

## Introduction

Le Système technique C'est un ensemble technique conçu pour répondre à un besoin. Sa fonction globale est d'apporter une valeur ajoutée : partant de matériaux, de pièces, de sous-ensembles, ..., il élabore des produits de valeur supérieure qui peuvent être des produits finis ou intermédiaires.

Un système de production est dit « industriel » si l'obtention de cette valeur ajoutée, pour un ensemble de matières d'œuvre donné, à un caractère reproductible et peut être exprimée et quantifiée en termes économiques.

Un système automatisé :

Ou automatique est un système qui exécute toujours le même cycle de travail qui est programmé à l'avance, sans l'intervention de l'utilisateur.

L'automatisation d'un procédé consiste à en assurer la conduite par un dispositif technologique. L'intervention d'un opérateur reste souvent nécessaire pour assurer un pilotage global du procédé (spécification des consignes), pour surveiller les installations et reprendre en commande manuelle tout ou partie du système en cas de besoin.

Dans une économie de marché, les objectifs de cette automatisation sont d'aider à la compétitivité globale du produit, soit directement (coût, qualité, ...) soit indirectement (amélioration des conditions de travail ...).

- L'opérateur assure la programmation, le démarrage et l'arrêt du système.
- Un système automatisé peut être composé de plusieurs systèmes automatisés.

Par contre, dans un système mécanique, l'utilisateur commande et contrôle l'ensemble des opérations.

La figure suivante présente un exemple d'un système automatisé industriel d'embouteillage.

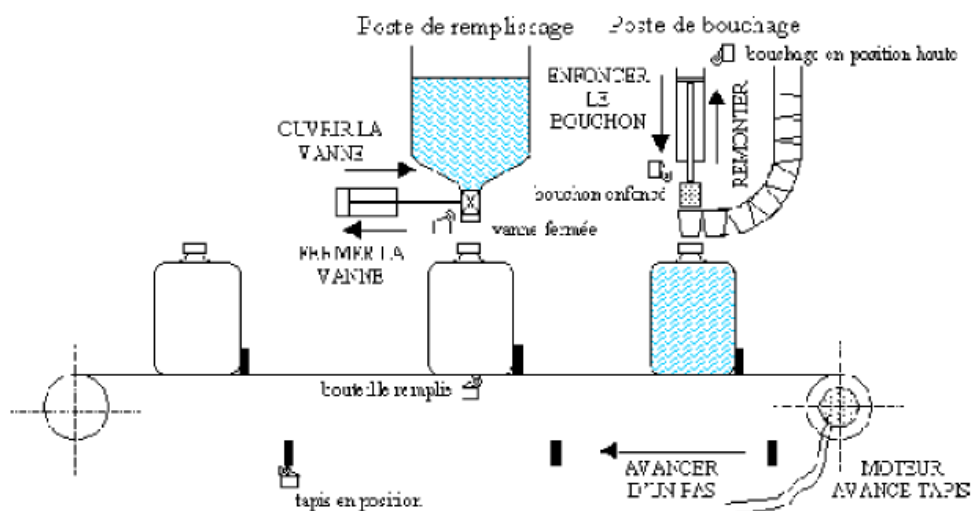


Figure 1.1 : Système automatisé d'embouteillage

On trouve les systèmes automatisés dans des domaines très variés à titre d'exemple :

- **L'industrie** : ils permettent d'augmenter la sécurité et remplacent l'homme en accomplissant des travaux pénibles (convoyeur), répétitifs (ligne de montage), dangereux (atelier de peinture) ou dans des endroits inaccessibles (réacteur nucléaire).
- **La vie quotidienne** : Distributeur de boissons, les feux de carrefour, la barrière de parking, le distributeur de billets...
- **La Domotique** : C'est la gestion automatisée des bâtiments individuels et collectifs : éclairage, chauffage, sécurité, télécommunication, pilotage des appareils électrodomestiques...

## 1.1. Architecture générale d'un système automatisé :

### 1.1.1. Structure d'un système automatisé :

Tout système automatisé se décompose en 2 parties interdépendantes : la partie opérative (PO) et partie commande (PC). Les informations échangées entre ces deux parties sont des informations internes au système alors que les consignes, signalisation proviennent de l'extérieur. A lesquelles s'ajoute une troisième c'est la partie de dialogue :

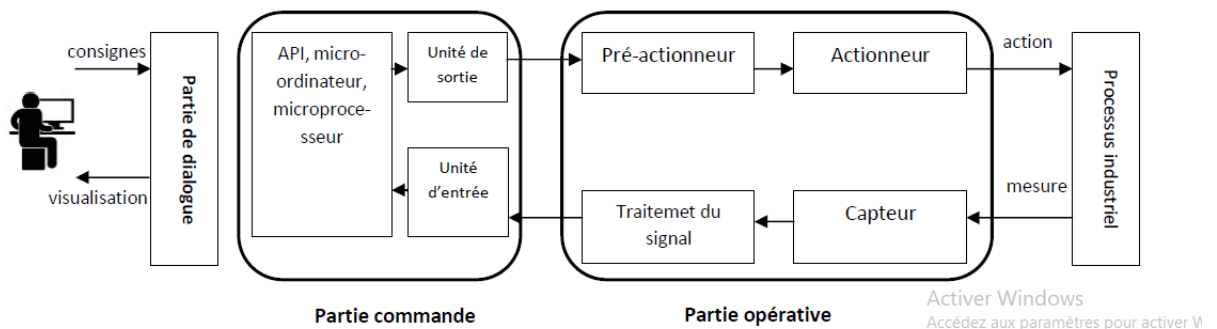


Figure 1.2 : architecture d'un système automatisé

#### 1.1.1.1. Partie opérative :

C'est elle qui opère sur la matière d'œuvre. Elle comporte en général :

- **Processus** : outillages et moyens divers (moules, outils de coupe, pompes, têtes de soudures, ...)
- **Actionneurs** : destinés à mouvoir ou mettre en œuvre ces moyens (moteur électrique pour actionner une pompe, vérin hydraulique pour fermer un moule, vérin pneumatique pour mouvoir une tête de marquage, ...).

### 1.1.1.2. Partie commande :

Un automatisme qui élabore en sortie des ordres destinés à la partie opérative et des signaux de visualisation, en fonction du contrôle du processus.

- Cette commande est basée sur les consignes utilisateur et sur les informations reçues concernant l'état du système.
- Dans la partie commande, le « traitement reçoit les informations des capteurs et émet des ordres vers les pré-actionneurs ». Bien connaître ces organes répartis sur la machine est indispensable pour réaliser l'automatisme qui doit les commander.

### 1.1.2. Les Actionneurs :

Nous avons vu dans les paragraphes précédents que la partie opérative représente un ensemble technique qui réalise des opérations sur la matière d'œuvre par l'intermédiaire d'objets techniques ou effecteurs.

Ces effecteurs sont actionnés par les actionneurs qui sont des objets techniques permettant de convertir une énergie d'entrée (électrique, pneumatique, hydraulique, magnétique) en une énergie autre de sortie utilisable pour obtenir une action définie.

Par ailleurs, la partie opérative informe la partie commande du déroulement des opérations par l'intermédiaire des capteurs qui mesurent et codent des grandeurs physiques.

Les actionneurs sont souvent regroupés en trois catégories en fonction de la nature de la source d'énergie d'entrée utilisée : électrique, pneumatique et hydraulique.

**1.1.2.1. Actionneurs électriques :** Ils utilisent directement l'énergie électrique distribuée sur les machines. Ils peuvent être sous plusieurs formes : moteur électrique, électrovanne de débit, résistance de chauffage, tête de soudure, ...

Les pré-actionneurs associés à ces actionneurs électriques sont principalement les contacteurs et variateurs de vitesse, entourés des sécurités nécessaires.

**1.1.2.2. Actionneurs pneumatiques :** Ce sont des vérins qui utilisent directement l'air comprimé distribué sur les machines. Ils se présentent sous diverses formes et ils sont utilisés pour de nombreux mouvements : transferts, serrages, marquages, maintiens, éjections, ...

Les pré-actionneurs associés à ces actionneurs sont les distributeurs qui peuvent être à commande pneumatique ou électrique (lorsqu'ils sont équipés d'une électrovanne).

