**République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**
**DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Pour l'obtention**
**Du Diplôme de Master en Génie électrique**
**Option : Automatique et systèmes**

**Par : Baali Sabeur & Mahmoudi Messaoud**

**Intitulé**

# *Régulateur de température et d'humidité d'un poulailler*

**Encadré par : Dr. Samir Zeghlache et Dr. Abdelghani Aib**

**Jury:**

| | |
|---|---|
| **Dr. Abdelmadjid Chouchou** | **Univ. Mohamed Boudiaf-M'sila Président** |
| **Dr. Benyettou loutfi** | **Univ. Mohamed Boudiaf-M'sila Examinateur** |
| **Dr. Ali Djerioui** | **Univ. Mohamed Boudiaf-M'sila Examinateur** |

Année universitaire 2021/2022

## REMERCIEMENTS

Avant tout, Nous remercions ALLAH pour son aide, ses innombrables dons et pour nous avoir donné la force et la volonté d'accomplir ce travail au cours de cette longue année d'étude.

Nos remerciements vont tout d'abord à notre encadreur Dr. Samir Zeghlache et le Dr. Abdelghani Aib qui ont accepté de nous encadrer, ainsi que pour leur soutien, leurs encouragements, leurs orientations et leurs précieux conseils tout au long de la réalisation de ce Mémoire.

Nous saluons vivement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font enacceptant de lire et juger ce travail.

Nous remercions tous les enseignants du département de génie électrique et les personnels administratifs et techniques, qui ont contribué de près ou de loin à notre formation

Durant ces cinq années.

Nous voudrions en fin remercier tous ceux qui nous ont accordé leurs aides et leurs encouragements de près ou de loin.

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail aux êtres les plus chers:

À ma maman Zineb, qui depuis mon plus jeune âge a toujours fait leur maximum, en consacrant temps et argent, pour m'éveiller et m'encourager dans mes passions. Et mon père décédé Nadhir que Dieu lui fasse miséricorde. C'est grâce à vous et pour vous que j'ai fait mon mémoire.

À ma petite famille, ma femme mon fis Mohamed et ma fille Safana, et mes chères frères, Thoria, Othman, Zitouni, kharfia, Samir, Saad

À mon collègue et mon binôme, Messaoud Mahmoudi, je ne peux que dire merci beaucoup de m'avoir soutenue et encouragée tout au long de notre travail commun.

Au notre encadreurs Dr. Samir Zeghlache et Dr. Abdelghani Aib, Aucun mot sur cette page ne saurait exprimer ce que je vous dois,Qu'Allah vous bénisse pour tout.

À tous mes très chers amis et collèges de la promotion 2021/2022. A tous ceux qui m'ont soutenu, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde Gratitude, Merci à tous, Merci pour tout.

***Baali Sabeur***

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail aux êtres les plus chers:

À ma maman Souad et mon père Ben Youcef, qui depuis mon plus jeune âge ont toujours fait leur maximum, en consacrant temps et argent, pour m'éveiller et m'encourager dans mes passions. C'est grâce à vous et pour vous que j'ai fait mon mémoire.

À mes chers frères, Zinedine, Aya, Basma et à toute la famille

À mon collègue et mon binôme, Sabeur Baali, je ne peux que dire merci beaucoup de m'avoir soutenue et encouragée tout au long de notre travail commun.

Au notre encadreurs Dr. Samir Zeghlache et Dr. Abdelghani Aib, Aucun mot sur cette page ne saurait exprimer ce que je vous dois,Qu'Allah vous bénisse pour tout.

À tous mes très chers amis, Hussam Abu Mowais, Bilal Messaoudet à mes collèges de la promotion 2021/2022. Et à toute personne que j'aime dans ma vie, A tous ceux qui m'ont soutenu, qu'ils trouvent ici l'expression de mon Amour et ma profonde Gratitude, Merci à tous, Merci pour tout.

***Mahmoudi Messaoud***

# ملخص

على الرغم من تحديث البنية التحتية للدواجن ، بفضل البحث العلمي المستخدم لتطوير تربية الدواجن على نطاق عالمي ، لا تزال مباني مزرعة الدجاج اللاحم في الجزائر بعيدة إلى حد ما عن هذا التطور لأن عددًا كبيرًا من مزارعي الدواجن يستخدمون التقنيات التقليدية والتقنيات التقليدية. يؤثر سوء التحكم في الظروف البيئية في تربية الدواجن سلبًا على صحة ونمو الدواجن لهذا ، قمنا بتصميم نظام ذكي يعتمد على لوحة Arduino التي تعمل بتقنية المنطق الضبابي. لتحسين إنتاج الدواجن من خلال التحكم الجيد في الشروط البيئية لتربية الدواجن.يتيح هذا النظام لمربي الدواجن إمكانية التحكم عن بعد في المعايير التقنية لحضائر الدواجن الخاصة بهم.



