



# Polycopie de cours

**Filière : Automatique**

**Niveau : Master1**

**Module : Programmation Avancée des API**

**Semestre 2**

**Préparé par : Dr. Mechgoug Raihane**

# **Sommaire**

## **Chapitre I : Généralités sur les systèmes automatisés de production**

- I.1. Notions de systèmes automatisés
- I.2. Généralités et Architecture matérielle et logicielle d'un système automatisé
- I.3. De la logique câblée à la logique programmée

## **Chapitre II : Les automates programmables industriels**

- II.1. Introduction
- II.2. Qu'est-ce qu'un automate programmable
- II.3. Les différents types d'automates
- II.4. Les éléments constitutifs des automates
- II.5. Les critères de choix d'un automate
- II.6. Les différents types de données API
- II.7. Cartes d'entrées / sorties TOR
- II.8. Cartes d'entrées / sorties analogiques
- II.9. Exemple de cartes

## **Chapitre III : La programmation des automates**

- III.1. Introduction à la logique combinatoire
- III.2. Les équations logiques et portes logiques
- III.3. Introduction au grafcet
- III.4. Le langage ladder
- II.5. Traduction d'un grafcet en ladder
- II.6 Les langages de programmation

## **Chapitre IV : Les systèmes de supervision Scada**

- IV.1. introduction
- IV.2\_Utilité et importance d'une supervision industrielle
- IV.3. Architecture du SCADA
- IV.4. Les logiciels de supervision industrielle

IV.5. Les critères de choix d'un logiciel de supervision

## **Chapitre V : Introduction aux réseaux de terrain pour automates**

V.1. Introduction : Rôle et intérêt des réseaux de communication

V.2. Généralités sur la normalisation.

V.3. Supports de transmission : paire torsadée, câble coaxial, fibre optique.

V.4. Normes de transmission : RS232, RS422/485...

V.5. Principes des réseaux

- ✓ MODBUS PLUS.
- ✓ PROFIBUS DP
- ✓ ASI

IV.6. Choix et Mise en œuvre des réseaux de communication

## **Bibliographie**

# Chapitre I

## Généralités sur les systèmes automatisés de production

### I.1 Notion de systèmes automatisés

Un système est dit automatisé lorsque le processus qui permet de passer d'une situation initial a une situation finale se fait sans intervention humaine, et que ce comportement est répétitif chaque fois que les conditions qui caractérisent la situation initiale sont remplies.

L'automatisation conduit à une très grande rapidité, une meilleure régularité des résultats et évite à l'homme des tâches pénibles et répétitives.

Ce chapitre sera consacré à la description à la présentation de système automatisé et la présentation Système de Remplissage.

### I.2 Généralités et Architectures sur les systèmes automatisés

#### I.2.1 Définition d'un système automatisé

Un système de production est dit automatisé lorsqu'il peut gérer de manière autonome un cycle de travail préétabli qui se décompose en séquences ou en étapes. Les buts d'un système automatisé sont de réaliser des tâches complexes ou dangereuses pour l'homme, effectuer des tâches pénibles ou répétitives ou encore gagner en efficacité et en précision.

#### I.2.2 Le but de l'automatisation

Les buts de l'automatisation sont :

- Éliminé les taches répétitives.
- Simplifier le travail de l'être humain.
- Augmenter la sécurité.
- Accroître la productivité.
- S'adapter à des contextes particuliers.
- Améliorer la qualité et la quantité.

### I.2.3. Structure d'un système automatisé

Un système automatisé est toujours composé d'une partie commande (PC), et d'une partie opérative (PO). Pour faire fonctionner ce système, l'opérateur (personne qui va faire fonctionner le système) va donner des consignes à la partie (PC), celle-ci va traduire ces consignes en ordres qui vont être exécutés par la (PO). Sur la Figure I.1, on peut voir le schéma de principe. Une fois les ordres accomplis, la PO va le signaler à la PC (compte-rendu) qui va à son tour le signaler à l'opérateur (poste de contrôle), ce dernier pourra donc dire que le travail a bien été réalisé.

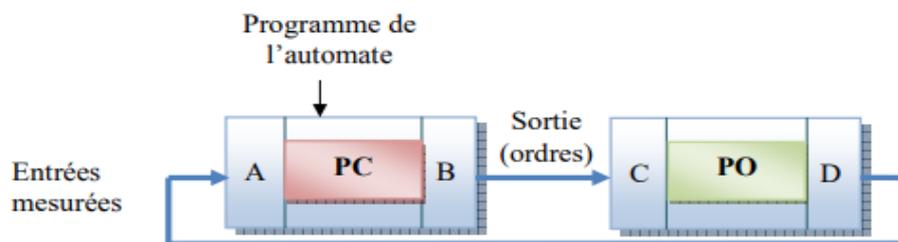


Figure I.2 : Structure du système automatisé

A : Interface d'entrée

B : Interface de sortie

C : Préactionneurs

D : Capteurs

Tout système automatisé peut se décomposer selon le schéma ci-dessous en trois parties : post de contrôle, partie de commande et partie opérative.

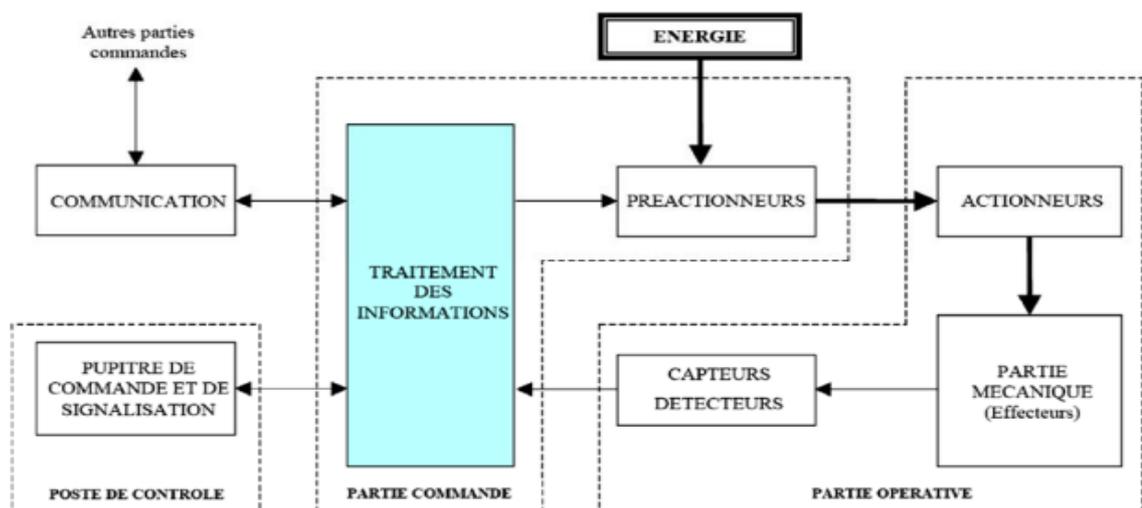


Figure I.2 : Les différentes parties d'un système automatisé

**I.2.3.1. Poste de contrôle :** Composé des pupitres de commande et de signalisation, il permet à l'opérateur de commander le système (marche ou arrêt) et de visualisé les différents états du système à l'aide de voyants. Les composants de poste de contrôle

- ✚ Capteurs-opérateurs : boutons poussoirs, interrupteurs, commutateurs...etc.
- ✚ Composants de signalisation : voyants lumineux, gyrophares, klaxon...etc.
- ✚ Composants de visualisation : écrans vidéo des terminaux et des moniteurs...etc.

Le dialogue **Opérateur – Machine** est assuré de la partie relation vers la partie opérative via la partie commande.

**I.2.3.2. Partie commande :** Cordonne la succession des actions sur la partie opérative avec la finalité d'obtenir cette valeur ajoutée. Elle est la responsable de décisions, elle peut être mécanique, électronique ou autre. Dans les systèmes industriels elle se compose de trois parties : un ordinateur, un logiciel et une interface.

**I.2.3.3 Partie opérative :** Agit sur le procédé industriel afin de lui donner sa valeur ajoutée. Elle est divisée en deux :

- ✚ Préactionneurs
- ✚ Actionneurs
- ✚ Capteurs

1. **Préactionneurs :** Ils sont des interfaces de puissance entre la partie commande et la partie opérative, ils permettent d'adapter la nature ou le niveau des énergies de commande et de puissance. Ils assurent la transformation d'un signal de commande (faible puissance) en un signal de puissance utilisable par les actionneurs. Ils se trouvent deux principaux types de Préactionneurs :

- **Les Préactionneurs pneumatiques (les Distributeurs) :** Ils ont comme fonction essentielle, distribution du fluide (sous pression ou sans pression) dans des canalisations qui aboutissent aux chambres des vérins.

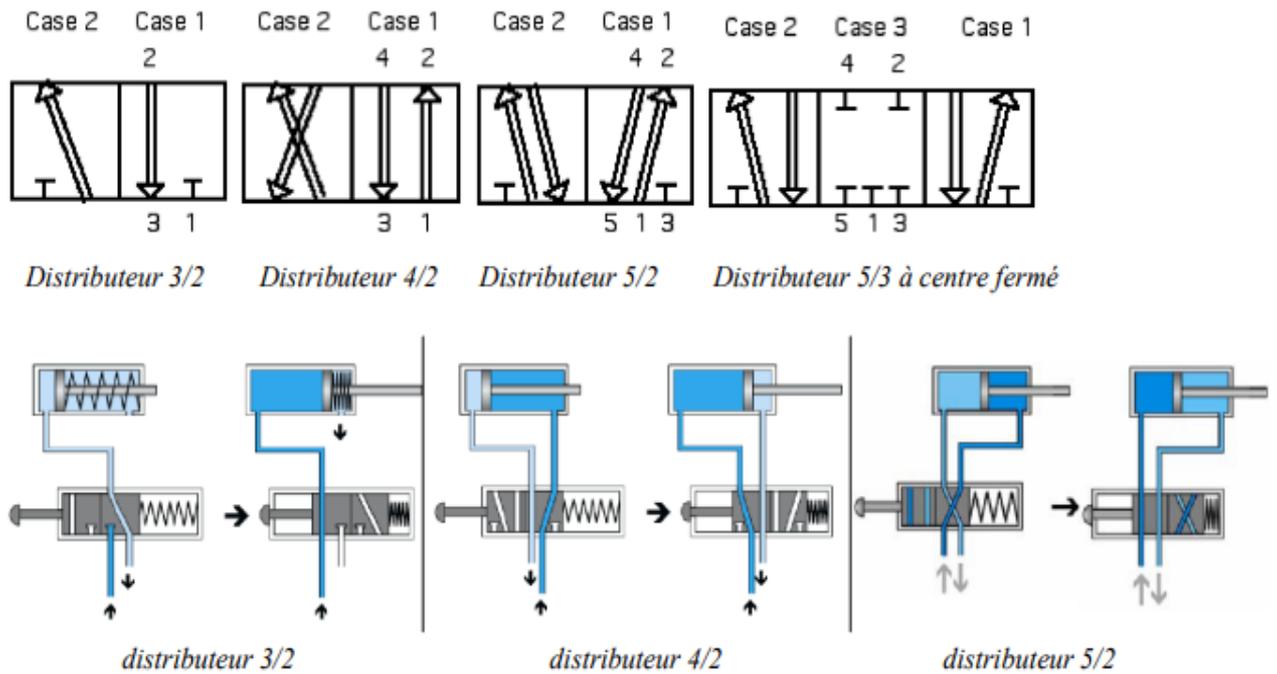


Figure I.3: ensemble des distributeurs.

