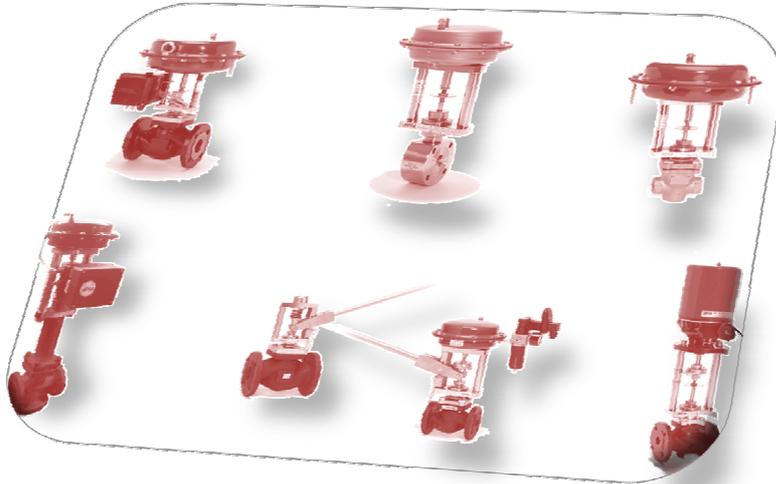


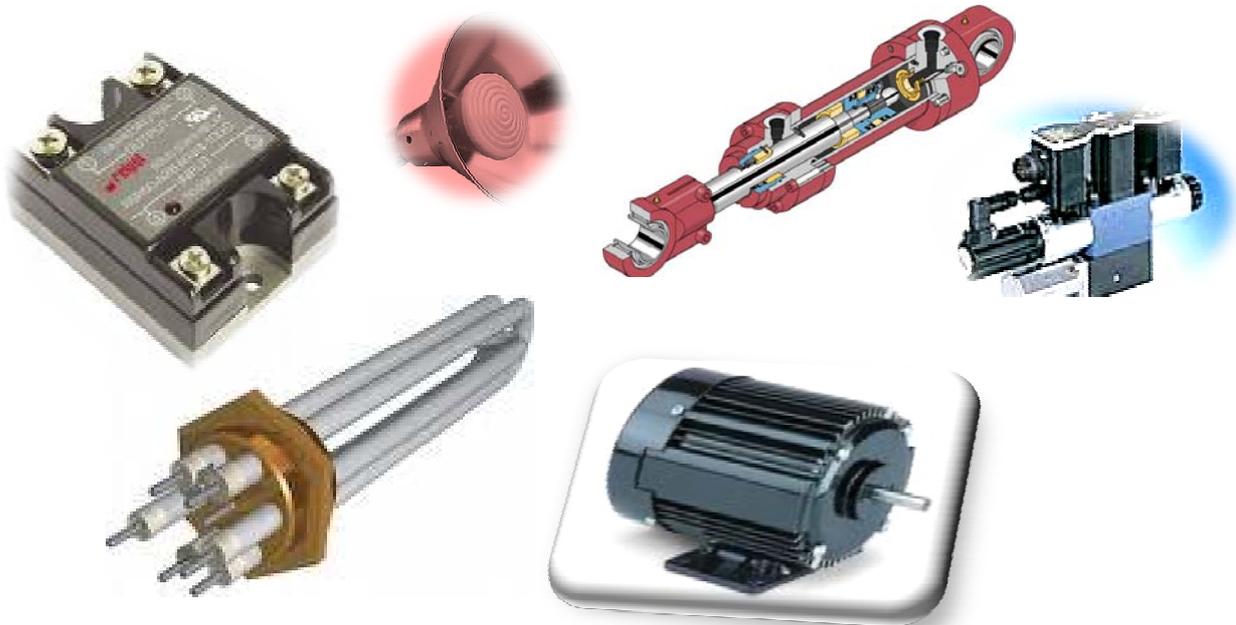
ACTIONNEURS

des chaînes automatisés



Conception et rédaction

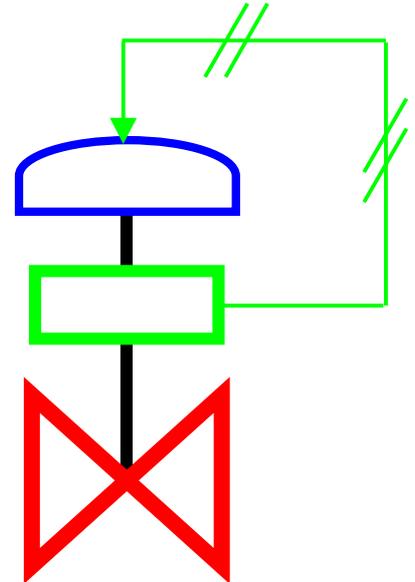
ING. FORMATEUR : MOHAMED BOUASSIDA



mohamedbouacida@yahoo.fr
Version 2010

LES VANNES PROPORTIONNELLES

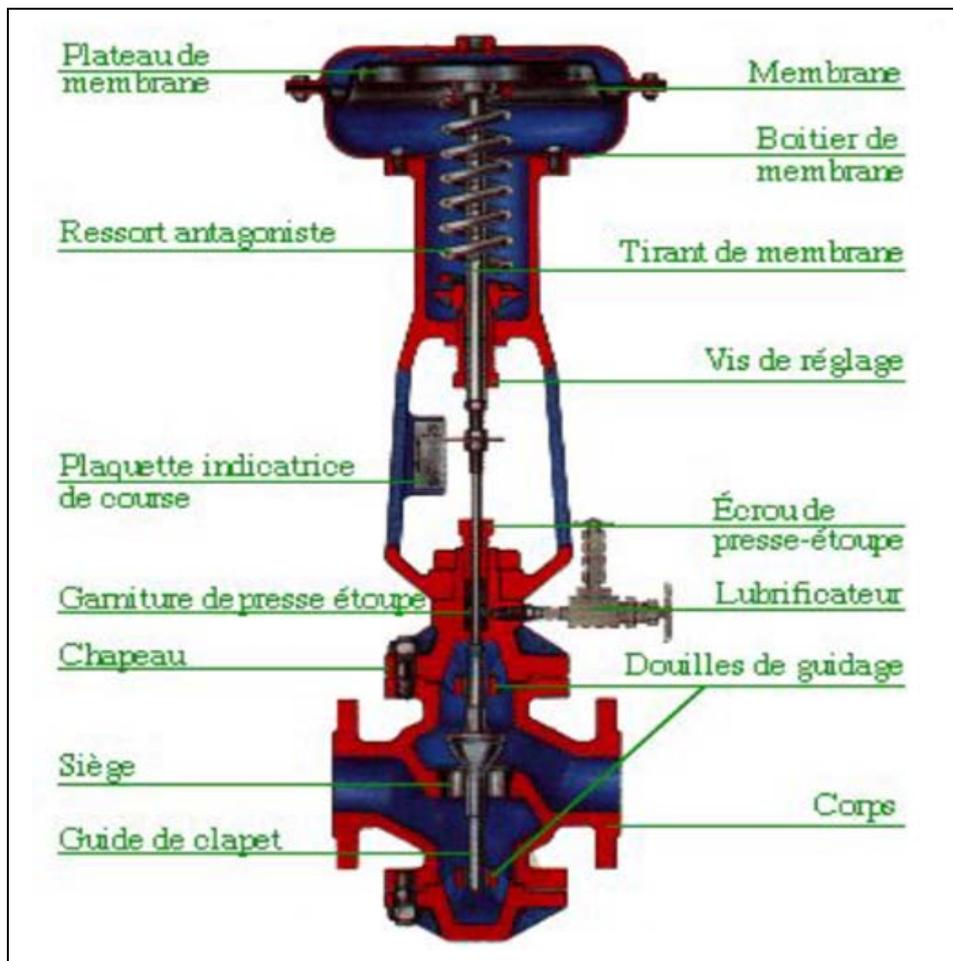
Une vanne est un dispositif qui sert à arrêter ou modifier le débit d'un fluide liquide, gazeux, pulvérulent ou multiphasique, en milieu libre (canal) ou en milieu fermé (canalisation).



PRINCIPALES PARTIES D'UNE VANNE PROPORTIONNELLE

Toutes les vannes sont constituées des différentes parties fonctionnelles suivantes :

- Corps
- Coiffe ou bonnet
- Voie ou passage
- Portée ou siège
- Axe ou tige
- Opercule ou obturateur, tels que : boisseau, papillon, guillotine, sphère ou boule,...
- Volant ou actionneur (actuateur) élément extérieur à la vanne, qui permet de manœuvrer celle-ci.



DIFFÉRENTES CATÉGORIES DE VANNES

On peut ranger les vannes dans différentes catégories, selon leurs caractéristiques :

- *par la taille* : Depuis le simple petit robinet jusqu'à la très grosse vanne de régulation du débit d'arrivée d'eau dans une centrale hydroélectrique. On parle alors de son Diamètre Nominal DN et de sa Pression Nominale PN (=1/2 Pression maximale)
- *par la fonction* : Vanne régulatrice de débit, vanne de purge, vanne d'arrêt, NO...
- *par le principe d'obstacle au débit qui le traverse* : Vanne papillon, vanne à piston, vanne à boisseau conique, vanne à boisseau sphérique, vanne trois-voies, vanne guillotine,...
- *par le système de commande* : Manuelle, électrique (servo vanne, électrovanne), hydraulique, pneumatique,...

CARACTÉRISTIQUES DIRECTES DES VANNES

Comme tous dispositifs d'action (actionneur) on appelle caractéristiques directes par la fonction $Y\% = f(u\%)$ avec $Y\%$: Pourcentage de débit via la vanne

$u\%$: Pourcentage de commande

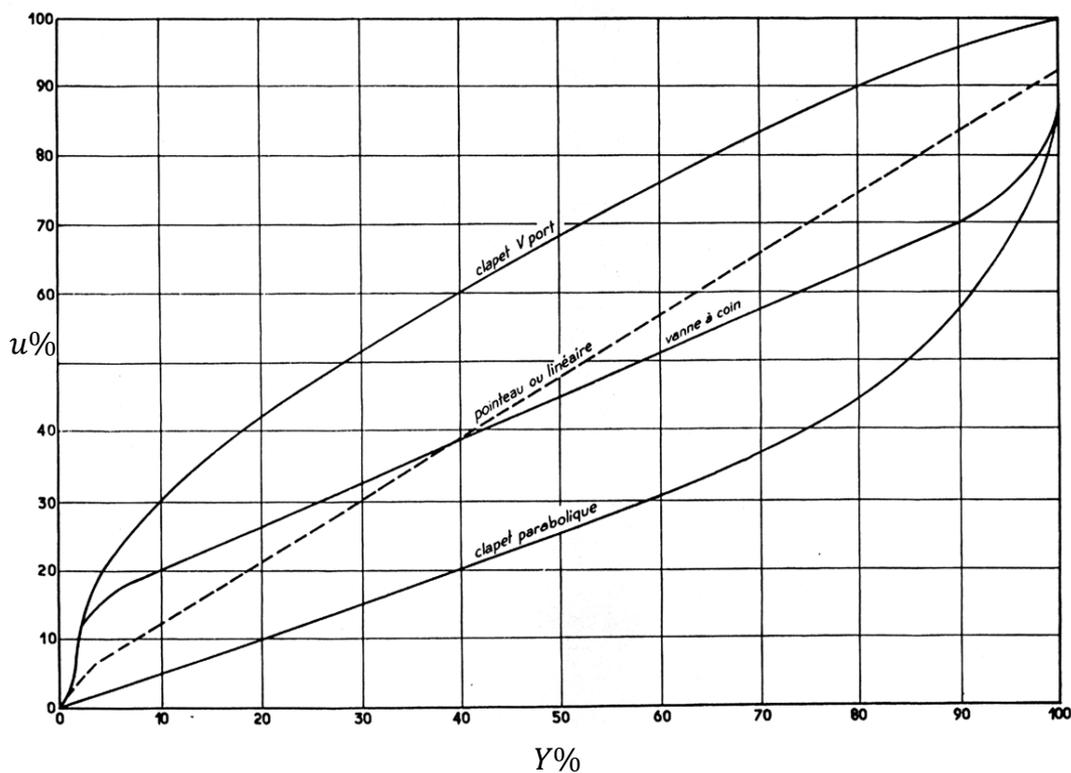
$$Y\% = \frac{Y - Y_{min}}{Y_{MAX} - Y_{min}} \times 100 \quad \text{Et} \quad u\% = \frac{u - u_{min}}{u_{MAX} - u_{min}} \times 100$$

➤ Exemple de calcul :

Pour une commande à $\frac{1}{4}$ de tours, une ouverture de 45°

$$u\% = \frac{45 - 0}{90 - 0} \times 100 = 50\%$$

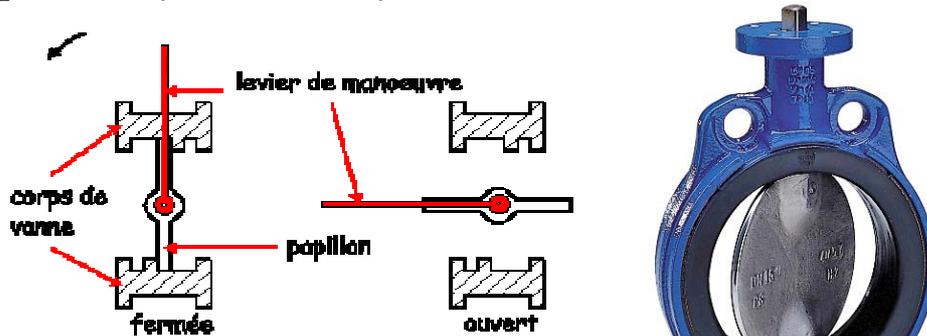
➤ Forme des caractéristiques :



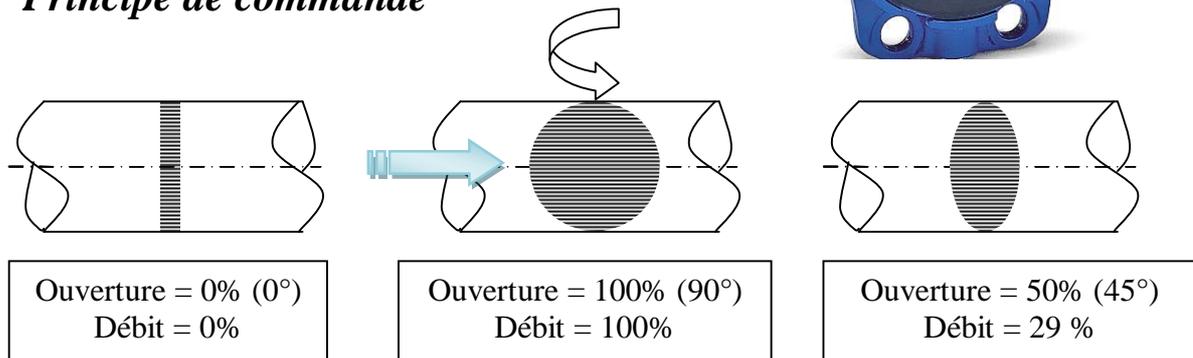
TYPE DES VANNES

➤ Vanne Papillon : BUTTERFLY VALVE

La vanne papillon est un appareil dont l'obturateur se déplace par rotation autour d'un axe perpendiculaire au sens d'écoulement et, en position ouverte, est contourné par le fluide. Parfaite pour les liquides non visqueux.



Principe de commande



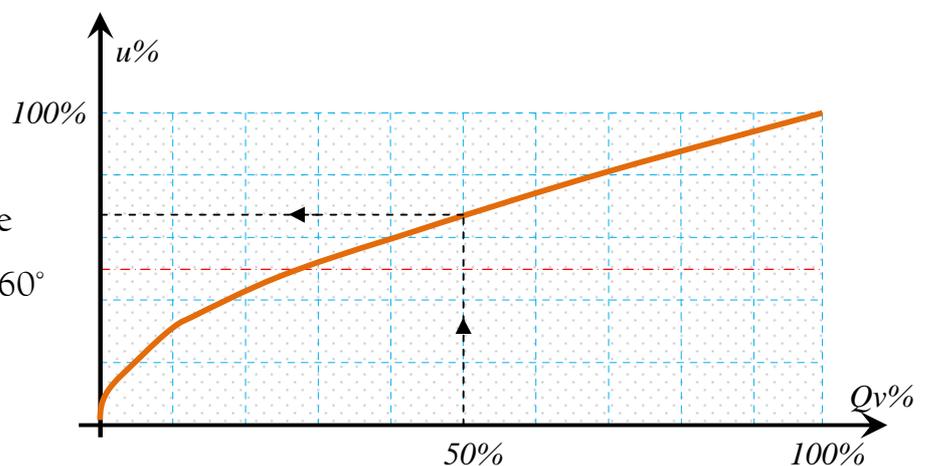
La commande est en relation sinus avec le passage du fluide

C'est une vanne qui véhicule un débit **sinus** à l'angle de commande

$Q_v = K_{Bfly} [1 - \sin(\frac{\pi}{2} - \alpha)]$ avec α l'angle d'ouverture.

Caractéristique

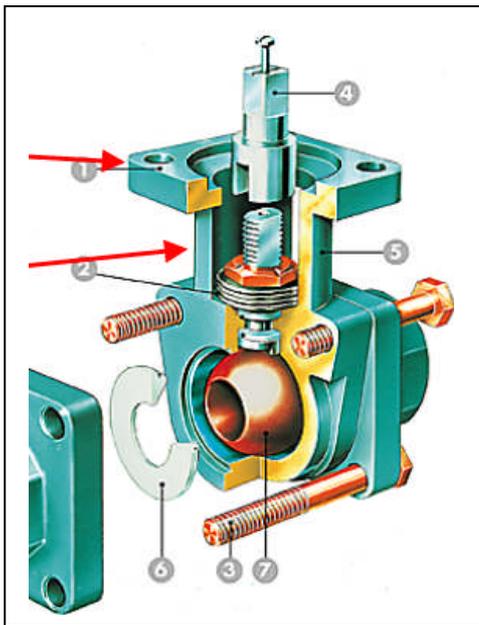
Pour avoir un Débit de 50% il faut commander 60°



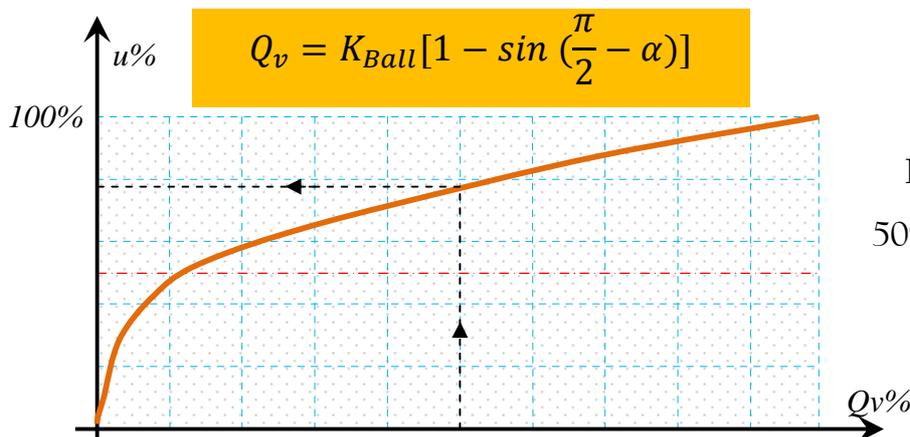
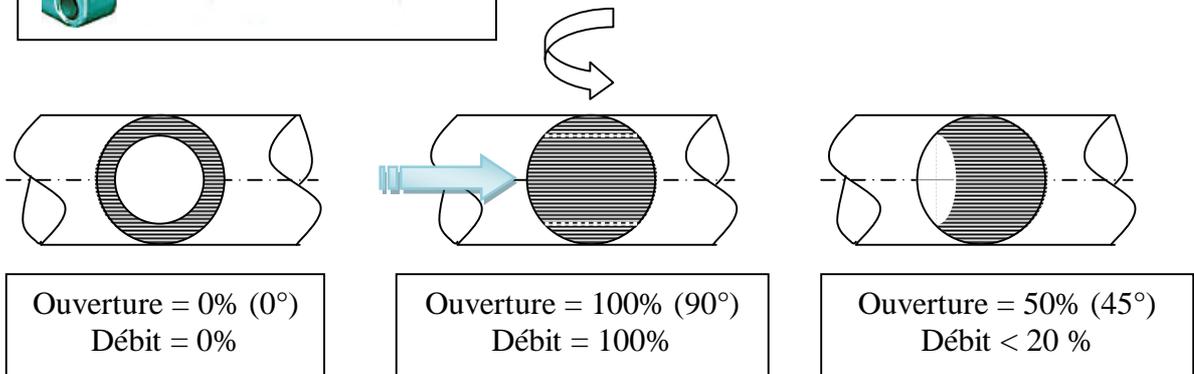
➤ *Vanne à bille : BALL VALVE*

La vanne à tournant sphérique a pour fonction le sectionnement d'un fluide qu'il soit gaz ou liquide par la rotation d'une bille percée dans le sens d'écoulement.

La vanne à bille est parfaite pour les gaz, les grands débits et grande pression puisque la force de passage du fluide n'affecte pas l'angle d'ouverture.



La commande est en relation sinus avec le passage du fluide, c'est une vanne qui véhicule un débit proportionnel à l'angle de commande, comme pour le cas de la vanne papillon, mais le tournant sphérique ne s'ouvre d'une seule côté ce qui limite le débit à faible commande



Pour avoir un Débit de 50% il faut commander 78°

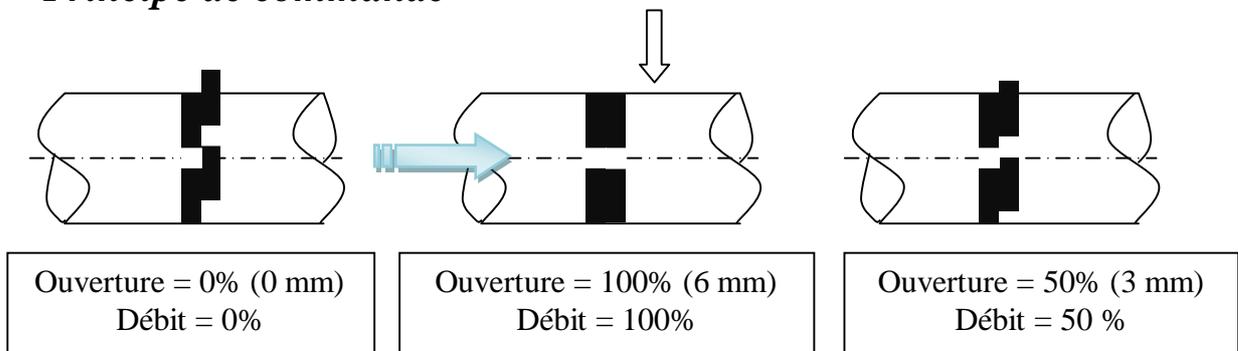
➤ Vanne guillotine : GATE VALVE

La vanne guillotine a pour fonction le sectionnement d'un fluide qu'il soit liquide ou pâteux par l'intermédiaire de la pelle qui tranche le passage du fluide. La vanne à pelle est construite pour une étanchéité totale ou relative, et sa commande est parfaitement linéaire.

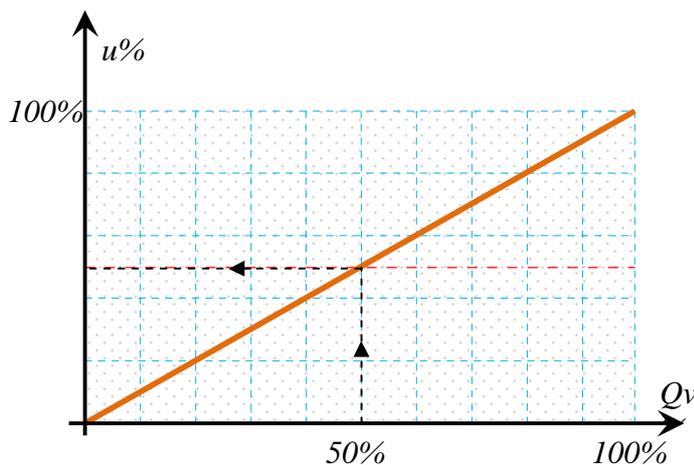
C'est une vanne qui véhicule un débit **proportionnel** à la distance de commande x

$$Q_v = K_{gate} \times x$$

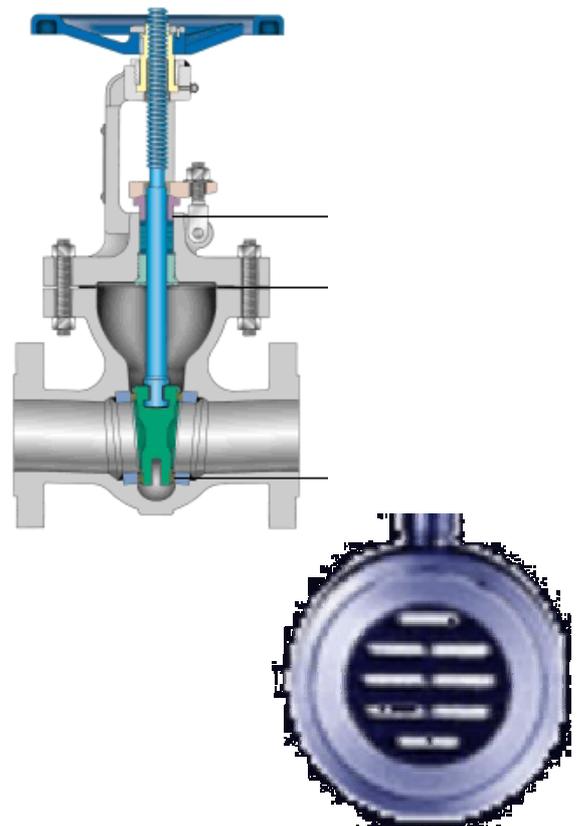
Principe de commande



Caractéristique

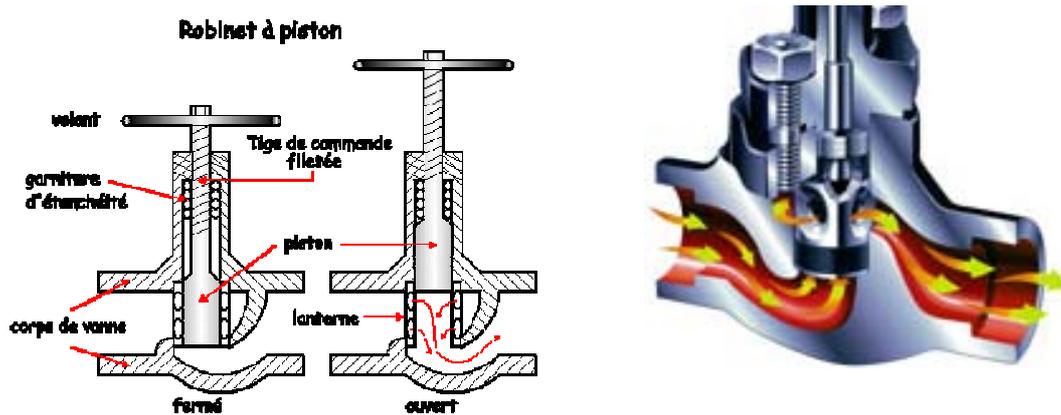


Pour avoir un Débit de 50%
il faut commander 50%



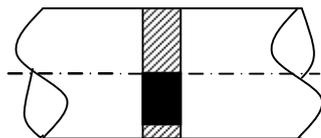
➤ Vanne à piston : PISTON VALVE

La vanne à Piston a pour fonction le réglage du débit d'un fluide, gaz ou liquide. L'étanchéité de la vanne à piston se fait par le déplacement du piston entre 2 anneaux en graphite. L'étanchéité extérieure est assurée par l'anneau supérieur, alors que l'anneau inférieur assure l'étanchéité en ligne.

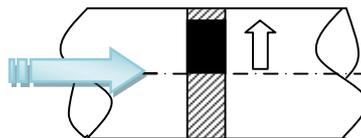


C'est une vanne qui véhicule un débit **logarithmique** selon la distance de commande x :

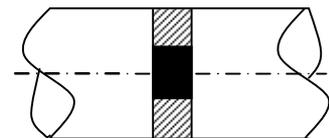
$$Q_v = K_{piston} \times \log \left(\frac{x\%}{100} + 1 \right)$$



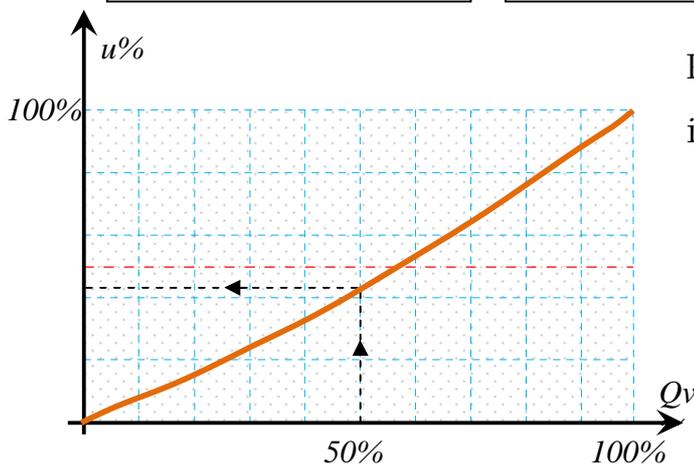
Ouverture = 0% (0 mm)
Débit = 0%



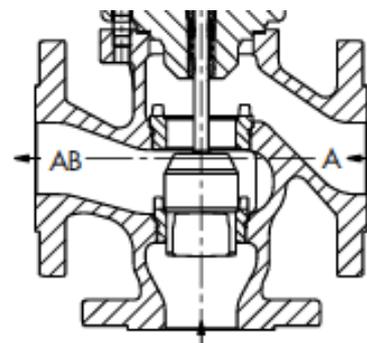
Ouverture = 100% (10 mm)
Débit = 100%



Ouverture = 50% (5 mm)
Débit = 58 %



Pour avoir un Débit de 50%
il suffit de commander 43%

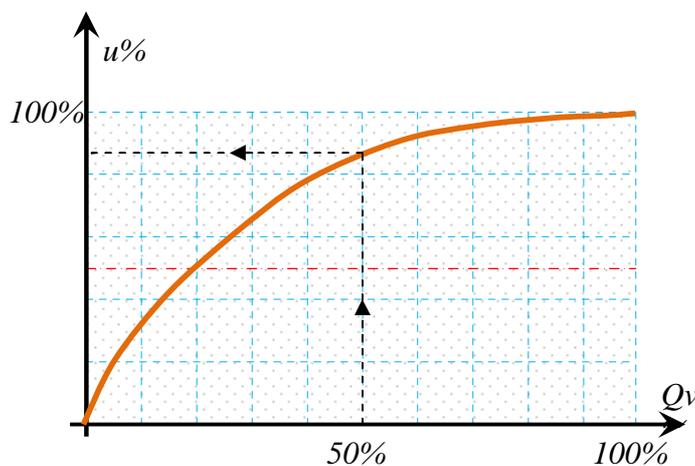
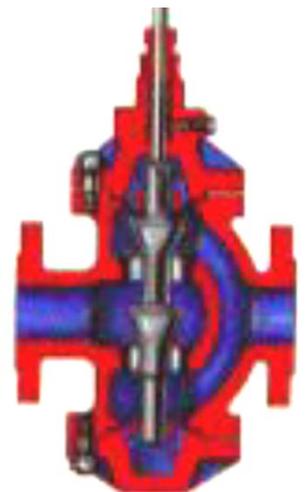
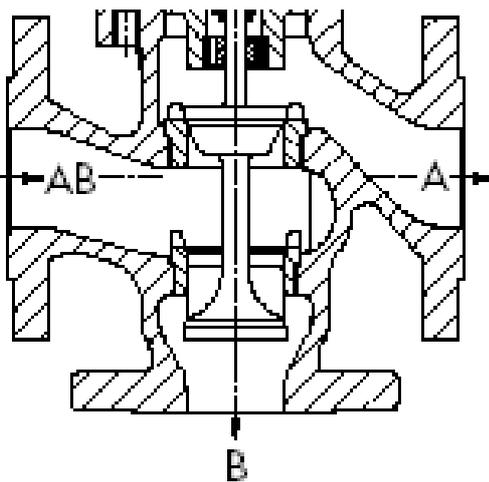


➤ Vanne conique : CONIC VALVE

La vanne à obstacle conique a pour fonction le réglage du débit d'un fluide, gaz ou liquide. L'étanchéité de la vanne conique se fait par le déplacement d'un cône dans un siège approprié, ce qui minimise la turbulence du fluide par rapport à un obstacle piston ou soupape.

C'est une vanne qui véhicule un débit exponentiel selon la distance de commande x :

$$Q_v = K_{conic} \times [e^{\frac{x\%}{100}} - 1]$$

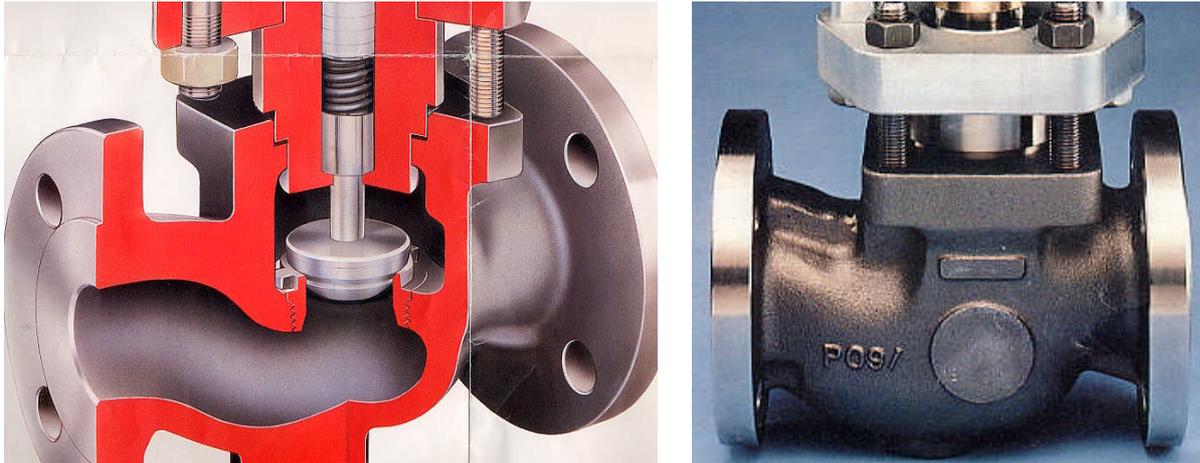


Pour avoir un Débit de 50%
il faut commander 85%

➤ *Vanne sphérique : SPHERIC VALVE*

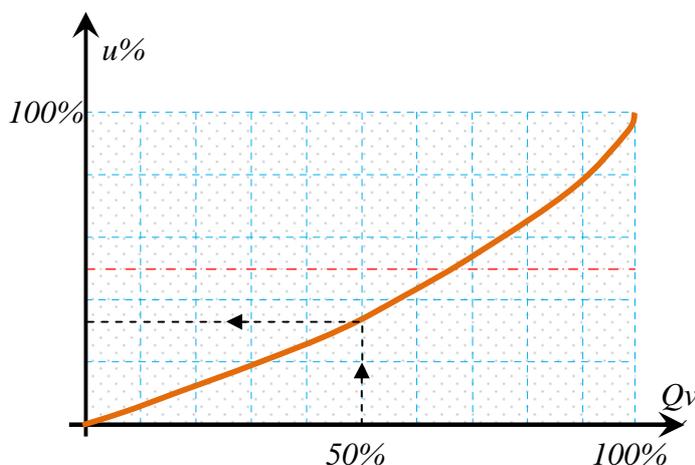
Un clapet de forme parabolique se déplace linéairement par rapport au siège de passage du fluide et peut faire varier ainsi la section de passage.

