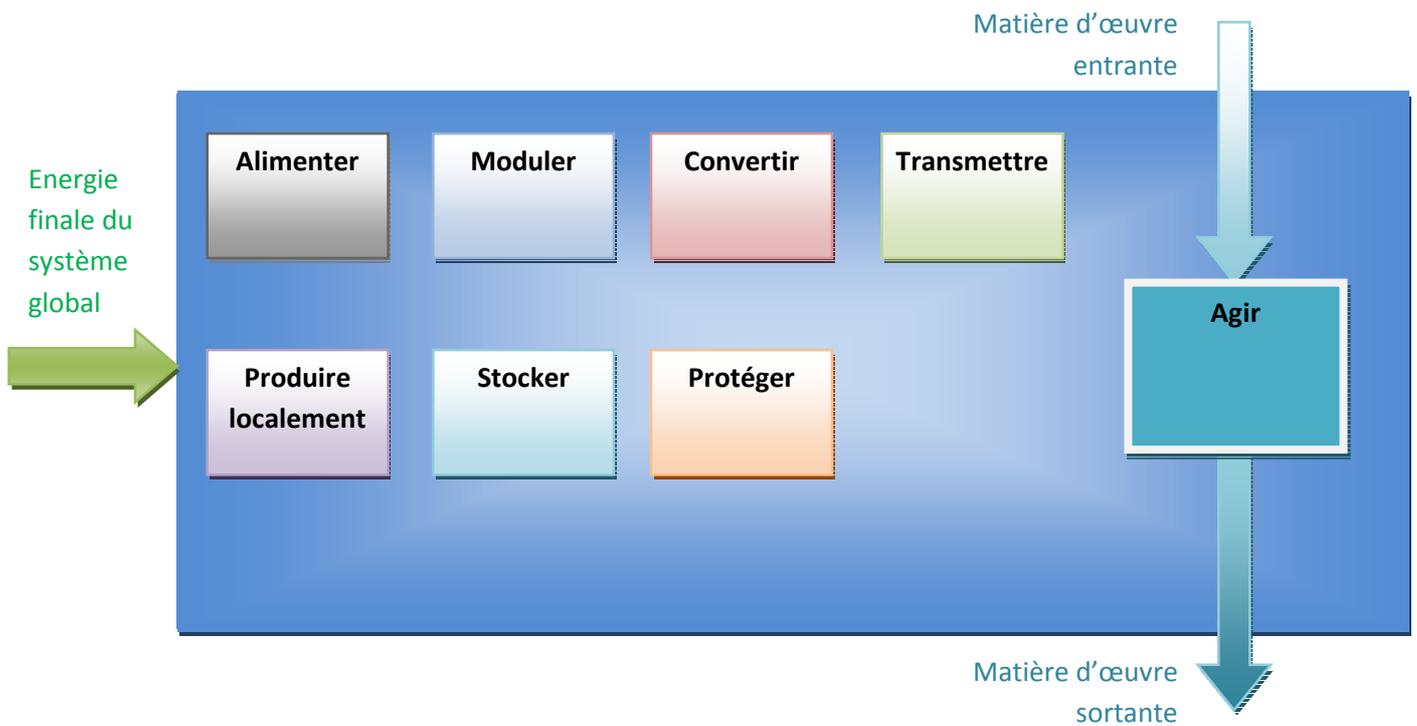




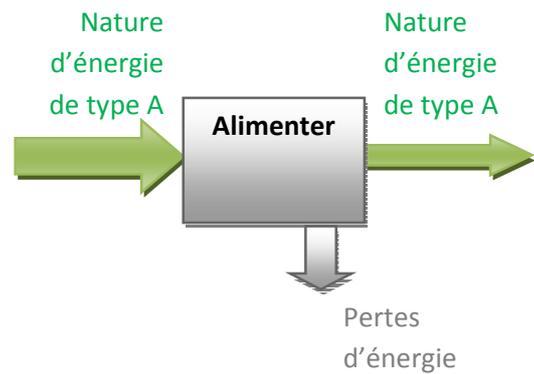
La chaîne d'énergie

1	Diagramme fonctionnel d'un système technique local	2
2	Les fonctions de la chaîne d'énergie	3
3	Alimenter en énergie.....	5
4	Stocker l'énergie.....	5
5	Protéger.....	6
6	Convertir l'énergie :.....	6
6.1	Actionneurs linéaires (obtenir un mouvement de translation)	6
6.1.1	Mouvement continu : moteur électrique linéaire	6
6.1.2	Mouvement alternatif : vérins pneumatiques ou hydrauliques	6
6.2	Actionneurs rotatifs (obtenir un mouvement de rotation)	7
6.2.1	Mouvement rotatif alternatif : vérin rotatif.....	7
6.2.2	Mouvement rotatif continu : moteur électrique	7
6.2.3	Mouvement rotatif continu : moteur pneumatique à palettes.....	8
7	Convertir l'énergie mécanique en énergie électrique :Génératrice	8
8	Convertir l'énergie électrique en énergie thermique: résistance chauffante	8
9	Convertir l'énergie électrique en énergie lumineuse: ampoule, led.....	9
10	Moduler l'énergie(piloter l'énergie) : Pré-actionneurs.....	9
10.1	Technologie électrique : relais	9
10.2	Technologie pneumatique : distributeur	9
	Commande d'un vérin à double effet par un distributeur 5/2 (5 orifices, 2 positions).....	10
10.3	Technologie hydraulique : électrovanne.....	10
11	Moduler l'énergie(varier l'énergie) : Pré-actionneurs	11
11.1	Variateur mécanique	11
11.2	Variateur électrique	11
12	Moduler l'énergie (réguler ou asservir)	11
13	Transmettre l'énergie pour agir sur la matière d'œuvre : Effecteurs.....	12
13.1	Réducteur à engrenage cylindrique	12
13.2	Réducteur à roue et vis sans fin	13
13.3	Train d'engrenages	13
13.4	Transmission par courroie	14
13.5	Transmission par chaîne.....	14
13.6	Transmission par roue de friction	14
13.7	Groupement de réducteurs.....	14

