

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



UNIVERSITE MUSTAPHA STAMBOULI DE MASCARA  
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE



## **Polycopié de Cours**

# **Architecture des Systèmes Automatisés**

*Présenté par :*

Dr.IBARI Benaouemeur

Ce cours est destiné aux étudiants de la deuxième année Licence  
Automatique

Algérie  
2019

# Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
1.1	Représentation fonctionnelle d'un système technique . . . . .	6
1.1.1	Décomposition d'une tâche en sous-tâches . . . . .	10
1.2	Objectif de l'automatisation des productions . . . . .	11
1.3	Rentabilité d'une automatisation . . . . .	12
1.4	Domaines d'applications des SAP . . . . .	13
1.4.1	Domaine de l'industrie automobile : . . . . .	13
1.4.2	Domaine de la machine-outil : . . . . .	13
1.4.3	Le contrôle des produits : . . . . .	13
1.4.4	L'automatisation de service . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Structure d'un système de production</b>	<b>14</b>
2.1	Décomposition Partie Opérative et Partie commande (PO/PC) : . . . . .	14
2.2	La chaîne fonctionnelle d'un système automatisé : . . . . .	16
2.3	Constituants de la chaîne d'énergie : . . . . .	16
2.3.1	Préactionneur : . . . . .	16
2.3.2	Actionneur : . . . . .	20
2.3.3	Transmetteur : . . . . .	26
2.3.4	L'effecteur : . . . . .	26
2.4	Constituants de la chaîne d'informations : . . . . .	27
2.4.1	Capteurs industriels : . . . . .	27
2.4.2	Détecteurs industriels : . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Partie commande</b>	<b>35</b>
3.1	Introduction . . . . .	35
3.2	Système automatisé combinatoire : . . . . .	36
3.3	Système automatisé séquentiel . . . . .	37
3.4	La logique câblée : . . . . .	37
3.5	Les systèmes asservis : . . . . .	38
3.6	La logique programmée : . . . . .	38

---

3.6.1	L'automate programmable industriel (API) : . . . . .	39
3.6.2	Langage de programmation . . . . .	44
3.7	Dialogue Homme Machine : . . . . .	49
3.7.1	Dialogue de développement et de mise au point : . . . . .	50
3.7.2	Dialogue de réglage-diagnostic-dépannage : . . . . .	50
3.7.3	Dialogue de supervision : . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Architecture des systèmes de production</b>	<b>52</b>
4.1	Introduction . . . . .	52
4.2	Machines autonomes : . . . . .	53
4.3	Machines associées en ligne . . . . .	54
4.4	Cellule de production à Commande centralisée . . . . .	54
4.5	Cellule à commande décentralisée et coordonnée : . . . . .	54
4.6	Cellule flexible à commande répartie et hiérarchisée : . . . . .	55
4.7	Caractéristiques des système de production flexible . . . . .	55
4.8	Les Robots : outils de la flexibilité : . . . . .	56
4.8.1	Définition d'un robot industriel : . . . . .	56
4.8.2	Structure d'un robot : . . . . .	56
4.8.3	Applications : . . . . .	56
4.8.4	Programmation des taches d'un robot : . . . . .	57
<b>5</b>	<b>Notions de réseaux</b>	<b>59</b>
5.1	Introduction . . . . .	59
5.2	Définitions de base en transmission de données : . . . . .	59
5.2.1	Les éléments d'un système de transmission de données : . . . . .	59
5.2.2	Le sens de transmission : . . . . .	60
5.2.3	Transmission parallèle/transmission série : . . . . .	60
5.2.4	Le protocole de communication : . . . . .	61
5.3	Les réseaux : . . . . .	61
5.4	La topologie des réseaux : . . . . .	62
5.4.1	L'architecture en anneau : . . . . .	62
5.4.2	L'architecture en bus : . . . . .	63
5.4.3	L'architecture en étoile : . . . . .	63
5.4.4	L'architecture en arbre : . . . . .	63
5.5	Les réseaux locaux industriels (bus de terrain) . . . . .	63
5.5.1	Définitions élémentaires : . . . . .	63
5.5.2	Définition de réseau local industriel : . . . . .	64
5.5.3	Les types de réseaux locaux industriels : . . . . .	64
5.5.4	Applications : . . . . .	65
5.6	Le concept CIM : . . . . .	65
5.6.1	La pyramide du CIM : . . . . .	66

<b>6</b>	<b>Présentation et étude de cas</b>	<b>68</b>
6.1	Perçage automatique de pièces cylindriques . . . . .	68
6.1.1	Description du système . . . . .	68
6.1.2	Étude de la partie opérative (PO) . . . . .	69
6.1.3	Étude de la partie commande (PC) . . . . .	71
6.2	Tri automatique de caisses . . . . .	71
6.2.1	Principe de fonctionnement . . . . .	71
6.2.2	Étude de la partie commande (PC) . . . . .	71
6.2.3	Cycle de déroulement des étapes : . . . . .	72
6.2.4	Grafcet point de vue opérative et commande . . . . .	72
	<b>Bibliographie</b>	<b>73</b>

## Avant Propos

Ce polycopie constitue une base de données technologie et méthodologies qui sera utile pour les étudiants de la spécialité : Automatique tout au long de leur formation.

Composé de six (06) chapitres, il traite les Systèmes Automatisés Industriels (SA) et leur Architecture. Ainsi, il présente aussi les notions de base des réseaux locaux industriels et leurs applications. L'étude des exemples est traitée à l'aide de schémas et la programmation.

Son contenu est adapté aux étudiants pour qu'ils puissent connaître les organes constituant les SA ainsi que leurs principes de fonctionnement. Effectivement, ce programme est une introduction à différentes matières des semestres cinq (S5) et six (S6) de la formation du premier cycle.

# Chapitre 1

## Introduction

L'automatique est la science qui propose les méthodes et les outils relatifs à la commande et contrôle des systèmes à fin de donner une certaine autonomie aux machines, elle concerne une grande majorité de domaines telle que l'automobile, mécanique, hydraulique, hydrocarbure, industrie, etc. Ces développements sont relativement récents à vu d'accélération de ces champs d'application dans les différents domaines d'activités pour automatiser les tâches monotones, répétitives et dangereuses [1].

Ce cours permet de comprendre la structure d'un Système Automatisé de Production, et de définir les différentes parties de ce système.

Un système est un ensemble d'éléments organisés, il peut être matériel (Machine , logiciel, l'intervention humaines), des méthodes ou services dans le but de réaliser des tâches (C'est la fonction du système) [1]. Exemple : voiture, machine a laver.

Le premier chapitre de ce polycopié est dédié à une introduction qui représente une l'étude du système automatisé, ensuite la représentation fonctionnelle d'un système, enfin l'objectif de l'automatisation des systèmes de production et leur domaines d'applications.

Le deuxième chapitre est constitué de la "Structure d'un système de production" et la description des deux parties dun systeme automatisé à savoir : la partie opérative (PO) et la Partie commande (PC) et les éléments constitutifs de chaque partie.

Le troisième chapitre concerne la partie commande (PC) et les différents possibilité de commandes : combinatoire, séquentiel, asservis et la logique programmée. Il permet aussi d'étudier les automates programmables industriels (API) et LE dialogue Homme-Machine. Le quatrième chapitre permet de comprendre l'architecture des systèmes de production en décrivant les types de systèmes de production automatisés, les caractéristique des système de production flexible et les outils de la flexibilité.

Le cinquième chapitre permet d'expliquer le rôle et l'utilisation des réseaux dans l'automatisation de la production, ensuite, il présente des notions de base sur les réseaux locaux industriels et leur applications. Le dernier chapitre permet d'étudier deux systèmes automatisés, en décrivant les schémas de câblage et la programmation en Grafcet.

# 1.1 Représentation fonctionnelle d'un système technique

## 1. Fonction Globale (FG)

Un système est toujours finalité, c'est à dire le but lui a été assigné [1] :

**Définition 1** : La fonction globale d'un système est réaliser le passage des conditions d'entrées à celles de sorties. **Définition 2** : C'est le rôle joué par un système technique afin de conférer une valeur ajoutée à une matière d'œuvre d'entrée en la transformant en une matière d'œuvre de sortie (Figure 1.1). **Exemple** : Système : Machine à laver →

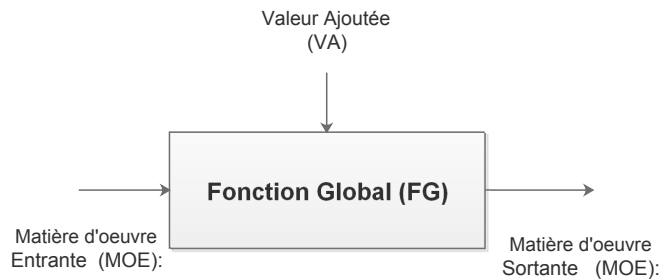


FIGURE 1.1 – Fonction Globale.

Fonction Globale (F.G) = Laver le linge

## 2. Matière d'œuvre (MO) :

C'est le produit qui subit l'intervention du système (matière, information, énergie...), il peut se présenter sous plusieurs formes [1] :

- **Un produit** : c'est la matière à l'état liquide , gazeuse ou solide, elle peut être sous forme :
  1. **L'objet technique** : roulement, moteur, véhicule, .etc
  2. **De produit chimique** : plastiques, pétrole etc.
  3. **Des produits électroniques** : Diodes conducteur semi-conducteur, micro-processeur, automate programmable,. etc
- **L'énergie** : Il existe différents types d'énergie : Electrique, Pneumatique, Nucléaire, Thermique....
- **L'information** : Sous forme écrite, physique, audiovisuelle, etc.
- **L'être vivante** : individuellement ou collectivement.

**La Matière d'œuvre Entrante MOE** : La matière d'œuvre dans son état initial (sans modifications).

**La Matière d'œuvre Sortante MOS** : La matière d'œuvre dans son état Final(La Matière d'œuvre transformée).

### 3. Valeur Ajoutée (VA) :

La modifications des caractéristiques de la matière d'œuvre après passage dans le système (transformation, déplacement...) est appelé **valeur ajoutée**, c'est l'objectif global pour lequel a été défini conçu, réalisé, puis éventuellement modifié, le système [1]. C'est en faisant la différence entre l'état final et l'état initial de la MO que l'on met en évidence la valeur ajoutée. La valeur ajoutée égale la différence entre la Matière d'œuvre Entrante (MOE) et la Matière d'œuvre Sortante (MOS) :

$$VA = MOS - MOE \quad (1.1)$$

La valeur ajoutée peut être liée au temps, à l'espace ou à la forme [2] :

- **Valeur ajoutée liée au temps** : la Matière d'œuvre ne subit aucune modification de caractéristique ou de la forme, ni aucun changement de position .Le produit est conservé et mis en attente à une place connue.
- **Valeur ajoutée liée à l'espace** : elle peut être le changement de position ou le déplacement d'un produit, d'une énergie ou d'une information.
- **Valeur ajoutée liée à la forme** : La valeur ajoutée est le changement de forme, l'état , de composition moléculaire, de structure,de caractéristiques physiques, la valeur ajoutée est alors :
  - **Changement d'état** : Solide, Liquide, gazeux...
  - **Changement de composition** : moléculaire ....
  - **Changement de structure** : Atomique ..
  - **Changement de caractéristique** : Mécanique, température, usinage ....
  - **Changement de forme** : Moulage, fraisage, perçage ....

**Exemples de systèmes :**

Systeme	La Matière d'œuvre Entrante MOE	La Matière d'œuvre Sortante MOS	Valeur Ajoutée	Fonction Globale
Chauffage électrique	Salle a chauffer	Salle Chauffée	Le chauffage	Chauffer la salle
Centrale électrique	Gaz	Énergie électrique	Conversion	Production d'énergie
Usine d'assemblage (automobile, électronique)	Composants, pièces détachées	équipements	assemblage	Usinage

Tableau 1.1 – Exemple de systèmes



#### 4. Données de contrôle :

Ce sont les paramètres ou les contraintes qui lancent ou changent le fonctionnement de la fonction globale. Ces contraintes se classent en quatre catégories [2] :

1. **Énergie (W)** : elle peut être :
  - Énergie électrique ( $W_e$ )
  - Énergie pneumatique ( $W_p$ )
  - Énergie mécanique ( $W_m$ )
2. **Paramètres de configuration (C)** : c'est la programmation, le choix d'un programme par l'utilisateur.
3. **Paramètres de réglages (R)** : par exemple réglage de la vitesse, température, niveau ...
4. **Les données de l'exploitation (E)** : ce sont les consignes de fonctionnement données par l'opérateur ou le matériel (Marche, arrêt.... etc )

#### 5. Les sorties secondaires (SS)

Plus de matière d'œuvre sortante (MOS), le système peut donner des rapports supplémentaires à l'environnement, elle peuvent être : Des informations (messages, alarmes, signalisations), des nuisances (bruit, chaleur, déchets.)

#### 6. Modélisation d'un système technique :

Un système automatisé est conçu pour réaliser une/ou plusieurs tâche. Chaque tâche peut être définie par :

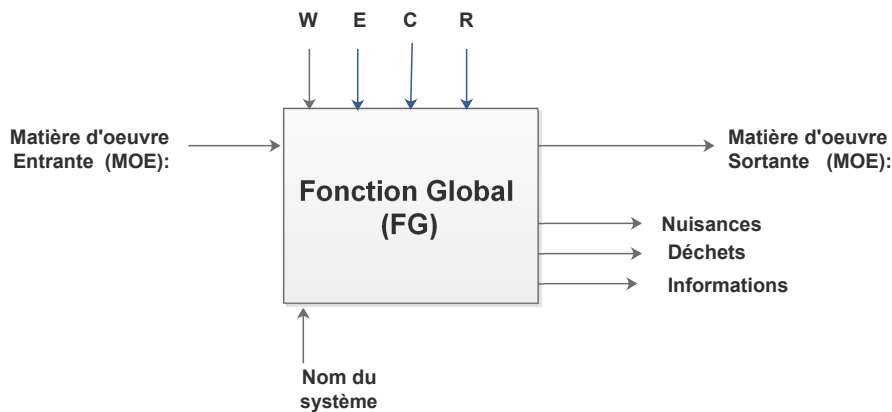


FIGURE 1.2 – Fonction Globale.

- **Sa fonction** : Fonction Globale
- **Les flux associés** : données d'entrée et donnée de sortie
- **Les contraintes** : données de contrôle
- **Les moyens associés à la tâche** : calculateur

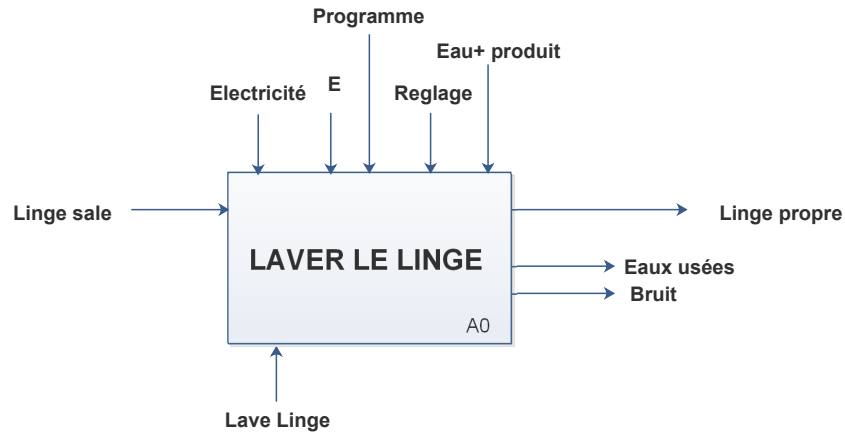


FIGURE 1.3 – FG machine à laver.

La modélisation c'est la représentation graphique d'un système technique en faisant apparaître les éléments définis, ce sont les éléments physiques ou technologies qui réalisent la Fonction Globale (Figure 1.2).

Exemple :

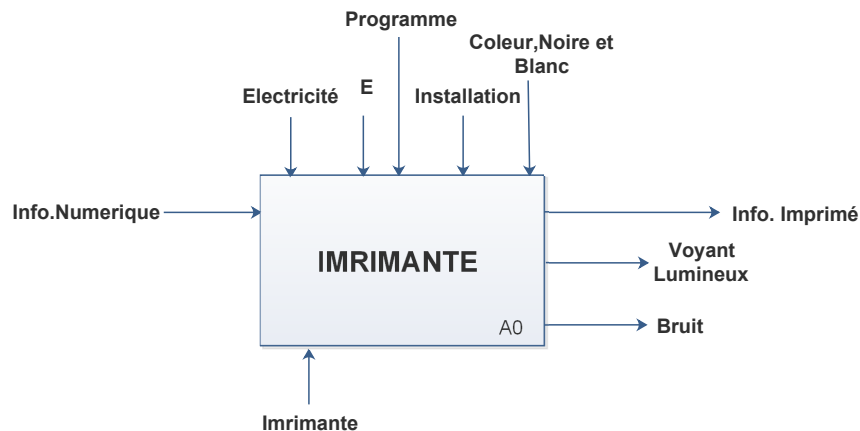


FIGURE 1.4 – FG Imprimante.

**Machine à laver 1.3 :** Pour une machine à laver, les données de contrôle sont :

- Électricité (We)
- réglage de température, la vitesse (R)
- Délicat ; Rinçage et essorage (C)
- Mise en marche (E)
- Linge sale (MOE)
- linge propre (MOS)
- Eau usée, Bruit (SS)

**Imprimante 1.4 :** Les données de contrôle sont :

- Électricité (We)

- Couleur ; noire et blanc (R)
- Installations (C)
- Mise en marche (E)
- Information numérique (MOE)
- Information imprimée (MOS)
- Voyant Lumineux, Bruit (SS)

### 1.1.1 Décomposition d'une tâche en sous-tâches

Un système automatisé peut être décomposé sous plusieurs tâches, qui elles-mêmes peuvent être aussi décomposées jusqu'à des tâches élémentaires.

Cette représentation graphique (modélisation) est appelée **Analyse Fonctionnelle Descendante**, en anglais **Structured Analysis and Design Technique (SADT)**, c'est une méthode qui permet de décrire des systèmes complexes, c'est à dire des systèmes pluri-technologiques qui contiennent à la fois une partie mécanique, une partie électronique ou une partie automate. C'est une méthode descendante qui permet de décrire la fonction globale en modules fonctionnels (sous-systèmes) [1].

La fonction globale du système automatisé constitue le BLOC D'ACTIVE A-0, les Blocs 1,2,3..... sont appelés les **Actigrammes**, Figure 1.5

**Exemple** :Système de contrôle d'accès :

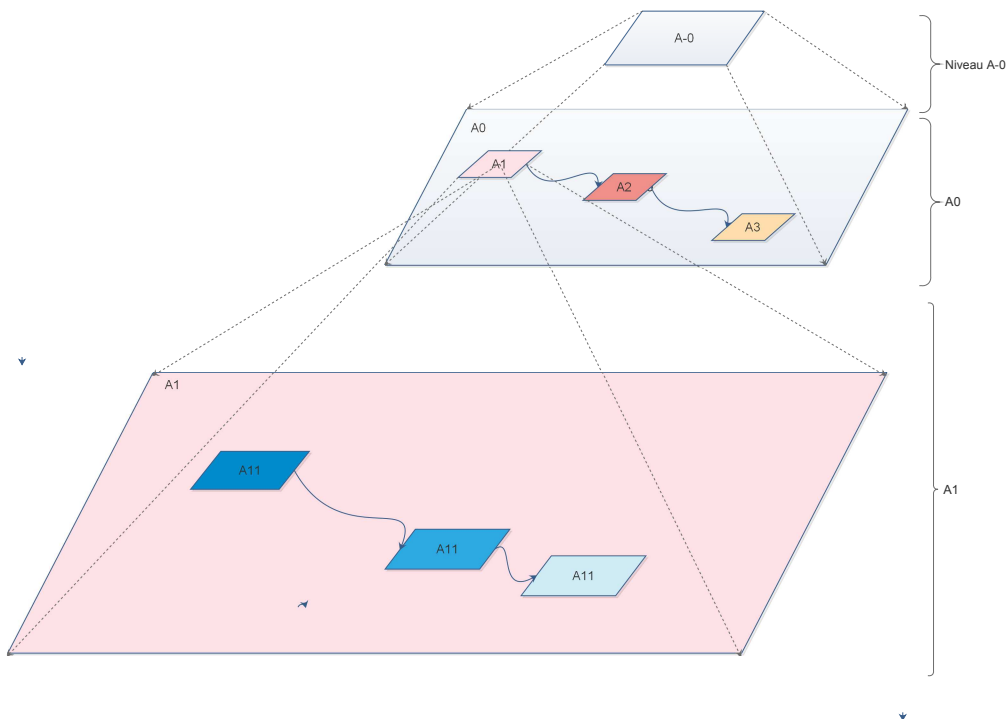


FIGURE 1.5 – Analyse Fonctionnelle Descendante(DAST).

Un système de contrôle d'accès à une espace est représenté par sa fonction globale (Fi-

gure 1.6), à l'entrée de la chaîne, un lecteur de cartes permet d'identifier la personne et envoyer les informations à un ordinateur. Si la personne est autorisée à accéder, le portillon est ouvert, sinon il reste fermé. Des informations sont affichées (Nom, Prénom, Nombre, passages). On peut identifier trois tâches principales (Figure 1.7) :

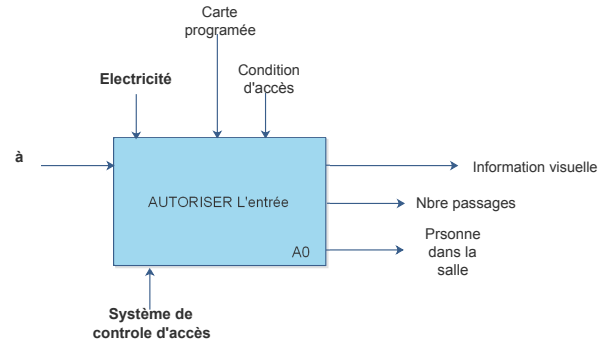


FIGURE 1.6 – FG : Système de contrôle d'accès.

