

878

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des sciences et de la Technologie
Département d'Electronique et Télécommunications



**Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master Académique**



Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Génie Electrique
Spécialité : Systèmes Electronique

Etude et Réalisation d'une Chaîne de Concentration de Tomate

Automatisée

Présenté par : Bouccega Youssouf

Sous la direction de :

Mr. A.H Boualleg

Mr. Chouana Oussama

Juin 2015

Remerciement

Nous remercions d'abord le bon dieu, pour le courage qu'il nous 'a donné pour surmonter toutes les difficultés durant nos années d'étude.

Nous faillirons à la tradition si nous n'exprimons pas ici notre, gratitude envers tous ceux qui ont collaborés de près ou de loin à l'exécution de ce mémoire:

Nous remercions très vivement notre encadreur Mr. Boualleg.

Nous vous exprimons nos vives reconnaissances et immenses gratitudes pour votre aide précieux et claire lors de l'élaboration de ce travail.

Nous admirons sincèrement votre dévouement et votre sens de la recherche.

Nous remercions aussi Mr. Chouana Oussama ingénieur spécialisé en instrumentation électronique, notre maître de stage dans l'entreprise de Groupe Abidi qui nous a formé et accompagné tout au long de cette expérience professionnelle.

Nous remercions notre jury, et tous les professeurs et tous les travailleurs de département de génie électriques.

Dédicace

*Je dédie cet évènement marquant de ma vie
A celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation, son
encouragement*

Les sacrifices qu'elle a fait pour moi à ma mère

Mon cher père

*Qui m'a dirigé vers le bon chemin et encouragé, que mon amour éternel vous sera
garanti pour les sacrifices consentes et ma faveur.*

Mes chers frères et leurs épouses : Sliman, Khaled

*Pour leurs soutiens morales et affectifs et la joie de me voire réussir dans mes
études. Je vous souhaite une vie pleine de joie et de réussite.*

A tous leurs enfants : Abd Erahmane et Louay

Mes chères sœurs : Mounia et Nahla

*Pour leurs soutiens, leurs aides, ces encouragements,
Je vous souhaite une longue vie pleine de bonheur et de prospérité ; je
vous aime beaucoup . . .*

A tous les enfants de ma sœur Mounia : Adem, Roua, et Aya

A toute ma famille pour leur soutien et mots gentils.

A mon très chère proche.

*A tous mes amies que je porte toujours dans mon cœur en leur souhaitant
beaucoup de succès dans la vie.*

A tous ceux que j'aime et je tiens en estime.

Sommaire

Introduction Générale.....	01
<u>Chapitre I : Généralité sur l'Automatisme</u>	
I.1- Introduction.....	02
I.2- Définition.....	02
I.3- Les systèmes automatisés.....	02
I.4- Analyse fonctionnelle d'un système automatisé.....	03
I.5- Structure d'un système automatisé de production (SAP).....	04
I.5-1- Partie opérative.....	05
I.5-2- Partie commande.....	05
I.5-3- Poste de contrôle.....	05
I.6- Différents types de commande.....	05
I.6-1- Le système automatisé combinatoire.....	05
I.6-2- Le système automatisé séquentiel.....	06
I.6-3- Les systèmes asservis.....	06
I.7- Domaine de la Commande de processus.....	06
I.8- Architecture des systèmes de production.....	08
I.9- Les avantages et les inconvénients de l'automatisme.....	10
I.10- Conclusion.....	10
<u>Chapitre II: Automate Programmable Industriel</u>	
II.1- Introduction.....	11
II.2- Définition.....	11
II.3- Architecture des automates programmables.....	11
II.3-1- Structure interne.....	11
II.3-1-1- Une unité de traitement ou processeur.....	12
II.3-1-2- Une mémoire.....	12
II.3-1-3- Les interfaces d'entrées/sorties.....	13
II.3-1-4- Les BUS de communication interne.....	13
II.3-1-5- Un module d'alimentation.....	13
II.3-2- Aspect extérieur.....	14
II.3-3- Nature des informations traitées par l'automate.....	15
II.4- Automate programmable siemens S7-300.....	15
II.5- Le logiciel SIMATIC STEP 7.....	16
II.6- Langages de programmation.....	16
II.6-1- Liste d'instructions (IL : Instruction list).....	17
II.6-2- Langage littéral structuré (ST : Structured Text).....	17
II.6-3- Langage à contacts (LD : Ladder diagram).....	17

II.6-4- Blocs Fonctionnels (FBD : Function Bloc Diagram).....	17
II.6-5- Programmation à l'aide du GRAFCET (SFC : Sequential Function Chart).....	18
II.7- Fonctionnement d'un API.....	18
II.8- Emplacement de l'API dans le système automatisé de production (S.A.P.).....	20
II.9- Domaines d'emploi des automates programmables.....	20
II.10- Les avantages et les inconvénients.....	20
II.11- Conclusion.....	21

Chapitre III : Les Capteurs

III.1- Introduction.....	22
III.2- Définition.....	22
III.3- Les caractéristiques des capteurs.....	23
III.4- Les différentes familles des capteurs.....	25
III.4-1- Capteurs actifs.....	25
III.4-2- Capteurs passifs.....	27
III.5- Les types d'erreurs classiques.....	28
III.6- Grandeurs d'influences.....	29
III.7- Les informations transmises par les capteurs.....	30
III.7-1- Tout Ou Rien.....	30
III.7-2- Analogique.....	31
III.7-3- Numérique.....	31
III.8- Chaîne de mesure.....	32
III.9- Quelques définitions des capteurs.....	33
III.9-1- Capteur de pression.....	33
III.9-2- Capteur de niveau.....	34
III.9-3- Capteur de température.....	34
III.9-4- Le réfractomètre (capteur de concentration).....	35
III.10- Conclusion.....	36

Chapitre IV : Application d'une Chaîne de Concentration de Tomate Automatisée

IV.1- Chaîne de concentration de tomate automatisée.....	37
IV.2- Principe de travail.....	38
IV.3- Programmation.....	39
IV.3-1- Organisation structurelle d'un projet.....	39
IV.3-3- La fonction Mise à l'échelle (SCALE).....	39
IV.3-4- Comparer réels.....	41
IV.3-5- L'organigramme de concentration.....	42
IV.3-6- Le Programme.....	43
IV.4- La partie commande de projet.....	53
IV.5- Conclusion.....	56

Annexe..... 57

Conclusion Générale..... 63

Bibliographie



Liste des figures

Chapitre I

Figure I-1- Système automatisé

Figure I-2- Structure d'un système automatisé de production

Figure I-3- L'automatique de la commande de processus

Figure I-4- L'automatisme de la commande de processus

Figure I-5- Système de production autonome

Figure I-6- Système de production en ligne

Figure I-7- Système de production à commande centralisé

Figure I-8- Système de production à commande décentralisée et coordonnée

Figure I-9- Système de production à commande répartie et hiérarchisée

Chapitre II

Figure II-1- Structure interne d'un API

Figure II-2- Automate compact (LOGO de Siemens)

Figure II-3- Automate modulaire (Siemens)

Figure II-4- Fonctionnement cyclique d'un API

Figure II-5- Temps de réponse

Figure II-6- Emplacement de l'API dans un système automatisé

Chapitre III

Figure III-1- Le système traité par le capteur

Figure III-2- Courbe d'étalonnage

Figure III-3- Capteur à Effet thermoélectrique

- Figure III-4-** Capteur à Effet piézo-électrique
- Figure III-5-** Capteur à effet inductif
- Figure III-6-** Capteur à effet photo-électrique
- Figure III-7-** Capteur à effet Hall
- Figure III-8-** Capteur à effet photovoltaïque
- Figure III-9-** Erreurs de zéro (offset)
- Figure III-10-** Erreur d'échelle (gain)
- Figure III-11-** Erreur de linéarité
- Figure III-12-** Erreur due au phénomène d'hystérésis
- Figure III-13-** Informations transmises par un capteur TOR
- Figure III-14-** Informations transmises par un capteur analogique
- Figure III-15-** informations transmises par un capteur numérique
- Figure III-16-** Chaîne de mesure
- Figure III-17-** Capteurs de pression
- Figure III-18-** Capteurs de niveau
- Figure III-19-** Capteur de température thermocouple
- Figure III-20-** Capteur de température PT100
- Figure III-21-** Les réfractomètres industriels

Chapitre IV

- Figure IV-1-** Chaîne de fabrication
- Figure IV-2-** Evaporation à effet triple
- Figure IV-3-** Structure d'un projet
- Figure IV-4-** La fonction mise à l'échelle (SCALE)
- Figure IV-5-** Comparateur d'un réel

Introduction Générale

Introduction générale :

Depuis les temps les plus anciens, l'homme a cherché un appui matériel pour effectuer ces tâches quotidiennes, ainsi économiser son énergie musculaire. En premier lieu, il a eu recours à des simples machines, mais actuellement, et vu l'évolution technologique moderne, il rêve de concevoir des machines qui pourrait reproduire son intelligence et éliminer les tâches dangereuses et pénibles, en faisant exécuter par ces machines les tâches humaines complexes ou indésirables et en même temps capables de fonctionner automatiquement, ainsi l'automatisation des procédés industriels est introduite pour permettre aux machines de réagir d'une façon autonome. Les automatismes sont alors réalisés en vue d'apporter des solutions à des problèmes de nature techniques et économiques

Dans tout système automatisé on distingue :

- La partie commande présentée par les automates programmables industriels qui sont des mémoires programmables.
- Et l'installation ou machines (partie opérative).

A cet effet l'objectif de notre projet consiste à étudier les chaînes de concentration de tomate automatisé à l'aide d'un système automatisé. Ce travail est partagé en quatre chapitres organisés comme suit:

Le premier chapitre fait l'objet d'une étude sur l'automatisme, le système automatisé et sa structure, les différents types de commande, ainsi l'architecture des systèmes de production.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons l'automate programmable industriel, expliquons son architecture, son fonctionnement, et les domaines d'emploi des automates.

Dans le troisième chapitre est consacré aux capteurs, ses caractéristiques, les différentes familles et les informations transmises par les capteurs, les types d'erreurs, et la chaîne de mesure.

Le quatrième chapitre consiste à une application sur la procédure d'une chaîne de concentration de tomate automatisée.

Nous terminons notre mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I
Généralité sur
L'Automatisme

I.1- Introduction :

Historiquement, de nombreuses civilisations ont contribué au développement du machinisme et de l'automatisme. La révolution industrielle en Europe (environ 1700) a donné lieu à de grands progrès en automatisation, notamment dans l'industrie du textile. Mais c'est l'avènement de l'ordinateur (en 1944) qui a effectivement ouvert les portes à l'automatisation. L'arrivée du microprocesseur (en 1970) a rendu possible la généralisation de l'automatisme dans pratiquement tous les domaines d'applications de façon très performante et très économique. [1]

I.2- Définition :

L'automatisation consiste à rendre automatique les opérations qui exigeaient auparavant l'intervention humaine.

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

Dans l'industrie, les automatismes sont devenus indispensables, ils permettent d'effectuer quotidiennement les tâches les plus ingrates, répétitives et dangereuses. Parfois, ces automatismes sont d'une telle rapidité et d'une telle précision, qu'ils réalisent des actions impossibles pour un être humain. L'automatisme est donc synonyme de productivité et de sécurité. [2]

I.3- Les systèmes automatisés :

L'objectif de l'automatisation des systèmes est de produire, en ayant recours le moins possible à l'homme, des produits de qualité et ce pour un coût le plus faible possible.

Un système automatisé est un ensemble d'éléments en interaction, et organisés dans un but précis ; agir sur une matière d'œuvre afin de lui donner une valeur ajoutée.

Le système automatisé est soumis à des contraintes : énergétiques, de configuration, de réglage et d'exploitation qui interviennent dans tous les modes de marche et d'arrêt du système. [3]

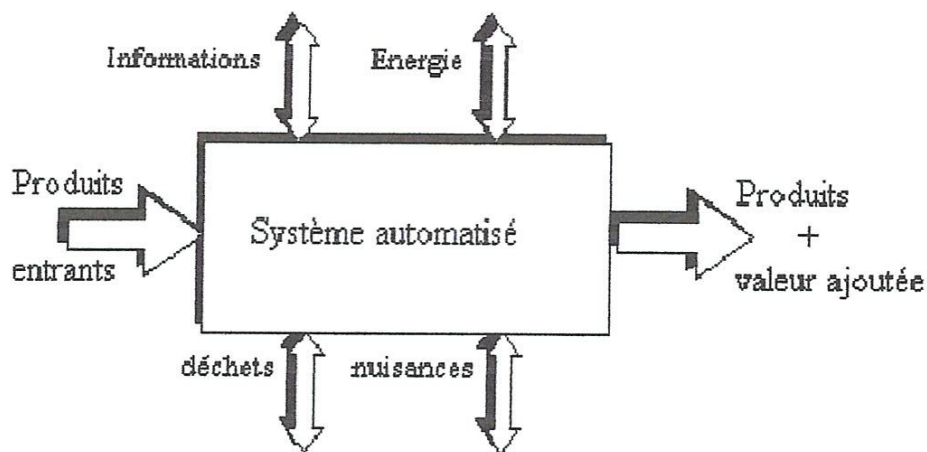


Figure I-1- Système automatisé

Un système automatisé peut, sur le plan technique, être observé et défini de trois manières :

- **Par les fonctions** de service qu'il assure, fonctions qui s'exercent vis à vis des matières d'œuvre et de l'environnement. Ces fonctions sont l'expression du besoin auquel le système satisfait.
- **Par sa structure**, c'est à dire la manière dont les différents constituants matériels et logiciels qui le composent sont organisés. (effecteurs, actionneurs, pré-actionneurs, capteurs, automate...)
- **Par les tâches** effectuées pour assurer les fonctions. Ces tâches se manifestent par la succession chronologique d'actions effectuées en fonction des informations reçues.

I.4- Analyse fonctionnelle d'un système automatisé :

Les outils d'analyse fonctionnelle permettent d'aborder l'étude d'un système automatisé dans le cadre de son fonctionnement normal, et de le définir au travers de ses fonctions opératives. [4]

- **Environnement** : Un système est toujours soumis aux conditions imposées par quatre milieux ambiants qui constituent son environnement :
 - Le milieu humain (but, sécurité...)
 - Le milieu physique (vibration, chaleur...)
 - Le milieu économique (prix de revient, maintenance...)
 - Le milieu technique (source d'énergie).

- **Matière d'œuvre :** Chaque système agit sur des éléments afin de les modifier. Ces éléments sont appelés matière d'œuvre.
Il existe trois types de matière d'œuvre :
 - Un produit ou une matière,
 - Une énergie,
 - Une information.
- **Valeur ajoutée :** La modification subie par la matière d'œuvre après passage dans le système est appelée valeur ajoutée.
- **Données de contrôle :** Les informations qui entraînent le démarrage ou une modification d'un cycle de production sont appelées données de contrôle.

I.5- Structure d'un système automatisé de production (SAP) :

Les systèmes automatisés, utilisés dans le secteur industriel, possèdent une structure de base identique. Ils sont constitués de plusieurs parties plus ou moins complexes reliées entre elles :

- La Partie opérative.
- La partie commande.
- Le poste de contrôle.

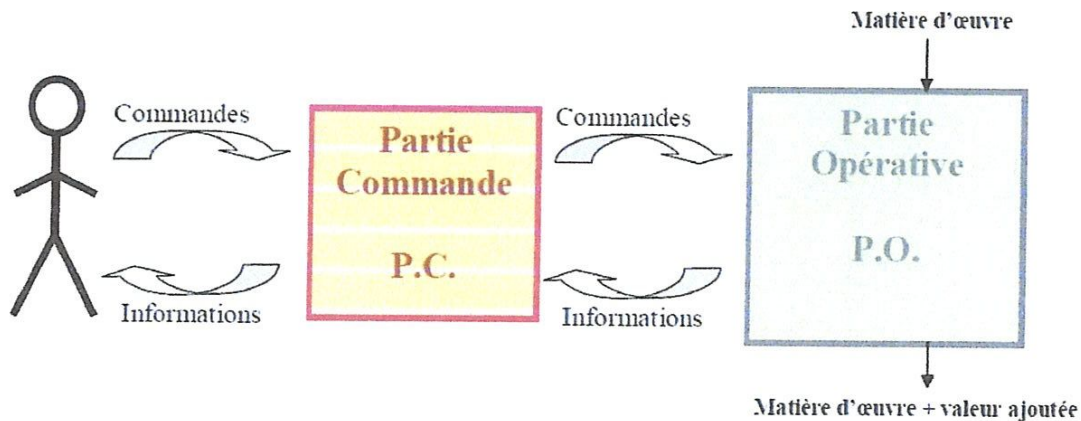


Figure I-2- Structure d'un système automatisé de production

I.5-1- Partie opérative :

- C'est la partie visible du système. Elle comporte les éléments du procédé, c'est à dire :
- Des pré-actionneurs (distributeurs, contacteurs) qui reçoivent des ordres de la partie commande ;
 - Des actionneurs (vérins, moteurs, vannes) qui ont pour rôle d'exécuter ces ordres. Ils transforment l'énergie pneumatique (air comprimé), hydraulique (huile sous pression) ou électrique en énergie mécanique ;
 - Des capteurs qui informent la partie commande de l'exécution du travail.

I.5-2- Partie commande :

Elle donne les ordres de fonctionnement à la partie opérative.

Les pré-actionneurs permettent de commander les actionneurs ; ils assurent le transfert d'énergie entre la source de puissance (réseau électrique, pneumatique ...) et les actionneurs.

Ces pré-actionneurs sont commandés à leur tour par le bloc traitement des informations. Celui-ci reçoit les consignes du pupitre de commande (opérateur) et les informations de la partie opérative transmises par les capteurs et les détecteurs.

En fonction de ces consignes et de son programme de gestion des tâches implanté dans un automate programmable ou réalisé par des relais (on parle de logique câblée), elle va commander les pré-actionneurs et renvoyer des informations au pupitre de signalisation ou à d'autres systèmes de Commande et/ou de supervision en utilisant un réseau et un protocole de communication.

I.5-3- Poste de contrôle :

Composé des pupitres de commande et de signalisation, il permet à l'opérateur de commander le système (marche, arrêt, départ cycle ...).

Il permet également de visualiser les différents états du système à l'aide de voyants, de terminal de dialogue ou d'interface homme-machine (IHM). [5]

I.6- Différents types de commande :

I.6-1- Le système automatisé combinatoire :

Ces systèmes n'utilisent aucun mécanisme de mémorisation ; a une combinaison des entrées ne correspond qu'une seule combinaison des sorties. La logique associée est la

logique combinatoire. Les outils utilisés pour les concevoir sont l'algèbre de Boole, les tables de vérité, les tableaux de Karnaugh.

Les systèmes automatisés utilisant la technique "combinatoire" sont aujourd'hui très peu utilisés. Ils peuvent encore se concevoir sur des mécanismes simples où le nombre d'actions à effectuer est limité.

I.6-2- Le système automatisé séquentiel :

Ces systèmes sont les plus répandus dans le domaine industriel. Le déroulement du cycle s'effectue étape par étape, à une situation des entrées peuvent correspondre plusieurs situations de sortie. La sélection d'une étape ou d'une autre dépend de la situation antérieure du dispositif. La logique associée est appelée logique séquentielle. Elle peut être avec commande : Electrique et Pneumatique.

