

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المركز الجامعي بلحاج بوشعيب لعين تموشنت
Centre Universitaire BELHADJ Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de **Master** en :

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

Etude d'un Système Automatisé
« Cas d'une Serre »

Présenté Par :

- 1) Mr BENDIDANI Sohbi
- 2) Mr MILOUD ABID Aboubakr Essedik

Devant le jury composé de :

Président :	Mr BENZAZZA Baghdadi	MAA au CUBBAT
Examineur :	Mr AISSOU Massinissa	MCA au CUBBAT
Encadrant :	Mr ZEBENTOUT Abdel-Djawad	MCB au CUBBAT

Année universitaire 2017/2018

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents qui m'ont aidé et m'ont encouragé

durant toutes mes études

A toute ma famille,

A mes chers frères, surtout 'M. Hamza' et mes chères sœurs,

A tous mes amis, surtout E. Ahmed et T. Kheira et M.

Mohamed avec lesquels j'ai partagé mes

Meilleurs moments.

Que dieu leur accorde santé et prospérité.

Aboubaker

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour,

leur tendresse, leur soutien et leurs prières

tout au long de mes études,

A ma chère sœur 'B. Saida 'et à tous mes frères pour leurs

encouragements permanents, et leur soutien moral,

A ma fiancée 'H. Samira'

A mes amis M. Adel et H. Rahim et B. Zakaria, pour leur

appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon

parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement

de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Que dieu leur accorde santé et prospérité.

Sohbi

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions Allah, le tout puissant qui nous a donné la volonté, la force et la patience pour élaborer notre travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui on voudrait témoigner toute notre reconnaissance.

Nos vifs remerciements à notre encadreur Mr ZEBENTOUT Abdel-Djawad pour son aide précieuse, ses conseils constructifs et ses orientations bénéfiques et objectives pour la réalisation de notre projet de fin de d'études.

Nos remerciements vont également aux membres du jury Mr BENAZZA Baghdadi et Mr AISSOU Massinissa pour avoir accepté d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions et remarques.

Nos remerciements vont aussi à Messieurs ABDI Sidi Mohamed et BEN ALLAL Zoubir pour leurs conseils et contributions dans la partie simulation.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour leur soutien moral.

Table des matières

Table des matières	1
Liste des figures	4
Introduction Générale.....	7

Chapitre I

Généralités sur les Serres

I.1. Introduction	9
I.2. Définition et avantages de la serre	9
I.3. Les différents types de serre.....	10
I.3.1. Serre tunnel ou serre souterraine pour le maraîchage	10
I.3.2. Serres en verre « polyvalentes »	11
I.3.3. Mini serres « balcon ou châssis »	12
I.3.4. Serre mobiles	13
I.4. Structure de serre.....	14
I.5. Conclusion.....	15

Chapitre II

Structure d'un Système Automatisé

II.1. Introduction	17
II.2. Définition d'un système automatisé.....	17
II.2.1. Avantages	17
II.2.2. Inconvénients	18
II.3. Structure d'un système automatisé.....	18
II.4. Poste de contrôle	19
II.5. Partie commande	19

II.6. Partie opérative.....	21
II.6.1. Pré-actionneur	22
II.6.2. Actionneur.....	23
II.6.3. Capteurs	25
II.7. La partie relation (PR).....	28
II.8. Conclusion	29

Chapitre III

Gestion du Climat d'une Serre

III.1. Introduction	31
III.2. Principaux paramètres climatiques.....	31
III.2.1. Température.....	32
III.2.2. Humidité	33
III.2.3. Éclairage	35
III.3.1. Capteur de température.....	38
III.3.2. Capteurs d'humidité de l'air	40
III.3.3. Capteur d'humidité du sol	42
III.3.4. Les Capteurs de lumière	43
III.4. Choix des capteurs	46
III.4.1. Capteur de température et d'humidité atmosphérique.....	46
III.4.2. Capteur d'humidité du sol	47
III.4.3. Capteur d'éclairement	47
III.4.4. Détecteur de niveau	48
III.4. Les actionneurs et pré actionneurs	49
III.4.1. Electrovanne.....	49
III.4.2. Pompe électrique	50
III.4.3. Extracteur.....	50
III.4.5. Vérin	50
III.4.5. Electrovanne chauffage	51
III.4.7. Eclairage artificiel.....	52
III.5. Conclusion.....	52

Chapitre VI
Simulation du Fonctionnement de la Serre

VI.1. Introduction	54
VI.2. Présentation du module utilisé	54
VI.2.1. Automate programmable LOGO	54
VI.2.2. Fonctionnalités de LOGO	55
VI.2.3. Caractéristiques techniques de LOGO	55
VI.3. Langages de programmations utilisés	55
VI.3.1. Langage LADDER	55
IV.3.2. Langages de commande « GRAFCET »	58
VI.4. Automatisation des fonctions d'une serre	60
VI.4.1. Automatisation de la serre par GRAFCET	62
VI.4.2. Etapes de programmation sur LOGO	66
VI.4.3. Commande du fonctionnement de la serre sur LOGO	71
VI.5. Conclusion	74
Conclusion Générale	76
Bibliographie	78
Webographie	81

Liste des figures

Figure I. 1: Exemple de serre pédagogique	9
Figure I. 2 : Serre tunnel	11
Figure I. 3: Serre en verre	11
Figure I. 4 : Serre châssis	12
Figure I. 5 :Serre de balcon	13
Figure I. 6 : Serre mobile	14
Figure II. 1 : Situation de l'automate dans un système automatisé de production	19
Figure II. 2 : Structure interne d'un API	20
Figure II. 3: Image d'un Contacteur	22
Figure II. 4:Distributeur pneumatique	23
Figure II. 5 : Image et structure d'un relais	23
Figure II. 6 : Vérin pneumatique double effet	24
Figure II. 7: Vérin simple effet avec son distributeur.....	24
Figure II. 8 : Vérin double effet avec son distributeur	25
Figure II. 9: Moteur électrique	25
Figure II. 10: Exemple de Capteurs	26
Figure II. 11: Fonction logique d'un capteur TOR	27
Figure II. 12 : Fonction d'un capteur analogique	28
Figure II. 13 : Fonction d'un capteur numérique	28
Figure II. 14: Exemple de pupitre de commande	29
Figure III. 1: Schéma de principe d'un thermocouple	39
Figure III. 2: Les sondes RTD	39
Figure III. 3 : Les thermistances	40
Figure III. 4 : Exemples de capteurs de température	40
Figure III. 5: Capteurs capacitifs	41
Figure III. 6 : Capteur résistif	42
Figure III. 7: Tensiomètre	43
Figure III. 8 : Photorésistance LDR	44
Figure III. 9: Photodiode	45
Figure III. 10: Phototransistor	46

Figure III. 11: Capteur DHT11	46
Figure III. 12: Capteur FC-28	47
Figure III. 13: Circuit associé à la LDR et Graphe de la résistance en fonction de l'illumination	48
Figure III. 14: Schéma de principe	49
Figure III. 15: Electrovanne	49
Figure III. 16: Pompe à eau	50
Figure III. 17: Extracteur.....	50
Figure III. 18: Vérin de la serre du LINS	50
Figure III. 19: Exemple de ventilateur	51
Figure III. 20: Exemple d'électrovanne - chauffage	51
Figure III. 21: Exemple de radiateur - chauffage	51
Figure III. 22: Exemple d'éclairage artificiel	52
Figure VI. 1: API LOGO	55
Figure VI. 2: Exemple de langage en LADDER	56
Figure VI. 3: Concepts de base d'un GRAFCET	59
Figure VI. 4 :Eléments de commande d'une serre	62
Figure VI. 5: Schéma général du GRAFCET de commande d'une serre.....	63
Figure VI. 6: GRAFCET pour la gestion de la température.....	64
Figure VI. 7: GRAFCET pour l'éclairage de la serre.....	65
Figure VI. 8: GRAFCET pour l'irrigation de la serre.	66
Figure VI. 9: L'interface de logiciel Siemens LOGO	67
Figure VI. 10: Création d'un nouveau programme.....	69
Figure VI. 11: Liste des composants utilisés.....	69
Figure VI. 12: Liaison entre les blocs	70
Figure VI. 13: Message d'enregistrement.....	71
Figure VI. 14: Programme d'une application en LADDER	71
Figure VI. 15: Programme de gestion de la température.....	72
Figure VI. 16: Simulation pour $T > (30 \pm \beta) ^\circ\text{C}$	73
Figure VI. 17: Simulation pour $T < (15 \pm \beta) ^\circ\text{C}$	73
Figure VI. 18: Programme de gestion de l'éclairage.....	74
Figure VI. 19: Simulation de l'éclairage naturel et artificiel.....	74

Introduction Générale

Introduction Générale

Les premières tentatives pour cultiver des plantes sous couvert dateraient de l'époque romaine. Tibère, empereur de 14 à 37 après J.-C., voulait manger des concombres à l'année, chose impossible à Rome où la température peut descendre sous le point de congélation durant l'hiver. On a donc essayé d'installer des plants de concombres sur des chariots de façon à rentrer les plantes dans des remises quand il faisait trop froid. Mais si le froid durait, les concombres mouraient faute de lumière. D'où l'idée de couvrir des structures non pas d'ardoise, mais de plaques de sélénite, une roche transparente, pour laisser entrer le soleil. Ce fut la première serre [W1].

Dès les années 1400, les techniques de fabrication des panneaux de verre s'étant beaucoup améliorées, on a commencé à utiliser de la vitre pour recouvrir les serres. On a ainsi pu agrandir les structures de façon considérable. C'était une grande période d'exploration et on rapportait des plantes de lieux exotiques : Afrique, Moyen-Orient, Asie, etc. On hébergeait ces végétaux dans des serres plus développées appelées orangeries, car on pouvait y rentrer jusqu'à des arbres - orangers, citronniers, dattiers, etc. - pendant l'hiver. D'ailleurs, le mot *serre* vient de *serrer*, dans le sens de « mettre à l'abri » [W1].

Aujourd'hui, les serres se trouvent partout et sont très utilisées pour la culture des plantes. Le développement technologique a permis d'automatiser les serres et d'augmenter la production en toute saison. Dans notre mémoire, nous allons essayer de comprendre le fonctionnement d'une serre automatisée et de faire des simulations. Pour cela nous avons divisé notre travail en quatre chapitres :

- Le premier chapitre portera sur des généralités relatives aux serres ;
- Dans le deuxième chapitre nous présenterons la structure des systèmes automatisés ;
- Le troisième chapitre sera consacré à la gestion climatique des serres ;
- Et enfin, dans le quatrième chapitre nous allons élaborer des programmes sur GRAFCET et LADDER pour la commande de la serre avec quelques simulations sur LOGO Soft.

Chapitre I

Généralités sur les Serres

Chapitre I

Généralités sur les Serres

I.1. Introduction

La plupart des plantes qui poussent en plein air dans un jardin sont rustiques, c'est-à-dire qu'elles sont adaptées au cycle des conditions météorologiques auxquelles on peut s'attendre dans la région [01].

Quant à la serre, elle est destinée à fournir un milieu plus propice pour la culture des plantes moins rustiques qui auraient du mal à se développer dans les conditions ambiantes locales normales. Les plantes cultivées sous serre ou sous tout autre abri du même genre ne sont généralement pas rustiques et leur réussite uniquement de la couverture de verre ou de plastique et de la source de chaleur artificielle, faute de quoi elles mourraient. La différence essentielle entre la culture en plein air et la culture sous abri repose donc sur une maîtrise totale de l'environnement [01].

Dans ce chapitre, nous allons définir ce qu'est une serre, présenter ses avantages et les différents types et matériaux utilisés pour sa réalisation.

I.2. Définition et avantages de la serre

Une serre (figure I.1) est une structure qui peut être parfaitement close destinée en général à la production agricole. Elle vise à soustraire aux éléments climatiques les cultures produites pour l'alimentation ou le plaisir de l'homme pour une meilleure gestion des besoins des plantes et pour en accélérer la croissance ou les produire en toute saison. La culture sous serre s'appelle la serriculture [W2].



Figure I. 1: Exemple de serre pédagogique [W2].

Elle est principalement destinée à protéger du froid les plantes non rustiques et à favoriser la croissance des cultures (légumes, fleurs) en créant des conditions climatiques plus favorables que le climat local, elle permet de palier les problèmes rencontrés lors d'une culture en plein air, nous pouvons citer les avantages majeurs [02] :

- Assure des récoltes précoces ou retardées,
- Production plus élevée grâce à la possibilité de contrôler les conditions climatiques de la culture et de favoriser la production à toutes les saisons,
- Augmentation du rendement et de la qualité de la récolte,
- Précocité et retard de la production,
- Réduction de la consommation de fongicides et insecticides.

Ainsi, la serre agricole contribue largement à la modernisation du secteur agricole par l'implémentation de nouvelles technologies [02].

I.3. Les différents types de serre

Les serres sont de tailles, de forme et de type très divers. Pour répondre à tous les besoins, il existe une multitude de modèle en fonction de la surface disponible au sol et du nombre de plantes à mettre dans la serre. Dans cette partie nous allons présenter quelques modèles [W3], [W4].

I.3.1. Serre tunnel ou serre souterraine pour le maraîchage

Les serres tunnel sont destinées avant tout à la production de plants, légumes, fruits, etc. Elles sont proposées à des prix attractifs par rapport aux serres en verre.

Une alternative beaucoup plus abordable et efficace aux serres en verre est le wali Pini (un mot indien Aymara, pour « lieu chaleureux »), également connu comme serre souterraine ou à ciel. D'abord développé dans les années 1980 pour les régions montagneuses froides d'Amérique du Sud, cette méthode permet aux producteurs de maintenir un potager productif toute l'année, même dans les climats les plus froids.

La serre est creusée dans le sol, bénéficiant ainsi d'une bonne isolation thermique avec l'air extérieur. Le toit de la serre est incliné perpendiculairement à la hauteur du soleil au solstice d'hiver afin de maximiser l'apport de lumière en saison froide [W3], [W4].



Figure I. 2 : Serre tunnel [W4]

I.3.2. Serres en verre « polyvalentes »

Les serres en verre possèdent une structure métallique (aluminium généralement) et un vitrage verre ou polycarbonate. Elles peuvent être peintes (laquées), possèdent souvent une porte coulissante.



Figure I. 3: Serre en verre [W3]

Elles sont adaptées à la culture de **plantes en pots**, à l'hivernage, etc. Leur agrément est évident, elles peuvent donc servir de véranda, d'endroit de détente dans le jardin, être adossées à la maison, etc.

Les serres en verre demandent un budget plus important, du fait de leur matière et de certaines options (portes coulissantes, ouvrants automatiques...) [W3].

I.3.3. Mini serres « balcon ou châssis »

Les mini serres ont été inventés pour répondre aux besoins des logements modernes. Ne disposant pas d'un jardin, on peut profiter des avantages d'une serre grâce à ces produits.

Très compactes, ces serres permettent tout de même en général de faire pousser différents légumes (type tomates). Le plaisir du jardinage, même en appartement ! Souvent rehaussées, elles permettent de travailler à hauteur.

I.3.3.1. Les serres châssis

De petite taille, la serre châssis sert à la levée des semis, à la culture de plantes aromatiques ou encore pour la protection des fleurs. Elle est efficace contre les intempéries. Elle fait partie des « serres froides », c'est-à-dire qu'on ne chauffe pas.

Les serres châssis sont généralement en bois ou en aluminium, avec des panneaux en verre ou en polycarbonate. Leur couvercle se soulève pour accéder facilement au contenu de la serre, mais également pour un renouvellement efficace de l'air. Ces serres sont non chauffées, mais vous pouvez améliorer l'isolation et la protection en période très froide avec des pailles, des voiles d'hivernage ou encore des plaques de polystyrène

Généralement dédiées à la culture en pleine terre (le châssis recouvrant la zone de culture), il existe également des serres châssis équipées d'un fond pour une utilisation sur un balcon ou une terrasse, ou encore en intérieur en tant que décoratif [W4].



Figure I. 4 : Serre châssis [W4]

I.3.3.2. Les serres de balcon

Les serres de balcon ou serres de terrasses sont la plupart du temps de serres adossées. Elles sont surtout destinées à la protection des plantes les plus frileuses en périodes froides.

Elles peuvent être souples, c'est-à-dire avec un film plastique, généralement transparent, recouvrant une structure en acier à étages, ou plus solides avec une armature en aluminium ou en bois, avec des panneaux de verre ou de polycarbonate. En cas de froid intense, il est possible de chauffer l'intérieur de ces serres en utilisant des petits chauffages électriques [W4].



Figure I. 5 : Serre de balcon [W4].

I.3.4. Serre mobiles

Les exploitants commerciaux utilisent des serres mobiles qui peuvent être déplacées au-dessus des cultures sur un système de rails, cela facilite leur programme de rotation [01].



Figure I. 6 : Serre mobile [W9].

I.4. Structure de serre[W4] :

En fonction des espèces cultivées, on peut définir trois types de serre :

- **La serre froide** : dont la température peut descendre jusqu'à 4°, à réserver aux plantes non gélives.
- **La serre tempérée** : où l'on peut cultiver des espèces subtropicales non frileuses.
- **La serre chaude** : ou serre tropicale dont la température se situera entre 18 et 26° qui permet de cultiver nombres d'espèces tropicales et autres plantes rarissimes.

Une fois le choix déterminé, il faut se pencher sur les matériaux. Il en existe quatre types pour la structure : le bois, le PVC, l'aluminium, et l'acier.

- **Le bois** est le matériau le plus esthétique et le meilleur isolant thermique, la qualité du bois est un critère de longévité, une serre en bois devra être isolée du sol par un support en briques, évitant ainsi tous les problèmes de dégradation de la base.
- **Le PVC** est le moins cher de tous les matériaux, c'est en outre un bon isolant, qui limite la condensation et permet des économies d'énergie, de plus, son entretien est aisé. Cependant il faut savoir que le PVC ternit avec le temps, sa longévité est moindre par rapport au bois ou à l'aluminium et il ne supporte pas un poids très élevé, ce qui l'écarte pour la construction de grandes structures.
- **L'aluminium** est la structure la plus courante, elle apporte une grande résistance notamment aux vents violents. Léger, il nécessite peu d'entretien et ne rouille pas. Les

serres en aluminium haut de gamme peuvent avoir une durée de vie d'une centaine d'années. Côtés inconvénients, l'aluminium n'est pas un très bon isolant.

- **L'acier** est idéal quant à lui, pour la construction de très grandes serres car il est souple et résistant, il est rarement destiné à l'usage des particuliers et doit être galvanisé pour éviter la rouille.

En ce qui concerne le choix entre le verre et le polycarbonate (vitrage) on a [W3] :

- **Le verre** plus lourd, est néanmoins plus translucide et meilleur vecteur de luminosité.
- **Le polycarbonate alvéolaire** plus léger et plus isolant, il est aussi plus résistant aux chocs en cas de grêle. Mais il craint les vents violents et il faudra le changer au bout d'une dizaine d'années car il a tendance à devenir opaque.

I.5. Conclusion

Après avoir défini le rôle de la serre et présenter les avantages et différents types, nous allons mettre en évidence dans le chapitre qui suit les informations nécessaires au fonctionnement d'un système automatisé ce qui nous permettra de commander une serre automatisée.