**1.1.2.3. Actionneurs hydrauliques :** Ils peuvent être des vérins ou moteurs et ils ne sont utilisés qu'en cas de besoin car ils exigent l'installation sur la machine d'un groupe générateur de pression. Ils sont utiles lorsque les efforts à développer sont très importants (exemple : application de presses) ou lorsque des vitesses lentes doivent être contrôlées avec précision (exemple : avance d'outils de coupe, ...).

### 1.1.3. Les capteurs :

Captant les déplacements des actionneurs ou le résultat de leurs actions, les capteurs fournissent les informations en retour, nécessaires pour la conduite du processus. Ils peuvent détecter des positions, des températures, des débits, des forces, des vitesses, des accélérations, ...

Ils sont souvent classés en fonction de leur mode d'utilisation : avec ou sans contact et en fonction de la nature de leurs informations de sortie :

- **Logique** : l'information de sortie est binaire, elle ne prend donc que les valeurs 0 ou 1 ;
- **Analogique** : l'information est obtenue sous forme d'une tension ou un courant proportionnel à la grandeur mesurée ;
- **Numérique** : l'information est codée sur un mot composé de plusieurs bits ;
- **Digital** : l'information est numérique mais elle est exprimée à l'aide de la période ou la fréquence d'un signal qui est lui-même binaire.

Les capteurs de position sont les plus utilisés sur les systèmes automatisés. Ils prennent des formes variées : interrupteurs de position avec contact ou détecteurs de proximité sans contact (signal tout ou rien) et capteurs de déplacement (signal analogique ou numérique).

### 1.1.3.1. Capteurs TOR « Tout Ou Rien » :

Dans leur rôle d'acquisition dédiée au traitement de l'information, les détecteurs ont les principales fonctions élémentaires suivantes : contrôler la présence, l'absence ou le positionnement d'objets divers, détecter le passage, le défilement ou le bourrage de ceux-ci, les compter, etc.

Les applications qui mettent en pratique ces formes de détection "tout ou rien" sont multiples. Les plus typiques portent sur :

- la détection de pièces machines,
- la détection liée à la manutention,
- la détection directe d'objets (en cours de fabrication ou de manutention),
- la détection directe de personnes, de véhicules, d'animaux, etc.

Quatre grandes familles de détecteurs de présence constituent la base des offres :

- les Interrupteurs de Position électromécaniques actionnés par contact direct avec les objets, les pièces machines, etc.
- les Détecteurs de Proximité Inductifs électroniques, pour la détection sans contact physique et à faible distance d'objets nu de pièces machines métalliques.
- les Détecteurs de Proximité Capacitifs électroniques, pour la détection sans contact physique et à faible distance d'objets de natures diverses.
- les Détecteurs Photoélectriques électroniques permettant, également sans contact physique, la détection de tous objets situés jusqu'à plusieurs dizaines diamètres.

La solution électromécanique, construite autour des interrupteurs de position, s'applique à la détection par contact d'objets physiques non déformables. Interrupteurs de commande, ils sont utilisés dans des applications très variées en raison de leurs nombreuses qualités. Ils ne résolvent pas certains problèmes pour lesquels ils trouvent le relais de la solution électronique.

La solution électronique (inductive, capacitive ou photoélectrique) s'apparente à la détection sans contact d'objets ou de matières diverses caractérisés par des cadences de présence et des vitesses de défilement grandes. Cette solution autorise une grande tolérance dans le positionnement des objets. Les signaux de sortie statiques sont sans rebond, directement

compatibles avec les logiques de traitement électronique. La durée de vie des détecteurs est indépendante du nombre de manœuvres.

### 1.1.3.2. Capteurs à contact :

Les plus significatifs se rencontrent dans la mécanique et la machine-outil (usinage, manutention, levage, . . .), dans l'agro-alimentaire et la chimie (conditionnement, emballage, etc.) sur des types d'applications relevant de :

- la détection de pièces machines (cames, butées, pignons...)
- la détection de balancelles, chariots, wagons,
- la détection directe d'objets, etc.

#### Principe de fonctionnement

C'est un commutateur, commandé par le déplacement d'un organe de commande (corps d'épreuve). Lorsqu'il est actionné, il ouvre ou ferme un contact électrique solidaire du corps d'épreuve.



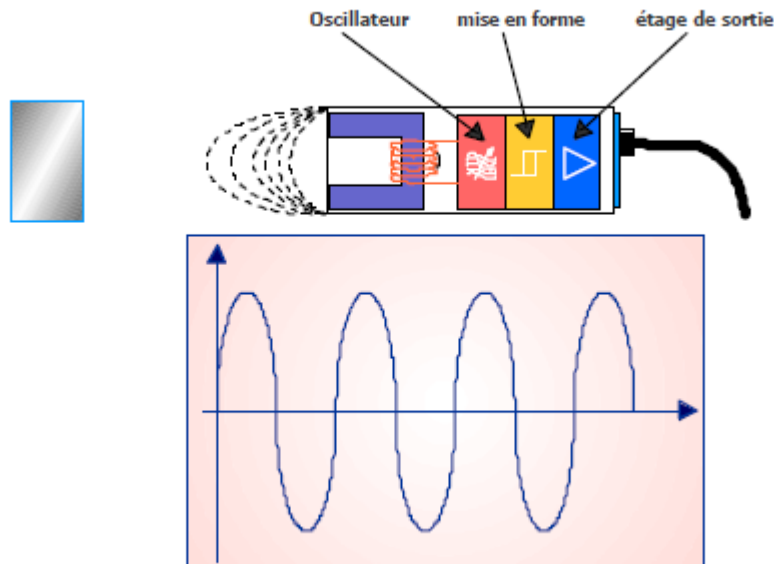
Figure 1.3 : exemple des capteurs à contact

### 1.1.3.3. Capteurs sans contact :

- a) **Capteurs inductifs** : Ils détectent sans contact tout objet métallique. Cette détection peut traduire selon le type de l'application la présence, le passage, le défilement, le bourrage, le positionnement d'un objet et peut être également utilisée pour le comptage d'objets métalliques.

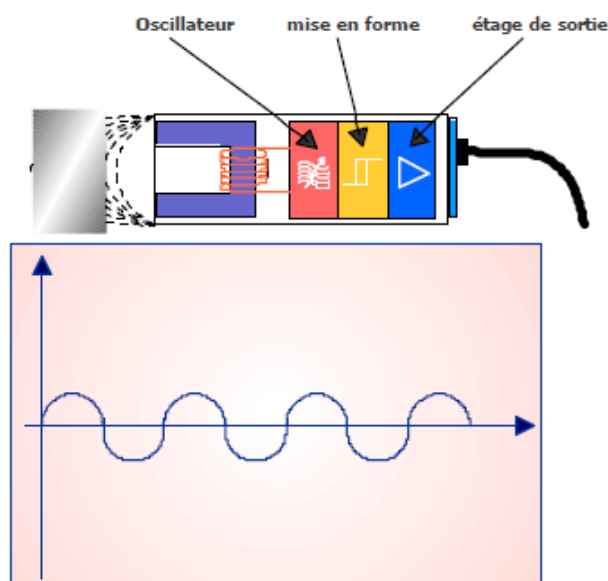
**Principe de fonctionnement :**

Il se compose d'un oscillateur dont les bobinages constituent la face sensible. A l'avant de celle-ci est créé un champ magnétique alternatif ayant une fréquence de 100 à 600 kHz selon les modèles.



**Figure 1.4 :** Fonctionnement d'un capteur inductif

Lorsqu'un objet métallique pénètre dans ce champ, il est le siège de courants induits circulaires qui se développent à sa périphérie. Ces courants constituent une surcharge pour le système oscillateur et entraînent de ce fait une réduction de l'amplitude des oscillations au fur et à mesure de l'approche de l'objet métallique, jusqu'au blocage complet. La détection est effective lorsque la réduction de l'amplitude des oscillations est suffisante pour provoquer un changement d'état de la sortie du détecteur.



**Figure 1.5:** Capteur inductif en présence d'un objet métallique

**b) Détecteurs photoélectriques :**

Un détecteur photoélectrique réalise la détection d'une cible, qui peut être un objet ou une personne, au moyen d'un faisceau lumineux. Ses deux constituants de base sont donc un émetteur et un récepteur de lumière.

La détection est effective quand la cible pénètre dans le faisceau lumineux et modifie suffisamment la quantité de lumière reçue par le récepteur pour provoquer un changement d'état de la sortie.

