

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Ghardaïa

Faculté des Sciences
et de la Technologie



Département d'Automatique
et d'Electromécanique

Polycopié pédagogique

Architecture des Systèmes Automatisés

Cours destiné aux étudiants de
2^{ème} année Licence Automatique

Par : Dr. Belgacem BEKKAR

Année : 2020

Avant-propos

L'automatisme, (encore appelé contrôle commande) regroupe l'ensemble des dispositifs de contrôle des systèmes à base d'informatique : il comprend donc aussi bien les appareils électroniques de contrôle, que les actionneurs ou les capteurs.

L'automatisme est aujourd'hui la solution la plus utilisée dans l'industrie pour soulager l'être humain de tâches dangereuses, répétitives ou fatigantes à accomplir. On le trouve non seulement dans tous les secteurs de l'industrie, mais aussi dans les domestiques. Il répond aux besoins d'adaptation et de flexibilité de nombre d'activités économiques actuelles. Cette place majeure soulève bien sûr un certain nombre de questions. C'est à ces questions que nous allons essayer de répondre dans cet ouvrage, en mettant en évidence sur l'architecture des systèmes automatisés.

Ce travail s'adresse en priorité aux étudiants de spécialité automatique et ceux des cursus proches tels que le génie électrique, représente en fait l'effort de plusieurs années d'enseignement. Le contenu et la progression de cet ouvrage ont été conçus selon le programme de la matière contenu à l'offre de formation (L.M.D) licence automatique. L'objectif est de faire découvrir aux étudiants les Systèmes Automatisés (SA) Industriels et leur architecture. Connaître les organes constituants les SA ainsi que leurs principes de fonctionnement.

Cet ouvrage est articulé en six chapitres. Les quatre premiers forment une progression normale puisque nous présentons, petit à petit, l'architecture des systèmes automatisés : introduction au système de production, structure d'un système de production, partie commande et partie opérative, architecture des systèmes de production, le cinquième chapitre concerne quelques notions de réseaux. Enfin, le dernier chapitre présente une étude de cas, où nous avons choisi le four industriel électrique.

Table des matières

Avant-propos	i
Table des matières	ii
Liste des notations	v
Chapitre 1 Introduction	1
1.1 Généralités et définitions	1
1.1.1 Définitions du système	1
1.1.2 Matière d'œuvre	1
1.1.3 Valeur Ajoutée	1
1.1.4 Tâche	2
1.2 Approche globale d'un système de production	2
1.2.1 Familles de systèmes techniques	3
1.3 Définitions de l'automatisme	4
1.4 Objectifs de l'automatisation des productions.....	5
1.5 Rentabilité d'une automatisation	5
Chapitre 2 Structure d'un système de production	6
2.1 Décomposition (PO – PC)	6
2.2 Fonctionnalité de la Partie Commande.....	7
2.3 Structure de la Partie Opérative (PO)	8
2.3.1 Chaîne fonctionnelle.....	8
2.4 Eléments la Partie Opérative (PO).....	9
2.4.1 Effecteurs.....	9
2.4.2 Actionneurs	10
2.4.3 Pré-Actionneur	19
2.4.4 Capteur	24
2.5 Traitement.....	30
2.6 Dialogue (HMI, SCADA...).....	30
2.7 Retenir l'essentiel	33
Chapitre 3 Partie commande (PC).....	34
3.1 Introduction.....	34

3.2	Type de PC	34
3.2.1	Architecture des unités de traitement programmable.....	35
3.3	Programmation	36
3.3.1	Déroulement du programme.....	36
3.3.2	Langages de programmation	36
Chapitre 4	Architecture des systèmes de production	38
4.1	Introduction.....	38
4.2	Décomposition du système de production	38
4.2.1	Atelier.....	38
4.2.2	Cellule	38
4.2.3	Poste de travail	38
4.3	Architecture des systèmes de production	39
4.3.1	Machines autonomes	39
4.3.2	Machines associées en ligne.....	39
4.3.3	Cellule de production à commande centralisée.....	39
4.3.4	Cellule à commande décentralisée et coordonnée.....	40
4.3.5	Cellule flexible à commande répartie et hiérarchisée	41
Chapitre 5	Notions de réseaux	42
5.1	Communication dans un environnement industriel	42
5.2	Différents niveaux d'abstraction dans un environnement industriel intégré	43
5.2.1	Le niveau 0 : processus, capteurs et actionneurs.....	43
5.2.2	Le niveau 1 : Atelier ou cellule	43
5.2.3	Le niveau 2 : Usine.....	43
5.2.4	Le niveau 3 : Entreprise	43
5.3	Réseau, réseau local, réseau local industriel.....	44
5.3.1	Réseau	44
5.3.2	Réseau local.....	44
5.3.3	Réseau local industriel.....	44
5.4	Modèle de référence OSI.....	44
5.4.1	Couches du modèle OSI.....	45
5.5	Architecture d'un réseau industriel.....	46
5.5.1	Réseaux de terrain	46

5.5.2	Réseaux d'atelier (ou de cellule)	47
5.5.3	Réseaux d'usine.....	47
5.6	Aspects physiques.....	47
5.6.1	Topologie.....	47
5.6.2	Support de transmission	49
5.7	Réseau Profibus	50
5.8	Variantes	50
5.8.1	Profibus-DP (Decentralized Peripheral).....	50
5.8.2	Profibus-FMS (Fieldbus Message Specification).....	50
5.8.3	Profibus-PA (Process Automation).....	51
Chapitre 6	Présentation et étude de cas.....	52
6.1	Fours industriel électrique	52
6.1.1	Principe de chauffage des fours à résistances	52
6.1.2	Présentation du système	54
Bibliographies	58

Liste des notations

API - PLC	Automates Programmables. Industriels
CAO	Conception assisté par ordinateur
CC	courant continu
CFAO	Contrôle de fabrication assisté par ordinateur
CNC	Machine-outil à commande numérique
CTN	Coefficient de température négatif
CTP	Coefficient de température positif
DP	Decentralized Peripheral
E/S	Entrée/Sortie
FBD	Function Bloc Diagram
FTP	Foiled Twisted Pair
GPAO	gestion de production assistée par ordinateur
HMI	Interface Homme-Machine
IL	Instruction List
ISO	L'organisation internationale de normalisation
IR	Infrarouge
LD	Ladder Diagram
MAU	Multistation Access Unit
MMS	Manufacturing Message Specification
M.O	Matière d'œuvre
OSI	Open Systems Interconnection
PO	Partie Opérative
PC	Partie commande
SCADA	système de contrôle et d'acquisition de données
SFC	Sequential Function Chart
ST	Structured Text
STP	Shielded Twisted Pair
TOR	tout ou rien

Chapitre 1

Introduction

1.1 Généralités et définitions

1.1.1 Définitions du système

Le mot « système » en grec est « systema » qui signifie « ensemble organisé ». C'est un ensemble destiné à apporter, suivant un processus déterminé, une **valeur ajoutée** à la **matière d'œuvre** sur laquelle il agit, afin de répondre à un besoin [1]. Le besoin est spécifié dans le cahier des charges fonctionnel et peut être exprimée et quantifiée en terme économique.

1.1.2 Matière d'œuvre

C'est l'élément sur lequel le système agit, pour la faire passer d'un état initial à un état final. Il peut se présenter sous plusieurs formes :

- ☒ **Un produit** : solide, liquide ou gazeux et sous une forme plus ou moins transformée.
 - Objets techniques : roulement, moteur,...
 - Produit chimiques : pétrole, matière plastique,...
 - Produit textile : fibre, tissu, ...
- ☒ **D'énergie** : électrique, thermique, hydraulique (produire, stocker, transporter, convertir)
- ☒ **D'information** : écrite, audio-visuelle (transmettre, communiquer, décoder,...)

1.1.3 Valeur Ajoutée

C'est la différence entre la Matière d'œuvre sortante et la Matière d'œuvre entrante. Ce peut être

- ☒ Une modification physique de la matière d'œuvre,
 - Traitement mécanique,
 - Traitement chimique ou biologique,
 - Traitement thermique,
 - Conversion d'énergie
- ☒ Une mise en position particulière ou d'un transfert,
- ☒ D'un prélèvement d'information sur ces matières d'œuvre (control, mesure, lecture).

Valeur ajoutée = Matière d'œuvre État Sortant - Matière d'œuvre État Entrant

1.1.4 Tâche

Ensemble d'opérations regroupées selon un critère fonctionnel. Chaque tâche confère une partie de la valeur ajoutée à la matière d'œuvre.

Tâches opératives : tâches pendant lesquelles, le système agit directement sur la matière d'œuvre. Les tâches opératives se traduisent par une modification physique des matières d'œuvre (voir Figure 1-1).

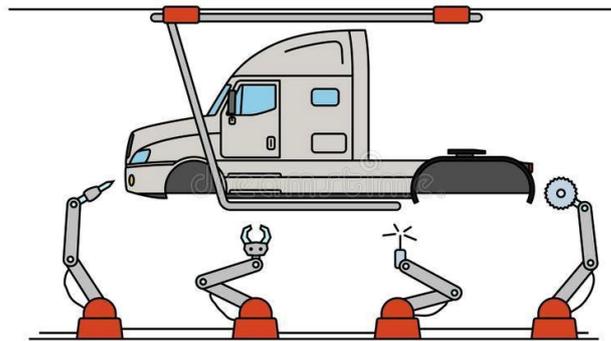


Figure 1-1 : Chaîne de montage de camion de style convoyeur automatique (matière d'œuvre= camion).

Tâches d'acquisition et de traitement des données : tâches pendant lesquelles le système réalise la coordination entre les tâches opératives (voir Figure 1-2).



Figure 1-2: Système d'acquisition de données.

1.2 Approche globale d'un système de production

Un système de production a pour but d'apporter une **valeur ajoutée** à la **matière d'œuvre** [1]. Il élabore des produits qui peuvent être (voir Figure 1-3) :

- 1) Soit des produits finis, directement commercialisés ;
- 2) Soit des produits intermédiaires servant à la réalisation des produits finis.

Le système de production est également alimenté en énergies (électrique, pneumatique, hydraulique...). Il génère des déchets divers : chutes de coupes, eaux sales...

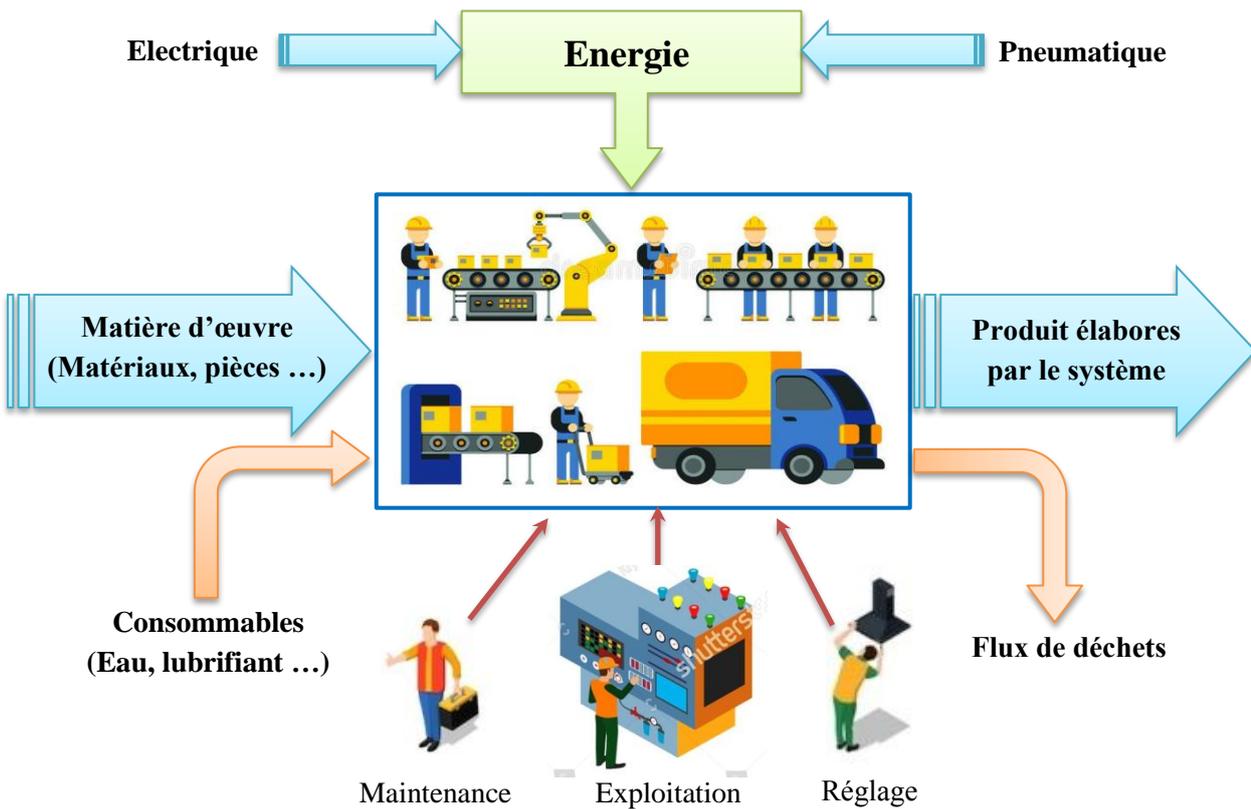


Figure 1-3 : Diagramme d'un système de production,

Le fonctionnement du système de production nécessite différentes interventions humaines :

- ✚ Le personnel d'exploitation assure la surveillance, l'approvisionnement et participe parfois au procédé de production.
- ✚ Le personnel de réglage, procède aux interventions nécessaires pour obtenir la qualité recherchée ou pour démarrer une campagne de production.
- ✚ Le personnel de maintenance intervient lorsque le système de production se trouve en défaillance et procède aux opérations de maintenance préventive.

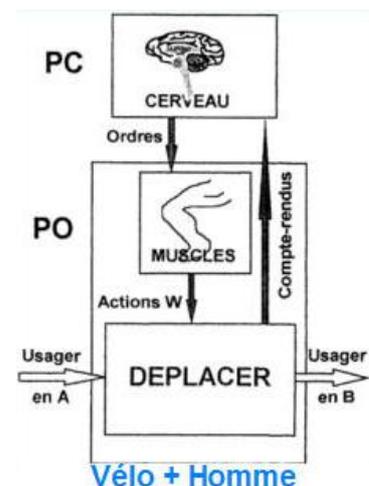
1.2.1 Familles de systèmes techniques

Les objets techniques se situent dans des systèmes que l'on classe en 3 familles, selon les énergies utilisées.

Systemes élémentaires :

Ces sont des systèmes où l'homme fournit toute l'énergie de commande (avec son cerveau) et de puissance (avec ses muscles).

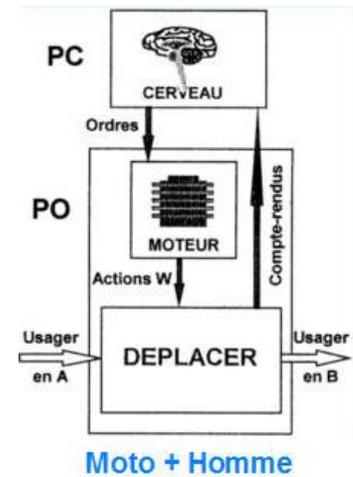
Exemples : tournevis, vélo



Systèmes mécanisés :

Ces sont des systèmes où l'homme fournit seulement l'énergie de commande. La puissance venant d'actionneurs, est fournie par de l'énergie extérieure au système.

Exemples : élévateur électrique, cric hydraulique, moto



Systèmes automatisés :

Ces sont des systèmes possédant une commande interne où l'homme a mémorisé son savoir-faire pour pouvoir être extérieur au système et avoir un rôle de superviseur par rapport à lui. La puissance venant d'actionneurs, est fournie par de l'énergie extérieure au système.

Exemples : ascenseur, machine à laver, systèmes d'emballage (voir Figure 1-4).

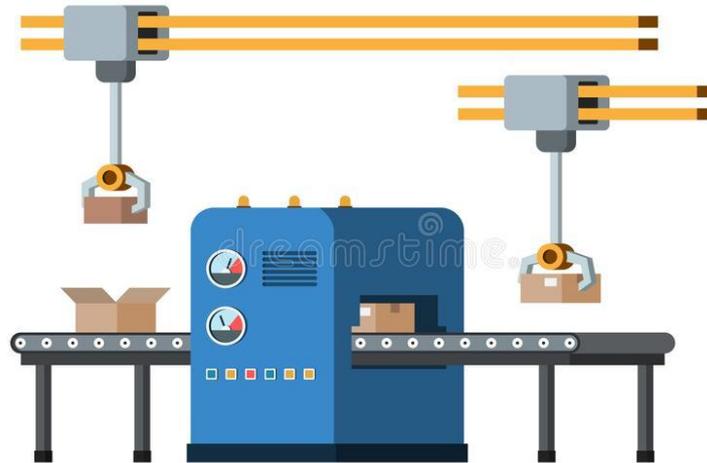


Figure 1-4 : Exemple d'un système automatisé d'emballage.

1.3 Définitions de l'automatisme

Un automatisme est un sous-ensemble d'une machine, destinée à remplacer l'action de l'être humain dans des tâches en générales simples et répétitives, réclamant précision et rigueur [2]. On est passé d'un système dit manuel, à un système mécanisé, puis au système automatisé.

Dans l'industrie

Les automatismes sont devenus indispensables : ils permettent d'effectuer quotidiennement les tâches les plus ingrates, répétitives et, dangereuses. Parfois, ces automatismes sont d'une telle rapidité et d'une telle précision, qu'ils réalisent des actions impossibles pour un être humain. L'automatisme est donc synonyme de productivité et de sécurité [3].

1.4 Objectifs de l'automatisation des productions

L'automatisation d'une chaîne de production permet :

- La réduction des coûts de production quand l'investissement initial est amorti,
- L'augmentation des cadences de production,
- L'amélioration de la qualité du produit lié à la précision des actionneurs,
- Remplacer l'homme dans des travaux pénibles et dangereux.
- Éliminer les tâches répétitives,
- Simplifier le travail de l'humain,
- Augmenter la sécurité (responsabilité),
- Accroître la productivité.

C'est également : Économiser les matières premières et l'énergie,

1.5 Rentabilité d'une automatisation

Comme pour tout investissement, un projet d'automatisation est jugé sur sa rentabilité, celle-ci peut s'exprimer sous forme du temps de retour d'investissement [4].

$$\frac{\text{Investissement}}{\text{gains annuels}} = \text{Nombre d'années pour retour d'investissement (Nba)}$$

- Investissement : étude, réalisation, mises au point, frais financiers
- Gain : économie main d'œuvre, en matière, en énergie ...

Si **Nba** est inférieur à 3 ans, le projet est en général jugé intéressant.

Exemple :

On désire remplacer une vieille chaudière de 300 kW ayant un rendement saisonnier estimé de 75% par une chaudière à condensation ayant un rendement saisonnier estimé de 101%. L'investissement total est de 32 000 DA HTVA.

Comment évaluer la rentabilité de cet investissement?

Un investissement est rentable lorsque le montant de cet investissement est inférieur aux gains procurés durant toute la durée de vie du projet.

Investissement = 32 000 euros HTVA

Gains espérés sur 1 an :

- consommation chaudière actuelle = 45 000 litres fuel/an * 0,47 euros /litre.
- consommation chaudière à condensation = 33 400 litres fuel/an * 0,47 euros/litre

⇒ économie (gain) = 5 452 euros/an

⇒ Rentabilisation en: 32 000 / 5 452 = 5,8 ans.

Chapitre 2

Structure d'un système de production

2.1 Décomposition (PO – PC)

Chaque système automatisé comporte deux parties [5], [6] :

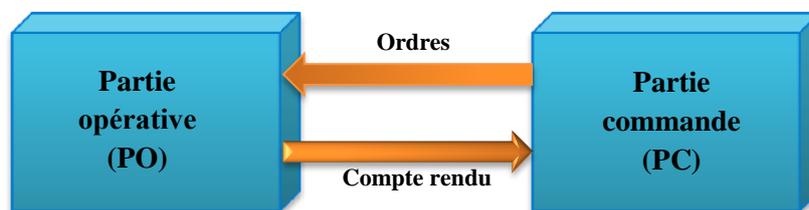


Figure 2-1 : Décomposition (PO – PC),

La Partie Opérative (PO), qui opère sur la matière d'œuvre et le produit. Elle regroupe :

- ☒ Les effecteurs : dispositifs terminaux qui agissent directement sur la matière d'œuvre pour lui donner sa valeur ajoutée (outils de coupe, pompes, têtes de soudure, etc.) ;
- ☒ Les actionneurs : éléments chargés de convertir l'énergie afin de l'adapter au besoin de la partie opérative ; cette énergie étant ensuite consommée par les effecteurs (moteur, vérin, électroaimant, résistance de chauffage, etc.) ;
- ☒ Les pré-actionneurs : éléments chargés :
 - ☞ d'adapter le faible niveau énergétique disponible en sortie de la PC au besoin de la PO ;
 - ☞ de distribuer ou de moduler l'énergie délivrée aux actionneurs (contacteur, distributeur, variateur de vitesse, etc.).
- ☒ Les capteurs qui assument l'ensemble des fonctions de la chaîne d'acquisition de données (fin de course de vérin, détecteur de position, capteur de température, etc.)

La Partie Commande (PC), regroupe les composants (relais électromagnétique, opérateur logique, etc.) et les constituants (API, cartes à microprocesseur, micro-ordinateurs, etc.) destinés au traitement des informations émises par les organes de commande du pupitre et capteurs de la PO. Les ordres résultants sont transmis aux pré-actionneurs de la PO et aux composants de signalisation du pupitre afin d'indiquer à l'opérateur l'état et la situation du système.