1 Diagramme fonctionnel d'un système technique local

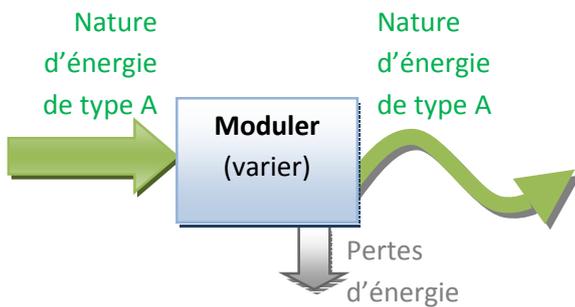


2 Les fonctions de la chaîne d'énergie

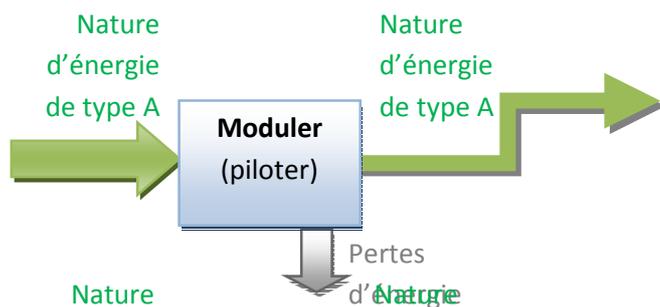


Cas particulier qui décrit une source d'énergie disponible à l'entrée du système isolé, sans tenir compte de la production de cette énergie.

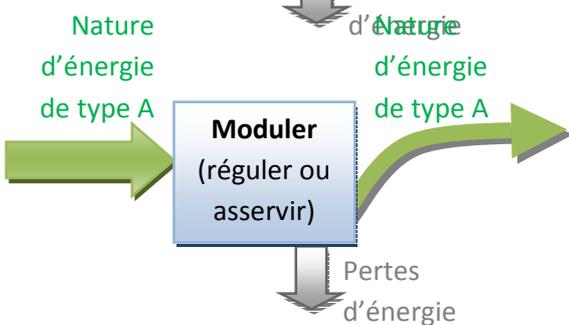
Exemples : transformateur électrique, régulateur pneumatique...



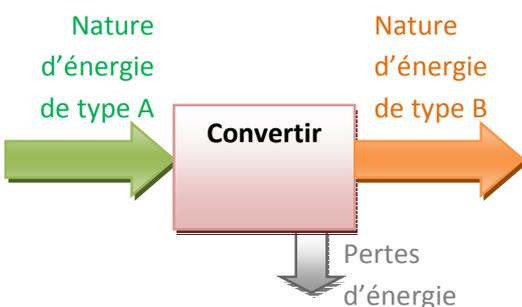
Exemple : variateur électrique



Exemple : Distributeur pneumatique, Contacteur électrique, Vanne hydraulique

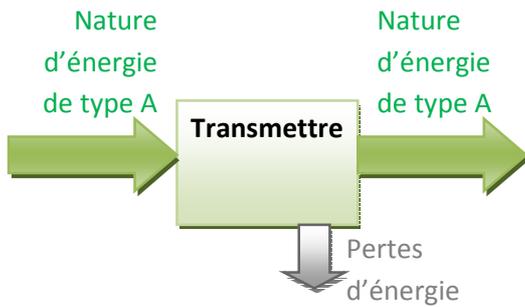


Exemple : Régulateur électrique



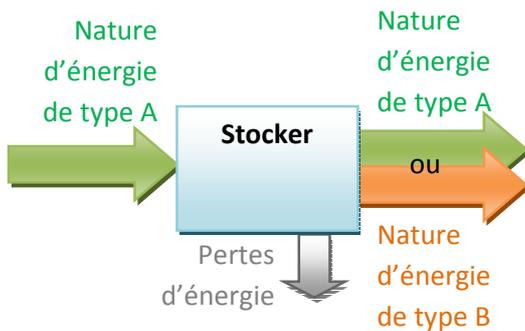
Fonction principale du système qui délivre l'énergie utile.

Exemples : générateur électrique (méca/élec), générateur thermique (élec/thermique), générateur de lumière (élec/lumière)...



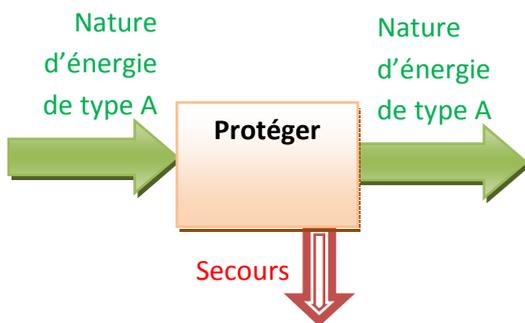
Cette fonction permet le transfert et l'adaptation d'une énergie, souvent du convertisseur vers l'effecteur.

Exemples : transmission mécanique (arbres, réducteurs, embrayages, accouplements,



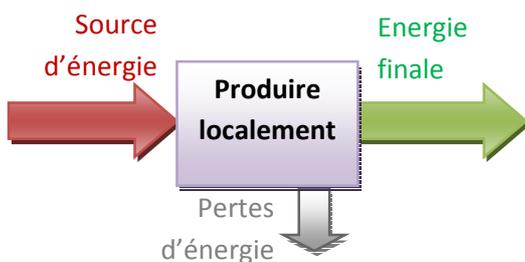
Cas particulier d'un transformateur qui permet de stocker de l'énergie (en changeant ou non de nature).

Exemples : réservoir hydraulique, super condensateur, ressort, ballon d'eau chaude...



Fonction particulière du système local protégeant les personnes et les biens de la dangerosité des énergies par rupture ou dérivation du flux d'énergie. Cette fonction n'induit généralement pas de pertes.