Chapitre II

Structure d'un Système Automatisé

Chapitre II

Structure d'un Système Automatisé

II.1. Introduction

Depuis toujours l'homme est en quête de bien-être. Cette réflexion (qui rejoint la notion de besoin) peut paraître bien éloignée d'un cours de sciences industrielles, pourtant c'est la base de l'évolution des sciences en général, et de l'automatisation en particulier. L'homme a commencé par penser, concevoir et réaliser lorsqu'il a fallu multiplier le nombre d'objets fabriqués et produire en plus grande quantité. L'un des premiers objectifs de l'automatisation est de supprimer les tâches pénibles, diminuer l'effort et avec le temps dans les actions remplacer l'homme, délicates ou répétitives. Dans ce chapitre, nous allons décrire les systèmes automatisés en général [W6].

II.2. Définition d'un système automatisé

Un système automatisé ou automatique est un système réalisant des opérations de commande et gestion et pour lequel l'homme n'intervient que dans la programmation et le réglage et supervision.

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 [W3]. Il présente plusieurs avantages et quelques inconvénients :

II.2.1. Avantages [04]

- Améliorer les conditions de travail (effectuer des tâches pénibles, dangereuses et répétitives),
- Sécurité,
- Précision,
- Réduire les coûts de fabrications (produit plus compétitif),
- Augmenter la productivité (réduire le temps de travail nécessaire à la production, donc augmenter les cadences de travail),

- Flexibilité (une machine peut s'adapter à plusieurs productions),
- Confidentialité (une machine ne peut pas parler),
- Un système automatisé peut travailler 24h sur 24h,
- Maintenir la qualité.

II.2.2. Inconvénients [04]

- Incidence sur l'emploi (licenciement –chômage),
- Investissement pour l'achat de machines,
- Coût de maintenance et pannes,
- Consommation d'énergie,
- Formation d'un personnel plus qualifié (technicien de maintenance, de control, etc.).

II.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 exécuté par la (PO). Sur la figure II.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 [05].

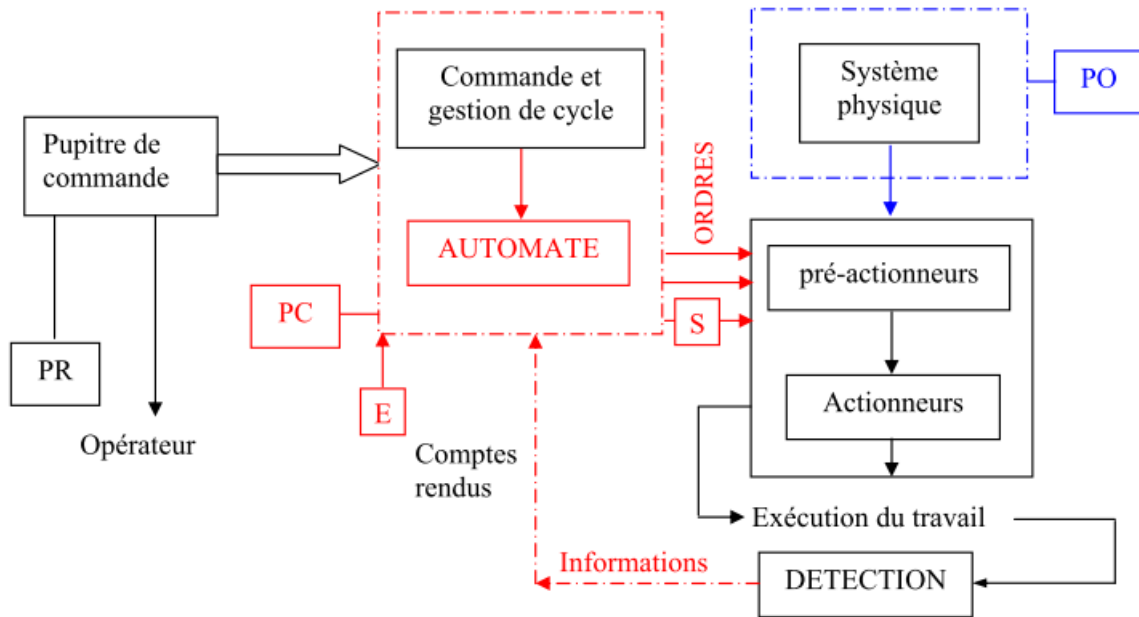


Figure II. 1 : Situation de l'automate dans un système automatisé de production [07].

PR : Partie relation, PC : Partie commande, PO : Partie opérationnelle, E : Entrée, S : Sortie.

II.4. Poste de contrôle

Le poste de contrôle signifie la supervision. Il est composé de pupitre de commande et de signalisation. Il permet à l'opérateur de commander le système (marche, arrêt, départ cycle, etc.). 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) de type écran, clavier ou imprimante, il faut que la supervision peut se faire à distance [W6].

II.5. Partie commande

Elle joue le rôle du cerveau du système, et pilote la partie opérative et reçoit des informations venant des capteurs de la Partie Opérative (P.O), et les transmet vers cette même Partie Opérative en direction des pré-actionneurs et actionneurs. La partie de commande est une unité de traitement ou un automate programmable industriel [W7].

L'Automate Programmable Industriel est un appareil électronique programmable, adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de pré-actionneurs et d'actionneurs à partir d'informations logiques, analogiques ou numériques [08].

II.5.1. Pourquoi l'API ? [07]

Les API en boîtier étanche sont utilisés pour les ambiances difficiles (température, poussière, risque de projection, ...) supportant ainsi une large gamme de température, humidité, etc. L'environnement industriel se présente sous trois formes :

- Environnement physique et mécanique (poussières, température, humidité, vibrations) ;
- Pollution chimique ;
- Perturbation électrique. (Parasites électromagnétiques).

II.5.2. Structure de l'API [07]

Cet ensemble électronique gère et assure la commande d'un système automatisé. Il se compose de plusieurs parties et notamment d'une mémoire programmable dans laquelle l'opérateur écrit, dans un langage propre à l'automate, des directives concernant le déroulement du processus à automatiser.

Son rôle consiste donc à fournir des ordres à la partie opérative en vue d'exécuter un travail précis comme par exemple la sortie ou la rentrée d'une tige de vérin, l'ouverture ou la fermeture d'une vanne. La partie opérative lui donnera en retour des informations relatives à l'exécution du dit travail.

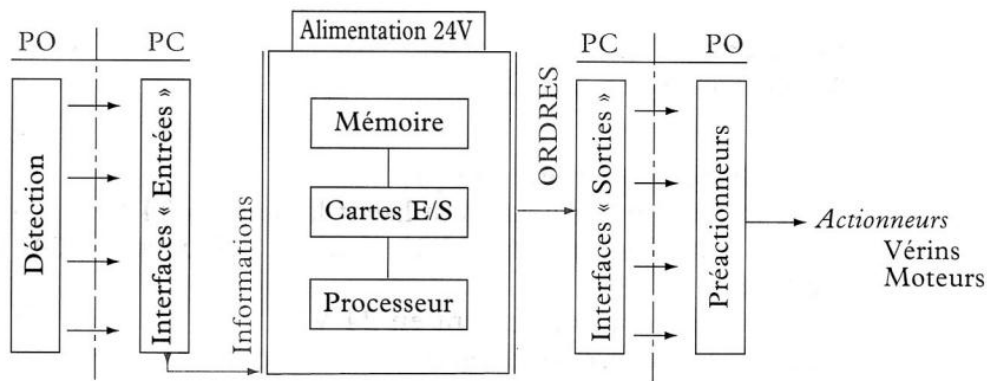


Figure II. 2 : Structure interne d'un API [07].

Les API comportent quatre parties principales :

- Une mémoire ;
- Un processeur ;
- Des interfaces d'Entrées/Sorties ;
- Une alimentation ($240 V_{ac} \rightarrow 24 V_{cc}$).

Ces quatre parties sont reliées entre elles par des bus (ensemble câblé autorisant le passage de l'information entre ces 4 secteurs de l'API). Ces quatre parties réunies forment un ensemble compact appelé automate.

II.5.3. Langages de programmation pour API [08]

Chaque automate possède son propre langage. Mais par contre, les constructeurs proposent tous une interface logicielle répondant à la norme CEI 1131- 3. Cette norme définit cinq langages de programmation utilisables, qui sont :

- GRAFCET ou SFC (Sequential Function Chart) : ce langage de programmation de haut niveau permet la programmation aisée de tous les procédés séquentiels.
- Schéma par blocs ou FBD (Function Block Diagram) : 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, en français schéma par blocs).
- Schéma à relais ou LD (Ladder Diagram) : ce langage graphique est essentiellement dédié à la programmation d'équations booléennes (true / false).
- Texte structuré ou ST (Structured Text) : ce langage est un langage textuel de haut niveau. Il permet la programmation de tout type d'algorithme plus ou moins complexe.
- Liste d'instructions ou IL (Instruction List) : ce langage textuel de bas niveau est un langage à une instruction par ligne. Il peut être comparé au langage assembleur.

Pour programmer l'automate, l'automaticien peut utiliser :

- Une console de programmation ayant pour avantage la portabilité.
- Un PC avec lequel la programmation est plus conviviale, communiquant avec l'automate par le biais d'une liaison série RS232 ou RS485 ou d'un réseau de terrain.

II.6. Partie opérative

Elle exécute les ordres qu'elle reçoit de la partie commande grâce aux ACTIONNEURS et possède des CAPTEURS qui permettent de recueillir des informations. Elle reçoit des messages et envois des consignes vers la partie commande et comporte les éléments suivants :

II.6.1. Pré-actionneur

C'est un constituant dont le rôle est de distribuer, sur ordre de la partie commande, l'énergie utile aux actionneurs. Les pré-actionneurs les plus utilisés sont les contacteurs (pour les moteurs électriques) et les distributeurs (pour les vérins pneumatiques et hydrauliques) [W7]. Il existe différents types.

II.6.1.a. Pré-actionneur électriques

Les pré-actionneurs électriques sont des contacteurs qui permettent le passage ou l'interruption de l'énergie électrique (voir fig. II.3). Ils sont appelés pré-actionneurs car ils se trouvent avant les actionneurs. Ces derniers peuvent être commandés à distance au moyen de contacts actionnés manuellement (bouton poussoir) ou automatiquement (asservi à une grandeur physique : pression, température, vitesse, etc.) [W6].

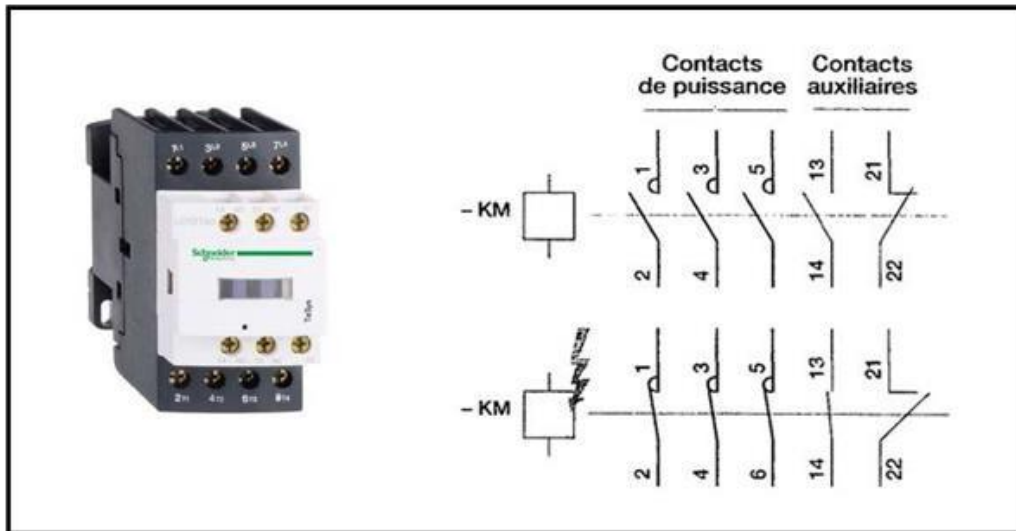


Figure II. 3: Image d'un Contacteur [W6].

II.6.1.b. Pré-actionneur pneumatique (distributeurs pneumatiques)

Les distributeurs pneumatiques assurent la fourniture en énergie de puissance pneumatique pour les actionneurs, sur ordre du constituant de commande. Leurs principales caractéristiques sont[W8] :

- Le nombre de position
- Le nombre d'orifice
- La commande
- Le débit.



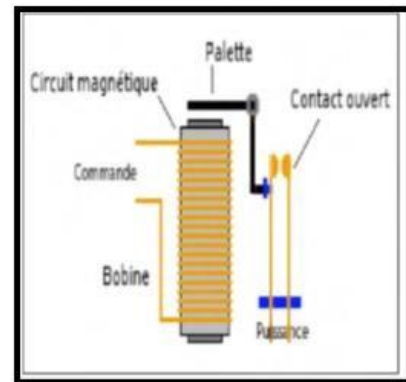
Figure II. 4:Distributeur pneumatique [W7].

II. 6.1.c. Relais

Comme son nom l'indique, il sert en tout premier lieu à « relayer », c'est-à-dire à faire une transition entre un courant faible et un courant fort. Mais il sert également à commander plusieurs organes simultanément grâce à ses multiples contacts synchronisés. Il permet également la transition entre deux sources différentes en isolant ces dernières. Il autorise des temporisations, des verrouillages, des impulsions, etc. [W6]



a- Image d'un relais.



b- Structure d'un relais.

Figure II. 5 : Image et structure d'un relais [W6]

II.6.2. Actionneur

Les actionneurs qui ont pour rôle d'exécuter ces ordres. Ils transforment l'énergie pneumatique (air comprimé), hydraulique (huile sous pression) ou électrique en énergie mécanique ; (vérins, moteurs, vannes) [W7].

II.6.2.a. Actionneur pneumatique

Les actionneurs pneumatiques les plus répandus sont les vérins hydrauliques. Ils transforment l'énergie pneumatique (pression, débit) en énergie mécanique (effort, vitesse).



Figure II. 6 : Vérin pneumatique double effet [W6].

Il existe différents types de vérins dont les plus courants sont :

- **Le vérin simple effet :**

C'est un composant monostable (Stable dans une seule position). Ce type de vérin ne peut produire un effort significatif que dans un seul sens, le rappel de tige est assuré par un ressort (voir figure II.07).

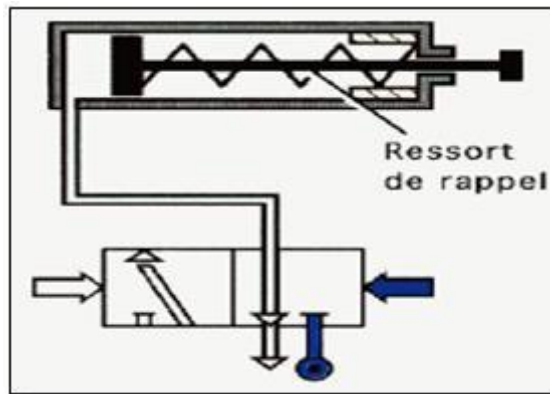


Figure II. 7: Vérin simple effet avec son distributeur [W6].

- **Le vérin double effet :**

Le vérin double effet est un composant bistable (Stable dans deux positions). Ce type de vérin peut produire un effort significatif dans les deux sens, le rappel de tige est obtenu par inversion de l'alimentation des deux chambres (voir figure II.08) [W6].

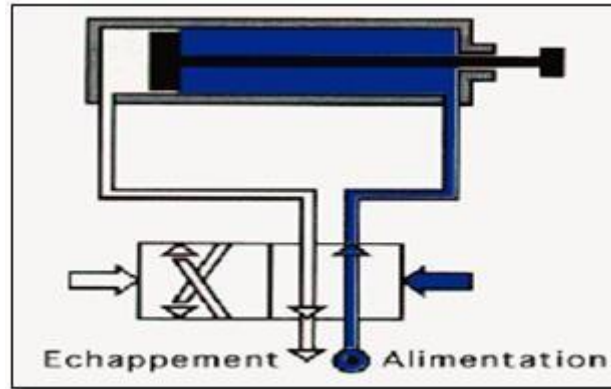


Figure II. 8 : Vérin double effet avec son distributeur [W6].

II.6.2.b. Actionneurs électrique

En fonction de la nature de l'énergie issue de la conversion effectuée par l'actionneur, on distingue différents types d'actionneurs électriques, selon la conversion de l'énergie électrique. [W6]



Figure II. 9: Moteur électrique [W6]

II.6.3. Capteurs

Les capteurs informent la partie commande de l'exécution du travail. Par exemple, on va trouver des capteurs mécaniques, pneumatiques, électriques ou magnétiques montés sur les vérins. Le rôle des capteurs (ou détecteurs) est donc de contrôler, mesurer, surveiller et informer la PC sur l'évolution du système automatisé [W8].



Figure II. 10: Exemple de Capteurs [W7].

II.6.3.a. Principales caractéristiques des capteurs [W6]

- **Etendue de mesure** : c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.
- **Résolution** : plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.
- **Sensibilité** : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.
- **Précision** : c'est la culpabilité de respectabilité d'une information position, d'une vitesse, etc.
- **Rapidité** : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information prise en compte par la partie commande.
- **Linéarité** : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure sa reproductibilité.
- **La bande passante** : est un intervalle de fréquences pour lesquelles l'amplitude de la réponse d'un système correspond à un niveau de référence.

II.6.3.b. Classification des capteurs [W6]

Les capteurs fonctionnent selon deux principes de base suivant l'origine du signal électrique de sortie. On distingue :

- **Les capteurs actifs** : fonctionnement en générateur.

Dans les capteurs actifs, une partie de l'énergie physique prélevée sur la mesurande est transformée directement en une énergie électrique qui constitue le signal de sortie.

Ce signal est un courant, une tension ou une quantité d'électricité. Les signaux de sortie délivrés par les capteurs actifs sont de très faible puissance, ils doivent être amplifiés pour pouvoir ensuite être transmis à distance. Exemple : Thermocouple, Capteur piézoélectrique,

- **Les capteurs passifs** : fonctionnant en modulateur.

Pour les capteurs passifs, c'est l'impédance du capteur qui est sensible aux variations de la mesure. Ces variations d'impédance ne sont mesurables que par l'intermédiaire d'un circuit électronique de pré conditionnement. Les capteurs passifs doivent être alimentés par une source d'énergie électrique extérieure. Exemple : Potentiomètre, Jauges extension métriques, etc.

II.6.3.c. Type de capteur

On peut effectuer une première classification des capteurs par la nature des signaux transmis :

- **Capteur logique**

Ils délivrent une sortie logique de type TOR (Tout ou Rien). Ils sont en général appelés détecteurs car ils servent surtout à prélever l'information "présence" ou "proximité" d'un objet.

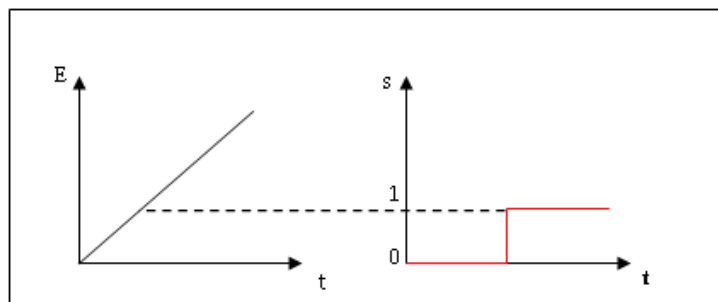


Figure II. 11: Fonction logique d'un capteur TOR [W6].