La partie opérative = partie commandée

La partie commande = équipement de commande

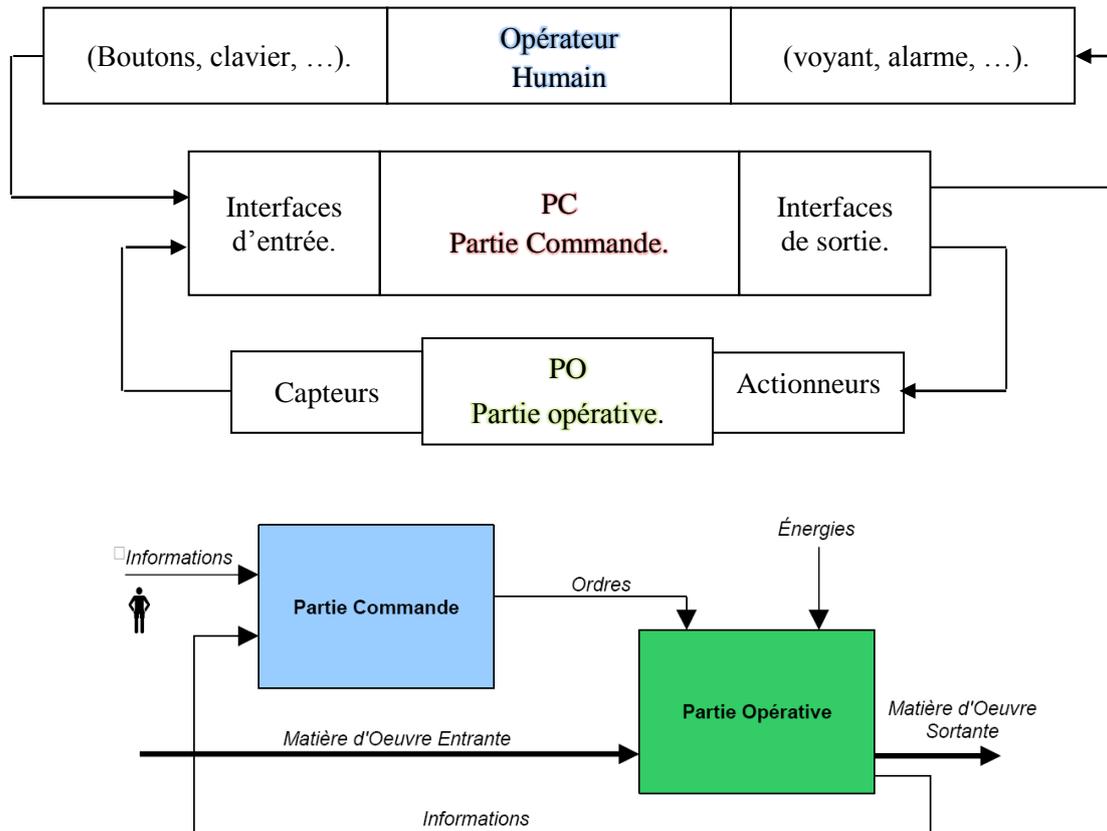


Figure 2-2 : Relation entre partie opérative et partie commande.

2.2 Fonctionnalité de la Partie Commande

La partie commande d'un système automatisé de production est destinée à traiter des informations afin de répondre aux fonctionnalités suivantes :

- ☞ Gestion des entrées/sorties,
- ☞ Traitement des équations combinatoires,
- ☞ Traitement des fonctions de sécurité,
- ☞ Traitement du séquentiel,
- ☞ Fonction de régulation et asservissement,
- ☞ Fonction de calculs,
- ☞ Contrôle de la qualité lié à la production,
- ☞ Participation à la maintenance,

2.3 Structure de la Partie Opérative (PO)

Pour fonctionner, la PO nécessite un apport d'énergie. Celle-ci est, d'une part, répartie et transformée par des actionneurs, et d'autre part, utilisée pour effectuer directement l'opération par des effecteurs.

Représentation fonctionnelle:

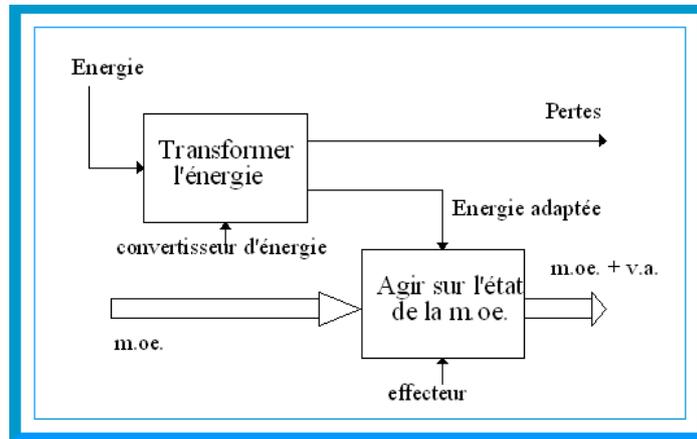


Figure 2-3 : Représentation fonctionnelle de la Partie Opérative (PO).

Exemple 2-1 : Contrôle du flux d'un liquide par une électrovanne

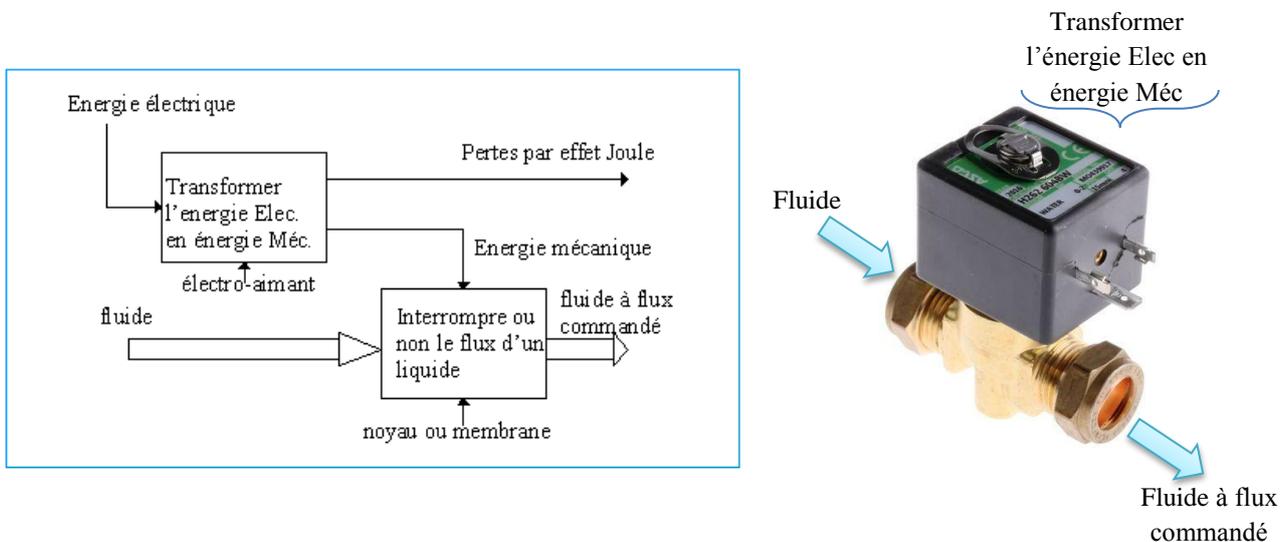


Figure 2-4 : Contrôle du flux d'un liquide par une électrovanne.

D'après cet exemple, on remarque que:

- ☞ La première boîte sert de convertisseur d'énergie. Elle est appelée actionneur,
- ☞ La seconde boîte est adaptée à une action précise. C'est l'effecteur.

2.3.1 Chaîne fonctionnelle

La partie opérative d'un système automatisé peut être décrite en une ou plusieurs chaînes fonctionnelles, ces dernières comportant une chaîne d'action et une chaîne d'acquisition.

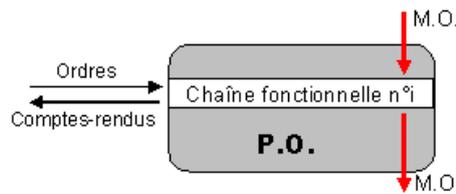


Figure 2-5 : Chaîne fonctionnelle et Partie opérative,

- ☞ **Une chaîne d'action** : est un ensemble organisé de composants dont le rôle est de convertir un ordre émis par la partie commande en effet sur la matière d'œuvre.
- ☞ **Une chaîne d'acquisition** : est un ensemble organisé de composants dont le rôle est de prélever des grandeurs physiques sur la partie opérative ou sur l'environnement et de les convertir en signaux interprétables par la partie commande.

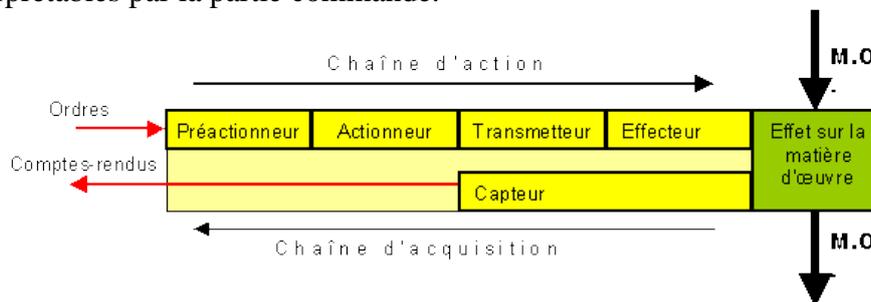


Figure 2-6 : Chaîne d'action et chaîne d'acquisition.

2.4 Eléments la Partie Opérative (PO)

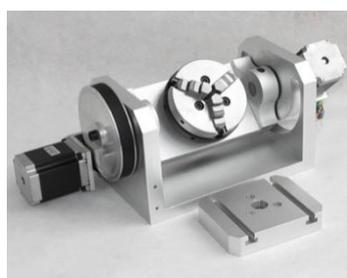
2.4.1 Effecteurs

Les effecteurs sont multiples et variés et sont souvent conçus spécialement pour s'adapter à l'opération qu'ils ont à réaliser sur la matière d'œuvre. Ils reçoivent leur énergie des actionneurs.

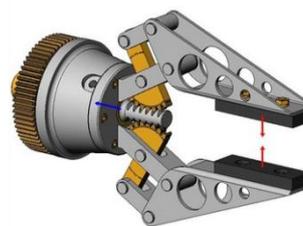


Figure 2-7 : Diagramme fonctionnel,

Quelques exemples d'effecteurs :



(Mors d'étau)



(Pince de robot)

Figure 2-8 : Exemples d'effecteurs.

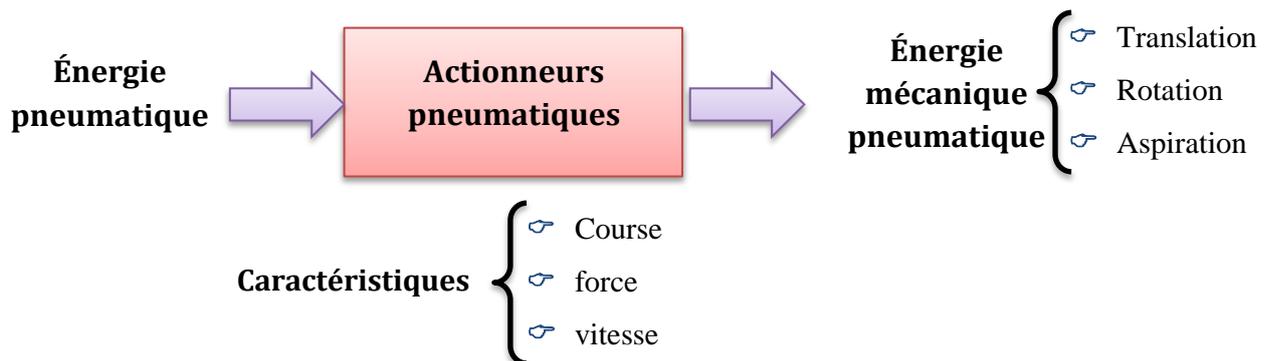
2.4.2 Actionneurs

Convertissent l'énergie qu'ils reçoivent des pré-actionneurs en une autre énergie utilisée par les effecteurs. Ils peuvent être Pneumatiques, Hydrauliques ou Electriques [7].



Figure 2-9 : Diagramme fonctionnel,

a) Actionneurs pneumatiques



Parmi les actionneurs pneumatiques : les vérins, les moteurs, les ventouses.

L'énergie pneumatique est assurée par un compresseur, animé par un moteur électrique.

- Les Vérins pneumatiques

Situation dans le système automatisé :

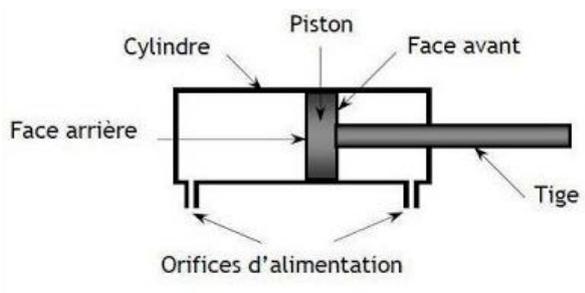
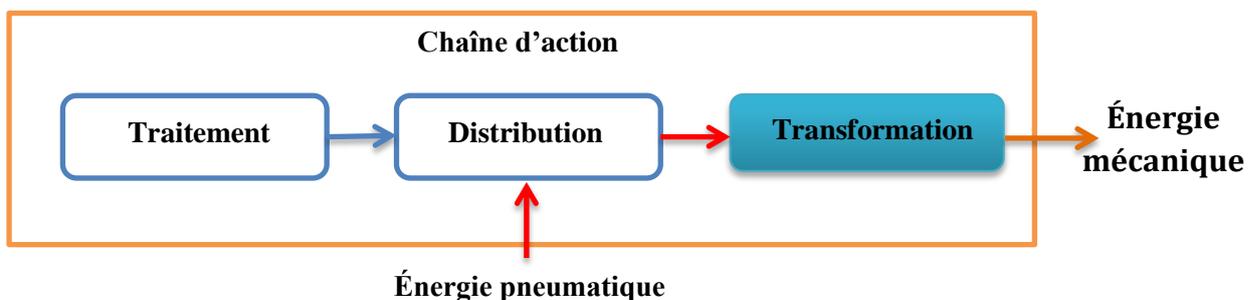


Figure 2-10 : Constitution d'un vérin pneumatique,

Ils utilisent de l'air comprimé, 2 à 10 bars.

Deux types de vérins :

Le vérin simple effet : Ce vérin produit l'effort dans un seul sens. Il n'est donc alimenté que d'un seul côté du piston. Le retour à la position initiale s'effectue en général par un ressort.

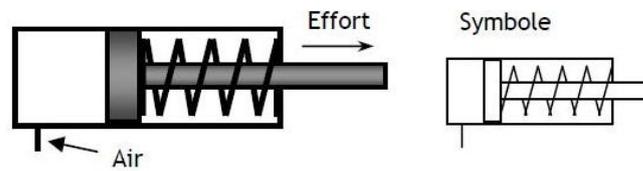


Figure 2-11 : Vérin simple effet.

Avantage : consommation réduite.

Le vérin double effet : Dans un ce type, la sortie et la rentrée de la tige s'effectue par l'application de la pression, alternativement, de part et d'autre du piston. Les vérins doubles effet sont utilisés lorsqu'on a besoin d'effort important dans les deux sens.

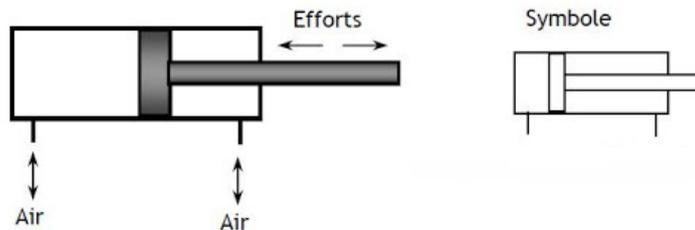


Figure 2-12 : Vérin double effet.

Avantage :

- ☞ Plus grande souplesse d'utilisation,
- ☞ Réglage facile de la vitesse.

Vérin rotatif : L'énergie est transformée en mouvement de rotation ; par exemple, vérin double effet entraînant un système pignon-crémaillère. L'angle de rotation peut varier entre 90 et 360°.

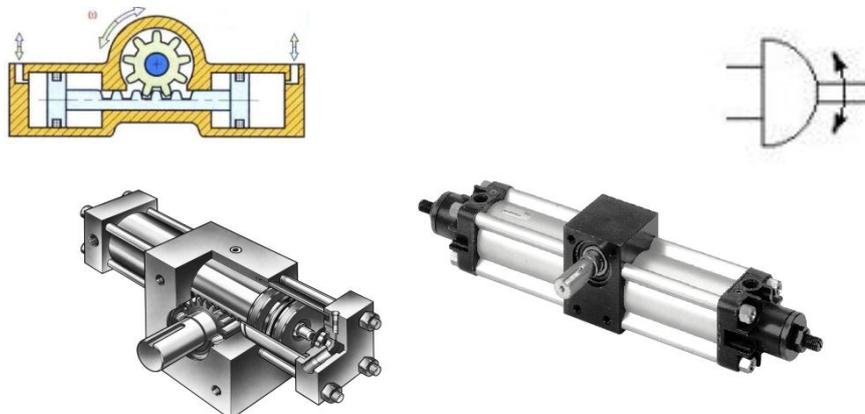
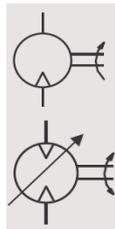


Figure 2-13 : Vérin rotatif.

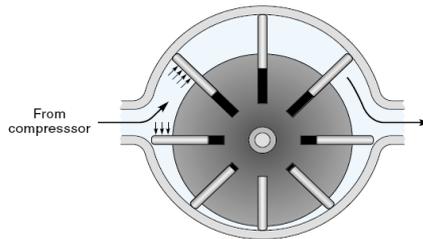
- Les moteurs pneumatiques

Moteur pneumatique rotatif 1 sens

Moteur pneumatique rotatif 2 sens



Symbole



Principe de fonctionnement



Exemple

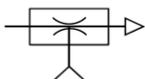
Figure 2-14 : moteurs pneumatiques,

Application :

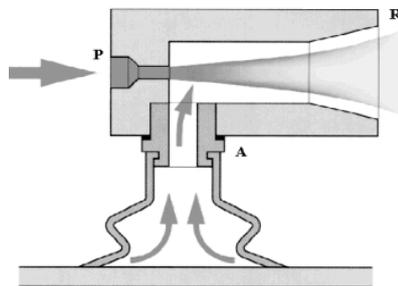
- Le montage automatisé de certains ensembles mécaniques dans l'industrie automobile,
- L'outillage à main (perceuses, visseuses pneumatiques, etc.).

- Les ventouses

La ventouse est un actionneur qui agit en utilisant la dépression.



Symbole



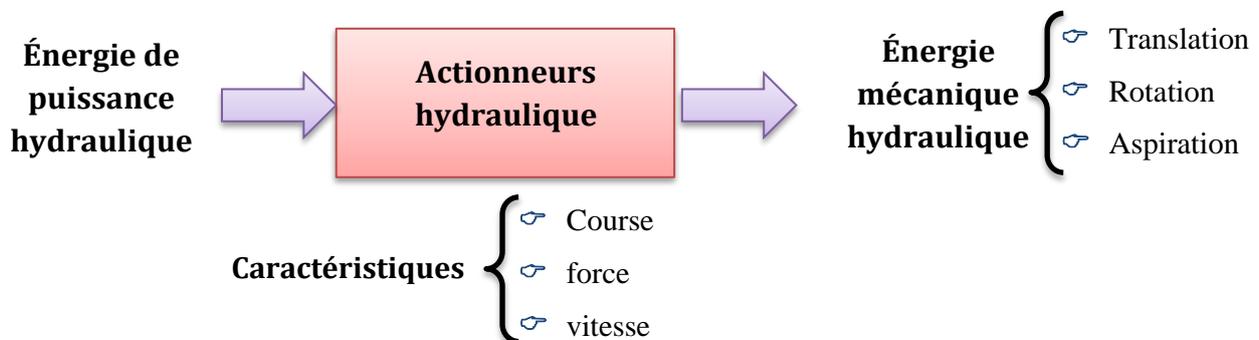
Principe de fonctionnement



Exemple

Figure 2-15 : ventouses pneumatiques,

b) Actionneurs hydraulique

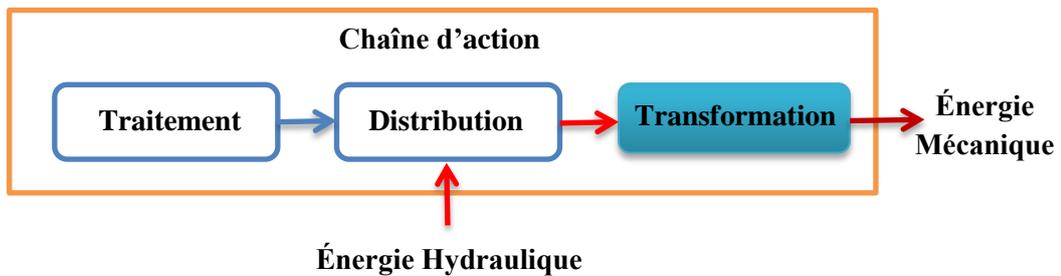


Parmi les actionneurs hydrauliques : Vérins hydraulique, pompe hydraulique, moteurs hydrauliques.

🔗 Vérins hydraulique

Le vérin hydraulique est un appareil qui transforme une énergie hydraulique en énergie mécanique. Ils utilisent l'huile sous pression jusqu'à 350 bars. Par rapport aux vérins pneumatiques ils sont plus couteux et développent des efforts beaucoup plus importants. Les vitesses de tige sont plus précises.

Situation dans le système automatisé :



Principalement on a deux types : vérins simple effet et vérins double effet.

