

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohammed Seddik BENYAHIA- Jijel



Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'Automatique

Notes de cours : Pr. Boubakir Ahsene

Module : Actionneurs

Licence 3 : Automatique

2023-2024

Avant propos

Pour transmettre les ordres du contrôleur au système à commander, nous avons besoin généralement d'un élément de transmission de puissance appelé **actionneur**. Cet organe sert à convertir de l'énergie d'une forme en une autre pour agir sur le système à commander. L'actionneur peut être du type électrique (moteur électrique), hydraulique (vérin hydraulique pour les déplacements linéaires ou moteur hydrauliques pour les mouvements de rotation) ou pneumatique (vérin pour les déplacements linéaire ou moteur pneumatique pour les déplacements de rotation). Le choix d'un actionneur dépend de plusieurs paramètres. En général, l'effort utilisé dicte un tel choix.

Ce cours a pour objectif de permettre aux apprenants d'acquérir les connaissances nécessaires au choix des actionneurs pneumatiques, hydrauliques et électriques. Il leur permettra aussi de comprendre les enjeux et les solutions disponibles dans le domaine des actionneurs en automatismes industriels.

Généralités sur les actionneurs

1.1. Introduction

La conception d'un **système automatisé** permet la réalisation des tâches complexes ou dangereuses pour l'homme, elle aide aussi l'être humain à réaliser des tâches répétitives et de gagner en efficacité et en précision. Pour un système automatisé, l'homme n'intervient que dans la programmation du système et dans son réglage afin d'obtenir des bonnes performances.

La commande des systèmes peut se faire soit en **boucle ouverte** soit en **boucle fermée**.

Commande en boucle ouverte : la commande est élaborée sans l'aide de la connaissance des grandeurs de sortie du système à piloter (il n'y a pas de feedback).

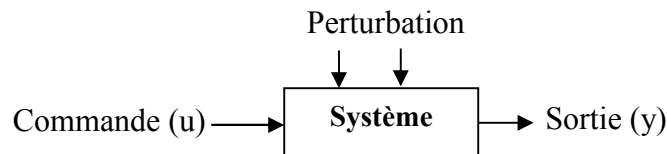


Figure 1.1. Système de commande en boucle ouverte (BO).

Comme le signal de commande (entrée) est indépendant du signal de sortie, la valeur obtenue en sortie peut être très différente de la valeur souhaitée lorsqu'une perturbation extérieure intervient sur le système, pour cela la commande en boucle ouverte est moins performante par rapport à la commande en boucle fermée.

Pour améliorer la stabilité et les performances de la commande que ce soit en régime transitoire (rapidité) ou en régime permanent (précision), il est indispensable d'observer les sorties du système pour les comparer à la sortie désirée. Cette structure de commande est connue sous le nom de **commande en boucle fermée**. La loi de commande est alors fonction de la consigne (la valeur désirée) et de la sortie.

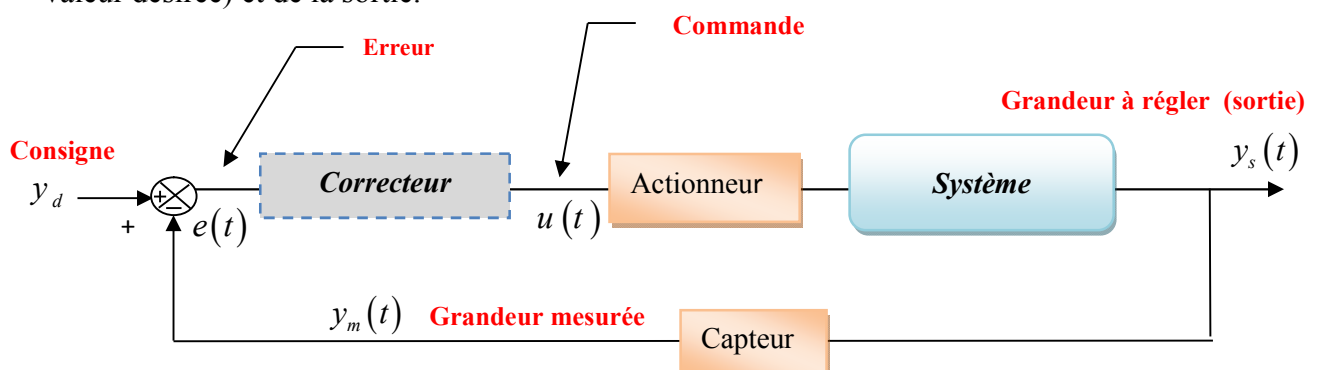


Figure 1.2. Système de commande en boucle fermée (BF).

La boucle de commande en boucle fermée est constituée de :

Correcteur : son rôle est d'élaborer à partir du signal d'erreur $e(t)$ la valeur du signal de commande $u(t)$;

Actionneur : Cet organe apporte de l'énergie au système afin de produire l'effet souhaité ;

Capteur : Son rôle est de prélever sur le système la grandeur asservie et la transforme en un signal compréhensible par le contrôleur.