**الكلمات المفتاحية :** - الشروط البيئية – تربية الدواجن – نظام أوتوماتيكي- مدجنة ذكية – برنامج IDE Arduino - حضائر الدواجن

# Résumé

Malgré la modernisation des infrastructures avicoles, grâce à la recherche scientifique utilisée pour développer l'aviculture à l'échelle mondiale, les bâtiments d'élevage de poulets de chair en Algérie sont encore quelque peu éloignés de ce développement car un grand nombre d'aviculteurs utilisent des technologies classiques et des techniques traditionnelles. Un mauvais contrôle des conditions environnementales de l'aviculture affecte négativement la santé et la croissance de la volaille. Pour cela, nous avons conçu un système intelligent à base d'une carte Arduino qui fonctionne avec la technique de logique floue afin d'améliorer la production de volaille grâce à un bon contrôle des conditions environnementales de l'aviculture. Ce système donne aux éleveurs des volaillers la possibilité de contrôle à distance des paramètres zootechniques de leurs poulaillers.



**Mots clés :** Conditions environnementales, élevage de volailles, système automatique, poulailler intelligent, Programme IDE Arduino

# Abstract

Despite the modernization of poultry infrastructure, thanks to the scientific research used to develop poultry farming on a global scale, the broiler farm buildings in Algeria are still somewhat distant from this development because a large number of poultry farmers use conventional technologies and traditional techniques. Bad control of environmental conditions in poultry farming negatively affects the health and growth of poultry. For this, we have designed an intelligent system that works with the fuzzy logic technique to improve poultry production through strict control of the environmental conditions of poultry farming. This system gives poultry farmers the possibility of remotely controlling the zootechnical parameters of their poultry houses.



