

RÉDUCTEURS DE VITESSE À ENGRENAGES

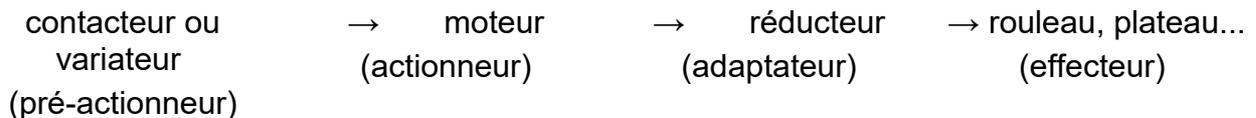
Table des matières

1	Fonction du réducteur de vitesse.....	2
1.1	Chaîne fonctionnelle électrique.....	2
1.2	Moteurs électriques.....	2
	Les moteurs à courant alternatif.....	2
	Les moteurs à courant continu.....	2
2	Principes de fonctionnement.....	3
2.1	Conséquences du roulement sans glissement.....	3
2.2	Utilisation d'obstacles.....	3
2.3	Profil des dents.....	4
2.4	Transmission de l'effort.....	4
	Droite de poussée.....	4
	Transmission de la puissance.....	4
2.5	Autres grandeurs caractéristiques.....	4
3	Configurations des réducteurs.....	5
3.1	Réducteurs élémentaires.....	5
3.2	Train simple d'engrenages.....	5
3.3	Réducteur à vis.....	6
3.4	Train épicycloïdal.....	6
4	Transformation de mouvement par pignon crémaillère.....	7

1 Fonction du réducteur de vitesse

1.1 Chaîne fonctionnelle électrique

Dans une chaîne fonctionnelle électrique, le réducteur se place entre le moteur (actionneur) et le composant à faire tourner (effecteur : rouleau de convoyeur, plateau, tambour de treuil...). Le réducteur joue le rôle d'adaptateur.



Sa fonction est d'adapter l'énergie fournie par le moteur en faisant varier le couple C et la vitesse de rotation ω .

Pour une puissance P donnée, le produit $C \times \omega$ est constant.

1.2 Moteurs électriques

Les deux types de moteurs électriques les plus courants sont :

Les moteurs à courant alternatif

Leur vitesse de rotation nominale N_n dépend du nombre de pôles et de la fréquence du courant.

A 50 Hz les vitesses de rotation sont les suivantes :

2 pôles : 3000 tr/min 4 pôles : 1500 tr/min 6 pôles : 1000 tr/min 8 pôles : 750 tr/min

Par action sur la fréquence du courant d'alimentation au moyen d'un variateur, on peut faire varier la vitesse de rotation autour de N_n , mais ni en deçà de $\frac{1}{2} N_n$ ni au delà de $2 N_n$.



Les moteurs à courant continu

Leur vitesse de rotation nominale N_n dépend de leur taille. Elle peut varier de 500 à 15000 tr/min. Elle est variable par action sur la tension d'alimentation U mais là encore ni en deçà de $\frac{1}{2} N_n$ ni au delà de $2 N_n$. A noter que le couple du moteur C_{max} varie également en fonction de la tension d'alimentation U .



En conclusion, il n'y a pas de solution d'entraînement direct par le moteur pour $N < 250$ tr/min

2 Principes de fonctionnement

2.1 Conséquences du roulement sans glissement

Au contact entre deux roues 1 et 2, si on suppose qu'il n'y a pas de glissement entre elles, on a la relation :

$$\vec{V}(I,2/0) = \vec{V}(I,1/0)$$

Étant donné que :

$$\|\vec{V}(I,2/0)\| = -\omega_{2/0} \times r_2$$

et que

$$\|\vec{V}(I,1/0)\| = \omega_{1/0} \times r_1$$

On calcule le rapport de transmission k

$$k = \omega_{2/0} / \omega_{1/0} = -r_1 / r_2 = -d_1 / d_2$$

où d1 et d2 sont les diamètres des deux roues.

2.2 Utilisation d'obstacles

Pour garantir l'absence de glissement, même en cas de couple important, on ajoute des obstacles sur les roues (dents).

