

1 INTRODUCTION GENERALE

L'objectif de ce document est de procurer une introduction aux technologies couramment utilisées en Sciences Industrielles pour l'Ingénieur. Il contient des descriptions de composants ainsi que des éléments permettant de comprendre leur fonctionnement et leur modélisation. Afin de structurer cet inventaire et de faciliter son utilisation nous découperons le document selon les principes de la chaîne fonctionnelle. On rappelle que l'objet de la chaîne fonctionnelle est de décrire les composants et les flux (matière, énergie, information) qui permettent à un système d'ajouter une valeur à une matière d'œuvre. Les deux premiers chapitres couvrent les fonctions *acquérir* et *traiter* de la chaîne d'information.

Les fonctions *stocker*, *alimenter*, *moduler*, *convertir* et *transmettre* sont l'objet des 5 chapitres suivant. La fonction d'action n'est pas détaillée car elle est pratiquement unique à chaque système en fonction de son cas d'utilisation.

Remarques : La fonction *communiquer* fait l'objet d'un document séparé. En PCSI-PSI les détails de la couche de communication ne sont pas abordés. En général le bloc communication concerne un procédé de et non un composant spécifique entre l'unité de traitement et le préactionneur (modulation, commutation).

Exemple de protocole entre un microcontrôleur et un préactionneur : rapport cyclique d'un signal PWM pour communiquer une grandeur ou bus I2C pour échanger des informations plus complexes.

Lorsqu'un système fait appel à plusieurs unités de traitement (un ordinateur déporté et un microcontrôleur par exemple) la qualité de la connexion et l'architecture du système d'information permettent en général de considérer que l'impact des procédés de communication est négligeable sur la modélisation du comportement du système

La fonction « restituer/Interface homme machine » fait référence aux voyants, afficheurs, écrans, haut-parleurs...

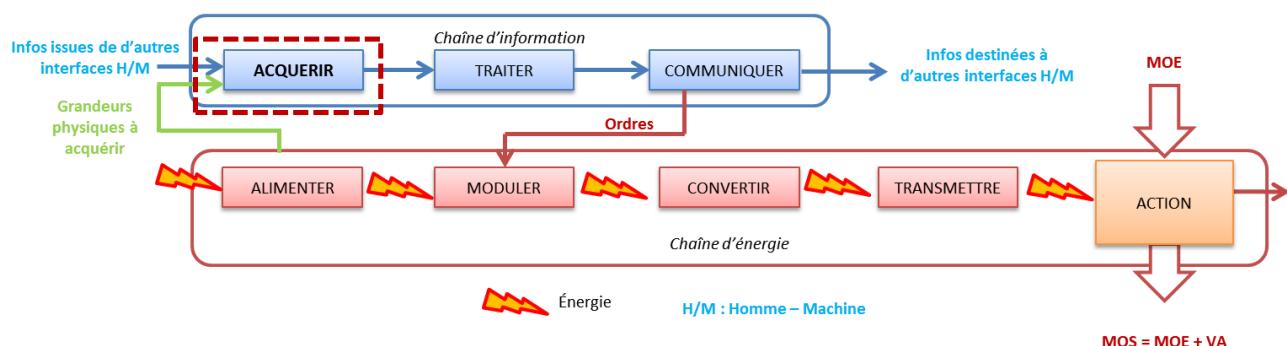


Table des matières

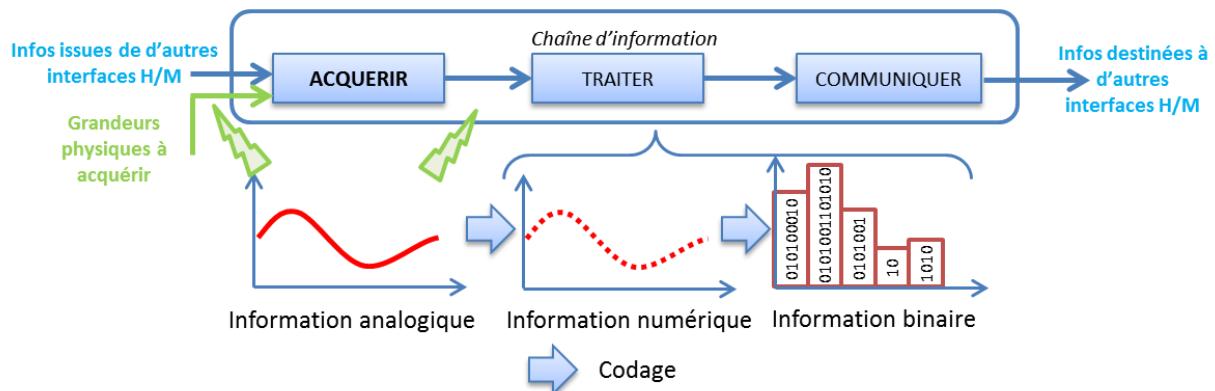
1	Introduction générale	1
2	Fonction acquérir	4
2.1	Nature des informations <i>Grandeur Analogique, Numérique, Binaire</i>	4
2.2	signal dans un système numérique : échantillonnage et résolution	5
2.3	Caractéristiques des capteurs	6
2.3.1	Définitions <i>Mesurande, Fidélité, Justesse, Précision, Exactitude, Etalonnage, Calibration, Resolution, Sensibilité, Rapidité</i> , 6	
2.3.2	Problèmes de mesure <i>Offset, Gain, Linéarité</i>	7
2.4	Les détecteurs – Capteurs logiques	8
2.4.1	Détecteurs à contact/Fin de course	8
2.4.2	Capteur pneumatique	8
2.4.3	Interrupteur à lame souples (ILS)	9
2.4.4	Détecteur photoélectrique barrage, reflex/proximité	9
2.4.5	Détecteur inductif	10
2.4.6	Détecteur capacitif	10
2.4.7	Détecteur photoélectrique barrage, reflex/proximité	10
2.4.8	Capteur à effet Hall simple	11
2.4.9	Critères de choix des détecteurs	11
2.5	Les capteurs analogiques	13
2.5.1	Mesures des longueurs et des angles – Potentiomètre linéaire et angulaires	13
2.5.2	Mesure de vitesse – Générateur tachymétrique	13
2.5.3	Mesure de force et de couple – Jauge de contraintes (extenso métriques)	14
2.5.4	Mesure de force – Capteur piézo électrique	14
2.5.5	Mesure de température – Thermocouple	14
2.5.6	Mesure de l'accélération	15
2.6	Les capteurs numériques	15
2.6.1	Mesure de position (et de vitesse) – Codeur incrémental	15
2.6.2	Mesure de position – Codeur absolu	16
2.7	Capteurs intelligents	16
2.7.1	Capteur de champ magnétique et d'angle de rotation à effet Hall	16
2.7.2	Gyroscope/gyromètre numérique	16
2.7.3	Capteur d'attitude / centrale inertielles / Motion Processing Unit.	17
2.8	Autres capteurs	17
2.8.1	Capteurs de pression	17
2.8.2	Capteur de débit	17
2.8.3	Capteurs à ultrason / sonar (SG)	17
2.8.4	Résolveur (SG)	17
2.8.5	LIDAR	17
3	Traitement de l'information	18
3.1	Automate programmables industriels (API)	18
3.2	Cartes programmables – Carte Arduino	19
3.2.1	Traitement avec câblage électrique, pneumatique et hydraulique	19
3.2.2	Traitement avec un automate logique	19
3.2.3	Traitement avec un FPGA	19
3.2.4	Traitement avec un Digital Signal Processor DSP	19
4	Fonction Convertir	20
4.1	Les moteurs électriques	20
4.1.1	Le moteur à courant continu	20
4.1.2	Le moteur brushless (sans broches)	20
4.1.3	Le moteur asynchrone	20
4.1.4	Le moteur pas à pas	21
4.1.5	Actionneurs linéaires	21

4.2 Convertisseurs d'énergie pneumatique ou hydraulique	22
4.3 Moteurs thermiques	23
5 Fonction Transmettre	23
5.1 Eléments de liaisons	23
5.2 Transmission par engrenages	23
5.2.1 Engrenage à contact extérieur	23
5.2.2 Engrenage à contact intérieur	24
5.2.3 Roues et vis sans fin	24
5.2.4 Renvoi d'angle :	24
5.3 Transmission par courroies et chaînes	24
5.4 Boites de vitesses	25
5.5 Convertisseurs multiples	25
6 Fonction moduler/commuter	25
6.1 Introduction	25
6.2 Les modulateurs électriques	26
6.2.1 Le relai (ou contacteur de puissance)	26
6.2.2 Le hacheur (convertisseur statique)	27
6.2.3 L'onduleur (variateur)	28
6.2.4 Notion de schéma électrique	28
6.3 Les modulateurs pneumatiques et hydrauliques	29
6.4 Les distributeurs	29
6.5 Désignation des distributeurs	30
7 Fonction stocker	31
7.1 Piles et batteries	31
7.2 Energies pneumatiques et hydrauliques	31
7.3 Stockage par gravité	32
7.4 Stockage inertiel	32
7.5 Ressorts	33
7.6 Energie thermique	33
8 Fonction Alimenter	33
8.1 Alimentation électrique	33
8.1.1 Transformateur	33
8.1.2 Alimentation électrique à découpage	33
8.1.3 Régulateur de tension	33
8.2 Alimentation pneumatique et hydraulique	34
8.2.1 Régulateur de pression	34
8.2.2 Systèmes de conditionnement	34
8.2.3 Systèmes de sécurité	34
9 Schéma – Composants pneumatiques et hydrauliques	35
10 Ressources	36

2 FONCTION ACQUERIR

2.1 Nature des informations Grandeur Analogique, Numérique, Binaire

Dans la chaîne d'information, les informations peuvent être de trois natures différentes : analogique, numérique et binaire. Le capteur va acquérir une grandeur analogique et va la transformer en une tension, elle-même étant aussi une grandeur analogique. Pour pouvoir être traitée, elle va d'abord être convertie en information numérique grâce à un Convertisseur Analogique Numérique (CAN). L'information numérique est alors traitée et stockée sous forme binaire.



Définition : Grandeur analogique

Une information analogique peut prendre, de manière continue, toutes les valeurs possibles dans un intervalle donné. Un signal analogique peut être représenté par une courbe continue.

Exemple :

Les grandeurs physiques (température, vitesse, position, tension, ...) sont des grandeurs analogiques.

Définition : Grandeur numérique

Une information numérique est constituée de plusieurs bits (variables binaires 0/1). Elle est en général issue d'un traitement (échantillonnage et codage) d'une information analogique. On parle de conversion analogique – numérique (CAN).

Définition : Grandeur binaire

Les informations logiques sont des informations binaires. Elles sont de type 0 ou 1, vrai ou faux, ouvert ou fermé, tout ou rien (TOR).

Exemple :

Variables de type « boolean » en Python, état d'un interrupteur...

2.2 Signal dans un système numérique : échantillonnage et résolution

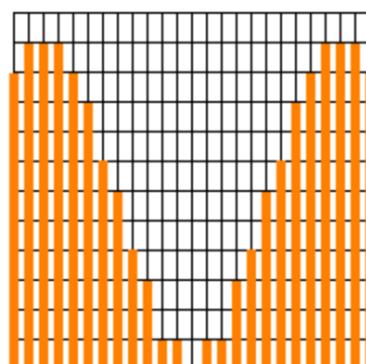
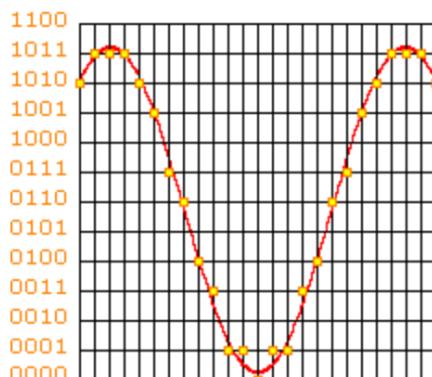
Lorsque l'on fait l'acquisition d'un signal de mesure sur un système numérique, celui-ci doit se conformer à deux contraintes : la **résolution** et l'**échantillonnage**. La résolution correspond à l'intervalle minimum entre deux mesures et l'échantillonnage au temps qui sépare deux prises de mesure. Ces contraintes font partie des facteurs qui limitent la précision et la connaissance d'une mesure. En fonction de la gamme et du niveau d'intégration d'un capteur et de son système d'enregistrement ces paramètres varient fortement par exemple les résolutions usuelles sont comprises entre 8 et 20 bits soit entre 256 et 1047576 points de mesure.

Exemple : Mesure d'un angle à l'aide d'un potentiomètre rotatif sur un microcontrôleur.

- Conversion analogique numérique à l'aide d'un module intégré au microcontrôleur. Le convertisseur dispose d'un *nombre de bits* permettant de traduire la valeur numériquement. Par exemple, sur un contrôleur Arduino Uno 8 bits permettent de coder les signaux analogiques. On obtient une résolution de $2^8 = 256$ valeurs distinctes sur l'intervalle de mesure de 5V. Si le potentiomètre est monotour on la résolution est de $\frac{360}{256} = 1,42^\circ$. C'est l'intervalle minimum entre 2 mesures.