I.6-3- Les systèmes asservis :

Pour de tels systèmes une mesure de la sortie est réalisée en permanence et sa valeur comparée à l'entrée (sortie souhaitée) puis corrigée. Ces systèmes permettent d'obtenir toutes les caractéristiques nécessaires aujourd'hui dans beaucoup de systèmes pluri-techniques (Rapidité, Précision, Stabilité). Les asservissements sont classés en deux familles : les systèmes régulateurs et les systèmes asservis suiveurs.

Systèmes régulateurs : la consigne d'entrée est fixe, ils sont destinés à assurer une sortie constante.

Systèmes asservis suiveurs ou en poursuite d'une loi de référence : la consigne d'entrée varie constamment et l'objectif est d'ajuster en permanence la sortie au signal d'entrée. [6]

I.7- Domaine de la Commande de processus :

La commande de processus a pour objectif de mettre en œuvre une commande à partir de l'état présent et passé d'un système. Le processus de commande est automatique dans la mesure aucun opérateur humain n'intervient dans la chaîne de décision. Deux opérations distinctes sont mises en œuvre dans ce type de techniques. La première consiste à mesurer l'état du système. La seconde calcule la commande en fonction de l'état de ce système et d'une consigne. Le domaine de la commande de processus se divise en deux techniques : l'automatisme et l'automatique.

L'automatique intervient au niveau des actionneurs. Elle permet l'asservissement ou la régulation d'une grandeur issue d'un dispositif technique réalisant une fonctionnalité industrielle : moteur, processus chimique, thermique et autres. Cette technique s'appuie sur une structure de contre réaction.

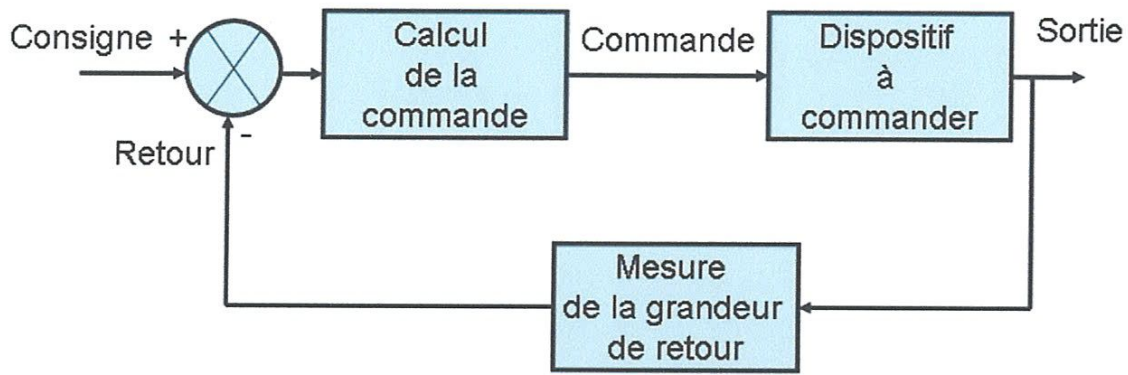


Figure I-3- L'automatique de la commande de processus

Le calcul de la commande s'effectue à partir de l'écart entre une consigne (régulation) ou la variation de celle-ci (asservissement) et une grandeur de retour issue d'un capteur. Cet écart constitue une erreur que le calcul de commande cherche à minimiser pour que la grandeur de sortie soit égale à la consigne. La problématique de la mesure intervient dans la chaîne de retour. Dans la mesure du possible, la mesure doit être linéaire et le dispositif ne doit pas modifier la grandeur de sortie. Une autre caractéristique importante est la réponse dynamique du capteur. Du capteur dépend en partie la robustesse et la qualité de la commande.

En automatisme, la problématique est différente. Les dispositifs à commander sont déjà asservis ou régulés. Ils constituent des actionneurs. Il s'agit de les mettre en œuvre pour réaliser une séquence c'est-à-dire la mise en marche et l'arrêt des dispositifs à commander dans un ordre défini par avance. La commande est réalisée par un automate programmable industrielle (API). Il s'agit d'un calculateur numérique qui pilote des entrées/sorties. Elles sont soit de type TOR (Tout Ou Rien) soit de type analogique issue de convertisseur numérique analogique.

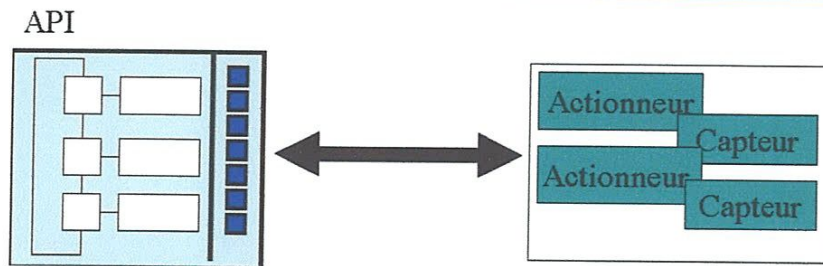


Figure I-4- L'automatisme de la commande de processus

La problématique de la mesure est ici moins contrainte que dans le cas de l'automatique. Elle consiste à connaître d'état des actionneurs afin de permettre à l'API de prendre des décisions. Le processus de commande est numérique et discontinu. La mesure n'a pas besoin d'être linéaire. [7]

I.8- Architecture des systèmes de production :

➤ Machines autonomes :

Chaque machine réalise une étape dans l'élaboration du produit. La manutention entre machine, les chargements et déchargements sont nombreux, coûteux et longs. Ils sont le plus souvent manuels.

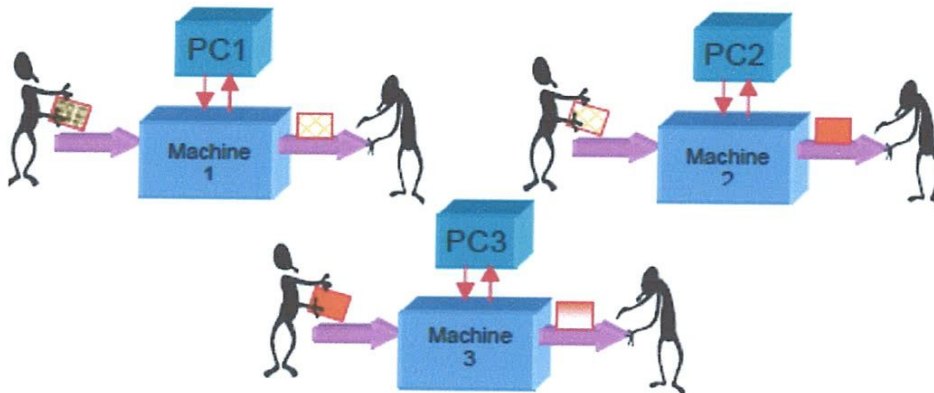


Figure I-5- Système de production autonome

➤ Machines associées en ligne :

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

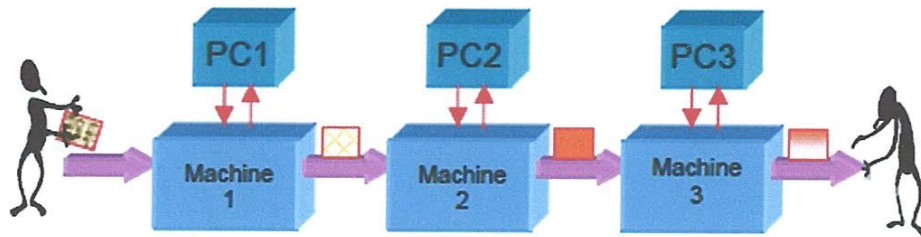


Figure I-6- Système de production en ligne

➤ Cellule de production à Commande centralisée :

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

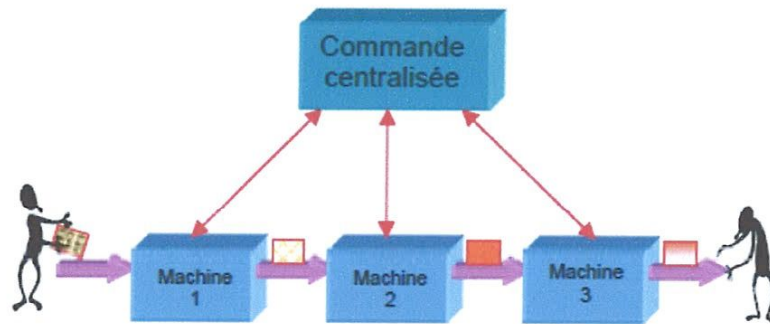


Figure I-7- Système de production à commande centralisé

➤ Cellule à commande décentralisée et coordonnée :

Un retour aux commandes décentralisées s'est imposé, mais avec une coordination entre machines ici assurée par liaisons inter niveaux.

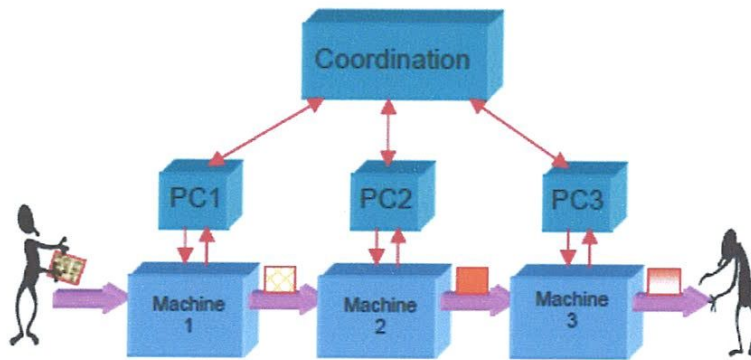


Figure I-8- Système de production à commande décentralisée et coordonnée

➤ **Cellule flexible à commande répartie et hiérarchisée :**

Le besoin de flexibilité conduit à prévoir des transferts libres de produits de machine à machine : une machine donnée peut traiter ou non le produit présenté. Les liaisons iso-niveau complètent les liaisons inter-niveaux qui assurent la communication avec la supervision. [8]

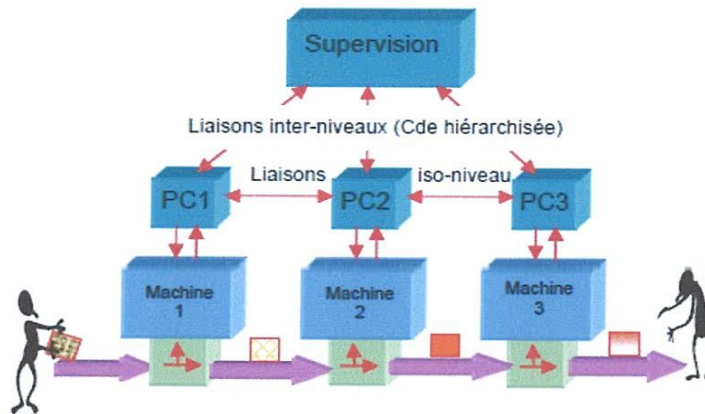


Figure I-9- Système de production à commande répartie et hiérarchisée

I.9- Les avantages et les inconvénients de l'automatisme :

➤ **Les avantages :**

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

➤ **Les inconvénients :**

- Le coût élevé du matériel, principalement avec les systèmes hydrauliques;
- La maintenance doit être structurée ;
- La diminution d'emplois. [6]

I.10- Conclusion :

Les automatismes sont partout dans notre environnement quotidien. Ils vont probablement se développer de plus en plus et prendre une place plus importante dans la manière de travailler, tant dans les ateliers de production que dans les divers bureaux des entreprises, l'automatisme en trouve aussi dans la gestion de bâtiments, la logistique et le conditionnement.

Chapitre II
Automate
Programmable
Industriel

II.1- Introduction :

Les Automates Programmables Industriels (API) sont apparus aux Etats-Unis vers 1969 où ils répondaient aux désirs des industries de l'automobile de développer des chaînes de fabrication automatisées qui pourraient suivre l'évolution des techniques et des modèles fabriqués.

Un automate programmable est adaptable à un maximum d'application, d'un point de vue traitement, composants, langage. C'est pour cela qu'il est de construction modulaire.

Il est en général manipulé par un personnel électromécanicien. Le développement de l'industrie à entraîner une augmentation constante des fonctions électroniques présentes dans un automatisme c'est pour ça que l'API s'est substitué aux armoires à relais en raison de sa souplesse dans la mise en œuvre, mais aussi parce que dans les coûts de câblage et de maintenance devenaient trop élevés. [9]

II.2- Définition :

L'automate programmable industriel est un dispositif électronique programmable destiné à la commande de processus industriel par un traitement séquentiel. Il envoie des ordres vers les pré-actionneurs (partie opérative ou PO côté actionneur) à partir de données d'entrées (partie commande ou PC côté capteur), des consignes et d'un programme informatique.

L'API implémente différentes fonctions, qu'elles soient logiques, de séquençement, de temporisation, de comptage ou arithmétique pour commander les machines et les processus.

Son objectif principale est de rendre tout le mécanisme de type «laisser faire seul » ; le système contrôle ses sorties, décide et agit sur ses entrées afin de maintenir le fonctionnement comme prévu par l'utilisateur. [10]

II.3- Architecture des automates programmables:

II.3-1- Structure interne:

La structure interne d'un API peut se représenter comme suit :

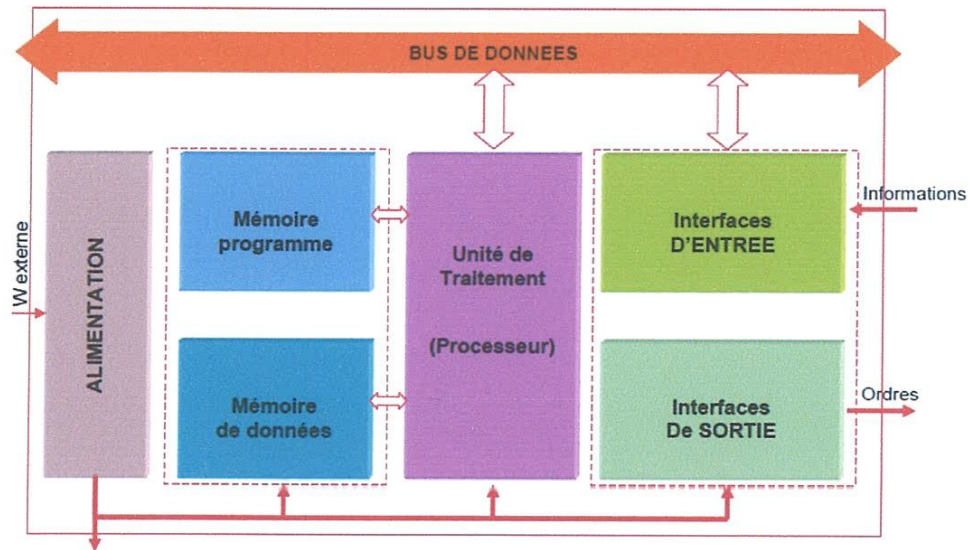


Figure II-1- Structure interne d'un API

II.3-1-1- Une unité de traitement ou processeur :

Le processeur gère l'ensemble des échanges informationnels en assurant :

- La lecture des informations d'entrée.
- L'exécution des instructions du programme mis en mémoire.
- La commande ou l'écriture des sorties.

Il est connecté aux autres éléments (mémoire et interface E/S) par des liaisons parallèles appelées 'BUS' qui véhiculent les informations sous forme binaire. [11]

II.3-1-2- Une mémoire :

Elle est conçue pour recevoir, stocker des informations issues des différents secteurs du système que sont le terminal de programmation et le processeur, qui lui gère et exécute le programme. Elle reçoit également des informations en provenance des capteurs.

L'espace mémoire peut être divisé en deux parties : [6]

❖ Une mémoire programme :

La mémoire programme contient les instructions à exécuter par le processeur afin de déterminer les ordres à envoyer aux pré-actionneurs reliés à l'interface de sortie en fonction des informations recueillies par les capteurs reliés à l'interface d'entrée. [11]

❖ **Une mémoire de données :**

La mémoire de donnée permet le stockage de :

- L'image des entrées reliées à l'interface d'entrée.
- L'état des sorties élaborées par le processeur.
- Les valeurs internes utilisées par le programme (résultats de calculs, états intermédiaires,...).
- Les états forcés ou non des E/S. [11]

II.3-1-3- Les interfaces d'entrées/sorties :

➤ **Une interface d'ENTREE :**

Les entrées reçoivent des informations en provenance des éléments de détection (capteurs) et du pupitre opérateur.

Elles sont destinées à :

- Recevoir l'information en provenance des capteurs
- Traiter le signal en le mettant en forme (éliminer les parasites et en isoler électriquement l'unité de commande de la PO). [10]

➤ **Une interface de SORTIE :**

Les sorties transmettent des informations aux pré-actionneurs (relais, électrovannes ...) et aux éléments de signalisation (voyants) du pupitre.

- Commander les pré-actionneurs et les éléments des signalisations du système.
- 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. [10]

II.3-1-4- Les BUS de communication interne :

Il permet la communication de l'ensemble des blocs de l'automate et les éventuelles extensions, et le transfert des informations sous forme binaire. [10]

II.3-1-5- Un module d'ALIMENTATION :

Le module d'alimentation transforme l'énergie externe provenant du réseau en la mettant en forme afin de fournir aux différents modules de l'API les niveaux de tension nécessaires à leur bon fonctionnement. Plusieurs niveaux de tension peuvent être utilisés par les circuits

internes (3v, 5v, 12v, 24v...) il sera dimensionné en fonction des consommations des différentes parties. [11]

II.3-2- Aspect extérieur :

Les automates peuvent être de type compact ou modulaire.

De type 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. [12]



Figure II-2- Automate compact (LOGO de Siemens)

De type 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.

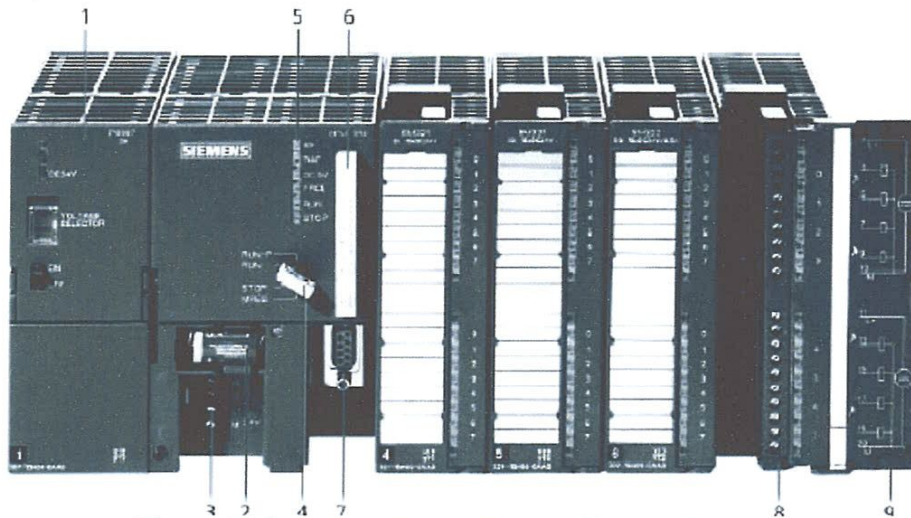


Figure II 3- Automate modulaire (Siemens)

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

II.3-3- Nature des informations traitées par l'automate :

Les informations peuvent être de type :

- Tout ou rien (T.O.R.)** : l'information ne peut prendre que deux états (vrai/faux, 0 ou 1).
C'est le type d'information délivrée par un détecteur, un bouton poussoir ...
- Analogique** : l'information est continue et peut prendre une valeur comprise dans une plage bien déterminée. C'est le type d'information délivrée par un capteur (pression, température ...)
- Numérique** : l'information est contenue dans des mots codés sous forme binaire ou bien hexadécimale. C'est le type d'information délivrée par un ordinateur ou un module intelligent. [12]

II.4- Automate programmable siemens S7-300 :

Le S7-300 est une plate-forme d'automatisation universelle pour des applications avec des architectures centralisées et décentralisées, orientée sécurité, motion contrôle ou avec interface Ethernet /PROFINet intégrée (standard de communication ouvert pour l'automatisation industrielle). Le S7-300 peut également s'intégrer dans des solutions compactes avec HMI ou dans des têtes de station pour traitement intelligent décentralisé. [13]

II.5- Le logiciel SIMATIC STEP 7 :

Le logiciel STEP 7 permet de concevoir, configurer, programmer, tester, mettre en service et maintenir les systèmes d'automatisation SIMATIC (marque déposée de Siemens).