Le déplacement du clapet est réalisé par une tige mobile en translation.



C'est une vanne qui véhicule un débit logarithmique selon la distance de commande x comme pour le cas de la vanne à piston mais des caractéristiques plus accentuées :

$$Q_v = K_{Spheric} \times \log \left(\frac{x\%}{100} + 1 \right)$$

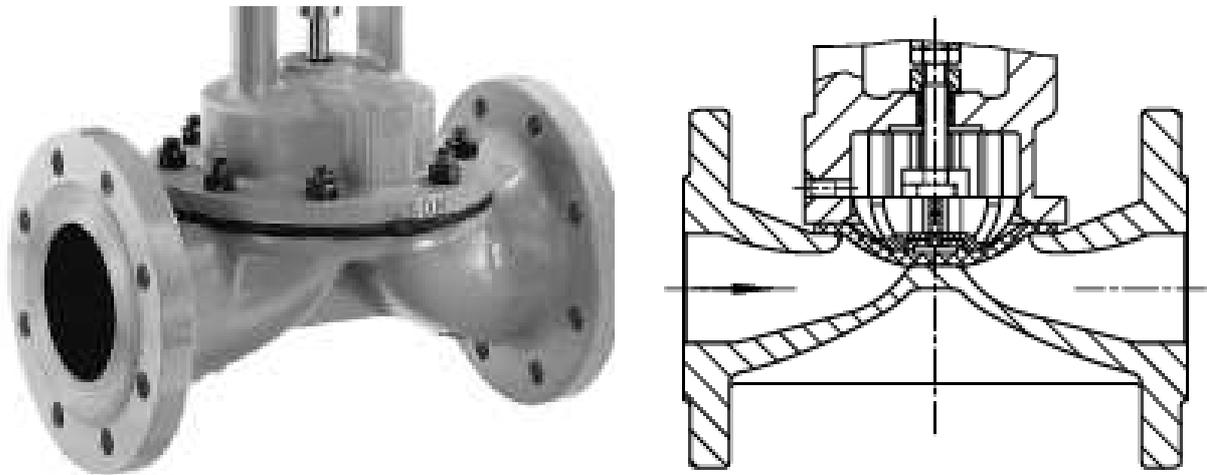


Pour avoir un Débit de 50%
il suffit de commander 35%

➤ *Vanne à membrane : MEMBRANE VALVE*

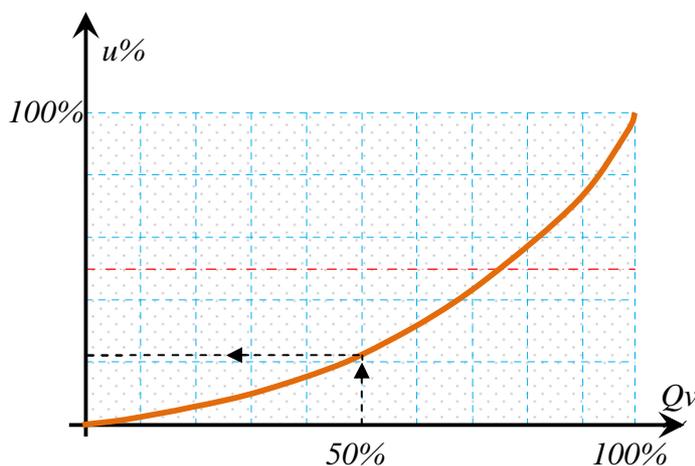
Une membrane de forme parabolique est déformée par le mouvement de la tige pour assurer le passage du fluide ou l'arrêt brusque.

La membrane assure une parfaite isolation du fluide avec la partie mobile quelque soit la vanne est en position ouverte ou fermée



C'est une vanne qui véhicule un débit logarithmique selon la distance de commande x comme pour le cas de la vanne sphérique mais des caractéristiques rapides en commande :

$$Q_v = K_{Membrane} \times \log \left(\frac{x\%}{100} + 1 \right)$$

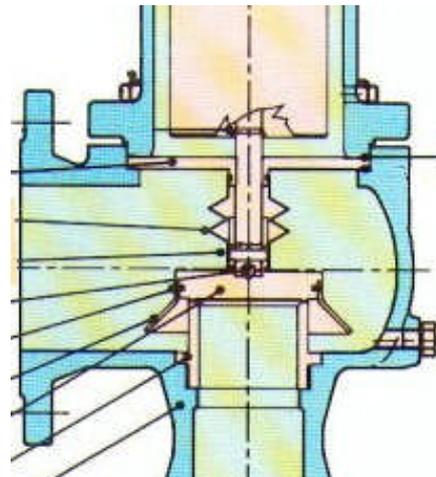
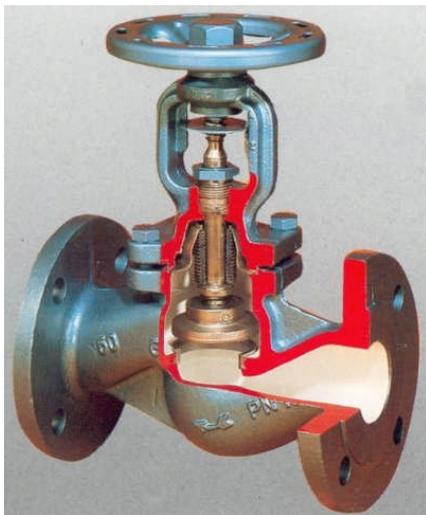


Pour avoir un Débit de 50%
il suffit de commander 21%

➤ *Vanne à soupape : FLAT VALVE*

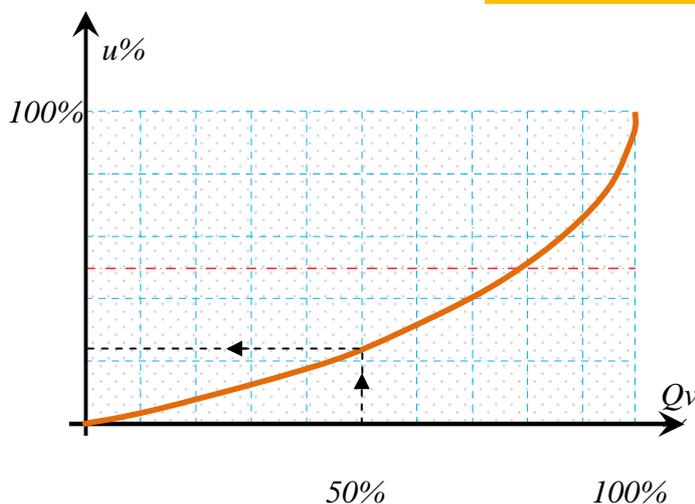
Le robinet à soupape a pour fonction le réglage du débit d'un fluide gaz ou liquide, dont l'obturateur se déplace linéairement dans le sens de l'écoulement au niveau des portées d'étanchéité. Les vannes à soupape peuvent être droites, inclinés ou équerres. L'étanchéité vers l'extérieur est obtenue par un presse-étoupe ou par un soufflet.

C'est le mécanisme utilisé par les fabricants des robinetteries domestiques



C'est une vanne qui véhicule un débit logarithmique selon la distance de commande x comme pour le cas de la vanne sphérique mais des caractéristiques plus accentuées :

$$Q_v = K_{Flat} \times \log \left(\frac{x\%}{100} + 1 \right)$$



Pour avoir un Débit de 50%
il suffit de commander 25%

CAPACITÉ DE DÉBIT D'UNE VANNE

➤ Rappel :

Il a été établi que la loi liant le débit volumique Q_V à la section de passage S_p et à la chute de pression ΔP de l'amont à l'aval d'un fluide (ρ) est la suivante :

$$Q_V = K \times S_p \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

K : coefficient dépendant du profil interne de la vanne (équilibre les unités de calcul).

Nous constatons que :

- Le débit varie proportionnellement à la section de passage.
- Le débit est proportionnel à la racine carrée de la perte de charge.
- Le débit volumique est inversement proportionnel à la racine carrée de la masse volumique.

Pour un liquide, lorsque la température ne varie que de quelques degrés, sa masse volumique est à peu près constante, donc, le débit ne varie qu'en fonction de la perte de charge et de la section de passage.

➤ Capacité du corps de vanne :

Le débit maximum Q_{VMAX} ne dépend pas que de la section de passage S_p Maximale seulement mais aussi de la densité du fluide, de la perte de charge, et du coefficient de forme interne du corps.

Deux corps de vanne présentant la même section de passage n'ont donc pas forcément la même capacité.

On ne peut comparer les capacités de corps de vannes différents ayant une même section de passage S_p qu'en respectant les conditions d'essais suivantes :

- ✓ Même fluide (ρ)
- ✓ Même différence de pression ΔP

Ainsi, le coefficient de profil interne K explique les différences de capacités entre deux corps de vannes de types différents et de S_p identiques. Nous voyons donc que la capacité à elle seule ne permet pas de comparer les possibilités de débit des corps de vanne.

➤ *C_v du corps de vanne :*

Le coefficient de débit C_v utilisé pour la première fois par MASONNEILAN en 1944, est devenu l'étalon universel de mesure du débit de fluide qui s'écoule dans une vanne.

Ce coefficient est employé dans les calculs qui conduisent au dimensionnement des vannes ou à la détermination des débits qui les traversent.

Par définition, le coefficient C_v est le nombre de gallons (U.S) d'eau à 15°C, traversant en une minute une restriction lorsque la chute de pression au passage de cette restriction est de 1 Psi. On a :

ΔP en Psi ($\approx 0,069 \backslash$ bar)

d : densité (par rapport à l'eau)

Q_v : en US gallon/min (3,785 l/min)

$$Q_v = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{d}}$$

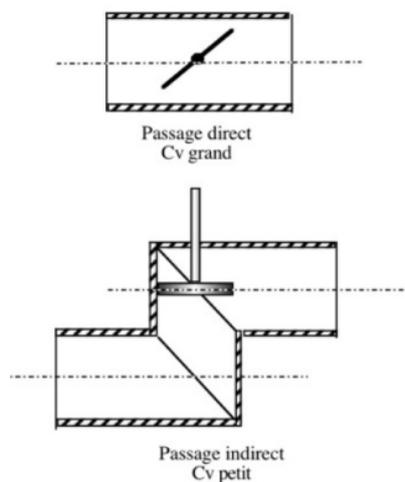
Le C_v est un repère de grandeur au moyen duquel le technicien peut déterminer rapidement et avec précision la dimension d'une restriction connaissant les conditions de débit, de pression éventuellement d'autres paramètres annexes et ceci pour n'importe quel fluide.

Le C_v est proportionnel à la section de passage entre le siège et le clapet.

$C_v = 0$ lorsque la vanne est fermée ;

$C_v = C_{vMAX}$ lorsque la vanne est complètement ouverte.

Le C_v dépend aussi du profil interne de la vanne et du type d'écoulement dans la vanne.



➤ *K_V du corps de vanne :*

En unité du système internationale on peut écrire :

ΔP en bar

d : densité du fluide (Sans unité)

Q_V en m³/h

$$Q_V = K_V \sqrt{\frac{\Delta P}{d}}$$

On démontre que :

$$C_V = 1.16 K_V$$

➤ *Cas des liquides visqueux, écoulement laminaire*

On obtient un écoulement laminaire au lieu de l'écoulement turbulent habituel quand la viscosité du liquide est élevée ou lorsque la chute de pression est petite.

Pour dimensionner la vanne, il faut calculer le coefficient de débit C_V en écoulement turbulent puis en écoulement laminaire et utiliser la valeur obtenue la plus grande.

C_V en écoulement laminaire :

$$C_V = 0,032 \times \sqrt[3]{\left(\frac{\mu Q_V}{\Delta P}\right)^2}$$

μ : Viscosité dynamique à la température de l'écoulement en centpoise

Q_V : Débit du liquide en m³/h

ΔP : Variation de pression en bar

➤ *Cas des gaz*

Dans le cas où le fluide en circulation est un gaz et que son écoulement n'est pas critique on a :

$$C_V = \frac{Q_V}{295} \times \sqrt{\frac{d \times \theta}{\Delta P (P_2 - P_1)}}$$

Q_V : Débit volumique du gaz en Nm^3/h ;

ΔP : Pression différentielle en bar

P_1 : Pression absolue du gaz en amont de la vanne en bar

P_2 : Pression absolue du gaz en aval de la vanne en bar

d : Densité du gaz par rapport à celle de l'air ;

θ : Température du gaz en K.

CALCUL DE CV

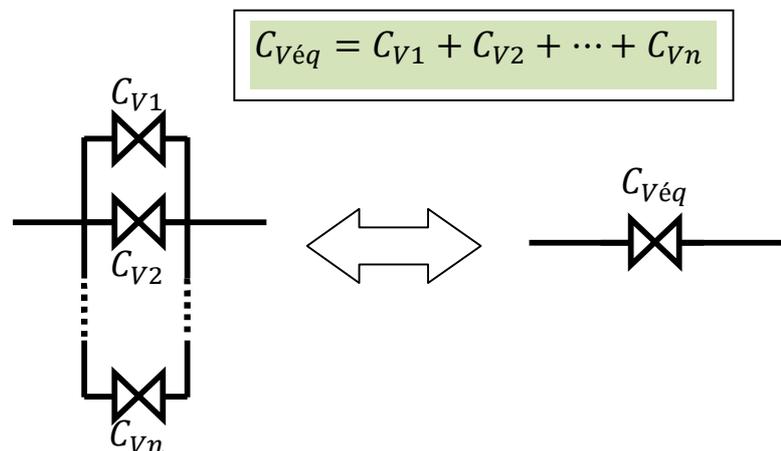
➤ *C_V équivalent de plusieurs vannes en parallèle*

Pour un montage de plusieurs vannes en parallèles on a :

$$Q_{\text{éq}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

Et

$$\Delta P_{\text{éq}} = \Delta P_1 = \Delta P_2 = \dots = \Delta P_n$$



➤ *C_v équivalent de plusieurs vannes en séries*

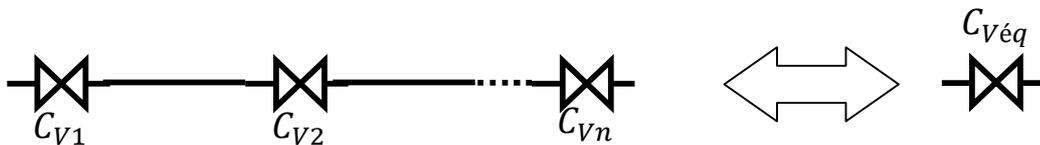
Pour un montage de plusieurs vannes en séries on a :

$$Q_{\text{éq}} = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$$

Donc

$$\Delta P_{\text{éq}} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \dots + \Delta P_n$$

$$\left(\frac{1}{C_{V\text{éq}}}\right)^2 = \left(\frac{1}{C_{V1}}\right)^2 + \left(\frac{1}{C_{V2}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{C_{Vn}}\right)^2$$



➤ *Influence des convergents-divergents*

Quand une vanne n'est pas de la même dimension que la tuyauterie, elle est installée entre un **convergent** et un **divergent**. Ceux-ci créent une chute de pression supplémentaire provoquée par la contraction et la dilatation de la veine fluide.

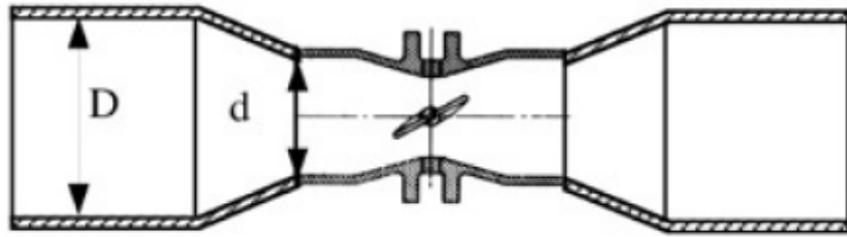
Le C_v calculé doit être corrigé par la relation suivante :

$$C_V^{\text{cor}} = \frac{C_V}{F_p}$$

Le coefficient de correction F_p déterminé expérimentalement est habituellement fourni par le constructeur.

Il peut être aussi déterminé de manière approchée à partir des formules suivantes.

Il est alors calculé en considérant que la contraction et la dilatation de la veine fluide se font d'une façon brutale. La chute de pression est donc surestimée et l'on ne risque pas de sous-dimensionner la vanne.



d : Diamètre de la vanne en mm

D : Diamètre de la tuyauterie en mm

F_p : Facteur de correction de débit en écoulement non critique pour installation convergent-divergent avec angle au sommet du convergent supérieur à 40°

$$F_p = \sqrt{1 - 1,5 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \left(\frac{C_v}{0,046d^2}\right)^2}$$

F_p' : Facteur de correction de débit en écoulement non critique pour installation avec un divergent seul ou avec convergent-divergent lorsque l'angle au sommet du convergent est inférieur à 40°

$$F_p' = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \left(\frac{C_v}{0,046d^2}\right)^2}$$

CAVITATION ET VAPORISATION

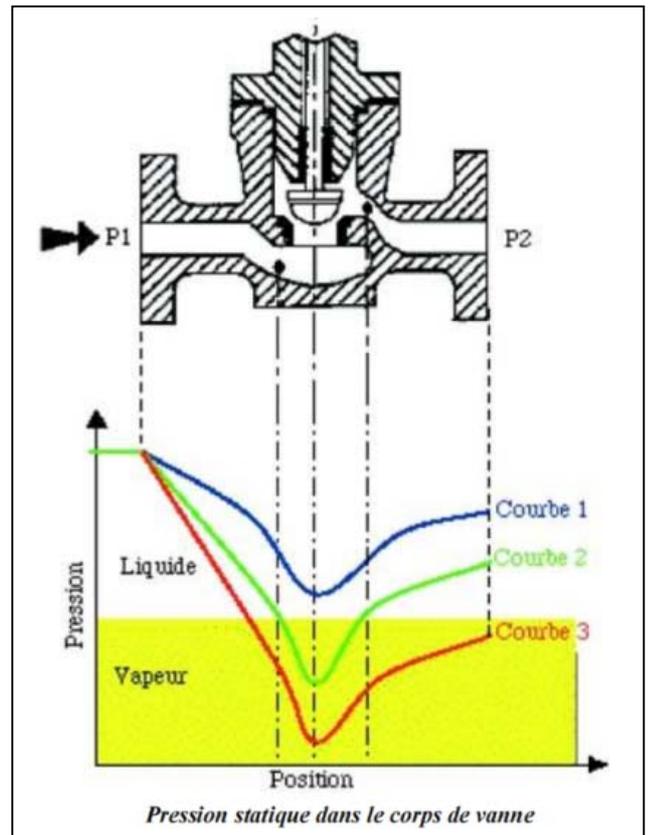
➤ Variation de la pression statique à travers une vanne

En application du théorème de Bernoulli, la restriction de la section de passage présentée par la vanne et son opérateur provoque une augmentation de la pression dynamique.

Il en résulte une diminution de la pression statique plus ou moins importante selon :

- La géométrie interne de la vanne
- La valeur de la pression statique en aval de la vanne (P_2).

Cette diminution de la pression statique de la vanne doit être comparée à la tension de vapeur du liquide à la température d'écoulement, car il peut en résulter des phénomènes nuisibles à la qualité du contrôle et à la tenue du matériel.



Écoulement turbulent sans cavitation $P_{SC} > P_V$

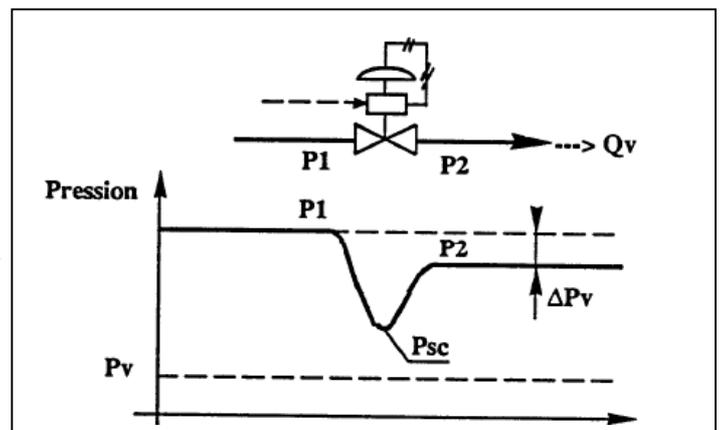
P_1 : Pression amont et P_2 : Pression aval

P_{SC} : Pression à la section contractée

ΔP_V : Perte de charge de la vanne

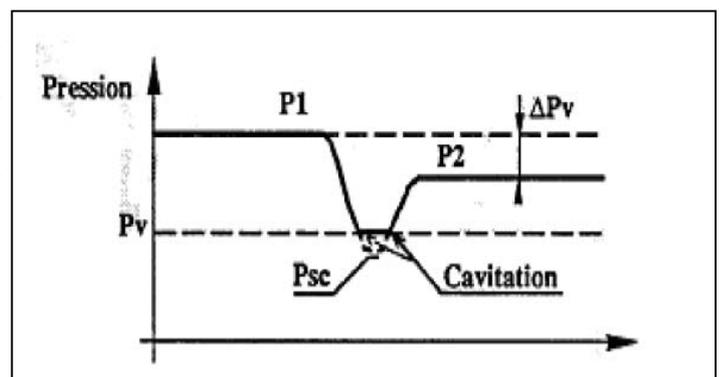
P_V : Pression de vaporisation du fluide à la température de service

L'écoulement est toujours en phase liquide



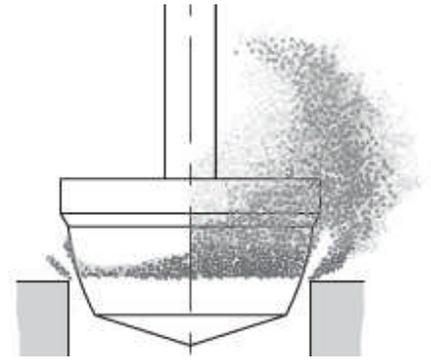
Écoulement critique avec cavitation $P_{SC} < P_V$

A l'intérieur de la vanne, il y a formation de bulles de vapeur suivie de leur implosion. Ce phénomène est la cavitation et l'écoulement est dit « critique ».



➤ Cavitation

Lorsque la pression statique dans la veine fluide décroît et atteint la valeur de la tension de vapeur du liquide à la température d'écoulement, le phénomène de cavitation apparaît (formation de petites bulles de vapeur au sein du liquide, Courbe n°2).

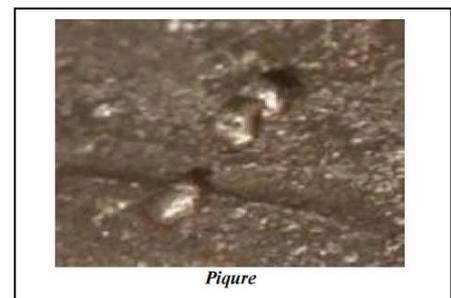


Quand la pression statique s'accroît à nouveau (diminution de la vitesse par élargissement de la veine fluide), les bulles de vapeur se condensent et implosent, ce phénomène de cavitation présente les inconvénients suivants :

- ⊗ Bruit, d'un niveau sonore inacceptable, très caractéristique car semblable à celui que provoqueraient des cailloux circulant dans la tuyauterie
- ⊗ Vibrations à des fréquences élevées ayant pour effet de desserrer toute la boulonnerie de la vanne et de ses accessoires
- ⊗ Destruction rapide du clapet, du siège, du corps, par enlèvement de particules métalliques. Les surfaces soumises à la cavitation présentent une surface granuleuse



Cavitation



Piqûre

- ⊗ Le débit traversant la vanne n'est plus sensible (proportionnel) à la commande

C'est généralement les vannes les plus profilées intérieurement qui ont une tendance accrue à la cavitation.

➤ Vaporisation

Si la pression statique en aval de la vanne est faible (forte perte de charge dans la vanne), le processus d'implosion des bulles gazeuses ne se produit pas : celles-ci restent présentes dans la veine fluide, d'où le phénomène de vaporisation (Courbe n°3).

Ce phénomène de vaporisation présente les inconvénients suivants :

- ⊖ Bruit, d'un niveau sonore moindre que celui provoqué par la cavitation.
- ⊖ Dommages mécaniques sur le clapet, le siège et le corps, par passage à grande vitesse d'un mélange gaz – liquide.
- ⊖ Les surfaces exposées à ce phénomène présentent des cavités d'un aspect poli.
- ⊖ Régime critique.

➤ Conséquences pratiques

Pour éviter le bruit et la destruction rapide de la vanne, on doit calculer et choisir une vanne de régulation ne présentant pas de phénomène de cavitation. Tout au plus peut on accepter une cavitation naissante ?

De même, une vanne présentant un phénomène de vaporisation ne doit pas être employée.

La chute de pression maximum utilisable pour l'accroissement du débit (ΔP_C) et en particulier les conditions de pression pour lesquelles une vanne sera complètement soumise à la cavitation peuvent être définie grâce au facteur F_L , de la façon suivante :

$$F_L = \sqrt{\frac{\Delta P_C}{P_1 - P_V}}$$

P_1 : Pression en amont de la vanne ;

P_V : Pression de vapeur du liquide à la température en amont.

Pour les applications où aucune trace de cavitation ne peut être tolérée, il faut utiliser un nouveau facteur K_C au lieu de la valeur de F_L .

Ce même facteur K_C sera utilisé si la vanne est placée entre un convergent et un divergent.

Pour trouver la chute de pression correspondant au début de cavitation, utiliser la formule suivante :

$$K_C = \sqrt{\frac{\Delta P_C}{P_1 - P_V}}$$

Des solutions techniques doivent donc être trouvées pour éviter cavitation et vaporisation dans les vannes de régulation. Si l'on se réfère aux relations précédentes, il suffit, pour éviter la cavitation, de ramener la chute de pression dans la vanne à une valeur inférieure à P_C

On peut donc :

- ☺ Augmenter la pression en amont et en aval en choisissant pour la vanne une position qui se trouve à un niveau bas dans l'installation : ceci augmente la pression statique
- ☺ Sélectionner un type de vanne ayant un facteur F_L plus important
- ☺ Changer la direction du fluide, le facteur F_L d'une vanne d'angle utilisée avec écoulement « tendant à ouvrir » au lieu de « tendant à fermer » passe de 0,48 à 0,9 ce qui signifie que la chute de pression peut être au moins triplée.
- ☺ Installer deux vannes semblables, en série, et l'on calculera le facteur F_L total des deux vannes de la façon suivante : $F_{L\text{ éq}} = F_L$ d'une vanne.

➤ *Calcul selon le constructeur SAMSON*



Détermination des vannes

Calcul du coefficient K_v

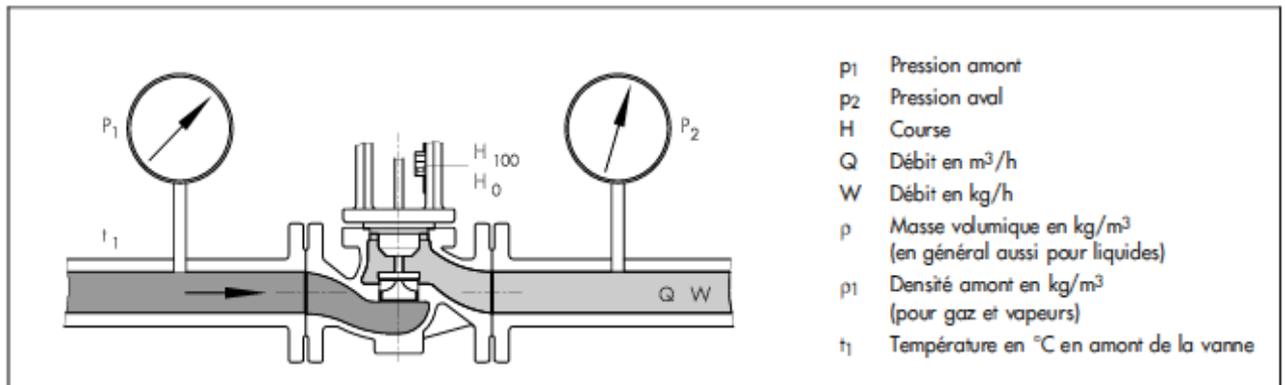
Le calcul du coefficient K_v s'effectue selon DIN EN 60 534. Les feuilles techniques comprennent les caractéristiques nécessaires des spécifications des appareils.

Pour une détermination préalable et simplifiée des vannes, les formules ci-dessous peuvent être utilisées. Mais l'influence des raccords et de la limitation du débit lors d'une vitesse de débit critique n'est pas prise en compte.

Choix des vannes

Après le calcul du coefficient K_v , le K_{vs} du type de vanne correspondant peut être choisi dans la notice.

Si des valeurs correspondant aux conditions réelles d'exploitation ont été prises en compte pour le calcul, la formule suivante peut être utilisée : $K_{v\ max} = 0,7 \text{ à } 0,8 \cdot K_{vs}$



Diff. de pres.	Liquides		Gaz		Vapeur d'eau kg/h	
	m^3/h	kg/h	m^3/h	kg/h		
$p_2 > \frac{p_1}{2}$	$K_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{1000 \Delta p}}$	$K_v = \frac{W}{\sqrt{1000 \rho \Delta p}}$	$K_v = \frac{Q_G}{519} \sqrt{\frac{\rho_G T_1}{\Delta p p_2}}$	$K_v = \frac{W}{519} \sqrt{\frac{T_1}{\rho_G \Delta p p_2}}$	$K_v = \frac{W}{31,62} \sqrt{\frac{v_2}{\Delta p}}$	
$\Delta p < \frac{p_1}{2}$			$K_v = \frac{Q_G}{259,5 p_1} \sqrt{\rho_G T_1}$	$K_v = \frac{W}{259,5 p_1} \sqrt{\frac{T_1}{\rho_G}}$	$K_v = \frac{W}{31,62} \sqrt{\frac{2v}{p_1}}$	
$p_2 < \frac{p_1}{2}$						
$\Delta p > \frac{p_1}{2}$						
Ici :						
p_1 (bar)	Pression absolue p_{abs}		ρ (kg/m^3)	Densité de liquide		
p_2 (bar)	Pression absolue p_{abs}		ρ_G (kg/m^3)	Densité de gaz pour $0^{\circ}C$ et 1013 mbars		
Δp (bar)	Pression absolue p_{abs}		v_1 (m^3/kg)	Volume spécifique (\checkmark tableau de vapeur) pour p_1 et t_1		
T_1 (K)	$273 + t_1$		v_2 (m^3/kg)	Volume spécifique (\checkmark tableau de vapeur) pour p_2 et t_1		
Q_G (m^3/h)	Débit de gaz pour $0^{\circ}C$ et 1013 mbars		v^* (m^3/kg)	Volume spécifique (\checkmark tableau de vapeur) pour $\frac{p_1}{2}$ et t_1		

SERVOMOTEUR

Le servomoteur est l'organe permettant d'actionner la tige de clapet de la vanne.

L'effort développé par le servomoteur à deux buts :

- ✓ Lutter contre la pression agissant sur le clapet par le fluide
- ✓ Assurer l'étanchéité de la vanne, et le pourcentage d'ouverture



Ces deux critères conditionnent le dimensionnement des servomoteurs.

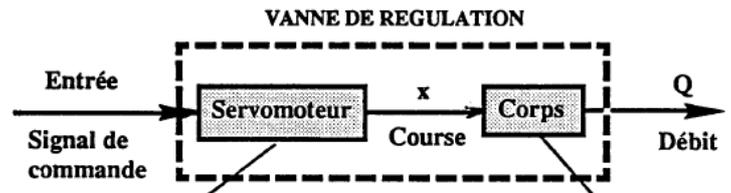
Le fluide moteur (énergie de motricité) peut être : de l'air, de l'eau, de l'huile, de l'électricité (servomoteur électrique).

En général, le fluide est de l'air et la pression de commande varie de 0,2 bar à 1 bar (3...15Psi), on distingue les servomoteurs pneumatiques suivants :

- Le servomoteur classique à membrane, conventionnel (à action direct ou inverse) ou réversible (on peut changer le sens d'action).
- Le servomoteur à membranes déroulante, surtout utilisé pour les vannes rotatives.
- Le servomoteur à piston, utilisé lorsque les efforts à fournir sont très importants. La pression de commande peut être importante. Alors le fluide moteur peut être de l'air, de l'eau ou de l'huile.
- Le servomoteur électrique, utilisé pour les vannes rotatives. On associe à un moteur électrique un réducteur de vitesse permettant ainsi d'obtenir des couples très importants.