Attention la précision de la mesure est en général moins intéressante que cet intervalle. Par exemple si le potentiomètre présente un défaut de linéarité de 2 % la tension électrique de mesure n'est plus une mesure parfaite de l'angle avec un défaut de 2% soit l'équivalent de 7,2° !

- Enregistrement de la valeur toutes les 1ms (paramétrable dans une certaine mesure en fonction de la rapidité du système d'acquisition ou de la vitesse d'exécution du programme dans le cas du microcontrôleur).



2.3 Caractéristiques des capteurs

2.3.1 Définitions

Définition : Mesurande – Grandeur physique à acquérir.

Définition : Fidélité – Capacité à donner des résultats répétables sur un échantillon de mesures. (Figure 1)

Définition : Justesse – Capacité à donner une valeur moyenne correcte sur un échantillon de mesures. (Figure 1)

Définition : Précision/Exactitude – Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie. Une combinaison de fidélité et de justesse permet de l'obtenir (Figure 1).

Définition : Étalonnage/Calibration – Opération permettant d'associer la valeur brute délivrée par un capteur à la mesure recherchée. Un étalonnage réussi doit permettre d'obtenir des mesures précise lorsqu'un capteur est fidèle.

Définition : Étendue de la mesure – Valeurs extrêmes pouvant être mesurées par le capteur.

Définition : Résolution – Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.

Définition : Sensibilité – Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.

Définition : Rapidité – Temps de réaction du capteur. La rapidité est liée à la bande passante du capteur.

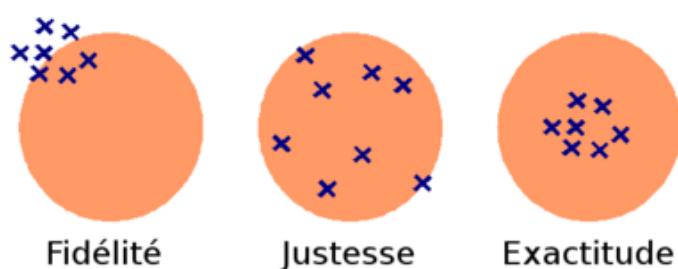
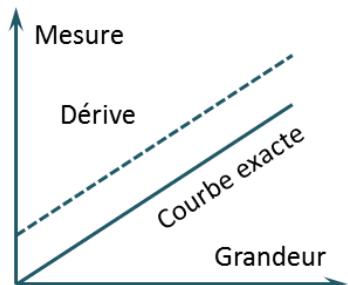


Figure 1 Fidélité Justesse Exactitude

2.3.2 Problèmes de mesure Offset, Gain, Linéarité

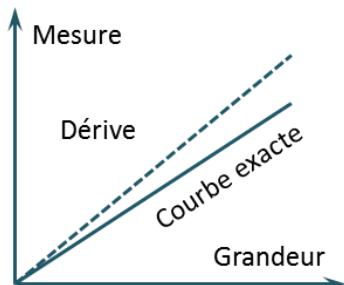
Erreur de zéro (offset)

Erreur de décalage constant entre la valeur mesurée et la valeur réelle de la grandeur physique.



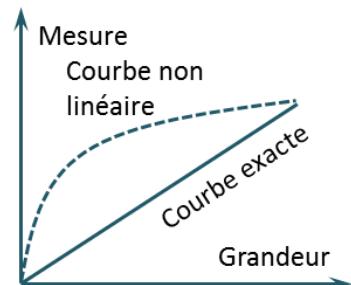
Erreur d'échelle (gain)

C'est une erreur qui dépend de la façon linéaire à la grandeur mesurée.



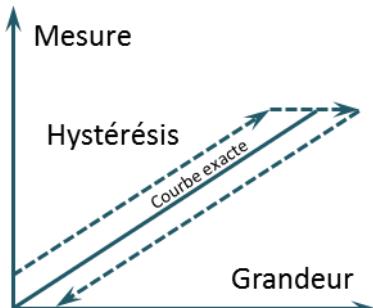
Erreur de linéarité

La caractéristique du capteur n'est pas une droite



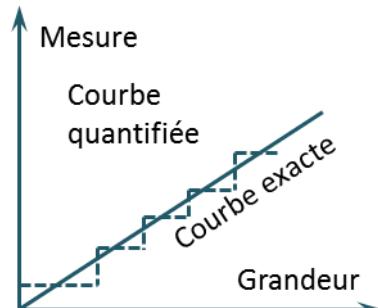
Erreur d'hystérésis

Phénomène apparaissant lorsque le résultat de la mesure dépend de la précédente mesure.



Erreur de quantification

La caractéristique est un « escalier ». Cette erreur est due à la conversion analogique – numérique.



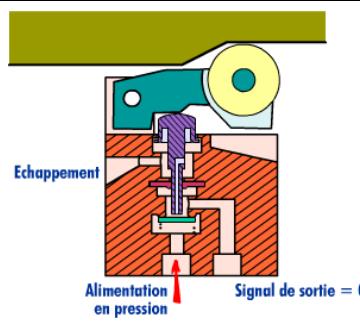
2.4 Les détecteurs – Capteurs logiques

Définition : Détecteurs – Les détecteurs permettent de détecter la présence ou l'absence d'un objet ou d'un niveau prédéterminé. Ils délivrent une information booléenne (vrai/faux) sous forme électrique, pneumatique ou hydraulique.

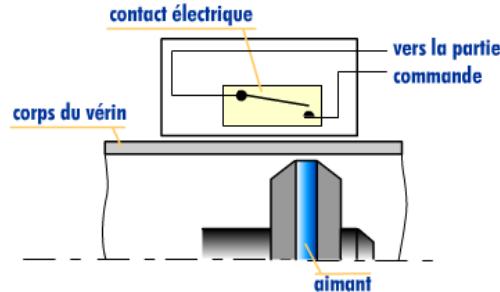
2.4.1 Détecteurs à contact/Fin de course

<p>Nature de la grandeur détectée : Contact</p> <p>Nature du signal délivré : Signal électrique</p> <p>Symbolle : interrupteurs normalement ouverts et fermés.</p>	<p>Principe de fonctionnement</p> <p>Ce détecteur est un interrupteur de position permettant de délivrer une information « Tout ou rien » en fonction de la position d'un organe de commande. Un tel détecteur est alimenté (par exemple en 5V – 2 fils). On mesure alors la tension sur une borne de sortie. (L'état de la tension mesurée correspond à l'état ouvert ou fermé de l'interrupteur.)</p>
<p>Au repos Enclenché Mouvement rectiligne</p> <p>Au repos Enclenché Mouvement angulaire</p> <p>Au repos Enclenché Mouvement multidirection</p>	
Exemples : Détecteur de présence de bocal capsuleuse, fin de course du mors de la cordeuse, ...	

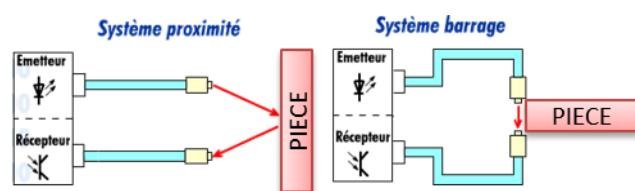
2.4.2 Capteur pneumatique

<p>Nature de la grandeur détectée : Contact</p> <p>Nature du signal délivré : Signal pneumatique</p> <p>Symbolle pneumatique</p>	<p>Principe de fonctionnement</p> <p>L'air arrive par l'orifice inférieur. Un orifice est relié à la sortie. Lorsqu'on presse sur le galet, de l'air peut alors passer par l'orifice de sortie. On détecte ainsi la présence d'un objet.</p> 
<p>Exemples :</p> <p>Pas d'exemple dans notre laboratoire.</p>	

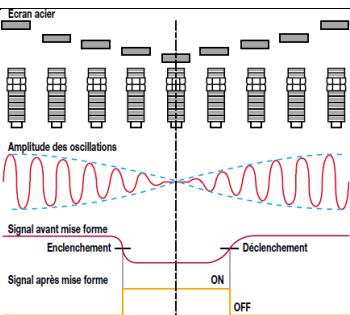
2.4.3 Interrupteur à lame souples (ILS)

Nature de la grandeur détectée : proximité Nature du signal délivré : Signal électrique Symbolo : 	Principe de fonctionnement <p>Les détecteurs ILS équipent les vérins, permettant de détecter la présence de la tige aux extrémités du vérin.</p> <p>Ils sont formés de deux lames métalliques souples très proches l'une de l'autre. Si le capteur est placé dans un champ magnétique alors les deux lames souples se mettent en contact et un courant électrique peut circuler de l'une vers l'autre.</p> 
Exemples : Vérins de la capsuleuse.	

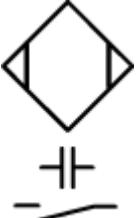
2.4.4 DéTECTEUR photoélectrique barragE, reflex/proximité

Nature de la grandeur détectée : proximité Nature du signal délivré : Signal électrique Symbolo : 	Principe de fonctionnement <p>Un détecteur photoélectrique est composé d'un émetteur (DEL) et d'un récepteur (phototransistor). Lorsque émetteur et récepteur sont dissociés, on parle de barrage. Sinon, on parle de reflex (existante d'une cible réfléchissante) ou de système proximité.</p> <p>Dans le cas du barrage ou du reflex, on détecte une pièce lorsque le faisceau lumineux est coupé. Dans le cas du système proximité, la pièce réfléchit le faisceau.</p> 
Exemples : <p>Ces détecteurs peuvent être utilisés dans les codeurs incrémentaux (Voir plus loin).</p> <p>Ils permettent de détecter des objets transparents, opaques...</p>	

2.4.5 DéTECTEUR INDUCTIF

Nature de la grandeur détectée : proximité Nature du signal délivré : Signal électrique Symbolo : 	Principe de fonctionnement <p>Ces détecteurs sont utilisés pour détecter la présence, l'absence ou le passage d'un objet métallique. Les capteurs inductifs produisent à l'extrémité leur tête de détection un champ magnétique oscillant. Ce champ est généré par une inductance et une capacité montée en parallèle. Lorsqu'un objet métallique pénètre dans ce champ, il y a perturbation de ce champ puis atténuation du champ magnétique oscillant. Cela provoque ainsi le changement d'état de sortie du détecteur (passage de l'état 0 à l'état 1).</p>
Exemples : <p>Sur la capsuleuse ils permettent de détecter l'état de serrage sur la capsule ou la présence du maneton avant que celui-ci n'entre dans la croix de Malte.</p>	 

2.4.6 DÉTECTEUR CAPACITIF

Nature de la grandeur détectée : proximité Nature du signal délivré : Signal électrique Symbolo : 	Principe de fonctionnement <p>Ces capteurs permettent de détecter tous types de matériaux. Lorsqu'un objet est à proximité du détecteur, il perturbe le champ électrique entre les deux électrodes.</p>
Exemples : <p>Absents sur nos systèmes de laboratoire. Ils sont utilisés lorsque les détecteurs inductifs ne peuvent pas être utilisés. La distance de détection est très faible.</p>	 <p>Photo Rechner</p>

2.4.7 DÉTECTEUR PHOTOÉLECTRIQUE BARRAGE, REFLEX/PROXIMITÉ

Nature de la grandeur détectée : proximité Nature du signal délivré : Signal électrique Symbolo :	Principe de fonctionnement <p>Un détecteur photoélectrique est composé d'un émetteur (DEL) et d'un récepteur (phototransistor). Lorsque émetteur et récepteur sont dissociés, on parle de barrage. Sinon, on parle de reflex (existante d'une cible réfléchissante) ou de système proximité.</p>
---	--

	<p>Dans le cas du barrage ou du reflex, on détecte une pièce lorsque le faisceau lumineux est coupé. Dans le cas du système proximité, la pièce réfléchit le faisceau.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> Système proximité </div> <div style="text-align: center;"> Système barrage </div> </div>
<p>Exemples :</p> <p>Ces détecteurs peuvent être utilisés dans les codeurs incrémentaux (Voir plus loin).</p> <p>Ils permettent de détecter des objets transparents, opaques...</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> </div>	

2.4.8 Capteur à effet Hall simple

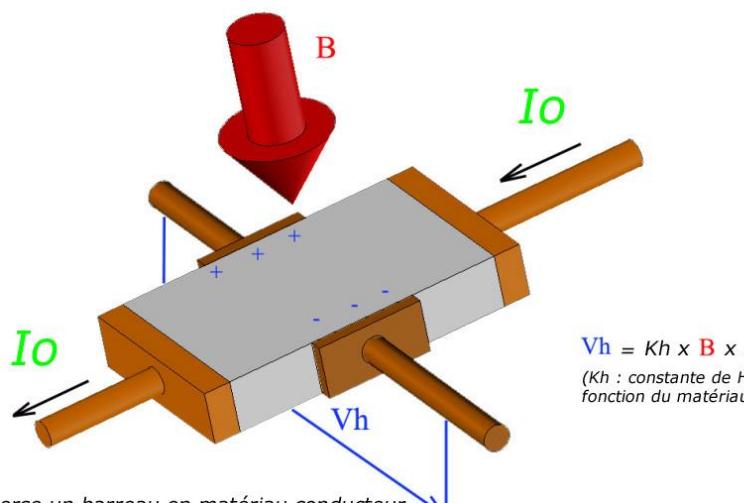
Grandeur détectée :

Présence d'un champ magnétique, d'un aimant, angle ou vitesse de rotation à l'aide d'un disque à franges.