**Keywords:** Environmental conditions, poultry farming, automatic system, smart chicken coop, Arduino IDE program

# Table de Matière

**Introductiongéral**.....1

1. Contexte général.....2

2. Problématique .....2

3. Objectifs.....2

4. Organisation de Mémoire .....3

**Chapitre I** : **Bâtiments d'élevage de poulet de chair……...…….....**3

I.1.Introduction…….....5

I.2.L'intérêt de bâtiment d'élevage avicole…….....6

I.3.Implantation de bâtiment…….....6

I.4.La situation géographique de l'élevage…….....6

I.5.Conception de l'exploitation et de bâtiment…….....7

I.6.Dimontion…….....7

I.6.1.Surface de bâtiment……..…….....**.....** .....8

I.6.2.La largeur de bâtiment…….....….....8

I.6.3.Longueur…….....8

I.7.Isolation…….....9

I.8.Contrôle de conditions d'ambiance de bâtiment d'élevage…….....9

I.8.1.Qualité d'aire…….....9

I.8.2.Eau…….....10

I.8.3.Température…….....10

I.8.4.Chauffage……...…….....10

I.8.5.Système de ventilation……. ..…….....11

I.8.5.1.La ventilation naturelle : bâtiment ouvert…..…….....12

I.8.5.2.La ventilation dynamique : bâtiment à environnement contrôlé…….....12

I.8.5.3.La ventilation minimale……..…….....13

I.8.5.4.La ventilation de transition…….....……..….....14

I.8.5.5.La ventilation en tunnel……..…….....15

I.8.6.Système de rafraîchissement par évaporation…….....15

I.8.6.1.Rafraîchissement par panneau refroidissant..…….....16

I.8.6.2.Brumisation /Pulvérisation……...…….....17

I.8.7.Litière et humidité…….…….....18

I.8.8.Eclairement……..…….....18

I.9.Conclusion ……....19

**Chapitre II : Aspect théorique de la logique floue…….….**20

II.1. Introduction…….....21

II.2. Historique et application de la logique floue……...22

II.3. La théorie des sous-ensembles flous.....….…...24

II.3.1. Définition…….....24

II.3.2. Quelques concepts et propriété……..…….....27

II.4Opérateurs flous……..27

II.5.Règles flous…….....29

II.6.Fuzzification…….....30

II.7. Défuzzification…….....31

II.7.1. Inférence Mamdani……....31

II.7.2. Evaluation des règles…….33

II.7.3. Takagi-Sugeno……..……34

II.8. Contrôleur PID flou.....…..36

II.9. Conclusion..... 38

**Chapitre III conception et réalisation pratique.....39**

III.1.Introduction.....40

III.2.Matériels de réalisation.....40

III.2.1. Le module Arduino.....40

III.2.2. Les gammes de la carte Arduino.....41

III.2.3. La carte Arduino Uno.....42

III.2.3.1. Caractéristiques techniques de la carte Arduino Uno.....43

III.2.4. Le Microcontrôleur ATMega328.....43

III.2.4.1. Caractéristiques technique de l'ATmega328.....44

III.2.5. L'environnement de développement IDE pour Arduino.....45

III.2.5.1. Structure d'un programme Arduino (sketch).....47

III.2.6. Le capteur de température et d'humidité DHT22.....48

III.2.6.1. Caractéristiques techniques.....48

III.2.7. Ecran LCD.....49

III.2.8. L'adaptateur I2C.....49

III.2.9. Le module wifi ESP8266.....50

III.2.9.1. Caractéristiques techniques de module Wi-Fi ESP8266.....50

III.2.10. Module de commutation (MOSFET) IRF540 V4.0.....51

III.2.11. Le Peltier TEC1-12706.....52

III.2.11.1. Caractéristiques techniques de Peltier TEC1-12706.....52

III.2.12. Planche à pain (breadboard).....53

III.3. Prototype.....54

III.3.1. Démenions.....54

III.3.2. Eléments de prototype.....54

III.3.2.1. Les ventilateurs…….....…55

III.3.2.2. Le système de chauffage……...…55

III.3.2.3. Le dissipateur de chaleur……...…55

III.3.2.4. Système de froid.....….....56

III.3.3. L'armoire électrique.....….....56

III.3.4. Application de contrôle à distance « Poultry »……...57

III.4. Conception de régulateur.....…..59

III.4.1. Variable linguistiques……59

III.4.2. Univers de discourt……...59

III.4.2. Implication sur Matlab……..60

III.4.3. Le contrôleur flou en langage arduino……..63

III.4.4. Règles d'inférence……64

III.4.5. Principe de fonctionnement de régulateur…….64

III.4.6. Essais et résultats pratiques……...65

III.5.Conclusion…….67

**Conclusion Générale** ..... 68

**Bibliographie** .....71

# Liste des Figures

**Figure I.1 :** exemple d'un bon agencement d'élevage.....9

**Figure I.2:** Chauffage à air pulsé.....12

**Figure I.3 :** exemple de ventilation naturelle.....13

**Figure I.4 :** flux d'air correct en ventilation minimale.....14

**Figure I.5**: vue intérieure du bâtiment en mode ventilation de transition.....15

**Figure I.6** : exemple type d'un bâtiment équipé d'une ventilation en tunnel.....16

**Figure I.7** : rafraîchissement à panneaux refroidissants avec ventilation en tunnel.....17

**Figure I.8** : exemple de système de brumisation dans une poulaille.....18

**Figure I.9** : exemples d'intensité lumineuse à 10 lux et 30 lux.....20

**Figure II.1** : Comparaison de l'appartenance en logique classique vs la logique floue..26

**Figure II.2**: Représentation graphique d'un ensemble classique et d'un ensemble Floue.. 