

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE - EL HARRACH

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة - الحراش -

# Mémoire

Pour obtenir le diplôme de  
Magister en Sciences Agronomiques  
Option: Machinisme Agricole et Agro-Equipements

Présenté par  
BOUTERAA Yakoub

## Sujet

# Automatisation d'une serre agricole

~ Réalisation d'un prototype ~

### Jury :

Mr. AMARA Mahfoud	M.C (ENSA., El Harrach)	Président
Mr. LOUCHENE Ahmed	M.C (Université de Batna)	Directeur de thèse
Mr. KACI Ferhat	M.C (ENSA., El Harrach)	Examineur
Mr. ETSOURI Kaddour	C.C (ENSA., El Harrach)	Examineur

*Soutenu le 20 Décembre 2012*



# Remerciements

Je tiens d'abord à remercier mon Dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé, le courage et la patience pour terminer ce travail.

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au sein du Laboratoire de l'Electronique Avancée (LEA) de l'université de BATNA, sous la direction du **Dr. LOUCHENE Ahmed**, maître de conférences, qu'il trouve ici l'expression de toute ma gratitude pour ses conseils et ses critiques qui m'ont été d'une aide précieuse, ses encouragements et ses suggestions qui ont beaucoup contribué à susciter, à enrichir et à mener à bien ce travail.

J'adresse mes remerciements à mon prof **Dr. AMARA Mahfoud**, Maître de conférences à l'ENSA, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ma soutenance.

Je remercie vivement mon prof **Dr. KACI Ferhat**, Maître de conférences à l'ENSA, aussi mon prof Monsieur **ETSOURI Kaddour**. pour m'avoir fait l'honneur d'être examinateurs de ce travail.

Qu'il me soit permis de remercier tous les enseignants de l'**Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie « ENSA »** et spécialement ceux du département du génie rural section **Machinisme agricole**.



A cette occasion aussi je tiens à témoigner ma reconnaissance à toute personne ayant aidé de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

*BOUTERAA . Y*



# Dédicaces

*Je dédie mon modeste travail :*

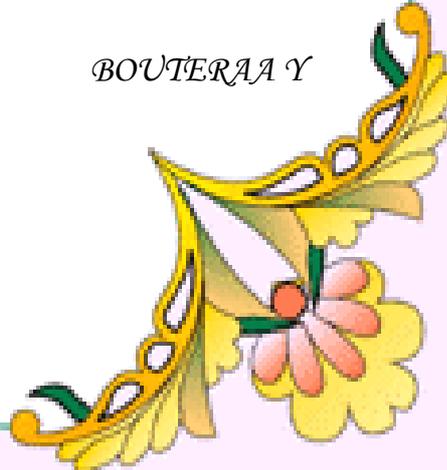
*A mes très chers parents,*

*En remerciement de votre soutien de chaque instant et de vos conseils toujours éclairés, recevez ici le témoignage de mon amour et d'une profonde reconnaissance.*

*A mes amis*

*Pour ces années passées inoubliables et celles à venir, je vous témoigne ma reconnaissance en vous dédiant le fruit de mes efforts. Que notre amitié soit aussi forte qu'elle a été jusque là. Vous avez aplani devant moi les difficultés de la vie et des études.*

*BOUTERAAY*



## Liste des figures

### Liste des figures

Figure. I.1 : Les trois principaux types de serres.....	6
Figure. I.2 : Les pertes de chaleur au niveau de la serre sont de trois ordres.....	16
Figure. I.3: Ecrans thermiques déployés en serre verre.....	19
Figure. I.4: La déshumidification, un processus nécessaire à une bonne croissance des plantes.....	21
Figure. I.5: Bilan simplifié des échanges radiatifs (WACQUANT, 2000).....	22
Figure II.1: Système de contrôle de boucle ouverte.....	25
Figure II.2: Système de contrôle de boucle fermée.....	26
Figure II.3: Système de contrôle de paramètres multiples.....	26
Figure II.4: Un bloc-diagramme d'un système de rétroaction négatif dépeignant un système de contrôle de boucle fermée.....	27
Figure II.5: Organigramme d'un système de contrôle.....	27
Figure II.6: Système de contrôle tout ou rien.....	28
Figure II.7: Les différents cas de L'action PID.....	28
Figure II.8: Les éléments d'une structure à base de microprocesseur.....	31
Figure II.9: Le schéma fonctionnel du PIC.....	32
Figure III.1: Brochage du PIC16F877.....	37
Figure III.2: Structure interne de PIC16F877A.....	38
Figure III.3: Caractéristiques statistiques d'un capteur.....	42
Figure III.4: Capteur d'humidité HS1135.....	46
Figure III.5: Image de l'afficheur LCD 2*16.....	47
Figure III.6: Schéma fonctionnel d'afficheur alphanumérique LCD.....	48
Figure III.7: Schéma d'organisation interne d'un Module LCD.....	49
Figure III.8: Boîtier de MAX232.....	52
Figure IV.1: Vue extérieur du prototype réalisé.....	54
Figure IV.2: Schéma électronique global.....	58
Figure IV.3: Interface de logiciel EAGLE5.6.....	59
Figure IV.4: La carte électronique de contrôle et commande du climat sous serre.....	60

## Liste des figures

Figure IV.5: Interface de logiciel MPLAB IDE v8.83.....	62
Figure IV. 6: Communication série entre PIC et un PC.....	65
Figure IV.7: Schéma électronique La carte Annexe.....	66
Figure IV.8: La carte Annexe.....	66
Figure IV.9: Fenêtre principale de notre contrôleur réalisé.....	67
Figure IV.10: Ecran de détermination de la serre cultivée.....	68
Figure IV.11: Ecran de détermination de type de culture.....	68
Figure IV.12: Ecran de définir de la validité de chaque stade.....	69
Figure IV.13: Ecran des consignes de température ambiante.....	69
Figure IV.14: Ecran des consignes d'humidité relatives de l'air.....	69
Figure IV.15: Ecran des consignes de luminosité.....	70

## Liste des tableaux

### Liste des tableaux

Tableau. I.1 : Production mondiale de la tomate en 2009 (FAO STAT 2009).....	9
Tableau. I.2 : Principales cultures maraichères et industrielles en Algérie (MADR 2009).....	10
Tableau. I.3 : Evolution de la tomate maraichère en Algérie 2001-2009( MARD 2009).....	11
Tableau.III.1: Performances du PIC16F877A.....	36
Tableau.III.2: Fonctionnement de l’afficheur LCD 2*16.....	47
Tableau.III.3: Brochage de LCD.....	49
Tableau.III.4: Brochage du port RS232.....	50

# ***SOMMAIRE***

## Sommaire

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

### **CHAPITRE : I** **La serre et son climat**

I.1. Introduction .....	4
I.2. Place des légumes dans l'alimentation humaine .....	4
I.3. La culture sous serre .....	5
I.3.1. Définition d'une serre agricole .....	5
I.3.2. Intérêt de la serre .....	5
I.3.3. Choix de la serre et de sa couverture .....	5
I.3.4. Les différents types de la serre .....	6
I.3.5. Mise en place des serres .....	6
I.3.5.1. La culture de tomate .....	7
I.3.5.1.1. Généralités sur la tomate maraichère .....	7
I.3.5.1.2. Importance dans le monde et besoins nationaux .....	8
I.3.5.1.3. Importance dans le secteur du maraicher Algérien .....	9
I.3.5.1.4. Evolutions des serres cultivées en Algérie .....	10
I.3.5.1.5. Contraintes de production dans l'économie nationale .....	11
I.4. L'énergie et la serre .....	12
I.4.1. Intérêts de la détermination du microclimat .....	12
I.4.2. Microclimat et exigences climatiques des plantes cultivées .....	12
I.4.2.1. La température ambiante .....	13
I.4.2.1.1. L'effet de serre .....	13
I.4.2.1.2. Les échanges thermiques (Les transferts de chaleur) .....	14
a) Transfert de chaleur par conduction .....	14
b) Transfert de chaleur par convection .....	15
c) Transfert de chaleur par rayonnement .....	15
I.4.2.1.3. Déperditions calorifiques .....	16
a) Pertes par rayonnement .....	16
b) Pertes par renouvellement d'air .....	16
c) Pertes par convection/conduction .....	16
I.4.2.1.4. Consigne pratique de température ambiante .....	16
I.4.2.1.5. Chauffer pour maintenir une température optimale .....	17

## Sommaire

I.4.2.1.6. Utilisation du chauffage pour produire des légumes .....	17
a) Les écrans thermiques .....	18
b) Le chauffage localisé .....	19
I.4.2.2. L'hygrométrie de l'air .....	19
I.4.2.2.1. Humidité relative de l'air .....	19
I.4.2.2.2. Consigne pratique d'hygrométrie .....	20
I.4.2.2.3. La déshumidification .....	20
I.4.2.3. Lumière et rayonnement solaire .....	21
I.4.2.4. Le gaz carbonique .....	23
I.5. Conclusion .....	24

## **CHAPITRE : II** **Le contrôle des systèmes**

II.1. Introduction .....	25
II.2. Contrôle .....	25
II.2.1. Définition.....	25
II.2.2. Conception d'un système de contrôle .....	26
II.2.3. Choix de Types de Contrôle .....	27
II.2.3.1. Contrôle Tout ou Rien .....	28
II.2.3.2. Le Contrôleur PID .....	28
a). L'action proportionnelle (KP) .....	29
b). L'action intégrale (KI) .....	29
c). L'action dérivée (KD) .....	29
II.3. Les microcontrôleurs « PIC » .....	30
II.3.1. Définition .....	30
II.3.2. Mise en situation .....	31
II.3.2.1. Présentation des microcontrôleurs « PIC » .....	31
II.3.2.2. Différents familles des PICs .....	32
II.3.2.3. Choix d'un microcontrôleur .....	32
II.3.3. Identification d'un PIC .....	33
II.3.4. Description et structure interne des PICs .....	33
II.4. Conclusion .....	34

## Sommaire

### **CHAPITRE : III** **Description du PIC utilisé**

III.1. Introduction .....	35
III.2. Le microcontrôleur PIC 16F877A .....	35
III.2.1. Alimentation .....	36
III.2.2. Les particularités électriques du PIC 16F877A .....	36
III.2.3. Brochage du 16F877A .....	36
III.2.4. Organisation du 16F877A .....	37
III.2.5. Les ports entrée/sortie du PIC 16F877A .....	38
III.2.6. Les interruptions du PIC 16F877A .....	39
III.2.7. Les TIMERS .....	40
III.2.8. Le module USART en mode série synchrone .....	40
III.2.9. Le registre SPBRG .....	41
III.2.10. Quartz d'horloge .....	41
III.2.11. Réinitialisation .....	41
III.3. Les capteurs .....	41
III.3.1. Caractéristiques statistiques d'un capteur .....	42
a). Fidélité .....	42
b). Justesse .....	42
c). Précision .....	42
III.3.2. Etalonnage des capteurs .....	43
III.3.2.1. Etalonnage simple .....	43
III.3.2.2. Etalonnage multiple .....	43
III.3.3. Conditionneurs des capteurs passifs .....	44
III.3.4. Mode de fonctionnement .....	44
III.3.5. Raisons de Choix du capteur .....	45
III.3.6. Caractéristiques techniques des capteurs utilisés .....	45
III.3.6.1. Capteur de température .....	45
III.3.6.2. Capteur d'humidité .....	45
III.4. Afficheur LCD .....	46
III.4.1. Mise en œuvre d'un afficheur LCD .....	46
III.4.2. Fonctionnement de l'afficheur .....	47
III.4.2.1. Principe des cristaux liquides .....	47
III.4.2.2. Schéma fonctionnel .....	48

## Sommaire

III.4.2.3. Brochage .....	48
III.4.3. Description des instructions de l'afficheur .....	49
III.5. Le protocole RS232 .....	50
III.5.1. Brochage du port RS232 .....	50
III.5.2. Fonctionnement .....	51
III.5.3. Le MAX 232 .....	52
III.5.4. Paramètres rentrant en jeu pour la norme RS232 .....	52
III.6. Conclusion .....	53

### **CHAPITRE : IV** **Description du système réalisé**

IV.1. Introduction .....	54
IV.2. Dispositif expérimental .....	54
IV.2.1. Le prototype .....	54
IV.2.1.1. Système de Ventilation .....	55
IV.2.1.2. Système de chauffage .....	55
IV.2.1.3. Humidificateur .....	55
IV.3. Méthodologie de la commande .....	55
IV.4. Cahier de charge.....	56
IV.4.1. Avantages de Gestion climatique.....	56
IV.4.1.1. Fonction chauffage.....	56
IV.4.1.2. Fonction aération.....	57
IV.4.1.3. Fonction humidification de l'air .....	57
IV.4.2. Actions générées par le système de régulation de serre.....	57
IV.5. Réalisation de système de contrôle .....	57
IV.5.1. Implantation matérielle .....	57
IV.5.1.1. La carte principale.....	57
IV.5.1.1.1. Schéma électronique global .....	57
IV.5.1.1.2. Description de (EAGLE5.6) .....	59
IV.5.1.1.3. Réalisation du circuit imprimé .....	59
IV.5.1.1.4. Implantation des composants .....	60
IV.5.1.2. L'alimentation .....	60
IV.5.1.3. Entrée des capteurs .....	61

## Sommaire

IV.5.1.4. Positionnement des capteurs .....	61
IV.5.1.5. Conception du programme de fonctionnement .....	62
IV.5.1.5.1. Programmation du PIC .....	62
IV.5.1.6. Commande des actionneurs .....	64
IV.5.1.7. La carte Annexe .....	65
IV.5.1.7.1. Protocole de communication .....	65
IV.5.1.7.2. La carte de liaison avec PC .....	66
IV.5.2. Implantation logiciel .....	66
IV.5.2.1. Description du logiciel DELPHI .....	67
IV.5.2.2. Interface utilisateur .....	67
IV.5.2.3. Le lancement du système .....	70
IV.6. Conclusion .....	71
Conclusion générale et perspectives .....	72

## Annexes

Annexe A : Nomenclature du matériel utilisé.

Annexe B : Circuits imprimés.

Annexe C : Fiches techniques des capteurs utilisées.

# ***Introduction générale***

## **Introduction**

### **Introduction générale**

Selon le Bureau National des Statistiques, la population de l'Algérie s'élève à 37,1 millions d'habitants au 1er Janvier 2012. Le Bureau a expliqué que si le taux de croissance est stabilisé, cela pourra approcher le nombre de résidents de 38 millions le 1<sup>er</sup> Janvier 2013. Le taux d'accroissement naturel est estimé à 2,04 pour cent, le Bureau aussi a souligné que la dynamique démographique en Algérie se poursuivra sur le même rythme ! Comment nous agissons pour atteindre notre autosuffisance ?

L'agriculture est un secteur stratégique dans l'économie nationale, aussi que la richesse pétrolière de l'état est une richesse transitoire. Donc la prise en charge et l'élaboration des travaux continus dans ce secteur stratégique doivent être pris au sérieux.

L'Algérie reste tributaire de l'importation des aliments, pour faire face à ses besoins de production. Quelle stratégie doit être développée pour atteindre un certain seuil d'autosuffisance alimentaire au Algériens ?

De nos jours, nous trouvons des légumes, des fruits, des fleurs et des plantes hors saison ; hors de leur cycle physiologique. Ils ne peuvent se manifester normalement que si des conditions favorables et particulières sont réunies artificiellement.

La culture sous serre ou serriculture est un mode de production intensive qui exige que les facteurs de production soient maximisés afin d'assurer une rentabilité.

Les cultures sous serre connaissent un développement important, pour faire face à un marché de plus en plus concurrentiel et conditionnée par des normes de qualité de plus en plus sévères.

Les cultures sous serres en Algérie ont connu un développement important au cours des deux dernières décennies passant ainsi de 4451 ha en 1989 pour atteindre 20789 ha actuellement. (MADR 2009) Elles constituent un système de culture permettant un environnement favorable au développement et à la croissance des cultures horticoles.

En culture de tomate, une période de chaleur intense peut entraîner une mauvaise nouaison, des fruits de qualité inférieure et une faible productivité. Un bon contrôle du climat de la serre combiné à des plants de bonne vigueur peut prévenir ou minimiser ces problèmes. Mais pour y parvenir, il faut savoir ajuster la conduite climatique en conséquence.

Dans toutes les serres, il existe toujours des périodes pendant lesquelles, la température, ou l'humidité relative à l'intérieur de la serre devient extrêmement dangereuse pour la plante. Ceci arrive à cause de l'incapacité de l'homme à avoir des jugements précis et rapides.

## Introduction

Aussi le consommateur veut désormais trouver dans les marchés des produits agricoles tout au long de l'année même en hors saison. De plus, les populations occupant ces villes sont de plus en plus nombreuses. Alors que faire pour nourrir ces villes ?

La commande de climat est de plus en plus nécessaire pour la précision agriculture qui produit plus et de meilleures récoltes. Actuellement, il est devenu possible de commencer à se développer et à appliquer des systèmes avec des stratégies plus sophistiquées de commande grâce à l'application de modèles et d'identifications techniques.

Dans la culture sous serres, on essaie d'accroître certains facteurs essentiels liés au développement des plantes afin de reproduire leur climat d'origine et ainsi pouvoir contrôler leur production. Aussi recréer un environnement dans lequel la température, l'humidité, la lumière et l'apport nutritif sont contrôlés et modifiés afin d'optimiser la croissance et le développement des plantes.

Avec les coûts faramineux d'énergie que nous connaissons actuellement, il serait important d'optimiser au maximum l'espace que nos cultures doivent occuper dans les serres.

Dans ce sens, nous avons proposé un dispositif piloté par microcontrôleur PIC16F877A qui joue un rôle régulateur des paramètres microclimatiques. Dès que certains paramètres sont en dessous ou en dessus d'une limite fixée préalablement (consignes) une action adéquate est générée. La description du travail réalisé est sanctionnée par un mémoire structuré en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous rappelons l'importance des cultures sous serre aux structures socio-économiques, leur actualité au niveau mondiale et nationale, ainsi que l'influence des divers paramètres microclimatiques ayant un effet sur les productions sous serre.

Le deuxième chapitre donne un aperçu sur le contrôle automatique, et le bénéfice d'utilisation des microcontrôleurs en donnant des notions de base de ce microcontrôleur.

Le troisième chapitre présente les divers composants électroniques qui rentrent dans notre réalisation, et le mode de son fonctionnement.

Le quatrième chapitre présent la réalisation pratique de notre carte de contrôle des paramètres microclimatiques étudiés et le programme de sa gestion (Implantation matérielle, et logiciel). Finalement nous terminons ce mémoire par une conclusion générale et des perspectives.

En annexes nous avons ajouté:

## **Introduction**

Annexe I : Nomenclature des composants électroniques.

Annexe II : Circuits imprimés.

Annexe III : fiches techniques des composants utilisées.

# ***CHAPITRE : I***

## ***La serre et son climat***

## **I.1. Introduction**

La culture sous abris est devenue un instrument ordinaire de notre approvisionnement en produits frais. Quelle que soit l'optique choisie: économique, sociale ou écologique, la production locale apparaît plus sensée que l'importation de régions lointaines, lorsqu'il s'agit de produits cultivés de toutes façons sous abris. Cela étant, l'exploitation raisonnée des infrastructures impose, sous nos climats, le chauffage quasi continu des serres pour une production en toute saison.

Le mode de culture approprié à cette situation est appelé la serriculture, il fait appel à plusieurs éléments constitutifs d'un agro-système basé sur le principe de fondement d'un microclimat assurant la protection et le déroulement normal de la croissance des plantes. L'apparition des abris assure le développement des différents organes des plantes ; ce dernier tire alors le profit de l'environnement extérieur d'une façon planifiée et contrôlée.

Depuis une dizaine d'années, les cultures maraîchères sous abris ont connu un développement considérable sur le pourtour du bassin méditerranéen. Si nous analysons, lors de ces dernières années, les structures socio-économiques dans les pays méditerranéens se sont rapidement et profondément transformées. Ces changements se sont accompagnés de modification dans les habitudes alimentaires, qui se caractérise par une augmentation de la consommation des fruits et légumes dont la demande est continue toute l'année. Pour s'adapter et répondre efficacement à cette demande, les systèmes de production ont dû évoluer, notamment vers une plus grande maîtrise des conditions de production microclimatique.

## **I.2. Place des légumes dans l'alimentation humaine**

Dans l'histoire de l'homme, les légumes tiennent une place importante dans l'alimentation humaine. En effet, les légumes ont de nombreuses propriétés: (Saunier, 2004)

- ils enrichissent le régime alimentaire ;
- ils améliorent la qualité gustative des autres aliments ;
- ils facilitent la digestion ;
- ils possèdent, dans certains cas, des qualités curatives;

Les légumes sont en générale très riches en vitamines et sels minéraux, relativement pauvres en protéines avec toutefois une composition en acides aminés équilibrée (teneur élevée en méthionine et glycine), très pauvre en lipides et riches en fibres.

Selon la FAO, pour un régime alimentaire équilibré, la consommation de légumes doit être de 200 g/pers./j., soit environ 75 kg/pers./an. Les habitants des pays à climat tempéré consomment en moyenne cette quantité. En revanche, dans certains pays désertiques et/ou à

climat tropical, la consommation de légumes devient insuffisante. En Asie subtropicale, par exemple, elle est de 50 kg/pers./an, en Asie du Sud-Est de 25 kg/pers./an, en Amérique latine de 22 kg/pers./an et en Afrique équatoriale seulement de **13** kg/pers./an. (Giove., 2007)

### **I.3. La culture sous serre**

#### **I.3.1. Définition d'une serre agricole**

- La serre est une construction destinée à abriter des cultures des plantes ornementale, légumières ou fruitières, et parfois -dans un but expérimentale ou didactique- de toutes autres plantes, dans des conditions plus favorables ou plus sûres qu'en plein air. (Berninger, 1993)
- La définition de la norme française NF U57-001, déc.1984 décrit la serre comme « une enceinte destinée à la culture ou à la production des plantes en exploitant le rayonnement solaire. Les dimensions de cette enceinte permettent à un homme de travailler aisément à l'intérieur ». (Bordes, 1992)

Cette structure protège les plantes grâce à une maîtrise du climat qui permet d'obtenir des conditions optimales de croissance ou en minimisant les risques sanitaires. « L'exploitation du rayonnement solaire » directement par les mécanismes de photosynthèse, mais aussi à travers le phénomène de l'effet de serre contribue à la bonne croissance de la plante.

#### **I.3.2. Intérêt de la serre**

La serre de culture offre la possibilité de s'affranchir des contraintes climatiques extérieures (pluie, vent, froid), elle est conçue pour recréer un environnement donné (microclimat). Elle permet le chauffage de l'air et des racines, le contrôle de l'irrigation et de la fertilisation, l'enrichissement en CO<sub>2</sub> et le contrôle de l'humidité (Chelha, 2004). Elle joue un rôle économique en présentant des produits sur le marché en contre saison.

La serre permet ainsi d'obtenir une production végétale dans des conditions meilleures que celles existant naturellement par conséquent une meilleure qualité, du produit. Pour aboutir à ces résultats, il faut répondre minutieusement aux exigences de la culture pour les différents facteurs intervenant dans sa croissance et son développement, ceci suppose la connaissance des interactions entre ces divers paramètres. (Bordes, 1992)

#### **I.3.3. Choix de la serre et de sa couverture**

Les principaux critères de choix d'une serre et sa couverture d'après (Urban, 1997) sont les suivants :

- La transmission du rayonnement utile à la photosynthèse (elle détermine le potentiel de production) ;
- La solidité et la durabilité (attention aux zones comportant des risques climatiques) ;
- La fonctionnalité et la facilité de maintenance (elle joue un rôle dans les coûts de main-d'œuvre) ;
- Les économies d'énergie (quand il faut chauffer) ;
- Le prix.

#### I.3.4. Les différents types de serres

La serre modifie spontanément les conditions mentionnées précédemment. On distingue trois principaux types de structures de serre: la serre en verre, la serre multi chapelle couverte de plastique et la serre " tunnel " plastique (Fig. I.1).



Figure. I.1: Les trois principaux types de serres

#### I.3.5. Mise en place des serres

Le choix du site d'implantation des serres est essentiel. L'ensoleillement et le potentiel de production sont beaucoup plus faibles dans les régions septentrionales que dans les régions méditerranéennes. Et, ils sont plus faibles dans ces dernières que sous les tropiques. Il est bon de se rappeler aussi que les saisons sont inversées d'un hémisphère à l'autre, et que la différence de rayonnement journalier cumulé entre les régions du nord et du sud est beaucoup plus marquée en hiver qu'en été. Les régions du nord et du sud sont en fait assez complémentaires : les premières ont une vocation naturelle pour la production estivale de qualité, et les secondes ont l'avantage en hiver.

Il faut enfin garder à l'esprit que l'objectif de la production sous serre, comme de toute production, n'est pas d'atteindre le rendement maximal de produits de qualité mais de générer la marge la plus élevée possible, ce qui est infiniment plus subtil. D'autres considérations que l'ensoleillement entrent donc en ligne de compte à l'heure du choix du site d'implantation d'une

serre, comme la proximité des marchés, le contexte socioéconomique, l'environnement scientifique et technique. (Urban, 1997)

### **I.3.5.1. La culture de tomate**

#### **I.3.5.1.1. Généralités sur la tomate maraichère**

La tomate "*Lycopersicum esculentum* Mill" appartient à la famille des solanacées, d'origine tropicale (Amérique latine). Elle a des exigences particulières: sensible au froid, craint beaucoup le gel et les vents chauds et elle est très exigeante en température. (Grasselly D., Navez B. et Letard M., 2000)

La Tomate est d'origine sauvage américaine, en particulier d'Amérique Centrale et Amérique du Sud. La tomate est une plante annuelle de la famille des Solanacées, dont le fruit est une baie. Cette dernière est rouge, parfois jaune ou orangée, de forme ronde ou plus ou moins allongée, lisse ou creusée de sillons. Les fruits sont de grosses baies, toujours charnues, tantôt lisses, tantôt côtelées, qui contiennent, noyées dans la pulpe une grande quantité de petites graines blanches, plates, réniformes, feutrées lorsqu'elles sont sèches. (Chaux et Foury, 1994, Shankara et al 2005)

- **Température**

La température est le facteur le plus déterminant dans la production de la tomate. Celle-ci réagit énormément aux variations thermiques.

- Les basses températures (<10°C) ralentissent la croissance et le développement des plantes, entraînant un raccourcissement des entre-nœuds et la formation d'un feuillage abondant au détriment de la production. Une température basse peut entraîner aussi des ramifications des bouquets, difficultés de nouaison et formation des fleurs fasciées.
- Au dessous de 17°C, le pollen germe mal, surtout si l'humidité est faible. Par contre, les températures élevées favorisent la croissance de la plante au détriment de l'inflorescence qui peut avorter. La persistance d'un temps chaud et sec peut entraîner un allongement anormal du pistil, rendant ainsi une auto-pollinisation difficile.
- Au dessus de 30°C, le lycopène, pigment responsable de la couleur rouge de fruit ne se forme plus. C'est le pigment  $\beta$  carotène qui se forme donnant ainsi une coloration jaune-orange au fruit. Les températures optimales sont:
  - ✓ Températures diurnes: 20-25°C
  - ✓ Températures nocturnes: 13-17°C
  - ✓ Température du sol: 14-18°C

Cependant, sous les conditions algériennes, ces valeurs sont difficiles à réaliser, malgré l'utilisation des abris-serres. La culture de tomate qui s'étale sur une période de production d'environ 10 mois passe au minimum 3 mois sous des conditions défavorables (températures basses). Une mauvaise aération et le manque d'étanchéité peuvent accentuer la mauvaise maîtrise de la température à l'intérieur des abri-serres.

- **Humidité relative (HR)**

- Une humidité relative de 75 % est jugée optimale. Elle permet d'avoir des fruits de bons calibres, avec moins de gerçures et sans défaut de coloration.
- Une HR trop élevée, couplée à une température élevée, entraîne une végétation luxuriante avec un allongement des entre-nœuds. Elle favorise aussi le développement des maladies, notamment le botrytis et le mildiou. L'aération matinale permet de réduire l'humidité de l'air et élimine les petites gouttelettes de condensation qui se forment sur la paroi du plastique. En cas de temps sec, l'irrigation peut augmenter l'HR. En période de production (Oct-Mai), l'HR diurne reste généralement proche de l'optimum sauf dans le cas d'un vent chaud et sec. où l'HR baisse en dessous de seuil.

- **Lumière**

- La lumière est un facteur écologique fondamental. Elle intervient dans de nombreux phénomènes physiologiques, notamment la photosynthèse.
- La tomate est une culture neutre à la photopériode. Cependant, elle est exigeante en énergie lumineuse et un manque peut inhiber l'induction florale. La réduction de la lumière baisse le pourcentage de germination du pollen. En temps couvert, la déhiscence des anthères est mauvaise. En revanche, le déficit de lumière est compensé par les températures élevées sous les serres (effet serre).
- La transmission de la lumière est fonction du type de plastique utilisé. Elle est de 70 % pour le plastique anti-UV (2 étoiles) et de 65 % pour le plastique infrarouge (thermique). Cette transmission diminue lors de la 2ème année d'usage, en raison des saletés et des dépôts de poussières. Dans ce cas, un lavage du plastique en 2ème année est conseillé pour améliorer son efficacité.

### **I.3.5.1.2. Importance dans le monde et besoins nationaux**

Selon le tableau (I.1), les deux premiers pays producteurs mondiaux sont la Chine avec 25,34 % suivie des Etats-Unis avec 08,84 %. Avec plus de 10 millions de tonnes de tomates produites chaque année, la Turquie occupe le troisième rang mondial. De nombreux pays tels

que l’Egypte, l’Inde, l’Iran, le Brésil, le Maroc et la Grèce produisent également chaque année plus d’un million de tonnes de tomates. Enfin, des pays comme la France et les Pays-Bas ont une production plus modeste de quelques centaines de milliers de tonnes (Desmas, 2005). L’Algérie à la place 19 en ordre mondiale.