STEP 7 est un logiciel d'ingénierie complet permettant d'exécuter toutes les opérations d'ingénierie d'un projet. Les utilisateurs bénéficient ainsi d'un gain de productivité tout en réduisant les coûts d'ingénierie. C'est un environnement d'ingénierie commun à tous les automates SIMATIC S7-300, S7-400.

STEP 7 est tout à fait adapté à la configuration et à la programmation des tâches d'automatisation dans tous les secteurs.

STEP 7 intègre en particulier les outils suivants :

- Tous les langages de programmation pour les automates programmables définis dans le standard CEI 61131-3 (norme industrielle de la Commission électrotechnique internationale définissant les langages de programmation à utiliser pour les automates programmables): schémas contact, logigrammes, listes d'instructions, graphes séquentiels (S7-GRAPH) et langages structurés (ST).
- Le logiciel de simulation automate S7-PLCSIM (permet d'exécuter et de tester votre programme dans un API) pour la mise au point de programmes sans disposer des automates cible.
- Outil configuration graphique des composants matériels et des réseaux de communication. [14]

II.6- Langages de programmation :

Il existe 5 langages de programmation des automates qui sont normalisés au plan mondial par la norme CEI 61131-3.

Chaque automate se programme via une console de programmation propriétaire ou par un ordinateur équipé du logiciel constructeur spécifique. [12]

II.6-1- Liste d'instructions (IL : Instruction list) :

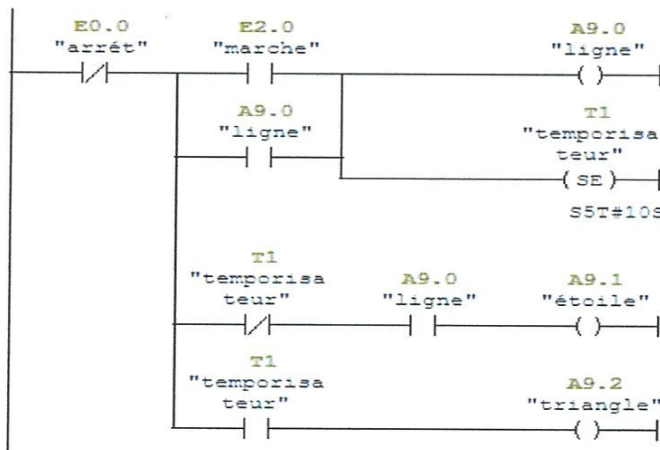
Langage textuel de même nature que l'assembleur (programmation des microcontrôleurs). Très peu utilisé par les automaticiens.

II.6-2- Langage littéral structuré (ST : Structured Text) :

Langage informatique de même nature que le Pascal, il utilise les fonctions comme *if ... then... else ...* (si ... alors ... sinon ...) Peu utilisé par les automaticiens.

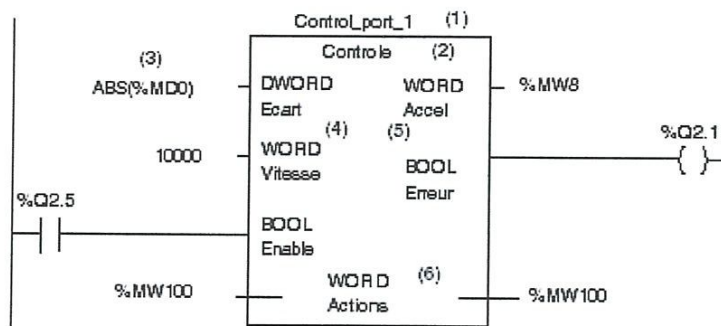
II.6-3- Langage à contacts (LD : Ladder diagram) :

Langage graphique développé pour les électroniciens. Il utilise les symboles tels que : contacts, relais et blocs fonctionnels et s'organise en réseaux (labels). C'est le plus utilisé.



II.6-4- Blocs Fonctionnels (FBD : Function Bloc Diagram) :

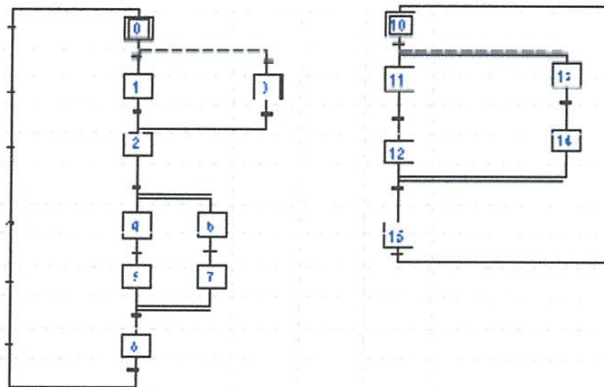
Langage graphique où des fonctions sont représentées par des rectangles avec les entrées à gauche et les sorties à droite. Les blocs sont programmés (bibliothèque) ou programmables. Utilisé par les automaticiens.



II.6-5- Programmation à l'aide du GRAFCET (SFC : Sequential Function Chart) :

Le GRAFCET (graphe fonctionnel de commande étapes / transitions), langage de spécification, est utilisé par certains constructeurs d'automate (Schneider, Siemens) pour la programmation. Parfois associé à un langage de programmation, il permet une programmation aisée des systèmes séquentiels tout en facilitant la mise au point des programmes ainsi que le dépannage des systèmes.

On peut également traduire un grafcet en langage à contacts et l'implanter sur tout type d'automate.



II.7- Fonctionnement d'un API :

Tous les automates fonctionnent selon le même mode opératoire par l'exécution de son programme de manière cyclique.

L'automate programmable reçoit les informations relatives à l'état du système et puis commande les pré-actionneurs suivant le programme inscrit dans sa mémoire. Généralement les automates programmables industriels ont un fonctionnement cyclique. Le microprocesseur réalise toutes les fonctions logiques ET, OU, les fonctions de temporisation, de comptage, de calcul... Il est connecté aux autres éléments (mémoire et interface E/S) par des liaisons parallèles appelées ' BUS ' qui véhiculent les informations sous forme binaire. Lorsque le fonctionnement est dit synchrone par rapport aux entrées et aux sorties, le cycle de traitement commence par la prise en compte des entrées qui sont figées en mémoire pour tout le cycle. [9]

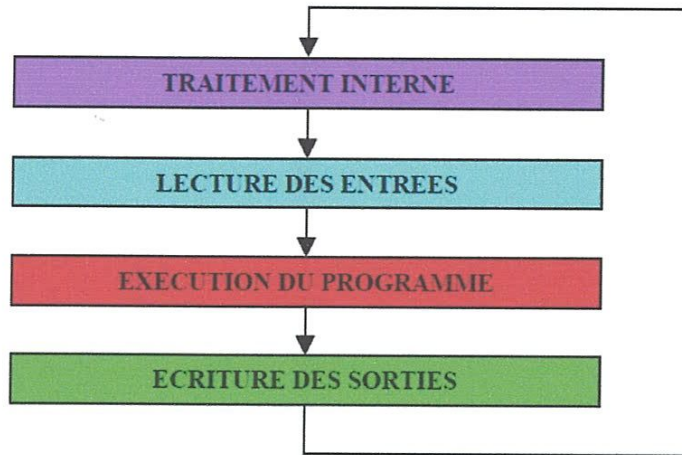


Figure II-4- Fonctionnement cyclique d'un API

Le processeur exécute alors le programme instruction par instruction en rangeant à chaque fois les résultats en mémoire. En fin de cycle les sorties sont affectées d'un état binaire, par mise en communication avec les mémoires correspondantes. Dans ce cas, le temps de réponse à une variation d'état d'une entrée peut être compris entre un ou deux temps de cycle (durée moyenne d'un temps de cycle est de 5 à 15 ms).

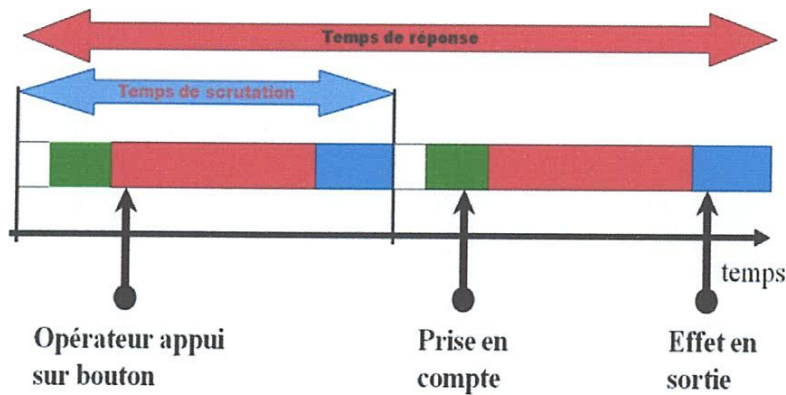


Figure II-5- Temps de réponse

Le temps de scrutation est le temps mis par l'automate pour traiter l'ensemble des opérations. Ce temps est de l'ordre des dizaines de millisecondes pour les applications standards.

Le temps de réponse total (TRT) est le temps qui s'écoule entre le changement d'état d'une entrée et le changement d'état de la sortie correspondante.

II.8- Emplacement de l'API dans le système automatisé de production (S.A.P.):

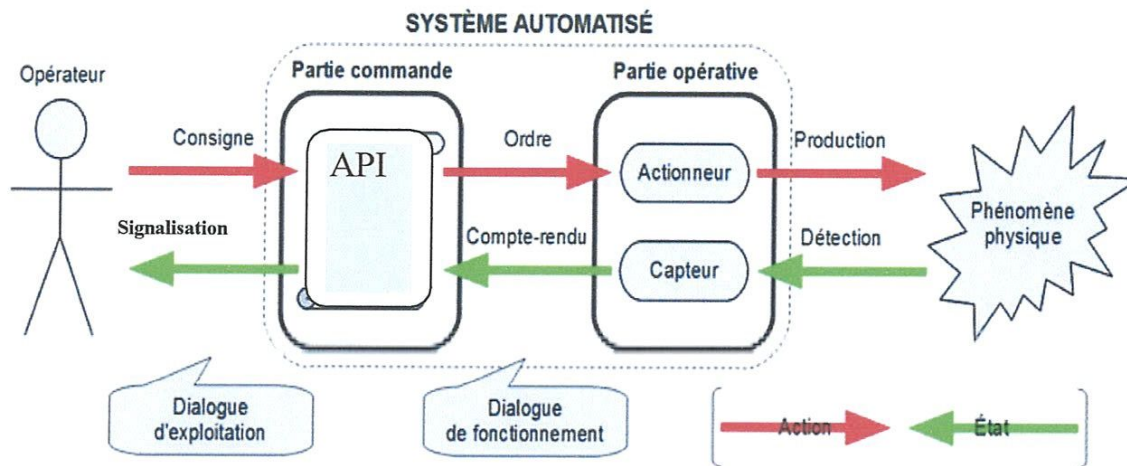


Figure II-6- Emplacement de l'API dans un système automatisé

L'opérateur donne des consignes à la partie commande qui fait le traitement des données par l'API, qui va commander la partie opérative contenant les pré-actionneurs (contacteur, distributeur...), ce dernier permettent de commander les actionneurs (vérins, moteurs, vannes...) qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique, puis il aura une détection par les capteurs qui informent la partie commande par un compte rendu de l'exécution de travail, enfin l'API renvoie des informations au pupitre de signalisation.

II.9- Domaines d'emploi des automates programmables :

On utilise les APIs dans tous les secteurs industriels pour la commande des machines (convoyage, emballage ...) ou des chaînes de production (automobile, agroalimentaire, ...) ou il peut également assurer des fonctions de régulation de processus (métallurgie, chimie ...). Il est de plus en plus utilisé dans le domaine du bâtiment industriel pour le contrôle du chauffage, de l'éclairage et de la sécurité ou des alarmes.

II.10- Les avantages et les inconvénients :

Les APIs présentent de nombreux intérêts :

- Les éléments qui les composent sont particulièrement robustes (absence de mécanique tournante pour le refroidissement et le stockage des données, matériaux renforcés) leur permettant de fonctionner dans des environnements particulièrement hostiles

(poussière environnante, perturbations électromagnétiques, vibrations des supports, variations de température...).

- Ils possèdent des circuits électroniques optimisés pour s'interfacer avec les entrées et les sorties physiques du système, les envois et les réceptions des signaux se font très rapidement avec l'environnement. Avec de plus une exécution séquentielle cyclique sans modification de mémoire, ils permettent d'assurer un temps d'exécution minimal, respectant un déterminisme temporel et logique, garantissant un temps réel effectif (le système réagit forcément dans le délai fixé).

En contrepartie, ils sont plus chers que des solutions informatiques classiques à base de microcontrôleurs par exemple mais restent à l'heure actuelle les seules plateformes d'exécution considérées comme fiables en milieu industriel (avec les ordinateurs industriels). Le prix est notamment dépendant du nombre d'entrées/sorties nécessaires, de la mémoire dont on veut disposer pour réaliser le programme, de la présence ou non de modules métier. De plus ils nécessitent la maîtrise de langages spécifiques. Ces langages apparaissent toutefois à beaucoup d'utilisateurs plus accessibles et plus visuels que les langages informatiques classiques. [5]

II.11-Conclusion :

L'automate constitue donc le cœur de l'automatisme. Elle permet de contrôler, coordonner et d'agir sur la partie opérative c'est à dire la partie physique comme par exemple un robot, un bras manipulateur ou un tapis roulant. [15]

L'API est un équipement spécialement conçu pour l'industrie et destiné à piloter des chaînes de montages, productions, traitements, robots industriels, machines outils... etc.

Chapitre III
Les Capteurs

III.1- Introduction :

Dans les systèmes techniques, de nombreuses grandeurs physiques (température, pression, intensité lumineuse, position, déplacement,...) sont à mesurer et à prendre.

Il a fallu développer des organes techniques permettant l'acquisition de ces grandeurs physiques, la transformation et la transmission d'informations exploitables Aux unités de traitement.

Cet organe technique qui est à l'origine de la chaîne d'acquisition est défini par un terme générique : CAPTEUR. [16]

III.2- Définition :

Dans un grand nombre de domaine, il est nécessaire d'avoir accès à une grandeur physique.

Cette connaissance permet de connaître l'état physique d'un système et de pouvoir prendre des décisions quand à la conduite de celui-ci. Les décisions peuvent être automatique c'est à dire prise par un ordinateur ou prise par un opérateur humain via une interface homme machine. Dans les deux cas, l'état physique du système doit être connu sous la forme d'une grandeur électrique : tension ou courant car les systèmes de traitement n'utilise que ces grandeurs. L'opération qui permet de transformer une grandeur physique en une grandeur électrique est réalisée par un capteur.

Un capteur est un constituant ou un organe capable d'acquérir une grandeur physique à mesurer, et de la transformer en une grandeur exploitable par une unité de traitement.

Le capteur est caractérisé par sa fonction : $s = f(m)$ où s est la grandeur de sortie ou la réponse du capteur et m la grandeur physique à mesurer (Mesurande).

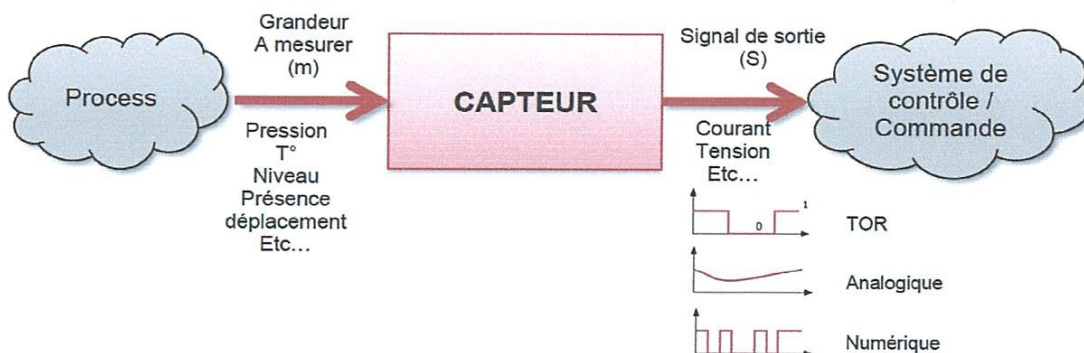


Figure III-1- Le système traité par le capteur

La grandeur physique à mesurer est désignée comme le mesurande. La grandeur électrique est soit un courant ou une tension soit la variation d'une résistance ou d'une impédance ; inductance ou capacité d'un condensateur. Néanmoins, la sortie d'un capteur ne dépend pas uniquement que du mesurande, elle est aussi fonction de grandeur d'influence. Il s'agit de grandeurs physiques qui viennent modifier les caractéristiques du capteur. [7]

III.3- Les caractéristiques des capteurs :

➤ Etendue de mesure :

On va examiner la courbe d'entrée-sortie d'un capteur, qu'on appelle aussi courbe d'étalonnage. C'est une courbe qui exprime la relation d'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée. Il s'agit d'une courbe en régime permanent qui ne donne pas d'informations sur les caractéristiques transitoires du capteur.

Sur cette courbe, on notera l'étendue de mesure. C'est la différence algébrique entre les valeurs extrêmes pouvant être prises par la grandeur à mesurer, pour laquelle les indications d'un capteur, obtenues à l'intérieur du domaine d'emploi en une seule mesure, ne doivent pas être entachées d'une erreur supérieure à celle maximale tolérée.

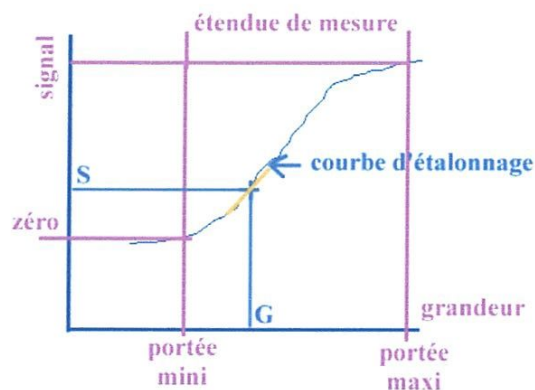


Figure III-2- Courbe d'étalonnage

On appelle portées les valeurs limites de la grandeur à mesurer correspondant à cette étendue de mesure; et zéro la valeur de l'information de sortie du capteur correspondant à la portée minimale. De même que la portée minimale n'est pas toujours nulle, le zéro ne correspond pas systématiquement à une sortie nulle.