- **La porte** : dont la fonction est de LAISSER passer la personne.
- **Lecture de la carte** : dont la fonction est de LIRE la carte magnétique.
- **Calculateur** : dont la fonction est de GERER le passage des personnes et l'ensemble du système.

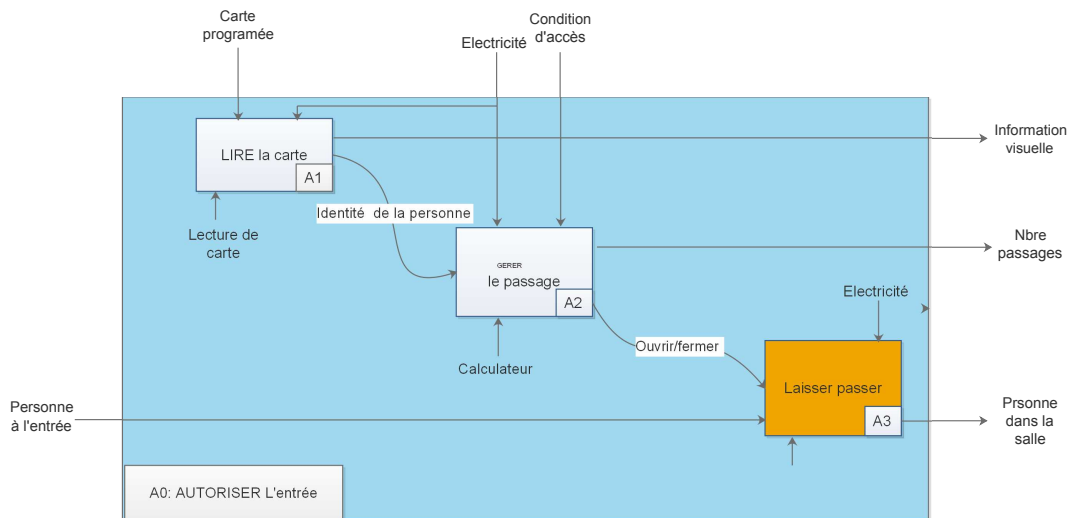


FIGURE 1.7 – Système de contrôle d'accès (Fonction A0)

La Fonction A3 est décomposée à son tour en sous fonctions (Figure 1.8 )

## 1.2 Objectif de l'automatisation des productions

L'objectif de l'automatisation des systèmes est **produite**, en ayant recours le moins possible à l'homme, des produits de qualité avec un coût le plus faible possible.

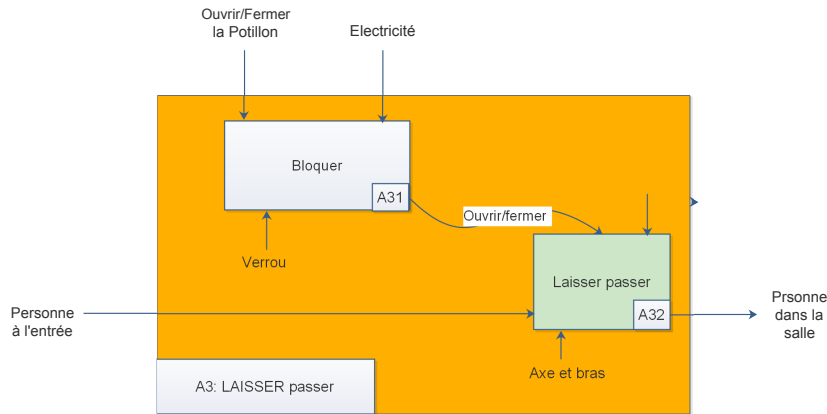


FIGURE 1.8 – Système de contrôle d'accès (Fonction A3).

L'objectif d'un système de production est de conférer une valeur ajoutée à un ensemble de matières d'œuvre dans un contexte donné. Il élabore des produits qui peuvent être : soit des produits finis, directement commercialisés, soit des produits intermédiaires servant à la réalisation des produits finis. Il utilise souvent beaucoup d'énergie électrique, pneumatique et hydraulique.), pour son fonctionnement, il nécessite une intervention humaine dans la surveillance, le démarrage, supervision, contrôle et la maintenance.

Les Objectifs de l'automatisation de production (SAP), sont nombreux et coûteux principalement [3] :

- La capacité de produire rapidement dans tous les domaines industriels en gardant la qualité de produit.
- La recherche de coûts plus bas, par réduction des frais de main-d'œuvre, l'économie de matière, d'énergie.
- Remplacement de l'homme dans les travaux dangereux ou pénibles et l'amélioration des conditions de travail.
- La réalisation d'opérations répétitives.
- La suppression de certaines tâches fatigantes, répétitives ou nocives pour l'homme.

### 1.3 Rentabilité d'une automatisation

Dans un projet, il est nécessaire de calculer et analyser la rentabilité de l'automatisation. Ces études devaient toujours se faire en considérant les risques techniques et financiers. L'amélioration de la rentabilité repose sur l'augmentation des temps productifs des cellules de fabrication [2]. Il faut cependant noter que les différentes technologies et composants qui forment les SAP malgré les avantages qu'ils présentent, peuvent engendrer certains inconvénients qu'il ne faut pas négliger[livre automatismes industriels], il existent et sont à prendre en considération comme [3] :

- Le cout assez élevé du matériels, principalement dans les systèmes hydrauliques ;
- Les frais des formations pour les spécialistes (électroniciens, automaticiens) ;

— La suppressions d’emplois.

**Gains** peuvent être : l’économie de main-d’œuvre directe, l’économie de coût de formation, l’économie de non-qualité de la matière d’œuvre, l’économie de retours des produits (garanties) .....etc.

**L’investissement** peut être considéré : coût d’acquisition (frais de l’équipement), coût de mise en production (perte de production, ralentissement de la production), Coût de réalisation, fonctionnement et entretien.....etc.

**Rentabilité** elle peut s’exprimer sous forme du temps de retour des investissements, comme suit :

$$\text{Nbr ans par retour d'investissement} = \frac{\text{L'investissement}}{\text{Gains}} \quad (1.2)$$

## 1.4 Domaines d’applications des SAP

Les systèmes automatisés se sont implantés dans de nombreux domaines industriels. Les différentes technologies se sont associées et peuvent répondre à tous les problèmes que posent les productions actuelles. De nombreuses industries utilisent ces systèmes, permettant ainsi de faire évoluer la technologie des automatismes [3].

### 1.4.1 Domaine de l’industrie automobile :

ce secteur utilise par exemple , des robots pour effectuer : la peinture de voitures, l’assemblage, la maintenance .....etc.

### 1.4.2 Domaine de la machine-outil :

L’automatisation dans ce secteur est assez importante. On trouve principalement des applications dans les unités de perçage (plateaux à indexations).

### 1.4.3 Le contrôle des produits :

Ce secteur important de l’industrie, où la production est intensive, se situe souvent en bout de chaîne. Il permet à l’aide de capteurs ou de cellules de détecter d’éventuels défauts sur les produits.

### 1.4.4 L’automatisation de service

Les composants de puissance et de commande trouvent ici des applications faciles et très utiles comme par exemple l’ouverture programmée de portes et de fenêtres. Dans ce domaine, les applications sont nombreuses et très variées.

## Structure d'un système de production

### 2.1 Décomposition Partie Opérative et Partie commande (PO/PC) :

Chaque système automatisé est constitué une partie opérative (PO) et une partie commande (PC) [1]

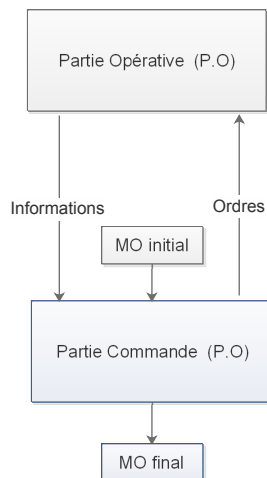


FIGURE 2.1 – Structure générale d'un système automatisé.

1. La partie opérative (PO), c'est l'ensemble des moyens techniques qui permettent d'apporter une valeur ajoutée la matière d'œuvre.
2. La partie commande (PC), c'est l'ensemble qui assure le pilotage et la coordination des tâches. Elle représente le cerveaux qui décide et donne les ordres à la partie opérative (Figure 2.1) .

Tout système peut se décomposer selon le schéma de la figure 2.2.

**Partie Opérative :** Elle agit sur la matière d'œuvre afin de lui conférer une valeur ajoutée utilisant **des actionneurs** (Moteurs électrique, Vérins )qui agissent sur la partie mécanique (Effecteurs), elle émet aussi des comptes rendus de l'état du système à travers **des capteurs** [4].

**Partie Commande :** Elle donne des ordres aux **préactionneurs** (Contacteurs, Distributeur ) permettant de commander les actionneurs afin d'assurer le transfert d'énergie entre la source de puissance (réseau électrique, pneumatique ) et les actionneurs, ces préactionneurs sont commandés par le bloc **Traitement des informations** ( Figure 2.2), ce bloc reçoit les consignes du **Pupitre de commande** (Boutons poussoirs), et les informations de la partie opérative à travers des **capteurs/détecteurs**. Ces entrées sont exploitées par l'organe de traitement qui applique un programme de gestion des taches (implémenté dans un automate programmable, ordinateur, micro-contrôleur). A l'issue du traitement les commandes sont transmises la PO et renvoyer des informations au pupitre de signalisations (voyants lumineux)[5]

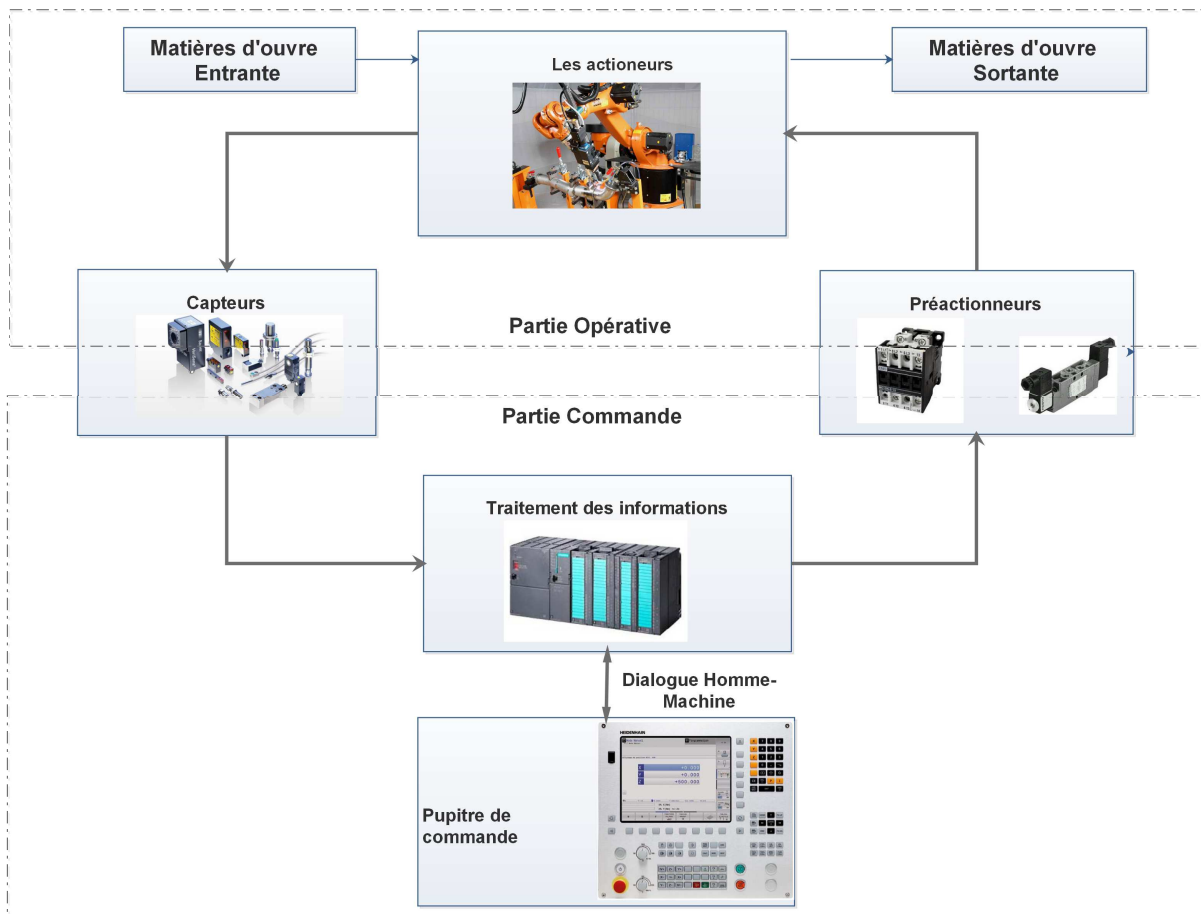


FIGURE 2.2 – Structure détaillée d'un système automatisé.



## 2.2 La chaîne fonctionnelle d'un système automatisé :

Une chaîne fonctionnelle est organisée en sous-ensembles constitués de composants. Dans une chaîne fonctionnelle (Figure 2.3), on distingue trois types de chaînes fonctionnelles [1] :

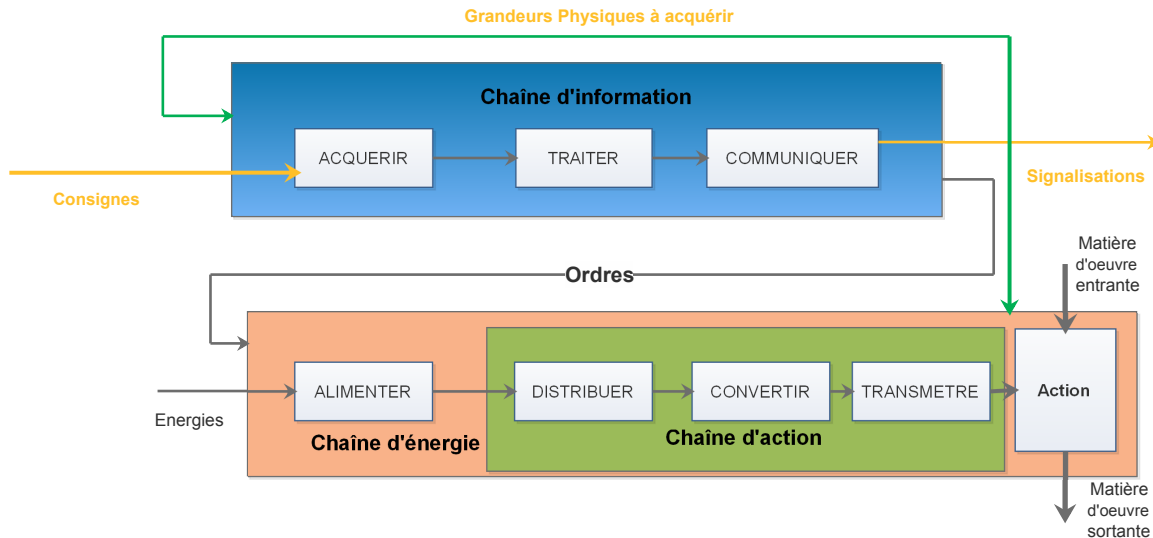


FIGURE 2.3 – La chaîne fonctionnelle d'un système automatisé.

**La chaîne d'informations :** c'est l'ensemble et l'organisation des composants qui permet d'acquérir, traiter et communiquer les informations, elle est constituée de capteurs et des unités de traitements.

**La chaîne d'énergie :** c'est l'ensemble et l'organisation des composants qui permet d'alimenter, distribuer, convertir et de transmettre l'énergie d'entrée. Elle est constituée de cartes d'entrées-sorties industriels, les contacteurs, les relais et les variateurs de vitesse.

**La chaîne d'actions :** est chargée d'appliquer les transformations à la matière d'œuvre. Elle est constituée par les préactionneurs, les actionneurs, les effecteurs.

## 2.3 Constituants de la chaîne d'énergie :

### 2.3.1 Préactionneur :

Le préactionneur est chargé d'alimenter l'actionneur en énergie de puissance utile, sur l'ordre de la partie commande.

Le préactionneur peut être un distributeur (chaîne d'action pneumatique), ou un contacteur (La chaîne d'action électrique).

## A. Distributeur :

Son rôle est de distribuer l'air comprimé dans les canalisations qui aboutissent aux chambres des vérins et réalise les deux fonctions : l'alimentation en pression et l'échappement l'air [3].

Le distributeur est constitué d'un corps contenant plusieurs orifices et d'un tiroir pouvant

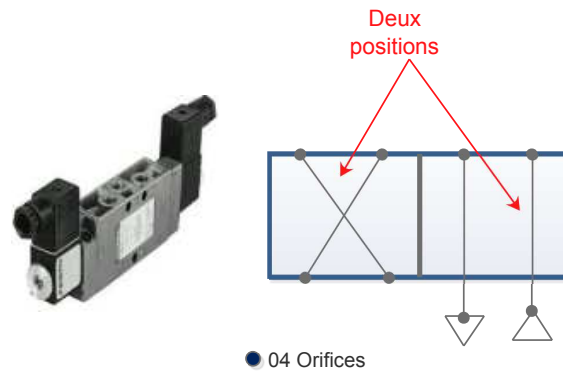


FIGURE 2.4 – Les distributeurs.

prendre plusieurs positions, il est identifié par le nombre tuyaux que l'on peut connecter (les orifices), et le nombre de positions que peut occuper le tiroir (figure 2.4).

On distingue les distributeurs suivants :

- 1. Bloqueur 2/2** : permet la coupure de la circulation de l'air comprimé, on place un bloqueur sur chaque orifice de vérin (Figure 2.5)

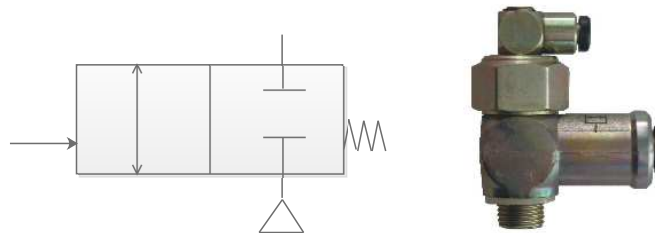


FIGURE 2.5 – Bloqueur 2/2

- 2. Distributeurs 3/2** : utilisé par les vérins simple-effet, il possède un seul orifice d'alimentation du vérin puisqu'une seule chambre peut être connectée au distributeur (figure 2.6).

- 3. Distributeurs 4/2** : c'est utilisé par les vérins double-effet, il est constitué de quatre (04) orifices (l'alimentation, l'échappement, connexion chambre avant du vérin et connexion chambre arrière du vérin) et deux (02) positions (figure 2.6).

- 4. Distributeurs 5/2** : ce distributeur possède un orifice par chambre, (pression, sortie 1, sortie 2, échappement 1, échappement 2) et deux positions ; il est utilisé par les vérins double-effet (figure 2.8).

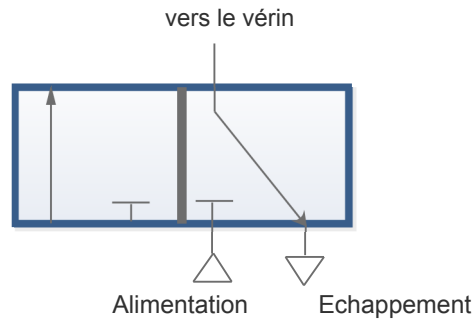


FIGURE 2.6 – Distributeur 3/2

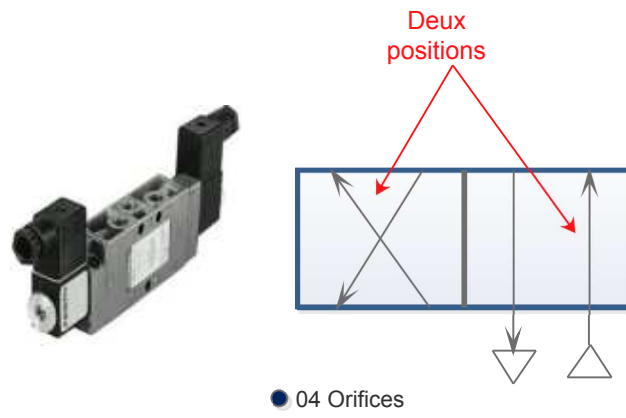


FIGURE 2.7 – Distributeur 4/2

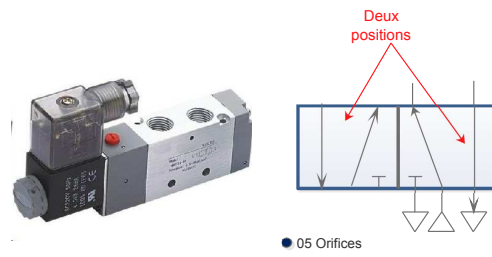


FIGURE 2.8 – Distributeur 5/2

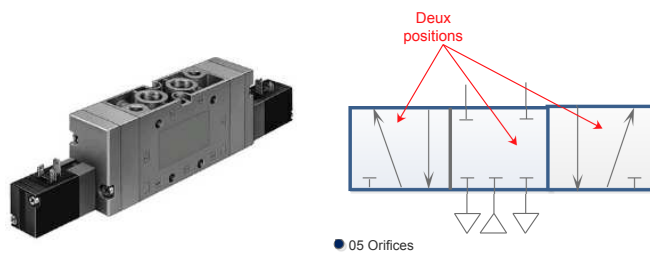


FIGURE 2.9 – Distributeur 5/3.

**5. Distributeurs 5/3 :** c'est un distributeur particulier utilisé pour les vérins à double effet, en repos les chambres du vérin sont isolées et maintiennent leur pression, il existe trois types de distributeurs 5/3 selon la configuration de la position centrale : fermée au repos, à l'échappement au repos sous pression au repos (figure 2.9)

**A.1. Le Pilotage (la commande des distributeurs) :** ce pilotage assure la commande de déplacement des tiroirs en fonction de la consigne opérative. Il existe plusieurs types de pilotages, ils sont représentés par la figure 2.10 :

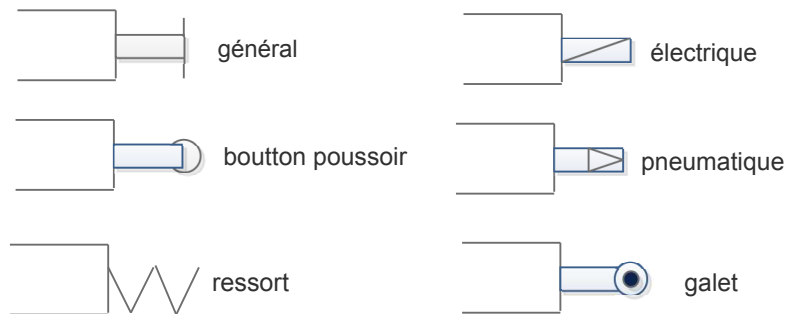


FIGURE 2.10 – Types de pilotages.