SERVOMOTEUR PNEUMATIQUE

➤ *Définition :*

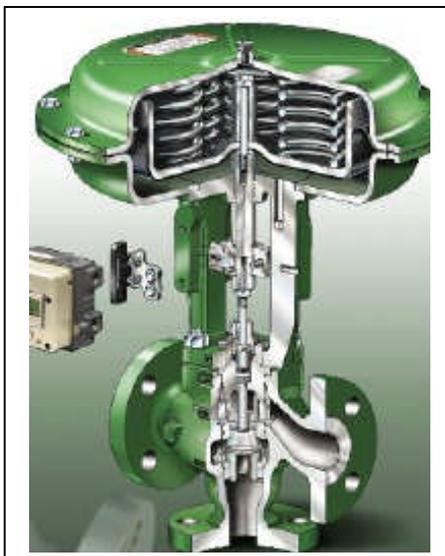
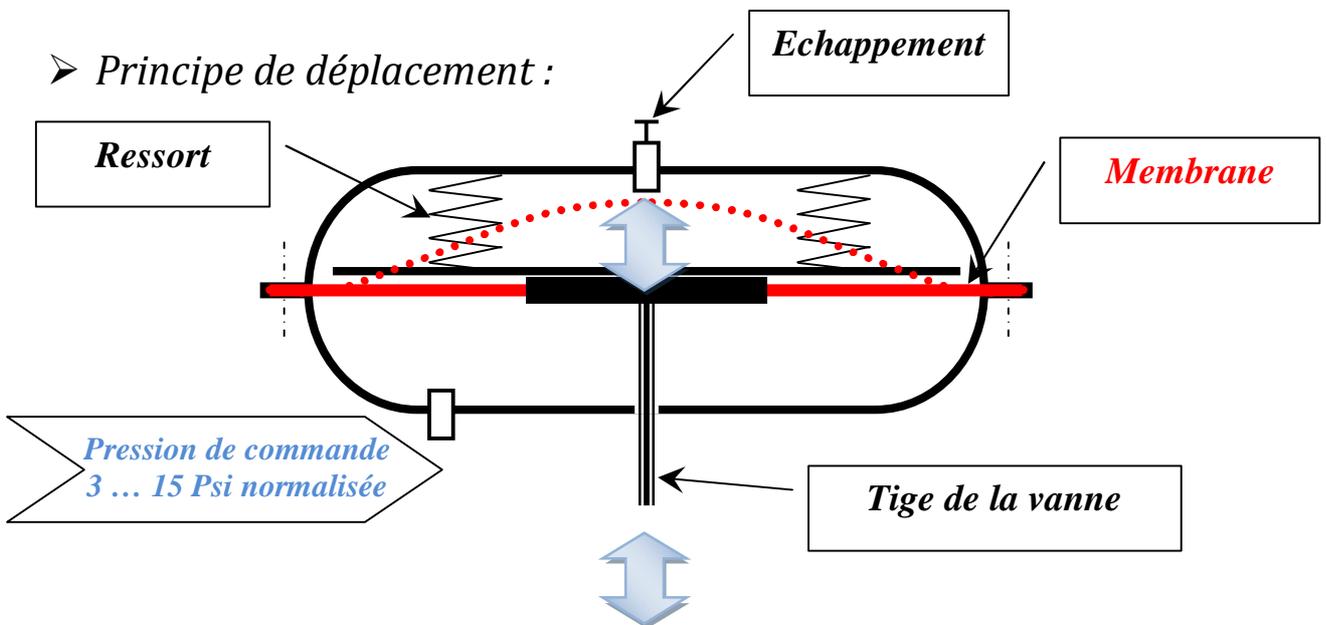


Généralement le servo est un près-actionneur divisé en deux parties :

Exemple : Huile et air : Servofrein, Courant alternatif et Courant continu : Servo drive, pression basse et pression haute : Servo moteur pneumatique.

Donc le servo moteur pneumatique agit sur la tige d'une vanne en translation de faible distance même pour les grands diamètres, alors on doit doubler le nombre des sièges et de organes d'obstacle.

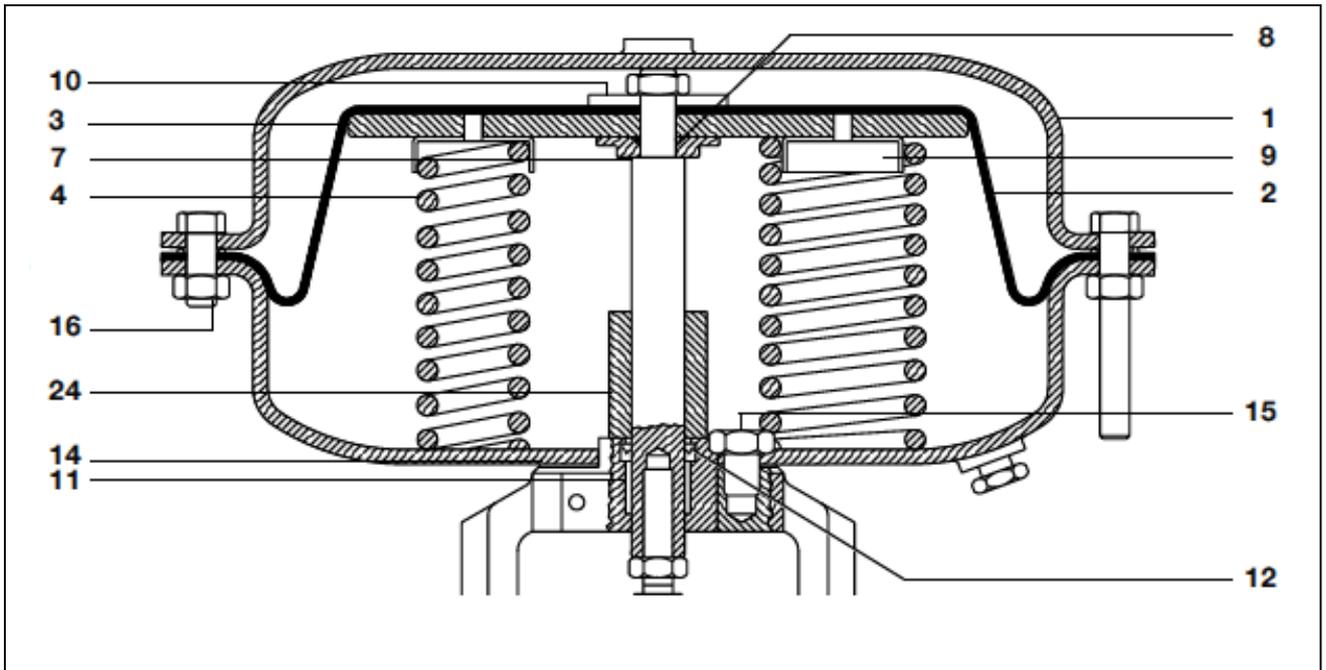
➤ *Principe de déplacement :*



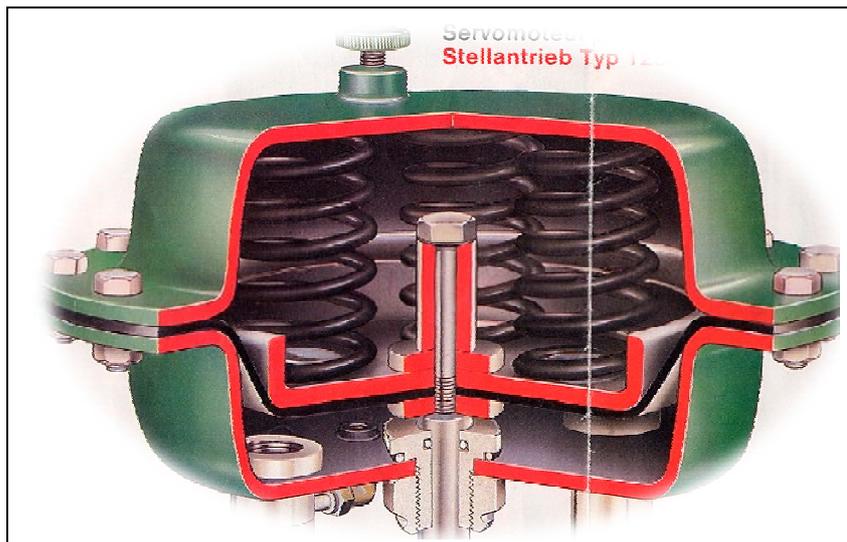
Si la pression de commande augmente, la membrane en caoutchouc ou polymère se déforme paraboliquement vers le haut et tire la tige de la vanne proportionnellement aux efforts des ressorts de rappel (contre pression).

Quand le fluide exerce des efforts de forçage de la position d'ouverture, alors le positionneur **auto corrige** la pression de commande.

➤ *Présentation technologique des servo moteurs pneumatiques :*



No. Part	Material	No. Part	Material
1 Diaphragm housing	Stainless steel 304	14 Gasket	Non asbestos fibre
2 Diaphragm	Reinforced nitrile rubber	15 Fixing screwed	Stainless steel
3 Diaphragm plate	Pressed steel	16 Housing bolts and nuts	Stainless steel
4 Springs	Spring steel		
7 Spacer	Zinc plated steel		
8 'O' ring	Rubber		
9 Spring guide	Zinc plated steel		
10 Diaphragm clamp	Zinc plated steel		
11 Bearing	Bronze		
12 'V' ring	Rubber	24 Spacer	Zinc plated steel



➤ *Effort de motricité*

C'est la force exercée par le servo moteur pneumatique sur la tige pour convaincre les ressorts de rappel seulement, en respectant les unités nous pouvons écrire :

$$F_M = \frac{P_C \times S_U}{g}$$

F_M : Force de Motricité du servo [Kg]

P_C : Pression de Commande du servo [N/mm^2]

S_U : Surface Utile de la membrane [mm^2]

g : Gravité terrestre [m/s^2]

Exemple de calcul :

On veut calculer la force appliquée sur la tige pour un diamètre actif de la membrane de 200mm et 100% de commande sur le servo.

100% de commande $\Rightarrow P = 1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 0,1 \text{ N/mm}^2$

$$S_U = \pi \times r^2 = 3,14159 \times 100^2 = 31416 \text{ mm}^2$$

$$F_M = \frac{0,1 \times 31416}{9,81} \approx 320 \text{ Kg}$$

➤ *Conditions d'équilibre :*

Soit alors le tableau suivant :

Pour un diamètre du servo de 200 mm et une course de 6 mm de la membrane

Avec un signal de commande de 0,2...1bar

Pression de commande	Pourcentage de commande	Force de motricité	Déplacement de la tige
0 bar	Pas de signal	0 Kg	Bloquée
0,2 bar	0%	64 Kg	0 mm
0,4 bar	25%	128 Kg	1,5 mm
0,6 bar	50%	192 Kg	3,0 mm
0,8 bar	75%	256 Kg	4,5 mm
1,0 bar	100%	320 Kg	6,0 mm

Même quand le servo ne reçoit pas de signal, les ressorts exercent une force de fermeture (pour vanne NC), et la tige reste bloquée vers le bas.

A la pression 200 mbar qui désigne 0% de commande d'ouverture, la tige se débloque vers le haut, mais la vanne ne s'ouvre pas, alors on parle de la position de **décollage**, et la vanne est prête au micromètre près de se soulever pour véhiculer le fluide selon le pourcentage de commande.

➤ Dimensionnement des servomoteurs et pression de commande :

Afin que le servo puisse déplacer les éléments mobiles de la vanne et dans quelques cas convaincre les forces parvenant de l'écoulement du fluide, il doit être capable de faire, ce qui engendre des diamètres différents et des pressions de commandes différentes :

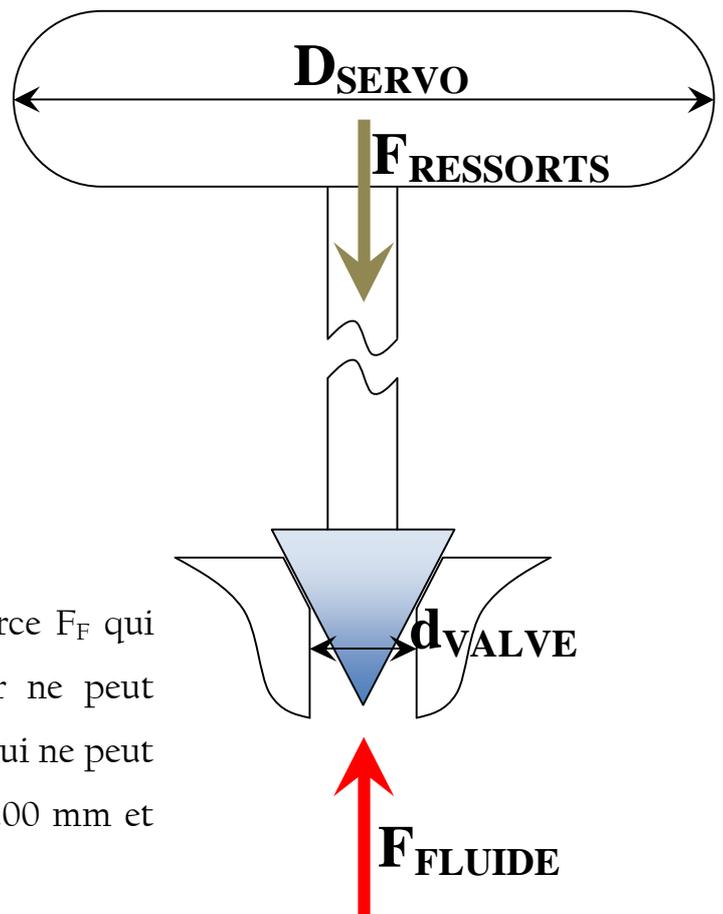
Exemple : Diamètre 250mm, 320mm, 400mm ... Pressions de commande : 0,2...1 bar (3...15 Psi), 0,4...2 bars (6...30Psi)

Pour un servo de 400mm à pression 4 bars maximum, peut engendrer des forces qui dépassent les 5 tonnes.

➤ *Pouvoir de fermeture directe des servomoteurs :*

Pour le cas d'une vanne NC (Normally Closed) la pression de commande de fermeture est de 200mbar par exemple, alors que le servomoteur doit assurer une étanchéité parfaite quelques soient les perturbations de fluctuation de la pression du fluide qui veut traverser la vanne.

Cette pression de fluide exerce un force F_F qui défonce le clapet, alors le servomoteur ne peut qu'exercer la force des ressorts $F_{RESSORTS}$ qui ne peut pas excéder la force de décollement (pour 200 mm et signal 200mbar on a $\approx 64\text{Kg}$)



Donc en équilibre on a :

Force Fluide $F_F = \text{Force Ressorts } F_R$ Et puisque $P = F/S$ et $S = \pi \frac{d^2}{4}$ alors :

$$P_{SERVO} \times S_{SERVO} = P_{FLUIDE} \times S_{VALVE} \Leftrightarrow D_{SERVO} = \sqrt{\frac{P_{FLUIDE}}{P_{SERVO}}} \times D_{VALVE}$$

Exemple de calcul : $PN = 16 \text{ bars } DN = 25 \text{ mm}$

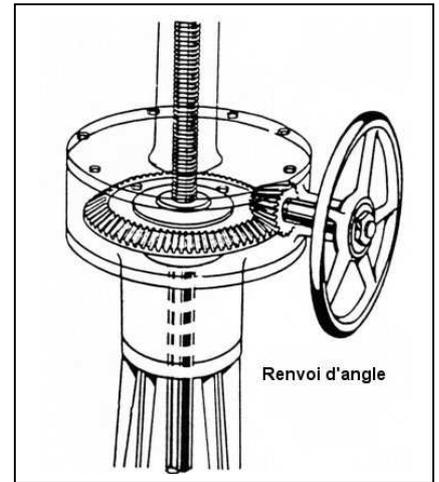
Alors Pression maximale de pique $2XPN = 32 \text{ bars}$ et $D_{VALVE} < 0,9 DN \approx 22,5 \text{ mm}$

$$D_{SERVO} = \sqrt{\frac{32}{0,2}} \times 22,5 = 285 \text{ mm} \Rightarrow \text{on prend } 300 \text{ mm}$$

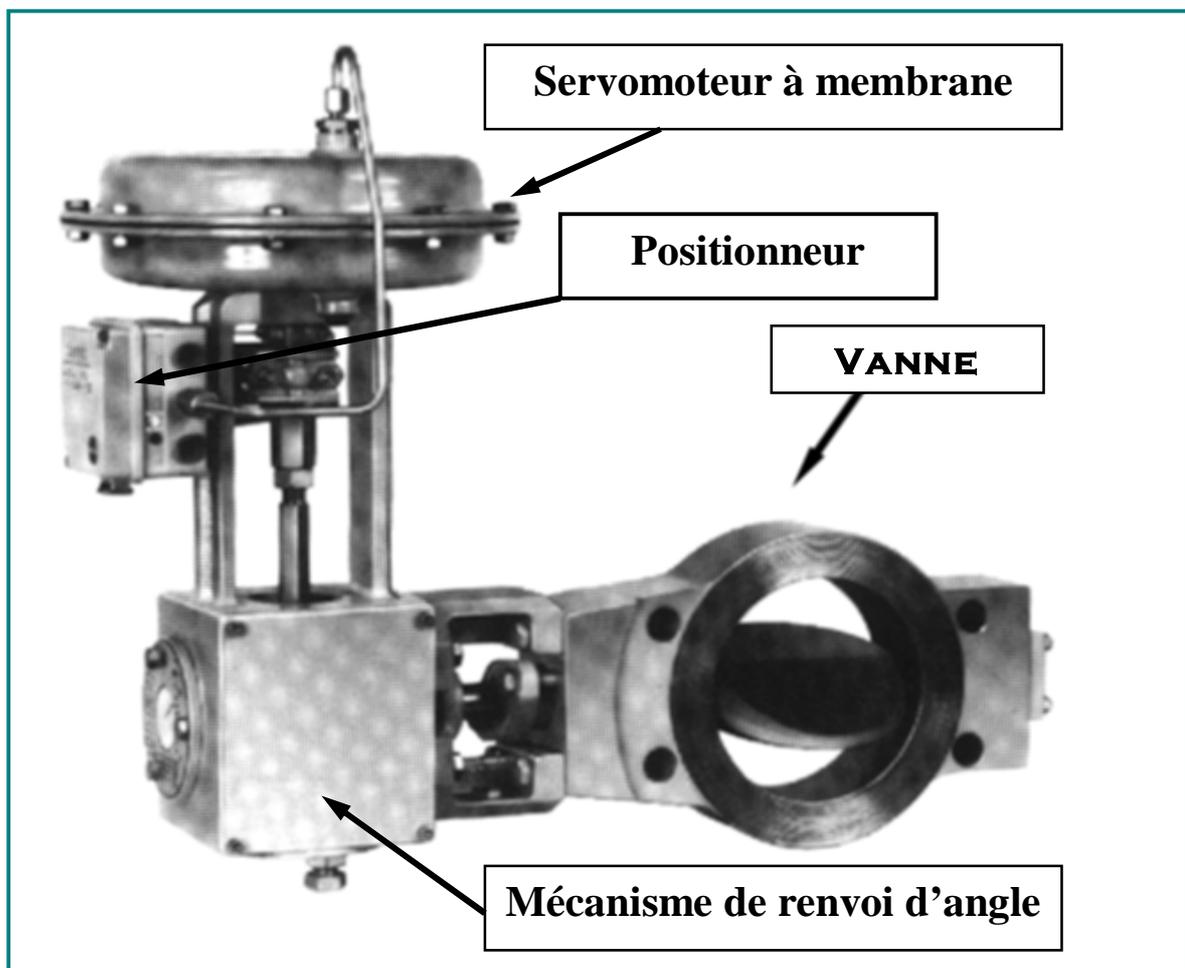
➤ *Le mécanisme de renvoi d'angle :*

Bien que le positionneur corrige en continue la position de l'ouverture de la vanne, mais on peut le contourner par le mécanisme de renvoi d'angle, qui est conçu pour qu'il soit irréversible et ne transmet pas les efforts aléatoires du fluide véhiculé.

Ces mécanismes comme engrenages coniques droits ou vis sans fin et roue dentée nécessite l'entretien.



Toutefois le servomoteur doit être capable de **convaincre** les Forces du fluide pour mobiliser la tige dans les deux sens surtout avec le mécanisme de renvoi d'angle



SERVOMOTEUR ELECTRIQUE

➤ Définition :

Le servomoteur électrique est basé sur le principe d'un moteur à courant continu, alimenté par une carte électronique de pilotage de courant et tension d'alimentation pour varier la vitesse de fermeture de la vanne et le couple de trainage pour convaincre les forces produites par la fluctuation de pression du fluide.



➤ Exemple de servomoteur électrique :

Motorisation ATEX Actionneur électrique linéaire de vanne :

- *Actionneur linéaire électrique ATEX pour vannes*
- *Course maxi de 30mm*
- *Force 800N*
- *Alimentation 24VDC/DC ou 230 VAC*
- *Retour du ressort en 16 s*
- *Mode de contrôle : TOR ou analogique 2 ... 10V*



➤ *Effort de motricité :*

C'est le couple exercé par le servomoteur électrique suite à la rotation du moteur en liaison avec un réducteur mécanique à mécanisme de renvoi d'angle irréversible.

La puissance utile du moteur électrique :

$$P_u = P_a \times \eta_e = U \times I \times \eta_e$$

P_u ; P_a : *Puissance utile et Puissance absorbée du moteur*

η_e : *Rendement moteur DC $\approx 85\%$*

Exemple de calcul :

Pour une vanne de PN=200 Psi et DN=1" on a : $U_{MAX} = 23V$ et $I_{MAX} = 2,5A$

$$P_u = 23 \times 2,5 \times 0,85 \approx 48,9W$$

Le couple du moteur électrique :

$$C_M = \frac{P_u}{\omega} \text{ avec } \omega = \frac{2\pi N}{60}$$

C_M : *Couple de Motricité du servo [mN]*

ω : *Pulsation ou vitesse angulaire [rd/s]*

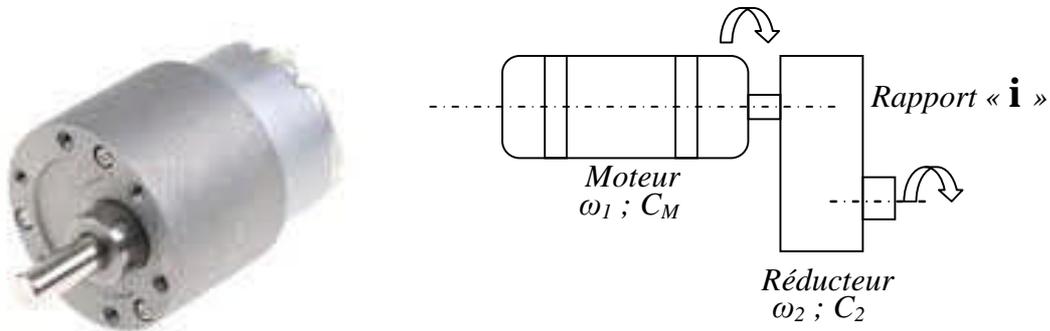
N : *Vitesse de rotation [tr/min] ou [Rpm]*

Exemple de calcul : PN=200 Psi et DN=1"

Pour la même vanne on a : *Pour U_{MAX} alors vitesse du moteur est 500 Rpm*

$$\text{Donc : } C_M = \frac{48,9}{\frac{2\pi \times 500}{60}} \approx 0,933mN$$

Le Couple C_{Servo} générer par le servomoteur (Effort de motricité) suite au couple moteur à l'entrée du réducteur mécanique selon la relation :



$$C_M \omega_1 \eta_m = C_2 \omega_2 \text{ Avec } \eta_m: \text{rendement mécanique du réducteur } \approx 75\%$$

$$\text{Et } \omega_2 = \omega_1 \times i \text{ Donc } C_2 = \frac{C_1 \times \eta_m}{i}$$

Le couple du servomoteur qui n'est d'autre que C_2 peut s'écrire de la façon suivante :

$$C_{Servo} = \frac{U \times I \times \eta_e \times \eta_m}{\omega_1 \times i}$$

Exemple de calcul : PN=200 Psi et DN=1"

Pour la même vanne on a : $i = \frac{1}{200}$ (Réduit 200 fois la vitesse)

$$C_{Servo} = \frac{0,933 \times 0,75}{1/200} \approx 140 \text{ mN}$$

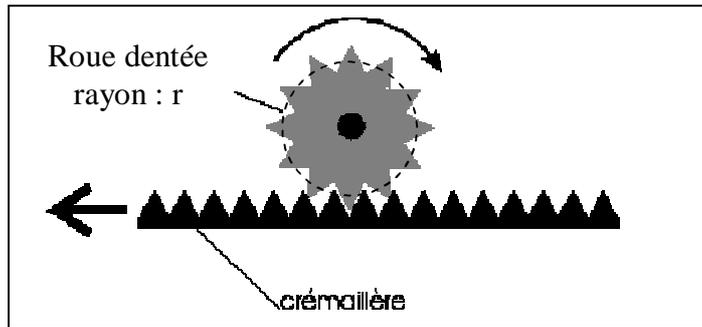
Par ailleurs

$$C_{Servo} = \frac{23 \times 2,5 \times 0,85 \times 0,75}{\frac{2\pi \times 500}{60} \times 1/200} \approx 140 \text{ mN}$$

À l'égard d'un couple on peut toujours déterminer la force en N qu'il peut engager sur un rayon d'une roue dentée par exemple par la loi suivante : $C = F \times r$

Cette force est valable pour le dimensionnement des actionneurs linéaires électriques seulement, pour les actionneurs rotatifs (vanne à ¼ de tour) il suffit d'avoir un couple du servomoteur C_{Servo} qui convainc les efforts de frottement mécanique de serrage à la fermeture et le début de l'ouverture, ou encore le frottement de l'axe aux coussinets.

$$F_{Servo} = \frac{C_{Servo}}{r}$$



Exemple de calcul : PN=200 Psi et DN=1"

Pour la même vanne on a : *Diamètre roue motrice = 25 mm*

$$F_{Servo} = \frac{140}{0,125} \times 1/9,81 \approx 114 \text{ Kg}$$

➤ *Conditions de l'équilibre des actionneurs linéaires électriques :*

Il faut que la somme des forces sur la tige soit nulle, alors : $F_{Servo} = F_{Fluide}$

Ce qui se traduit ainsi :

$$F_{Servo} = P_{Fluide} \times S_{VALVE}$$

Exemple de calcul : PN=200 Psi et DN=1"

Alors Pression maximale de pique $2 \times \text{PN} = 28 \text{ bars}$ et $D_{VALVE} < 0,9 \text{ DN} \approx 22,5 \text{ mm}$

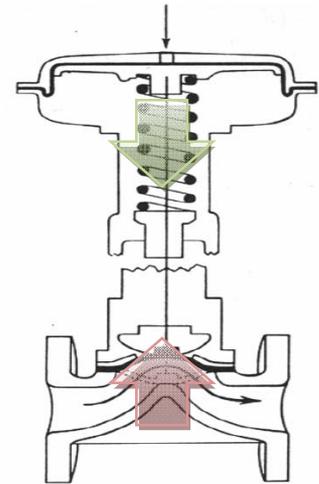
Condition de motricité $F_{Servo} > 2800000 \times \frac{\pi \times (0,0225)^2}{4} \times 1/9,81 \approx 113,5 \text{ Kg}$

La condition est vérifiée, le servomoteur est valable pour la vanne

LE POSITIONNEUR

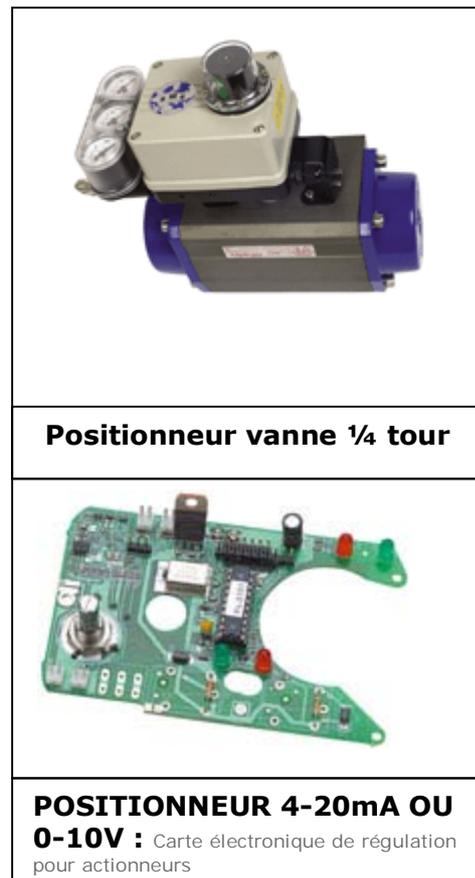
➤ Nécessité du positionneur :

La pression aléatoire du fluide désignée par PN (Pression Nominale) exerce un effort d'ouverture sur la vanne (NC) et déstabilise sa position d'où la nécessité de mesurer la position de la tige et agir sur la pression de commande pour l'auto maintien de la commande.



➤ Définition :

Le positionneur va servir à maintenir l'ouverture exigée par le régulateur quelque soit les perturbations de dépression et surpression du fluide qui influent directement sur la force appliquée à la tige, c'est pourquoi on l'appelle vanne de régulation car elle comporte une boucle de régulation de la position de la tige à la consigne.

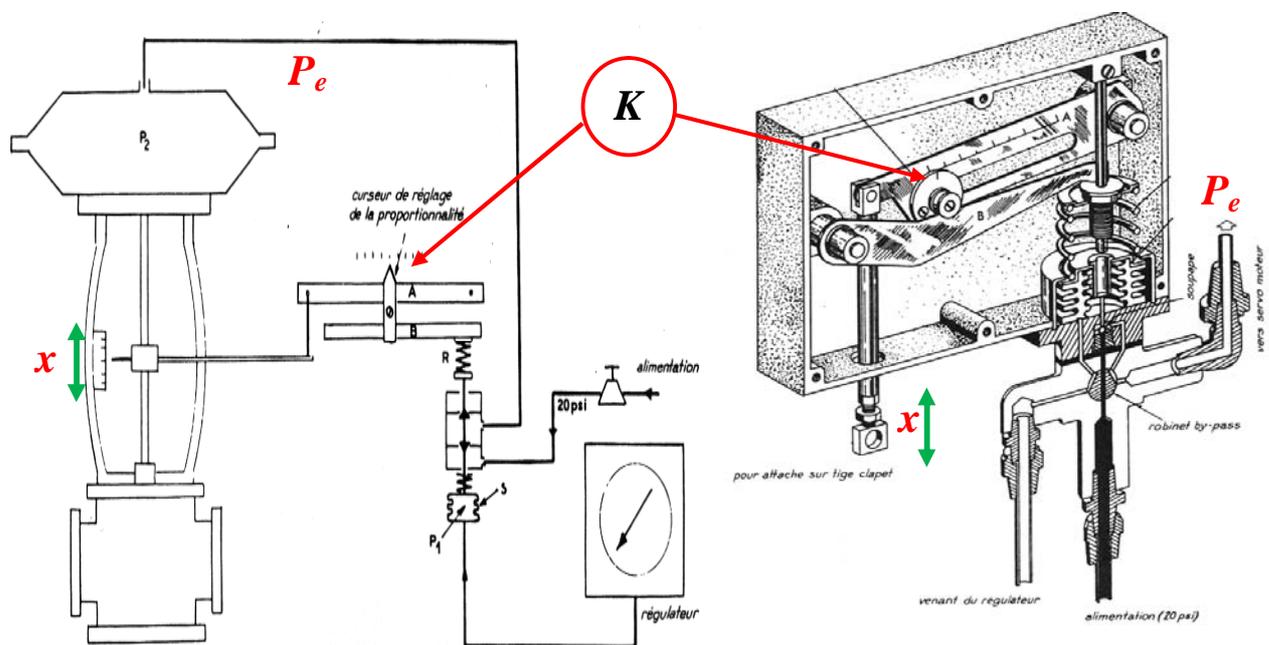


➤ *Avantages du positionneur*

- Réalise l'asservissement de position
- Changement du sens d'action de la vanne
- Conversion du signal de commande (Convertisseur I/P)
- Changement de la loi intrinsèque de la vanne (Positionneur à came)
- Amplification de la pression P_e envoyée sur le servomoteur
- Changement d'échelle dans le cas de régulation en split range
- Diminution du temps de réponse de la vanne

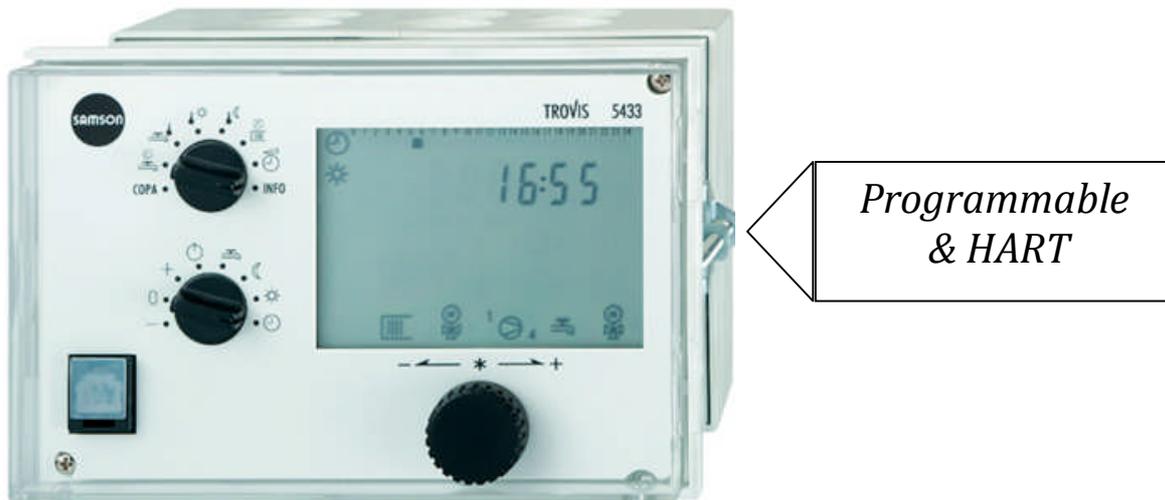
➤ *Positionneur Pneumatique – Pneumatique :*

A l'équilibre il faut que : $x = K \cdot P_e$



Dans le cas d'un positionneur électropneumatique, le soufflet est remplacé par une bobine électromagnétique à sensibilité d'action très élevée.

➤ *Positionneur Electropneumatique SMART :*



Un positionneur de vanne est dit "intelligent" lorsque, en plus de sa fonction de base de positionneur qui est de garantir la position correcte de l'obturateur par rapport au siège pour un signal de commande donné, il permet de réaliser, grâce à ses composants, en particulier son microprocesseur:

☺ un dialogue à distance, car il possède des circuits de communication. Cela permet à distance à partir d'un système de conduite, d'un ordinateur, d'une micro-console, ... de l'identifier, l'interroger, le configurer, suivre son fonctionnement donc celui de la vanne, ...

☺ un réglage plus précis effectué par la vanne du fait d'un asservissement à l'aide d'un capteur de position et du calcul selon un algorithme numérique de l'action nécessaire sur le servomoteur de vanne

☺ un autoréglage, un auto-étalonnage, une auto-vérification, un autodiagnostic en cas de panne d'un de ses composants (il indique lui-même quel est son composant défectueux), un suivi statistique de certains paramètres, un test avec visualisation

graphique de ses performances statiques ou dynamiques (exemple: hystérésis, temps de réponse)...

☺ une modification aisée et précise de certaines caractéristiques de l'ensemble vanne + positionneur, en particulier sa caractéristique statique qui peut ainsi être parfaitement adaptée au procédé.