Pays	Production(10 <sup>3</sup> tonnes)	(%)	Pays	Production(10 <sup>3</sup> tonnes)	(%)
Monde	124 875	100%	Ouzbékistan	1 317	01,05%
Chine	31 644	25,34%	Maroc	1 206	00,96%
USA	11 043	08,34%	Portugal	1085	00,86%
Turquie	10 050	08,04%	Nigeria	1 057	00,84%
Inde	8 586	06,87%	Algérie	1 023	00,81%
Egypte	7 600	06,08%	Syrie	946	00,75%
Italie	7 187	05,75%	Canada	839	00,67%
Iran	4 781	03,82%	Cuba	803	00,64%
Espagne	4 651	03,72%	France	790	00,63%
Brésil	3 453	02,76%	Japon	758	00,60%
Mexique	2 800	02,24%	Argentine	660	00,52%
Fédération Russe	2 296	01,83%	Hollande	660	00,52%
Grèce	1 712	01,37%	Roumanie	627	00,50%
Ukraine	1 472	01,17%	Autre	14 869	12,06%
Tunisie	960	00,76%			

Tableau. I.1: Production mondiale de la tomate en 2009 (FAO STAT 2009)

### I.3.5.1.3. Importance dans le secteur du maraîcher Algérien

La tomate occupe une place privilégiée dans le secteur maraîcher en Algérie. Elle est considérée à juste titre comme une espèce prioritaire comme la pomme de terre, l’ail et l’oignon.

Selon le **tableau I.2**, nous remarquons que la tomate est cultivée selon deux modes de production à savoir en culture maraîchère et en culture industrielle. La superficie totale réservée est de **32962 Ha** représentée par **63,06%** pour la tomate maraîchère et **36,93%** pour la tomate industrielle. La tomate représente **7,94%** de la superficie totale réservée aux cultures maraîchères et industrielles.

Pour ce qui est de la production de tomate maraîchère, sa production représente **08,79%** par rapport à la production totale des cultures maraîchères et **08,33%** par rapport à la production totale des cultures maraîchères et industrielles. Par contre, pour la tomate industrielle, le taux de représentativité est de **95,57%** par rapport aux cultures industrielles pratiquées en Algérie et **4,97%** par rapport à la production des cultures maraîchères et industrielles.

Espèce	Superficie (Ha)	Production (Qx)	Rendement (Qx/Ha)
<b>Tomate industrielle</b>	<b>12 173</b> <b>36,93%</b>	<b>3 822 731</b> <b>4,97%</b>	<b>314,0</b>
Tabac	4 598	76 677	16,7
Arachide	2 574	30 570	11,9
Autre	1 874	69 885	37,3
<b>Total</b>	<b>21 219</b>	<b>3 999 863</b>	<b>188,5</b>
<b>Pomme de terre</b>	<b>105 121</b>	<b>26 360 570</b>	<b>205,8</b>
<b>Tomate maraichère</b>	<b>20 789</b> <b>63,03%</b>	<b>6 410 343</b> <b>8,33%</b>	<b>308,4</b>
Oignon	42 662	9 801 602	229,8
Ail	11 193	599 323	53,5
Melon	44 791	10 347 220	231,0
Pastèque			
Carotte	16337	2 712 185	166,0
Piment	9 334	1 279 020	137,0
Poivron	12 083	1 910 468	158,1
Concombre	4 080	1 017 860	249,5
Courgette	11 949	1 898 868	158,9
Aubergine	4 133	763 172	184,7
Artichaut	2 724	395 354	145,1
Choux vert	3 085	467 880	151,7
Choux fleur	5 323	818 798	153,8
Navet	8 187	1 129 590	138,0
Fèves vert	24 958	2 014 797	80,7
Haricot vert	8 918	450 964	50,6
Petit pois	28 724	1 029 707	35,8
<b>Total</b>	<b>393 594</b>	<b>72 912 950</b>	<b>185,2</b>

Tableau. I.2: Principales cultures maraichères et industrielles en Algérie (MADR 2009)

En ce qui concerne les rendements, on peut dire qu'ils sont presque similaires avec une légère hausse en tomate industrielle, ceci montre bien que les techniques adoptées pour les deux modes de productions sont conformes à l'espèce étudiée.

#### I.3.5.1.4. Evolutions des serres cultivées en Algérie

La culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne. Près de 33 000 ha sont consacrés annuellement à la culture de tomate (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne de 11 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 Qx/ha (MADR 2009). Ces derniers demeurent faibles et assez éloignés de ceux enregistrés dans d'autres pays du bassin méditerranéen (Tunisie, Maroc, Espagne, France, Italie) producteurs de tomate, où les rendements varient entre 350 Qx/ha à 1500 Qx/ha (FAO, 2008).

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<i>Superficies (Ha)</i>	16760	17820	18650	19432	21089	20436	20079	19655	20789
<i>Productions(Qx)</i>	3735340	4013640	4569330	5121950	5137280.4	5489336	5673134	5592491	6410343
<i>Rendements (Qx/Ha)</i>	222.87	225.20	245.00	263.60	243.60	268.60	282.50	284.50	308.40

Tableau. I.3: Evolution de la tomate maraichère en Algérie 2001-2009 (MADR 2009).

Les données du tableau I.3 montrent une augmentation de la superficie et de la production due à la consommation élevée de ce fruit notamment à compter de l'année 2004 qui se stabilisent aux alentours de 20000Ha avec une production moyenne de 5.570755 Qx. L'accroissement de la superficie de 15,94% a engendré une augmentation de la production de 37,12% par rapport à l'année 2001. Cette augmentation de la production n'est pas liée uniquement à l'augmentation des superficies mais aussi aux techniques utilisées dans le calendrier cultural et l'entretien de la culture qui se sont améliorées progressivement.

Nous remarquons aussi une augmentation du rendement, ce qui peut être expliqué par l'amélioration progressive et la maîtrise des techniques culturales mais qui restent insuffisant pour atteindre les normes de production recommandées. Aussi, il y a lieu de noter que certaines wilayas telles que Chlef, El Taraf, Tindouf et Biskra enregistrent des rendement moyens de 750Qx avec de faibles superficies mis à part Biskra où la superficie est de 1333Ha (Snoussi,2010). Cette constatation montre bien qu'il est possible d'atteindre des rendements appréciables avec de faibles superficies du fait que les techniques adoptées et les moyens mis en œuvres couvrent bien la culture mise en place et ce avec une bonne maitrise , seulement dès que les superficies augmentent, les règles relatives au calendrier cultural, aux travaux d'entretien qui devraient être appliquées ne sont plus respectées et les moyens humains et matériels sont limités et par conséquent les objectifs attendus en matière de productions et de rendements ne sont pas atteints. La région de Biskra peut nettement améliorer son rendement compte tenu de l'application plus ou moins correcte des règles de base pour la réussite d'une spéculation végétale néanmoins les potentialités humaines et matériels peuvent être insuffisants au moment opportun.

#### **I.3.5.1.5. Contraintes de production dans l'économie nationale**

Les principales contraintes de production de la tomate maraichère peuvent être résumées comme suit :

- Le faible encadrement et même l'absence par les vulgarisateurs dans certaines exploitations agricoles
- Faible utilisation des nouvelles techniques de production, semences sélectionnées, plants certifiés
- Non respect du calendrier cultural
- Absence de traitements préventifs contre les attaques parasitaires
- Faible taux de couverture des besoins en eau, alors que c'est une espèce exigeante en eau 4000 à 5000m<sup>3</sup>/Ha
- Circuit commercial mal organisé (offre excédentaire ou déficitaire selon les années, ce qui se répercute sur les prix)

#### **I.4. L'énergie et la serre**

##### **I.4.1. Intérêts de la détermination du microclimat**

Pour répondre à ces besoins, de nouveaux outils et techniques de production ont été développés. L'outil serre et ses équipements de chauffage permettent de mieux gérer la croissance des plantes car la gestion du climat est maîtrisée.

Pour une croissance optimale, la nécessité d'un climat maîtrisé. Plusieurs paramètres du climat influencent fortement la croissance de la plante.

##### **I.4.2. Microclimat et exigences climatiques des plantes cultivées**

L'évolution des modes de consommation a eu un impact sur la production des légumes mais aussi des plantes et des fleurs. Les consommateurs actuels souhaitent que ces produits soient disponibles tout au long de l'année quelle que soit leur période de production ou même leur région d'origine. Ainsi, la tomate en frais est passée d'un produit de saison à un produit disponible toute l'année. Pour les cultures ornementales, des plantes d'origine tropicale sont aujourd'hui cultivées un peu partout. De plus, la demande en fleurs est forte en hiver lors des fêtes alors que la saison est défavorable. Cette évolution a d'autre part permis aux serristes de vendre des produits précoces et d'obtenir une plus grande valeur ajoutée.

Pour répondre à ces besoins, de nouveaux outils et techniques de production ont été développés. L'outil serre et ses équipements de chauffage permettent de mieux gérer la croissance des plantes car la gestion du climat est maîtrisée. Plusieurs paramètres influencent la croissance des plantes et sont à maîtriser :

### **I.4.2.1. La température ambiante**

Chaque espèce requiert une température optimale de croissance qui peut atteindre 18 à 20°C (notamment en cultures maraîchères et pour certaines plantes en pot d'origine exotique).

La température de l'ambiance joue un rôle important pour les fonctions vitales de la plante : la photosynthèse, la transpiration, la circulation de la sève, la multiplication et la différenciation des cellules des organes aériens (Cniha A, 2005). Par exemple, en production de tomate, la température influence fortement le calibre du fruit, la coloration et la forme. La température optimale pour la photosynthèse de la tomate varie entre 22 et 25 °C (Grasselly et al., 2000). En ornement, les différentes espèces ont des températures de croissance optimales très variables. En dessous ou au dessus de ce seuil de température, la qualité des plantes est plus ou moins dépréciée.

Le maintien d'une température d'ambiance nécessite l'utilisation d'un système de chauffage. Au départ, l'intérêt des productions sous serres était de pouvoir profiter du phénomène d'effet de serre qui permet une augmentation conséquente de la température grâce au rayonnement solaire. Or, à certains moments (la nuit ou les journées sans soleil), la serre devient un émetteur de chaleur et les températures peuvent fortement y diminuer. De nos jours les serres sont devenues des outils de production de masse devant fournir des produits même en hors saison (ex. désaisonnalisation de la production de tomate).

Pour pallier ces déperditions thermiques et répondre aux exigences des consommateurs actuels, différents systèmes de chauffage sont mis en place.

#### **I.4.2.1.1. L'effet de serre**

L'effet de serre est le résultat d'interposition entre l'atmosphère et le sol d'un matériau transparent pour les radiations courtes provenant du soleil et absorbant au maximum les radiations longues en provenance du sol.

L'effet de serre se manifeste essentiellement par l'élévation de la température. Sa détermination peut être ramenée à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la serre ( $\Delta T$ ) multipliée par le nombre d'heures pendant lesquelles cette différence existe (h).

$$\text{Effet de serre} = \Delta T \cdot h \quad (\text{I.1})$$

Le phénomène d'effet de serre permet une augmentation conséquente de la température, mais dans d'autres circonstances, la serre devient un émetteur de chaleur et les températures peuvent fortement y diminuer.

Ce phénomène s'explique par plusieurs raisons :

- la nuit, les parois et la toiture échangent de la chaleur avec l'extérieur par conduction, convection et rayonnement ;
- les fuites potentielles provoquent un renouvellement d'air qui substitue à l'air chaud intérieur l'air froid de l'extérieur ;
- d'autres pertes ont également lieu par le sol par conduction et évaporation ;
- de plus, la serre ne possédant pas des parois épaisses n'est pas capable d'emmagasiner beaucoup de chaleur, on dit qu'elle possède une faible inertie thermique. Elle correspond alors à un volume dans lequel la température s'élève facilement mais en contrepartie peut rapidement diminuer (Magnollay P, Mottier P, 1998).

#### **I.4.2.1.2. Les échanges thermiques (Les transferts de chaleur)**

Les sources de variation de température dans une serre sont causées par le rayonnement solaire et par la réflexion du rayonnement de grande longueur d'onde la nuit.

D'autre part, l'existence de phénomènes thermiques plus complexes régissent le comportement thermique de la serre qui transfère un état température vers un état chaleur. Ce dernier est défini comme correspondant à une variation de la température. Il existe différents modes de transfert de chaleur : par convection, conduction et ou rayonnement. Les trois modes de transfert de chaleur sont : (Wacquand, 1995).

##### **a) Transfert de chaleur par conduction**

Échange de chaleur entre points d'un solide ou encore d'un liquide (ou d'un gaz) immobile et opaque.

Ce mode de transfert correspond à un phénomène microscopique dans lequel les constituants atomiques ou moléculaires transmettent de proche en proche, par mécanisme de choc ou d'interaction à distance, une énergie d'agitation thermique sans déplacement macroscopique de matière.

Le flux de chaleur par conduction s'exprime par la formule :

$$\Phi = -\alpha A \frac{d\theta}{da} \quad (I.2)$$

(Le signe moins indique que la chaleur se transmet de la partie la plus chaude vers la partie la plus froide). Avec :

$\alpha$ : Coefficient de conductivité

A : section du solide

$d\theta$  : différence de température

$da$  : longueur parcourue par conduction

**b) Transfert de chaleur par convection**

**La convection** : échange de chaleur entre une paroi et un fluide (avec transport de la chaleur par le fluide en mouvement).

Il correspond à des transferts d'énergie liés aux déplacements des fluides qui correspond dans notre cas à l'air. Selon la nature des mécanismes engendrant le mouvement des fluides, nous distinguons soit une convection naturelle, soit une convection forcée.

La quantité de chaleur échangée par convection entre un fluide à température  $\theta_1$  et un solide à température  $\theta_2$  s'écrit :

$$Q = hS(\theta_1 - \theta_2) \quad (\text{I.3})$$

Avec :

$h$  : coefficient de convection

$S$  : surface d'échange.

**c) Transfert de chaleur par rayonnement**

**Le rayonnement** : échange de chaleur entre deux parois séparées par un milieu transparent. Tous les corps solides, liquides ou gazeux émettent un rayonnement de nature électromagnétique. Cette énergie est échangée directement des parois à la surface des plantes et non à l'air ambiant.

Il transmet l'énergie sans support matériel par le biais d'une onde électromagnétique solaire. Ce transfert est défini à travers l'exemple suivant : un corps noir porté à la température  $T$  émet un rayonnement dont l'énergie rayonnée par unité de temps et de surface est : (loi de Stéphane)

$$Q = \sigma T^4 \quad (\text{I.4})$$

La température apportée par le rayonnement et l'effet de serre mais diminuée par les pertes thermiques ne permet pas d'assurer tout au long de l'année des températures optimales pour la croissance des plantes.

De plus, l'humidité à l'intérieur de la serre, dépendante des conditions climatiques de la transpiration de la culture en fonction de l'espèce considérée, doit être bien maîtrisée pour ne pas limiter la croissance de la plante et éviter les risques phytosanitaires (développement de maladies).

### I.4.2.1.3. Déperditions calorifiques

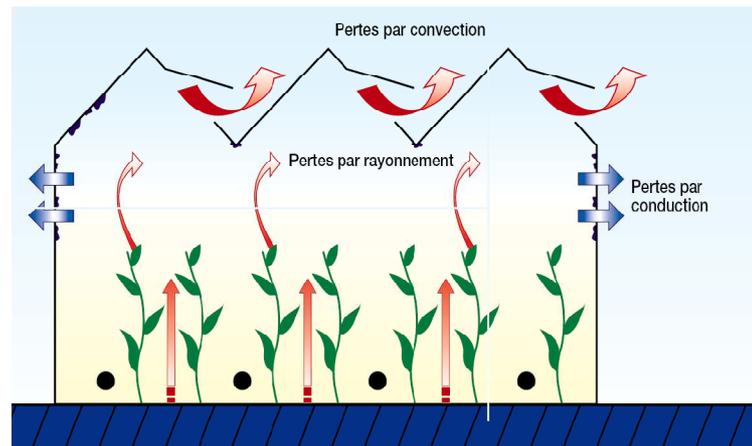


Figure. I.2: Les pertes de chaleur au niveau de la serre sont de trois ordres

#### a) Pertes par rayonnement

Les variations par rayonnement sont atténuées lorsqu'il y a des nuages, ces derniers agissant comme un écran entre la serre et la voûte céleste.

#### b) Pertes par renouvellement d'air

Celles-ci sont d'autant plus importantes que l'écart de température et d'humidité entre l'air intérieur et l'air extérieur est important, particulièrement lorsque la serre manque d'étanchéité. Le phénomène de courant d'air suite à un vent augmente les variations de chaleur.

#### c) Pertes par convection/conduction

Les variations par conduction/convection à travers l'enveloppe sont d'autant plus importantes que la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est forte, et que la vitesse de vent est élevée. Les matériaux de couverture et de doublage, de même que les écrans thermiques, doivent être choisis en fonction de leurs propriétés optiques avec l'objectif de réduire les pertes radiatives.

### I.4.2.1.4. Consigne pratique de température ambiante

Nous avons vu que la détermination des consignes de température était très délicate. En attendant de disposer de modèles élaborés prenant en considération la physiologie des plantes, les échanges de chaleur et les données économiques, on peut utiliser les valeurs consacrées par l'usage ou fournies dans la littérature. Mais ce sont en général les fournisseurs de matériel végétal qui donnent les meilleurs conseils en matière de consignes de températures. (Grasselly, et al ; 2000)

#### **I.4.2.1.5. Chauffer pour maintenir une température optimale**

Selon les productions maraîchères, la consigne de température de nuit souhaitée dans la serre peut varier entre 8 à 18 °C pour la tomate. La température dépend des choix du producteur (le créneau de production, l'objectif de rendement, la variété, etc.).

En horticulture ornementale, la température de consigne varie selon les espèces et le stade de développement. Par exemple, certaines plantes ont juste besoin d'être protégées du gel, la température de consigne est alors comprise entre 0 et 8°C. D'autres espèces demandent des températures moyennes (entre 8 et 15 °C) pour que le cycle de culture et la qualité soient maîtrisés.

Enfin, des espèces ont de forts besoins en température (entre 15 et 18 à 20 °C), généralement ce sont des plantes issues de pays au climat chaud (hibiscus, anthurium). De plus, comme pour les productions légumières, la température appliquée dépend des objectifs du producteur.

Le choix de l'équipement de chauffage est influencé par le type et l'âge de la structure de serre, la température de consigne souhaitée et le créneau de production.

#### **I.4.2.1.6. Utilisation du chauffage pour produire des légumes**

L'évolution des modes de consommation a eu un impact sur la production des légumes mais aussi des plantes et des fleurs. Les consommateurs actuels souhaitent que ces produits soient disponibles tout au long de l'année quelle que soit leur période de production ou même leur région d'origine. Ainsi, la tomate en frais est passée d'un produit de saison à un produit disponible toute l'année.

Les premières serres utilisées pour les productions ornementales servaient, comme pour les cultures légumières, à protéger les plantes des éventuelles intempéries, à hâter leur développement mais aussi à élever des espèces exigeantes en température. Or, l'outil serre a été ensuite utilisé par les horticulteurs professionnels ayant des objectifs beaucoup plus élevés de rendement de qualité, de calendrier de production. Les serres sont devenues des outils de productions de masse. Les outils pilotage et de régulation du climat se sont révélés nécessaires pour atteindre les objectifs fixés. (Bordes, 1992)

Par exemple concernant la température d'ambiance requise, si le phénomène d'effet de serre permet une augmentation conséquente de la température, dans d'autres circonstances, la serre devient un émetteur de chaleur et les températures peuvent fortement y diminuer. Pour ces raisons, la plupart des serres sont maintenant équipées d'un dispositif d'émission de chaleur permettant de compenser les diverses pertes thermiques. (Chaux, 2007)

L'évolution de la consommation de la tomate en frais, passant d'un produit de saison à un produit disponible toute l'année, correspond à une transformation de mode de consommation que l'on retrouve pour une grande partie des aliments. Le sénateur Claude Saunier (2004) dans un rapport sur « les nouveaux apports de la science et de la technologie à la qualité et à la sûreté des aliments », met en relation les avancées technologiques et scientifiques et les modifications dans les habitudes du consommateur. Ces poussées du progrès technologique ont modifié nos modes de vie.

La dessaisonalisation des produits (comme la tomate), remarquée depuis une quinzaine d'années, a été provoquée par la double pression du développement de l'agriculture hors sol et de la création d'un marché mondial (Saunier, 2004).

Il a donc fallu développer des techniques de production de la tomate et d'autres légumes permettant de produire toute l'année. Comme toute culture, la tomate a des besoins de nutrition et de climat bien définis. Pour produire sur toute une année, le climat des régions algériennes est limitant. A ses débuts, la serre avait été développée pour protéger les cultures contre les aléas climatiques, puis pour produire toujours plus tôt en installant progressivement des systèmes de chauffage car la précocité était un gage de meilleurs prix. Pour permettre une production toute l'année, elle a été adaptée avec des systèmes de maîtrise du climat à l'intérieur de cette enceinte.

En effet, la capacité d'une plante cultivée comme la tomate à fournir tout au long de son cycle de vie une production de fruits atteint, grâce à la culture sous serre, un niveau considérable. Cette performance est liée à la croissance continue des cultivars, qui développent dans l'espace des systèmes végétatifs chargés en permanence de récolte. Cela exige une constante maîtrise de l'environnement des cultures, exercée par le producteur » (Wacquand, 1995).

#### **a) Les écrans thermiques**

Les écrans thermiques sont des toiles lissées de bandes de polyester et de bandes d'aluminium. Cet assemblage des deux matières confère à cette trame les fonctions d'ombrage et d'isolation. La toile est portée sur toute la surface de la serre, l'ouverture et la fermeture étant régulée automatiquement à l'aide de sondes de température. Ces écrans sont d'une grande efficacité pour la régulation de la température dans les serres, été comme hiver. L'été, ils permettent d'atténuer, par ombrage, l'élévation trop rapide de la température lors d'un fort ensoleillement. La nuit et l'hiver, ils permettent de conserver la chaleur à l'intérieur de la serre afin d'éviter une chute brutale des températures.

Leur mise en place nécessite cependant une surface libre importante dans la partie supérieure de la serre pour y attacher les armatures et les filins de guidage de la toile. La pose est souvent complexe voire impossible lorsque les serres sont trop anciennes ou mal adaptées.



Figure. I.3 : Ecrans thermiques déployés en serre verre

Selon les conditions climatiques, la littérature mentionne des économies d'énergie liées à l'utilisation d'écrans thermiques variant de 20 à 45% et ce sans pénaliser le rendement.

#### b) Le chauffage localisé

Lorsque les conditions climatiques le permettent, il est possible d'installer un dispositif de chauffage localisé, basse ou haute température. Cette technique permet de diminuer la puissance thermique installée tout en augmentant la précocité et le rendement. Ce procédé consiste à faire circuler de l'eau chaude à température inférieure à 50°C pour la basse température et supérieure à 50°C pour la haute température, dans des tuyaux de plastique souples ou d'acier situés localement près des parties nécessitant les plus de chaleur - racines, fruits.

Ces deux procédés sont certainement les plus répandus du fait de leur grande efficacité en termes d'économie d'énergie et de régulation de la température. De plus, leur installation sur des structures déjà en place est largement réalisable.

#### I.4.2.2. L'hygrométrie de l'air

L'hygrométrie de l'air a de fortes conséquences, notamment sur la photosynthèse et la transpiration de la plante, les exigences des espèces cultivées pour ce paramètre sont variables.

##### I.4.2.2.1. Humidité relative de l'air

Le degré hygrométrique (humidité relative) dans une serre est inversement proportionnel à la température de l'air. L'élévation diurne de cette dernière engendre automatiquement une chute de l'humidité relative si la quantité d'eau est restée constante. L'humidité relative de l'air est décrite par: **Rosenberg, NJ.** (Campen J.B., 2002)

$$Hi = \frac{100xip}{0.611Psat(Ti)} \quad (I.5)$$

Où :

Hi : l'humidité relative de l'air (%)

Psat: pression de vapeur saturante en (Pa)

P: pression de l'air en (Pa).

#### **I.4.2.2.2. Consigne pratique d'hygrométrie**

Il n'existe pas de recommandation espèce par espèce. Tout au plus peut-on dire que :

- Pour la phase de multiplication, l'humidité relative doit être supérieure à 80% ;
- Pour les phases de croissance, de floraison et de fructification, la plupart des plantes s'accommodent d'une humidité relative comprise entre 60 et 80%, à l'exception des plantes vertes et du concombre qui préfèrent une hygrométrie supérieure à 70%, et des plantes succulentes (Cactées) qui préfèrent une humidité relative comprise entre 30 et 60%. La pollinisation chez la tomate requiert une humidité relative comprise entre 50 et 70%.

On peut aussi donner les conseils généraux suivants :

- Eviter les condensations ;
- Eviter les hygrométries proches de la saturation (100%) ;
- Eviter les hygrométries inférieures à 40% chez les plantes arrosées de manière incorrecte ainsi que chez les jeunes plants qui n'ont pas encore été « durcis » ;
- Eviter absolument les hygrométries inférieures à 20%. (Chaux. 2007)

#### **I.4.2.2.3. La 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'évaluation de l'air chaud chargé humidité grâce à l'aération (figure **I.4**).

Cette technique entraîne une perte d'énergie puisqu'une partie de l'énergie dégagée par le chauffage est évacuée par l'aération (cette pratique de la déshumidification représente environ 20 à 30% des dépenses énergétiques).

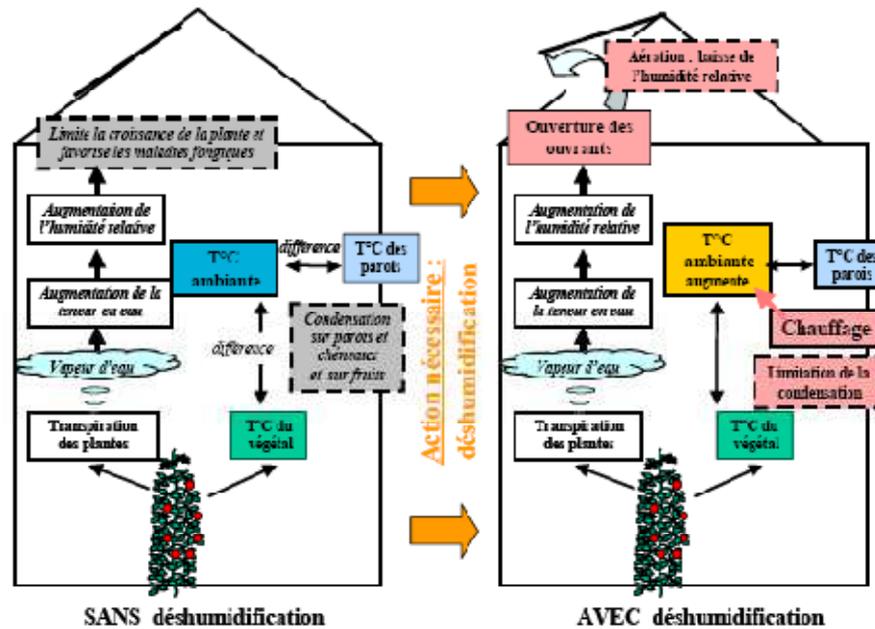


Figure. I.4: La déshumidification, un processus nécessaire à une bonne croissance des plantes.

#### I.4.2.3. Lumière et rayonnement solaire

Le rayonnement (solaire ou artificiel) active la photosynthèse des cultures et permet d'obtenir une bonne qualité des plantes et des fruits produits.

L'utilisation de la lumière artificielle (éclairage photosynthétique) pour une croissance optimale des plantes entraîne une consommation d'énergie électrique. La gestion de l'hygrométrie fait appel aujourd'hui à une technique de déshumidification où le chauffage et l'aération ont lieu simultanément.

Le CO<sub>2</sub> est généralement récupéré sur les fumées de combustion d'une chaudière, encore source de consommation d'énergie.

Le rayonnement solaire reçu par la plante agit particulièrement sur la transpiration et la photosynthèse. La quantité d'énergie solaire et son assimilation par le feuillage influencent l'intensité de la photosynthèse. Généralement, plus l'essentiellement reçu est important, et plus la teneur en matière sèche et en sucres des fruits est élevée (Grasselly, 2000).

Pour les cultures ornementales, le manque de lumière provoque l'étiollement des plantes et des problèmes de floraison. Cependant une lumière excessive peut aussi être défavorable à la qualité des plantes (phénomènes de brûlures ou déformations foliaires) et dans ce cas des écrans d'ombrage sont utilisés. La régulation de la quantité de rayonnement reçue par les plantes est donc particulièrement importante à maîtriser. (Jaffrin, A., et Urban, L., 1994). Une exception est faite pour les utilisateurs d'éclairage photosynthétique. En ornement, cette technique est assez répandue selon les espèces cultivées, contrairement au maraichage où seules quelques exploitations l'utilisent.

L'éclairage est utilisé pour améliorer l'efficacité photosynthétique des plantes. Il permet de maintenir un niveau minimal de flux lumineux. Cet éclairage est donc appelé photosynthétique et permet de favoriser la croissance des plantes ou l'enracinement des boutures. Par exemple, il est également employé pour améliorer la précocité de certaines cultures (Silbano, 2002) ou pour augmenter les rendements en production de fleurs coupées (Mallait, 2005).