- **Capteur analogique**

Ils délivrent un signal E de sortie sous la forme d'une tension ou d'un courant variant continuellement. Sur les capteurs industrielles les plages de variation courantes sont ± 50 mV, ± 1 V, ± 10 V pour les tensions et 0-20 mA, 4-20 mA pour les courants. De tels signaux nécessitent un traitement particulier (conversion analogique-numérique) pour être exploitables par les API ou micro-ordinateur.

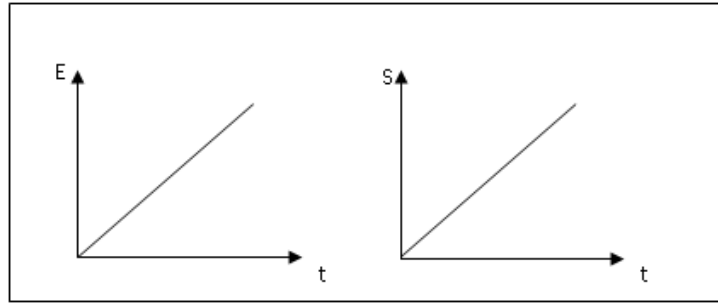


Figure II. 12 : Fonction d'un capteur analogique [W6].

- **Capteur numérique**

Ils délivrent un signal de sortie sous la forme, soit d'un train d'impulsions dont le nombre ou la fréquence est l'image de la grandeur d'entrée, soit d'un code numérique binaire. On trouve parmi les principaux capteurs numériques industriels, les capteurs de positions angulaires incrémentaux, les codeurs absolus, les lecteurs de code à barres et les lecteurs de pistes magnétique.

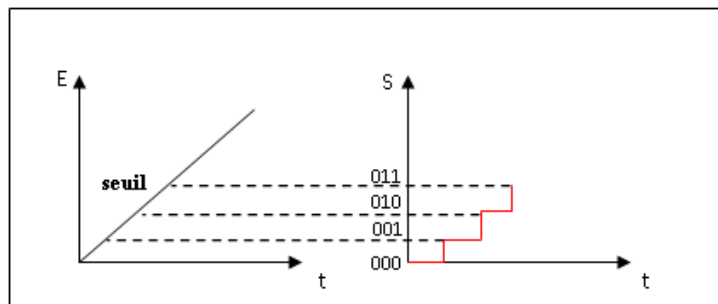


Figure II. 13 : Fonction d'un capteur numérique [W6].

II.7. La partie relation (PR)

Sa complexité dépend de l'importance du système. Elle regroupe les différentes commandes nécessaires au bon fonctionnement du procédé, c'est à dire marche/arrêt, arrêt d'urgence, marche automatique, etc. (voir figure II.14). L'outil de description s'appelle le Guide d'Etudes des Modes de Marches et d'Arrêts (GEMMA). Les outils graphiques, que sont le GRAFCET et le GEMMA, sont utilisés par les automaticiens et les techniciens de maintenance.



Figure II. 14: Exemple de pupitre de commande [W10].

II.8. Conclusion

Les systèmes automatisés de production deviennent indispensables pour obtenir une compétitivité des produits fabriqués de haute qualité. Dans ce chapitre, on a présenté des généralités sur la structure des systèmes automatisés de production et les appareils essentiels à lier à ces systèmes pour la communication, la distribution d'énergie et la protection des machines. Dans le chapitre suivant, nous allons montrer comment commander la gestion climatique d'une serre par un système automatisé.

Chapitre III

Gestion du Climat d'une Serre

Chapitre III

Gestion du Climat d'une Serre

III.1. Introduction

L'utilisation d'un calculateur numérique pour gérer les paramètres climatiques devient de plus en plus indispensable. Elle permet de les maintenir aux voisinages des consignes en s'affranchissant des paramètres climatiques externes. Ces consignes sont définies pour atteindre les deux objectifs suivants : maximiser la production sous serre et protéger la culture sous abri contre les maladies fortuites lors de sa croissance [09].

On se tourne alors vers la micro-informatique, pour maîtriser aisément la conduite climatique sous serre. Elle est capable d'une représentation variée et dynamique des paramètres de l'environnement ainsi que la détection des anomalies de fonctionnements. Le présent chapitre sera focalisé sur l'étude de différents fondements et outils essentiels pour le pilotage des paramètres climatiques sous serre. Nous allons présenter les principaux paramètres climatiques, les différents capteurs, et actionneurs utilisés dans la partie opérative du système de la gestion de la serre [10].

III.2. Principaux paramètres climatiques

La maîtrise du climat est la raison d'être des serres ; on peut créer un environnement idéal pour la croissance des plantes. Sa gestion est souvent confiée à automate programmable industriel (API).

La température, l'humidité, irrigation et la lumière restent jusqu'à maintenant parmi les paramètres les plus influents dans la production des plantes [09]. Pour améliorer leurs rentabilités, il est indispensable d'optimiser le climat environnant aux cultures. Il est donc important de contrôler les paramètres climatiques cités ci-dessus. Dans ce cadre, il est nécessaire d'équiper la serre par un ensemble de capteurs climatiques et d'actionneurs afin d'agir sur les paramètres climatiques [10].

III.2.1. Température

La température sous serre est le paramètre le plus important pour la production des cultures sous serre [11]. Il se décompose en trois types :

- Température issue du sol,
- Température de la plante,
- Température ambiante à la culture.

Elle a une grande influence sur la croissance végétative. En effet, elle intervient dans beaucoup de phénomènes biologiques tels que la photosynthèse et la respiration. La vitesse de réaction augmente facilement avec la température ambiante. Citons par exemple la photosynthèse qui se multiplie presque en deux lorsque la température augmente de 10 °C [12].

Sachant que la température monte et descend dans la serre, on doit utiliser le chauffage pour la chauffer et la ventilation pour le refroidissement (système d'ouverture du toit pour une ventilation naturelle).

III.2.1.a. Chauffage [13]

Le chauffage permet d'adapter les apports thermiques aux besoins de la culture et d'éliminer l'humidité de l'air. Il fonctionne également sur la mesure de température. L'intensité du chauffage peut dépendre de l'éclairage avec peu de lumière solaire et vice versa.

Il existe deux types de radiateurs :

Émissions d'air chaud : Selon le produit d'une unité autonome générant de l'air chaud, ou d'un appareil de chauffage utilisant de l'eau chaude produite à partir d'une chaudière.

Les émissions d'eau chaude sont envoyées dans des tubes métalliques répartis dans la serre. Les deux principaux types d'émissions sont caractérisés par des températures basses et élevées soutenues par la culture (émergence classique, condensation, brûleur, etc.).

Ces différents systèmes peuvent être utilisés de manière complémentaire. Le choix de l'équipement de chauffage est influencé par le type et l'âge de la structure de la serre, attendu par la culture et la température de production spécialisée. Les besoins de chauffage dans le réchauffement climatique représentent la consommation d'énergie la plus élevée.

III.2.1.b. Ventilation

Le traitement de l'air a une fonction tout aussi importante que la lumière lorsque la culture est dans un espace clos. Un ventilateur permet de renouveler l'air et d'apporter aussi le CO₂ nécessaire à la photosynthèse tout en garantissant une régulation de la température et de l'hygrométrie. Le mouvement horizontal de l'air offre plusieurs avantages. Plus particulièrement, il réduit sensiblement les gradients de la température dans la serre et enlève l'humidité dans le reste de la serre, ce qui favorise une grande homogénéité du climat sous serre [06]. Cette ventilation est considérée comme un refroidisseur mécanique (forcé).

III.2.1.c. Système d'ouverture de serre [14]

Ce système considéré comme ventilation naturelle travaille sur l'échange d'air de l'extérieur par un capteur de température, qui est lu par un circuit électronique, et décide jusqu'à quelle température il doit être maintenu ouvert (grâce à un petit moteur et un mouvement de rotation).

Lorsque le système fonctionne, la serre est complètement indépendante. Lorsque la température augmente, celle-ci s'ouvre pour laisser entrer l'air pour le refroidissement et la ventilation.

Une fois que le capteur de température atteint le maximum (imposé par l'utilisateur), elle conduit à ouvrir les engrenages de moteur à commande de toit pour ventilation des gaz à effet de serre, à une certaine température (réglée par l'utilisateur) supprime le signal pour fermer le toit.

III.2.2. Humidité [15]

Le confinement et l'étanchéité de la serre favorisent l'augmentation de l'humidité absolue tandis que l'élévation de la température de l'air tend à accroître le déficit de la saturation. Les conséquences de l'humidité sont :

Pendant le jour : L'élévation de la température de l'air peut entraîner un abaissement exagéré de son humidité relative et provoquer un véritable "stress hydrique" au niveau de la végétation d'où la nécessité de prévoir un système de ventilation de la serre.

Pendant la nuit : Les serres étant généralement fermées, l'humidité relative est élevée. Au cours de la nuit, la température baisse. Il se produit fréquemment des condensations sur les parois et les gouttes condensées peuvent tomber sur la végétation (conditions favorables au développement de certaines maladies, etc.).

III.2.2.a. Humidification

Plusieurs techniques d'humidifications permettent de faire augmenter l'humidité :

- **Brumisateur** : Fait augmenter l'humidité dans la serre. Il consiste à atomiser l'eau en fines particules (d'environ 10 μm). Ensuite un système à haute pression d'air les disperse dans le climat sous serre. Il s'agit d'un système qui produit de la brume sans laisser de gouttelettes sur les plants afin de ne pas favoriser le développement de maladies fongiques. L'augmentation de l'humidité dans la serre provoquée par le système de brumisation, peut entraîner une diminution de la température puisque l'eau nécessite de l'énergie pour qu'il s'évapore.
- **Écran de refroidissement** : Bien qu'utilisé pour réduire la température de la serre, l'écran de refroidissement peut également servir pour accroître l'humidité. L'eau s'écoule à travers l'écran et permet de refroidir et humidifier l'air qui y circule de l'extérieur vers l'intérieur de la serre.
- **Arrosage des allées** : Cette méthode, peu coûteuse, permet d'augmenter l'humidité de l'air mais de manière ponctuelle. Les effets bénéfiques de l'arrosage sur l'humidité se font sentir sur une très courte période.
- **Ventilation** : La réduction de la ventilation naturelle, par la fermeture partielle ou totale des ouvrants contribue à accroître l'humidité de la serre sous certaines conditions. Ainsi, pour une culture dont la surface foliaire est importante, la fermeture des ouvrants peut entraîner un accroissement de la quantité de vapeur d'eau dans l'air. Cette vapeur d'eau provient de la transpiration des plantes. Cependant, lorsque l'humidité atteint une certaine valeur, la transpiration cesse et l'humidité ne pourra s'accroître davantage. Les deux possibilités que sont le refroidissement de l'air et l'enrichissement en vapeur d'eau sont généralement combinées.

III.2.2.b. Déshumidification

L'humidité de l'air est généralement exprimée en humidité relative ou déficit hydrique. On constate que la technique de déshumidification traditionnellement employée par les producteurs combine l'aération et le chauffage. Le chauffage permet d'une part de diminuer l'humidité relative de l'air en augmentant la pression de vapeur saturante, d'autre part de faciliter l'évacuation de l'air chaud chargé en humidité grâce à l'aération. Cette technique entraîne une perte d'énergie puisqu'une partie de l'énergie dégagée par le chauffage est évacuée par

l'aération. La pratique de la déshumidification représente environ 20% à 30% des dépenses énergétiques. Afin de maintenir la transpiration active, il est essentiel d'éliminer l'excès d'humidité de la serre. L'évapotranspiration est fonction du déficit de pression de vapeur, de l'énergie disponible pour la vaporisation de l'eau et du mouvement d'air à l'intérieur de la serre.

- **Ventilation et chauffage :** Cette méthode de déshumidification est la plus utilisée. En admettant de l'air extérieur plus froid et en le chauffant, on augmente sa capacité à contenir de la vapeur d'eau et on réduit par conséquent l'humidité dans la serre. Plus le gradient de température entre l'extérieur et l'intérieur de la serre est élevé, plus l'échange d'air sera favorisé. Cette méthode de déshumidification montre une bonne efficacité mais son utilisation est limitée par les conditions climatiques extérieures. En hiver, lorsque la température est très froide, le gel ou l'accumulation de neige empêche parfois l'ouverture des ouvrants. De plus, l'arrivée massive d'air froid dans la serre peut créer un stress considérable à la culture. Les coûts énergétiques associés à la déshumidification par le chauffage et la ventilation sont importants.
- **Condensation :** La condensation de la vapeur d'eau sur les parois de la serre permet également de réduire le contenu en vapeur d'eau. Le type de recouvrement de serre influence ce phénomène. Les serres de double polyéthylène présentent des parois plus chaudes que celles des serres de verre puisque l'air contenu entre les deux plastiques agit comme isolant. Pour des serres de polyéthylène, il est fortement recommandé d'utiliser un plastique anti-goutte à l'intérieur, afin d'éviter le dégouttement de l'eau de condensation sur les plantes. En hiver, la température est généralement basse et la paroi de verre se refroidit de façon importante.

III.2.3. Éclairage

III.2.3.a. Eclairage naturel

La lumière et la chaleur du soleil se propagent jusqu'à la terre sous forme de radiations de courte longueur d'onde qui traversent aisément une feuille de plastique ou une plaque de verre, ces radiations chauffent tout ce qu'elles touchent, sol, tablettes, terre, pots et même les plantes elles-mêmes, réfléchissent une partie de cette chaleur sous forme de rayons de grande longueur d'onde, c'est parce que le verre ne permet pas le passage des rayons de grande longueur d'onde car il se produit une accumulation de chaleur à l'intérieur de la serre, dès que la serre est plongée dans l'obscurité ou que le soleil se couche, la chaleur se dissipe par écoulement d'air à travers

des craquelures et sous forme de radiation de grande longueur d'onde à travers les murs en dur et le bâti.

En pénétrant dans une serre en feuilles de polyéthylène, les radiations se diffusent et les rayons de grande longueur d'onde qui se forment ne sont pas piégés.

L'échauffement de la serre donne naissance à des courants de convection et l'air chaud entre en un mouvement cyclique qui varie légèrement avec la forme et la taille de la serre ainsi qu'avec l'ampleur de l'aération, en théorie les courants de convections chauffent tout l'espace intérieur mais, en fait, il subsiste généralement de petites poches d'air froid et d'air chaud [01].

III.2.3.b. Éclairage artificiel

La lumière joue un grand rôle dans la croissance de la plante car elle intervient dans beaucoup de phénomènes physiologiques et conditionne surtout la photosynthèse. En effet, l'énergie lumineuse fixe dans la plante le gaz carbonique et l'eau de l'air pour produire le sucre et l'amidon. Par conséquent, la croissance et le niveau de production des plantes dépendent fortement de la quantité du soleil que la culture reçoit tout au long de sa croissance. Toutefois, on peut prolonger ou raccourcir l'éclairage en utilisant respectivement les lumières artificielles ou les stores. Ceux-ci permettront aux cultures de passer au stade de développement désiré. [13]

III.2.4. L'irrigation [16]

L'irrigation est une opération qui consiste à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides.

Tout système d'irrigation se compose de quatre parties essentielles :

- Le pompage de l'eau
- Le traitement de l'eau
- La distribution de l'eau et/ou des solutions fertilisantes
- L'entreposage / Récupération de l'eau et/ou des solutions

Une pompe électrique est utilisée pour pomper l'eau du réservoir et la stocker dans le réservoir, ce dernier ayant un pressostat qui contrôle la pompe électrique, ce qui signifie que la pompe démarre automatiquement lorsque la pression est inférieure à celle indiquée par l'utilisateur.

A la sortie du ballon, l'électrovanne (un pouce) 24 V_{AC} ou tout ce qui est connecté à l'unité de commande programmable a été fixée. Pour commander l'électrovanne, il faut choisir un capteur d'humidité.

On peut distinguer plusieurs techniques d'irrigation :

- Manuelle (arrosoir, seau...), réservée aux très petites surfaces.
- Par écoulement de surface, sous le simple effet de la gravité, au moyen de canaux et rigoles : irrigation gravitaire appelée aussi irrigation de surface, irrigation par sillons ou « à la raie ».
- Par aspersion, technique qui consiste à reproduire la pluie.
- Par micro aspersion, semblable à la précédente mais plus localisée donc plus économe en eau.
- Par micro irrigation ou goutte à goutte, technique économe en eau et qui permet d'éviter le ruissellement, mais présente le grave inconvénient de charger à la longue les sols en sels qui en modifient les caractéristiques.
- Par infiltration, au moyen de tuyaux poreux enterrés, variante de la technique de la goutte à goutte.

III.2.5. Ombrage [01]

Pour ombrager une serre, il y a deux moyens fondamentaux : peindre les vitres ou y pulvériser un liquide, ou bien utiliser des stores. L'inconvénient majeur de l'emploi des liquides pour ombrager est que, pendant les inévitables périodes de temps gris et frais de l'été, Les plantes souffrent d'un manque de lumière et de chaleur, juste au moment où elles en auraient le plus besoin, c'est pourquoi les stores sont préférables car plus efficaces, les stores à rouleau se fixent indifféremment à l'extérieur sont les plus efficaces car ils évitent l'accumulation de la chaleur, les stores montés à l'intérieur des vitres empêchent la lumière d'atteindre les plantes mais la chaleur traverse le vitre et chauffe la serre comme elle le ferait sans store, il vaut donc mieux, en général, monter les stores à l'extérieur, mais en tenant compte des intempéries, surtout des vents violents, on peut éventuellement les enrouler en hiver pour obtenir une certaine protection contre les gelées.

Les meilleurs stores sont ceux à lattes de bois ou de plastique car ils sont solides et s'enroulent et se déroulent facilement. Ils laissent passer un peu de lumière mais les plantes

individuelles ne sont pas lésées car l'angle du soleil se modifier lentement au cours de la journée. Les stores en plastique blanc diffusant et les stores vénitiens donnent aussi de bons résultats. Il est préférable, surtout pour les propriétaires de serre qui sont absent toute la journée, que les stores à rouleau soient automatisés, le mécanisme de déroulement étant relié à un œil électronique ou à un thermostat

III.3. Détection des différents paramètres bioclimatiques d'une serre

Une bonne irrigation demande la connaissance de certaines grandeurs bioclimatiques, qui nécessitent un nombre de capteurs pour détecter l'humidité de l'air, la température et la luminosité (rayonnement) qui contribuent dans l'évaporation de l'eau, l'humidité du sol, le niveau d'eau du réservoir [W15].

III.3.1. Capteur de température

Plusieurs types de capteurs servent à mesurer la température (thermocouples, thermistances, les sondes RTD "Résistance Température Detectors", capteurs à circuit intégré, composants semi-conducteurs, diode à jonction, transistors, etc.). Sous serre la précision du capteur de température est un facteur supplémentaire à prendre en considération, du point de vue de l'efficacité énergétique. Les semi-conducteurs permettent de réaliser des thermomètres électroniques à bas coût dont la plage s'étend plus largement et avec une bonne précision [W12].

III.3.1.a. Thermocouple

Un thermocouple est constitué de 2 conducteurs métalliques de natures différentes, soudés en un point, la soudure chaude. Les autres extrémités des fils sont branchées sur l'appareil de mesure. Cela constitue la soudure froide, qui sert de référence à la mesure. Elle doit être maintenue à température constante.