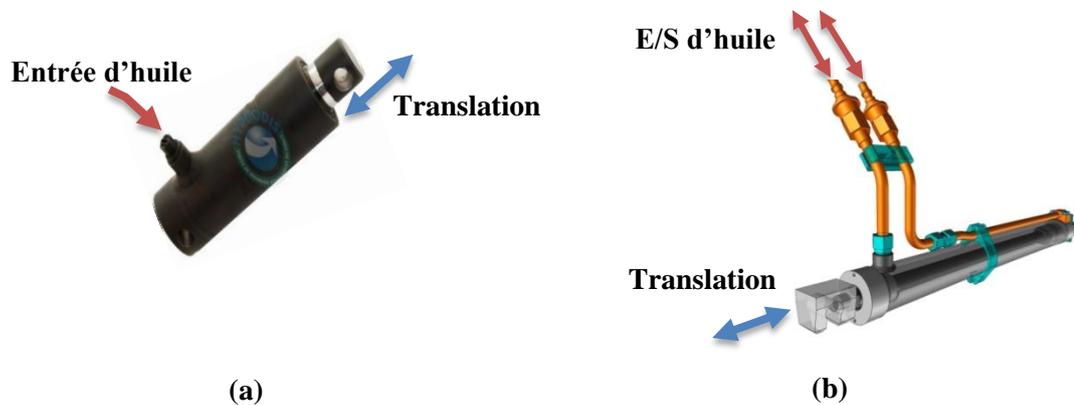


Figure 2-16 : Vérins (a) simple effet, (b) double effet,

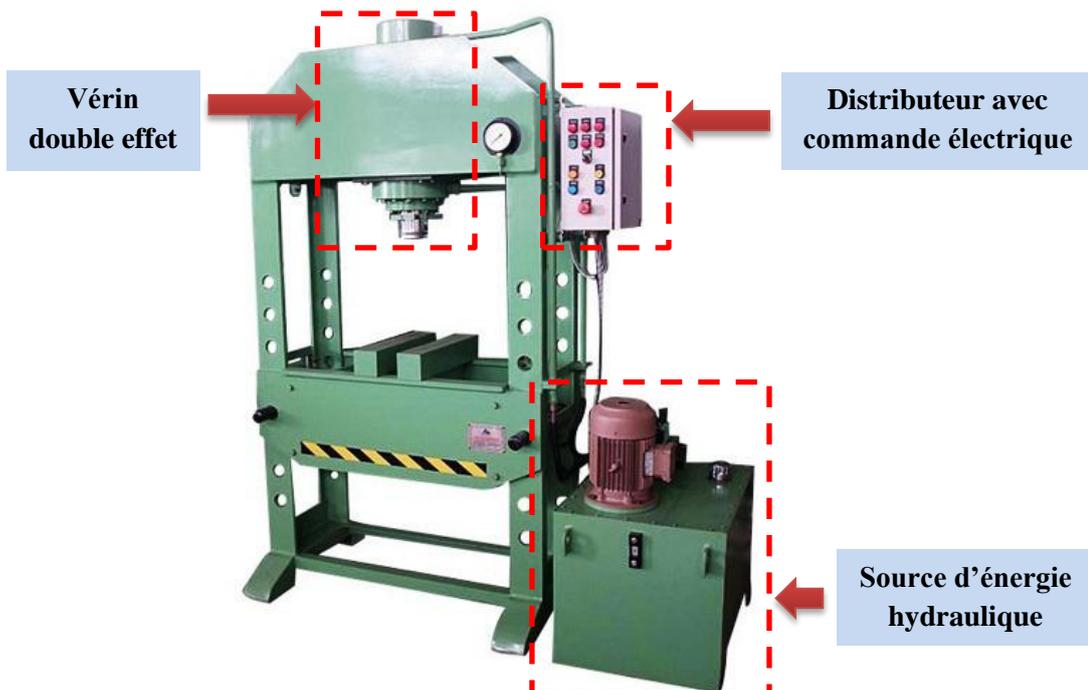


Figure 2-17 : Exemple d'un système hydraulique avec vérins double effet.

🔧 Pompe hydraulique

La pompe est destinée à transformer une énergie mécanique fournie par un moteur, en énergie hydraulique. Son rôle se limite à aspirer l'huile de réservoir et de la refouler. La pompe fournit un débit. Elle est donc un **générateur de débit**.

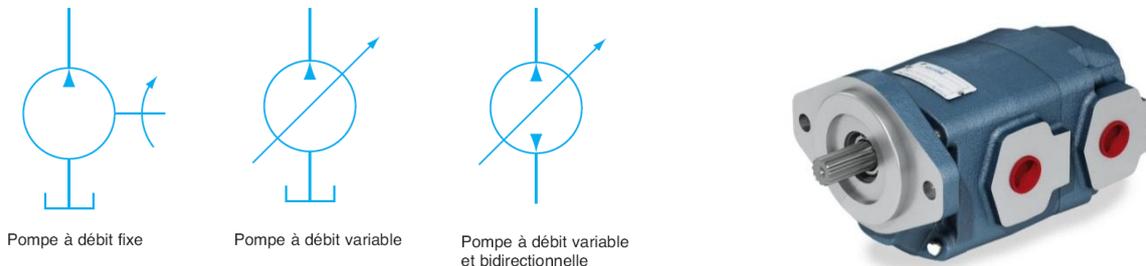


Figure 2-18 : Pompe hydraulique.

🔧 Moteurs hydrauliques

Dans ce type d'actionneur, l'énergie hydraulique fournie par un fluide sous pression est transformée en énergie mécanique. Il en résulte un mouvement de rotation de l'arbre de sortie.

Les moteurs hydrauliques présentent deux caractéristiques :

- ✓ Le couple moteur.
- ✓ La vitesse de rotation.

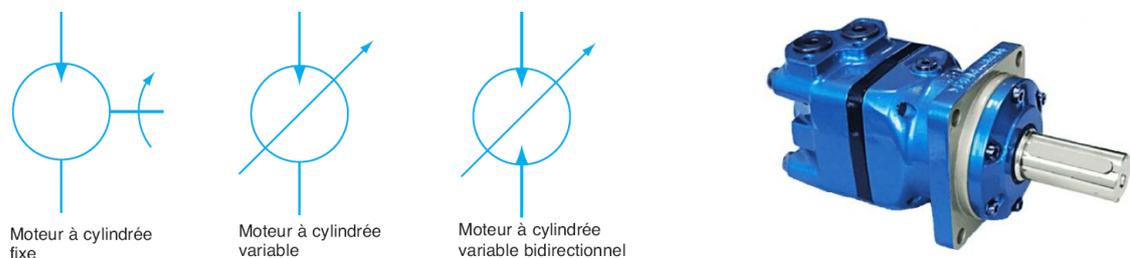
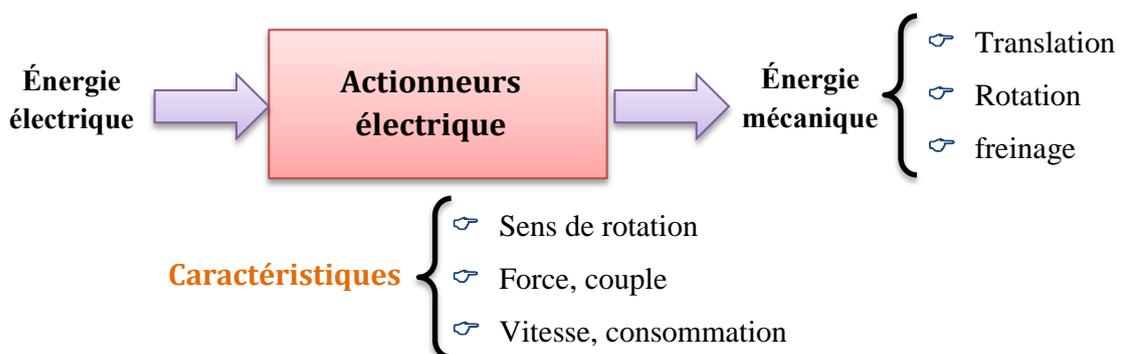


Figure 2-19 : Moteur Hydraulique.

c) Actionneurs électrique



Moteur asynchrone

Transformer l'énergie électrique (courant alternatif triphasé) en énergie mécanique.

Le moteur comporte deux parties :

- 1) Une partie fixe, le stator,
- 2) Une partie mobile, le rotor.

Pour le moteur asynchrone, la vitesse du rotor n'est donc pas proportionnelle à la fréquence du courant qui alimente le stator.

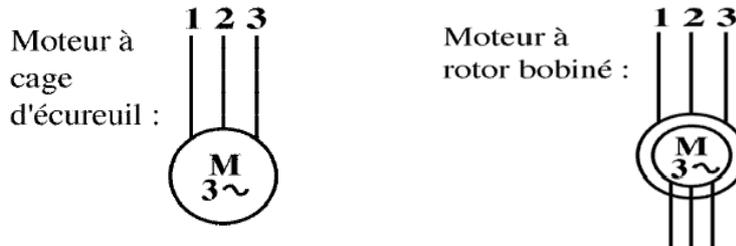


Figure 2-20 : Symboles du moteur Asynchrone,



Exemple de Moteur



Constituants

Figure 2-21 : Constituants du moteur asynchrone.

Moteur synchrone

Le moteur synchrone se compose, comme le moteur asynchrone, d'un stator et d'un rotor séparés par un entrefer. La seule différence se situe au niveau de la conception du rotor.

Pour le moteur synchrone, la vitesse du rotor est donc proportionnelle à la fréquence du courant triphasé qui alimente le stator.

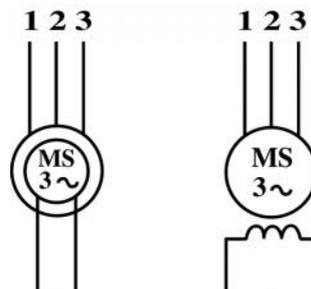


Figure 2-22 : Symboles du moteur synchrone,

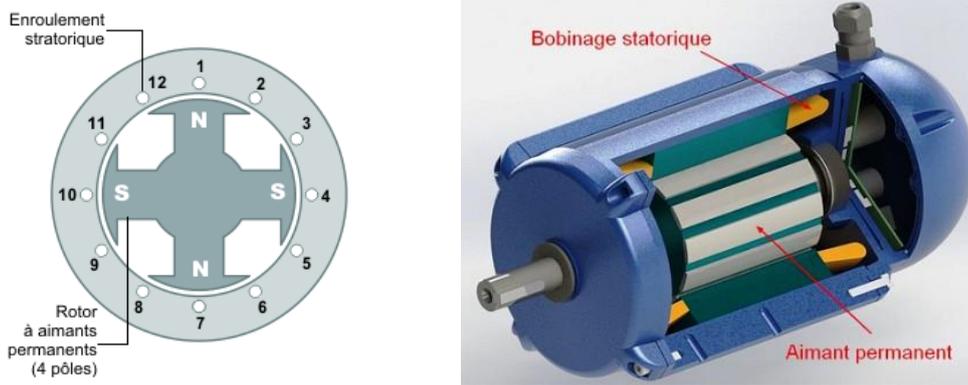


Figure 2-23 : Constituents du moteur synchrone.

🔗 Moteur à courant continu

À puissance égale, son prix est deux fois plus élevé que celui d'un moteur asynchrone triphasé

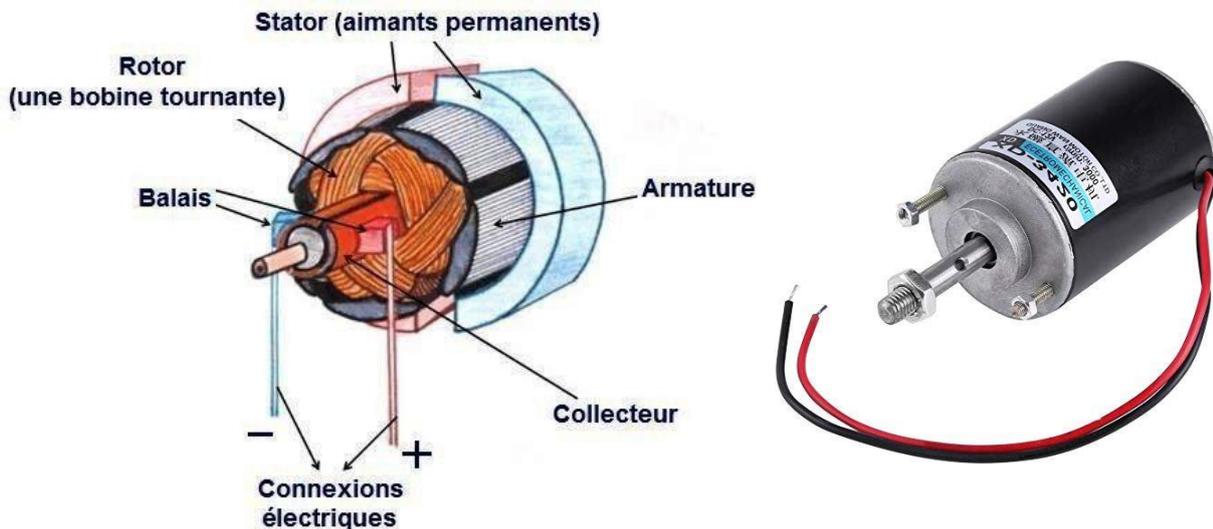


Figure 2-24 : Constitution du moteur à courant continu,

- **Le stator ou inducteur :** C'est un électro-aimant ou un aimant permanent. Il possède deux pôles fixes N et S (Nord et Sud). Son circuit est appelé : circuit d'excitation.
- **Le rotor ou induit :** Il est constitué d'un nombre important de bobinages indépendants. A l'extrémité du rotor, chacune des extrémités de chacun des bobinages est reliée à une lame du collecteur. Les lames du collecteur sont isolées entre elles.
- **Les balais :** Appelés couramment « charbons » Ce sont des morceaux de carbone (prismatiques) qui assurent la liaison électrique entre les fils d'alimentation de l'induit et les bobinages par l'intermédiaire du collecteur (voir Figure 2-25).

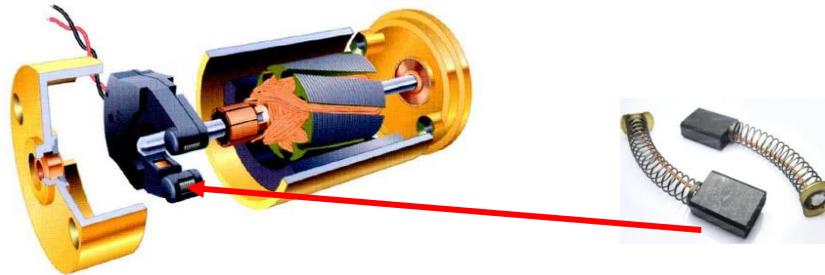


Figure 2-25 : Les balais.

▪ **Le sens de rotation**

Il est défini par les polarités de l'inducteur et de l'induit. Pour changer le sens de rotation de ce moteur, il suffit d'inverser la polarité de l'inducteur ou de l'induit.

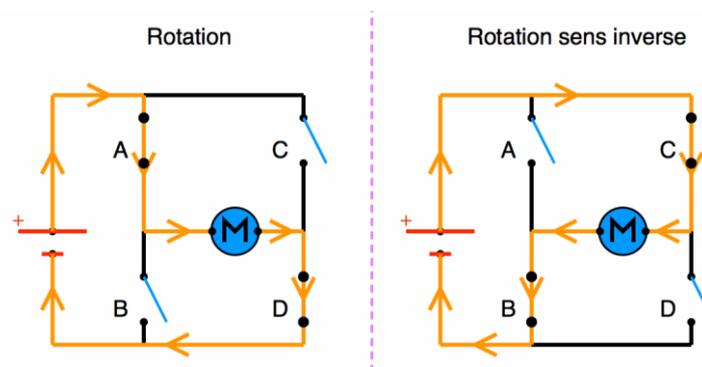


Figure 2-26 : circuit de changement du sens de rotation

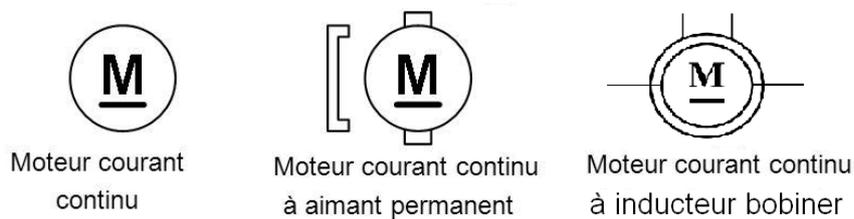


Figure 2-27 : Symboles de moteur à CC

Remarque :

L'avantage principal des moteurs à courant continu est :

- ☞ Variation de vitesse facile,
- ☞ Couple important à basse vitesse et facile à contrôler,
- ☞ Coût moyen ou élevé

Inconvénients :

- ☞ Plus la vitesse de rotation est élevée → Echauffement important
- ☞ Aux vitesses élevées les balais doivent donc être remplacés très régulièrement ;
- ☞ Poids de l'ensemble moteur variateur important
- ☞ Fonctionnement à grande vitesse pouvant créer un arc et une usure prématurée des balais.

🔗 Moteur PAS A PAS

- 🔗 La rotation de ce type de moteur est discontinue.
- 🔗 Le stator est constitué de plusieurs bobines alimentées successivement par des impulsions de courant continu.
- 🔗 Le rotor est constitué d'un aimant permanent qui va s'aligner sur les directions successives de l'induction ou d'un rotor denté en matériau magnétique qui s'aligne dans la position de réluctance minimale.

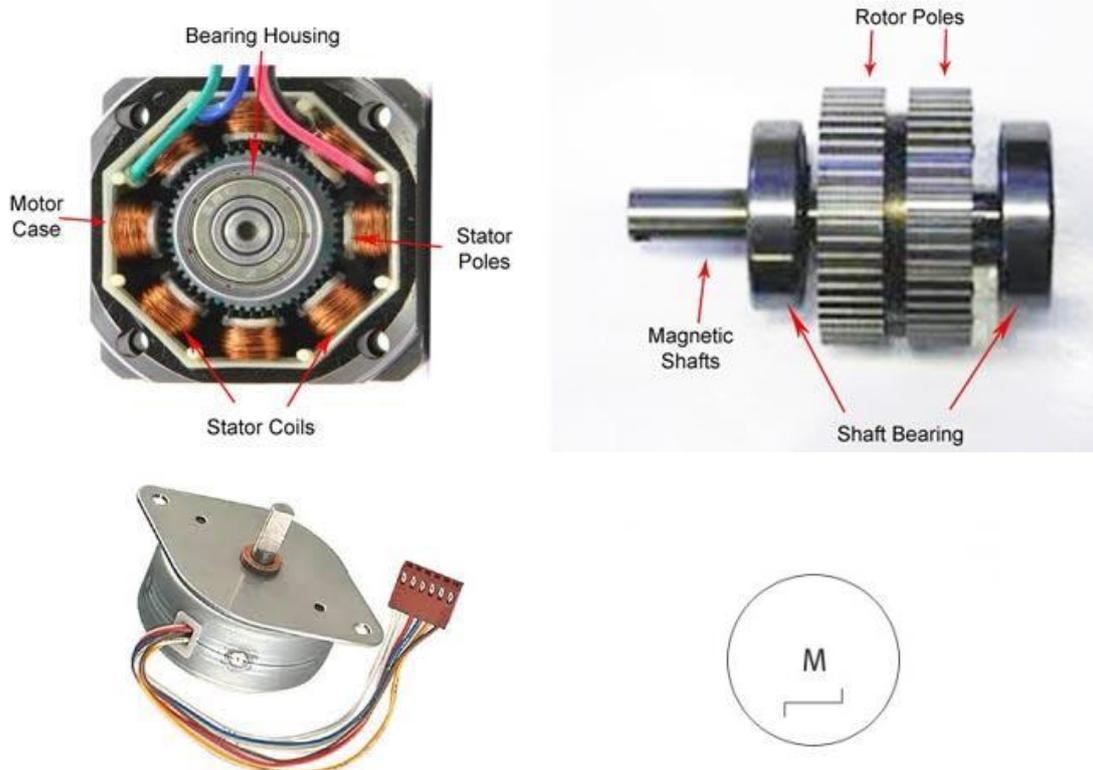


Figure 2-28 : moteur pas à pas

Application

Ce type de moteur est très courant dans tous les dispositifs où l'on souhaite faire du contrôle de vitesse ou de position en boucle ouverte, typiquement dans les systèmes de positionnement et d'indexation.

Caractéristiques

- Nombre de positions, ou pas par tour
- Couple maximum disponible en régime permanent
- Mise en œuvre facile (pas de capteur)
- Pas d'entretien, et coût modeste
- Principe de commande simple par chaîne directe
- Existence d'un couple de maintien

☞ L'électroaimant

Un électroaimant standard est un actionneur linéaire dans lequel la force magnétique est utilisée pour obtenir un mouvement rectiligne. La course est assurée par l'effet de la force magnétique et le retour par des forces extérieures (ressort, gravité...)

Applications :

- La serrure électrique d'une porte,
- Relais électromagnétiques, les disjoncteurs, les télérupteurs,
- Les injecteurs de carburant (essence et gazole) des moteurs montés dans les automobiles actuelles,
- Verrouillage, contrôle d'accès, commande de valves.

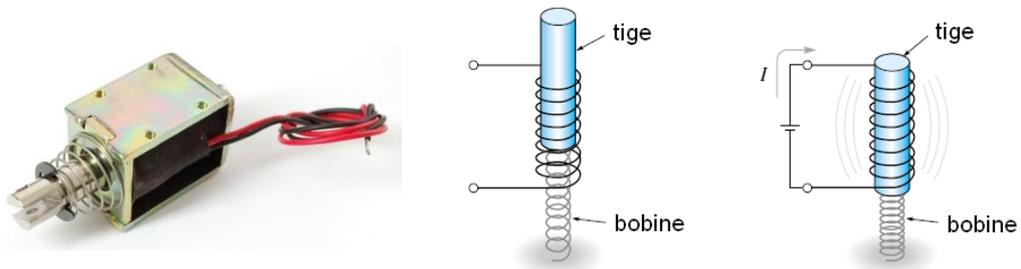


Figure 2-29 : L'électroaimant

2.4.3 Pré-Actionneur

Distribuent l'énergie aux actionneurs à partir des ordres émis par la partie commande [8].