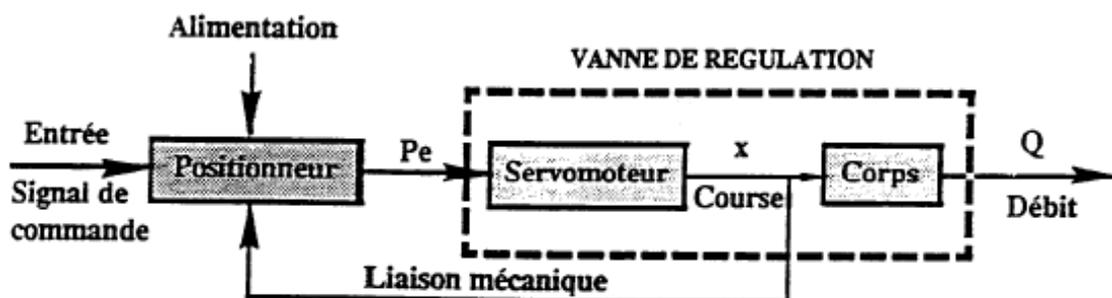
Technical Information	
Input	0 ... 20 mA 4 ... 20 mA
Air supply	60 ... 90 psi
Output	3 ... 15 psi (7 ... 60 psi)
Ambient temperature	+15°F up to +140°F
Hysteresis	< .1 %
Air consumption	.06 scfm at 60 psi
Mounting	Clamping device for DIN-rail or panel mount Direct valve mount
Enclosure	IP54
Weight	.96 lbs
Housing	Aluminium (epoxy coated, black)



Positionneur Electropneumatique

➤ *Boucle de régulation de la vanne de régulation :*

Le positionneur est un convertisseur I/P (Intensité/Pression), recevant une commande CO du régulateur (ou API) en mA et la transforme en un signal P_e en bar.

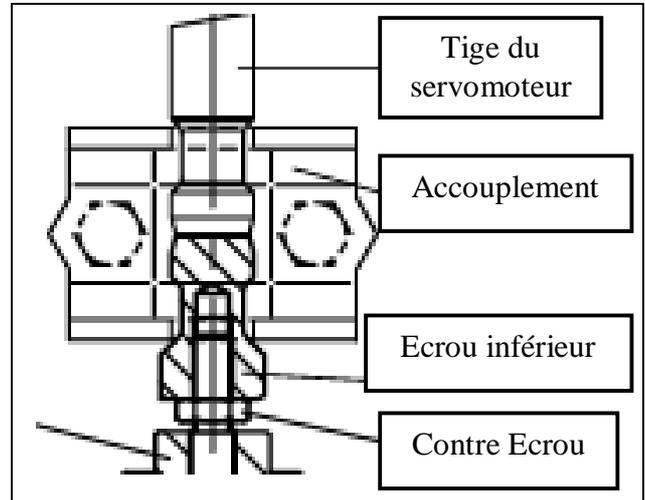


ETALONNAGE DES VANNES PROPORTIONNELLES

➤ Etalonnage mécanique

Consiste à ouvrir un mécanisme d'accouplement entre la tige côté vanne et la tige côté servomoteur avec grande précaution.

Alors la vanne et le servomoteur deviennent indépendante et chaque partie peut être allongée ou retrécie en faisant tourner l'écrou dans un sens ou dans un autre, chaque tour équivaut **1,000 mm**.



La procédure d'étalonnage doit être faite en deux parties, une pour le servomoteur et l'autre pour la vanne, l'ensemble installé sur un banc d'essai spécifique :

Le banc d'essai doit comporter une pompe volumétrique de précision avec débit variable de large étendu. Sur le circuit fermé d'eau est placé un débitmètre de haute précision.

La mesure de la pression en amont et en aval de la pompe est assurée par des manomètres de grand diamètre et haute précision.

On doit avoir aussi un marbre de précision avec un comparateur à cadran avec support magnétique pour palper les positions mécaniques de la tige.



Pour les vannes à grands diamètres (environ 6") les banc d'essai devienne rare et on doit les fabriquer à la demande :



Etalonnage mécanique du servomoteur :

Exercer sur le servomoteur la pression de commande minimale (3 Psi ou 200mbar) et faire tourner l'écrou du haut afin d'atteindre le point le plus extrême de commande (Le plus **bas** pour une vanne NC) et qui coïncide parfaitement avec l'épaulement ou les rainures de l'accouplement quand la vanne est dans la position de **décollage** et ne doit passer aucun débit voir fuite.



Etalonnage mécanique de la vanne :

Appliquer la pression de commande maximale (15 Psi ou 1 bar) et faire tourner l'écrou du bas pour atteindre les rainures d'accouplement quand la vanne est dans la position extrême (Le plus **haut** pour vanne NC) qui donne le maximum de débit, sans dépasser ce point pour ne pas perdre un peu de la course.



➤ *Etalonnage électronique linéaire*

Le principe est d'appliquer les deux commandes extrême 4mA et 20mA et mesurer la pression générée par le convertisseur I/P à sa sortie.

S'il y'a des écarts, il faut agir sur les potentiomètres ZERO et SPAN du convertisseur.

Exemple de convertisseur I/P (4...20mA et 0,2...1bar)

Il faut alimenter le positionneur par une alimentation électrique nominale soit 24 VDC ou 12 VDC dans quelques cas on utilise 24VAC.



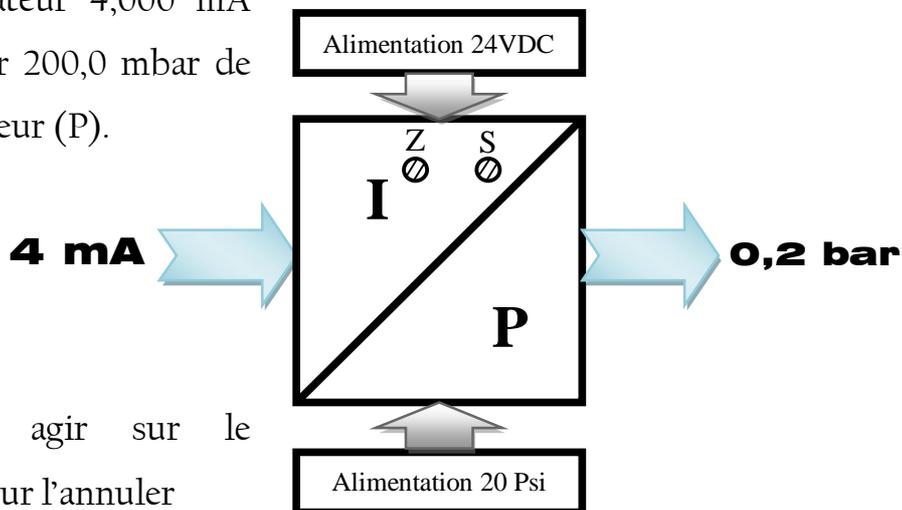
Pour l'alimentation en air sous pression il faut appliquer au moins 20Psi (1,4bar) de pression **d'air sec** minimum (6bars est un Maximum pour la majorité des convertisseurs I/P), pour le signal de commande 6...30Psi on applique au moins 40Psi (2,8bar).



Le groupe « Filtre Régulateur » de pression ne doit pas comprendre un lubrificateur car la vanne proportionnelle pneumatique ne se comporte pas comme un vérin simple effet, puisqu'il n'y'a pas des pièces sous pression et en mouvement en même temps comme le piston et la chemise.

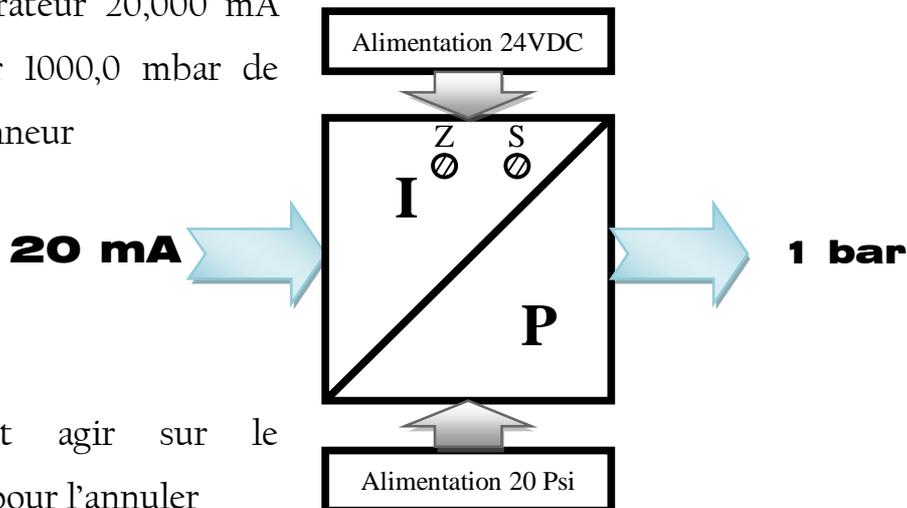
Après débranchement pneumatique du positionneur du servomoteur, la procédure d'étalonnage électronique linéaire consiste à :

- ✓ Générer par un calibrateur 4,000 mA d'un côté (I) et mesurer 200,0 mbar de l'autre côté du positionneur (P).



En d'écart il faut agir sur le potentiomètre ZERO pour l'annuler

- ✓ Générer par un calibrateur 20,000 mA d'un côté et mesurer 1000,0 mbar de l'autre côté du positionneur



En d'écart il faut agir sur le potentiomètre SPAN pour l'annuler

A l'intérieur des positionneurs on trouve un bloc de microswitchs dont on peut configurer la possibilité de choisir un autre étendu d'entrée comme 0...10V et un étendu de commande 6...30 Psi ou 12...60 Psi, alors il faut donner les alimentations adéquates en tension et pression d'air sec.



➤ *Étalonnage par programmation du positionneur configurable*

Les positionneurs dits intelligents ou SMART peuvent être paramétrés via la console HART ou un Modem HART connectée à un PC.

La procédure d'étalonnage mécanique du servomoteur et de la vanne reste la même pour les positionneurs électropneumatiques analogiques ou SMART en moyennant un banc d'étalonnage spécifique.



Mais les opportunités offertes par la communication numérique avec les positionneurs de la nouvelle génération semble infinies, et très utile pour :

- La gestion d'entretien de la vanne
- La sécurité d'utilisation
- Les commodités de commande avancée

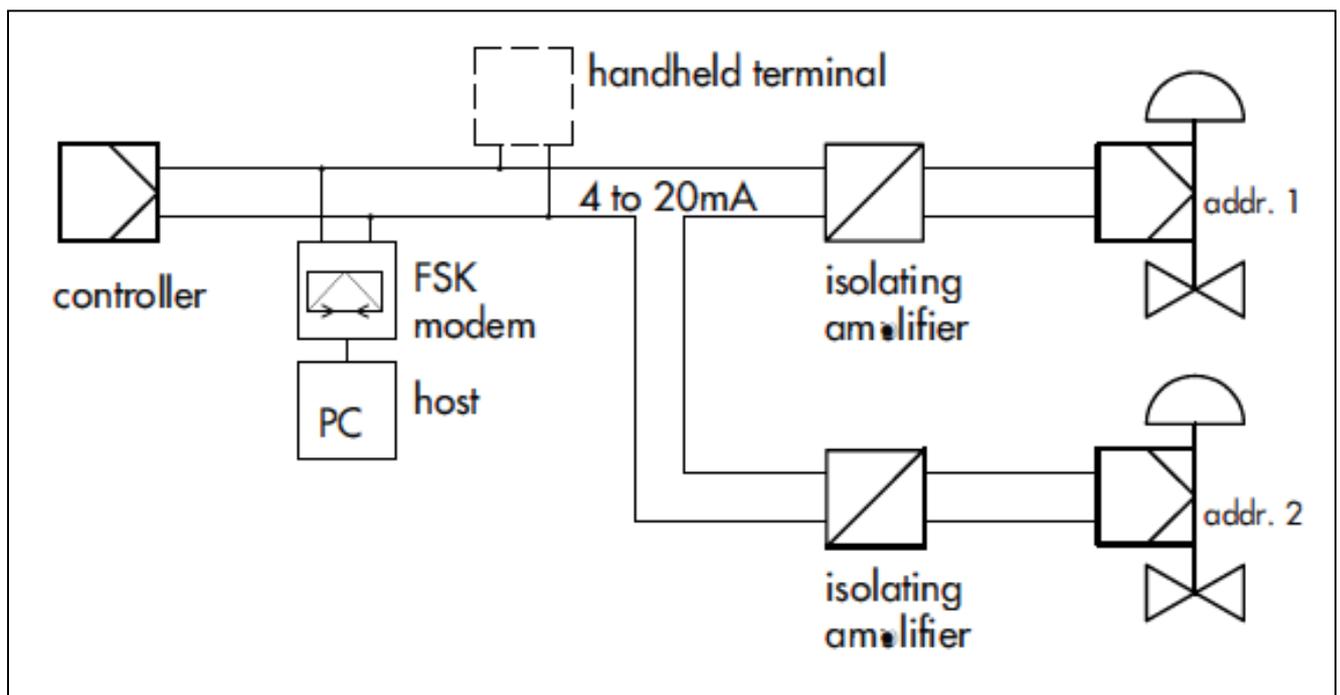
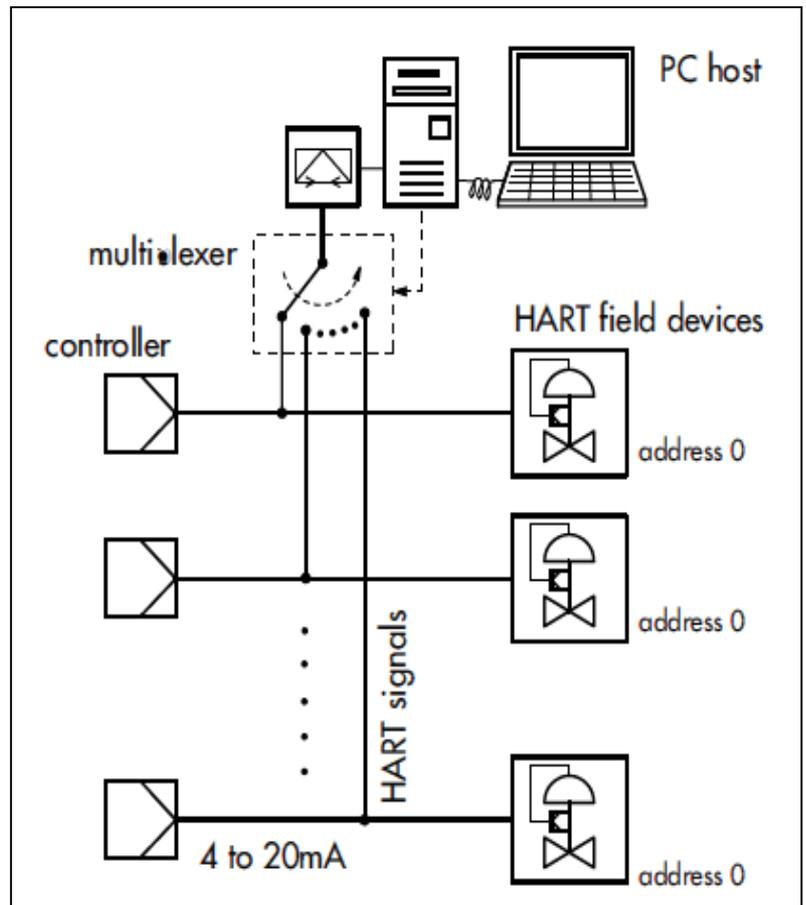
Les positionneurs intelligents sont paramétrable soit par le protocole HART (Console ou PC) ou plus fort encore communication PROFIBUS ou RS par câble TTL/RS232.



Réseaux de positionneurs HART avec multiplexeur :

Dans un système de supervision ou SNCC (Système Numérique Contrôle Commande) les positionneurs peuvent être connectés sur un multiplexeur piloté par l'ordinateur à partir d'un modem.

Le protocole HART assure l'adressage de chaque positionneur de vanne et le logiciel prend en charge la commodité de paramétrage de base et avancé.

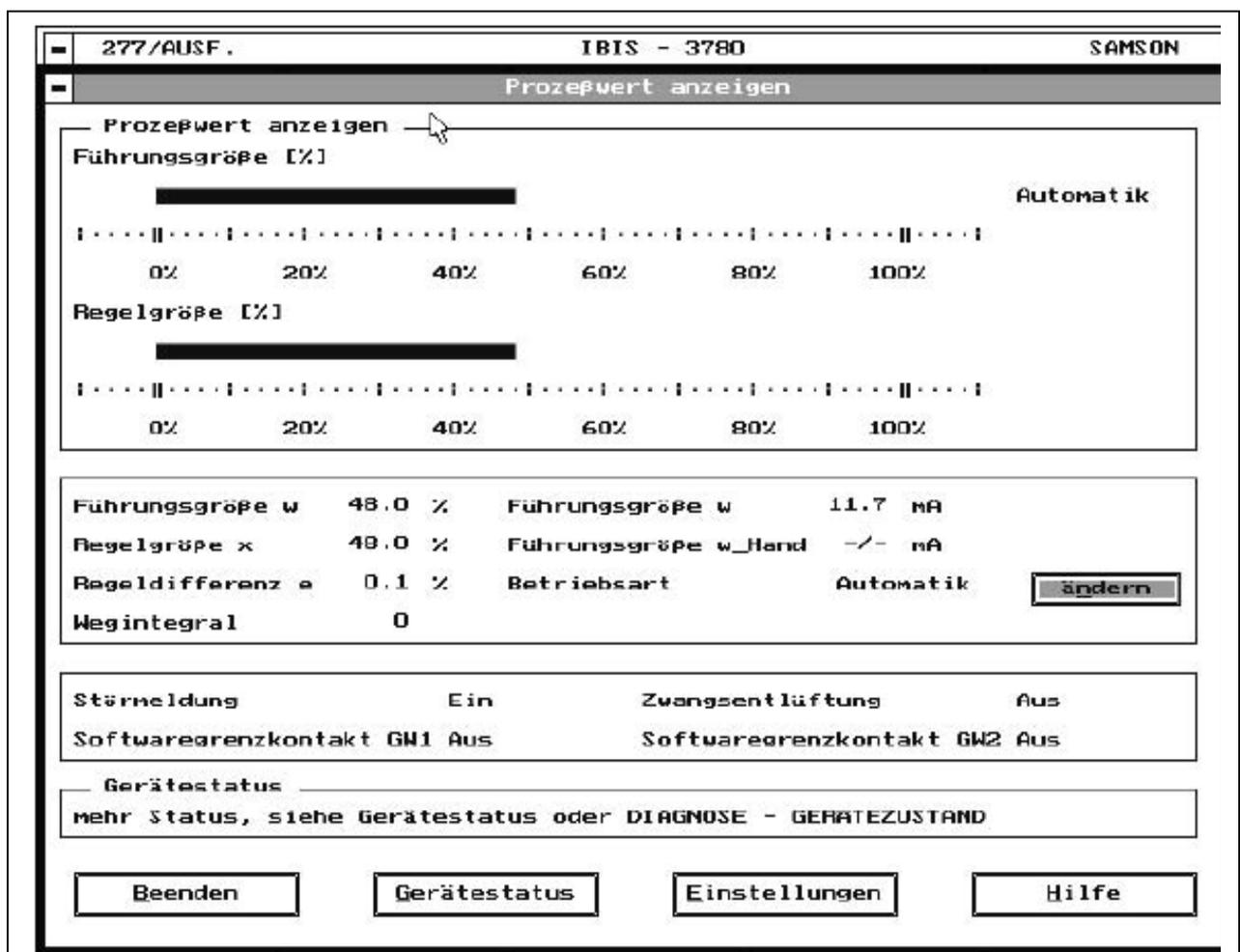


Dans le menu ONLINE de la console on peut trouver le suivant :

```
VARIABLE low_flow_cutoff
{
  LABEL [low_flow_cutoff];
  TYPE FLOAT;
  {
    DISPLAY_FORMAT "6.4f",
  }
}

MENU configure_io
{
  LABEL [configure_io]
  ITEMS
  {
    FLOW_UNITS,          /* VARIABLE      */
    rerange              /* edit-display  */
    operate_mode,       /* variable      */
    flow_config          /* menu          */
  }
}
```

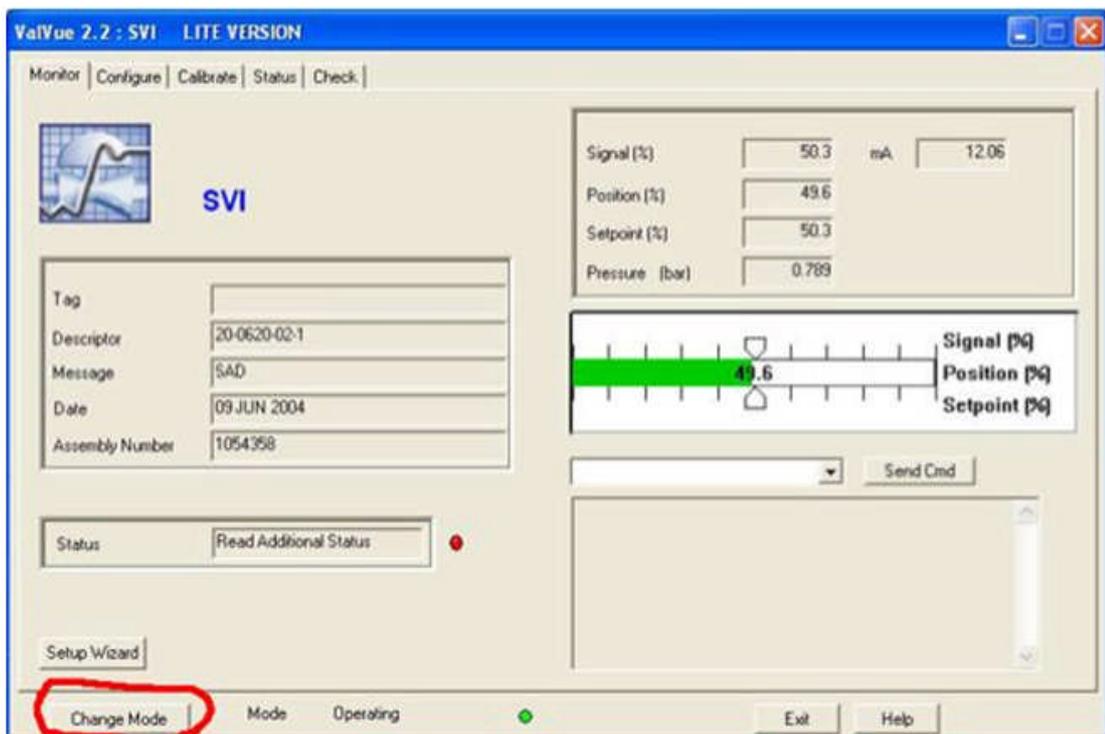
Logiciel IBIS de paramétrage via PC



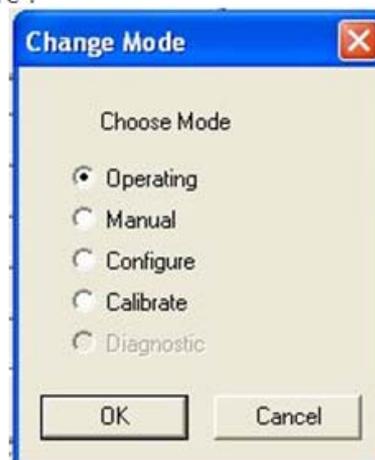
Logiciel Valvue de paramétrage via PC

Valvue est un logiciel Masoneilan, qui permet de paramétrer les vannes de la même marque. La version Lite, est fournie gracieusement par le fabricant. Lancer le logiciel Valvue lite (normalement sur le bureau). Après recherche de la vanne (laisser faire), sélectionner la vanne (comme sur l'image ci-dessous), puis cliquer sur le bouton Select.

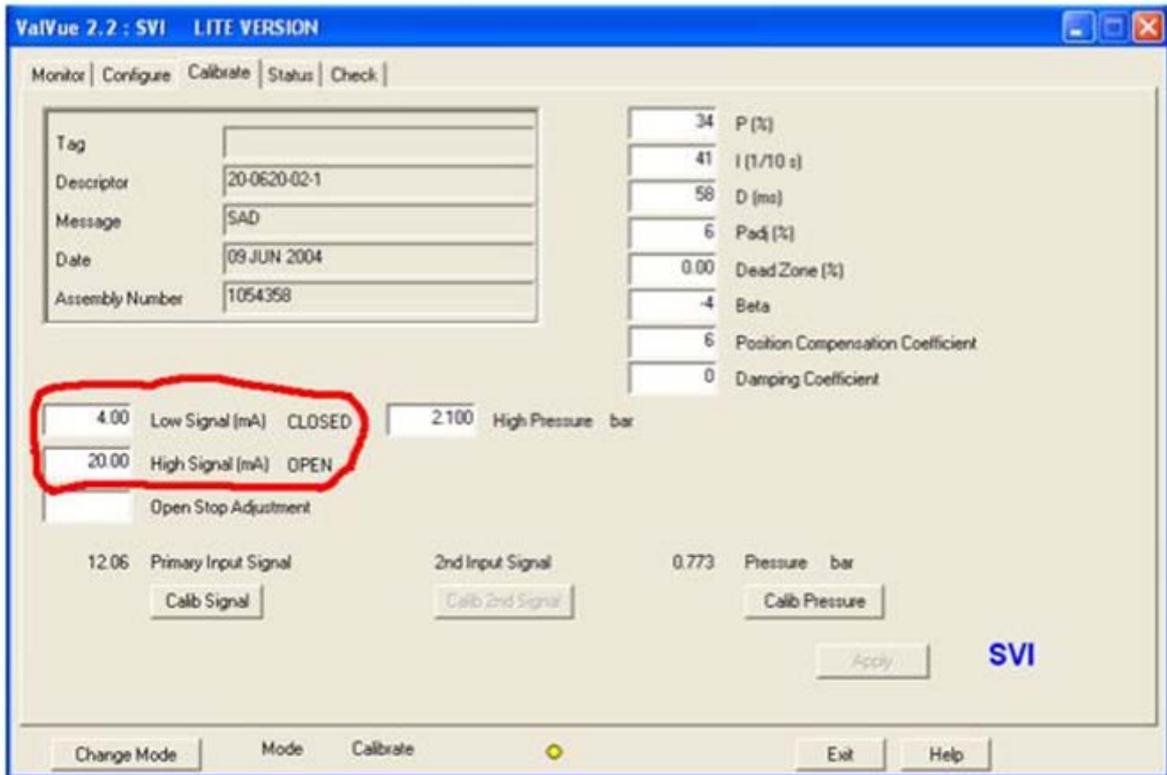
Changer de mode, en cliquant sur le bouton "Change Mode" :



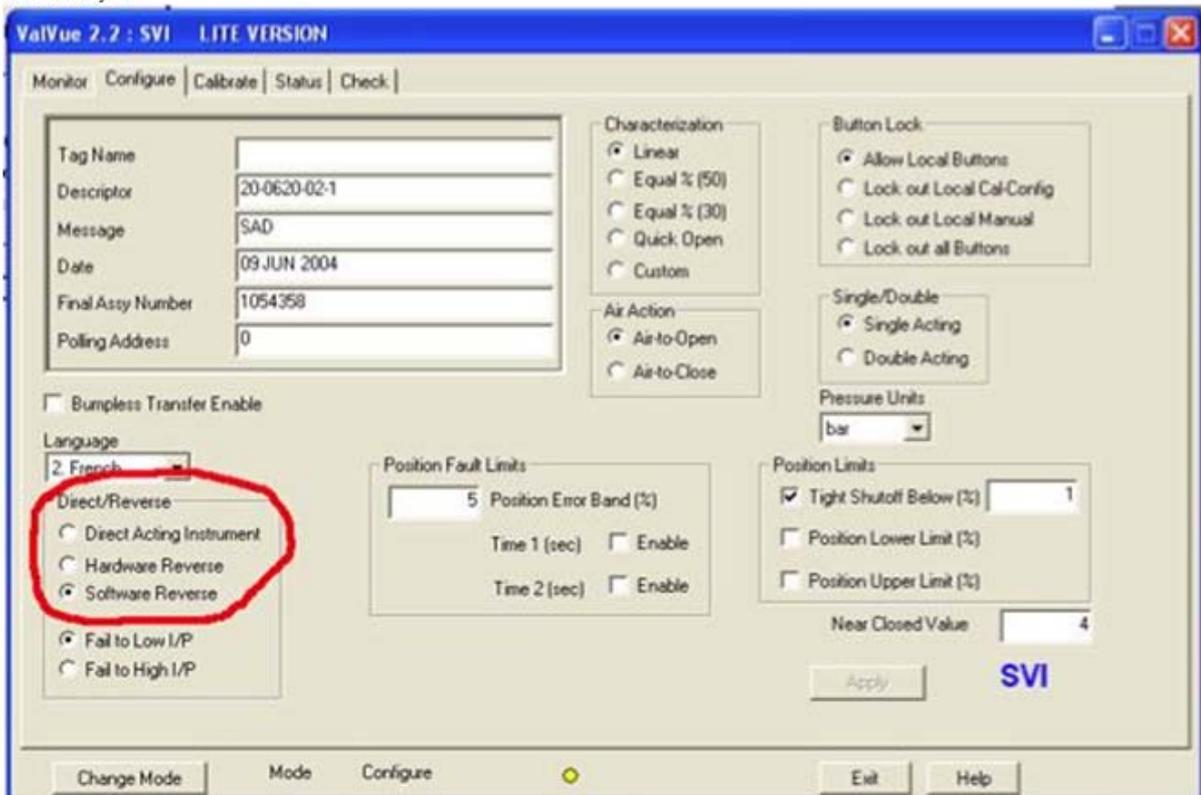
Selectionner le mode désiré :



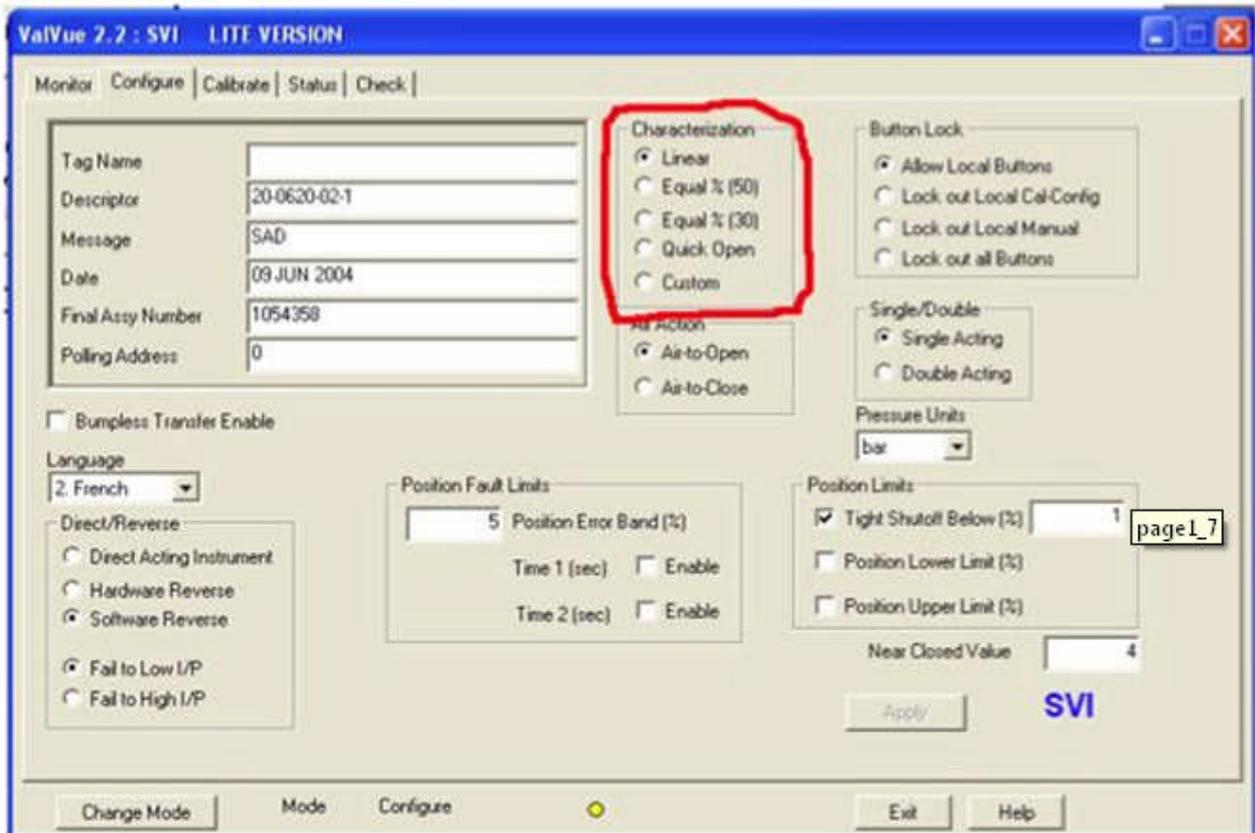
En mode Calibrate, en modifiant les valeurs de Low et High Signal (mA), vous modifiez le courant correspondant à 0 % et 100 %.



