

# Cycle 1 – Analyser un système ; vérifier ses performances globales

## Compléments sur la décomposition structurelle d'un système Éléments de technologie

Une description structurelle permet, comme son nom l'indique, de décrire la structure d'un système, c'est-à-dire de décomposer le système en composants et sous-composants. L'architecture classique des systèmes fait appel à différents types de composants qu'il vous est demandé de savoir identifier et décrire lors de l'analyse de systèmes réels.

### 1. Structure d'un système automatisé

Un système automatisé peut dans la plupart des cas être décomposé en deux parties : la *partie commande* et la *partie opérative* (cf. figure 1.).

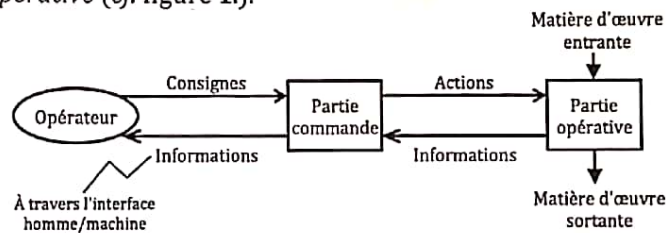


Figure 1. : Partie commande et partie opérative d'un système automatisé

La partie commande traite et échange les informations (avec l'extérieur, avec l'opérateur et avec la partie opérative) pour commander la partie opérative. Elle représente le "cerveau" du système. Les énergies manipulées sont souvent faibles (5V en électrique, 15 bars en hydraulique, etc.).

Les principales technologies rencontrées dans les parties commandes sont :

Technologies câblées :

- électrique,
- pneumatique,
- électro-pneumatique.

Technologies programmées :

- électronique,
- logiciel.

Plusieurs types de technologies peuvent être utilisés dans la partie commande d'un même système.

La partie opérative exécute les ordres de la partie commande et agit sur la matière d'œuvre pour lui apporter la valeur ajoutée. Elle représente la "main" du système. Les énergies manipulées sont souvent élevées (220V ou 380V en électrique, 250 bars en hydraulique, etc.). Les principales techniques rencontrées dans les parties opératives sont :

- électrique,
- hydraulique,
- pneumatique,
- thermique,
- mécanique.

#### 1.1 Choix d'une décomposition structurelle

Nous avons vu lors de l'introduction à la commande des systèmes que dans la plupart des systèmes automatisés, il était possible de classer les composants d'un système en deux sous-ensembles (cf. figure 2.) :

- Le premier est un ensemble de composants agissant sur les flux de données, que l'on nomme **chaîne d'information**.

- Le second est un ensemble de composants agissant sur les flux de matière et d'énergie, que l'on nomme chaîne d'énergie.

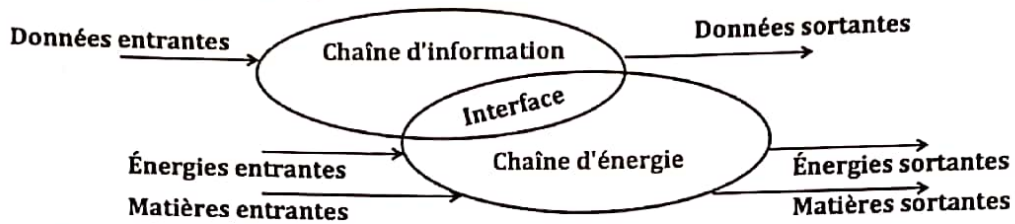
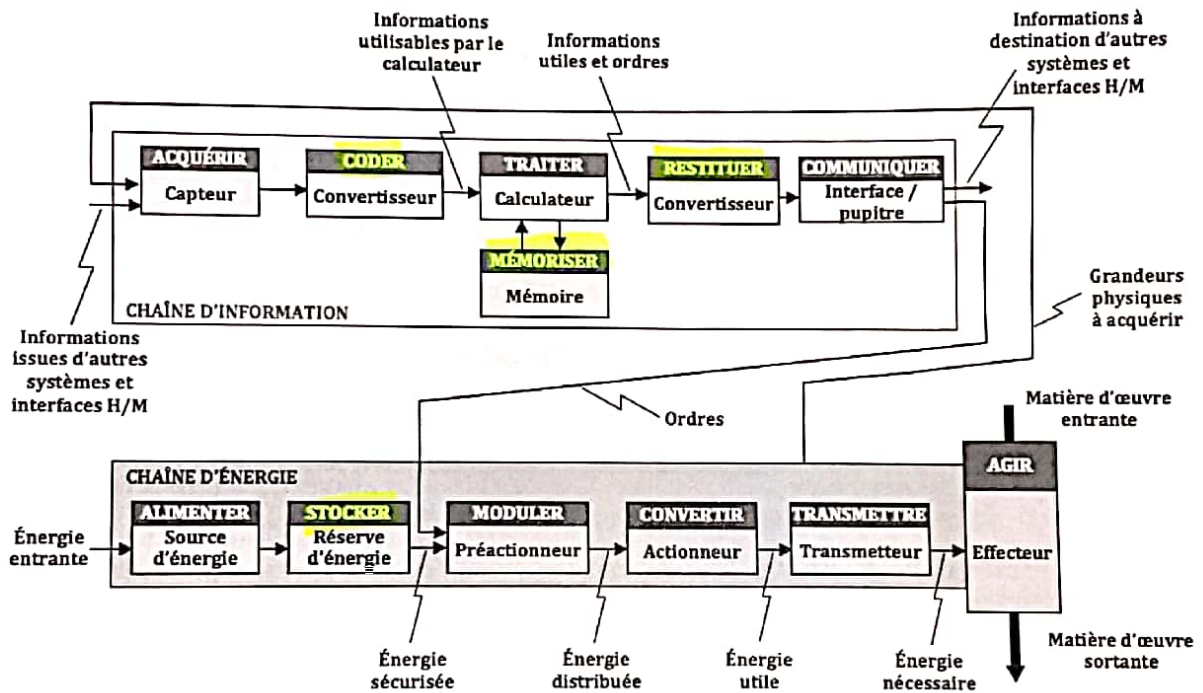