➤ **Sensibilité :**

La sensibilité c'est la variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.

Pour une valeur donnée de la grandeur à mesurer G, la sensibilité s'exprime par le quotient de la variation de la grandeur de sortie S par la variation correspondante de la grandeur mesurée autour de la valeur G.

$$S = \left(\frac{\Delta S}{\Delta G} \right)$$

➤ **Précision :**

La Précision est la qualité qui caractérise l'aptitude d'un capteur à donner des indications proches de la valeur vraie de la grandeur mesurée.

➤ **Hystérésis :**

La réversibilité caractérise l'aptitude d'un capteur à fournir la même indication lorsqu'on atteint une même valeur de la grandeur mesurée par variation croissante continue ou par variation décroissante continue de la grandeur. En cas d'indications différentes on parle d'erreur d'hystérésis, qu'on exprime aussi en pourcentage de l'étendue de mesure.

➤ **Finesse :**

C'est la qualité qui caractérise l'aptitude d'un capteur à donner la valeur de la grandeur sans modifier celle-ci par sa présence. Cette notion est plus importante qu'il n'y parait et malgré les progrès de la miniaturisation il arrive encore fréquemment que le capteur perturbe son environnement et perçoive de ce fait une information sensiblement erronée.

➤ **Rapidité :**

Alors que les caractéristiques précédentes sont essentiellement mesurables en régime statique ou quasi-statique, la rapidité concerne le régime dynamique. Selon le type de capteur on pourra la caractériser de trois manières différentes :

- En exprimant la bande passante du capteur ;
- En indiquant la fréquence de résonance du capteur ;
- Temps de réponse à un échelon du mesurande.

➤ **Linéarité :**

On parle souvent de la linéarité d'un capteur. Cette notion caractérise la proximité entre la caractéristique réelle d'un capteur et une droite fictive qui serait celle approchant au mieux la relation réelle entre signal de sortie et grandeur mesurée sur l'ensemble de l'étendue de mesure. Et parfois on précise l'écart de linéarité comme étant le plus grand écart relatif entre la courbe réelle et cette droite ce qui est très proche de la notion de précision. [17]

III.4- Les différentes familles des capteurs :

On peut classer les capteurs en deux catégories :

III.4-1- Capteurs actifs :

Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la grandeur physique à prélever, énergie thermique, mécanique ou de rayonnement. [18]

Les effets physiques les plus classiques sont :

- **Effet thermoélectrique** : Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à des températures T_1 et T_2 , est le siège d'une force électromotrice d'origine thermique (T_1, T_2).

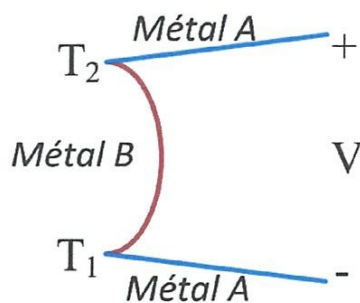


Figure III-3- Capteur à Effet thermoélectrique

- **Effet piézo-électrique** : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électriques entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées.

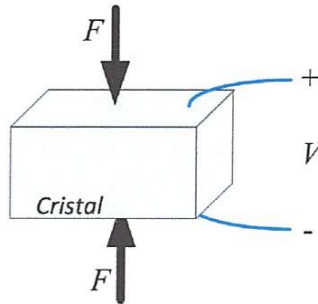


Figure III-4- Capteur à Effet piézo-électrique

- **Effet d'induction électromagnétique** : La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique (détection de passage d'un objet métallique).

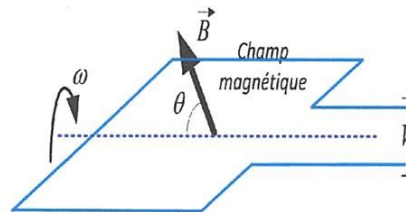


Figure III-5- Capteur à effet inductif

- **Effet photo-électrique** : La libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique.

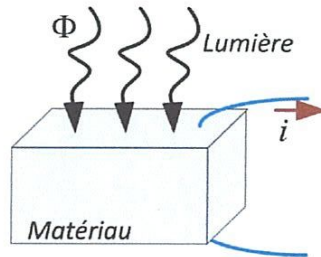


Figure III-6- Capteur à effet photo-électrique

- **Effet Hall** : Un champ magnétique B et un courant électrique I créent dans le matériau une différence de potentiel.

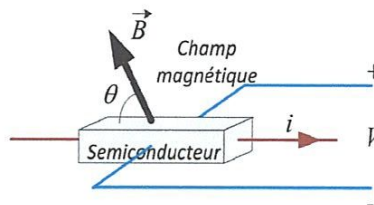


Figure III-7- Capteur à effet Hall

- **Effet photovoltaïque** : Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction PN illuminée, leur déplacement modifie la tension à ses bornes.

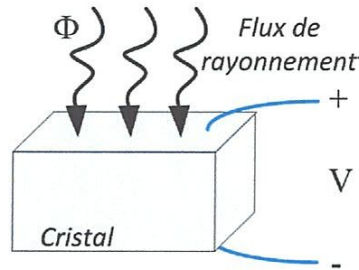


Figure III-8- Capteur à effet photovoltaïque

Grandeur physique mesurée	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement optique	Photo-émission	Courant
	Effet photovoltaïque	Tension
	Effet photo-électrique	Tension
Force	Piézo-électricité	Charge électrique
Pression		
Accélération	Induction électromagnétique	Tension
Vitesse		
Position (Aimant)	Effet Hall	Tension
Courant		

Tableau III-1– Capteurs actifs : principes physiques de base.

III.4-2- Capteurs passifs :

Les capteurs passifs ont besoin d'une énergie extérieure pour fonctionner, Il s'agit généralement d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte :

- ✓ Soit d'une variation de dimension du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile.
- ✓ Soit d'une déformation résultant de force ou de grandeur s'y ramenant, pression accélération (armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable). [19]

Grandeur mesurée	Caractéristique électrique sensible	Types de matériau utilisé
Température	Résistivité	Métaux : platine, nickel, cuivre...
Très basse température	Constante diélectrique	Verre
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité	Alliage de nickel, silicium dopé
	Perméabilité magnétique	Alliage ferromagnétique
Position (Aimant)	Résistivité	Matériaux magnéto résistants
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

Tableau III-2– Capteurs passifs : principes physiques de base

III.5- Les types d'erreurs classiques :

- **L'erreur de zéro (offset) :** La courbe de la grandeur mesurée est décalée par rapport à la courbe exacte de la grandeur. Ceci est généralement du à un oubli ou une mauvaise tare de l'appareil de mesure.

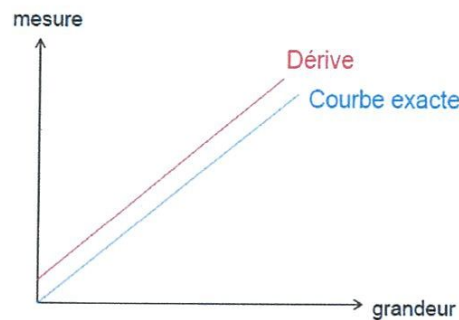


Figure III-9– Erreurs de zéro (offset)

- **L'erreur d'échelle (gain) :** C'est une erreur qui dépend de façon linéaire de la grandeur mesurée.

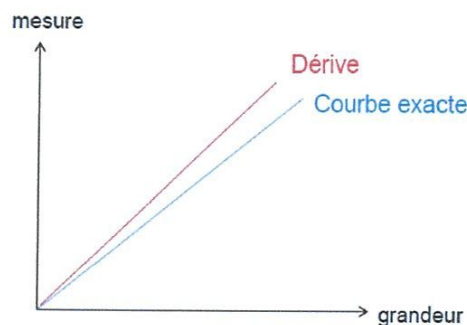


Figure III-10- Erreur d'échelle (gain)

- **L'erreur de linéarité** : La caractéristique n'est pas une droite.

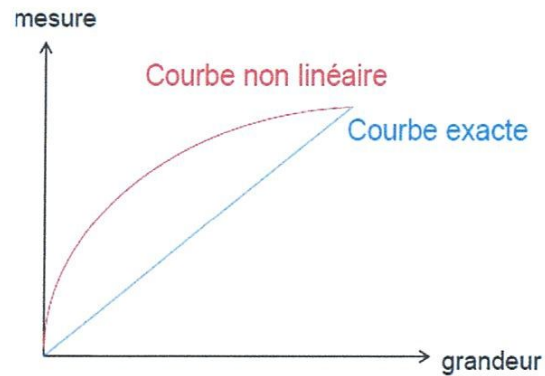


Figure III-11- Erreur de linéarité

- **L'erreur due au phénomène d'hystérésis** : Il y a un phénomène d'hystérésis lorsque le résultat de la mesure dépend de la précédente mesure. [20]

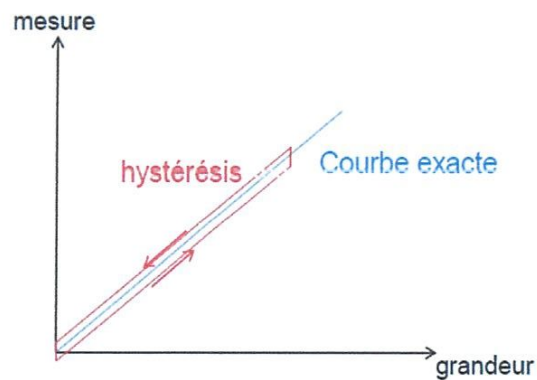


Figure III-12– Erreur due au phénomène d'hystérésis

III.6- Grandeurs d'influences :

Le capteur par ses conditions d'emploi, peut se trouver soumis non seulement au mesurande mais à d'autres grandeurs physiques qui peuvent entraîner un changement de la grandeur électrique de sortie qu'il n'est pas possible de distinguer de l'action du mesurande. Ce sont les grandeurs d'influence. Les principales sont:

- La température qui modifie les caractéristiques électriques (résistance), mécaniques et dimensionnelles des composants du capteur.
- La pression, l'accélération et les vibrations susceptibles de créer des déformations et des contraintes qui altèrent la réponse du capteur.

- L'humidité, la constante diélectrique ou la résistivité peuvent être sensibles et qui risque de dégrader l'isolation électrique entre composants du capteur ou entre le capteur et son environnement.
- Les champs magnétiques variables ou statiques. Les premiers créent d'induction qui se superpose au signal utile, les seconds peuvent modifier une propriété électrique comme la résistivité lorsque le capteur utilise un matériau magnéto-résistif.
- La tension d'alimentation (amplitude et fréquence) lorsque la grandeur électrique de sortie en dépend par le principe même du capteur.
- La lumière ambiante qui vient s'ajouter au flux lumineux à mesurer.

Afin de pouvoir déduire la valeur de m (grandeur à mesurer) de la mesure de s (signal de sortie), il est nécessaire :

- Soit de réduire l'importance des grandeurs d'influence au niveau du capteur en le protégeant par un isolement adéquat: support antivibratoire, blindages magnétiques, ...
- Soit de stabiliser les grandeurs d'influence à des valeurs parfaitement connues et d'étalonner le capteur dans ces conditions de fonctionnement. [21]
- Soit d'utiliser des montages qui permettent de compenser l'influence des grandeurs parasites: pont de Wheatstone avec un capteur identique placé dans une branche adjacente au capteur.

III.7- Les informations transmises par les capteurs :

L'information transmise par un capteur peut être :

III.7-1- Tout ou rien :

Un capteur TOR (Tout Ou Rien) est un capteur dont la sortie ne peut prendre que deux états généralement représenté par 0 et 1. Ce sont les capteurs les plus répandus en automatisation (interrupteurs de position, détecteurs de proximité...).

Les capteurs TOR ne délivrant que deux états 0 et 1 sont généralement appelés des « détecteurs ».

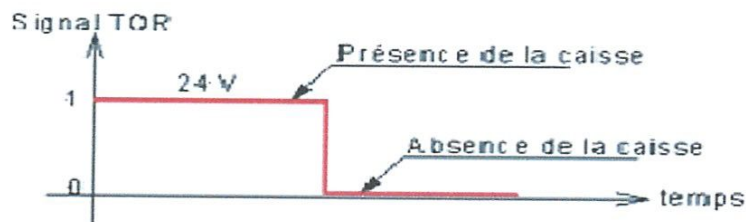


Figure III-13- Informations transmises par un capteur TOR

Domaine d'utilisation des capteurs TOR :

- Détection de la présence, d'un passage.
- Détection d'un seuil de T° (Thermostat), d'un seuil de pression (Pressostat),...

III.7-2- Analogique :

Grandeur qui évolue dans le temps et qui peut prendre une infinité de valeurs. L'information à transmettre peut varier de manière continue (la mesure de température d'un corps, L'information délivrée par un voltmètre à aiguille...).

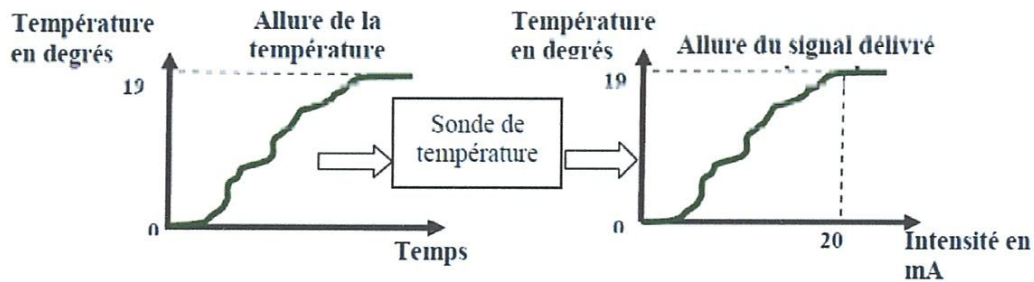


Figure III-14- Informations transmises par un capteur analogique

Domaines d'utilisation des capteurs Analogique :

- Mesure de grandeurs physiques (T° , Pression, Niveau, Tension, Force, Luminosité, Couleur,...).

III.7-3- Numérique :

Une grandeur numérique est un ensemble ordonné de grandeurs logiques.

Ces informations peuvent être délivrées sous la forme d'un code numérique binaire (avec un nombre de bits définis (0 ou 1)), d'un train d'impulsions (avec un nombre précis d'impulsions ou avec une fréquence précise).

Une information qui ne prend qu'un nombre fini de valeurs est dite numérique.

Le nombre de valeurs nécessaires pour coder une information est déterminé par la formule suivante : Nombre de valeurs = 2^N avec N étant le nombre de bits nécessaire au codage. [22]

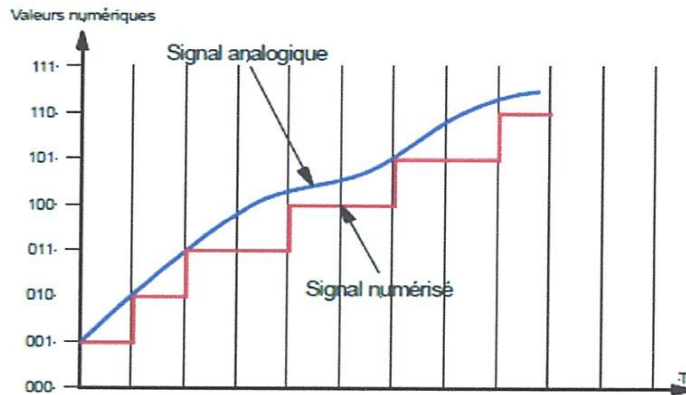


Figure III-15- informations transmises par un capteur numérique

Domaines d'utilisation des capteurs Numériques:

- Détection en continu d'une grandeur (T° , Pression, Niveau, Tension, Force, Luminosité, Couleur,...).
- Traitement numérique de l'information.

III.8- Chaîne de mesure :

Quelque soit le domaine d'emploi, un capteur n'est pas utilisé seul, il intervient dans une chaîne dite chaîne de mesure.

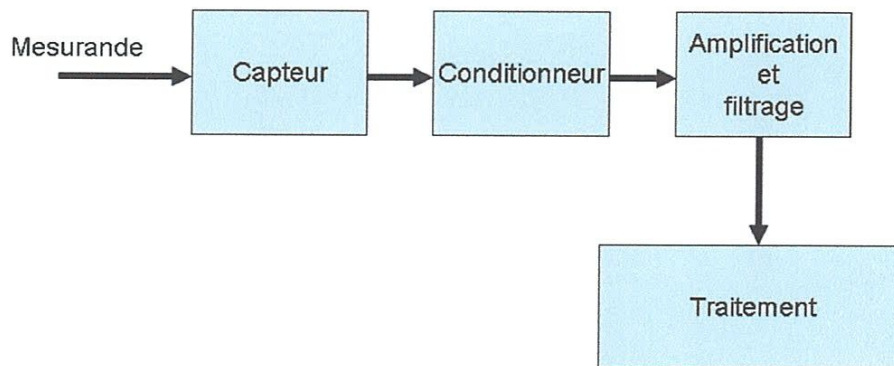


Figure III-16-Chaine de mesure

Cette chaîne de mesure est constituée : du capteur associé dans le cas d'un capteur passif à un conditionneur, d'un dispositif d'amplification et de filtrage et d'un organe de traitement. Le conditionneur a pour rôle d'apporter l'énergie nécessaire pour transformer la variation d'impédance en une grandeur électrique. Il s'agit pour les capteurs résistifs soit d'un montage diviseur de tension ou potentiométrique soit d'un pont de Wheatstone. Dans le cas des capteurs inductifs ou capacitifs, il est possible d'employer des oscillateurs.

S'il s'agit de capteur actif, il n'est pas nécessaire d'utiliser un conditionneur, le signal issue est identique à celui issue d'un générateur. Dans le cas des capteurs passifs et actifs, les signaux obtenus ont la particularité d'être d'amplitude faible, il est donc nécessaire d'amplifier le signal afin que les niveaux soit compatible avec l'organe de traitement.

L'amplification doit posséder des caractéristiques propres au domaine capteur en termes d'impédance et de réjection de mode commun. Le filtrage est nécessaire pour éliminer une partie du bruit et dans le cas où l'organe de traitement est un organe numérique pour limiter la bande passante.

Le cas de l'organe numérique est le cas le plus courant. Cet organe numérique peut être constitué d'un ordinateur, c'est-à-dire une machine de traitement équipée d'un système d'exploitation sur lequel fonctionne un logiciel de traitement.

Le traitement consiste à effectuer une acquisition de données puis un traitement : mise à l'échelle, traitement statistique ou autres. Ce type de structure se trouvera dans le domaine du mesurage ou de la qualité. Dans le domaine du contrôle de processus, l'organe de traitement sera le plus souvent constitué d'un API ou d'un microcontrôleur. Le rôle de ces organes sera alors de réaliser l'acquisition des données et de calculer la commande à appliquer. [7]

III.9- Quelques définitions des capteurs :

III.9-1- Capteur de pression :

Le capteur de pression est un dispositif destiné à convertir les variations de pression en variations de tension électrique. Lorsque la sonde est reliée à un système numérique, les variations analogiques sont d'abord converties en signaux numériques binaires par un convertisseur analogique-numérique avant d'être transmises à l'ordinateur de contrôle et de gestion. Dans un capteur de pression, on mesure la force qui s'exerce sur la surface constante et connue S d'un corps d'épreuve.