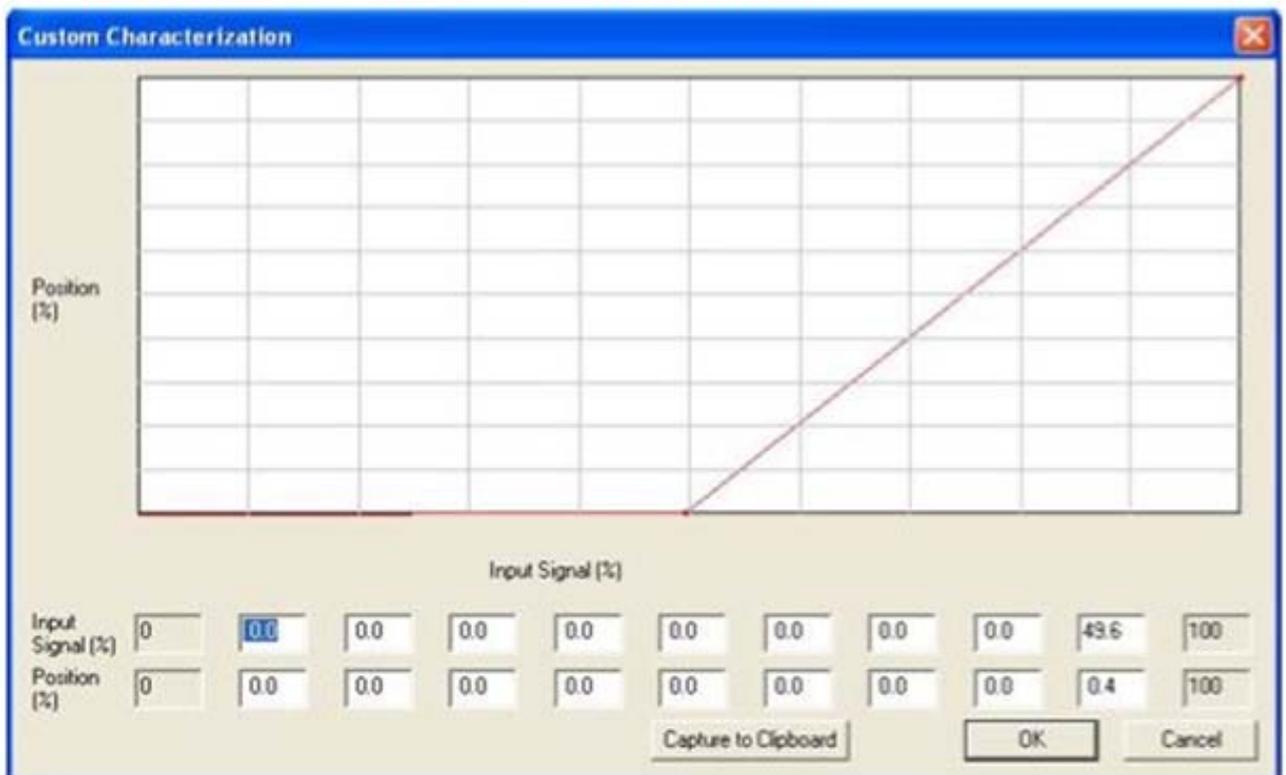
En mode Configure, vous pouvez modifier le sens d'action de la vanne (Direct ou Inverse) :



En mode Configure, vous pouvez modifier la caractéristique position/commande de la vanne :



Et même personnaliser celle-ci en sélectionnant Custom :

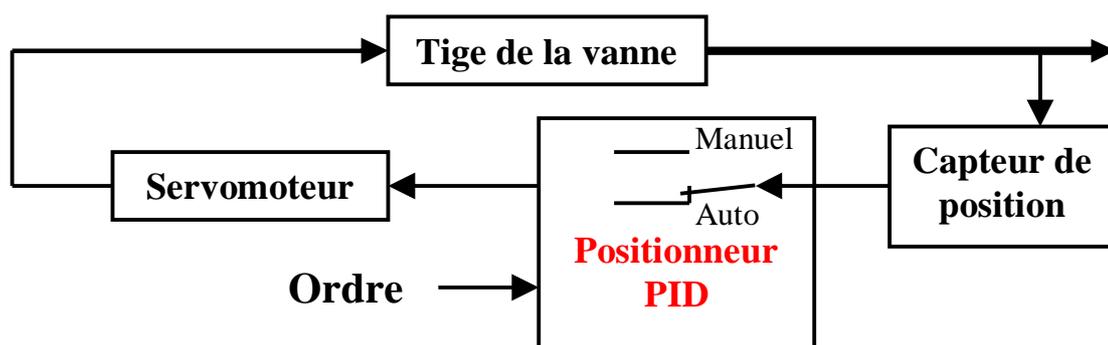


REGLAGE PID DES VANNES PROPORTIONNELLES

➤ Principe de la boucle de régulation continu

Le régulation continu en boucle fermée est définie comme un processus où la valeur mesurée (position de la tige) est constamment surveillée et est comparée à la valeur de la consigne (ordre d'ouverture).

Dépendant du résultat de cette comparaison, l'entrée variable du système (tige de la vanne) est influencée pour ajuster la valeur mesurée à la valeur de la consigne (Ordre) quelles que soient les perturbations (fluctuation de la pression du fluide via la vanne).



Cette boucle de régulation appliquée à la vanne de régulation donne le nom technique à la vanne proportionnelle soit :

Vanne Auto Servomoteur équipée d'un positionneur

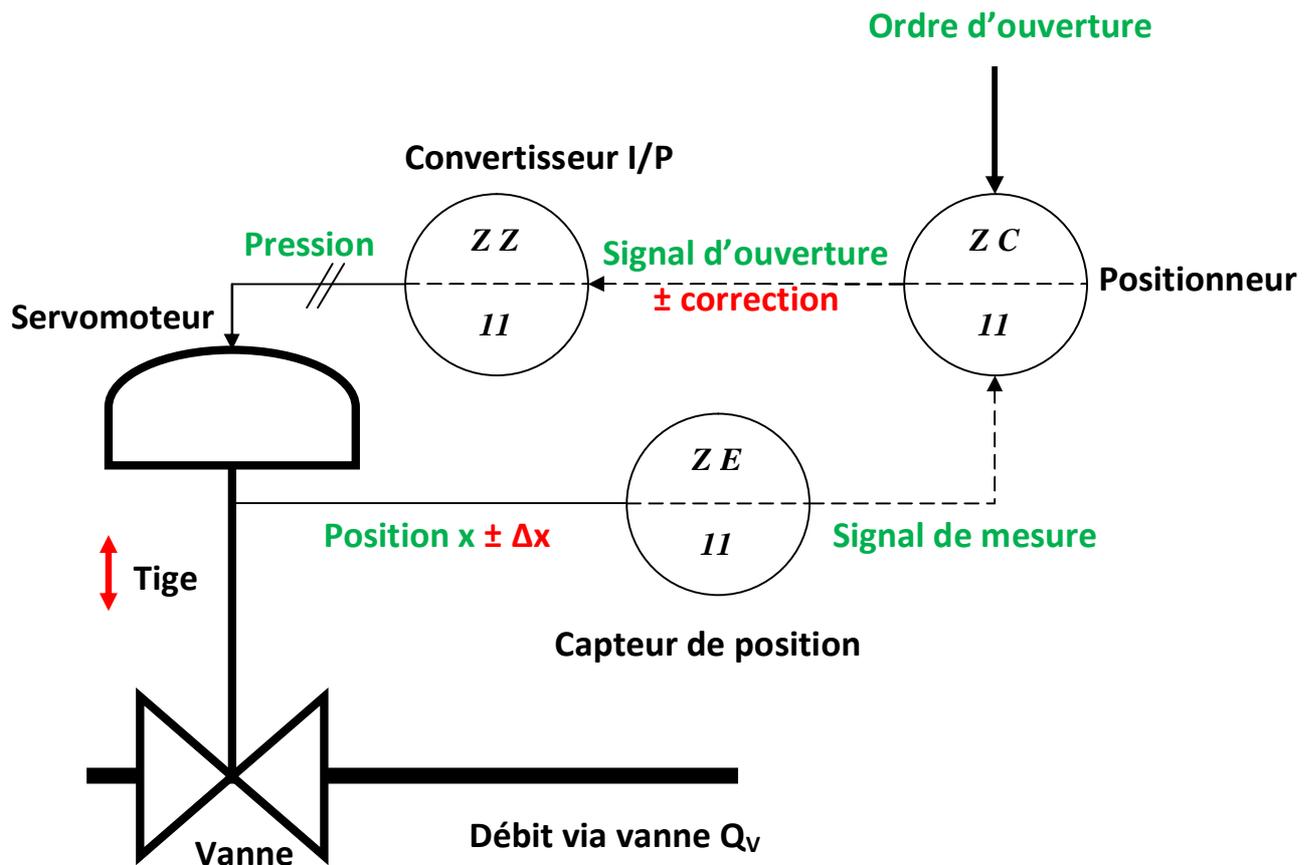
Le capteur de position de la tige est sensible au micromètre près, et le positionneur compare cette position à la consigne qui parvient du régulateur extérieur (l'ordre d'ouverture de la vanne), l'écart sera lifier mathématiquement par les effets PID pour :

- Donner de la rapidité d'action de la tige (Proportionnel)

- De la précision statique à l'ouverture voulue (Intégral)
- De l'anticipation au départ de mouvement de la tige (Dérivée)

La valeur calculer suite aux effets PID sera appliquée sur le servomoteur pour ramener correctement et efficacement la tige de la vanne à la position désirée.

➤ *Chaîne de mesure d'une vanne de régulation :*



Exemple de calcul : Ordre d'ouverture est 40% sur 6 mm de course.

Positionneur I/P : 4...20 mA et 0,2...1 bars, exploités à 100%

Débit via vanne Q = Constant alors correction = 0 donc

Signal de mesure = Ordre = 40% \Rightarrow Position $x = 2,4$ mm

Débit via vanne $Q = Q_0 + \Delta Q$ alors Position $x \approx 2,45$ mm alors

Correction = $[(2,4 - 2,45) * 100 / (6 - 0)] * \text{PID} \approx -0,8\% * \text{PID}$

➤ Régulation de la position de la tige par K_P seul (à levier)

Est caractérisée par (K_P ou $G_r=100/BP\%$) la constante de proportionnalité ou le gain du régulateur, sa valeur est multipliée par l'écart instantané entre la consigne voulue sur la tige et sa position actuelle influençant ainsi l'action sur la tige de la vanne le rendant ainsi plus rapide dans la limite de sa stabilité

$$\text{Correction} = (\text{Ordre}\% - \text{Position}\%) \times K_P$$

Cette régulation est suffisante pour les vannes montées sur les pipes à fluide laminaire ou proche de la turbulence, parce que l'opérateur proportionnel est bon pour la rapidité d'exécution d'ouverture et de fermeture mais insuffisant pour la régulation de la position en cas de fluctuation de la pression de fluide.

Pour les vannes de régulation à positionneur pneumatique le réglage de K_P se fait par la variation de la longueur d'un levier à lumière graduée et écrou de serrage :

Si **KP est grande** : la tige oscille puis aille à la position désirée ou reste en pompage.

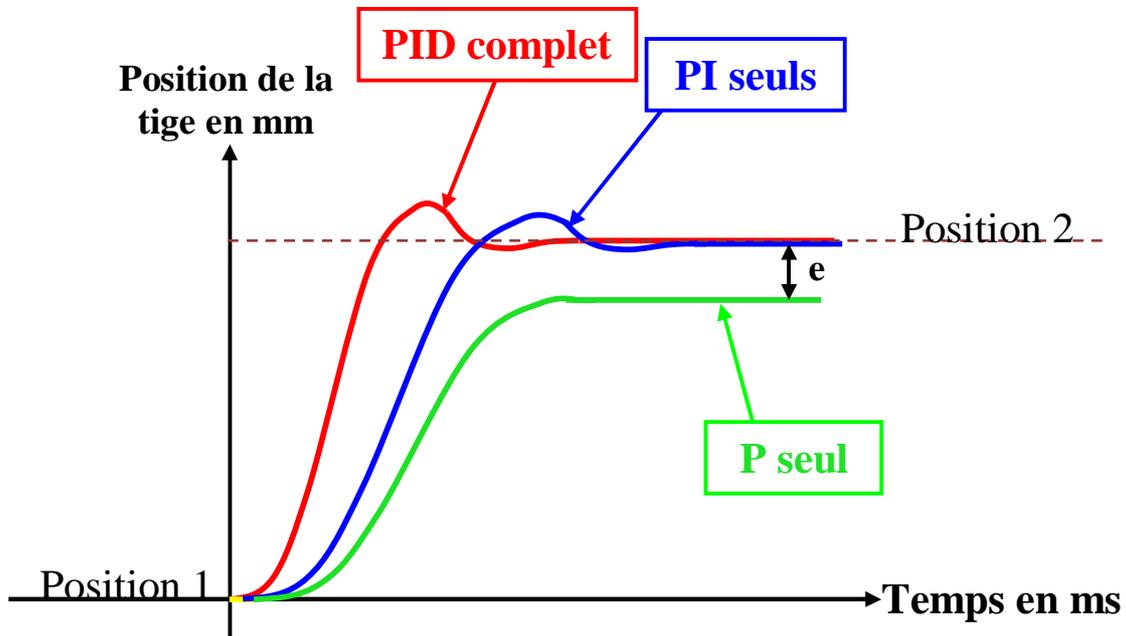
Si **KP est faible** : La tige est très lente pour aller à une position proche de la désirée.

Si **KP est correcte** : La tige aille rapidement à la position désirée sans oscillée.



➤ *Régulation de la position de la tige par PID complète :*

Comparaison entre une régulation P, PI et PID :



Privilèges des effets PID sur les vannes de régulation

☺ Effet Proportionnel K_p :

Bien dosé, il donne de la rapidité à l'exécution d'un ordre d'ouverture, la tige de la vanne convainc facilement les forces de fluide et se positionne à la consigne désirée par le régulateur qui commande la vanne. Avec les effets de **vieillessement** des mécanismes de la vanne il faut **augmenter** un peu K_p . (Attention $K_p = 100/BP\%$)
BP% est la Bande Proportionnelle est l'inverse de K_p .

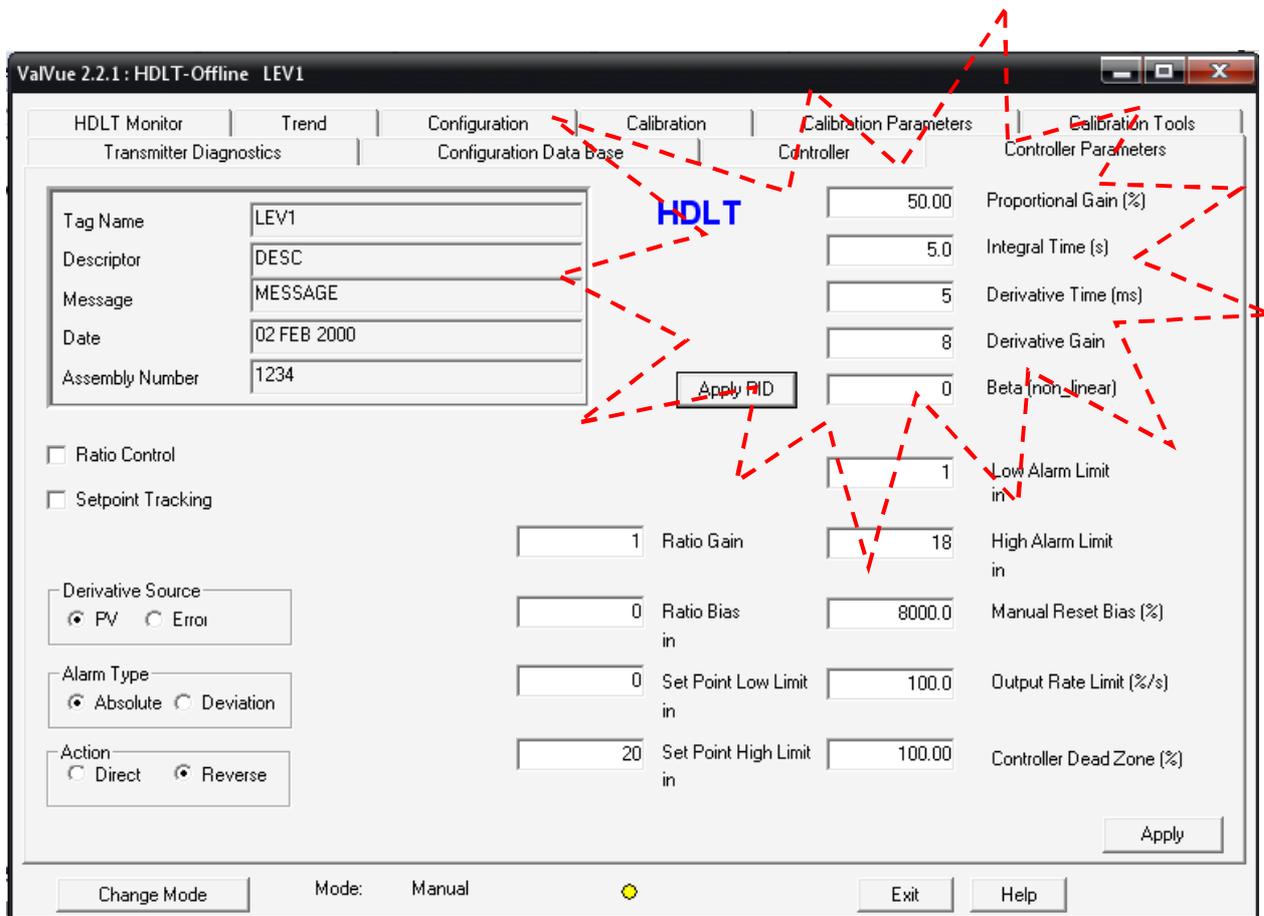
☺ Effet Dérivateur T_D :

Il est important au démarrage de la tige, pour compenser le temps mort des mécanismes mobiles de la vanne. Avec les effets de **vieillessement** des mécanismes de la vanne il faut **augmenter** le paramètre T_D sans pomper la réponse de la vanne.

☺ Effet Intégrateur T_I :

Est nécessaire pour contrer la fluctuation du fluide qui fait dévier la tige de sa position, un bon paramètre T_I donne une précision parfaite à la vanne pour que la tige atteint sa position voulue. Avec les effets de vieillessement des mécanismes de la vanne il faut diminuer le paramètre T_I .

Introduction PID par logiciel :



Après introduction de Proportionnel Gain (%), Integral Time (s), Derivate Time (ms) on applique les valeurs à la vanne « Apply PID » et faire deux tests :

- ✓ Test d'asservissement (Δ Consigne) : Donner un nouveau ordre à la tige et observer l'exécution qui doit aller rapidement, exactement sans pompage.
- ✓ Test de régulation (Δ Perturbation) : Changer la pression du fluide et observer la tige qui ne doit pas bouger visuellement, ou par comparateur à $\pm 0,05\text{mm}$.

ENTRETIEN DES VANNES DE RÉGULATION :

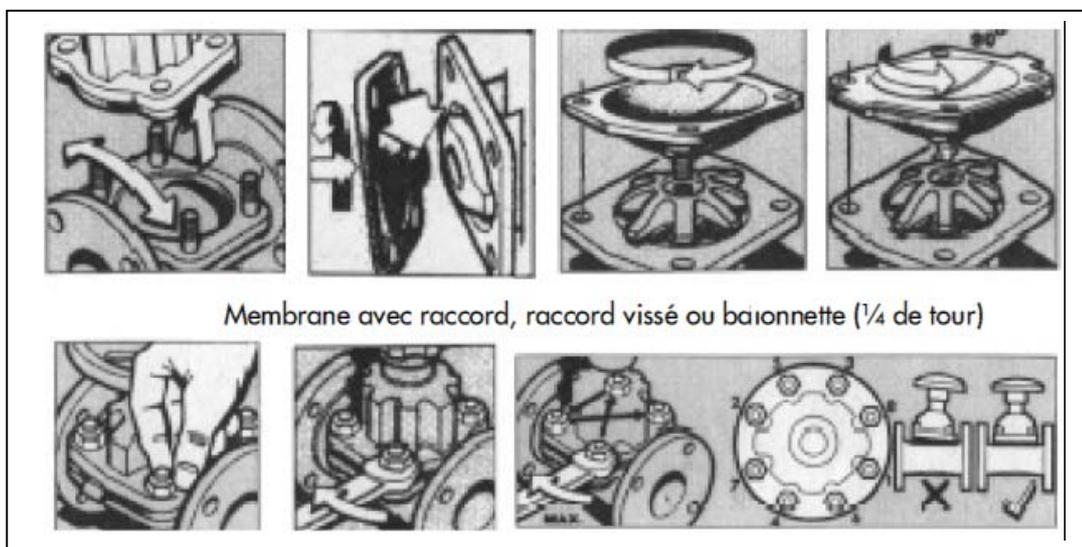
➤ Révision de la vanne :

Suite à des années d'exercices et des conditions de fonctionnement extrêmes (Température du fluide, degrés de PH, Pression de service...) ainsi que les phénomènes de cavitation et de vaporisation les éléments interne de la vanne se détériore sensiblement et nécessite une révision vu le prix élevé de la vanne par rapport à l'intervention de maintenance.

Les étapes à réaliser pour une révision triennale (lourde):

- Démontage complet de la vanne
- Démontage et nettoyage du filtre de la vanne et du réseau
- Démontage, détartrage et dégraissage des éléments
- Remplacement du kit joint (membrane, clapet, ajutage)
- Graissage des éléments
- Remontage et essais : Contrôle de fermeture (étanchéité), contrôle d'ouverture

Exemple de changement d'une membrane de vanne à membrane :



Révision générale :

Démontage, sablage, peinture, remplacement des pièces usées par des pièces d'origine, remontage, étalonnage 0%...100%...



Avant



Pendant

Après révision générale la vanne doit être montée sur le banc d'essais spécifique aux caractéristiques de la vanne, et faire le possible suivant :

- L'étalonnage mécanique.
- L'étalonnage électrique.
- Reprogrammation
- Contrôle d'étanchéité
- Contrôle d'ouverture maximale
- Déterminer le nouveau KV
- Paramétrage PID, sécurités...



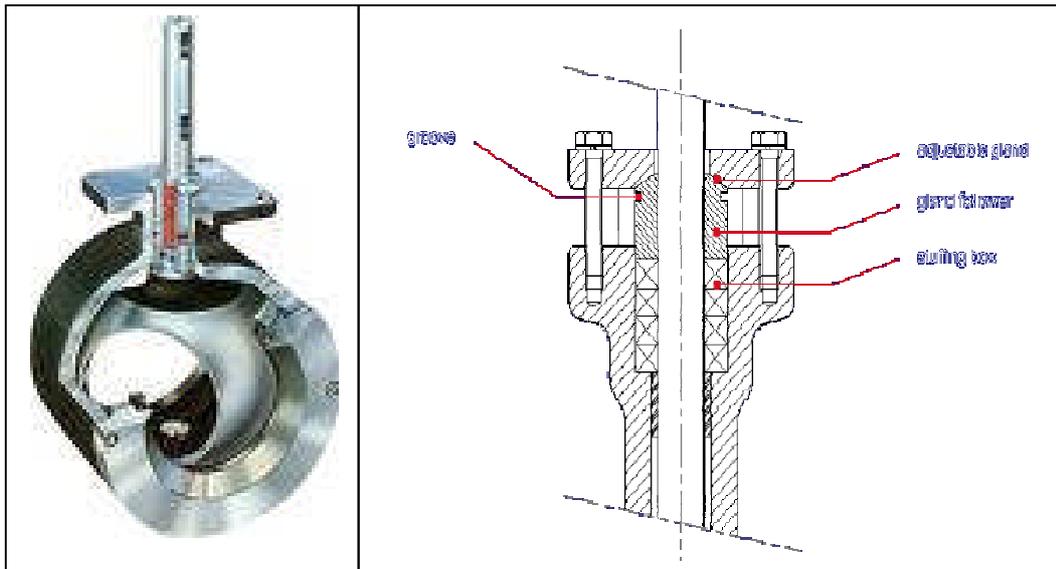
Après

Les ensembles des pièces comme le siège, le clapet, la tige, le corps... peuvent être interchangés avec d'autre type de vanne de même marque ce qui impose une dépendance technologique mais économiquement c'est mieux.

Révision des guidages :

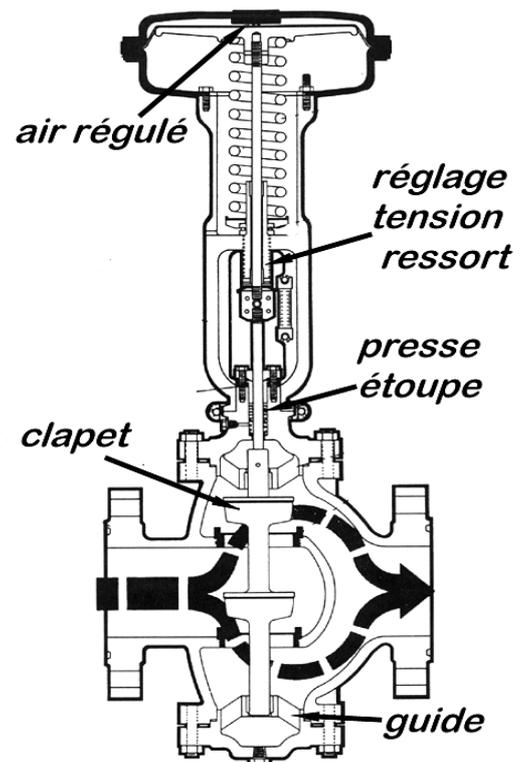
Selon la nature des fluides qui traversent la vanne, acide forte, base forte... Les éléments qui assurent l'étanchéité entre la tige et le fluide se détériorent et la vanne fait une **fuite** (LEAK) nuisible et non sécuritaire (vapeur surchauffé sous pression, acide...).

Alors il faut faire des changements des presses étoupes et des joints :



➤ *Changement de la tige :*

Quand l'étalonnage mécanique est mal fait, ou la tension de réglage des ressorts est très forte on risque alors de **tasser** la tige à fond et elle fléchit invisiblement, mais la vanne ne se ferme plus à 0% de commande. Si la flexion est très faible alors il suffit de recalibrer, si non faire la révision de la tige qui est un ensemble de plus de 20 pièces et diviser en trois parties assemblés mécaniquement.



➤ *Révision du servomoteur pneumatique :*

La révision des servomoteurs pneumatiques est basée essentiellement sur le changement de la membrane et quelquefois le changement des ressorts et des disques.



L'endommagement de la membrane est dû surtout :

- ☹ **Eclatement** : Causé par une surpression accidentelle en provenance du positionneur qui peut être à son tour altéré, de plus lorsque les paramètres **PID** de régulation de la boucle principale sont fortement dosés alors la pompe entre en pompage la membrane se fatigue et s'éclate enfin.
- ☹ **Erosion** : Ce phénomène est accentué par la mauvaise qualité de **l'air comprimé** qui alimente le positionneur, qui doit être parfaitement sec et sans lubrification. L'érosion cause une fuite interne dans le servomoteur, alors le positionneur peut compenser cette fuite dans les limites de possible. On peut constater ce phénomène quand le positionneur envoi en permanence des Δ pressions de correction de position même si la pression du fluide reste constante.
- ☹ **Fissuration** : Par manque d'usage le caoutchouc se dégrade s'il n'est pas protégé par du papier huilé quand il est stocké au magasin, alors des **microfissurations** se créent sur la membrane et n'assure plus l'expansion correcte. Des matériaux en polymères et du caoutchouc en fibre contre ce phénomène actuellement.

Les ressorts du servomoteur pneumatique doivent être échangés s'il le faut par d'autre de même **raideurs** et caractéristiques dimensionnelles puis il faut refaire le réglage de leurs tensions selon la pression de service de la vanne.

TABLEAU RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DES VANNES

(Doc : Revue Mesures)

Pressions nominales courantes ANSI B16.34	Vannes à corps droit			Vannes à opercule rotatif			Vannes spéciales			
	Conventionnelles		A cage	Opercule excentré	Papillon	Boisseau sphérique	Angle	A membrane	Micro débit	A revêtement
	Double siège	Simple siège								
	150 à 2500	150 à 2500	150 à 2500	150 à 600	150 à 300	150 à 600	150 à 2500	150 à 300	150 à 2500	150 à 300
Dimensions nominales courantes (pouces)	1 à 16	½ à 16	½ à 16	1 à 24	2 à 100	1 à 24	½ à 16 ∅ sortie éventuel. > ∅ entrée	1 à 12	½ à 1	1 à 6
Coefficient de débit réduit nominal moyen*	12	10	13	15	30	25	10	20	Non significatif	10
Gamme de température courante (°C)	-200 + 430	-200+600	-200+600	-200+430	-30+430	-200+430	-100+600	-30+200	-200+600	-30+200
Aptitude à résister aux pertes de charges à la fermeture	Bonne clapet dit « équilibré »	Moyenne clapet non « équilibré »	Excellente (avec un obturateur « équilibré »)	Bonne	Bonne	Bonne	Moyenne (clapet non équilibré)	Mauvaise	Bonne (clapet de faible dimension)	Moyenne (clapet non équilibré)
Stabilité dynamique	Moyenne	Bonne	Excellente	Bonne	Moyenne (couple important à l'ouverture)	Bonne	Bonne	Mauvaise	Bonne	Bonne
Caractéristiques intrinsèques de débit courantes*	Au choix	Au choix	Au choix	Linéaire	Exponentielle	Exponentielle	Au choix	Non significatif	Linéaire	Au choix
Plages de réglage intrinsèques courantes*	50	50	100	100	30	100	50	30	100	50
Etanchéité à la fermeture métal/métal. % C, nominal*	Médiocre 0,5	Bonne 0,05	Bonne à excellente 0,01 à 0,0001	Bonne 0,05	Médiocre 1 à 0,5	Bonne 0,01	Bonne 0,05	Bonne à excellente 0,01 à l'étanchéité à bulle	Bonne à excellente 0,01 à 0,0001	Bonne à excellente 0,01 à l'étanchéité à la bulle
Types d'applications * Voir encadré	Générales mais limitées par l'étanchéité à la fermeture	Générales mais limitées par la ΔP à la fermeture	Générales éviter les fluides chargés ou cristallisants	Générales	Générales mais limitées par la ΔP à l'ouverture et l'étanchéité à la fermeture	Générales	Générales mais limitées par la ΔP à la fermeture	Fluides corrosifs et érosifs mais faibles ΔP	Générales	Fluides corrosifs mais faibles ΔP

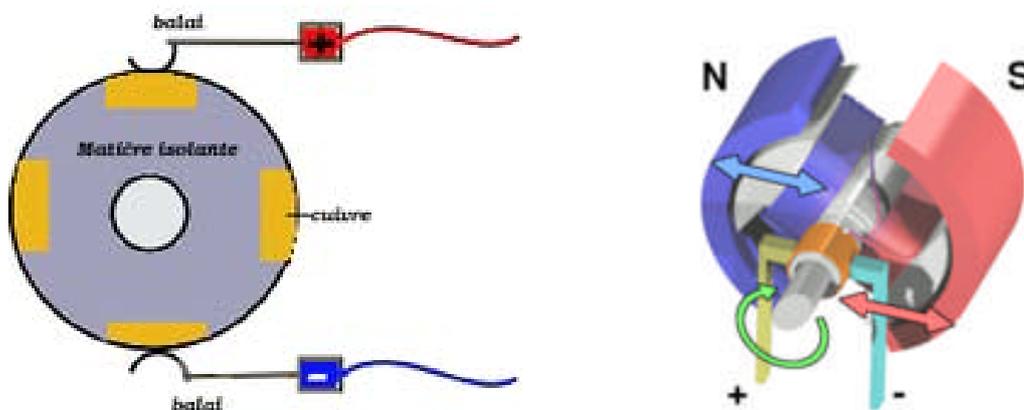
1	Installation			
2	Position			
7	Canalisation	DN ...	PN ...	Class ...
8	Matériau du tube			
12	Fluide de service			
13	Etat à l'entrée	<input type="checkbox"/> - Liquide	<input type="checkbox"/> - Vapeur	<input type="checkbox"/> - Gaz
15		Min.	Usuel	Max.
16	Débit			Unité
17	Pression d'entrée p_1			
18	Pression de sortie p_2			
19	Température T_1			
20	Masse volumique ρ_1 ou M			
21	Pression de vapeur saturante P_v			
22	Pression critique P_c			
23	Viscosité cinématique ν			
31	Calcul max. débit-coefficient K_v			
32	Calcul min. débit-coefficient K_v			
33	Coefficient K_{vs} débit choisi			
34	Niveau de bruit calculé	... dB(A)		
35	Vanne de réglage type			
36	Conception			
38	Pression nominale	PN ...		
39	Diamètre nominal	DN ...		
40	Raccordement	<input type="checkbox"/> - Brides	<input type="checkbox"/> - Embouts à souder	<input type="checkbox"/> - Emb. à soud. dép. <input type="checkbox"/> - DIN / <input type="checkbox"/> - ANSI
43	Chapeau	<input type="checkbox"/> - Standard	<input type="checkbox"/> - Pièce d'isolement	<input type="checkbox"/> - Soufflet <input type="checkbox"/> - Chemise de réch.
45	Matériau corps/chapeau			
47	Caractéristique	<input type="checkbox"/> - Linéaire	<input type="checkbox"/> - Exponentielle	
48	Matériau clapet/tige			
49	Matériau siège/guidage			
52	Traitement de portée d'étanch.	<input type="checkbox"/> - Sans	<input type="checkbox"/> - Stellite partiel	<input type="checkbox"/> - Stellite massif <input type="checkbox"/> - Durci
54	Classe du débit de fuite	... % K_{vs}	Classe ...	
55	Garniture de presse-étoupe	<input type="checkbox"/> - Standard	<input type="checkbox"/> - Forme	
57	Servomoteur type	<input type="checkbox"/> - Pneumatique		
60	Surface active	... cm ²		
62	Pression d'alimentation	min.	max.	
63	Plage de commande nominale			
64	Position de sécurité	<input type="checkbox"/> - Fermée	<input type="checkbox"/> - Ouverte	<input type="checkbox"/> - Maintien
66	Autres servomoteurs	<input type="checkbox"/> - Electrique	<input type="checkbox"/> - Electrohydraulique	<input type="checkbox"/> - Commande manuelle
67	Position de sécurité pour vanne trois voies			
68	Commande manuelle supplémentaire	<input type="checkbox"/> - Non	<input type="checkbox"/> - Oui	
70	Positionneur type			
71	Signal d'entrée	<input type="checkbox"/> - Pneumatique	<input type="checkbox"/> - Electrique	
72	Vanne "ouverte" pour	... bar	... mA	
73	Vanne "fermée" pour	... bar	... mA	
76	Raccord air max.	... bar		
78	Protection Ex	<input type="checkbox"/> - EExi	<input type="checkbox"/> - Exd	
80	Contact de position type			
81	Fin de course	<input type="checkbox"/> - Electrique	<input type="checkbox"/> - Inductif	<input type="checkbox"/> - Pneumatique
82	Position de commutation	<input type="checkbox"/> - Fermée	<input type="checkbox"/> - % de course	<input type="checkbox"/> - Ouverte
83	Fonction de commutation	<input type="checkbox"/> - Ferme	<input type="checkbox"/> - Ouvre	
84	Protection Ex	<input type="checkbox"/> - EExi	<input type="checkbox"/> - EExd	
86	Electrovanne type			
87	Conception	<input type="checkbox"/> - 2 voies	<input type="checkbox"/> - 3 voies	
88	Position sécur. par coupure d'alim.	<input type="checkbox"/> - Ouverte	<input type="checkbox"/> - Fermée	<input type="checkbox"/> - Maintien
91	Caractéristiques électriques	... V	... Hz	... W

LES MOTEURS

MOTEUR À COURANT CONTINU

➤ Principe Physique

Basé sur le principe de l'inversion du champ magnétique dans le rotor Nord – Sud vers Sud – Nord chaque 1/4 tours en inversant l'alimentation + – en – + à l'aide d'un collecteur en cuivre en quatre pièces implantés sur le rotor.