Elle est réalisée selon deux procédés :

- blocage du faisceau par la cible.
- renvoi du faisceau sur le récepteur par la cible.

C'est la technologie présentant le maximum de possibilités d'applications. Elle apporte les avantages suivants :

- détection d'objets de toutes formes et de matériaux de toutes natures ;
- détection à très grande distance ;
- sortie statique pour la rapidité de réponse ou sortie à relais pour la commutation de charges jusqu'à 2 A ;
- généralement en lumière infrarouge invisible, indépendante des conditions d'environnement.

Ces détecteurs sont utilisés dans les domaines industriels et tertiaires les plus divers : détection d'objets et de produits dans la manutention et le convoyage, détection de pièces machine dans les secteurs de la robotique, des ascenseurs et du bâtiment en général, du textile, détection de personnes, de véhicules ou d'animaux, etc.

Il existe différents types de systèmes :

- **Système barrage :** Émetteur et récepteur sont situés dans deux boîtiers séparés. Ce système est adapté aux longue portée (jusqu'à 30 m) et aux environnements pollués (fumées, poussières, etc.). Cependant ils ne peuvent pas détecter les objets transparents et ils nécessitent l'alignement avec précision de l'émetteur et de son récepteur.

- **Système réflex :** L'émetteur et le récepteur sont sur le même boîtier et la réflexion du signal se fait par un réflecteur distant. La détection sera donc effectuée lorsque l'objet passe entre l'émetteur et le réflecteur.

C'est donc un système qui n'est pas adapté pour la détection d'objets réfléchissants qui pourraient renvoyer une quantité plus ou moins importante de la lumière sur le récepteur. La portée nominale d'un détecteur photoélectrique réflex est de l'ordre de deux à trois fois inférieure à celle d'un système barrage.

- **Système reflex polarisé :** Les objets brillants. Qui ne bloquent pas le faisceau mais réfléchissent une partie de la lumière vers le récepteur, ne peuvent pas être détectés par un système réflex standard. Il faut utiliser dans ce cas un système réflex polarisé. Ce type de détecteur, qui émet en lumière rouge visible, est équipé de deux filtres polarisants opposés :

- un filtre sur l'émetteur qui ne laisse passer que les rayons émis dans un plan vertical ;
- un filtre sur le récepteur qui ne laisse passer que les rayons reçus dans un plan horizontal.

- **En l'absence de cible :** Le faisceau émis, polarisé verticalement, est renvoyé par le réflecteur après avoir été dépolarisé par ce dernier. Le filtre récepteur laisse passer la lumière réfléchie dans le plan horizontal.
- **En présence de cible :** Le faisceau émis est renvoyé par la cible sans subir de modification. Le faisceau réfléchi, polarisé verticalement, est donc bloqué par le filtre horizontal du récepteur. Le choix du réflecteur, le fonctionnement en zone proche et l'emploi en environnement pollué sont définis selon les mêmes critères que pour un système reflex standard. Le fonctionnement d'un reflex polarisé peut être perturbé par la présence dans le faisceau de certains matériaux plastiques qui dépolarisent la lumière qui les traverse. Il est d'autre part recommandé d'éviter une exposition directe des optiques aux sources de lumière ambiantes.
- **Système proximité :** Comme pour le système reflex, émetteur et récepteur sont regroupés dans un même boîtier. Le faisceau lumineux, émis en infrarouge, est renvoyé vers le récepteur par tout objet suffisamment réfléchissant qui pénètre dans la zone de détection. La portée d'un système proximité est inférieure à celle d'un système reflex. Pour cette raison, son utilisation en environnement pollué est déconseillée.
- **Système proximité avec effacement de l'arrière-plan :** Les détecteurs proximité avec effacement de l'arrière-plan sont équipés d'un potentiomètre de réglage de portée qui permet de se "focaliser" sur une zone de détection en évitant la détection de l'arrière-plan. Ils peuvent détecter pratiquement à la même distance des objets de couleurs et de réflectivités différentes. La tolérance de fonctionnement d'un système proximité avec effacement de l'arrière-plan dans un environnement pollué est supérieure à celle d'un système standard, la portée réelle n'évoluant pas en fonction de la quantité de lumière renvoyée par la cible.

### c) Capteurs analogiques

Il existe différents types de capteurs analogiques qui sont associés à des applications et à des grandeurs à mesurer de natures diverses tels que :

- les capteurs de proximité inductifs à sortie analogique qui sont destinés aux applications de contrôle de déplacement, de position, de déformation, etc.
- les détecteurs photoélectriques à sortie analogique permettant la détection des différents repères, des marquages, d'étiquettes, etc.
- les capteurs de vitesse telle que la dynamo bathymétrique.
- les sondes de temps raturent, ...

### d) Capteurs digitaux

A titre d'exemple, nous allons présenter les codeurs optiques qui sont utilisés pour la mesure de la position et de la vitesse des moteurs électriques employés pour la manutention, la robotisation, etc.

Parmi ces codeurs, nous distinguons essentiellement les codeurs incrémentaux et les codeurs absolus.

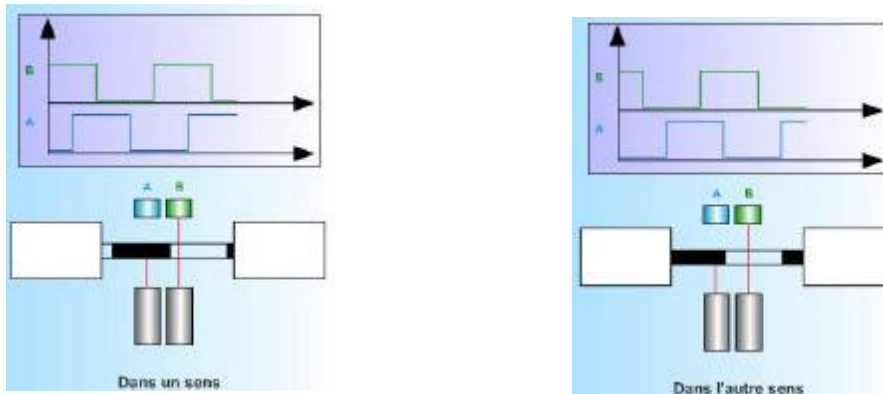


**e) Le codeur incrémental**

Ce codeur comporte un disque avec des fentes ou des zones transparentes réparties régulièrement sur une piste extérieure. Le nombre de ces fentes correspond à la résolution du codeur.

Ce disque sera fixé à l'extrémité de l'axe du moteur. Deux capteurs optiques à fourches (A et B), déphasés de  $\frac{1}{4}$  de période, détectent les zones transparentes.

Ce système permet donc d'obtenir deux signaux en quadrature de phase. A partir de ces modules, nous pouvons déterminer la vitesse et le sens de rotation du moteur.



**Figure 1.6:** fonctionnement de système codeur incrémental

**f) Le codeur absolu :**

Contrairement au codeur incrémental, le codeur absolu permet d'obtenir directement la valeur binaire de la position. Il génère donc plusieurs signaux correspondant à la valeur numérique de la position.

Cette information peut être codée en binaire ou bien en code Gray.

**1.2. Automatisation :**

**1.2.1. Différents modes de commande :**

Dans un système automatisé, la partie commande doit, d'une part, piloter l'activité individuelle de chacune des chaînes fonctionnelles de l'équipement, d'autre part, coordonner l'activité collective de ces différentes chaînes conformément au modèle de fonctionnement du système.

La chaîne fonctionnelle constitue l'unité élémentaire d'organisation d'un système automatisé.

Les modes de commande d'une chaîne fonctionnelle se différencient :

- D'une part, selon la nature de traitement pour l'élaboration de l'ordre : logique (combinatoire ou séquentiel), analogique ou numérique.
- D'autre part, selon l'organisation de la chaîne fonctionnelle :
  - Commande directe (sans contrôle de l'effet)
  - Commande avec compte rendu de fin d'exécution (commande bouclée)

- Commande avec surveillance en permanence de l'exécution (commande surveillée)
- Commande avec contrôle continu de l'exécution (commande asservie)

Le choix entre ces modes se fait selon les critères de simplicité, coût, fiabilité, qualité (précision, rapidité, influences des perturbations, ...), ...