- **Les pré-actionneurs électriques (Les Relais et Contacteurs)**

a. **Les relais** : sont des interrupteurs électromagnétiques permettent l'ouverture ou la fermeture des interrupteurs électriques par un signal de commande, ils comportent deux parties électriquement indépendantes, mais couplées mécaniquement. Ils permettent de commander un interrupteur qui est complètement isolé électriquement de la partie commande (souvent pour isoler la forte puissance passant dans l'interrupteur). Les relais sont commandés par une bobine qui produit un champ magnétique lorsqu'elle est traversée par un courant ; ils possèdent un contacte auxiliaire qui permet de maintenir l'état excité même si la cause de son excitation initiale disparaît, pour le désactiver il faut un autre signal.

b. **Le contacteur** : il a le même fonctionnement que le relais mais avec une grande échelle, il est composé de contacts distribuant l'énergie à l'actionneur et d'un électroaimant agissant sur ces contacts lorsqu'il est traversé par un courant électrique qui va créer un champ magnétique dans la bobine, qui pousse la barre de commande. Les contacts changent alors l'état ; Dès la disparition de l'ordre, les contacts reprennent leur état de repos.



Figure I.4: relais électrique de surveillance et contacteur triphasé

2. **Les actionneurs** : Qui convertit l'énergie reçue en énergie mécanique et permet d'assurer l'évolution du procédé dans les sens souhaité en agissant sur un composant du procédé. Ils sont regroupés en trois catégories en fonction de la nature de la source d'énergie d'entrée utilisée.
- **Les actionneurs électriques** : Ils utilisent directement l'énergie électrique distribuée sur les machines (moteur électrique, électrovanne de débit, résistance de chauffage...etc.), les pré-actionneurs associés à ces actionneurs électriques sont principalement les contacteurs et les variateurs de vitesse.
  - **Les actionneurs pneumatiques** : Ils utilisent directement l'air comprimé distribué sur les machines. Ils se présentent sous diverses formes (des vérins qui permettent de convertir l'énergie pneumatique en énergie mécanique) et ils sont utilisés pour de nombreux mouvements : transferts, serrages, marquages, maintiens, éjections...etc. Les pré-actionneurs associés à ces actionneurs sont les distributeurs.
  - **Les actionneurs hydrauliques** : Ils peuvent être des vérins ou moteurs et ils ne sont pas très 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, ...).

				
<b>Moteur</b>	<b>Lampe, DEL, gyrophare</b>	<b>Haut-parleur, sirène, buzzer</b>	<b>Résistance électrique</b>	<b>Vérin</b>
Produit un mouvement de rotation	Produisent de la lumière	Produisent un son	Produit de la chaleur	Produit un mouvement de translation

Figure I.5. Exemples d'actionneurs

3. **Les capteurs** : Prélève des informations sur l'état du système ou de son environnement et les codent afin de les rendre exploitables par le système de commande. Les capteurs sont souvent classés en fonction de :

✚ **Leur mode d'utilisation** : avec ou sans contact.

✚ **La nature de leurs informations de sortie** :

- Logique : l'information de sortie est binaire, elle ne prend que la valeur 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.

				
<b>LDR</b>	<b>Capteur fin course</b>	<b>Capteur température</b>	<b>Capteurs ILS</b>	<b>Bouton poussoir</b>
Détecte la lumière	Détecte un appui (porte par exemple)	Mesure la température	Détecte un champ magnétique	Détecte un appui

Figure I.6. Exemples de capteurs.

#### I.2.4. Les avantages et les inconvénients de l'automatisation :

#### **I.2.4.1. Les avantages :**

- La capacité de production accélérée.
- L'aptitude à convenir à tous les milieux de production.
- La souplesse d'utilisation.
- La création de postes d'automaticiens.

#### **I.2.4.2. Les inconvénients :**

- Le coût élevé du matériel, principalement avec les systèmes hydrauliques.
- La maintenance doit être structurée.
- La suppression d'emplois

#### **I.2.5. Domaines d'application des systèmes automatisés :**

Aujourd'hui, il serait difficile de concevoir un système de production sans avoir recours aux différentes technologies et composants qui forment les systèmes automatisés.

-  Automobile
-  Aviation d'une machine
-  Industrie
-  Médical
-  Transport

### **I.3. De la logique câblée à la logique programmée**

#### **I.3.1. La logique câblée**

L'automatisme est obtenu en reliant entre eux les différents constituants de base ou fonctions logiques par câblage. La logique câblée correspond à un traitement parallèle de l'information. Plusieurs constituants peuvent être sollicités simultanément. Elle est étudiée et réalisée une fois pour toutes sur un schéma donné : **Les fonctions sont réalisées par voie matérielle**. Elle exige un grand nombre de composants et rend les montages encombrants et chers. Enfin, elle n'offre guère de souplesse : la durée des études pour réaliser un montage donné (et donc pour le modifier le cas échéant) est longue.

### **I.3.2. Logique programmée**

Elle correspond à une démarche séquentielle, seule une opération élémentaire est exécutée à la fois, c'est un traitement série. Le schéma électrique est transcrit en une suite d'instruction qui constitue le programme. En cas de modification des équations avec les mêmes accessoires, l'installation ne comporte aucune modification de câblage seul le jeu d'instructions est modifié. Si un circuit est réalisé en logique programmée, il utilisera moins de composants puisque ceux-ci réalisent directement les fonctions logiques désirées. Un circuit ayant moins de composants sera habituellement moins coûteux à concevoir, réaliser et distribuer. La réduction du nombre de composants électroniques tend aussi à augmenter la fiabilité des circuits et à réduire la consommation énergétique.

### **I.3.3. Logique câblée v.s programmée**

#### **1. Logique câblée**

- **Inconvénients**

1. Volume du contrôleur proportionnel à la complexité du problème
2. Des modifications de la commande impliquent des modifications de câblage

- **Avantages**

1. Vitesse car fonctionnement simultané des opérateurs

#### **2. Logique programmée**

- **Avantages**

1. Banalisation du matériel : même matériel quel que soit la fonction logique à réaliser
2. Facilité de modification de la loi de contrôle : il suffit de modifier le programme. Simplification de la maintenance !

3. Faible liaison entre le volume matériel et la complexité du problème (effet simplement sur les entrées/sorties et taille mémoire)

▪ **Inconvénients**

1. Vitesse inversement proportionnelle à la complexité du problème.

# Chapitre II

## Automate Programmable industriel

### II.1. Introduction

Les Automates Programmables Industriels (API) sont apparus aux Etats-Unis vers la fin des années soixante, à la demande de l'industrie automobile américaine (General Motors) qui réclamait plus d'adaptabilité de leurs systèmes de commande.

Les ingénieurs américains ont résolu le problème en créant un nouveau type de produit nommée automates programmables. Ils n'étaient rentables que pour des installations d'une certaine complexité, mais la situation a très vite changée, ce qui a rendu les systèmes câblés obsolètes.

De nombreux modèles d'automates sont aujourd'hui disponibles ; depuis les nano automate bien adaptés aux machines et aux installations simples avec un petit nombre d'entrées/sorties, jusqu'aux automates multifonctions capables de gérer plusieurs milliers d'entrées/sorties et destinés au pilotage de processus complexes.

### II.2. Qu'est-ce qu'un automate programmable

L'API est une machine électronique adaptée à l'environnement industriel. Il envoie des ordres vers les actionneurs à partir des données d'entrée des capteurs (partie opérative) et d'un programme informatique (partie commande).

### II.3. Types d'automates programmables industriels

Les automates peuvent être de type *compact* ou *modulaire*.

- **Compact** : On distinguera les modules de programmation (LOGO de SIEMENS, ZELIO de SCHNEIDER, MILLENIUM de CROUZET ...) des micros automates. Il intègre le processeur, l'alimentation, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, il pourra réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, E/S analogiques ...) et recevoir des extensions en nombre limité. Ces automates, de fonctionnement simple, sont généralement destinés à la commande de petits automatismes.



Figure II.2. Automates compacts: LOGO de SIEMENS, ZELIO de SCHNEIDER et MILLENIUM de CROUZET

- **Modulaire**: Le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées / sorties résident dans des unités séparées (modules) et sont fixées sur un ou plusieurs racks contenant le "fond de panier" (bus plus connecteurs). Ces automates sont intégrés dans les automatismes complexes où puissance, capacité de traitement et flexibilité sont nécessaires.

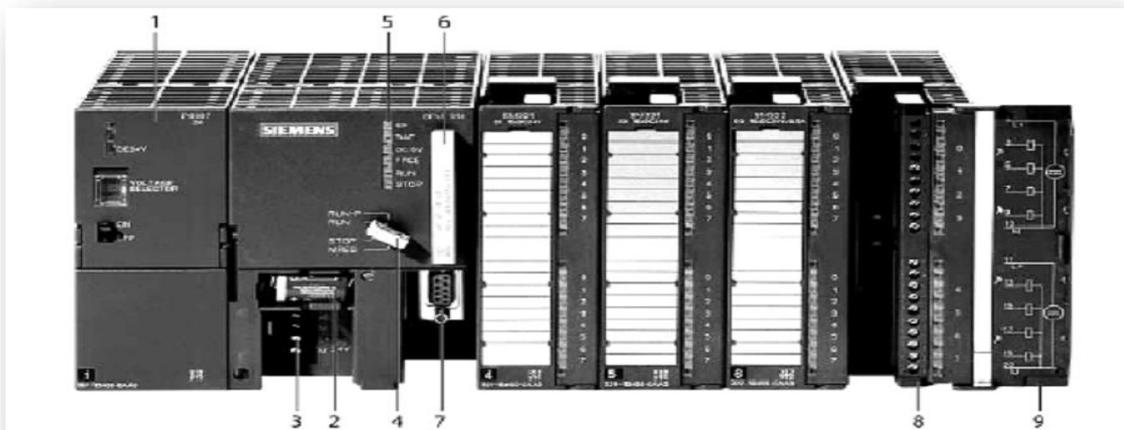


Figure II.3. Automate modulaire SIMATIC S7-300 de Siemens

## II.4. Les éléments constitutifs des automates

La structure interne d'un automate programmable industriel (API) est assez voisine de celle d'un système informatique simple.