Figure 2. : Décomposition en chaîne d'information et chaîne d'énergie d'un système

Ces deux chaînes peuvent elles-mêmes ensuite être décomposées en différentes fonctions. Chaque fonction est réalisée grâce à un ou plusieurs composants. Un exemple générique de décomposition est donné ci-dessous (cf. figure 3.).



Note : interface H/M = interface Homme/Machine

Figure 3. : Décomposition générique des chaînes d'énergie et d'information

## 1.2 La chaîne d'information

Il s'agit de la partie du système automatisé qui capte l'information et qui la traite. La chaîne d'information générique donnée ci-dessous (cf. figure 4.) est décomposée en six fonctions. Cette décomposition n'est pas exhaustive et dépend du système étudié.

Les fonctions que l'on peut retrouver dans la chaîne d'information sont décrites dans le tableau ci-dessous, ainsi que quelques exemples de composants utilisés pour leur réalisation technique.

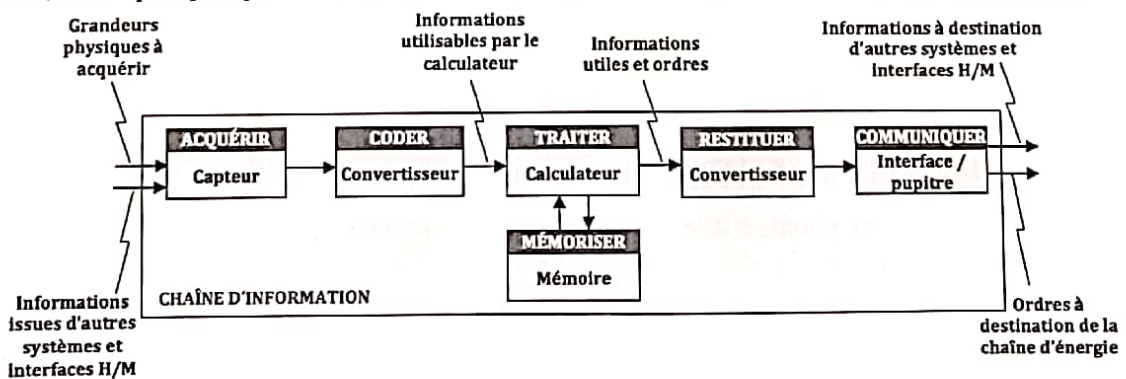






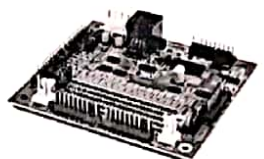


Figure 4. : Structure générique d'une chaîne d'information



	Fonction	Réalisation technique
Acquérir	Prélever des informations sur l'état du système (grandeurs physiques issues de la chaîne d'énergie) et recevoir les informations fournies par les systèmes environnants et les interfaces homme/machine.	<p><b>Capteurs :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• de position (potentiomètres, codeurs,...)</li> <li>• de vitesse (génératrice tachymétrique)</li> <li>• de déformation (jauge de déformation)</li> <li>• de force (dynamomètre, cellule piézoélectrique)</li> <li>• d'accélération, etc.</li> </ul>
	   <p>Capteur de force      Potentiomètre rotatif      Thermistance</p>	
Traiter	Comparer les consignes et les signaux fournis par les capteurs afin de générer une commande à destination de la chaîne d'énergie. Deux types de technologie peuvent être utilisés : câblée ou programmée.	<p><b>Unité de commande :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automates programmables industriels (API)</li> <li>• Ordinateurs</li> <li>• Microcontrôleurs, microprocesseurs</li> <li>• ...</li> </ul>
	  <p>Automate programmable      Microcontrôleur</p>	
Communiquer	Assurer l'interface entre la partie commande et son environnement, générer les ordres à destination de la chaîne d'énergie et les informations à destination de l'interface H/M et des autres systèmes.	<p><b>Interface de communication :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Commandes TOR</li> <li>• Réseau Ethernet</li> <li>• ...</li> </ul>
	  <p>Réseau Ethernet      Carte E/S</p>	

Ces trois premières fonctions sont toujours présentes dans la structure d'un système asservi. D'autres fonctions peuvent apparaître dans la chaîne d'information, en fonction du système étudié.