C'est un convertisseur de l'énergie électrique à l'énergie mécanique, et il est parfaitement réversible, et devient alors un capteur de vitesse de rotation :

$$N = f(U) \text{ au lieu d'un actionneur avec : } U = f(N)$$

➤ Commande du moteur :

Commande en couple :

La commande en couple d'un MCC est très proche de la linéarité parce que :

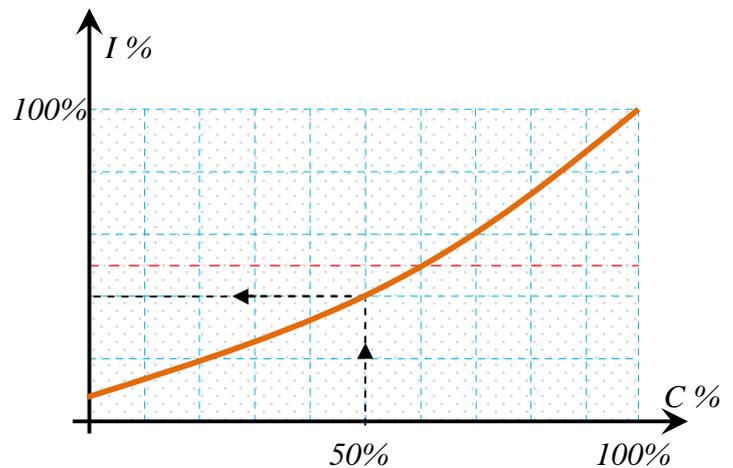
$$C = 60 \frac{(U_n \times I) - \sum P_{ertes}}{2\pi N_n}$$

Alors on fixe la tension d'alimentation à la valeur nominale et on fait varier le courant en limitant le courant de 0% à 100% (libre) par une carte électronique spécifique.

Les pertes par effet de joule augmentent sensiblement au carré du courant RI^2 et les pertes fer seront presque fixes (tension fixe).

La commande en couple pour un MCC peut servir à la régulation des **forces** exercées sur un mécanisme, ou la régulation des efforts de **coupe** des matériaux.

Commande par limitation de courant et tension maximale



Pour avoir un couple de 50%
il faut commander un courant 40%

Commande en vitesse :

La commande d'un MCC est presque linéaire en vitesse : $U = f(\omega)$ est presque droite si on néglige la résistance interne R_M du moteur

La relation générale entre la vitesse angulaire et la tension est :

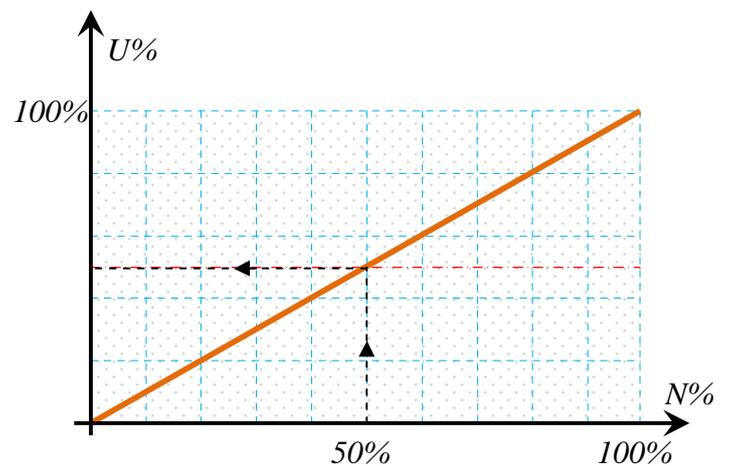
$$U = K_{MCC} \times \omega + R_M I$$

Alors que $R_M I \approx 0$ Donc on peut écrire

que : **$U[V] = K \times N[Rpm]$**

La commande en vitesse d'un MCC est très courante dans la régulation de la vitesse de rotation pour le mouvement des volets, positionnement précis, les petits robots à bas prix et faible puissance tels que : imprimantes, télécopies, lecteurs de bande magnétique ...

Commande par variation de tension avec courant libre



Pour avoir une vitesse de 50%
il faut commander une tension $\approx 50\%$

MACHINE SYNCHROME

➤ Principe Physique

Le rotor bobiné polarisé magnétiquement est collé parfaitement à la pulsation magnétique du stator donc il n'ya pas de glissement entre le champ magnétique et la vitesse de rotation.



C'est une machine qui est parfaitement réversible de l'énergie mécanique à l'énergie électrique alternative comme génératrice et l'inverse comme moteur.

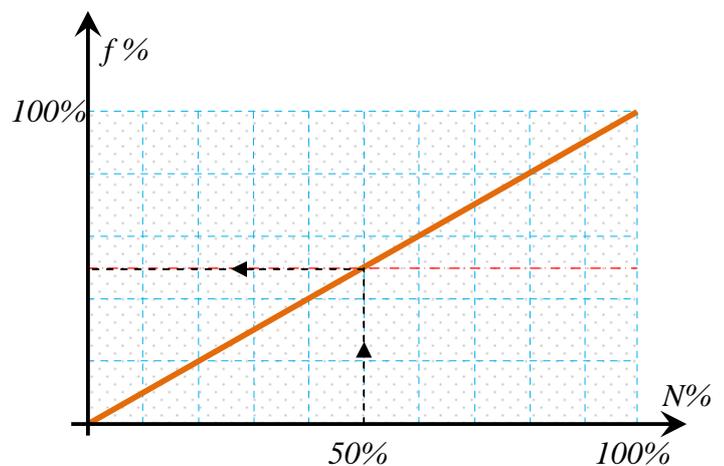
➤ Commande en mode moteur :

La vitesse de rotation est parfaitement linéaire à la pulsation électrique (fréquence) :

$$f [\text{Hz}] = K_{\text{syn}} \times N [\text{Rpm}]$$

$$\text{Avec } U(t) = U_M \cdot \cos(\omega t + \varphi) \text{ et } f = \omega / 2\pi$$

Le moteur synchrone est parfait pour les applications de la régulation de vitesse de précision, soit par les applications de positionnement spatiale en robotique, ou encore en synchronisation exacte entre deux mouvements de rotation ou de translation.



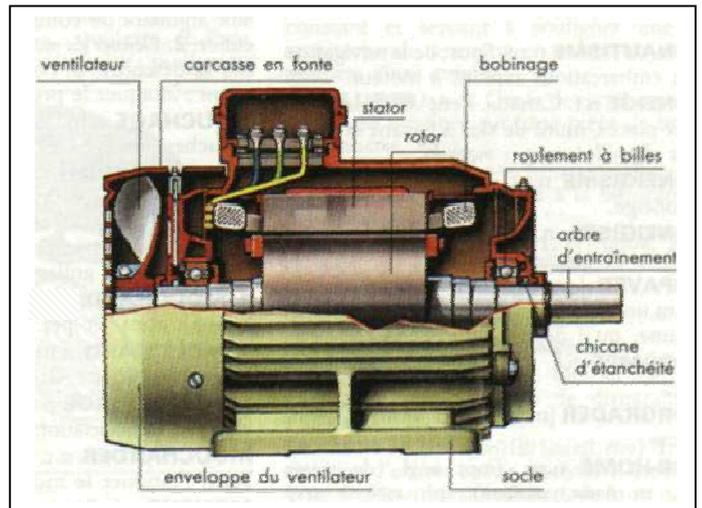
Pour avoir une vitesse de 50%
il faut commander une fréquence 50%

MOTEUR ASYNCHRONE

➤ Principe Physique

Le rotor comme cage métallique soumis aux champs magnétiques tournants du stator, contraint de suivre avec un léger glissement de vitesse de rotation (asynchronisme) qui s'accroît avec la charge mécanique.

C'est une machine non réversible et très mauvaise pour la régulation comme actionneur mais vu son bas prix elle représente la totalité de la motorisation électrique.



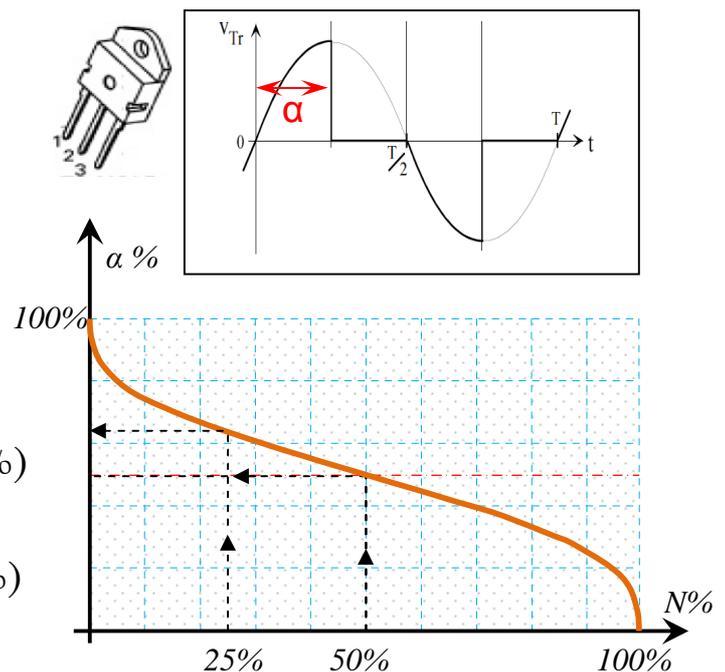
➤ Commande du moteur :

La vitesse de rotation dépend de la pulsation électrique (fréquence), mais ce luxe de commande n'est pas rentable économiquement pour les applications courantes en industrie, alors on utilise la variation de vitesse au péril du couple (à puissance variable) à l'aide de la variation de la valeur efficace par **gradateur** convenable à l'application.

$$N = K_{ASY} \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi} \right]$$

Commande par variation
de tension efficace

Pour avoir une vitesse de 50%
il faut commander un Angle de 90° (50%)
MAIS Pour avoir une vitesse de 25%
il faut commander un Angle $\approx 114^\circ$ (63%)

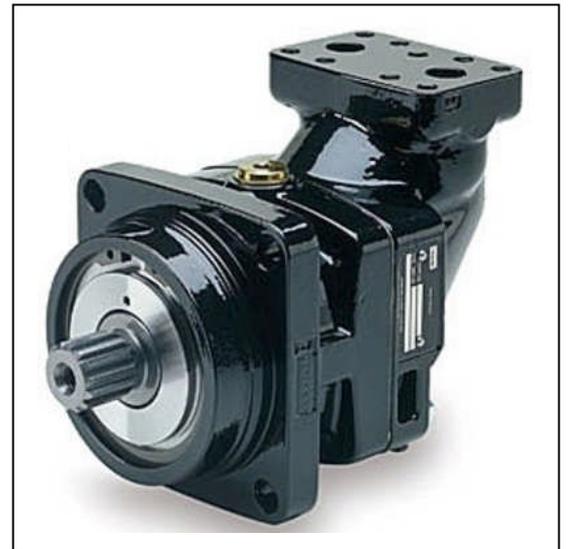


MOTEUR HYDRAULIQUE

➤ Principe Physique

Un moteur hydraulique est un moteur isotherme qui transforme une puissance hydraulique ou hydrostatique (pression \times débit) en puissance mécanique (force \times vitesse).

Il ya plusieurs type de commande plus ou moins différente, comme moteur à palette, à pistons axiaux et à pistons radiaux...



Le poids du moteur hydraulique est très faible par rapport à sa puissance élevée, ce qui le prévilège à la régulation de vitesse dans engins mobiles (avions, tractopelles ...)

➤ Commande :

Le moteur hydraulique est commandable en vitesse de rotation et couple exercé, et il est parfaitement linéaire dans les deux cas :

Donc :

$$N = K_{V_HYD} \times Q_V$$

Et

$$C = K_{C_HYD} \times P$$

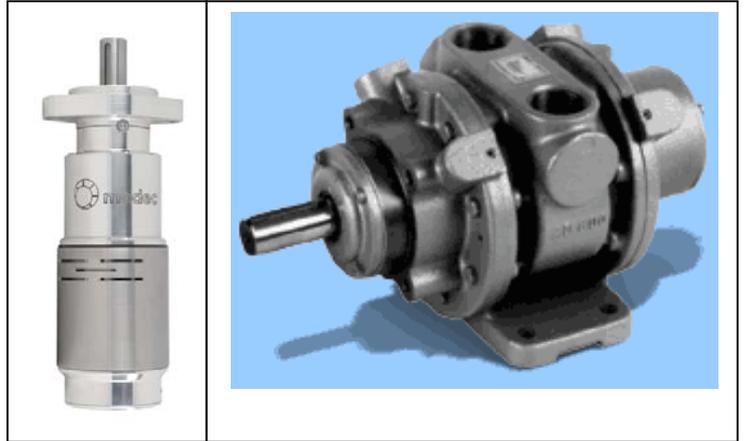
Ainsi les formules utiles pour commander un moteur hydraulique

Formules utiles		
Débit requis	$Q = \frac{D \times n}{1000 \times \eta_v}$ litres/min.	D = cylindrée, cm ³ /tour
Vitesse	$n = \frac{Q \times 1000 \times \eta_v}{D}$ tr/min	n = vitesse, tours/min
Couple	$M = \frac{D \times \Delta p \times \eta_{hm}}{63}$ Nm	P = puissance, kW
Puissance	$P = \frac{Q \times \Delta p \times \eta_l}{600}$ kW	Q = débit, litres/min
		η_v = rendement volumétrique
		η_{hm} = rendement hydro-mécanique
		η_l = rendement global = $\eta_v \times \eta_{hm}$
		M = couple, Nm
		Δp = différence de pression entre l'entrée et la sortie du moteur hydraulique, bar

MOTEUR PNEUMATIQUE

➤ Principe Physique

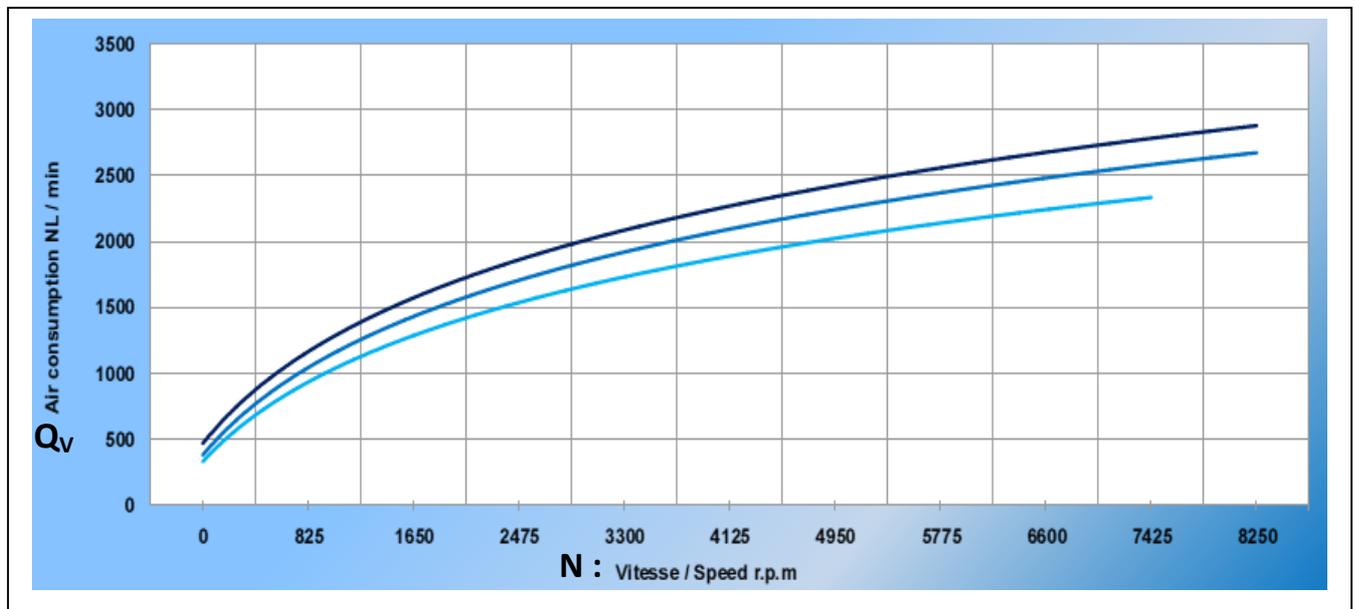
Le moteur pneumatique possède le même principe que celui d'un moteur hydraulique mais qui transforme la puissance pneumatique de l'air comprimé (pression x débit) en puissance mécanique (couple x vitesse).



➤ Commande :

Le moteur pneumatique est commandable en vitesse de rotation, mais il répond d'une manière exponentielle avec le débit d'air comprimé à pression \approx constante :

$$N = K_{PNEUM} \times \left[e^{\left(\frac{Q_V\%}{100}\right)} - 1 \right]$$



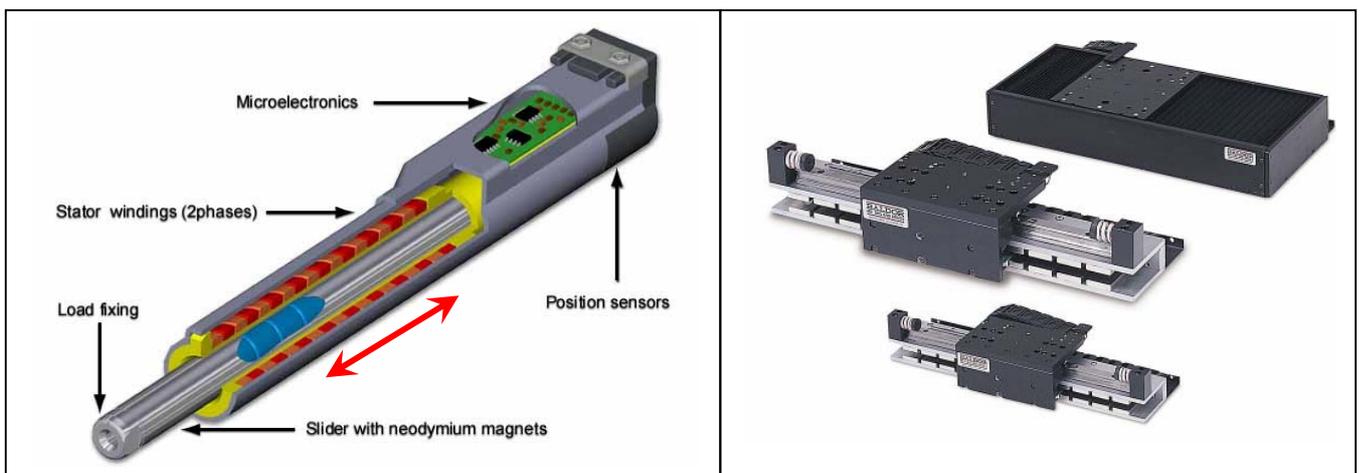
Le moteur pneumatique n'est pas bon pour la régulation de la vitesse mais il est indispensable dans les zones à haut risque d'explosion, et les grandes vitesses de rotation.

MOTEUR ÉLECTRIQUE LINÉAIRE PAS À PAS

➤ Principe Physique

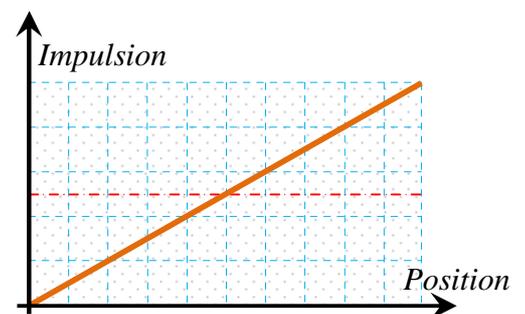
Un moteur pas à pas permet de transformer une impulsion électrique en un mouvement de translation très précis.

Le moteur linéaire produit une force linéaire sur sa longueur en installant un champ électromagnétique au lieu de produire un couple.



➤ Commande

La commande d'un moteur pas à pas lineaire est exclusivement en position, est se fait par l'application d'un train d'impulsion assuré par son directeur de commande intégré (ou extérieur) suite à une demande digitale du commanditaire (PC) :



Commande par injection d'impulsion

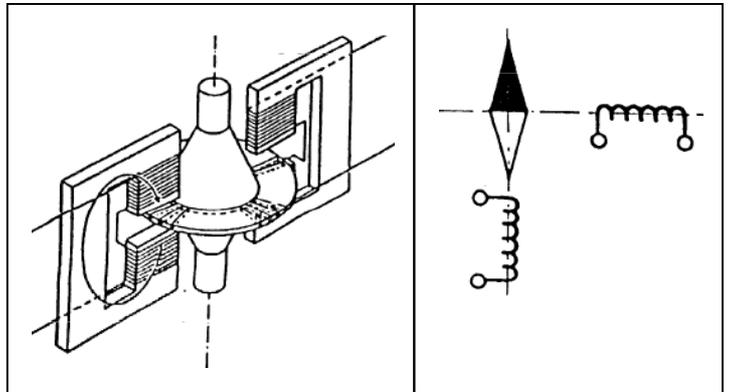


Beaucoup des applications pour ce type de moteur dans les robots en chirurgie de haute précision, les domaines de la micro technologie ainsi que pour les trains électriques et les voitures de future.

MOTEUR ÉLECTRIQUE ROTATIF PAS À PAS

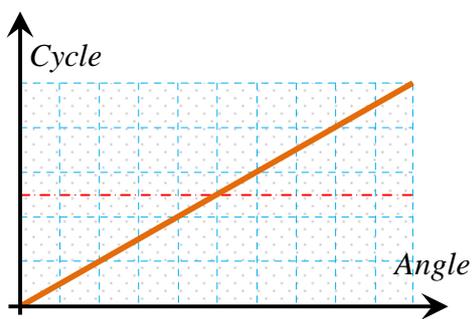
➤ Principe Physique

L'aiguille d'une boussole est placée à l'intersection des deux axes de deux bobines mis en quadrature. L'alimentation successive des bobines provoque la rotation de l'aiguille d'un quart de tour, avec attraction ou répulsion de l'aiguille aimantée suivant le sens du flux dans chaque bobine.



➤ Commande

Le directeur de commande spécifique au moteur alterne l'alimentation électrique entre les deux bobines en quadrature pour commander le moteur en parfait synchronisme avec de $\frac{1}{4}$ de tour.



Commande directe angulaire

Ce type de moteur est parfait pour la régulation de la vitesse ou de la position en **boucle ouverte** sans encodeur supplémentaire, puisque la charge et l'inertie du rotor n'affecte pas la position voulue.

On peut utiliser les moteurs électriques rotatifs pas à pas dans des applications de régulation de position et de vitesse de rotation dans les mécanismes de haute précision comme les imprimantes, les appareils photos et caméras professionnelles.

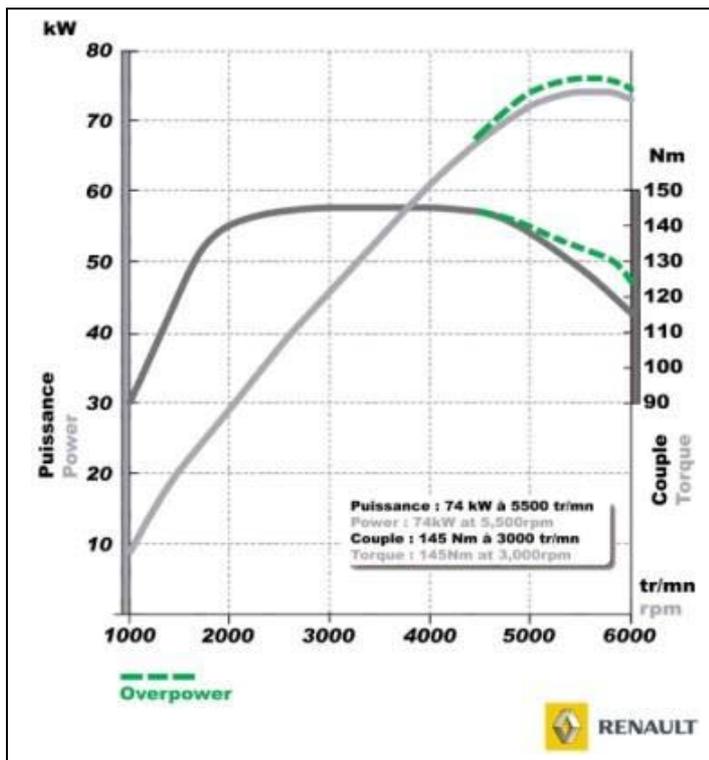
MOTEUR À COMBUSTION

➤ Principe Physique

C'est un moteur transforme l'énergie faucille (pétrole) en énergie mécanique avec un très mauvais rendement vue les grandes pertes thermiques, acoustiques et frottement d'usure. Il ya plusieurs type de moteur et plusieurs type d'alimentation soit par gasoil, à essence, gaz GPL et huile de pétrole (Nafta)...



➤ Commande :



La commande directe d'un moteur à combustion est très hasardeuse, donc on commande sa vitesse de rotation en boucle fermée, le couple généré par le moteur à chaque vitesse est piloté par la puissance utile qui est le résultat de la combustion. La consommation en carburant et air d'admission donne la puissance désirée.

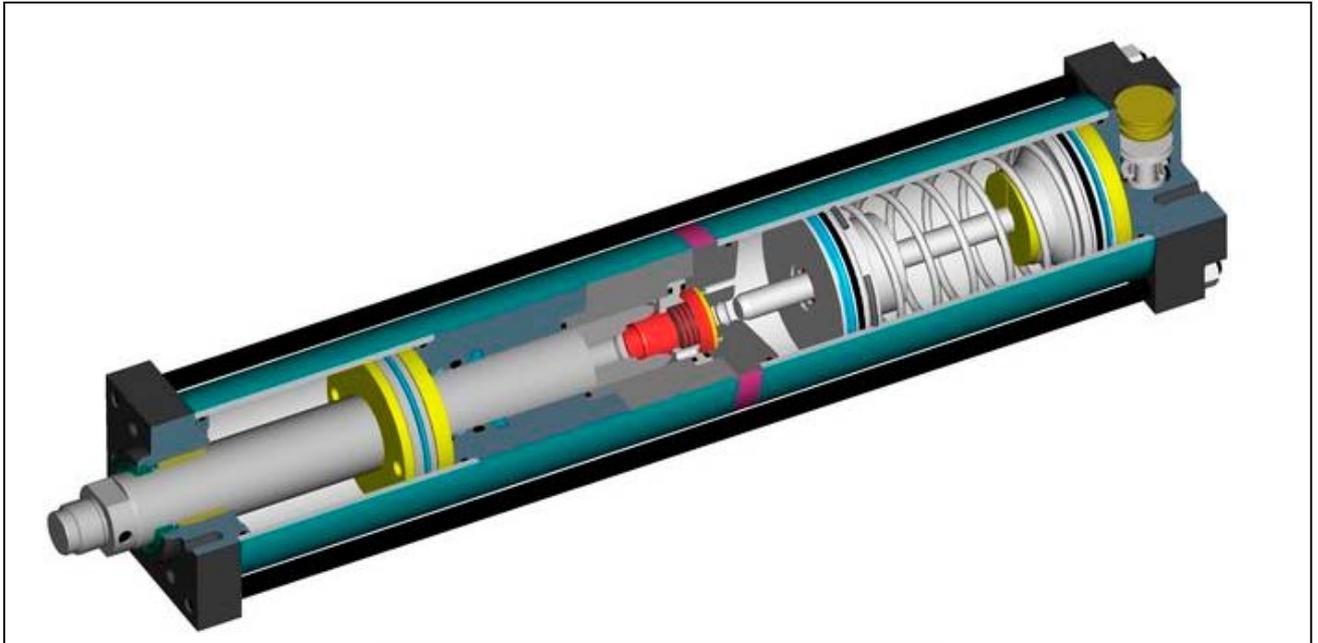
Au dessous d'une vitesse de révolution le moteur cale et ne tourne pas.

Les moteurs à combustion sont utiliser couramment en régulation de vitesse de rotation pour les groupes électrogène de production d'énergie électrique à une fréquence proportionnelle à la vitesse de rotation, ainsi que les groupes autonomes de soudage...

VERINS & DISTRIBUTEURS PROPORTIONNELS

PRINCIPE DES VÉRINS HYDRAULIQUES OU PNEUMATIQUES

C'est un actionneur hydromécanique qui transforme l'énergie hydraulique (Débit X pression) en une énergie mécanique (Force X Distance).



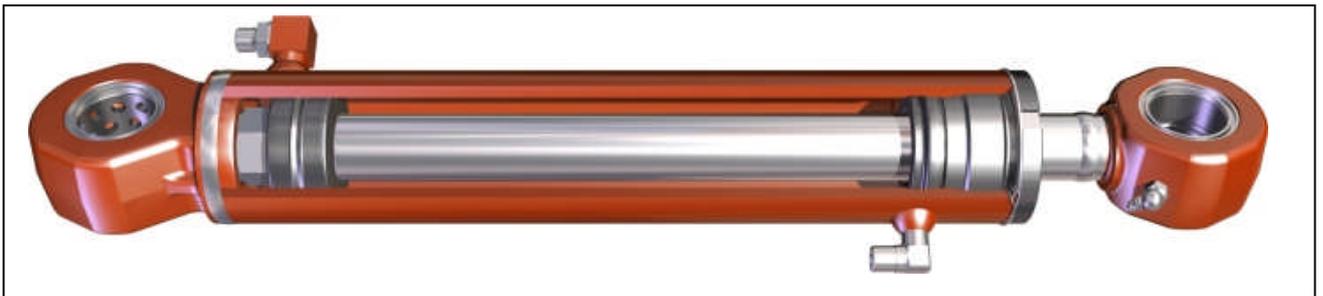
Donc un vérin pneumatique ou hydraulique est un tube cylindrique (le cylindre, la chemise) dans lequel une pièce mobile (le piston) sépare le volume du cylindre en deux chambres isolées l'une de l'autre. Un ou plusieurs orifices permettent d'introduire ou d'évacuer un fluide (Huile hydraulique ou air comprimé) dans l'une ou l'autre des chambres et ainsi déplacer le piston.

On peut distinguer les types des vérins suivants :

- Vérins simple effet : Le déplacement de la tige vers l'extérieure est piloté par la puissance hydraulique, tandis que le retour vers l'intérieur est assuré par un ressort à boudin qui n'est pilotable.



- Vérins double effets : Le déplacement de la tige vers l'extérieure et vers l'intérieure sont les deux pilotés par la puissance hydraulique en vitesse linéaire et force générée.



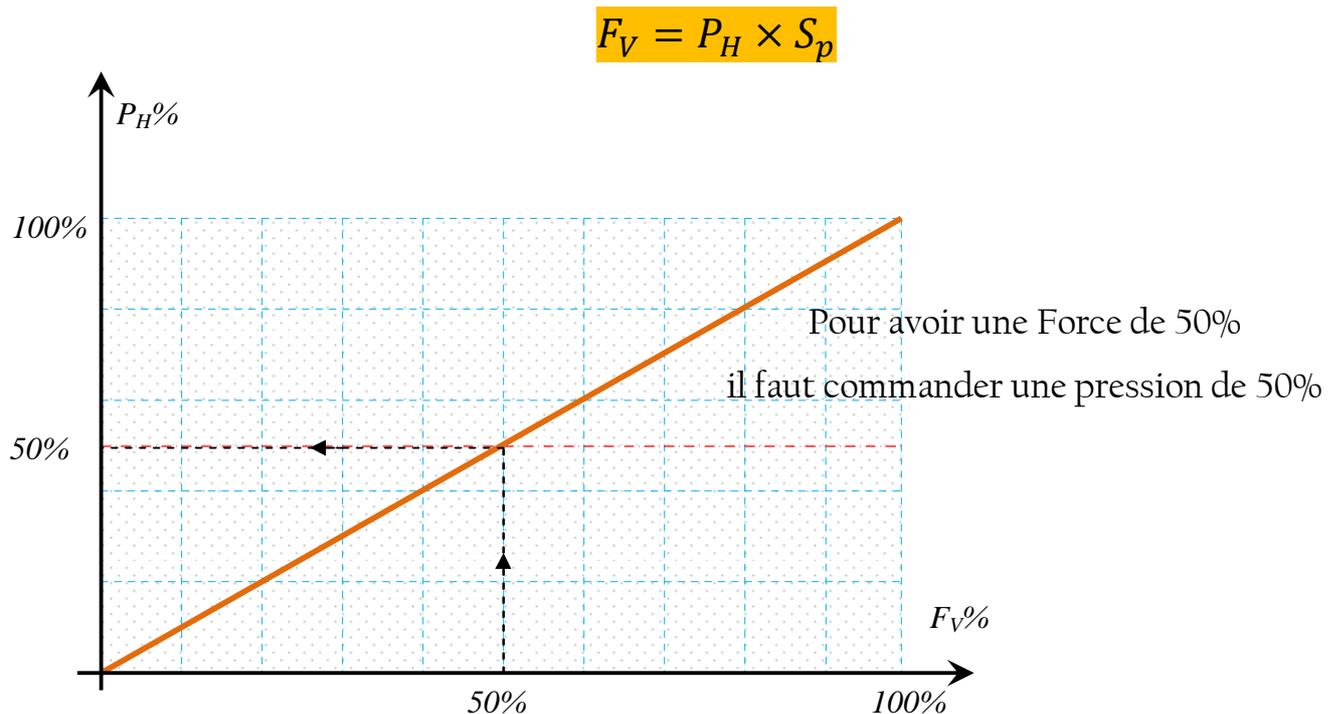
- Vérins télescopique : Tel une antenne télescopique, ce vérin comporte différentes tiges imbriquées l'une dans l'autre, qui permettent en se dépliant, d'atteindre des objets relativement loin (10m). La pression, généralement de l'huile, pousse le gros piston qui, arrivé en fin de course met l'huile en communication avec le deuxième vérin par un orifice. Pour le retour, le fluide emprunte le même chemin (c'est un vérin à simple effet).