Exemples : disjoncteur électrique, sectionneur

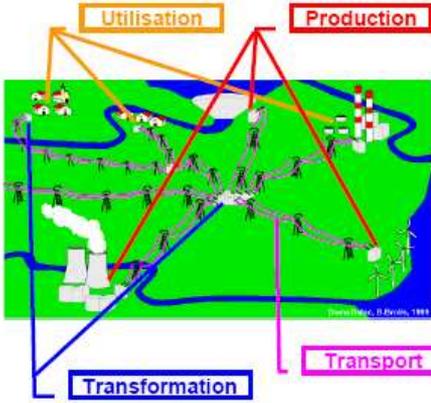
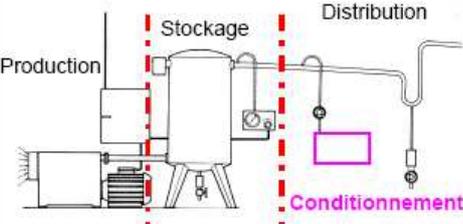
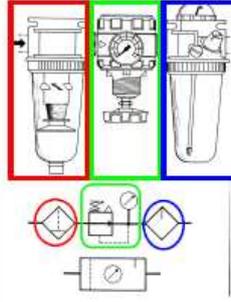
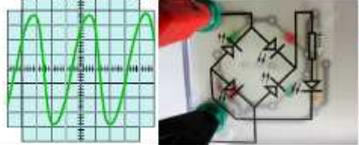
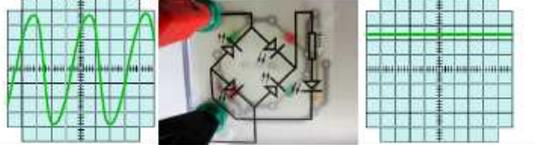


Fonction particulière du système local qui assure une production d'énergie locale pour un système en site isolé ou totalement autonome.

Exemples : unité photovoltaïque sur borne d'éclairage solaire ...

Annexes : Association entre sous ensembles fonctionnels et fonctions techniques :

3 Alimenter en énergie

Réseau électrique	Energie électrique locale	Energie pneumatique
<p>Le réseau électrique est divisé en lignes</p> <p>Très Haute Tension (THT) 400 000 volts 225 000 volts Transport d'énergie électrique à longue distance et international.</p> <p>Haute Tension (HT) 90 000 volts 63 000 volts Transport d'énergie électrique distant, industries lourdes, transport ferroviaire.</p> <p>Moyenne Tension (MT) 30 000 volts 20 000 volts 15 000 volts Transport d'énergie électrique, local, industries, PME, services, commerces.</p> <p>Basse Tension (BT) 400 volts, 230 volts Distribution d'énergie électrique, ménages, artisans.</p> 	<p>Energie chimique → Energie électrique</p> <p>Les piles non rechargeables.</p>  <p>Les accumulateurs sont rechargeables</p>  <p>Rayons solaires → Energie électrique</p> <p>Les photopiles transforment l'énergie solaire en énergie électrique.</p>  <p>Vent → Energie électrique</p> <p>Le vent anime en rotation un alternateur qui produit de l'énergie électrique.</p> 	<p>Système de production d'énergie pneumatique :</p>  <p>Système de conditionnement :</p>  <p>L'ensemble de conditionnement comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> un FILTRE élimine les impuretés solides et liquides un MANO-REGULATEUR qui permet de régler une pression stable. Un LUBRIFICATEUR qui pulvérise un brouillard d'huile assurant un graissage des éléments mobiles et une protection contre l'oxydation.
<p>Le transformateur</p> <p>Il agit sur la tension et permet, à partir d'un courant de tension 230V d'obtenir des tensions de 48V, 24V, 12V, 6V, 5V, ... etc.</p> 	<p>Le redresseur</p> <p>Il agit sur la forme du courant et permet, à partir d'un courant alternatif d'obtenir du courant continu.</p> 	

On parlera d'alimentation locale quand l'utilisation d'accumulateurs, les piles ... sera exploitée. Elle concerne donc plus particulièrement les systèmes à énergie embarquée.

4 Stocker l'énergie

Le stockage de l'énergie est directement lié à l'autonomie d'un produit. La quantité d'énergie stockée et la fréquence de rechargement sont les principaux critères de choix de cet organe.

- Stockage mécanique : ressort ou par énergie potentielle
- Stockage pneumatique : par accumulateur (réservoir sous pression)
- Stockage hydraulique : par énergie potentielle (principe des barrages)
- Stockage électrique : par condensateur, ou par batterie rechargeable (Li Po, MiNh, NiCd). Le problème des batteries NiCd est de devoir vider l'énergie résiduelle avant le rechargement.

5 Protéger

Le but de cet organe est de protéger les personnes et/ou les biens de toute « dérive du flux d'énergie ».

En pneumatique	 <p>soupape : limiter la pression</p>	 <p>sectionneur : couper l'énergie</p>	
En électricité	  <p>disjoncteur fusible : limiter le courant</p>	 <p>sectionneur : couper l'énergie</p>	Disjoncteur différentiel: protection contre le courant de court-circuit (surcharge forte)

6 Convertir l'énergie :

6.1 Actionneurs linéaires (obtenir un mouvement de translation)

6.1.1 Mouvement continu : moteur électrique linéaire

Utilisations : trains à propulsion magnétique ; actionneurs de tables de machines-outils à grandes vitesses.



6.1.2 Mouvement alternatif : vérins pneumatiques ou hydrauliques

Les pièces constituant le vérin sont symétriques de révolution. Soit p la pression d'alimentation (mesurée par rapport à la pression atmosphérique), D le diamètre du piston et d celui de la tige.

N.B. : l'unité de pression du système international est le Pascal noté Pa, et $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$.