### 1.2.2. Fonctions des automatismes :

Le degré d'automatisation d'un système dépend de la nature du procédé, sa complexité, la connaissance qu'on en a et les objectifs assignés au projet. On distingue trois degrés d'automatisation :

- La surveillance de grandeurs répond à un objectif de connaissance technique et économique du procédé. Il s'agit d'une fonction passive vis-à-vis du procédé : l'organe de contrôle acquiert des informations, les analyse et produit des journaux de bord et des bilans.
- Le mode guide opérateur Complète le précédent par des traitements plus élaborés et propose aux responsables des actions pour conduire le procédé selon un critère donné.  
L'automatisme est ici encore en boucle ouverte.
- La commande proprement dite a une structure en boucle fermée : automatisation complète de certaines fonctions, depuis l'acquisition des informations, en passant par leur traitement, pour aboutir à une action du procédé.

### 1.2.3. Technologies des automatismes :

L'automaticien dispose de nombreux outils technologiques pour réaliser l'organe de commande de son système que l'on regroupe habituellement en deux catégories fondamentales :

- **les solutions câblées** : l'automatisme est réalisé par des modules raccordés entre eux selon un schéma fourni par la théorie ou par l'expérience.

En électricité ou en électronique, les liaisons sont faites par câbles électriques alors qu'en fluide il s'agit de canalisations reliant les différents composants. Chaque opérateur des équations de commande booléennes est représenté physiquement par un circuit.

Trois technologies permettent de réaliser des automatismes câblés :

- Relais électromagnétiques.
- Modules logiques pneumatiques.
- Cartes ou modules électroniques.

Elles comportent des contraintes tels que le poids et le volume des composants, la rentabilité financière, la complexité de l'installation, les risques d'erreurs de câblage, la recherche des pannes. Toute modification dans le choix du fonctionnement de l'installation entraîne :

- Intervention dans le câblage (main d'œuvre) ;
- Augmentation du nombre de relais et de fils ;
- Coût élevé et dialogue limité avec de telles installations (voyants, synoptique).

Les avantages sont :

- technologie simple, connue et maîtrisée ;

- Conception, réalisation, mise en service et maintenance assurées par un personnel ne nécessitant pas de formation spécifique.
- les solutions programmées : l'automatisme est réalisé par la programmation de constituants prévus à cet effet. Le fonctionnement obtenu résulte de la programmation effectuée.

L'automatisme est personnalisé par les choix matériels et par la programmation. Trois technologies permettent de réaliser des automatismes programmés : cartes électroniques standards et spécifiques, micro et mini-ordinateurs, automates programmables.

Avantages :

- Encombrement de l'armoire électrique réduit lorsque la complexité de l'installation augmente ;
- Main d'œuvre réduite lors du câblage ;
- Terminal de programmation pouvant être commun à plusieurs automates ;
- Modification possible sans intervention sur le câblage ;
- Dialogue avec l'installation développé...

#### 1.2.4. Outils de description du comportement d'un automatisme :

Pour concevoir, réaliser et exploiter un automatisme, il est indispensable d'en décrire le comportement. Les outils et les langages qui permettent cette description peuvent, au choix être littéraires, symboliques ou graphiques.

##### a) Description littérale :

En utilisant le langage courant, on énumère ce que l'automatisme doit faire en décrivant chaque étape et en précisant les conditions à satisfaire à chaque instant.

Inconvénient : Pour les systèmes complexes, le cahier des charges devient très lourd à exploiter.

##### b) Description symbolique :

Les automatismes Tout Ou Rien (TOR) sont suffisants pour de nombreuses applications. Leur comportement est facilement décrit à l'aide de variables booléennes (ne prenant que deux valeurs 0 et 1). Ces variables peuvent être manipulées par l'algèbre de Boole pour décrire sous forme d'équations les traitements logiques, combinatoires de la Partie commande.

##### c) Description graphique :

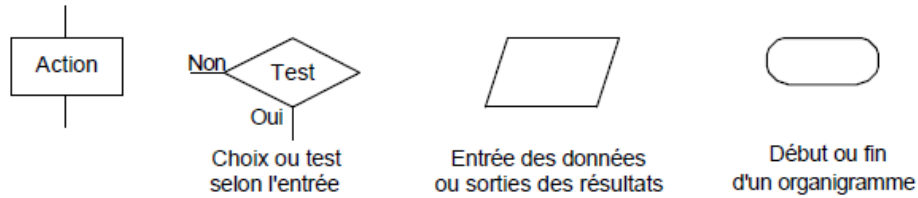
Elles sont les plus appréciées : soit parce qu'elles se rapprochent de certaines technologies de réalisation tels que les contacts électromagnétiques ou les modules logiques. Soit au contraire parce qu'elles ne présument pas de technologies qui sera mise en œuvre, elles permettent ainsi une description fonctionnelle des problèmes séquentiels.

- **Logigramme :**

C'est la représentation graphique des relations logiques. Elle est normalisée sur le plan international et conduit à des résultats clairs et compacts par le regroupement des fonctions de base. Cependant, elle n'est pas adaptée à la description du fonctionnement séquentiel des processus de production.

- **Organigramme :**

C'est l'outil cher aux informaticiens. Il est permis principalement la description séquentielle des commandes programmables en précisant au fur et à mesure les traitements à réaliser. Ses principaux symboles sont :

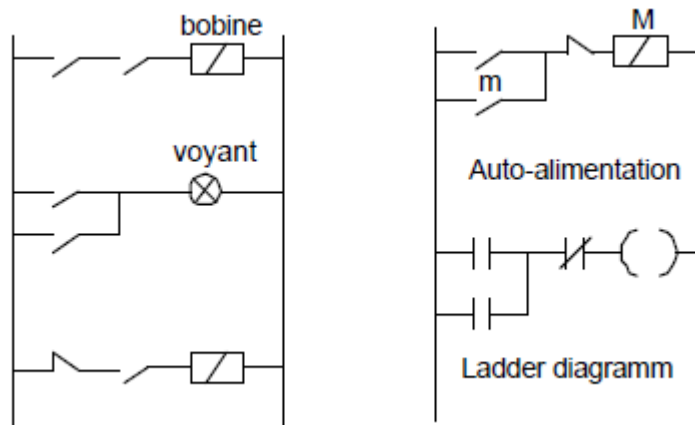


**Figure 1.7:** Les principaux symboles d'organigramme

- **Schémas à contacts – diagramme en échelle :**

Il est né à l'époque où seule la technologie à contacts était disponible pour résoudre les problèmes de commande. Ils sont familiers aux électriciens d'où leurs utilisations pour exprimer ou visualiser les automatismes programmés. On emploie pour cela la version américaine (diagramme en échelle = ladder Diagram).

Le principe est de reproduire les fonctions logiques de base en plaçant en série ou parallèle.



**Figure 1.8 :** Diagramme en échelle

En dérivation des contacts qui sont à ouverture ou à fermeture alimentant des relais. Ils permettent difficilement la représentation des systèmes séquentiels (succession de circuits à auto-alimentation).

- **Les graphes fonctionnels, notamment à base du GRAFCET :**

Le chronogramme, le diagramme des phases, les réseaux de Pétri ... ont été des langages graphiques utilisés en automatisme. Chacun d'eux a aidé à bâtir l'expérience dont le GRAFCET est la synthèse.

Le GRAFCET représente la succession des étapes dans le cycle. L'évolution entre les étapes du cycle est contrôlée par une « transition » disposée entre chaque étape.

A chacune des étapes peut correspondre une ou plusieurs actions. A chaque transition correspond une « réceptivité », condition qui doit être satisfaite pour que la transition puisse être franchie, permettant l'évolution d'une étape à la suivante.

L'étape terminée (transition valide) sera désactivée et l'étape suivante sera activée. C'est l'outil le plus utilisé actuellement pour ses performances dans la description des procédés séquentiels des automatismes de production.

**Remarque :** Dans la pratique, les schémas à contacts ne sont pas utilisés pour décrire les traitements séquentiels. Cependant ils sont associés au langage GRAFCET pour exprimer graphiquement le traitement combinatoire.

### 1.3. LES API :

Les processus d'automatisation créent des opérations qui requièrent une intervention humaine pour automatiser les opérations. L'API vise à remplacer ce travail par des tâches simples, générales et pouvant être répétées nécessitant de la précision.

Nous sommes passés d'un système manuel à un système automatisé utilisant des techniques électromécaniques, électroniques, pneumatiques et hydrauliques.

L'automatisation est disponible dans tous les domaines (fabrication, alimentation, transport, automobile ...Etc.).