Exemple :

Capteur point mort haut moteur voiture.

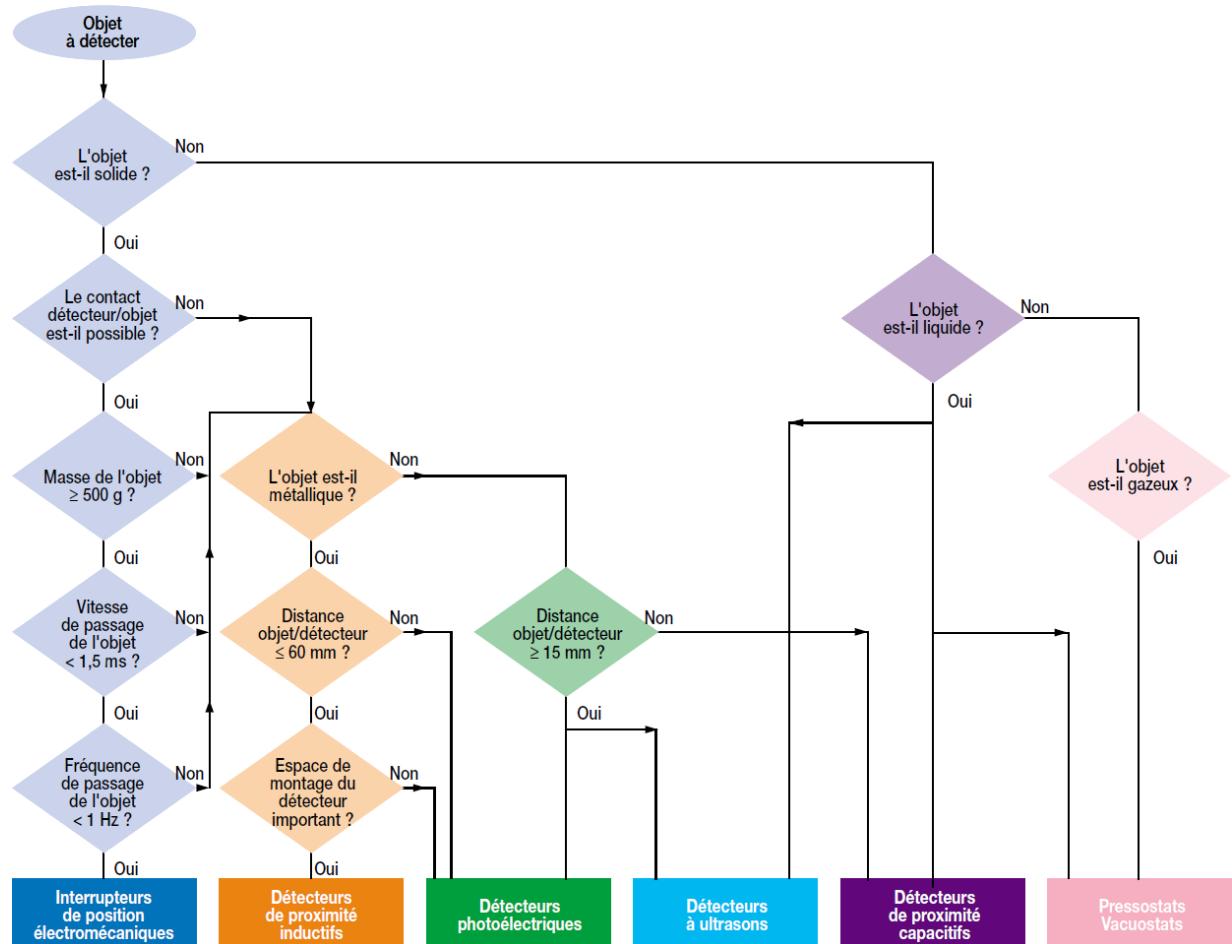
PRINCIPE DU CAPTEUR A EFFET HALL



Si un courant I_o traverse un barreau en matériau conducteur, et si on applique un champ magnétique B perpendiculaire au sens de passage du courant, il se produira une tension V_h proportionnelle au champ magnétique ainsi qu'à I_o . C'est la tension dite de Hall (Découverte en 1879 par M. HALL) www.velo-electrique.com

Ce capteur utilise l'effet d'induction afin de détecter la présence d'un champ magnétique. Il permet en général de détecter le passage d'un aimant. C'est un capteur de présence sans contact très fiable. Par un montage adapté une vitesse ou un angle de rotation peuvent être mesurés par comptage.

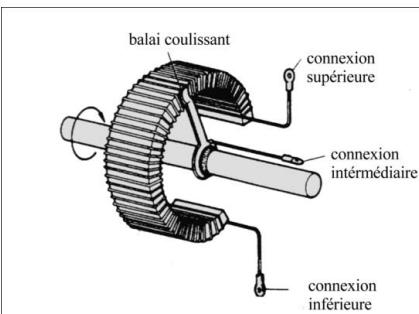
2.4.9 Critères de choix des détecteurs



2.5 Les capteurs analogiques

Ces capteurs permettent de mesurer une grandeur physique. Ils délivrent un signal continu.

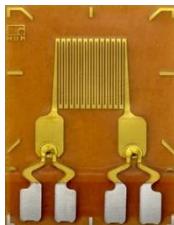
2.5.1 Mesures des longueurs et des angles – Potentiomètre linéaire et angulaires

Nature de la grandeur détectée : angle ou distance Nature du signal délivré : Signal électrique 	Principe de fonctionnement : Ces capteurs fonctionnent comme un rhéostat : un curseur se déplace sur une piste (linéaire ou circulaire). Un pont diviseur de tension permet de déterminer la tension. Connaissant la course du capteur, on peut en déduire la correspondance entre tension et dimension. En plaçant une tension +Vcc en B et une masse en A, la tension mesurée entre C et la masse sera comprise entre 0V et +Vcc et proportionnelle à la grandeur mécanique que l'on souhaite mesurer (angle ou distance). 
Exemples : Position angulaire du bras du MaxPID, position angulaire des volants de la DAE et de la DIRAVI, position angulaire des roues de la DAE, mesure de l'écrasement du ressort de la cordeuse, position angulaire des ventaux du portail... On peut remarquer qu'un potentiomètre comporte 3 fils (alimentation, masse et mesure).	 

2.5.2 Mesure de vitesse – Générateur tachymétrique

Nature de la grandeur détectée : vitesse Nature du signal délivré : Signal électrique	Principe de fonctionnement Une génératrice tachymétrique a la même structure qu'un moteur à courant continu. Lorsque l'axe du va tourner, il va générer une tension proportionnelle à sa fréquence de rotation.
Exemples : Mesure de la vitesse du moteur du MaxPID ou des vérins électriques de la plateforme 6 axes.	

2.5.3 Mesure de force et de couple – Jauges de contraintes (extenso métriques)

Nature de la grandeur détectée : effort ou couple Nature du signal délivré : Signal électrique 	Principe de fonctionnement <p>Un capteur d'effort est constitué d'un corps d'épreuve, déformable, sur lequel est collée une jauge. La jauge est constituée d'un fil réalisant des « aller-retour » (cf image). Lorsque le corps d'épreuve va être soumis à un effort, il va se déformer. Les fils vont alors s'allonger ou se rétracter, changeant ainsi sa résistance.</p> <p>La variation de résistance est proportionnelle à l'effort auquel est soumis le corps d'épreuve. La variation de résistance se mesure par une variation de tension mesurée elle-même par un pont de Wheatstone.</p> $F = E\varepsilon \text{ et } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \text{ (effort proportionnel à la déformation), } \frac{\delta R}{R} = K\varepsilon \text{ (différentiel de résistance proportionnel à la déformation).}$
Exemples : Mesure de l'effort dans le portail, capteur d'effort relié à la corde sur la cordeuse...	

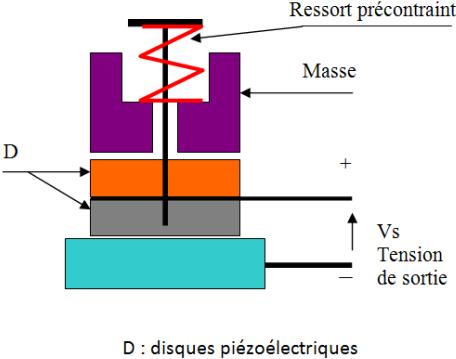
2.5.4 Mesure de force – Capteur piézo électrique

Nature de la grandeur détectée : effort Nature du signal délivré : Signal électrique	Principe de fonctionnement Les matériaux piézoélectriques ont la propriété de se polariser sous l'action d'une contrainte mécanique
Exemples : Ces capteurs peuvent être utilisés dans plusieurs autres capteurs : capteurs d'efforts, d'accélération...	

2.5.5 Mesure de température – Thermocouple

Nature de la grandeur détectée : température Nature du signal délivré : Signal électrique	Principe de fonctionnement Un thermocouple est constitué de deux fils de matériaux différents reliés entre eux. Sous l'effet d'un changement de température, on mesure peut alors mesurer une différence de potentiel entre les fils.
Exemples : Absent dans nos systèmes de laboratoire.	

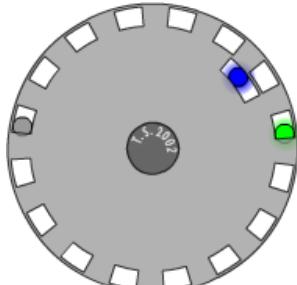
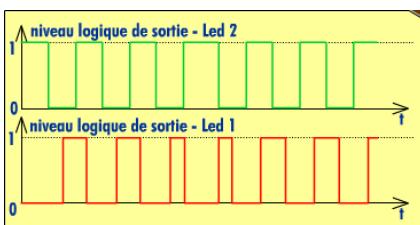
2.5.6 Mesure de l'accélération

Nature de la grandeur détectée : tension électrique Nature du signal délivré : Signal électrique	 <p>D : disques piézoélectriques</p>	Principe de fonctionnement <p>Un accéléromètre est un dispositif destiné à mesurer l'accélération. Il est typiquement constitué de deux éléments : une masse et un capteur.</p> <p>L'accéléromètre utilisé est à détection piézoélectrique à compression.</p> <p>La tension de sortie V_s est proportionnelle à la charge exercée par le ressort et la masse sur les disques D.</p>
Exemples : Suspension de VTT didactisée. Les systèmes de grandes diffusion (drone, smartphone) utilisent des accéléromètre miniaturisés gravés sur du silicium. On parle de capteur MEMS.		

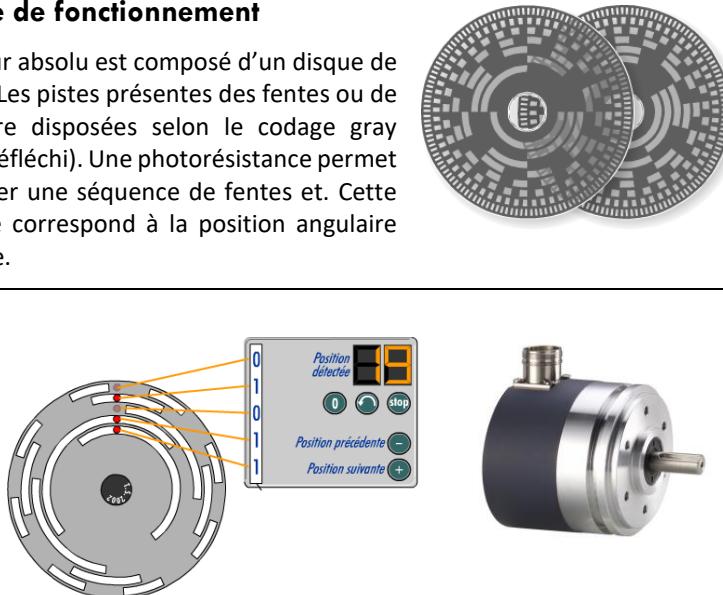
2.6 Les capteurs numériques

Ces capteurs permettent de mesurer une grandeur physique. Ils délivrent un signal échantillonné.

2.6.1 Mesure de position (et de vitesse) – Codeur incrémental

Nature de la grandeur détectée : proximité Nature du signal délivré : Signal électrique	Principe de fonctionnement <p>Un codeur absolu est composé d'un disque comportant :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ une piste composée de fentes espacées régulièrement sur sa périphérie ; ▪ une seconde piste composée d'une seule fente permettant de faire une remise à zéro ; ▪ 3 couples diode/photorésistances (ou technologie équivalente) : <ul style="list-style-type: none"> • deux repérant les fentes sur la périphérie (décalées d'un quart de fente) ; • une repérant la fente de la seconde piste. <p>En détectant les fentes sur la piste extérieure, il est possible de détecter la position angulaire et le sens de rotation.</p> <p>La piste intérieure facultative permet d'identifier une référence.</p>	 
Exemples : Axe numérique, boîte de vitesse robotisée, axes de déplacement des machines-outils... La résolution angulaire du capteur dépend du nombre de fentes : $\frac{360^\circ}{n}$.		

