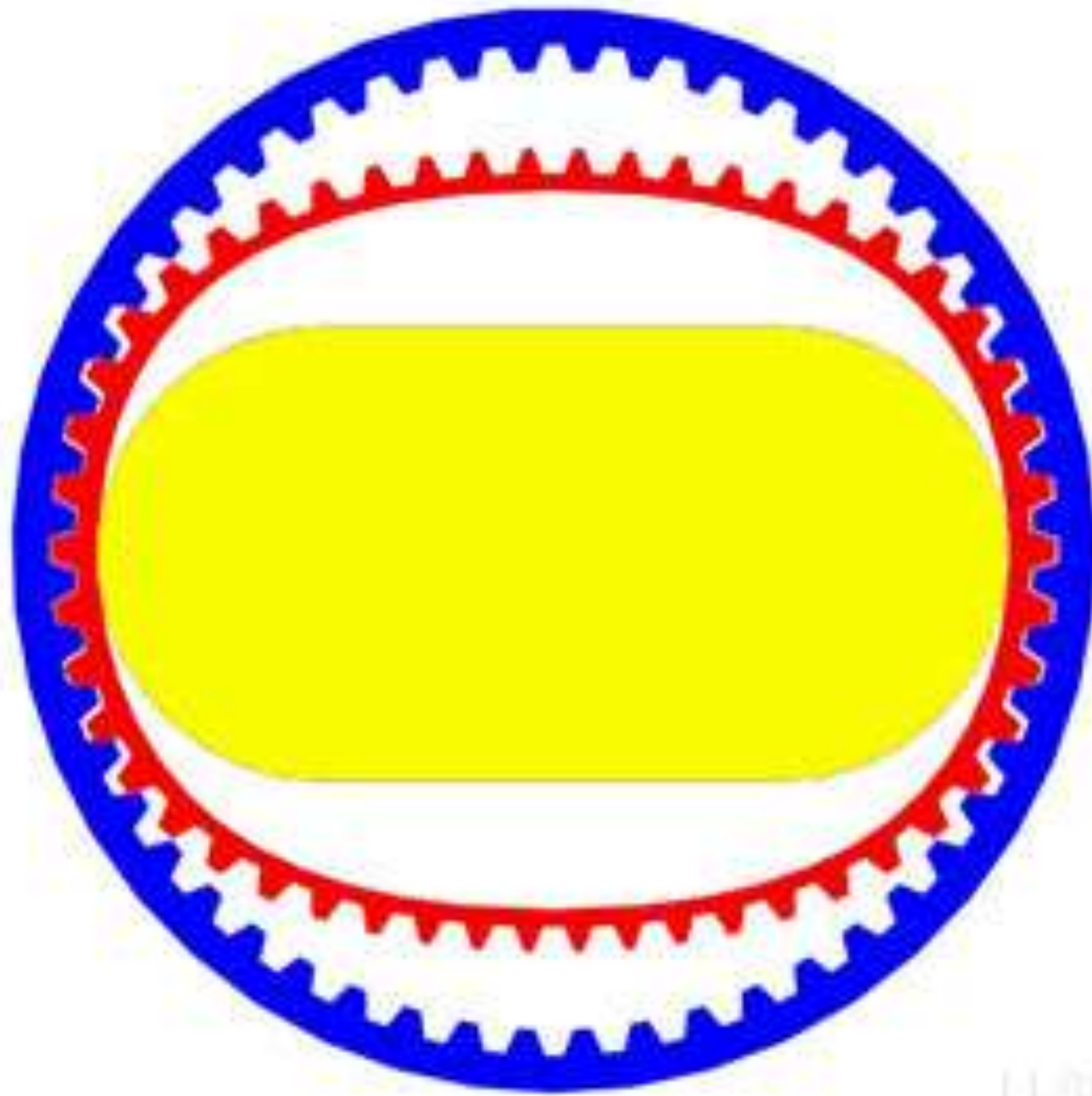
Réducteurs spéciaux (exemple, 1 tour par an).

Articulations de robots, Harmonic drive, ...









Transmission des voitures hybrides

Toujours empruntée à Lexus, l'architecture de transmission aux roues arrière est constituée comme celle d'une Toyota Prius d'un train épicycloïdal et de deux moteurs électriques. Il n'y a donc pas de boîte de vitesses à proprement parler mais une transmission à variation continue pouvant néanmoins simuler des rapports discrets. Cette architecture fait donc de l'Elite une sportive « Full Hybride », c'est-à-dire capable de rouler en



Lotus « Elite »

Passons maintenant au calcul des efforts de denture