Soit p le pas entre deux dents. Ce pas doit être le même sur les deux roues pour qu'il y ait engrenement.

Si d1 et d2 sont les diamètres des roues lisses équivalentes, z1 et z2 le nombre de dents présentes sur chaque roues, on a les relations :

$$p z_1 = \pi d_1 \text{ \& } p z_2 = \pi d_2 \text{ (périmètre)}$$

ou bien :

$$d_1 = p z_1 / \pi \text{ \& } d_2 = p z_2 / \pi$$

On utilise le module m pour s'affranchir de π :

$$m = p / \pi$$

On a alors les relations :

$$d_1 = m z_1 ; d_2 = m z_2$$

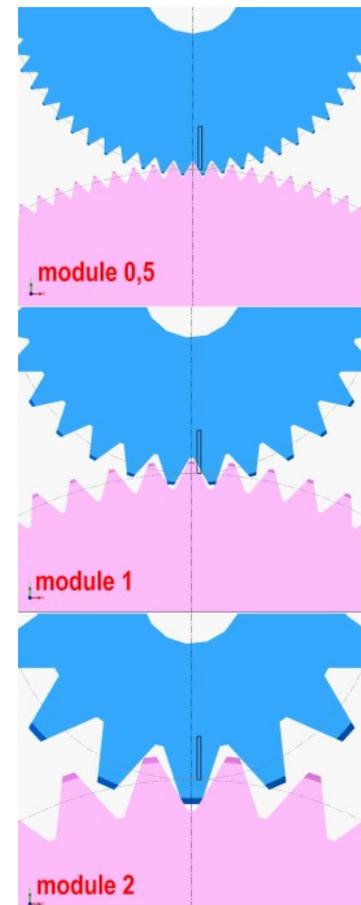
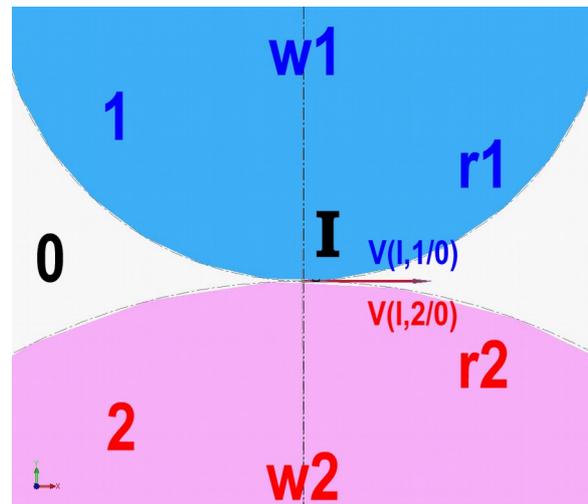
d1 et d2 sont appelés diamètres primitifs des roues.

Le module est représentatif de la taille des dents et donc de leur résistance. Il prend des valeurs standard :

$$m = 0.5, 0.6, 0.8, 1, 1.5, 2, 2.5 \dots$$

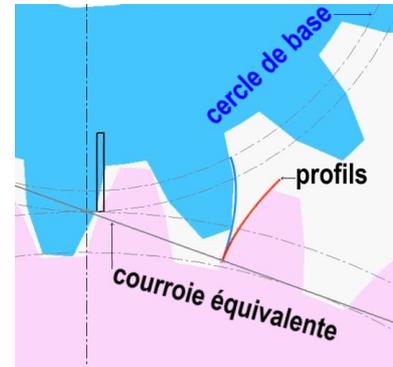
Le rapport de transmission peut s'écrire en fonction du nombre de dents :

$$k = -z_1 / z_2$$



2.3 Profil des dents

Un bon profil de denture doit assurer un fonctionnement sans à-coups (transmission homocinétique). Le point de contact entre les dents doit alors avoir la même trajectoire que le point d'une courroie qui s'enroulerait sur les cercles de base. Le profil généré ainsi s'appelle profil en développante de cercle.