Actionneur : C'est l'organe d'action qui apporte l'énergie au système pour produire l'effet Souhaité. Il transmet les ordres du correcteur au système à commander ;

Régulation et asservissement:

Régulation : Pour une structure de commande en boucle fermée, nous parlons d'une régulation lorsque l'objectif de commande est de maintenir la sortie du système constante, conformément à la consigne et indépendamment des perturbations (ex : climatiseur, régulation de température...).

Asservissement : Nous parlons de l'asservissement lorsque la consigne (la sortie désirée) est variable dans le temps (position : asservissement de position).

Exemples:

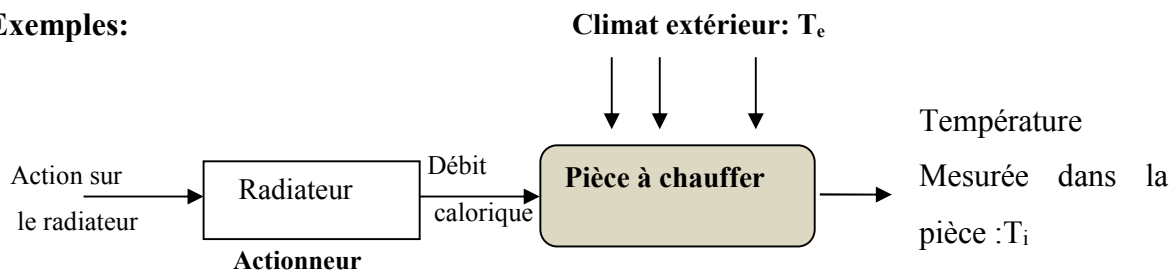


Figure 1.3. Commande de température en boucle ouverte (BO).

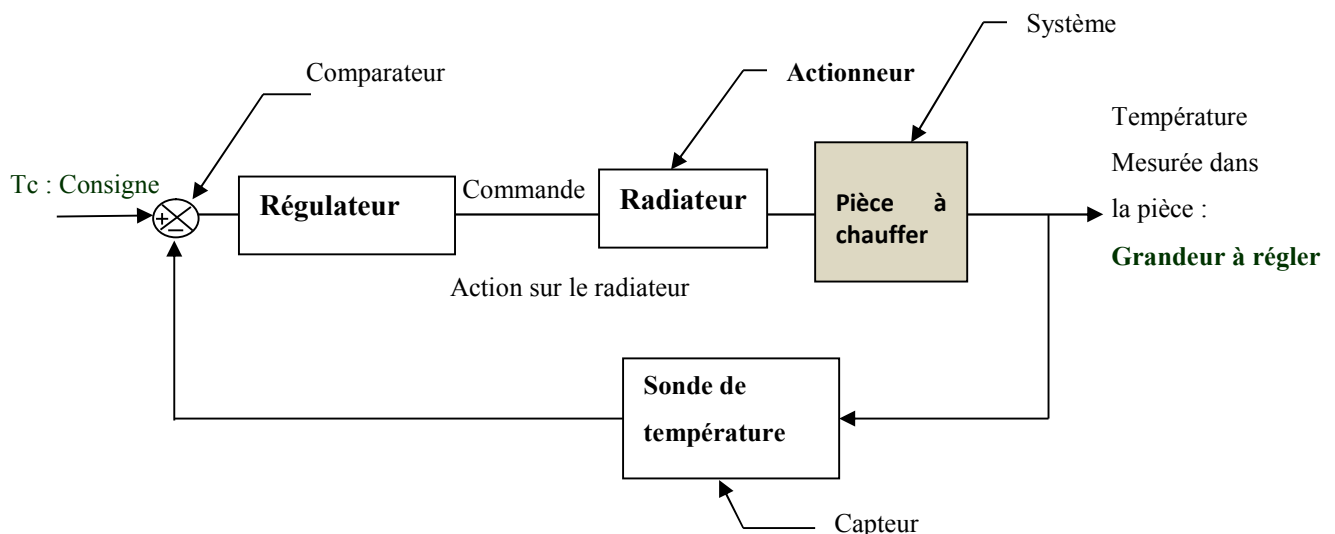
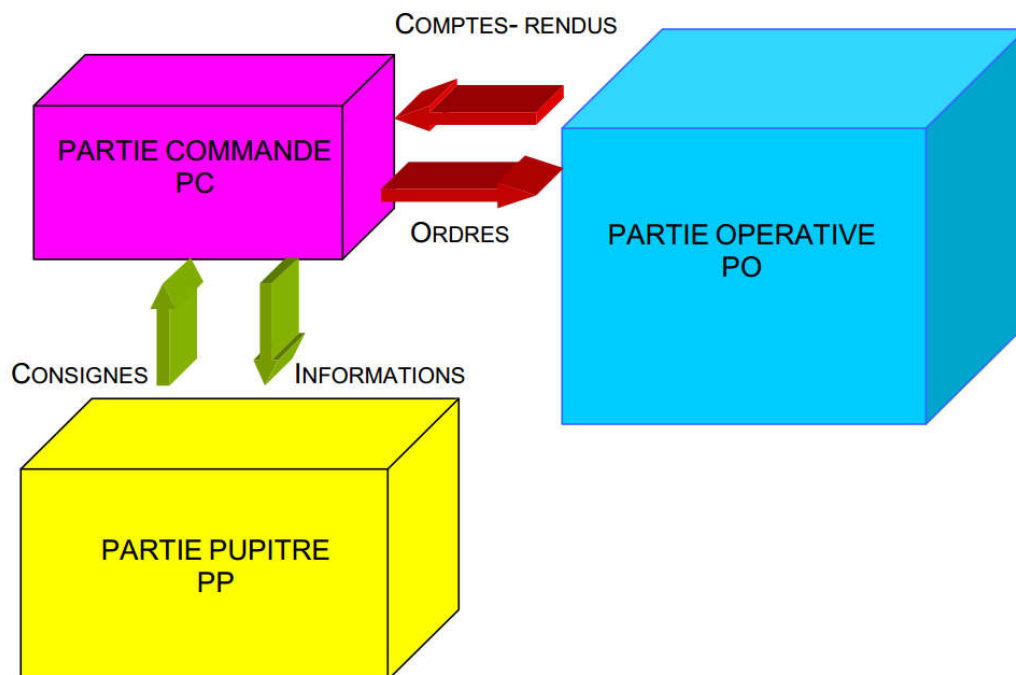