26

**Figure II.2**: Représentation graphique d'un ensemble classique et d'un ensemble Floue...27

**Figure II.4** : Exemple d'opérations sur des ensembles flous.....28

**Figure II.5 :** Exemple d'un ensemble flou.....30

**Figure II.6:** Ensembles flous pour exemple d'inférence Mamdani.....32

**Figure II.7:** Agrégation des règles de sortie par coupure.....34

**Figure II.8:** Conséquences de style Sugeno.....35

**Figure II.9:** Evaluation des conséquences de style Sugeno.....35

**Figure III.1 :** la carte Arduino Uno.....42

**Figure III.2 :** Microcontrôleur ATMega328 (composant classique et CMS).....44

**Figure III.3 :** brochage de Microcontrôleur ATMega328.....45

**Figure III.4** : fenêtre principale de l'IDE pour Arduino.....46

**Figure III.5 :** le déroulement du programme dans l'IDE Arduino.....47

**Figure III.6 :** capteur DHT22……..48

**Figure III.7 :** écran LCD pour Arduino……...49

**Figure III.8** : adaptateur pour l'écran LCD……..…….…….…….....49

**Figure III.9 :** Le module Wi-Fi ESP8266…….....…50

**Figure III.10** : MOSFET IRF540 V4.0…….....51

**Figure III.11** : Peltier TEC 12706…….....52

**Figure III.12** : la planche à pain……...53

**Figure III.13** : prototype…….54

**Figure III.14** : système de chauffage…….....55

**Figure III.15 :** Armoire électrique de régulateur ( l'extérieur et l'intérieur)…….....57

**Figure III.16** : les fenêtres de l'application Poultry…….....58

**Figure III.17** fenêtre principal de site RemoteXY…….....58

**Figure III.18** : le bloc (fuzzy) de notre contrôleur…….....60

**Figure III.19** : ensembles flou pour la variable linguistique « Humidity »…….....61

**Figure III.20** : ensembles flou pour la variable linguistique « température »…….....61

**Figure III.21** : ensembles flou pour la variable linguistique « Fan »…….....62

**Figure III.22 :** ensembles flou pour la variable linguistique « Heater »…….…...62

**Figure III.23 :** ensembles flou pour la variable linguistique « Cooler »…….…...63

**Figure III.24** : fenêtre principal de site MaKeProt…….....63

**Figure III.25** : schémas fonctionnel de régulateur de température et d'humidité en BF…..64

**Figure III.26** : valeurs réelle et désiré de température et d'humidité sur l'écran LCD…....65

**Figure III.27** : courbes pour les valeurs réelles instantanées de température et humidité....66

**Figure III.28** : résultat numérique pour la température mesuré……...66

**Figure III.29** : résultat numérique pour l'humidité mesuré…….....67

# Liste des tableaux

**Tableau II.1 :** la logique classique vs la logique floue, système de chauffage……26

**Tableau II.2:** Opérateurs flou……...30

**Tableau II.3 :** déférentes méthode d'inférence……34

**Tableau III.1 :** Caractéristiques techniques de la carte Arduino Uno.....43

**Tableau III.2 :** Caractéristiques techniques du capteur DHT22……...48

**Tableau III.3** : ensembles flou des variables linguistiques de contrôleur……59

# Liste des abréviations

**ANCA** : Association nationale des commerçants et artisans.

**HR** : humidité relative.

**Lux** : Unité d'éclairement lumineux.

**MHz** : Megahertz.

**V** : volts.

**IDE** : Integrated development environment.

**NG** : Nuova Generazione.

**USB** : Universal Serial Bus

**DC** : Direct current

**KBS** : Kilobyte

**ICSP** : in circuit serial programming

**PWM** : Pulse Width Modulation

**mA** : Milliampère

***CMS*** : Composants Montés en Surface

**EEPROM** : electrically erasable programmable read-only memory.

**ko** : kilo octet

**SPC** : Statistic Process Control

**USART** : Universal Synchronous & Asynchronous Receiver Transmitter

**I2C** : Inter Integrated Circuit Bus

***TX*** : stands for Transmitter

***RX*** : stands for Receiver

**DHT22** : digital temperature and humidity sensor

**Cº** : Celsius

**RH** : humidité relative

**LCD** : Liquid Crystal Display.

**SCL** : Spam confidence level

**SDA** : Serial Data Line.

**POTS** : Plain Old Telephone System or Service.

**SoC** : system-on-a-chip

**TCP** : Transmission Control Protocol

**UDP** : User Datagram Protocol.

**Wi-Fi** : Wireless Fidelity.

**GND** : Ground

**RST** : restructured Text

**UART** : universal asynchronous receiver-transmitter.

**WPA** : Wi-Fi Protected Access.

**GPIO** : general-purpose input/output

**ADC** : Analog-to-Digital Converter

**LED** : light-emitting diode

**AC** : Alternative Current

# INTRODUCTION GENERALE

# INTRODUCTION GENERALE

## 1. CONTEXT GENERAL

Les volailles constituent une source de protéine animale appréciable et économique, notamment pour les pays en voie de développement, ce qui a justifié son développement très rapide sur l'ensemble du globe depuis une trentaine d'années. L'aviculture est généralement pratiquée en deux types de modalités : « traditionnelle » (ou familiale), et « moderne » (ou semi industrielle).

La structure actuelle des filières avicoles algériennes résulte des politiques mises en œuvre par l'Etat, au début des années 80, dans une perspective d'autosuffisance alimentaire. Ces filières ont connu des transformations importantes consécutivement aux réformes économiques et au processus de libéralisation enclenchés depuis le début des années 90.