**A.2. Distributeurs monostables et bistables :** **Le distributeur monostable :** contient une commande avec ressort, le tiroir revient à sa position du ressort dès la disparition de la commande.

**Le distributeur bistable :** contient deux commandes de même type de pilotage ou double pilotage, le tiroir bouge quand s'il reçoit une commande (Figure 2.11).

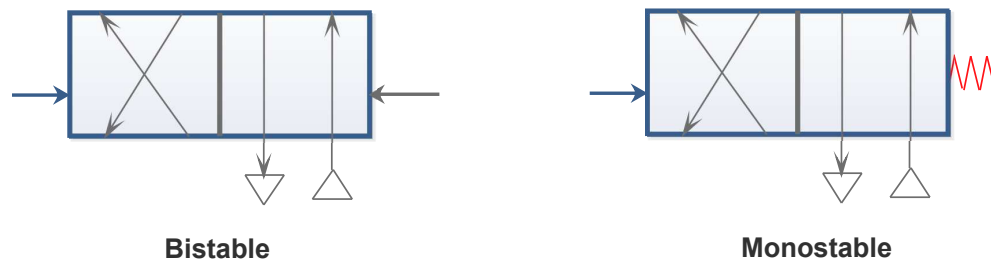


FIGURE 2.11 – Types de pilotages.

## B. Contacteur :

Le contacteur est un dispositif électrique qui permet d'établir ou d'interrompre le passage de l'énergie électrique, il est constitué de : un contact de puissance, armature mobile, un ressort de rappel et une bobine magnétique. Si la bobine est alimentée par un courant alternatif ou continu, elle crée un champ magnétique qui attire les contacts

liés mécaniquement et ainsi le circuit de puissance est fermé, ce qui autorise l'alimentation des actionneurs. (Figure 2.12).

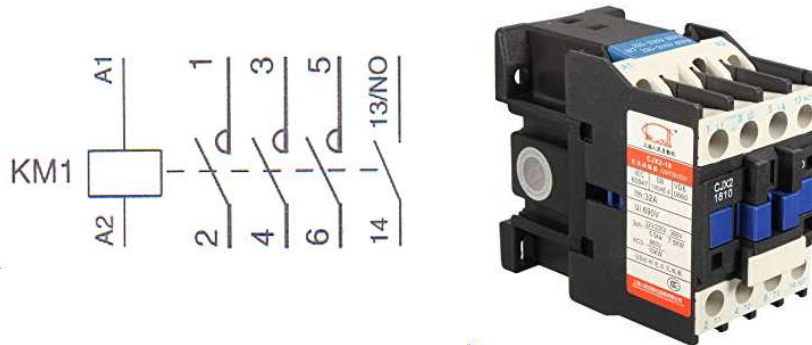


FIGURE 2.12 – Contacteur tripolaire moderne.

### 2.3.2 Actionneur :

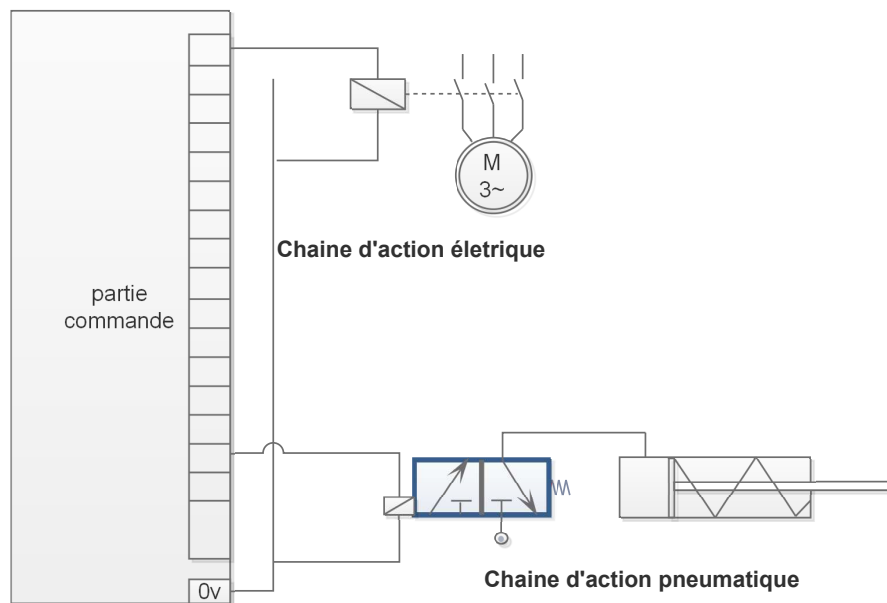


FIGURE 2.13 – Chaîne d'action.

Afin d'agir sur la matière d'œuvre, la partie opérative est constitué d'un ensemble d'effecteurs, qui sont des organes mécaniques, pneumatique ou hydraulique. Les effecteurs sont eux-mêmes mus par des actionneurs qui utilisent une énergie motrices.

Un actionneur est un constituant qui transforme une énergie disponible, prélever sur une source, en une action, en général mécanique, sur les effecteurs ou quelquefois directement

sur la matière d'œuvre [6].

La partie commande autorise l'alimentation des actionneurs par l'intermédiaire d'amplificateurs d'énergie : les préactionneurs, ces constituant à partir d'une commande à base niveau d'énergie, distribuent et modulent le flux d'énergie nécessaire aux actionneurs. Les énergies d'entrée et de sortie sont souvent de nature différente (figure 2.13).

### 1.Actionneurs électrique :

Selon la nature de l'action sur l'effecteur ou la matière d'œuvre elle-même, il existe plusieurs types d'actionneurs électriques :

- Les moteurs rotatifs, qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation ;
- Les moteurs linéaires ou les électro-aimants, qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique de translation ;
- Les résistances chauffantes, qui transforment l'énergie électrique en énergie calorifique (actionneurs-effecteurs).

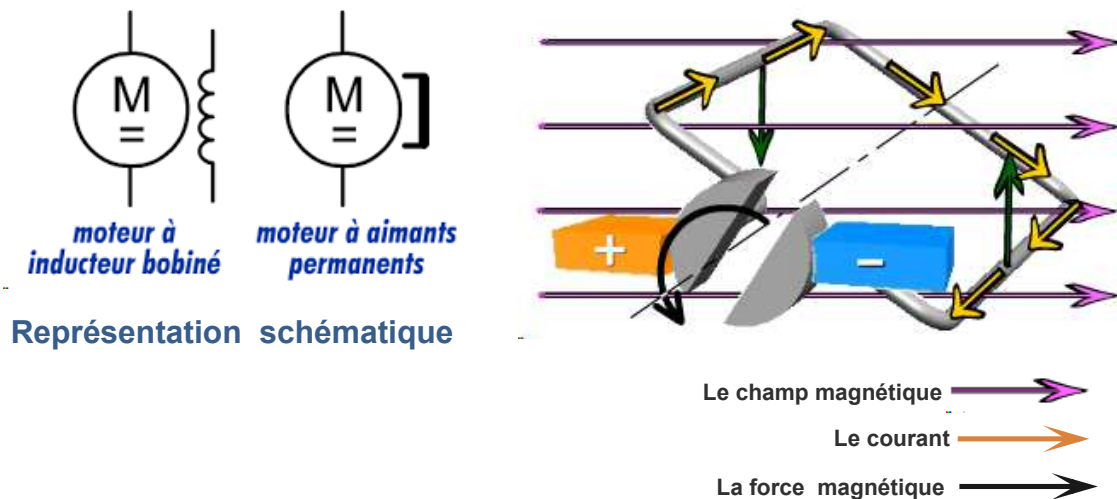


FIGURE 2.14 – Moteur à courant continu (MCC).

**1.Moteurs à courant continu :** Le moteur à CC est bien adapté aux applications nécessitant des vitesses fortement variables (des applications robotiques), des démarrages fréquents ou un freinage de la charge.

Le champ statorique fixe est créé par un élément appelé **inducteur** il peut être un aimant permanent ou un électro-aimant alimenté en courant continu.

Le champ rotorique est créé par une armature mobile constituée de deux conducteurs bobinés alimentés en courant continu. Afin de provoquer une rotation continue du rotor placé dans le champ fixe de l'inducteur il est alimenté par un collecteur glissant sur des balais qui provoquent une inversion de champ rotorique à chaque demi-tour (figure 2.14). L'inversion de sens de rotation est obtenue par l'inversion de la tension sur les balais.

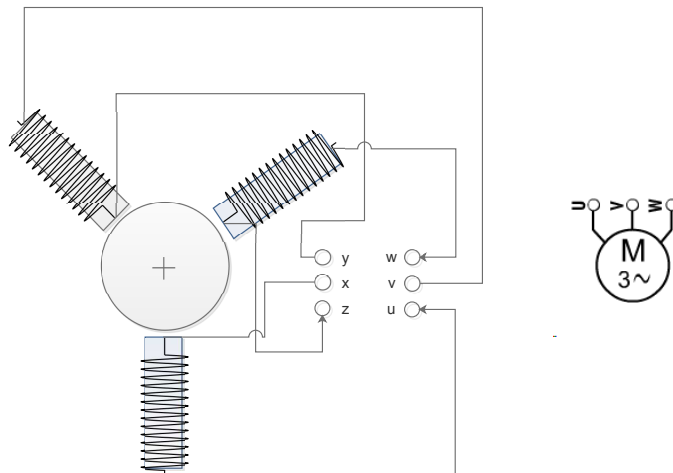


FIGURE 2.15 – Moteur asynchrone triphasé.

**2. Moteurs à courant alternatif (asynchrones, triphasés) :** Le champ statorique est produit par trois bobines d'induction, chacune alimenté par une phase du courant électrique triphasé (déphasage de  $120^\circ$ ).

Le courant alternatif triphasé qui traverse les trois bobines du stator crée un champ tournant à fréquence fixe. Dans un moteur asynchrone, le rotor ne peut tourner en synchronisme avec le champ statorique, il apparaît un glissement en fréquence qui est sensiblement proportionnel au couple résistant en régime permanent (figure 2.15).

**3. Moteurs synchrones :** Les moteurs synchrones sont dotés d'inducteurs identiques aux moteurs asynchrones ; le rotor constitue un aimant permanent (ou plusieurs), la vitesse de rotation correspond à celle du champ magnétique. Un moteur autosynchrone piloté est doté d'un capteur qui permet de connaître la position relative des champs magnétiques et avec un circuit électronique, de commander la commutation de l'alimentation des bobines.

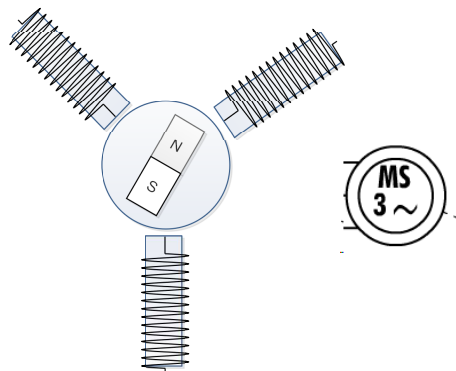


FIGURE 2.16 – Moteur asynchrone triphasé.

**4. Moteurs électrique pas à pas :** il sont utilisés dans les dispositifs de positionnement, normalement pour les appareils de faible puissance, car ils fonctionnent en général sans boucle asservissement et sont ainsi insensibles à certains phénomènes d'instabilité. En contrepartie ils doivent être utilisés en dessous de leurs limites de couple et de fréquence, afin d'éviter pertes de pas ou décrochage.

Un moteur pas à pas est conçu pour effectuer une position de tour (1 pas) chaque fois qu'il reçoit une impulsion électrique. La résolution d'un moteur électrique pas à pas peut être varier de 4 à 400 pas par tour.

Il existe principalement trois types de moteurs pas à pas :

- **Les moteurs à aimant permanent :** l'aimant se place dans l'axe du champs magnétiques créé par la bobine d'excitation qui est alimentée (figure 2.17). Il est possible d'obtenir des positions intermédiaires, ou demi-pas, en alimentant deux bobines simultanément. Le nombre de pas par tour obtenu sur de tels moteurs est réduit.

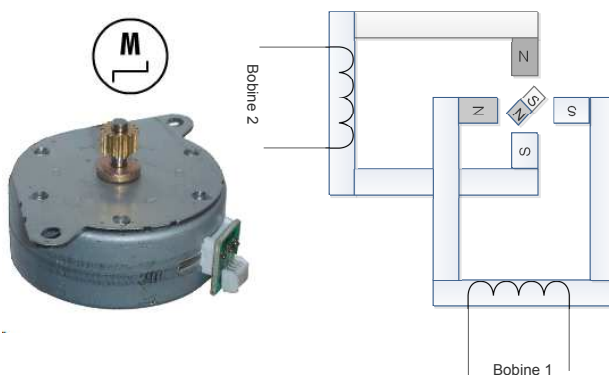


FIGURE 2.17 – Moteur pas à pas à aimant permanent.

- **Les moteurs à réluctance variable :** ne nécessitent pas de disposer d'aimants permanents, Ils sont dotés d'un stator et d'un rotor munis d'un nombre différent de pôles. Le stator, qui comporte un nombre pair de pôles, est doté de bobines d'induction placées sur chacun d'eux. Ces bobines sont alimentés par paires opposées de sorte que le rotor se place dans la position offrant la surface métallique (figure 2.18). La rotation est obtenue en alimentant successivement les paires de bobines suivantes correspondant au sens souhaité. Ces moteurs permettent d'obtenir un grand nombre de pas mais ne fournissent que faibles couples.
- **Les moteurs hybrides :** allient les avantages des moteurs à aimants permanents (couple plus élevé) et des moteurs à réluctance variable (nombre de pas). Leur principe est identique à celui des moteurs à réluctance variable mais leur rotor comporte des pôles d'aimant permanents (figure 2.19).

## 2.Actionneurs électropneumatiques :

### Vérins pneumatiques :



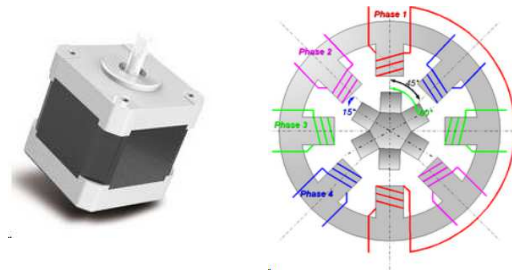


FIGURE 2.18 – Moteur pas à pas à réluctance variable.

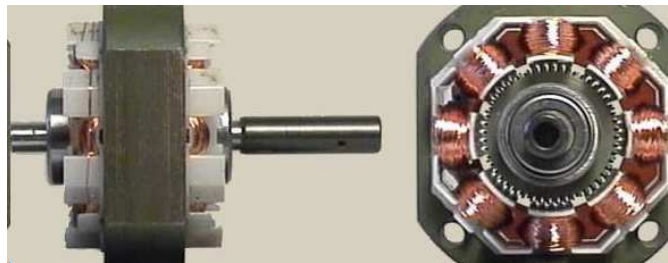


FIGURE 2.19 – Moteur hybride.

**Vérins standard à simple et double effet :** Un vérin est un actionneur utilisant de l'énergie pneumatique pour produire un déplacement linéaire limitée à sa course (figure 2.20).

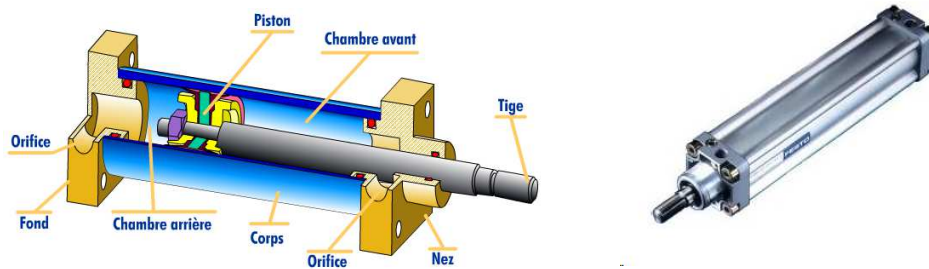


FIGURE 2.20 – Vérin pneumatique double effet.

**Un vérin à simple effet :** ne peut produire un effort significatif que dans un seul sens, le rappel de tige vers sa position de repos étant assuré par un ressort lorsque la chambre de travail est reliée à l'air libre.

**Un vérin double effet :** doit être rappelé en position initiale inversion d'alimentation des deux chambres. Un tel vérin peut produire un effort dans le sens de la sortie de tige comme dans le sens inverse. Les vérins sont dotés de dispositifs d'amortissement qui peuvent être réglables. La capacité d'amortissement d'un vérin doit être versifiée si

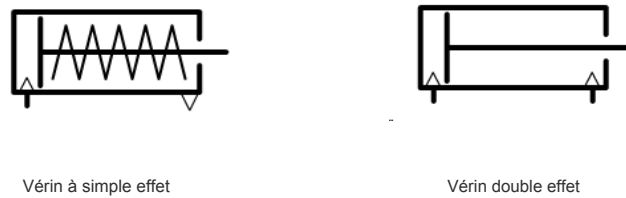


FIGURE 2.21 – Vérins standard à simple et double effet.

nécessaire lors de son dimensionnement. Les vérins pneumatiques sont alimentés par de l'air comprimé ou gaz neutre, filtré sous pression qui peut généralement aller de 1 à 10 (0.1 à 1 MPa).

**Vérins spéciaux :** Les constructeurs proposent diverses architectures de vérins répondant à des applications particulières. Les vérins compacts sont adaptés aux faibles courses en particulier pour des opérations de serrage de pièces.

**Vérins rotatifs :** Ils permettent d'obtenir un déplacement angulaire (et un couple) limité à un débattement qui est souvent intérieure à  $360^\circ$ . La rotation de l'arbre de sortie est obtenue directement par un piston en forme de volet disposé radialement, ou par transformation d'un mouvement de translation en rotation (figure 2.22)



FIGURE 2.22 – Vérins spéciaux (rotatif, sans tige) .

**Ventouses :** Ce sont des préhenseurs agissant par dépression. Une ventouse développe un effort qui est le produit de la surface ( $s$ ) de contact avec la pièce saisie et soumise à la dépression par la pression relative.  $P_r = P_a - P_v$ , soit  $F =_r .S$  (Figure 2.23)

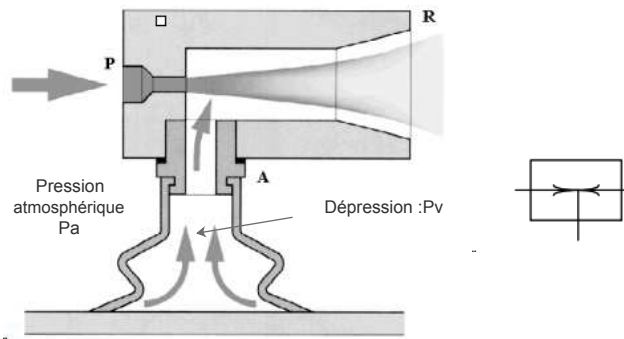


FIGURE 2.23 – Ventouse (Principe)

### 2.3.3 Transmetteur :

Son rôle est d'adapter et de transmettre l'énergie mécanique délivrée par l'actionneur pour la rendre utilisable par l'effecteur, il existe deux types : sans transformation de mouvement et avec transformation de mouvement



Sans transformation de mouvement



Avec transformation de mouvement

FIGURE 2.24 – Les transmetteurs

### 2.3.4 L'effecteur :

c'est le corps mécanique qui est chargé de la transformation de la matière d'œuvre.  
Exemple : Princes de robot (Figure 2.25)

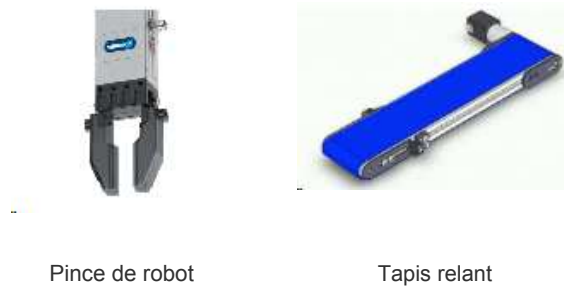


FIGURE 2.25 – L'effecteur

## 2.4 Constituants de la chaîne d'informations :

### 2.4.1 Capteurs industriels :

**Définitions :** un capteur est un dispositif électronique qui permet de prélever une grandeur physique (pression, température, débit) en une grandeur électrique (tension, courant, résistance ), exploitable par la partie commande [7].

#### A.Classification :

1. **Capteurs analogiques :** Ils délivrent un signal image du phénomène physique à surveiller sous la forme d'une tension ou d'un courant variant de manière continue. Les tensions courants sur les capteurs industriels sont :  $\pm 50mV$ ,  $\pm 1V$ ,  $\pm 5V$ ,  $\pm 10V$ . Les intensités courantes les capteurs industriels sont :  $0 - 20mA$ ,  $4 - 20mA$ . De tels signaux nécessitent un traitement particulier pour être utilisables par les parties commandes de types automate programmables industriels (API). Ce traitement consiste généralement à convertir le signal électrique analogique en signal numérique grâce à des convertisseurs analogiques numériques(CAN).
2. **Capteurs numériques :** Ils délivrent un signal image du phénomène physique à surveiller sous la forme d'un train d'impulsions dont le nombre ou la fréquence est l'image de cette grandeur soit un code numérique.