COMMANDE DES VÉRINS

➤ Commande en force :

Afin d'assurer la commande des vérins de tout type dont le but est de varier la force engendrée, alors il faut piloter la pression du fluide :



Bien sûr la section du piston S_p n'est pas identique en ouverture qu'en fermeture du vérin, puisque le diamètre de la tige (d) intervient par rapport au diamètre du piston (D) :

$$S_{ouverture} = \pi \cdot D^2 / 4 \text{ et } S_{fermeture} = \pi \cdot (D^2 - d^2) / 4$$

Généralement $D \approx 3d$ alors on a $F_{fermeture} = 88.9\% F_{ouverture}$

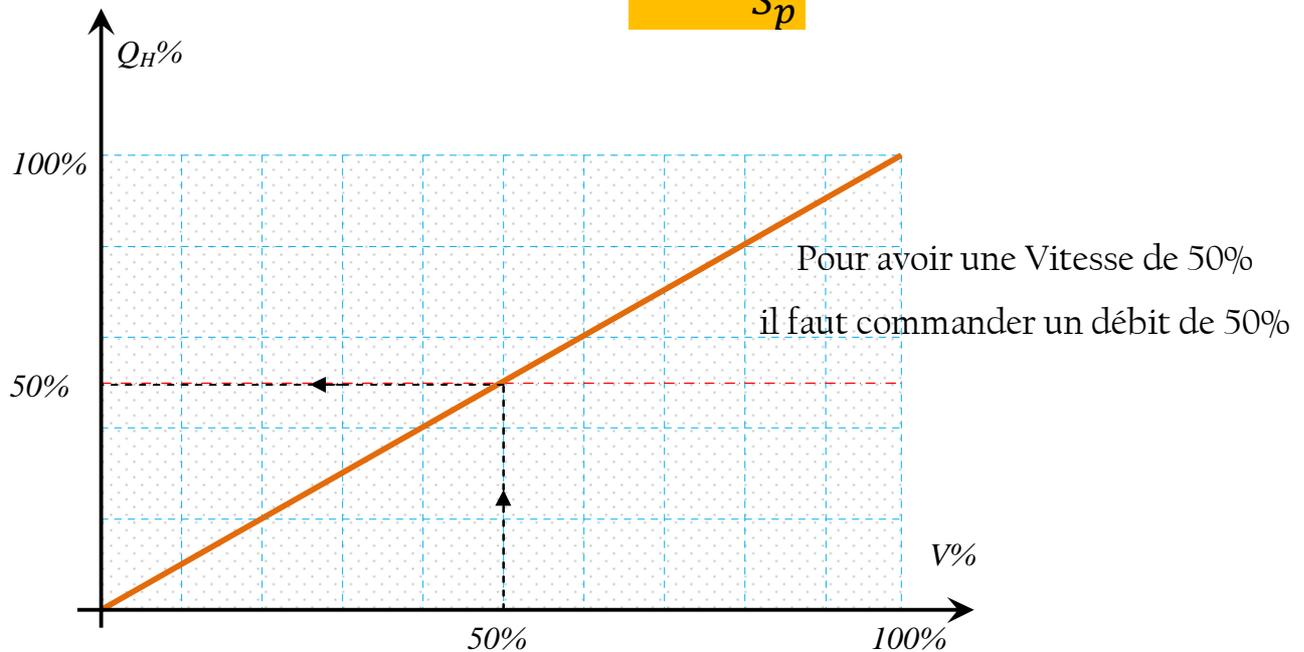
La régulation de la force d'action des vérins est faite surtout en Hydraulique, parce que le fluide est presque incompressible à l'inverse de l'air comprimé.

On peut utiliser les forces hydrauliques asservies pour la déformation à froid (pliage et écouissage des tôles d'acier, aluminium et cuivre), ainsi que le laminage à froid des faibles épaisseurs.

➤ *Commande en vitesse :*

Pour commander les vérins en vitesse il faut varier le débit du fluide :

$$V = \frac{Q_H}{S_p}$$



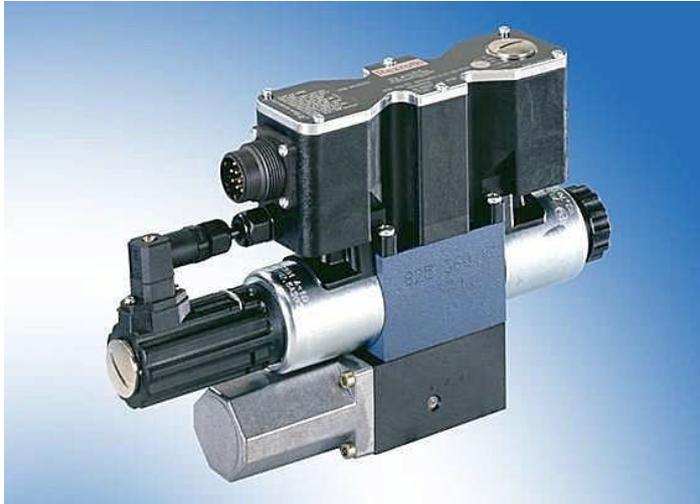
Comme pour la force, la section du piston S_p n'est pas identique en ouverture qu'en fermeture du vérin, alors pour $D \approx 3d$ on a $V_{fermeture} = 112.5\% V_{ouverture}$

La régulation de la vitesse d'ouverture et de fermeture des tiges de vérins est faite surtout en Pneumatique, parce que l'échappement de l'air comprimé de la chambre non concernée par l'asservissement est fait à l'air libre rapidement pour avoir une vitesse linéaire par rapport débit dans la chambre asservie, la chose qui n'est pas permise pour d'autre fluide comme l'huile qu'il faut l'acheminée vers le réservoir.

On peut utiliser la vitesse asservie des tiges de vérins pneumatiques pour piloter la rapidité des mouvements des volets d'aération, la vitesse de fermeture des vannes à piston pneumatique, et la synchronisation des tâches automatisées d'un robot.

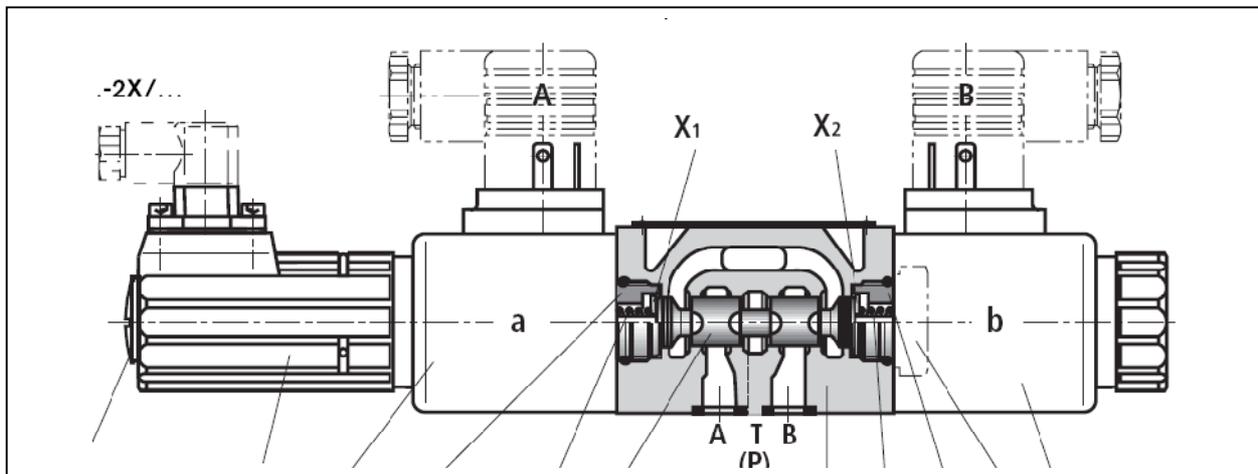
PRINCIPE DES DISTRIBUTEURS PROPORTIONNELS

➤ Principe de fonctionnement :

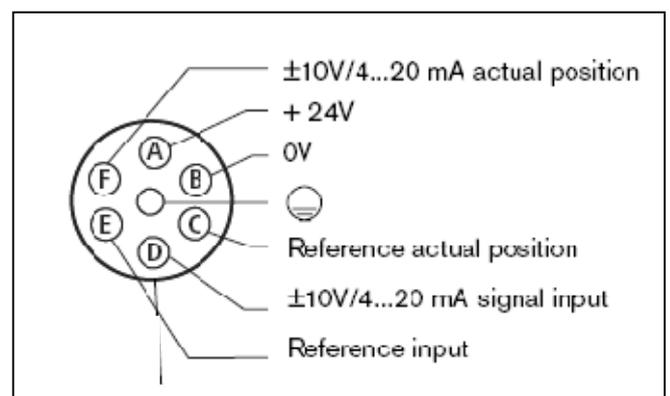


Le distributeur proportionnel est un organe qui organise le cheminement du fluide selon un débit proportionnel à la demande parvenant du régulateur comme signal standard 4...20 mA ou signal hydraulique de pilotage parvenant d'un étage de commande.

➤ Description :



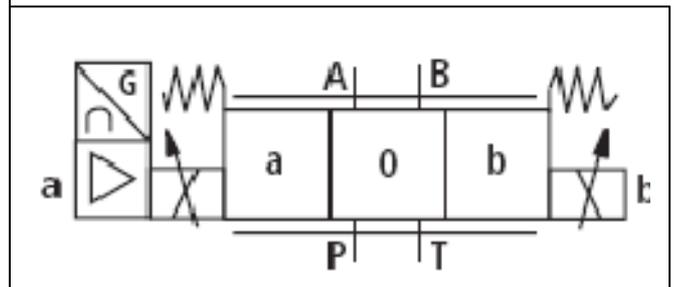
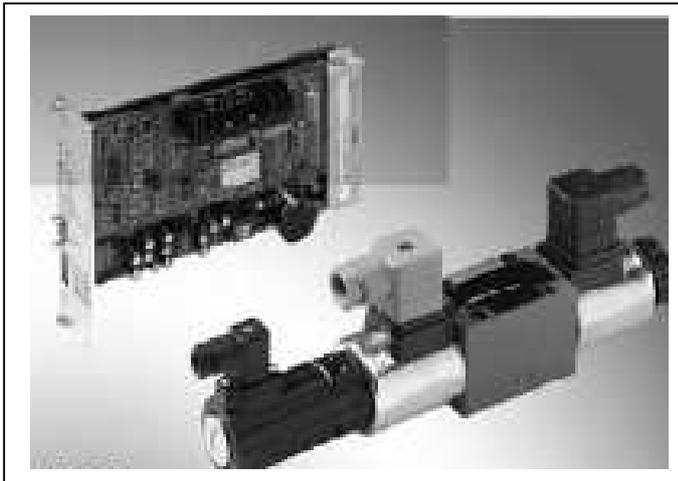
Distributeur proportionnel à action directe avec électronique de régulation numérique pour réglage de pression, de force de débit selon le principe IAC-P (Integrated Axis Controller).



Composée d'un distributeur, d'un capteur de pression, capteur de position et une carte électronique de régulation numérique et d'une interface bus utilisateur. L'actionnement est assuré par un aimant proportionnel avec filet central et bobine amovible.

Version pour Bus CAN avec protocole CANopen DS 408 ou Profibus-DP V0/V1

Mise en service rapide par ordinateur PC et logiciel de mise en service WIN-PED 6



➤ *Domaine de l'hydraulique proportionnel :*

A l'aide d'un distributeur proportionnel et selon le montage des ses orifices des tiroirs dans le circuit hydraulique, on peut alors commander l'actionneur en débit et pression, afin de réguler la **vitesse** et la **force** (révolution et couple pour les moteurs), cette technique est fortement appliquée dans les engins de lavage et engins travaux publics ainsi que dans les presses hydrauliques, les presses plieuses, les laminoirs et toutes machines robotisées qui nécessite des mouvements forts et précis.



Débit nominal (P – T).....	130 l/min
Débit nominal (A – B).....	100 l/min
Pression maximum.....	420 bar
Pression maximum sur le retour (T).....	20 bar
Température de fonctionnement.....	-25°C/+80°C
Nombre de sections du travail.....	1-8

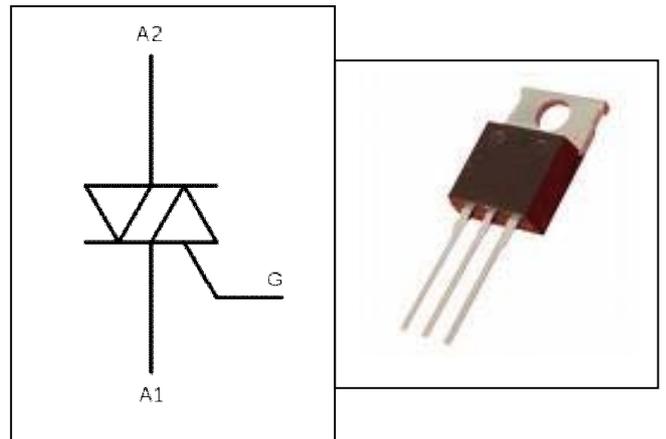
LES RELAIS STATIQUES (SOLID STATE RELAY : SSR)

PRINCIPE ÉLECTRONIQUE

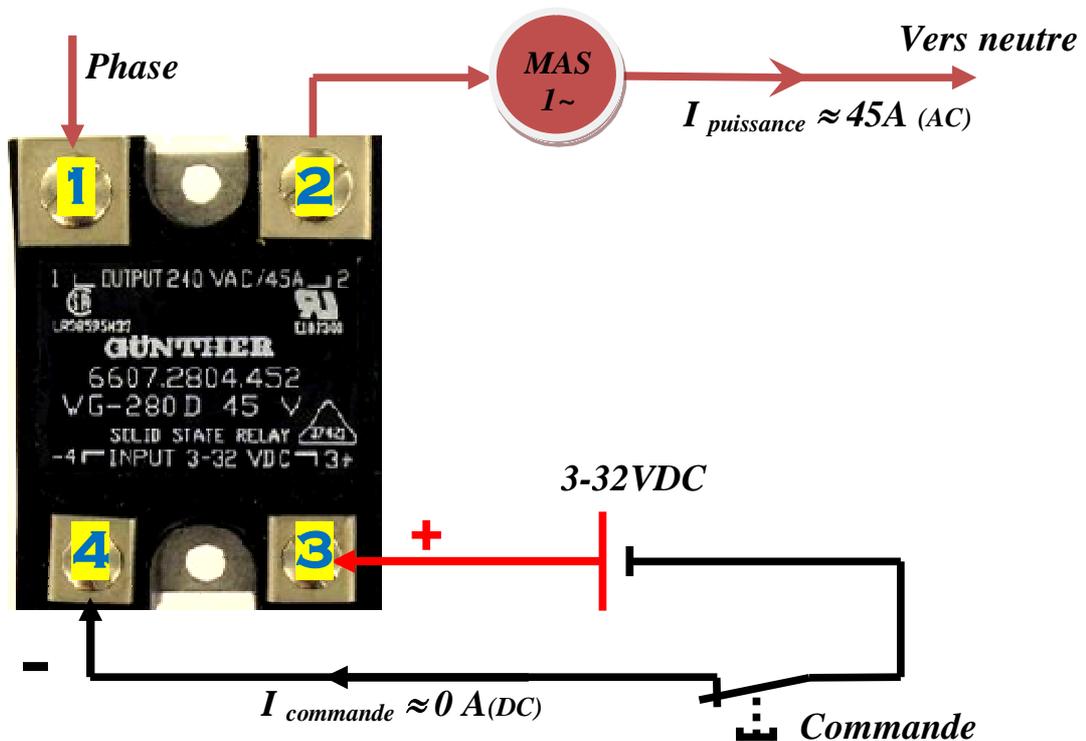
Les relais statiques sont des contacteurs qui se ferment électroniquement, par une simple commande en appliquant une tension continue avec très faible courant.

➤ *Le triac en commutation :*

Constitué de deux thyristors en tête-bêche avec une gâchette commune, si on l'excite avec un angle α de commande de 0° ou de 180° alors il sera soit passant soit bloqué, c'est le principe des SSR.



➤ *Commande des relais statiques :*



➤ *Relais statiques montés sur circuit imprimé :*

Généralement ces relais commutent en DC, avec polarisation de la sortie à respecter, en entrée il faut toujours mettre A1 sur **+** et A2 sur **-**

Ces relais peuvent servir dans la commande des actionneurs TOR à puissance moyenne (< 2KW)



Sa fréquence de commutation à plein charge peut dépasser 10 fois par seconde (soit 10Hz), donc favorise la régulation MLI par l'inertie de l'actionneur.

➤ *Relais statiques monophasés :*

Les bornes 1 et 2 câblés côté puissance sur 220 VAC généralement. Ces relais peuvent passer un courant nominal qui dépasse 150A (AC) et conçu pour des actionneurs de l'ordre de 30 KW.

Ils peuvent commuter en charge nominale de 2 à 3 fois par seconde, ce qui est parfait pour les résistances chauffantes et les thermoplongeurs, pour la régulation TOR ou la régulation MLI avec économie d'énergie

Le refroidisseur est indispensable quand on commute beaucoup près de la charge nominale.



➤ *Relais statiques biphasés avec commande bidirectionnelle :*

Afin de commander un moteur triphasé en deux sens de rotation alors il suffit d'inverser deux phases selon le principe suivant :

Sens1 (Forward) :

Commande : **A1F** sur **+** et **A2** sur **-** (**A1R** à l'air)

Puissance : **L1** stimule **U** et **L2** stimule **V**

Sens2 (Rear) :

Commande : **A1R** sur **+** et **A2** sur **-** (**A1F** à l'air)

Puissance : **L1** stimule **V** et **L2** stimule **U**



Pour la troisième phase **L3** elle sera connecté à la borne **W** du moteur en permanence ce altère la sécurité des intervenants sur le moteur.

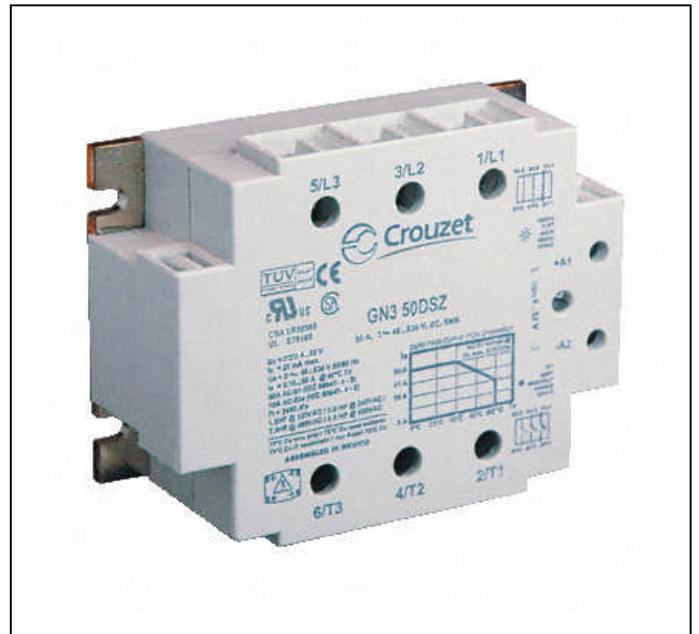
On peut atteindre des puissances motrices qui dépassent les 100 KW, bien sûre avec une puissance de commande très faible $I_C < 10 \text{ mA}$ et U_C de 3 à 32 VDC

➤ *Relais statiques triphasés :*

Comme pour les relais statiques biphasés mais sans inversion de sens, donc **A1** sur **+** et **A2** sur **-** toujours et **L1** pour **U**, **L2** pour **V** et **L3** pour **W**. On peut trouver un contact (non sec) 13/14 pour l'auto maintien, de plus il faut bien aérer l'arrière du SSR à partir des conditions à 80% nominales.



Comme pour les relais électromagnétiques à contact sec, les SSR sont très diversifiés en technologie semi-conducteur des différents constructeurs, alors il faut bien fixer les critères de choix, comme le courant par phase, le courant de fuite en fermeture, le dimensionnement du refroidisseur...



POINTS FORTS ET FAIBLES DES SSR

➤ *Avantage :*

- ☺ La puissance de commande est négligeable ($\approx 0,1W$), on peut démarrer un moteur électrique de 100 KW avec un signal du PC via un SSR seulement.
- ☺ La commutation du semi-conducteur est quasi silencieuse sans bruits
- ☺ Il n'y a pas d'usure mécanique donc une durée de vie élevée par rapport aux relais électromagnétiques
- ☺ Temps de fermeture $\approx 10^{-4}$ seconde donc rapide ≈ 100 fois
- ☺ Nombre de commutation On - Off peut dépasser 10^9 fois

➤ *Inconvénient :*

- ☹ L'isolation entre le secteur et la charge n'est pas parfaite et peut causer des accidents graves au manipulateur.
- ☹ Très sensible à la commande inverse ou surtension à l'entrée.

LES ACTIONNEURS THERMOELECTRIQUES

RÉGULATION THERMOÉLECTRIQUE

➤ Principe :

Pour élever de **1°K** (soit **1°C**) une charge de **1 Kg** alors il faut lui injecter une énergie thermique proportionnelle à la nature de cette charge à pression ou volume constant :

Pour l'eau il faut injecter **4 KJ** soit **4000 Ws** pour l'air il suffit de mettre **1000 Ws**.



Exemple de calcul :

On veut déterminer la puissance nominale d'un actionneur thermoélectrique pour chauffer **10 litres** d'eau en **8 min** de **20°C** à **55 °C** :

$$\text{Energie Thermique} = C_{p,v} \times (T_f - T_i) \times \text{Poids}$$

$$\text{Alors } E = 4.000 \times (55 - 20) \times 10 = 1.400.000 \text{ Ws}$$

Pour arriver à chauffer en **8 min** il faut une puissance :

$$\text{Puissance} = \frac{\text{Energie}}{\text{Temps}} = \frac{1.400.000 \text{ Ws}}{480 \text{ s}} \approx 3 \text{ KW}$$

A condition que le rendement thermique $\eta_{\text{thermique}}$ est proche de 1.

➤ Commande :

Un actionneur thermique est une résistance électrique métallique placée dans une gaine de protection isolante électriquement, mais transfère facilement la chaleur vers le fluide à l'extérieure suite à l'énergie injectée à l'entrée :

$$E_{injectée} = U_{eff} \times I_{eff} \times temps = Puissance \times temps$$

$$E_{dissipée} = E_{injectée} \times \eta_{thermique}$$

Commande Continue en tension

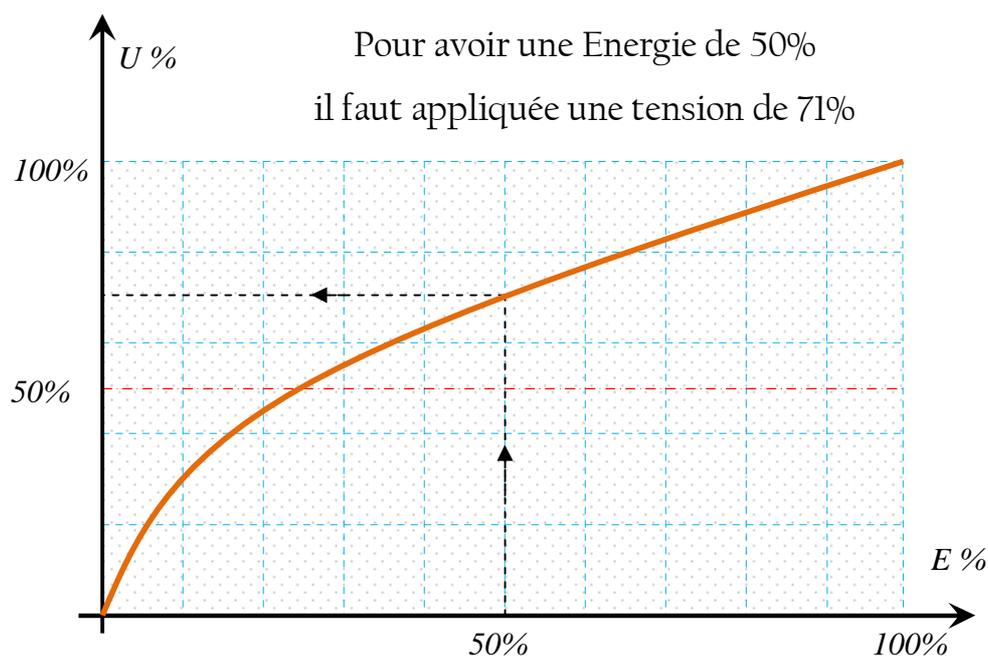
Le facteur de puissance ($\cos\phi$) est très proche de **1** puisque l'inductance des spires est très négligeable par rapport à la résistance pure, ainsi que le rendement électrique peut aller jusqu'à **1** aussi, mais le rendement de transfert par convection est à déterminer.

Pour commander les actionneurs thermoélectriques en énergie on peut faire varier la tension d'alimentation :

On a $P = U \times I$ et $I = U/R$ alors

$$E = \frac{U^2}{R} \times temps$$

Avec la résistance R qui augmente avec la température, mais légèrement, exemple à 1000°C la résistance augmente seulement 10% (L'énergie en conséquence diminue 10%) :



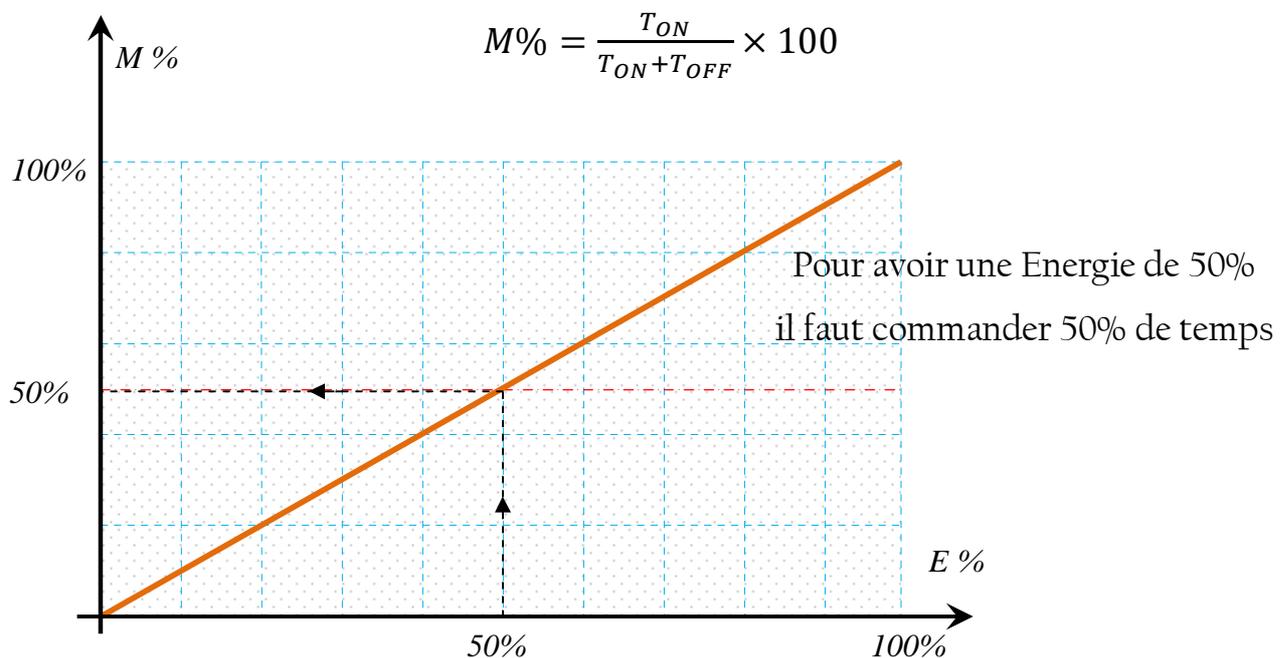
La commande en tension demande un autotransformateur en courant alternatif et montage potentiomètre diviseur en courant continue, en tous cas c'est chère de varier la tension avec un courant assez fort d'où la commande en TOR est plus économique.

Commande TOR ou MLI en temps :

Pour commander les actionneurs thermoélectriques en **énergie** on peut faire varier le **temps** d'application d'une tension constante (M%) :

Une régulation basée sur la **Modulation de la Largeur d'Impulsion**, module la puissance de l'actionneur sur un temps de fonctionnement **T_{ON}** et temps d'arrêt **T_{OFF}** :

On a toujours $T_{ON} + T_{OFF} = Constante$, et on peut moduler selon le pourcentage :

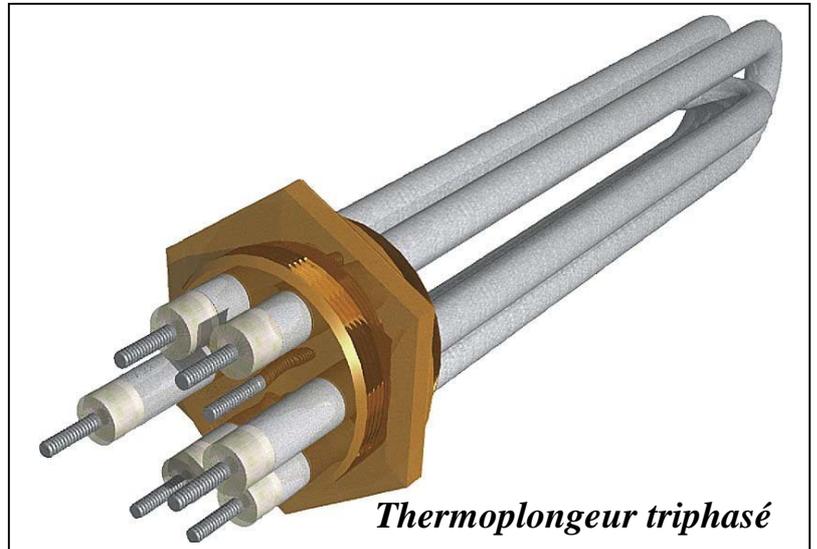


La commande TOR ou MLI des actionneurs thermoélectriques est fortement utilisée dans les procédés industriels, domestiques et automobiles. Toutefois, le chauffage imprécis par l'énergie électrique est luxe et gaspillage à ne pas se permettre pour les grandes puissances, alors on doit utiliser le vapeur et les énergies renouvelables.

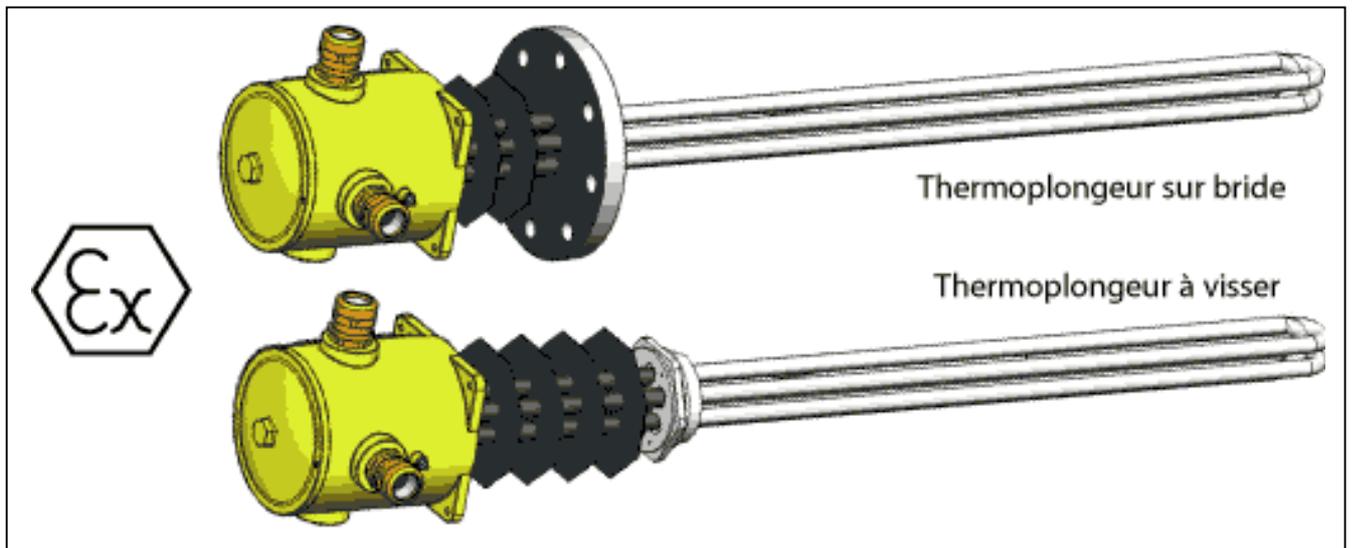
LES THERMOPLONGEURS

➤ Principe :

Les thermoplongeurs sont des appareils conçus pour chauffer des liquides par convection naturelle ou forcée. C'est une bonne solution précise pour chauffer de l'eau, des fluides statiques ou en circulation.



Selon les applications, les thermoplongeurs existent en différentes matières de gaine et état de surface plus ou moins lisse ce qui affecte sensiblement le rendement thermique.



Le thermoplongeur doit être en immersion totale ou partielle, à défaut de manque de liquide, la température de la surface de la gaine s'emballe dangereusement et l'actionneur peut s'endommager, si on reverse le liquide sur le thermoplongeur surchauffé on risque l'explosion du liquide lors du passage brusque vers l'état gazeux.

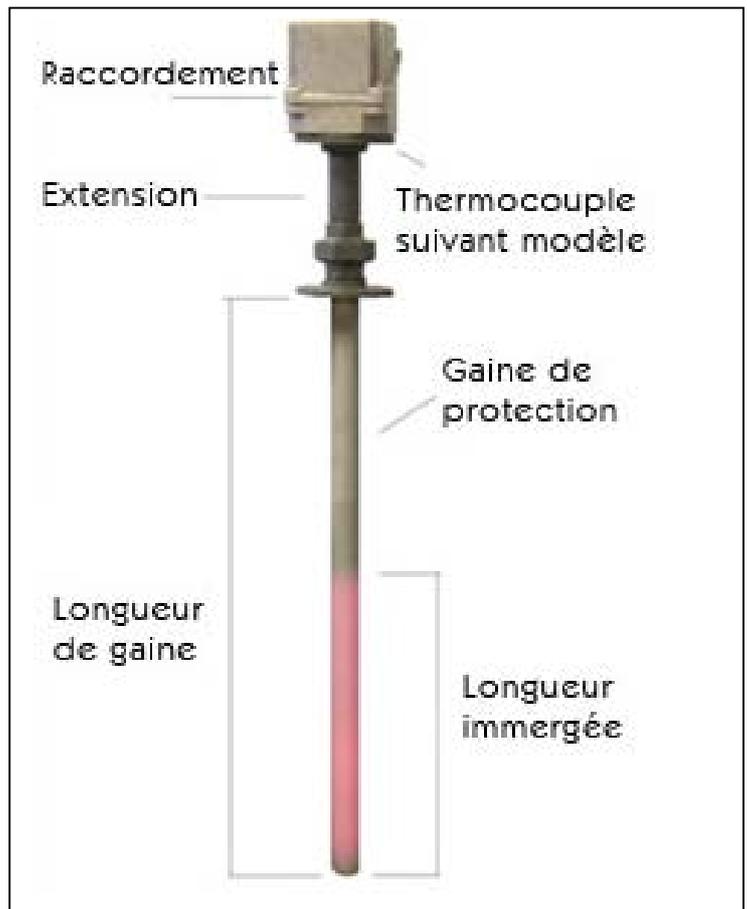
Les thermoplongeurs peuvent être associés à un thermostat et capteur de température, pour créer une boucle de régulation TOR sur le lieu du procédé.