Néanmoins, ce rayonnement artificiel, pour être efficace, doit fournir entre 50 et 200W électriques par  $m^2$ , ce qui nécessite l'installation de lampes de forte puissance électrique (400 à 600W). L'inconvénient réside donc dans le coût en électricité engendré et ce dispositif doit faire l'objet d'une étude au cas par cas.

La figure (I.5) présente le bilan simplifié des échanges radiatifs entre l'extérieur et l'intérieur de la serre. On remarque que seulement 70 % de l'énergie solaire extérieure traverse les parois de la serre, l'autre partie est réfléchiée ou absorbée. Cette part varie selon la saison, par la variation de l'angle d'incidence des rayons sur les vitres, et selon les matériaux de couverture (les nouveaux matériaux permettent d'avoir une transmission de 80 %). L'intensité de rayonnement global extérieur et donc intérieur varie énormément selon la localisation géographique.

Sur la même figure, on peut comprendre le fonctionnement de l'effet de serre. Wacquant (1995) décrit ce phénomène : « l'énergie solaire qui pénètre dans la serre est absorbée par les plantes, le sol et les différentes structures. Il en résulte une augmentation d'émission de chaleur par ces différents corps sous forme de rayonnements infrarouges (IR) longs. Le verre et les matières plastiques « thermiques » ne laissant pas sortir les rayonnements infrarouges longs, il en résulte que l'énergie solaire est piégée par la serre, c'est l'effet de serre ».

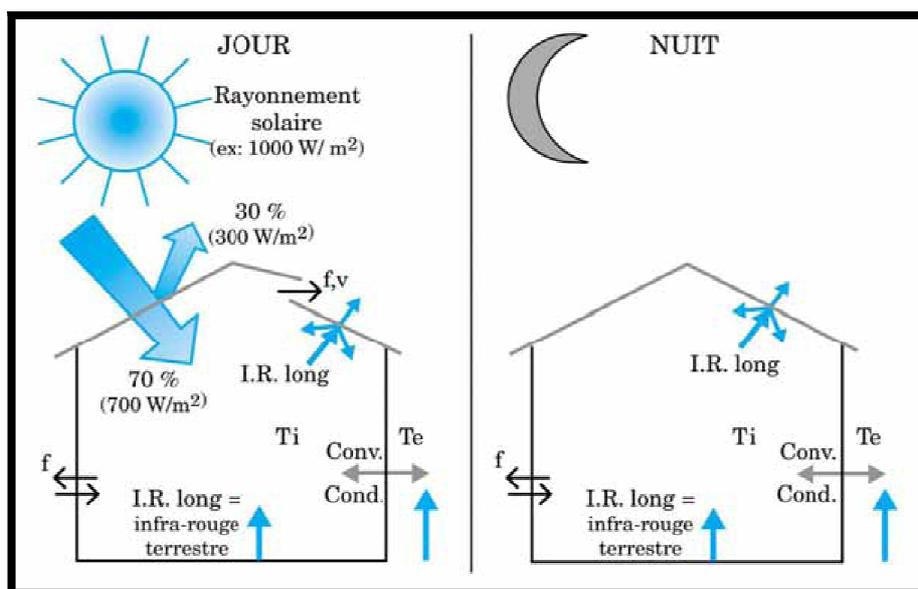


Figure. I.5: Bilan simplifié des échanges radiatifs (Wacquant, 2000)

Avec.

**f** : fuite

**v** : aération

**Ti** : Température intérieure (en °C ou K)

**Te** : Température extérieure (en °C ou K)

**Conv** : convection

**Cond** : conduction

**IR long** : Infra Rouge long

La culture sous serre permet de bénéficier de la luminosité naturelle avec la possibilité de rallonger la photopériode par des lumières artificielles tout en gardant le contrôle des conditions hygrométriques. Elle permet notamment de rallonger la période où l'on peut cultiver certains végétaux, ou de les cultiver en dehors des régions où on les trouve originellement.

#### **I.4.2.4. Le gaz carbonique**

Le gaz carbonique est un facteur limitant de la photosynthèse, les producteurs cherchent à obtenir une teneur de CO<sub>2</sub> dans la serre supérieure à la normale pour maximiser l'activité photosynthétique.

Le gaz carbonique contenu dans l'air est un autre facteur influençant la photosynthèse. « Lorsque la teneur en CO<sub>2</sub> augmente, la photosynthèse augmente d'abord de façon linéaire, puis moins rapidement jusqu'à 1000 ou 1500ppm ». (Grasselly et al, 2000)

Quel que soit le type de plantes, le CO<sub>2</sub> est un élément déterminant de la croissance. En stimulant la photosynthèse, il accroît les rendements et augmente de façon significative la qualité de la production.

Une partie des apports en CO<sub>2</sub> dans les serres peut être effectuée par le rejet direct des produits de combustion du propane: Où comment cultiver la perfection de vos récoltes ?

La concentration en CO<sub>2</sub> de l'air influence la photosynthèse de la plante. Sous réserve de lumière et de température suffisante, l'enrichissement de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> accroît la matière sèche de tous les organes de la plante. Elle permet une augmentation du calibre et de la proportion des assimilats dans les fruits (Grasselly et al, 2000).

En ornement, le CO<sub>2</sub> accélère la croissance, les fleurs sont plus nombreuses et la qualité des fleurs coupées est améliorée. (Wacquant, 1995).

**I.5. Conclusion**

Il s'agit d'une technologie moderne de production contre saison à l'aide d'un contrôle climatique et de l'utilisation de matières et d'engrais améliorant la productivité. L'usage des serres multi-chapelles permet également d'assurer des conditions de croissance optimales, de mieux organiser la profession, de combattre les parasites et les maladies. Mais ce n'est pas tous les agriculteurs qui peuvent se permettre d'investir dans ce créneau, car cette technique nécessite un investissement lourd, du savoir faire et un encadrement des agriculteurs.

En Algérie, la culture sous serre connaît un développement important, Pour faire face à un marché de plus en plus concurrentiel et conditionné par des normes de qualité de plus en plus sévères, les systèmes de production "Serres" deviennent considérablement sophistiqués et alors démesurément coûteux. C'est pourquoi, les serristes qui veulent demeurer compétitifs, doivent optimiser leur investissement par une grande maîtrise des conditions de production.

# ***CHAPITRE : II***

## ***Le contrôle des systèmes***

## II.1. Introduction

De nos jours, des systèmes de régulation automatique du fonctionnement des processus sont intégrés dans de nombreuses applications, tant dans le domaine scientifique que technologique. Les systèmes devenant de plus en plus complexes, les performances des régulateurs utilisés ne cessent de s'améliorer.

Les progrès de la microélectronique mettent à la disposition des concepteurs de systèmes électroniques des composants de plus en plus puissants et de plus en plus complexes. La connaissance et la maîtrise de ces composants sont critiques pour faire aboutir rapidement et efficacement des projets ambitieux, ce qui est un objectif essentiel des industriels comme des chercheurs expérimentateurs. Cependant, la surcharge des formations en électronique, tant en horaire qu'en disciplines, impose d'acquérir cette connaissance et cette maîtrise en un temps très limité, ce qui est un véritable défi vu la complexité des composants.

La société américaine Microchip Technologie a mis au point dans les années quatre vingt- dix un microcontrôleur CMOS (Complementary Metal-Oxide Semi-conducteur), le PIC. Ce composant, très utilisé à l'heure actuelle, est un compromis avec une simplicité d'emploi, une rapidité et un prix de revient abordable.

## II.2. Contrôle

### II.2.1. Définition

Un système de contrôle est l'interconnexion de plusieurs éléments qui composent un système pour assurer des fonctions précises. L'analyse d'un système s'appuie sur la théorie de systèmes linéaires qui considère une relation entre la cause et la conséquence pour toutes les parties du système. Par conséquent, une partie de système ou un processus que vous souhaitez contrôler doit être représenté par un bloc-diagramme.

Un système de contrôle de type ouvert (boucle ouverte) emploie un contrôleur ou un actionneur dans le but d'obtenir le résultat souhaitable, comme il est représenté dans la figure suivante.



Figure II.1: Système de contrôle de boucle ouverte

Au contraire d'un système de boucle ouverte, un système de type fermé (boucle fermée) compte et compare sa sortie avec une valeur désirée qu'il met en valeur pour régler sa fonction. Ce signe s'appelle signe de rétroaction. Un système de contrôle de type simple avec rétroaction est représenté sur la figure suivante.

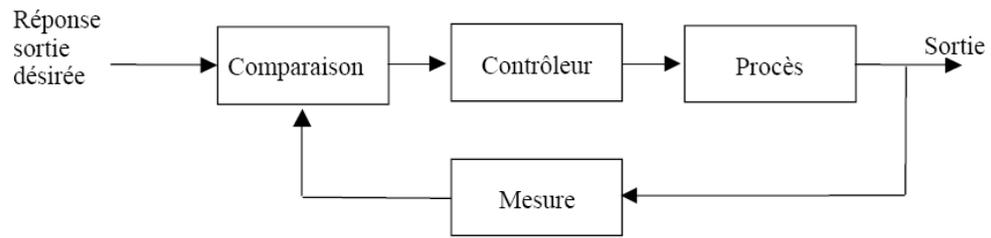


Figure II.2: Système de contrôle de boucle fermée

Dans un grand nombre de cas, il est nécessaire de renforcer le signe de rétroaction de manière qu'il soit utilisé de la meilleure façon possible pour la régulation finale exigée à l'entrée du système de contrôle. Ces dernières années, des systèmes de contrôle complexes de ce type ont été développés mettant en valeur un nombre considérable de paramètres. Un bloc-diagramme qui illustre un système de paramètres multiples est représenté sur la figure (II.8).

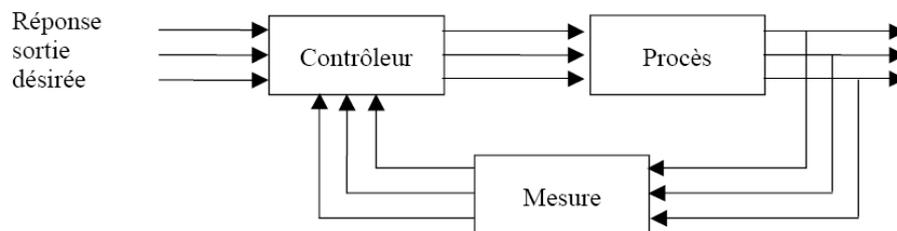


Figure II.3: Système de contrôle de paramètres multiples

### II.2.2. Conception d'un système de contrôle

La conception d'un système de contrôle constitue un travail spécifique dans le domaine d'automatisme. La première étape exige la détermination des objectifs du système. Comme exemple on mentionne le contrôle de la vitesse d'un moteur. La deuxième étape, consiste à reconnaître toutes les variables qu'on désire contrôler (p.ex. la vitesse d'un moteur). Une troisième étape, porte sur l'écriture des normes techniques de la précision qu'on désire atteindre. Cette précision de contrôle souhaitable définit aussi les normes techniques du capteur qui va mesurer les paramètres contrôlés.

Un cas typique de système est illustre sur la figure (II.4) qui comporte le capteur, la procédure qui sera contrôlée, l'actionneur et le contrôleur. Bien sur, le choix des éléments mentionnés tout à l'heure exige une attention particulière et une estimation de tous les paramètres concernant le fonctionnement du système de contrôle, dans leur ensemble. Une étape suivante qu'on devra réaliser est le choix du contrôleur et, ensuite, la régulation des paramètres qui, finalement, détermineront la performance du système. Si cela ne devient pas possible, après avoir suivi les étapes précédentes, on devra choisir des capteurs différents et éventuellement des actionneurs. Dans ce cas, on répétera de nouveau les étapes mentionnées de manière que

l'élaboration du système de contrôle soit définitive. La procédure du système de contrôle décrite tout à l'heure, est illustrée sur le bloc-diagramme de la Figure (II.5).

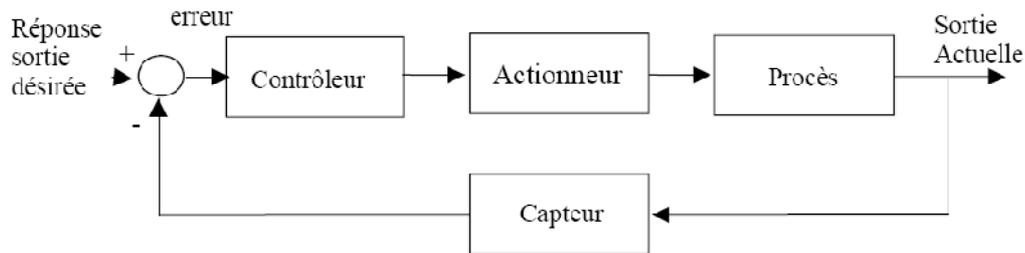


Figure II.4: Un bloc-diagramme d'un système de rétroaction négatif dépeignant un système de contrôle de boucle fermée

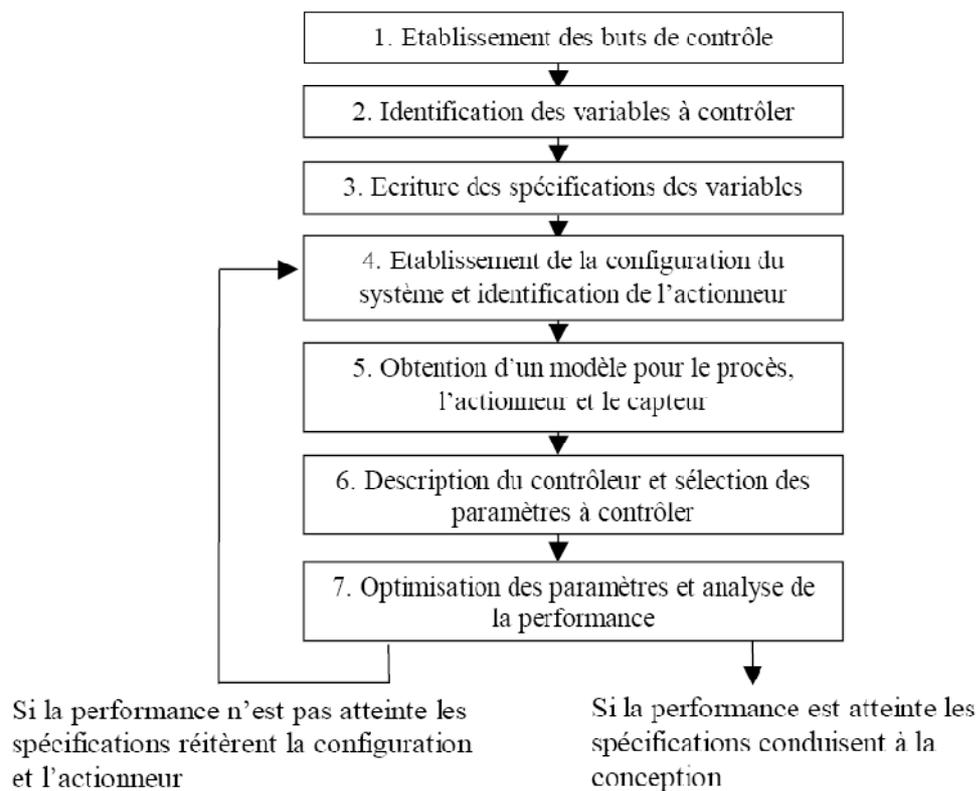


Figure II.5: Organigramme d'un système de contrôle

Ces dernières années, la procédure de conception est influencée par l'entrée d'ordinateurs puissants ou de coût peu élevé ainsi que d'algorithmes spécifiques.

### II.2.3. Choix de Types de Contrôle

Dans cette section on présente les systèmes de contrôle utilisés dans la thèse. Il est important de noter que le choix des systèmes de contrôle a été fait selon l'expérience précédente, la disponibilité des outils ainsi que la pratique internationale pour le type d'application qui intéresse la thèse.

### II.2.3.1 Contrôle Tout ou Rien

Une technique de contrôle traditionnelle utilisée est celle de la commande Tout ou Rien. Ce type de contrôle est le contrôleur le plus simple. En effet, il consiste à basculer les états entre deux positions figure II.6. Une bande morte est introduite afin de réduire les instabilités. L'état de l'actionneur est maintenu inchangé à l'intérieur de cette bande indépendamment des fluctuations de la valeur réglée.

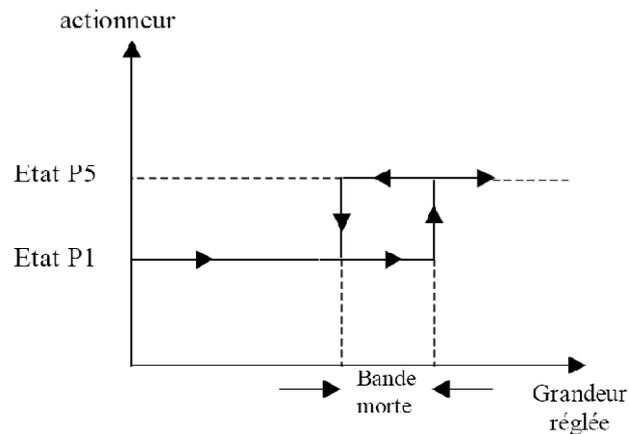


Figure II.6: Système de contrôle Tout ou Rien

La définition de la bande morte dépend de la dynamique du système de contrôle et nécessite l'expertise du concepteur de ce type de contrôleur afin d'établir le meilleur compromis entre la stabilité et la qualité de contrôle.

Le contrôle Tout ou Rien présente l'inconvénient de ne prendre en compte qu'un nombre restreint de possibilités de contrôle. Cette technique a été utilisée pour le contrôle de l'environnement intérieur.

### II.2.3.2 Le Contrôleur PID

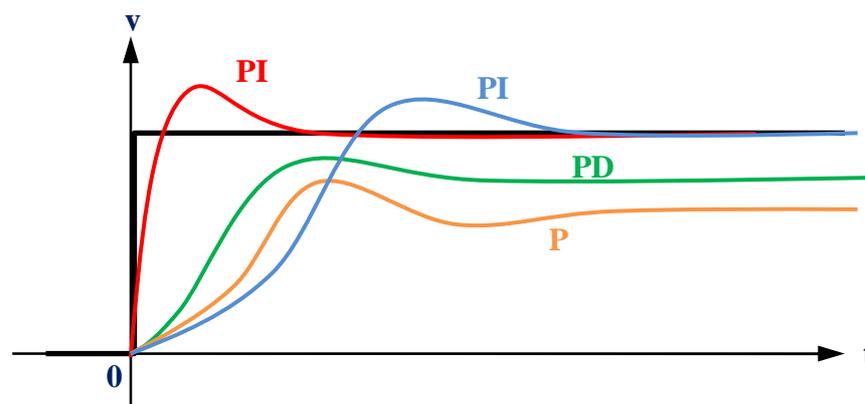


Figure II.7: Les différents cas de L'action PID

Une forme de contrôle largement répandue dans la commande de processus industriel s'appelle contrôle en trois termes ou contrôleur PID. Ce contrôleur a une fonction de transfert.

$$G_C(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \dots \quad (\text{II.6})$$

Le contrôleur fournit un terme proportionnel, un terme intégral et un terme dérivatif. L'équation pour la sortie dans le domaine temporel est :

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \dots \quad (\text{II.7})$$

### a). L'action proportionnelle (KP)

Dans ce mode, il existe une relation linéaire entre l'erreur par rapport à la consigne et la position de l'actionneur. Le terme proportionnel permet un retour rapide à la consigne mais risque d'induire des oscillations.

### b). L'action intégrale (KI)

Elle annule automatiquement l'écart dû à l'action proportionnelle et permet un ajustement plus précis mais plus lent.

### c). L'action dérivée (KD)

Cette action permet de prendre en compte la vitesse de variation de la grandeur contrôlée. Elle permet ainsi de rattraper et d'anticiper les variations autour de la consigne.

De fait la fonction transfert du terme dérivatif est :

$$G_d(s) = \frac{K_D s}{\tau_s s + 1} \dots \quad (\text{II.8})$$

Mais habituellement le terme  $\tau_s$  est beaucoup plus petit que les constantes de temps du procès elle-même et ainsi il peut être négligé.

Si on met  $KD=0$ , alors on a le contrôleur proportionnel intégral (PI)

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} \dots \quad (\text{II.9})$$

Quand  $KI = 0$ , on a

$$G_c(s) = K_p + K_D s \dots \quad (\text{II.10})$$

Ce qui s'appelle contrôleur proportionnel dérivatif (PD).

Beaucoup de processus industriels sont contrôlés en utilisant des contrôleurs proportionnel – intégral - dérivatif (PID).

La popularité des contrôleurs PID peut être attribuée en partie à leur bonne performance dans un éventail de conditions de fonctionnement et en partie à leur simplicité fonctionnelle, qui permet à des ingénieurs de les actionner d'une façon simple et précise. Pour réaliser un tel contrôleur, trois paramètres doivent être déterminés pour le processus donné : le gain proportionnel, le gain intégral et le gain dérivatif.

On considère le contrôleur PID :

$$G_c(s) = K_1 + \frac{K_2}{s} + K_3 s = \frac{K_3 s^2 + K_1 s + K_2}{s} = \frac{K_3(s^2 + as + b)}{s} = \frac{K_3(s+z_1)(s+z_2)}{s} \dots \quad (\text{II.11})$$

Où  $a=K_1/K_3$  et  $b=K_2/K_3$ . Donc un contrôleur PID présente une fonction de transfert avec un pôle sur l'origine et deux zéros qui peuvent être situés n'importe où.

### II.3. Les microcontrôleurs « PIC »

#### II.3.1. Définition

Les microcontrôleurs sont et continueront à être largement utilisés pour les applications de régulation et de commande de processus. Ce sont de véritables micro-ordinateurs intégrés sur une puce de silicium qui comportent une unité centrale, de la mémoire ou une interface à de la mémoire externe, des ports d'entrée-sortie, une interface pour lignes série (RS-232) ainsi qu'une unité de gestion de temps et d'événements. Les signaux d'entrée-sortie du microcontrôleur peuvent être facilement interfacés à des coupleurs optiques afin d'interfacer des capteurs et des actionneurs industriels. Pratiquement tous les fabricants de microprocesseurs (Motorola, Intel, Hitachi, Texas Instrument, Toshiba, ST Microélectronique-ex SGS-Thomson, etc.) proposent une ou plusieurs gammes de microcontrôleurs. Les microcontrôleurs 4 bits servent essentiellement à des tâches simples. De tels microcontrôleurs sont par exemple utilisés au sein d'objets ménagers grand public, tels que des cuisinières, machines à laver ou aspirateurs. Les microcontrôleurs 8 bits sont capables de répondre à des exigences plus élevées et sont utilisés pour la commande de dispositifs informatiques tels que des joysticks, tablettes graphiques et modems. Ils sont également utilisés pour la programmation de petits robots ainsi que pour l'acquisition de données (convertisseurs A/D, etc.). Les microcontrôleurs 16/32 bits sont utilisés pour la commande de machines ou le contrôle de processus, lorsque les contraintes temps réel sont sévères ou lorsque les algorithmes de régulation nécessitent une puissance de calcul importante. Des variantes de microcontrôleurs avec canaux d'accès mémoire direct offrant un grand débit entre mémoire et entrées-sorties sont utilisés dans les applications multimédia et pour le contrôle d'imprimantes laser.

Les PIC font partie de la famille des microcontrôleurs, ils possèdent notamment un jeu d'instructions réduit, ce qui caractérise la famille des circuits RISC (Reduced Instruction Set Computer). Ils sont appréciés pour leur rapidité d'exécution et leur simplicité de mise en œuvre.

## II.3.2. Mise en situation

### II.3.2.1. Présentation des microcontrôleurs « PIC »

Un microcontrôleur se présente sous la forme d'un circuit intégré réunissant tous les éléments d'une structure à base de microprocesseur. Voici généralement ce que l'on trouve à l'intérieur d'un tel composant :

- Un microprocesseur (C.P.U.),
- De la mémoire de donnée (RAM et EEPROM),
- De la mémoire programme (ROM, OTPROM, UVPROM ou EEPROM),
- Des interfaces parallèles pour la connexion des entrées / sorties,
- Des interfaces séries (synchrone ou asynchrone) pour le dialogue avec d'autres unités,
- Des timers pour générer ou mesurer des signaux avec une grande précision temporelle,
- Des convertisseurs analogique / numérique pour le traitement de signaux analogiques.

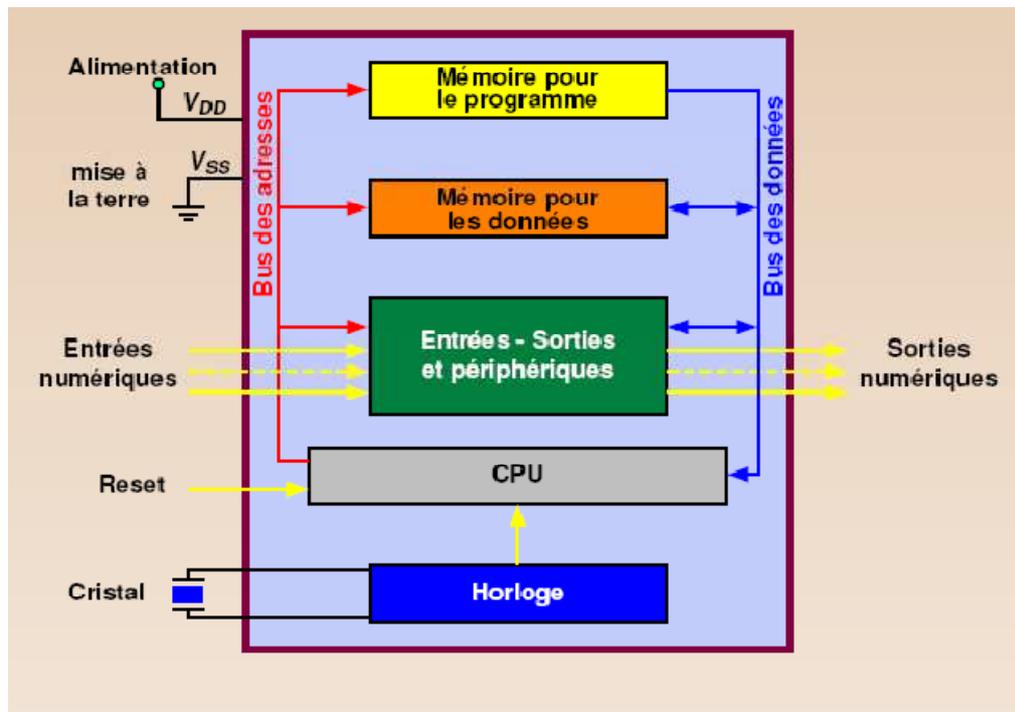


Figure II.8: Les éléments d'une structure à base de microprocesseur

Avantage :

- . Encombrement réduit,
- . Circuit imprimé peu complexe,
- . Faible consommation,

. Coût réduit.

Inconvénient :

- . Système de développement onéreux,
- . Programmation nécessitant un matériel adapté.

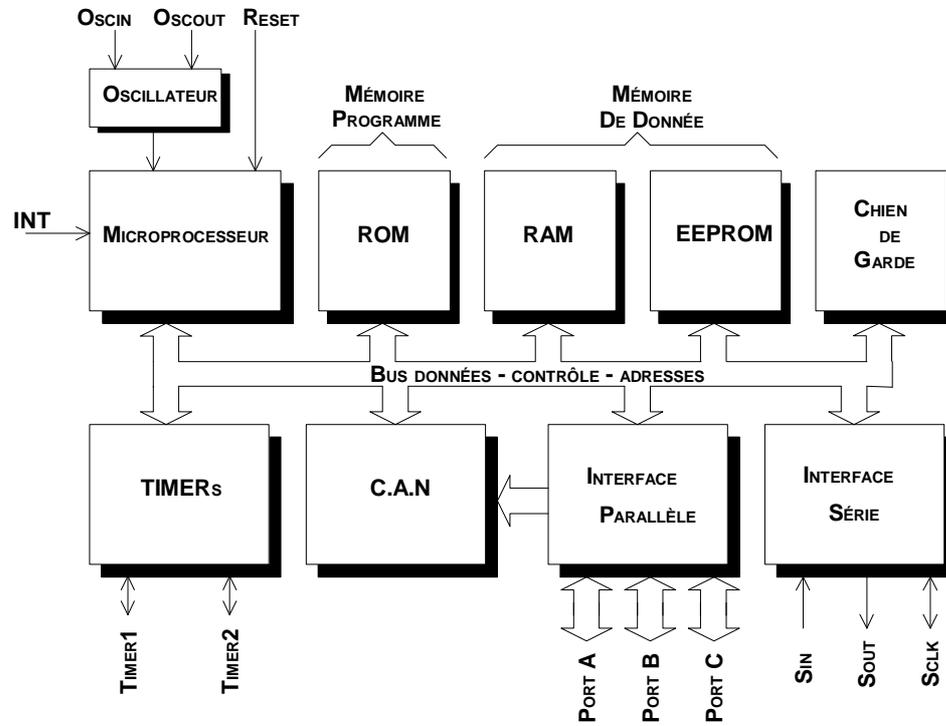


Figure II.9: Le schéma fonctionnel du PIC

Le schéma fonctionnel précédent représente une architecture de “Von Neumann” (Commune à la plupart des microprocesseurs) où la mémoire programme partage le même bus que la mémoire de donnée. L’architecture de “Harvard”, qui dispose de bus distincts pour les données et pour le programme, est plus rarement utilisée.

### II.3.2.2. Différents familles des PICs

La famille des PICs est subdivisée en 3 grandes familles : La famille Base-Line, qui utilise des mots d’instructions de 12 bits, la famille Mid-Range, qui utilise des mots de 14 bits (et dont font partie les pic16F84 et 16F876), et la famille High-End, qui utilise des mots de 16 bits.