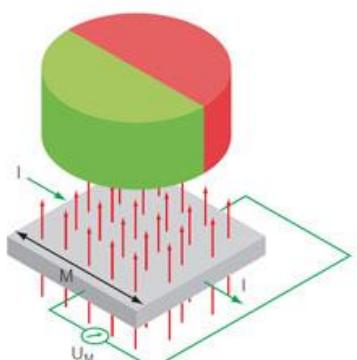
2.6.2 Mesure de position – Codeur absolu

Nature de la grandeur détectée : proximité Nature du signal délivré : Signal électrique Symbol :	Principe de fonctionnement <p>Un codeur absolu est composé d'un disque de n pistes. Les pistes présentent des fentes ou de la matière disposées selon le codage gray (binaire réfléchi). Une photorésistance permet d'identifier une séquence de fentes et. Cette séquence correspond à la position angulaire du disque.</p>
Exemples : <p>Installation de sûreté ou la mise hors tension ne doit pas entraîner une prise d'origine <i>Réacteur nucléaire</i></p>	

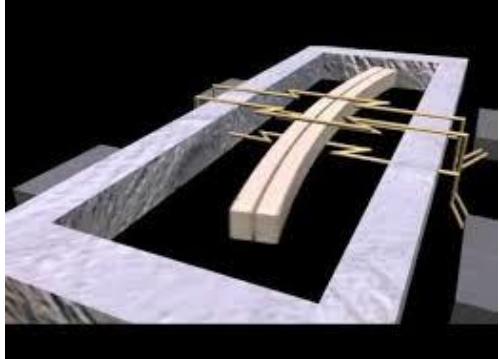
2.7 Capteurs intelligents

Ces capteurs modernes profitent des progrès de miniaturisation et dans le traitement de l'information pour mesurer des grandeurs plus efficacement.

2.7.1 Capteur de champ magnétique et d'angle de rotation à effet Hall

	<p>Une grille de capteurs à effet Hall est utilisée afin de mesurer l'orientation et l'intensité d'un champ magnétique. Ils peuvent ainsi servir de boussole 3D. Associé à un aimant ils permettent de mesurer avec précision et de manière absolue un angle sans contact.</p> <p><i>Exemple boussole : Drone</i></p> <p><i>Exemple mesure d'angle : Cheville du robot NAO.</i></p> <p>Une unité de traitement de l'information est intégrée pour conditionner et traiter l'information des sous-capteurs de la grille et fournir des données facilement exploitables. Ces capteurs sont miniaturisés et mesurent quelques mm².</p>
---	--

2.7.2 Gyroscope/gyromètre numérique

	<p>Ces capteurs miniaturisés MEMS permettent de mesurer des vitesses de rotation sans contact avec la référence (repère galiléen), ce qui est indispensable pour les véhicules par exemple. Un barreau oscille à grande vitesse, lorsque le support tourne les effets d'inertie génèrent des forces proportionnelles à la vitesse de rotation. Ainsi mesure ces forces permet d'obtenir une image de cette vitesse.</p> <p>Il existe aussi des modèles plus traditionnels qui utilisent un disque tournant à grande vitesse dont les angles restent fixes par effet d'inertie. Ces modèles présentent l'avantage de pouvoir mesurer directement les angles et non les vitesses de rotation. Ils présentent l'inconvénient d'être beaucoup plus onéreux et encombrant.</p>
---	---

2.7.3 Capteur d'attitude / centrale inertie / Motion Processing Unit.

	<p>En combinant les capteurs miniaturisés MEMS <i>gyroscope</i>, <i>accéléromètre</i> et <i>boussole</i> il est possible d'obtenir les angles d'orientation dans l'espace d'un objet sans système de mesure associé à la référence (caméra...) et sans contact.</p> <p>L'accéléromètre mesure en permanence l'accélération verticale, ce qui donne, en moyenne une orientation fiable de l'axe vertical.</p> <p>La boussole donne en moyenne une bonne direction du nord magnétique, permettant de s'orienter dans le plan horizontal.</p>
--	--

Le gyroscope numérique donne de bonnes mesures instantanées des angles et des vitesses de rotation, en général sa dérive empêche une mesure d'angle fiable dans le temps.

Par combinaison des informations de ces 3 capteurs, par exemple avec les filtres de Kalmann, on peut obtenir une information rapide et fiable de l'attitude (angles dans l'espace) du système. Cette fusion peut être gérée localement à l'aide d'une unité de traitement numérique intégrée au capteur.

Ces capteurs se trouvent par exemple dans les **drones**, les **smartphones** et les voitures disposant du contrôle de trajectoire ESP.

2.8 Autres capteurs

2.8.1 Capteurs de pression

Les capteurs de pressions sont de type tout ou rien ou analogique. En général ils fonctionnent par mesure de déformation d'un mécanisme sensible à la pression (membrane équipée d'un ressort par exemple).

- Les type TOR permettent de détecter un niveau choisi au préalable. *Exemple* : Détection de perte de pression d'huile dans un moteur automobile (voyant rouge en forme de burette d'huile).
- Les modèles analogiques permettent une mesure de la pression.

2.8.2 Capteur de débit

Les capteurs de débit permettent de mesure un débit de fluide, ils peuvent utiliser un contact physique (hélice, pale) ou un système sans contact (ultrason par exemple).

2.8.3 Capteurs à ultrason / sonar (SG)

Les capteurs émettent un son et mesure son temps de propagation/réflexion pour mesurer une distance à un objet, exemple : Aspirateur robot.

2.8.4 Résolveur (SG)

Ce sont des capteurs d'angles absolu par mesure du champ électromagnétique par induction dans 2 bobines orientées à 90°.

2.8.5 LIDAR

Ces capteurs utilisent des lasers afin de mesurer des distances. En disposant le laser sur une tourelle il est possible de cartographier un environnement (scanner laser).

3 TRAITEMENT DE L'INFORMATION

Lorsque l'information est acquise dans un système, l'unité de traitement réalise plusieurs opérations.

- Conversion analogique – numérique (CAN):
 - échantillonnage : cette opération consiste en un prélèvement de l'information à intervalle régulier. ;
 - blocage : pendant que le signal est converti, l'entrée est bloquée en l'état ;
 - codage : la valeur est codée en une information booléenne ou en information numérique. Suivant l'unité de traitement, le codage est limité à un certain nombre de bits, influant ainsi sur la valeur stockée.
- Stockage : une fois numérisée l'information est stockée en mémoire (mémoire flash, RAM, disque-dur...)
- Traitement : l'information peut alors être traitée à proprement parlé. Suivant les valeurs mesurées, l'unité de traitement pour alors modifier le comportement de la chaîne d'énergie.

Ces opérations vont être réalisées par un microcontrôleur ou un microprocesseur. Ces composants sont programmables.

Exemples de logiciels permettant de programmer des unités de traitement

Programmation par un langage
« écrit »



Programmation par langage
graphique



Programmation par diagramme
d'état, programmation par
schéma bloc



Programmation par logigramme :
ISP Lever – Lattice Semiconductor

Un cours séparé couvre les principes et la modélisation des systèmes de traitement de l'information.

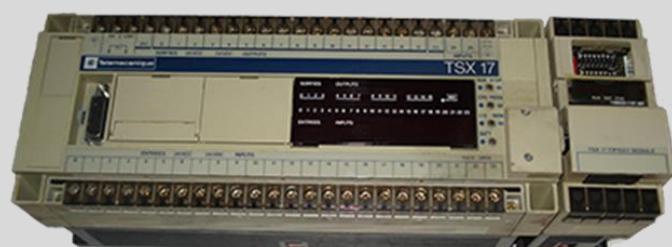
3.1 Automate programmables industriels (API)

Dans les systèmes industriels, le traitement de l'information est réalisé par un automate programmable industriel. Il s'agit d'un système électrique équipé d'entrées permettant de mesurer les états de capteurs ou de détecteurs et de sorties permettant de piloter des modulateurs d'énergie (relais électriques, distributeurs pneumatiques etc...)

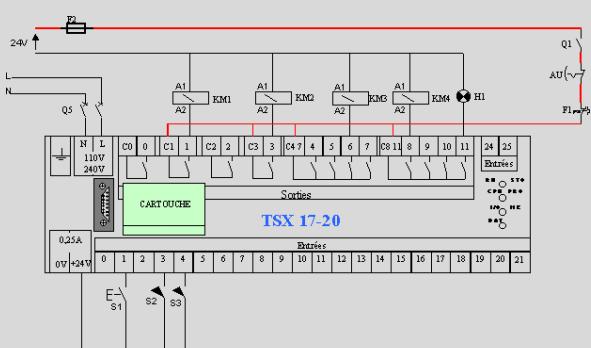
Le lien entre les entrées et les sorties se fait au moyen d'un programme (programme graphique, codage....).

Exemples de logiciels permettant de programmer des unités de traitement

Automate de la capsuleuse de bocaux



Automate TSX 17

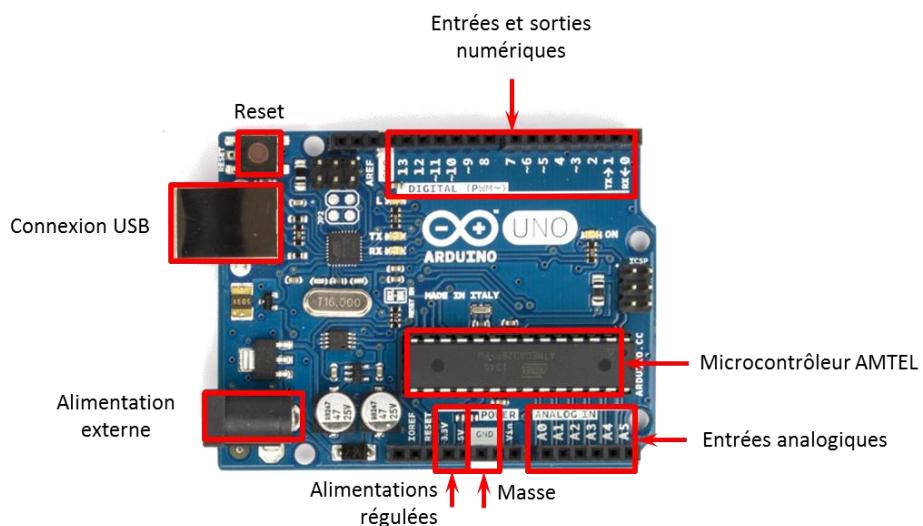


Représentation schématique des entrées et sorties

3.2 Cartes programmables – Carte Arduino

Les caractéristiques de la carte Arduino UNO sont les suivantes :

- Mémoire et microcontrôleur :
 - Microcontrôleur ATmega328 cadencé à 16 MHz
 - Mémoire Flash 32ko (dont 0,5 ko pour le système d'amorçage)
 - SRAM : 2ko
 - EEPROM 1ko
- Entrées sorties numériques
 - 14 dont 6 en MLI (PWM) indiquées ~ (40mA).
 - Ports Tx et Rx : reprise du port série
- Alimentation :
 - Alimentation par le port USB : 5V, 500mA
 - Alimentation externe en 7 à 12 V (2,1 mm)
 - Reprise de l'alimentation externe
 - Alimentation externe régulée en 5V/500mA et 3,3 V/50mA.
- Entrées analogiques :
 - 5 entrées analogiques



3.2.1 Traitement avec câblage électrique, pneumatique et hydraulique

En utilisant des pré actionneurs électriques, pneumatiques ou hydrauliques il est possible de réaliser un traitement des informations en « logique câblée ». Ce type de traitement est couteux et fastidieux et on le réserve en général pour des prises de décision simple liées à la sécurité *Par exemple déclenchement d'une interruption de production en cas de détection d'incendie.*

3.2.2 Traitement avec un automate logique

Plus simple que les automates programmables industriels ces automates ne disposent pas de mémoire. Ils peuvent servir pour une installation simple et peu coûteuse ou traiter uniquement un aspect de sécurité de l'installation par exemple.

3.2.3 Traitement avec un FPGA

Les FPGA sont des puces électroniques dont l'aspect est proche des microcontrôleurs. A la différence de ceux-ci leur circuit interne sont modifiables par une interface PC. Les connexions entre les transistors peuvent être reconfigurées afin d'obtenir le traitement souhaité. Cela permet de développer des traitements de l'information performants adaptés à une application particulière, ou un logiciel embarqué exécuté sur microcontrôleur ne se montrerait pas suffisamment réactif. Les FPGA sont particulièrement adapté aux petites séries ne permettant pas une mise en production de puce spécifique (ASIC). *Exemple : Guidage de fusée*

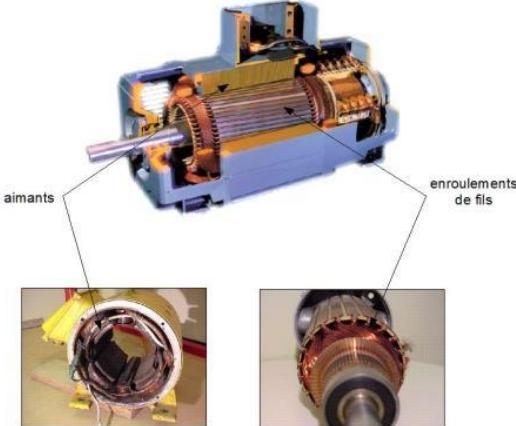
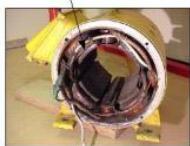
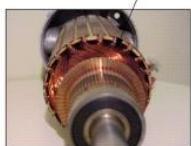
3.2.4 Traitement avec un Digital Signal Processor DSP

Pour traiter un flux d'information massif en temps réel comme un signal audio un microcontrôleur n'est pas adapté. Le volume d'information à traiter en peu de temps est trop important. Des puces DSP dédiées sont alors utilisées.