- Les automates programmables comportent quatre parties principales :
- une mémoire;
- un processeur + des cartes d'E/S;
- des interfaces (ERS) ;
- une alimentation (220 V ---> 24 V).

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

Schéma d'une structure

Un API peut se structurer de la manière suivante.

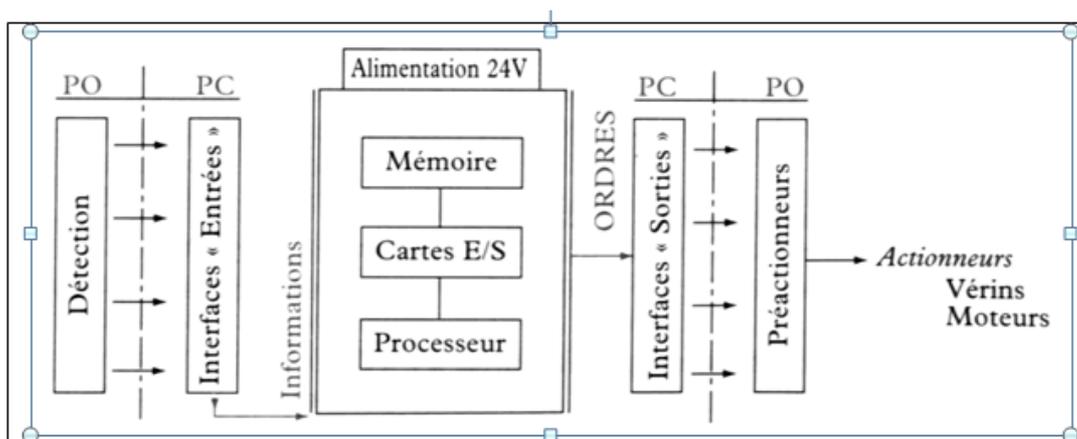


Figure II.4. Structure interne de l'Automate

1. **La mémoire** : Elle est conçue pour *recevoir, gérer, stocker des informations* issues des différents secteurs du système qui sont :

- ✓ le terminal de programmation : introduction du programme ;
- ✓ le processeur qui gère et exécute le programme.

Elle *reçoit également des informations en provenance des capteurs*. Il existe dans les automates plusieurs types de mémoires qui remplissent des fonctions différentes.

- ✓ Mémoire RAM : elle s'efface automatiquement à l'arrêt de l'automate (nécessite une batterie de sauvegarde).
  - ✓ Mémoire EEPROM : seule la lecture est possible.
  - ✓ Conservation du programme pendant l'exécution de celui-ci, mémoire EPROM
2. **Le processeur** : Son rôle consiste d'une part à organiser les différentes relations, entre la zone mémoire et les interfaces d'entrée et de sortie et d'autre part à gérer les instructions du programme.
  3. **Les interfaces** : L'interface d'entrée comporte des adresses d'entrée. Chaque capteur est relié à une de ces adresses. L'interface de sortie comporte de la même façon des adresses de sortie. Chaque préactionneur est relié à une de ces adresses. Le nombre de ces entrées et sorties varie suivant le type d'automate.
  4. **Une alimentation électrique** : Tous les automates actuels utilisent la tension 24 V
    - ✓ Une alimentation 240 VCA fournit un courant 24 VCC aux capteurs.
    - ✓ Les entrées sont également en 24 VCC  
Une mise à la terre *doit également être prévue.*
  5. **Les cartes d'E/S** : Chaque carte comporte généralement 8, 16, 32 entrées logiques et peut correspondre au schéma fonctionnel ci-dessous: L'API reçoit les informations du processus à partir des **capteurs liés** aux **entrées** de l'API. Le rôle de ces capteurs est de fournir des informations, par exemple, des capteurs qui reconnaissent si une pièce d'usinage se trouve à une position donnée ou de simples commutateurs ou boutons poussoirs, qui peuvent être ouverts ou fermés, appuyés ou relâchés.

## II.5. Critères de choix d'un automate

Le choix d'un automate programmable est généralement basé sur :

- ✓ 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 permettront le choix dans la gamme souvent très étendue.
- ✓ Fonctions ou modules spéciaux : certaines cartes (commande d'axe, pesage ...) permettront de "soulager" le processeur et devront offrir les caractéristiques souhaitées (résolution, ...).
- ✓ Fonctions de communication : l'automate doit pouvoir communiquer avec les autres systèmes de commande (API, supervision ...) et offrir des possibilités de communication avec des standards normalisés (Profibus ...).

## II.6. Les différents types de données API

Toute expression, constante ou variable, utilisée dans un programme doit être caractérisée par un type donnée, les types de donnée sont :

- ✓ Booléen : **BOOL** (Vraie ou Faux qui sont équivalent à 1 ou 0).
- ✓ Entier : **DINT** (c'est un nombre signé entre -2147483647 et +2147483647. Il est exprimé dans l'une des bases suivantes : décimale, hexadécimale, octale ou binaire).
- ✓ Réel : **REAL** (il prend 1 bit de signe +23 bits de mantisse +8 bits d'exposant compris entre -37 et +37).
- ✓ Temporisation : **TIME** (elle ne peut jamais être négative et commencer par **T#** ou **TIME#**).
- ✓ Chaîne : **STRING** (elle doit être précédée et suivie par une apostrophe, et ne doit jamais excéder 255 caractères). Le caractère spécial ('\$') est utilisée pour insérer des caractères non imprimables.

## II.7. Les cartes d'Entrées / Sorties

**II.7.1. Les interfaces d'Entrées / Sorties:** L'interface d'entrée comporte des adresses d'entrée. Chaque capteur est relié à une de ces adresses. L'interface de sortie comporte de la même façon des adresses de sortie. Chaque Préactionneurs est relié à une de ces adresses. Le nombre de ces entrées est sorties varie suivant le type d'automate. Les cartes d'E/S ont une modularité de 8, 16 ou 32 voies. Les tensions disponibles sont normalisées (24, 48, 110 ou 230V continu ou alternatif ...).

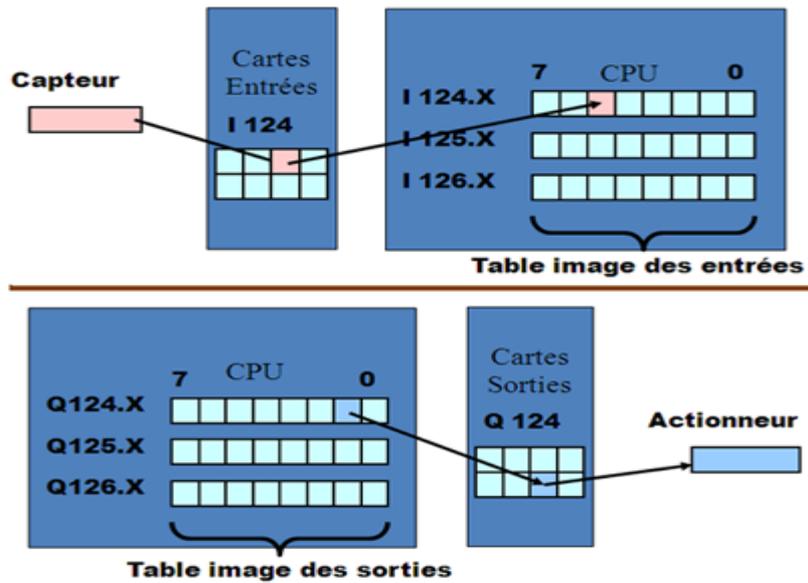


Figure II.. Les interfaces d'entrées/sortie

1. **Cartes d'entrées :** Elles sont destinées à recevoir l'information en provenance des capteurs et adapter le signal en le mettant en forme, en éliminant les parasites et en isolant électriquement l'unité de commande de la partie opérative.

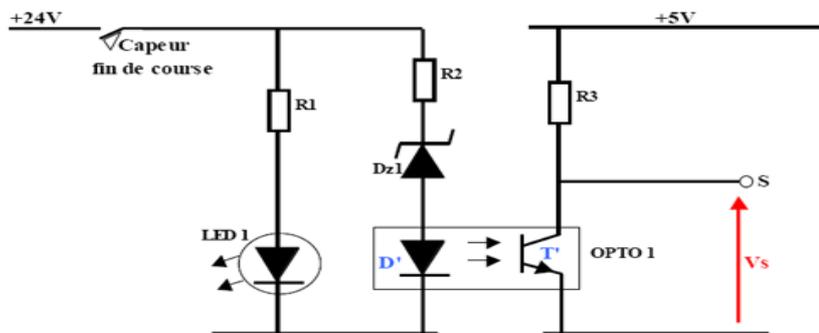


Figure 2. Exemple d'une carte d'entrées typique d'un API

2. **Cartes de sorties:** Elles sont destinées à commander les pré-actionneurs et éléments des signalisations du système et adapter les niveaux de tensions de l'unité de commande à celle de la partie opérative du système en garantissant une isolation galvanique entre ces dernières

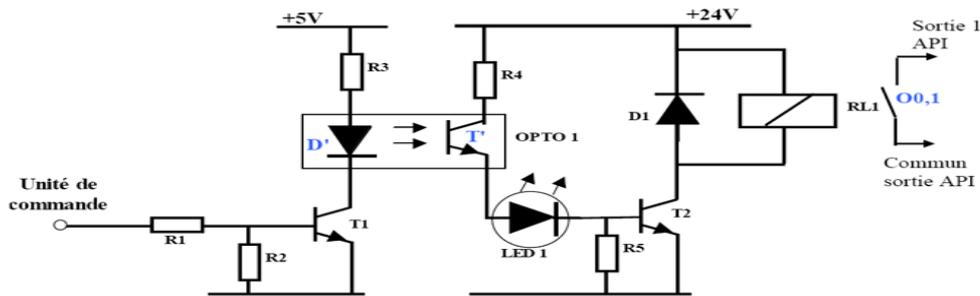


Figure 3. Exemple d'une carte de sortie typique d'un API

## II.8. Cartes d'entrées/sorties analogiques

Elles permettent de réaliser indispensable pour assurer un traitement par le microprocesseur. La fonction inverse (sortie analogique) est également réalisée. Les grandeurs analogiques sont normalisées : 0-10V ou 4-20mA.