Entre ces 2 points, il se crée une force électromotrice dite FEM, qui augmente à mesure que la température croit. Elle est spécifique à chaque type de thermocouple [17].

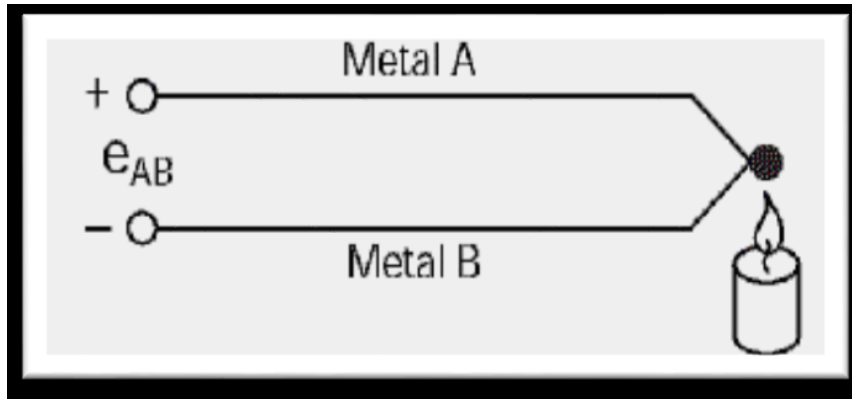


Figure III. 1: Schéma de principe d'un thermocouple [17].

III.3.1.b. Les sondes RTD (Resistance Temperature Detectors)

Les RTD fonctionnent sur le principe des variations de résistance électrique des métaux purs et se caractérisent par une modification positive linéaire de la résistance en fonction de la température. Concrètement, une fois chauffée, la résistance du métal augmente et inversement une fois refroidie, elle diminue [W14].

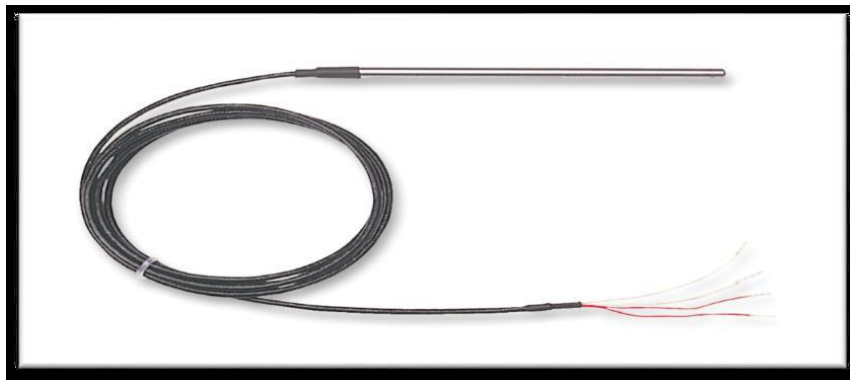


Figure III. 2: Les sondes RTD [17].

III.3.1.c. Les thermistances

Les thermistances, comme les capteurs de température à résistance (RTD), sont des conducteurs thermosensibles dont la résistance varie avec la température. Les thermistances sont constituées d'un matériau semi-conducteur d'oxyde métallique encapsulé dans une petite bille d'époxy ou de verre. En outre, les thermistances présentent généralement des valeurs de résistance nominale plus élevées que les RTD (de 2 à 10 M Ω) et peuvent être utilisées pour de plus faibles courants [W13].



Figure III. 3 : Les thermistances [17].

III.3.1.d. Capteurs à circuit intégré

Ce sont des capteurs à base de circuits intégrés, et il existe deux catégories de capteurs de température, à savoir les capteurs analogiques (sortie tension ou courant, etc.) et les capteurs numériques (train d'impulsions, code numérique binaire, bus de terrain, etc.).

Ce type de capteur est très utile vu qu'il fournit un signal linéaire avec une grande sensibilité, une miniaturisation et un faible coût [17].

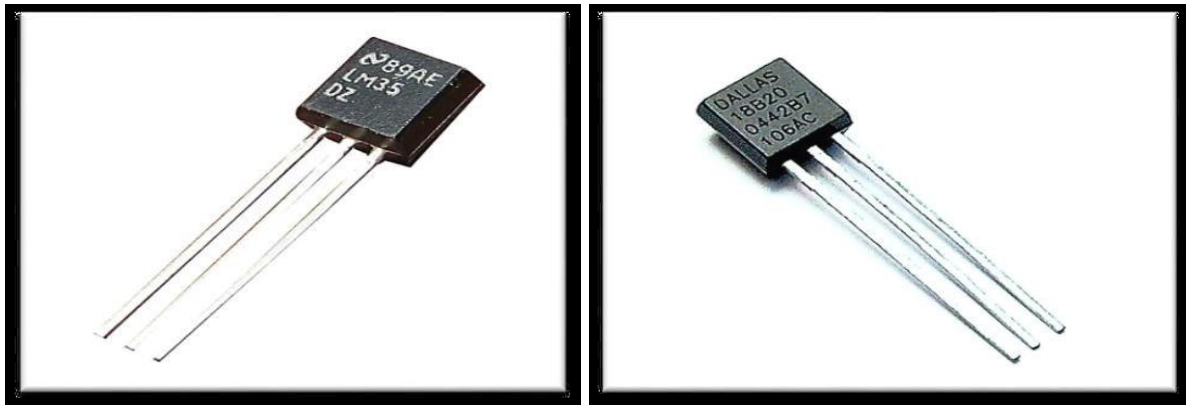


Figure III. 4 : Exemples de capteurs de température [17].

III.3.2. Capteurs d'humidité de l'air [W15]

L'humidité exprime la présence d'un mélange d'air sec et de vapeur d'eau dans l'air ambiant. En générale, quand on parle de mesure d'humidité, on fait allusion au « taux d'humidité » exprimé en % qui est en fait l'humidité relative. La détermination de cette mesure est complexe, car elle est étroitement liée à d'autres grandeurs physiques, telles que la température et la pression.

L'humidité de l'air est évidemment un paramètre primordial pour le développement des cultures et la prévision des risques d'apparition des maladies cryptogamiques, et lors des moissons c'est un paramètre indispensable à connaître pour garantir le bon fonctionnement des machines agricoles.

III.3.2.a. Capteurs capacitifs [W16]

Représentant la majeure partie des systèmes dotés d'un capteur d'humidité, ils sont basés sur la variation de capacité d'une couche diélectrique exposée à un changement du taux d'humidité.

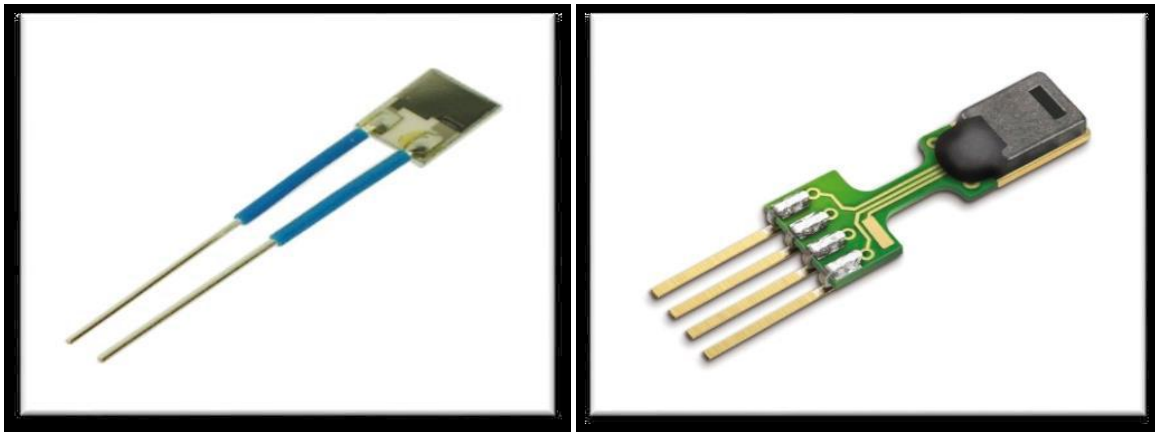


Figure III. 5: Capteurs capacitifs [17].

- **Avantages :**
 - ✓ Petite taille et faible cout.
 - ✓ Peut mesurer une large gamme d'humidités.
 - ✓ Tension de sortie linéaire.
- **Inconvénients :**
 - ✓ Doit être étalonné périodiquement pour accueillir l'hystérésis et la contamination.
 - ✓ La température peut affecter les caractéristiques électriques, causant des lectures inexactes.
 - ✓ Une exposition prolongée à l'humidité relative de plus de 85% peut provoquer des inexactitudes dans les lectures.

III.3.2.b. Capteurs résistifs [19]

Les capteurs résistifs sont basés sur le changement d'impédance d'une couche sensible après absorption d'humidité. Trois types de matériaux sont généralement utilisés : céramiques, polymères et électrolytes.



Figure III. 6 : Capteur résistif [17].

- **Avantages :**

- ✓ Très Petite taille et faible coût.
- ✓ Large plage de mesure.
- ✓ Tension de sortie linéaire.
- ✓ Temps de réponse plus court que pour le capteur capacitif.

- **Inconvénients :**

- ✓ Etendue de mesure très faible que pour les capteurs capacitifs.
- ✓ Sensibilité aux vapeurs chimiques.

III.3.3. Capteur d'humidité du sol

La surveillance de l'humidité du sol est la clé pour apporter la bonne quantité d'eau aux cultures, au bon moment. Pour gérer cette humidité, un apport, au moment opportun, de la bonne quantité d'eau d'irrigation peut procurer :

- Des rendements accrus.
- Un produit de meilleure qualité.

- Une vigueur accrue aux plants.
- Une réduction des maladies.
- Une plus grande valorisation de l'eau (efficacité de l'eau).
- Une réduction des coûts d'irrigation.

L'efficacité de l'utilisation de l'eau et des éléments nutritifs est optimale quand l'irrigation fournit à la culture tout juste la quantité d'eau dont elle a besoin et que le sol est à même de retenir. Quand on considère la durée des opérations d'irrigation, il est logique de prendre le temps de mesurer l'humidité du sol dans le but d'améliorer les décisions d'irrigation.

Différents instruments de mesure de l'humidité du sol peuvent servir à recueillir des données précises. Il s'agit de choisir l'instrument qui répond le mieux aux besoins de l'exploitation [19] [18].

Comme exemple de capteur d'humidité de sol on peut définir le tensiomètre (voir figure III.7), il lit la tension ou la succion de l'eau dans le sol. Plus la tension est élevée, plus le sol est sec.

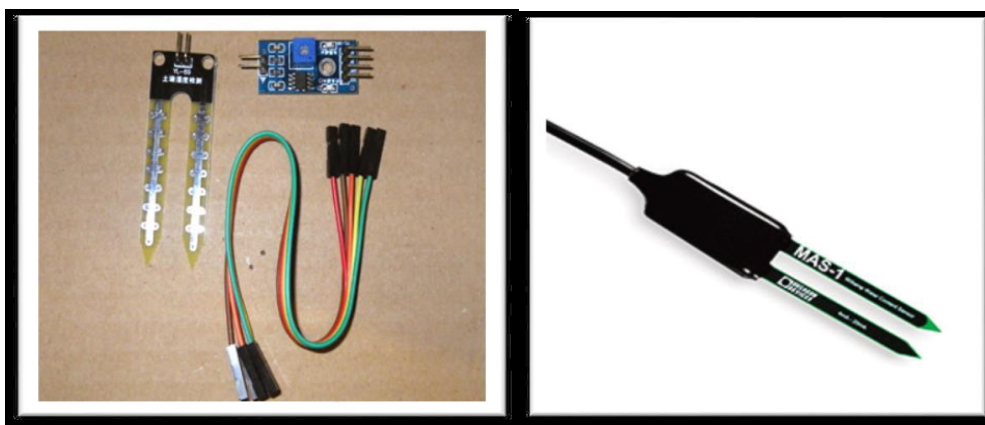


Figure III. 7: Tensiomètre [17].

III.3.4. Les Capteurs de lumière [17]

III.3.4.a. La photorésistance [17]

Une photorésistance est un composant électronique dont la résistivité varie en fonction de la quantité de lumière incidente. On peut également la nommer résistance photo-dépendante (Light Dependent Resistor (LDR)) ou cellule photoconductrice.

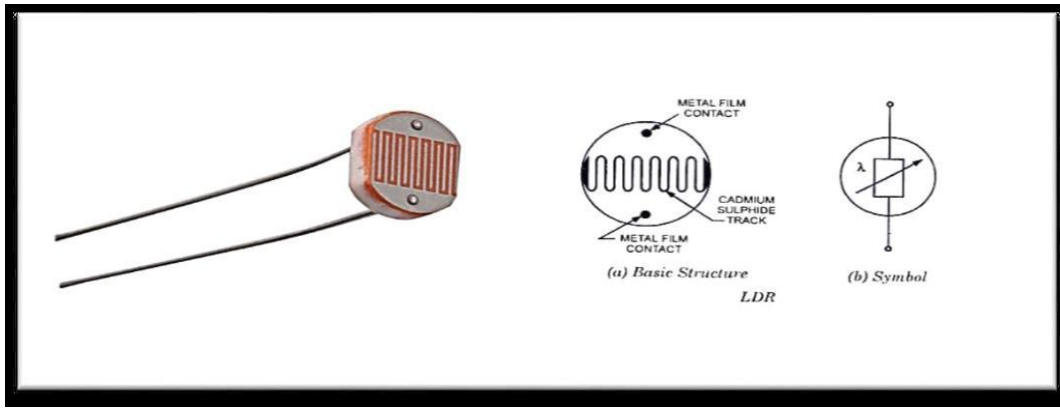


Figure III. 8 : Photorésistance LDR [17].

- **Avantages :**
 - ✓ Faible coût.
 - ✓ Larges gammes spectrales.
 - ✓ Facilité de mise en œuvre.
 - ✓ Sensibilité élevée.
- **Inconvénients :**
 - ✓ Non linéarité de la réponse en fonction du flux.
 - ✓ La vitesse de variation de R avec l'éclairement est faible et non symétrique.
 - ✓ Sensibilité thermique.
 - ✓ Temps de réponse élevé¹ (0,1 μ s à 100 ms).
 - ✓ Bande passante limitée.
 - ✓ Instabilité dans le temps (vieillessement dû aux échauffements) [17].

III.3.4.b. La photodiode [17]

Une photodiode est un composant semi-conducteur ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique.



Figure III. 9: Photodiode [17].

- **Avantages :**

- ✓ Une excellente linéarité du courant de sortie en fonction de la lumière incidente.
- ✓ La réponse spectrale de 190 nm à 1100 nm (silicium), avec des longueurs d'onde plus longues avec d'autres matériaux semi-conducteurs.
- ✓ Faible bruit.
- ✓ Robuste aux contraintes mécaniques.
- ✓ À bas prix.
- ✓ Compacte et léger.
- ✓ Longue durée de vie.
- ✓ Haut rendement quantique, typiquement 60-80%.
- ✓ Pas de haute tension nécessaire.

- **Inconvénients :**

- ✓ Sensibilité globale beaucoup plus faible.
- ✓ Temps de réponse pour de nombreux modèles plus lent [17].

III.3.4.c. Le phototransistor [17]

Un phototransistor est un transistor bipolaire dont la base est sensible au rayonnement lumineux, la base est alors dite flottante puisqu'elle est dépourvue de connexion. Lorsque la base n'est pas éclairée, le transistor est parcouru par le courant de fuite I_{CE0} . L'éclairage de la base conduit à un photo-courant I_{ph} que l'on peut nommer courant de commande du transistor.



Figure III. 10: Phototransistor [17].

- **Avantages :**
 - ✓ Bonne marché.
 - ✓ Large gamme de sensibilité par rapport à la source lumineuse (LASER, rayonnement solaire.).
- **Inconvénients :**
 - ✓ Mauvaise linéarité pour les grandes amplitudes.

III.4. Choix des capteurs [17]

III.4.1. Capteur de température et d'humidité atmosphérique

Généralement, le choix se portera sur le capteur DHT11. Ce capteur est très répandu dans le contrôle de climatisation, il est constitué d'un capteur de température à base de NTC (Négative Température Coefficient) et d'un capteur d'humidité résistif, un microcontrôleur s'occupe de faire les mesures, les convertir et de les transmettre. Ce capteur est calibré en usine et ses paramètres de calibration sont stockés dans la mémoire interne.



Figure III. 11: Capteur DHT11 [17]

- **Caractéristiques du capteur :**
 - ✓ Alimentation +5 V (3.5 - 5.5 V).
 - ✓ Température : de 0 à 50 °C, précision : ± 2 °C.
 - ✓ Humidité : de 20 à 96 % RH, précision $\pm 5\%$ RH.

III.4.2. Capteur d'humidité du sol [17]

Le capteur d'humidité du sol généralement utilisé est le FC-28, ce capteur mesure l'humidité du sol à partir des changements de conductivité électrique de la terre (la résistance du sol augmente avec la sécheresse), il est composé d'une platine qui constitue le conditionnement et une fourche résinée qui protègent contre l'oxydation et se plante verticalement dans la terre.

Le fonctionnement électrique de ce capteur est basé sur l'immersion des deux tiges, qui en contact avec le sol permettent la circulation d'un courant, ce qui permet la lecture du niveau d'humidité par rapport à la résistance. Plus y'a d'eau dans la terre, plus la conduction de courant entre les tiges est meilleure, en raison de la faible résistance, ce qui permet à la tension au niveau du capteur d'approcher 5V. Alors que la conductivité d'un sol sec est faible en raison d'une résistance élevée, résultant en un signal proche de 0V.

Le branchement du capteur se fait comme suit : On relie la broche V_{CC} au 5V, GND à la masse et la sortie à une entrée analogique du microcontrôleur, c'est cette dernière qui nous permettra de recueillir l'information (variation de la tension). Il existe une sortie numérique active quand un seuil réglable est dépassé.

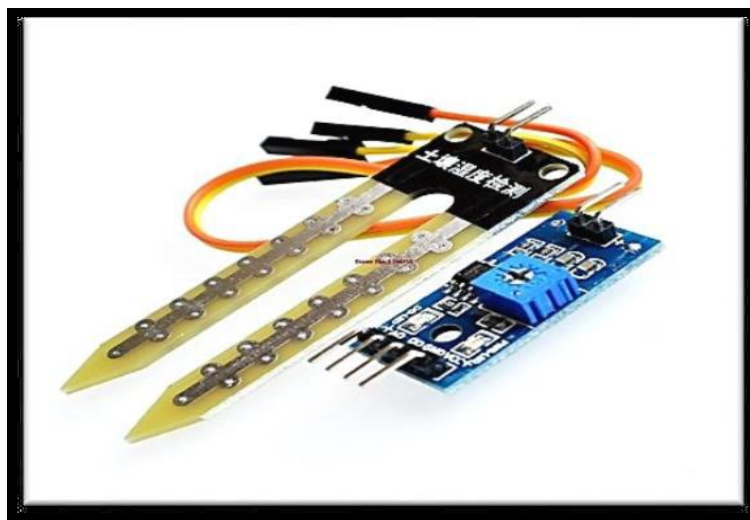


Figure III. 12: Capteur FC-28 [17]

III.4.3. Capteur d'éclairement [17]

On utilise fréquemment la photorésistance LDR (Light Dépendent Résistor : Résistance Dépendant de la Lumière). Une photorésistance est un composant dont la valeur en ohms dépend de la lumière à laquelle elle est exposée. La principale utilisation de la photorésistance est la mesure de l'intensité lumineuse, elle est fortement concurrencée par la photodiode dont le temps de réponse est beaucoup plus court. Les matériaux utilisés sont généralement du sulfure ou du sélénure de cadmium qui se comporte comme des semi-conducteurs.