L'unité de pression fournie par la sonde peut être exprimée en différentes unités, telle que bar, pascal, etc. [23]



Figure III-17- Capteurs de pression

III.9-2- Capteur de niveau :

Un dispositif électronique qui permet de mesurer la hauteur du matériau, en général du liquide, dans un réservoir ou un autre récipient.

Les capteurs de niveau continus sont plus sophistiqués et peuvent assurer une surveillance de niveau de tout un système. Ils mesurent le niveau de liquide dans une plage, ce qui produit une sortie analogique qui est directement corrélée au niveau de la cuve. Pour créer un système de gestion de niveau, le signal de sortie est relié à une boucle de commande de procédé et à un indicateur visuel. [24]

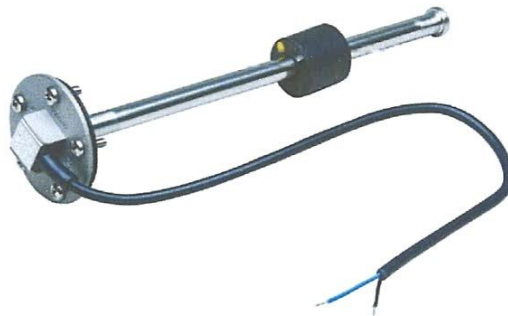


Figure III-18- Capteurs de niveau

III.9-3- Capteur de température :

Les capteurs de température (ou sondes de température) sont des dispositifs permettant de transformer l'effet du réchauffement ou du refroidissement sur leurs composants en signal électrique. Jusqu'à l'invention du thermoscope de Galilée, les hommes étaient incapables de mesurer la température. Les thermomètres virent bientôt le jour, et avec eux les unités comme le degré Celsius et le kelvin. Par la suite, les techniques automatisées voyant le jour, il fallut trouver le moyen de traduire les températures en signaux analogiques compréhensibles par des machines. On compte deux grandes familles de sondes de température :

➤ Les thermocouples :

Est un système constitué de deux fils métalliques de nature différente reliés par des jonctions. Un courant continu circule dans la boucle s'il y a une différence de température entre les deux jonctions (la jonction chaude à la température T_c et la jonction froide à la température T_f), On mesure la différence de potentiel E entre les deux jonctions.



Figure III-19- Capteur de température thermocouple

➤ **Les sondes à résistance de platine :**

Est constituée d'un filament de platine (Pt), entourant une tige de verre ou non, dont la caractéristique est de changer de résistance en fonction de la température. Sa résistance augmente en même temps que la température. Les sondes les plus couramment utilisées sont de type Pt 100. [25]



Figure III-20- Capteur de température PT100

III.9-4- Le réfractomètre (capteur de concentration) :

Les réfractomètres industriels sont conçus pour contrôler et commander des flux de processus liquides et pâteux. Ils permettent de déterminer en continu, en temps réel et avec précision des grandeurs critiques telles que la concentration, l'identité et la pureté de solutions. [26]



Figure III-21- Les réfractomètres industriels

Le réfractomètre permet de connaître la concentration d'un soluté dans un solvant connu. C'est le cas de la détermination du sucre dans le jus de fruits. De plus, avec les mesures de température d'ébullition et de fusion, la réfractométrie fait partie des tests les plus courants pour identifier les produits d'une synthèse organique.

III.10- Conclusion :

Le capteur se distingue de l'instrument de mesure par le fait qu'il ne s'agit que d'une simple interface entre un processus physique et une information manipulable. Par opposition, l'instrument de mesure est un appareil autonome se suffisant à lui-même, disposant d'un affichage ou d'un système de stockage des données.

Il existe un grand nombre de capteurs différents, ils diffèrent dans la grandeur physique qu'ils mesurent et dans le dispositif créant le signal.

Chapitre IV
Application d'une
Chaine de
Concentration de
Tomate Automatisée

1-Chaine de concentration de tomate automatisée :

La technologie de la fabrication du concentré de tomate met en œuvre plusieurs opérations unitaires telle que ; réception des tomates, lavage et le triage, blanchiment, le broyage, le préchauffage, le raffinage, la concentration, et l'appertisation.

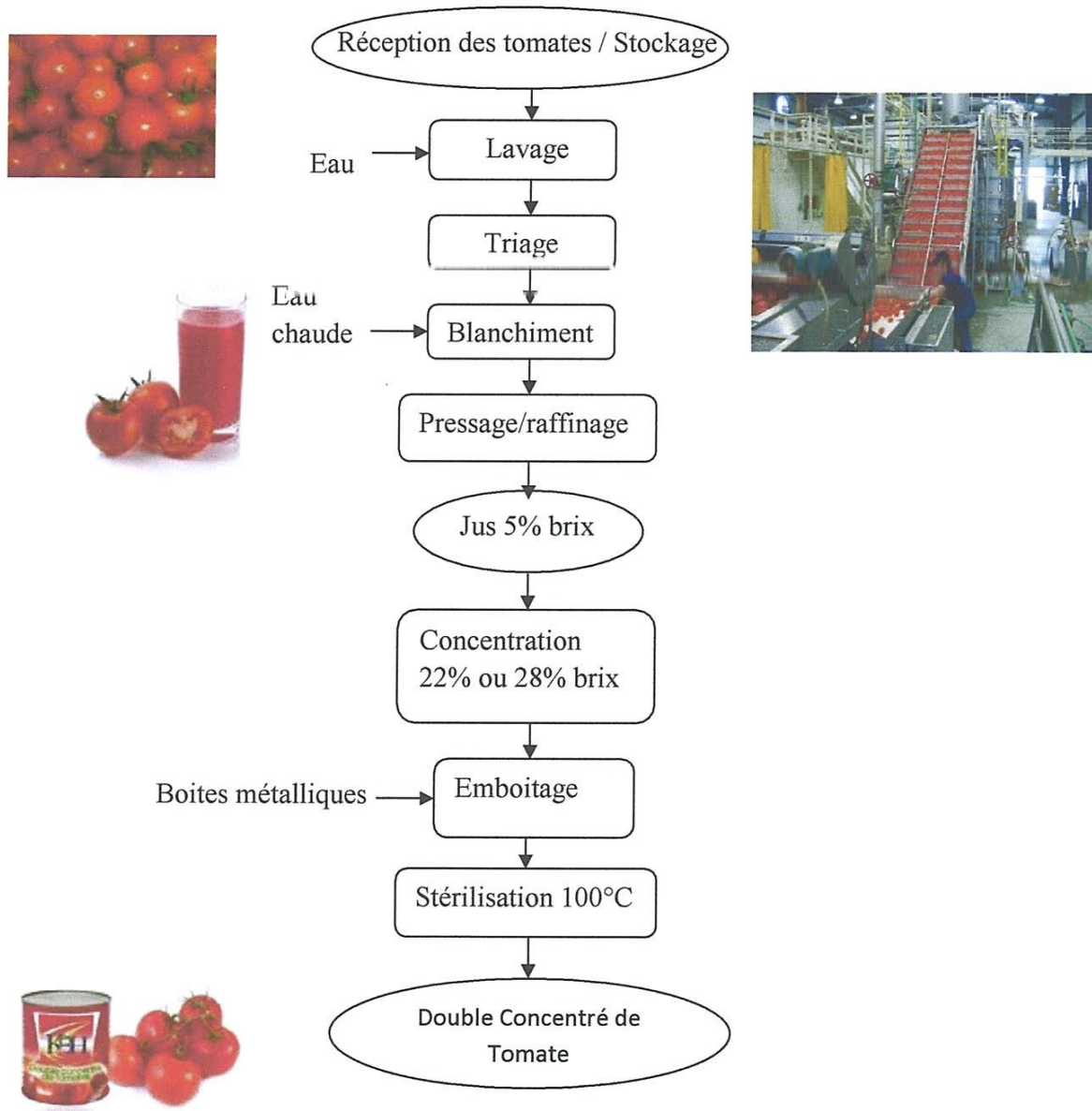


Figure IV-1- Chaîne de fabrication

Nous avons choisie l'étape de concentration pour faire notre projet. La partie électrique de concentration se réalise avec un système automatique (par l'automate programmable industriel), et un programme spécifique qui montre et permet de contrôler, commander les

vannes, les pompes, le niveau de remplissage, et Contrôler la concentration par des capteurs spécifiques.

2-Principe de travail :

L'évaporation est l'élimination du solvant d'une solution sous forme de vapeur. Pour la majorité des systèmes d'évaporation, le solvant est de l'eau et la chaleur est fournie par la condensation de vapeur. Par conséquent, la vapeur n'est pas le produit désiré et pourrait ou non être récupérée en fonction de sa valeur énergétique. Donc normalement, l'évaporation est faite en évaporant une portion du solvant produisant une solution concentrée.

Nous utilisons le terme "effet" pour décrire le corps d'où l'on extrait la vapeur de la matière première travaillant avec le même point d'ébullition.

L'évaporateur d'effet multiple est un système d'évaporation où la vapeur extraite de la matière première d'un effet est utilisée comme moyen de chauffage pour l'effet suivant à une pression moindre.

Le chauffage du produit se réalise à travers de la recirculation du même échangeur de chaleur pour ensuite être partiellement évaporé quand la pression est réduite dans la chambre flash (la colonne).

Le liquide produit est généralement chauffé à basse température pour chaque passage à travers de l'échangeur de chaleur. Pour maintenir un bon transfert dans celui-ci, il est nécessaire d'avoir une haute valeur dans le flux de recirculation.

Avec l'augmentation des effets, nous obtenons une amplification des capacités de travail tout en optimisant une relation entre la consommation énergétique et la production.

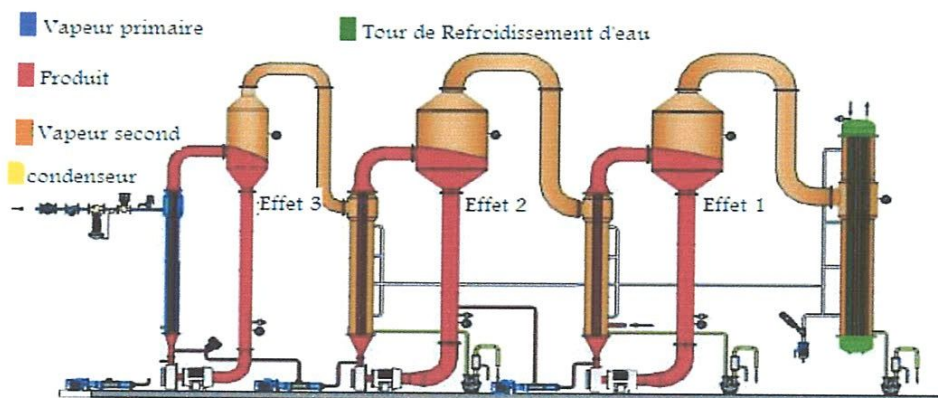


Figure IV-2- Evaporation à effet triple

Ce type d'évaporateurs a été conçu pour les industries de transformation qui souhaitent des machines de haute capacité, rassemblant à la fois une économie énergétique maximum et une quantité de main d'œuvre minimum.

Le principe de fonctionnement: le produit à concentrer par le premier effet à une température plus basse, puis passe par le deuxième effet où le niveau de concentration augmente, et enfin, la concentration désirée rejoint le troisième effet.

-Les principaux composants :

- L'automate programmable industriel.
- Capteur de pression.
- Capteur de température.
- Capteur de niveau.
- Capteur de concentration.

3-Programmation :

3-1-Organisation structurelle d'un projet :

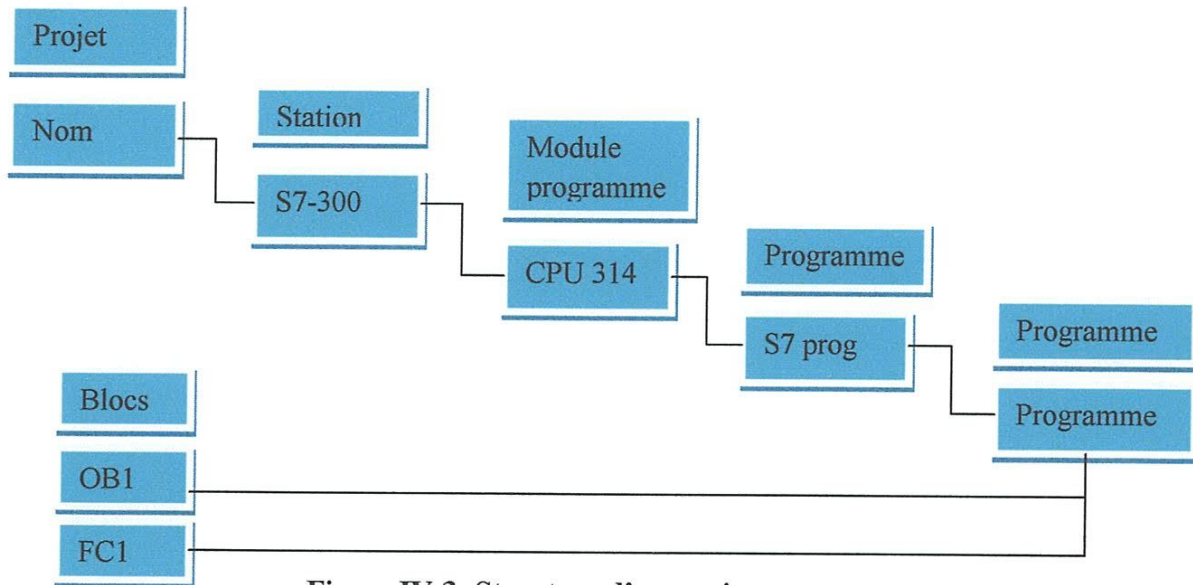


Figure IV-3- Structure d'un projet

3-2-La fonction Mise à l'échelle (SCALE) :

La fonction Mise à l'échelle (SCALE) prend une valeur entière (IN) et la convertit selon l'équation ci-après en une valeur réelle exprimée en unités physiques, comprises entre une limite inférieure (LO_LIM) et une limite supérieure (HI_LIM) :

$$OUT = [((FLOAT (IN) - K1) / (K2 - K1)) * (HI_LIM - LO_LIM)] + LO_LIM$$

Le résultat est écrit dans OUT.

Les constantes K1 et K2 sont définies selon que la valeur d'entrée est bipolaire ou unipolaire.

➤ Bipolaire : La valeur entière d'entrée est supposée être comprise entre

-27648 et 27648, donc : $K1 = -27648.0$ et $K2 = +27648.0$

➤ Unipolaire : La valeur entière d'entrée est supposée être comprise entre

0 et 27648, donc : $K1 = 0.0$ et $K2 = +27648.0$

Si la valeur entière d'entrée est supérieure à K2, la sortie (OUT) est saturée à la valeur la plus proche de la limite supérieure (HI_LIM) et une erreur est signalée. Si la valeur entière d'entrée est inférieure à K1, la sortie est saturée à la valeur la plus proche de la limite inférieure (LO_LIM) et une erreur est signalée.

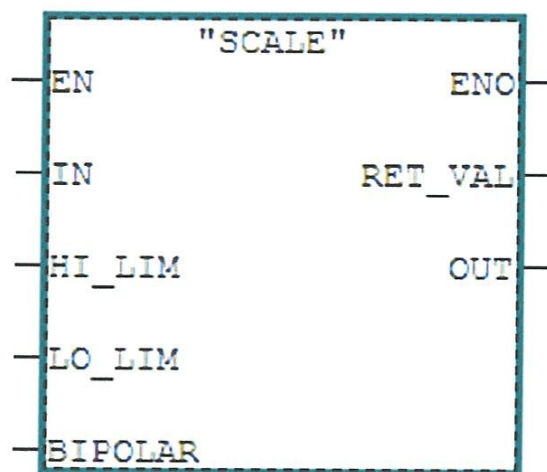


Figure IV-4- La fonction mise à l'échelle (SCALE)

- **EN** : Un état de signal "1" à l'entrée de validation active le cadre de fonction.
- **ENO** : La sortie de validation a l'état de signal "1" lorsque la fonction a été exécutée sans erreur.
- **IN** : Valeur d'entrée à convertir selon l'échelle en valeur réelle exprimée en unités physiques.
- **HI_LIM** : Limite supérieure en unités physiques.
- **LO_LIM** : Limite inférieure en unités physiques.
- **BIPOLAR** : L'état de signal "1" signifie que la valeur d'entrée est bipolaire et l'état de signal "0" qu'elle est unipolaire.

- **OUT** : Résultat de la conversion d'échelle.
- **RET_VAL** : Donne la valeur W#16#0000 en retour lorsque l'opération a été effectuée sans erreur. Pour toute valeur en retour autre que W#16#0000, reportez-vous aux informations d'erreur.

3-3-Comparer réels :

Cette opération que vous pouvez utiliser et placer comme un contact normal compare les entrées IN1 et IN2 selon le type de comparaison que vous avez sélectionné.

Si la comparaison est vraie, le résultat logique (RLG) est 1.

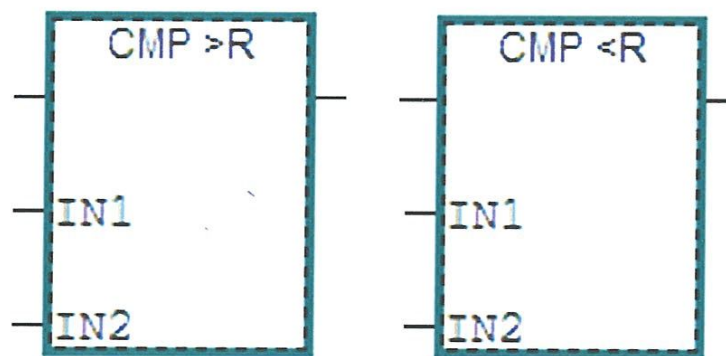


Figure IV-5- Comparateur d'un réel

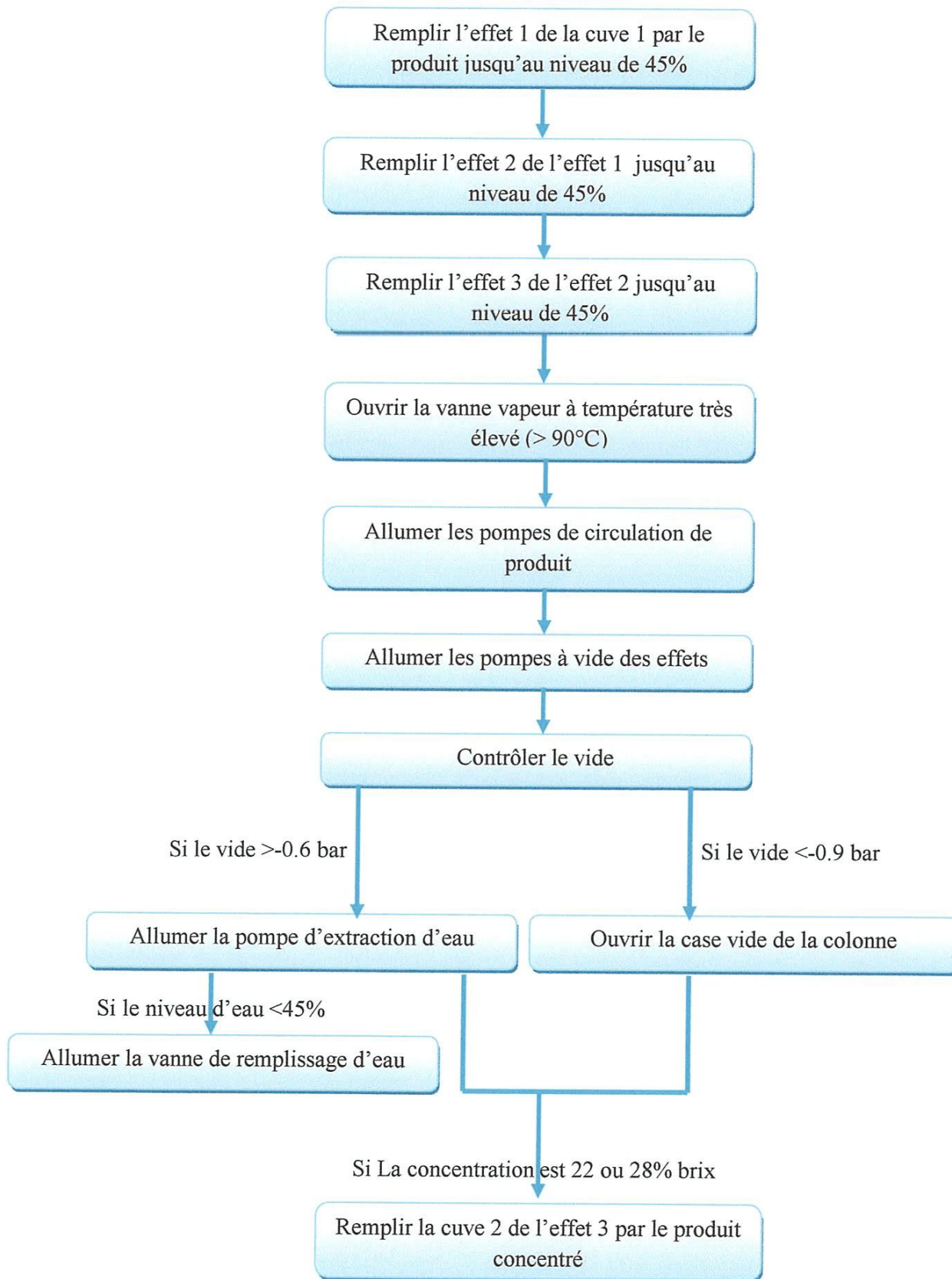
Entrée de la boîte : Résultat de la combinaison précédente

Sortie de la boîte : Résultat de la comparaison. Utilisé uniquement lorsque le RLG à l'entrée de la boîte est 1.