Exemples de grandeurs analogiques:

- ✓ Température -50 ... +150°C.
- ✓ Débit 0 ... 200 l/min
- ✓ Vitesse 0 ... 1500 tr/min

En utilisant un transducteur de mesure, ces variables sont converties en tensions électriques, en courants ou en résistances.

La chaîne d'acquisition et de traitement répond périodiquement à la procédure suivante (toutes les 100ms par exemple) :

1. Acquisition de la mesure via la carte d'entrée analogique. Pour cela le CAN (convertisseur analogique numérique figure 8) fournit une valeur numérique codée sur 12 à 16 Bits.
2. Le programme de traitement (algorithme de calcul) détermine sous forme numérique la valeur à fournir en sortie, en tenant compte des différents paramètres :
  - ✓ La valeur de la mesure
  - ✓ La valeur de la consigne

- ✓ Le type d'algorithme (PID,....)
- 3. Emission par la carte de sortie analogique de commande pour cela le CNA (convertisseur numérique analogique figure 7) convertit la valeur numérique de sortie sous forme analogique (tension, courant ....).

### **II.9. Exemple de cartes**

- ✓ **Cartes de comptage rapide** : elles permettent d'acquérir des informations de fréquences élevées incompatibles avec le temps de traitement de l'automate.
- ✓ **Cartes de commande d'axe** : Elles permettent d'assurer le positionnement avec précision d'élément mécanique selon un ou plusieurs axes. La carte permet par exemple de piloter un servomoteur et de recevoir les informations
- ✓ l'acquisition d'un signal analogique et sa conversion numérique (CAN) de positionnement par un codeur. L'asservissement de position pouvant être réalisé en boucle fermée.
- ✓ **Cartes de régulation PID** : Cette carte comporte souvent plusieurs entrées analogiques permettant de recevoir le signal de mesure issu des transmetteurs 4-20mA, ainsi que plusieurs sorties analogiques permettant de piloter les vannes de régulation. Le microprocesseur local traite le programme élaboré à partir des différents algorithmes de régulation implantés sur la carte même (PID, Sommeation, Racine carrée,..)
- ✓ **Cartes de pesage**
- ✓ **Cartes de communication** (RS485, Ethernet ...)
- ✓ **Cartes d'entrées / sorties déportées**

# Chapitre III

## La programmation des Automates

### III.1. Introduction à la logique combinatoire

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

### III.2. Les équations logiques et portes logiques

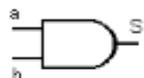
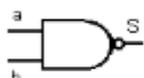
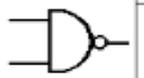
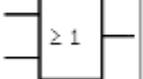
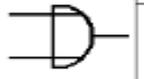
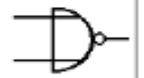
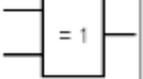
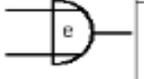
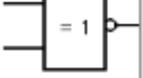
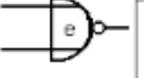
FONCTION	EQUATION	SYMBOLES			TABLES DE VERITE		
		International	Français	Allemand	a	b	S
NON	$S = \bar{a}$				a	S	
					0	1	
					1	0	
ET	$S = a \cdot b$				a	b	S
					0	0	0
					0	1	0
					1	0	0
					1	1	1
NAND	$S = \overline{a \cdot b}$				a	b	S
					0	0	1
					0	1	1
					1	0	1
					1	1	0
OU	$S = a + b$				a	b	S
					0	0	0
					0	1	1
					1	0	1
					1	1	1
NOR	$S = \overline{a + b}$				a	b	S
					0	0	1
					0	1	0
					1	0	0
					1	1	0
OU Exclusif	$S = a \oplus b$				a	b	S
					0	0	0
					0	1	1
					1	0	1
					1	1	0
NOR Exclusif	$S = \overline{a \oplus b}$				a	b	S
					0	0	1
					0	1	0
					1	0	0
					1	1	1

Figure III.1. Les équations logiques et portes logiques

### **III.3. Introduction au grafcet**

Un GRAFCET (GRAphe Fonctionnel de Commande Etape-Transition) est un mode de représentation et d'analyse d'un automatisme. C'est un outil graphique de description du comportement de la partie commande. Il décrit les interactions informationnelles à travers la frontière d'isolement : partie de commande, partie opérative d'un système isolé.

Ce mode de représentation est indépendant de la technologie utilisée dans l'automatisme, et traduit d'une façon cohérente le cahier de charge de l'automatisme.

GRAFCET est Inventé en 1977 en France par l' AFCET: Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique.

GRAFCET est Diffusé par l' ADEPA (Agence Nationale pour le développement de la Productique Appliquée à l'industrie Norme IEC 1131.3)

Le GRAFCET est aussi appelé DFS (Diagramme Fonctionnel en Séquence) ou en anglais, SFC (Sequential Function Chart).

#### **III.3.1. pourquoi de grafcet ?**

Lorsque certaines spécifications sont exprimées en langage courant, il y a un risque permanent d'incompréhension. Certains mots sont peu précis, mal définis ou possèdent plusieurs sens.

Le langage courant est mal adapté pour décrire précisément les systèmes séquentiels.

Le GRAFCET fut donc créé pour représenter de façon symbolique et graphique le fonctionnement d'un automatisme.

Cela permet une meilleure compréhension de l'automatisme par tous les intervenants.

Un GRAFCET est établi pour chaque machine lors de sa conception, puis utilisé tout au long de sa vie : réalisation, mise au point, maintenance, modifications, réglages.

Le langage GRAFCET doit donc être connu de toutes les personnes concernées par les automatismes, depuis leur conception jusqu' à leur exploitation.

#### **II.3.2. Les Normes de GRAFCET**

- ✓ 1982 : GRAFCET est normalisé en France parution de la norme NF C03-190.
- ✓ 1988 : GRAFCET est normalisé par la CEI/IEC 848.
- ✓ 1993 : Norme IEC 1131-3 permet de valider cinq langages de programmation d'API dont le SFC (inspiré du GRAFCET)

- ✓ 2002 : Norme IEC 60848 est largement modifiée, sa traduction française est publiée en septembre de la même année sous la référence NF EN 60848

### **II.3.3. Les avantages du GRAFCET**

- ✓ *il est* indépendant de la matérialisation technologique;
- ✓ il traduit de *façon cohérente* le cahier des charges;
- ✓ il est bien adapté aux systèmes automatisés.

### **III.4. Ladder**

C'est une représentation graphique d'équations booléennes sous une forme analogue à celle des schémas électriques. Le Ladder (une échelle en anglais) est basé sur le principe d'une alimentation en tension représentée par deux traits verticaux (barres d'alimentation) reliés horizontalement par des échelons qui contiennent :

- des contacts qui permettent de lire la valeur d'une variable booléenne,
- des bobines qui permettent d'écrire la valeur d'une variable booléenne,
- des blocs fonctionnels qui permettent de réaliser des opérations plus complexes que la lecture ou l'écriture de variables.

Le langage à relais (Ladder Diagram) est basé sur un symbolisme très proche de celui utilisé pour les schémas de câblage classiques. Les symboles les plus utilisés sont donnés au tableau suivant :

Fonction	Symbole	
	Européen	Américain
Contact ouvert au repos	---o o---	
Contact fermé au repos	---o̅ o̅---	
Début de branchement		
Fin de branchement		
Affectation	---( )---	---( )

Figure III.2: Symboles usuels en langages LD

### **III.5. Traduction d'un grafcet en ladder**

Soit la partie de grafcet représentée par la figure ci-contre. Pour décrire l'activité de l'étape n, nous utiliserons la notation suivante:

- $X_n = 1$  si l'étape n est active
- $X_n = 0$  si l'étape n est inactive,

La réceptivité  $t_n$ , étant une variable binaire, a pour valeur :

- $t_n = 0$  si la réceptivité est fausse,
- $t_n = 1$  si la réceptivité est vrai.

### III.5.1. mise en équation d'une étape

- 2<sup>ème</sup> règle :

Une transition est soit validée, soit non validée. Elle est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont actives. Elle ne peut être franchie que :

- lorsqu'elle est validée,
- ET que la réceptivité associée à la transition est VRAIE

La traduction de cette règle donne la Condition d'Activation de l'étape n :

$$CAX_n = X_{n-1} \cdot t_{n-1}$$

3<sup>ème</sup> règle :

Le franchissement d'une transition entraîne l'activation de toutes étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.