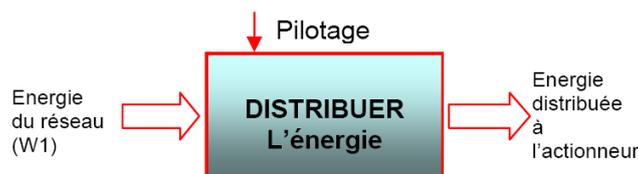


Figure 2-30 : Diagramme fonctionnel du pré-actionneur

La plupart des pré-actionneurs sont dits « tout ou rien », c'est-à-dire que :

- ☞ Soit ils empêchent l'énergie d'aller vers l'actionneur,
- ☞ Soit ils font passer tout le flux d'énergie disponible vers l'actionneur,

Ils dépendent du type d'énergie, du type d'actionneur utilisé et de la technologie de la Partie Commande.

Energie	Pré-actionneur
Electricité	Contacteur
Pneumatique	Distributeur
Hydraulique	Distributeur

a) Distributeurs

Les distributeurs pneumatiques (hydraulique) sont des éléments de la chaîne d'énergie. Ils distribuent de l'air (huile) comprimé aux actionneurs pneumatiques (hydraulique), à partir d'un signal de commande (pilotage).

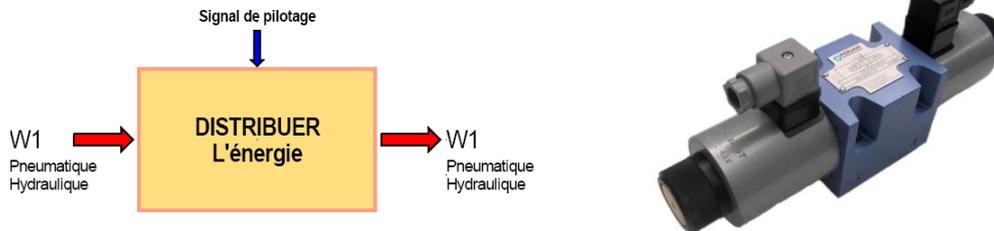


Figure 2-31 : Schéma fonctionnel d'un distributeur,

Ils permettent de :

- Contrôler le mouvement de la tige d'un vérin ou la rotation d'un moteur hydraulique ou pneumatique (distributeurs de puissance) ;
- Choisir le sens de circulation d'un fluide (aiguiller, dériver, etc.) ;
- Exécuter, à partir d'un fluide, des fonctions logiques (fonctions ET, OU, mémoire, etc.) ;
- Démarrer ou arrêter la circulation d'un fluide (robinet d'arrêt, bloqueur, etc.)

Représentation schématique

Chaque position du distributeur est symbolisée par un carré.



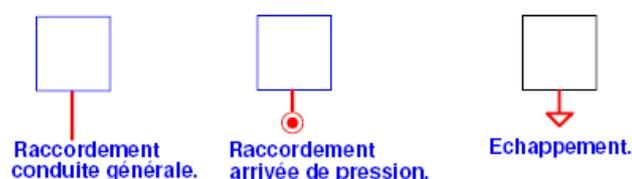
Flèches : dans chaque case ou position, les voies sont figurées par des flèches indiquant le sens de circulation du fluide entre les orifices.

T : les orifices non utilisés dans une position sont symboliquement obturés par un T droit ou inversé.

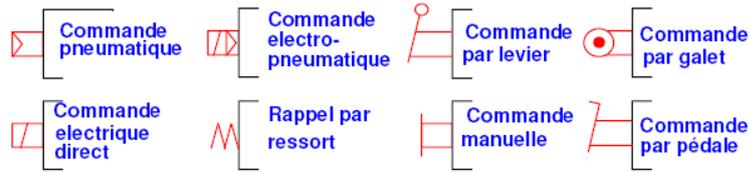


Source de pression : Elle est indiquée par un cercle noirci en hydraulique, clair en pneumatique.

Echappement est symbolisé par un triangle noirci en hydraulique, clair en pneumatique.



La représentation des différents types de commande, s'ajoute de chaque côté du symbole de base.

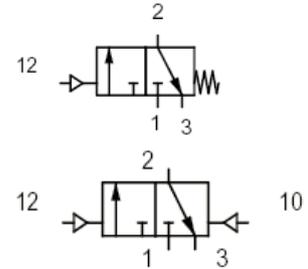


Distributeur MONOSTABLE :

Si le distributeur possède un rappel par ressort

Distributeur BISTABLE :

Si le distributeur possède deux pilotages



Désignation :

Un distributeur sera désigné par le nombre d'ORIFICES qu'il comporte (Nb d'orifices par case) et le nombre de positions pouvant être occupées par le tiroir (Nb de cases).

Repérage des orifices :

Les orifices sont repérés de la façon suivante :

- ①..... Alimentation
- Chiffres pairs..... Sorties (vers l'organe à commander)
- Chiffres impairs..... Echappements

Exemple :

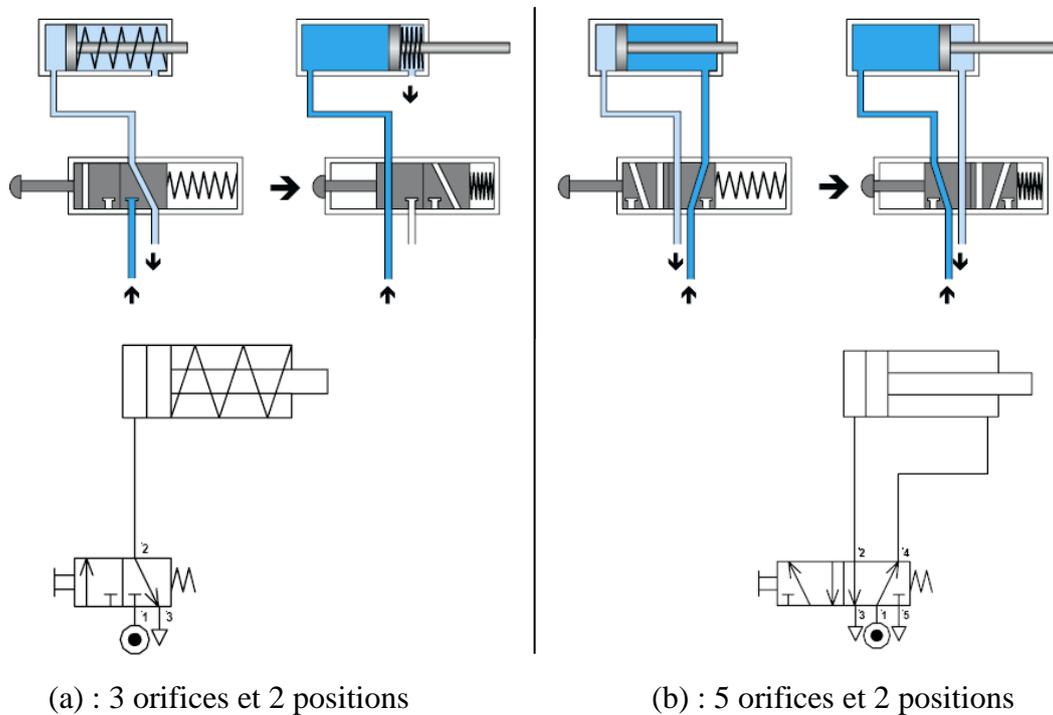


Figure 2-32 : (a) Distributeur 3/2 monostable, (b) Distributeur 5/2 monostable,

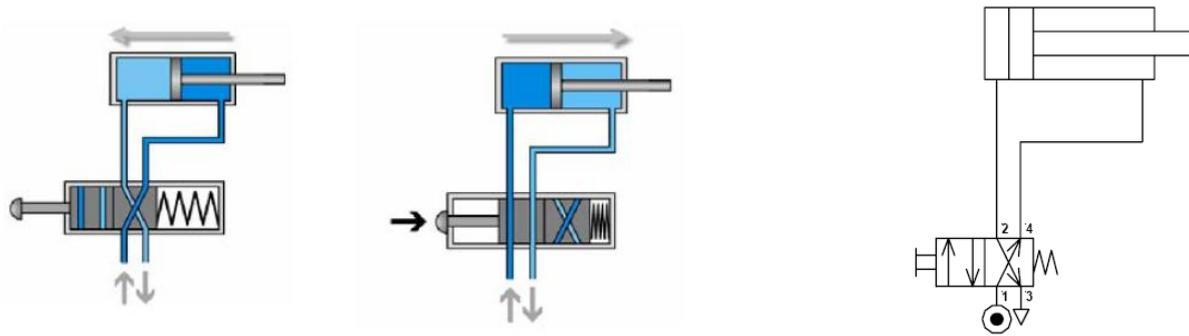


Figure 2-33 : Distributeur 4/2 monostable (4 orifices et 2 positions).

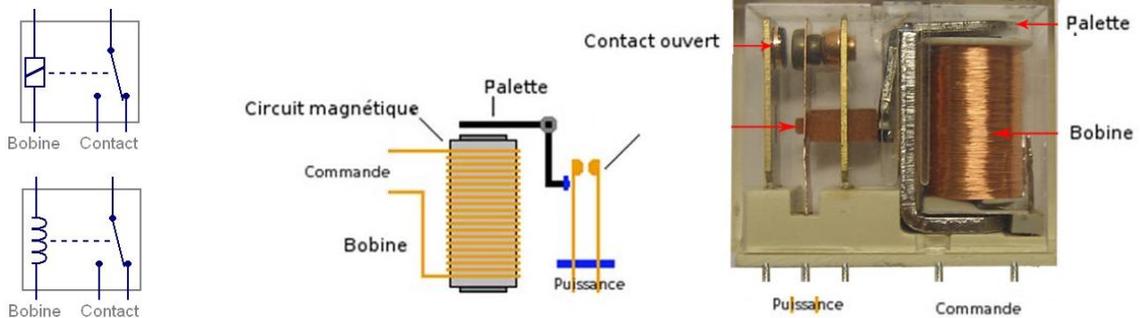
b) Contacteurs et relais

b-1) Relais

Le relais est un composant électrique réalisant la fonction d'interfaçage entre un circuit de commande, généralement bas niveau, et un circuit de puissance alternatif ou continu (Isolation galvanique). On distingue deux types de relais : le relais électromagnétique et le relais statique.

Relais électromagnétique :

Un relais électromagnétique est constitué d'une bobine alimentée par le circuit de commande, dont le noyau mobile provoque la commutation de contacts pouvant être placé dans un circuit de puissance. Le relais électromagnétique est réservé pour les faibles puissances.



Symbole du relais

Constituants du relais

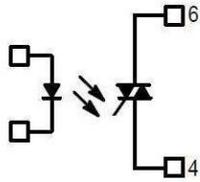
Figure 2-34 : Relais électromagnétique

Caractéristiques fondamentales :

- Tension d'alimentation : C'est une tension continue qui permet d'exciter la bobine.
- La résistance de la bobine : paramètre permettant de déterminer le courant circulant dans le circuit de commande.
- Le courant des contacts : c'est le courant maximal que peut commuter les contacts de relais sans dommage.

Relais statique :

Est un dispositif permettant de commuter un courant électrique sans recours à des éléments mécaniques ou électromécaniques.



Symbole du relais statique



Exemple du relais statique

Figure 2-35 : Relais statique.

b-2) Contacteur

Un contacteur est un relais électromagnétique particulier, pouvant commuter de fortes puissances grâce à un dispositif de coupure d'arc électrique. Sa commande peut être continue ou alternative. Sa constitution est comme suit :

- Des pôles principaux de puissance ;
- Un contact auxiliaire (avec possibilité d'ajouter au contacteur un bloc de contacts auxiliaires instantanés ou temporisés) ;
- une armature fixe et un autre mobile ;
- Un ressort de rappel ;
- Un circuit magnétique ;
- Une bobine de commande du contacteur.

Si la bobine est alimentée elle attire l'armature mobile pour actionner les pôles de puissance ; Si elle n'est pas alimentée, un ressort de rappel ouvre les pôles de puissance.

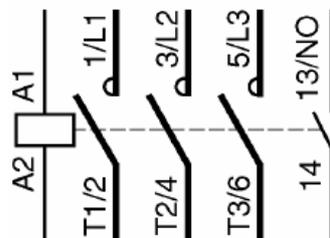


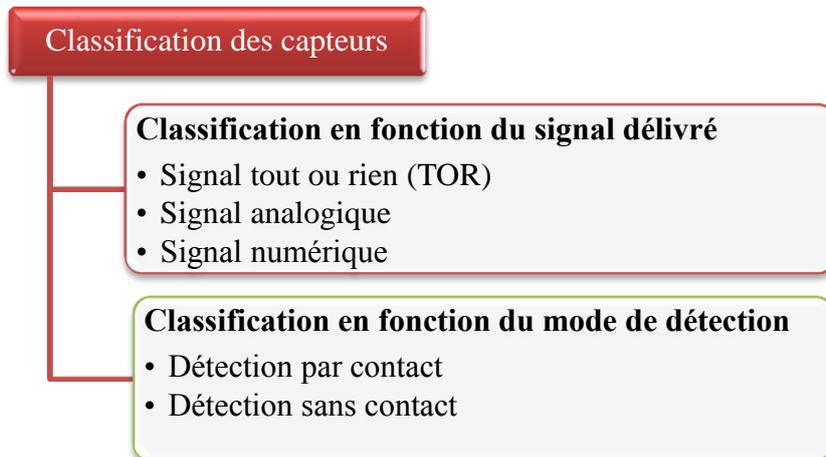
Figure 2-36 : Contacteur.

2.4.4 Capteur



Rôle: Fournir à la partie commande des **informations** sur l'état de la partie opérative [9], [10].

Il convertit les **informations** physiques de la PO en grandeurs **électriques** exploitables par la PC.



a) Classification en fonction du signal délivré

On distingue les grandes familles de capteurs par le type de signal qu'ils transmettent :

a-1) Signal délivré Tout Ou Rien (TOR)

Ce sont les capteurs les plus répandus en automatisation (interrupteurs de position, détecteurs de proximité...). Les capteurs TOR ne délivrant que deux états 0 et 1 sont généralement appelés des détecteurs.

Utilisation :

Détecteur de position, fin de course, détection de présence d'objets solides

Exemple : Détecteur de position mécanique (TOR)

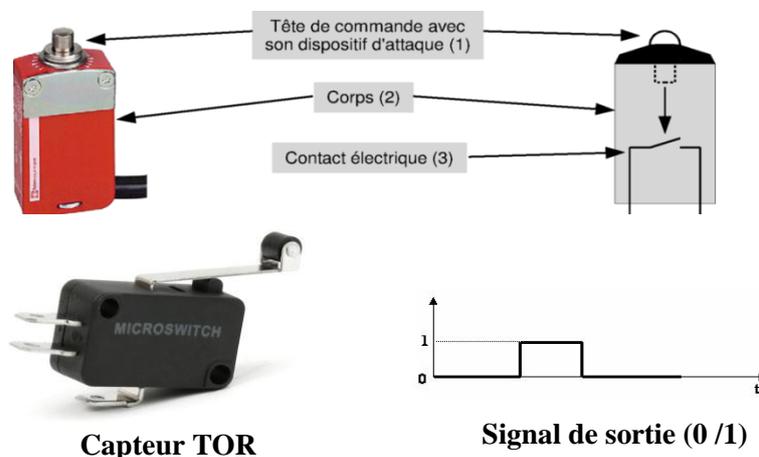


Figure 2-37 : Capteur TOR,

Avantage :

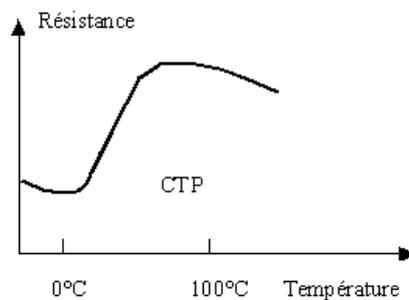
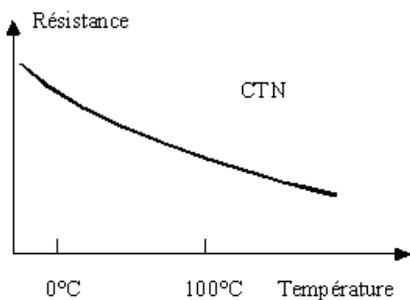
1. Sécurité de fonctionnement élevée,
2. Fiabilité des contacts,
3. Tension d'emploi élevée,
4. Mise en œuvre simple, fonctionnement visualisé,
5. Grande résistance aux ambiances industrielle.

a-2) Signal délivré analogique

Un capteur analogique fournit une image électrique (tension 0-10V ou courant 4-20mA) d'une grandeur physique évoluant continument dans le temps, dans une gamme de variation donnée.

Exemple :

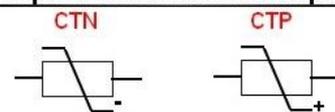
☒ Capteur de température CTN CTP



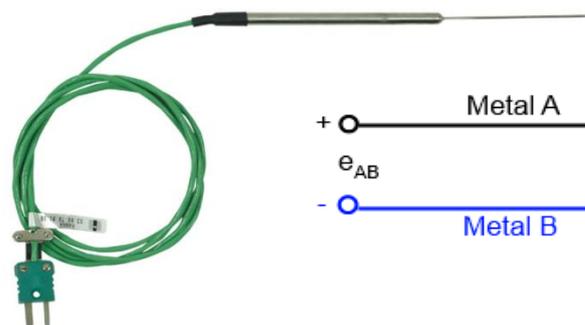
CTN (Coefficient de température négatif)

CTP (Coefficient de température positif)

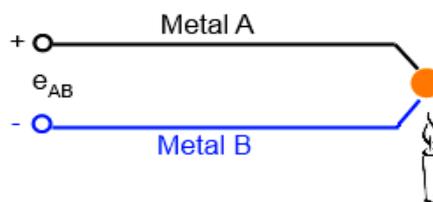
Représentation schématique



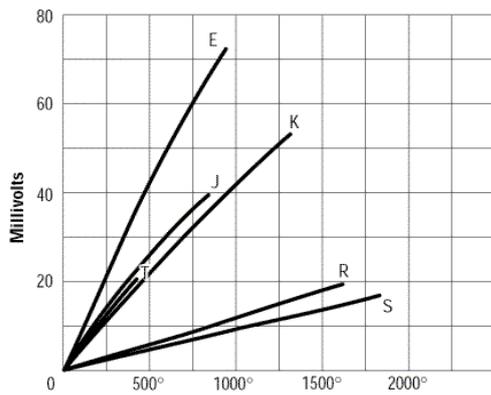
☒ Capteur de température thermocouple



Capteur thermocouple



Principe de thermocouple



Type	Métal A (+)	Métal B (-)
E	Chromel	Constantan
J	Fer	Constantan
K	Chromel	Alumel
R	Platine	Platine 13% Rhodium
S	Platine	Platine 10% Rhodium
T	Cuivre	Constantan

Figure 2-38 : Tension des thermocouples en fonction de la température,

a-1) Signal délivré numérique

Le signal délivré est une combinaison de Bits formant un signal numérique. Pouvant être lus sur 8, 16, 32 bits.

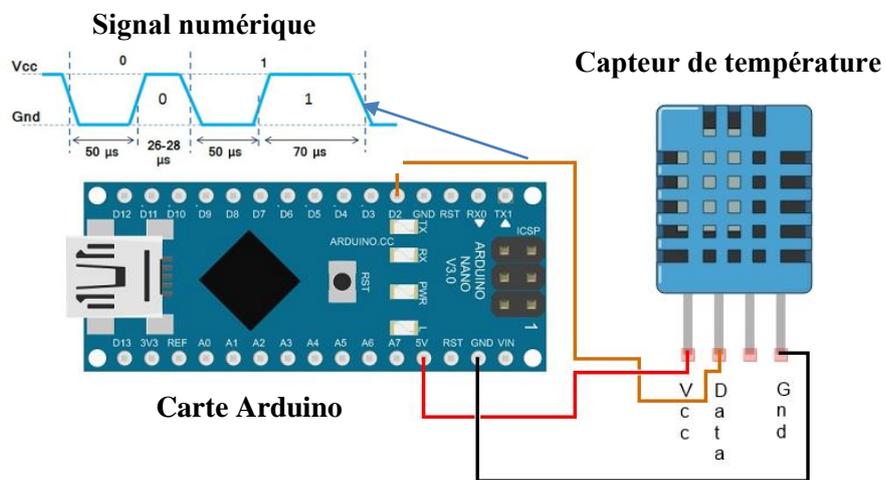


Figure 2-39 : exemple d'un capteur avec signal délivré numérique.

b) Classification en fonction du mode de détection

b-1) Détection par contact

- L'objet à détecter entre en contact avec le dispositif d'attaque,
- Le mouvement engendré provoque le basculement du contact électrique,
- Signal de sortie électrique (pneumatique) de type TOR.

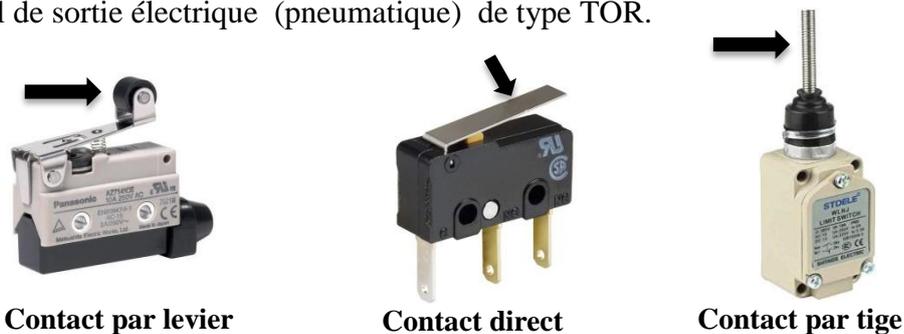


Figure 2-40 : Exemple des capteurs avec détection par contact.

b-2) Détection sans contact

- Le détecteur émet un champ magnétique ou électrique qui se trouve perturbé par la proximité d'un objet :
 - **Métallique** : Détecteur inductif (émission d'un champ magnétique)
 - **Non métallique** : Détecteur capacitif (émission d'un champ électrique)
- Signal de sortie électrique TOR
- Ou signal de sortie proportionnel à la distance.

Exemple : Détecteur de proximité inductif (TOR)

Basée sur la variation d'un champ magnétique à l'approche d'un objet conducteur du courant électrique.