IN1 : Premier terme de la comparaison

IN2 : Second terme de la comparaison

3-4- L'organigramme de concentration :

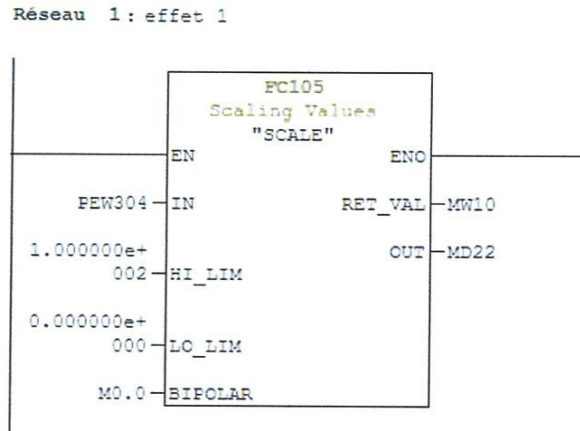


3-5-Le Programme :

❖ Etape 1 :

-Remplir Effet 1 :

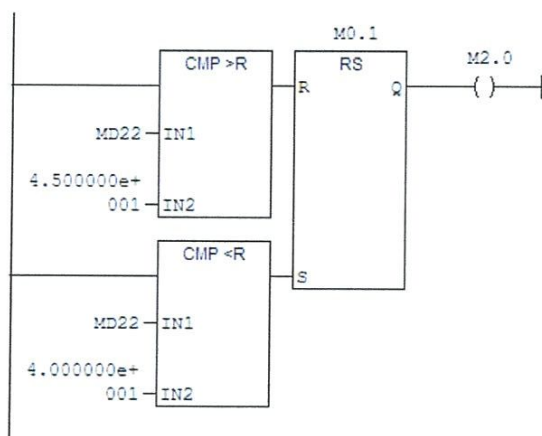
L'entrée analogique de capteur de niveau PEW304 se convertit selon l'échelle (SCALE) en une valeur réelle ; puis le résultat de la conversion s'enregistre dans la case mémoire adressé par MD22.



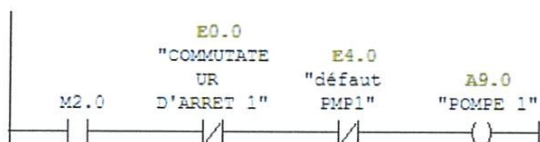
On compare le résultat de la conversion (MD22) avec le second terme (IN2) de comparateur (CMP < R) qui est 40% et là la pompe de produit s'allume pour remplir l'effet 1 de la cuve 1, si le remplissage atteint à 45%, la pompe s'éteint.

On utilise la bascule RS reliée avec les deux comparateurs pour allumer ou éteindre la pompe.

Réseau 2 : la comparaison

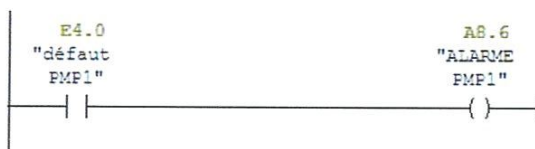


Réseau 3 : Titre :



Si nous voulons arrêter la pompe, on appuie sur le « Commutateur d'arrêt 1 » manuellement.

Réseau 21 : ALARME POMPE 1

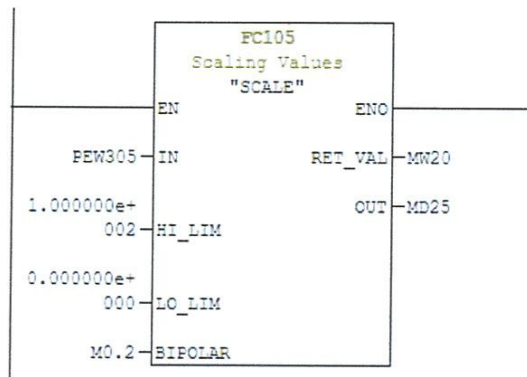


S'il y a un défaut à la pompe, le voyant d'alarme s'allume.

-Remplir Effet 2 :

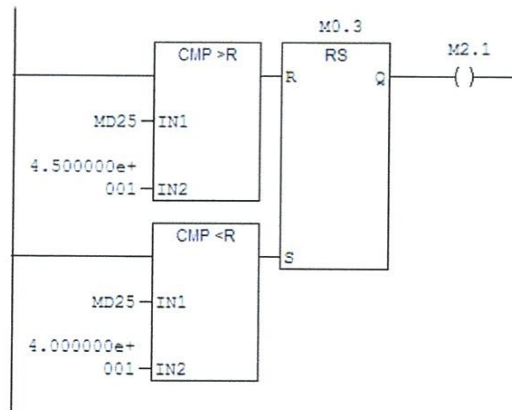
Ensuite les mêmes procédures se font pour passer le produit de l'effet 1 à l'effet 2 mais l'entrée analogique se change par une autre valeur le PEW305, et le résultat s'enregistre dans la case mémoire adressé par MD25.

Réseau 4 : effet 2

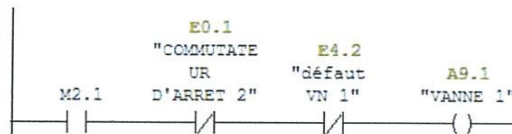


On fait la même comparaison de l'effet 1 et l'électrovanne 1 s'ouvre pour remplir l'effet 2.

Réseau 5 : la comparaison



Réseau 6 : Titre :



Si nous voulons arrêter l'électrovanne 1, on appuyer sur le « Commutateur d'arrêt 2 » manuellement.

Réseau 22 : ALARME ELECTROVANNE 1

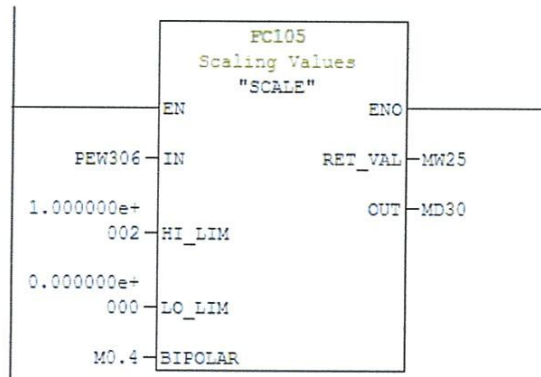


S'il y a un défaut à l'électrovanne 1, le voyant d'alarme s'allume.

-Remplir Effet 3 :

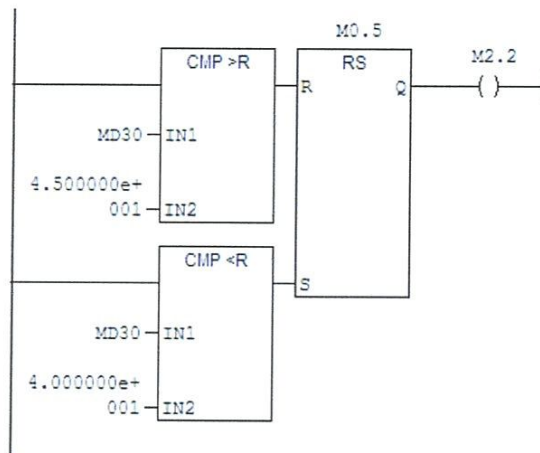
Et pour faire passer le produit de l'effet 2 à l'effet 3 on suit toujours les mêmes procédés suscités, mais l'entrée analogique est PEW306 et le résultat enregistré dans la case mémoire adressé par MD30.

Réseau 7 : effet 3

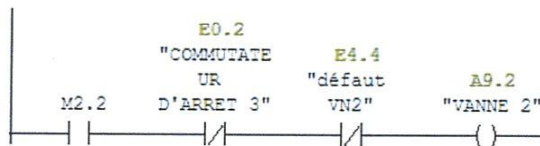


A ce niveau l'électrovanne 2 s'ouvre et l'effet 3 commence à se remplir après la comparaison.

Réseau 8 : la comparaison



Réseau 9 : Titre :



Si nous voulons arrêter l'électrovanne 2, on appuyer sur le « Commutateur d'arrêt 2 » manuellement.

Réseau 23 : ALARME ELECTROVANNE 2



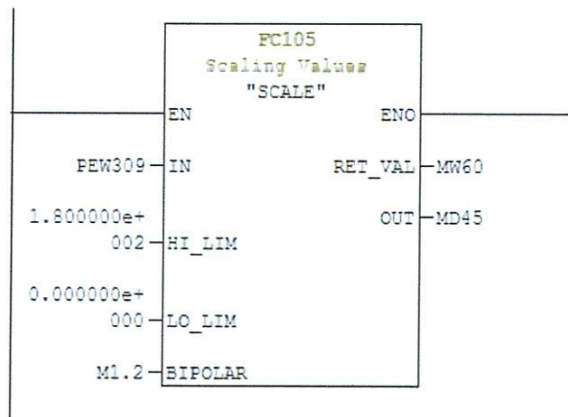
S'il y a un défaut à l'électrovanne 2, le voyant d'alarme s'allume.

❖ **Etape 2 :**

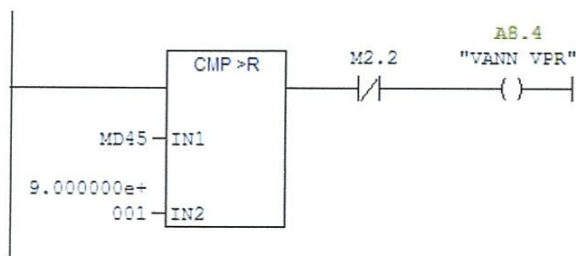
-L'évaporation :

Après le remplissage du dernier effet on ouvert la vanne vapeur pour vaporiser le produit. On convertit l'entrée analogique de capteur de température PEW309 selon l'échelle en valeur réelle, varier de 0°C à 180°C et on enregistre le résultat dans case mémoire adressé par MD45. Quand la température est supérieure à 90°C la vanne est ouverte, si elle est inférieure à 90°C, la vanne vapeur se ferme.

Réseau 17 : VANNE VPR



Réseau 18 : Titre :

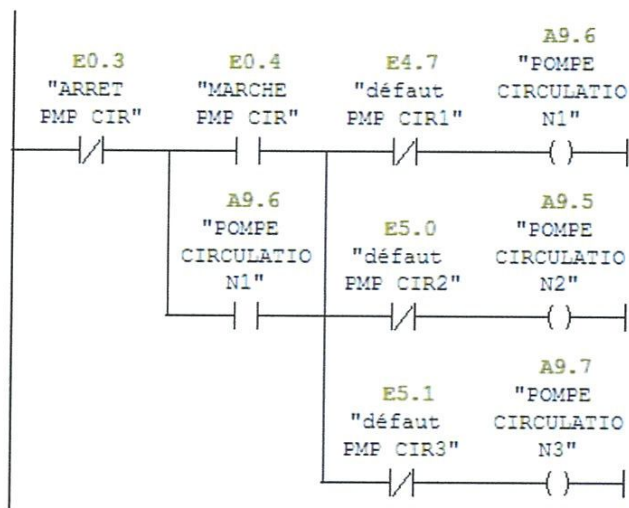


❖ **Etape 3 :**

-Pompe de circulation :

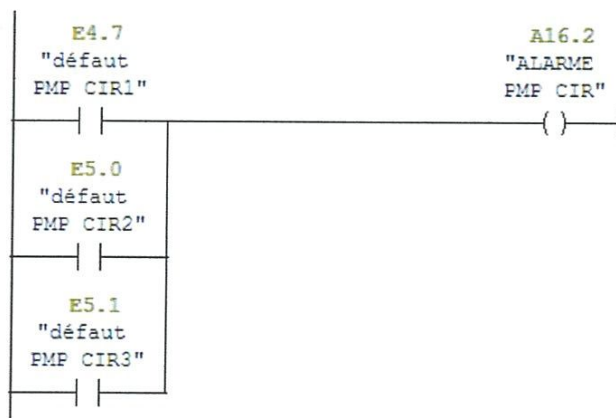
On allume les pompes de circulation de produit des trois effets par un bouton poussoir Marche et on éteint par un autre bouton arrêt.

Réseau 10 : pompe de circulation



Dans le cas ou il y à un défaut de l'une des pompes de circulation, le système d'alarme s'allume.

Réseau 25 : Titre :

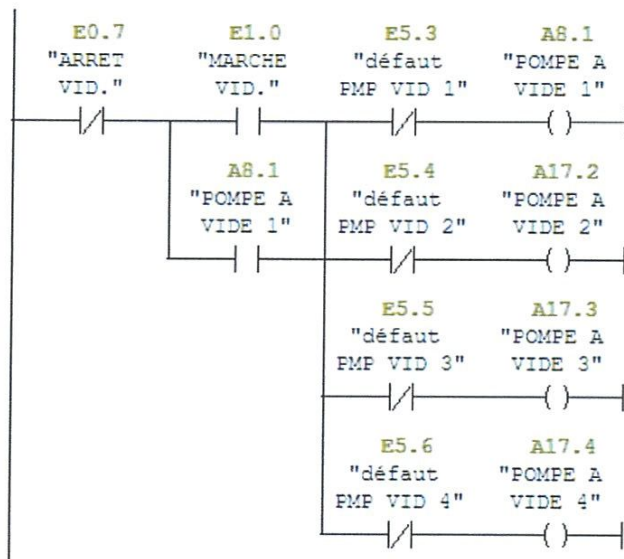


❖ **Etape 4 :**

-Pompe à vide :

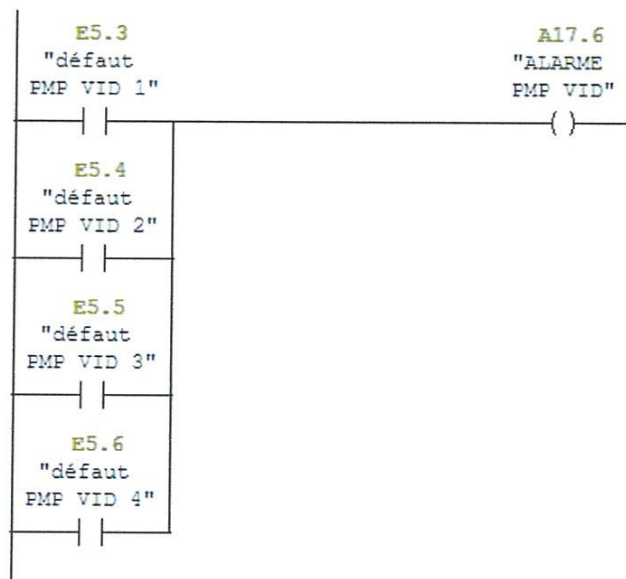
Après l'ouverture de la vanne vapeur on allume les pompes à vides des effets pour extraire le vide issu de l'évaporation par un bouton poussoir Marche et on éteint par un autre bouton arrêt.

Réseau 12 : POMPE A VIDE



S'il y a un défaut de l'une des pompes à vides, le système d'alarme s'allume.

Réseau 30 : Titre :

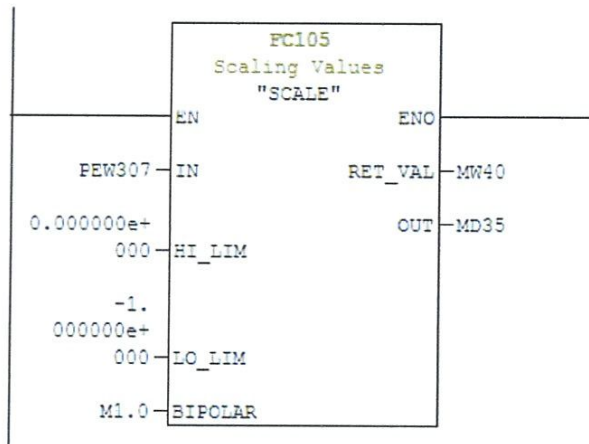


-La Case vide de la colonne :

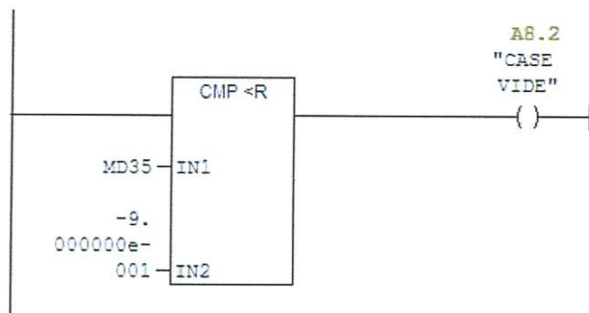
On ouvre la case vide de la colonne dans le cas ou il y a une augmentation de vide.

On convertie l'entrée analogique de capteur de pression PEW307 selon l'échelle en valeur réelle varier de 0 bar à -1 bar et on enregistre le résultat dans la case mémoire adressé par MD35. Quand le vide est inférieur à -0,9 bar la case vide s'ouvre.