2.4 Transmission de l'effort

Droite de poussée

La direction de l'effort au contact entre les dents est constante et dépend de leur profil. On adopte généralement une inclinaison $\alpha = 20^\circ$. C'est l'inclinaison de la courroie équivalente qui a servi à générer les profils des dents. On parle de droite de poussée. Cet angle α doit être pris en compte lors du calcul des efforts qui s'exercent sur l'arbre et ses guidages.

Transmission de la puissance

Si on ne prend pas en compte le frottement dans l'engrenage :

$$P_{\text{sortie}} = P_{\text{entrée}}$$

$$\Rightarrow C_{\text{sortie}} \omega_{\text{sortie}} = C_{\text{entrée}} \omega_{\text{entrée}}$$

$$\Rightarrow C_s / C_e = \omega_e / \omega_s = 1 / k$$

Si on prend en compte le frottement dans l'engrenage :

$$P_s = \eta P_e$$

$$\Rightarrow C_s \omega_s = \eta C_e \omega_e$$

$$\Rightarrow C_s / C_e = \eta \omega_e / \omega_s = \eta / k$$

Le rendement joue toujours sur le couple et jamais sur la vitesse. Il n'y a pas de perte par glissement dans un engrenage.

exemple : $k = 1/2$ & $\eta = 0,9 \Rightarrow \omega_s = 1/2 \omega_e$; $C_s = 2 \times 0,9 \times C_e = 1,8 C_e$

2.5 Autres grandeurs caractéristiques

La largeur de dent $b = k m$ détermine la résistance de la denture. On adopte $6 < k < 10$.

Le diamètre de tête $d_a = d + 2 m$ détermine l'encombrement (d diamètre primitif).

L'entraxe $e = (d_1 + d_2) / 2$ permet de disposer les axes convenablement.

Les fournisseurs utilisent souvent le rapport de réduction $1 / k$ au lieu du rapport de transmission k .

3 Configurations des réducteurs

3.1 Réducteurs élémentaires

L'engrenage peut être extérieur :

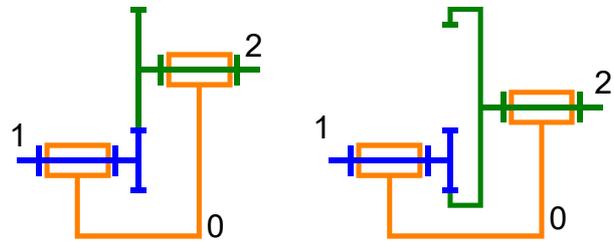
$$\omega_2 / \omega_1 = - z_1 / z_2$$

ou intérieur (essoreuse à salade) :

$$\omega_2 / \omega_1 = z_1 / z_2$$

Le rendement est approximativement de 0,9

(dents taillées et fonctionnement à sec) à 0,98 (dents rectifiées & fonctionnement lubrifié).



On limite le rapport d'un engrenage à $k_{\text{mini}} = 1 / 7$ (pour des problèmes d'encombrement et d'engrènement).

Ces réducteurs ont une faible réduction mais un bon rendement.

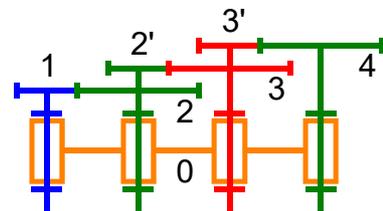
Références	Rapport	Vitesse maxi. d'entrée (t/min)	Vitesse maxi. de sortie (t/min)	Rendement pour 1000 t/min	Stock*	Prix Uni. 1 à 2
FF10-2	2:1	2000	1000	93%	✓	290,57 €
FF10-3	3:1	2000	666	93%	-	290,57 €
FF10-4	4:1	2000	500	93%	-	290,57 €
FF10-5	5:1	2000	400	93%	✓	290,57 €
FF10-6	6:1	2000	333	93%	-	290,57 €
FF10-7	7:1	2000	285	93%	-	290,57 €
FF10-XH	2:1 - 7:1	(Avec engrenages trempés = couple x 2)		-	-	513,61 €