Figure 1.4. Commande de température en boucle fermée (BF).

Remarque : Notons que l'élément « **actionneur** » est nécessaire que ce soit en boucle ouverte ou en boucle fermée.

1.2. Schéma d'organisation d'un système automatisé

Un système automatisé peut, pour faciliter l'analyse, se représenter sous la forme d'un schéma identifiant trois parties (P.O ; P.C ; P.P) du système et exprimant leurs interrelations (Informations, Ordres, Comptes-rendus, Consignes).



Exemple d'application : Le transstockeur

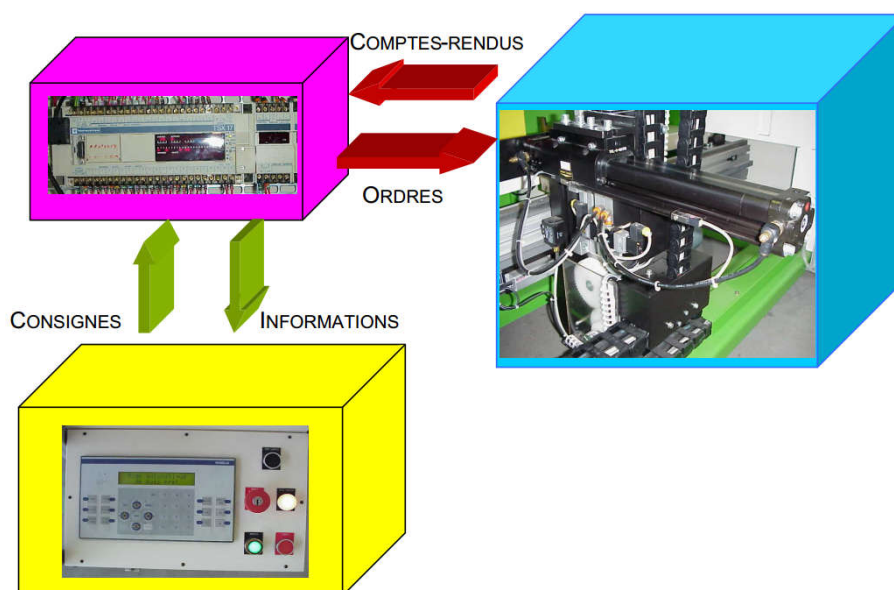
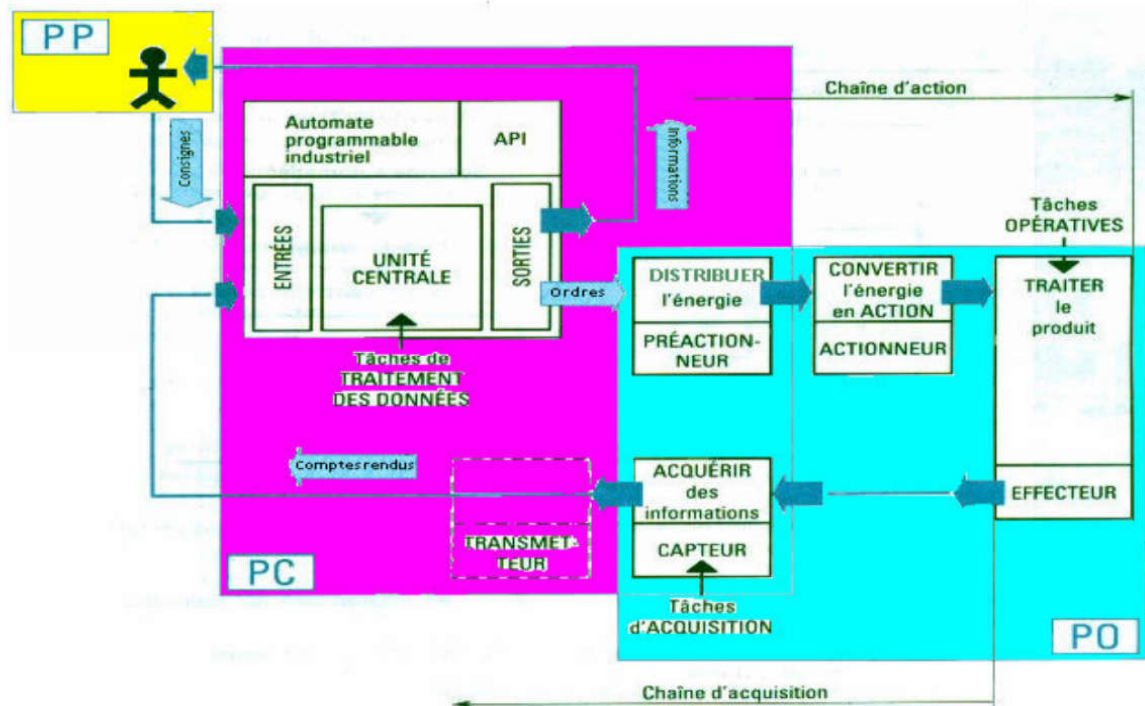