Plus le flux lumineux sera intense, plus le nombre d'électrons disponibles pour assurer la conduction sera grand. Ainsi la résistance de la LDR est inversement proportionnelle à la lumière reçue, augmente ou diminue selon le niveau d'intensité lumineuse.

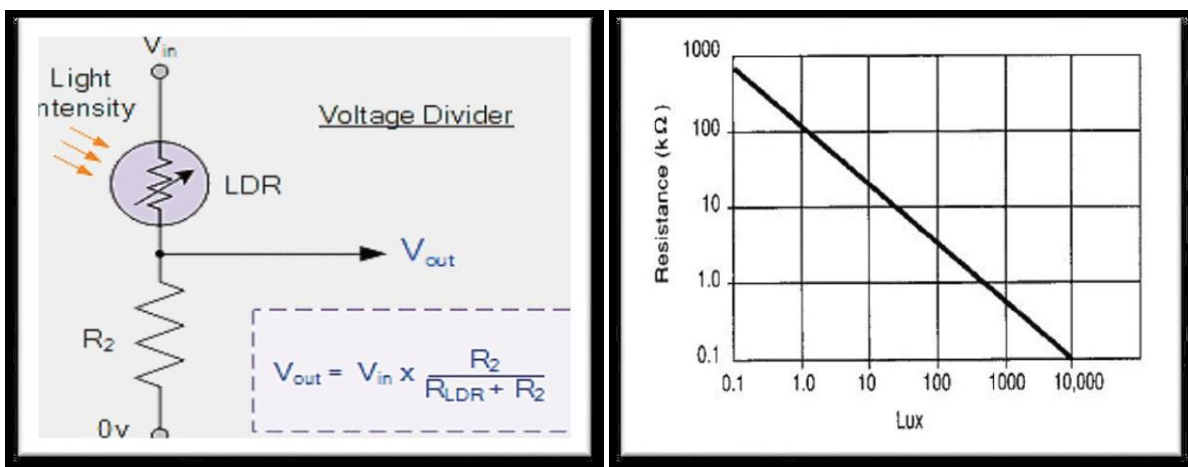


Figure III. 13: Circuit associé à la LDR et Graphe de la résistance en fonction de l'illumination [17].

III.4.4. Détecteur de niveau

La détection de niveau concerne le réservoir d'eau, pour le maintenir toujours rempli, parce que c'est un élément important dans l'irrigation.

Utilisons des capteurs dont le principe de détection par sondes de conductivité, Ce dispositif n'est utilisable qu'à la seule condition que le liquide dont on souhaite détecter le niveau soit conducteur. Le principe est très simple, plusieurs sondes sont placées horizontalement aux niveaux seuils souhaités. Lorsque le niveau monte, le liquide arrive en contact avec la sonde, un courant électrique s'établit alors, indiquant que le liquide vient d'arriver au niveau seuil.

III.4.2. Pompe électrique

On a besoin d'une pompe électrique pour faire circuler et accélérer le débit d'eau dans les tuyaux d'irrigation et remplir le réservoir.



Figure III. 16: Pompe à eau [17].

III.4.3. Extracteur

C'est un dispositif qui nous permet de réguler la température et contrôler l'humidité dans la serre.



Figure III. 17: Extracteur

III.4.5. Vérin

Il nous permet d'ouvrir et de fermer le volet pour le renouvellement de l'air et maintenir la température.



Figure III. 18: Vérin de la serre du LINS

III.4.4. Ventilation artificielle

La ventilation est un refroidissement mécanique qui améliore la température dont la serre a besoin.



Figure III. 19: Exemple de ventilateur [W18].

III.4.5. Electrovanne chauffage

Contrôle l'eau circulant dans les radiateurs, l'eau est produite par une chaudière à gaz.



Figure III. 20: Exemple d'électrovanne - chauffage [W20]

III.4.6. Radiateur

Le radiateur est utilisé dans le refroidissement de l'eau qui passe par l'ouverture de l'électrovanne de chauffage pour produire de la vapeur d'eau pour chauffer la serre.



Figure III. 21: Exemple de radiateur - chauffage [W17].

III.4.7. Eclairage artificiel

Eclairage artificiel est un éclairage qui consomme de l'énergie, il est utilisé pour l'éclairage des plants en cas de besoin.



Figure III. 22: Exemple d'éclairage artificiel [W19].

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, on a exposé un bref aperçu sur le microclimat des serres. Il englobe les paramètres comme la température, l'humidité atmosphérique et du sol, l'irrigation, et l'éclairage. Aussi, on a présenté les différents capteurs, actionneurs et pré actionneurs utilisés, lesquels sont contrôlés par l'API pour sa simplicité. Après cette étude, nous pouvons maintenant passer à la programmation et la simulation d'une serre automatisée.

Chapitre VI
Simulation du
Fonctionnement de la Serre

Chapitre VI

Simulation du Fonctionnement de la Serre

VI.1. Introduction

Après avoir défini dans le 3^{ème} chapitre les différents éléments utilisés pour la gestion climatique d'une serre (capteurs, actionneurs et pré actionneurs), nous allons dans ce chapitre présenter le logiciel SIEMENS LOGO que nous utiliserons pour simuler la commande de la serre. Ces simulations concernent la gestion de la température et de l'éclairage.

Deux langages de programmation des automates programmables (LADDER et GRAFCET) seront mis en évidence. Les programmes de gestion de la température et de l'éclairage et l'irrigation seront écrits sous GRAFCET puis traduit sous LADDER (sauf pour l'irrigation) pour être exécutés dans le logiciel LOGO Soft.

VI.2. Présentation du module utilisé [W21]

VI.2.1. Automate programmable LOGO

LOGO (voir figure VI.1) nous permet d'exécuter des tâches dans la technique domestique et d'installation (notamment l'éclairage des cages d'escalier, l'éclairage extérieur, les stores, les volets roulants, l'éclairage des devantures et bien d'autres choses). Dans la construction des armoires de commande, des machines et des appareils (par exemple, les commandes des portes, les installations de ventilation, les pompes d'eau industrielle et bien d'autres choses). LOGO permet d'économiser 50% des coûts de réalisation en remplaçant les appareils traditionnels, en utilisant des coffrets plus petits et en diminuant les frais de maintenance. Aussi, il nous fait économiser 70% de votre temps en réduisant le câblage, en proposant des programmes type gratuits.



Figure VI. 1: API LOGO [24].

VI.2.2. Fonctionnalités de LOGO

Depuis des années, LOGO est le premier module logique qui résout les tâches simples d'automatisme dans les domaines tertiaires, résidentiels et industriels. Sa modularité permet de s'adapter à toutes les applications, et son logiciel « LOGO Soft confort » facile à utiliser avec un choix de 36 fonctions intégrées. Le contrôle et la commande s'effectuent grâce à un écran intégré rétroéclairé.

VI.2.3. Caractéristiques techniques de LOGO

Les modules de base existent avec ou sans écran pour 8 entrées et 4 sorties. Les modules d'extension permettent des configurations jusqu'à 24 entrées, 16 sorties et 8 entrées analogiques. La mise en réseau peut se faire sur AS-i (Actuators Sensors Interface, interface actionneurs capteurs), Eib (European Installation Bus) et LON [W21]. Le logiciel permet l'utilisation de 8 fonctions de base et 26 fonctions spéciales. La cartouche mémoire permet de sauvegarder les programmes.

VI.3. Langages de programmations utilisés [W21]

Dans cette partie, nous allons donner quelques notions de base sur les langages utilisés dans notre mémoire à savoir le langage LADDER et GRAFCET.

VI.3.1. Langage LADDER

LADDER Diagramme (LD) où Langage LADDER où schéma à contacts est un langage graphique très populaire auprès des automaticiens pour programmer les automates programmables industriels. Il ressemble un peu aux schémas électriques, en plus il est

facilement compréhensible. LADDER est le mot anglais pour échelle, la figure IV.2 présente un exemple de programme avec le langage LADDER.

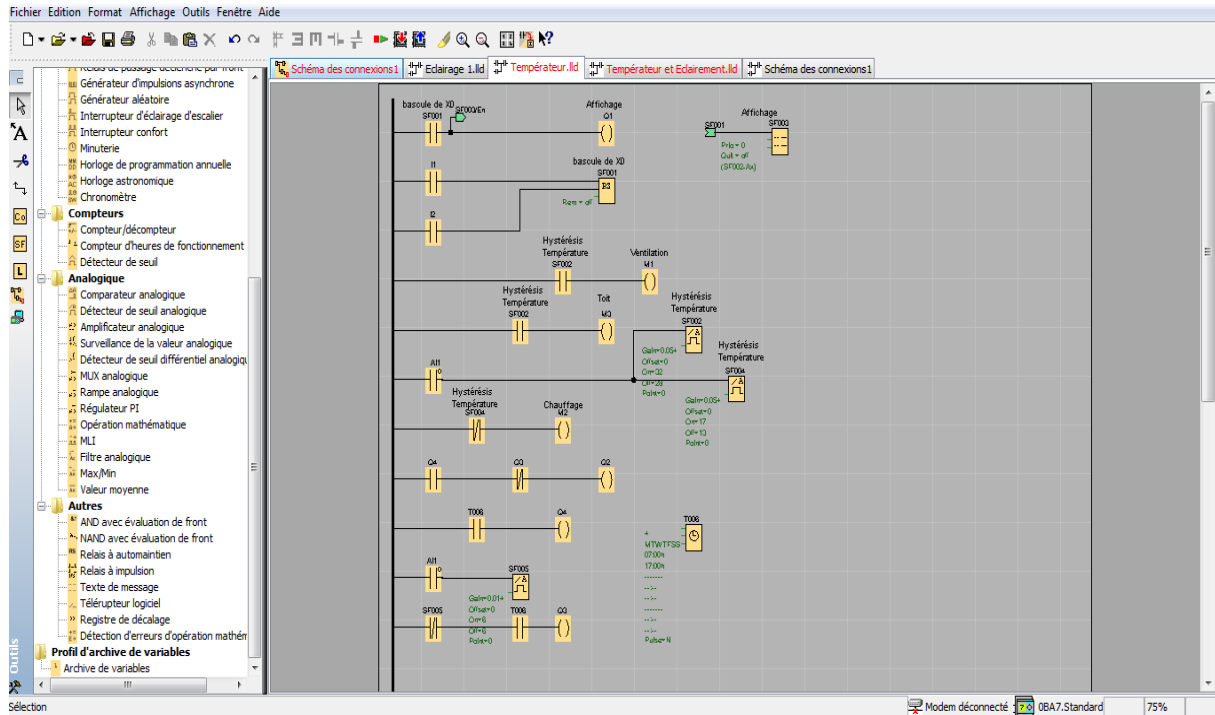


Figure VI. 2: Exemple de langage en LADDER [W21]

VI.3.1.a. Origine de LADDER

L'idée initiale du LADDER est la représentation de fonction logique sous forme de schémas électriques. Cette représentation est originalement matérielle, quand l'automate programmable industriel n'existait pas, les fonctions sont réalisées par des câblages. Par exemple pour réaliser un ET logique avec des interrupteurs, il suffit de les mettre en série et pour réaliser un OU logique avec des interrupteurs, il faut les mettre en parallèle. Partant de ce principe LADDER a été créé et normalisé dans la norme CEI 61131-3. Il est très utilisé dans la programmation des Automates Programmables Industriels (API).

VI.3.1.b. Principe de LADDER

Un programme LADDER se lit de haut en bas et l'évaluation des valeurs se fait de gauche vers la droite. Les valeurs correspondent en fait, si on le compare à un schéma électrique, à la présence ou non d'un potentiel électrique à chaque nœud de connexion. En effet, LADDER est basé sur le principe d'une alimentation en tension représentée par deux traits verticaux reliée horizontalement par des bobines, des contacts et des blocs fonctionnels, d'où le nom LADDER.

VI.3.1.c. Les composants du langage LADDER

Il existe trois types d'éléments de langage :

- Les entrées (contact) permettent de lire la valeur d'une variable booléenne.

Il existe deux types de contact :

- ✓ Contact normalement ouvert (NO Normally Open) --| |--

Ce contact est fermé lorsque la variable booléenne associée est vraie, sinon, il est ouvert.

- ✓ Contact normalement fermé (NC Normally Closed) --|/ |--

Ce contact est ouvert lorsque la variable booléenne associée est vraie, sinon il est fermé.

- Les sorties (bobines) permettent d'écrire la valeur d'une variable booléenne.

Il existe de même deux types de bobines

- ✓ Bobine normalement ouverte (NO Normally Open) --()--

Si cette bobine est soumise à un potentiel, c'est-à-dire qu'il existe un circuit fermé reliant cette bobine des deux côtés du potentiel, alors la variable booléenne associée est mémorisée à 'vraie', sinon elle est mémorisée à 'fausse'.

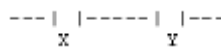
- ✓ Bobine normalement fermée (NC Normally Closed) --(/)--

Si cette bobine est soumise à un potentiel, c'est-à-dire qu'il existe un circuit fermé reliant cette bobine des deux côtés du potentiel, alors la variable booléenne associée (X ici) est mémorisée à 'fausse', sinon elle est mémorisée à 'vraie'.

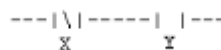
- Les blocs fonctionnels qui permettent de réaliser des fonctions avancées.

Comme dit précédemment, les fonctions logiques sont dérivées de leurs réalisations électriques. Donc chaque fonction logique ([AND](#), [OR](#), [XOR](#), [NAND](#), [NOR](#), [NOT](#)) à une représentation qui correspond à son équivalent électrique.

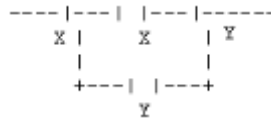
- ✓ Équivaut à X [AND](#) Y



- ✓ Équivaut à [NOT\(X\)](#) [AND](#) Y

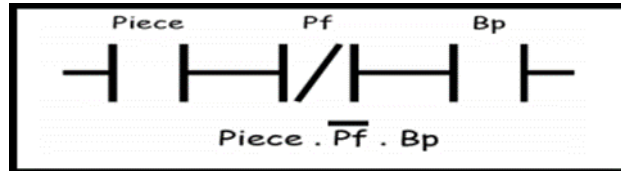


- ✓ Équivaut à X **OR** Y

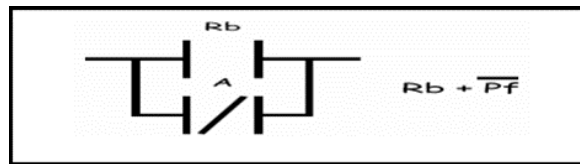


VI.3.1.d. Type de contacts [20]

- **Contacts en série** : L'association de contacts en série permet de réaliser des « ET » logiques



- **Contacts en parallèle** : L'association de contacts en parallèle permet de réaliser des « OU » logiques.



IV.3.2. Langages de commande « GRAFCET » [W22]

Dans le cadre de l'ingénierie des systèmes automatisés de production, concevoir une commande de système à événements discrets est une activité complexe. Elle nécessite souvent l'utilisation de méthodes qui mettent en œuvre un ensemble de langages de spécification. Par ailleurs, on observe que les représentations graphiques sont de plus en plus privilégiées par rapport aux représentations littérales et algébriques du fait de leur aptitude à servir de support de communication entre tous les intervenants. C'est dans cet esprit que le GRAFCET a été conçu. Il est aujourd'hui largement enseigné, utilisé dans l'industrie, et il est servi par de nombreuses publications.

IV.3.2.a. But du GRAFCET

Lorsque le mot GRAFCET (en lettre capitale) est utilisé, il fait référence à l'outil de modélisation. Lorsque le mot GRAFCET est écrit en minuscule, il fait alors référence à un modèle obtenu à l'aide des règles du GRAFCET. Présent sous forme d'organigramme, son but est la description du fonctionnement de l'automatisme contrôlant le procédé. C'est tout d'abord un outil graphique, puissant, directement exploitable, car c'est aussi un langage pour la plupart des API existants sur le marché.

IV.3.2.b. Eléments de base

Le GRAFCET est un graphe constitué de séquences d'étapes et de transitions reliées par des liaisons orientées (Figure VI.3).

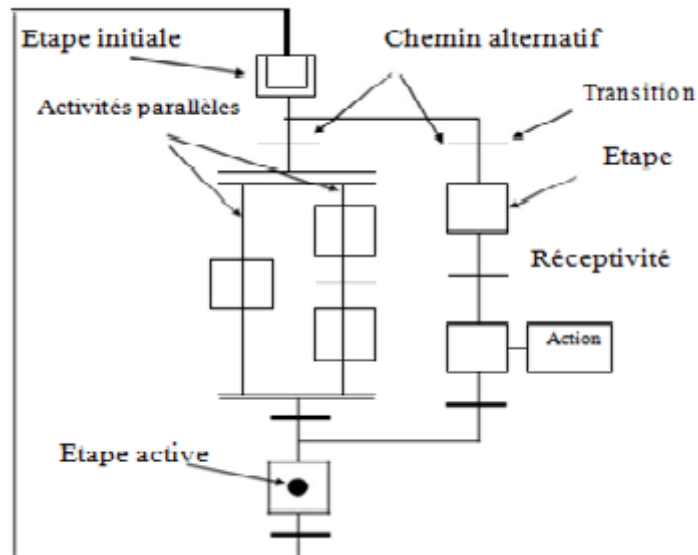


Figure VI. 3: Concepts de base d'un GRAFCET [W22]

- **Étape :** L'étape représente un état dans lequel l'automatisme est invariant vis à vis de ses entrées/sorties. Elle peut être active ou inactive. L'état du GRAFCET est défini, à un instant donné, par l'ensemble de ses étapes actives.
- **Transition :** La transition traduit la possibilité d'évolution d'un état vers un autre. Cette évolution est la conséquence du franchissement de la transition. Une transition est validée si toutes ses étapes immédiatement amont sont actives
- **Liaison orientée :** Une liaison orientée relie une étape à une transition et inversement. Elle indique les configurations atteignables à partir d'un état donné.
- **Interprétation du graphe :** L'interprétation d'un graphe ainsi constitué revient à associer des actions aux étapes et des réceptivités aux transitions, traduisant l'aspect combinatoire de l'automatisme.
- **Les actions :** L'action spécifie ce qui doit être fait lors de l'activation de l'étape. Une action peut être interne (compteur, armement de temporisation) ou externe (sortie de l'automate).

- **Les réceptivités** : La réceptivité est une expression booléenne qui peut prendre les valeurs vraies ou fausses en fonction de l'état ou des changements d'état des variables qui la composent. La réceptivité conditionne le franchissement de la transition. Une variable peut être interne (état d'étape, temporisation) ou externe (entrée de l'automate). Elle est active soit sur un niveau soit sur un front.