### II.3.2.3. Choix d’un microcontrôleur

L’une des difficultés majeures à la réalisation d’un projet est le choix du PIC. Il existe autant de critères de sélection dont le développeur doit tenir compte comme :

- Nombre d’entrées/sorties ;
- Liaison d’entrées/sortie série ;
- Conversion analogique numérique et numérique analogique ;

- Les tailles des mémoires internes RAM, ROM et EPROM ;
- Vitesse de l'horloge ;
- Bus de données 8 bits/16 bits ;
- Type de boîtier ;

Puis, on se posera des questions au sujet de l'aide au développement :

- Les logiciels de programmation (Assembleur, C, Basic, etc...) ;
- Les évolutions prévisibles du composant, son prix, etc. ;
- Les émulateurs pour la mise au point des applications.

### II.3.3. Identification d'un PIC

Pour identifier un PIC, nous utilisons simplement son numéro. Les deux premiers chiffres indiquent la catégorie du PIC, 16 indique un PIC Mid-Range, Vient ensuite parfois une lettre (L) Celle-ci indique que le PIC peut fonctionner avec une plage de tension beaucoup plus tolérante. Ensuite, nous trouvons (C) indique que la mémoire programme est une EPROM ou plus rarement une EEPROM, (CR) pour indiquer une mémoire de type ROM Ou (F) pour indiquer une mémoire de type FLASH.

À ce niveau, on rappelle que seule une mémoire FLASH ou EEPROM est susceptible d'être effacée.

Finalement nous trouvons sur les boîtiers le suffixe (-XX) dans lequel XX représente la fréquence d'horloge maximale que le PIC peut recevoir. Par exemple (-04) pour un 4MHz.

### II.3.4. Description et structure interne des Pics

Les PIC, au même titre que les microprocesseurs, sont composés essentiellement de registres ayant chacun une fonction bien définie. Les PIC possèdent également des périphériques intégrés, tels qu'une mémoire EEPROM, un TIMER, des ports d'entrées/ sorties ou bien encore un convertisseur analogique/numérique.

La structure minimale d'un PIC est constituée des éléments ci-dessous :( figure : II.16)

- Une mémoire de programme contient le code binaire correspondant aux instructions que doit exécuter le microcontrôleur. La capacité de cette mémoire est variable selon les PIC
- Une mémoire RAM sauvegarde temporairement des données. sa capacité est aussi variable selon les PIC.

- Une Unité Arithmétique et Logique (UAL ou ALU en anglais) est chargée d'effectuer toutes les opérations arithmétiques de base (addition, soustraction, etc.) ainsi que les opérations logiques de base (ET, OU logique, etc.).
- Des ports d'entrées/sorties permettent de dialoguer avec l'extérieur du microcontrôleur, par exemple pour prendre en compte l'état d'un interrupteur (entrée logique), ou encore pour commander un relais (sortie logique). Le PIC 16F877A possède 33 lignes d'entrées/sorties (PORTA, PORTB, PORTC, PORTD).
- Un registre compteur de programme (CP ou PC en anglais), est chargé de pointer l'adresse mémoire courante contenant l'instruction à réaliser par le microcontrôleur. Le contenu du registre PC évolue selon le pas de programme.
- Un registre pointeur de pile (PP ou SP en anglais) est essentiellement utilisé lorsque l'on réalise un sous-programme. Le pointeur de pile est chargé de mémoriser l'adresse courante que contient le compteur de programme avant le saut à l'adresse du sous-programme. Lorsque le sous programme est terminé, le pointeur restitue l'adresse sauvegardée vers le compteur de programme.
- Un registre d'instruction contient tous les codes binaires correspondant aux instructions à réaliser par le microcontrôleur.
- Un registre d'état est en relation avec l'UAL et permet de tester le résultat de la dernière opération effectuée par le microcontrôleur. Selon la dernière opération effectuée, des bits sont positionnés dans le registre d'état et ceux-ci peuvent être testés à l'aide d'une instruction de branchement pour effectuer des sauts conditionnels.
- Une horloge système permet de cadencer tous les échanges internes ou externes au microcontrôleur.

#### **II.4. Conclusion**

La connaissance des différentes caractéristiques de ce composant va nous aider à mieux concevoir notre montage. L'avènement des microcontrôleurs, qui associent au microprocesseur de base un programme intégré au circuit, ainsi que des périphériques et de la mémoire, a permis de faire évoluer les montages vers encore plus de simplicité et de rapidité, les périphériques étant intégrés au circuit. Les microcontrôleurs sont aujourd'hui implantés dans la plupart des réalisations grand public ou professionnelles, ils gèrent au plus juste et au plus vite les applications. Il existe aujourd'hui de nombreuses familles de microcontrôleurs.

## ***CHAPITRE : III***

### ***Description du PIC utilisé***

### III.1. Introduction

Pour apprendre, la meilleure solution est de se faire la main sur du concret. On va donc étudier un vrai microcontrôleur, sachant que ce qui aura été vu sera assez facilement transposable à d'autres PIC. Le 16F877 est un PIC de la série « Midrange » qui se prête particulièrement bien à la programmation en C. Les PIC de la série inférieure sont un peu justes en performance et en capacité mémoire pour accueillir un programme issu d'un compilateur C ; mieux vaut les programmer en assembleur. Les gammes supérieures (16 ou 32 bits) supportent sans problème la programmation en C, mais comme se sont des circuits plus complexes (et plus chers), commençons par quelque chose de plus simple et de plus didactique. Le 16F877 (F comme « Flash ») convient parfaitement : mémoire programme de taille suffisante (8K), nombreux périphériques intégrés, fréquence de fonctionnement jusqu'à 20 MHz.

L'objectif de ce chapitre est de présenter l'ensemble du dispositif expérimental mis en œuvre dans notre application de contrôle climatique du prototype ainsi les instruments qui y sont associées.

### III.2. Le microcontrôleur PIC 16F877A

Le microcontrôleur effectue en permanence tous les traitements nécessaires pour l'élaboration du régulateur PID, mais il doit aussi gérer, à travers une liaison série l'envoi des données au LCD afin d'effectuer un affichage permanent de température, humidité et lumière, ainsi que la réception de ces paramètres introduits par les capteurs qui sont liés avec le PIC à travers le protocole I2C. Le microcontrôleur choisi ici est un PIC 16F877A de microchipe. Vu sa facilité d'utilisation, sa puissance de calcul et la facilité d'apprentissage de son langage MPLAB IDE.

La connaissance des différentes caractéristiques de ce composant va nous aider à mieux concevoir notre montage. L'avènement des microcontrôleurs, qui associent au microprocesseur de base un programme intégré au circuit, ainsi que des périphériques et de la mémoire, a permis de faire évoluer les montages vers encore plus de simplicité et de rapidité, les périphériques étant intégrés au circuit. Les microcontrôleurs sont aujourd'hui implantés dans la plupart des réalisations grand public ou professionnelles, ils gèrent au plus juste et au plus vite les applications. Il existe aujourd'hui de nombreuses familles de microcontrôleurs.

Nous allons maintenant s'intéresser à la structure interne du PIC 16F877A, avec lequel nous avons travaillé. Le 16F877A est un microcontrôleur de MICROCHIP, fait partie intégrante de la famille des Mid-Range (16) dont la mémoire programme est de type flash (F) de type 877A et capable d'accepter une fréquence d'horloge maximale de 20Mhz.

FLASH	RAM	EEPROM	I/O	A/D	Interruptions	TIMER	communication
8K	368	256	33	08	14	03	USART/ MSSP/PSP

Tableau III.1: performances du PIC16F877

### III.2.1. Alimentation

Tout d'abord, comme tout circuit intégré, le PIC16F877A a des broches d'alimentation, deux broches pour Vss et deux autres pour le Vdd ; il suffit de connecter une d'eux alimentation pour que le circuit intégré fonctionne.

### III.2.2. Les particularités électriques du PIC 16F877A

On constate que sur le schéma concernant le 16F877A, on a 2 connexions « VSS » qui sont reliées à la masse. En fait, en interne, ces pins sont interconnectés. La présence de ces 2 pins s'explique pour une raison de dissipation thermique. Les courants véhiculés dans le Pic sont loin d'être négligeables du fait des nombreuses entrées/sorties disponibles.

Le constructeur a donc décidé de répartir les courants en plaçant 2 pins pour l'alimentation VSS, bien évidemment, pour les mêmes raisons (dissipation thermique), ces pins sont situées de part et d'autre du PIC, et en positions relativement centrales.

### III.2.3. Brochage du 16F877A

La figure (3-9) illustre la configuration minimale pour faire fonctionner le PIC16F877, elle est constituée d' : [22]

- Un support 40 broches.
- Une alimentation de 5 Volts.
- Un Quartz 20 Mhz avec deux condensateurs non polarisés 22 pF
- Un bouton poussoir et une résistance, pour la mise en place d'une commande de Reset.

A ceci viendront s'ajouter les différents composants nécessaires à la réalisation des différentes applications.

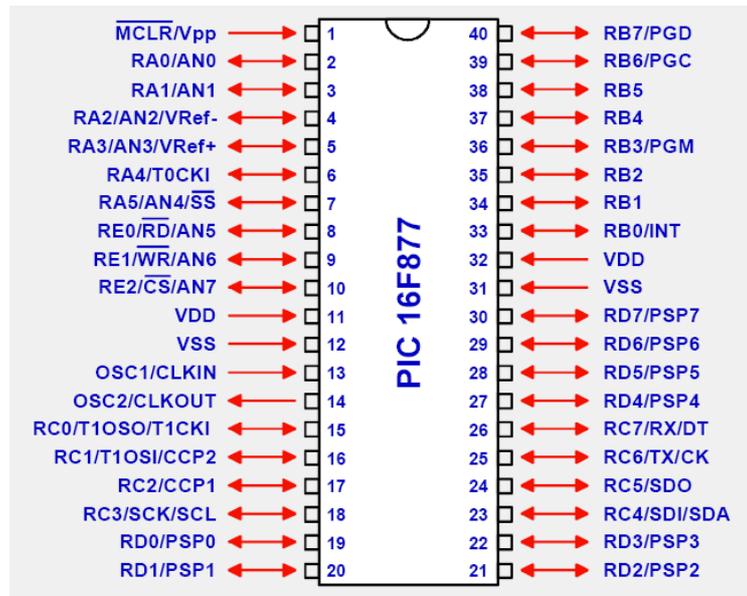


Figure III.1: Brochage du PIC16F877

### III.2.4. Organisation du 16F877A

La mémoire du 16F877A est divisée en 3 parties. Pour mieux le connaître regardons de près son Schéma fonctionnel.

- La mémoire programme : La mémoire programme est constituée de 8K mots de 14 bits. C'est dans cette zone que nous allons écrire notre programme.
- La mémoire EEPROM : La mémoire EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory), est constituée de 256 octets que nous pouvons lire et écrire depuis notre programme. Ces octets sont conservés après une coupure de courant et sont très utiles pour conserver des paramètres semi-permanents.
- La mémoire Ram et organisation : La mémoire RAM est celle que nous allons sans cesse utiliser. Toutes les données qui y sont stockées sont perdues lors d'une coupure de courant.

La mémoire RAM disponible du 16F876 est de 368 octets. Elle est répartie de la manière suivante:

- 80 octets en banque 0, adresses 0x20 à 0x6F
- 80 octets en banque 1, adresses 0xA0 à 0XEF
- 96 octets en banque 2, adresses 0x110 à 0x16F
- 96 octets en banque 3, adresses 0x190 à 0x1EF
- 16 octets communs aux 4 banques, soit 0x70 à 0x7F = 0xF0 à 0xFF  
0x17F=0x1F0 à 0x1FF.



utilisés sont les pins AN0 à AN4 (qui sont en fait les dénominations analogiques des pins RA0 à RA3 + RA5).

- Le port B : Hors de sa fonction principale autant que ports d'entrées /sorties, on note la pin RB0 qui, en configuration d'entrée, est de type « trigger de Schmitt » quand elle est utilisée en mode interruption « INT » ; La lecture simple de RB0 se fait, elle, de façon tout à fait classique, en entrée de type TTL. Encore il y a (RB3- RB6-RB7) qui peuvent servir dans la programmation (en mode LVP) en cas d'absence de programmeur commercial.
- Le port C : C'est un port tout ce qu'il y a de plus classique, Or qu'il a deux pins qu'on utilisera plus tard dans la communication série avec le PC à travers (TX et RX) (pin17 et 18).
- Le port D : Ce port fonctionne de façon identique aux autres, dans son mode de fonctionnement général. Le registre TRISD comportera donc les 8bits de direction, pendant que le registre port D correspond aux pins I/O concernés. D'où les 8 pins I/O, en mode entrée, sont du type <trigger de Schmitt>.
- Le port E : Ce port n'est présent que sur les PIC 16F877. Il ne comporte que 3 pins RE0à RE2, mais, contrairement aux ports, les bits non concernés de TRISE sont, cette fois, implantés pour d'autres fonctions. Les pins REX peuvent également être utilisés comme pins d'entrées analogiques. D'où le registre ADCON1 qui détermine si ce port est utilisé comme port I/O ou comme port analogique.

### III.2.6. Les interruptions du PIC 16F877A

Le PIC16F877A dispose de plusieurs sources d'interruptions.

- Une interruption externe, action sur la broche INT/RB0.
- Débordement du TIMER0.
- Changement d'état logique sur une des broches du PORTB (RB4 à RB7).
- Une interruption d'un des périphériques (PEIE).
  - Fin de programmation d'une case mémoire de l'EEPROM.
  - Changement d'état sur le PORTD (PSPIE).
  - Fin de conversion analogique numérique (ADIE).
  - Réception d'une information sur la liaison série (RCIE).
  - Fin d'émission d'une information sur la liaison série (TXIE).
  - Interruption SPI ou I2C du module MSSP (SSPIE).
  - Interruption du registre de capture et/ou de comparaison 1 (CCPI1E).
  - Interruption du registre de capture et/ou de comparaison 2 (CCPI2E).

- Débordement du TIMER1 (TMR1E).
- Débordement du TIMER2 (TMR2E).
- Collision de BUS (BCLIE)

### III.2.7. Les TIMERS

Le PIC 16F877A possède trois timers sur 8 bits (il compte jusqu'à 256) configurable par logiciel.

- Le timer 0 (8 bits): Il peut être incrémenté par des impulsions extérieures via la broche (TOCKI/ RA4) ou par l'horloge interne (Fosc/4).
- Le timer 1 (16 bits): Il peut être incrémenté soit par l'horloge interne, par des impulsions sur la broche T1CKI/RC0 ou par un oscillateur (RC ou quartz) connecté sur les broches TOSO/RCO et TIOSI/RC1.
- Le timer 2 (8 bits) : Il est incrémenté par l'horloge interne, celle peut être pré divisée.

Tous ces timers peuvent déclencher une interruption interne, si ils ont été autorisés.

### III.2.8. Le module USART en mode série synchrone

USART signifie « Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter ». C'est un module qui permet d'envoyer et de recevoir des données en mode série, soit de façon synchrone.

Le module USART de notre PIC gère uniquement 2 pins, à savoir RC6/TX/CK et RC7/RX/DT. Comme nous savons qu'une liaison série synchrone nécessite une ligne dédiée à l'horloge, il ne nous reste donc qu'une seule ligne pour transmettre les données.

On en déduit que le PIC ne pourra émettre et recevoir en même temps en utilisant l'USART en mode synchrone. On parlera donc de liaison « half-duplex ». Par contre, le mode asynchrone n'a pas besoin de ligne d'horloge, il nous restera alors 2 lignes pour communiquer, chacune étant dédiée à un sens de transfert. Nous pourrions donc envoyer et recevoir des données en même temps. On parlera de liaison « full-duplex ».

Comme, de plus, nous savons maintenant que l'horloge, en mode synchrone, est sous le contrôle du maître, notre USART pourra fonctionner dans les modes suivants :

- Ssynchrone full duplex : émission sur TX et réception sur RX
- Ssynchrone half-duplex :sur 2 lignes (TX et RX) ou sur une ligne (TX/RX reliées)
- Synchrone maître : émission horloge sur CK et émission/réception données sur DT
- Synchrone esclave : réception horloge sur CK et émission/réception données sur DT

### III.2.9. Le registre SPBRG

Ce registre « Serial Port Baud Rate Generator » permet de définir la fréquence de l'horloge utilisée pour la transmission, et donc de fixer son débit.

### III.2.10. Quartz d'horloge

Comme tout les microprocesseurs, PIC16F877Aa besoin d'une horloge pour synchroniser et cadencer l'exécution de son programme. Un quartz qui permet de fixer la fréquence de l'horloge est alors indispensable. Dans le cas de ce microcontrôleur, le quartz utilise peut aller jusqu'à 20MHz. Le temps qui s'écoule entre deux impulsions s'appelle un cycle d'horloge, les microprocesseurs basent sur cette fréquence pour son fonctionnement interne. Il faut savoir que le PIC 16F877A exécution une instrumentation de langage assembleur en 4 cycles d'horloge ce temps est connu dans le domaine des microprocesseurs sous le nom de cycle machine.

Le quartz est connecte entre les deux broches OSC1 et OSC2 ; il est alors possible d'utiliser des fréquences plus basses ou un circuit oscillateur externe. Cette possibilité de travailler avec des fréquences très basse est due essentiellement au fait que cette famille de microcontrôleurs est dite statique c'est-à-dire qu'ils peuvent travailler avec des fréquences très réduites sans aucun problèmes contrairement aux système s dynamiques qui ne peuvent travailler au dessous d'un certain seuil de fréquences.

### III.2.11. Réinitialisation

La broche MCLR (pour MASTER CLEAR) est une broche de contrôle, elle a l'effet de provoquer la réinitialisation du microprocesseur lorsqu'elle est activée par l'application d'un niveau bas. Ce qui interrompe le programme en cours et oblige le système de redémarrer aussi les registres du microcontrôleur vont par ailleurs être également remis à leur valeur de démarrage, et pour active cette broche il faut la maintenir à niveau haut.

## III.3. Les capteurs

Le capteur est le premier maillon de toute chaîne de mesure. Il est l'organe de saisie de l'information concernant la grandeur à mesurer.

Lorsque l'on souhaite traduire une grandeur physique en une autre grandeur, on fait appel à ce que l'on nomme classiquement « capteur ». Son rôle est de donner une image interprétable d'un phénomène physique de manière à pouvoir l'intégrer dans un processus plus vaste.

### III.3.1. Caractéristiques statistiques d'un capteur

Ces paramètres permettent de prendre en compte la notion d'erreurs accidentelles qui peuvent survenir sur un capteur.

#### a). Fidélité

Elle définit la qualité d'un capteur à délivrer une mesure répétitive sans erreurs. L'erreur de fidélité correspond à l'écart type obtenu sur une série de mesures correspondant à un mesurande constant.

#### b). Justesse

C'est l'aptitude d'un capteur à délivrer une réponse proche de la valeur vraie et ceci indépendamment de la notion de fidélité. Elle est liée à la valeur moyenne obtenue sur un grand nombre de mesures par rapport à la valeur réelle.

#### c). Précision

Elle définit l'écart en % que l'on peut obtenir entre la valeur réelle et la valeur obtenue en sortie du capteur. Ainsi un capteur précis aura à la fois une bonne fidélité et une bonne justesse.

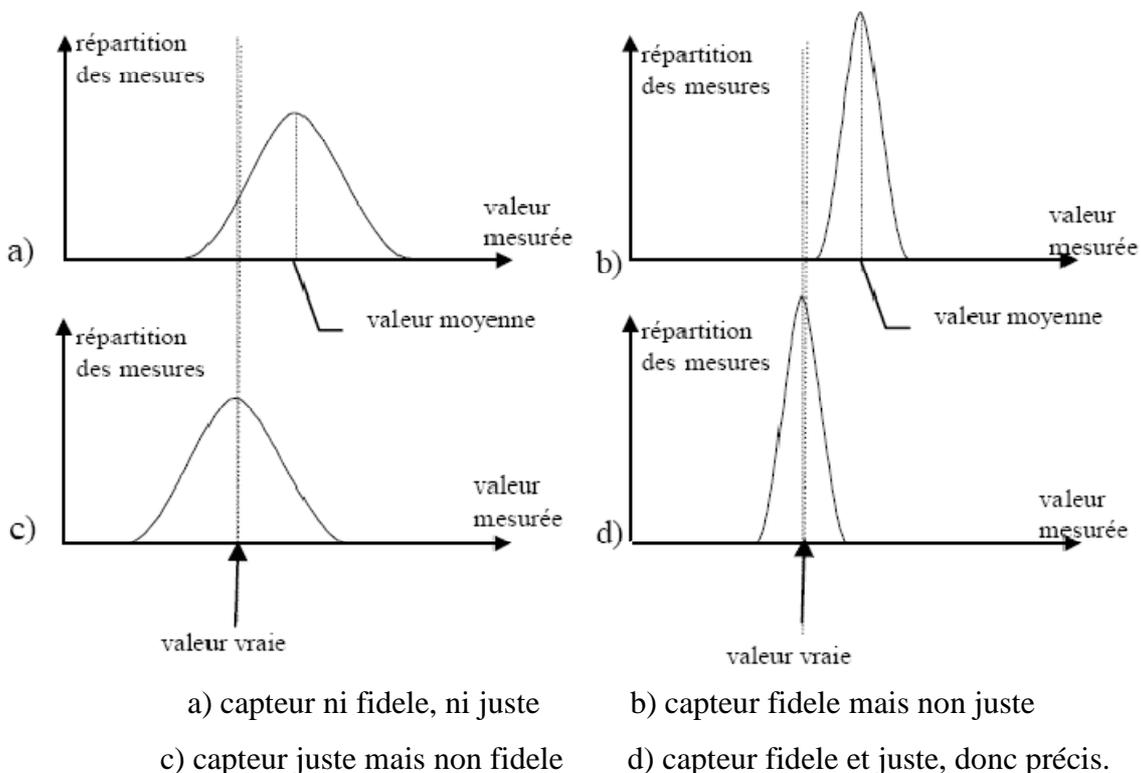


Figure III.3: Caractéristiques statistiques d'un capteur

Aptitude d'un capteur à délivrer une valeur mesurée proche de la valeur vraie du mesurande. Un capteur précis est donc à la fois fidèle et juste. La précision peut être spécifiée quantitativement par l'erreur de précision. Cette erreur délimite l'intervalle, autour de la valeur mesurée, à l'intérieur duquel on est assuré de trouver la valeur vraie. C'est donc l'erreur globale du capteur dans le domaine nominal d'utilisation. L'erreur de précision est la somme des erreurs de fidélité et de justesse. Etant donné qu'il s'agit d'erreurs, on entend par somme la racine carrée de la somme des carrés.

$$\text{Ainsi: } \Delta p = \sqrt{\Delta f^2 + \Delta j^2} \quad (\text{III.1})$$

Avec :

$\Delta p$  = erreur de précision.

$\Delta f$  = erreur de fidélité.

$\Delta j$  = erreur de justesse.

Ce sont ici des erreurs absolues exprimées dans l'unité de la grandeur à mesurer.

### III.3.2. Etalonnage des capteurs

L'étalonnage est l'opération qui établit la relation entre le mesurande et la grandeur électrique de sortie. Cette relation peut dépendre non seulement du mesurande mais aussi des grandeurs d'influence. S'il n'y a pas de grandeurs d'influence, l'étalonnage est simple, dans le cas contraire il est multiple.

#### III.3.2.1. Etalonnage simple

On distingue deux méthodes possibles :

- l'étalonnage direct dans lequel les valeurs du mesurande sont issues d'étalons ou d'objets de référence pour lesquels le mesurande est connu avec une incertitude donnée.
- l'étalonnage par comparaison dans lequel on compare les mesures du capteur à étalonner avec celles provenant d'un autre capteur lui-même préalablement étalonné et considéré comme étant la référence, ce qui signifie que son étalonnage est raccordé à des étalons et que l'incertitude correspondante est connue.

#### III.3.2.2. Etalonnage multiple

L'existence de grandeurs d'influence susceptibles de varier au cours des mesures oblige à paramétrer l'étalonnage pour différentes valeurs de ces grandeurs : c'est l'étalonnage multiple. Quelques cas particuliers d'étalonnages multiples méritent d'être mentionnés :

- pour les capteurs présentant une hystérésis, il est nécessaire de procéder à l'étalonnage par une succession ordonnée et spécifiée des valeurs du mesurande.
- pour les capteurs de grandeurs dynamiques, il faut relever la réponse en fréquence pour un mesurande d'amplitude fixée et la réponse en amplitude pour une fréquence fixée.
- dans certains cas, notamment pour beaucoup de capteurs mécaniques et thermiques, lorsque le constructeur ne donne pas d'indication relative à l'usage du capteur, il est souvent souhaitable d'effectuer l'étalonnage après son installation sur le site. Ainsi, l'étalonnage d'un accéléromètre peut être effectué après sa fixation à la structure dont on veut mesurer l'accélération, en particulier si, dans le certificat d'étalonnage, le constructeur a spécifié une procédure différente.

### **III.3.3. Conditionneurs des capteurs passifs**

Les capteurs passifs transforment le mesurande en une variation d'impédance. Ils doivent toujours être associés à un circuit disposant d'une source de courant ou de tension et en général de plusieurs impédances additionnelles. Ce circuit est appelé le conditionneur. Il y a deux grands groupes de conditionneurs d'impédances.

- Dans le premier groupe, la variation de l'impédance du capteur est traduite par une variation de différence de potentiel.
- Dans le deuxième, la variation d'impédance est utilisée pour modifier la fréquence d'un oscillateur. La lecture du capteur consiste alors en une mesure de fréquence. Nous ne traiterons ici que le premier groupe.

### **III.3.4. Mode de fonctionnement**

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

- les capteurs actifs fonctionnant en générateur
- les capteurs passifs fonctionnant en modulateur.

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 faible puissance. Ils sont dits de bas niveau et doivent être amplifiés pour pouvoir être ensuite transmis à distance.

Dans les capteurs passifs, c'est l'impédance du capteur qui est sensible aux variations du mesurande. Ces variations d'impédance ne sont mesurables que par l'intermédiaire d'un circuit

électronique de préconditionnement. Les capteurs passifs doivent être alimentés par une source d'énergie extérieure. Cette source peut être une tension continue ou modulée en fréquence.

Ces modes de fonctionnement correspondent à des principes de base et s'adapte essentiellement aux capteurs à sortie analogique. Le mode de fonctionnement des capteurs à sortie numérique et logique sont des cas particuliers.

### III.3.5. Raisons de Choix du capteur

On a choisi le type de capteur pour les raisons suivantes :

1. Simplicité d'utilisation d'où on a utilisé les fonctions de la souris qui déterminent la position du curseur sur l'écran de l'ordinateur.
2. Rapidité d'acquisition des données, parce que l'acquisition va être à travers le port série PS/2 de la souris et la commande et à travers le port parallèle.
3. économique, le capteur est un système d'acquisition très économique parce qu'il est constitué d'une souris simple.

### III.3.6. Caractéristiques techniques des capteurs utilisés

Dans notre expérimentation nous avons choisis et mis en place ces capteurs suivants à cause de la grande précision:

#### III.3.6.1. Capteur de température

Le choix a été porté sur la thermistance à coefficient de température négative, ses caractéristiques sont les suivantes:

- Catégorie climatique (CEI 60068-1) 55/155/56
- Max. de puissance (à 25 ° C) (P25) : 60 mW
- Tolérance de température (0 ... 70 ° C) ( $\Delta T$ ) :  $\pm 0,2 \pm 0,5$  K
- Nominale température (Tr) : 25 ° C
- Facteur de dissipation (dans l'air) ( $\delta_{th}$ ) : environ. 1,5 mW / K
- Temps de refroidissement thermique constant (dans l'air) ( $\tau_c$ ) : env. 15 s
- Capacité de chauffage (Cth) : environ. 22,5 mJ / K

#### III.3.6.2. Capteur d'humidité

Le capteur utilisé pour la mesure de l'humidité relative est de type « HS1135 », il assure la mesure de l'humidité. Il se compose d'une feuille non conductrice, qui est couverte des deux côtés d'une couche d'or. Le constant diélectrique de la feuille change en fonction de l'humidité

relative de l'atmosphère ambiante et par conséquent la valeur de capacité est une mesure de l'humidité relative.

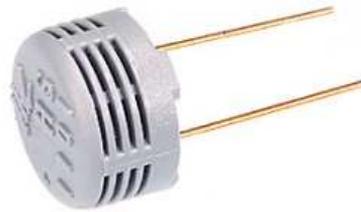


Figure III.4: Capteur d'humidité HS1135

Les caractéristiques techniques sont les suivantes :

- Plage de mesure d'humidité(RH) : 1-99%
- tension d'alimentation(Vs) : 5V
- Capacité nominale @ \* 55% HR(C) : 180pF
- coefficient de température(Tcc) : 0,04 pF/°C
- Sensibilité moyenne de 33% à 75% HR( $\Delta C/\%RH$ ) : 0,34 pF/%RH
- Le courant de fuite (Vcc = 5 volts) (Ix) : 1 nA
- Le temps de récupération après 150 heures de condensation (tr) : 10 s
- Hystérésis Humidité : +/-1.5 %
- Stabilité à long terme : 0.5 %RH/yr
- Temps de réponse (33 à 76% HR, toujours l'air @ 63%)(ta) : 5 s
- Ecart à la courbe de réponse typique (10% à 90% HR) : +/-2 % RH

### III.4. Afficheur LCD

#### III.4.1. Mise en œuvre d'un afficheur LCD

Les afficheurs à cristaux liquides sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes. Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et ne se différencient pas les uns des autres, seulement par leurs dimensions,( 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères ), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leurs tensions de services.