Avec le développement de l'électronique et de l'informatique, de plus en plus de systèmes fonctionnent avec des signaux dits "numériques", par opposition aux signaux "analogiques".

Un signal analogique est décrit par une fonction continue du temps, et la grandeur représentée peut prendre n'importe quelle valeur dans un intervalle de réels. Un signal numérique est décrit par une fonction discrète (non continue) du temps, et la grandeur représentée ne peut prendre qu'un certain nombre fini de valeurs. La figure 5. montre un signal analogique variant entre 0 et 5 Volts et le signal numérique qui lui est associé, codé sur 2 bits (soit  $2^2 = 4$  valeurs possibles).

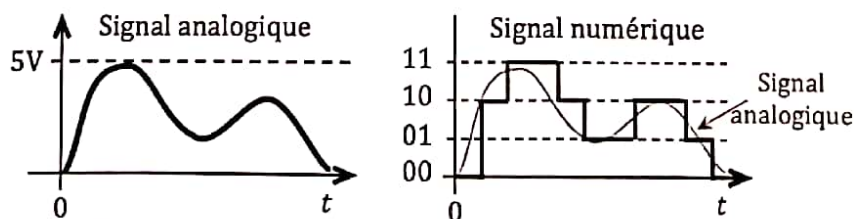


Figure 5. : Exemple de signaux analogique ou numérique véhiculant l'information

En fonction du type de signal délivré par le(s) capteur(s) et du type de signal attendu par l'unité de commande, il peut être nécessaire de traduire un signal analogique en signal numérique (ou inversement). Dans ce cas là, la fonction "**coder**" devra apparaître entre les fonctions "**acquérir**" et "**traiter**".

De même, il peut être nécessaire d'ajouter un composant permettant d'effectuer l'opération inverse pour rendre le signal fournit par l'unité de commande compatible avec l'interface de communication. Cette opération est effectuée par la fonction "**restituer**".

Enfin, il peut aussi être nécessaire de garder en mémoire un certain nombre d'informations, utiles au fonctionnement du système, d'où la fonction "**mémoriser**", qui peut apparaître en parallèle de la fonction "**traiter**".

Il est donc toujours nécessaire d'adapter la forme de la chaîne d'information au système étudié (fonctions inexistantes ou au contraire, apparaissant plusieurs fois dans un système).

<b>Coder</b>	Traduire des informations issues d'un capteur en un signal utilisable par l'unité de commande.	<i>Convertisseur :</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Convertisseur Analogique Numérique (CAN)</li> <li>• Convertisseur Numérique Analogique (CNA)</li> </ul> (selon le type de signal disponible en entrée du convertisseur et le type de signal nécessaire en sortie).
<b>Restituer</b>	Traduire des informations issues de l'unité de commande en un signal utilisable par les interfaces de commande.	
<b>Mémoriser</b>	Enregistrer des informations sur l'état du système.	<i>Mémoires :</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Câblées (pneumatique / électriques), uniquement compatibles avec des processeurs câblés dans la même technologie/</li> <li>• Programmées (électroniques)</li> </ul>

### 1.3 La chaîne d'énergie

Il s'agit de la partie du système automatisé qui regroupe l'ensemble des procédés nécessaires à la réalisation d'une action. Elle se décompose de façon générique en six fonctions, décrites ci-dessous. Le dernier bloc de la chaîne d'énergie a pour fonction d'agir sur la matière d'œuvre (grâce à un composant nommé effecteur) pour réaliser la fonction de service attendue. Le flux de matière d'œuvre est représenté verticalement.

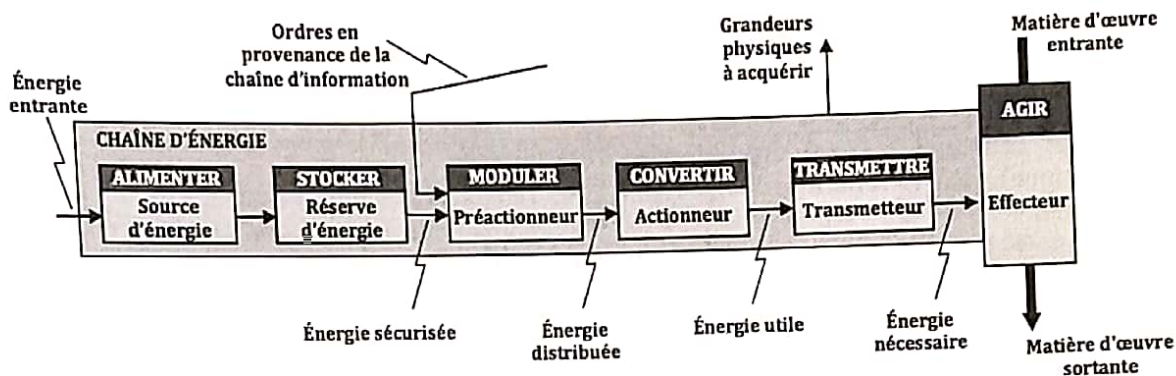

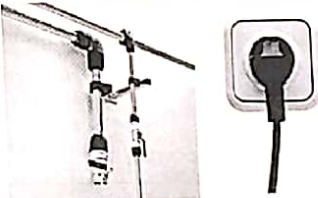



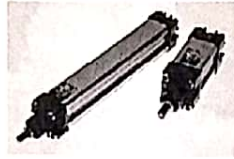
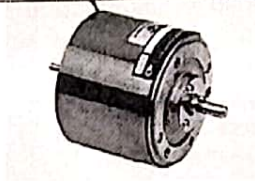