Réseau 13 : case vide



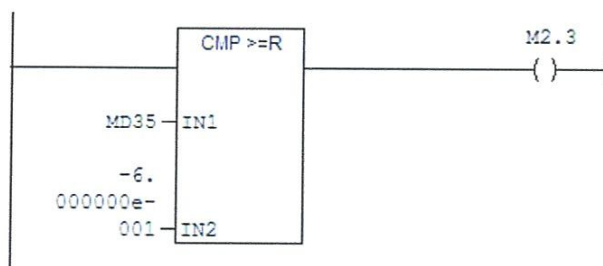
Réseau 14 : Titre :



-Pompe d'extraction :

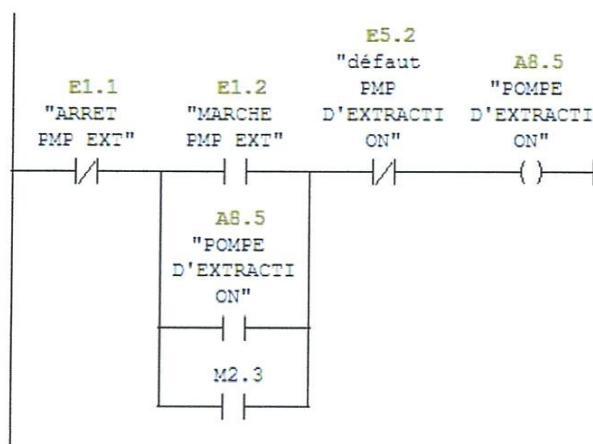
Si le vide est supérieur à -0,6 bar, la pompe d'extraction d'eau va être allumée.

Réseau 19 : EMOPE D'EXTRACTION



On peut aussi allumer et éteindre la pompe d'extraction par les boutons poussoirs Marche/Arrêt.

Réseau 20 : Titre :



S'il y a un défaut de la pompe d'extraction, le voyant d'alarme s'allume.

Réseau 29 : Titre :

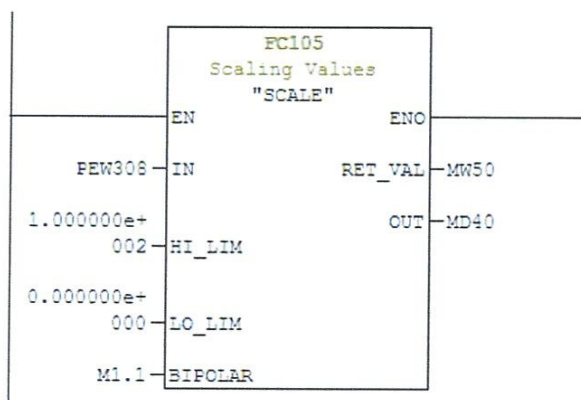


-La vanne de remplissage de la colonne :

S'il ya une diminution d'eau de la colonne on allume la vanne de remplissage.

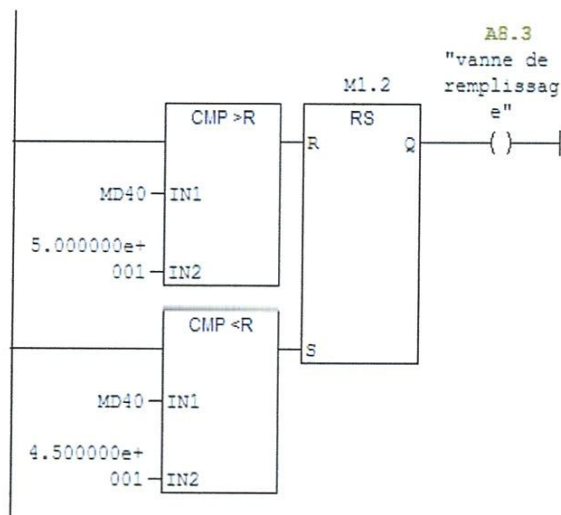
On convertie l'entrée analogique de capteur de niveau PEW308 selon l'échelle en valeur réelle varier de 0 à 100% et on enregistre le résultat dans case mémoire adressé par MD40.

Réseau 15 : vanne de remplissage de colonne



On compare le résultat avec le second terme (IN2) de comparateur (CMP < R) qui est 45% et là la vanne de remplissage d'eau s'allume, si le niveau atteint à 50%, la vanne s'éteint.

Réseau 16 : Titre :

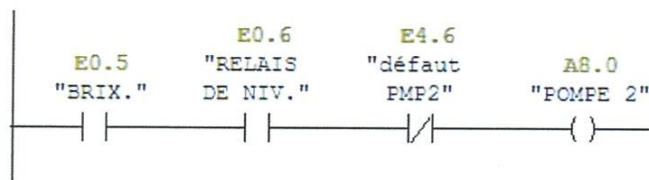


❖ **Etape 5 :**

-Remplir la cuve 2 par le produit concentré :

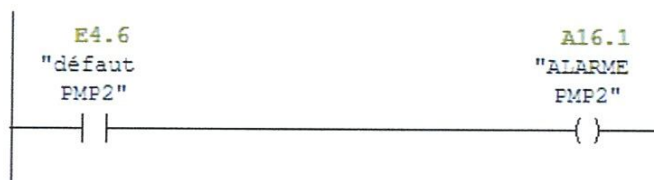
Si le produit est concentré jusqu'à 22 ou 28% brix le réfractomètre (capteur de concentration) envoie un signal à l'API, et si la cuve est vide le relais de niveau envoie aussi un signal à l'API, avec ces conditions la pompe de produit va être allumée pour remplir la cuve 2.

Réseau 11 : la cuve



S'il y a un défaut de la pompe de produit, le système d'alarme s'allume.

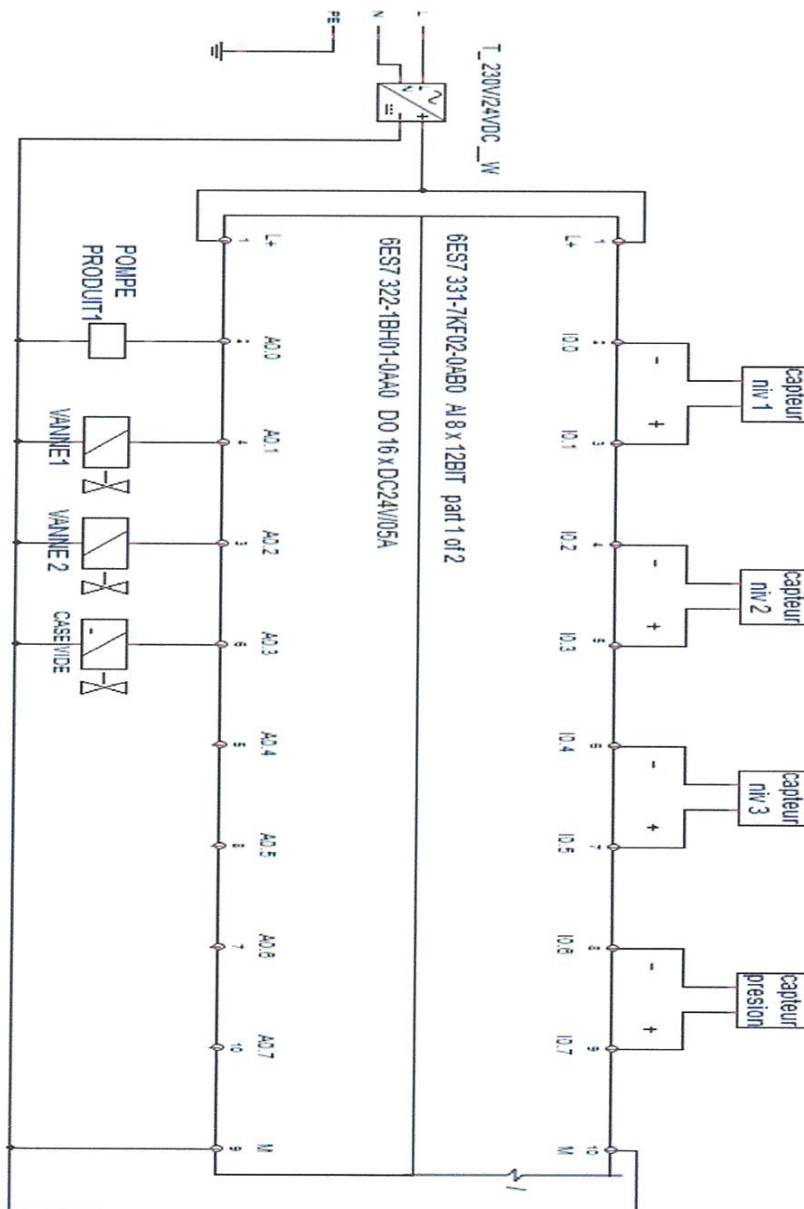
Réseau 24 : Titre :



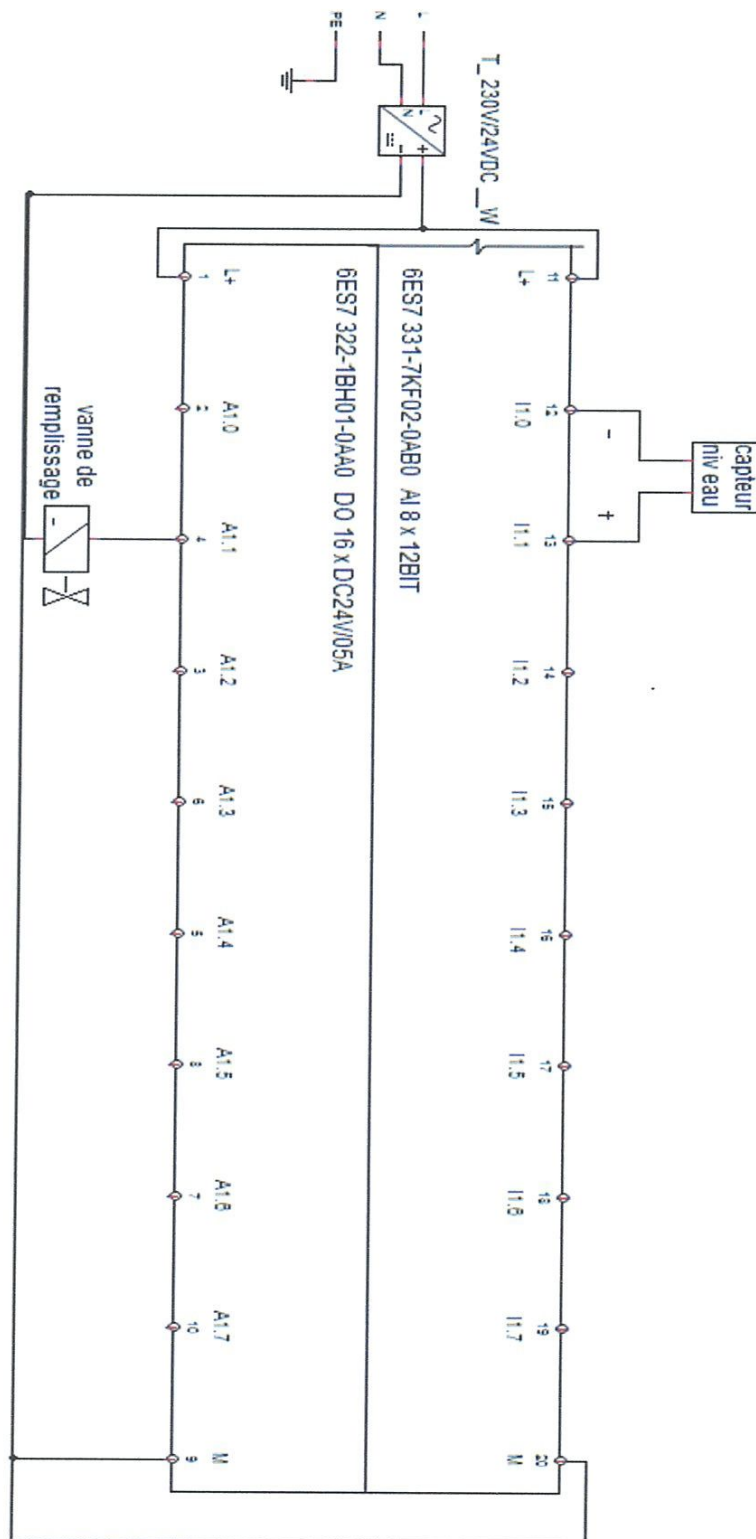
4-La partie commande de projet :

La partie commande est la partie qui sert à donner l'ordre. Elle permet d'activer ou d'éteindre la partie puissance.

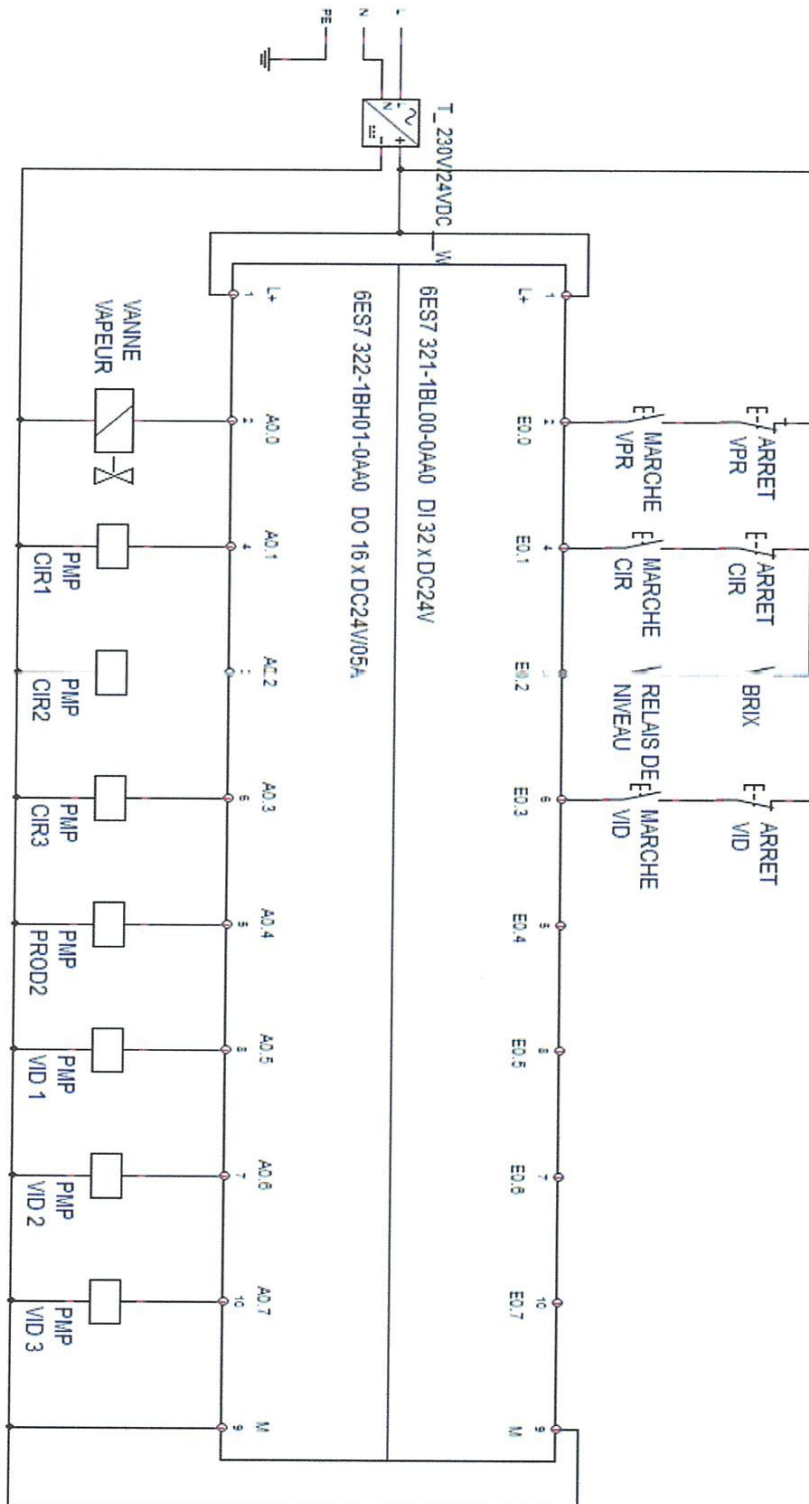
Le schéma suivant représente la partie commande de notre projet, qui contient 4 capteurs analogiques (3 capteurs de niveau des effets et un capteur de pression de vide) pour commander les pompes et les électrovannes, ces capteurs reliés avec un module d'entrée analogique de 12 bits. Les pompes et les électrovannes (des bobines) reliées avec un module de sortie TOR de 16 bits, les deux modules sont alimenté par un courant continue et une tension de 24V.



Le schéma suivant contient un capteur de niveau de la colonne pour commander la vanne de remplissage d'eau (même explication de schéma précédent).



Le montage ci-dessous contient des boutons poussoirs (marche/arrêt) et des contact raccordées avec un module d'entrée TOR de 32 bits pour commander la vanne vapeur, les pompes de circulation, la pompe produit, et les pompes à vide, qui sont liés avec un module de sortie TOR de 16 bits.



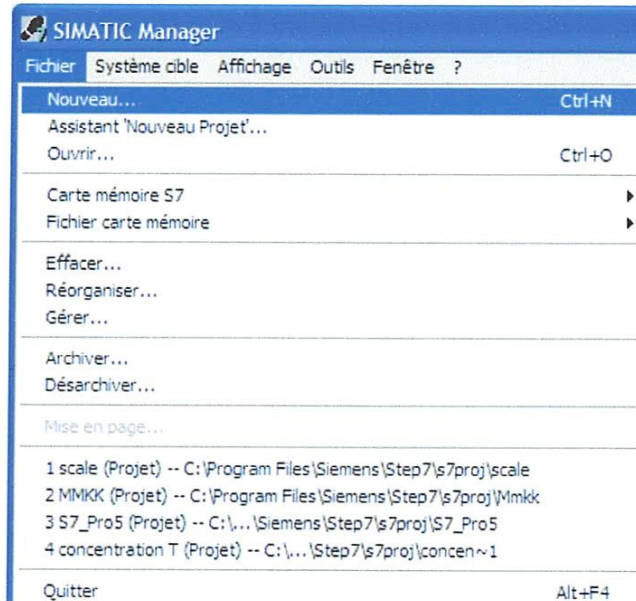
5-Conclusion :

Cette application m'a permis de découvrir dans le détail de l'automate programmable industriel et ses composants, ainsi de comprendre de près son rôle dans le système automatisé, et permis aussi comment travailler avec son logiciel de programmation.