#### B.Principe des capteurs analogiques :

1. **Le corps d'épreuve** est un élément mécanique qui mesure sélectivement aux variations de la grandeur. Son rôle est de transformer cette grandeur en une grandeur physique mesurable [1].
2. **L'élément de transduction :** est un élément lié au corps d'épreuve qui traduit ses réactions en une grandeur électrique constituant le signal du capteur. La plupart des corps d'épreuve utilisés transforment la grandeur physique en déplacement ou déformation. Cette image est à son tour transformée en image électrique par l'élément de transduction.

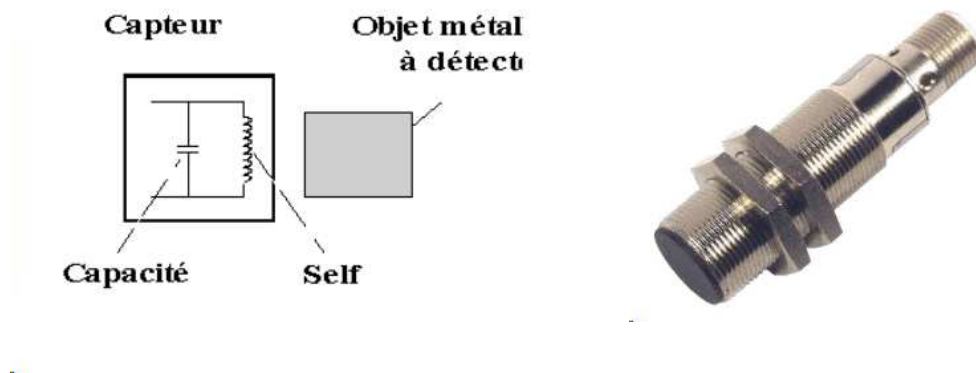


FIGURE 2.26 – Capteur inductif

### 3. Transformation d'un déplacement en tension ou courant :

- Elle peut se faire :
- par la variation de résistance d'un fil électrique très fin, collé sur un élément déformable, provoquée par son extension ou sa compression ;
  - par la variation de résistance d'un fil électrique très fin, collé sur un élément déformable, provoquée par son extension ou sa compression ;
  - par le déplacement du capteur d'un potentiomètre ;
  - par la variation d'inductance d'une bobine ( Figure 2.26) ;
  - par la variation de capacité d'un condensateur (Figure 2.27).

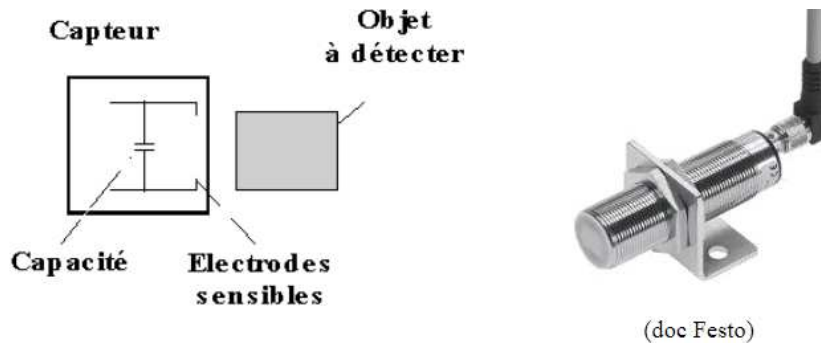


FIGURE 2.27 – Capteur capacitif

### 4. Transduction d'un phénomène physique en tension ou en courant :

- Il s'agit essentiellement de dispositifs de :
- mesure de température par thermocouple, dont le fonctionnement est basé sur le phénomène d'apparition d'une différence de potentiel entre les deux jonctions de deux métaux distinct soumis chacune à une température différente ;
  - mesure de pression ou la force par cristal piézo-électrique, sur lequel apparaît une différence de potentiel entre les faces opposées soumises à l'effort ;

- mesure de luminosité par photorésistance, photodiode, dont la conductivité varie avec le flux lumineux ;
- mesure de température par thermistance dont la résistance varie avec elle.

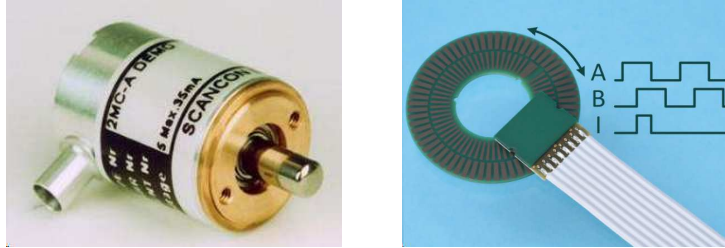


FIGURE 2.28 – Capteur angulaire incrémental

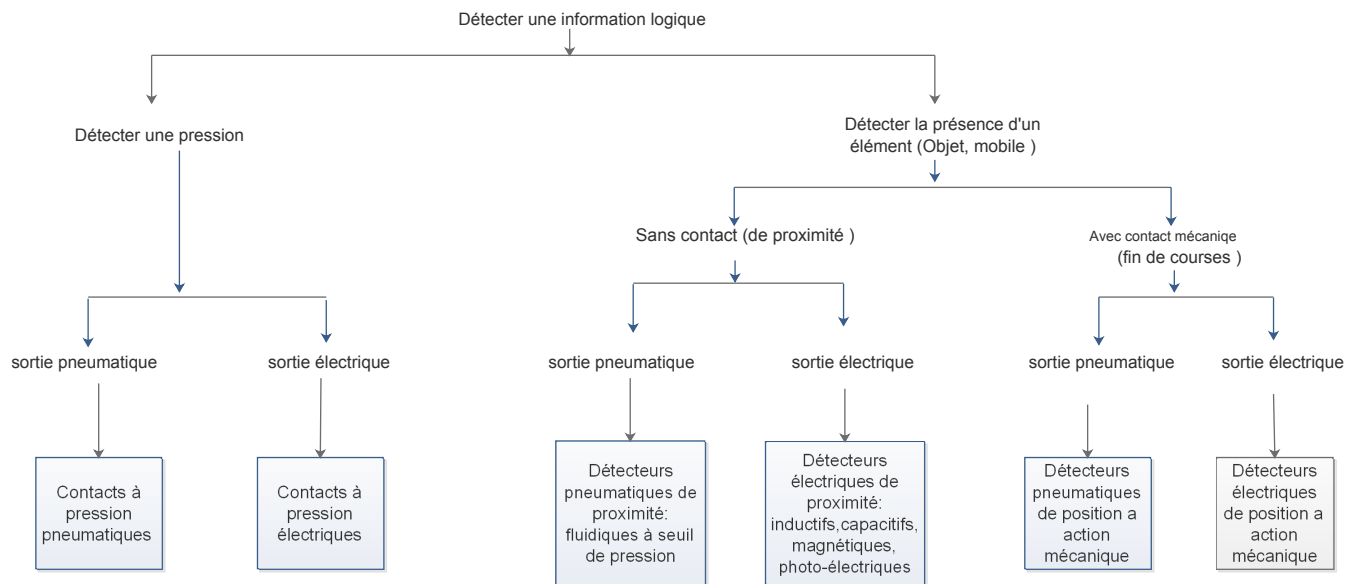


FIGURE 2.29 – Classification : détecteurs

### C. Capteurs numériques :

Les principaux capteurs numériques industriels sont les capteurs de position angulaire ou linéaire incrémentaux, les codeurs absolus, les lecteurs de code à barres et les lecteurs de pistes magnétiques.

**1. Capteur angulaire incrémental** Ce capteur dispose généralement de deux pistes décalées d'un quart de période, afin de permettre la détection du sens de rotation (Figure 2.28). De plus, la disposition de deux signaux déphasés d'un quart de période permet de multiplier la résolution d'un tel codeur. Un tel capteur permet à partir d'une mesure de position, d'élaborer une vitesse, une accélération par un traitement logique.

## 2.4.2 Détecteurs industriels :

Les détecteurs industriels les plus usités sont les détecteurs de position et les contacts à pression. Ces détecteurs industriels disposent soit de sorties électriques, soit de sortie pneumatique [1].

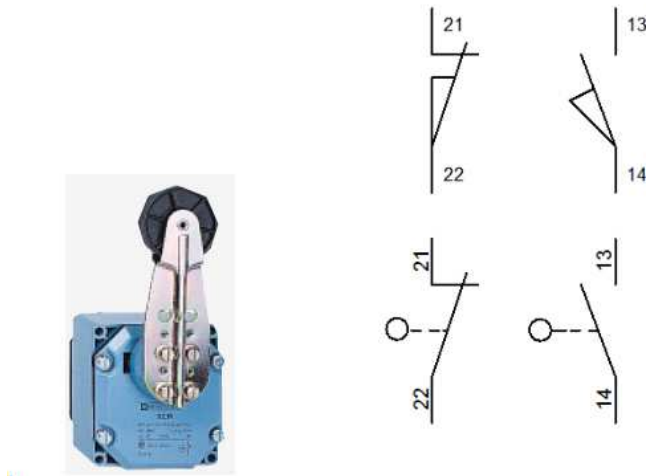


FIGURE 2.30 – Détecteurs TOR

**1. Détecteurs de présence à action mécanique :** Ce sont des commutateurs commandés par le déplacement d'un organe de commande (corps d'épreuve). Lorsqu'ils sont actionnés, ils ouvrent ou ferment un ou plusieurs circuits électriques ou pneumatiques, ce sont des détecteurs Tout Ou Rien (TOR). Exemple : interrupteurs de fin de course, interrupteurs de position, détecteurs de position, capteurs de fin de course (figure 2.30).

Afin de répondre aux exigences d'un fonctionnement industriel, un détecteur doit avoir une durée de vie suffisante, qui dépend de ses caractéristiques mécaniques. Il doit être précis, fiable et garantir une bonne répétabilité de la position de commutation (de  $\pm 0.1, 0.01mm$ ).

**2. Détecteurs de proximité :** Un détecteur de proximité délivre une information logique de présence de l'élément à détecter sans contact physique avec celui-ci.

On distingue les types suivants :

- les détecteurs électriques inductifs et capacitifs ;
- les détecteurs électriques optoélectroniques ;
- les détecteurs magnétiques ;
- les détecteurs pneumatiques.

Les détecteurs de proximité sont plus adaptés que les contacts mécaniques en cas :

- de force de manœuvre insuffisante ou interdite (pièces fragiles, pointes de frais, etc.);
- de fréquence de fonctionnement élevée;
- de vibrations ou chocs; de nécessité d'une grande durée de vie .

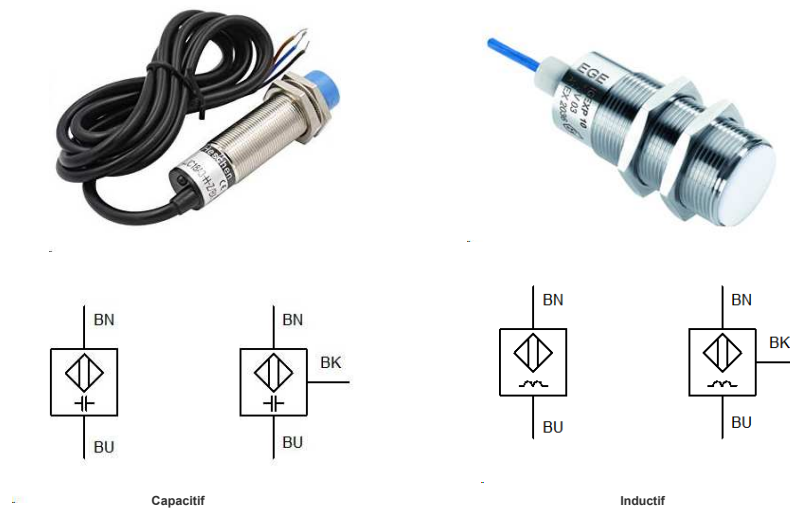


FIGURE 2.31 – Détecteurs de proximité inductif et capacitif

**1. Détecteurs électriques inductif et capacitifs :** Leur constituant principal est un oscillateur générant un champ électromagnétique de haute fréquence à l'avant de sa face sensible (100-600 kHz) (figure 2.31). L'entrée d'une pièce dans champs rayonné entraîne un déséquilibre de l'oscillateur, qui après amplification, commande l'étage de sortie (thyristor ou transistor).

Les détecteurs inductifs ne réagissent qu'aux pièces métalliques. Les détecteurs capacitifs



FIGURE 2.32 – Détecteurs photoélectrique

sont plus spécialement utilisés pour détecter des éléments non conducteurs (bois, carton, verre, etc.).



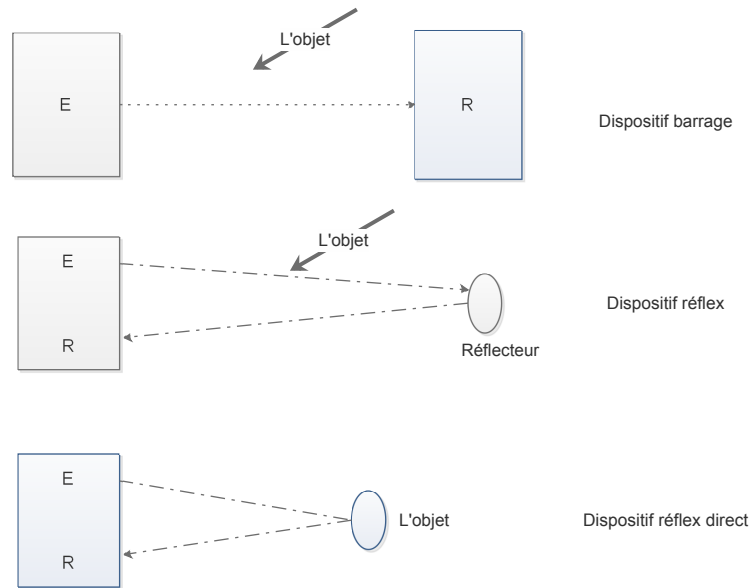


FIGURE 2.33 – Procédés de détection photoélectrique

**2. Détecteurs photoélectriques :** Un détecteur de proximité photoélectrique est constitué d'un émetteur qui est généralement une diode électroluminescente et d'un récepteur de lumière (généralement un phototransistor), qui peuvent être intégrés ou non dans le même constituant (figure 2.32). Afin de rendre le dispositif insensible à la lumière ambiante, l'émission de lumière, qui se fait soit en lumière infrarouge, soit en lumière visible, est pulsée à fréquence fixe.

Les détecteurs photoélectriques peuvent détecter la présence de leur cible de deux manières

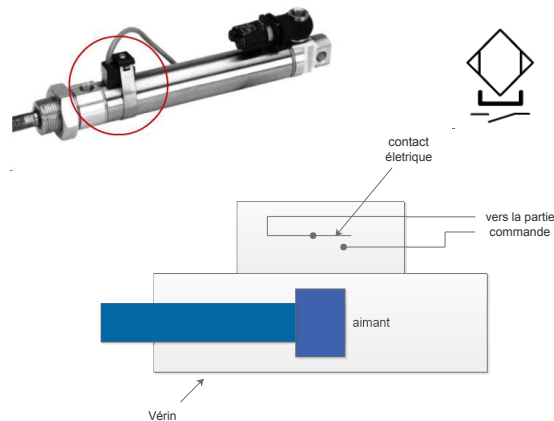


FIGURE 2.34 – Détecteur magnétique sans contact

(figure 2.32) :

- par blocage du faisceau par la cible passant dans le trajet de la lumière (**barrage**) ;

- par réflexion directe du faisceau vers le récepteur par la cible lorsqu'elle passe (dispositif **reflex** ), ce dispositif nécessite un émetteur de lumière réglable en intensité afin de ne détecter que la cible, lorsqu'elle se présente, et non l'arrière-plan s'il existe. La portée de ce dispositif dépend de la couleur de la cible et de son pouvoir réfléchissant, comme de sa surface, elle varie de 90 % à 20 % de la portée du même détecteur utilisé en (barrage) ou (reflex). (voir figure 2.33)

**3. Détecteurs magnétique sans contact :** L'application la plus courante concerne la détection des fins de courses des vérins. Ils sont alors fixés directement sur le corps d'un vérin spécial à piston avec élément magnétique : un détecteur magnétique sans contact est conçu pour détecter la fin de course, ou le passage, du piston (figure 2.34).

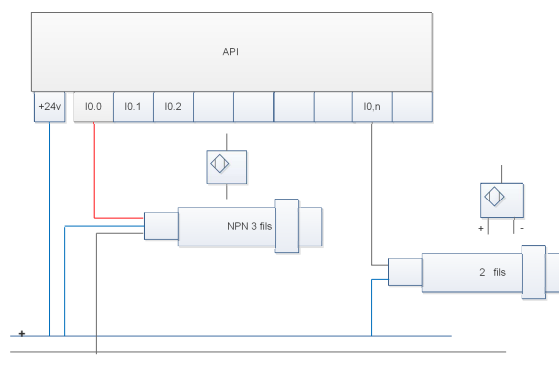


FIGURE 2.35 – Raccordement des détecteurs électriques avec un API

**4. Raccordement des détecteurs électriques :** Il existe, pour les détecteurs électriques, deux procédés de commutation : électromagnétique (relais) et électronique. Les premiers fonctionnent aussi bien en courant alternatif qu'en courant continu et peuvent commuter des puissances plus importantes que les seconds. Les seconds sont dotés en sortie de transistors dont la polarisation est soit PNP, soit NPN.

Il existe donc principalement deux types de sorties : (figure 2.35) :

- détecteurs à deux fils pour courant continu ou alternatif.
- détecteurs à trois fils, pour courant continu uniquement dont l'étage de sortie est un transistor.

**5. Détecteurs de proximité pneumatiques :** Un jet d'air à basse pression s'écoule normalement à l'air libre à partir d'un orifice annulaire disposé sur la face active du détecteur. Lorsqu'une cible présente suffisamment près, le jet est détourné en partie vers le centre de la face active ou débouche un conduit (figure 2.36). On y recueille signal pneumatique de 0.001 à 0.003 bar qui est augmenté par un amplificateur de pression. Un régulateur de pression assure l'alimentation du capteur et de l'amplificateur en air comprimé basse pression (0.1 à 0,2 bar).

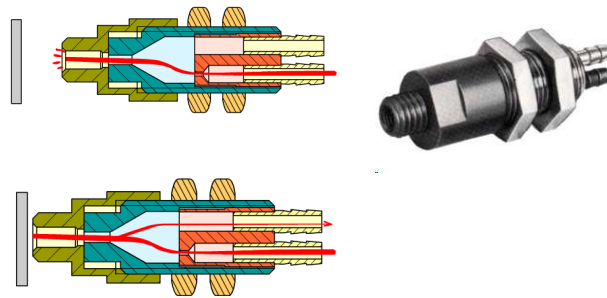


FIGURE 2.36 – Détecteur de proximité pneumatique

**3. Détecteurs de pression :** Les contacts à pression sont des interrupteurs-inverseurs, électriques ou pneumatiques, commandés par la pression lorsque cette dernière dépasse un seuil, fixe ou éventuellement réglable (qu'il s'agisse d'une pression ou d'une dépression, figure 2.37 2.16).

Les contacts à pression à seuil fixe commutent pour des pressions inférieures à 1.3 bar. Les contacts à pression à seuil réglable commutent pour des pressions de 1 à 8 bars.

La précision, la plage du réglage éventuel et la nature du fluide sur lequel ils interviennent

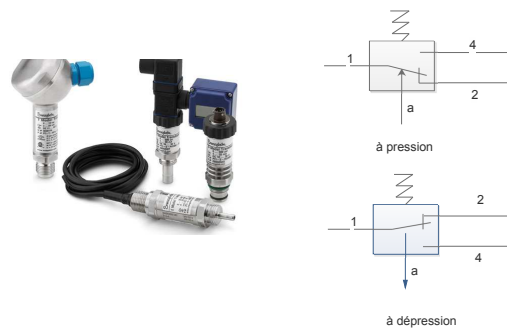


FIGURE 2.37 – Contacts à pression

font des contacts à pression des détecteurs simplifiés par rapport aux manostats. En sortie, le contact à pression s'utilise exactement comme n'importe quel détecteur.

## Partie commande

### 3.1 Introduction

La partie commande d'un système automatisé doit, d'une part, piloter l'activité individuelle de chacune des chaînes fonctionnelles (ou axes) de l'équipement, d'autre part, coordonner l'activité collective de ces différentes chaînes conformément au modèle de fonctionnement du système. Une grande diversité de commandes et de modèles de représentation peut être utilisée pour réaliser et représenter le fonctionnement d'un système logique. La figure 3.1 montre les différents types de commandes.

La réalisation matérielle des chaînes fonctionnelles d'un équipement automatisé nécessite

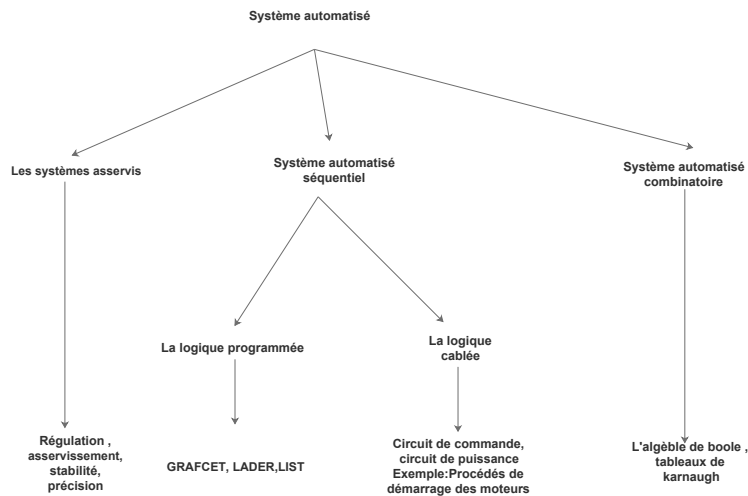


FIGURE 3.1 – Les types de commandes d'un système automatisé

l'interconnexion des divers composants ou constituants par câblage et la matérialisation du modèle de décision (PC) par programmation ou/et câblage.

Le câblage consiste à relier les composants ou constituants par des liaisons capables de véhiculer de l'énergie et des signaux (fils conducteurs, pistes en cuivre d'un circuit im-

primé, tuyaux pour l'air comprimé ou l'huile, etc.).

Les chaînes d'action (énergie de haut niveau) et d'acquisition sont, en règle générale, câblées.