Figure 6. : Structure générique d'une chaîne d'énergie

	Fonction	Réalisation technique
Alimenter / Stocker	Mettre en forme l'énergie externe pour la transformer en énergie compatible à la réalisation d'une action (exemples : énergie hydraulique, électrique ou pneumatique).	<p><i>Unité d'alimentation :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• prise réseau électrique,</li> <li>• raccord réseau hydraulique ou pneumatique, ...</li> </ul> <p><i>Élément de stockage d'énergie :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Batterie, pile, accumulateur, ...</li> </ul>
	 Batterie  Raccords réseaux	
Moduler	Recevoir les ordres de la chaîne d'information et libérer l'énergie nécessaire aux actionneurs pour déclencher la réalisation de l'action.	<p><i>Préactionneur :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• relais et relais statiques</li> <li>• contacteurs</li> <li>• variateurs</li> <li>• distributeurs, ...</li> </ul>
	 Distributeur pneumatique  Relais  Variateur	



<b>Convertir</b>	<p>Convertir l'énergie disponible (électrique, pneumatique, hydraulique ou) en un autre type d'énergie utile (souvent de l'énergie mécanique).</p>	<p><i>Actionneur :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• moteurs électriques (à courant continu, synchrones ou asynchrones,)</li> <li>• moteurs thermiques, hydrauliques, ...</li> <li>• vérins</li> </ul>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Vérin</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Moteur électrique</p> </div> </div>	
<b>Transmettre</b>	<p>Adapter l'énergie (souvent une énergie mécanique) pour la rendre utilisable par l'effecteur.</p>	<p><i>Transmetteur :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• réducteurs ou multiplicateurs</li> <li>• poulies-courroies, engrenages</li> <li>• embrayage, frein, limiteur de couple</li> <li>• dispositif vis-écrou ou bielle-manivelle...</li> </ul>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Réducteur</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Poulies - courroie</p> </div> </div>	
<b>Agir</b>	<p>Agir sur la matière d'œuvre pour réaliser la fonction de service attendue.</p>	<p><i>Effecteur :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bras de robot, pince</li> <li>• convoyeur, roue</li> <li>• outils (foret, fraise, etc.) ...</li> </ul>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Pince robot</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Convoyeur à bande</p> </div> </div>	

Lors des séances de TP qui auront lieu dans l'année, vous aurez l'occasion d'observer ou manipuler un grand nombre des composants des chaînes d'information et d'énergie décrits ci-dessus. Vous devrez être capables de les identifier, ainsi que de comprendre et décrire leur fonctionnement.

## 2. Éléments de technologie

### 2.1 Fonction "acquérir" : les capteurs

**Fonction d'un capteur** : transformer une grandeur physique d'entrée (mesurande) en un signal utilisable (souvent un signal électrique).

Le but est donc de prélever un état sur la partie opérative et le convertir en information exploitable par la partie commande.

Les capteurs sont en général classés par types de grandeurs d'entrée et de sortie.

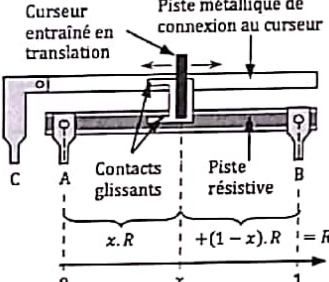
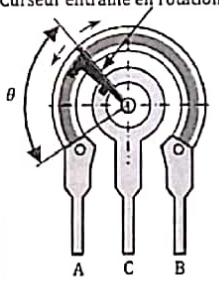
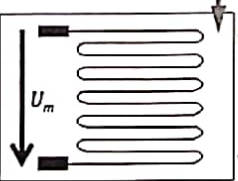
- Les grandeurs d'entrées sont des grandeurs physiques, par exemple un déplacement (linéaire ou angulaire), une vitesse, une accélération, une force, un couple, une pression, une température, un son, un niveau de luminosité, ...
- Les grandeurs de sortie peuvent être des grandeurs physiques analogiques ou numériques, utilisées pour véhiculer une information, ou des informations logiques. Dans le cas d'une information logique, les capteurs sont appelés capteurs "tout-ou-rien" et délivrent en sortie un signal binaire, égal à 1 (=vrai) ou à 0 (=faux).

Les pages suivantes vous présentent quelques exemples de capteurs de différents types et leur principe de fonctionnement.

De manière générale, lorsque la grandeur à mesurer n'est pas directement accessible, on cherche à en mesurer les effets (par exemple, la mesure de la déformation due à une force permet d'obtenir une image de la force ou la mesure d'une variation de résistance pour obtenir une image d'une position).