La traduction de cette règle donne la Condition de Désactivation de l'étape n :

$$CDX_n = X_n \cdot t_n = X_{n+1}$$

Si la CA et la CD de l'étape n sont faux, l'étape n reste dans son état. C'est ce qu'on appelle l'effet mémoire (cf. chapitre logique séquentielle) . C'est à dire que l'état de  $X_n$  à l'instant  $t+\Delta t$  dépend de l'état précédent de  $X_n$  à l'instant t

D'après ces trois points précédents, on peut donc écrire :

$$X_n = CAX_n + \overline{CDX_n} \cdot X_n \quad \text{ou}$$

$$X_n = X_{n-1} \cdot t_{n-1} + X_{n+1} \cdot \overline{X_n}$$

### Choix de séquence

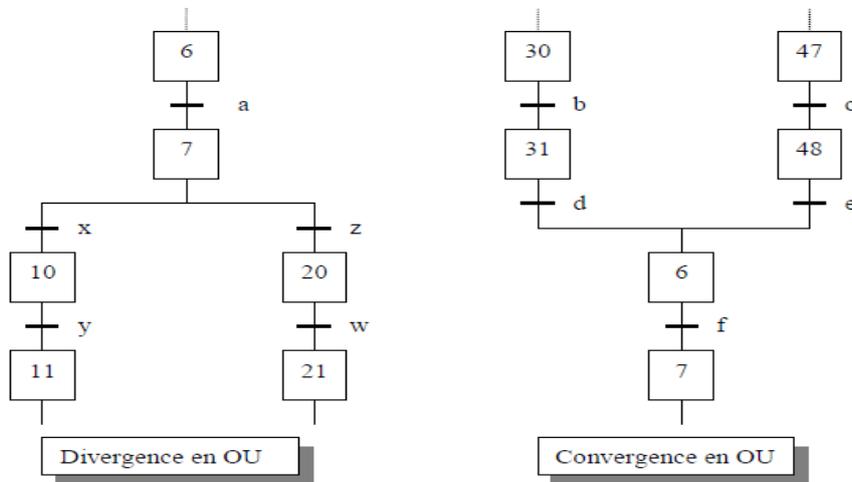


Figure III.3. Séquence OU

Etape	CAXn	CDXn
7	$X6 \cdot a$	$X10 + X20$
10	$X7 \cdot x$	$X11$
20	$X7 \cdot z$	$X21$

Etape	CAXn	CDXn
31	$X30 \cdot b$	$X6$
48	$X47 \cdot c$	
6	$X31 \cdot d + X48 \cdot e$	$X7$

### Séquences parallèles

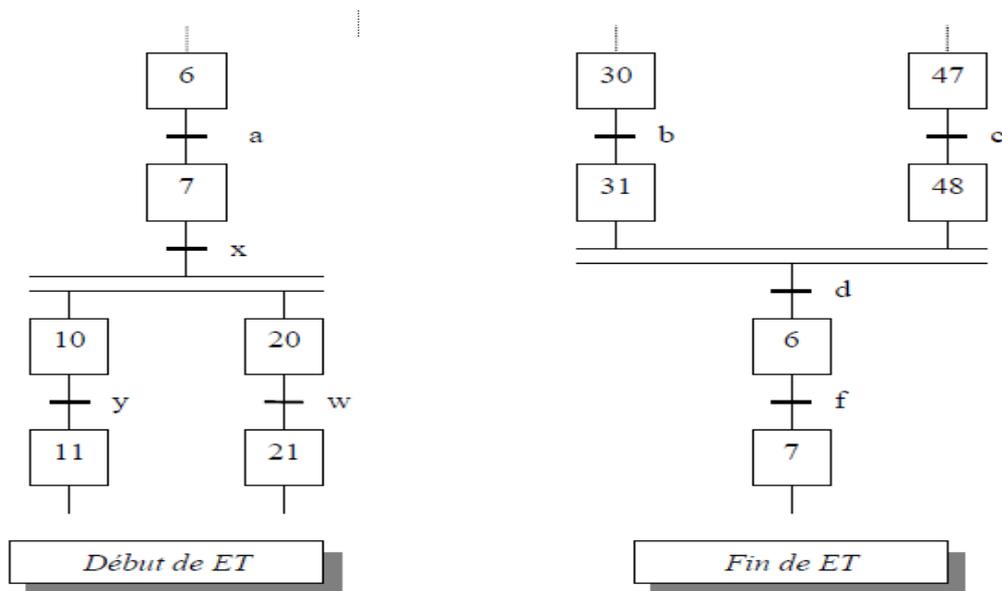


Figure III.4. Séquence ET

Etape	CAXn	CDXn
7	X6 . a	X10 . X20
10	X7 . x	X11
20		X21

Etape	CAXn	CDXn
31	X30 . b	X6
48	X47 . c	
6	X31 . X48 . d	X7

### Gestion des modes Marche /Arrêt et des arrêts d'urgences

A l'initialisation du GRAFCET, toutes les étapes autres que les étapes initiales sont désactivées.

Seules sont activées les étapes initiales.

Soit la variable Init telle que :

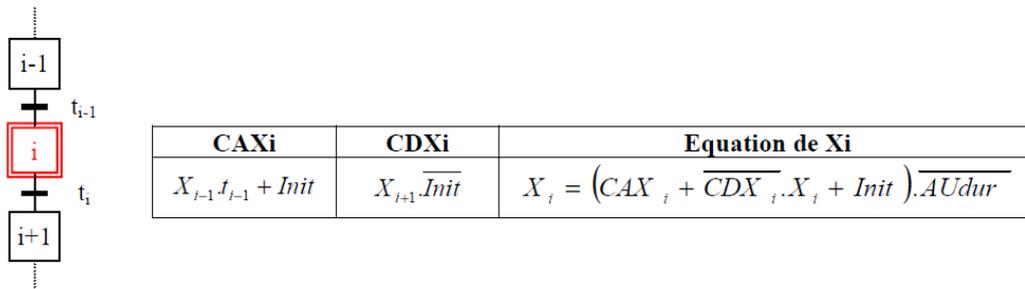
- Init = 1 : initialisation du GRAFCET : Mode ARRÊT
- Init = 0 : déroulement du cycle: Mode MARCHÉ

Soient les variables Arrêt d'Urgence (AUdur et AUdoux) telles que :

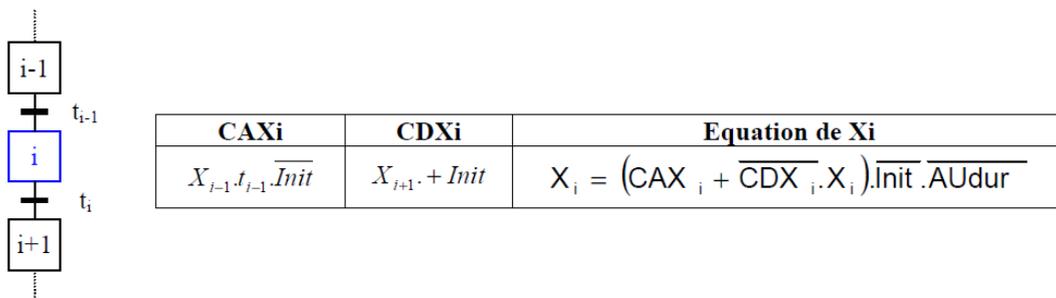
- AUDur = 1 : Désactivation de toutes les étapes,
- AUDoux = 1 : Désactivation des actions, les étapes restant actives.

### Généralisation :

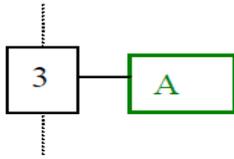
Equation d'une étape i initiale :



- Equation d'une étape i non initiale :

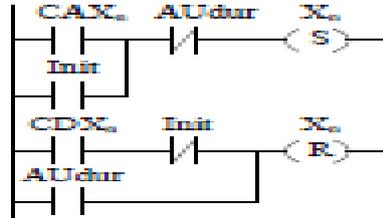


- Equation **des actions**

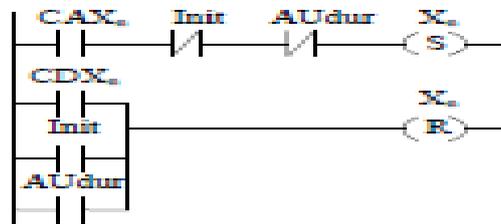


$$A = X3.\overline{AUdoux}$$

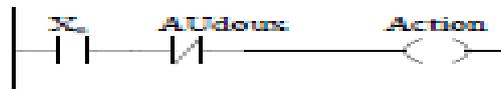
- **Etape initiale :**



- **Etape NON initiale :**



- **Action associée à l'étape :**



## II. .6. Langage Programmation des APIs

La programmation des automates programmables industriels s'effectue à l'aide de cinq langages sont :

- ✓ **LD** (« Ladder Diagram », ou schéma à relais): Ce langage graphique est essentiellement dédié à la programmation d'équations booléennes (vraie/faux).
- ✓ **IL** (« Instruction List », ou liste d'instructions): ce langage textuel de bas niveau est un langage à une instruction par ligne. Il peut être comparé au langage assembleur.
- ✓ **FBD** (« Function Block Diagram », ou schéma par blocs): ce langage permet de programmer graphiquement à l'aide de blocs, représentant des variables, des opérateurs ou des fonctions. Il permet de manipuler tous les types de variables.
- ✓ **SFC** (« Sequential Function Char »): issu du langage GRAFCET, ce langage, de haut niveau, permet la programmation aisée de tous les procédés séquentiels.
- ✓ **ST** («Structured Text » ou texte structuré): ce langage est un langage textuel de haut niveau. Il permet la programmation de tout type d'algorithme plus ou moins complexe

# Chapitre IV

## Les systèmes de supervision SCADA

### **IV.1 Introduction**

Un logiciel SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) est un logiciel permettant de faire l'acquisition de données en provenance d'un SAP dans le but de le superviser ou réaliser une télésurveillance.

On peut dire aussi qu'Un système SCADA désigne une catégorie de logiciels destinés au contrôle de processus et à la collecte de données en temps réel auprès de sites distants, en vue de contrôler des équipements et des conditions d'exploitation.

Pour réaliser un système SCADA il est donc nécessaire d'avoir au minimum un ou plusieurs automates, un réseau pour les interconnecter, un logiciel d'acquisition des données, une base de donnée pour archiver les données et une IHM pour piloter et surveiller le SAP.

### **IV.2. Utilité et importance d'une supervision industrielle**

Les systèmes SCADA sont conçus pour collecter des informations de terrain telles que les sorties des capteurs, l'état des différents actionneurs pour les transférer vers l'ordinateur central via des systèmes de communication sans fil.

Du côté de la surveillance, les informations reçues sont affichées sous forme graphique ou textuelle à l'opérateur, ce qui lui permet de surveiller, d'analyser et de contrôler un système entier à partir d'un emplacement de contrôle central.

Le système SCADA ne peut pas remplacer complètement à l'homme : le pilotage et la prise de décision restent dévolus à l'opérateur. C'est pourquoi les logiciels SCADA sont fortement dédiés à la surveillance et aux alarmes. Imaginons par exemple un API pilotant l'écoulement de l'eau de refroidissement d'un processus industriel. Le système SCADA :

permet à un opérateur

- de modifier la consigne d'écoulement (litres par seconde) ;
- enregistre et affiche l'évolution des mesures ;
- détecte et affiche des conditions d'alarme (perte d'écoulement, etc.).