4 FONCTION CONVERTIR

Tous les systèmes physiques ont au moins besoin d'un actionneur pour agir sur la matière d'œuvre, cet actionneur ne crée pas d'énergie du néant, il convertit une source d'énergie primaire en énergie adaptée à l'action souhaitée. Dans le laboratoire les actionneurs seront souvent des moteurs électriques car cette énergie est directement disponible.

4.1 Les moteurs électriques

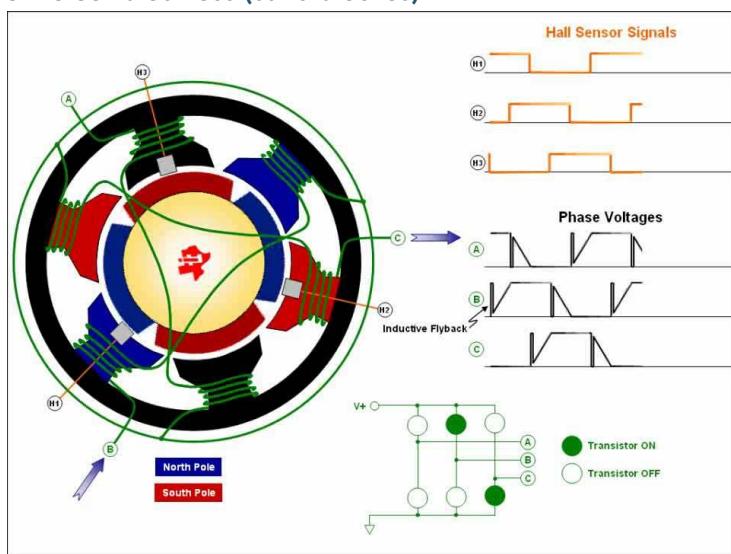
  	<p>Le moteur électrique est constitué d'aimants et de fils enroulés. Il se base sur la force de Laplace : tout conducteur parcouru par un courant et plongé dans un champ magnétique reçoit une force, la force de Laplace, proportionnelle à l'intensité du courant et du champ magnétique.</p> <p>Un système particulier permet de faire varier tourner le champ magnétique afin de générer une force de Laplace motrice pour le mouvement de rotation.</p> <p>Les moteurs électriques sont des machines réversibles, il est possible de les faire tourner avec un dispositif mécanique pour récupérer une énergie électrique. On parle de fonctionnement en génératrice.</p>
---	---

4.1.1 Le moteur à courant continu

Les aimants sont liés au stator (partie fixe) et les bobines qui génèrent le champ tournant sont liées au rotor. Un dispositif mécanique, les balais, permettent de faire tourner le champ électrique pour qu'il soit toujours moteur. Une source de tension continue est suffisante et ce moteur dispose donc de 2 fils pour l'apport en énergie. Des capteurs optionnels peuvent augmenter le nombre de connexions.

La modélisation de cet actionneur est détaillée dans un cours. On observe une proportionnalité du courant avec le couple délivré (constante de couple K_t) et une proportionnalité de la tension de force contre électro motrice à la vitesse de rotation (constante K_e). Lorsqu'elles sont exprimées dans un même système d'unité ces constantes sont proches ou égales.

4.1.2 Le moteur brushless (sans broches)



Ce moteur ne dispose pas de dispositif mécanique permettant de faire tourner le champ. Les aimants sont liés au rotor et 3 connexions permettent d'alimenter 3 paires de pôles (bobines) distinctes. En alimentant la bonne paire de pôle par rapport à la position du rotor (aimant) le moteur génère un couple positif (il fonctionne).

Afin de choisir la bonne paire de pôle il est nécessaire de connaître la position du rotor. Un capteur ou des techniques mesurant les courants d'induction dans les phases permettent de connaître cette position afin de piloter le moteur.

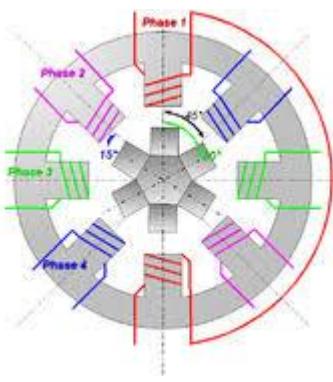
Voir variateur, section « moduler »

4.1.3 Le moteur asynchrone

Ce type de moteur utilise un champ magnétique dont la vitesse de rotation n'est pas synchronisée avec la vitesse de rotation. On parle de glissement. Cette machine est souvent privilégiée notamment pour les fortes puissances (ferroviaire).

Comme le moteur brushless une électronique de puissance sophistiquée est nécessaire pour un pilotage performant. Une connexion à un courant alternatif permettra cependant de la faire tourner sans pilotage.

4.1.4 Le moteur pas à pas

		<p>Ce moteur est proche dans son architecture du moteur brushless. Il y a plus de pôles. Les performances (puissance massique, puissance totale, efficacité énergétique) sont plus faibles mais le couple est important ce qui permet de ne pas utiliser de réducteur pour de nombreuses applications. Aussi chaque pas représente un petit incrément angulaire ce qui est intéressant pour des activités de précision (pilotage d'un télescope de hobbsite, imprimante 3D).</p>
---	---	--

4.1.5 Actionneurs linéaires

Il est possible de faire translater un aimant en le soumettant à un champ magnétique afin de créer un actionneur linéaire. Ces actionneurs sont rapides mais l'amplitude possible et la force générées sont en général limitée. *Exemple* : prototype d'actionneur de soupapes pour moteurs sans distribution, prototype de suspensions intelligentes.

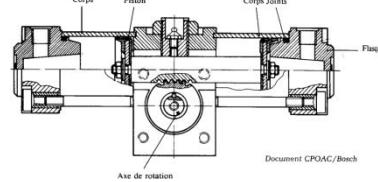
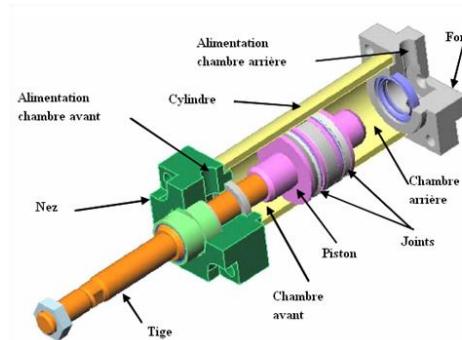
La plupart des vérins électriques utilisent en revanche un moteur électrique tournant associé à un ensemble vis-écrou

4.2 Convertisseurs d'énergie pneumatique ou hydraulique

Un vérin est un actionneur utilisant de l'énergie pneumatique ou hydraulique pour produire une énergie mécanique lors d'un déplacement linéaire ou rotatif limité à sa course. Le vérin permet de convertir de l'énergie pneumatique (ou hydraulique) en énergie mécanique.



Dans les deux cas le produit des deux valeurs donne une puissance, la puissance $P \cdot Q$ pneumatique étant convertie en puissance $F \cdot V$ mécanique. Il est à noter que le rendement de ces actionneurs est mauvais ($\eta = 0,5$ environ) : une grande partie de l'énergie est perdue sous forme d'énergie calorifique et lors de la mise à l'échappement de l'air comprimé. En prenant en compte le rendement du compresseur ($\eta = 0,4$), on obtient un rendement global très faible pour la chaîne d'action pneumatique ($\eta = 0,2$).



Vérin linéaire simple effet

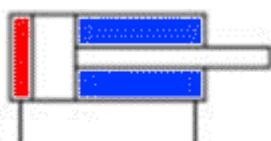
Vérin linéaire double effet

Vérin rotatif double effet

La force délivrée par un vérin est donnée par $F = PS$ avec F la force en newtons, S la section du vérin en m^2 et P la pression en Pascals.

Le débit volumique est donné par $Q = VS$ avec Q en $m^3 s^{-1}$ et V la vitesse de déplacement du vérin en $m.s^{-1}$.

La cylindrée est donnée par $C = S c$ avec S en m^2 et c , la course en m.



On note D le diamètre du vérin et d le diamètre de la tige.

Dans la chambre de gauche l'effort est donné par $F_g = p_g \frac{\pi D^2}{4}$.

Dans la chambre de droite l'effort est donné par $F_d = p_g \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4}$.

4.3 Moteurs thermiques

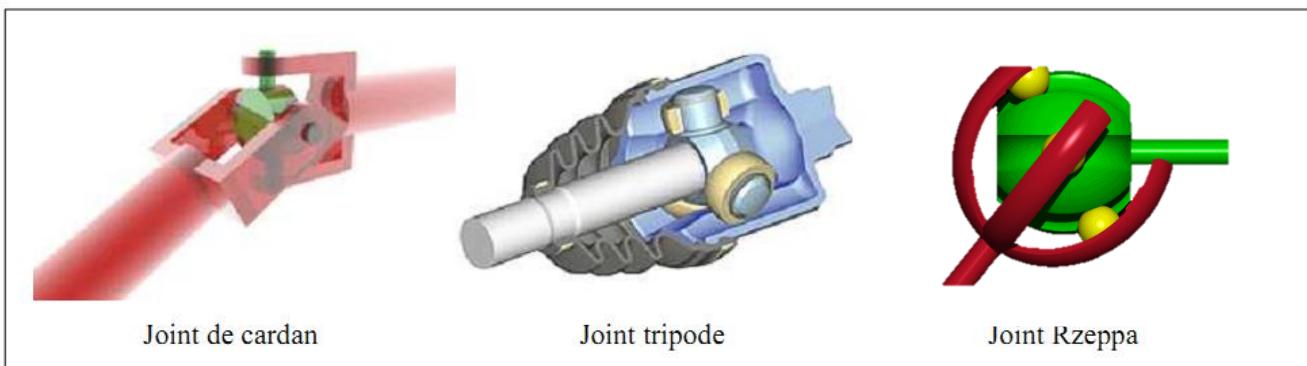


Les moteurs thermiques permettent de récupérer une énergie mécanique, en général en rotation, à partir d'une source d'énergie chimique. La combustion peut être externe comme dans une machine à vapeur. Dans un moteur traditionnel (auto bateau...) ou dans une turbine, un réacteur, la combustion est interne. Un dispositif mécanique (système bielle manivelle, ailettes) permet la récupération de l'énergie mécanique emmagasiné sous forme de pression lors de la combustion. Les combustions internes sont généralement préférées car elles diminuent les pertes par échange thermique. Pour aller plus loin : moteur 4 temps/ moteur 2 temps, cycle Diesel, cycle Beau de Rochas/Otto, moteur rotatif, distribution.

5 FONCTION TRANSMETTRE

5.1 Eléments de liaisons

Transmission d'une énergie en rotation.