#### 2.1.1 Quelques exemples de capteurs analogiques

Note :  $U_m$  représente une tension électrique mesurée

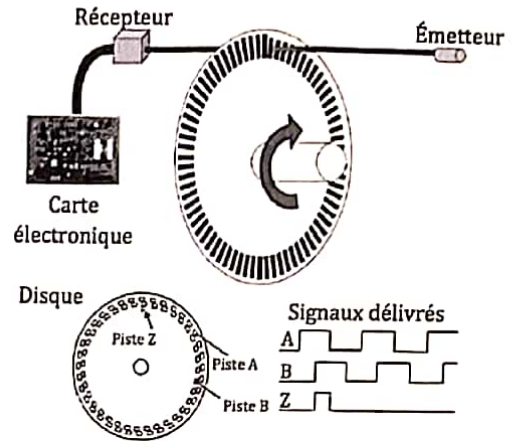
<p>Un capteur de position linéaire : le potentiomètre linéaire</p> <p>➤ <b>Principe</b> : mesurer une résistance variable afin de déterminer une longueur</p> <p>➤ <b>Illustration</b> :</p>  <p> <math display="block">U_m = V_C - V_A \propto x \cdot R \cdot i(t)</math> <math display="block">U_t = V_B - V_A \propto R \cdot i(t)</math> <math display="block">\Rightarrow x(t) = \frac{U_m}{U_t}</math> </p> <p><math>R</math> est la résistance totale de la piste</p>	<p>Un capteur de position angulaire : le potentiomètre rotatif</p> <p>➤ <b>Principe</b> : mesurer une résistance variable afin de déterminer une position angulaire</p> <p>➤ <b>Illustration</b> :</p>  <p> <math display="block">U_m = V_C - V_A \propto \theta(t) \cdot R \cdot i(t)</math> <math display="block">U_t = V_B - V_A \propto R \cdot i(t)</math> <math display="block">\Rightarrow \theta(t) = \frac{U_m}{U_t}</math> </p> <p><math>R</math> est la résistance totale de la piste</p>
<p>Un capteur d'effort : la jauge d'extensométrie</p> <p>➤ <b>Principe</b> : relier l'évolution de la résistance de la jauge (due à sa déformation) et l'effort nécessaire à la déformation</p> <p>➤ <b>Illustration</b> : Support</p>  <p>La déformation du support entraîne l'élongation du fil de la jauge. On peut étalonner ce dispositif en lui appliquant un effort connu. On sait alors comment évolue la résistance en fonction de l'effort.</p> <p>Résistance initiale de 100 à 1000 Ohms</p> $R = \rho \cdot \frac{L}{S}$	<p>Un capteur de vitesse angulaire : la génératrice tachymétrique</p> <p>➤ <b>Principe</b> : mesurer la tension induite par la rotation d'un aimant à l'intérieur d'un champ magnétique (loi de Lenz)</p> <p>➤ <b>Illustration</b> : c'est le principe inverse d'un moteur électrique (cf. page 9)</p> <p>Note : l'unité utilisée pour calculer une vitesse de rotation est le <math>rad \cdot s^{-1}</math></p>



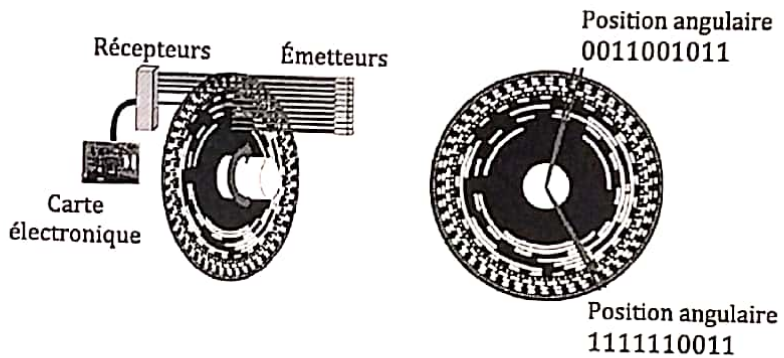
### 2.1.2 Quelques exemples de capteurs numériques

Les capteurs numériques les plus fréquemment rencontrés sont les codeurs. Ce sont des capteurs de position angulaire. Dans le cas d'un codeur photoélectrique, la lumière émise par chaque LED du codeur est captée par un récepteur après passage au travers d'un disque perforé. Les "pics" de lumière reçus permettent de déterminer la position angulaire du disque. Il existe deux types de codeurs :

- Les codeurs relatifs pour lesquels la position est déterminée en fonction des états précédents.

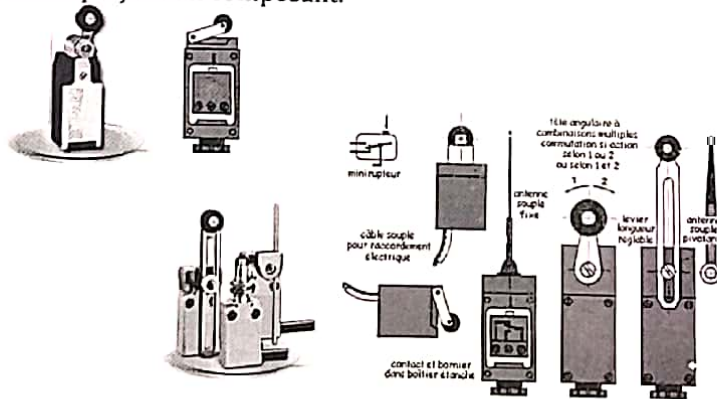


- Les codeurs absolus pour lesquels l'information reçue des récepteurs permet de connaître exactement la position angulaire du disque perforé (chaque séquence est unique).