Figure 2-41 : Capteur de proximité inductif TOR,

Utilisation:

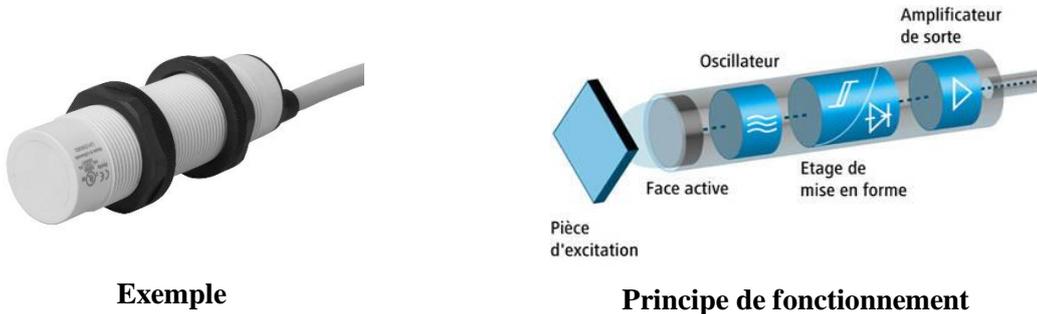
Ce type de capteur est réservé à la détection sans contact d'objets métalliques. L'objet est donc à proximité du capteur mais pas en contact contrairement à un détecteur de position.

Avantage :

- Pas de contact physique avec l'objet détecté.
- Possibilité de détecter des objets fragiles,
- Durée de vie indépendante du nombre de manœuvres.
- Produit entièrement encapsulé dans la résine donc étanche.
- Très bonne tenue à l'environnement industriel: atmosphère polluante

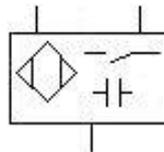
Exemple : Détecteur de proximité capacitif (TOR)

Basé sur la variation d'un champ électrique à l'approche d'un objet quelconque.

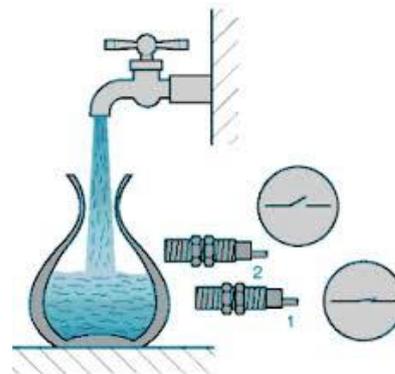


Exemple

Principe de fonctionnement



Symbole



Exemple d'application

Figure 2-42 : Capteur de proximité capacitif TOR,

Utilisation:

- Détection à courte distance d'objets métalliques ou non.
- Contrôle de niveau de liquide et de poudre.

Avantage :

- Pas de contact physique avec l'objet détecté.
- Pas d'usure; possibilité de détecter des objets fragiles,
- Détecteur statique, pas de pièces en mouvement.
- Durée de vie indépendante du nombre de manœuvres.
- Produit entièrement encapsulé dans la résine donc étanche.
- Très bonne tenue à l'environnement industriel: atmosphère polluante

b-2) Détection à distance d'un objet

Un rayon lumineux est interrompu par l'objet à détecter, Un photorécepteur traduit cette présence en un signal électrique. Il existe 3 systèmes de détection photo-électrique.

1) Le système Barrage

L'émetteur et le récepteur sont dans 2 boîtiers séparés. L'objet est détecté lorsqu'il interrompt le faisceau lumineux.

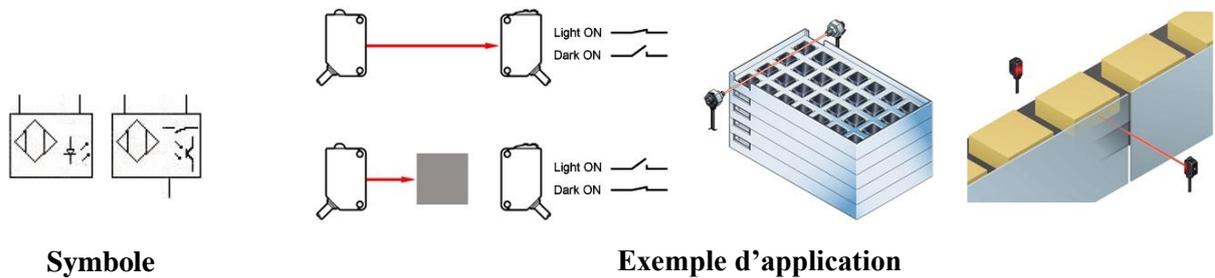


Figure 2-43 : Système Barrage

2) Le système reflex

L'émetteur et le récepteur sont dans le même boîtier. Le faisceau émis est renvoyé au récepteur par un réflecteur. La détection se fait par coupure du Faisceau.

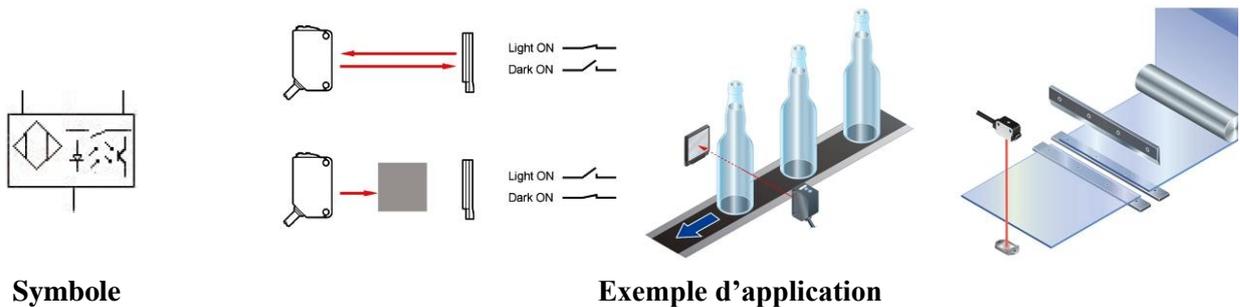


Figure 2-44 : Système reflex.

3) Le système de proximité

L'émetteur et le récepteur sont dans le même boîtier. La détection se fait lorsque le faisceau est réfléchi par la pièce à détecter.

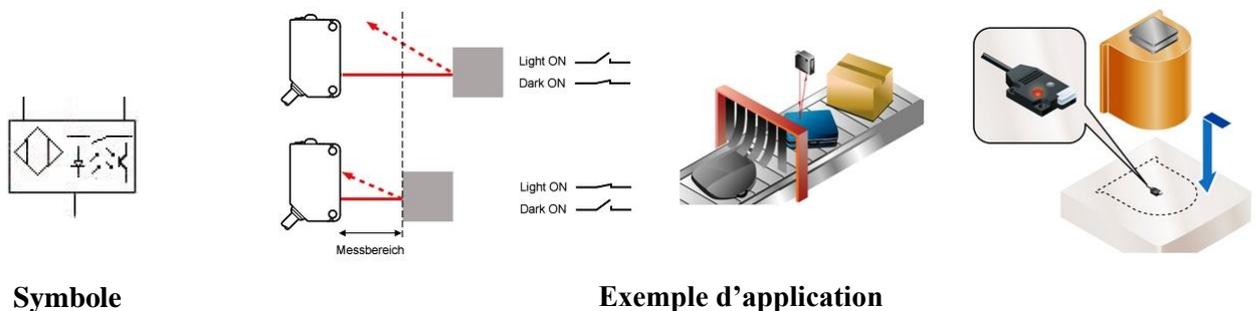


Figure 2-45 : Système de proximité.

2.5 Traitement

Dans la chaîne d'acquisition, les informations (comptes rendus et consignes) issues de la fonction « acquérir » doivent être traitées puis communiquées à l'environnement [11].



Figure 2-46 : Diagramme fonctionnel de l'unité de traitement.

2.6 Dialogue (HMI, SCADA...).



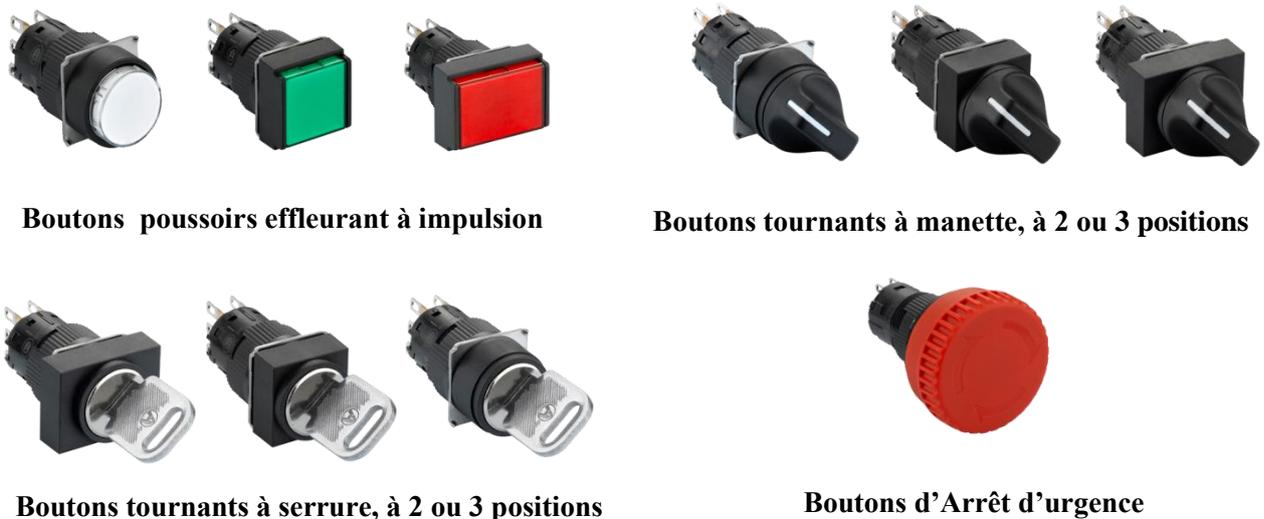
Figure 2-47 : Diagramme fonctionnel de l'unité de dialogue.

L'unité de dialogue permet à l'opérateur d'envoyer des consignes à l'unité de traitement et de recevoir de celle-ci des informations sur le déroulement du processus.

a) Interface Homme/Machine (IHM)

a-1) Les boutons poussoirs

Les boutons poussoirs sont utilisés lorsque les informations transférées vers le système sont limitées à des signaux Tout Ou Rien (TOR).



Boutons poussoirs effleurant à impulsion

Boutons tournants à manette, à 2 ou 3 positions

Boutons tournants à serrure, à 2 ou 3 positions

Boutons d'Arrêt d'urgence

Figure 2-48 : boutons poussoirs industriels.

a-2) Les claviers

Les claviers permettent la saisie d'informations alphanumériques et la modification de données et paramètres ; comme le nombre de pièces à fabriquer.



Figure 2-49 : Clavier industriels.

a-3) Les voyants

Les voyants sont des témoins lumineux qui constituent une interface de dialogue simple donnant à l'opérateur des informations sur l'état du système automatisé.



- **ROUGE** : Urgence ou condition dangereuse,
- **JAUNE** : Condition anormale ou dangereuse,
- **VERT** : Préparation de conditions normales,
- **BLANC** : Information générale.

Figure 2-50 : Voyants industriels.

a-4) Les afficheurs numériques

Dans certaines applications industrielles, le contrôle du système automatisé nécessite de surveiller les paramètres avec une grande précision qui n'est pas permise par les voyants. Les afficheurs numériques permettent d'effectuer une surveillance précise et informent l'opérateur des résultats de mesure (température, pression, etc.) ou de comptage (nombre de cycle, quantité de pièces produites, etc.).



Figure 2-51 : Afficheurs numériques industriels.

a-5) Les terminaux d'exploitation

Les terminaux d'exploitation sont des constituants de dialogue programmés permettant à l'opérateur :

- D'être informé clairement sur l'état du système automatisé ;
- D'intervenir facilement et rapidement sur les paramètres de fonctionnement du système automatisé.

On distingue deux types de terminaux d'exploitation :

- Les terminaux d'exploitation à afficheurs ;
- Les terminaux d'exploitation à écran permettant l'affichage simultané d'un nombre plus important de données en plus des représentations graphiques concernant le



(a) Terminal d'exploitation à écran



(b) Terminal d'exploitation à afficheurs

Figure 2-52 : Terminaux d'exploitation industriels.

a-6) SCADA

Un **système de contrôle et d'acquisition de données** (*Supervisory Control And Data Acquisition*, sigle : **SCADA**) est un système de télégestion à grande échelle permettant de traiter en temps réel un grand nombre de télémesures et de contrôler à distance des installations techniques.

C'est une technique industrielle de suivi et de contrôle informatique de procédés de fabrication automatisés.

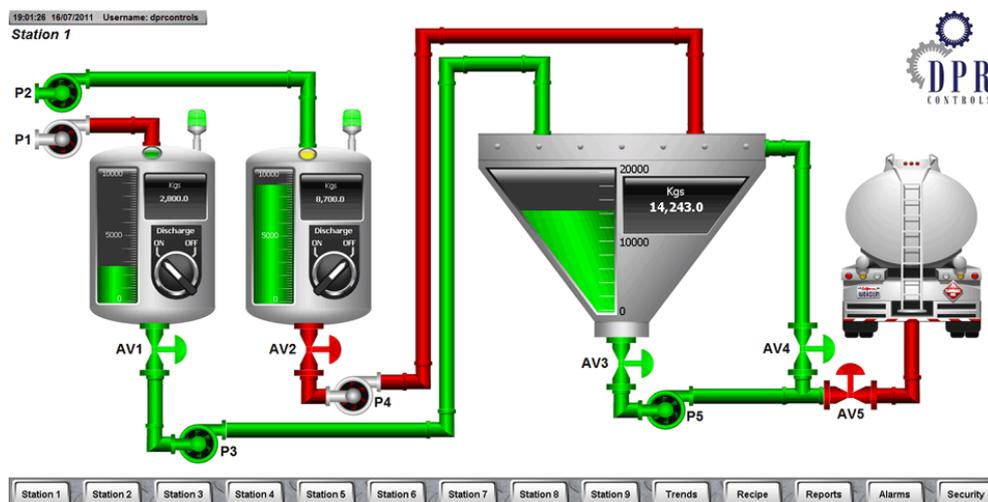


Figure 2-53 : Exemple du système SCADA.

2.7 Retenir l'essentiel

Un système automatisé est formé d'éléments en interaction les uns avec les autres, dans un but précis : **produire des biens qui doivent satisfaire un besoin.**

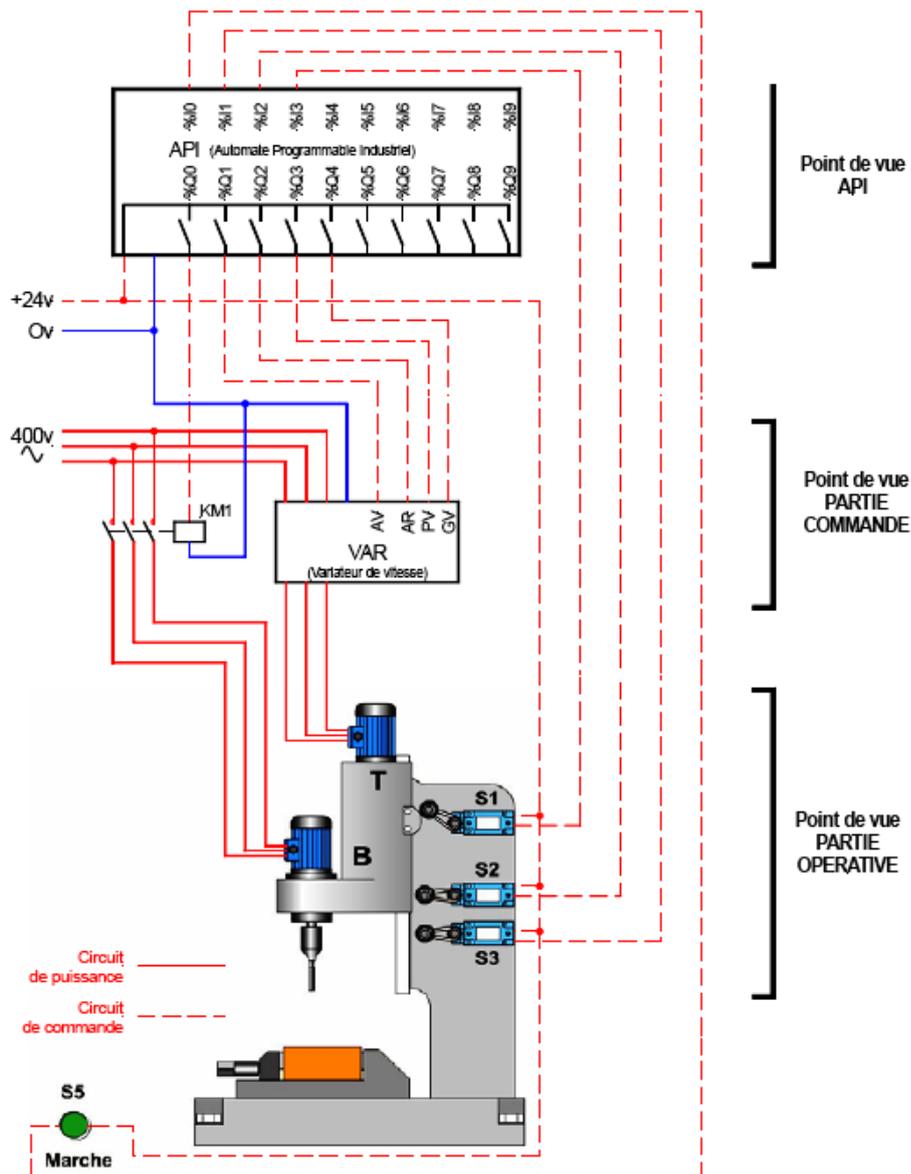
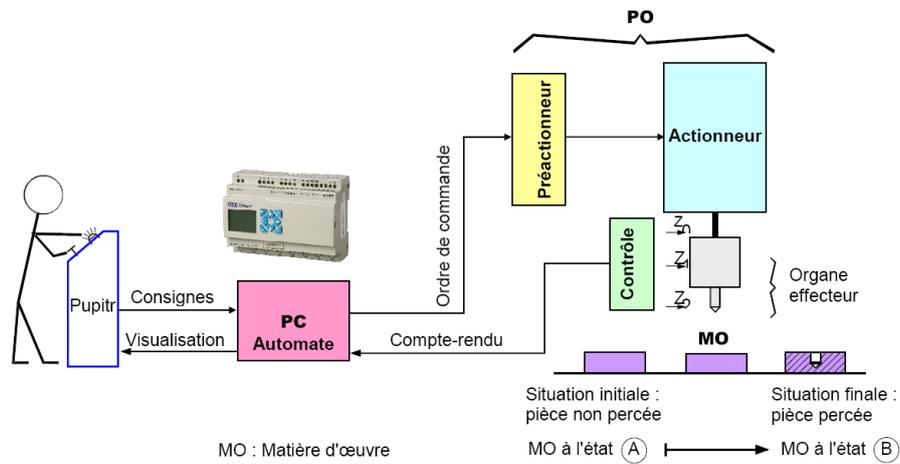


Figure 2-54 : Exemple d'un système automatisé (perceuse).

Chapitre 3

Partie commande (PC)

3.1 Introduction

La partie commande d'un automatisme est le centre de décision. Il effectue les opérations de calcul et transmet les ordres à la partie opérative. La partie commande peut être mécanique, électronique ou autre [1], [11].

Le fonctionnement de la PC peut se faire sous forme :

- **Combinatoire** : Les sorties de la PC dépendent uniquement de la combinaison des entrées présentes. Pour une combinaison donnée, la sortie est unique.
- **Séquentielle** : Les sorties de la PC dépendent de la combinaison des entrées présentes et de l'état interne de la PC.

3.2 Type de PC

La PC peut être réalisée de manière :

- **Câblée** : la PC est réalisée soit en interconnectant judicieusement des opérateurs matériels (électriques, pneumatiques, hydrauliques) soit en utilisant des portes logiques (combinatoire) et des bascules (séquentielle).
- **Programmée** : la réalisation de la PC est basée sur une architecture intégrant un microprocesseur qui exécute un programme.



Module logique programmable



Automate programmable



Ordinateur industriel

Figure 3-1 : Quelques solutions de PC programmée

3.2.1 Architecture des unités de traitement programmable

Les unités de traitement programmable sont constituées de [12] :

- a) **L'unité centrale** : à base de microprocesseurs, elle réalise toutes les fonctions logiques, arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation, ...).
- b) **Les mémoires** : Elles permettent de stocker le système d'exploitation (ROM ou PROM), le programme (EEPROM) et les données système lors du fonctionnement (RAM).
- c) **Le module d'alimentation** : il assure la distribution de l'énergie électrique aux différents modules.
- d) **La console de programmation** : C'est généralement un ordinateur où est installé le logiciel de programmation spécifique à l'API. Ce logiciel permet d'éditer le programme, de le compiler et de le transférer à l'automate.
- e) **Les interfaces d'entrées/sorties** : Ces interfaces d'Entrée/Sortie (E/S) se présentent généralement sous forme d'interfaces modulaires qu'on ajoute selon le besoin.