3.2 Train simple d'engrenages

Plusieurs engrenages en série constituent un train de n engrenages. Le rapport de transmission en est le produit des n rapports de transmission élémentaires k_e .

$$k = \omega_4 / \omega_1 = \omega_4 / \omega_3 \times \omega_3 / \omega_2 \times \omega_2 / \omega_1 \\ = -z_3' / z_4 \times -z_2' / z_3 \times -z_1 / z_2$$



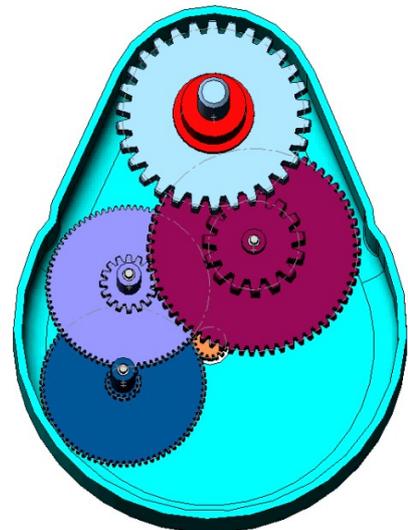
On limite le rapport d'un engrenage à $k_{e \text{ mini}} = 1 / 5$

Exemple : $k_e = 1/5$; $n = 3 \Rightarrow k = 1/5^3 = 1 / 125$

Le rendement est le produit des rendements de chaque engrenage : $\eta = 0,95 \times 0,95 \times 0,95 = 0,857$

Ces réducteurs permettent une grande réduction avec un bon rendement mais pour un prix élevé et un jeu angulaire important dans l'arbre de sortie (3 à 6°).

Références	Rapports	Vitesse maxi. d'entrée (t/min)	Vitesse maxi. de sortie (t/min)	Rendement pour 1000 t/min	Sens de rotation en Sortie/Entrée	Prix J
J53-140 XJ53-140	140:1	4000	29	85%	Même	625,81 €
J53-160 XJ53-160	160:1	4000	25	85%	Même	625,81 €
J53-200 XJ53-200	200:1	4000	20	85%	Même	625,81 €
J53-300 XJ53-300	300:1	4000	13	85%	Même	625,81 €
J53-400 XJ53-400	400:1	4000	10	85%	Même	625,81 €
J53-500 XJ53-500	500:1	4000	8	85%	Même	625,81 €
J53-625 XJ53-625	625:1	4000	6,40	85%	Même	625,81 €
J53-SP XJ53-SP	1:1 - 625:1	Rapports spéciaux de 1:1 à 625:1		-	-	715,35 €



3.3 Réducteur à vis

La rapport de transmission dépend du nombre f_1 de filets de la vis et du nombre z_2 de dents de la roue :

$$\omega_2 / \omega_1 = f_1 / z_2$$

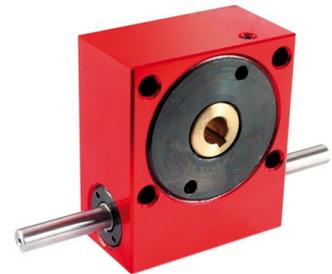
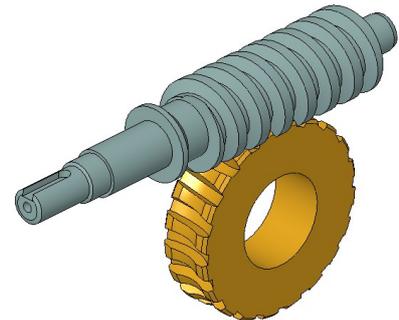
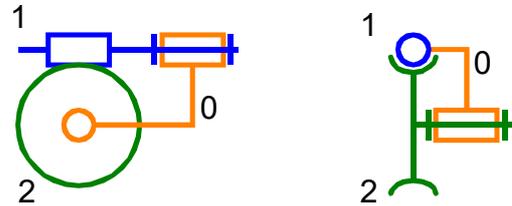
Exemple ci-contre : $k = 1 / 20$

Le frottements entre la vis et la roue entraîne un rendement faible qui dépend du rapport de transmission : de 0,3 (k petit et fonctionnement à sec) à 0,8 (k grand et fonctionnement lubrifié). La puissance est limitée du fait de l'échauffement engendré par ce mauvais rendement.