IV.3.2.c. Règles d'évolution

L'aspect dynamique est défini par les cinq règles d'évolution suivantes :

- **Situation initiale** : la situation initiale correspond aux étapes actives au début du fonctionnement. C'est donc le comportement au repos.
- **Franchissement d'une transition** : une transition est dite validée lorsque toutes les étapes amont de cette transition sont actives. Le franchissement d'une transition est effectif lorsque la transition est validée et lorsque la réceptivité associée est vraie.
- **Activation des étapes** : le franchissement d'une transition entraîne immédiatement l'activation des étapes aval de cette transition et la désactivation de ses étapes amont.
- **Evolutions simultanées** : plusieurs transitions simultanément franchissables sont effectivement franchies simultanément.
- **Activation et désactivation simultanée d'une étape** : si, au cours du fonctionnement, une étape est simultanément activée et désactivée, alors elle reste active

VI.4. Automatisation des fonctions d'une serre

Notre étude concerne l'automatisation d'une serre. Cette serre est particulièrement réservée à la culture des fruits (exemple : fraises).

Ce fruit se plante dès la fin de l'été et à l'automne, c'est ainsi la garantie d'avoir des fraises dès le printemps suivant. Septembre est souvent indiqué comme étant le meilleur mois de plantation [W23]

Afin d'obtenir une production de fraises plus importante et répartie sur toute l'année, les producteurs optent pour une culture en serres chauffées. En effet, la culture en sol en extérieur, ne produit abondamment que 3 semaines dans l'année, au mois de mai, ce qui peut engendrer des problèmes d'écoulement. Grâce à la culture en serre, les plants de fraises sont introduits en décembre, et sont récoltés de mars à novembre (jusqu'au gelées), avec une courbe de production

importante en avril et mai. Ce système de production a permis d'étaler sur plusieurs mois la production et la consommation de fraises [W24].

La **température** minimale est de 5 °C et les températures optimales pour les fraises en serre sont comprises entre 10 et 13°C la nuit et 18 et 22°C pendant la journée.

La fraise a besoin de beaucoup de **lumière**. Il faut au moins 10 jours d'exposition à la lumière pour l'initiation florale avec au minimum 6 heures de soleil par jour [W24].

L'**irrigation** : pour optimiser la conduite, il faut installer deux systèmes d'irrigation :

- Par aspersion, pour la reprise des plants : Elle permettra d'augmenter l'hygrométrie de l'air et de baisser la température au niveau des plants, tout en maintenant l'humidité du sol. Il faudra arroser régulièrement pendant les 15 premiers jours, aux heures chaudes de la journée.
- Par goutte-à-goutte, pour l'irrigation fertilisante à l'automne et au printemps. La technique de la Fert irrigation consiste en l'apport des substances nutritives (engrais solubles, le plus souvent azote, phosphore et potassium) nécessaires à la plante sous forme dissoute dans l'eau d'irrigation. Cette solution nutritive est distribuée dans la culture à chaque arrosage par le réseau d'irrigation [W24].

Une fois que le plant est bien installé, le goutte à goutte prend le relais. Il faut éviter les excès d'eau à l'automne et au printemps (outils de contrôle sondes Watermark). En effet, avant et pendant la récolte, les excès d'irrigation pénalisent la qualité du fruit.

Besoins totaux en eau entre 300 et 400 mm sous climat humide et entre 600 et 850 mm sous climat plus sec.

Les serres de fraises sont généralement des serres tunnels ou multi-tunnels dans la région Méditerranéenne, car l'ensoleillement naturel apporte une quantité importante de lumière et chaleur. Leur hauteur permet une bonne **ventilation**, grâce à des **aérations** latérales très hautes, et une excellente luminosité. Elles permettent aux producteurs une culture diversifiée [W24].

Il est important de bien aérer les tunnels tôt le matin pour ne pas dépasser 30°C sous les abris, même par temps couvert ou pluvieux, et ouvrir les chenilles ou bâches de protection temporaire si la température est supérieure à 15°C. Le taux d'humidité doit être compris entre 70 et 80% [W24].

Dans la figure VI.4, on peut voir les éléments essentiels pour la commande d'une serre automatisée. Elle comprend :

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1 – Electrovanne chauffage | 2 – Electrovanne arrosage |
| 3 – Coffret de commande | 4 – Radiateur |
| 5 – Plan de culture | 6 – Ventilation mécanique |
| 7 – Eclairage artificiel | 8 – Rampe d'arrosage |

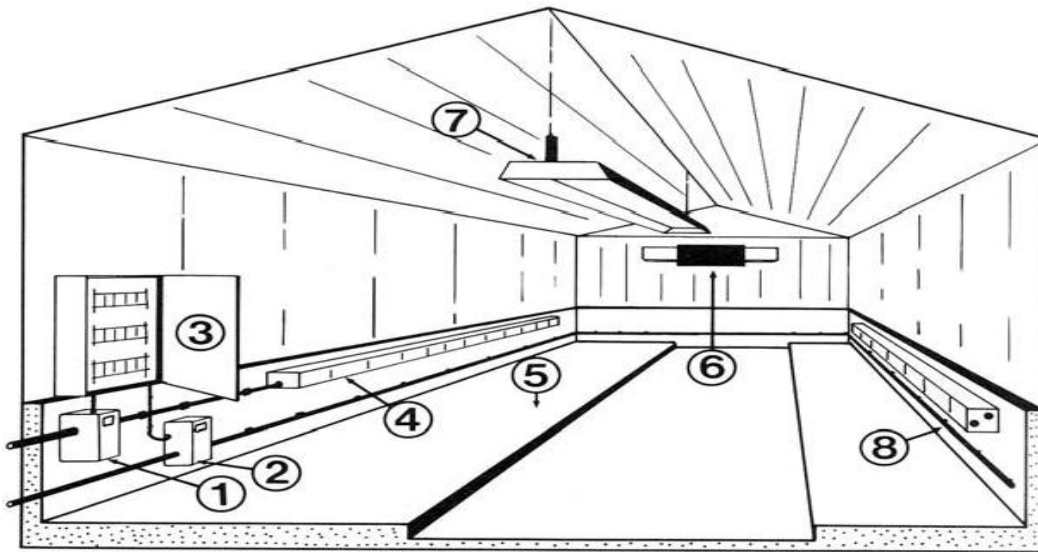


Figure VI. 4 : Eléments de commande d'une serre [W25].

VI.4.1. Automatisation de la serre par GRAFCET

Le GRAFCET que nous allons présenter indique la coordination des tâches principales pour satisfaire la fonction globale. Dans notre cas instauré un climat adéquat dans une serre pour la bonne croissance des plantes (fraises), ce GRAFCET est constitué de trois séquences principales fonctionnant en parallèle.

La première séquence est relative à la gestion de la température (X), la deuxième à l'éclairage (Y) et la troisième à l'irrigation (Z) des plantes (Voir figure VI.5).

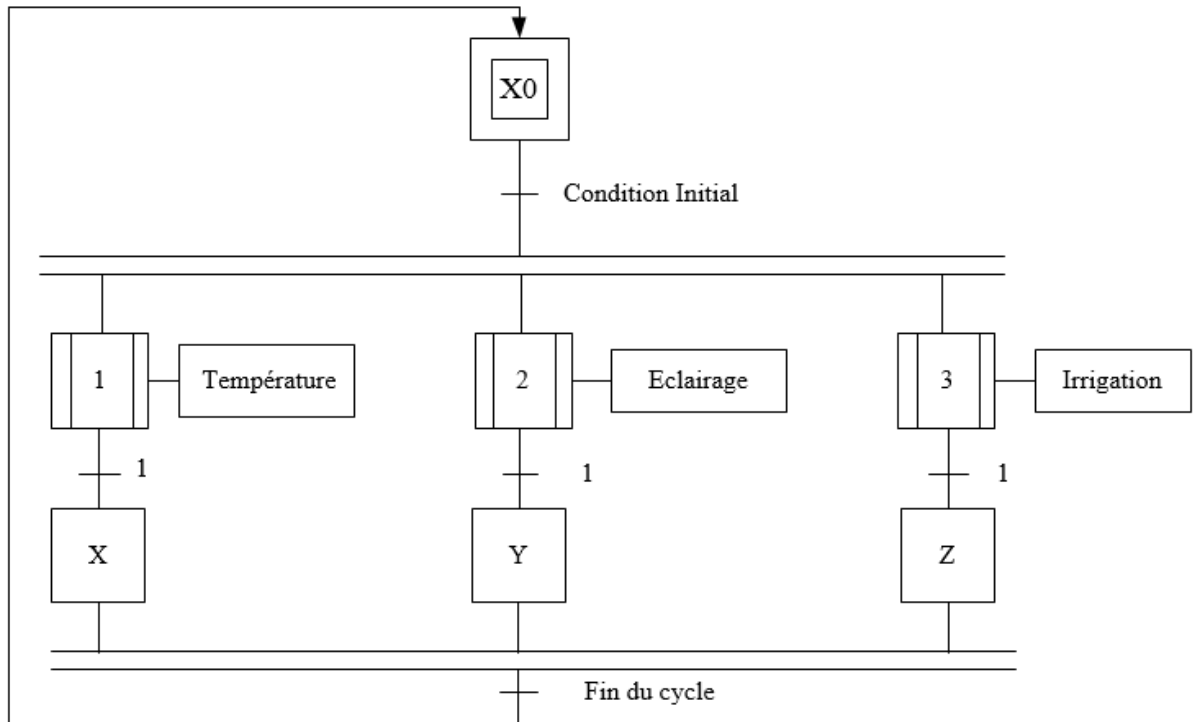


Figure VI. 5: Schéma général du GRAFCET de commande d'une serre.

VI.4.1.a. Gestion de la température

Les plantes choisies, poussent aux températures qui doivent être entre : 15 et 30 °C avec une marge β de $\pm 2^\circ\text{C}$. Pour cela on utilise un GRAFCET à choix de séquence.

- Si la température est inférieure à $(15+\beta)$ °C, un chauffage doit se déclencher et reste actionnée tant que la température n'aura pas augmenté à la température désirée.
- Si la température est supérieure à $(30+\beta)$ °C, dans ce cas un ventilateur est actionné avec l'ouverture du toit dans les conditions où il n'y a pas de pluie et le vent est favorable (Voir figure VI.6).

Ce système de refroidissement reste enclenché tant que la température désirée n'est pas atteinte.

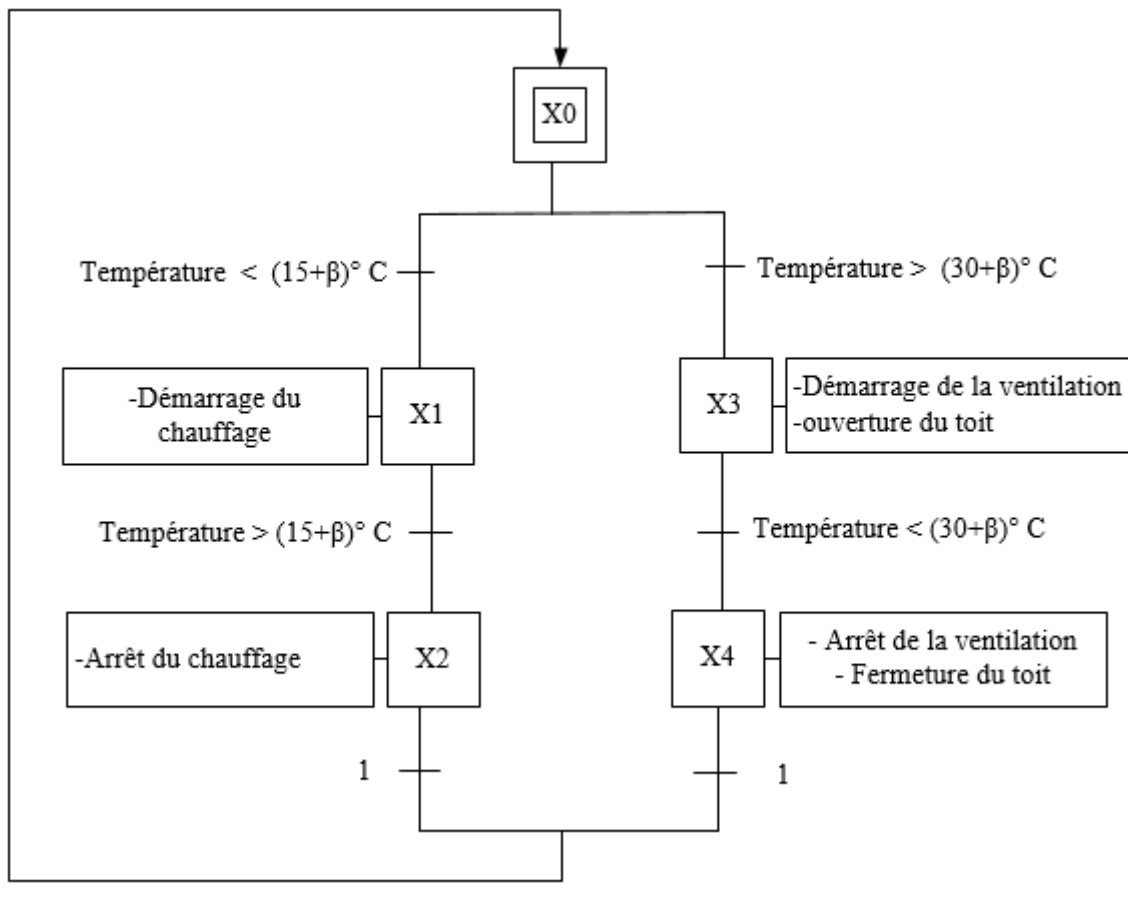


Figure VI. 6: GRAFCET pour la gestion de la température.

VI.4.1.b. Gestion de l'éclairage

Pour une bonne croissance, les plantes choisies ont besoin de 10 heures d'éclairage par jour. L'utilisation d'une minuterie est nécessaire. A 6h du matin, l'éclairage artificiel est déclenché et fonctionne tant que les capteurs de lumière nous donnent un faible courant. (Voir figure VI.7).

Si l'intensité du courant délivrée par les capteurs est grande (un certain seuil), l'éclairage artificiel est arrêté laissant place à l'éclairage naturel (pour des raisons d'économie).

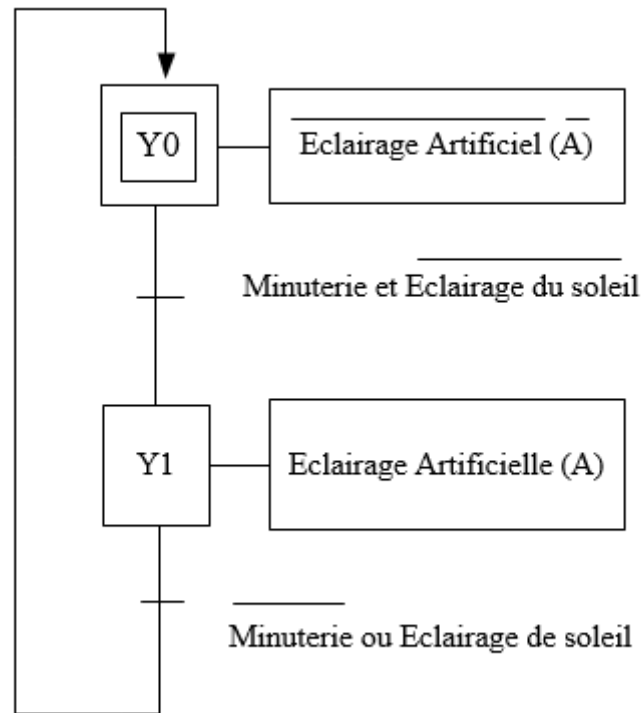


Figure VI. 7: GRAFCET pour l'éclairage de la serre.

VI.4.1.c. Gestion de l'arrosage

Pour ce point, un capteur d'humidité est utilisé (Capteur d'Humidité du Sol - CHS). Si l'humidité du sol est très faible (sol sec), le système d'électrovanne est actionné et l'irrigation des plantes est déclenché pendant une certaine durée avec un débit d'eau donné (Voir figure VI.8).

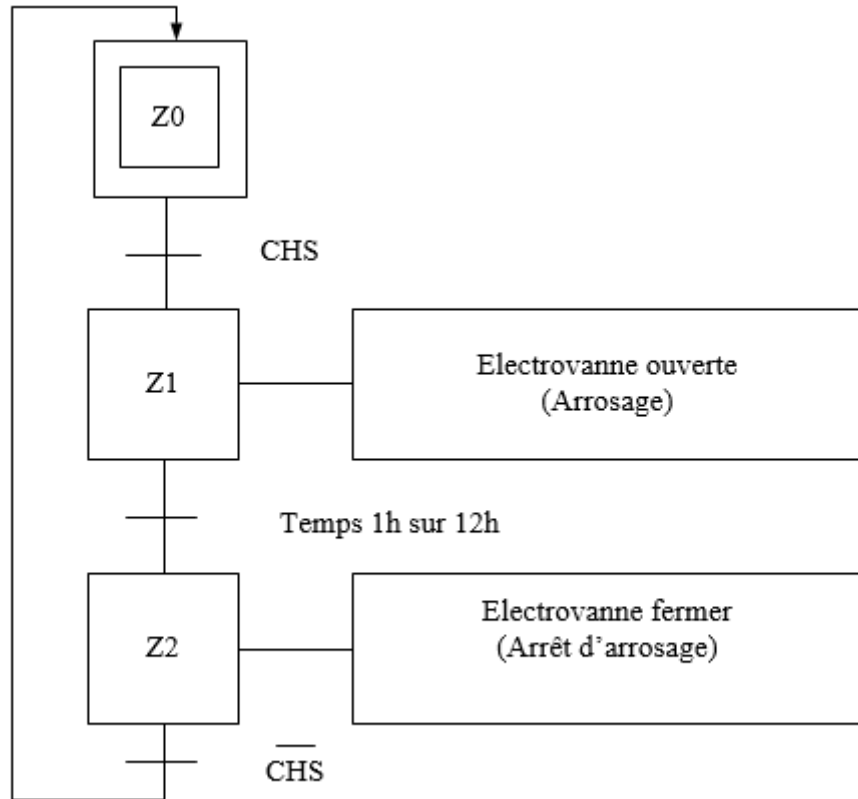


Figure VI. 8: GRAFCET pour l'irrigation de la serre.

VI.4.2. Etapes de programmation sur LOGO [W21]

Siemens LOGO Soft est un outil permet d'optimiser les performances de système et d'économiser le temps de développement de projet.

VI.4.2.a. Description de l'interface du logiciel

Le logiciel de programmation de Siemens LOGO Soft est compatible avec l'automate LOGO. Le programme avec Siemens LOGO Soft ce fait avec la version confort V 6.0, d'abord on va présenter le logiciel (voir figure VI.9).