Avec la technologie programmée, les fonctions sont mémorisées dans un constituant informatique et sont activées selon l'application par l'intermédiaire d'un élément logiciel : le programme.

De plus en plus, les équipements automatisés de production sont réalisés autour de constituants standard (automates programmables) couvrant des cas les plus élémentaires (commandes logiques) aux plus complexes (fonctions d'asservissement, de communication, etc.).

La technologie électrique câblée à base de relais est fréquemment utilisée en complément de la commande programmable pour la réalisation des circuits de sécurité et de contrôle de l'énergie. D'autres technologies de commande (cartes électroniques standard ou spécifiques) sont employées quand le nombre d'équipements identiques est important [9].

### 3.2 Système automatisé combinatoire :

Ces systèmes n'utilisent aucun mécanisme à mémorisation (ils n'ont pas de mémoire) et à une combinaison des entrées correspond une seule combinaison des sorties. La logique associée est appelée logique combinatoire. Les outils utilisés pour les concevoir sont l'algèbre de Boole, les tables de vérité, les tableaux de Karnaugh.

**Exemple de système fonctionnant en combinatoire[7] :** Si la présence d'objet à transférer est détectée par le capteur p alors le vérin-poussoir P entrera en fonction, si l'opérateur du poste 1, ou celui du poste 2, appuie sur le Bouton-poussoir correspondant (BP1 ou BP2). (Figure 3.2) Les systèmes automatisés utilisant la technique du "combina-

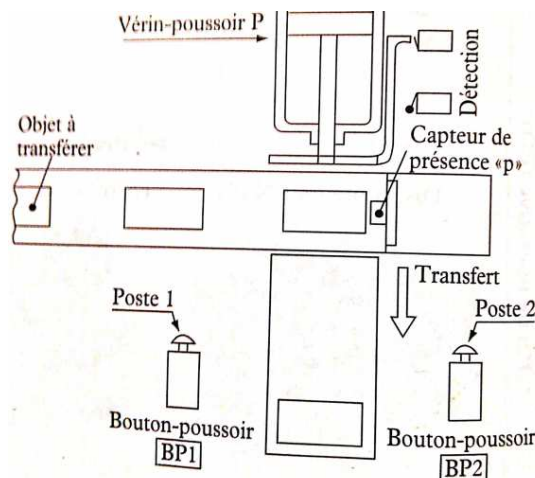


FIGURE 3.2 – Système automatisé fonctionnant en combinatoire [7]

toire" sont aujourd'hui très peu utilisés. Ils peuvent encore se concevoir sur des mécanismes

simples où le nombre d'actions à effectuer est limité (2 vérins). Ils présentent en outre l'avantage de n'utiliser que très peu de composants (vérins, distributeurs, capteurs, cellules).

### 3.3 Système automatisé séquentiel

Ces systèmes sont les plus répandus sur le plan industriel. Le déroulement du cycle s'effectue étape par étape. A une situation des entrées peut correspondre plusieurs situations de sortie. La sélection d'une étape ou d'une autre dépend de la situation antérieure du dispositif [7]. La logique associée est appelée "logique séquentielle". Elle peut être :

- avec commande pneumatique logique câblée ;
- avec commande électrique logique programmée.

**Exemple :** Le système place les objets coté à coté 3 par 3, sur un tapis d'évacuation 2, ainsi placés, les objets sont emmenés vers un dispositif de conditionnement sous film plastique rétractable (figure 3.3).

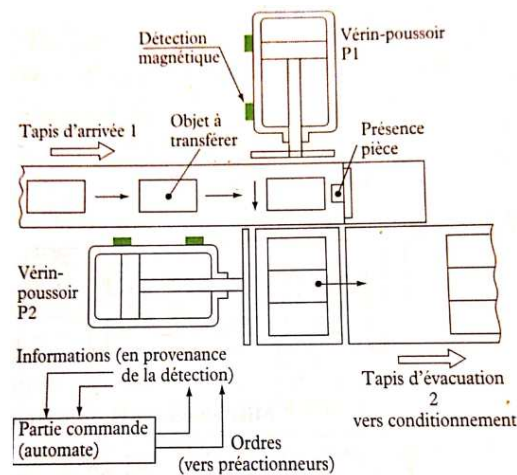


FIGURE 3.3 – Système automatisé séquentiel [7]

### 3.4 La logique câblée :

La source d'énergie, sur la partie commande, est l'air comprimé. L'élément principal s'appelle "Module séquenceur" et l'association des modules constitue un ensemble appelé **séquenceur** (figure 3.4). La détection est pneumatique, le pilotage des distributeurs se fait par action de l'air comprimé sur un piston qui fait déplacer le tiroir du distributeur à droite ou à gauche, l'ensemble appelé tout pneumatique est homogène et fiable [9].



FIGURE 3.4 – Séquenceurs pneumatiques.

### 3.5 Les systèmes asservis :

Pour les systèmes asservis, on désire que la sortie suive avec précision les variations de l'entrée et ceci, avec un temps de réponse réduit.

**Exemple :** Direction assistée d'automobile ou de véhicule industriel [1].

Les commandes asservis présentent de nombreux avantages, par exemple : amélioration les performances du système aux moyens de dispositif appelés **correcteurs**, améliorer la précision, la rapidité, augmenter le gain.

Leur inconvénient majeur est en premier lieu leur coût beaucoup plus élevé, lié à la nécessité d'un actionneur à vitesse variable et d'un pré-actionneur (un variateur de vitesse pour une commande de déplacement). Un deuxième inconvénient est la nécessité de devoir être parfaitement réglé pour obtenir un comportement acceptable, ce qui implique des réglages périodiques du fait de dérives.

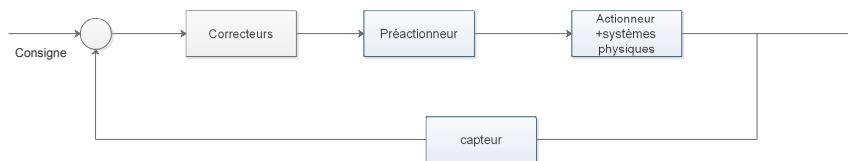


FIGURE 3.5 – Schéma de principe d'un système asservis .

### 3.6 La logique programmée :

Le passage des spécifications à la réalisation nécessite la transcription des modèles en programme établi selon des codes ou langages inspirés des techniques de l'informatique. Le constituant capable d'exécuter les modèles de commande d'un processus industriel est **l'automate programmable industriel (API)**. C'est un constituant, véritable ordinateur, qui s'intègre au cœur du système automatisé et qui est organisé pour être raccordé directement à des éléments [1] :

- de détection (détecteurs, capteurs, etc.) ;

- de la commande d'action (contacteurs, distributeurs, etc.); de dialogue opérateur de programmation et d'exploitation (terminaux, pupitres, boutons-poussoirs, etc.);
- de dialogue de supervision pour une gestion centrale (ordinateurs, etc.).
- afin de permettre le traitement informatique, les connexions physiques d'entrées/sorties doivent être repérées par une "Adresse" : c'est la phase d'affectation.

Le programme est constitué d'une suite d'instructions élaborées selon un code et des règles appelés **le langage** dont les types les plus répandus sont : les langages booléens, les langages graphiques et les langages évolués.

### 3.6.1 L'automate programmable industriel (API) :

L'automate programmable industriel (en abrégé API) est le constituant de base des équipements automatisés. Il est apparu vers les années soixante-dix, à la demande des constructeurs automobiles, qui souhaitaient disposer pour l'automatisation des usines d'un matériel pouvant s'adapter à l'évolution des fabrications plus simplement et à un coût moindre que les ensembles câblés. Initialement destiné au traitement des signaux logiques (encore appelés Tout Ou Rien ou TOR), il est capable de traiter des tâches de plus en plus complexes : calculs, asservissements, gestion, etc [10]. C'est un micro-ordinateur spécifique, qui se distingue des micro-ordinateurs de bureau par plusieurs caractéristiques :

- il est conçu pour fonctionner dans des ambiances industrielles qui peuvent être sévères ;
- il peut gérer un grand nombre de signaux d'entrées/sorties en temps réel ;
- il dispose de langages adaptés aux fonctions d'automatisme et qui ne réclament pas de connaissances particulières en informatique.

#### Architecture :

La structure de base d'un automate programmable comprend plusieurs ensembles fonctionnels (Figure 3.6) :

- l'unité centrale bâtie autour d'un microprocesseur (ou plusieurs) qui gère le fonctionnement de l'automate ;
- la mémoire utilisateur qui sert au stockage du programme et des données ; les entrées/sorties, interfaces entre les signaux électriques issus du processus et les variables informatiques ;
- les coupleurs de liaisons avec les organes de dialogue ou d'autres constituants programmables (automates, ordinateurs, etc.).

Ces unités échangent des informations par l'intermédiaire d'un ensemble de conducteurs : le bus, qui est réalisé généralement par un circuit imprimé. Les tensions nécessaires au bon fonctionnement des composants sont fournies par une alimentation qui peut comporter des dispositifs de surveillance de la qualité des tensions pour garantir un niveau de sûreté requis.

L'automate peut être : soit de conception monobloc (nano-automates ou micro-automates). Les capacités d'association et de communication des matériels récents, même parmi les



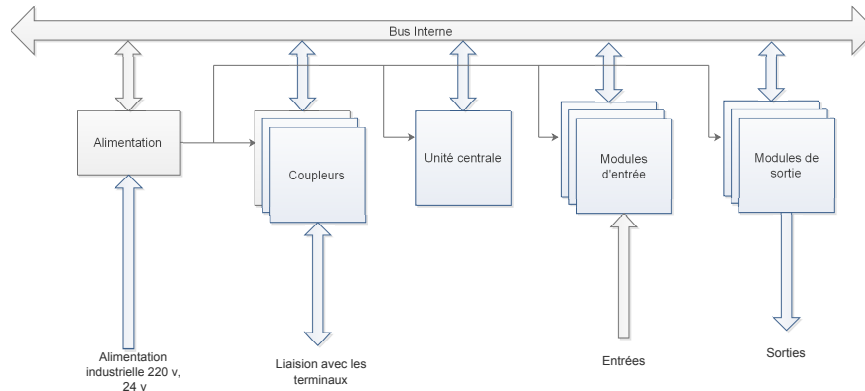


FIGURE 3.6 – Organisation d'un API.

gamme les plus basses, offrent de nombreuses possibilités de mise en réseau de ces constituants monoblocs ; soit de conception modulaire (automates multifonctions).

Cette organisation réunit un module d'alimentation et une unité centrale dans un bac pouvant accueillir divers types de modules allant des modules d'entrées/sorties TOR aux plus complexes [10].

Les APIs comportent les parties suivantes :

**1. L'unité centrale :** Elle constitue le "Cerveau" de l'appareil et est, en règle générale, construite autour d'un microprocesseur associé à un logiciel "moniteur" gérant les fonctionnalités de l'appareil. Elle est parfois, par abus de langage, appelée **processeur**. L'offre est variée permettant des traitements des plus élémentaires (travail sur bits) aux plus élaborés (travail sur mots, gestion de modules "intelligents" positionnement, asservissements, régulation, communication, etc.). Selon les modèles d'automates, le constructeur propose soit une cartouche contenant le logiciel de fonctionnement, soit un ensemble complet (matériel et logiciel) connecté sur un rack (Figure 3.6).



FIGURE 3.7 – Unité centrales pour API modulaire siemens.

**2. La mémoire :** la mémoire est l'élément qui stocke le programme de l'application et les données nécessaires au fonctionnement (durées de temporisations, présélection de compteurs, paramètres divers, etc.).

Durant la phase d'étude et de mise au point du programme, les mémoires utilisées sont généralement des mémoires RAM supportant facilement les modifications. Afin de ne pas perdre les contenus en cas de coupure d'alimentation, un dispositif de sauvegarde par batterie est nécessaire. En phase d'exploitation, le programme définitif est stocké dans des mémoires reprogrammables (EPROM) qui permettent des modifications. Une mémoire de type RAM reste nécessaire pour les données temporaires [10].

La taille mémoire s'exprime en nombre d'instructions (1 024, 2048, etc.) ou en KiloMots (en abrégé kmots). Les valeurs vont de quelques kilo- Octets à plusieurs centaines pour des applications importantes.

Exemple : 256 kmots de 16 bits pour un automate multifonctions Schneider Télémécanique

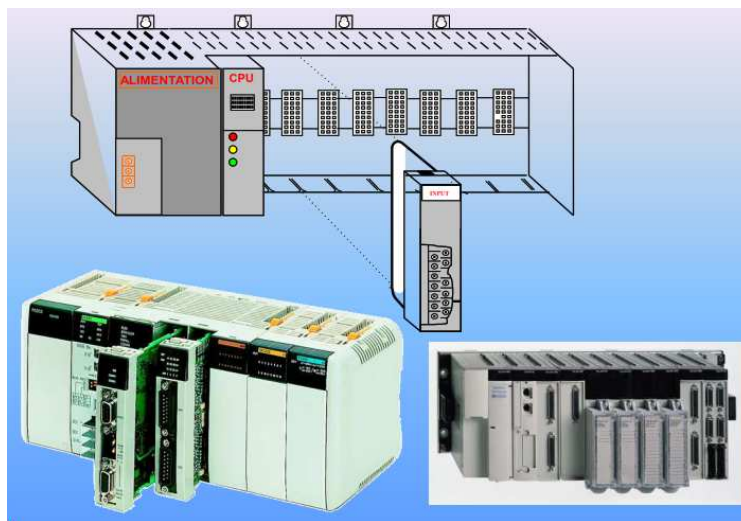


FIGURE 3.8 – API type modulaire.

**3. Les entrées/sorties :** **Les entrées :** Les caractéristiques des entrées sont :

- leur nombre et leur nature (TOR, numérique, analogique, etc.) ;
- les spécifications électriques de raccordement (tension, courant, alimentation) ;
- le filtrage, c'est-à-dire la capacité à ne pas laisser passer les parasites ou signaux d'une durée inférieure à une valeur définie. Les valeurs standard vont jusqu'à quelques dizaines de millisecondes.

**Les sorties :** Les caractéristiques des sorties sont :

- leur nombre et leur nature ;
- la technologie, à contact mécanique (relais) ou statique (composant électronique), et les temps de commutation associés (de la milliseconde pour les contacts à quelques dizaines de microsecondes pour les transistors) ;
- les spécifications électriques de raccordement (tension, courant, puissance, etc.).

Les entrées et les sorties sont proposées :

- soit par quantités imposées (10, 16, 24 E/S pour les nano-automates par exemple). Ces configurations de base peuvent être étendues en connectant des blocs d'extensions ou d'autres appareils ;
- soit sous forme de cartes ou modules à 4, 8, 16, ou 32 entrées ou sorties embrochables dans des racks (figure 3.8).

### 1. Mise en 'œuvre :

La mise en 'œuvre d'un automate programmable nécessite le raccordement aux diverses chaînes d'acquisition et d'action ainsi qu'aux sources d'énergie, et l'implémentation d'un programme et son exécution.

Il est possible de distinguer, pour la mise en oeuvre d'un automate programmable, trois fonctions de liaisons avec l'environnement, qui concernent (figure 3.9) :

- la programmation (ou dialogue de programmation) pour une première mise en 'œuvre ou des évolutions. Elle a pour but d'écrire dans la mémoire le programme de l'application soit dans une mémoire RAM en phase de mise au point, soit dans une mémoire EPROM en phase définitive ;
- l'aide à l'exploitation (ou dialogue d'exploitation) conduite de machine, réglages des paramètres, dépannages ;
- la supervision (ou dialogue de supervision) : dialogue avec d'autres équipements périphériques à des fins de coordination et de gestion [10].

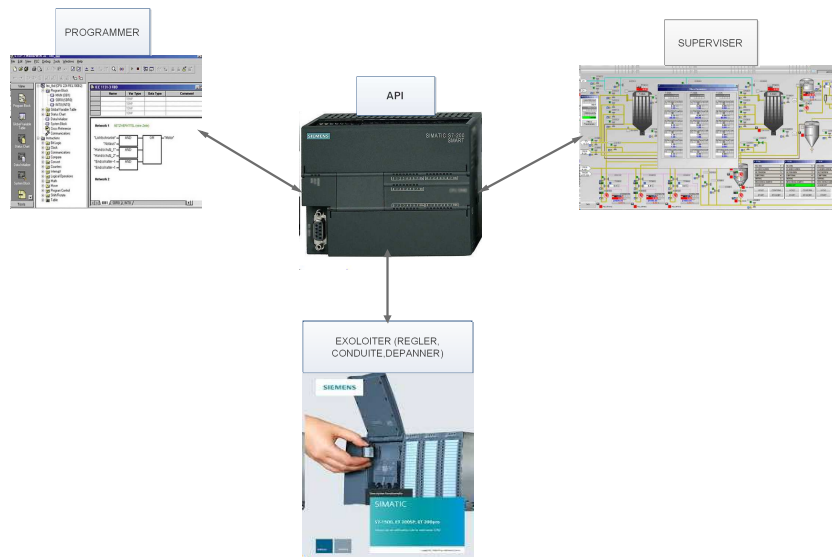


FIGURE 3.9 – API et les constituants de dialogue.

### 2. Programmation :

Chaque automate possède son propre langage pour gérer, manipuler, traiter des signaux d'entrée pour élaborer des signaux de sortie d'une manière déterminée entièrement

par une séquence d'instructions implantée dans une mémoire.

Les entrées/sorties sont des signaux destinés au contrôle des processus industriels (figure 3.10), ces signaux sont regroupés en une unité de traitement : le mot (nombre binaire) au format standard caractéristique du microprocesseur. Les tailles les plus répandues sont 8, 16, et 32 bits (nombres à 8, 16, 32 éléments binaires). Les repérages d'informations (entrées, sorties, variables internes, adresses, etc.) s'effectuent parfois en octal et plus fréquemment en hexadécimal.

À mise en mémoire du programme étant réalisée (implémentation), la phase d'exécution est alors possible. Elle est généralement obtenue après un passage en mode **"RUN"** (commande logicielle ou matérielle d'exécution du programme). La phase d'arrêt ou de non exécution du programme correspond au mode. **"STOP"**. Le traitement est cyclique,

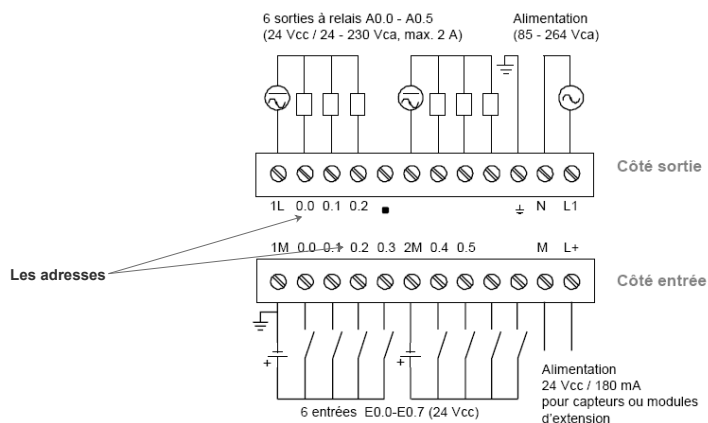


FIGURE 3.10 – Affectation des bornes du S7-200 (CPU 221).

c'est-à-dire qu'il est relancé à la fin de chaque exécution. Le processeur exécute les instructions, une après l'autre, dans l'ordre de la liste. Ce cycle est réalisé en trois étapes principales [10] :

- acquisition des entrées, en général globale (écriture en mémoire des bit d'entrées, des messages coupleurs, etc.) dans l'état qui reste figé durant toute la durée du cycle, évitant les aléas de fonctionnement ;
- traitement du programme écrit par l'utilisateur, d'une durée variable selon les instructions (type et nombre) ;
- mise à jour ou affectation des sorties quand toutes les commandes sont définies (écriture des bits de sortie, émission des messages coupleurs, etc.) (figure 3.10) ;
- acquisition des entrées, en général globale (écriture en mémoire des bit d'entrées, des messages coupleurs, etc.) dans l'état qui reste figé durant toute la durée du cycle, évitant les aléas de fonctionnement (figure 3.11).

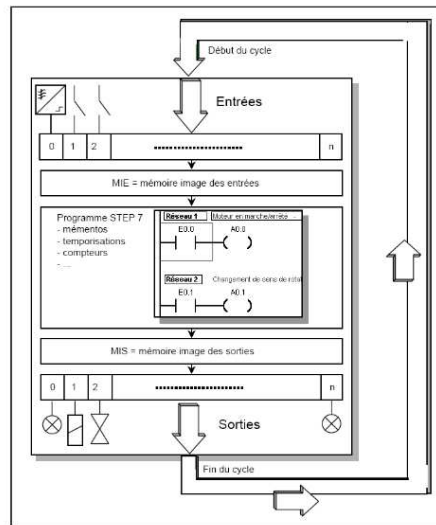


FIGURE 3.11 – Exécution cyclique du programme dans le S7-200.

### 3.6.2 Langage de programmation

Il existe de nos jours plusieurs façons de programmer la séquence par laquelle on désire alimenter les sorties. Les automates ont été conçus pour les électriciens; il fallait donc garder le langage de programmation le plus simple possible. Par la suite, certains manufacturiers, telle la compagnie Siemens, ont créé leur propre langage; d'autres utilisent une programmation booléenne basée sur les équations logiques de l'automatisme et, finalement, certains s'inspirent de la méthode **GRAFSET** pour créer des langages.

**1.Diagramme ÉLECTRIQUE :** Les diagrammes en échelle électrique sont depuis toujours la façon de présenter les schémas d'automatisme.

**2.Programmation MNÉMONIQUE :** Ce type de programmation est utilisé avec les appareils portatifs. Ils sont munis d'affichage à cristaux liquides et permettent généralement la programmation d'une seule instruction à la fois.