#### 1.3.1. Définition des API (PLC) :

Un API (contrôleur logique programmable) est un ordinateur numérique utilisé pour l'automatisation industrielle pour automatiser différents processus électromécaniques. Il a été introduit pour éliminer les problèmes tels que la consommation d'énergie élevée résultant de l'utilisation de relais pour contrôler les processus de fabrication. Il se compose d'un microprocesseur programmé dont le programme est écrit sur un ordinateur et ensuite téléchargé via un câble vers l'automate. Le programme est stocké dans une mémoire non volatile de l'automate.



**Figure 1.9:** automate programmable industrielle SIEMENS

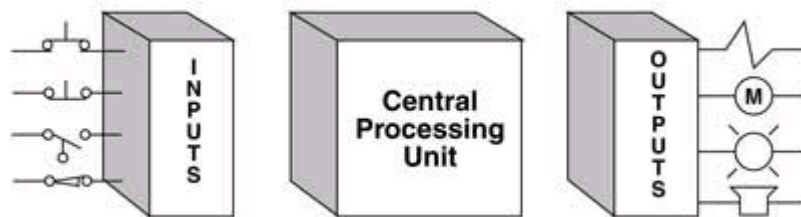
1. Module d'alimentation
2. Pile de sauvegarde
3. Connexion au 24V cc
4. Commutateur de mode (à clé)
5. LED de signalisation d'état et de défauts
6. Carte mémoire
7. Interface multipoint (MPI)
8. Connecteur frontal
9. Volet en face avant

### 1.3.2. Histoire des automates :

Les premiers automates programmables ont été conçus et développés par Modicon en tant que remplaçant de relais pour GM et Landis.

- Ces contrôleurs ont éliminé le besoin de recâblage et d'ajout de matériel supplémentaire pour chaque nouvelle configuration de logique.
- Le nouveau système a augmenté la fonctionnalité des commandes tout en l'espace de l'armoire qui abritait la logique.
- Le premier automate, modèle 084, a été inventé par Dick Morley en 1969
- Le premier automate commercial à succès commercial, le 184, a été introduit en 1973 et a été conçu par Michael Greenberg.

### 1.3.3. Architecture interne d'API :



**Figure 1.10:** Architecture intérieure d'automate

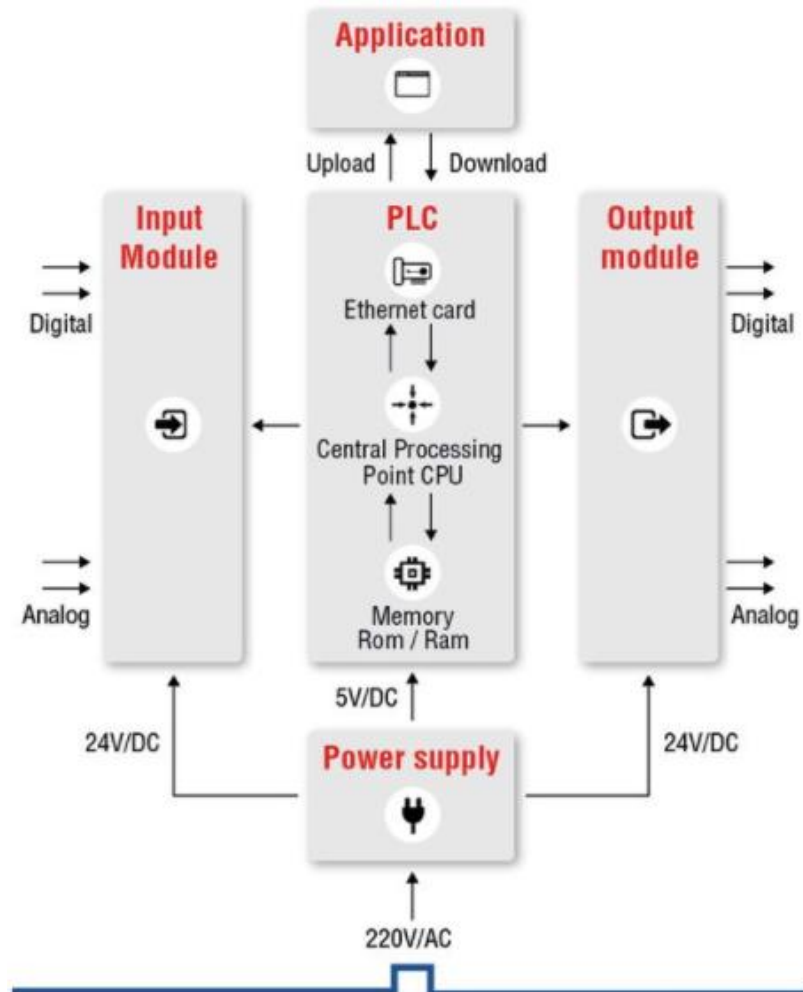
L'unité centrale de traitement, l'UC, contient un programme interne qui indique à l'API comment exécuter les fonctions suivantes :

- Exécutez les instructions de contrôle contenues dans les programmes de l'utilisateur. Ce programme est stocké dans une mémoire "non volatile", ce qui signifie que le programme ne sera pas perdu si l'alimentation est coupée.
- Communiquez avec d'autres périphériques, qui peuvent inclure des périphériques d'E/S, des périphériques de programmation, des réseaux et même d'autres automates.
- Effectuer des activités d'entretien ménager telles que les communications, les diagnostics internes, etc.

### 1.3.4. Principe de fonctionnement d'un automate :

L'API reçoit des informations des capteurs ou périphériques d'entrée connectés, traite les données et déclenche des sorties en fonction de paramètres préprogrammés. En fonction des entrées et des sorties, un API peut surveiller et enregistrer des données d'exécution telles que la productivité de la machine ou la température de fonctionnement, démarrer et arrêter automatiquement les processus, générer des alarmes en cas de dysfonctionnement d'une machine, etc.

Les contrôleurs logiques programmables sont une solution de contrôle flexible et robuste, adaptable à presque toutes les applications.



**Figure 1.11 :** schéma de fonctionnement d'API

### 1.3.5. API Matériel :

Les composants matériels de l'API comprennent :

- **CPU :** vérifier régulièrement l'API pour éviter les erreurs et exécuter des fonctions telles que des opérations arithmétiques et des opérations logiques.
- **Mémoire :** le système ROM stocke en permanence les données fixes utilisées par le processeur, tandis que la RAM stocke les informations sur les périphériques d'entrée et de sortie, les valeurs de minuterie, les compteurs et d'autres périphériques internes.

- **Section O/P** : cette section permet de contrôler la sortie des dispositifs tels que les pompes, les solénoïdes, les lumières et les moteurs.
- **Section E/S** : une section d'entrée qui effectue le suivi sur les appareils de terrain tels que les commutateurs et les capteurs.
- **Alimentation** : bien que la plupart des automates fonctionnent à 24 VDC ou 220VAC, certaines ont des alimentations isolées.
- **Dispositif de programmation** : sert à alimenter le programme dans la mémoire du processeur.

### 1.3.6. Fonctionnalités clés de l'API :

Les principales caractéristiques d'un contrôleur logique programmable comprennent :

- **E/S** : L'UC conserve et traite les données tandis que les modules d'entrée et de sortie connectent l'API à la machine. Les modules d'E/S fournissent à la CPU des informations et déclenchent des résultats spécifiés. Les modules d'E/S peuvent être analogiques ou numériques. Notez que les E/S peuvent être combinés pour obtenir la bonne configuration pour une application.
- **Communications** : Outre les périphériques d'entrée et de sortie, les API doivent se connecter à d'autres types de systèmes. Par exemple, un utilisateur peut avoir besoin d'exporter des données d'application enregistrées par l'automate vers un système SCADA (contrôle de supervision et d'acquisition de données) conçu pour surveiller plusieurs appareils connectés. Une API fournit différents protocoles et ports de communication pour faciliter la communication entre l'API et les autres systèmes.
- **IHM** : les utilisateurs ont besoin d'une IHM (interface homme-machine) pour interagir avec un automate. Les interfaces opérateurs peuvent être de grands écrans tactiles ou de simples écrans qui permettent aux utilisateurs de saisir et de consulter les informations de l'API en temps réel.