## Où trouve SCADA dans les systèmes

- Le pilotage de grandes installations industrielles automatisées:
  - métallurgie (laminoir ) production pétrolière (distillation),
  - production et stockage agroalimentaire (lait, céréales...)
  - production manufacturière (automobile, .....)
- Le pilotage d'installations réparties:
  - alimentation en eau potable,
  - traitement des eaux usées,
  - gestion des flux hydrauliques (canaux, rivières, barrages...)
  - gestion de tunnels (ventilation, sécurité)
- La gestion technique de bâtiments et gestion technique centralisée (GTC):
  - gestion des moyens de chauffage et d'éclairage (économies d'énergie)
  - gestion des alarmes incendies
  - contrôle d'accès, gestion des alarmes intrusion

### IV.3. Architecture du SCADA

Le système SCADA combine des composants matériels et logiciels. Le matériel SCADA comprend un MTU (unité de terminal maître) placé dans un emplacement central, des équipements de communication tels qu'une ligne téléphonique, une radio, un câble ou un satellite, ainsi qu'un ou plusieurs RTU (unités de terminal distants) ou automates placés à un champ géographiquement réparti.

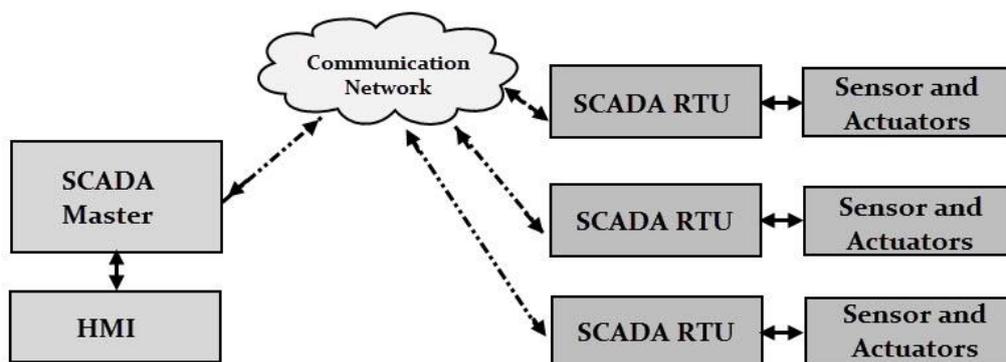


Figure IV.1. Les composantes de SCADA

Principalement un système SCADA se compose de :

### **1.MTU (Master Terminal Unit) :**

C'est le cœur du système SCADA, qui peut être un ordinateur ou un automate programmable (PLC). IL recueille les données provenant des RTU, il collecte les données, les stocke dans une base de données, il, les rendre accessibles aux opérateurs via l'HMI et transmet les commandes nécessaires des opérateurs vers l'instrumentation du terrain. En général l'MTU sert à configurer et programmer les RTU, diagnostiquer la communication et les stations RTU.

**2.RTU (Remote Terminal Unit) :** C'est une entité d'acquisition de données et de commande généralement à base de microprocesseur (actuellement on utilise des automates programmables). Il sert à contrôler et superviser localement l'instrumentation d'un site éloigné et transférer les données requises vers la salle de contrôle principal ou parfois à d'autres RTU. Il se compose de contrôleur, des cartes d'entrées.

Chaque RTU est connectée à divers capteurs et actionneurs qui gèrent les équipements de processus ou de terrain locaux. Il collecte les informations provenant de divers capteurs et les envoie au MTU. En outre, il reçoit les commandes de contrôle du MTU et contrôle en conséquence les différents actionneurs.

**3. Système de communication :** moyen de communication entre MTU et les différents RTU, la communication peut être par le biais de l'Internet, réseaux sans fil ou câblé, ou le réseau téléphonique public....etc.

Différentes architectures de communication pour un système SCADA sont disponibles, la plus simple est la communication point à point où la communication est établie entre deux noeuds du réseau (l'un maître et l'autre esclave). La deuxième architecture est la communication multipoint qui consiste en un maître et plusieurs esclaves.

La communication peut être classifiée selon deux approches, la première qui se base sur l'approche d'interrogation et la deuxième est l'approche paire à paire (peer to peer). ,

#### **1/ Approche interrogation (Maitre-esclave) :**

Cette approche peut être utilisée pour des systèmes de communication configurés en mode point à point ou multipoint, le maître contrôle totalement le système de communication puisqu'il gère périodiquement les demandes de transfert des données des différents esclaves.

Ces derniers ne peuvent pas prendre l'initiative mais répondent seulement à la demande du maître.

#### **2/ Approche paire à paire (peer to peer) :**

Cette approche est appliquée pour la communication entre RTU et un autre RTU, elle repose sur l'aptitude de chaque nœud du réseau de communiquer avec un autre nœud directement seulement qu'il doit avoir un contrôle d'accès et collision du réseau. Autrement dit il faut écouter tout d'abord avant d'entamer la communication.

#### **IV.4. Logiciels de supervision industrielle**

Logiciel	Constructeur
WinCC	Siemens
RS View	Rockwell Software
Cimplicity	GE Fanuc
Unity -PRO	Schnieder

Tableau IV. 1. Logiciels SCADA

#### **IV.5. Les critères de choix d'un logiciel de supervision**

Deux Types de Critères :

##### 1. Compatibilité Opérationnelle

- Intégration du Système Hard au sein d'une installation
- Caractéristiques du hard

##### 2. Compatibilité Fonctionnelle

- Possibilités des fonctions des systèmes à répondre aux besoins
- Caractéristiques du soft

# Chapitre V.

## Introduction aux Réseaux de Terrain pour Automates

### V. 1. Introduction

Un bus de terrain est un système de communication numérique dédiée qui respecte le modèle d'interconnexion des systèmes ouverts (OSI) de l'Organisation de Standardisation Internationale (ISO 7498 – 1983). Un bus de terrain est basé sur la restriction du modèle OSI à 3 couches :

- Couche Application
- Couche Liaison
- Couche Physique

C'est un réseau **bidirectionnel, sériel, multi branche** (multi drop), reliant différents types d'équipements : E/S déportées, Capteur / Actionneur, Automate programmable (API), CNC, Calculateur, PC Industriel, ...

### V.2. Généralités sur la normalisation.

On distingue actuellement deux types de réseaux de terrains :

1. Standards de fait : Interbus-S, ASI, Lonworks (capteur/actionneur)
2. Standards internationaux :

✚ WorldFIP (France, Italie) (NFC 46-600): Honeywell, Cegelec, Telemecanique, EDF

✚ PROFIBUS (PROcess Field BUS, Allemagne) (DIN 19245) intègre à l'ISP (Interoperable System Project, USA) : Siemens, Fisher Controls (USA) ...

### V.3 Supports de transmission

Les câbles réseaux sont de loin la technologie la plus répandue dans nos foyers. Vous le savez peut-être, mais il existe grosso-modo deux types de câbles réseaux : les câbles basés sur des fils de cuivre, et la fibre optique. Peut-être savez-vous même que la fibre optique est bien plus rapide que la paire cuivre. Dans ce qui va suivre, nous allons voir aussi bien la paire cuivre, plus répandue dans nos foyers, que la fibre optique. Gardez à l'esprit que la fibre optique est certes plus puissante, mais aussi plus chère. C'est pour cela que les câbles réseaux qui relient votre ordinateur à votre box internet sont encore des câbles réseaux standards, en cuivre. Il faut savoir que ces câbles sont utilisés aussi bien pour construire des LAN que des réseaux plus importants. Par exemple, ce sont ces câbles qui relient

vosre box Internet à...Internet. Votre prise électrique est en effet reliée au réseau de votre opérateur par toute une série d'intermédiaires : les DSLAM, les BRAS, etc. Le fil qui relie votre box à ces intermédiaires était autrefois un fil téléphonique en cuivre, aux performances assez mauvaises. De nos jours, de plus en plus de clients passent à la fibre optique, ce qui signifie que le câble téléphonique qui relie votre habitation au DSLAM est en fibre optique, aux performances bien meilleures.

**V.3.1. Le câble à fibre optique :** Est un type de câble Ethernet composé d'une ou de plusieurs fibres optiques utilisés pour la transmission de données. Le câble à fibre optique transmet des données sous forme d'impulsions de lumière qui passent à travers de minuscules tubes de verre. Le câble à fibre optique peut être divisé en

1. La fibre optique monomode : a un petit noyau et ne permet qu'un seul mode de lumière de se propager à la fois.
2. La fibre optique multimode : a un noyau plus grand et est conçu pour transporter plusieurs rayons lumineux ou modes en même temps.

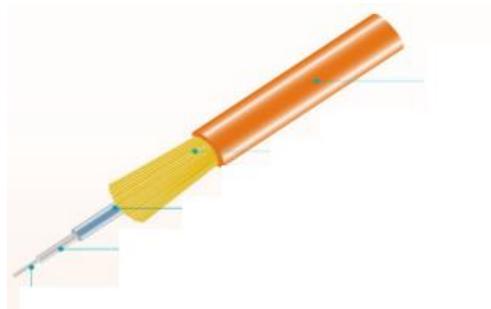


Figure V.1. Fibre optique

**IV.3.2. le câble à paire torsadée :** Le câble à paire torsadée est souvent utilisé pour les communications de téléphone et la plupart des réseaux Ethernet modernes. C'est une sorte de câblage dans lequel deux conducteurs d'un même circuit sont torsadés ensemble. Une paire de fils forme un circuit capable de transmettre des données. Et les paires sont torsadées ensemble pour fournir une protection contre la diaphonie, le bruit généré par les paires adjacentes. Il existe deux types de câble à paire torsadée.

1. à paire torsadée non blindée (UTP)
2. à paire torsadée blindée (STP).

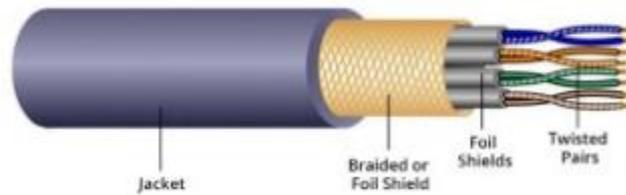


Figure V.2. Câble à paire torsadée

**IV.3.3. Le câble coaxial :** Le câble coaxial est conçu pour transmettre des signaux de haute fréquence. Il est composé d'un conducteur rond en cuivre et de trois couches d'isolation et de blindage empêchant l'interférence des moteurs, des éclairages et d'autres sources d'EMI. Avec la construction de blindage, le câble coaxial peut supporter les longueurs de câble plus longues entre deux dispositifs. Il existe un certain nombre de différents types de câbles coaxiaux, mais seulement les deux types-RG59 et RG6-sont les plus utilisés dans les applications résidentielles.