**3.Programmation BOOLÉENNE :** Représentation par équations logiques.

**4.Programmation LADDER :** La très grande majorité des automates programmables utilisent le langage LADDER. L'avantage, c'est qu'il se rapproche le plus des schémas électriques et la programmation se fait par insertion de contacts et de relais. Le schéma à contacts est constitué de plusieurs lignes horizontales contenant des symboles graphiques de tests (contacts, blocs fonctions), répartis en zone de test, et d'action (bobines blocs opérations), répartis d'action. Ces symboles sont assemblés selon le principe des schémas électriques, à savoir mise en série des contacts pour la réalisation d'opérateurs "ET" et mise en parallèle pour la réalisation d'opérateurs "OU". Le constructeur propose

999 réseaux de 4 lignes permettant chacun la saisie de 9 contacts et une bobine (figure 3.12) [10].

**Exemple [1] :** Un exemple simple d'une ligne de diagramme électrique permettant d'acti-

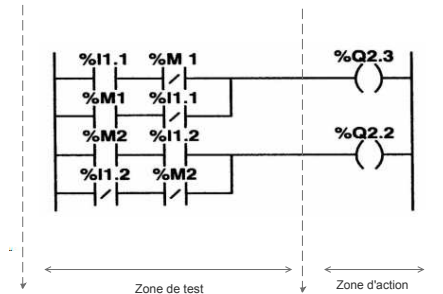


FIGURE 3.12 – La programmation par langage contacts

ver le contacteur d'un moteur (M1). Lorsqu'on appuie sur le bouton poussoir de DÉPART, le contacteur est alimenté et le contact de maintien M1 permet de relâcher le bouton. Une pression sur le bouton d'arrêt permet de couper l'alimentation sur le moteur.

Il est important de remarquer que le branchement des deux boutons poussoirs n'a pas changé. Le bouton Départ est encore représenté par un contact à fermeture et celui d'arrêt par un contact à ouverture.

C'est au moment d'écrire le programme que survient la confusion. Même les électriciens de longue date éprouveront de la difficulté à comprendre ce qui suit. Pourtant, il s'agit de programmer uniquement trois contacts et une sortie. Le programme permettant de contrôler le départ et l'arrêt du moteur se trouve à la figure 3.13.

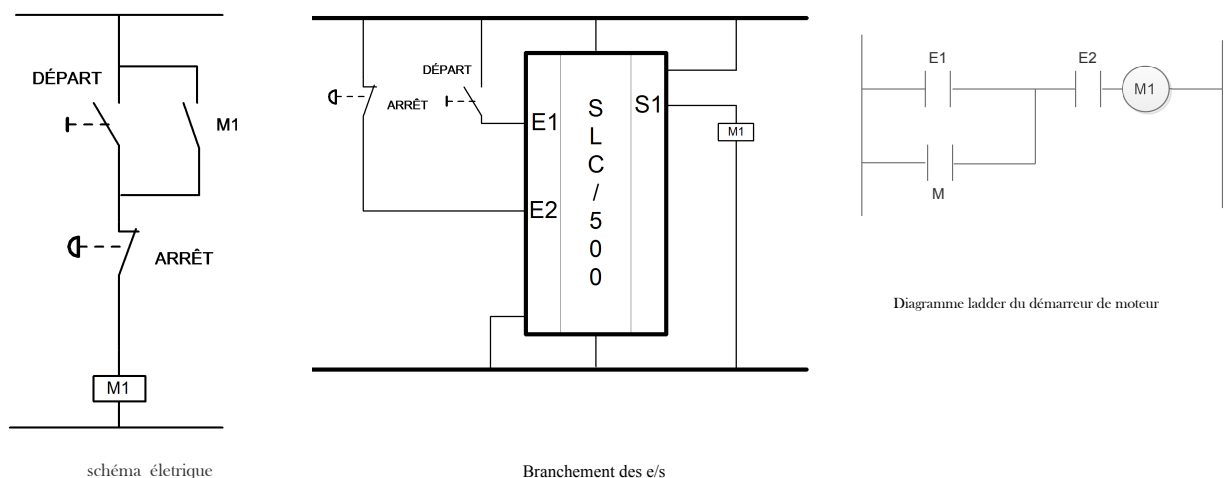


FIGURE 3.13 – Diagramme LADDER du démarreur de moteur.

**5.Programmation GRAFCET :** Le GRAFCET est né en 1977 des travaux de l'AF-CET (Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique), en tant

que synthèse théorique des différents outils existants à cette époque. Mis sous sa forme graphique actuelle par ADEPA (Agence Nationale pour le DEveloppement de la Productique Appliquée à l'industrie) en 1979, normalisé sur le plan français en 1981 (norme NF C03-190), il est aujourd'hui normalisé sur le plan international (norme CEI 848) [1].

**GRAFCET** : est un modèle de représentation graphique des comportements successifs d'un système logique, préalablement défini par ses entrées et ses sorties.

Le modèle est défini par un ensemble constitué (voir figure 3.14)[2] :

- d'éléments graphiques de base : les étapes, les transition et les liaisons orientées ;
- d'une interprétation, traduisant les comportements de la partie commande vis-à-vis de ses entrées/sorties et caractérisée par les actions associées aux étapes et les réceptivités associées aux transitions ;
- de cinq règles d'évolution, définissant formellement le comportement dynamique.

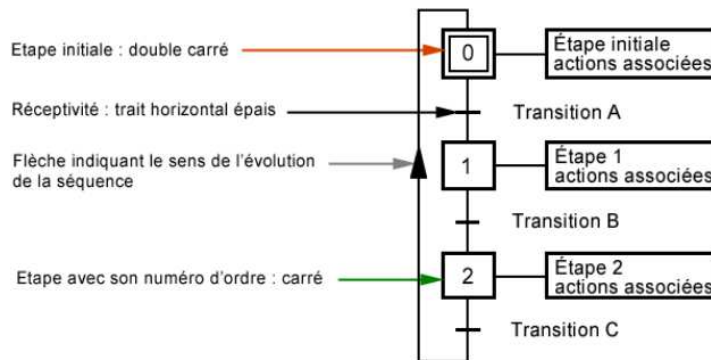


FIGURE 3.14 – Description du GRAFCET

Un exemple d'un démarrage direct de moteur est représenté par la figure 3.15.

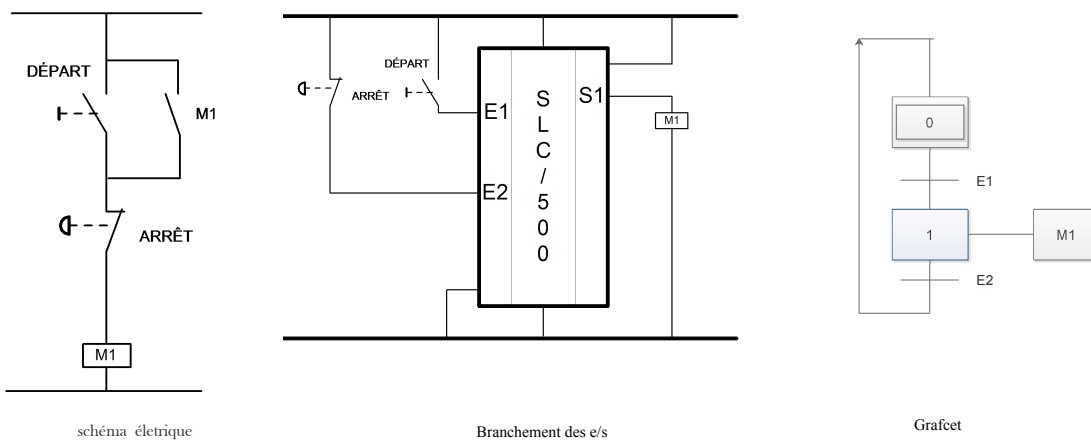


FIGURE 3.15 – Démarrage direct d'un moteur : Grafcet

**1. Les règles d'évolution du GRAFCET :** Le modèle GRAFCET est défini par ses éléments de base précédents et par les règles d'évolution suivantes [1, 11] : (figure 3.16)

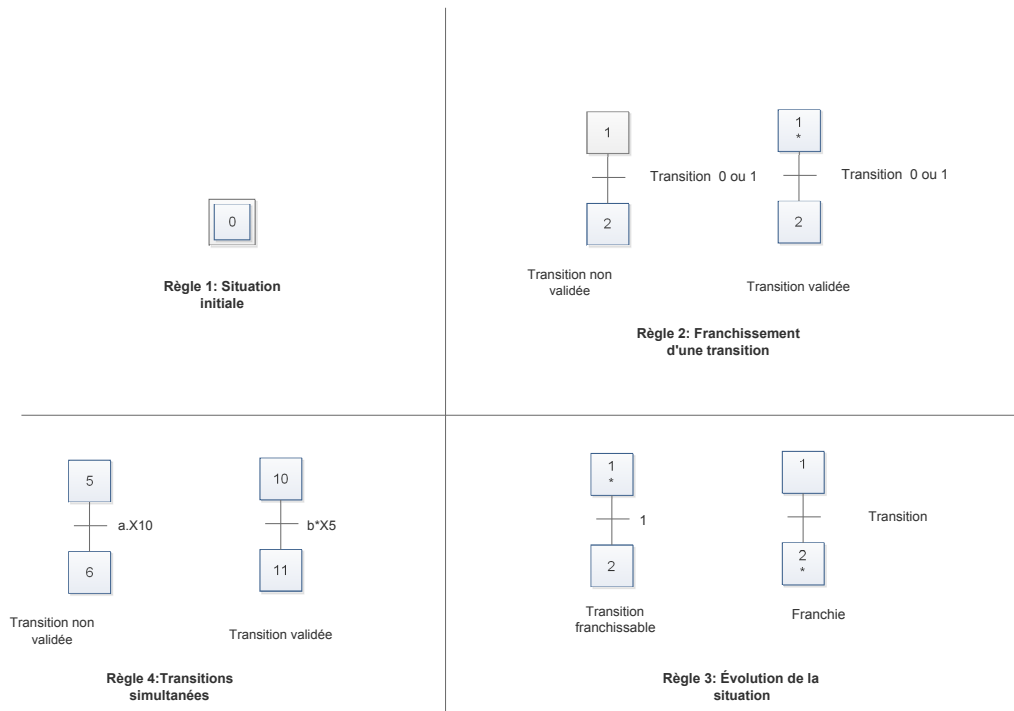


FIGURE 3.16 – Les Règles d'évolution

**Règle 1 : Situation initiale :** Celle-ci caractérise le comportement initial de la partie commande vis-à-vis de la partie opérative, de l'opérateur et/ou des éléments extérieurs. Elle correspond à l'ensemble des étapes actives au début du fonctionnement.

**Règle 2 : Franchissement d'une transition :** Celui-ci se produit :

- lorsque la transition est validée ;
- ET que la réceptivité associée à cette transition est VRAIE lorsque les deux conditions logiques sont vraies, la transition devient franchissable, est alors obligatoirement franchie.

**Règle 3 : Évolution de la situation** Le franchissement d'une transition entraîne simultanément l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.

**Règle 4 : Transitions simultanées :** Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies.

**Règle 5 : Activation et désactivation simultanées** Une étape à la fois activée et désactivée reste active.



## 2. Description du comportement : points de vue PO/points de vue PC :

La spécification point de vue décrit à quel niveau se place concepteur pour donner une description du système [1, 2].

**Le point de vue "Partie opérative PO" :** Écrire un grafcet point de vue PO à partir d'une représentation point de vue procédé du schéma de la partie opérative, de la liste de référence des entrées et sorties associées à ce point de vue PO, c'est :

- décrire chaque tâche opérative en termes de comportement logique des constituants connus selon le niveau de finesse retenu, soit des effets (point de vue "effecteurs") ou des actions (point de vue 'actionneur') ou des alimentations ;
- décrire chaque réceptivité pour l'exprimer en fonction des entrées réellement disponibles.
- vérifier la syntaxe et l'absence de toute E/S non définie dans la liste.

**Le point de vue "Partie commande PC" :** Écrire un grafcet point de vue PC à partir d'une représentation point de vue PO (grafcet, chronogrammes, etc.), des schémas d'interface PO-PC ; des schémas de commande, de la liste de référence des E/S point de vue PC, sous forme symbolique ou littérale, c'est

- exprimer chaque action ou alimentation d'actionneurs en termes de d'émissions, ou d'absences de commande(s) ou ordre(s) issus de la PC ;
- modifier en conséquence le grafcet point de vue PO ;
- analyser chaque réceptivité pour l'exprimer en fonction des entrées ;

**Exemple :** Poste de peinture automatisé (figure 3.17).

### Cahier des charges :

- La pièce sera positionnée manuellement.
- Une action sur le bouton "départ cycle" provoquera :
  - la sortie de la tige du vérin (vitesse lente) : mise en peinture de la pièce.
  - la rentrée de la tige du vérin (vitesse rapide) : retour en position initiale.

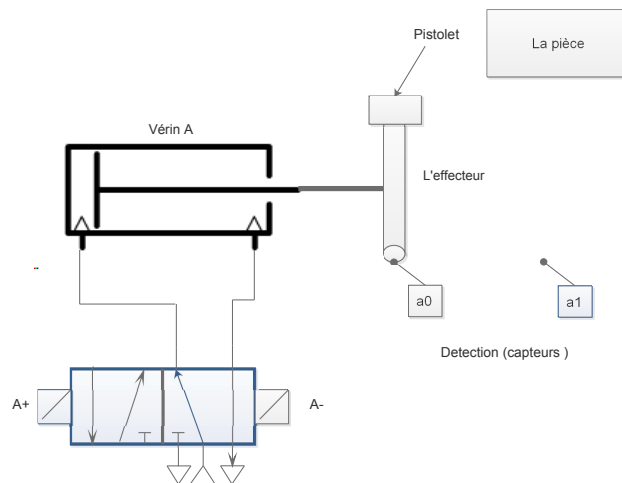


FIGURE 3.17 – Poste de peinture automatisé

Dans cet exemple, il n'est pas tenu compte de la mise en marche de l'arrêt du pistolet de peinture.

**Point de vue PO :** dans ce Grafcet, le système sera décrit sous forme littérale, sans tenir compte de la technologie utilisée .

**Point de vue PC :** décrire sous forme d'actions codées ce même système; le choix technologique est retenu.

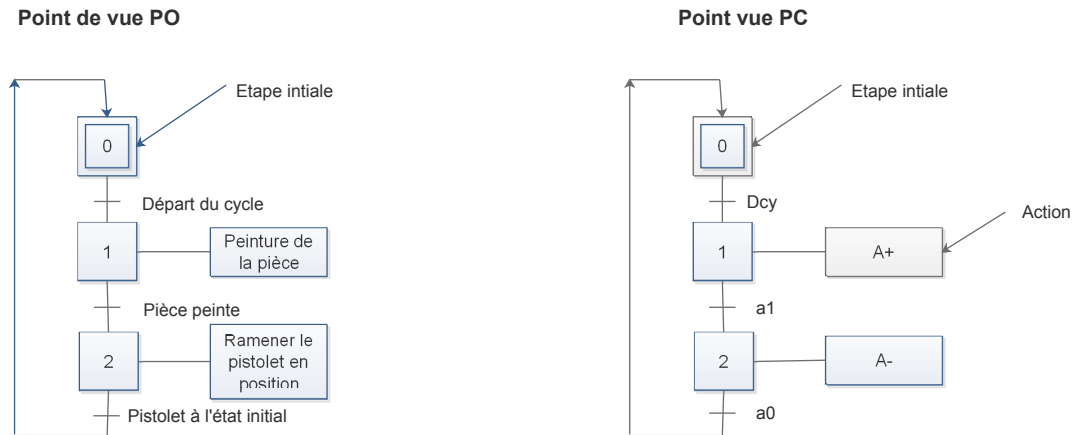


FIGURE 3.18 – Grafcet point de vue PC et PO (Poste de peinture automatisé.)

### 3.7 Dialogue Homme Machine :

il est nécessaire d'assurer les réglages lors de la mise en route d'une nouvelle production, la conduite du système par l'opérateur, la gestion de la production ou la supervision (qui permet éventuellement de coordonner plusieurs machines et de suivre qualitativement et quantitativement la production, de prévoir la maintenance), la maintenance, le diagnostic et le dépannage en cas d'incident.

Ce dialogue concerne en fait plusieurs personnes distinctes selon les phases ci-dessus [1, 10]. Il s'agit :



FIGURE 3.19 – Terminal de programmation API

- des personnels d'études, réalisation et mise au point dans la première phase ;
- des personnels d'exploitation, de maintenance, de réglage, de surveillance dans la seconde.

### 3.7.1 Dialogue de développement et de mise au point :



FIGURE 3.20 – Pupitre de commande-Simens

La programmation de la partie commande se fait sur site, grâce à un terminal de programmation (figure 3.19), intégré ou non à l'automate programmable. Cette programmation peut être effectuée hors du site à l'aide d'un micro-ordinateur doté d'un logiciel de programmation ou d'assistance à la programmation.

Dans ce dernier cas une liaison locale ou à distance est nécessaire pour le chargement du programme.

### 3.7.2 Dialogue de réglage-diagnostic-dépannage :

Le dialogue s'effectue à partir de plusieurs éléments :



FIGURE 3.21 – Un système de supervision (Simens)

- le pupitre ou console de dialogue et ses boutons, voyants et afficheurs (sélecteur de modes de marche, boutons de commande individuelle des préactionneurs, etc.) ;
  - des éléments de visualisation sur la partie opérative (diodes électroluminescentes et voyants de capteurs, etc.) ;
  - un terminal d'exploitation (figure 3.20) ou un de diagnostic amovibles.
- Tous ces terminaux et pupitres sont reliés à la partie commande.

### **3.7.3 Dialogue de supervision :**

Le dialogue de supervision est généralement assuré à distance par des terminaux informatiques dotés de logiciels de coordination et de surveillance.

Ils sont reliés aux différents niveaux de traitement de l'information de l'entreprise par réseaux informatiques de communication.

L'accès en est réservé à des personnels de gestion de la production et de surveillance (figure 3.21).

# Architecture des systèmes de production

## 4.1 Introduction

L'automatisation industrielle a connu, au cours de ces dernières décennies, une évolution importante consécutive à l'accroissement des exigences de qualité, de flexibilité et de disponibilité dans les procédés industriels [2].

L'automatisation de ces derniers concerne tous les aspects de l'activité industrielle : production, assemblage, montage, contrôle, conditionnement, manutention, stockage. Son objectif est de réaliser, de manière automatique, des fonctions particulières répondant à des besoins spécifiques. L'automatisation doit être répondre a la Productivité ou la Flexibilité [2].

- **La productivité** : consiste à fabriquer le maximum de produits pendant le minimum de temps.
- **La flexibilité** : consiste à fabriquer le maximum variétés de produits, avec le même équipement.

Il existe deux types de systèmes de productions automatisés [2, 3] :

**les systèmes rigides** : de types transfert, utilisent principalement des technologies séquentiels, ce sont surtout des systèmes mécaniques avec, dans la majorité des cas, des contrôles ou des capteurs de base, des moteurs. Ces systèmes sont utilisés lorsque l'espace disponible est très limité, lorsque le produit a une bonne durée de vie, afin de rentabiliser l'investissement. De plus, la facilité d'intégration dans une ligne ou dans une cellule de production [8], (exemple : Machine automatique d'assemblage de produits cosmétiques Figure 4.1).

**les systèmes flexibles** : De type machine à commande numérique, équipements programmables. Généralement, ces systèmes utilisent un robot industriel comme plateforme électromécanique et nécessitent aussi l'intervention humaine à différentes phases de fonctionnement pour reconfigurer le système par programmation. La flexibilité de la production est particulièrement recherchée pour répondre aux contraintes économiques d'un marché qui est diversifié, mais aussi pour améliorer la rentabilité, en réduisant stock et délais. Il existe dans des fabrications mécaniques,

aussi dans les secteurs d'assemblage, fonderie, automobile et agro-alimentaire. (Exemple : Robot d'assemblage automobile .Figure 4.2).



FIGURE 4.1 – Machine automatique d'assemblage de produits cosmétiques.



FIGURE 4.2 – Robot d'assemblage d'automobile.

## 4.2 Machines autonomes :

Les étapes dans l'élaboration du produit est réalisée par chaque machine. Les déplacements, les chargements et déchargements se font manuellement [12]. Ce type des systèmes sont coûteux et longs(Figure 4.3).

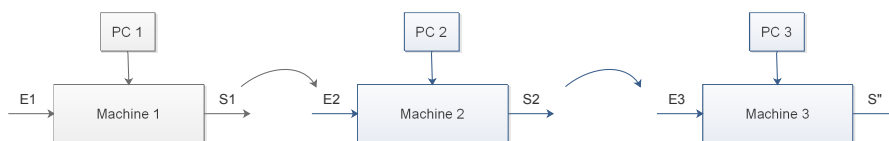


FIGURE 4.3 – Machines autonomes.

### 4.3 Machines associées en ligne

Le produit passe automatiquement d'une machine à la suivante. Il utilise une ou plusieurs machines intégrées dans une ligne de fabrication. Il conduit les opérations d'une installation de production sur un ensemble d'une ou plusieurs machines. Il effectue les opérations nécessaires à la mise en marche et au bon fonctionnement de ces machines en respectant les règles de production (modes opératoires) [12]. Il contrôle les réglages, l'approvisionnement en matières premières, surveille régulièrement les paramètres. Il tient également compte des impératifs tels que la qualité, les délais, la cadence de production, le coût (Figure 4.4).

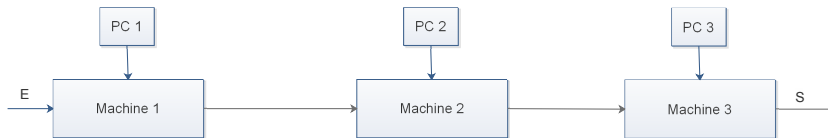


FIGURE 4.4 – Machines associées en ligne.

### 4.4 Cellule de production à Commande centralisée

La centralisation est assurée par une unité de commande. 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 [12]. ce type comporte souvent qu'un ou deux machines de production interconnectées et associées à des moyens de manutention automatique dans un ordre pouvant être variable. ((Figure 4.5))

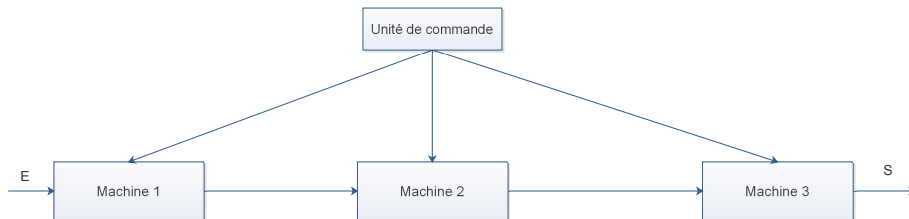


FIGURE 4.5 – Cellule de production à commande centralisée.