Les API continueront de prendre de l'importance en raison du battage médiatique actuel de l'industrie 4.0 et de l'Internet des objets industriels. Ces mouvements doivent avoir des contrôleurs logiques programmables pour communiquer via des navigateurs Web, se connecter au cloud via MQTT et aux bases de données via SQL. En conséquence, les API deviendront une partie de plus en plus importante de l'automatisation des machines modernes.

### 1.3.7. Critères de choix d'un automate :

Le choix d'un automate programmable est en premier lieu le choix du :

**Nombre d'entrées / sorties** : le nombre de cartes peut avoir une incidence sur le nombre de racks dès que le nombre d'entrées / sorties nécessaires devient élevé.



**Type de processeur :** la taille mémoire, la vitesse de traitement et les fonctions spéciales offertes par le processeur permettent le choix dans une large gamme.

**Fonctions ou modules spéciaux :** certaines cartes (commande d'axe, pesage ...) permettent de "soulager" le processeur et doivent offrir les caractéristiques souhaitées (résolution, etc.).

**Fonctions de communication :** l'automate doit pouvoir communiquer avec les autres systèmes de commande et offrir des possibilités de communication avec des standards normalisés (Profibus) [34]

### 1.3.8. Comment est programmé un automate :



Un programme d'API est généralement écrit sur un ordinateur, puis téléchargé sur le contrôleur.



La plupart des logiciels de programmation d'API proposent une programmation en logique à relais, ou « C ». Ladder Logic est le langage de programmation traditionnel. Il imite les schémas de circuit avec des « échelons » de logique lus de gauche à droite. Chaque ligne représente une action spécifique contrôlée par l'automate, commençant par une entrée ou une série d'entrées (contacts) qui aboutissent à une sortie (bobine). En raison de sa nature visuelle, Ladder Logic peut être plus facile à mettre en œuvre que de nombreux autres langages de programmation.

La programmation « C » est une innovation plus récente.

Certains fabricants d'automates fournissent des logiciels de programmation de contrôle.

### 1.3.9. Les périphériques d'entrée/sortie :

Contribution	
Interrupteurs et boutons - poussoirs – Dispositifs de détection <ul style="list-style-type: none"> <li>• fin de course</li> <li>• Capteurs photoélectriques</li> <li>• Capteurs de proximité</li> </ul>	
Capteurs de condition – Encodeurs <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressostats</li> <li>• niveau Commutateurs</li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• THERMOSTATS</li> <li>• Vacuostats</li> <li>• Commutateurs à flotteur</li> </ul>	
<p><b>Les sorties</b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vannes</li> <li>– Démarreurs de moteurs</li> <li>– Solénoïdes</li> <li>– Actionneurs</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Avertisseurs sonores et alarmes</li> <li>– Colonnes lumineuses</li> <li>– Relais de contrôle</li> <li>– Compteur/totalisateur</li> <li>– Pompes</li> <li>– Imprimantes</li> <li>– Ventilateurs</li> </ul>	

#### 1.4. Présentation de quelques gammes SIMATIC :

Il existe plusieurs gammes de SIMATIC. On trouve le SIMATIC S7 et le SIMATIC M7 :

##### 1.4.1. SIMATIC S7 :

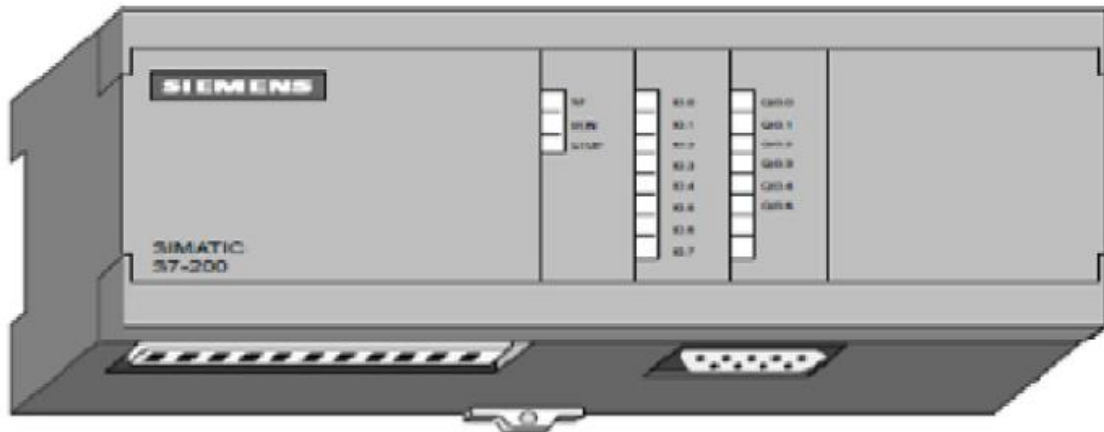
Dans la gamme S7 on distingue trois grandes familles d'automates programmables industriels décrites dans ces paragraphes qui suivent :

##### 1.4.1.1. SIMATIC S7-200 :

La famille S7-200 est constituée de micro-automates programmables utilisables dans des applications d'automatisations variées.

La Figure ci-dessous présente un micro automate S7 -200. Son dessin compact, ses possibilités d'expansion, son faible prix et son important jeu d'opérations en font une solution

idéale pour la commande de petites applications. On outre, le large choix de tailles et de tensions de CPU offre la souplesse nécessaire pour résoudre un problème d'automatisation.



**Figure 1.12 : API SIEMENS S7 200**

Un automate programmable S7-200 consiste en une CPU S7-200 seule ou complétée de divers modules d'extension facultatifs connectés à cette dernière a l'aide d'un connecteur de bus fourni avec ce module d'extension.

#### **1.4.1.2. SIMATIC S7-300 :**

La famille S7-300 est constituée d'automates programmables de conception modulaire utilisés pour des automatismes de gamme, et peuvent être connectés entre eux au moyen d'un câble-bus PROFIBUS.

Un automate S7-300 consiste en une CPU, un module d'alimentation PS, un module de signaux FM, un module de signaux SM et un processeur de communication. Comme Indiqué dans la figure suivante.

#### **1.4.1.3. SIMATIC S7-400 :**

La famille S7-400 est aussi constituée d'automates programmables de conception modulaire. Pratiquement chaque tâche d'automatisation peut être résolue par un choix approprié des constituants de S7-400 et avec la possibilité d'expansion de plusieurs modules. Les modules se présentent sous forme de boîtiers que l'on adapte sur un châssis [6].

#### **1.4.1.4. Présentation de l'automate utilisé S7-1200 :**

Le contrôleur S7-1200 (Figure 3.4) offre la souplesse et la puissance nécessaires pour commander une large gamme d'appareils afin de répondre aux besoins en matière d'automatisation. Sa forme compacte, sa configuration souple et son important jeu d'instructions forment une solution idéale pour commander une variété importante d'applications [28]

Le CPU combine un microprocesseur, une alimentation intégrée, des circuits d'entrée et de sortie, un PROFINET intégré, des E/S, ainsi que des entrées analogiques intégrées dans un boîtier

compact en vue de créer un contrôleur puissant. Une fois le programme chargé, le CPU contient la donnée logique nécessaire au contrôle et à la commande des appareils concernant le processus à contrôler. Le CPU surveille les entrées et modifie-les sorties conformément à la logique du programme intégré, qui peut contenir des instructions booléennes, des instructions de comptage, des instructions de temporisation, des instructions mathématiques complexes ainsi que des commandes pour communiquer avec d'autres appareils intelligents.

Le CPU fournit un port PROFINET permettant de communiquer par le biais d'un réseau PROFINET. Des modules supplémentaires sont disponibles pour communiquer via les réseaux PROFIBUS, RS485 ou RS232 [28]

PROFINet est le nouveau standard de communication créé par PROFIBUS International pour mettre en œuvre des solutions d'automatisation intégrées et cohérentes, sur Ethernet industriel.