Schéma détaillé d'organisation d'un système automatisé



A. La « partie opérative P.O

Appelée parfois « partie puissance », la partie opérative d'un automatisme assure la transformation de la matière d'œuvre.

- ♦ **La partie mécanique** : chariots, glissières, engrenages, poulies, broches...
- ♦ **Les actionneurs** convertissent l'énergie d'entrée disponible sous une certaine forme (électrique, pneumatique, hydraulique) en une énergie utilisable sous une autre forme, par exemple :
 - Energie thermique destinée à chauffer un four (l'actionneur étant alors une résistance électrique).
 - Energie mécanique destinée à provoquer une translation de chariot (l'actionneur pouvant être un vérin hydraulique ou pneumatique).
 - Energie mécanique destinée à provoquer une rotation de broche (l'actionneur pouvant être alors un moteur électrique).
- ♦ **Les préactionneurs** reçoivent les signaux de commande et réalisent la commutation de puissance avec les actionneurs. Les préactionneurs des moteurs électriques sont appelés contacteurs. **Les préactionneurs** des vérins et des moteurs hydrauliques et pneumatiques sont appelés distributeurs (à commande électrique ou pneumatique).

- ♦ **Les capteurs**, qui communiquent à la partie commande des informations sur la position d'un mobile, une vitesse, la présence d'une pièce, une pression...
 - **Les capteurs T.O.R.** (tout ou rien), qui délivrent un signal de sortie logique, c'est à dire 0 ou 1. **Exemple** : détecteur de fin de course.
 - **Les capteurs numériques**, ou « incrémentaux », qui associés à un compteur, délivrent des signaux de sortie numérique. **Exemple** : capteur ou codeur incrémental utilisé pour la mesure des déplacements des chariots de machine à commande numérique.
 - **Les capteurs analogiques**, ou proportionnels » qui permettent de prendre en compte la valeur réelle d'une grandeur physique. **Exemple** : Sonde de température.
- ♦ Les appareils de ligne. Ceux-ci représentent l'ensemble des composants indispensables à la mise en œuvre et à la bonne marche de l'automatisme.

B. La partie commande P.C

Appelée également « partie traitement des informations », elle regroupe tous les composants de traitement des informations nécessaires à la bonne marche de **la partie opérative**.

- La partie commande communique avec l'opérateur par l'intermédiaire **d'un pupitre**.
- Les informations entre la partie commande et la partie opérative passent souvent par l'intermédiaire **d'interfaces**

Trois technologies sont actuellement utilisées :

- électromécanique,
- pneumatique,
- **électronique.**

La troisième se présente sous cette forme :

➤ **Logique programmée**

L'enchaînement des mouvements du système automatisé est programmé sous forme d'instructions (programme), traitées et gérées par l'unité centrale de la partie commande.

- **Les automates programmables industriels (A.P.I.).** Ils possèdent presque tous un langage adapté au **GRAFCET**. Ils sont munis de bornes **d'entrées et sorties**.
- **Les micro et mini-ordinateurs.** Leur utilisation demande des connaissances en informatique. Le **GRAFCET** doit être traduit dans un langage informatique. Ils ne possèdent pas en général de bornes **d'entrées et sorties**.
- **Les micro systèmes.** Idem ci-dessus mais possèdent des bornes d'entrées et sorties.