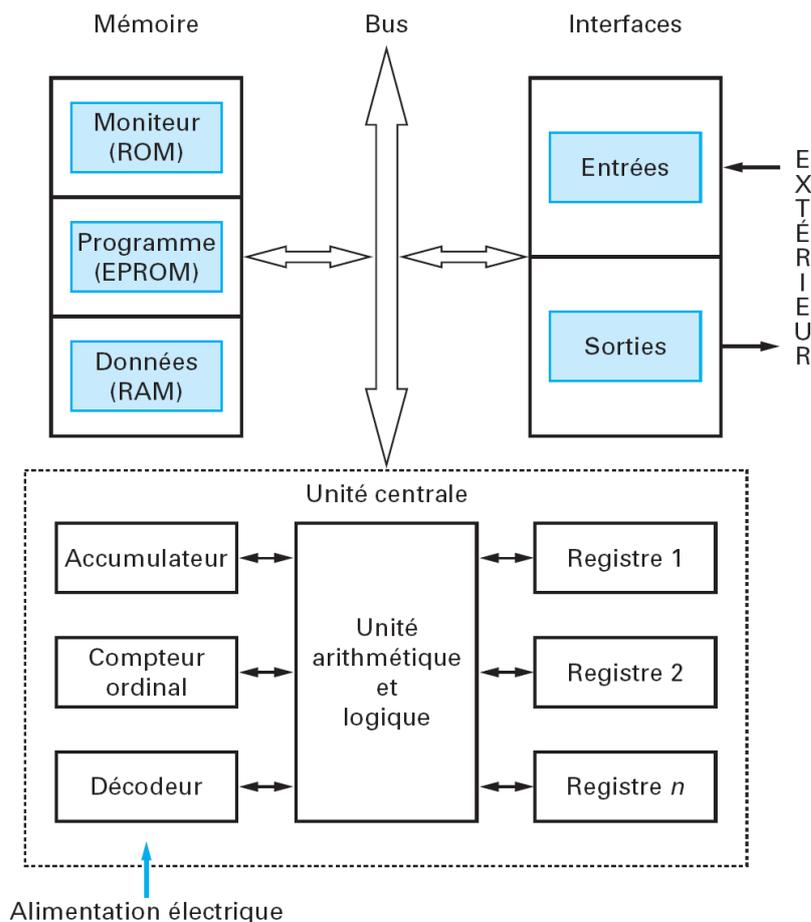


Figure 3-2 : Architecture des unités de traitement programmable.

3.3 Programmation

L'enchaînement chronologique des activités qui confèrent à la matière d'œuvre sa valeur ajoutée est appelé processus. Le processus est donc un ensemble de tâches qui permettent de réaliser la fonction globale du système automatisé. Dans une unité de traitement programmable le processus de production est implémenté sous forme d'un programme dans le mémoire [11], [13] .

3.3.1 Déroulement du programme

Il doit assurer en permanence un cycle opératoire qui comporte trois types de tâches :

- 1) l'acquisition de la valeur des entrées (lecture) ;
- 2) le traitement des données ;
- 3) l'affectation de la valeur des sorties (écriture).

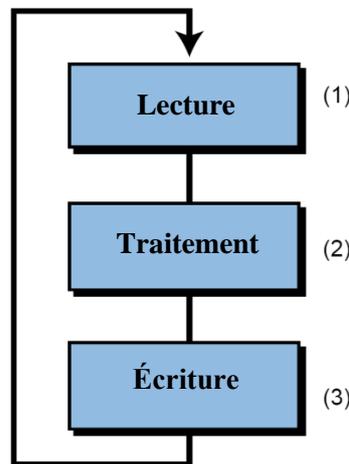


Figure 3-3 : Ordonnancement des tâches

3.3.2 Langages de programmation

Parmi les langages de programmation on trouve :

a) Liste d'instructions (IL Instruction List)

C'est un langage textuel, qui rappelle par certains aspects l'assembleur employé pour la programmation des microprocesseurs. Une instruction débute sur une ligne, comporte un opérateur, un ou plusieurs opérands. On peut introduire des étiquettes et des commentaires. La structure des champs est comme suivante :

ÉTIQUETTE (facultatif)	OPÉRATEUR	OPÉRANDE(S)	COMMENTAIRE (facultatif)
---------------------------	-----------	-------------	-----------------------------

Parmi les opérateurs, on trouvera **LD** (chargement d'une valeur), **ST** (stockage d'une valeur), **ADD** (addition), **AND** (ET booléen), etc. Soit, par exemple :

FAB2:	LD ST	%IX5 %MX11	(*DEBUT PHASE 2*)
-------	----------	---------------	----------------------

Chapitre 4

Architecture des systèmes de production

4.1 Introduction

Une automatisation globale de la production est un objectif ambitieux, étant donné la complexité du système abordé. La complexité de l'usine nécessite de la structurer et de la partager en sous-systèmes plus facile a supervisé. Il est possible de séparer les activités et les tâches concernant la fabrication du produit, des opérations de commande et de pilotage des opérations [1] .

4.2 Décomposition du système de production

En général, la décomposition du système de production aboutit à une structure hiérarchisée et répartie. Une usine se décompose en ateliers, un atelier en cellules, une cellule en îlots de fabrication, un îlot en postes de travail, un poste étant un regroupement de machines.

4.2.1 Atelier

Répond aux exigences de fabrication (possibilité de changements d'outils, transport automatique), cependant l'atelier conserve un niveau de décision supérieur et est capable d'optimiser les tâches en temps réel et est beaucoup plus autonome.

4.2.2 Cellule

Est un regroupement d'îlots. Elle permet de produire un élément complet au niveau de sa gamme d'usinage. Elle permet en général deux modes de fonctionnement :

1. Un mode autonome, géré de manière automatique.
2. Un mode dépendant, travaillant avec d'autres sous-systèmes équivalents,

L'ensemble étant supervisé et coordonné localement par le niveau cellule.

4.2.3 Poste de travail

S'apparente à la commande locale d'un robot auquel il faut ajouter une machine d'usinage. Les outils, les programmes d'usinage sont disponibles. Le pilotage se fait par une commande numérique.



Figure 4-1 : Exemple du système de production.

4.3 Architecture des systèmes de production

4.3.1 Machines autonomes

Chaque machine réalise une étape dans l'élaboration du produit. La maintenance entre machine, les chargements et déchargements sont nombreux, coûteux et longs. Ils sont le plus souvent manuels (Figure 4-2).

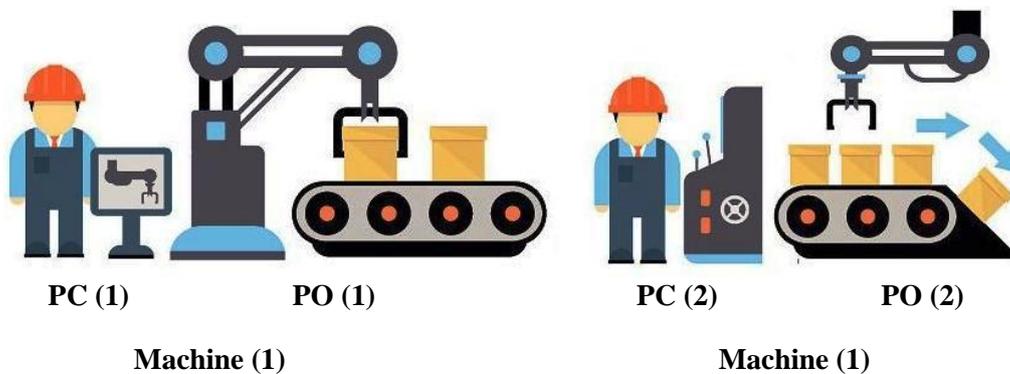


Figure 4-2 : Exemple du système de production avec machines autonomes

4.3.2 Machines associées en ligne

Le produit passe automatiquement d'une machine à la suivante. Dans ce cas simple, c'est le transfert du produit lui-même qui assure la liaison entre les machines (Figure 4-3).

4.3.3 Cellule de production à commande centralisée

La nécessité de coordonner l'action des machines a d'abord conduit à centraliser leurs commandes, ce qui par ailleurs a compliqué les interventions locales de réglage et de dépannage (Figure 4-4).

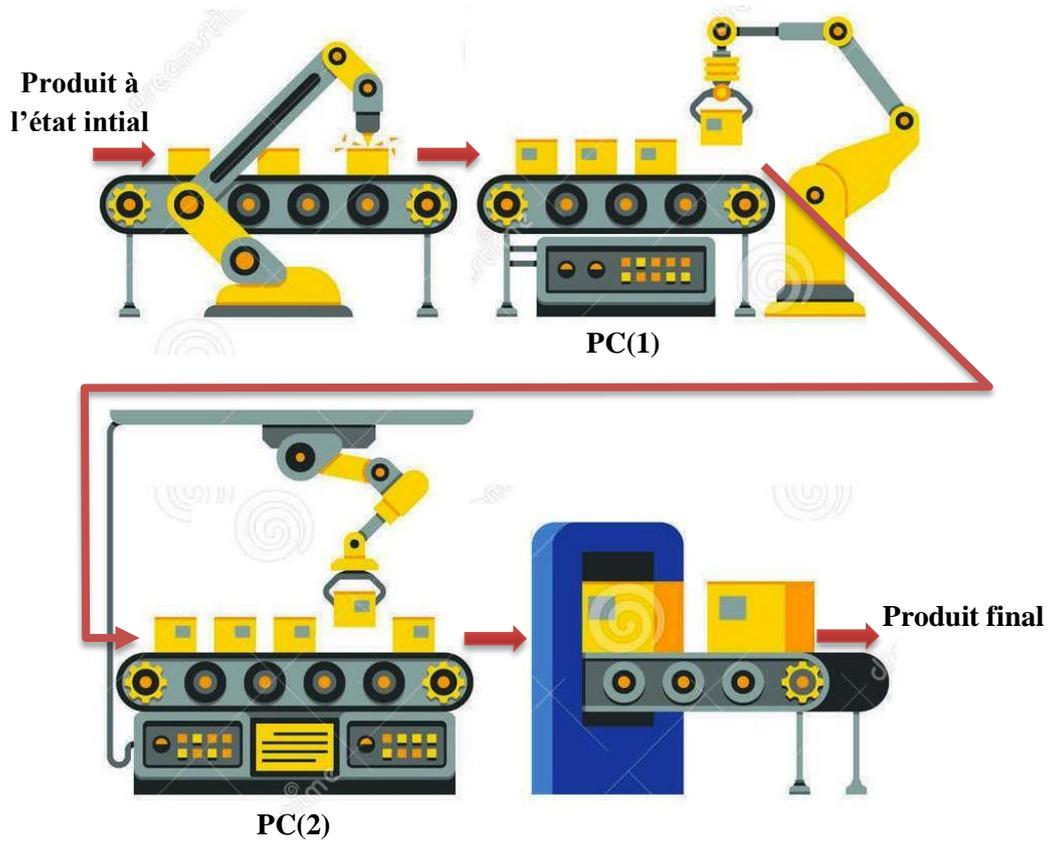


Figure 4-3 : Exemple du système de production avec machines associées en ligne

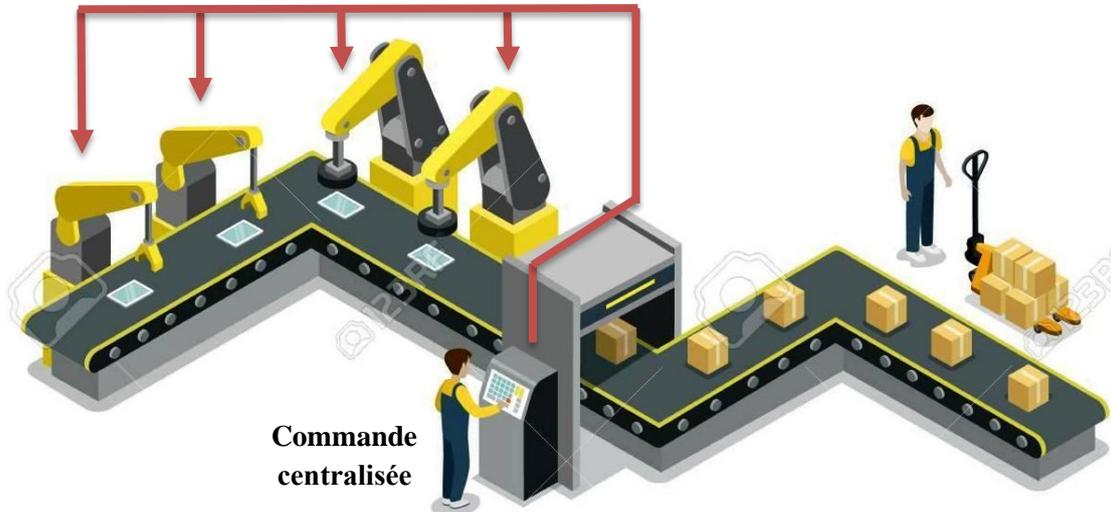


Figure 4-4 : Exemple du système de production à commande centralisée

4.3.4 Cellule à commande décentralisée et coordonnée

Un retour aux commandes décentralisées s'est imposé, mais avec une coordination entre machines ici assurée par liaisons inter niveaux (voir figure 4-5).

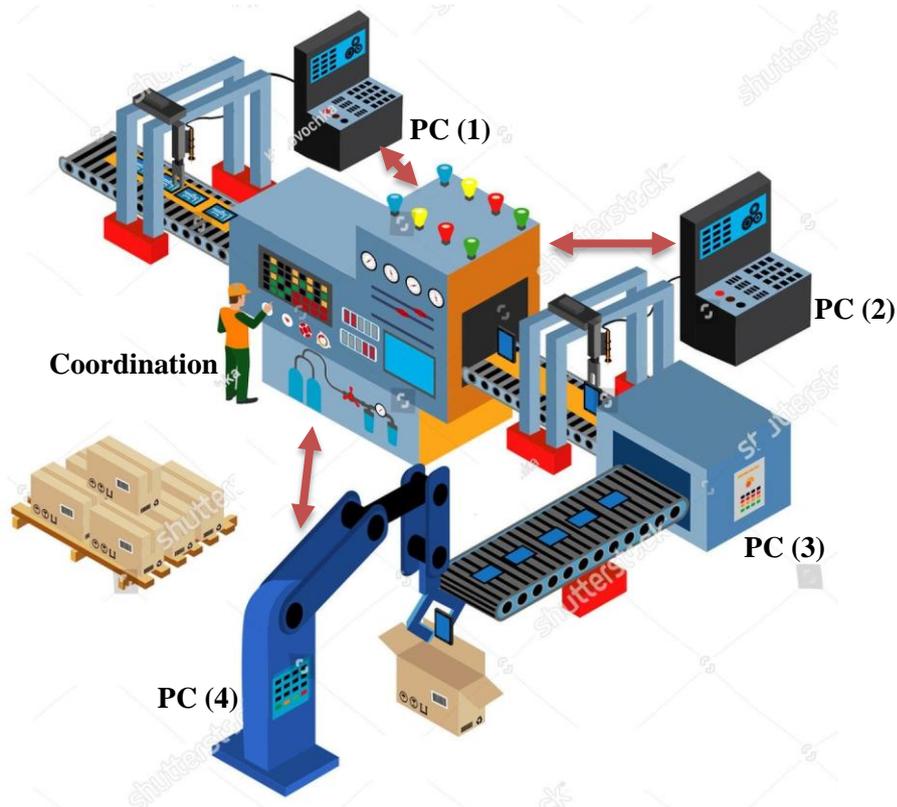


Figure 4-5 : Exemple du système de production à commande décentralisée et coordonnée.

4.3.5 Cellule flexible à commande répartie et hiérarchisée

Le besoin de flexibilité conduit à prévoir des transferts libres de produits de machine à machine : une machine donnée peut traiter ou non le produit présenté. Les liaisons iso-niveau complètent les liaisons inter-niveaux qui assurent la communication avec la supervision (Figure 4-6).

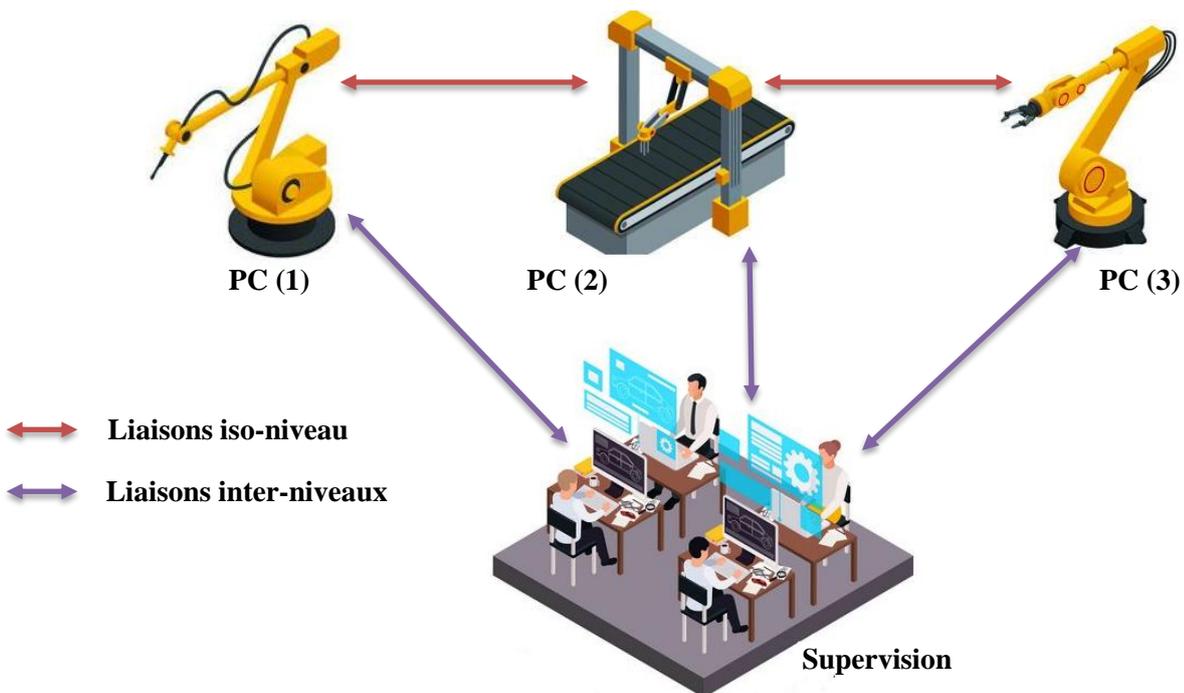


Figure 4-6 : Exemple du système de production à commande répartie et hiérarchisée.

Chapitre 5

Notions de réseaux

5.1 Communication dans un environnement industriel

L'histoire des réseaux locaux remonte à la fin des années 70, avec l'apparition des machines industrielles numériques et des réseaux informatiques [14]. Leur apparition est venue répondre,

- Premièrement, à la demande croissante de productivité dans le domaine industriel par l'automatisation de la communication entre les différents équipements industriels (de contrôle et de mesure) pour éliminer les pertes de temps et les risques d'erreurs dus aux interventions humaines,
- Deuxièmement, au besoin d'interconnexion des équipements industriels informatisés hétérogènes qui ont été introduits dans le milieu industriel d'une manière anarchique, c'est-à-dire en résolvant chaque problème à part sans prendre en compte l'intégrité de tout le système industriel.

Les réseaux locaux industriels ont été donc introduits petit à petit dans les systèmes automatisés, à des stades divers selon les domaines d'application. Ils sont nés avec le développement de l'électronique et des matériels numériques programmables.

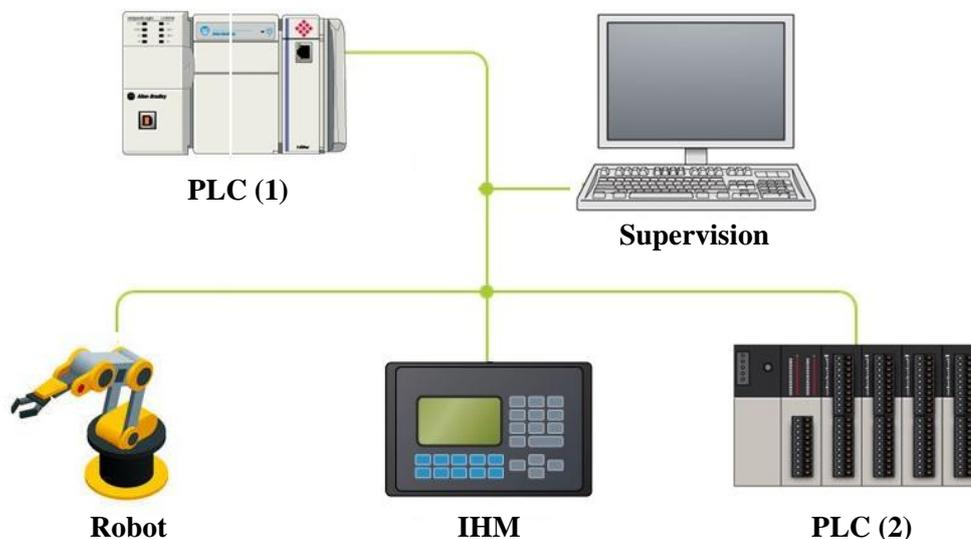


Figure 5-1 : Communication industrielle

5.2 Différents niveaux d'abstraction dans un environnement industriel intégré

Les installations industrielles, permettent de mettre en œuvre un grand nombre de fonctions qui sont largement interdépendantes et qui peuvent être organisés hiérarchiquement en quatre niveaux d'abstraction [15], [16] :

5.2.1 Le niveau 0 : processus, capteurs et actionneurs

Il est constitué de la partie opérative (actionneurs et capteurs) et des équipements de fabrication (machines, pièces, logiciels).

5.2.2 Le niveau 1 : Atelier ou cellule

Contient plusieurs îlots de fabrication, de vision, de supervision, des robots, des automates, etc. Il assure la coordination et la synchronisation des commandes envoyées vers la partie opérative.

5.2.3 Le niveau 2 : Usine

Ce niveau englobe des tâches de gestion de la production tel que :

- La GPAO : gestion de production assistée par ordinateur,
- La CFAO : Contrôle de fabrication assisté par ordinateur,
- La CAO : Conception assistée par ordinateur,
- Des services de transport,
- Le contrôle de qualité,....

5.2.4 Le niveau 3 : Entreprise

On trouve à ce niveau des services de gestion tel que :

- La gestion commerciale,
- La gestion du personnel,
- La gestion financière, ...