Nombre des caractères qui permet d'afficher : 2 lignes de 16 caractères

Input data : entrée de donnée en mode série ;

Driver : Ks0074-00 de SAMSUNG



Figure III.5: Image de l'afficheur LCD 2\*16

### III.4.2. Fonctionnement de l'afficheur

L'afficheur dispose de deux registres permettant de gérer celui-ci:

1- Le registre d'instruction I R: (Instruction Register) : C'est le registre de contrôle, suivant la valeur que l'on met dedans l'afficheur exécute des opérations de configurations, exemple: "effacement de l'écran" (Voir le tableau des commandes : page 9). Il permet aussi de positionner le curseur parmi les 80 adresses de la DDRAM, ou des 16 adresses de la CGRAM.

2- Le registre de données DR: (Data Register); Suivant la valeur que l'on met dedans l'afficheur peut:

- Afficher un caractère (Code ASCII ou spécifiques).
- Créer une ligne d'une matrice d'un nouveau caractère.

L'accès ce ces registres est fonction des valeurs des signaux R/W et RS.

RS	R/W	Registre sélectionné
0	0	Ecriture dans IR : Registre de contrôle ou d'instruction
0	1	Lecture de IR : Registre de contrôle ou d'instruction
1	0	Ecriture de DR : Registre de données
1	1	Lecture de DR : Registre de données

Tableau III.2: Fonctionnement de l'afficheur LCD 2\*16

L'écriture d'une donnée à une adresse, affiche le caractère correspondant au code ASCII et incrémente ou décrémente le compteur d'adresse ADD (compteur adresse de la DDRAM).

#### III.4.2.1. Principe des cristaux liquides

L'afficheur est constitué de deux lames de verre, distantes de 20  $\mu\text{m}$  environ, sur lesquelles sont dessinées les mantisses formant les caractères. L'espace entre elles est rempli de cristal liquide normalement réfléchissant (pour les modèles réfléchifs). L'application entre les deux faces d'une tension alternative basse fréquence de quelques volts (3 à 5 V) le rend absorbant. Les caractères apparaissent sombres sur fond clair. N'émettant pas de lumière, un afficheur à cristaux liquides réfléchif ne peut être utilisé qu'avec un bon éclairage ambiant. Sa lisibilité augmente avec l'éclairage. Les modèles transmissifs fonctionnent différemment:

normalement opaque au repos, le cristal liquide devient transparent lorsqu'il est excité; pour rendre un tel afficheur lisible, il est nécessaire de l'éclairer par l'arrière, comme c'est le cas pour les modèles rétroéclairés.

### III.4.2.2. Schéma fonctionnel

Comme le montre le schéma fonctionnel, l'affichage comporte d'autres composants que l'afficheur à cristaux liquides (LCD) seul. Un circuit intégré de commande spécialisé, le *LCD-controller*, est chargé de la gestion du module. Le "contrôleur" remplit une double fonction : d'une part il commande l'affichage et de l'autre se charge de la communication avec l'extérieur.

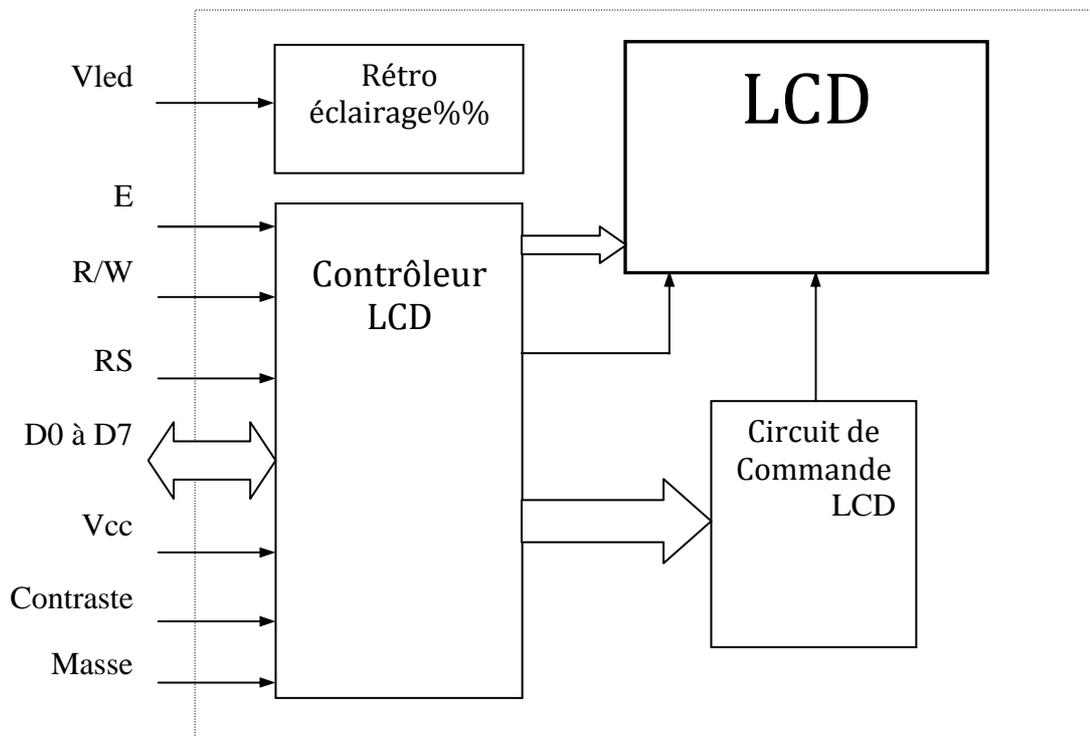


Figure III.6: Schéma fonctionnel d'afficheur alphanumérique LCD.

### III.4.2.3. Brochage

Un circuit intégré spécialisé est chargé de la gestion du module. Il remplit une double fonction : d'une part il commande l'affichage et de l'autre se charge de la communication avec l'extérieur.

Broche	Nom	Niveau	Fonction
1	Vss	-	Masse
2	Vdd	-	Alimentation positive +5V
3	Vo	0-5V	Cette tension permet, en la faisant varier entre 0 et +5V, le réglage du contraste de l'afficheur.
4	RS	TTL	Selection du registre (Register Select) Grâce à cette broche, l'afficheur est capable de faire la différence entre une commande et une donnée. Un niveau bas indique une commande et un niveau haut indique une donnée.
5	R/W	TTL	Lecture ou écriture (Read/Write) L : Écriture H : Lecture
6	E	TTL	Entrée de validation (Enable) active sur front descendant. Le niveau haut doit être maintenue pendant au moins 450 ns à l'état haut.
7	D0	TTL	Bus de données bidirectionnel 3 états (haute impédance lorsque E=0)
8	D1	TTL	
9	D2	TTL	
10	D3	TTL	
11	D4	TTL	
12	D5	TTL	
13	D6	TTL	
14	D7	TTL	
15	A	-	Anode rétroéclairage (+5V)
16	K	-	Cathode rétroéclairage (masse)

Tableau III.3: Brochage de LCD.

### III.4.3. Description des instructions de l'afficheur

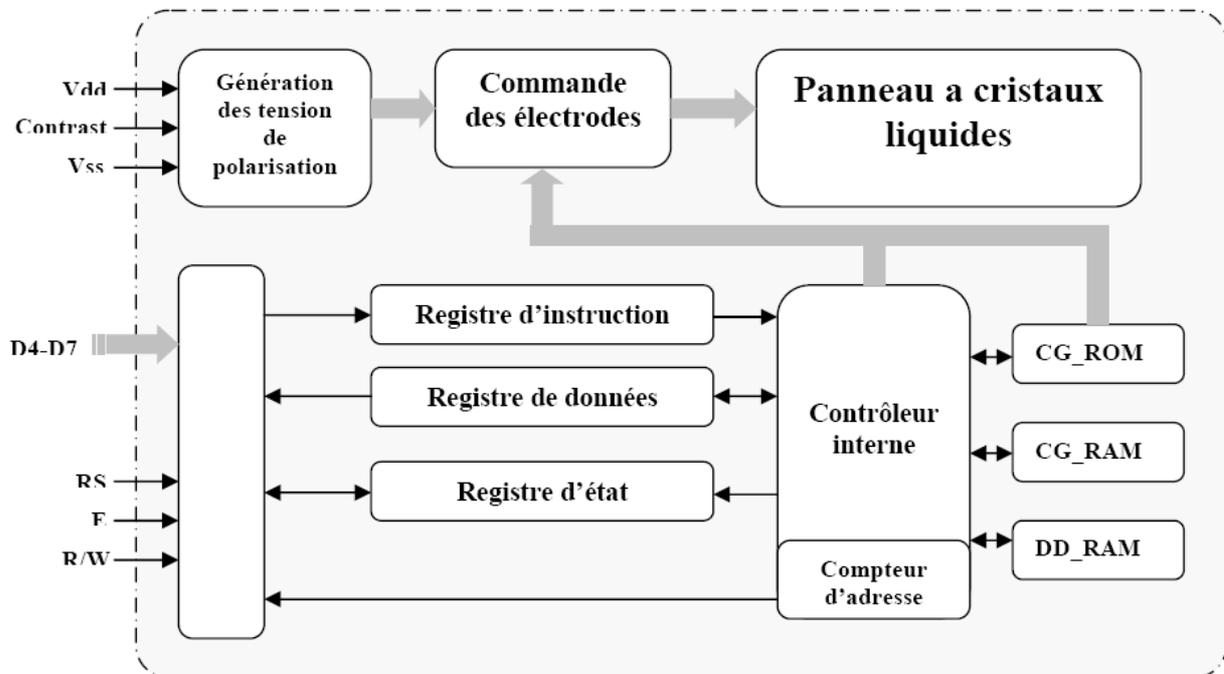


Figure III.7: Schéma d'organisation interne d'un Module LCD.

Les afficheurs à cristaux liquides sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité.

Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et ne diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leurs tensions de service. Certains sont dotés d'un rétro éclairage de l'affichage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (250 mA max.).

Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur, et permettent une grande convivialité. Ils peuvent aussi être utilisés lors de la phase de développement d'un programme, car on peut facilement afficher les valeurs de différentes variables.

Bien mieux qu'une série de LED, il servira à afficher des messages lors de l'initialisation, des messages d'erreurs, des valeurs de variables.

L'afficheur LCD permet d'afficher des caractères ASCII, sur 16, 20 ou 40 colonnes, et de 1 à 4 lignes.

### III.5. Le protocole RS232

Les liaisons séries permettant la communication entre deux systèmes numériques en limitant le nombre de Fils de transmission. La liaison série à la norme RS 232 est utilisée dans tous les domaines de l'informatique (exp. : port de communication com1 et com2 des PC permettant la communication avec des périphériques tels que modem et souris). Elle est de type asynchrone, c'est à dire qu'elle ne transmet pas de signal d'horloge.

#### III.5.1. Brochage du port RS232

Brochage	Nom
1	DCD
2	RXD
3	TXD
4	DTR
5	GND
6	DSR
7	RTS
8	CTS
9	RI

Tableau III.4: Brochage du port RS232.

- ◆ DCD (Data Carrier Detecte ) : Cette ligne est une entrée active à l'état haute. Elle signal à l'ordinateur qu'une liaison a été établie avec un correspondant.
- ◆ RX( Reciver Data) : Cette ligne est une entrée. C'est ici que transitent les informations du correspondant vers l'ordinateur.
- ◆ TX (Transmit Data ) : cette ligne est une sortie. Elle permet la véhicule des données de l'ordinateur vers le correspondant.
- ◆ DTR (Data Terminal Ready ) : Cette ligne est une sortie active à l'état haut Elle permet à l'ordinateur de signaler au correspondant que le port série à été libéré et qu'il peut être utilisé s'il le souhaite.
- ◆ GND (GrouND) : c'est la masse.
- ◆ DSR (Data Set Read) : Cette ligne est une entrée active à l'état haut. Elle permet au correspondant de signaler qu'une donnée est prête.
- ◆ RTS (Request To Send ) : cette ligne est une sortie active à l'état haut. Elle indique au correspondant que l'ordinateur veut lui transmettre des données..
- ◆ CTS (Clear To Send ) : Cette ligne est une entrée active à l'état haut.Elle indique à l'ordinateur que le correspondant est prêt à recevoir des donnés.
- ◆ RI( RING Indicator) : Cette ligne est une entrée active à l'état haut.Elle permet à l'ordinateur de savoir si un correspondant veut initier une communication avec lui.

### III.5.2. Fonctionnement

Pour pouvoir dialoguer avec le PC, notre microcontrôleur utilise son module USART c'est donc un module qui permet d'envoyer et de recevoir des données en mode série, soit de façon synchrone, soit asynchrone. Le module USART de notre PIC gère uniquement deux pins, à savoir RC6/TX/CK et RC7/RX/DT.

Une liaison série synchrone nécessite une connexion dédiée à l'horloge, donc il reste une seule ligne pour transmettre les données. Alors qu'en mode asynchrone on n'a pas besoin d'une ligne d'horloge, il nous restera alors deux lignes pour communiquer, chacune étant dédiée à un sens de transfert. Nous pourrons donc envoyer et recevoir des données en même temps.

Les liaisons RS 232 sont des liaisons asynchrones très utilisées en informatique. Elle nécessite que l'émetteur et le récepteur soit informé de la vitesse choisie de transfert (dans notre cas 9600 bauds).

Grâce à cette liaison la carte peut servir d'interface entre un PC et un montage extérieure afin d'adapter les signaux TTL du microcontrôleur au standard RS232, un MAX232 est montée de façon classique, les lignes RX, TX et la masse sont disponibles sur un connecteur DB9 mâle qui permet ainsi de relier la carte au PC avec un simple câble série.

### III.5.3. Le MAX 232

Le pic 16F877 utilise les niveaux 0v et 5v pour définir respectivement les signaux <0> et <1>. La norme RS 232 définit des niveaux de +12v et -12v pour établir ces mêmes niveaux. Nous avons donc besoin d'un circuit (driver de bus) chargé de convertir les niveaux des signaux entre PIC et PC.

Le MAX232 est un composant créé par MAXIM que l'on trouve sous d'autres références chez d'autres fabricants. Il sert d'interface entre une liaison série TTL (0-5V) et une liaison série RS232 (+12 -12V) et ce avec une simple alimentation 5V.

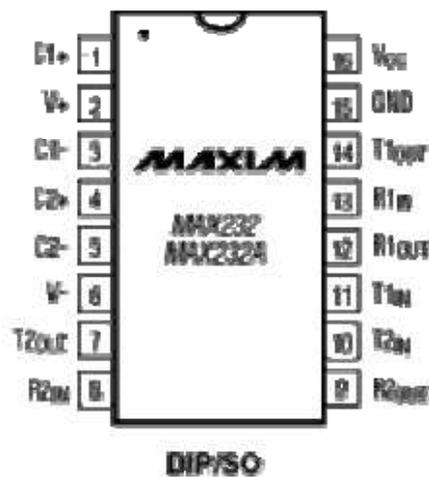


Figure N° III.8: Boîtier de MAX232.

Ce circuit dispose de :

- doubleur d'alimentation, ainsi qu'un inverseur de tension permettant d'obtenir +12V et -12V environ à partir de +5V, cela à l'aide de 4 capacités externes (convertisseurs de tension à pompe de charge).
- Deux blocs dénommés T1 (T1IN, T1OUT) et T2 (T2IN, T2OUT) qui convertissent les niveaux entrés en 0v et 5v en signaux sortis sous +12v et -12v. Les entrées de ces blocs sont donc dirigés vers le pic et les sorties sont connectées sur le port RS 232.
- Deux blocs dénommés R1 (R1IN, R1OUT) et R2 (R2IN, R2OUT), qui convertissent les niveaux entrés en +12v /-12v en signaux sortis sous 0v/5v.

### III.5.4. Paramètres rentrant en jeu pour la norme RS232

- Longueur des mots : 7 bits (ex : caractère ascii) ou 8 bits
- La vitesse de transmission : elle est défini en bits par seconde ou bauds. Elle peut prendre des valeurs allant de 110 à 115 200 bds.

- Parité : le mot transmis peut être suivi ou non d'un bit de parité qui sert à détecter les erreurs éventuelles de transmission.
- Bit de start : la ligne au repos est à l'état logique 1 pour indiquer qu'un mot va être transmis la ligne passe à l'état bas avant de commencer le transfert. Ce bit permet de synchroniser l'horloge du récepteur.
- Bit de stop : après la transmission, la ligne est positionnée au repos pendant 1, 2 ou 1,5 périodes d'horloge selon le nombre de bits de stop.
- Niveau de tension : Un "0" logique est matérialisé par une tension comprise entre 3 et 25V, un "1" par une tension comprise entre -25 et -3 V. Des circuits spécialisés comme le MAX 232 réalise la conversion à partir de niveau TTL.

### **III.6. Conclusion**

Dans ce chapitre on a détaillé le fonctionnement des composants utilisés dans notre projet, Ils ont été choisis pour leurs caractéristiques techniques (Voir aussi à l'Annexe 04) et les performances nécessaires à la bonne exécution du système.

Nous avons donné une description globale du microcontrôleur PIC16F877A de son brochage, de ses périphériques ainsi que de ses modes d'adressage, ce qui nous facilitera son utilisation lors de la réalisation de notre système. Nous avons aussi détaillé le principe de fonctionnement et le contrôle d'un afficheur à cristaux liquide LCD, aussi que les capteurs utilisées et La liaison à la norme RS 232.

## ***CHAPITRE : IV***

### ***Description du système réalisé***

### IV.1. Introduction

Un contrôle par ordinateur est un système de surveillance qui permet de visualiser, de contrôler et de coordonner la température et l'humidité dans une serre est l'objectif de ce mémoire.

La conception et la mise en œuvre de systèmes d'informations avancées, de logiciels d'aide à la décision, de postes de supervisions de procédés industriels (avec les problèmes de communications homme machine qui les accompagnent) se caractérisent par la constante manipulation d'informations dont beaucoup sont subjectives, imprécises, vagues, incertaines.

Mener à bien cette intégration de l'homme dans son environnement informatique, revient à exploiter correctement les savoirs, automatiser certaines tâches, tout cela requiert la formalisation et la mécanisation de méthodes humaines pour de raisonnement empiriques ou naturel, la rationalisation de procédures de choix.

### IV.2. Dispositif expérimental

L'objectif de ce chapitre est de présenter l'ensemble du dispositif expérimental mis en œuvre dans notre application de contrôle climatique du prototype ainsi que les instruments qui y sont associés.



Figure IV.1: Vue extérieure du prototype réalisé

#### IV.2.1. Le prototype

- Le prototype dans lequel toutes les données expérimentales ont été recueillies est réalisé au niveau du Laboratoire de l'Electronique Avancée -LEA- (Université de BATNA). C'est un prototype en verre qui occupe une surface de 1800 cm<sup>2</sup> (60 cm de longueur sur 30m de largeur) comme montré sur la Figure IV. 1.

- L'expérimentation consiste à mettre en place une station d'acquisition et de contrôle des paramètres microclimatiques. Elle est constituée d'un ensemble de matériels et programmes permettant l'acquisition et le stockage numérique des données climatiques (la température ambiante, l'humidité relative de l'air).

#### **IV.2.1.1. Système de Ventilation**

Le principe consiste à ventiler le prototype en actionnant l'extracteur d'air (Ventilateurs), ce procédé ne permet en aucun cas de baisser la température en dessous de la température extérieure, aussi que le plafond est mobile ; il se ferme ou s'ouvre par l'action d'un moteur.

#### **IV.2.1.2. Système de chauffage**

Pour cela nous avons maintenant installé en parallèle trois résistances de 220watts au niveau du côté arrière u prototype, par leur action nous pouvons atteindre la température requise en cas de baisse de cette dernière.

#### **IV.2.1.3. Humidificateur**

Le principe de fonctionnement consiste à aspirer l'air extérieur à travers une grille constamment humidifiée. L'évaporation de l'eau permet à la fois de charger l'air en humidité et de baisser sa température interne dans le prototype. Dans le cas de notre application, nous avons prévu une petite pompe d'essuie glasses de voiture qui permet de pulvériser l'intérieur de la serre.

### **IV.3. Méthodologie de la commande**

Afin d'améliorer la conduite climatique d'une culture de tomate, une étude a été menée dans un prototype d'une serre agricole. Notre travail de magistère consiste à mettre en place une chaîne d'acquisition et de régulation climatique. Le système de pilotage est basé autour d'une carte électronique. L'acquisition des données, et les commandes seront assurées par l'utilisation de cette carte. Les capteurs permettant de mesurer la température, et l'humidité.

Après la phase d'installation et d'étalonnage des capteurs à l'intérieur du prototype, nous avons pu constituer une base de données climatique de la serre. À partir de ce résultat nous avons élaboré une stratégie optimale de régulation climatique de la serre. Le programme informatique développé a permis d'exploiter la serre durant toute l'année par le contrôle aussi bien du chauffage pendant les périodes froides de l'année que le refroidissement pendant les périodes chauds et secs.

#### **IV.4. Cahier de charge**

Le point de départ de n'importe quel projet est le cahier de charge. Pour un système de régulation, les spécifications restent souvent vagues en raison surtout de la grande diversité de problèmes de régulation. Les critères qualitatifs à imposer dépendent d'abord de la nature du processus à régler.

##### **IV.4.1. Avantages de Gestion climatique**

La gestion climatique du microclimat sous serre présente les avantages suivants :

- amélioration du rendement des cultures, obtenue grâce à une meilleure maîtrise des conditions optimales de culture ;
- amélioration de la qualité des produits, de l'homogénéité en particulier ;
- amélioration de la maîtrise des calendriers de production (la précision de l'entrée en production dépend souvent d'une gestion précise des températures) ;
- gains de temps liés à l'automatisation de certaines tâches et à la centralisation des informations et des commandes ;
- économies d'énergie permises par la gestion plus fine des chaudières et la possibilité de moduler les consignes de chauffage, par exemple en fonction du rayonnement reçu la veille ;
- amélioration de la sécurité des cultures et des installations grâce à l'automatisation d'une partie des tâches de surveillance et d'analyse des dysfonctionnements.

Contrôles effectués par les systèmes de régulation de serre. Les appareils de contrôle reçoivent des signaux d'information des capteurs (ainsi que de l'horloge), et envoient des ordres aux actionneurs par l'intermédiaire de relais électriques.

Les principales fonctions des équipements de serre sont : le chauffage, l'aération, et l'humidification de l'air:

##### **IV.4.1.1. Fonction chauffage**

L'objectif de la régulation du chauffage est d'adapter les apports de chaleur aux besoins des cultures. Un objectif secondaire de la régulation du chauffage est la déshumidification de l'air. La marche des résistances chauffantes sont donc régulées en fonction de mesures de température ou d'hygrométrie de l'air.

#### **IV.4.1.2. Fonction aération**

L'objectif principal de la régulation de l'aération est d'empêcher la température de l'air dans le prototype de dépasser la température maximale admise. L'aération peut être également régulée à des fins de déshumidification de l'atmosphère interne, pour favoriser aussi l'entrée de CO<sub>2</sub>, dans la serre en l'absence d'enrichissement. Les moteurs des ouvrants ou des extracteurs sont mis en route en fonction de mesures de température, d'hygrométrie de l'air.

#### **IV.4.1.3. Fonction humidification de l'air**

La régulation de l'humidification de l'air a pour objectif le maintien de l'hygrométrie du serre au-dessus de la valeur fixée par l'utilisateur. La brumisation ou la nébulisation fine sont déclenchées en fonction de mesures de l'hygrométrie de l'air et de sa température

#### **IV.4.2. Actions générées par le système de régulation de serre**

Les systèmes de régulation commandent essentiellement des moteurs, des relais. Les moteurs interviennent dans la ventilation, l'humidification de l'air. Ils actionnent et entraînent, d'une pompe à eau, des ventilateurs... des résistances interviennent dans le chauffage.

### **IV.5. Réalisation de système de contrôle**

#### **IV.5.1. Implantation matérielle**

Notre objectif est de concevoir et de réaliser en pratique un régulateur des paramètres climatiques qui doit remplir les fonctions suivantes :

1. Capter les paramètres climatiques à l'intérieur du prototype avant la régulation à l'aide des capteurs et l'afficher éventuellement par l'intermédiaire d'un afficheur LCD.
2. Lecture de ces paramètres, et les comparer avec la consigne désirée. Après ces paramètres en mode automatique : acquisition de la valeur du processus (T, HR).
3. Gérer une interface homme/machine par l'intermédiaire d'un PC qui a pour fonction d'ajuster ces paramètres à l'intérieur du prototype.

Les composants électroniques ont été choisis pour leurs caractéristiques techniques et les performances nécessaires à la bonne exécution du système réaliser.

#### **IV.5.1.1. La carte principale**

##### **IV.5.1.1.1. Schéma électronique global**

Nous sommes rendus à la phase de la conception du circuit électronique. Basé essentiellement sur les schémas illustrés par la Figure IV. 2, le circuit final est en plus constitué de connecteurs et autres artifices assurant la bonne tenue de la carte en fonctionnement réel. Le montage présenté à la figure (IV. 3) a été capturé dans l'écran de travail lors des simulations sous le logiciel EAGLE5.6.



#### IV.5.1.1.2. Description de (EAGLE5.6)

Eagle (Easily Applicable Graphical Layout Editor) est un logiciel propriétaire de conception assistée par ordinateur de circuits électronique, et de réaliser les PCB de ces schémas. (Voire le schéma ci-dessous) Il est fort populaire auprès des amateurs parce qu'il existe une version de démonstration fort utilisable. Multiplateforme, ce logiciel existe pour Microsoft Windows, Linux et Mac OS X. Il comprend un éditeur de 'schématique', un éditeur de 'layout' avec une fonction optionnelle d' 'autoroutage', et un éditeur de bibliothèques. Le logiciel est fourni avec une série de bibliothèques de composants de base qui est assez conséquente.

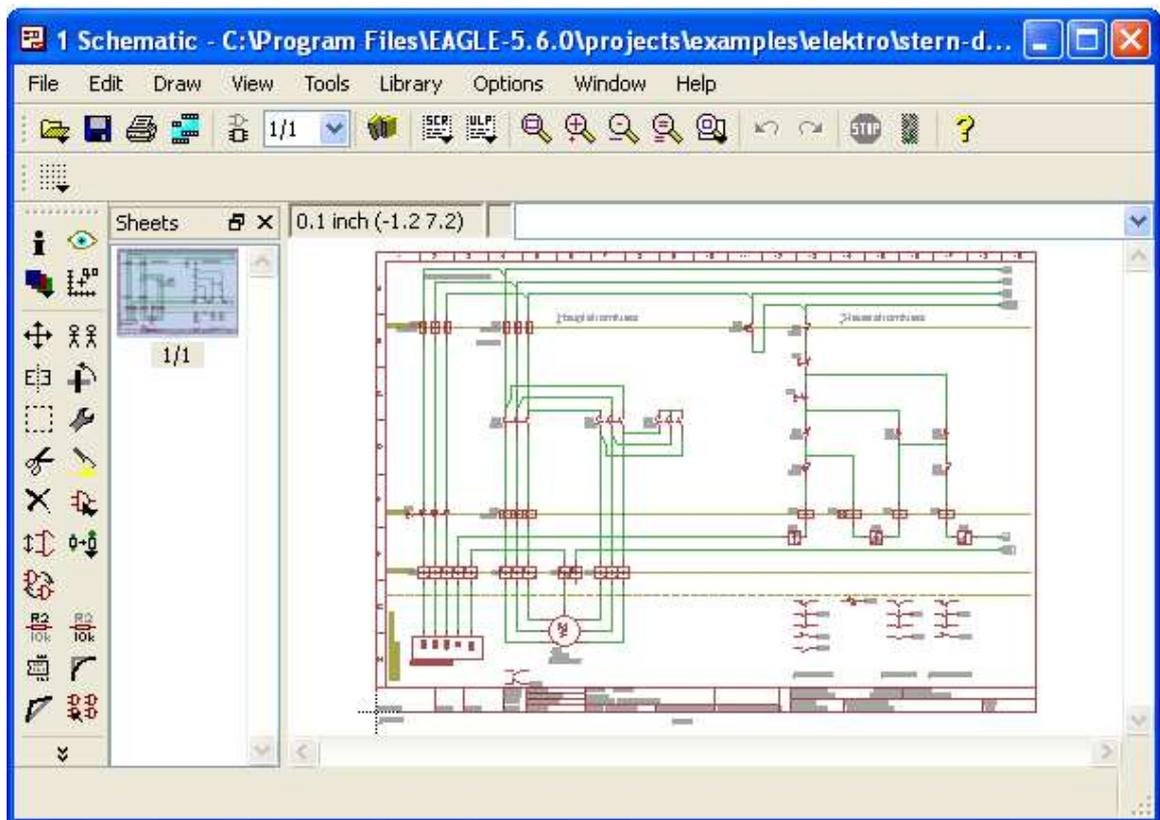


Figure IV. 3: Interface de logiciel EAGLE5.6

- Fonctionne avec Windows, Linux et Mac ;
- Possède un outil qui contrôle les erreurs (exemple: composants non relié) ;
- Comprend un outil de routage automatique ;
- Librairie de composants qui peut être étendue. Il est possible de dessiner soi-même de nouveaux composants.

#### IV.5.1.1.3. Réalisation du circuit imprimé

La réalisation du circuit imprimé n'a posé aucun problème particulier, nous avons utilisé une plaque de cuivre photo sensible.



L'alimentation que nous proposons ici, est une alimentation simple, fournissant une tension continue stable de valeur précise. C'est-à-dire fournissant une tension positive par rapport à la masse (la référence 0 V) est nécessaire pour alimenter le montage.

Cette alimentation permet de fournir une tension +5 volts sous 1 A, qui convient parfaitement à alimenter les différents composants électroniques de notre carte.

Dans ce dernier cas, le 220 Volts est abaissé par un transformateur, puis redressé par des diodes, puis filtré par des condensateurs et enfin régulé par un circuit intégré spécialisé 78L05.