➤ *Application pour chauffage des métaux en fusion :*

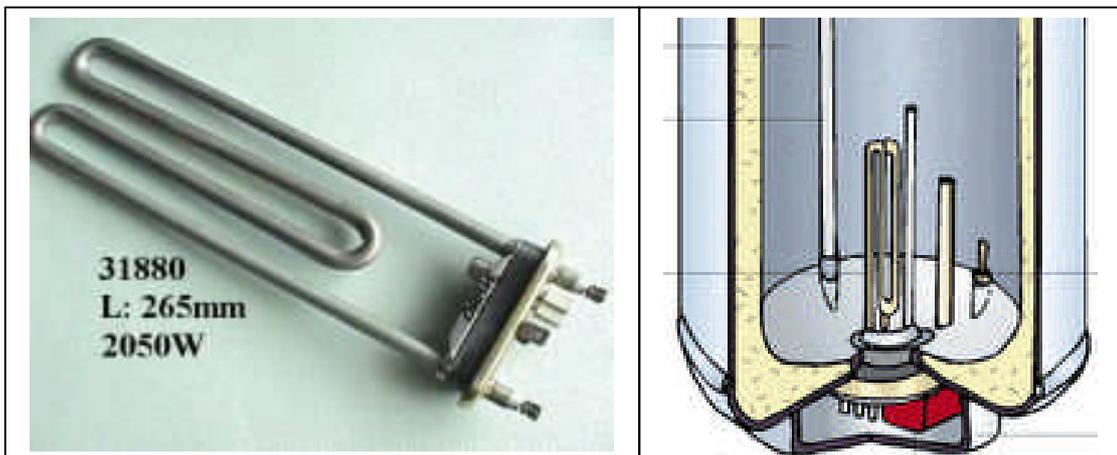
Ce thermoplongeur électrique est destiné à chauffer les métaux d'alliage non-ferreux.

Il peut être utilisé en chauffage d'appoint sur un four existant ou sur une poche d'alimentation, en tant que chauffage unique sur four de puisage ou un four basse pression.

Associé à un thermocouple pour le contrôle de sa température interne afin de mieux le commander en MLI et le protéger contre l'emballement.



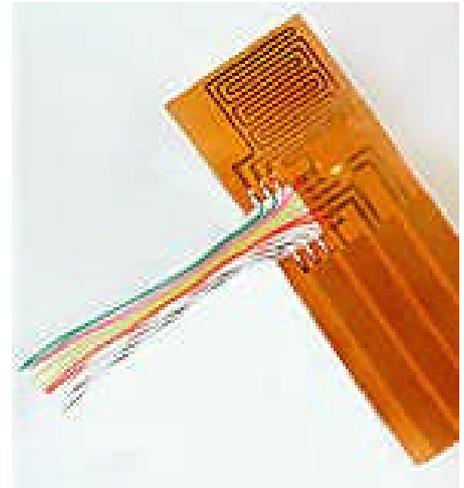
➤ *Application pour chauffage de l'eau :*



LES RÉSISTANCES CHAUFFANTES

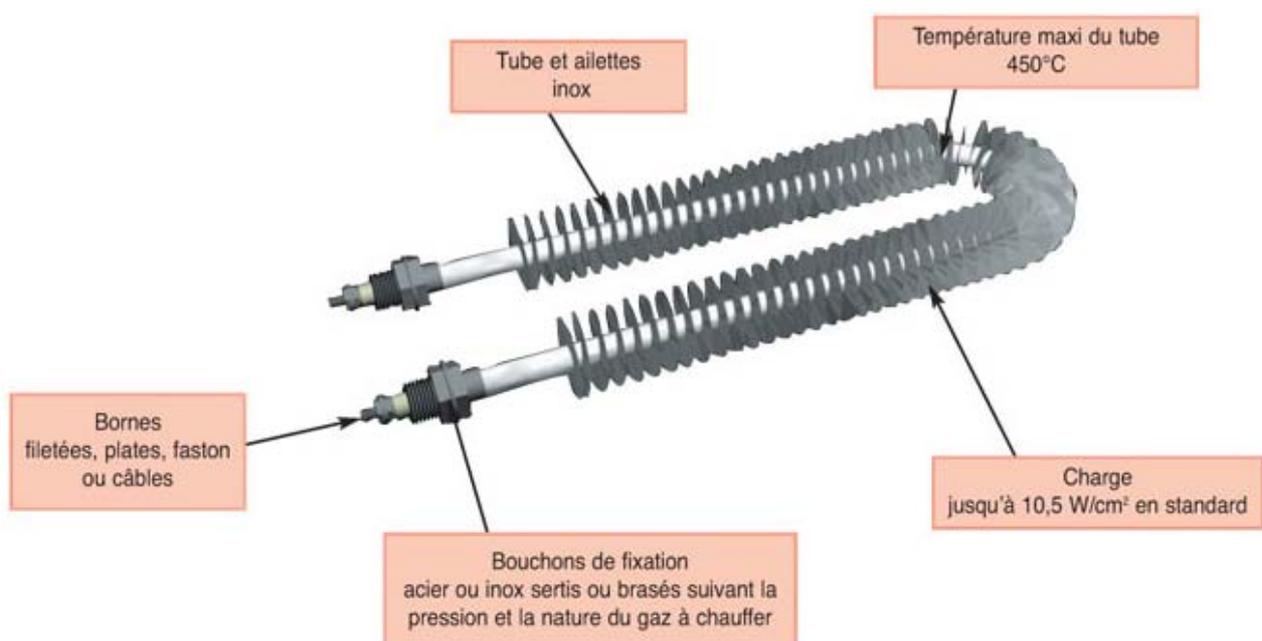
➤ Principe :

Les résistances chauffantes sont des appareils conçus pour chauffer des gaz (chauffer l'air pour chauffer le solide) par convection naturelle (ou forcée) ou chauffer la matière solide par contact direct.



➤ Résistances envirolées :

Les résistances envirolées sont conçues pour chauffer de l'air ou des gaz par convection naturelle ou forcée. Les échanges thermiques sont améliorés par la présence d'une lamelle métallique enroulée autour de la résistance chauffante. Les turbulences ainsi créées dans l'air ou dans le gaz permettent de disposer d'une puissance 2 à 3 fois supérieure à celle admise par une résistance nue dans les mêmes conditions.



➤ *Résistances plates :*

La qualité de surface entre la résistance et le solide à chauffer influence beaucoup le rendement thermique, ainsi que la force de serrage



➤ *Résistances en couronne :*



Les résistances en couronne sont fortement utilisées sur les machines d'injection plastique, pour la régulation de la température du plastique en phase proche du liquide.

Et selon les applications on peut les utilisées pour stabiliser la température d'un corps après avoir chauffé par d'autre énergie, car ces actionneurs à chaud ne consomme que 60% de l'énergie au démarrage à froid.

GENERATEURS D'INFRAROUGE

➤ Principe :

Un générateur infrarouge est une source (lampe) à base de résistance électrique associée à la céramique pour émettre une lumière à fréquence IR. Pour les sources à IR court on peut distinguer la couleur rouge visible à l'œil nue, comme la rougeur du fer avant sa fusion.



Fortement utilisés pour la régulation de la température dans les fours de séchage de la peinture des voitures, séchage des motifs en céramique, verrerie et papeterie. Ainsi que les incubateurs en industrie biologique et élevage animale.

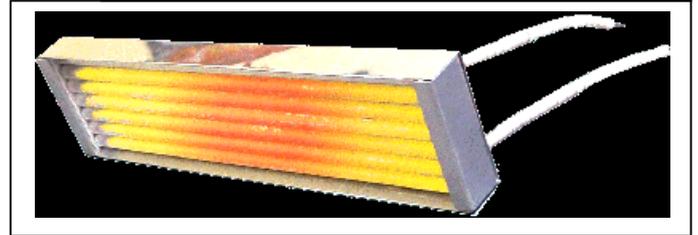
➤ Les trois types de générateur IR :

	4,31µm	3,14µm	1,97µm	0,89µm	
	INFRAROUGE LONG		INFRAROUGE MOYEN		
			INFRAROUGE COURT		
Catégorie d'infrarouge	LONG		MOYEN		COURT
Température de fonctionnement (°C)	de 370 à 500°C		de 700 à 850°C		de 1200 to 2000°C
Gamme de longueur d'onde	de 4,3 à 3,8 µm		de 2,8 à 2,6 µm		de 1,2 à 0,9 µm
Type d'émetteur	Fil résistif noyé dans la céramique		Résistance blindée		Emetteur quartz sous halogène
Inertie thermique	2 à 5 min		1 à 2 min		0,5 à 1 sec
Densité de puissance maximale	20 kW/m ²		50 kW/m ²		300 kW/m ²
Applications courantes	Pour chauffage homogène. Approprié pour les produits épais (plusieurs mm)		Chauffage superficiel. Approprié pour les produits humides		Chauffage superficiel.. Approprié pour les produits minces

➤ *Les torches IR (Quartz):*

Lampes et torches économiques à quartz adaptables aux applications de l'infrarouge court, appliqués en particulier dans l'aviculture.

Avec réflecteur aluminium qui augmente l'efficacité, la puissance électrique varie de 150W à 1000W.



➤ *Les éléments blindés IR :*

Le rayonnement infrarouge est particulièrement adapté pour le chauffage de pièces en mouvement tels que cuisson de peintures, séchage d'impression, stérilisation. Les éléments blindés portés à une température de 750°C à 900°C émettent dans le spectre de longueurs d'ondes moyennes comprises entre 2,82 μm à 2,47 μm .

Droits ou formés en épingle, les éléments peuvent être montés face à un réflecteur à haut pouvoir réfléchissant.

Ces générateurs robustes sont utilisés dans toutes les positions et dans toutes ambiances: chaude, humide ou poussiéreuse.



LES VARIATEURS DE VITESSE

GÉNÉRALITÉ

➤ Fonction des variateurs électriques :

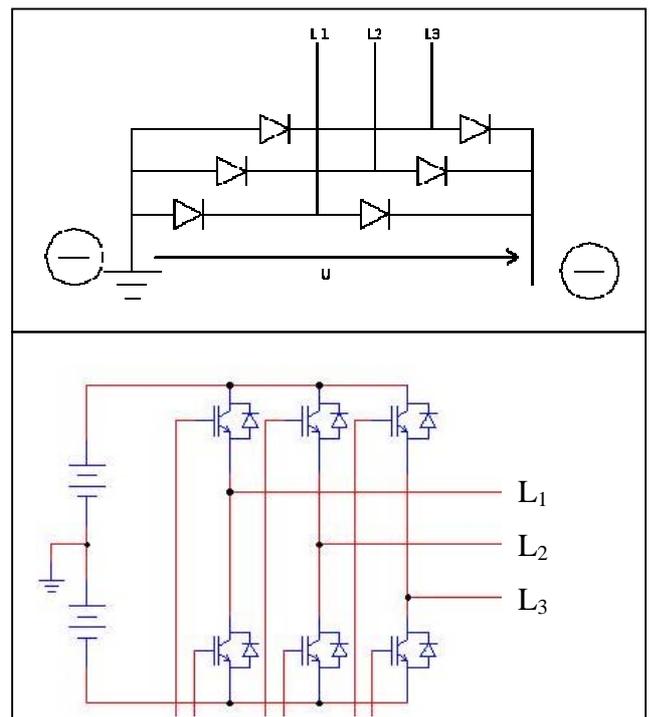
Un variateur de vitesse est un équipement électrotechnique alimentant un moteur électrique de façon à pouvoir faire varier sa vitesse de manière continue, de l'arrêt jusqu'à sa vitesse nominale.

La vitesse peut être proportionnelle à une valeur analogique fournie par un potentiomètre, ou par une commande externe : un signal de commande analogique ou numérique, issue d'une unité de contrôle.

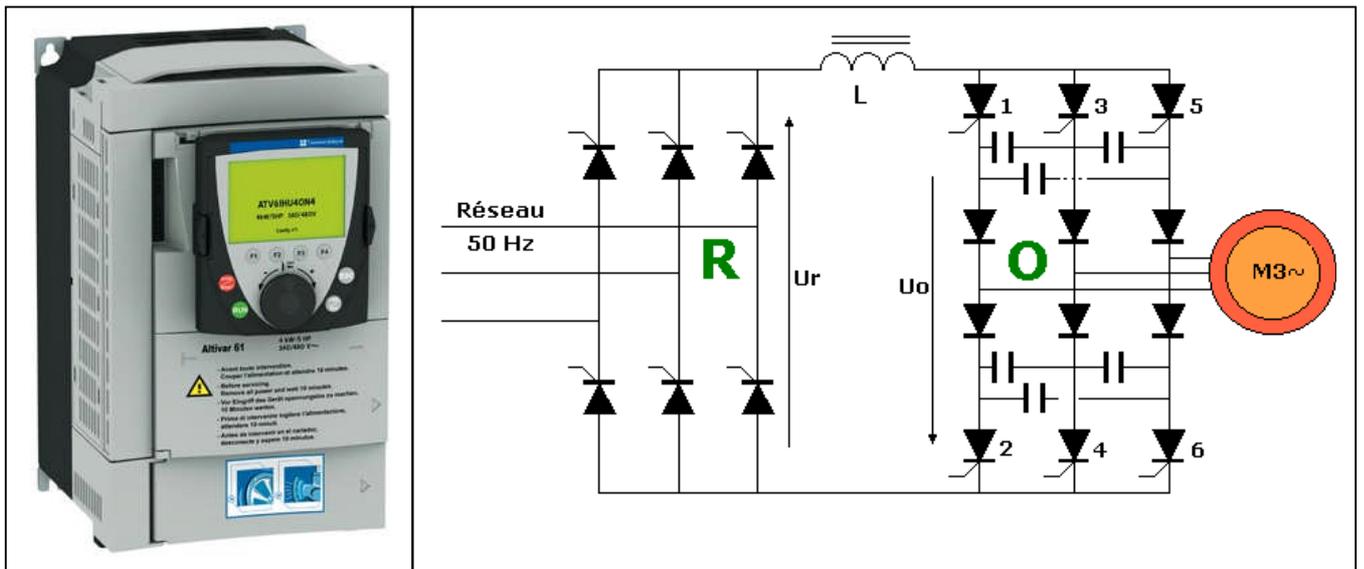


➤ Principe :

Un variateur de vitesse est constitué d'un redresseur et un onduleur. Le redresseur va permettre d'obtenir un courant quasi continu. À partir de ce courant continu, l'onduleur (bien souvent à Modulation de largeur d'impulsion MLI) va permettre de créer un système triphasé de tensions alternatives dont on pourra faire varier la valeur efficace et la fréquence.

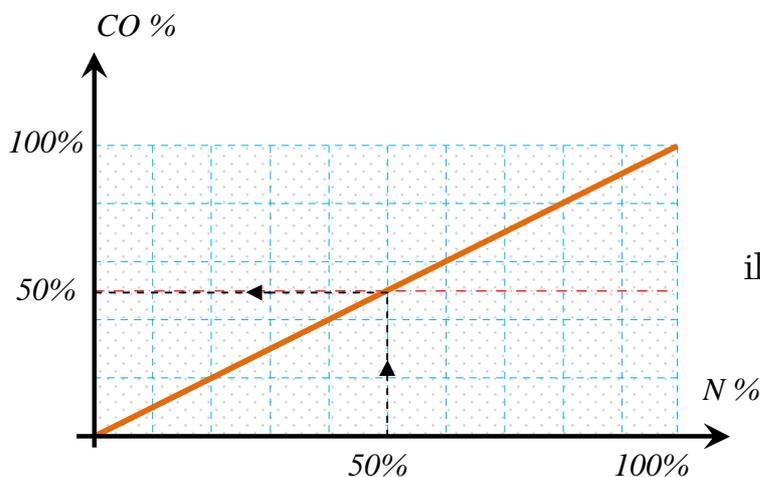


Le fait de conserver le rapport de la valeur efficace du fondamental de la tension par la fréquence constant permet de maintenir un flux tournant constant dans la machine et donc de maintenir constante la fonction reliant la valeur du couple en fonction de la vitesse synchrone des champs magnétique et de la vitesse asynchrone du rotor.



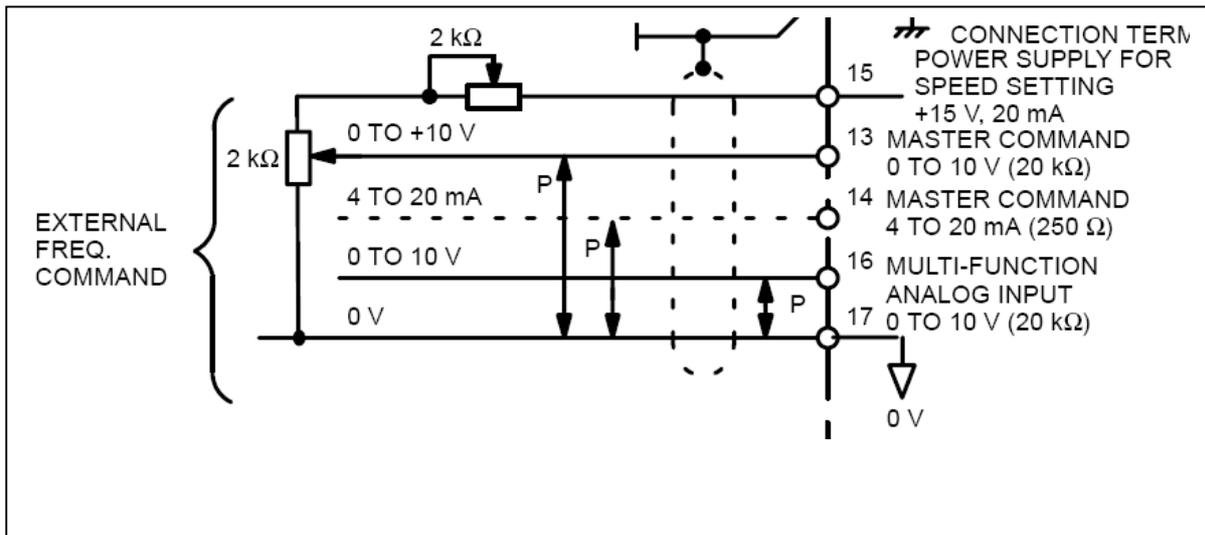
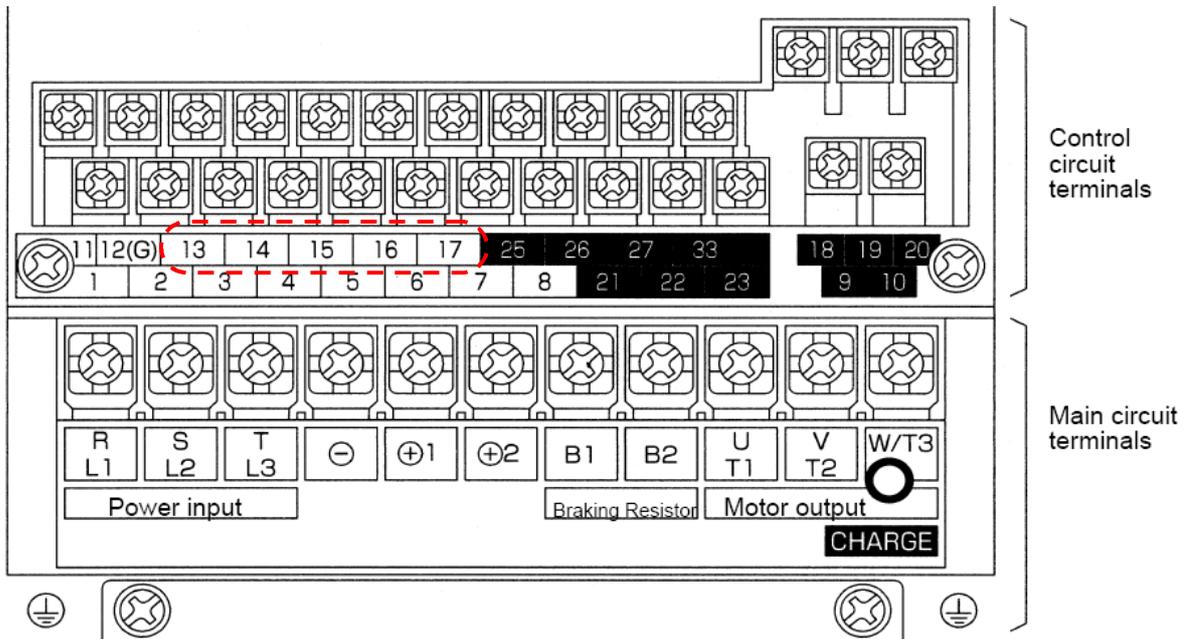
➤ **Commande :**

Le variateur est équipé d'une carte μC qui reçoit un signal de commande analogique 0/4...20mA ou 0/2...10V, ou par potentiomètre sur la façade pour commander la vitesse et le couple moteur d'une manière parfaitement linéaire :



Pour avoir une vitesse de 50%
il faut commander 50% du signal

➤ *Exemple de câblage (OMRON):*



TYPES DE COMMANDE

➤ *Principe des variateurs scalaires (simple commande)*

Il ya deux types de commande scalaire, en agissant sur le courant ou sur la tension.

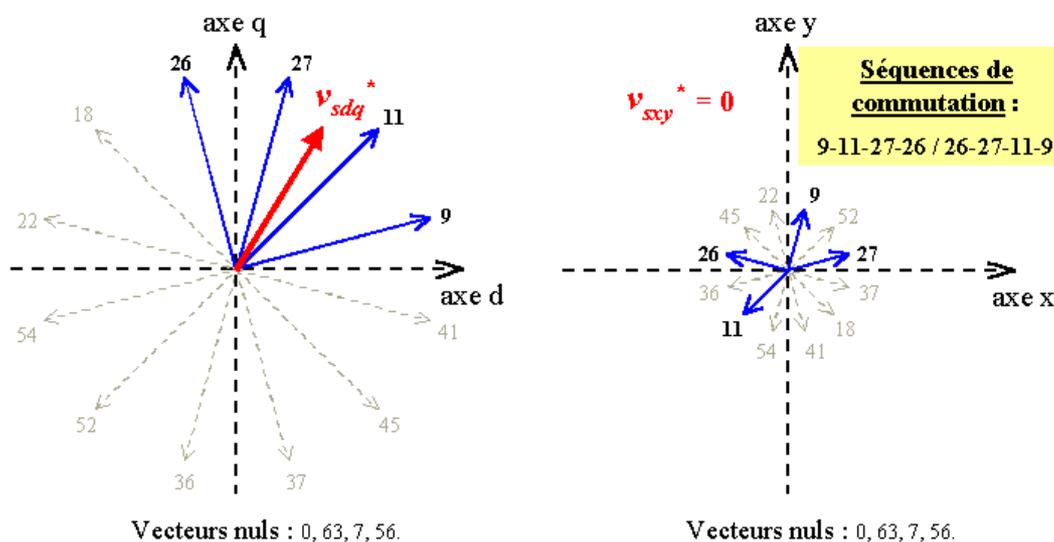
Le variateur scalaire à base tension est le plus utilisé en petite et moyenne puissance, c'est la commande U/f qui la plus utilisée.

Son principe est de maintenir $U/f = C^{st}$ ce qui signifie garder le flux constant, le

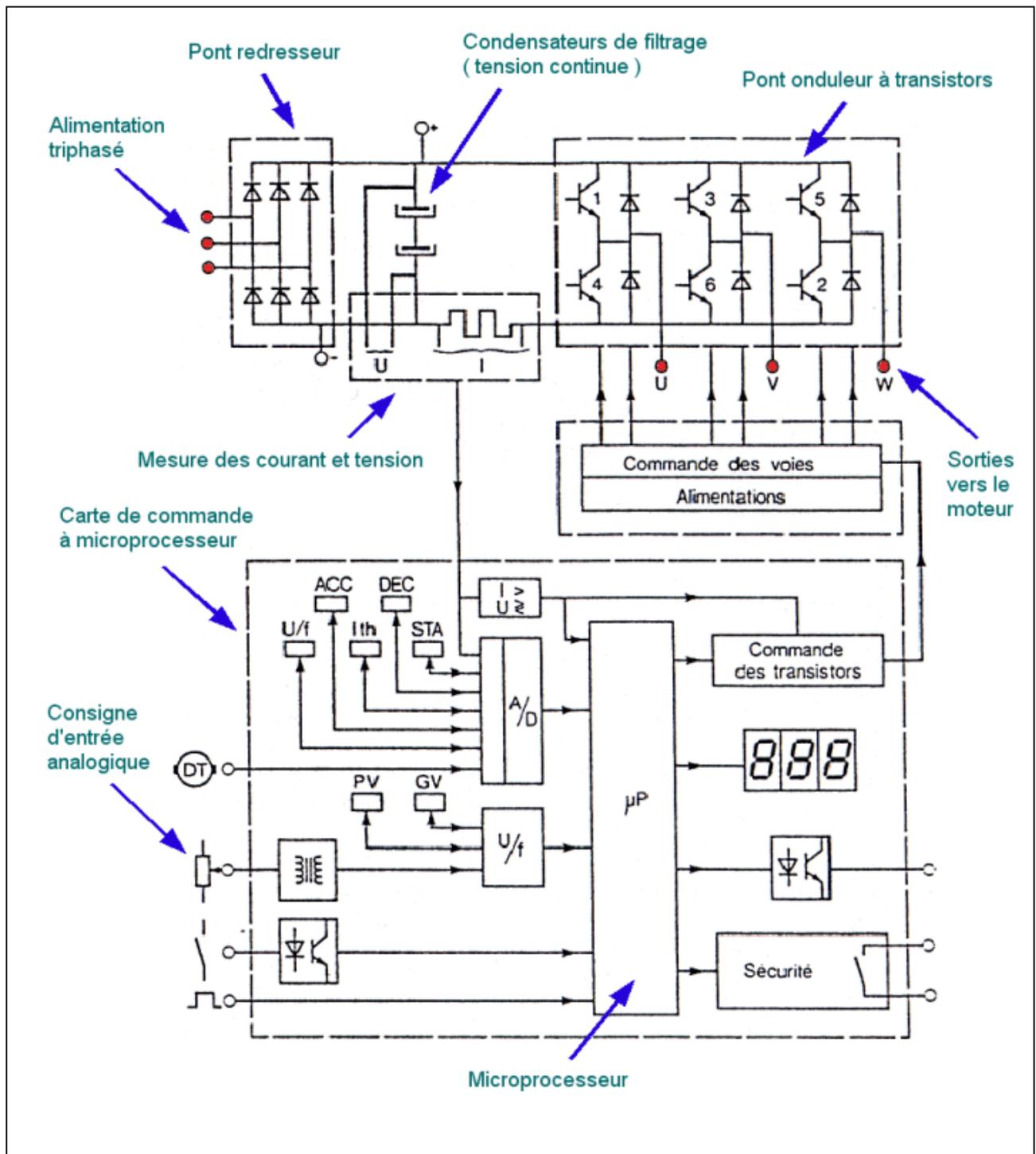
contrôle du couple se fait par l'action sur le glissement. Le couple est proportionnel au carré de U/f , en maintenant ce rapport constant et en jouant sur la fréquence on peut alors varier le couple et le glissement (donc la vitesse). A basse fréquence les chutes de tension deviennent importantes et le variateur ne peut plus assurer $U/f = C^{st}$ alors on se limite pour les commandes scalaires à ne pas descendre plus de 5 Hz.

➤ *Principe des variateurs vectoriels (commande sophistiquée)*

La Commande vectorielle est un terme générique désignant l'ensemble des commandes tenant compte en temps réel des équations du système qu'elle commande. Le nom de ces commandes vient du fait que les relations finales sont vectorielles à la différence des commandes scalaires. Les relations ainsi obtenues sont bien plus complexes que celles des commandes scalaires, mais en contrepartie elles permettent d'obtenir de meilleures performances lors des régimes transitoires. Il existe des commandes vectorielles pour tous les moteurs à courant alternatif.



À chaque période de fonctionnement de l'onduleur, la commande doit ouvrir ou fermer les interrupteurs de puissance (IGBT ou autre) de manière à créer dans la machine électrique un champ magnétique résultant dont le module et la direction sont optimaux pour répondre aux consignes de vitesse et de couple.



PARAMÉTRAGES

➤ *Commodités de commande :*

- La gestion du démarrage en mode douce, économique ou d'urgence
- Pilotage du courant et limitation de courant en cas d'appel
- La protection du moteur et de la machine à entraîner
- Le pilotage du ralentissement

➤ *Exemple de récapitulatif (LEROY-SOMER) :*

Désignation		Réglage usine	Votre réglage	Votre réglage	Votre réglage	V
			le	le	le	le
Courant nominal moteur	A1	100%				
Courant de décollage	A2	200%				
Durée de rampe	A3	20 s				
Courant limite	A4	400%				
Impulsion de dégivrage	A5	Non				
Durée maximum de démarrage	A6	30 s				
Thermique moteur rotor bloqué	A7	1				
Validation défaut sous/surpuissance	A8	0				
Seuil défaut surpuissance	A9	120 %				
Seuil défaut souspuissance	AC	30 %				
Affectation relais K2	AE	3				
Redémarrage sur microcoupures	AF	Non				
Ralentissement prolongé	AL	Non				
Durée du ralentissement	AO	20 s				
Validation sens de rotation	AP	Non				
Visualisation en fonctionnement	AU	0				

➤ *Les Alarmes :*

Coupure réseau :

- Tension réseau inférieure à 177V (=208V -15%).
- Absence partielle ou complète de 2 ou 3 phases.
- Coupure du réseau de puissance supérieure ou égale à 1,5s.
- Vérifier le dimensionnement de la source d'alimentation.
- Vérifier le câblage, l'état des fusibles.
- Vérifier le bon rétablissement de la source, puis redémarrer.

Démarrage trop long :

- Couple résistant anormalement élevé.
- Programmation du "durée de démarrage trop long" à une valeur trop faible pour l'application.
- S'assurer qu'aucun problème mécanique n'entrave le démarrage (frottement ou dur mécanique,...).
- Revoir la valeur de la durée maximum de démarrage.

Thermique thyristors

- Cycle ou régime de fonctionnement trop sévère pour le variateur.
- Réduire la fréquence des démarrages ou assouplir, en adaptant les réglages, les contraintes liées au démarrage.
- S'assurer que le courant permanent est compatible avec le calibre de celui-ci.

Absence de phases

- Absence d'une phase.
- Déséquilibre en tension d'une phase supérieur à 50%.
- Vérifier : le réseau d'alimentation, les câbles, les connexions, les fusibles, le moteur.

Microcoupure

- Coupure fugitive du ou des réseaux de puissance ou de contrôle.

Effacer le défaut par "reset", puis redémarrer.

Thermique moteur

Régime de fonctionnement ou état de la charge provoquant un échauffement.

Vérifier l'état de la charge.

Réduire la charge du moteur.

Surpuissance

La puissance absorbée par le moteur est supérieure au seuil réglé en A9.

Vérifier l'état de la charge.

Le cas échéant, réajustement du seuil de déclenchement A9.

Sous puissance

La puissance absorbée par le moteur est inférieure au seuil réglé en AC.

Vérifier l'état de la charge.

Le cas échéant, réajustement du seuil de déclenchement AC.

Défaut interne

Défaillance ou perturbations très importantes entraînant un dysfonctionnement du microcontrôleur.

Effacer le défaut puis redémarrer.

Si persistant, vérifier que les précautions de câblage ont été respectées.

Consulter le constructeur.

Rotor bloqué

Blocage mécanique de l'arbre moteur.

Charge au démarrage trop importante.

Éliminer la cause du blocage mécanique de l'arbre.

Soulager la machine.

Inversion du sens de rotation

L'ordre des phases en amont du variateur ne correspond pas au sens direct

Croiser deux phases en amont du variateur.

Coupure alimentation du contrôle

➤ *Logiciels de paramétrage(ABB):* Drive Window Light 2

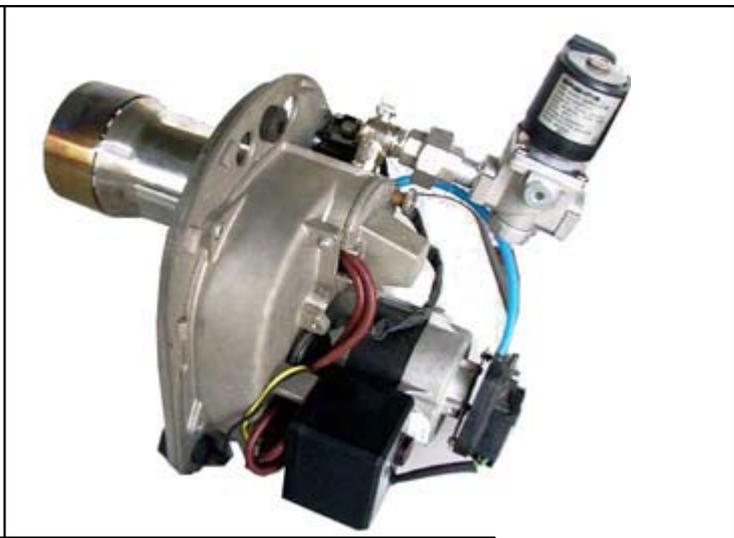
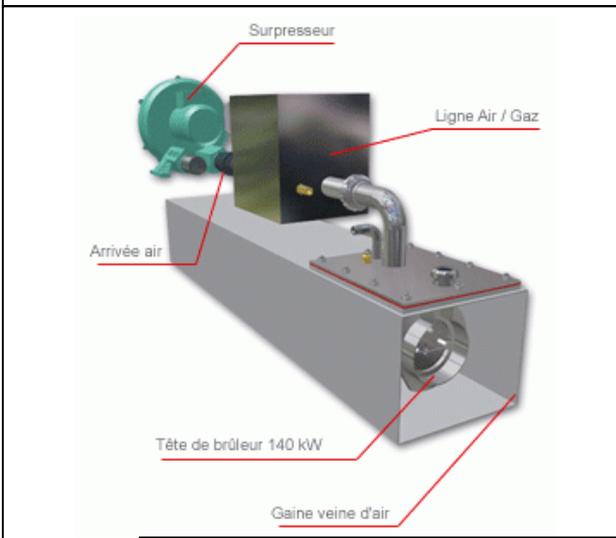
Name	Value	Unit	Min	Max
99 START-UP DATA				
9901 LANGUAGE	ENGLISH		0	10
9902 APPLIC MACRO	ABB STANDARD		-3	8
9904 MOTCR CTRL MODE	SCALAR:FREQ		1	3
9905 MOTCR NOM VOLT	220	V	100	300
9906 MOTCR NOM CURR	1.2	A	0	0
9907 MOTCR NOM FREQ	50	Hz	10	500
9908 MOTCR NOM SPEED	1380	rpm	0	18000
9909 MOTCR NOM POWER	0.2	kw	0.1	400
9910 ID RUN	OFF		0	1
1 OPERATING DATA				
3 ACTUAL SIGNALS				
4 FAULT HISTORY				

➤ *Avantage*

Pour les installations de pompage, de ventilation et de climatisation. Permet la régulation, la gestion de batterie, l'économie d'énergie, le désenfumage, etc.

Le variateur de vitesse destiné à la commande de moteurs asynchrones et synchrones triphasés de quelques Watts à des centaines de KW.

LES BRULEURS (A SUIVRE)



Reproduction sans préavis du concepteur n'est pas autorisée, Contacter mohamedbouacida@yahoo.fr