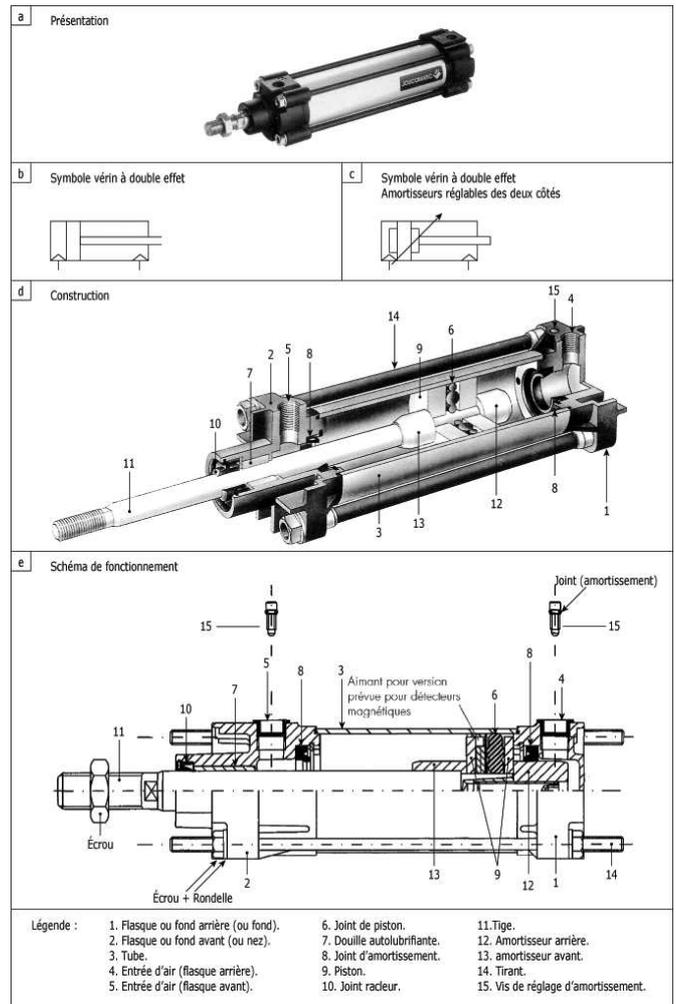
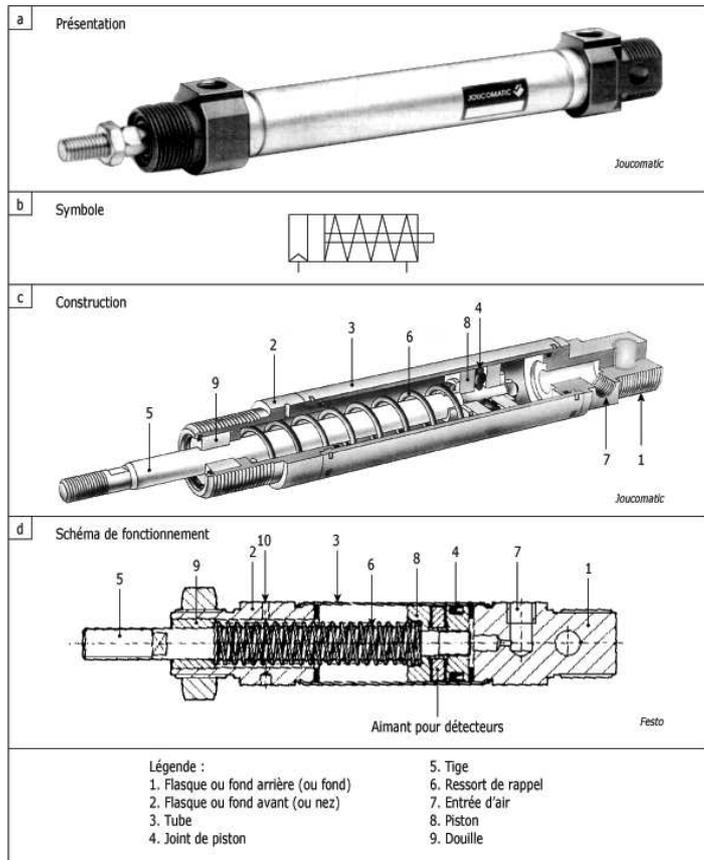
On utilise aussi le bar : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$.

La force délivrée par le fluide au piston pour sortir la tige vaut $F_s = p \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$

La force délivrée par le fluide au piston pour rentrer la tige vaut $F_r = p \cdot \pi \cdot \frac{D^2 - d^2}{4}$

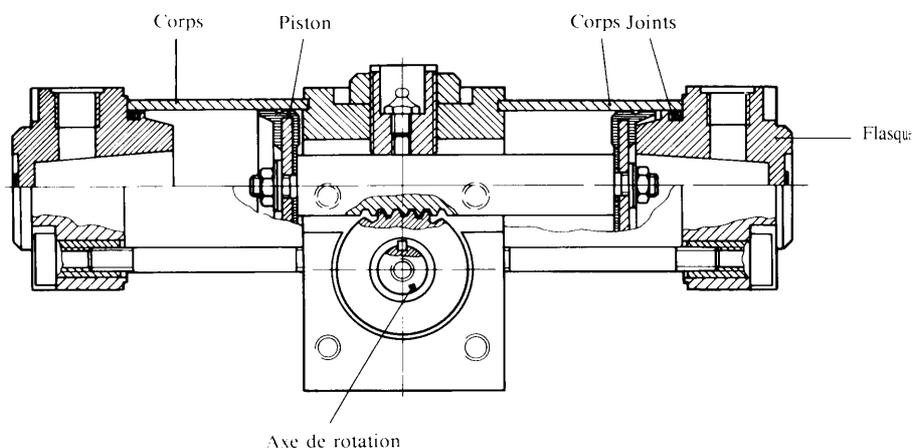
que dans un seul sens : la sortie de la tige. La rentrée de la tige s'effectue grâce au ressort de rappel.

les deux sens de fonctionnement :



6.2 Actionneurs rotatifs (obtenir un mouvement de rotation)

6.2.1 Mouvement rotatif alternatif : vérin rotatif



6.2.2 Mouvement rotatif continu : moteur électrique

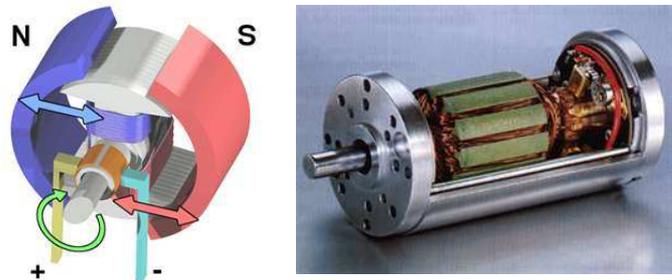
Utilisations extrêmement vastes : entraînement en rotation de machines industrielles, de transports, de biens de consommation, etc...