### 4.5 Cellule à commande décentralisée et coordonnée :

Dans une architecture décentralisée Un retour aux et coordonnée, une liaisons inter niveaux assure la coordination entre les machines (PC1, PC2....etc) [12]. Il est possible de contrôler et de commander plusieurs PC à partir d'une unité de commande centralisée . Le retour aux commandes décentralisées s'est imposé. (Figure 4.6).

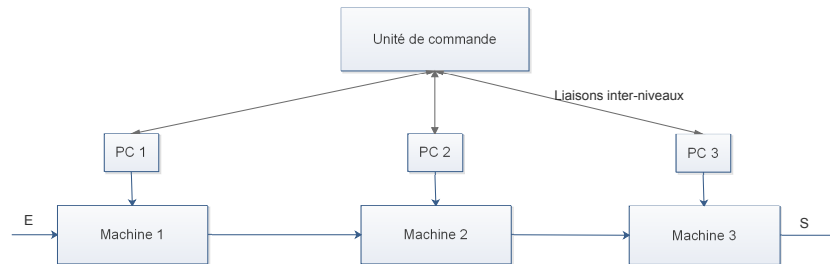


FIGURE 4.6 – Cellule à commande décentralisée et coordonnée.

## 4.6 Cellule flexible à commande répartie et hiérarchisée :

Dans une architecture, les lignes ou unités flexibles comportent une succession de machines de production servies par un système de transport, dont les parties commandes sont interconnectées [12]. La fonction d'une ligne ou unité flexible est exécutée l'ensemble des opérations nécessaires à la fabrication d'un produit, en gérant l'ordre de mise en œuvre des machines en fonction de leur charge. Les liaisons iso-niveau complètent les liaisons inter-niveaux qui assurent la communication avec la supervision (Figure 4.7).

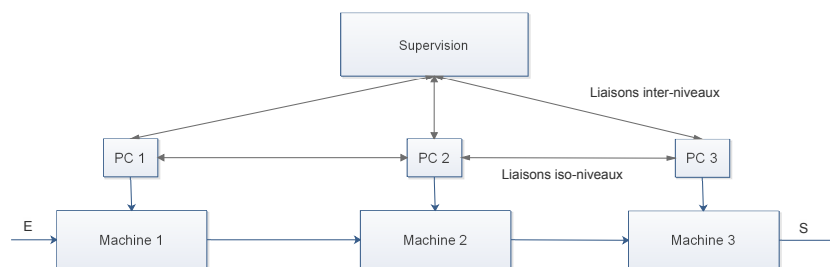


FIGURE 4.7 – Cellule flexible à commande répartie et hiérarchisée.

## 4.7 Caractéristiques des système de production flexible

Les systèmes de production automatisés flexibles sont caractérisés par :

- une adaptation très rapide aux productions variées de petit nombre de pièces en moyennes séries ;
- une gestion en temps réel qui permet d'optimiser le temps d'occupation des machines et les flux de matière d'œuvre ;
- un haut degré de robotisation de la manutention des produits.

Ces caractéristiques se retrouvent au niveau de chaque sous-ensemble que constitue le système. Le système de gestion doit être capable de choisir, dans le lot de produits en cours de fabrication, ceux qui peuvent être traités sur une machine disponible, et dans quel ordre. Ceci implique une gestion stricte et permanente des trajets et des programmes de fabrication [12, 3, 4].



## 4.8 Les Robots : outils de la flexibilité :

### 4.8.1 Définition d'un robot industriel :

Selon la norme international, ISO 8373 : Manipuler commandé en position, programmable, à plusieurs degrés de liberté, capables de manipuler des matériaux, des pièces, des dispositifs spécialisés, au cours de mouvements variables et programmés pour l'exécution d'une variété de tâches [13].

Il a souvent l'apparence d'un ou plusieurs bras se terminant par un poignet. Son unité de commande utilise, notamment, un dispositif de mémoire et éventuellement de perception et d'adaptation à l'environnement. Ces machines polyvalentes sont généralement étudiées pour effectuer la même tâche de façon cyclique et peuvent être adaptés à autres fonctions sans modifications.



FIGURE 4.8 – Robot FANUC LR MATE 200iC .

### 4.8.2 Structure d'un robot :

C'est une structure mécanique articulée qui doit pouvoir déplacer une charge dans des organes limite les accélérations et décélérations des charges en mouvement, donc les vitesses de déplacement. La précision d'un robot est la distance entre deux points atteints par l'outil qu'il porte : sa répétabilité est l'écart de positions obtenu avec la même commande. Ces deux caractéristiques dépendent à la fois de la quantité de la partie opérative du perfectionnement de la partie commande [13].

### 4.8.3 Applications :

Plusieurs fabricants tels que **Fanuc**, **ABB**, **KUKA** et **Yaskawa**, ont des unités de production. Ces robots sont programmés à exécuté des taches bien précises.

L'industrie automobile représente toujours le plus grand utilisateur de robots industriels, avec 40% des nouvelles installations[9 Manuel]. L'industrie de l'électronique, avec 21%

des nouveaux robots en 2012. L'industrie alimentaire reste un des plus petits marchés pour la robotique industrielle, avec 3% [9] 4.9. Les robots sont utilisés dans la maintenance, assemblage panneaux photovoltaïques, machines-outils, soudage, parachèvement et encollage [13].



1. Robot: ABB



2. Robot: FANUC



Robot: KUKA



4. Robot: YASKAWA

FIGURE 4.9 – La robotique industrielle .

#### 4.8.4 Programmation des taches d'un robot :

Celle-ci peut être effectuée par apprentissage, dans ce cas les mouvements sont exécutés grâce à une commande manuelle en point à point. L'apprentissage peut encore être exécuté grâce à un système articulé léger, qui est man'œuvré par un opérateur, le robot copiant les mouvements ainsi obtenus qui sont mémorisés. Enfin, la programmation peut être informatisée, le logiciel de commande permettant des calculs de mouvements, et d'optimisation des trajectoires à partir de données simples comme les coordonnées des points à atteindre et des vitesses souhaitées.

De plus en plus la programmation des robots se fait à l'aide de logiciels de simulation très avancées. Par contre, il n'existe toujours pas de langage de programmation commun et la programmation d'un robot industriel reste assez difficile. De plus, même le plus petit ro-

bot industriel reste assez dangereux pour l'humain et nécessite l'installation de dispositifs de sécurité dispendieux [13].



FIGURE 4.10 – Programmation des robot industriels .

# Notions de réseaux

## 5.1 Introduction

L'automatisme et l'informatique centralisés remplacent de plus en plus les systèmes répartis. L'arrivée massive des nouvelles technologies et l'évolution vers le concept de fabrication intégrée par ordinateur ou C.I.M. (Computer integrated Manufacturing ) ont fortement accentuées cette décentralisation. Pour partager les périphériques (imprimantes, mémoire de masse, etc..), les informations (bases de données, historiques, logiciel, etc...), la commande de machines (par l'échange d'information entre partie commande et partie opérative), la coordination de plusieurs machines (automatisation globale), la supervision d'un atelier ou d'une usine (surveillance et suivi du processus de fabrication, téléchargement des programmes) ; des besoins de communication numériques rapides, fiables, sur de courtes distances (quelques centaines de mètres) et possédant un nombre élevé de points de connexion sont apparus [14].

Des réseaux locaux informatiques ou industriels sont apparus pour apporter une solution à ce problème. La difficulté consiste plutôt maintenant, à choisir le bon réseau en fonction des besoins présents et futurs d'une installation.

## 5.2 Définitions de base en transmission de données :

### 5.2.1 Les éléments d'un système de transmission de données :

Un système de transmission est structuré comme suit [15] : L'information est émise ou reçue par un Équipement Terminal de Traitement de Données (ETTD ou DTE) qui est constitué de deux parties (Figure 5.1) :

- La machine de traitement pouvant être source ou collecteur de données.
- Le contrôleur de communication pour la protection contre les erreurs et le dialogue entre deux systèmes.

L'équipement de Terminaison du Circuit de Données (ETCD ou DCE) est l'organe chargé d'adapter le signal électrique au support physique.

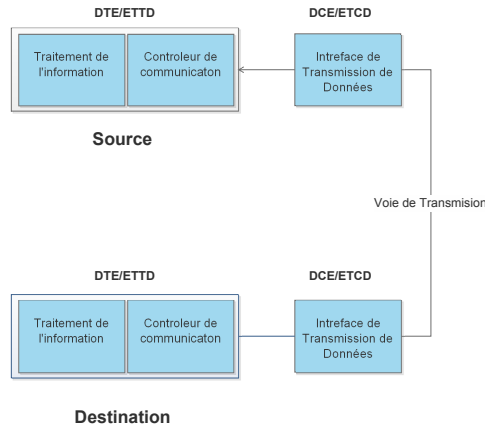


FIGURE 5.1 – Système de transmission

### 5.2.2 Le sens de transmission :

Lorsque la voie de transmission existant entre deux entités est toujours utilisée dans le même sens, la liaison établie entre ces entités est dite unidirectionnelle (ou simplex). Lorsque la transmission s'effectue alternativement dans un sens et dans l'autre, la liaison est dite bidirectionnelle (half duplex). Un ou deux canaux sont utilisés [15]. Lorsque les échanges peuvent avoir lieu simultanément dans les deux sens, la liaison est dite bidirectionnelle (full duplex) (Figure 5.2) .

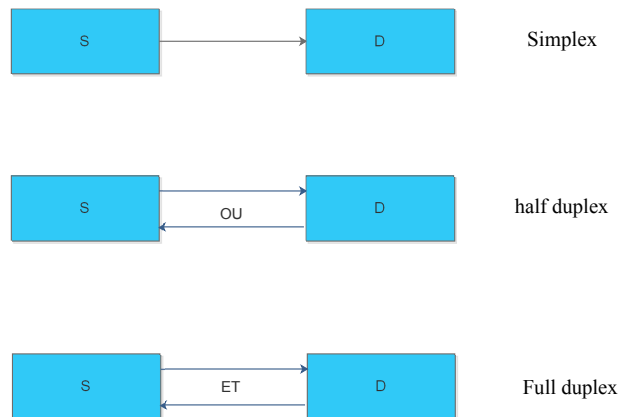


FIGURE 5.2 – Le sens de transmission

### 5.2.3 Transmission parallèle/transmission série :

Une transmission parallèle est une transmission dans laquelle N bits sont émis simultanément, ce qui nécessite N voies de transmission. Ce mode très simple autorise des débits d'informations élevés. Cependant, lorsque la distance de transmission est importante et lorsque les N voies de transmissions sont supportées par des lignes voisines, le

phénomène de diaphonie perturbe les signaux et la réalisation est coûteuse en matériel. Cette technique est moins utilisée en réseau local.

Dans une transmission série, les bits constitutifs de l'information sont émis successivement sur la même voie : l'unicité de la voie permet de la choisir de meilleure qualité. Un débit d'information correct exige une vitesse élevée de transmission. Comme les machines travaillent toutes en mode parallèle en interne, une conversion parallèle-série est nécessaire à l'émission tandis que la transformation inverse doit s'effectuer à la réception (Figure 5.3).

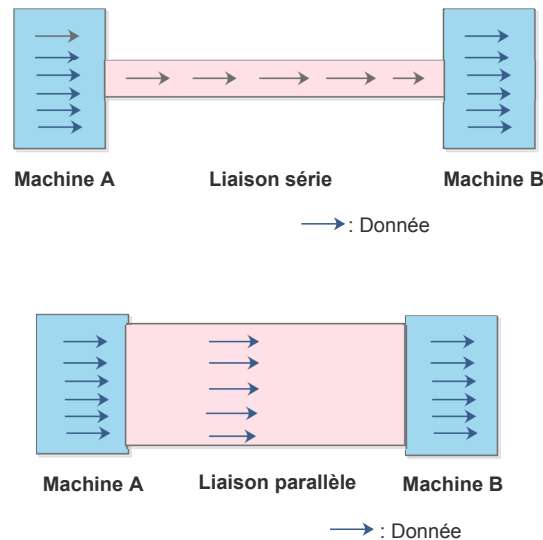


FIGURE 5.3 – Le sens de transmission

#### 5.2.4 Le protocole de communication :

La transmission d'informations entre un émetteur et un récepteur et un récepteur suppose que soit établie une liaison sur une voie de transmission, ce qui signifie [15] :

- que chacun respecte les règles d'accès à cette voie, tant au niveau matériel (spécifications mécaniques, électriques,...), qu'au niveau logique (partage des droits d'accès, contrôle, format des unités d'informations...).
- que le récepteur puisse assimiler correctement les informations qui lui sont envoyées.

Un protocole peut régir des liaisons bipoints uniquement, c'est-à-dire des liaisons entre un émetteur et un récepteur, ou également des liaisons multipoints c'est à dire entre émetteur et plusieurs récepteurs.

### 5.3 Les réseaux :

Un réseau est un ensemble d'ordinateurs et périphériques qui communiquent entre eux, et qui peut être défini par sa topologie ainsi par le mode d'accès au médium (support de transmission). Il en existe trois catégories (Figure 5.4) :

- **Le LAN (Local Area Network)** : permet de relier des micro-ordinateurs généralement situés dans le même édifice ou dans une zone limitée géographiquement.
- **Le MAN (Metropolitan Area Network)** : est un réseau à haute vitesse reliant des ordinateurs dans des zones assez éloignées.
- **Le WAN (Wide Area Network)** permet de relier des ordinateurs séparés par de longues distances, par exemple deux villes différentes comme Arzew et Hassi-Messaoud.

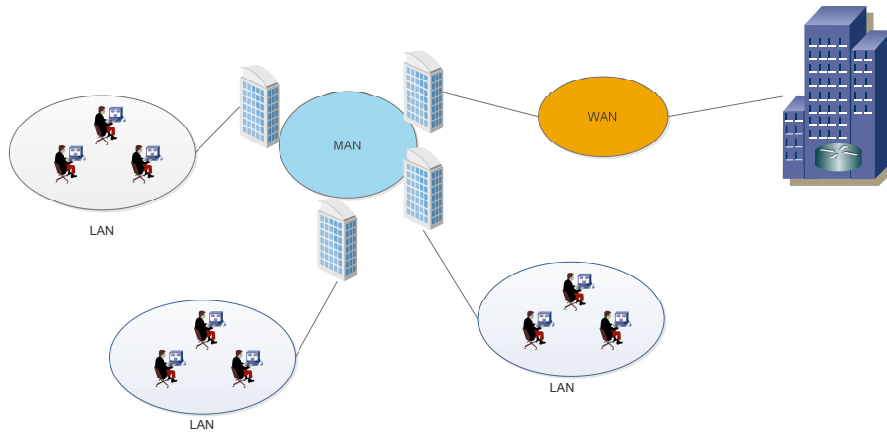


FIGURE 5.4 – Les Réseaux LAN-MAN-WAN

## 5.4 La topologie des réseaux :

L'architecture qui permet de relier les nœuds dans un réseau local s'appelle la topologie du réseau[14].

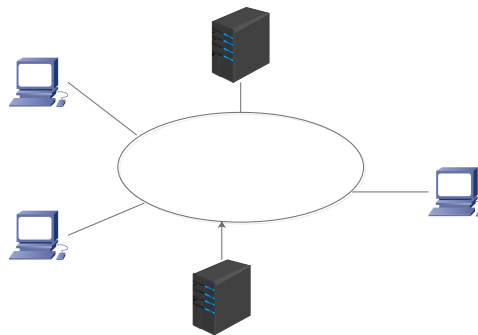


FIGURE 5.5 – L'architecture en anneau

### 5.4.1 L'architecture en anneau :

Les réseaux en anneau utilisent des voies point à point qui relient successivement les stations les unes aux autres (Figure 5.5).

### 5.4.2 L'architecture en bus :

L'utilisation par plus de deux stations d'une même voie de transmission définit un réseau en bus ou voie multipoints. Dans certaines configurations le bus n'est pas linéaire, mais est divisé en segment suivant une structure arborescente.

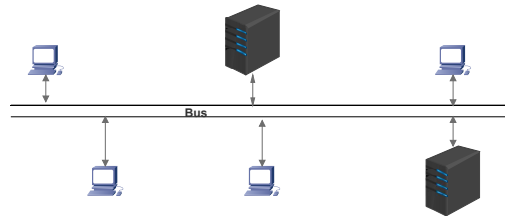


FIGURE 5.6 – L'architecture en bus

### 5.4.3 L'architecture en étoile :

Dans ce type de structure, une voie individuelle relie une station centrale, à aucune des autres stations. Le module central joue le rôle d'arbitre en gérant le trafic sur le réseau. En cas de panne sur ce module tout s'arrête (Figure 5.7).

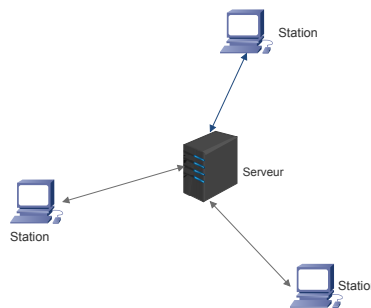


FIGURE 5.7 – L'architecture en bus

### 5.4.4 L'architecture en arbre :

Un réseau en arbre est un réseau hiérarchique répartie sur plusieurs niveaux, les stations d'un même niveau n'ont pas de lien entre elles mais reliées à des stations de niveau supérieur (Figure 5.8).

## 5.5 Les réseaux locaux industriels (bus de terrain)

### 5.5.1 Définitions élémentaires :

**Réseau :** ensemble de lignes de communication qui desservent une même unité géographique [15].



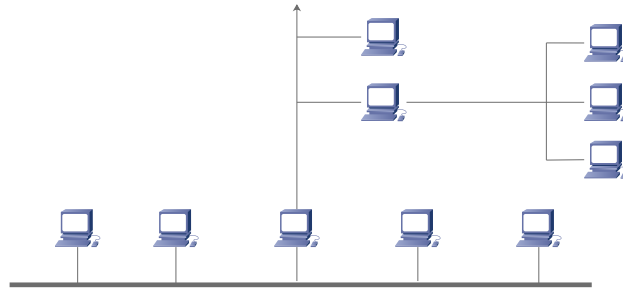


FIGURE 5.8 – L'architecture en arbre

**Terrain** : indique un espace délimité géographiquement (usine, atelier, voiture...).

**Bus** : au sens informatique industrielle, conducteur où ensemble de conducteurs communs à plusieurs circuits permettant l'échange de données entre eux avec :

1. Liaisons communes ;
2. Plusieurs circuits ;
3. Référence à la topologie de la configuration.

### 5.5.2 Définition de réseau local industriel :

Un réseau local industriel est utilisé dans une usine où tout système de production, pour connecter diverses machines afin d'assurer la commande, la surveillance, la supervision, la conduite, la maintenance, le suivi de production, la gestion, en un mot, l'exploitation de l'installation de production [15].

Les réseaux locaux industriels sont des systèmes de communication entre des équipements qui interviennent directement dans le processus de fabrication des produits. Ces équipements sont des automates programmables, des calculateurs spécialisés dans le contrôle numérique, des calculateurs de supervision, des équipements tels que des actionneurs électromécaniques et des capteurs intelligents.

### 5.5.3 Les types de réseaux locaux industriels :

#### Les 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 [14, 15].

#### Les réseaux de cellule :

Parfois appelés réseaux intermédiaires, 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). Ces réseaux se rencontrent essentiellement dans les industries manufacturières. Ils connectent des automates, des systèmes numériques de contrôle-commande, des systèmes de supervision, etc.

### Les réseaux d'usine :

Les réseaux d'usine irriguent l'ensemble de l'usine, interconnectant des ateliers, des cellules avec les bureaux d'études ou des méthodes, avec les services administratifs, commerciaux et financiers de l'entreprise [15]..

## 5.5.4 Applications :

### 1. Le réseaux Profibus (PROcess FIEld BUS) :

Profibus est un bus de terrain industriel, standardisé et indépendant répondant aux besoins une large application industrielle. Il assure la communication entre le système automatisé, les modules de périphérie et les appareils de terrain (Les APIs, Les actionneur....). Il utilise deux protocoles de communication DP (mode maître-esclave) et FMS (mode client- serveur) (Figure 5.9).

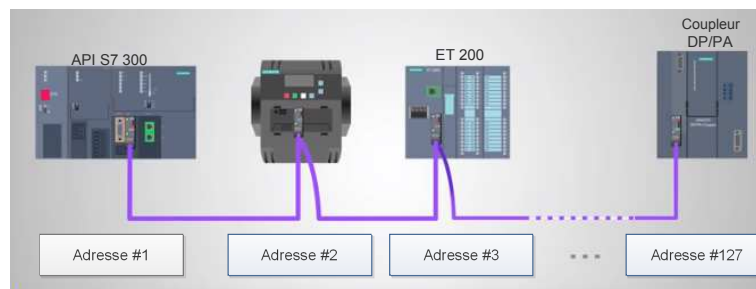


FIGURE 5.9 – Réseau Profibus

### 2. PROFINET :

PROFINET combine les avantages des deux normes : les expériences industrielles de PROFIBUS avec les options flexibles d'Ethernet. Les nombreux avantages de la mise en œuvre des tâches d'automatisation et de technologie de conduite rendent la migration vers PROFINET intéressante : topologies flexibles, câble unique pour toutes les applications, connexion sans fil... etc [14]. (Figure 5.10).

## 5.6 Le concept CIM :

Le CIM "Computer Integrated Manufacturing" est un concept décrivant la complète automatisation des processus de fabrication. C'est à dire que tous les équipements de

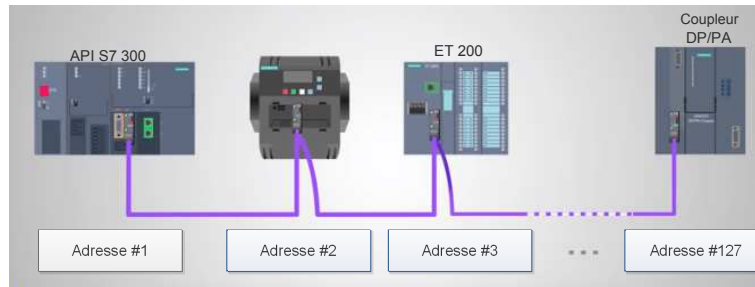


FIGURE 5.10 – Réseau Profinet

l'usine fonctionnent sous le total contrôle des ordinateurs, automates programmables et autres systèmes numériques [15, 16].