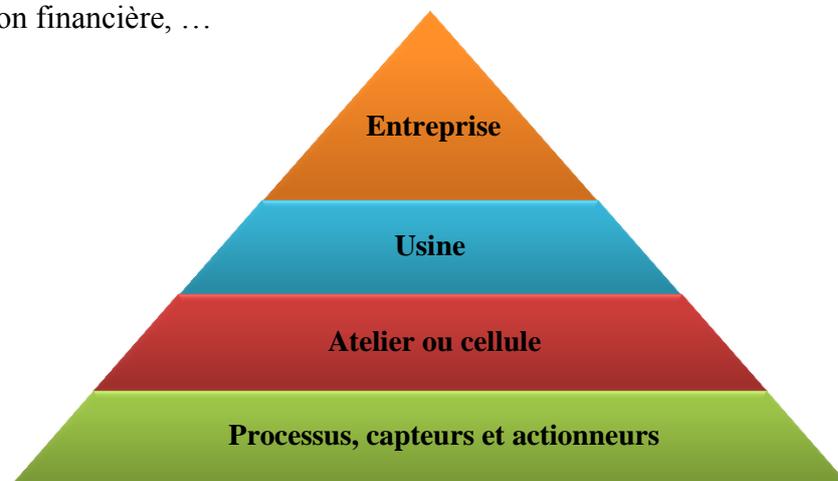


Figure 5-2 : Les différents niveaux d'abstraction dans un environnement industriel intégré.

5.3 Réseau, réseau local, réseau local industriel

5.3.1 Réseau

On appelle réseau un ensemble de moyens qui permettent la communication entre des processus d'application ou tâches installés sur des ordinateurs. Cet ensemble est constitué d'au moins un support de transmission pour l'acheminement des signaux, et de protocoles de communication selon une architecture en couches conforme ou non au modèle OSI (Open Systems Interconnection).

5.3.2 Réseau local

On appelle réseau local un réseau qui couvre une zone géographique limitée, par opposition aux réseaux publics ou longue distance. Parmi les réseaux locaux, on distingue souvent les réseaux locaux d'entreprise et les réseaux locaux industriels. Ils diffèrent essentiellement par les contraintes d'environnement (temps et sûreté de fonctionnement) et par certains services et protocoles mis en œuvre pour tenir compte des différences de besoins des applications qui les utilisent.

5.3.3 Réseau local industriel

Un réseau local industriel est en première approximation un réseau local utilisé dans une usine ou tout système de production pour connecter équipements industriels afin d'assurer la commande, la surveillance, la supervision, la conduite, la maintenance, le suivi de produit, la gestion.

5.4 Modèle de référence OSI

L'organisation internationale de normalisation (ISO) a lancé en 1977 un projet de définition d'un modèle de référence pour l'interconnexion de systèmes ouverts, appelé simplement «OSI » ou « modèle de référence OSI ».

Le modèle OSI constitue un cadre de référence pour l'interconnexion de systèmes ouverts hétérogènes. Il s'agit d'un modèle pour élaborer des normes d'interconnexion et de coopération de systèmes répartis.

Un système est dit ouvert lorsqu'il permet la communication entre équipements de types différents, pouvant provenir de constructeurs différents, pourvu que ces équipements respectent les règles de communication dans un environnement OSI. Les règles de communication sont publiques, accessibles à tous.

Et inversement, un système est dit privé, lorsqu'il ne permet la communication qu'entre des équipements d'un même type, ou d'un même constructeur, en utilisant des protocoles qui sont la propriété de quelqu'un.

5.4.1 Couches du modèle OSI

Le modèle OSI est construit selon une structure en sept couches (voir Figure 5-3)

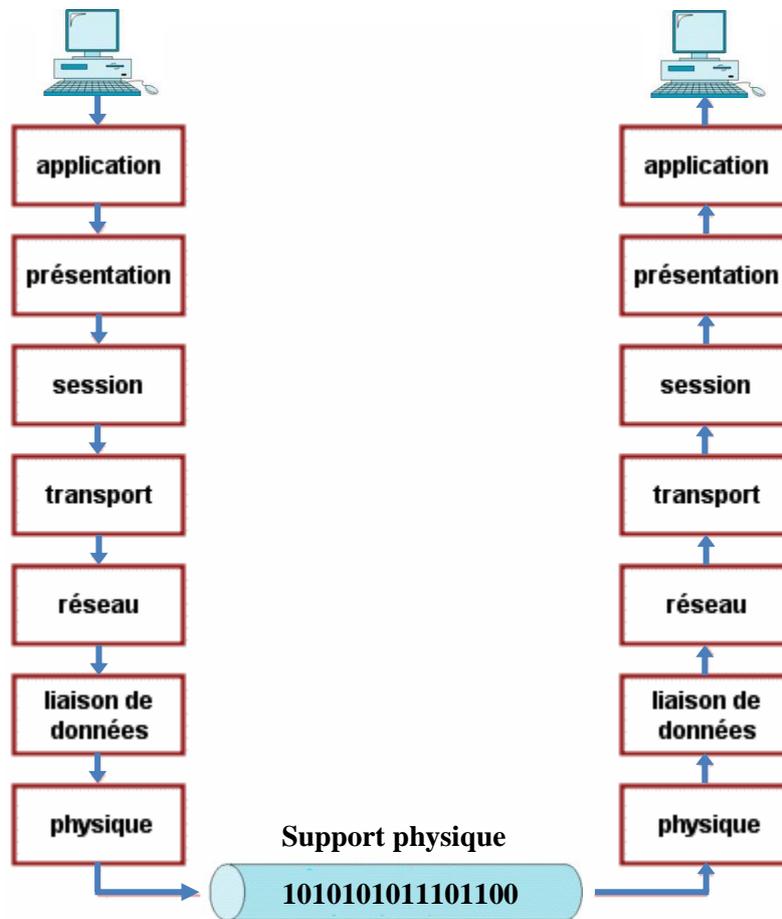


Figure 5-3 : Couches du modèles OSI

Les sept couches initiales du modèle sont [14], [15]:

- 1) **La couche physique** adapte les signaux numériques au support de transmission.
- 2) **La couche liaison de données** fiabilise les échanges de données entre deux stations.
- 3) **La couche réseau** assure la recherche d'un chemin et l'acheminement des données entre les stations terminales dans un réseau maillé.
- 4) **La couche transport** assure le contrôle de bout en bout entre les stations terminales.
- 5) **La couche session** synchronise et gère les échanges pour le compte de la couche présentation.
- 6) **La couche présentation** permet d'accepter des syntaxes différentes pour les données échangées entre les couches application.
- 7) **La couche application** donne aux processus d'application le moyen d'accéder à l'environnement OSI. Elle n'a pas de limite supérieure, c'est-à-dire que l'on peut toujours ajouter des services supplémentaires construits sur des services existant déjà.

5.5 Architecture d'un réseau industriel

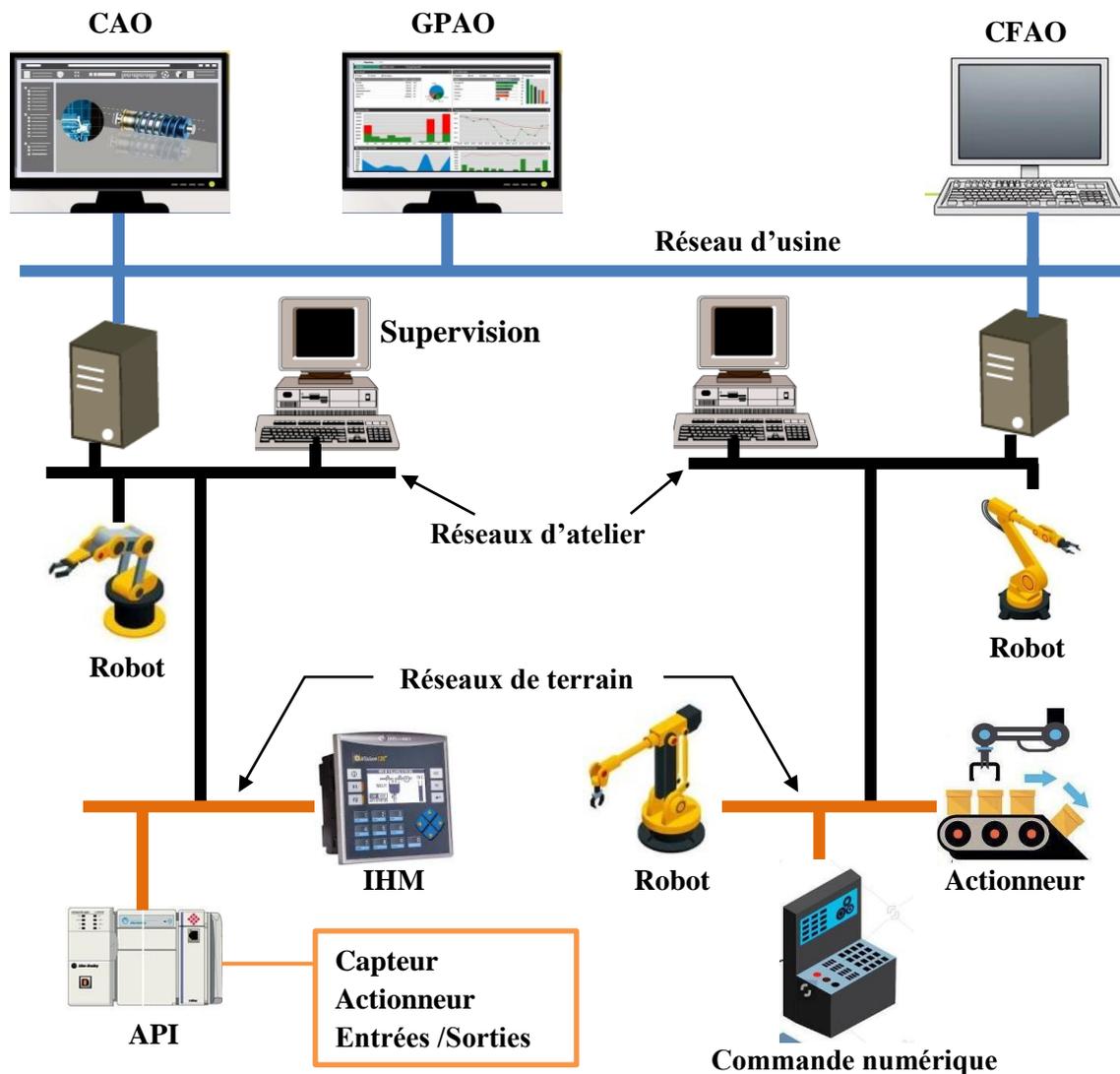


Figure 5-4 : Architecture globale d'un réseau industriel

Le réseau industriel permet de relier les différents équipements. D'ailleurs entre deux niveaux différents il doit y avoir une passerelle si les deux réseaux sont hétérogènes. On distingue donc trois types de réseaux :

5.5.1 Réseaux de terrain

Connectent les capteurs, les actionneurs et les dispositifs comme les automates, les régulateurs et plus généralement tout matériel supportant des processus d'application ayant besoin d'avoir accès aux équipements de terrain. Ils doivent offrir au minimum les mêmes services que les systèmes d'entrées/sorties industrielles.

5.5.2 Réseaux d'atelier (ou de cellule)

Connectent, dans une cellule ou un atelier, les dispositifs de commande de robots, de machines-outils, de contrôle de la qualité (lasers, machines à mesurer).

5.5.3 Réseaux d'usine

Un réseau qui irrigue l'ensemble de l'usine, interconnectant des ateliers, des cellules avec des services de gestion, les bureaux d'études ou des méthodes.

5.6 Aspects physiques

Les propriétés importantes de la couche physique sont:

- La topologie,
- Le support physique : cuivre, fibre optique, sans fil (radio, IR)
- Le taux de transmission,
- La longueur maximale, nombre de nœuds, alimentation,
- La résistance aux attaques, aux perturbations physiques.

5.6.1 Topologie

Les principales topologies physiques sont les topologies en bus, en étoile et en anneau.

a) Topologie en bus

C'est l'organisation la plus simple d'un réseau. Dans cette topologie tous les ordinateurs sont reliés à une même ligne de transmission par l'intermédiaire de câble, généralement coaxial. Le mot « bus » désigne la ligne physique qui relie les machines du réseau.

Cette topologie a pour avantages d'être facile à mettre en œuvre et de fonctionner facilement, par contre elle est extrêmement vulnérable étant donné que si l'une des connexions est défectueuse, c'est l'ensemble du réseau qui est affecté.

Cette topologie est obsolète dans les réseaux de données mais couramment utilisé dans les réseaux de terrain.

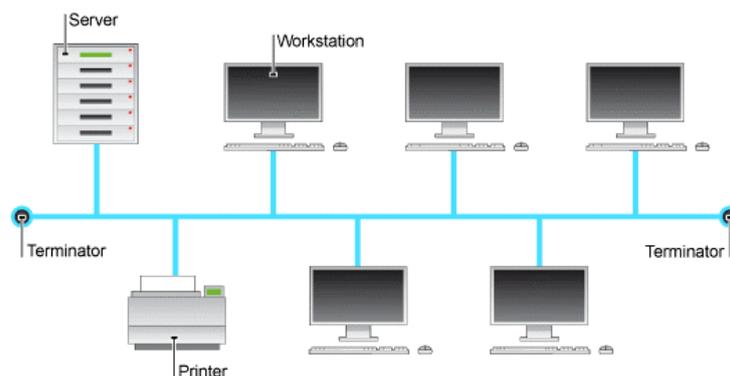


Figure 5-5 : Topologie en bus

b) Topologie en étoile

Dans une topologie en étoile, les ordinateurs du réseau sont reliés à un système matériel appelé switch (commutateur). Il s'agit d'une boîte comprenant un certain nombre de jonctions auxquelles on peut connecter les câbles en provenance des ordinateurs. Celui-ci a pour rôle d'assurer la communication entre les différentes jonctions.

Contrairement aux réseaux construits sur une topologie en bus, les réseaux suivant une topologie en étoile sont beaucoup moins vulnérables car on peut aisément retirer une des connexions en la débranchant du commutateur sans pour autant paralyser le reste du réseau.

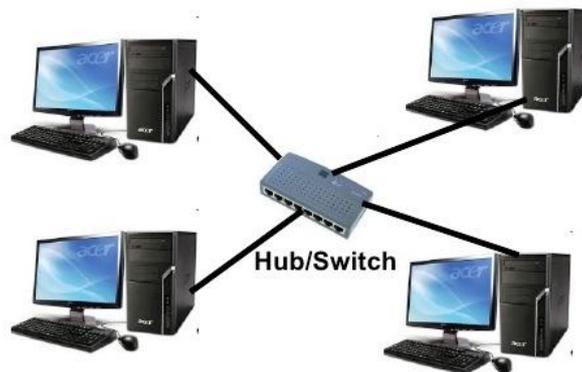


Figure 5-6 : Topologie en étoile.

c) Topologie en anneau

Dans un réseau en topologie en anneau, les ordinateurs communiquent chacun à leur tour, on a donc une boucle d'ordinateurs sur laquelle chacun d'entre-eux va "avoir la parole" successivement.

En réalité les ordinateurs d'un réseau en topologie anneau ne sont pas reliés en boucle, mais sont reliés à un répartiteur (appelé MAU, Multistation Access Unit) qui va gérer la communication entre les ordinateurs qui lui sont reliés en impartissant à chacun d'entre-eux un temps de parole.

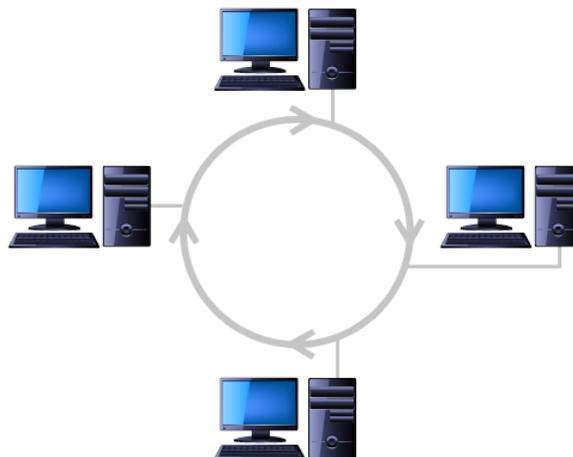


Figure 5-7 : Topologie en anneau.

5.6.2 Support de transmission

Deux grandes classes de supports de transmission :

- 1) Les supports à guide physique : les paires torsadées, les câbles coaxiaux, les fibres optiques, etc.
- 2) Les supports sans guide physique : les ondes hertziennes, radio-électriques, ultraviolettes, lumineuses, infrarouge, ...

Les liaisons en milieu industriel sont souvent soumises à des perturbations extrêmes. Le choix des composants utilisés et plus particulièrement du support de transmission est donc essentiel. En ambiance perturbée, le coaxial épais peut être envisagé.

Tableau 5-1 : Types des câbles coaxiaux.

Câble coaxial				
Type	Diamètre	Débit	Utilisation	Exemple
Fin	6 mm	10Mégabits/s	télévision	
épais	12 mm	10Mégabits/s	liaisons à plus grande distance.	

Les câbles à fibre optique sont utilisés lorsque: les champs électromagnétiques perturbent les réseaux conventionnels, lorsque de hauts débits sont nécessaires, lorsqu'une éventuelle étincelle causée par une connexion électrique doit être évitée ou lorsque des données doivent être transportées sur une grande distance.

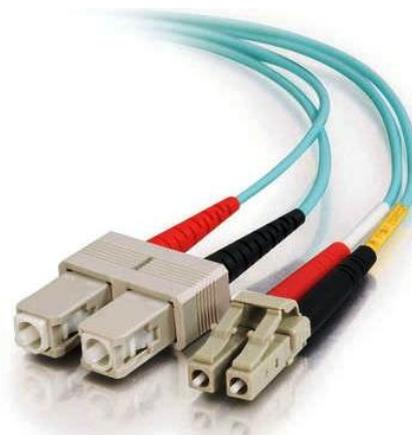


Figure 5-8 : Câbles à fibre optique

Certains types de paires torsadées peuvent également être envisagés. Il existe trois types de câbles.

- 1) Unshielded Twisted Pair (UTP): Paire torsadée sans blindage.
- 2) Foiled Twisted Pair (FTP) : Paire torsadée avec blindage en feuille d'aluminium.
- 3) Shielded Twisted Pair (STP): Paire torsadée avec blindage de tresse en cuivre.

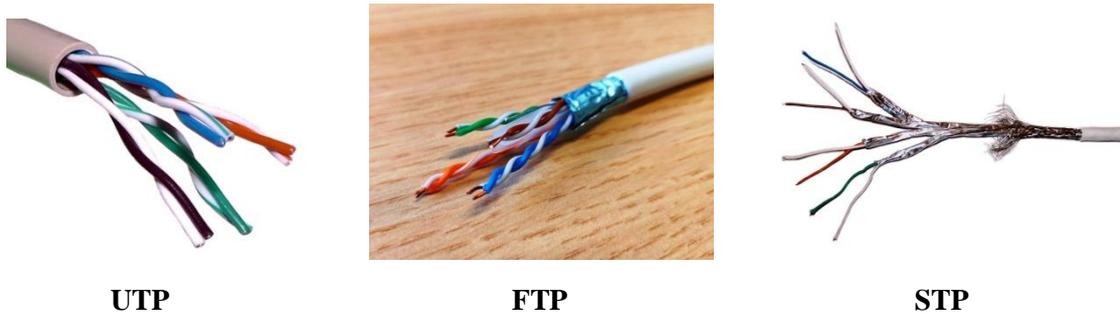


Figure 5-9 : Paires torsadées

Les câbles utilisés en industries sont renforcés selon le cas d'utilisation et les conditions à la quelles sont exposés tel que les températures basses et élevées les produits chimiques, les chocs, etc.

5.7 Réseau Profibus

Profibus (Process Field Bus) est un réseau de terrain ouvert, permettant d'interconnecter un matériel hétérogène de différents constructeurs [17]. Il permet :

- La transmission des données critiques en temps réel.
- Le raccordement direct des capteurs actionneurs sur le bus.
- Fonctionnement en sécurité intrinsèque ;
- Dialogue entre automatismes et périphérie décentralisée ;
- Échange de données complexes et volumineuses pour la gestion de cellules.

5.8 Variantes

Profibus existe en 3 variantes de protocoles répondant chacune à des applications spécifiques :

5.8.1 Profibus-DP (Decentralized Peripheral)

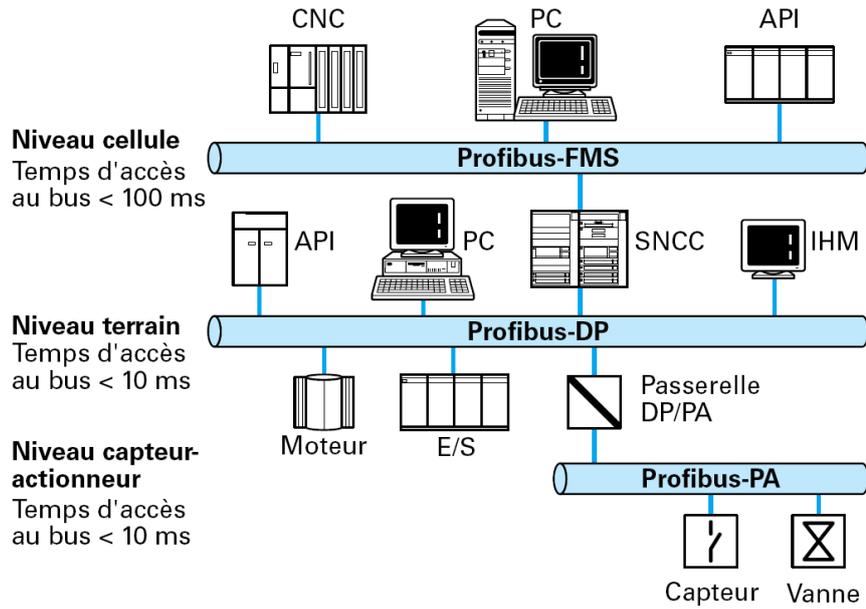
Destiné aux applications de type maître-esclave en (mono ou multi maître) en temps réel, c'est un protocole simple et performant.

5.8.2 Profibus-FMS (Fieldbus Message Specification)

Destiné aux applications nécessitant l'échange entre maîtres pour la synchronisation d'activités de contrôle-commande, basé sur la messagerie MMS (Manufacturing Message Specification) ;

5.8.3 Profibus-PA (Process Automation)

Opère dans le niveau capteur/actionneur.



CNC : Computerized Numerical Control
 IHM : interface homme-machine
 SNCC : système numérique de contrôle-commande

Figure 5-10 : Classification des réseaux Profibus.