Principe de fonctionnement :

Les moteurs électriques les plus utilisés utilisent la force de Laplace : « lorsqu'un conducteur électrique parcouru par un courant, coupe un flux magnétique, il génère une action mécanique »

On distingue différentes **familles de moteurs électriques**, suivant le type de courant utilisé, et la manière dont le flux magnétique est généré :

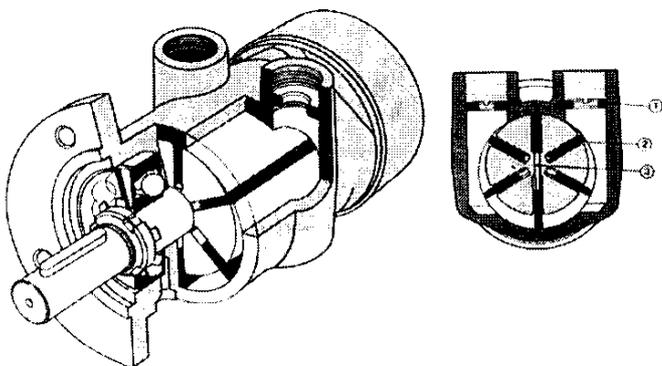
- moteur courant continu ;
- moteur synchrone
- Moteur pas à pas
- moteur asynchrone ;



Principe et photo d'un moteur à courant continu

Les moteurs électriques fournissent des mouvements de rotation rapides (de 1500 à 100000 tours par minute), mais de couple souvent trop faibles par rapport à la charge (quelques 10N.m), ce qui impose d'intercaler un réducteur entre le moteur et la charge.

6.2.3 Mouvement rotatif continu : moteur pneumatique à palettes



Ce type de moteur fournit des mouvements de rotation rapides (de 1000 à 100000 tours par minute), mais de couple faible (quelques N.m).

7 Convertir l'énergie mécanique en énergie électrique :Génératrice

Une génératrice de courant continu appelée populairement dynamo est comme beaucoup de générateurs électriques une machine tournante. Cette machine est réversible et peut donc fonctionner en génératrice ou en moteur.

8 Convertir l'énergie électrique en énergie thermique: résistance chauffante

La résistance chauffante permet de transformer l'énergie électrique en énergie thermique



exemple d'un thermoplongeur dans une machine à laver le linge

9 Convertir l'énergie électrique en énergie lumineuse: ampoule, led...



Composées de souvent plusieurs diodes électroluminescentes haute luminosité, d'une durée de vie très importante (50 000 heures) les lampes à diodes commencent à remplacer les lampes à incandescence dans l'éclairage portatif et pour la signalisation. Leur coût encore élevé, la nécessité de l'emploi d'alimentation électrique spécifique (courant continu de basse tension) et leur rendement lumineux encore modeste (50 lm/W pour les meilleures sources) limitent encore leur démocratisation face aux lampes à filaments. Aujourd'hui la diode a majoritairement remplacé la lampe à incandescence par exemple sur les voitures de luxe et de dernières générations. C'est d'autant plus vrai que

les nouvelles lampes portatives sont aujourd'hui vendues uniquement en LED ce qui permet une meilleure autonomie et longévité. De plus, ces lampes ont une consommation 40% inférieure à celles incandescentes.

10 Moduler l'énergie(piloter l'énergie) : Pré-actionneurs

Aux ordres de commande, ils distribuent l'énergie à l'actionneur. Leur technologie est donc imposée par celle de l'actionneur.

10.1 Technologie électrique : relais

C'est un interrupteur qui distribue (pilote) l'énergie électrique à un actionneur électrique sur un ordre électrique de faible puissance émis par la Partie Commande (PC).

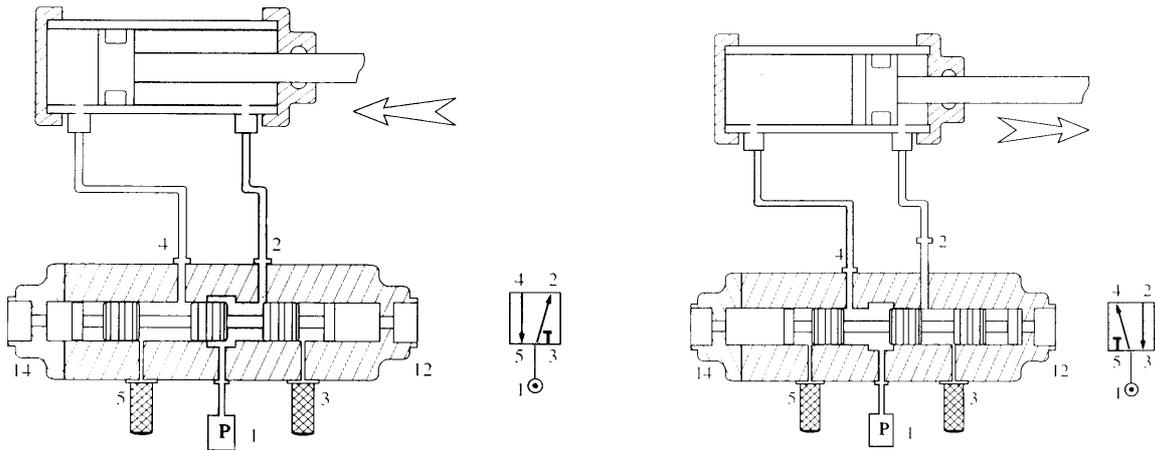
Principe : une bobine reçoit l'ordre électrique émis par la PC. Il en découle une force électromagnétique, qui déplace une lame conductrice, ce qui ferme un interrupteur, laissant passer la puissance vers l'actionneur.