C. La partie pupitre

Le pupitre permet à l'opérateur de dialoguer et de commander la partie opérative. Il comporte :

- Des capteurs de commande (marche, arrêt, arrêt d'urgence...).
- Des voyants de signalisation (mise sous tension, fonctionnement anormal, buzzer...).
- Des appareils de mesure de pression (manomètre), de tension (voltmètre), d'intensité (ampèremètre)

D. Les interfaces

Elles assurent une compatibilité entre les signaux qui circulent entre la partie commande et la partie opérative. On en distingue deux types :

- Celles qui permettent un changement de niveau d'énergie : relais instantanés, contacteurs auxiliaires...
- Celles qui permettent un changement de type d'énergie : interfaces électropneumatiques, contacts à pression...

1.3. Les A.P.I. (Automates Programmables Industriels)

A. Rôle d'un automate dans un SAP (Système Automatisé de production)

Cet ensemble électronique gère et assure la commande d'un système automatisé. Il se compose de plusieurs parties et notamment d'une mémoire programmable dans laquelle l'opérateur écrit, dans un langage d'application propre à l'automate, des directives concernant le déroulement du processus à automatiser.

Son rôle consiste donc à fournir des ordres à la partie opérative en vue d'exécuter un travail précis comme par exemple la sortie ou la rentrée d'une tige de vérin. Celle-ci, en retour, lui donnera des informations relatives à l'exécution dudit travail.

B. Structure d'un API

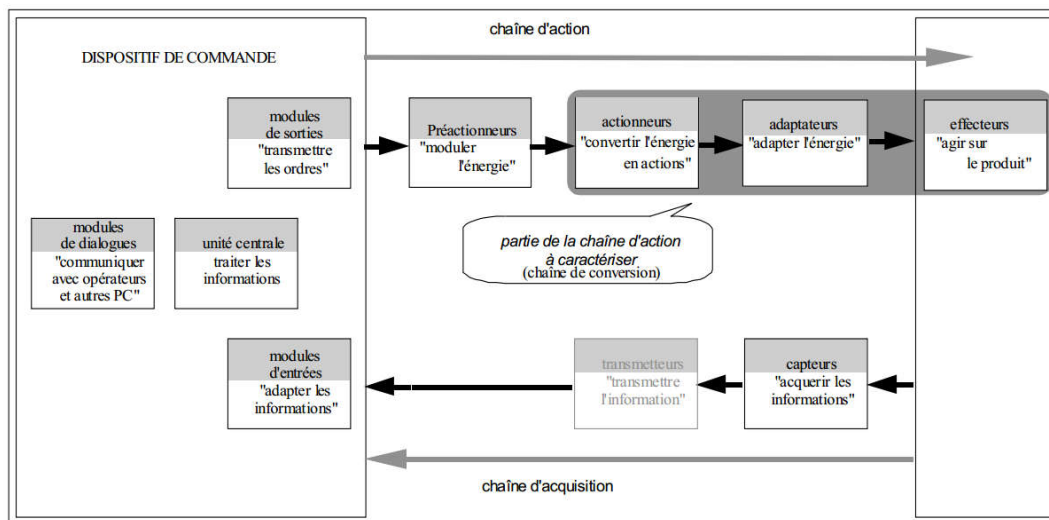
Les automates programmables comportent quatre parties principales :

- une mémoire ;
- un processeur + des cartes d'E/S ;
- des interfaces (ERS) ;
- une alimentation (220 V ---> 24 V).

Ces quatre parties sont reliées entre elles par des « bus » (ensemble de fils autorisant le passage des informations entre ces quatre secteurs de l'automate). Ces quatre parties réunies forment un ensemble compact appelé « automate ».



1.4. Chaîne d'action, chaîne d'acquisition :

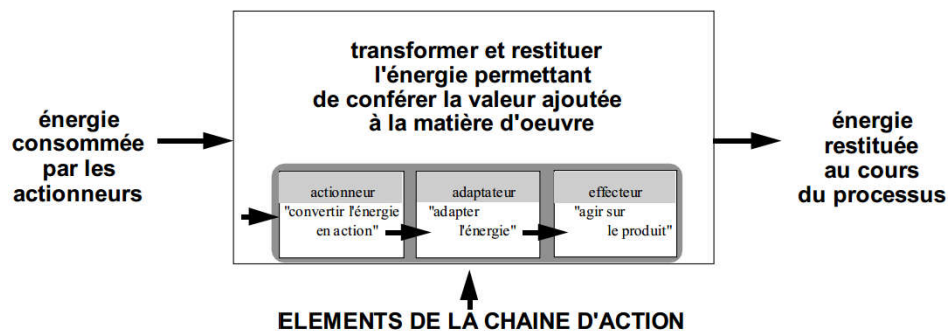


La chaîne d'action regroupe l'ensemble des constituants du système mettant en œuvre en cascade (du module de sortie vers l'effecteur), l'action physique sur le produit.

La chaîne d'acquisition regroupe l'ensemble des constituants du système mettant en œuvre en cascade (de l'effecteur vers le module d'entrée), l'information résultante de l'action engagée.

CHAÎNE DE CONVERSION

Elle est composée d'un actionneur et d'un effecteur entre lesquels s'intercale dans certains cas un dispositif d'adaptation de l'énergie.