5.2 Transmission par engrenages

5.2.1 Engrenage à contact extérieur

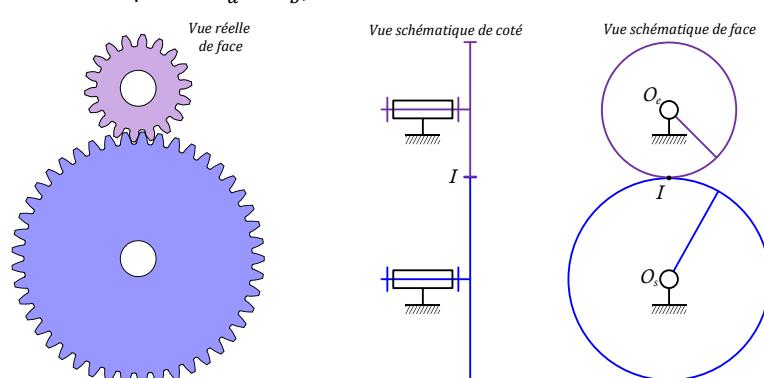
En considérant deux roues dentées a et b de nombre de dents respectifs Z_a et Z_b , on trouve :

La relations des vitesses :

$$\frac{\omega_a}{\omega_b} = -\frac{Z_b}{Z_a}$$

La relation sur les couples (frottements négligés) :

$$\frac{C_a}{C_b} = -\frac{Z_a}{Z_b}$$



5.2.2 Engrenage à contact intérieur

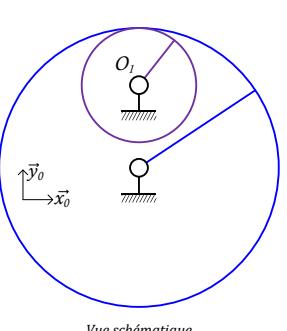
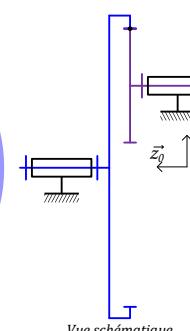
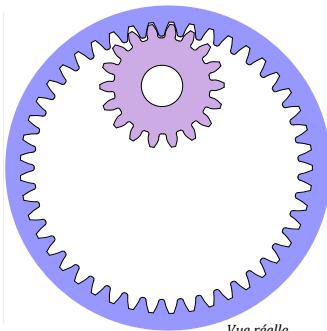
En considérant deux roues dentées a et b de nombre de dents respectifs Z_a et Z_b , on trouve :

La relations des vitesses :

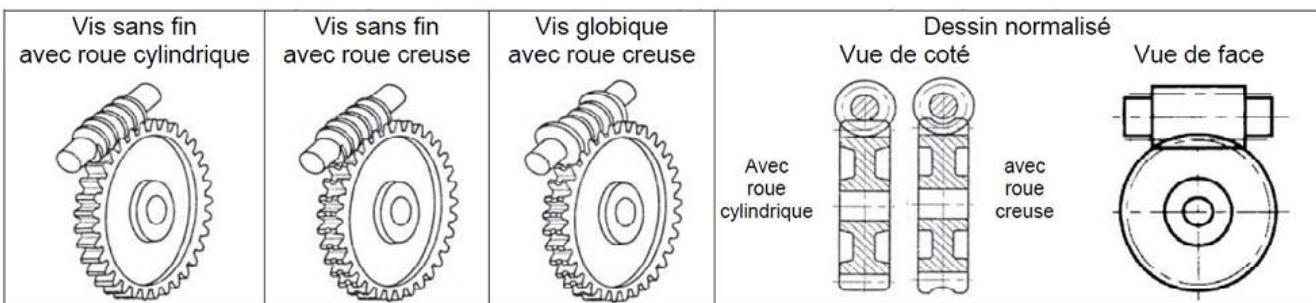
$$\frac{\omega_a}{\omega_b} = \frac{Z_b}{Z_a}$$

La relation sur les couples (frottements négligés) :

$$\frac{C_a}{C_b} = \frac{Z_a}{Z_b}$$



5.2.3 Roues et vis sans fin



5.2.4 Renvoi d'angle :



5.3 Transmission par courroies et chaînes

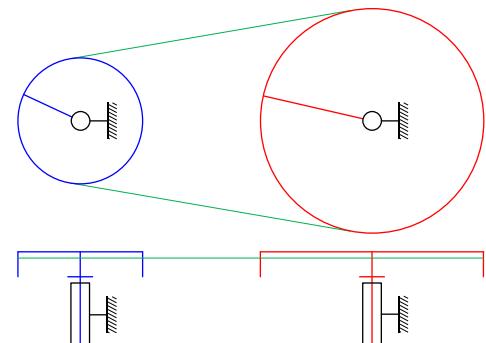
Le nombre de dents étant proportionnel au rayon, on trouve :

La relations des vitesses :

$$\frac{\omega_a}{\omega_b} = \frac{Z_b}{Z_a} = \frac{R_b}{R_a}$$

La relation sur les couples (frottements négligés) :

$$\frac{C_a}{C_b} = \frac{Z_a}{Z_b} = \frac{R_a}{R_b}$$



5.4 Boîtes de vitesse

	<p>La boîte de vitesse permet d'obtenir plusieurs rapports de réduction distincts ce qui est pratique lorsque les vitesses de sortie et de l'actionneur/convertisseur sont susceptibles de varier avec beaucoup d'amplitude.</p>
---	--

5.5 Convertisseurs multiples

Des techniques utilisant plusieurs conversions permettent d'obtenir des transmissions sophistiquées. Dans certains contextes il faudra faire attention à ne pas trop dégrader l'efficacité car chaque conversion d'énergie ajoute des pertes.



L'association d'une pompe réglable et d'un moteur hydraulique permettent d'obtenir une transmission continuement variable dans la transmission pour moto Honda HFT.

Dans les locomotives diesel et les navires utilisant des PODs de propulsion une génératrice électrique est associée au moteur thermique afin d'alimenter le moteur électrique de propulsion. On parle aussi « d'hybride série ». Pour les navires cela permet de supprimer la ligne d'arbre qui est nuisible pour le rendement hydrodynamique. Pour les locomotives cela permet d'obtenir le fonctionnement souple important pour le transport de passagers et la transmission sur rail.

6 FONCTION MODULER/COMMUTER

6.1 Introduction

Dans la chaîne fonctionnelle, le modulateur d'énergie (ou distributeur d'énergie ou pré actionneurs) est le composant qui fait le lien entre la chaîne d'information et la chaîne d'énergie. Ainsi, à partir d'une faible puissance énergétique provenant de la fonction « Traiter » (l'API ou la carte de commande), il peut faire transiter une grande puissance (provenant de la fonction « Alimenter » ou « Stocker »).

Définition : Tout ou rien – Variateur

Les distributeurs « tout ou rien » permettent d'envoyer toute l'énergie de l'alimentation vers le convertisseur.

Les distributeurs de type « variateur » permettent de moduler l'énergie envoyée au convertisseur.

Exemples :

Un interrupteur de lumière peut être considéré comme un distributeur tout ou rien.

Le variateur d'une lampe halogène peut être considéré comme un ... variateur.

Définition : Monostable – Bistable

Un pré-actionneur est dit monostable s'il a besoin d'un ordre pour le faire passer de sa position de repos à sa position de travail et que le retour à sa position de repos s'effectue automatiquement lorsque l'ordre disparaît : **il n'est stable que dans une seule position.**

Un pré-actionneur est dit bistable s'il a besoin d'un ordre pour passer de sa position repos à sa position travail et qu'il reste en position travail à la disparition de cet ordre. Il ne peut revenir à sa position repos que s'il reçoit un second ordre : **il est stable dans les deux positions.**

Exemple :

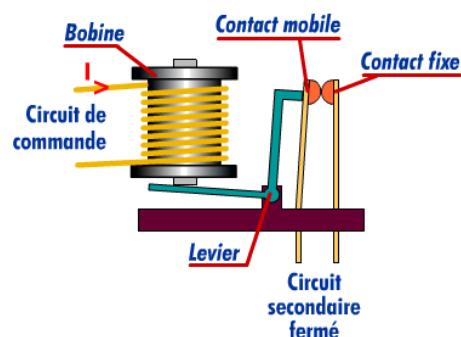
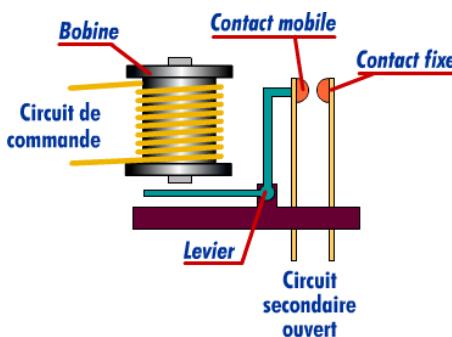
Un interrupteur de lumière peut être considéré comme un distributeur bistable. Il faut appuyer dessus pour allumer une lumière et appuyer une seconde fois pour l'éteindre.

6.2 Les modulateurs électriques

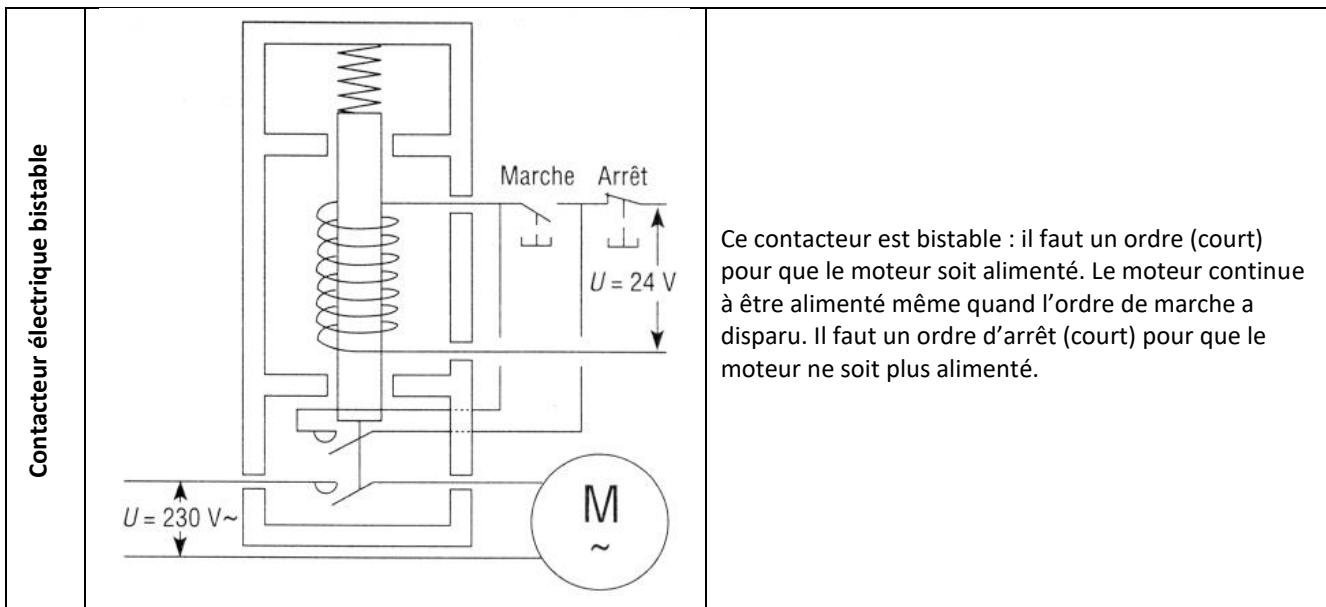
6.2.1 Le relai (ou contacteur de puissance)

Le relai est un dispositif électrique permettant de commander un circuit de commande ou un circuit de puissance.

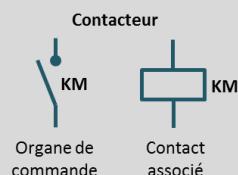
Le circuit secondaire alimente la partie que l'on veut commander. Lorsque la bobine est alimentée le levier pivote provoquant la fermeture du contact. Certains relais peuvent aussi être actionnés manuellement.



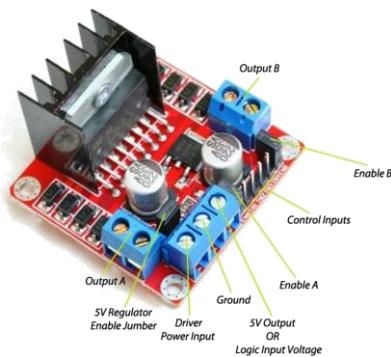
Contacteur électrique monostable		<p>Quand la bobine reçoit un ordre de marche (appui sur le bouton poussoir) la bobine est alimentée par un courant, créant ainsi un champ magnétique. Le champ magnétique créé dans la bobine provoque le déplacement du noyau de fer doux vers le haut. Le contact de puissance est alors fermé.</p> <p>Le moteur est alimenté puis mis en rotation.</p> <p>Quand l'ordre de marche est interrompu (bouton relâché), le circuit de commande est ouvert. La bobine n'est plus alimentée et le ressort de rappel fait redescendre le noyau de fer doux.</p> <p>Le circuit de puissance s'ouvre et le moteur n'est plus alimenté.</p> <p>Ce contacteur est monostable car il alimente en énergie électrique le moteur tant que l'ordre est maintenu.</p>
---	--	--



Symbolisation des contacts



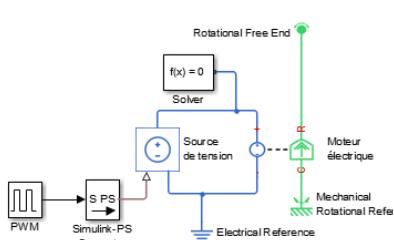
6.2.2 Le hacheur (convertisseur statique)



Lorsqu'on souhaite contrôler la fréquence de rotation d'un moteur à courant continu ou moduler la puissance électrique s'appliquant sur une charge, il est nécessaire de moduler sa tension d'alimentation. On pourrait pour cela utiliser un pont diviseur, mais cette technologie serait très énergivore à cause des pertes joules qui apparaîtraient dans les résistances. Historiquement des transistors linéaires étaient utilisés mais ils sont coûteux et peu fiables. On utilise désormais un hacheur.

Un hacheur est composé de transistors « tout ou rien » utilisant la technologie « MOSFET ». Cette technologie permet de commuter (laisser passer ou non) des courants importants avec une bonne fiabilité, un bon rendement et une rapidité de commutation bien supérieure au relai. Une bonne coordination de l'ouverture et de la fermeture de ces interrupteurs permet de générer une tension ayant une forme de crêteau où les temps à l'état bas et à l'état haut sont réglables.

Le hacheur est caractérisé par sa période de hachage (980 Hz pour une carte Arduino Leonardo), ainsi que par le rapport cyclique (variable), défini par le pourcentage de la période passé à l'état haut. Il envoie ainsi un signal appelé MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) ou PWM (Pulse Width Modulation).