10.2 Technologie pneumatique : distributeur

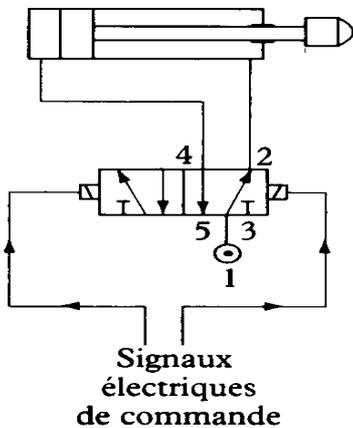
C'est une vanne qui distribue l'énergie pneumatique à un actionneur pneumatique sur un ordre électrique (ou parfois pneumatique) de faible puissance.

Principe : une bobine reçoit l'ordre électrique émis par la PC. Il en découle une force électromagnétique, qui déplace un élément appelé tiroir, qui peut coulisser dans le corps du distributeur. Selon sa position, ce tiroir met en communication les différents orifices du distributeur, laissant passer l'air comprimé vers l'actionneur.

Commande d'un vérin à double effet par un distributeur 5/2 (5 orifices, 2 positions)



Représentation symbolique normalisée :

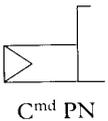


Les 5 orifices du distributeur sont numérotés :
1 est l'alimentation sous pression, 3 et 5 sont les échappements (mise à pression atmosphérique), 2 et 4 sont reliés aux deux chambres du vérin.

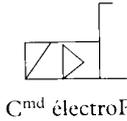
La représentation symbolique d'un distributeur comporte deux cases qui peuvent être actives ou inactives.

Le distributeur peut être commandé par un ordre pneumatique, électrique, ou les deux :

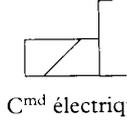
C^{md} : commande



C^{md} PN



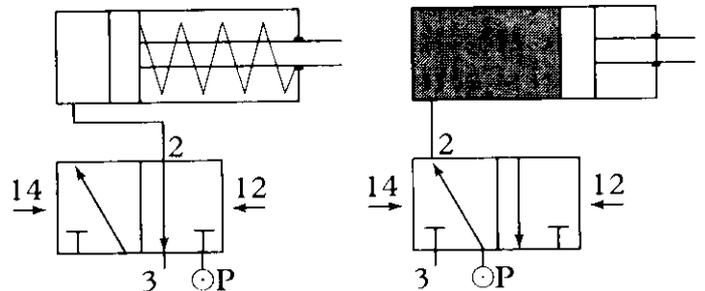
C^{md} électroPN



C^{md} électrique

Pour commander un vérin simple effet, un distributeur 3/2 (3 orifices, 2 positions), est nécessaire :

Ces distributeurs et ces vérins pneumatiques fonctionnent en Tout Ou Rien, c'est à dire que l'ordre est binaire, et ne peut être que « rentrer la tige » ou « sortir la tige ».



On ne peut donc pas demander de positionnement ni de vitesse précis en technologie pneumatique.

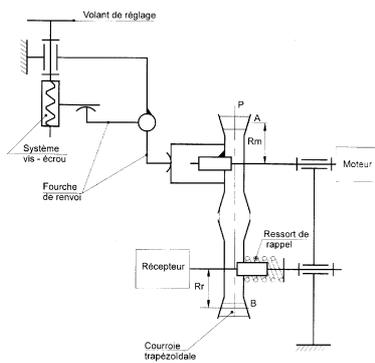
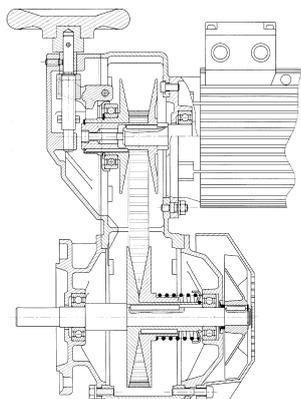
10.3 Technologie hydraulique : électrovanne

C'est une vanne qui distribue l'énergie hydraulique à un actionneur hydraulique sur un ordre électrique de faible puissance. Le principe est le même que celui d'un distributeur.

Intérêt de l'énergie hydraulique : le fluide utilisé est incompressible, ce qui permet de commander précisément les positions et les vitesses des actionneurs qu'elle contrôle. Ceci nécessite des vannes proportionnelles, qui laissent passer des débits plus ou moins grands, selon la vitesse demandée.

11 Moduler l'énergie(varier l'énergie) : Pré-actionneurs

11.1 Variateur mécanique



Les variations possibles d'écartement des poulies motrices et réceptrices permettent de faire varier la fréquence de rotation de sortie de ce variateur mécanique

11.2 Variateur électrique

Un **variateur de vitesse** est un dispositif électronique destiné à commander la vitesse d'un moteur électrique.



Dans un moteur à courant alternatif, la vitesse mécanique du rotor est liée à la fréquence des courants au stator. Ce lien mathématique rend possible une commande de la vitesse du rotor par la commande de la fréquence du courant au stator. C'est ce que l'on appelle la condition de synchronisme qui s'exprime différemment selon que l'on considère une machine synchrone ou une machine asynchrone.

Ainsi, il existe une relation directe entre le pilotage de la fréquence du courant au stator et la vitesse mécanique du rotor qui permet, pour toute vitesse mécanique souhaitée, de fixer la fréquence statorique correspondante. C'est sur ce principe que se base le fonctionnement du variateur de vitesse : commander une vitesse de rotation mécanique en commandant la fréquence du courant statorique.