Actuellement l'Algérie compte près de 140 millions de poules et une production de 350.000 tonnes à 400.000 tonnes de viandes blanches et de 6 à 7 milliards d'œufs par an, selon les déclarations de l'Association nationale des commerçants et artisans (ANCA, 2020).

En revanche, la filière avicole « chair » en Algérie reste fragile et accuse un retard technologique considérable par rapport aux pays industrialisés, et le processus de production ne répondant pas aux normes zootechniques, faible productivité) et entraine des surcouts a la consommation. Cette production semi-industrielle est marquée par une instabilité chronique des prix et une récession, ce qui contribue au dérèglement de l'ensemble de la filière avicole.

Aujourd'hui pour améliorer la filière de l'aviculture en Algérie, des efforts considérables devraient être déployés en vue de : encourager les investisseurs dans ce domaine à moderniser les infrastructures industrielle, éliminer les obstacles et organiser et développer cette activité en faveur de l'économie nationale.

## 2. PROBLEMATIQUE

Actuellement la majorité des poulaillers ont des performances des élevages tient à la nature extensive des processus de production mis en œuvre (Ventilation statique, sous équipement chronique des ateliers, faible isolation des bâtiments, maîtrise insuffisante des conditions d'ambiance) qui se traduisent par un allongement du cycle d'élevage, un gaspillage d'intrants et des taux de mortalités excessifs. Par ailleurs, le sous équipement chronique de ces ateliers (mangeoires, abreuvoirs, radiants, maîtrise insuffisante de système de ventilation et d'isolation des bâtiments) n'autorise pas une utilisation rationnelle et optimale des intrants industriels (aliments avicoles, matériel biologique, produits vétérinaires) par les producteurs dont l'effet transparaît à travers une structure de coûts défavorable. Cela est dû à l'utilisation intensive des produits vétérinaire, Aujourd'hui, nous pensons que l'avicole en Algérie peut

être améliorée grâce à l'utilisation des solutions technologique intelligentes en maîtrisent les conditions d'ambiance, et aussi le système de ventilation et d'isolation des bâtiments d'élevage peuvent être améliorés.

## 3. OBJECTIFS

L'objectif de notre projet de fin d'études est de réaliser un système automatique qui permettrait le contrôle en temps réel les conditions d'ambiance et environnementale d'un bâtiment d'élevage de volaille. Ce dernier est ……représenté par un hangar dans lequel évolue un nombre important de sujet (poulet, dinde etc..). Le contrôle efficace de l'environnement d'élevage de volaille assure d'une part une excellente production quantitative et qualitative et d'autre part réduire les coûts d'exploitation via l'automatisation et le contrôle automatique des activités quotidiennes dans les bâtiments d'élevage. Ce système doit permettre aux éleveurs de :

- Controller l'état des paramètres climatiques de bâtiments d'élevage en temps réel
- Configurer des consignes du régulateur des déférents paramètres climatiques de bâtiments d'élevage.
- Possibilité de l'intervention manuelle sur les actionneurs et choisir le type de commande automatique.
- Une alerte se déclenche en cas d'un problème dans le volailler.
- la possibilité de configurer et de contrôler à distance des paramètres climatiques des volaillers avec une application via l'internet.

## 4. ORGANISATION DE MEMOIRE

Le premier montre les techniques de construction des bâtiments d'élevage de poulet de chair, le choix technique de site adaptée la situation géographique des volailles, aussi les conditions d'ambiance de l'élevage de poulet de chair, aussi les technologies utilisé dans les volailles pour avoir un bon contrôle des paramètres. Le deuxième chapitre contenaient de l'historique et l'origine de la logique flou et le développement de la théorie des ensembles flou et l'utilisation de cette théorie dans de plusieurs applications, des définitions et des propriétés des ensembles et des règles flous et une explication de la fuzzification et la défuzzification des variables linguistiques avec l'inférence de Mamdani et Sugeno. Le troisième chapitre décryptera la carte Arduino Uno avec le microcontrôleur ATMega328, les différents éléments électroniques utilisés dans le régulateur, plus le prototype que nous avons réalisé, ses techniques de construction et démontions. Une explication de principe de

fonctionnement de contrôleur et aussi l'application utilisée pour le contrôle à distance. En fin, des résultats pratiques vont s'exposer des expériences appliquées de régulateur.