Pour un faible rapport de transmission le réducteur peut être irréversible, ce qui permet de bloquer la charge en l'absence de courant dans le moteur.

Ces réducteurs permettent une grande réduction au prix d'un rendement faible pour un prix bas.

Références	Rapport	Rendement pour 1000 t/min	Moment d'inertie en entrée (kg.m ²)	Irréversibilité	Stock*	Prix Uni. 1 à 2
P20-10	10:1	86%	$2,03 \times 10^{-7}$	NON	✓	273,87 €
P20-12	12:1	85%	$1,93 \times 10^{-7}$	NON	✓	273,87 €
P20-15	15:1	84%	$1,85 \times 10^{-7}$	NON	✓	273,87 €
P20-20	20:1	78%	$1,78 \times 10^{-7}$	NON	✓	273,87 €
P20-30	30:1	71%	$1,74 \times 10^{-7}$	NON	✓	273,87 €
P20-60	60:1	60%	$1,71 \times 10^{-7}$	OUI	✓	273,87 €
P20-120	120:1	32%	$1,50 \times 10^{-7}$	OUI	✓	273,87 €



3.4 Train épicycloïdal

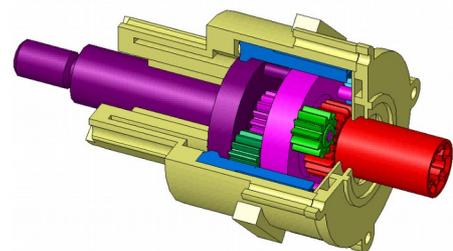
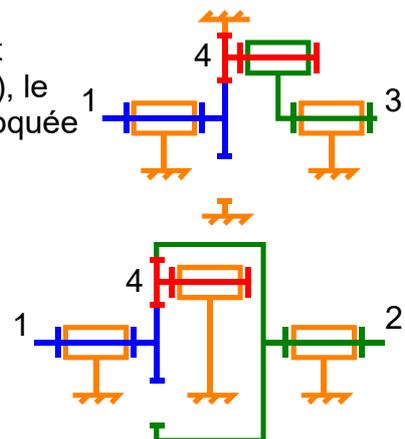
Ces réducteurs sont composés de 4 éléments potentiellement mobiles : L'arbre d'entrée (1), la couronne (2), le planétaire (3), le satellite (4). Deux configurations sont possibles : couronne bloquée ou planétaire bloqué donnant deux rapports de transmission différents.

En configuration couronne bloquée (la plus courante) :

$$\omega_3 / \omega_1 = z_1 / (z_1 + z_2)$$

Ces réducteurs ont un faible encombrement, un jeu réduit ($0^\circ 30'$), un bon rendement, mais un prix élevé.

Références	Rapport	Vitesse d'entrée maxi. (t/min)	Vitesse sortie maxi. (t/min)	Rendement à 1000 t/min	Sens de rotation en sortie/entrée	Prix Uni.
EHD04-3	3:1	4000	1333,33	92%	Même	505,87 €
EHD04-4	4:1	4000	1000,00	92%	Même	505,87 €
EHD04-5	5:1	4000	800,00	92%	Même	505,87 €
EHD04-6	6:1	4000	666,66	92%	Même	505,87 €



4 Transformation de mouvement par pignon crémaillère

Ce système de transformation de mouvement permet de transformer la rotation du pignon en translation de la crémaillère ou inversement.

$$v_c = r_p \times \omega_p$$

avec r_p : rayon primitif du pignon,
 ω_p sa vitesse de rotation (en rad/s)
 v_c la vitesse de la crémaillère.

Pignon et crémaillère doivent être de même module.

Le rendement de ce système est celui d'un réducteur élémentaire (0,9 à 0,98).

Il est utilisé dans les systèmes de levage et de motorisation d'axes linéaires.