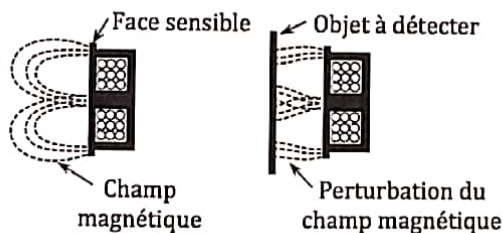
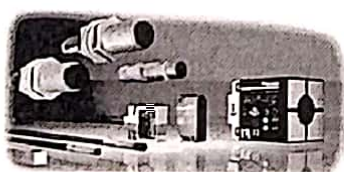
### 2.1.3 Quelques exemples de capteurs logiques (tout-ou-rien)

- Détecteur avec contact (interrupteur) : le circuit (en général électrique) est ouvert ou fermé "mécaniquement" en déplaçant un composant.



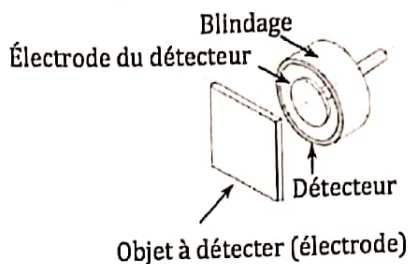
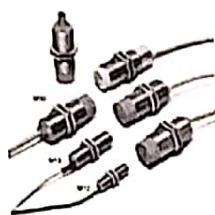
- Détecteur sans contact : la variation d'inductance, de capacité ou de lumière due à la présence d'un objet permet de détecter son passage devant le capteur.

Détecteur inductif : perturbation d'un champ magnétique

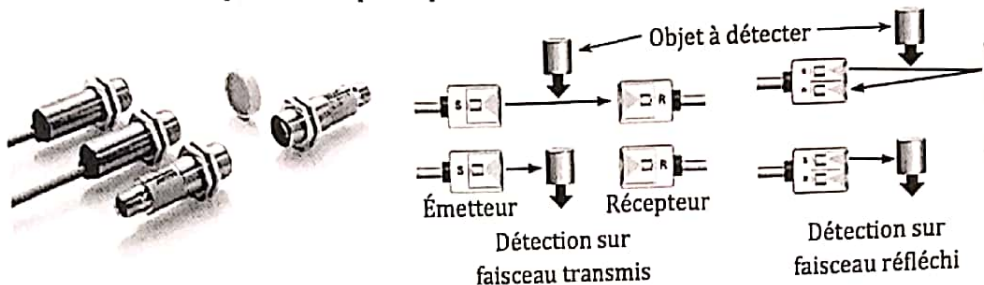




Détecteur capacitif : la pièce à détecter et le capteur créent un condensateur plan



Détecteur photoélectrique : la pièce à détecter coupe un faisceau lumineux



## 2.2 Fonctions "moduler" et "convertir" : actionneurs et préactionneurs

**Fonction d'un actionneur** : transformer l'énergie disponible (pneumatique, électrique ou hydraulique) en énergie mécanique utile.

Un pré-actionneur doit toujours être associé à un actionneur pour lui apporter cette énergie disponible.

**Fonction d'un préactionneur** : recevoir les ordres de la chaîne d'information et libérer l'énergie nécessaire aux actionneurs pour déclencher la réalisation de l'action

Les actionneurs et préactionneurs peuvent être classés en fonction du type d'énergie d'entrée.

### 2.2.1 Préactionneurs et actionneurs électriques

Un actionneur électrique (souvent un moteur électrique) permet de convertir une puissance électrique  $P_e$  en entrée ( $P_e = U \cdot I = \text{tension} \times \text{intensité}$ ) en une puissance mécanique  $P_m$  en sortie. Si il y a une rotation en sortie de l'actionneur alors  $P_m = C \cdot \omega = \text{couple} \times \text{vitesse de rotation}$ , si il y a une translation en sortie de l'actionneur alors  $P_m = F \cdot v = \text{force} \times \text{vitesse linéaire}$ . (Ces notions seront reprises au cours de l'année.)

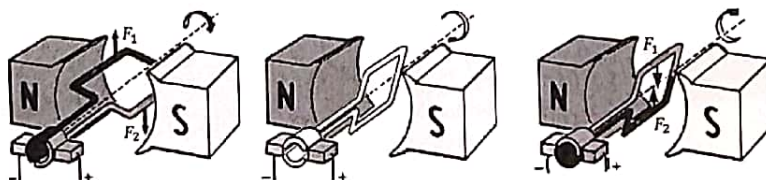
Il existe différents types de moteurs électriques : les moteurs à courant continu, les moteurs asynchrones et les moteurs synchrones. Le fonctionnement de tous ces moteurs repose sur le phénomène d'alignement de deux champs magnétiques.

Un premier champ magnétique est créé dans un élément fixe appelé **stator** et un second dans un élément mobile appelé **rotor**. Les deux champs n'étant *a priori* pas alignés, ils vont avoir tendance à le devenir, ce qui va initier la mise en rotation du rotor. Il est ensuite nécessaire de désaligner continuellement les deux champs afin d'entretenir la rotation.