#### **IV.5.1.3. Entrée des capteurs**

Pour ce qui est des capteurs du système, leur action est transmise à la carte par mise au niveau bas de la broche correspondante. En d'autres termes, les capteurs utilisés sont actifs au niveau bas. En fonctionnement normal, les broches sont maintenues à 5V. Pour éviter de créer un court circuit lors d'une action sur un des capteurs, des résistances ont été prévues sur le montage.

Celles-ci assurent le contrôle du courant débité par le régulateur de 5V alimentant le contact au moment de son action il met à la masse une broche précise du microcontrôleur.

La mesure de la température est faite par la conversion analogique numérique de la tension qui varie en fonction de la température et l'aide de la fonction de transfert en tension/température ; la valeur calculée est affichée chaque 200 mS.

La mesure de l'humidité du capteur capacitif HS1135 est faite à l'aide d'un astable à base de NE555 qui oscille à une fréquence proportionnelle à l'humidité relative de l'environnement.

Donc le pic16f877 calcule la fréquence de ces oscillations et affiche la valeur mesurée sur l'afficheur LCD

#### **IV.5.1.4. Positionnement des capteurs**

Pour des mesures précises de l'humidité de l'air, le capteur doit être placé à l'ombre, à l'abri de la pluie et dans un endroit où l'air à mesurer circule librement. Il doit être aussi éloigné que possible de toutes surfaces exposées au soleil qui fausseraient ainsi les mesures en créant des microclimats. En effet, pour une même quantité d'humidité absolue, l'air se réchauffant au contact d'une surface aura une humidité relative plus basse. Si on ne peut pas éviter ces microclimats dans le positionnement du capteur, on peut compenser partiellement ce phénomène pour autant qu'on dispose d'une mesure fiable de la température de l'air.

Contrairement au capteur de température, le capteur d'humidité ne peut pas être rendu étanche. Il doit être positionné à l'abri de l'eau et des poussières ou pollutions importantes, tout

en ayant accès à l'air qui doit être mesuré. Il conviendra donc de placer le circuit électronique du capteur à l'intérieur d'un boîtier avec des trous de ventilation.

#### IV.5.1.5. Conception du programme de fonctionnement

Cette dernière étape est entièrement caractérisée par l'écriture en langage C d'un code source sur la base de l'algorithme de fonctionnement afin de permettre au microcontrôleur d'assurer fidèlement la marche du système. Le code source est écrit avec le logiciel MPLAB IDE et le transfert vers le microcontrôleur se fait à l'aide du programmeur MPLAB. Ce programme classé en annexe est destiné à un montage dont l'afficheur LCD alphanumérique comporte 2 lignes et 16 colonnes. Pour pouvoir l'adapter à un montage ayant un LCD différent il faudra opérer les ajustements nécessaires dans le code source. D'autres parts, il intègre dans son fonctionnement des sous programmes qui permettront à l'ensemble d'effectuer les calculs internes et des mémorisations pendant le fonctionnement. Les dites mémorisations sont faites par écriture à des adresses précises dans l'EEPROM.

##### IV.5.1.5.1. Programmation du PIC

###### A. Choix du langage de programmation

Notre programme est écrit en langage C à l'aide d'un outil de développement complet fournit gratuitement par la société Microchip et conçu spécifiquement aux microcontrôleurs PIC. Cet outil s'appelle « MPLAB IDE », qu'on peut le télécharger à partir du site Internet de Microchip :( [www.microchip.com](http://www.microchip.com)).

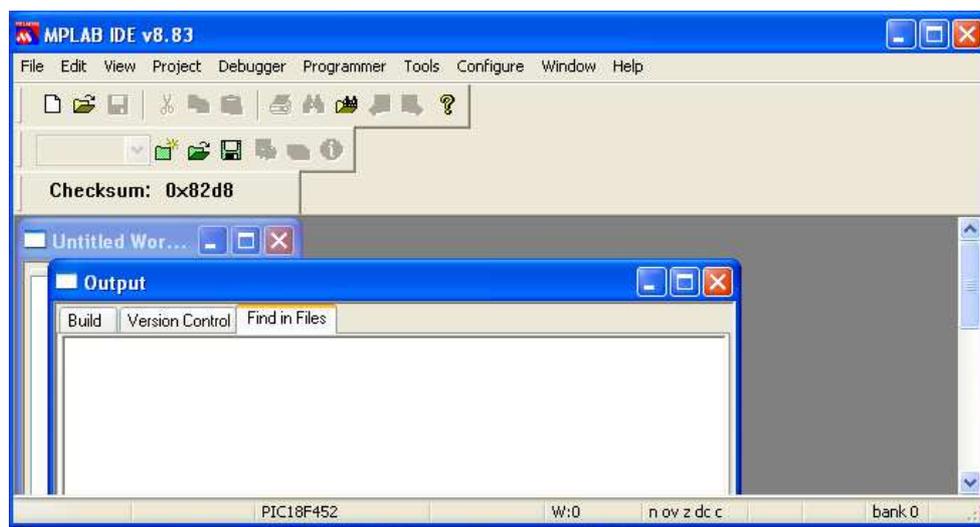


Figure IV. 5: Interface de logiciel MPLAB IDE v8.83

La programmation en langage assembleur requiert plus de rigueur et de minutie, il faut non seulement connaître le rôle de chaque instruction mais aussi l'architecture interne du microcontrôleur, les adresses des registres spéciaux, etc.

«MPLAB IDE» offre beaucoup de flexibilités aux développeurs, notamment grâce aux nombreuses fenêtres pouvant être ouvertes à tout moment lors d'une mise au point, et qui permettant de voir le contenu de n'importe quel registre. Il permet l'écriture d'un programme, de l'assembler de le simuler avant de le transférer vers la mémoire flash du PIC.

Pour pouvoir aboutir à un programme, «MPLAB IDE» a besoin de naviguer entre plusieurs fichiers, pour cette raison, avant de tenter d'écrire un programme, on doit passer par les étapes suivantes :

- Première étape : création d'un projet d'extension .pjt, cela revient à définir le nom du projet et les fichiers que «MPLAB IDE» devra utiliser au cours du développement : Régulateur solaire pwm. pj. (nom de notre projet)
- Deuxième étape : édition du programme source qui sera sauvegardé comme un fichier source d'extension .asm. : Régulateur solaire pwm. asm.
- Troisième étape : correction des erreurs, si le programme contient des erreurs, sa compilation n'aboutit pas .Dans ce cas, il faut impérativement revenir au fichier source d'extension .asm pour corriger les erreurs.
- Quatrième étape : compilation du programme c'est-à-dire la conversion du fichier source en fichier ayant le même nom, mais d'extension. hex, par exemple : Régulateur solaire pwm. hex. Le message «*Build completed successfully*», nous informe que la compilation est achevée avec succès.
- Cinquième étape : simulation du programme, qui est une sorte de vérification virtuelle permettant de voir à l'écran le contenu des registres lorsque les instructions sont exécutées.

Le logiciel **MPLAB** est un outil de développement pour programmer des microcontrôleurs de type PIC de la famille Microchip. Ce logiciel vous permettra de créer un programme, de l'assembler, et de le simuler.

Enfin, vous pourrez transférer votre programme réalisé sous MPLAB pour le mettre sur votre PIC.

Avec l'environnement de MPLAB il est possible de réaliser un fichier source en langage assembleur (fichier .asm).

Mais l'avantage de MPLAB c'est de réaliser des programmes en langage C. Ainsi MPLAB peut utiliser un langage de programmation évolué pour le développement en électronique.

Après avoir réalisé le programme d'un fichier source en assembleur ou en C, il est possible de transformer ce dernier en fichier .hex. Ça le rend prêt à être chargé dans le microcontrôleur.

MPLAB 9.83 est un Environnement de Développement Intégré (IDE) qui permet le développement logiciel des microcontrôleurs PIC et les contrôleurs de signal numériques dsPIC de la société Microchip. MPLAB IDE permet :

- De créer le code source à l'aide de l'éditeur intégré.
- D'assembler, compiler et lier les fichiers sources qui peuvent provenir de langages différents. Un assembleur, un "linqueur" et un gestionnaire de bibliothèques sont fournis avec MPLAB. Un compilateur C est vendu à part par Microchip; des outils de tierces parties peuvent aussi être utilisés.
- De déboguer le code exécutable en observant le déroulement du programme à l'aide du simulateur fourni, de l'émulateur temps réel ICE 2000 ou de l'ICD2 (in circuit debugger) développés par Microchip. Des outils de tierces parties peuvent aussi être utilisés.
- D'effectuer des mesures temporelles avec le simulateur ou l'émulateur.
- De voir les variables grâce à des fenêtres d'observation (watch windows).
- De programmer les composants grâce à PICSTART Plus (unité) ou PROMATE II (série)

#### IV.5.1.6. Commande des actionneurs

Ayant la valeur numérique (Y), les consignes sont récupérées de la base de données et comparées à cette valeur (Y).

- Si (Y) est comprise dans l'intervalle des consignes [C1-C2], il n'y a aucune contre réaction.
- Où bien la valeur (Y) est à l'extérieur de l'intervalle des consignes, alors il y a une contre réaction adéquate qui se déclenche et affichage d'un message selon la position de (Y) par rapport à l'intervalle.
- La comparaison de la grandeur numérique aux consignes pour la température la culture de tomate est comme suit : (Stade de germination)  
 $Y > C1$ .....Déclenchement ventilation  
 $Y < C2$ .....Déclenchement Chauffage  
 $C1 < Y < C2$ .....Fonctionnement normale  
 Avec :  
 Y : Température mesurée (le mesurant).

C1 : Température minimale au stade de croissance que peut supporter la culture de tomate.

C2 : Température maximale au stade de croissance que peut supporter la culture de tomate.

Le fonctionnement du contrôle de l'humidité relative de l'air a le même principe que la régulation de température.

#### IV.5.1.7. La carte Annexe

Donc il s'avère indispensable de choisir un protocole de transmission adéquate, qui évitera la perte des informations lors de la transmission. Pour cette réalisation nous avons choisi le protocole série asynchrone couramment appelé RS232 qui a pour particularité une simplicité d'utilisation puisque il est supporté par le PC et nous permet d'avoir des transmissions correctes sur de grandes distances.

La conversion des données au format RS232 est réalisée par cette carte.

##### IV.5.1.7.1. Protocole de communication

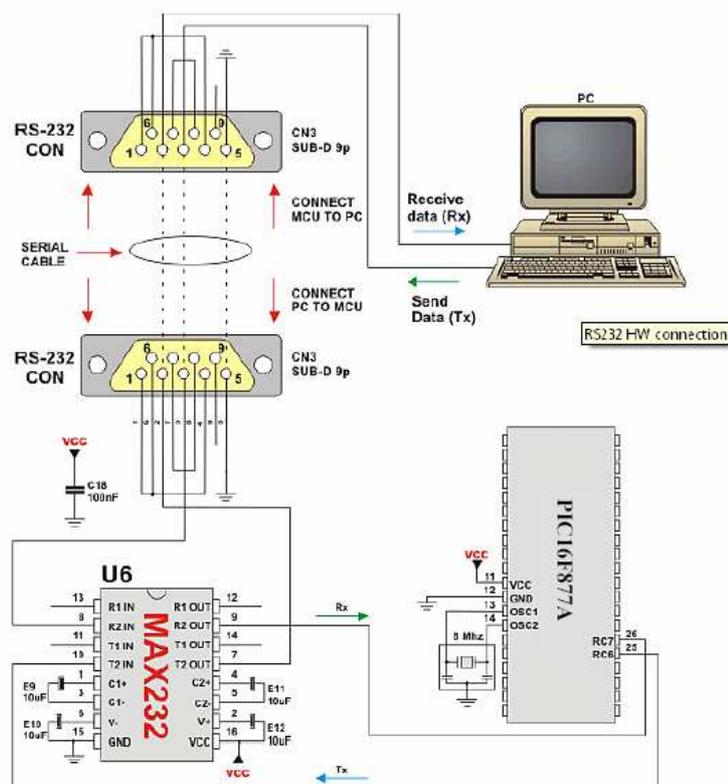


Figure IV.6: communication série entre PIC et un PC

#### IV.5.1.7.2. La carte de liaison avec PC

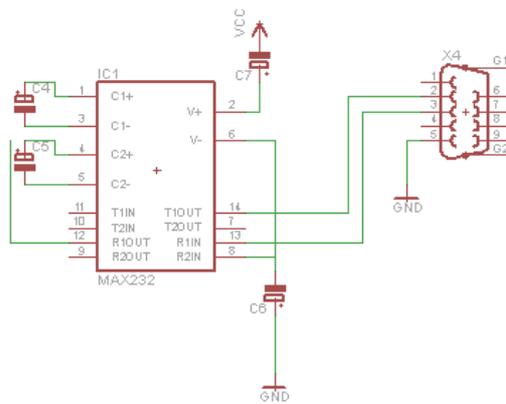


Figure IV.7: Schéma électronique de la carte Annexe

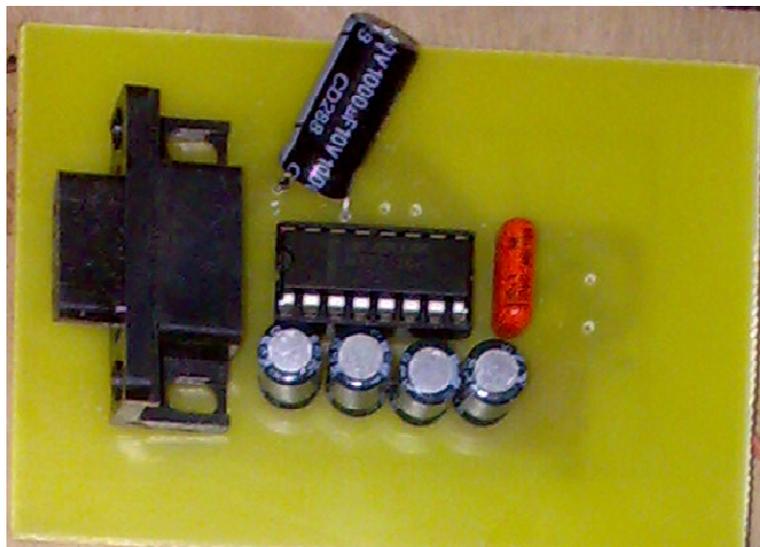


Figure IV.8: La carte Annexe

#### IV.5.2. Implantation logiciel

Pouvoir gérer un processus industriel d'une manière optimale nécessite l'utilisation d'une interface homme machine qui est le logiciel, ce dernier devra à travers un micro-ordinateur permettre la gestion et le bon déroulement de tout le processus. Pour cette raison nous avons développé une interface de contrôle sous Delphi 7.0 Le logiciel permet la commande de différents paramètres entrant dans la gestion du microclimat sous serre, il permet aussi la visualisation des grandeurs analogiques en temps réel.

Pour cela, nous avons utilisé LE DELPHI version 7.0, qui est un langage de programmation sous WINDOWS, qui va nous permettre de commander et visualiser notre application, et cela en créant un programme de gestion et une interface graphique qui nous permet de visualiser le fonctionnement et le déroulement de notre application.

### IV.5.2.1. Description du logiciel DELPHI

Delphi est le nom d'un logiciel actuellement largement employé pour créer des logiciels. Delphi permet d'utiliser le langage Pascal. Il faut bien comprendre que Pascal et Delphi NE SONT PAS une seule et même chose : Pascal est un langage informatique, Delphi est un logiciel destiné à créer des logiciels avec ce langage. Delphi n'est qu'un enrobage, une enveloppe de confort autour de Pascal, c'est-à-dire qu'il simplifie de nombreuses tâches liées à la programmation en langage Pascal. Un autre fait qu'il faut noter est que Delphi est destiné à écrire des programmes fonctionnant exclusivement sous Windows..

### IV.5.2.2. Interface utilisateur

Quand on ouvre notre application de contrôle de microclimat dans notre prototype réalisé au niveau du laboratoire de l'électronique avancée 'LEA', faculté de technologie de l'université de BATNA ; elle nous demande la saisie d'un mot de passe pour accéder dans notre système de contrôle. Voir la figure IV-9.



Figure IV.9: Fenêtre principale de notre contrôleur réalisé.

Cet écran comprend des jauges de différents paramètres qui varient et changent de contrôleur selon des plages bien définies.

En appuyant sur le bouton Paramètres, cet écran apparaît, il comporte Cinq écrans:

- numéro de la serre cultivée ;
- le type du culture ;
- les divers stades de développement culture sélectionnée ;
- les paramètres climatiques qu'il faut les contrôler ;
- la commande des divers organes d'exécution et de régulation du climat interne.

D'abord ;il faut définir le numéro de la serre qu'on veut cultiver,

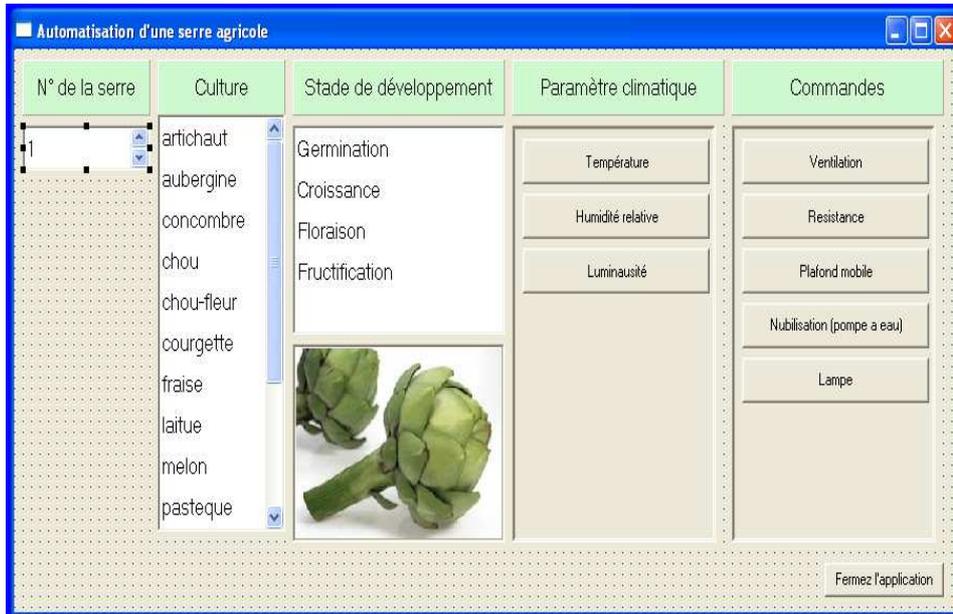


Figure IV.10: Ecran de détermination de la serre cultivée.

Puis dans la colonne de culture (deuxième colonne) il faut sélectionner le type de la plante que sa photo apparait juste à droite.

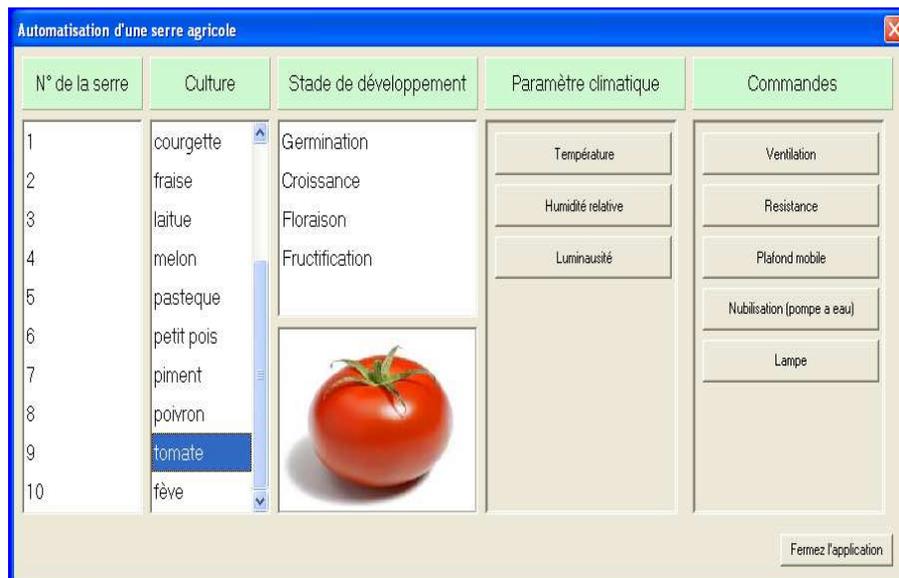


Figure IV.11: Ecran de détermination de type de culture.

Après ça il faut définir les divers stades de développement de plante déterminée, chaque un par une période journalière ( nombre de jours de chaque stade de croissance).

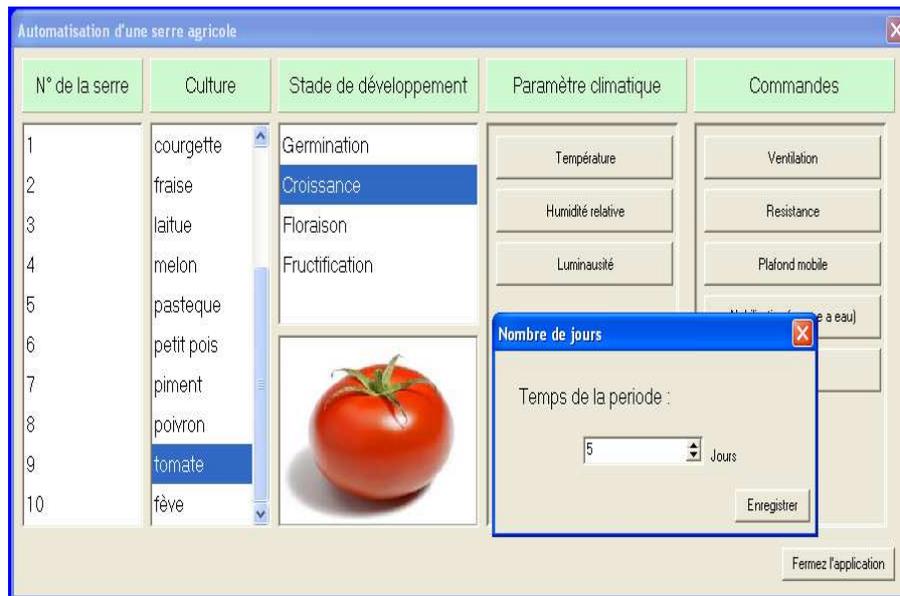


Figure IV.12: Ecran de définir de la validité de chaque stade.

Chaque plante a des paramètres climatiques bien déterminés aux agriculteurs ; il faut saisir les consignes (valeurs minimales aussi que maximales) de paramètre contrôlé (La température ambiante, l’humidité relative de l’air, luminosité) à chaque période diurne et nocturne

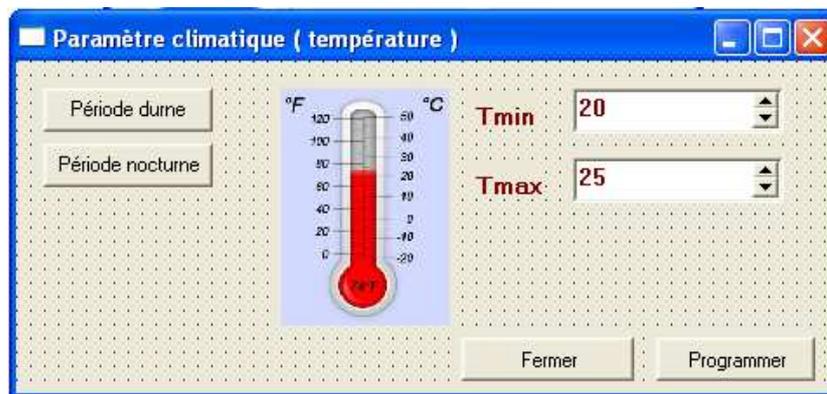


Figure IV.13: Ecran des consignes de température ambiante.

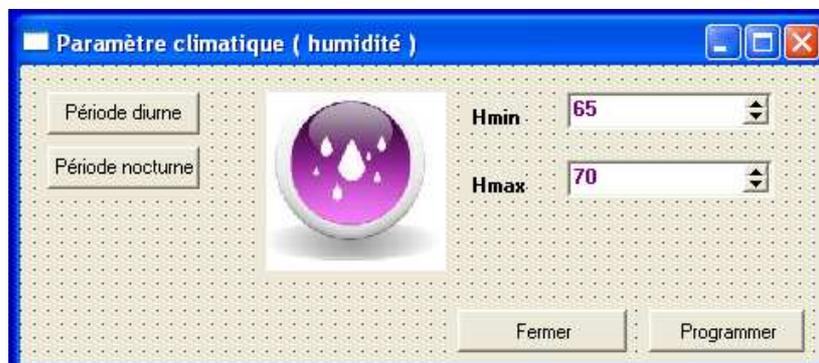


Figure IV.14: Ecran des consignes d’humidité relatives de l’air.

Pour définir les divers périodes journalières il faut déclarer les valeurs qui limitent chaque période.

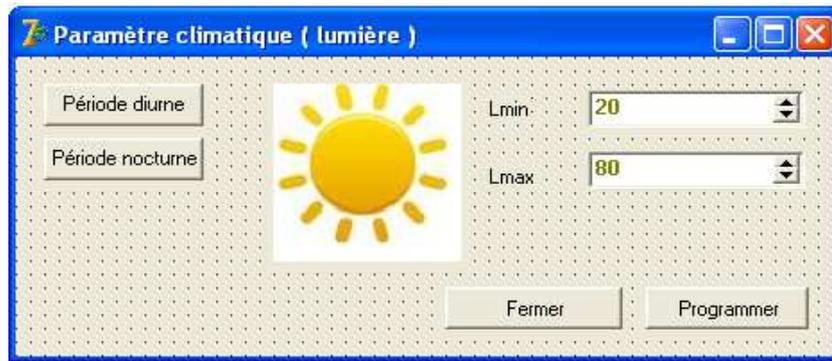


Figure IV.15: Ecran des consignes de luminosité.

La dernière option de ce logiciel est le choix des références de commande des organes d'exécutions (Ventilateurs, résistances, plafond mobile et pompe à eau).

- **Concernant la température :**

Quand le degré de température baisse, le nombre des résistances qui fonctionnent augmentent. Quand la température augmentent, le nombre des ventilateurs à actionner augmente, jusqu'à atteindre une valeur maximale. Si cela n'est pas suffisant, le plafond mobile s'ouvrira pour dégager l'air interne.

- **Humidité relative de l'air:**

Quand HR dépasse les limites max (consigne), le programme met une résistance en fonction pour la diminuer. Quand HR est plus bas que la consigne minimale le logiciel donne l'ordre à la pompe à eau pour diminuer la valeur de ce paramètre par le "Cooling System".

#### IV.5.2.3. Le lancement du système

Après avoir vérifié que le système est opérationnel, c'est-à-dire que la carte d'acquisition de données est connectée correctement, le lancement du système peut s'effectuer et l'écran de contrôle apparaît.

L'interrupteur «ON/OFF» permet la mise en marche et l'arrêt du système de contrôle, en mettant ce dernier sur la position «ON», le procédé de contrôle est enclenché.

Dans notre cas les paramètres contrôlés sont la température ambiante aussi que l'humidité relative de l'air et leurs valeurs sont affichées grâce à un afficheur LCD. De ce fait trois cas sont possibles.

- **1<sup>er</sup> cas :** Le paramètre affiché est supérieure à la marge de consigne, le PC envoie un signal pour déclencher les organes d'exécutions pour abaisser sa valeur.
- **2<sup>er</sup> cas :** Le paramètre affiché est inférieure à la marge de consigne, le PC envoie un signal pour déclencher les autres organes d'exécutions pour augmenter sa valeur.
- **3<sup>er</sup> cas :** Le paramètre affiché est dans l'intervalle de consigne, alors aucun signal n'est envoyé par le PC aux organes d'exécutions.

Le contrôle restera permanent jusqu'à ce que l'interrupteur soit mis sur la position « OFF ».

En ayant une nouvelle culture, l'utilisateur pourra effectuer les opérations suivantes :

1. Cliquer sur le bouton « Culture », pour modifier ou ajouter le nom d'une nouvelle culture, ses stades de développements et la période de chaque stade, et le nombre de serres qu'elle occupe.
2. Cliquer sur le bouton « paramètre climatique », pour modifier ou ajouter des valeurs des consignes qui diffèrent d'une culture à une autre.

#### **IV.6. Conclusion**

Le contrôle du climat en général est un facteur très important spécialement dans les temps présents où le facteur de l'effet de serre commence à influencer sur l'environnement pouvant causer des dégâts irréversibles tels que l'élévation de la température terrestre, augmentation du taux d'humidité, concentration du CO<sub>2</sub> ...etc.

La maîtrise des températures et celle de l'hygrométrie doivent être traitées ensemble, car il n'est pas possible de faire varier l'un des deux paramètres sans faire modifier l'autre. Le chauffage a un effet déshumidifiant. Aussi que l'aération a un effet rafraîchissant et déshumidifiant. L'humidification de l'air a un effet rafraîchissant.

Le climat interne sous serre est fortement influencé par les conditions externes. Les diverses commandes (chauffage, ventilation, humidification) d'un prototype, a un objectif d'amélioration du climat spontanée. Mais cette maîtrise n'est jamais complète. Il est difficile en fait d'agir sur un élément de l'environnement sans modifier l'autre :

- Un abaissement de température de l'air s'accompagne d'une hausse de son humidité relative.
- Une humidification augmente l'humidité de l'air mais parallèlement, entraîne un abaissement de sa température.

# ***Conclusion générale***

### Conclusion générale

Dans une serre agricole, il existe plusieurs paramètres qu'il y a lieu de maîtriser en fonction des plantes qui y sont cultivées. Cependant, il existe des périodes pendant lesquelles ces paramètres telles la température, l'humidité, la luminosité etc., à l'intérieur de la serre, deviennent défavorables pour la plante. Dans le présent travail, nous avons essayé de concevoir un système électronique qui permet de suivre les variations des paramètres ayant un effet direct sur la plante en général.