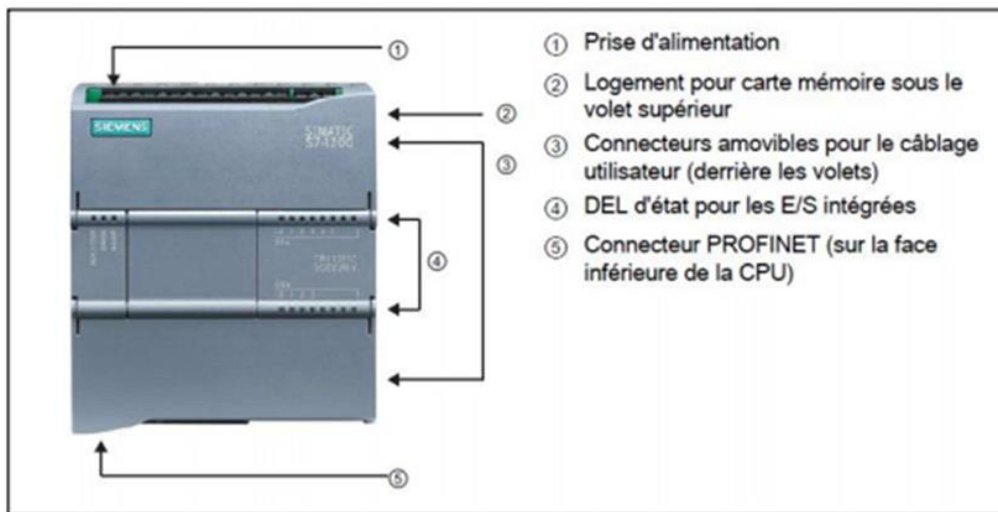


Figure 1.13: automate s7 1200

#### 1.4.1.5. Modules d'extensions :

La gamme S7-1200 offre divers modules de cartes enfichables pour accroître les capacités de la CPU avec des E/S supplémentaires ou d'autres protocoles de communication (Figure 1.14) [35]

Il faudrait se référer aux caractéristiques techniques pour des informations détaillées sur un module spécifique :

- ① : Module communication
- ② : CPU
- ③ : Module d'entrées-sorties
- ④ : Signal Board (SB), Communication Board



**Figure 1.14:** Modules d'extensions

Pour un API S7-1200 on distingue [28]

- Nombre de module d'extensions E/S 8
- Nombre Maximal des E/S 16384
- Nombre des modules de communication 3
- Module des signaux (SB) 1

Dans notre projet, on va utiliser le SIEMENS CPU 1214C DC/DC/DC- 6ES7214- 1AG40-0XB0 (tableau 1.1).

Modèle	Module CPU
Type	DC/DC/DC
Entrée numérique	14
Entrée analogique	02
Sortie numérique	10
Sortie analogique	0

Mémoire	100 kb
Tension d'entrée	24 V DC
Permissible range	20.4 28.8 V CC
Courant d'entrée	1.5 A
Puissance	12 W
Courant de sortie	1.6 A
Dimensions (H x D)	110 x 100 x 75 mm
Poids	415 g
Température ambiante min.	-20 °C
Température ambiante max.	60 °C
Protection	IP20
Communication	PROFINET
Software	TIA Portal V16

Tableau 1.1 : caractéristique d'automate s7 1200 CPU 1214C DC/DC/DC- 6ES7214- 1AG40-0XB0

## 1.5. TIA PORTAL :

### 1.5.1. Logiciel « Totally Integrated Automation Portal »:

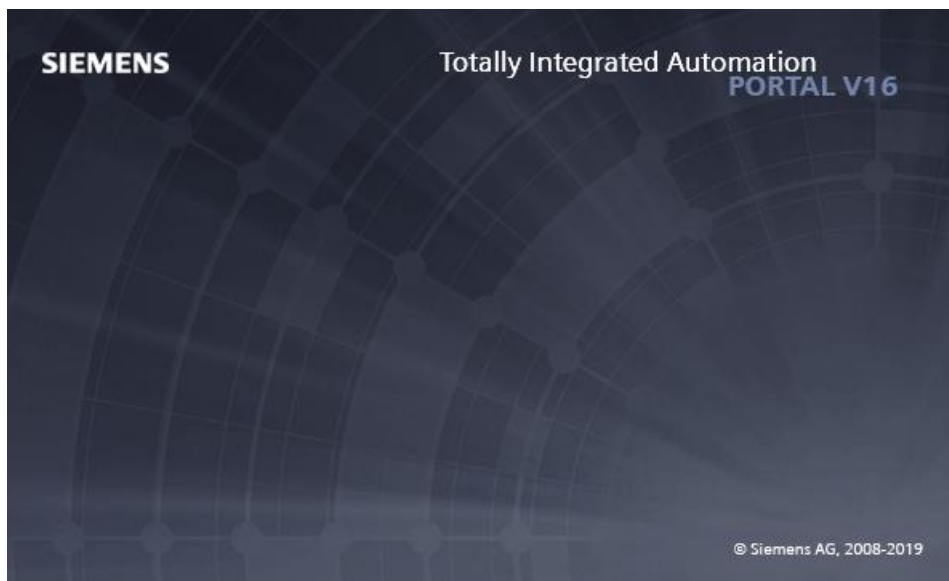
TIA Portal ou Totally integrated automation est un environnement de développement, tout en un permettant de programmer non seulement des automates mais aussi des afficheurs industriels (HMI).

Le TIA Portal contient le Step7 (permettant la programmation d'automate) et le WinCC (permettant de programmer des afficheurs Siemens). Il intègre aussi la gestion des fonctionnalités motion, comptage etc...

Step7 fait partie de la suite TIA Portal et permet seulement de programmer des automates. C'est comme la suite Office de Microsoft qui est constituée de Word, Excel, Powerpoint etc... Par comparaison on peut dire que TIA Portal est la suite Office et Word est Step7.

Le souhait de SIEMENS est d'intégrer toutes leurs gammes de produits dans un seul logiciel.

Nous avons utilisé la version 2016 du logiciel TIA (Figure 1.15) pour programmer notre automate [29]



**Figure 1.15:** vue logiciel tia portal v16

### 1.5.2. Présentations des blocs de programmation :

La CPU fournit les types suivants de blocs de code qui permettent de créer une structure efficace pour le programme utilisateur :

### 1.5.2.1. Les blocs d'organisation (OB) :

Ces blocs définissent la structure du programme. Certains OB ont des événements déclencheurs et un comportement prédéfini. Mais on peut également créer des OB à événements déclencheurs personnalisés.

### 1.5.2.2. Les fonctions (FC) et blocs fonctionnels (FB) :

Elles contiennent le code de programme qui correspond à des tâches ou combinaisons de paramètres spécifiques. Chaque FC ou FB fournit un jeu de paramètres d'entrée et de sortie pour partager les données avec le bloc appelant. Un FB utilise également un bloc de données associé - appelé DB d'instance - pour conserver les valeurs de données pour cette instance d'appel de FB. Nous pouvons appeler un FB plusieurs fois et ce, avec un DB d'instance unique chaque fois.

Utiliser des DB d'instance différents pour appeler le même FB n'affecte les valeurs de données dans aucun des DB d'instance.

FC sont des blocs de code dans mémoire.

### 1.5.2.3. Les blocs de données (DB) :

Ils mémorisent des données qui peuvent être utilisées par les blocs de programme [35]

## 1.6. Le WinCC

Le SIMATIC WinCC dans le Totally Integrated Automation Portal (TIAPortal) fait partie d'un nouveau concept d'ingénierie intégré qui offre un environnement homogène pour la programmation et la configuration de solutions de commande, de visualisation et d'entraînement [30]

Ce Framework d'ingénierie est une avancée fondamentale dans le développement de logiciels et représente le développement continu et conséquent de la philosophie TIA.

WinCC dans le TIA Portal est le logiciel pour toutes les applications IHM allant de solutions de commande simples avec des Basic Panels aux applications SCADA pour systèmes multipostes basés sur PC [31]

## 1.7. Interface Homme-Machine (HMI) :

**1.7.1. Définition : L'opérateur :** local par l'intermédiaire d'une Interface Homme-Machine peut envoyer des commandes ou des paramètres à la partie commande. On trouve parmi ces interfaces hommes machines les simples boutons et voyants et les plus complexes écrans (tactile, avec ou sans clavier).

**1.7.2. Présentation HMI (KTP10006AV6647-0AF11-3AX0):** L'Interface Homme-Machine Siemens KTP1000 de référence « 6AV6647- 0AF11-3AX0 » est à connecter sur notre système SIEMENS SIMATIC, avec interface Pro finet configurable à partir de WINCC Flexible afin d'effectuer des opérations de maintenance ou de programmation de l'automate industriel SIEMENS. Ce pupitre est dimensionné de 10.4 pouces avec exécution à écran tactile et de ses 8 touches de fonction (Commutateurs à membrane). C'est la partie de la machine qui gère l'interaction entre l'homme et la machine [32]





Figure 1.16 : SIEMENS HMI KTP1000 6AV6647-0AF11-3AX0

### 1.7.3. Caractéristiques techniques du HMI (KTP1000 6AV66470AF11-3AX0)

Le tableau ci-dessous, résume les principales caractéristiques du HMI utilisé.