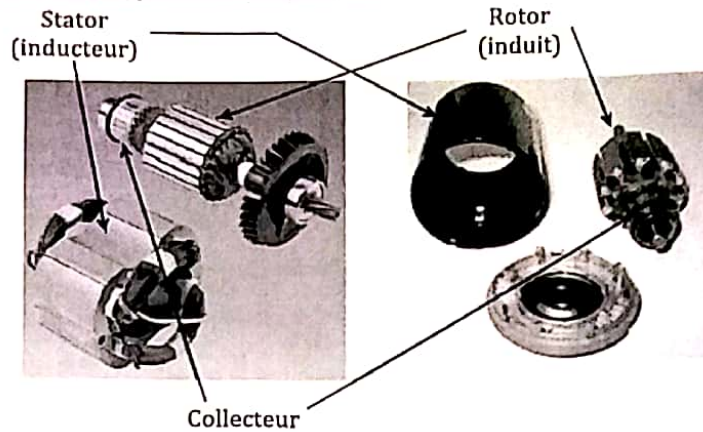
Les différents types de moteurs cités ci-dessus fonctionnent tous sur le même principe mais les deux champs magnétiques (statorique et rotorique) ne sont pas obtenus de la même manière.

Cas du moteur à courant continu (cf. figure page suivante) :

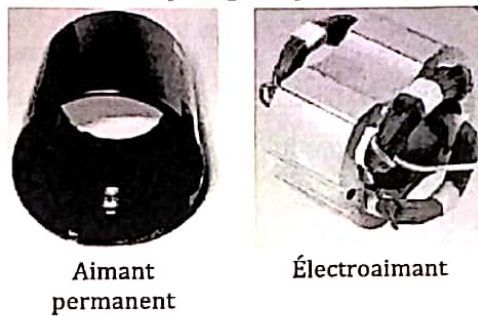
Le stator est constitué d'un aimant ou électroaimant, ce qui permet d'obtenir le premier champ magnétique. Ce champ magnétique est fixe. Le rotor est constitué d'un bobinage (spires) parcouru par un courant, ce qui permet de créer un deuxième champ magnétique. Le désalignement entre les champs magnétiques inducteurs et induits soumet le rotor à des forces  $F_1$  et  $F_2$  qui tendent à le faire tourner. Le collecteur permet d'inverser le sens du courant dans la spire lorsque celle-ci passe dans le plan vertical et donc de conserver le sens de rotation du moteur en inversant le sens des forces  $F_1$  et  $F_2$ .



Composants d'un moteur électrique à courant continu :



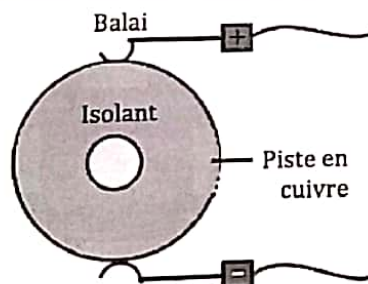
- Le stator, également appelé inducteur, est fixe. Il est constitué d'un aimant permanent ou d'un électroaimant et permet de créer un champ magnétique fixe.



- Le rotor, également appelé induit, est la partie mobile du moteur électrique à courant continu. Il est composé d'un ensemble de plusieurs bobines alimentées indépendamment les unes des autres.



- Le collecteur regroupe deux ensembles :
  - des pistes en cuivre isolées entre elles, chacune reliée à une des bobines du rotor
  - des balais (ou charbons), fixes, venant frotter sur les pistes en cuivre afin d'alimenter successivement les différentes bobines du rotor lors de sa rotation





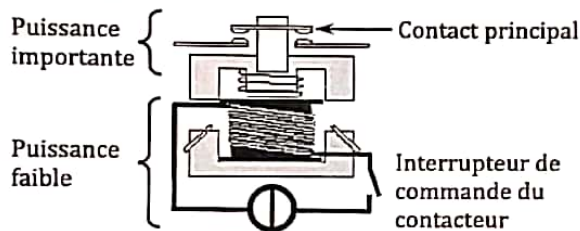
Cas des autres types de moteurs (alimentés en courant alternatif) :

- Moteur asynchrone : le champ magnétique statorique est tournant (plusieurs bobines chacune alimentée en courant alternatif déphasé des autres) ; le champ magnétique rotorique est induit par courants de Foucault (le rotor a une structure de cage d'écureuil). Le rotor est un circuit électrique sans source.
- Moteur synchrone : le champ magnétique statorique est tournant (similaire à une machine asynchrone) ; le champ magnétique rotorique est généré par un aimant permanent ou un électroaimant.



Principe du préactionneur électrique : commande des moteurs

- Commande à vitesse constante : utilisation de **relais** ou contacteurs jouant le rôle d'interrupteur. Un circuit annexe de faible puissance permet de commander la fermeture du contact principal qui peut supporter des puissances électriques importantes.



- Commande à vitesse variable, cas du moteur à courant continu par exemple : un **hacheur** permet de faire varier la tension d'alimentation afin de faire varier la vitesse de rotation du moteur.