Comme début, nous avons limité notre travail à la surveillance de la température, de la pression et de l'éclairage et voir comment le dispositif électronique réalisé maintient ces derniers dans des intervalles bien déterminés. A ce stade nous avons utilisé pour chaque paramètre à contrôler un seul capteur qui en réalité ne donne pas assez d'informations sur l'état microclimatique de la serre. Il suffit d'ajouter des multiplexeurs de canaux analogiques pour avoir un nombre important de capteurs pour un même paramètre.

Leur installation est possible sur serre existante si la serre le permet. Ce système fonctionne à l'aide de capteurs répartis dans la serre et donnant en temps réel un état de la température, de l'hygrométrie et de l'ensoleillement dans la serre. Ces informations sont traitées par un logiciel de production, configuré selon les besoins de la culture en place. Lorsque les écarts sont trop importants entre les conditions requises et les conditions réelles, le système permet l'ouverture et la fermeture des ouvrants, des écrans thermiques, la mise en marche des brumisateurs afin de retrouver des conditions acceptables. La réactivité du système régissant l'ouverture et la fermeture des installations limite efficacement les pertes en énergie, ce qui est difficilement réalisable en système manuel classique.

Comme perspectives nous notons qu'une coordination structurée voire une ligue entre les différents chercheurs travaillant sur les domaines est fondamentale car cela permet d'emmagasiner de précieuses données inhérentes à la réalisation des projets de ce type.

Un meilleur rendement de la tomate peut-être obtenu au niveau de la production par deux grands types d'action visant à améliorer :

- Les conditions du milieu naturel, avec choix des variétés adaptées, d'un calendrier cultural adapté aux conditions saisonnières locales, amélioration des conditions édaphiques (aménagement du sol, amélioration de la richesse du sol, amélioration de la structure du sol), amélioration de l'irrigation.
- La conduite de la culture liée essentiellement à la formation et à la vulgarisation (seules méthodes susceptibles de toucher le maximum d'exploitations). Elle porte sur les assolements, respect des calendriers culturaux, application strictes des techniques

## Conclusion générale et perspectives

culturelles (travail du sol, semis et repiquage, fertilisation adéquate, entretien des cultures, protection sanitaire des cultures, récolte)

- Organisation et technicité de la main-d'œuvre où on enregistre un manque considérable en qualité et en quantité. La mécanisation automatique jointe à l'emploi des paramètres déterminants permettra de réaliser mieux plus vite et avec moins de main-d'œuvre.

***Références  
bibliographiques***

**A. Bibliographie**

- Abdel-Ghany A.M., Kozai T., 2006.** Cooling Efficiency of Fogging Systems for Greenhouses, *Biosystems Engineering* 94 (1), 97–109.
- Albright L.D., Both A.J., Chiu A., 2000.** Controlling greenhouse light to a consistent daily integral, *Trans. ASAE* 43, 421–431.
- Ameur S., Laghrouche M., Adane A., 2001.** Monitoring a greenhouse using a microcontroller-based meteorological dataacquisition system, *Renewable Energy* 24, 19–30.
- Arbel A., Yekutieli O., Barak M., 1999.** Performance of a Fog System for Cooling Greenhouses, *J. Agric. Engng Res* 72, 129-136.
- Arbel A., Barak M., Shklyar A., 2003.** Combination of Forced Ventilation and Fogging Systems for CoolingGreenhouses, *Biosystems Engineering* 84 (1), 45–55.
- Asch G., 1999.** Les capteurs en instrumentation industrielle, Dunod 5me édition, 178 p.
- Bakker J. C., Bot, G. P. A., Challa, H., Van de Braak, N. J., 1995.** Greenhouse climate control an integrated approach. Wageningen Netherlands: Wageningen Press.
- Bartzanas T., Kittas C., Sapounas A.A., Nikita-Martzopoulou Ch., 2007.** Analysis of airflow through experimental rural buildings: Sensitivity to turbulence models, *Biosystems Engineering* 97, 229 – 239
- Bartzanas T., Boulard T., Kittas C., 2004.** Effect of Vent Arrangement on Windward Ventilation of a Tunnel Greenhouse, *Biosystems Engineering* 88 (4), 479–490.
- Bartzanas T., Tchamitchian M., Kittas C., 2005.** Influence of the Heating Method on Greenhouse Microclimate and Energy Consumption , *Biosystems Engineering* 91 (4), 487–499.
- Belforte G., Deboli R., Gay P., Piccarolo P., Ricauda D., 2006.** Robot Design and Testing for Greenhouse Applications, *Biosystems Engineering* 95 (3), 309–321
- Belforte G., Deboli R., Gay P., Piccarolo P., Ricauda D., 2006.** Robot Design and Testing for Greenhouse Applications, *Biosystems Engineering* 95 (3), 309–321
- Berninger E., 1993.** Vitesse d'évolution des rosiers de serre en fonction des conditions climatiques. *PHM Revue horticole*, 338,31-36.
- Bigonoff., 2009.** La Programmation des PIC par Bigonoff, Seconde partie (PIC16F876-16F877), 12ème Révision
- Boaventura J., Cunha D., 2003.** Greenhouse climate models: an overview, in: EFITA 2003 Conference, Debrecen, Hungary, July 5–9, pp. 823–829.
- Bordes P., 1992.** Les plastiques et la maîtrise du climat en productions végétales. *Revue les plastiques en agriculture*.

## Références bibliographiques

- Boulard T., Baille A., 1993.** A simple greenhouse climate control model incorporating effects on ventilation and evaporative cooling, *Agric. Forest Meteorol.* 65, 145–157.
- Candido A., Cicirelli F., Furfaro A., Nigro L., 2007.** Embedded real-time system for climate control in a complex greenhouse, *Agrophysics* 21, 17-27.
- CadSoft., 2011.** Eagle easily applicable graphical layout editor User Language Version
- CadSoft Computer, Inc., 2008.** EAGLE Tutorial - Version 5, second edition, ECE. Senior Design Wiki, CadSoft Eagle Tutorial, 445 p
- Caponetto R., Fortuna L., Nunnari G., Occhipinti L., Xibilia M G (2000).** Soft computing for greenhouse climate control. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6), 753–760.
- Cairol D., 1992.** Economie de l'énergie dans les serres. Le bon jardinier. La maison rustique, Paris, France, 310 p.
- Campen J.B., 2002.** Dehumidification in Greenhouses by Condensation on Finned Pipes, *Biosystems Engineering* 82 (2), 177–185.
- Campen J.B., 2003.** Dehumidification of Greenhouses at Northern Latitudes, *Biosystems Engineering* 86 (4), 487–493.
- Campen J.B., Kempkes F.L.K., Bot G.P.A., 2009.** Mechanically controlled moisture removal from greenhouses, *Biosystems Engineering* x xx 1 – 9.
- Chaux C., Foury C., 1994.** Production légumière. Tome 3. Ed Tech et Doc Lavoisier .563p.
- Chelha M.F., 2004.** Les infrastructures des serres. ITCMI, Staaouéli, 39 p.
- Chaux C., 2007.** Production légumière .Ed .J.B. Baillière .Paris.414 p.
- Chibane A., 1999.** Tomate sous serre, Bulletin: transfère de technologie en agriculture, n° 57. Ed. P.N.T.T.A. Rabat, 9 p.
- Christian B., 2005.** Support de Cours de Langage C, 236 p.
- Chagnon G., 2004.** Cours de Génie Electrique, Licence Professionnelle de Génie Industriel Université Paris VI-Jussieu ; CFA, 254 p.
- Chou S.K., Chua K.J., Ho J.C., Ooi C.L., 2004.** On the study of an energy-efficient greenhouse for heating, cooling and dehumidification applications, *Applied Energy* 77, 355–373.
- Chalabi Z.S., Biro A., Bailey B.J., Aikman D.P., Cockshull K.E., 2002.** Optimal Control Strategies for Carbon Dioxide Enrichment in Greenhouse Tomato Crops Part 1: Using Pure Carbon Dioxide. *Biosystems Engineering* 81(4), 421–431.
- Chalabi Z.S., Biro A., Bailey B.J., Aikman D.P., Cockshull K.E., 2002.** Optimal Control Strategies for Carbon Dioxide Enrichment in Greenhouse Tomato Crops Part II: Using the Exhaust Gases of Natural Gas Fired Boilers . *Biosystems Engineering* 81 (3), 323–332.

## Références bibliographiques

- Cniha A., 2005.** Maîtrise de l'énergie dans l'agriculture : Serres et énergie. AFME Editions, 96 p.
- Datasheet., 2008.** PIC 16F87x: 28/40 pin CMOS Flash Microcontrollers, Microchip Technology Inc. DS30292B.
- David L., 2004.** PCB Design Tutorial, Revision A, 259 p.
- Desmas S., 2005.** Analyse comparative de compétitivité : le cas de la filière tomate dans le contexte euro-méditerranéen. Thèse D.A.A., Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 68 p.
- DGF., 2010.** Atlas des zones humides algériennes. Chef de projet. Boumezbeur A., DGF. DPF. Med wet, LIFE-CE, 46P.
- Diehl R., 2006.** Agriculture générale. Ed. J.B. Baillière. Paris, 418p.
- El Mokretar S., Miri R., Belhamel M., 2004.** Etude du Bilan d'Energie et de Masse d'un Séchoir de Type Serre Applications au Séchage des Produits Agro-alimentaires, Rev. Energ. Ren. Vol. 7, 109-123.
- El Ghomari M.Y., Tantau H.J., Serrano J., 2005.** Non-linear constrained MPC: real-time implementation of greenhouse air temperature control, Computers and Electronics in Agriculture 49, 345–356.
- El Ghazi A., El Hajji S., 2006.** Programmer en Langage C, Université Mohammed V – Agdal Faculté des Sciences Département de Mathématiques et Informatique. Université de Genève.7 p.
- Ernard L., 2003.** La régulation des systèmes : point de vue de la physique. Cuepe, Université de Genève.7 p.
- Etique M., 2006.** Régulation automatique. Institut d'Automatisation industrielle (iAi)
- Fabien P., Nina C., Joséphine P., 2009.** Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres, 40 p.
- Farhi K., Lahchili K., 2005.** Climatisation des serres. Etude d'une serre de nébulisation. ITF, 123 p.
- Fabien P., Nina Ch., Joséphine P., 2006.** Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres, 40p
- FAO., 2008.** L'actualité agricole en Méditerranée. Ed. CIHEAM ,33 p.
- Ferentinos K.P., Albright L.D., Ramani D.V., 2000.** Optimal light integral and carbon dioxide concentration combinations for lettuce in ventilated greenhouses, J. Agric. Eng. Res, 77 (3) 309–315.
- Feki E., M'hiri R., Annabi M., Ghorbel A., 1998.** Control of greenhouse climate, Proc. CESA '98, Computational Engineering in Systems Applications, Nabeul-Hammamet, Tunisia, April 1–4, pp. 663–666.

## Références bibliographiques

- Feuilloy P., Guillaume S., Issanchou G., 1989.** Mesure de la transparence thermique des matériaux plastique de couverture des serres. *Plasticulture*, 81p.
- Feuilloy, P., Issanchou, G., Jacques, J.C., Guillaume, S., Mskikdjian, C., Mirabella, J.F., et Merlot, A., 1995.** Condensation et propriétés thermiques des matériaux de couverture de serre. *PHM Revue horticole*, 357, 20-33.
- Feuilloy P., Guillaume S., 1990.** La pompe à chaleur: un outil pour contrôler l'humidité excessive des serres. *Cemagref-BTMEA*, 54 p.
- Frédéric J.L., 2005.** Systèmes de contrôle du climat et de l'irrigation en serre, 14 p.
- Fritz G., 1996.** Effet de serre, modèles et réalité, Georg éditeur, 56 p.
- Gay P., Giglio A., 2003.** Artificial vision for the control of agricultural robots, *Proceedings of the 30th CIOSTA Conference, Grugliasco, 22–24 September*, pp 296–307.
- Georges A., 1991.** Théorie : Les capteurs en instrumentation industrielle. éd. Dunod - 4e édition, 78 P.
- Gentil S., 2010.** Intelligence artificielle appliquée à l'automatique, *Techniques de l'Ingénieur*, R 7 215, 18p.
- Giove A., 2007.** Place de la méditerranée dans la production mondiale de fruits et légumes. Ed. Institut Agronomique Méditerranéen de Paris, 22 p.
- Goggos V., King R.E., 2000.** Qualitative-evolutionary design of greenhouse environment control agents, *Computers and Electronics in Agriculture* 26, 271–282.
- Grasselly D., Navez B., Letard M., 2000.** Tomate, pour un produit de qualité. *Hortipratic*. Paris : CTIFL Editions, 222 p
- Heller R., 2009.** Biologie végétale II. Nutrition et métabolisme. Ed Masson et Cie. Paris. 400p.
- Iribarne L, Antonio J.T., Pena A., 2007.** Using computer modeling techniques to design tunnel greenhouse structures, *Computers in Industry*, 58, 403–415.
- Isermann R., Lachmann K.H., Matko D., 1992.** Adaptive Control Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Jaffrin A., Urban L., 1994.** Transmission lumineuse des serres. *Cemagref-BTMEA*, 178p.
- Jbinlawlar F., 2005.** Systèmes de contrôle de climat et de l'irrigation en serre. Colloque sur la serriculture, jeudi 29 septembre 2005, 9 p.
- Jesper M.A., Niels E., Lene J., 2005.** Climate control software integration with a greenhouse environmental control computer, *Environmental Modelling & Software* 20, 521-527.
- Jobin L., 2005.** Systèmes de contrôle de climat et de l'irrigation en serre. Colloque sur la serriculture, jeudi 29 septembre 2005. 9 p.
- Kittas C., Bartzanas T., (2007).** Greenhouse microclimate and dehumidification effectiveness under different ventilator configurations, *Building and Environment* 42, 3774–3784.

## Références bibliographiques

- Körner O., Challa H., 2004.** Temperature integration and process-based humidity control in chrysanthemum, *Computers and Electronics in Agriculture* 43, 1–21.
- Lamrani M.A., Boulard T., Roy J.C., Jarin A., 2001.** Air Flows and Temperature Patterns induced in a Con"ned Greenhouse, *J. agric. Engng Res*, 78 (1), 75-88
- Lee W.S., Slaughter D.C., Giles D.K., 1999.** Robotic Weed Control System for Tomatoes, *Precision Agriculture*, 1, 95-113.
- Lees M J., Taylor J., Chotai A., Young Z.S; Chalabi Z. (1996).** Design and implementation or a proportional-integral plus (PIP) control system for temperature, humidity and carbon dioxide in a glasshouse. *Acta Horticulturae*, 406, 115–124.
- Linker R., Gutman P.O., Seginer I., 1999.** Robust controllers for simultaneous control of temperature and CO<sub>2</sub> concentration in greenhouses, *Control Eng. Pract.* 7 (7) 851–862.
- MADR., 2009.** Ministère de l’Agriculture et du Développement Rural, Direction des statistiques.
- Maamria T., 2005,** Etude et réalisation d’un système de surveillance de température à base d’un microcontrôleur Pic 16F84, Département d’électronique, université de BATNA, 78p.
- Magnollay P, Mottier P., 1998.** Culture maraichère .Ed Delta et Spes., CH-1026 Denges 200p.
- Mallait M., 2005.** Alstroemeria : Amélioration de la production hivernale au moyen de l’éclairage photosynthétique et du CO<sub>2</sub>. Compte rendu d’essai – SCRADH – Chambre d’Agriculture du Var.
- Margarita N.A., 2004.** Développement et évaluation des systèmes et stratégies de contrôle de régulation d’un vitrage électrochromique pour des applications de bâtiment, le grade de docteur, formation doctoral : Génie civil, l’institut national des sciences appliquées de LYON, 347p.
- Mayeux P., 2002.** Apprendre la Programmation des PIC par l’Expérimentation et la Simulation, plus un CD-ROOM, ETSF 2ème édition, 758p.
- Meir T., Yun Z., Moti B., Eli B., David S., 2004.** Effect on energy use and greenhouse microclimate through fan motor control by variable frequency drives, *Energy Conversion and Management* 45, 209–223
- Mesmoudi K., 2010.** Etude Expérimentale et Numérique de la Température et de l’Humidité de l’Air d’un Abri Serre Installé dans les Haut Plateaux d’Algérie, Région des Aurès. Présentée au Laboratoire de Physique Energétique Appliquée (LPEA) Pour obtenir le diplôme de Doctorat-en-Science Spécialité : Mécanique OPTION : ENERGETIQUE, 258p.
- Monteil C., Amouroux M., 1993.** Analyse thermique de systèmes de chauffage localisé à basse température dans les serres agricoles : paillage radiant et tubes enterrés, *Journal de Physique III* 3(10), 1981-2031.
- Ota T., Bontsema J., Hayashi S., Kubota K., Van Hentenb E.J., Van E.A., Ajikia K., 2007.** Development of a cucumber leaf picking device for greenhouse production, *Biosystems Engineering* 98, 381 – 390.

## Références bibliographiques

- Ould Khaoua S.A., Bournet P.E., Migeon C., Boulard T., Chasseriaux G., 2006.** Analysis of Greenhouse Ventilation Efficiency based on Computational Fluid Dynamics, *Biosystems Engineering*, 95 (1), 83–98.
- Paul R., Royal D., Heinqa J., Heinrich L., 1997.** A Decision-support System for Real-time Management of Easter Lily (*Lilium longzjTorum Thunb.*) Scheduling and Height-I. System Description. *Agricultural Systems*. Vol. 54, No. I, pp. 23-37.
- Perret J.S., Al-Ismaili A.M., Sablani S., 2005.** Development of a Humidification Dehumidification System in a Quonset Greenhouse for Sustainable Crop Production in Arid Regions, *Biosystems Engineering* 91 (3), 349–359.
- Pinon S., Camacho E.F., Kuchen B., Pena M., 2005.** Constrained predictive control of a greenhouse, *Computers and Electronics in Agriculture* 49, 317–329.
- Poulton D., 2001.** Automatisation des mesures, *Techniques de l'Ingénieur*, R 926, 14 p.
- Rachid A., Collet F., 2011.** Bus CAN, *Techniques de l'Ingénieur*, S 8 140, 22p.
- Roy J.C., Boulard T.; Kittas C., Wang S., 2002.** Convective and Ventilation Transfers in Greenhouses, Part 1: the Greenhouse considered as a Perfectly Stirred Tank. *Biosystems Engineering* 83 (1), 1–20.
- Roy J.C., Boulard T.; Kittas C., Wang S., 2002.** Convective and Ventilation Transfers in Greenhouses, Part 2: Determination of the Distributed Greenhouse Climate. *Biosystems Engineering* 83 (2), 129–147.
- Roger D.H., 2009.** Microcontrôleurs : principes et aspects temps réel, *Techniques de l'Ingénieur*, S 8 035,27p
- Saunier C., 2004.** Rapport sur « les nouveaux apports de la science et de la technologie à la qualité et à la sûreté des aliments ». Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 69p.
- Shankara N., Joep Van Lidt J., Marja G., Martin H., Barbara V., 2005.** La culture de la tomate production, transformation et commercialisation. Ed. Prota, 105 p.
- Sigrimis N., Papageorgiou G., 1994.** Intelligent electronic leaf sensor, *J. Agric. Eng. Res.* 58, 169–180.
- Singh R.D., Tiwari G.N., 2000.** Thermal heating of controlled environment greenhouse: a transient analysis, *Energy Conversion & Management* 41, 505-522
- Snoussi S., 2010.** Rapport de mission. Etude de base sur la Tomate en Algérie. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture rome, 117p.
- Statistics Canada., 1995.** L'Industrie des cultures de serre. [The greenhouse production industry.] 1995 Catalogue 222-202. Statistics Canada, Ottawa, ON, Canada.
- Strand B., Baerveldt A.J., 2002.** An agricultural mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control. *Autonomus Robots*, 13, 21–35

## Références bibliographiques

- Tantau H-J, Lange D., 2003.** Greenhouse climate control: an approach for integrated pest management *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 40, Issues 1-3, October 2003, 141-152.
- Tanny J., Cohen S., Teitel M., 2003.** Screenhouse Microclimate and Ventilation: an Experimental Study, *Biosystems Engineering* 84 (3), 331–341.
- Tap F., 2000.** Economics-based optimal control of greenhouse tomato crop production. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands
- Tanguy Y., Viault D., 2009.** Performances d'un système asservi ; R 7 200 ; *Techniques de l'Ingénieur*, 27p.
- Tchamitchian M., Martin-Clouaire R., Lagier J., Jeannequin B., Mercier S., 2006.** SERRISTE: A daily set point determination software for glasshouse tomato production, *Computers and Electronics in Agriculture* 50, 25–47.
- Teitel M., Tanny J., Ben-Yakir D., Barak M., 2005.** Airflow Patterns through Roof Openings of a Naturally Ventilated Greenhouse and their Effect on Insect Penetration, *Biosystems Engineering*, 92 (3), 341–353.
- Thierry B., Marie M., Jacques F., Nathalie S., Marc R., Jean C.R., 2002.** Tomato leaf boundary layer climate: implications for microbiological whitefly control in greenhouses, *Agricultural and Forest Meteorology* 110, 159–176.
- Timmons M.B., Gates R.S., 1987.** Relative humidity as a ventilation control parameter in broiler housing. *Trans. ASAE* 30 (4), 1111–1115.
- Trigui M., Barrington S., Gauthier L., 2001.** A Strategy for Greenhouse Climate Control, Part I: Model Development. *J. agric. Engng Res.* 78 (4), 407-413.
- Trigui M., Barrington S., Gauthier L., 2001.** A Strategy for Greenhouse Climate Control, Part II: Model Validation. *J. agric. Engng Res.* 79 (1), 99-105.
- Urban, L., 1997.** Introduction à la production sous serre. Tome II. La gestion de climat. Edt. Lavoisier. 306p.
- Sileban B., 2002.** Etude des possibilités de production avancée de plantes molles. Sileban, Barfleuer. Compte rendu d'essai n°02H113.
- Straten G., Challa H., Buwalda F., (2000).** Towards user accepted optimal control of greenhouse climate, *Computers and Electronics in Agriculture* 26, 221–238
- Van Henten E.J., 2003.** Sensitivity analysis of an optimal control problem in greenhouse climate management. *Biosystems Engineering*, 85(3), 335–364.
- Van Heller R., 2009.** *Biologie végétale II. Nutrition et métabolisme.* Ed Masson et Cie. Paris. 400p.
- Verolet J-F., 2001.** *Tomate: Fiche technique en agriculture biologique.* Ed.A.D.A.B, 9 p.

## Références bibliographiques

- Vilain M., 1998.** La production végétale Vol2 : la maîtrise technique de la production Ed .J.B Baillière , Paris,361p.
- Wang S., Boulard T., Haxaire R., 1999.** Air speed proles in a naturally ventilated greenhouse with a tomato crop, Agricultural and Forest Meteorology 96, 181-188.
- Wacquant C., 1995.** Maîtrise de la conduite climatique. Tomate sous serre et abris en sol et en hors sol. Paris : CTIFL Editions, 127p.
- Yano A., Tsuchiya K., Nishi K., Moriyama T., 2007.** Development of a greenhouse side-ventilation controller driven by photovoltaic energy, Biosystems engineering 96 (4), 633–641.
- Zaamta S., Dib A., 2009.** Réalisation d'un régulateur solaire à base de microcontrôleur pour le contrôle de l'état de charge et la protection des accumulateurs, Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°1, 137 – 147

**B. Webographie**

[www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)

[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

[www.IQDHO.com](http://www.IQDHO.com) (Le centre d'expertise en horticulture ornementale du Quebec)

[www.cnam.fr](http://www.cnam.fr)

<http://www.datasheetcatalog.com/>

<http://www.elektronique.fr/telecharger.php>

<http://torrentz.eu/mp/mplab+9.83-q>

[http://www.microchip.com/Microchip.WWW.SecureSoftwareList/secsoftwaredownload.aspx?device=en019469&lang=en&ReturnURL=http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469#\\_MPLAB](http://www.microchip.com/Microchip.WWW.SecureSoftwareList/secsoftwaredownload.aspx?device=en019469&lang=en&ReturnURL=http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469#_MPLAB)

[http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469&part=SW007002\\_MPLAB\\_IDE](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469&part=SW007002_MPLAB_IDE)

<http://stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/pic/pic.htm>

<http://stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/pic/pic.htm#documents>

[http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469&part=SW007002\\_MPLAB](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469&part=SW007002_MPLAB)

[http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=81&redirects=developmenttools\\_MPLAB](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=81&redirects=developmenttools_MPLAB)

[http://www.memoireonline.com/04/10/3282/m\\_Conception-dun-systeme-de-paquetage-automatique-de-parquets0.html](http://www.memoireonline.com/04/10/3282/m_Conception-dun-systeme-de-paquetage-automatique-de-parquets0.html)

<http://www.etudiantdz.net>

[www.documentlibre.org](http://www.documentlibre.org)

[www.commentcamarche.net/contents/c/cop.php3](http://www.commentcamarche.net/contents/c/cop.php3)

[www.bien-programmer.fr/](http://www.bien-programmer.fr/)

<http://c.developpez.com/cours/historique-langage-c/>

<http://www.elektronique.fr/logiciels/dev-cpp/tutorial-introduction-dev-cpp.php>

<http://www.elektronique.fr/logiciels/mplab.php>

[http://doc.ubuntu-fr.org/conception\\_electronique](http://doc.ubuntu-fr.org/conception_electronique)

[www.abcelectronique.com/](http://www.abcelectronique.com/)

## Références bibliographiques

<http://www.instructables.com/id/Draw-Electronic-Schematics-with-CadSoft-EAGLE/>

<http://www.instructables.com/id/Turn-your-EAGLE-schematic-into-a-PCB/>

[www.agririsseau.qc.ca](http://www.agririsseau.qc.ca)

[www.craaq.qc.ca](http://www.craaq.qc.ca)

[www.automatisme-et-contrôle.fr](http://www.automatisme-et-contrôle.fr)

[www.ciheam.org](http://www.ciheam.org)

<http://www.minagri-algeria.org/> Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

<http://www.ademe.fr> Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

<http://www.andru.gov.dz> Agence Nationale pour le Développement de Recherche Universitaire

<http://www.inraa.dz/> Institut national de la Recherche Agronomique d'Algérie INRAA

<http://www.ensa.dz> Ecole Nationale Supérieure d'agronomie d'El Harrach

<http://www.ita.qc.ca/> Institut de technologie agroalimentaire Information et cours en sericulture

[www.developpez.com](http://www.developpez.com)

<http://delphi.developpez.com/cours/>

[www.edpsciences.org](http://www.edpsciences.org)

<http://etudiantdz.net/> Réseau des étudiants algériens

<http://www.ons.dz/> *Office National des Statistiques*, Statistiques 2012.