12 Moduler l'énergie (réguler ou asservir)



Un **régulateur de tension**, est un organe électrotechnique ou un composant électronique qui maintient, dans certaines limites, à sa sortie une tension constante, indépendamment, de la charge et de la tension d'entrée.

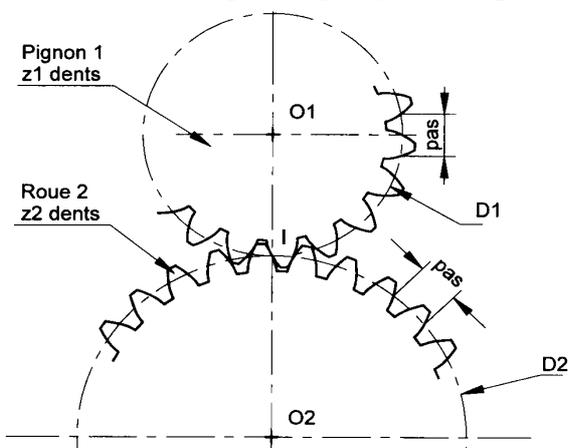
13 Transmettre l'énergie pour agir sur la matière d'œuvre : Effecteurs

Ce terme désigne tout organe de transformation de l'énergie mécanique fournie par l'actionneur, pour la faire agir sur la matière d'œuvre. Cette transformation peut être un changement de nature du mouvement (rotation ou translation), ou un changement de vitesse de mouvement, en général pour le ralentir : c'est alors un **réducteur**.

Comparaison des principaux systèmes de transmission de puissance						
	transmissions par engrenages	transmissions par roues et chaînes	transmissions poulies courroies			
			courroies crantées (synchrones)	courroies striées (poly-V)	courroies trapézoïdales (en V)	courroies plates
couples transmissibles	très élevés	élevés	assez élevés	modérés	moyens	faibles
puissances transmissibles	très élevées	élevées	assez élevées	modérées	élevées	faibles
vitesse limites (m/s)	80 à 100	13 à 20	60	60 à 80	40	80 à 100
rapport limite (ND/Nd) de la transmission	$< \frac{1}{8}$	$< \frac{1}{9}$	$< \frac{1}{10}$	$< \frac{1}{40}$	$< \frac{1}{15}$	$< \frac{1}{20}$
position des arbres	tous cas possibles*	parallèles	parallèles	parallèles et autres	parallèles	parallèles et autres
rendement (%)	≈ 98	≤ 97	≤ 98	≤ 98	70 à 96	≈ 98
tension initiale	inutile	faible	faible	assez élevée	peu élevée	élevée
durée de vie	élevée	assez élevée	limitée	limitée	limitée	limitée
lubrification	nécessaire	nécessaire	inutile	inutile	inutile	inutile
INCONVÉNIENTS	- entraxe précis - lubrification	- bruyantes - lubrification	- synchronisme non parfait	- moins économique	- rendement	- faibles couples
AVANTAGES	- synchronisme - précision - grands couples et grandes puissances - position des arbres	- assez bon synchronisme - supportent des tensions élevées et des basses vitesses	- entretien réduit - vitesses angulaires constantes	- flexibilité - silencieuses - diamètres d'enroulement faibles	- économique - encombrement réduit, permet les groupements en parallèle	- grandes vitesses - rendement - silencieuses - rapports de transmission

*arbres parallèles, perpendiculaires, orthogonaux et même de position quelconque

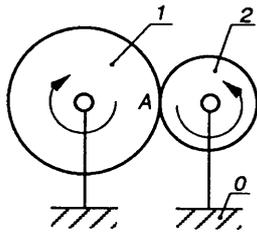
13.1 Réducteur à engrenage cylindrique



L'engrènement des dents assure le roulement sans glissement en I des cercles de diamètres D_1 et D_2 . Ces cercles sont appelés cercles primitifs. Ils correspondent aux diamètres des roues de friction qui assureraient le même rapport de réduction. Pour garantir cet engrènement, les pas respectifs des dents du pignon et de la roue, qui correspondent aux longueurs des arcs des cercles primitifs compris entre deux profils de dents consécutifs, doivent être égaux.

$$\text{Pas du pignon 1} = \frac{\pi \cdot D_1}{Z_1}$$

$$\text{Pas de la roue 2} = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2}$$

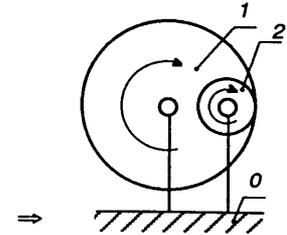


Roue 1 : $D_1, Z_1, \omega_{1/0}$ | D_1 et D_2 : Diamètres primitifs
 Pignon 2 : $D_2, Z_2, \omega_{2/0}$ | Z_1 et Z_2 : Nombre de dents

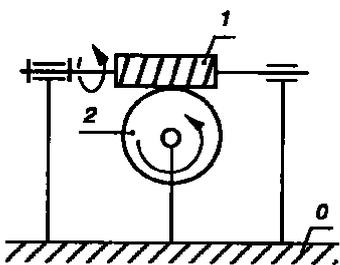
La condition de roulement sans glissement se traduit par :

⇐ Engrenage extérieur $\frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = - \frac{D_1}{D_2} = - \frac{Z_1}{Z_2}$