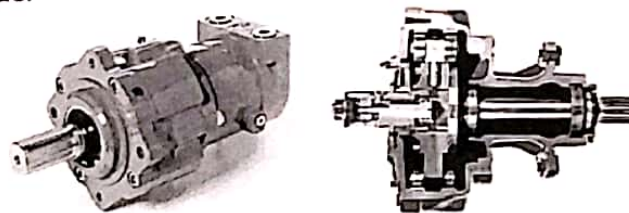
Dans le cas d'une alimentation en courant alternatif, le composant permettant de faire varier l'amplitude de la tension est appelé **variateur**.

On retrouve le rôle d'un distributeur : libérer l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'actionneur (le moteur).

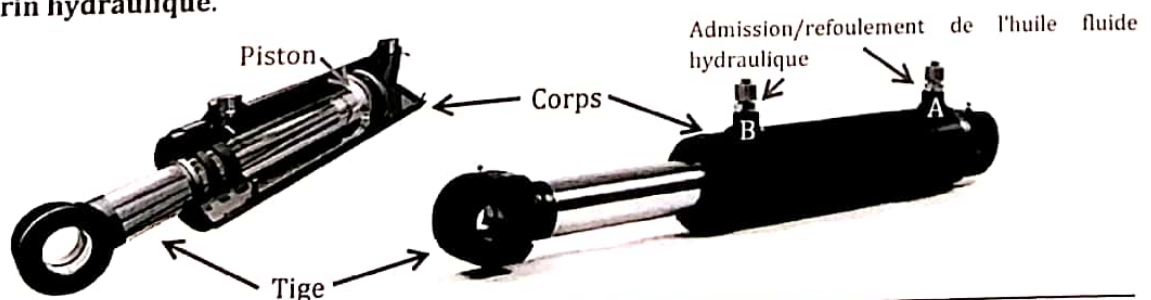
**2.2.2 Préactionneurs et actionneurs hydrauliques**

Un actionneur hydraulique permet de convertir une puissance hydraulique  $P_e$  en entrée ( $P_e = q \cdot p = \text{débit} \times \text{pression}$ ) en une puissance mécanique  $P_m$  en sortie.

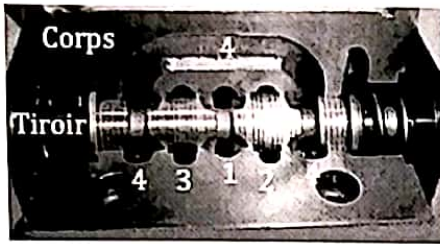
- Si il y a une rotation en sortie de l'actionneur alors  $P_m = C \cdot \omega = \text{couple} \times \text{vitesse de rotation}$ , il s'agit un **moteur hydraulique**.



- Si il y a une translation en sortie de l'actionneur alors  $P_m = F \cdot v = \text{force} \times \text{vitesse linéaire}$ , il s'agit d'un **vérin hydraulique**.



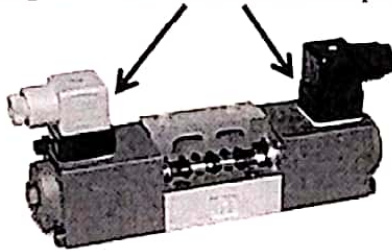
L'alimentation de l'actionneur hydraulique est gérée par un distributeur hydraulique. Le distributeur hydraulique permet de fournir à l'actionneur un débit d'huile plus ou moins important et permet également de changer le sens de circulation de l'huile hydraulique (afin de changer le sens de rotation d'un moteur hydraulique ou de rentrer ou sortir la tige d'un vérin hydraulique).



La translation du tiroir à l'intérieur du corps (fixe) du distributeur permet de relier différentes chambres du distributeur. Sur la photo ci-contre, les chambres 1 et 2 seront reliées si la tige est déplacée à droite et les chambres 1 et 3 seront reliées si la tige est déplacée à gauche.

Par exemple, si 1 est l'arrivée d'huile sous pression, si 2 est relié à la conduite A du vérin de la page précédente et si 3 est relié à la conduite B alors le déplacement du tiroir vers la droite fera sortir la tige du vérin et le déplacement vers la gauche du tiroir fera rentrer la tige.

La translation du tiroir peut s'effectuer manuellement grâce à une poignée de commande ou grâce à des électroaimants permettant une commande automatique du distributeur.



Des ressorts peuvent permettre le retour autonome du tiroir dans une certaine position.

Les ressorts des deux côtés du distributeur présenté ci-dessus permettent le retour autonome dans sa position centrale. Reprenons l'exemple dans lequel le distributeur alimente le vérin de la page 11. Si le distributeur ne reçoit aucun ordre (en cas de coupure de l'alimentation électrique par exemple), alors la tige du vérin reste immobile. Tout mouvement de la tige est impossible.



### 2.2.3 Préactionneurs et actionneurs pneumatiques

Le fonctionnement des actionneurs et préactionneurs pneumatiques est le même que celui des actionneurs et préactionneurs hydrauliques. Le mouvement est obtenu grâce à de l'air comprimé.

La technologie pneumatique nécessite moins d'entretien que la technologie hydraulique. Son utilisation est plus simple, moins dangereuse et moins polluante mais la puissance mécanique en sortie d'un actionneur pneumatique est plus faible que celle obtenue avec un actionneur hydraulique.