Modèle simplifié du pilotage d'un moteur électrique à courant continu

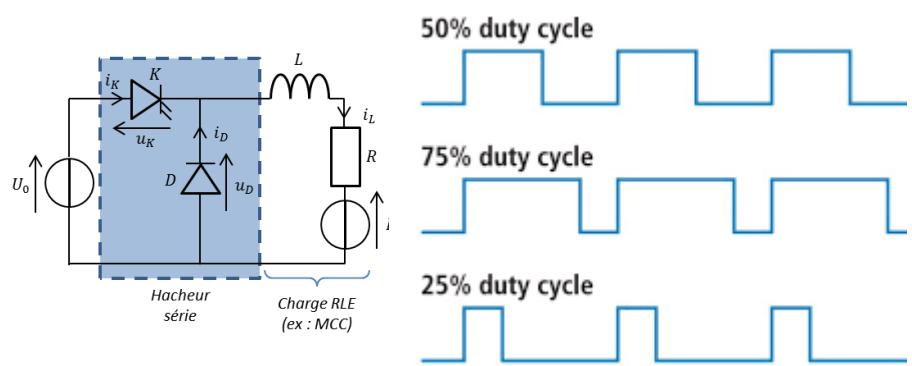


Schéma proche du câblage réel.
L'interrupteur K est commandé par le signal MLI

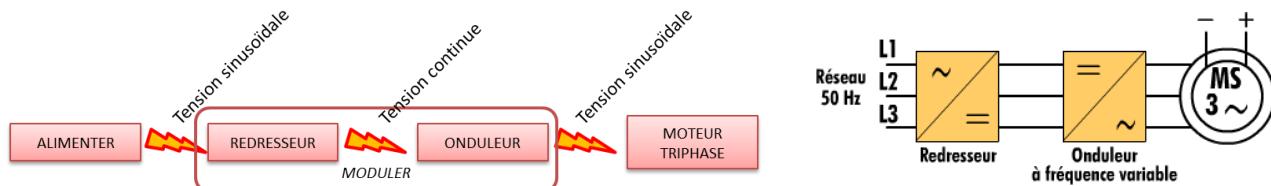
Signal MLI avec 3 rapport cycliques distincts

Dans le cas précédent, si le moteur est alimenté par un créneau valant 24 V 25% du temps. Il est donc alimenté en 6 V en moyenne.

6.2.3 L'onduleur (variateur)

Les moteurs triphasés sont physiquement alimentés par 3 fils. La tension est sinusoïdale et décalée dans chacun d'entre eux d'un tiers de période. Afin de générer un signal sinusoïdal de fréquence et d'amplitude voulue on a recours à un onduleur.

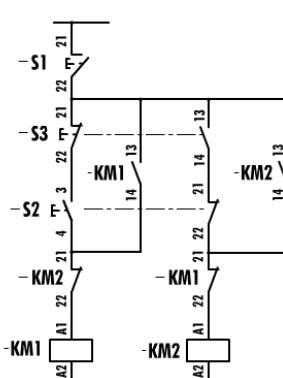
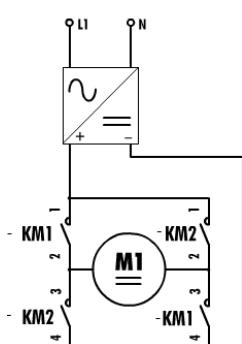
Pour cela, en règle générale, on redresse la tension issue de l'alimentation du secteur puis on régénère un signal avec l'onduleur.



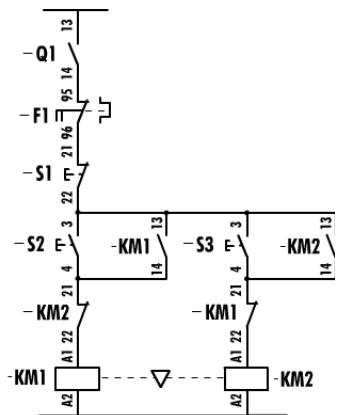
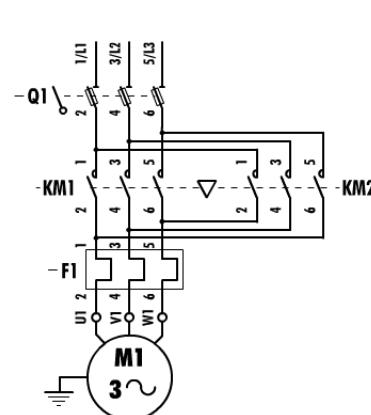
Le variateur est une forme d'onduleur qui permet de piloter avec précision la vitesse ou la position d'un moteur triphasé. Pour cela il utilise en général un capteur afin de connaître la position du rotor et alimenter la bonne phase. Certaines technologies peuvent déterminer la position du rotor sans capteur en mesurant les effets d'induction dans les phases (montée et descente de courant lorsque l'on commute la phase) *technologie sensorless*.

6.2.4 Notion de schéma électrique

Inversion de sens d'un moteur CC.



Inversion de sens d'un moteur triphasé asynchrone



6.3 Les modulateurs pneumatiques et hydrauliques

Définition : Énergie hydraulique et pneumatique

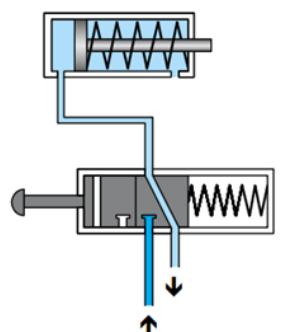
Énergie pneumatique : le fluide utilisé est de l'air comprimé.

Énergie hydraulique : le fluide utilisé est une huile hydraulique minérale ou difficilement inflammable (aqueuse ou non).

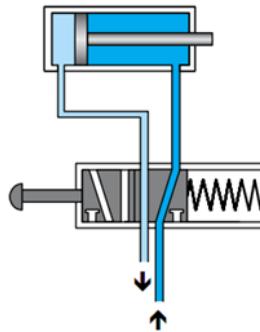
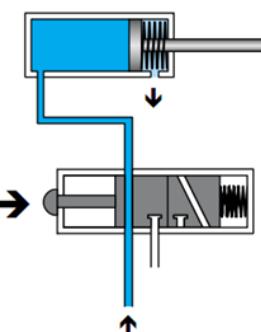
6.4 Les distributeurs

Les distributeurs sont les préactionneurs des vérins pneumatiques et hydrauliques.

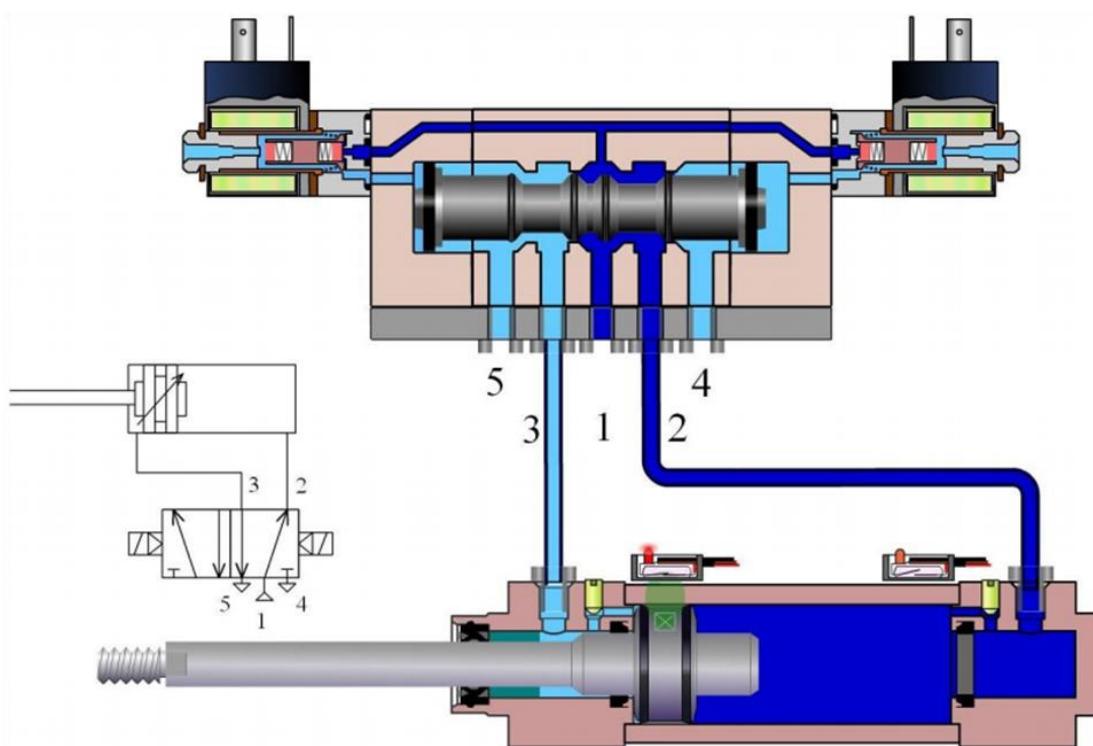
Ils servent d'« aiguillages » en dirigeant le fluide dans certaines directions. Les plus utilisés sont les distributeurs à tiroir.



Vérin simple effet et distributeur 3/2 monostable NF à commande manuelle par bouton



Vérin double effet et distributeur 5/2 monostable à commande manuelle par bouton



Vérin double effet à amortissement réglable et distributeur 5/2 bistable à commande électropneumatique

6.5 Désignation des distributeurs

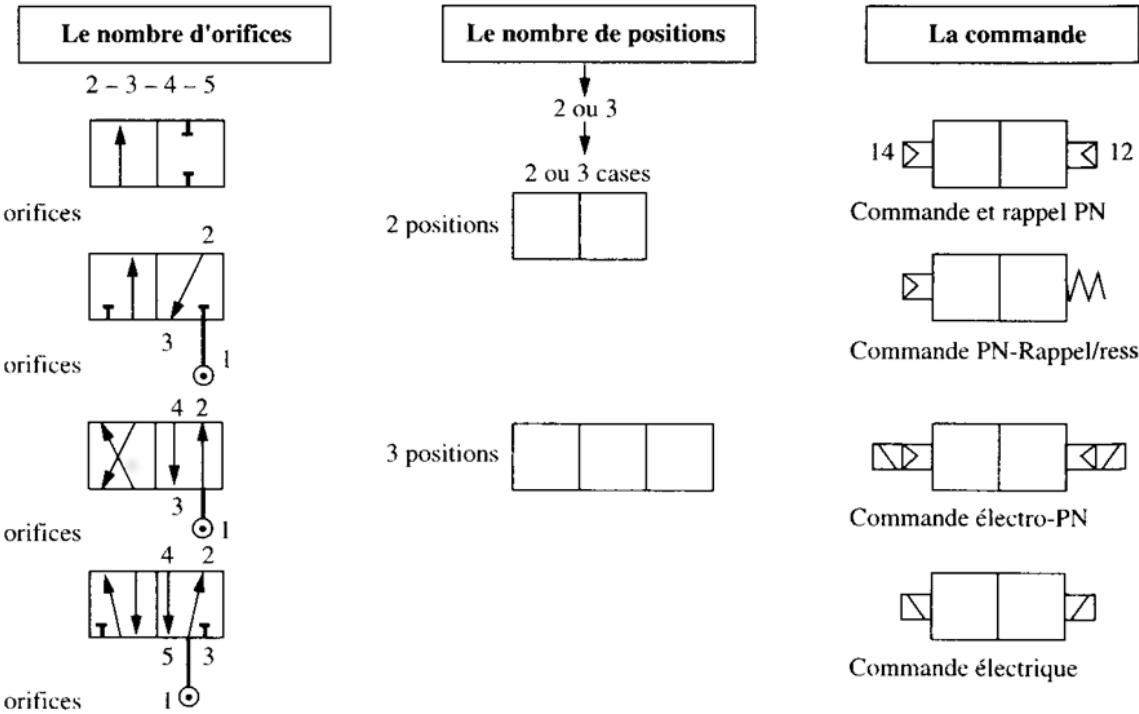
Lors de l'élaboration des schémas, il n'est pas possible de représenter le distributeur, ainsi que les autres composants, sous leurs formes commerciales. De ce fait, l'utilisation de symboles normalisés simplifie la lecture et la compréhension des systèmes. Cette représentation utilise la symbolisation par cases.

Un distributeur se représente sur les côtés droit et/ou gauche (comme dans la réalité) par des pilotages. Ils permettent au tiroir de se déplacer afin de mettre en communication les différents orifices.

Désignation

La désignation d'un distributeur permet de mettre en évidence le nombre d'orifices du distributeur, le nombre de positions, le type de commande et son état (monostable ou bistable).