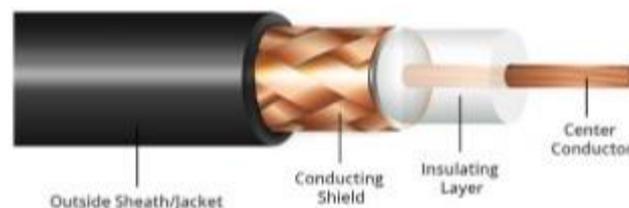


Figure V.3. Câble coaxial

#### **V.4. Normes de transmission : RS232, RS422/485**

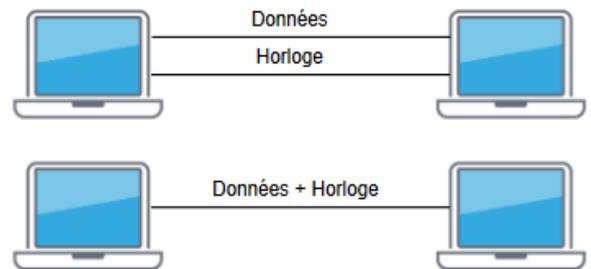
Dans cette partie on va présenté la **différence entre les liaisons série RS232,RS422 et RS485 pour cella** commençant par donnez quelque définition

- ✚ **Transmission Série :** La transmission série domine dès que les composants ou périphériques à relier sont à «quelque distance». L'ensemble des télécommunications s'établit sur des liaisons « série».

✚ **Circuit UART et USART :** La transmission série est assurée par un circuit électronique qui permet d'émettre en série (sérialiser) les octets à transmettre. Cela signifie que les bits constituant l'octet sont transmis les uns après les autres. On distingue :

- ✓ **UART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)** est le composant utilisé pour réaliser une transmission asynchrone.
- ✓ **USART(Universal Synchronous & Asynchronous Receiver Transmitter)** est un circuit électronique permettant de communiquer de manière synchrone

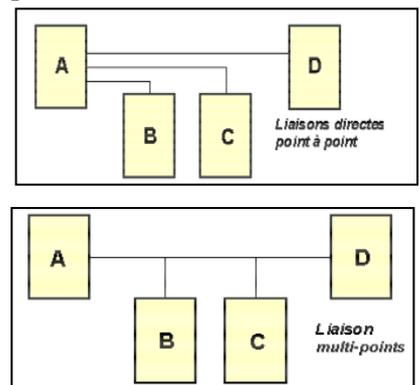
✚ **Transmission Synchrone :** La transmission synchrone doit assurer la transmission des données ainsi que l'horloge de synchronisation nécessaire à leur décodage.



✚ **Transmission asynchrone :** Dans une transmission asynchrone, seules les données sont transmises au récepteur. Chaque équipement utilise son horloge pour traiter les bits transmis.

✚ **Liaisons multipoints et point a point**

- ✓ **Point à point :** Liaison la plus simple. Elle relie directement 2 ordinateurs.
- ✓ **Multipoints :** chaque équipement est relié aux autres. Nécessite le respect absolu d'un protocole de communication.



✚ **Liaisons tensions : modes asymétrique & symétrique (différentiel)**

- ✓ **Mode asymétrique (unipolaire):** les états logiques sont transmis sur la ligne par 2 niveaux de tension, l'un positif, l'autre négatif.
- ✓ **Mode symétrique (différentiel) :** Il s'agit d'un ampli-différentiel. Il n'est concerné que par la différence de tension (insensible aux bruits) → grande distance (1200 mètres) , vitesses élevées (10 Mbit/s)

### V.4.1. Liaison RS232

L'évolution temporelle des signaux RS232 est conforme aux signaux de liaison asynchrone décrits précédemment. La spécificité de RS232 tient dans l'adaptation en tension des signaux afin d'être

transmis sur une distance supérieure (15m). Sur une liaison *bidirectionnelle minimale* sans contrôle de flux, il faudra 3 conducteurs :

<b>Tx</b>	Transmit	conducteur d'émission des données
<b>Rx</b>	Receive	conducteur de réception des données
<b>Gnd</b>	Ground	conducteur de masse du signal

#### **IV.4.2. Liaisons RS422, RS485**

L'évolution temporelle des signaux RS422 et RS485 est identique aux signaux RS232 et liaison asynchrone décrits précédemment. La spécificité de RS422/485 tient dans l'adaptation en *tension Différentielle* des signaux afin d'être transmis sur une distance supérieure (1200 m).

<b>Spécifications</b>	<b>RS 232</b>	<b>RS 422</b>	<b>RS 485</b>
Type de communication	Unipolaire	Différentiel	Différentiel
Connexions électriques minimales	3 fils Tx, Rx et masse	5 fils Paire Tx, Paire Rx et masse	3 fils Paire Tx/Rx, et masse
Nombre de transmetteurs et récepteurs alloués par la ligne	1 transmetteur 1 récepteur	1 transmetteur 31 récepteurs	32 transmetteurs 32 récepteurs
Longueur maximum de câble	16,5 m	1320 m	1320 m
Débit maximum	64 Kbits/s	10 Mbits/s	10 Mbits/s

Tableau IV.1 la différence entre les liaisons RS232, RS422, RS485

#### **IV.5. Principes des réseaux**

Connaitre les fondamentaux de ces deux protocoles de communication est essentiel lorsque que vous aurez à mettre en œuvre des réseaux d'échanges entre automates programmables, capteurs/actionneurs et interfaces homme-machine.

##### **IV.5.1. le modbus TCP/IP (Supervision et MTU)**

Tout comme le modbus RTU ou ASCII, le modbus TCP/IP est une variante du protocole modbus. Basiquement, le modbus TCP/IP est un protocole de communication qui permet à deux ou plusieurs équipements de communiquer entre eux via un réseau Ethernet. Sur un réseau modbus TCP/IP, un équipement peut être une automate programmable, une interface homme-machine, un régulateur etc..

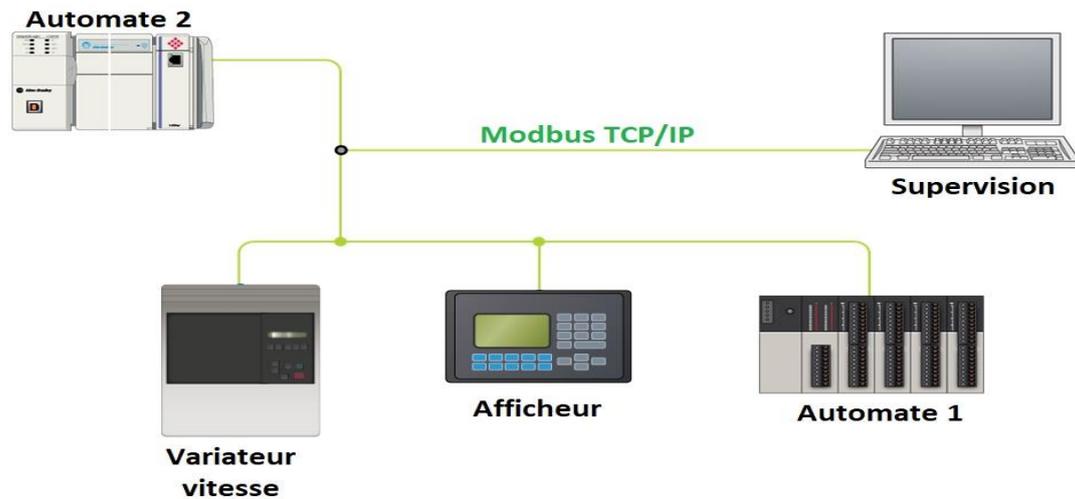


Figure V.4. Modbus TCP/IP

Une des particularités du protocole modbus TCP/IP est que les données transitant sur le réseau sont véhiculées via le **protocole TCP/IP**. Dans le cas d'un réseau modbus TCP/IP, à la place d'un maître modbus, on aura un client et à la place d'un esclave, on aura un serveur.

Le modbus TCP/IP est l'un des protocoles **Ethernet industriel** les plus utilisés. C'est un protocole flexible et très facile à mettre en œuvre. Il fonctionne suivant une architecture client/serveur.

**Principe de fonctionnement** : Le client par l'intermédiaire d'une trame requête, va demander des informations au serveur et le serveur va envoyer à son tour une trame de réponse pour lui donner les informations demandées.

Sur un réseau modbus TCP/IP les différents équipements sont identifiés de manière unique par une **adresse IP**. Cette adresse IP est une suite de 4 nombres séparés par un point. Exemple d'adresse IP : **192 . 168 . 0 . 1** . Ces mêmes équipements peuvent être liés physiquement par un câble Ethernet doté d'une prise **RJ45**.

#### IV.5.2. le protocole Modbus ( MTU et RTU)

Le protocole Modbus fait partie des protocoles de communication industriels les plus anciens. C'est un protocole de communication initié par Modicon (aujourd'hui devenue Schneider Electric) en 1979. Devenu aujourd'hui un protocole ouvert, il est compatible avec de nombreux automates programmables industrielles

Le protocole Modbus est disponible sous 3 variantes :

- ✚ Modbus ASCII : utilise les caractères ASCII pour le codage des données
- ✚ Modbus RTU : utilise le format binaire pour le codage des données
- ✚ Modbus TCP/IP : communication via TCP/IP

1. **Le modbus via RS-232** : En protocole Modbus que ce soit l'ASCII ou le RTU, on utilise les standards de transmission suivant : le RS-232, le RS-422 et RS-485. Le RS-232 permet d'effectuer de la communication point à point, c'est à dire entre deux équipements uniques. L'échange se fait via le mode de communication maître/esclave.

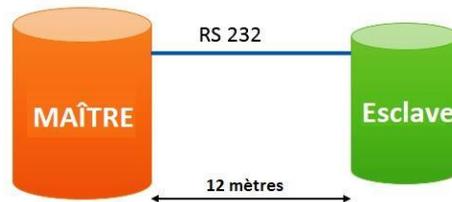


Figure V.5. Modbus via RS232

2. **Le modbus via RS-422 ou RS-485** : A la différence du modbus via RS-232 où l'on ne peut avoir que deux équipements sur la ligne, avec le modbus via RS-422 et le modbus via RS-485, on peut avoir jusqu'à 32 équipements sur un segment de réseau sur une longueur d'au maximum 1200 mètres.