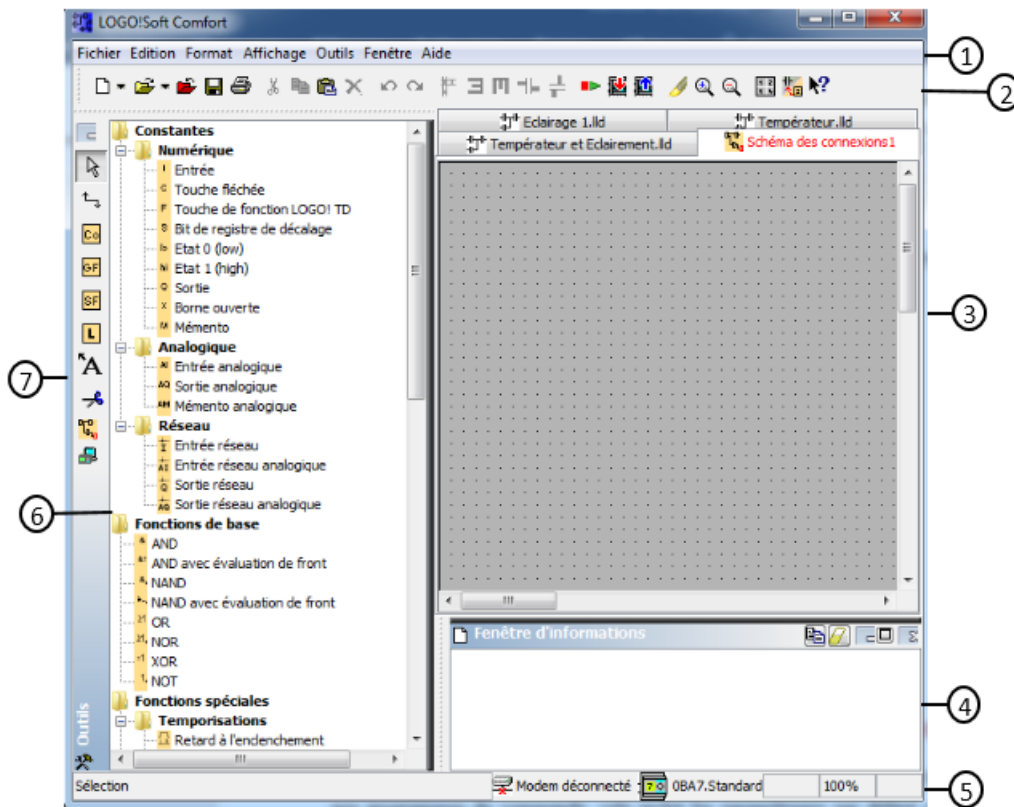


Figure VI. 9: L'interface de logiciel Siemens LOGO [W21].

Barre des menus 1 : Il nous propose différentes instructions de commande pour éditer et gérer nos programmes de commande, cela inclut les paramétrages par défaut et les fonctions de transfert du programme de commande et vers LOGO.



Barre d'outils "Standard" 2 : Cette barre nous permet d'accéder directement aux principales fonctions de LOGO Soft Confort.

Interface de programmation 3 : c'est le champ de l'application à faire.

Fenêtre d'infos 4 : Les informations et des remarques seront affichées dans la fenêtre d'infos. Les modules LOGO qui nous avons proposées via la fonction comme modules éventuels pour notre programme de commande, sont également mentionnés dans la fenêtre d'infos.

Barre d'état 5 : Elle fournit les indications sur l'outil actif, l'état de programme, le facteur de zoom, la page du schéma de raccordement et le module LOGO.

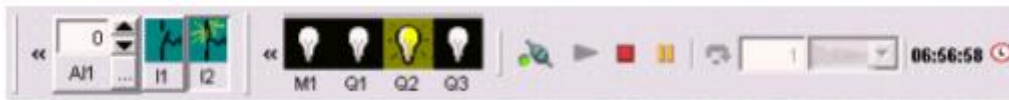
6 : La présente les constantes et bornes de connexion, en plus les fonctions de base (uniquement éditeur LOG) et des fonctions spéciales.

Barre d'outils "Outil"7 : Ces icônes nous permettent de passer entre les différents modes d'édition afin de créer ou d'éditer facilement et rapidement un programme de commande.



Barre d'outils "Simulation" 8 : Lorsque on appelle la commande simulation, une barre d'outils s'affiche, elle contient :

- Des icônes (p. ex. commutateurs) de commande d'[entrées](#).
- Une icône de simulation d'une [panne de réseau](#), permettant de tester la rémanence du circuit en cas de défaillance de la tension du réseau,
- Des icônes (p. ex. voyants) de supervision de [sorties](#).
- Des icônes de commande de la simulation.
- Des icônes de commande des temporisations.



VI.4.2.b. Etapes de création du programme sur LOGO

Afin de faire la simulation par le logiciel LOGO, nous avons traduit en langage LADDER les programmes établis en langage GRAFCET (§ VI.4.1) pour l'automatisation de la serre. En général, on doit passer par 08 étapes de la création d'un projet jusqu'à son test.

- **Etape n°1**

Lorsque nous démarrons LOGO Soft Confort V6.0, l'interface utilisateur de LOGO Soft Confort s'affiche. On crée un nouveau projet en accédant au menu fichier, ensuite on choisit l'éditeur de programmation par schéma à contacts (CONT) (Voir figure VI.10).

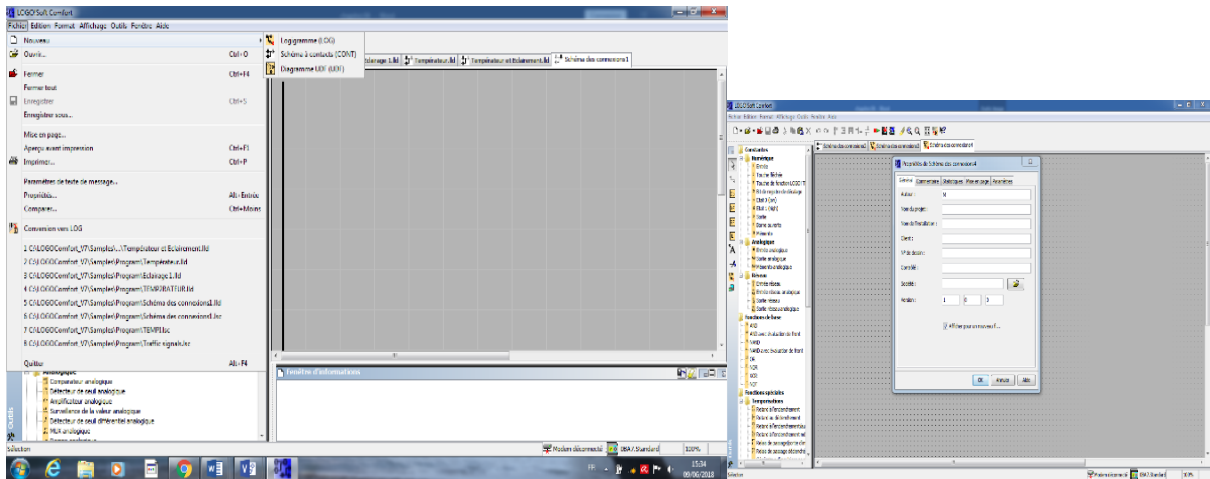








Figure VI. 10: Création d'un nouveau programme.

• Etape n°2

On passe à la barre d'outils « outil » puis on choisit l'icône de constantes et bornes  pour placer les blocs d'entrées / sorties dans l'interface de programmation.

• Etape n°3

On passe à la barre d'outils, puis on choisit l'icône de fonction spéciale  pour placer les blocs d'E\S comme le bloc de bornes constante,  le bloc de temporisation comme bloc d'un générateur d'impulsions asynchrone,  le compteur\décompteur le  texte de message et le regi  de décalage dans l'interface de programmation (voir figure VI.11).

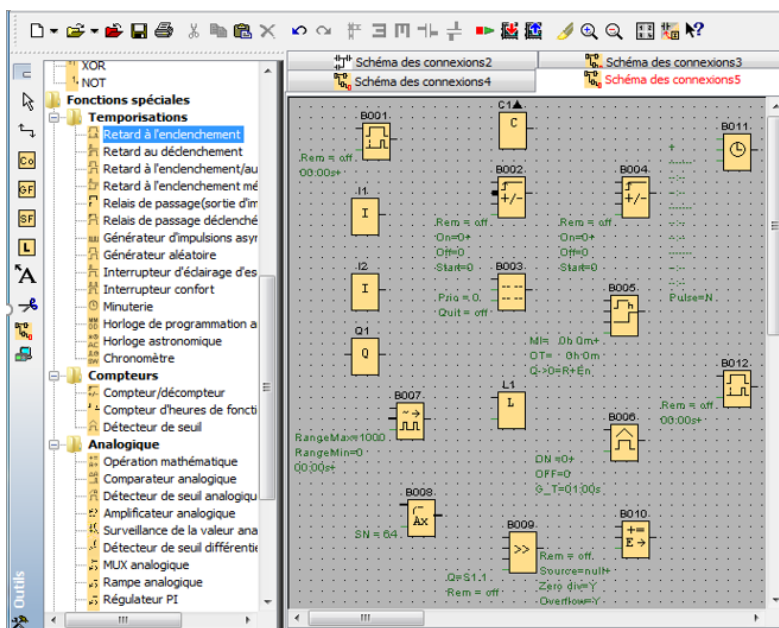



Figure VI. 11: Liste des composants utilisés.

- Etape n°4

On passe à la barre d'outils puis on choisit l'icône d'un connecteur  pour faire la liaison entre les blocs dans l'interface de programmation comme il est monté dans la figure VI.12.

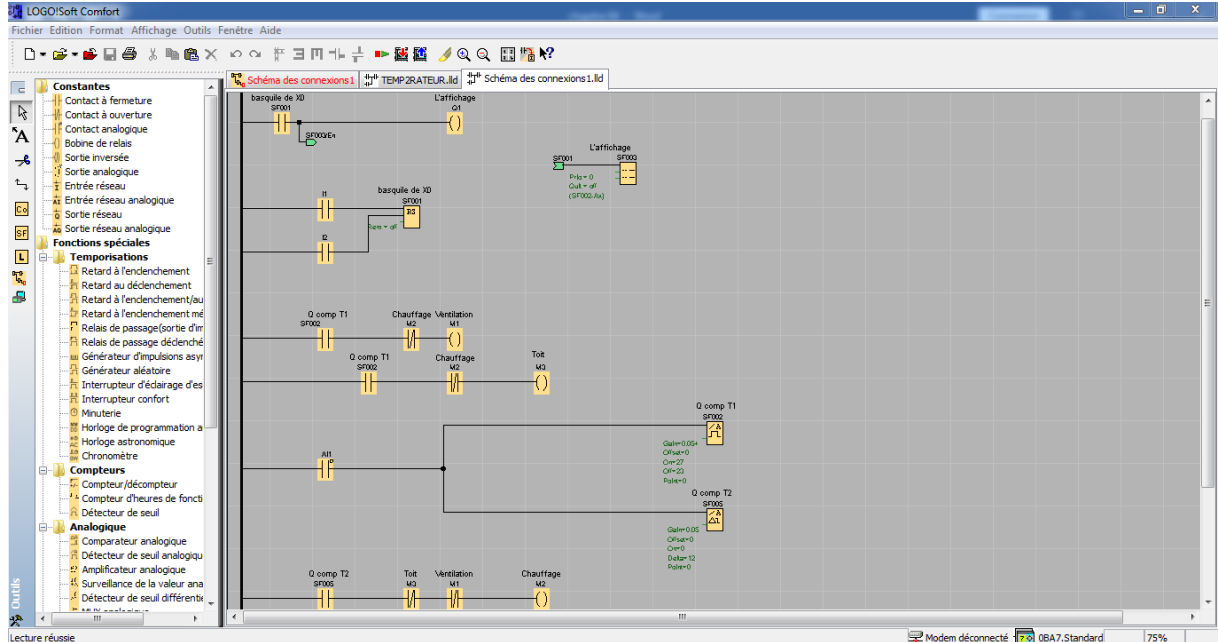




Figure VI. 12: Liaison entre les blocs


- Etape n°5

On passe à la barre d'outils « Standard » puis on choisit l'icône organiser automatiquement  pour organiser les blocs dans l'interface de programmation.

- Etape n°6

On passe à la barre d'outils et on choisit l'icône de  simulation pour simuler le programme et l'affichage des messages dans l'interface de programmation.

- Etape n°7

On passe à la barre d'outils « Standard » et on choisit l'icône de l'enregistrement  pour enregistrer le programme (figure VI.13).

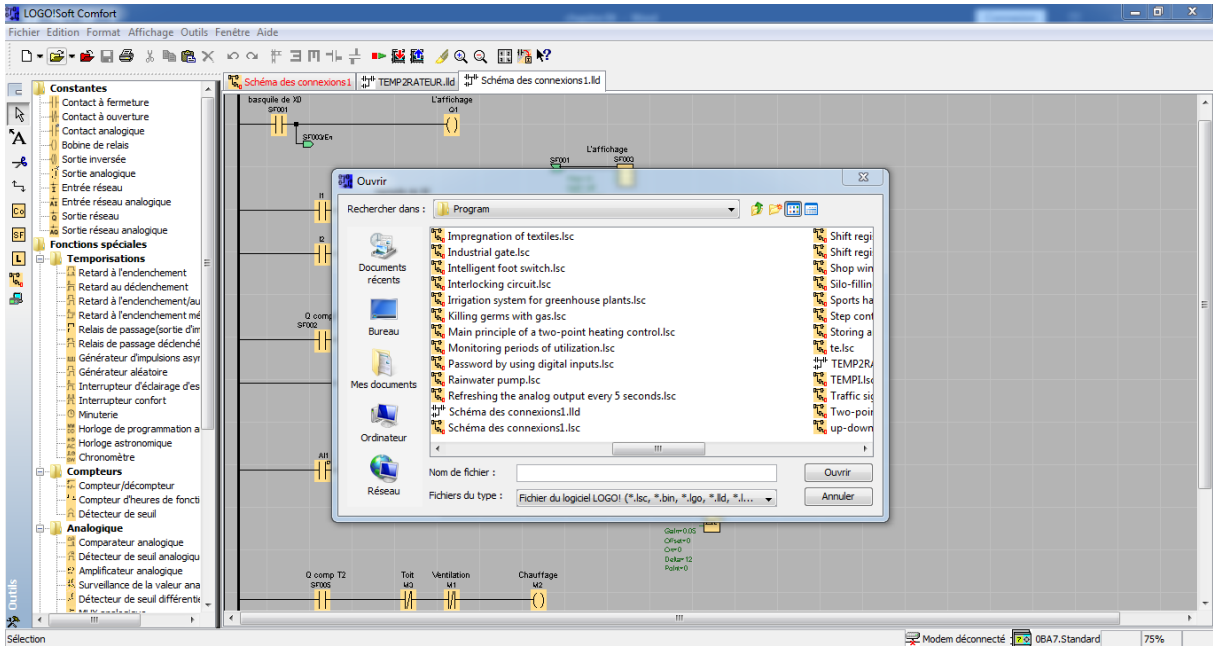



Figure VI. 13: Message d'enregistrement.

- Etape n°8

On passe à la barre d'outils et on choisit l'icône de  test pour tester le programme. La figure VI.14 présente un exemple d'une application du programme.

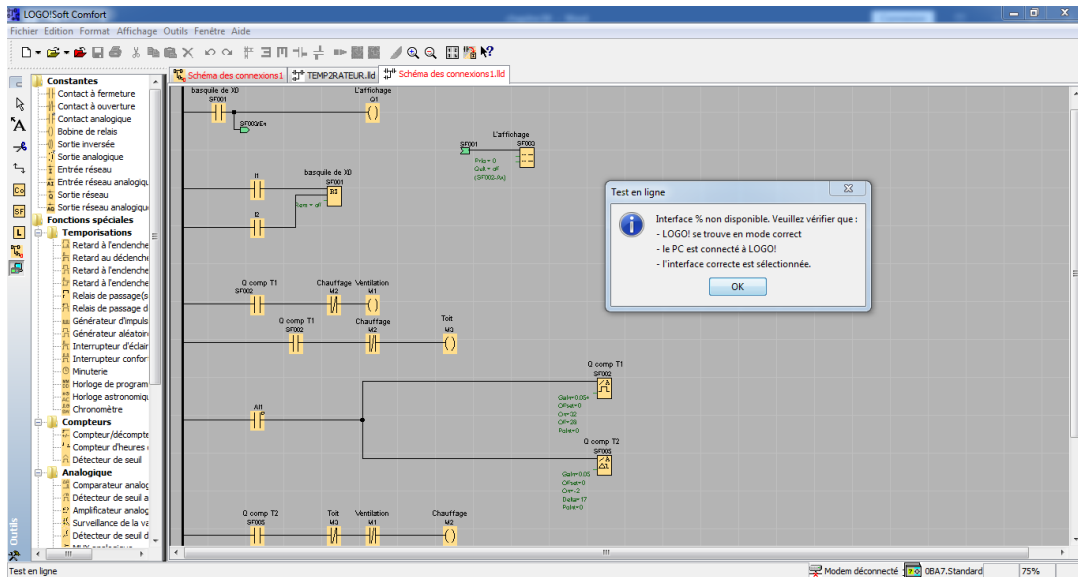


Figure VI. 14: Programme d'une application en LADDER [W21].

VI.4.3. Commande du fonctionnement de la serre sur LOGO

Dans cette partie de ce chapitre, nous présentons les simulations relatives à la gestion de la température et de l'éclairage.

VI.4.1.a. Commande de la température

Pour la commande de la température, nous avons introduit le programme LADDER dans le logiciel LOGO constitué de 03 parties (voir figure VI.15) :

- Affichage (Q1),
- Ventilation et ouverture du toit pour les températures supérieures à $(30 \pm \beta) ^\circ\text{C}$ (M1 et M3),
- Chauffage pour les températures inférieures à $(15 \pm \beta) ^\circ\text{C}$ (M2).

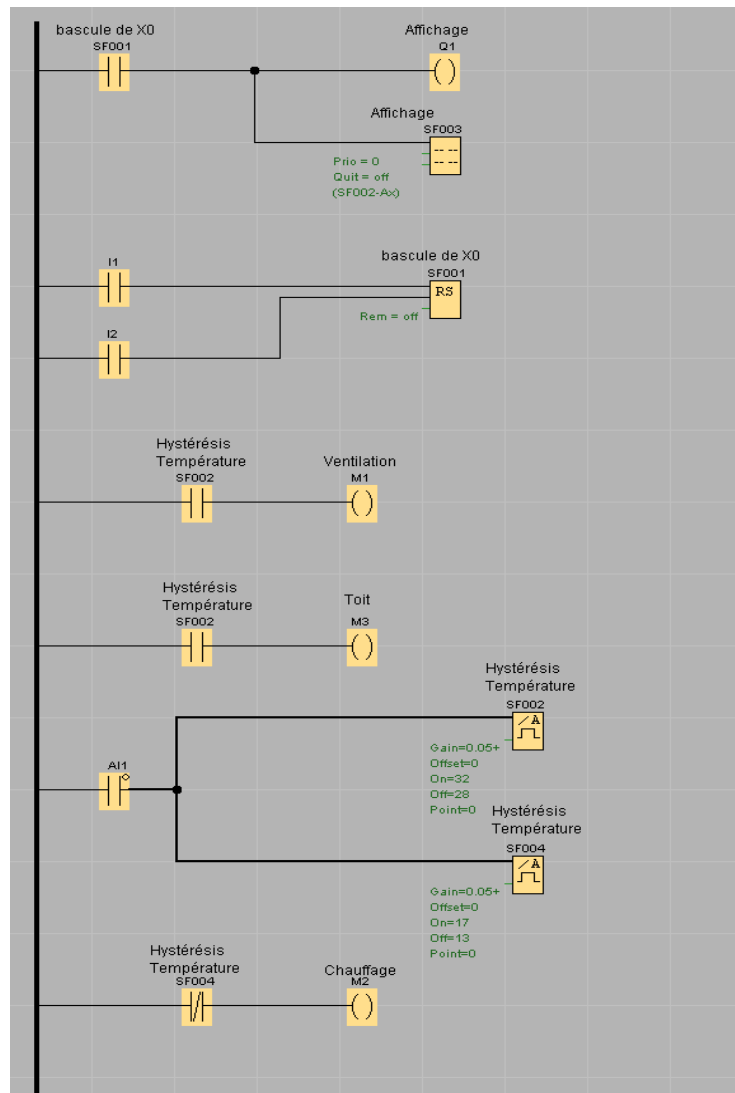


Figure VI. 15: Programme de gestion de la température.