1.5. Actionneurs

Un actionneur est un objet technique utilisé pour convertir l'énergie d'entrée d'une forme en une autre forme en sortie afin d'agir sur le système à commander. Il peut être du type électrique (moteur électrique), hydraulique (vérin ou moteur hydraulique), pneumatique (vérin ou moteur hydraulique).

Dans une boucle de commande, le contrôleur compare la valeur réelle de sortie donnée par le capteur à la valeur désirée et puis ajuste le signal de commande. L'actionneur convertit le signal de commande en une quantité physique pour lancer un mouvement, réglant de ce fait la variable commandée.

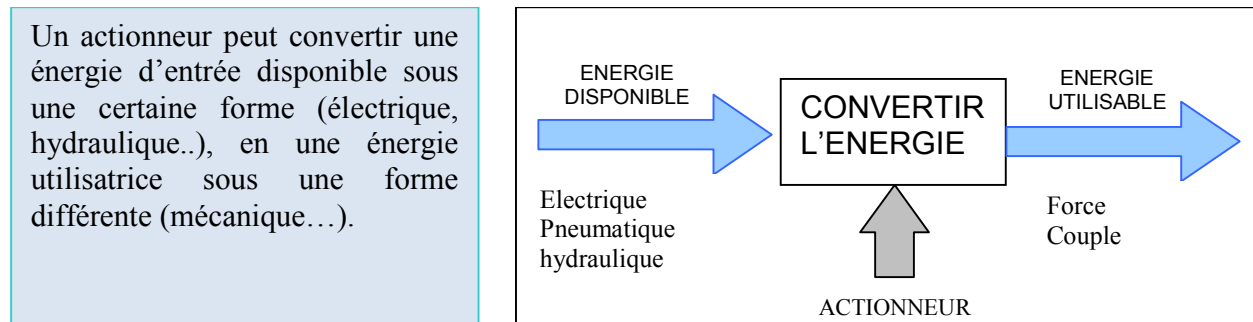


Figure 1.5. Représentation fonctionnelle d'un actionneur.

Un actionneur peut être décomposé en deux modules séparés : l'amplificateur de signal et le transducteur. L'amplificateur convertit le signal de commande (de basse puissance) en signal de puissance élevée transmise au transducteur ; ce dernier convertit l'énergie du signal de commande amplifié en travail.

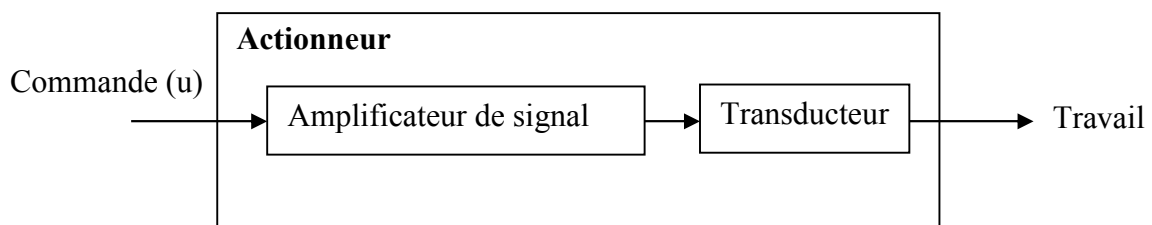


Figure 1.6. Structure interne d'un actionneur.

1.6. Classification des actionneurs

La classification des actionneurs peut se faire selon plusieurs critères, entre autre : l'énergie utilisé, phénomène physique utilisable, principe mis en oeuvre, la mobilité ou non de l'énergie convertie.

C. Énergie utilisé

Pneumatique ; hydraulique (eau ou huile); électrique ; mécanique ; combustible fossile.

D. Phénomène physique utilisable

Déplacement ou freinage, froid, chaleur, lumière, son.

E. Principe mis en oeuvre

Les effets et les propriétés physiques utilisés dans la conception des actionneurs sont nombreux :

Actionneur pneumatique : pour ce genre d'actionneurs les propriétés de compression et de délitation sont utilisées dans la conception.

Actionneur hydraulique : on utilise la propriété d'incompressibilité du fluide.

Actionneur électrique : parmi les principes et propriétés utilisés nous pouvons citer : effet joule, effet magnétique, effet piézoélectrique, électroluminescence.

F. Mobilité ou non de l'énergie convertie

Selon ce critère, nous pouvons classer les actionneurs en deux familles :

Actionneur dynamique : pour ce type d'actionneur l'énergie convertie est mécanique, ce qui permet de mobilités en translation (avec des forces) ou en rotation (avec des couples).

Actionneur statique : l'énergie convertie et sans mobilité comme une résistance ou une lampe.