### 5.6.1 La pyramide du CIM :

L'unité de production est découpée en plusieurs niveaux :

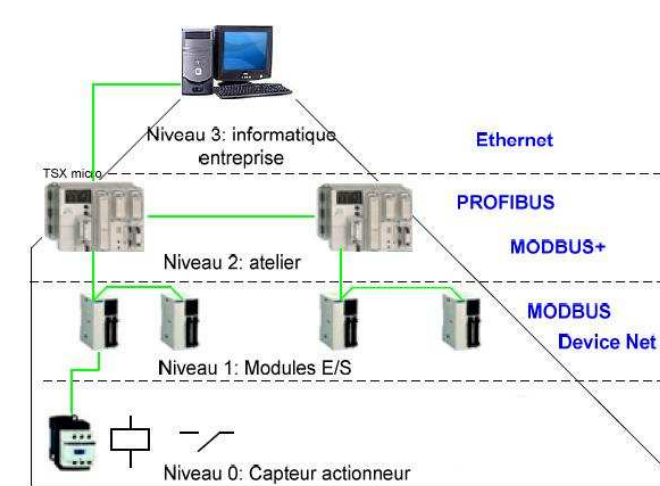


FIGURE 5.11 – La pyramide Computer Integrated Manufacturing : CIM [16].

**Niveau 3 :** la gestion des produits et de stock, la gestion des approvisionnements, la gestion des clients, des commandes et de la facturation (gérés par les SGBD "système de gestion de base de données").

**Niveau 2 :** la localisation des produits en stocks, les mouvements physiques et la gestion des lots (géré par le système de gestion d'entrepôt), contrôle et supervision (SCADA "Supervisory Control And Data Acquisition) ou commande et l'acquisition de données de surveillance").

**Niveau 1 :** Les automatismes (API, Contrôleurs, commande numérique de machine outil).

**Niveau 0** : Les capteurs et actionneurs.

La pyramide s'agit d'une représentation comportant 4 niveaux auxquels correspondent des niveaux de décision. Plus on s'élève dans la Pyramide du CIM, plus le niveau de décision est important, plus la visibilité est globale et plus les cycles standards s'allongent. Un niveau supérieur décide ce qu'un niveau inférieur exécute (figure 5.11) [16].

# Chapitre 6

## Présentation et étude de cas

### 6.1 Perçage automatique de pièces cylindriques

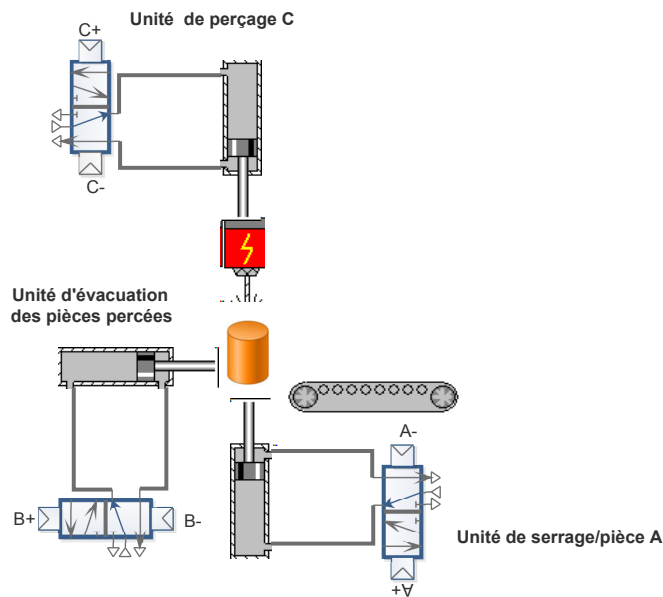


FIGURE 6.1 – La Description du système

#### Thème :

- Perçage automatique de pièces cylindriques (figure 1.2) ;
- Choix imposé ;
- Puissance et commande pneumatiques.

#### 6.1.1 Description du système

Le travail consiste à réaliser dans une pièce cylindrique un trou de diamètre 14 mm. La pièce sera mise en place manuellement dans le magasin M. L'action sur le bouton départ

cycle provoquera le départ du système et le déroulement des opérations décrites ci-dessous (figure 6.1).

**Cycle à obtenir (cahier des charges) :** le système effectue le cycle suivant :

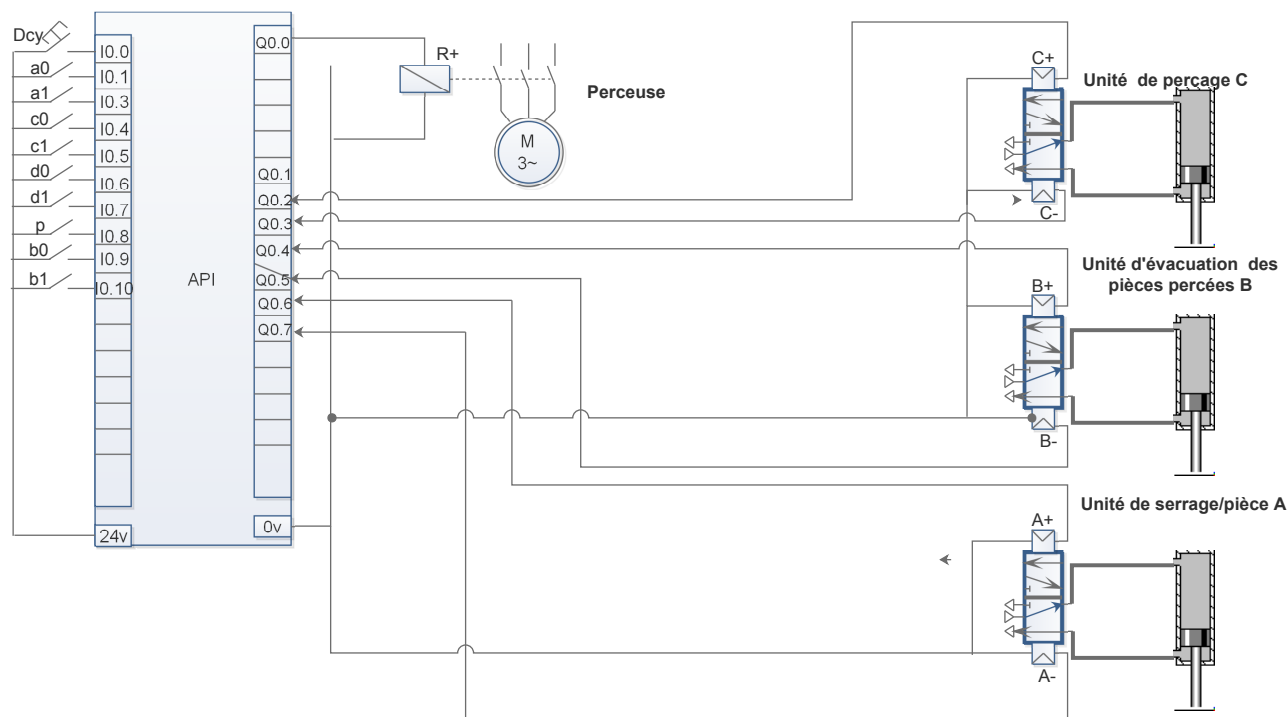


FIGURE 6.2 – Schéma de câblage avec API

1. Mise en place de la pièce sur la butée, serrage de la pièce et mise en marche de l'unité de perçage.
2. Perçage de la pièce.
3. Fin de perçage de la pièce.
4. Arrêt de l'unité de perçage, Desserrage de la pièce.
5. Évacuation de la pièce percée.
6. Mise en place du nouveau cycle.

## 6.1.2 Étude de la partie opérative (PO)

### Description des composants

- 03 vérins à Double effet ;
- 04 distributeurs 5/2 PN bis table ;
- Puissance et commande pneumatiques ;
- 03 capteurs mécaniques 3/2 NF mécaniques et 03 chutes de pression ;
- boutons 3/2 NF à 1 ou 2 positions ;

Tableau 6.1 – Description des composants

Fonction	Actionneur	Préactionneur	Capteur
Avance et serrage (A)	Vérin VDE.PN Simple tige	Distributeur 5/2 Bistable Pression/Pression	IP 3/2 NF CCP (IN)
Perçage (C)	Vérin VDE .PN Simple tige	Distributeur 5/2 Bistable Pression/Pression	IP 3/2 NF IP 3/2 NF
Evacuation pièce	Vérin VDE.PN Simple tige	Distributeur 5/2 Bistable Pression/Pression	IP 3/2 NF CCP (IN)

- 01 unité de perçage ;
- présence pièce, capteur "p".

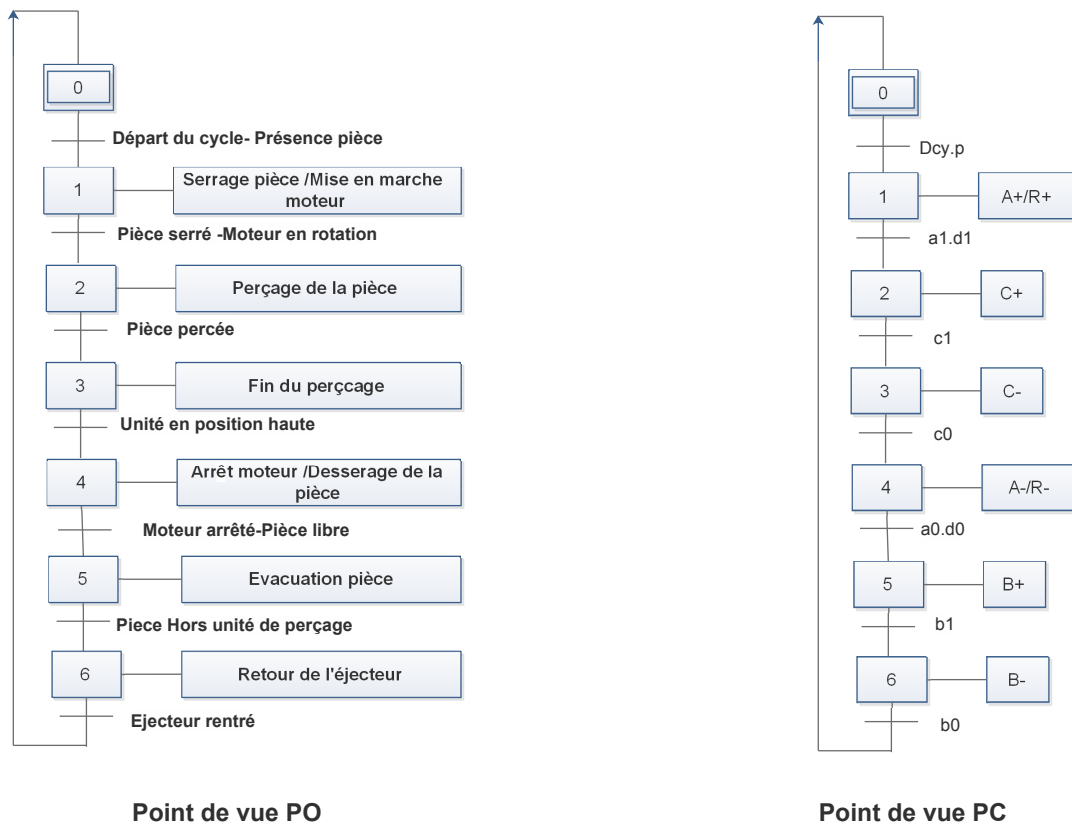


FIGURE 6.3 – Grafcet point de vue PO/PC

### Schéma de câblage avec un API :

La figure 6.2 montre comment câbler l'API avec les entrées/sorties.

### Le rôle des trois vérins :

- Vérin A : Unité de serrage/pièce ( $A^+$ ,  $A^-$ );
- Vérin C : Unité de perçage ( $C^+$ ,  $C^-$ )

— Unité d'évacuation des pièces ( $B^+$ ,  $B^-$ )  
 Signe + : sortie du vérin ; signe - = rentrée du vérin.

### 6.1.3 Étude de la partie commande (PC)

Les GRAFCET respectivement du point de vue PO et du point de vue PC conformément au cahier de charge sont représentés à la figure 6.3

## 6.2 Tri automatique de caisses

### 6.2.1 Principe de fonctionnement

Dans une usine produisant de la lessive et du savon en cycle automatique, après conditionnement, les caisses de formes et de hauteurs différentes arrivent sur un tapis roulant sans être triées figure 6.4 .

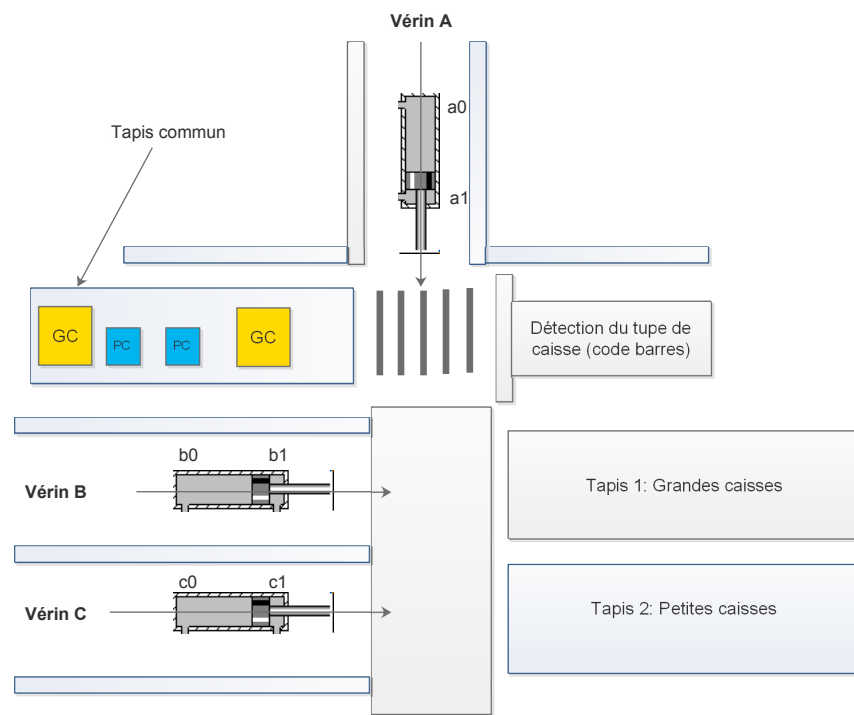


FIGURE 6.4 – Station de tri automatique de caisses.

### 6.2.2 Étude de la partie commande (PC)

Un système constitué de trois vérins :

— Vérin A : permet de pousser les caisses non triées ;



- vérin B : permet de pousser les caisses "lessives" sur le tapis 1 ;
- vérin C : permet de pousser les caisses "savons" sur le tapis 2.

### 6.2.3 Cycle de déroulement des étapes :

Le tapis 1 et tapis 2 orientent les caisses vers leurs destinations finales afin d'être mises sur palettes.

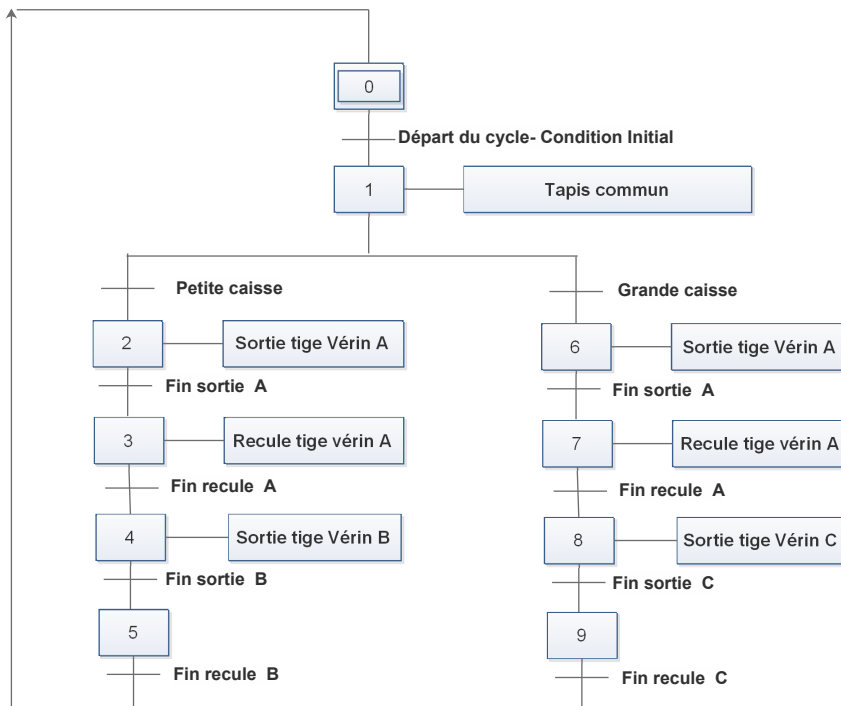
Le type de caisse est reconnu quand celles-ci arrivent devant le vérin A. Elles déclenchent un aiguillage qui traitera :

- tapis 1 : grandes caisses ;
- tapis 2 : petites caisses.

### 6.2.4 Grafcet point de vue opérative et commande

Les figures 6.5 et 6.6 représentent respectivement le Grafcet point de vue opérative (PO) et point de vue commande.

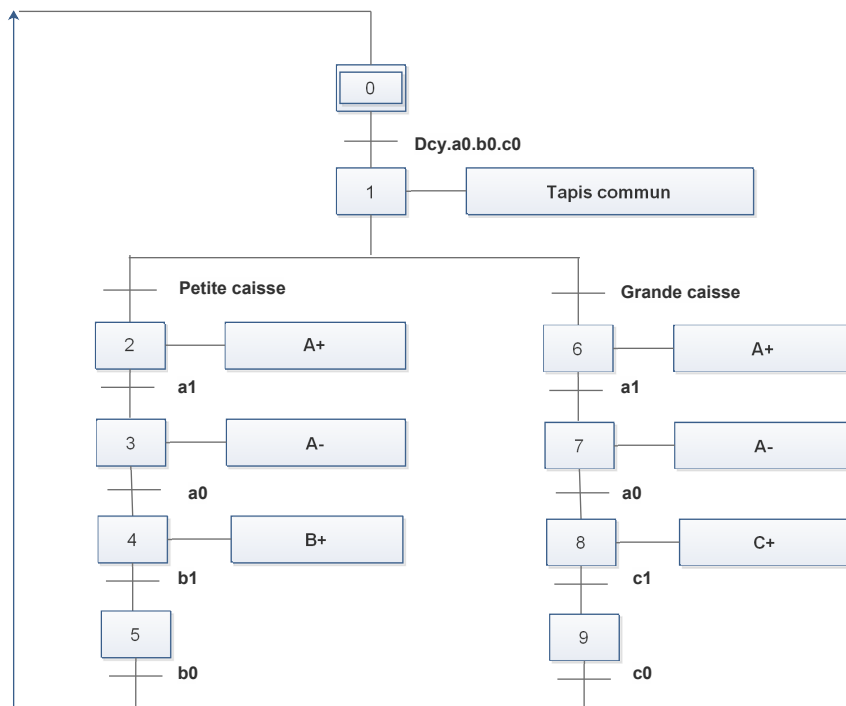
Le vérin A poussera la caisse soit :



Point de vue PO

FIGURE 6.5 – Grafcet "point de vue PO".

1. devant le tapis 1 ;
2. devant le tapis 2. La dernière séquence déclenchera le retour du vérin 1 qui autorisera l'arrivée d'une nouvelle caisse .



#### Point de vue PC

FIGURE 6.6 – Grafset "point de vue PC".

# Bibliographie

- [1] MERLAUD C., PERRIN J., TRICHARD J., *Automatique informatique industrielle*, Paris, Editions DUNOD, 1995.
- [2] PERRIN J., PRAT D., *Technologie des systèmes automatisés : Les systèmes techniques*, Paris, Editions DUNOD, 1987.
- [3] BLEUX J. M., FANCHON J-L., *Automatismes industriels*, Paris, Editions Nathan, 1996.
- [4] PERRIN J., PRAT D., *Technologie des systèmes automatisés : Les parties opératives*, Paris, Editions DUNOD, 1987.
- [5] PERRIN J., PRAT D., *Technologie des systèmes automatisés : La mise en œuvre*, Paris, Editions DUNOD, 1987.
- [6] PERRIN J., PRAT D., *Technologie des systèmes automatisés : Les parties commandes*, Paris, Editions DUNOD, 1987.
- [7] HEROLD J F., GUILLOTIN O., ANAYA P., *Informatique industrielle et réseaux*, Paris, Editions DUNOD, 2010.
- [8] Luc Vanden-Abeebe, CRIQ., *L'automatisation- manuel de formation*, Québec, Direction des communications, MESI, 2016.
- [9] Devaux S., Rachline M., *Introduction à l'automatisme : Schneider Electric*, Encyclopédie économie 3000, série haute technologie, 2000.
- [10] M.BERTRAND., *Automates programmables industriels* , Technique de l'ingénieur, Vol.S8 015.
- [11] Perrin J., Binet F., Dumery J.J., Merlaud C., Trichard J.P., *Automatique et Informatique industrielle : Bases théoriques, méthodologiques et techniques* , Nathan Technique, 2004.
- [12] Dkhili B., *Automate Programmable Industriel*, Academics.
- [13] Ilian Bonev., Yanick Noiseux., *Robotique industrielle* , Québec, École de technologie supérieure université Québec, 2014.
- [14] THOMESSE P.J., *Réseaux locaux industriels Concepts, typologie, caractéristiques. Traité Informatique industrielle* , technique de l'ingénieur, 2001.

- [15] AHMED-FOITIH Z, *Informatique Industrielle : les réseaux locaux industriels*, 2001.
- [16] Groover, M. P., *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*, Prentice Hall Press, 2007.