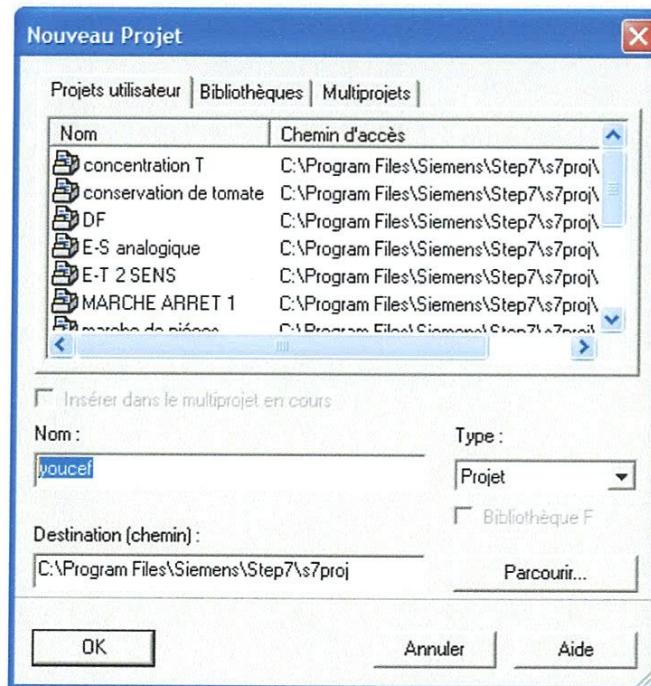
Annexe

➤ Création d'un projet :

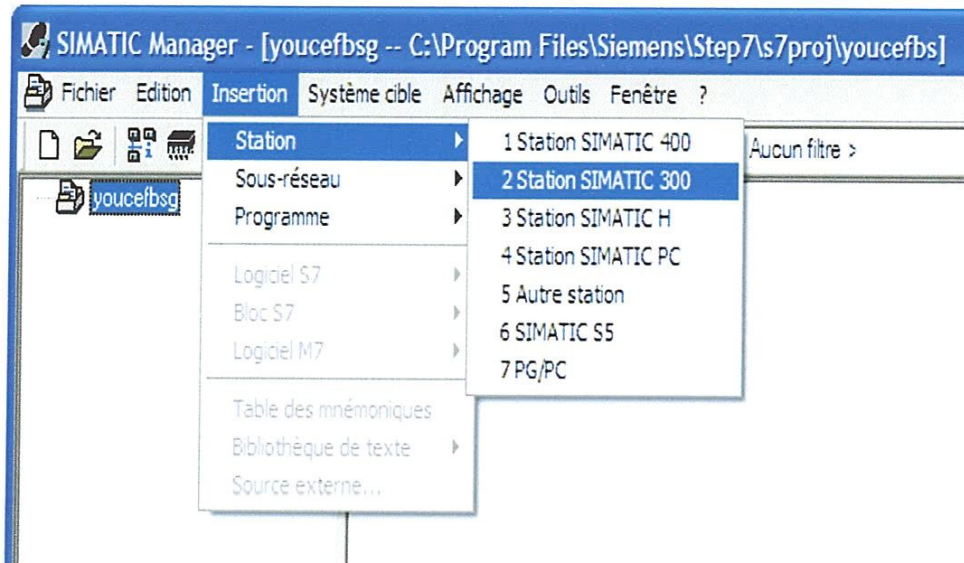
Un projet contient la description complète de notre automatisme. Il comporte donc deux grandes parties : la description du matériel (configuration), et la description du fonctionnement (le programme).



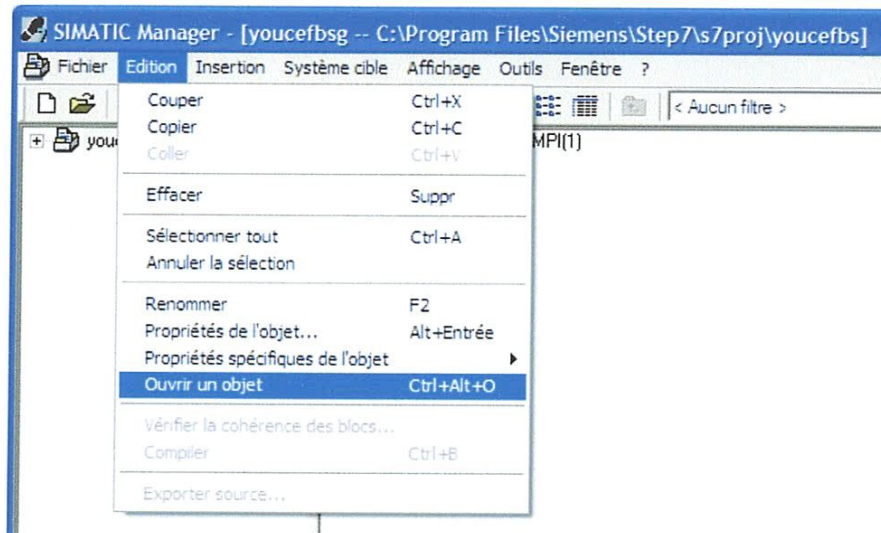
Création d'un projet



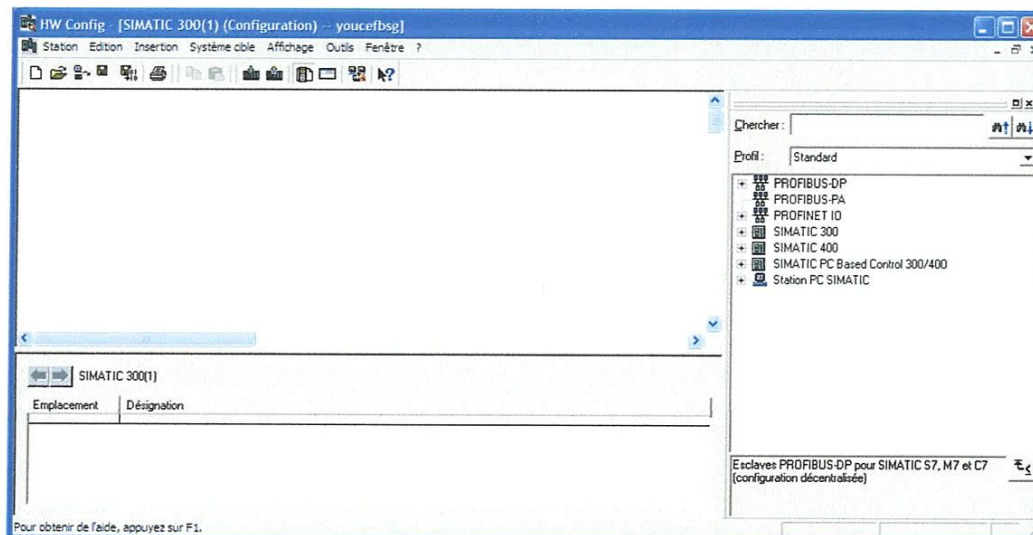
La sauvegarde du projet



L'insertion de la station



L'ouverture d'un objet



Le catalogue électronique

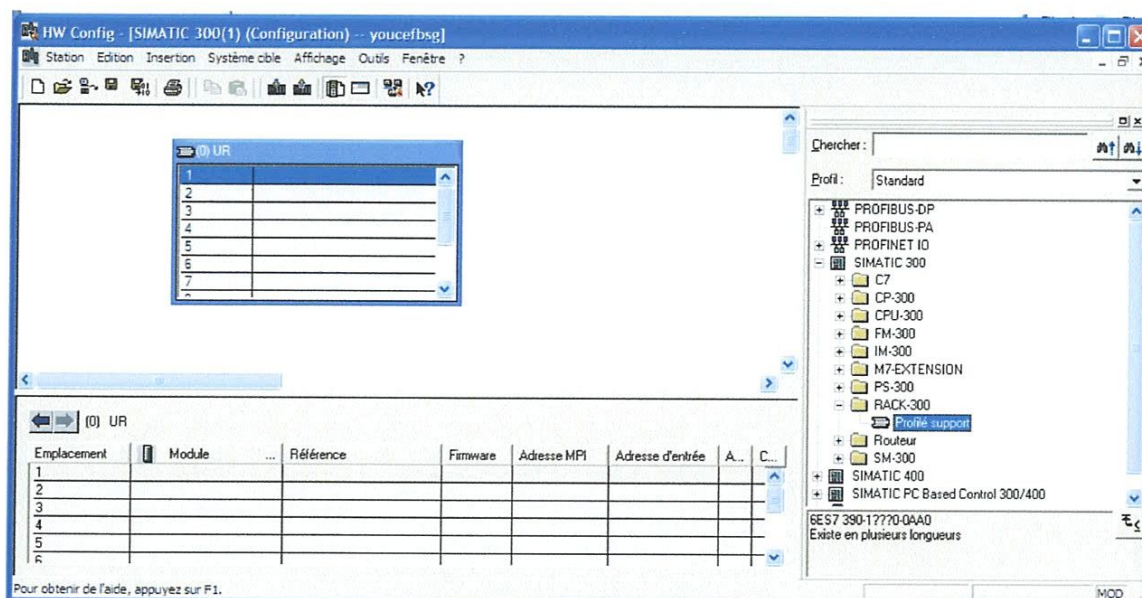


Table des modules (RACK)

Emplacement	Module
1	PS 307 5A
2	CPU 314
3	
4	DI16xDC24V
5	AI8x16Bit
6	DO16xDC24V/0.5A
7	
8	
9	
10	

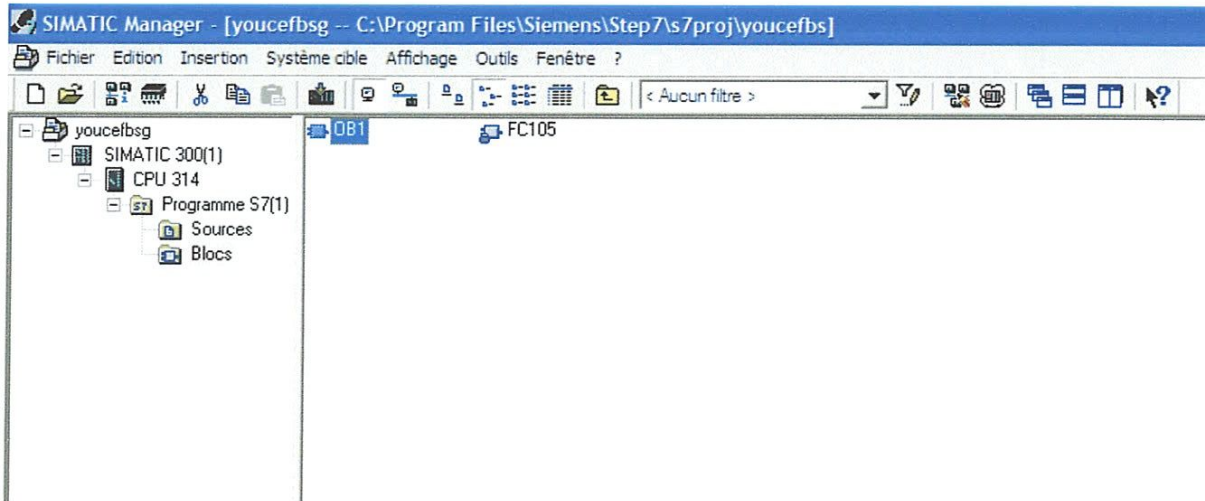
L'insertion des modules

Enregistrer et Compiler

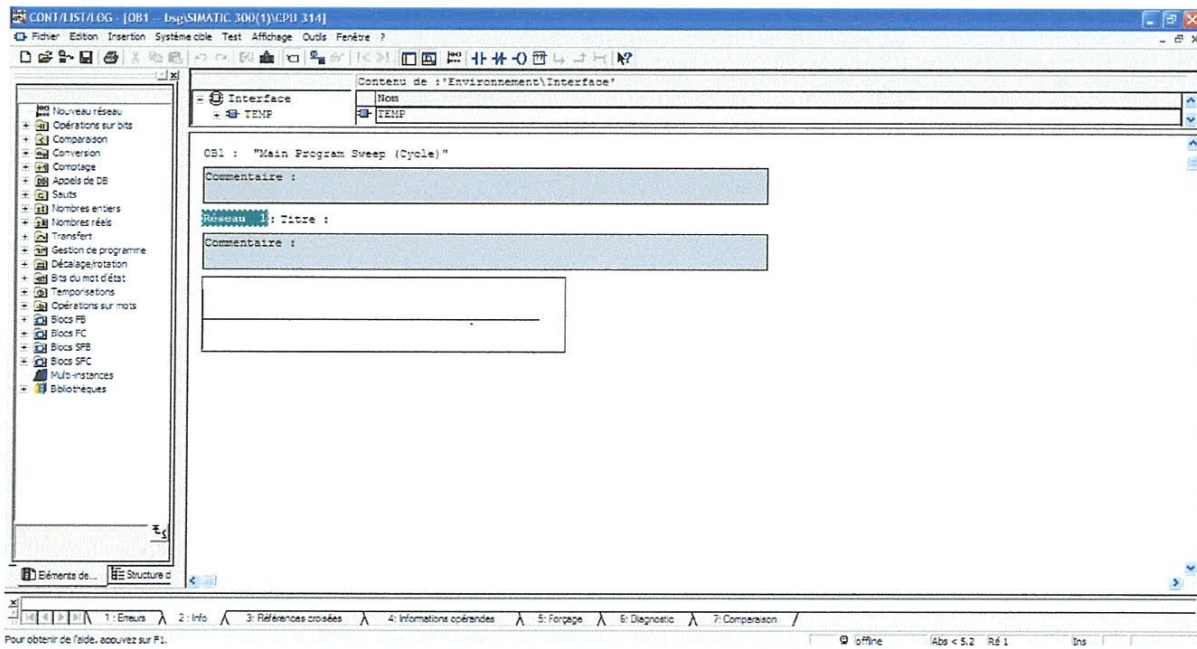
Emplacement	Modu...	R...	Fl...	A...	A...	A...	Commentaire
1	PS 307 5A	6ES7					
2	CPU 314	6ES7		2			
3							
4	AI8x16Bit	6ES7			256...		
5	DI16xDC24	6ES7			4, 5		
6	DO16xDC2	6ES7				8..9	

Pour obtenir de l'aide, appuyez sur F1.

L'enregistrement de l'ensemble de la configuration



L'entrée a l'espace de programmation par OB1



Espace de programmation

➤ **Table des mnémoniques de projet :**

Mnémonique	Opérande	type de données
ALARME PMP CIR	A 17.5	BOOL
ALARME PMP D'EXTRACTION	A 16.5	BOOL
ALARME PMP VID	A 17.6	BOOL
ALARME PMP1	A 8.6	BOOL
ALARME PMP2	A 16.1	BOOL
ALARME VN 1	A 8.7	BOOL
ALARME VN 2	A 16.0	BOOL
ARRET PMP CIR	E 0.3	BOOL
ARRET PMP EXT	E 1.1	BOOL
ARRET VID.	E 0.7	BOOL
BRIX.	E 0.5	BOOL
CASE VIDE	A 8.2	BOOL
COMMUTATEUR D'ARRET 1	E 0.0	BOOL
COMMUTATEUR D'ARRET 2	E 0.1	BOOL
COMMUTATEUR D'ARRET 3	E 0.2	BOOL
défaut PMP CIR1	E 4.7	BOOL
défaut PMP CIR2	E 5.0	BOOL
défaut PMP CIR3	E 5.1	BOOL
défaut PMP D'EXTRACTION	E 5.2	BOOL
défaut PMP VID 1	E 5.3	BOOL
défaut PMP VID 2	E 5.4	BOOL
défaut PMP VID 3	E 5.5	BOOL
défaut PMP VID 4	E 5.6	BOOL
défaut PMP1	E 4.0	BOOL
défaut PMP2	E 4.6	BOOL
défaut VN 1	E 4.2	BOOL
défaut VN2	E 4.4	BOOL
MARCHE PMP CIR	E 0.4	BOOL
MARCHE PMP EXT	E 1.2	BOOL
MARCHE VID.	E 1.0	BOOL
POMPE 1	A 9.0	BOOL
POMPE 2	A 8.0	BOOL
POMPE A VIDE 1	A 8.1	BOOL
POMPE A VIDE 2	A 17.2	BOOL
POMPE A VIDE 3	A 17.3	BOOL
POMPE A VIDE 4	A 17.4	BOOL
POMPE CIRCULATION1	A 9.6	BOOL
POMPE CIRCULATION2	A 9.5	BOOL
POMPE CIRCULATION3	A 9.7	BOOL
POMPE D'EXTRACTION	A 8.5	BOOL
RELAIS DE NIV.	E 0.6	BOOL
SCALE	FC 105	FC 105 Scaling Values
VANN VPR	A 8.4	BOOL
VANNE 1	A 9.1	BOOL
VANNE 2	A 9.2	BOOL
vanne de remplissage	A 8.3	BOOL

Conclusion Générale

Conclusion générale :

L'automatisme est une discipline importante et nécessaire dans tous les secteurs industriels. Il facilite la tâche des opérateurs intervenants dans toute installation industrielle, et ça ce qu'on a prouvé dans notre projet qu'il s'agit de la confection des étapes de la concentration de tomate à l'aide d'un système automatisée, qui comporte un automate programmable industriel représente l'élément important de la chaîne de fabrication, il assure de bonnes performances, meilleure flexibilité et facilite la maintenance, assure en plus d'un fonctionnement fiable de l'installation industrielle. Ainsi consiste des capteurs permettant l'acquisition des grandeurs physiques (niveau, température, pression, concentration...), et les convertissent en informations exploitables Aux unités de traitement. A travers ce travail on a fait sortir que l'automatisation de l'unité de production à augmenté la productivité, et amélioré la qualité de notre produit.

Ce projet m'a permis de connaître le rôle intéressant de l'API et les capteurs dans le monde industriel comme notre application ici la chaîne de concentration de tomate automatisé à triple effets.

La diversité des processus industriels nécessite des connaissances sur l'aspect processus et les différentes technologies du domaine de l'automatisme.

Bibliographie

- [1] www.oocities.org/zaatri_java/notescours/introautomation.doc
- [2] C. jossin, travail\autom\ buts del'automatisme.doc.
- [3] www.geea.org/les_automates_programmables_industriels
- [4] <http://br.cambon.free.fr/automatismecentre2.htm>
- [5] Alain gonzaga, « les automates programmables industriels », geea, 2004.
- [6] Polytech marseille département de mécanique énergétique, « automates programmables industriels », bergougnoux, 2004/2005.
- [7] Philippe meyne, « généralités sur les capteurs », université paris 12, 2008/2009.
- [8] www.systemes_automatisees_bannaladi.fr/cours/structure/1_sa.pdf
- [9] Philippe, « automates programmables industriels », le brun, 1999.
- [10] http://bernarderic4926.perso.sfr.fr/dr/automatisme/api/dr_api.pdf
- [11] Philippe, « l'automate programmable industriel », hoarau, 2001.
- [12] www.geea.org/les_automates_programmables_industriels
- [13] Simatic, « automate programmable s7-300 caractéristiques des cpu », 2001.
- [14] <http://www.siemens-tia-portal-v13-step-7-professional-v13.htm>
- [15] www.electrain.composants_electriques_electroniques_et_modelisme_ferroviaire/les_automates_programmables_industriels.htm
- [16] www.itereva.org/sti/prod/etc/04/c041/32/tpms/cours.html
- [17] Michel.hubin.pagesperso-orange.fr/capteurs/metro/chap_met2.htm
- [18] https://cours.etsmtl.ca/gpa668/acours/chapitre_01_668_h14.pdf
- [19] Christian bissieres, « acquisition d'une grandeur physique (capteurs) », ts iris
- [20] www.gte.univ-littoral.fr/les_capteurs.pdf.htm
- [21] Sahraoui mohamed, « capteurs et métrologie », université mohamed khider biskra, 2012/2013.
- [22] www.lycee-ferry-versailles.fr/capteur/cours_capteurs.html

[23] Barthelemy célia et maisse benjamin, « capteur de pression capacitif »

[24] www.omega.fr/prodinfo/mesure-de-niveau.html

[25] www.cours-types-de-capteurs-de-temperature.html

[26] www.sartorius.com/fileadmin/media/wp-process_refractometry-f.html