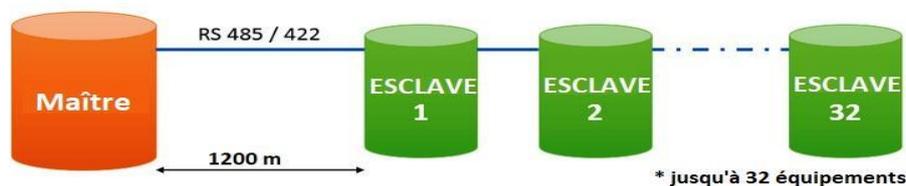


Figure V.6. Modbus via RS485/422

Avec l'utilisation de répéteurs, on peut avoir jusqu'à 247 esclaves sur une ligne modbus RS-485 ou RS-422 comme on peut le voir sur l'image ci-dessous.



Figure V.7. Modbus via RS485/422 avec répéteur

Dans la configuration maître/esclave, seul le maître est actif, les équipements esclaves sont complètement passifs. Les esclaves ne communiquent donc que sur initiative du maître.

### V.5.3. le protocole Profibus(entre les MTU)

Le PROFIBUS ou Process Fieldbus est un protocole de communication maître/esclave. A la différence du Modbus série qui est mono-maître, le Profibus est un protocole multi-maître avec un mode d'accès au réseau par passage de jeton comme on peut le voir sur l'image ci-dessous.

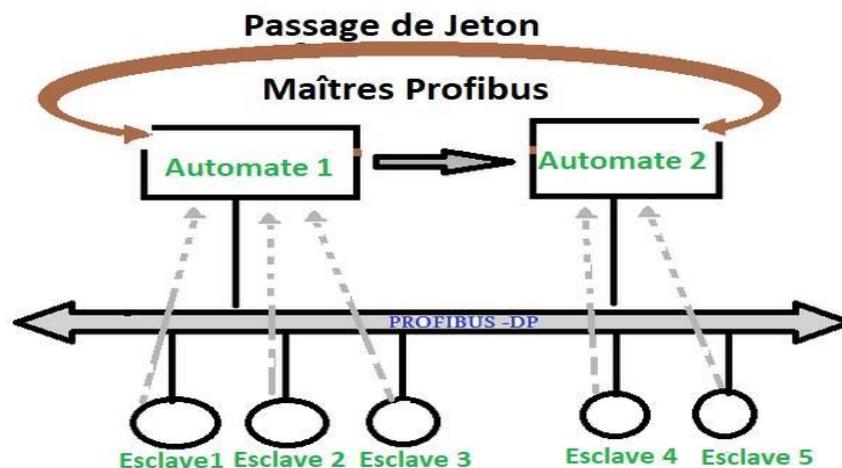


Figure V.8. Profibus

### V.5.4. Bus ASI

En 1991, un groupe de 11 sociétés spécialisées dans les capteurs/actionneurs a défini un **bus de terrain** afin de pouvoir interconnecter facilement les capteurs et les actionneurs, ainsi est né le concept ASI (**A**ctuator **S**ensor **I**nterface). Depuis 1992 une association ASI, qui compte à ce jour 50 membres, est chargée de coordonner, certifier et standardiser le bus.

**V.5. 4.1. Architecture de bus ASI :** ASI permet d'interconnecter des modules Esclaves à un Maître (API). Pour 1 seul maître, on peut connecter jusqu'à 31 esclaves et pour chacun d'eux on peut piloter 4 entrées et ou 4 sorties par esclave en disposant, en plus, de 4 bits de paramétrage. Les modules 'E/S' permettent de recevoir 1 à 8 capteurs/actionneurs soit actifs soit passifs (intégrant un chip ASI).

Cela correspond ainsi à un maximum de 248 capteurs ou actionneurs TOR. La topologie est totalement libre (étoile, bus, arbre), mais ne doit pas dépasser 100m.

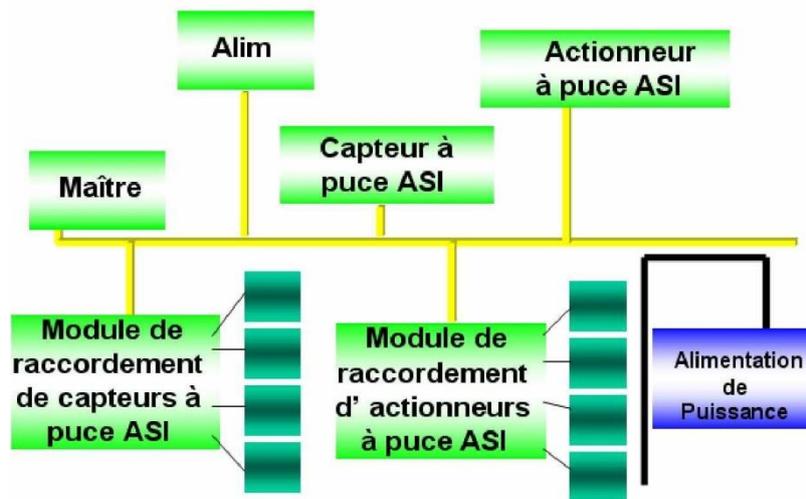
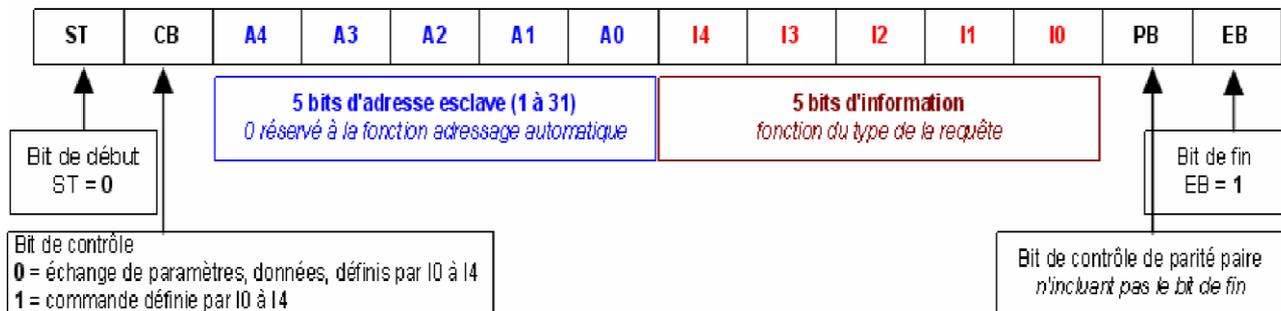


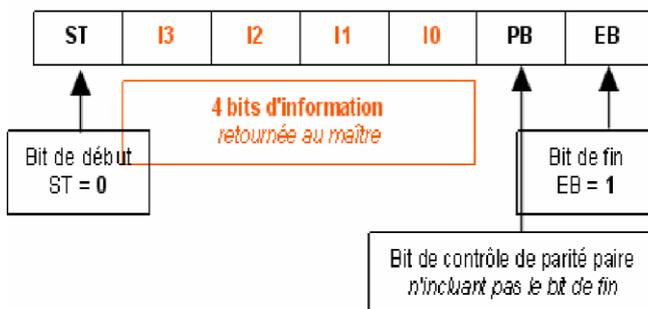
Figure V.9. Bus ASI

## La trame des télégrammes

### Requête du maître



### Requête de l'esclave



#### **IV.6. Choix et Mise en oeuvre des réseaux de communication**

À l'exception d'ARCNET, qui a été conçu dès 1975 pour la connectivité de bureau et a ensuite trouvé des applications dans l'industrie, la majorité des normes de bus de terrain ont été élaborées dans les années 1980 et sont pleinement établies sur le marché au milieu des années 1990. Aux États-Unis, Allen-Bradley a développé des normes qui ont finalement évolué vers DeviceNet et ControlNet; en Europe, Siemens et d'autres fabricants ont développé un protocole qui a évolué en PROFIBUS.

Pendant les années 1980, pour résoudre les problèmes de communication entre les différents systèmes de contrôle dans les voitures, la société allemande Robert Bosch GmbH a d'abord développé le Controller Area Network (CAN). Le concept de CAN était que chaque appareil peut être connecté par un seul ensemble de fils, et chaque appareil connecté peut échanger librement des données avec n'importe quel autre appareil. CAN a rapidement migré sur le marché de l'automatisation industrielle (avec beaucoup d'autres).

Bien que chaque technologie partage le nom générique du bus de terrain, les différents bus de terrain ne sont pas facilement interchangeables. Les différences entre eux sont si profondes qu'elles ne peuvent pas être facilement connectées les unes aux autres. Pour comprendre les différences entre les normes de bus de terrain, il est nécessaire de comprendre comment les réseaux de bus de terrain sont conçus. En référence au modèle OSI, les normes de bus de terrain sont déterminées par les supports physiques du câblage et les couches un, deux et sept du modèle de référence.

Pour chaque technologie, le support physique et les normes de couche physique décrivent en détail la mise en œuvre de la synchronisation, du codage / décodage, du débit binaire, de la longueur du bus et de la connexion physique de l'émetteur-récepteur aux fils de communication. La norme de couche liaison de données est chargée de spécifier complètement comment les messages sont assemblés prêts pour la transmission par la couche physique, la gestion des erreurs, le filtrage des messages et l'arbitrage de bus et comment ces normes doivent être implémentées dans le matériel. La norme de couche d'application définit en général comment les couches de communication de données sont interfacées avec l'application qui souhaite communiquer. Il décrit les spécifications de message, les implémentations de gestion de réseau et la réponse à la demande de l'application de services. Les couches de trois à six ne sont pas décrites dans les normes de bus de terrain.

## **Références bibliographiques**

1. William Bolton, « Les automates programmables industriels », 2e éd, Dunod, 2015.
2. Guide des solutions d'automatisme, Publications techniques, Schneider, 2008
3. John R. Hackworth and Frederick D. Hackworth, Jr. Programmable Logic Controllers: Programming Methods and Applications, Ed, Prentice Hall, 2004.
4. L. A. Bryan, E. A. Bryan, Programmable Controllers Theory and Implementation: Theory and Implementation, Amer Technical Pub; 2 Sub edition, 2003.
5. Madhuchhand Mitra & Samarjit Sengupta, Programmable Logic Controllers and Industrial Automation: An Introduction, Penram International Publishing, 2009.
6. Frank Petruzella Programmable Logic Controllers 5th Edition, McGraw-Hill Education; 5 edition, 2016.
7. Max Rabiee Programmable Logic Controllers: Hardware and Programming 3rd Edition, Goodheart-Willcox; 3 edition, 2012.
8. William Bolton Programmable Logic Controllers, Sixth Edition 6th Edition, Newnes; 6 edition, 2015.