TYPE		SCHÉMA	UTILISATION
2/2	Monostable		Pré-actionneur pour : – commander un actionneur à jet d'air (soufflette, pulvérisateur) ; – commander un moteur à un sens de marche ; – bloquer une circulation d'air en absence de signal de commande.
3/2	Monostable NF		Pré-actionneur pour : – piloter un vérin simple effet ; – alimenter un venturi associé généralement à une ventouse.
	Bistable		
4/2	Monostable		Pré-actionneur pour : – piloter un vérin double effet ; – piloter tout actionneur à deux sens de marche.
	Bistable		
5/2	Monostable		Pré-actionneur pour : – piloter un vérin double effet ; – piloter tout actionneur à deux sens de marche.
	Bistable		
5/2	Monostable Centre ouvert		Ce type de distributeur permet la mise à l'atmosphère des deux chambres du vérin en l'absence de commande : – les masses en mouvement du vérin s'arrêtent dès que toutes les inerties sont vaincues ; – les masses mobiles du vérin sont déplaçables à la main.
	Monostable Centre fermé		Ce type de distributeur permet le blocage des deux chambres du vérin en l'absence de commande : – les masses en mouvement du vérin s'arrêtent immédiatement ; – les masses mobiles du vérin restent bloquées.



7 FONCTION STOCKER

7.1 Piles et batteries

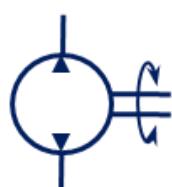


7.2 Energies pneumatiques et hydrauliques

Les énergies pneumatiques et hydrauliques sont obtenues grâce à des compresseurs (ou des pompes) actionnés par un moteur électrique ou thermique. Dans les systèmes pneumatiques, la circulation d'air se fait généralement en circuit ouvert. Dans le cas des systèmes hydrauliques, le fluide est en circuit fermé. Cela impose des conditions sur les constituants des réseaux. Ces motopompes peuvent constituer un nouveau bloc « alimentation » en amont de la chaîne d'énergie.



Symbol d'un moteur



Symbol d'une pompe à deux sens de rotation et deux sens de flux



Symbol d'un groupe moteur + pompe

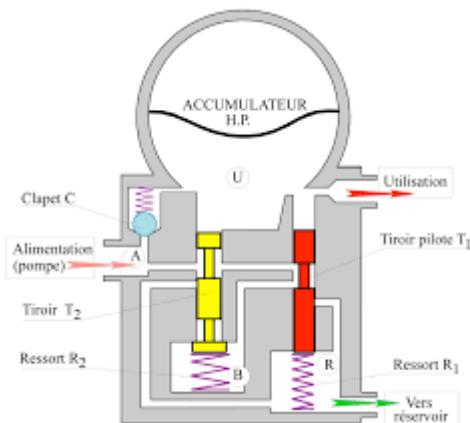
L'air est en général stocké dans une citerne sous pression qui fait office de tampon entre les systèmes et la pompe. L'huile est en général stockée à pression atmosphérique dans des réservoirs (parfois appelé « bâche »). Le tampon entre la pompe et le système est un « accumulateur hydraulique » : c'est un réservoir qui contient un gaz sous pression d'un côté, l'huile que l'on souhaite conserver sous pression de l'autre et une membrane souple entre les deux.



Réservoir de 50 à 25000 L



Compresseur 100 L – 10 bars



Accumulateur hydraulique



Symbole réservoir



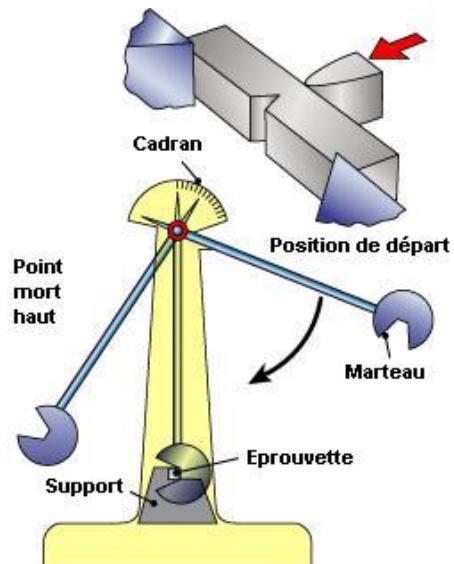
Symbole
accumulateur

7.3 Stockage par gravité

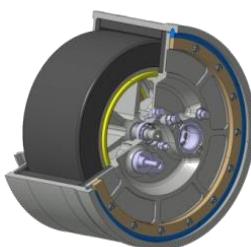


En plaçant une masse en hauteur on peut récupérer son énergie potentielle de pesanteur.

- Un barrage hydroélectrique ou une conduite d'eau forcée permet de faire tourner des turbines pour produire de l'électricité.
- Un ascenseur dispose d'un contrepoids qui descend pour faciliter l'ascension de la cabine.
- Le mouton Charpy (figure de droite) accélère lors de la descente (conversion de l'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique).



7.4 Stockage inertiel



Il est possible de stocker de l'énergie sous forme d'énergie cinétique en accélérant la vitesse de rotation d'un disque. Le freinage du disque permet de la récupérer. Exemple : Equipe certaines voitures de course hybride pour récupérer l'énergie du freinage plus efficacement qu'une batterie. Voiturettes à friction.

De manière plus instantanée les volants d'inertie sur les moteurs thermique permettent d'assouplir le fonctionnement en lissant la vitesse de rotation. Effectivement dans un moteur 4 temps l'énergie est produite lors de la détente tandis que les 3 autres phases sont réceptrices (aspiration compression échappement).

7.5 Ressorts



Les ressorts permettent de stocker de petites quantités d'énergie mécanique, par exemple dans une montre mécanique. Il permettent aussi d'obtenir une fourniture rapide d'énergie lors de leur détente par exemple dans un système d'allumage d'arme à feu.

7.6 Energie thermique



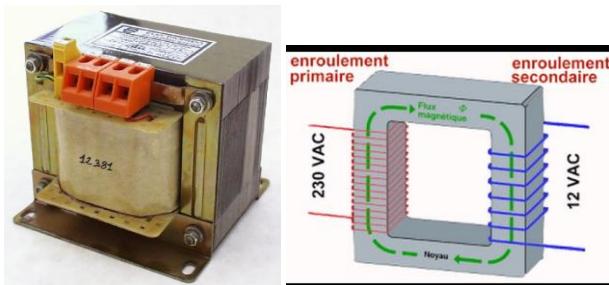
Pour simplifier la distribution, l'énergie thermique est en général stockée dans des fluides, comme de l'eau dans les systèmes de chauffage de maison. De l'huile est aussi fréquemment utilisée pour véhiculer les calories dans un système (moteur thermique par exemple). Elle présente l'avantage de ne pas être corrosive et de lubrifier automatique les pompes, moteurs et vérins.

8 FONCTION ALIMENTER

L'alimentation est un composant ou un ensemble de composants nécessaires lorsque la source d'énergie brute n'est pas conditionnée correctement pour le convertisseur du système.

8.1 Alimentation électrique

8.1.1 Transformateur



Un transformateur permet de modifier les niveaux de tension entre 2 circuits électriques. En général l'électricité alternative est stockée à des niveaux de tension élevé pour diminuer les pertes par effet Joule dans les conducteurs. Par exemple 400000V pour les longues distances jusqu'à 220V pour les circuits des particuliers. Souvent les machines fonctionnent sur des tensions plus faibles, 24 ou 48V nécessitant de nouveau une conversion par un transformateur supplémentaire. Les transformateurs sont constitués de 2 bobinages différents et d'un cœur ferromagnétique.

8.1.2 Alimentation électrique à découpage



L'alimentation à découpage est une technique efficace, économique et légère d'adapter une source d'énergie électrique à un niveau de tension souhaité. Le signal source est haché par des transistors type MOSFET pour obtenir le niveau de tension souhaité en sortie. Une régulation permet d'adapter le niveau de découpage à la charge en sortie. Des capacités permettent de lisser les signaux électriques. En général la tension de sortie est plus faible que la tension d'entrée « buck » mais il existe aussi des modèles qui remontent la tension « boost ».

8.1.3 Régulateur de tension



Le régulateur de tension est un composant électronique économique permettant d'abaisser une source de tension à une tension régulée plus faible. En général les puissances sont faibles (alimentation d'un microcontrôleur en 3,3V régulé sur une source USB 5V ou une batterie LiPo 7,4V par exemple).

8.2 Alimentation pneumatique et hydraulique

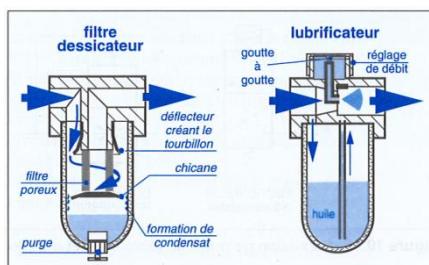
8.2.1 Régulateur de pression



Le régulateur de pression permet d'obtenir une pression régulée à une valeur souhaitée dans un circuit pneumatique à partir d'une source de pression disposant d'un niveau de pression supérieur. En général l'énergie pneumatique provient de pompes et de réservoir de pression dont la pression peut varier.

8.2.2 Systèmes de conditionnement

Il est nécessaire de conditionner le fluide avant de la faire circuler dans le circuit. Dans le cas de l'énergie pneumatique, il est indispensable de s'assurer de la pureté de l'air ainsi que d'un faible taux d'humidité. Pour cela on utilise d'une part des filtres permettant de filtrer l'air entrant dans le réseau en amont et en aval du compresseur. Il est aussi nécessaire d'utiliser d'un refroidisseur-assécheur permettant de réduire le taux d'humidité. Dans le cas d'un système hydraulique, le fluide est filtré afin d'éliminer les impuretés.



Systèmes de filtration

Symbol de filtre

Symbol d'un lubrificateur

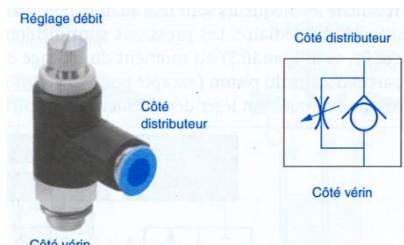
Symbol d'un déshydratateur



8.2.3 Systèmes de sécurité

Afin de maîtriser la pression dans les conduites, on peut avoir recours à des manomètres afin d'avoir une information sur la pression. Les régulateurs de pression permettent quant à eux d'évacuer l'air du système lorsque la pression est trop grande. Les limiteurs de débit permettent de maîtriser le débit de fluide.

Les systèmes de clapet anti-retour permettent d'imposer le sens de circulation d'un fluide.



Régulateur de débit

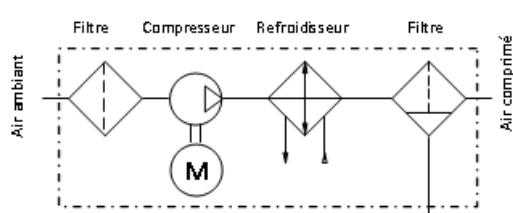
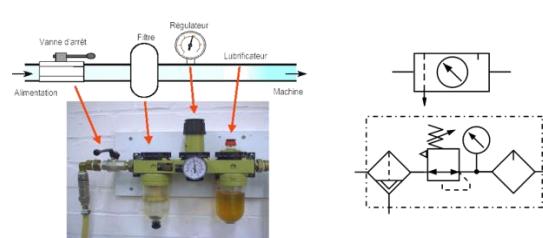


Schéma de compresseur intégré



Unité filtre-mano-régulateur-lubrificateur

9 SCHEMA – COMPOSANTS PNEUMATIQUES ET HYDRAULIQUES

SYMBOLS HYDRAULIQUES ET PNEUMATIQUES

Actionneurs		Transmission d'énergie et accessoires			
	Pompe cyl. fixe a) 1 sens b) 2 sens		Vérin double effet		Source de pression
	Moteur hydraulique		Vérin simple effet		Moteur thermique
	Compresseur		Vérin avec freinage fin de course		Ligne principale
	Vérin télescopique		Multiplicateur de pression		Pilotage
Distributeurs					Filtre
	3/2				Réchauffeur
	4/2				Manomètre
Dispositifs de commande des distributeurs				Réservoir	
	Général		Electro-pneumatique		Par ressort
	Direct par pression		Manuelle		Par galet
	Indirecte par distrib pilote		Par pédale		Par levier
	Électrique		Par poussoir		Manuelle par poussoir
Contrôle pression, débit, direction		Etrangleur Bidir. variable			
	Limiteur de pression		Etrangleur variable avec Clapet anti-retour		
	Régulateur de débit		Clapet anti-retour taré		
	Clapet anti-retour				

10 RESSOURCES

- [1] <http://www.festo.com>.
- [2] Caterpillar – Pelles hydrauliques 374 D <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C633539>.
- [3] <http://www.defense.gouv.fr/>.
- [4] <http://joho.p.free.fr/>.
- [5] <http://www.espaceoutillage.com/>.
- [6] <http://www.directindustry.fr/>.
- [7] Patrick Beynet, Fonctions du produit – Technologie pneumatique – hydraulique pour les systèmes automatisés de production. Lycée Rouvière Toulon.
- [8] J. Perrin, F. Binet, J.-J. Dumery, C. Merlaud, J.-P. Trichard, Automatique et Informatique Industrielle – Bases théoriques, méthodologiques et techniques, Éditions Nathan Technique, 2004.
- [9] Guide des Automatismes Industriels.
- [10] Cours « Préactionneurs ». La Martinière Monplaisir.

Documentation additionnelle : Stéphane Genouel stephane.genouel.free.fr et s2i.chateaubriand.free.fr