	NOM	Energie d'entrée		Energie de sortie	
		Nature	Forme	Nature	Forme
Dynamique	• Vérin pneumatique	• Pneumatique	• Débit d'air + pression	• Mécanique	• Mvt de translation
	• Vérin hydraulique	• Hydraulique	• Débit d'huile + pression	• Mécanique	• Mvt de translation
	• Vérin électrique	• Electrique	• Tension	• Mécanique	• Mvt de translation
	• Electro-aimant à noyau plongeur	• Electrique	• Tension	• Mécanique	• Mvt de translation
	• Moteur électrique	• Electrique	• Tension	• Mécanique	• Mvt de rotation
	• Moteur hydraulique	• Hydraulique	• Débit d'huile + pression	• Mécanique	• Mvt de rotation
	• Moteur pneumatique	• Pneumatique	• Débit d'air + pression	• Mécanique	• Mvt de rotation
Statique	• Résistance	• Electrique	• Tension continu ou Alternative	• Thermique	• Conduction+rayonnement
	• Lampe	• Electrique	• Tension continu ou alternative	• Thermique	• Conduction+rayonnement

Tableau 1.1. Actionneurs dynamiques et statiques.

1.7. Les familles des actionneurs

Les actionneurs les plus utilisés peuvent être classés en trois catégories, à savoir : actionneur pneumatique, actionneur hydraulique et actionneur électrique.

1.7.1. Actionneur pneumatique

Ces actionneurs peuvent soulever, pousser, tirer, serrer, tourner, bloquer, percuter, abloquer. Ils sont utilisés généralement dans les applications qui nécessitent des mouvements séquentiels simples. Son principe de fonctionnement consiste à convertir une énergie d'entrée pneumatique en énergie utilisatrice mécanique. Il existe des actionneurs pneumatiques linéaires ou vérins et des actionneurs pneumatiques rotatifs. La classification des actionneurs pneumatiques tient compte du mode d'action de la tige : simple effet ou double effet.

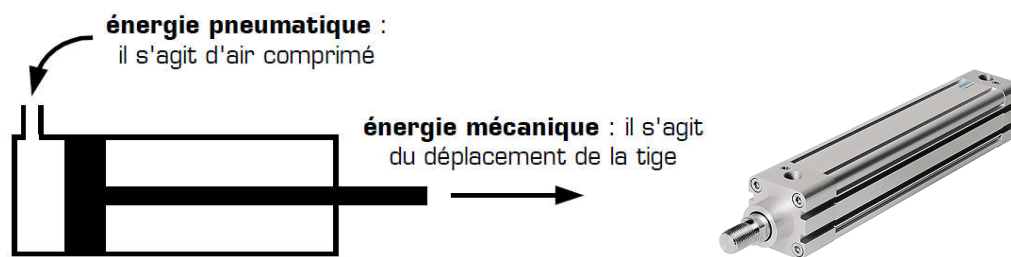


Figure 1.7. Exemple d'un actionneur pneumatique: vérin pneumatique.

1.7.2. Actionneur hydraulique

Ces actionneurs trouvent leur utilité dans les mouvements qui exigent des forces très élevées à faible vitesse. Leur principe de fonctionnement consiste à convertir une énergie d'entrée hydraulique (débit d'huile + pression) en énergie utilisatrice mécanique. Une pompe électrique fournit de l'huile à l'actionneur via des tuyaux. L'actionneur est équipé d'une canalisation de retour sert à récupérer l'huile qui s'échappe lors du fonctionnement et la ramener vers la pompe après filtrage et refroidissement éventuel. Nous pouvons trouver les actionneurs hydrauliques comme des vérins linéaires ou des moteurs rotatifs.

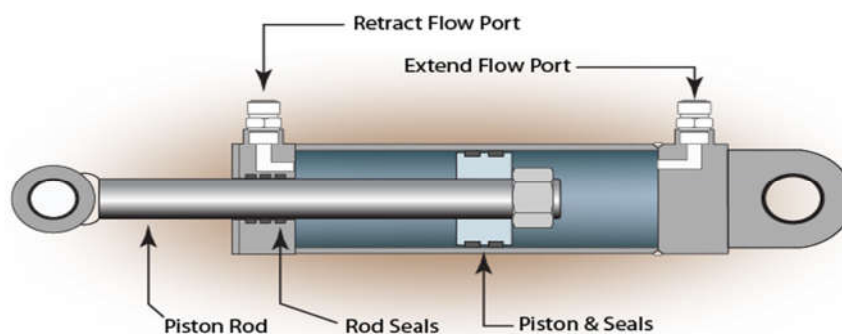


Figure 1.8. Exemple d'un actionneur hydraulique

1.7.3. Actionneur électrique

Ces actionneurs sont simples à mettre en œuvre et trop sollicités dans les applications qui exigent des mouvements rotatifs et linéaires. Leur principe de fonctionnement consiste à convertir une énergie d'entrée électrique en énergie utilisatrice mécanique. Ils sont convenables pour les applications à forte dynamique et grande précision. La diversité de technologie de ce type d'actionneurs, leur simplicité de commande leur ont permis de pénétrer facilement au monde industriel. De plus, l'énergie électrique est facile à utiliser et se prête facilement aux commandes et réglages automatiques.



Figure 1.9. Exemple d'un actionneur électrique : Moteur à courant continu.