Engrenage intérieur $\frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$

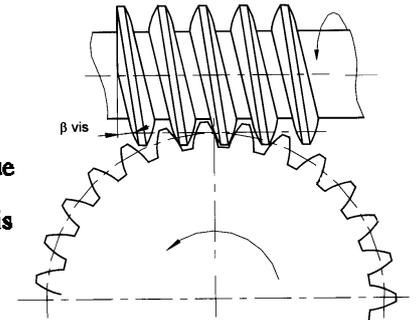


13.2 Réducteur à roue et vis sans fin



Vis 1 : $D_1, Z_1, \omega_{1/0}$ | D_1 et D_2 : Diamètres primitifs
 Roue 2 : $D_2, Z_2, \omega_{2/0}$ | Z_2 : Nombre de dents de la roue
 Z_1 : nombre de filets de la vis
 β_1 : angle d'inclinaison de la vis

$$\frac{|\omega_{2/0}|}{|\omega_{1/0}|} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

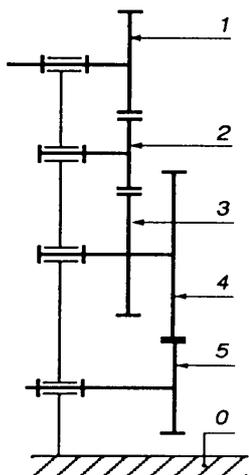


Remarque : si $\beta_1 < 5^\circ$ le système est pratiquement irréversible (transmission de la vis vers la roue uniquement)

Avantage : il est particulièrement intéressant pour obtenir des rapports de réduction élevés (une vis à un seul filet (1 seule rainure hélicoïdale), engrenant avec une roue de 77 dents donne un rapport de réduction de 77)

Inconvénient : pour les rapports de réduction élevés, son rendement est faible.

13.3 Train d'engrenages



Roue 1 : $D_1, Z_1, \omega_{1/0}$ | Roue 2 : $D_2, Z_2, \omega_{2/0}$ | Roue 3 : $D_3, Z_3, \omega_{3/0}$
 Roue 4 : $D_4, Z_4, \omega_{4/0}$ | Roue 5 : $D_5, Z_5, \omega_{5/0}$

On a vu qu'un contact extérieur inverse le sens de rotation alors que dans le cas d'un engrenage intérieur le sens est conservé.

$$\frac{\omega_{\text{sortie}/0}}{\omega_{\text{entrée}/0}} = (-1)^n \frac{\text{Produit des nombres de dents des roues menantes}}{\text{Produit des nombres de dents des roues menées}}$$

avec n : nombre de contacts extérieurs

Dans le cas de la figure :

Supposons que l'arbre 1 soit l'arbre d'entrée et l'arbre 5 celui de sortie.

Les roues 1, 2 et 4 sont des roues menantes; les roues 2, 3 et 5 sont des roues menées.

Les contacts extérieurs sont au nombre de 3 donc $n = 3$

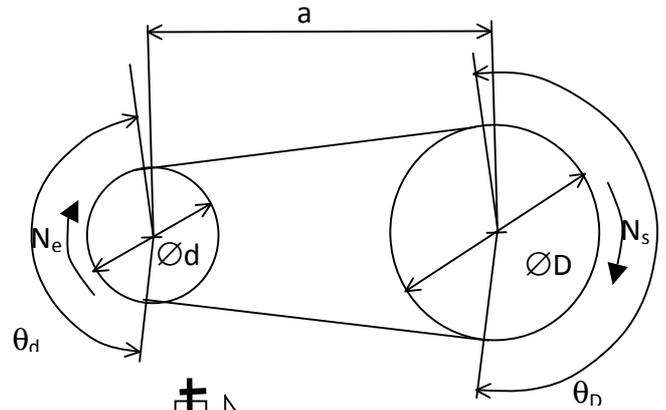
$$\frac{\omega_{5/0}}{\omega_{1/0}} = (-1)^3 \frac{Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_4}{Z_2 \cdot Z_3 \cdot Z_5} \Rightarrow \frac{\omega_{5/0}}{\omega_{1/0}} = - \frac{Z_1 \cdot Z_4}{Z_3 \cdot Z_5}$$

13.4 Transmission par courroie

$$\frac{N_D}{N_d} = \frac{d}{D}$$

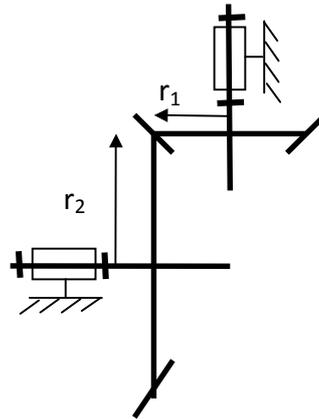
13.5 Transmission par chaîne

$$\frac{N_D}{N_d} = \frac{d}{D}$$

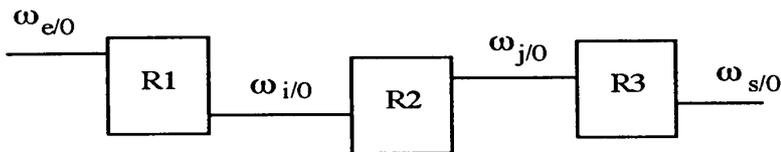


13.6 Transmission par roue de friction

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{r_1}{r_2}$$



13.7 Groupement de réducteurs



Soient $\left\{ \begin{array}{l} k_1 \text{ la raison du réducteur } \boxed{R1} \\ k_2 \text{ la raison du réducteur } \boxed{R2} \\ k_3 \text{ la raison du réducteur } \boxed{R3} \end{array} \right.$

$$k_1 = \frac{\omega_{i/0}}{\omega_{e/0}} \qquad k_2 = \frac{\omega_{j/0}}{\omega_{i/0}} \qquad k_3 = \frac{\omega_{s/0}}{\omega_{j/0}}$$

$$\text{La raison globale est } k = \frac{\omega_{s/0}}{\omega_{e/0}} = \frac{\omega_{s/0}}{\omega_{j/0}} \cdot \frac{\omega_{j/0}}{\omega_{i/0}} \cdot \frac{\omega_{i/0}}{\omega_{e/0}}$$

d'où la relation : $\boxed{k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}$

Le réducteur 1 peut être muni d'un train d'engrenages, le réducteur 2 de courroies et le réducteur 3 d'une transmission par chaîne.