Chapitre 6 Présentation et étude de cas

6.1 Fours industriel électrique

Un four industriel est un système électrothermique utilisé pour élever la température d'un produit. Il peut être soit :

- un équipement destiné uniquement au chauffage,
- un véritable réacteur dans lequel on élabore les produits,

Il s'intègre généralement dans une ligne de production complexe dont il est un des éléments. Les fours électriques à résistances sont les équipements électrothermiques industriels les plus connus et les plus répandus, présents dans un grand nombre de procédés [18].

6.1.1 Principe de chauffage des fours à résistances

La puissance électrique $P(W)$ dissipée dans l'élément chauffant de résistance $R(\Omega)$ est transformée en chaleur ; elle s'exprime par la loi de Joule :

$$W_{\text{joule}} = R \cdot I_{\text{eff}}^2 \cdot t$$

énergie dissipée par effet Joule (joule) résistance (ohm) intensité efficace (ampère) durée (seconde)

$$P_{\text{joule}} = P_{\text{joule}}$$

puissance dissipée par effet Joule (watt = joule/s)

Figure 6-1 : Principe de chauffage des fours à résistances.

Donc l'énergie électrique se transforme en énergie thermique par le passage du courant dans une résistance.

Dans ce chapitre nous présentons un système industriel automatisé, c'est le four électrique de la société JUMO : Il est constitué d'une chambre chauffée à l'aide de résistances électriques, très bien calorifugée pour réduire le plus possible les déperditions thermiques. La charge à chauffer est placée dans cette chambre. Le four à résistances est un équipement à chauffage indirect, la chaleur produite par effet Joule par les résistances est transmise à la charge par rayonnement ou convection. La Figure 6-2 représente le four électrique avec le système de réglage et d'asservissement.

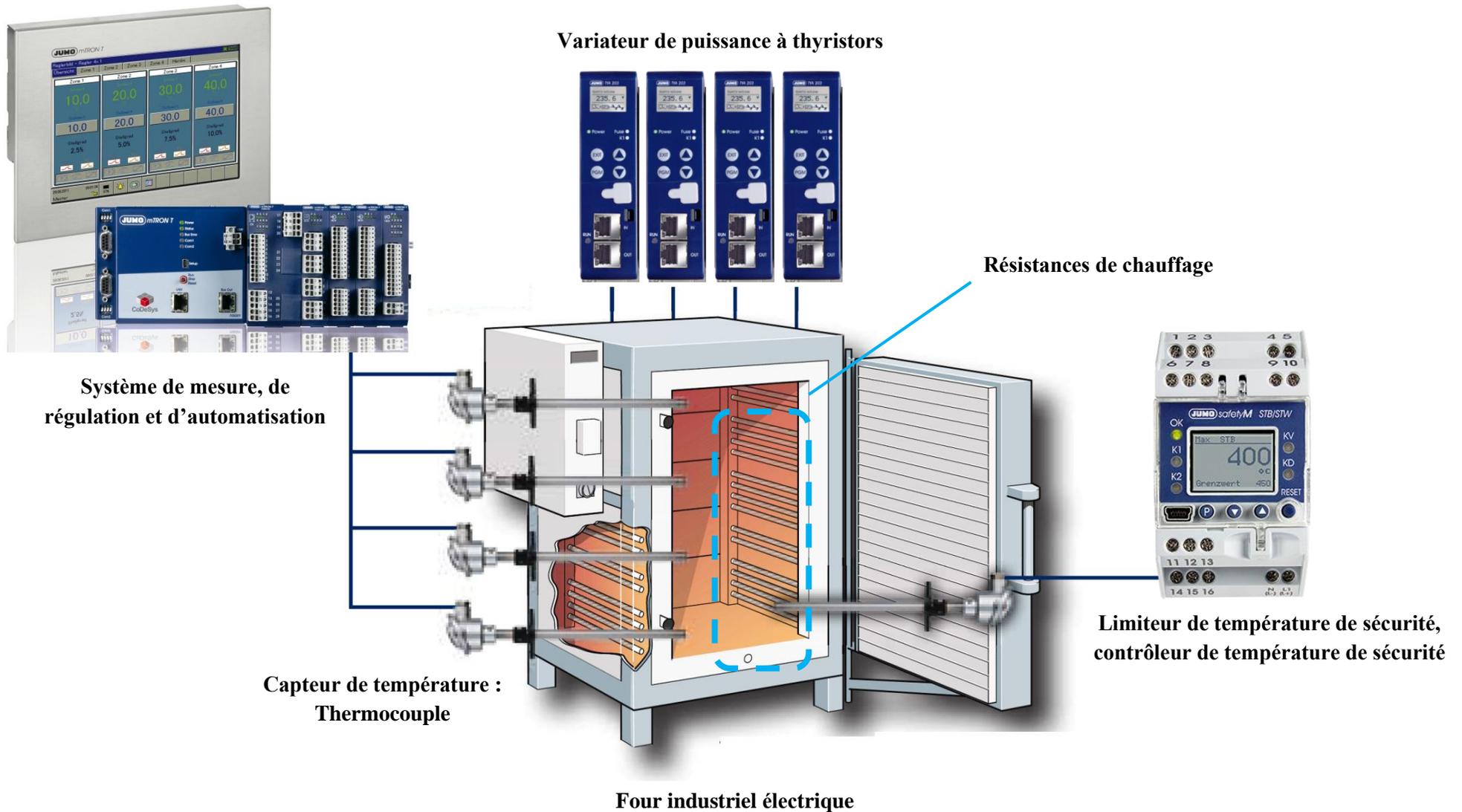


Figure 6-2 : Exemple d'un système automatisé, Four industriel électrique.

6.1.2 Présentation du système

Comme tout système de production, le four électrique est composé de deux parties [18]–[21] :

A. La partie commande :

Réunit un système d'acquisition de mesures universel et un système de régulation précis. Il permet de régulation et d'enregistrement des données en temps réel, Figure 6-3.

L'unité centrale : c'est le cœur du système. Elle contient le programme du processus et gère les données de configuration et de paramétrage de l'ensemble du système

Ecran tactile multifonction : il sert à superviser de façon claire les données de processus, à commander, configurer et paramétrer le système.

En tant qu'interface homme-machine, il permet d'avoir une vue claire sur les états du four et les paramètres du système de contrôle. Il convient parfaitement pour afficher et manipuler une vue du régulateur, une vue du processus, l'éditeur de programme ou la fonction d'enregistrement de température. Les consignes du régulateur peuvent être saisies directement sur l'écran.

Module d'entrées/sorties : Les modules d'entrées/sorties permettent de faire l'acquisition des différentes valeurs analogiques et numérique rencontrées dans le four électrique. Les sorties analogiques sont utilisés pour piloter des pré-actionneurs en unités physiques, tels que variateurs de vitesse, vannes et les applications nécessitant le contrôle de processus. Le courant ou la tension en sortie sont proportionnels à la valeur numérique définie par le programme utilisateur.

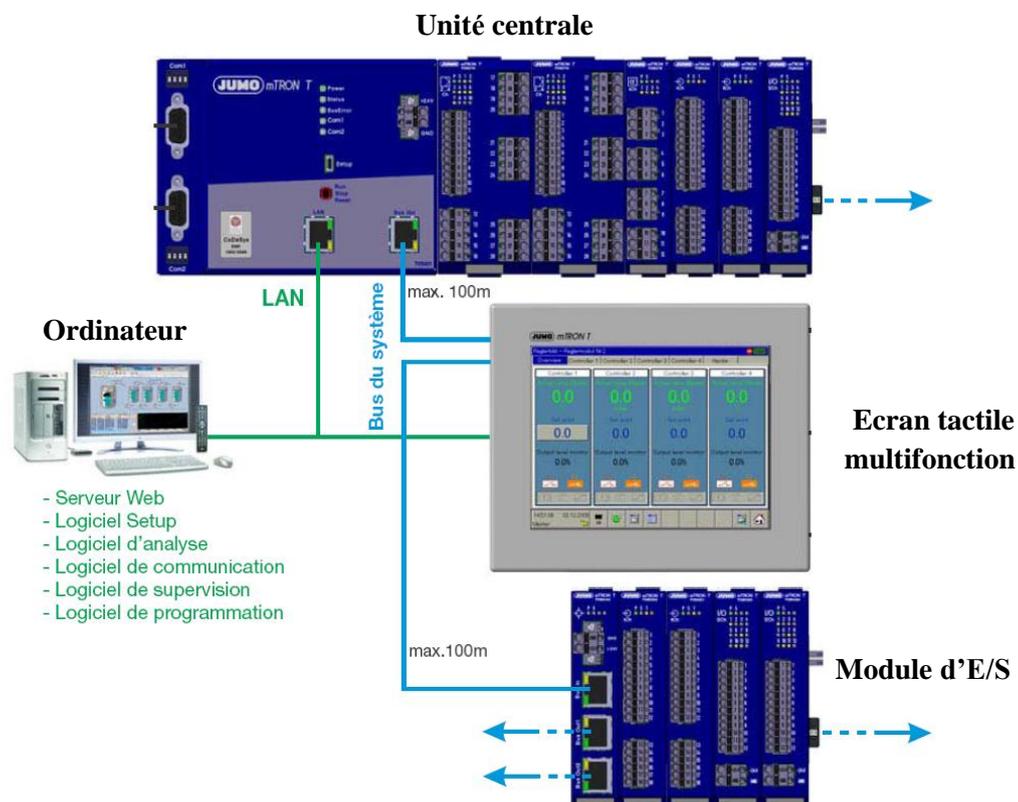


Figure 6-3 : La partie commande du four électrique

Caractéristique :

- pour le raccordement électrique, les modules ont des borniers détachables avec technologie Push-In.
- tous les modules d’E/S travaillent avec une alimentation de 24 V DC.
- la présence de l’alimentation et l’état du module ainsi que des entrées et sorties sont signalés par des diodes lumineuses

Module routeur : Le module répartit les modules d’E/S sur plusieurs profilés chapeau et dans plusieurs armoires de commande (structure décentralisée). via le bus système, il interconnecte les modules et le module de base ou l’écran tactile multifonction, Figure 6-4.

Module régulateur multicanal : Ce module permet, par l’intermédiaire d’algorithmes de régulation PID éprouvés y compris des fonctions d’auto-optimisation, une régulation précise de four. De ce fait, les boucles de régulation fonctionnent de manière totalement autonome sans avoir recours aux ressources de l’unité centrale et qui offre de ce fait une sécurité maximale.

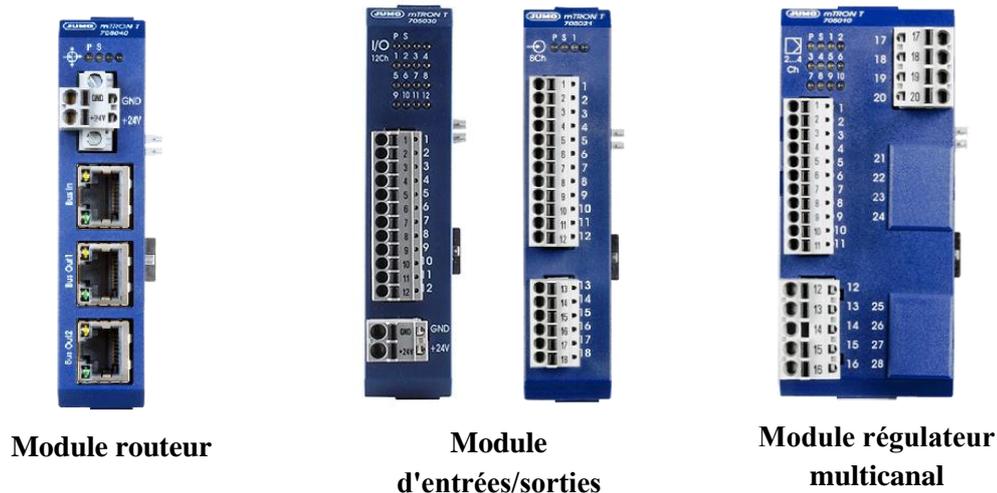


Figure 6-4 : Les modules d’entrées/sorties

Ordinateur : Contient plusieurs logiciel ;

- Logiciel Setup pour créer et configurer la totalité du système de mesure, de régulation et d’automatisation,
- Logiciel d’analyse pour gérer, archiver, superviser et analyser des données de processus (données de mesure, données des lots, messages...),
- Logiciel de supervision des installations pour la supervision online, la préparation de rapports par lot ainsi que la commande du système de mesure, de régulation et d’automatisation via un PC en réseau,
- Logiciel de communication permet de lire de manière conviviale les données par Ethernet, sauvegarde et archivage de toutes les données sur disque dur ou serveur.

B. La partie opérative :

Formée par [19] :

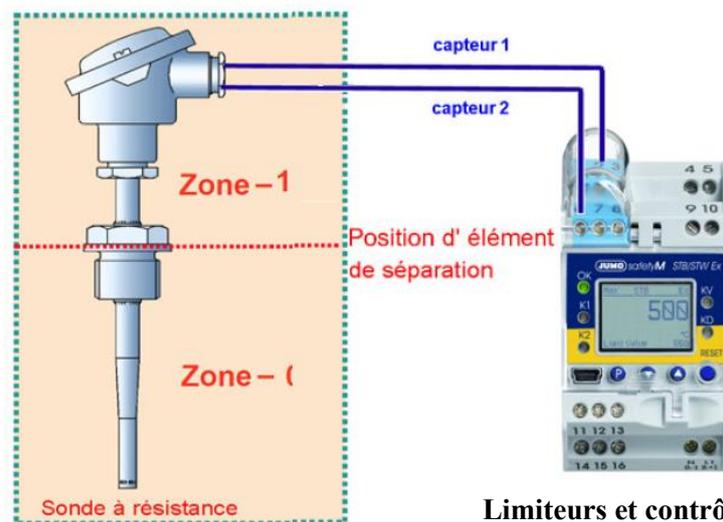
- Les capteurs qui représentent les organes d'observation du système ;
- Les actionneurs qui représentent les organes de puissance du système.

Capteurs de température pour fours industriels : La température élevée dans les fours industriels nécessite l'utilisation de thermocouples par exemple Fe-CuNi - type L, Figure 6-5.



Figure 6-5 : Thermocouples du four industriel.

Limiteurs et contrôleurs de température de sécurité : Les limiteurs de température de sécurité ont pour tâche de surveiller en toute sécurité des procédés thermiques et de placer les installations lors de pannes dans un état de fonctionnement sûr. Le limiteur de température peut être considéré comme pré-actionneur, Figure 6-6.



Limiteurs et contrôleurs de température de sécurité

Figure 6-6 : Raccordement de thermocouples avec le limiteur de température.

Variateur de puissance à thyristors monophasé : ce type de variateur est piloté par microcontrôleur présente tous les paramètres sur un afficheur à cristaux liquides rétro éclairé ; les quatre touches de la face avant permettent de le manipuler (voir figure 6-7).

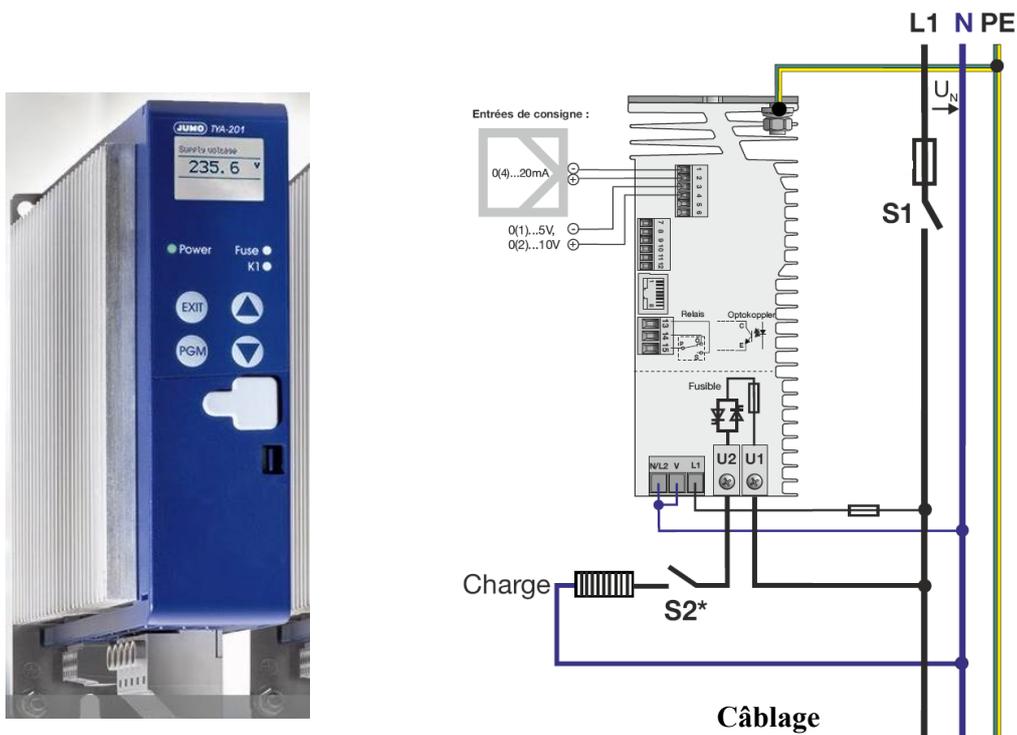


Figure 6-7 : Variateur de puissance à thyristors monophasé.

Le variateur de puissance à thyristors est utilisé partout où il faut commuter de fortes charges ohmiques et inductives, (construction de fours industriels). Le variateur de puissance à thyristors est composé de deux thyristors montés tête-bêche, d'un radiateur isolé et d'un circuit électronique de commande. Ce module peut être considéré comme pré-actionneur.

Résistances chauffantes : constituent l'élément essentiel du four (voir Figure 6-8). Leur choix est établi par le constructeur à partir du cahier de charges fonctionnel, en tenant compte sans confusion des paramètres suivants :

- la température limite supérieure d'emploi des résistances ;
- la température de fusion des éléments résistifs ;
- la température de la charge ;
- la température de l'enceinte.

Le rôle de résistance chauffante est de transformer l'énergie électrique en énergie thermique, donc c'est un actionneur.

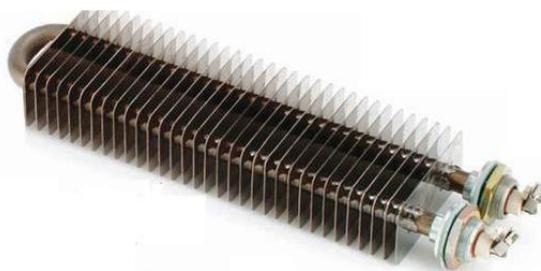


Figure 6-8 : Exemple de résistance chauffante.

Bibliographies

- [1] G. TRYSTRAM, “Automatisme et procédés industriels agroalimentaires,” *Tech. l’ingénieur Génie Ind. Aliment.*, vol. base docum, no. ref. article : f1290, 2002.
- [2] H. Brenier, *Les spécifications fonctionnelles: automatismes industriels et temps réel*. Dunod paris, France, 2001.
- [3] S. Electric, *Guide des solutions d’automatisme: Schémathèque*. Institut Schneider Formation, 2006.
- [4] J. Bultel, “Flexibilité de production et rentabilité des investissements-L’exemple de la robotisation de l’assemblage tôlerie en soudage par points,” *Rev. d’économie Ind.*, vol. 26, no. 1, pp. 1–13, 1983.
- [5] E. Godoy, *Régulation industrielle - 2e éd: Outils de modélisation, méthodes et architectures de commande*. Dunod, 2014.
- [6] C. T. Kilian, *Modern Control Technology: Components and Systems*. 2001.
- [7] G. Grellet and G. Clerc, *Actionneurs électriques*. éditions Eyrolles, 1997.
- [8] L. Birglen, *Mécatronique*. Dunod, 2018.
- [9] G. Asch, *Acquisition de données : Du capteur à l’ordinateur*. Dunod, 2011.
- [10] G. Asch and B. Poussery, *Les capteurs en instrumentation industrielle-8e éd*. Dunod, 2017.
- [11] J. Mbihi, *Informatique et automation: automatismes programmables contrôlés par ordinateur*. Editions Publibook, 2005.
- [12] M. BERTRAND, “Automates programmables industriels,” *Tech. l’ingénieur Autom. séquentielle*, vol. base docum, no. ref. article : s8015, 2010.
- [13] L. A. Bryan and E. A. Bryan, *Programmable controllers: theory and implementation*. Industrial Text Company, 1997.
- [14] J.-P. THOMESSE, “Réseaux locaux industriels Concepts, typologie, caractéristiques,” *Tech. l’ingénieur Systèmes d’information Commun.*, vol. base docum, no. ref. article : s7574, 2004.
- [15] C. SINDJUI, *Le grand guide des systèmes de contrôle commande industriels -- automatisme -- instrumentation réseaux locaux -- régulation automatique*. Lexitis, 2014.
- [16] P. Rolin, *Réseaux Locaux*. 1991.
- [17] E. BAJIC and B. BOUARD, “Réseau Profibus,” *Tech. l’ingénieur Systèmes d’information Commun.*, vol. base docum, no. ref. article : s8160, 2002.

- [18] J.-F. BOURGEOIS, A. GIRAULT, R. JAUME, M. LE BOULCH, and C. OBERLIN, “Fours électriques à résistances Technologies de mise en œuvre,” *Tech. l'ingénieur Électrothermie Ind.*, vol. base documentaire : TIB270DUO., no. ref. article : d5911, 2005.
- [19] “Construction de fours industriels - RS Components,” *JUMO*. [Online]. Available: <http://www.jumo.fr/produits/2875/produits.html>.
- [20] J.-F. BOURGEOIS, A. GIRAULT, R. JAUME, M. LE BOULCH, and C. OBERLIN, “Fours électriques à résistances Présentation générale,” *Tech. l'ingénieur Électrothermie Ind.*, vol. base docum, no. ref. article : d5910, 2005.
- [21] C. OBERLIN, “Fours électriques à résistances Applications industrielles,” *Tech. l'ingénieur Électrothermie Ind.*, vol. base docum, no. ref. article : d5912, 2007.