Série	KTP 1000
Type	LCD
Taille de	10,4
Résolution de	640 x
Couleur de	Coloré
Type de	Etherne
Type de	32 Bit RISC
Mémoire	1024 Ko
Tension	24 V DC
Température minimum de	0°C
Indice IP	IP20, IP65
Température d'utilisation	+40°C
Dimension	335 x 275 x 60

Tableau 1.2 : les principales caractéristiques du HMI utilisé

### 1.8. Commutation Ethernet :

Ethernet est un protocole de réseau local à commutation de paquets. C'est une norme internationale basée sur le principe de membres (pairs) sur le réseau, envoyant des messages dans ce qui était essentiellement un système radio, captif à l'intérieur d'un fil ou

d'un canal commun, parfois appelé l'éther.

Chaque pair est identifié par une clé globalement unique, appelée adresse MAC, pour s'assurer que tous les postes sur un réseau Ethernet aient des adresses distinctes [33]



Figure 1.17 : Prise Ethernet (aux milieux), câble (à gauche) câblage Ethernet

### 1.8.1. Stratégie de communication :

La CPU 1215C comprend pour sa part un commutateur Ethernet à 2 ports intégré. On peut avoir un réseau avec une CPU 1215C et deux autres CPU S7-1200. Nous pouvons également utiliser le commutateur Ethernet à 4 ports CSM1277, monté sur châssis, pour connecter plusieurs CPU et appareils IHM.

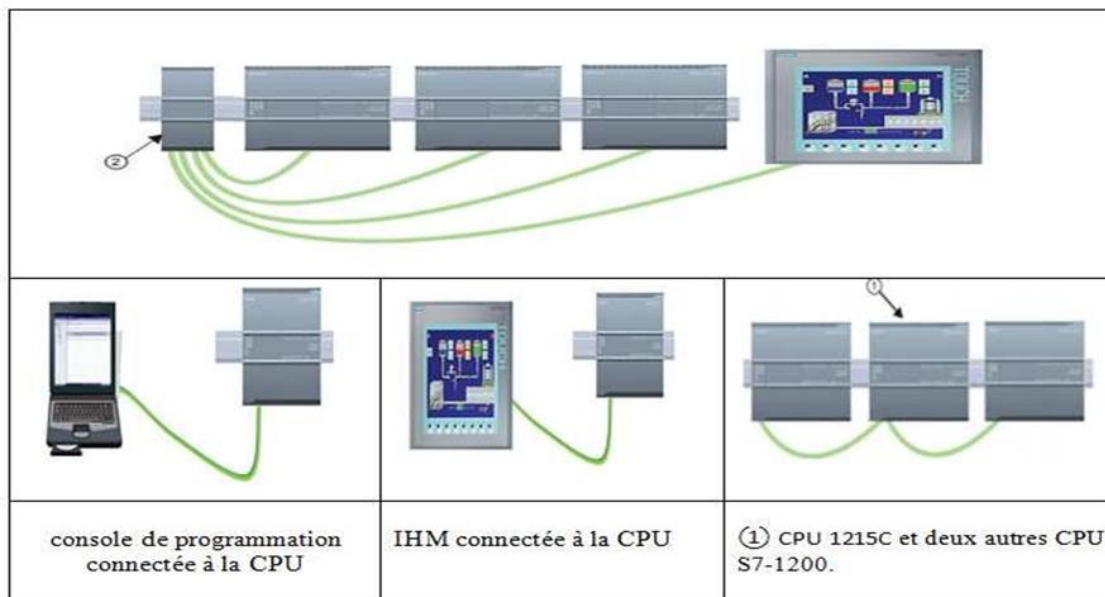


Figure 1.18 : Stratégie de communication

### 1.9. Langage de programmation :

Les langages de programme permettent la programmation des fonctions et mis en œuvre dans l'application.

Quatre langages programme sont proposés :

- Langage à contact (LD).
- Langage listes d'instructions (IL).
- Langage littéral structuré (ST).
- Langage Grafcet (G7).

### 1.9.1. Ladder (LD) :

Un programme Ladder est un langage destiné pour la programmation des automates programmables industriels, le plus couramment utilisé.

Initialement programmée avec des contacts simples qui simulaient l'ouverture et la fermeture des relais, la programmation Ladder Logic a été étendue pour inclure des fonctions telles que des compteurs, des temporisateurs, des registres à décalage et des opérations mathématiques.

Il ressemble à un schéma électrique (Figure 1.19), facile et compréhensive, il est présenté en forme logique. Il est composé de trois types d'éléments de langages :

- Les entrées : ou contacts qui permettent de lire la valeur ou la variable. Il existe deux types d'entrées : Normalement ouvert, Normalement fermé.
- Les sorties ou bobines qui permettent d'écrire la valeur.
- Les blocs fonctionnels qui permettent de réaliser des fonctions avancées.

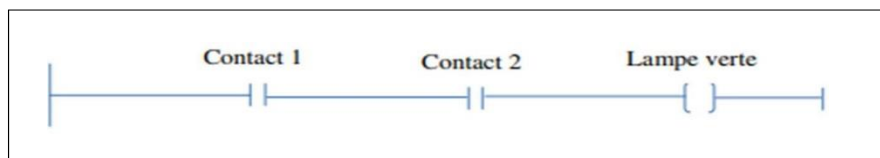


Figure 1.19 : Présentation d'un schéma CONT.

### 1.9.2. Langage liste d'instruction (IL) :

C'est un langage de bas niveau « de type assembleur » basé sur des langages de liste d'instructions similaires que l'on trouve dans une large gamme d'automates d'aujourd'hui.

LIST a été complété par quelques structures de langage évolué (paramètres de blocs et accès structurés aux données).

Désignation	Fonction
LD	Le résultat est égal à l'opérande (load= lire la valeur)
LDN	Le résultat est égal à l'inverse de l'opérande (contact ouverture)
AND	ET logique entre le résultat et précédent et l'état de l'opérande
ANDN	ET logique entre le résultat et précédent et l'état inverse de l'opérande

OR	OU logique entre le résultat et précédent et l'état de l'opérande
ORN	OU logique entre le résultat et précédent et l'état inverse de l'opérande
XOR, XORN	OU exclusif
<b>Instruction d'action</b>	
ST	L'opérande associé prend la valeur de la zone de test
STN	L'opérande associé prend la valeur inverse de la zone de test
S	L'opérande associé est mis à 1 lorsque le résultat de la zone de test est à 1
R	L'opérande associé est mis à 1 lorsque le résultat de la zone de test est à 1

**Tableau 1.3** : fonction et instructions d'action de langage IL.

### 1.9.3. Langage Grafcet :

L'éditeur Grafcet (graph fonctionnel de commande étapes-transitions) permet de représenter graphiquement et de façon structuré le fonctionnement d'un automatisme séquentiel.

Autrement dit, le Grafcet est donc un langage graphique représentant le fonctionnement d'un automatisme par un ensemble :

- D'étapes auxquelles sont associées des actions ;
- De transitions entre étapes auxquelles sont associées des conditions de transition (réceptivités) ;
- Des liaisons orientées entre les étapes et les transitions.

### 1.9.4. Langage littéral structuré (ST) :

Un langage textuel de haut niveau qui encourage la programmation structurée. Il a une structure de langage (syntaxe) qui ressemble fortement à PASCAL et prend en charge un large éventail de fonctions et d'opérateurs standard (opération logiques et numériques sous forme structurée).

Il dispose de fonctionnalités telles que :

- Les saisies et visualisation des opérandes sous forme de symboles et de repère.
- L'aide à la saisie des instructions de la bibliothèque.
- L'affichage en couleur des mots clefs du langage et des commentaires.
- 

### Conclusion

Dans ce chapitre on a étudié les différents actionneurs et capteurs les plus utilisés à l'industrie ainsi que les différents modes d'automatisation. L'automate programmable utilisé dans notre application est un SIEMENS S7- 1200. Ses caractéristiques techniques ainsi que son mode de fonctionnement ont été présentés dans ce chapitre.