Type de l'actionneur	Avantages	Désavantage
Pneumatique	Vitesse de fonctionnement élevée ; disponibilité d'air ; n'exige aucune canalisation de retour ; propre ; peut être utilisé dans un milieu explosif ; robuste ; relativement moins cher.	La compressibilité d'air entrave la commande de vitesse ; moins précis ; l'échappement crée le bruit ; exige le séchage additionnel et le filtrage.
Hydraulique	Vitesses de fonctionnement modérées ; fonctionnement doux à de basses vitesses ; supporter les charges lourdes ; rapport élevé de puissance-à-poids ; l'incompressibilité du fluide aide à réaliser une commande précise ; robuste ; réponse rapide ; inflammable et peut être utilisé dans un milieu explosif.	Fuites par des joints ; exige la canalisation de retour et la source d'énergie à distance, difficile à miniaturiser en raison de la haute pression et débit; cher.
électrique	Réponse rapide et précise, commande simple, faciles à mettre en application dans des conceptions modulaires et nouvelles; relativement pas cher.	Il peut créer des dégâts dans des secteurs inflammables à cause de l'arc électrique; surchauffe une fois calé ; exige des freins pour se bloquer.

Tableau 1.2. Comparaison des actionneurs pneumatiques, hydrauliques et électriques.

1.8. Préactionneurs

Les préactionneurs sont des objets techniques permettent de distribuer de l'énergie de puissance aux actionneurs sur l'ordre de la partie de commande. La majorité des préactionneurs fonctionnent en mode dits « tout ou rien », c'est-à-dire que : soit ils empêchent l'énergie d'alimentation d'aller vers l'actionneur soit ils laissent passer tout le flux d'énergie disponible vers l'actionneur. Parmi les préactionneurs (tout ou rien) : les contacteurs électromagnétiques (les relais) et les distributeurs pneumatiques.

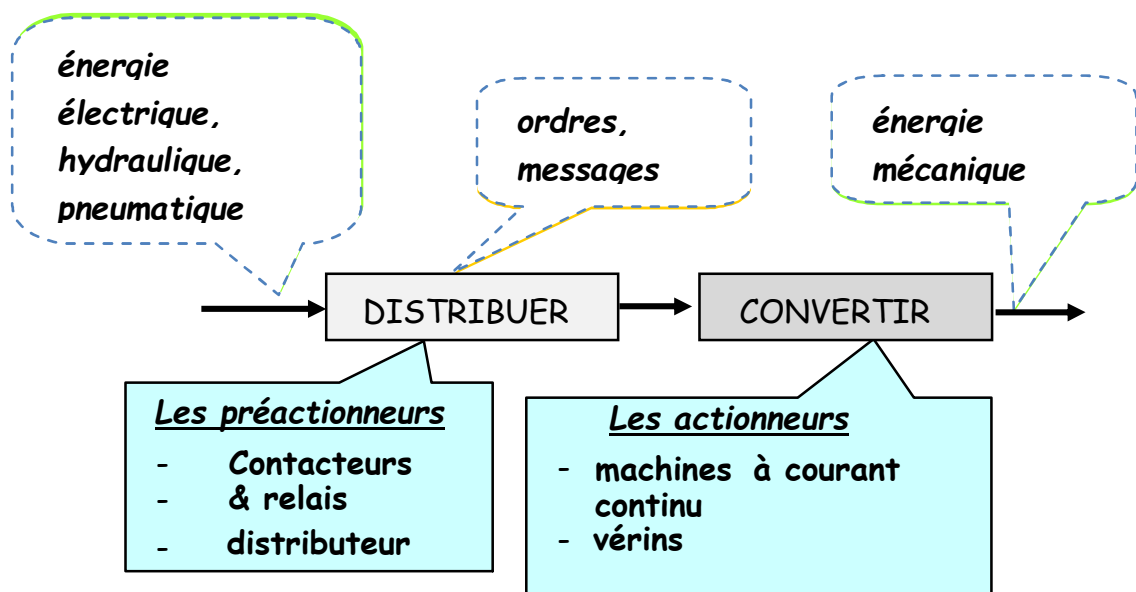


Figure 1.13. Fonction d'un pré-actionneur.

Selon le critère de stabilité, il existe deux types d'actionneurs :

Un pré-actionneur monostable : on parle d'un pré-actionneur monostable, s'il nécessite un ordre pour passer de sa position repos à sa position travail et il revient automatiquement à sa position repos lorsque l'ordre disparaît : donc il est stable uniquement dans sa position repos.

Exemples de préactionneurs monostables : un bouton poussoir, un relais électromagnétique

Un pré-actionneur bistable : on parle d'un pré-actionneur bistable s'il nécessite un ordre pour passer de sa position repos à sa position travail, il restera ensuite dans cette position à la disparition de cet ordre. Il ne peut regagner sa position repos que s'il reçoit un nouvel ordre : il est stable dans la position repos et la position travail.

Exemples de pré-actionneurs bistables : un interrupteur, un télérupteur