<http://biblio.enp.edu.dz/>

<http://docinsa.insa-lyon.fr/index.php>

<http://www.umc.edu.dz/>

[www.EMP.edu.dz](http://www.EMP.edu.dz)

<http://www.abcelectronique.com/bigonoff/organisation.php?par=5cb84>

<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=PIC16F877A>

<http://stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/pic/pic.htm>

<http://www.memoireonline.com/>

<http://www.misfu.com/> informatique

<http://delphi.developpez.com/cours/>

## Références bibliographiques

[www.ita.qc.ca](http://www.ita.qc.ca)

[www.craaq.qc.ca](http://www.craaq.qc.ca)

[www.automatisme-et-contrôle.fr](http://www.automatisme-et-contrôle.fr)

[www.ciheam.org](http://www.ciheam.org)

<http://www.argus-controls.com/>

<http://www.priva.ca/>

<http://www.pllight.com>

<http://www.nexuscorp.com>

<http://www.quietaire.com/>

<http://www.ghlinc.com>

<http://perso.menara.ma/~elghazi/c>

<http://www.fsr.ac.ma/mia/data/c>

<http://www.cppfrance.com/r/tutorial.aspx?r=programme+de+pic+16F877+avec+max232>

<http://xcotton.pagesperso-orange.fr/electron/coursetdocs.ht> cours d'électronique et documentation

[www.noxyben.fr](http://www.noxyben.fr) Programmation des PIC en C, Microcontrôleur facile pour électronicien amateur, PARTIE 1&2(2008)

<http://www.roboticus.org/electronique/4-description-de-lrs232-et-mise-en-place-dun-max232->

# ***Annexes***

***Annexe. I***  
***Nomenclature des***  
***composants***

***Nomenclature des composants***

***I. La carte principale***

=====

***Circuits intégrés :***

IC1 : Régulateur de tension 5 Voltes 7805T

IC2: Microcontrôleur PIC 16F877A

IC3: Oscillateur NE555N

=====

***Capteurs :***

CTN : (R8 =2,7K $\Omega$ ) thermistance à coefficient de température négative (Capteur de température)

HS1101 : Capteur capacitif d'humidité relative

=====

***Résistances :***

R1 = R7= 470 K $\Omega$

R2 =R5= R6= R9= R10= 10K $\Omega$

R3 : Resistance variable

R4= 2,7K $\Omega$

R11 = R12 = R13= R14= R15= R16= R17= 4,7K $\Omega$

=====

***Condensateurs :***

C1=2200  $\mu$ F

C2=1000 $\mu$ F/63V

C3= C4= C5= C6= C7= 10  $\mu$ F

C8= C9=22pF

C10= C10= C12= 100NF (condensateurs céramiques)

=====

***Transistors :***

T1=T2=T3=T4=T5=T6=Transistors BC337

=====

***Divers :***

Q1 : Quartz 20Mhz

*S2 , S3(PVA 1R): Boutons poussoirs*

*TR1 : Transformateur 220V-2x12V/2000mA*

*B1: Pont de diodes du type S2VB/1,5A*

*LED1, LED2*

*S : Interepteur*

*JP1 : Afficheur LCD*

*G5L,K1 : Relais*

*=====*

## ***II. La carte annexe***

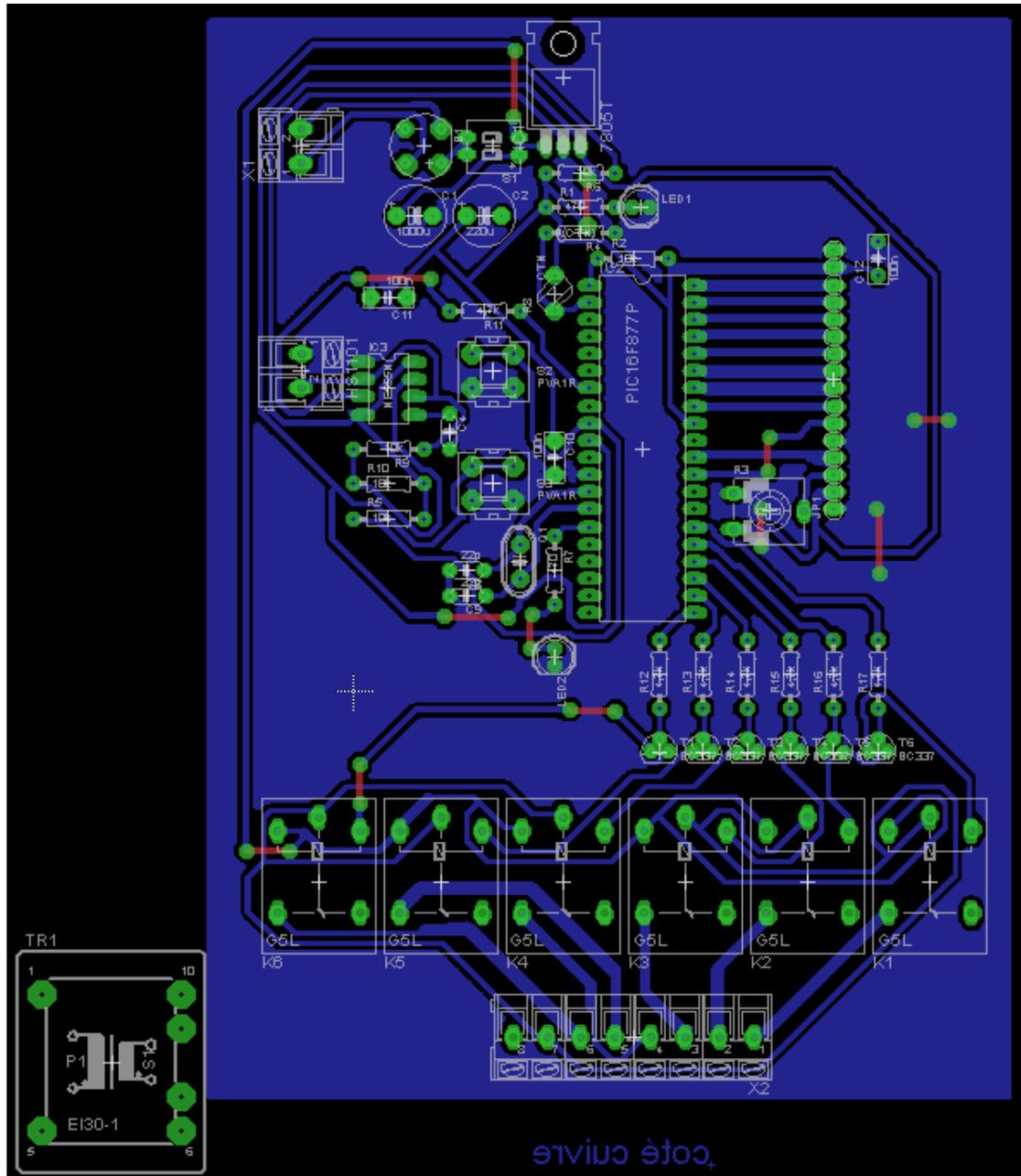
*IC1 : MAX232CPE*

*C2 = 1000  $\mu$ F*

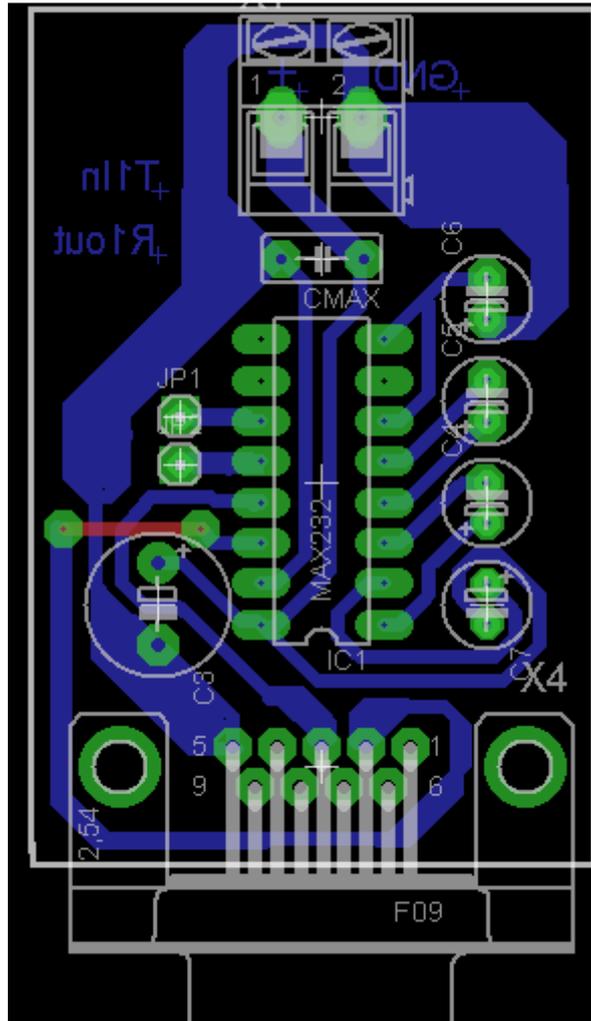
*C4= C5= C6= C7= 10  $\mu$ F*

*C5 = 250 nF*

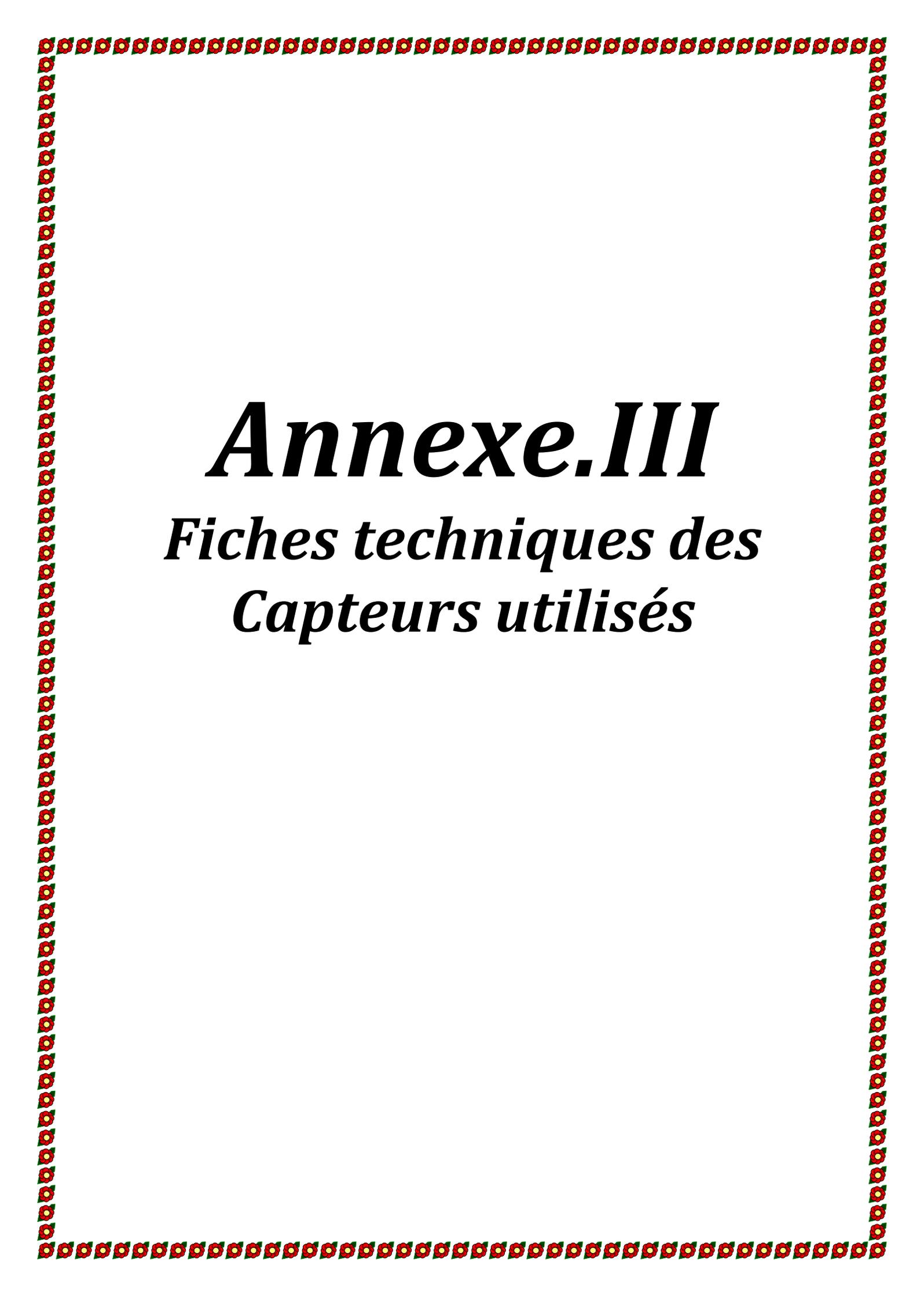
***Annexe. II***  
***Circuits imprimées***



A. Circuit imprimée de la carte principale



**B. Circuit imprimée de la carte Annexe**



# ***Annexe.III***

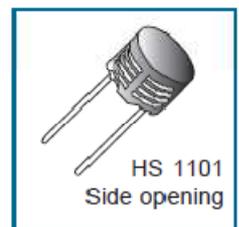
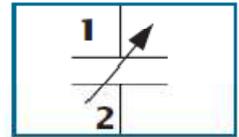
## ***Fiches techniques des Capteurs utilisés***



## RELATIVE HUMIDITY SENSOR

### HS 1100 / HS 1101

Based on a unique capacitive cell, these relative humidity sensors are designed for high volume, cost sensitive applications such as **office automation, automotive cabin air control, home appliances, and industrial process control systems**. They are also useful in all applications where humidity compensation is needed.



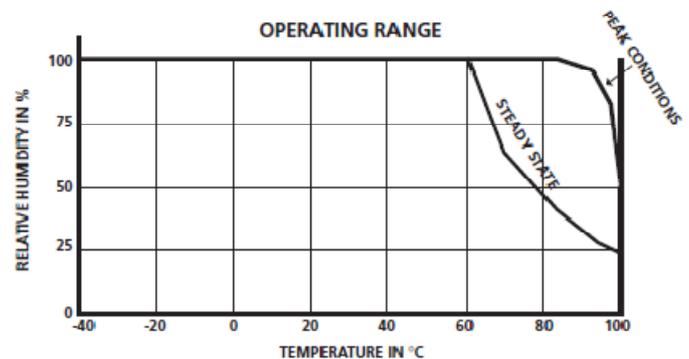
## FEATURES

- **Full interchangeability** with no calibration required in standard conditions
- **Instantaneous desaturation** after long periods in saturation phase
- Compatible with automatized assembly processes, **including wave soldering, reflow and water immersion** (1)
- High reliability and long term stability
- Patented solid polymer structure
- Suitable for linear voltage or frequency output circuitry
- Fast response time
- Individual marking for compliance to stringent traceability requirements

(1) soldering temperature profiles available on request

## MAXIMUM RATINGS (Ta= 25°C unless otherwise noted)

Ratings	Symbol	Value	Unit
Operating Temperature	Ta	-40 to 100	°C
Storage Temperature	Tstg	-40 to 125	°C
Supply Voltage	Vs	10	Vac
Humidity Operating Range	RH	0 to 100	% RH
Soldering @ T = 260°C	t	10	s



## CHARACTERISTICS

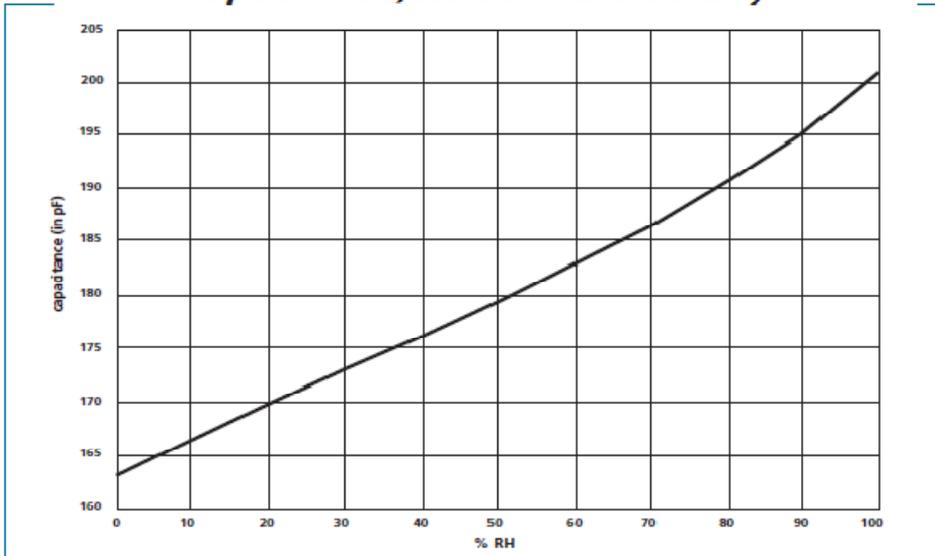
(Ta = 25°C, measurement frequency @ 10kHz unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit.
Humidity measuring range	RH	1		99	%
Supply voltage	Vs		5	10	V
Nominal capacitance @ 55% RH*	C	177	180	183	pF
Temperature coefficient	Tcc		0.04		pF/°C
Averaged Sensitivity from 33% to 75% RH	$\Delta C/\%RH$		0.34		pF/%RH
Leakage current (Vcc = 5 Volts)	Ix		1		nA
Recovery time after 150 hours of condensation	tr		10		s
Humidity Hysteresis			+/-1.5		%
Long term stability			0.5		%RH/yr
Response time (33 to 76 % RH, still air @ 63%)	ta		5		s
Deviation to typical response curve (10% to 90% RH)			+/-2		% RH

\* Tighter specification available on request

## CHARACTERISTICS (CONT'D)

**Typical response curve  
of HS 1100/HS 1101 in humidity**



Calibration data are traceable to NIST standards through CETIAT laboratory.

Measurement frequency : 10kHz  
Ta = 25°C

**Polynomial response :**  $C(pf) = C@55\% * (1.2510^{-7} RH^3 - 1.3610^{-5} RH^2 + 2.1910^{-3} RH + 9.010^{-1})$   
RH in % RH

### Measurement frequency influence

In this data sheet, all capacitance measurements are @ 10kHz. However, the sensor can operate without restriction from 5kHz to 100kHz. To calculate the influence of frequency on capacitance measurements :

$$C@fkHz = C@10kHz (1.027 - 0.01185 \ln(fkHz))$$

### Polarization

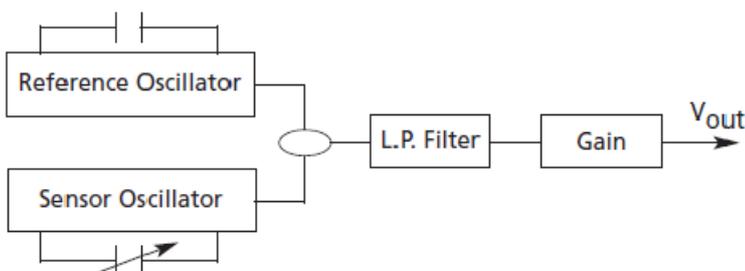
In order to get a better reproducibility during measurements, always connect the case of the header (pin 2) to the ground of the circuit.

The case of the header is located on the opposite side of the tab.

**Soldering instructions :** see the Application Note HPC007

## PROPORTIONAL VOLTAGE OUTPUT CIRCUIT

### Internal Block Diagram



$$V_{out} = V_{cc} * (0.00474 * \%RH + 0.2354)$$

for 5 - 99% RH

Typical temperature coefficient :  
+0.1% RH/°C - From 10 to 60°C

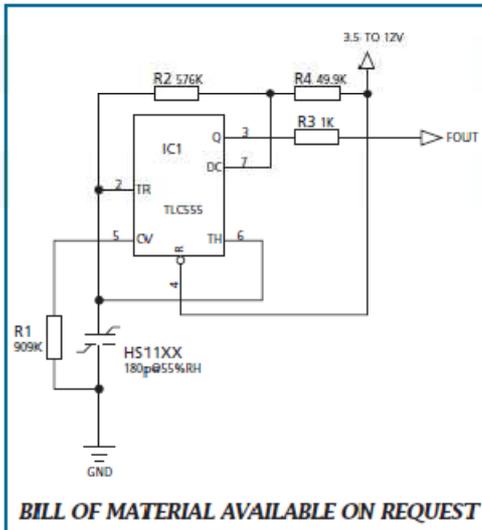
DEMO BOARD AVAILABLE ON REQUEST (REF HM1510)

### Typical Characteristics for Voltage Output Circuit

At V<sub>CC</sub> 5V - 25°C

RH	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Voltage (V)	-	1.41	1.65	1.89	2.12	2.36	2.60	2.83	3.07	3.31	3.55

## FREQUENCY OUTPUT CIRCUITS



### COMMENTS

This circuit is the typical astable design for 555. The HS1100/HS1101, used as variable capacitor, is connected to the TRIG and THRES pin. Pin 7 is used as a short circuit pin for resistor R4.

The HS1100/HS1101 equivalent capacitor is charged through R2 and R4 to the threshold voltage (approximately 0.67Vcc) and discharged through R2 only to the trigger level (approximately 0.33Vcc) since R4 is shorted to ground by pin 7.

Since the charge and discharge of the sensor run through different resistors, R2 and R4, the duty cycle is determined by :

$$t_{high} = C @ \%RH * (R2 + R4) * \ln 2$$

$$t_{low} = C @ \%RH * R2 * \ln 2$$

$$F = 1 / (t_{high} + t_{low}) = 1 / (C @ \%RH * (R4 + 2 * R2) * \ln 2)$$

$$\text{Output duty cycle} = t_{high} * F = R2 / (R4 + 2 * R2)$$

To provide an output duty cycle close to 50%, R4 should be very low compared to R2 but never under a minimum value.

Resistor R3 is a short circuit protection. 555 must be a CMOS version.

### REMARK

R1 unbalances the internal temperature compensation scheme of the 555 in order to introduce a temperature coefficient that matches the HS1100/HS1101 temperature coefficient. In all cases, R1 should be a 1% resistor with a maximum of 100ppm coefficient temperature like all other R-C timer resistors. Since 555 internal temperature compensation changes from one trademark to one other, R1 value should be adapted to the specific chip. To keep the nominal frequency of 6660Hz at 55%RH, R2 also needs slight adjustment as shown in the table.

555 Type	R1	R2
TLC555 (Texas)	909kΩ	576kΩ
TS555 (STM)	100nF capacitor	523kΩ
7555 (Harris)	1732kΩ	549kΩ
LMC555 (National)	1238kΩ	562kΩ

For a frequency of 6660Hz at 55%RH

### Typical Characteristics for Frequency Output Circuits

REFERENCE POINT AT 6660Hz FOR 55%RH / 25°C

RH	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Frequency	7351	7224	7100	6976	6853	6728	6600	6468	6330	6186	6033

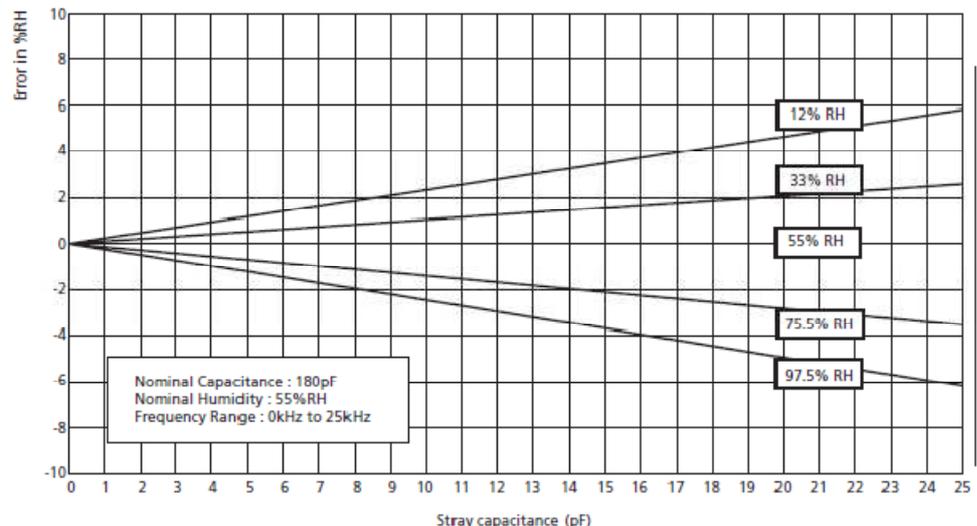
Typical for a 555 Cmos type. TLC555 (RH : Relative Humidity in %, F : Frequency in Hz)

### Polynomial response :

$$F_{mes}(Hz) = F_{55}(Hz) (1.1038 - 1.936810^{-3} * RH + 3.011410^{-6} * RH^2 - 3.440310^{-8} * RH^3)$$

### Measurement Error vs Stray Capacitance

A special attention is required in order to minimize stray capacitance in the layout. The added capacitance will act as a parallel capacitance with the sensor and create a measurement error.



### ● QUALIFICATION PROCESS

- HS1100/HS1101 sensors have been qualified through a complete qualification process taking in account many of the requirements of the MIL STD750 including :

Solder heat and solderability

Wave soldering at 260°C + DI water clean at 45°C

Mechanical shock - 1500 g, 5 blows, 3 directions

Vibration - Variable (F = 100 - 2000Hz), fixed (F = 35Hz)

Constant acceleration

Marking permanency

ESD - Electrostatic Discharge - Human body & Machine model

Salt Atmosphere MIL STD750/Method 1041/96 hours

Temperature Cycling - 40°C / +85°C

High Temperature / Humidity Operating Life - 93%RH / 60°C for 1000 hours

Low humidity storage life - RH < 10%/23°C - 1000 hours

Resistance to immersion in water at ambient temperature and 80°C - 160 hours

Resistance to acid vapors at 75000 ppm for nitric, sulfuric and chlorhydric acids

Resistance to many chemicals linked with home appliances/ automotive or consumer applications.

All these tests are regularly performed on different lots from production. **More information are available on request**

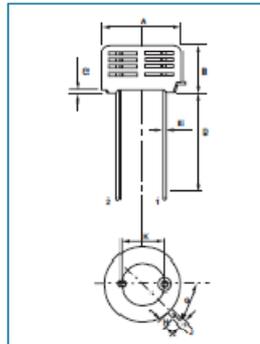
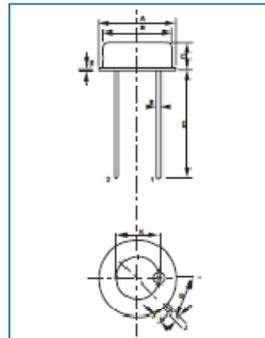
### ● Environmental and recycling information :

- HS1100/HS1101 sensors are lead free components

- HS1100/HS1101 sensors are free of Cr (VI), Cd and Hg.

#### PACKAGE OUTLINE HS1100

Dim	Min (mm)	Max (mm)
<b>A</b>	9.00	9.30
<b>B</b>	8.00	8.50
<b>C</b>	3.50	3.90
<b>D</b>	12.00	14.00
<b>E</b>	0.40	0.50
<b>G</b>	45° BCS	
<b>H</b>	0.70	1.10
<b>J</b>	0.70	0.90
<b>K</b>	4.83	5.33



Dim	Min (mm)	Max (mm)
<b>A</b>	9.70	10.20
<b>B</b>	5.70	6.20
<b>C</b>	0.40	0.60
<b>D</b>	12.00	14.00
<b>E</b>	0.40	0.50
<b>G</b>	45° BCS	
<b>H</b>	0.70	1.10
<b>J</b>	0.70	0.90
<b>K</b>	4.83	5.33

#### PACKAGE OUTLINE HS1101

### ORDERING INFORMATION :

**HS 1100 : HPP 800 A 001 (MULTIPLE PACKAGE QUANTITY OF 50 PIECES)**

**HS 1101 : HPP 801 A 001 (MULTIPLE PACKAGE QUANTITY OF 48 PIECES)**

**CAPACITIVE RELATIVE HUMIDITY SENSOR.**

**SAMPLE KIT OF HS1100-HS1101  
IS AVAILABLE THROUGH  
HUMIREL WEB SITE**

[www.humirel.com](http://www.humirel.com)

email : [sales@humirel.com](mailto:sales@humirel.com)

The information in this sheet has been carefully reviewed and is believed to be accurate; however, no responsibility is assumed for inaccuracies. Furthermore, this information does not convey to the purchaser of such devices any license under the patent rights to the manufacturer. Humirel reserves the right to make changes without further notice to any product herein. Humirel makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its product for any particular purpose, nor does Humirel assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. « Typical » parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including « Typical » must be validated for each customer applications by customer's technical experts. Humirel does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Humirel products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other application intended to support or sustain life, or for any application in which the failure of the Humirel product could create a situation where personal injury or death may occur. Should buyer purchase or use Humirel products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Humirel and its officers, employees, subsidiaries, affiliates and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Humirel was negligent regarding the design or manufacture of the part. Humirel is a registered trade mark of Humirel.

## Résumé.

La serre agricole est un milieu qui présente l'avantage de maintenir le microclimat adapté à une culture donnée. L'objectif de ce mémoire de magister est développé d'une carte électronique de commande par un système de contrôle PID assisté par le micro ordinateur pour automatiser des divers paramètres microclimatiques dans un prototype à petites dimensions d'une serre agricole autour d'un microcontrôleur PIC16F877A. L'étude se divise en deux grandes parties :

*Partie matérielle (Hardware) :* qui est composée d'une carte électronique principale, réalisé autour d'un microcontrôleur PIC 16F877A, lié à une carte annexe qui est l'intermédiaire entre le PC et le système.

*Partie logiciel (Software) :* elle-même séparée en deux programmes. Le premier programme qui se trouve dans la mémoire du microcontrôleur, et le deuxième pour la commande des paramètres agronomiques installé au niveau du disque dur d'un micro-ordinateur tournant sous Windows32.

Ce système peut être généralisé aux divers systèmes de contrôle et commande automatique que soi agronomique ou industrielle.

**Mots clés :** Prototype, serre agricole, paramètres agronomiques, température, humidité relative de l'aire, contrôle, commande, microcontrôleur PIC16F877A, Hardware, Software.

## Summary.

The greenhouse is an environment which present the advantage of making the microclimat adapted with the given culture, the goal of this magister memory is to develop the electronic card of control through a control system PID with the assistance of the personal computure to make the different micriclimat parametrs work automaticly, in a prototype of an a greenhouse to small mesures and dimentions using a PIC16F877A microcontroller. The study is devided intre two major parties.

*The first part (hardware) :* Which is consist of principal electronic-card existed arrond a PIC16F877A microcontroller. linked an added card wich is the link between the PC and the system.

*The second part (software) :* It is separated into two programms. The first programm located in the memory of the micro-contolter, however the second is for controlling the agronomic parametrs intaled on hard disque of PC works with windows 32.

The system may be generalized to many systems of control and automatic commande whether it is agricultural or manifercter .

**Keywords:** Prototype, agricultural greenhouse, prototype, agronomic parameters,temperature, relative humidity of the area, control, command, PIC16F877A microcontroller, hardware, Software.

## ملخص.

البيت الزجاجي الفلاحي هو الوسط الملائم للحفاظ على المناخ اللازم للمزروعات. والهدف من وراء هذه الدراسة هو تطوير نظام التحكم في تسيير المناخ الداخلي تحت تقنية التحكم النسبي الألي بمساعدة جهاز الكمبيوتر. وذلك لمختلف المعايير الزراعية المؤثرة في نمو و تكاثر النباتات داخل نموذج زجاجي ذو أبعاد صغيرة و مجهز بأجهزة إلكترونية وبخاصة جهاز التحكم الدقيق للتحكم الدقيق في هذه المعايير المدروسة. درجة الحرارة الداخلية و الرطوبة النسبية للهواء. وتنقسم الدراسة إلى قسمين رئيسيين.

القسم الأول الخاص بالأجهزة: الذي يتألف من لوحة إلكترونية رئيسية مزودة بجهاز التحكم. والمرتبطة بجهاز الكمبيوتر عبر اللوحة المرفقة .

القسم الثاني الخاص بالبرمجة: والمنقسم إلى نوعين من البرامج. الأول على مستوى جهاز التحكم والثاني على مستوى القرص الصلب العامل وفق ويندوز 32. هذا النظام يمكن تعميمه على المستوى الزراعي أو الصناعي.

**الكلمات المفتاحية:** النموذج، البيت الفلاحي الزجاجي، المعايير الفلاحية، درجة الحرارة، الرطوبة النسبية للهواء، المراقبة، التحكم، PIC16F877A. الأجهزة، البرمجيات.