Les figures VI.16 et VI.17 représentent les simulations effectuées pour la gestion de la température. En bas de ces figures, on peut voir les différents voyants (lamps) qui montrent les actionneurs en état de marches.

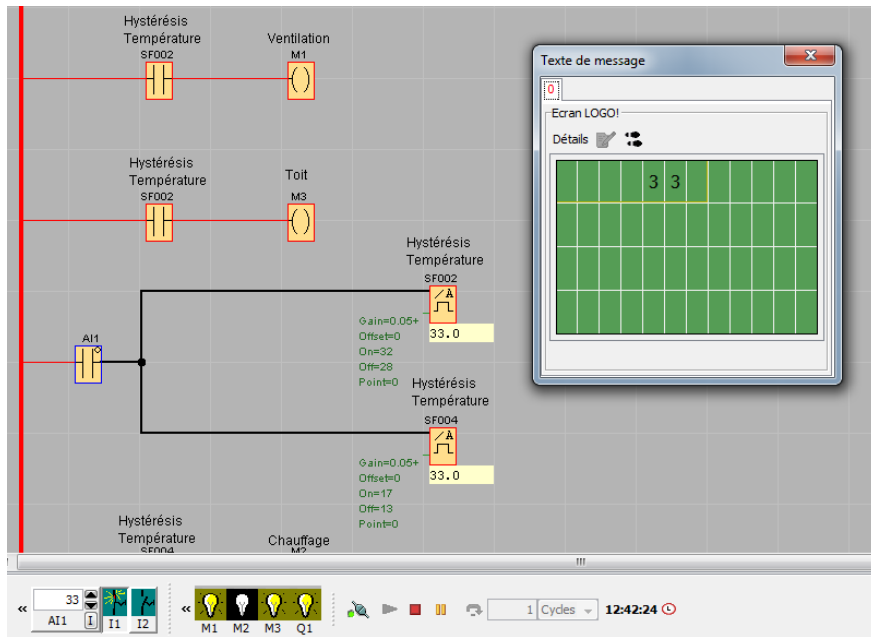


Figure VI. 16: Simulation pour $T > (30 \pm \beta) ^\circ\text{C}$.

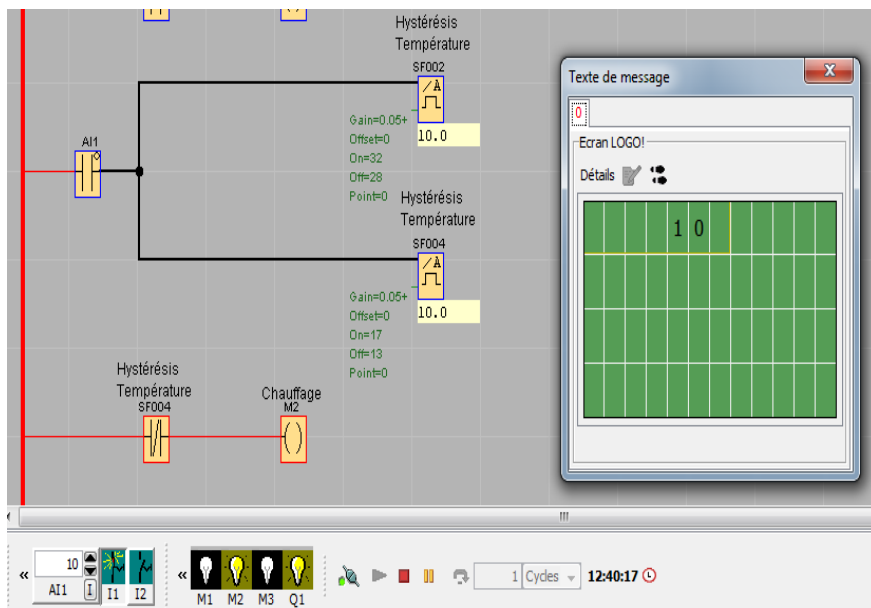


Figure VI. 17: Simulation pour $T < (15 \pm \beta) ^\circ\text{C}$.

VI.4.1.b. Commande de l'éclairage

Dans ce qui suit nous présentons le programme LADDER de la gestion de l'éclairage introduit dans le logiciel LOGO (figure VI.18). Ce programme est constitué de 03 parties :

- Durée de l'éclairage (M2),
- Eclairage artificiel (Q1),
- Eclairage naturel (M1).

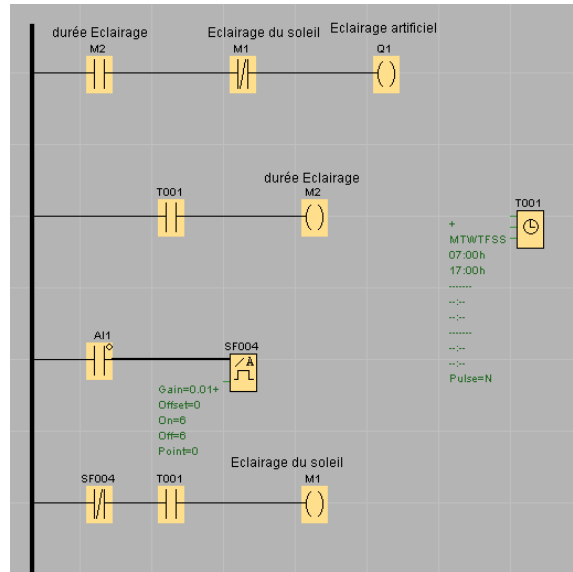


Figure VI. 18: Programme de gestion de l'éclairage.

La figure VI.19 représente les simulations effectuées pour la gestion de l'éclairage.

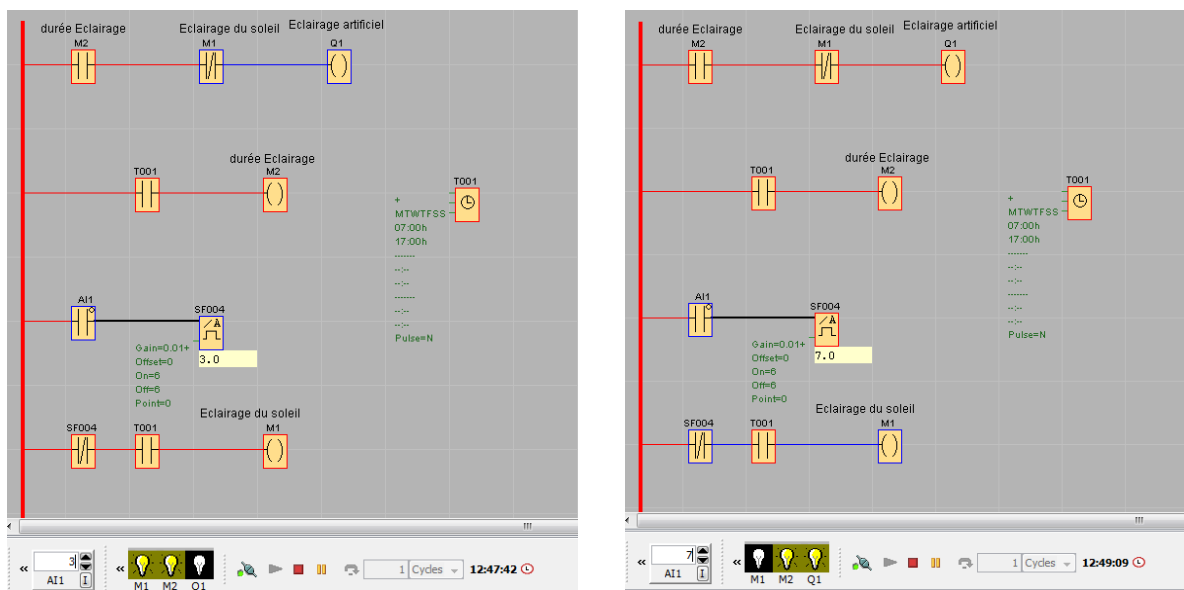


Figure VI. 19: Simulation de l'éclairage naturel et artificiel.

VI.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons établi les différents programmes qui gèrent la température, l'éclairage et l'irrigation de la serre. Ces programmes écrits sous le langage GRAFCET ont été traduits en langage LADDER (sauf pour l'irrigation) et introduits dans le logiciel LOGO Soft. Ceci nous a permis de faire des simulations et vérifier le bon fonctionnement des programmes.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans le premier chapitre de cette étude, nous avons identifié le rôle de la serre et présenté les avantages et les différents types de serres. Puis dans le chapitre II, nous avons fourni des informations générales sur la structure des systèmes de production automatisés et sur les principaux dispositifs liés à ces systèmes de communication, à la distribution d'énergie et à la protection des dispositifs.

Ensuite dans le chapitre III, nous avons fait un bref aperçu du climat local des maisons protégées qui incluent des paramètres tels que la température, l'humidité atmosphérique de l'air et le sol, l'irrigation et l'éclairage. En outre, nous avons introduit des différents capteurs, actionneurs et pré actionneurs, qui sont contrôlés par API pour sa simplicité.

Enfin dans le dernier chapitre, nous avons élaboré des programmes relatifs à la commande de la température, de l'éclairage et de l'irrigation en langage GRAFCET puis converti en LADDER et introduit dans LOGO Soft ce qui nous a permis d'effectuer des simulations et de vérifier le bon fonctionnement des programmes.

En définitif, cette étude nous a permis de comprendre le fonctionnement des serres automatisées et de faire des simulations pour la gestion climatique. En perspective à notre travail, la réalisation de mini serres est envisageable ce qui permettra de concevoir toutes les difficultés pratiques.

Bibliographie

Bibliographie

- [01] -MEDJBER Ahmed, « Automatisation d'une serre agricole : commande et régulation », Editions Universitaires Européennes, Allemagne, 2012.
- [02] -B. BOUCHIKHI, A. ED-DAHAK, A. LACHHAB, et L.EZZINE. « Control of the climate and the drip Fert irrigation under greenhouse », Automatic 1^{er} Salon International de l'agriculture au Maroc Meknès. Les 20-27 Avril (2006).
- [03] -CHAMCHAOUI Wahid, SMAILI Anas, ELAYDI Younes, KADDOURI Hamza et MADZARNI Aiman, « Une serre intelligent », rapport de projet, Ecole polytechnique d'Agadir, Maroc, Juin 2013.
- [04] -DILMI Mohamed Lamine, « Contribution à la modélisation des systèmes automatisés par un outil graphique », mémoire de Master à l'Université de Sétif, Département d'Electrotechnique, Spécialité : Commande des processus industriels, Soutenu le 24/06/2014.
- [05] -MELLALI Sofien, YOUSFI Lounis, « Etude de l'automatisation et de la supervision d'un procédé de lavage de filtres Niagara à CEVITAL », mémoire de Master à Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, Département d'Automatique, Télécommunication et Electronique, Spécialité : Automatique, 2017.
- [06] -L. BERGOUGNOUX, « S.I.I.C A.P.I. Automates Programmables Industriels », POLYTECH Marseille, Département de Mécanique Energétique, 2004–2005
- [07] -BERTRAND M. « Automates programmables industriels. Techniques de l'Ingénieur », S 8015, 14 pages, 2001.
- [08] -P. JARGOT. « Langage de programmation pour API ». Norme CIE 1131–3. Techniques de l'Ingénieur, S 8030, 23 pages, 1999.
- [09] -B. BOUCHIKHI et M. ELHARZLI, « Conception et réalisation d'un système d'acquisition et de commande des paramètres climatiques sous serre. » Phys. Chem. News 22, 45–54 (2005).
- [10] -M. ELHARZLI et B. BOUCHIKHI. « Intérêt de l'effet PELTIER dans la détection de la température de rosée. Application à la mesure du taux d'humidité de l'air », Phys. Chem. News 3, 70–76 (2001).

- [11] -B. BOUCHIKHI, A. ED-DAHAK, M. EL HARZLI, and N. EL BARI. « Les capteurs et leur rôle dans la mesure des paramètres climatiques pour une gestion rationnelle de l'eau d'irrigation en agriculture sous serre ». Communication orale présentée dans les Journées Internationales des Sciences et Technologies Cadiz/Tanger. Les 14-17 Décembre 2004.
- [12] -H. AIT BOUH. « Conception, développement et mise en place d'un système de pilotage automatique du climat et de la Fert irrigation goutte à goutte sous Serre », Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Meknès (2003).
- [13] -ELAFOU Youssef, « contribution au contrôle des paramètres climatiques sous serre », Docteur en Sciences, Discipline : Physique, Spécialité : Automatique, Soutenue publiquement le 16 juin 2014, Université lille1, 16 juin 2014.
- [14] -P. OGUIC. « Interfaces PC », Editions Techniques et Scientifiques Françaises (ETSF) (1993).
- [15] -Y. EL AFOU, L. BELKOURA, M. OUTANOUE, M. GUERBAOUI, A. RAHALI, A. Ed-DAHAK, A. LACHHAB, C. JOIN, et B. BOUCHIKHI. « Techniques de rétroaction utilisant PID et PI-intelligent pour le contrôle de la température à effet de serre ». Revue internationale de recherche avancée en génie électrique, électronique et Instrumentation : IJAREEIE 3 (6) juin (2014).
- [16] -Dominique LABORDE « Technologies pour les agrosystèmes durables », Ed. Cemagref, Hors-série de la revue Ingénieries - eau, agriculture, territoires,2003.
- [17] -AMROUCHE Yacine, DJENADI Islam, « Conception et Réalisation d'un système d'irrigation automatique des serres agricoles » Ed : Master 2, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene Faculté d'Electronique et Informatique, Département Instrumentation et Automatique, Soutenu le 23/06/2016.
- [18] -GHYSLAIN Ndikumana, « Etude et réalisation d'un système de monitoring et de gestion des paramètres bioclimatique d'une serre agricole expérimentale à distance », Mémoire de master USTHB, 2015.
- [19] -LUDURCZAK, Willy., « Capteur d'humidité en Si poreux pour la fiabilité des systèmes in Package », thèse de doctorat, université de Bordeaux 1, 2008.

Webographie

Webographie

- [W1] - <https://www.lesoleil.com/maison/horticulture/lhistoire-des-serres-des-romains-a-aujourd'hui-81ffb6ae10e8f8ffbd6a5325b807e6d9>
- [W2] - http://www.95collegiens.sitew.com/Le_Projet.B.htm#Le_Projet.B
- [W3] - <https://blog.jardincouvert.com/serres-aluminium/differents-types-serres/>
- [W4] - <https://www.ma-serre-de-jardin.com/content/33-une-serre-a-quoi-ca-sert-quels-sont-les-differents-types-de-serres>
- [W5] - <https://fr.wikipedia.org/wiki/Serre>
- [W6] - <http://www.technologuepro.com/cours-automate-programmable-industriel/Les-automates-programmables-industriels-API.htm>, 2014
- [W7] - <http://www.techno-logique.com/AUT-systemes-automatiques.shtml>
- [W8] - <http://slideplayer.fr/slide/469756/>
- [W9] - <https://reporterre.net/Qu-est-ce-qu-une-serre-aquaponique>
- [W10] - <https://www.emg61.fr/automatisme.html>
- [W11] - http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/p/c/f/8/pcf8591.shtml
- [W12] - <http://riadh.agrebi.perso.neuf.fr/essaiFP/dossiersPDF/CapteurTemp.htm>
- [W13] - <http://eduscol.education.fr/cours-types-de-capteurs-de-temperature.pdf>
- [W14] - <http://www.ni.com/tutorial>
- [W15] - http://michel.hubin.pagespersoorange.fr/capteurs/chimi/chap_h1.htm
- [W16] - [http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/ProcessParameters/Humidity Measure met](http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/ProcessParameters/Humidity%20Measure%20met)
- [W17] - <https://www.leroymerlin.fr/v3/p/produits/radiateur-chauffage-central-double-blanc-l-70-cm-1181-w-e4452>
- [W18] - <http://fr.codume.eu/industriel-serres-solutions-ventilation>

- [W19] - <https://www.bellighting.com/>
- [W20] - <https://france-chauffage-solaire.fr/électrovannes/vannes-2-voies-motorisee-fcs-63.html>
- [W21] - <https://www.memoireonline.com/11/13/8045/Automatiser-un-filtre-de-poussiere.html>
- [W22] - <https://tel.archives-ouvertes.fr/ter-00169964/document>
- [W23] - <https://www.jardiner-malin.fr/fiche/fraisier.html>
- [W24] - <https://caldor.fr/cultures/fraise/>
- [W25] - <https://220volt.com.ua/logicheskij-modul-siemens-logo-basic-230rc-6ed1052-1fb00-0ba8/>

ملخص

العمل المنجز في هذه المذكرة هو دراسة ومحاكات نظام الآلي الذي يمكننا من التحكم في الدفيئة. يقوم هذا النظام بالعديد من العمليات دون تدخل الإنسان، حيث يتم التحكم في نظام الري، الإضاءة، التهوية والتسخين أوتوماتيكيا باستعمال الآلية البرمجية الصناعية، والحساسات و المشغلات مع مراعاة الظروف المناخية الملائمة لنمو النباتات. كذلك، للتحكم بهذه الدفيئة آليا، قمنا بإنشاء برامج باستعمال لغات GRAFCET و LADDER وإدخالها في برنامج LOGO Soft للقيام بمحاكات. نتائج دراستنا كانت مقنعة ويمكن استغلالها في إنجازات عملية.

كلمات مفتاح: دفيئة آلية، الآلية البرمجية، تسيير المناخ، GRAFCET، LADDER، محاكاة.

Résumé

Le travail effectué dans ce mémoire est l'étude et la simulation d'un système automatisé qui permet de commander une serre. Ce système effectue plusieurs opérations sans intervention humaine, il commande les systèmes d'irrigation, d'éclairage, la ventilation et le chauffage automatiquement en utilisant l'automate programmable industriel, les capteurs et actionneurs, en prenant en considération le climat adéquat pour la croissance des plantes. Ainsi, pour commander cette serre automatique, nous avons établi des programmes en langages GRAFCET et LADDER et introduit ces derniers dans le logiciel LOGO Soft pour faire les simulations. Les résultats de notre étude ont été satisfaisant et peuvent être exploités pour des réalisations la pratique.

Mots clés : serre automatisée, automate programmable, gestion climatique, GRAFCET, LADDER, simulation.

Abstract

The work done in this graduation memory is the study and simulations of an automatic system that allows to command a greenhouse. This system performed several operations without human intervention, it controls the irrigation, lighting, ventilation and heating systems automatically with the PLC, sensors and actuators, taking into consideration the proper climate for plants growth. Also, to control this automatic greenhouse, we have established programs in GRAFCET and LADDER languages and introduced these in the software LOGO soft for the simulation. The results of our study have been satisfactory and can be exploited for practical achievements.

Keywords: automatic greenhouse, programme logic, climate gestion, GRAFCET, LADDER, simulation.