# CHAPITRE I

# BATIMENT D'ELEVAGE DE POULET DE CHAIR

## I.1. INTRODUCTION

L'élevage de poulet de chair a connue plus de développement ces dernières années au niveau international sur le plan technologique, en termes des équipements utilisé dans ce domaine et les techniques d'élevage de volaille en général. Avec la modernisation des infrastructures avicoles, beaucoup des sociétés ont investie à des recherches scientifiques pour améliorer l'aviculture à l'échelle mondiale. En Algérie la filière avicole ayant une perturbation de produit avicole national malgré le nombre considérable des poulaillers, ça vient des carences enregistrées aux technologies utilisées dans ce domaine.

Dans ce chapitre on va donner quelques notions de base sur les bâtiments d'élevage de poulet de chair et le choix technique de site adaptée pour la pratique de cette activité. En suit la situation géographique des volailles de tel sort à être isolés et protégées des influences extérieures. Après, on va parler sur les conditions de conception des élevages et aussi les normes que l'on doit respecter (Surface du bâtiment, largeur, longueur, isolation). Par la suit nous citerons les technologies et les techniques utiliser dans les volailles pour avoir un bon contrôle des conditions d'ambiance et des paramètres zootechniques (température, humidité, qualité d'aire, l'éclairage..).

## I.2. L'INTERET DE BATIMENT D'ELEVAGE AVICOLE

Le Bâtiment est le local où les animaux s'abritent contre toute source de dérangement, c'est le local où l'animal trouve toutes les conditions de confort. Pour cette raison, il doit prendre à la considération tous les facteurs internes et externes du bâtiment. La conception et la réalisation d'un élevage de poulets de chair doivent être réfléchies, car sa réussite est subordonnée à un bon habitat, une bonne alimentation, un abreuvement correct et une bonne protection sanitaire avec l'approche bio-ingénierie [1].

## I.3. IMPLANTATION DE BATIMENT

Le choix technique d'un site adapté considère notamment les mouvements d'air et l'humidité. Ainsi, l'implantation dans une vallée peut correspondre à de l'humidité et/ou à une insuffisance de renouvellement d'air en ventilation naturelle, surtout en période chaude.

L'insuffisance de renouvellement peut aussi être la résultante de tout autre obstacle au mouvement de l'air (une autre construction par exemple). A l'opposé, l'implantation sur une colline peut causer un excès d'entrée d'air du côté des vents dominants.

Pour les bâtiments à ventilation naturelle (non forcée), dans nos régions, il est souhaitable d'éviter le balayage transversal à cause des mouvements d'air excessifs. Avec un bâtiment à lanterneau, il

faut écarter l'implantation pignon plein vent pour éviter le refoulement de l'air par le lanterneau. Un compromis consiste à orienter l'axe longitudinal du bâtiment dans une limite de 30 à 45 degrés de part et d'autre de la perpendiculaire aux vents dominants.

L'implantation considère également les aspects paysagers. La Région wallonne a édité à ce sujet, un guide de conseils pour assurer la meilleure intégration possible des bâtiments agricoles dans le paysage [2].

L'orientation des bâtiments doit être choisie en fonction de deux critères :

- Le mouvement du soleil. On a intérêt à orienter les bâtiments selon un axe Est-Ouest de façon à ce que les rayons du soleil ne pénètrent pas à l'intérieur du bâtiment.
- La direction des vents dominants. L'axe du bâtiment doit être perpendiculaire à celle-ci pour permettre une meilleure ventilation**.**

En Algérie l'orientation doit être Nord-Sud pour éviter l'exposition aux vents :

- du Nord froids en hiver ;
- du Sud chauds en été [2].

## I.4. LA SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L'ELEVAGE

Les bâtiments doivent être situés de façon à être isolés des autres élevages, de volailles et d'autres animaux ; une distance minimale d'au moins 1km des autres installations de volailles ou d'autres animaux doit être respectée, ainsi que des routes utilisées pour le transport de volaille. Il est préférable d'avoir des oiseaux de même âge sur le site afin de limiter le recyclage des agents pathogènes et des souches de vaccins vivants [3].

## I.5. CONCEPTION DE L'EXPLOITATION ET DU BATIMENT

Le bâtiment doit être conçu de façon à minimiser les flux de circulation, faciliter le nettoyage et la désinfection, et empêcher les oiseaux et rongeurs d'entrer. Une barrière (clôture) est nécessaire pour empêcher les accès non autorisés. Le poulailler doit disposer d'un sol en béton ; les murs et le plafond doivent pouvoir être lavés (étanches) ; les conduits de ventilation doivent être accessibles et le bâtiment doit être dépourvu de piliers internes ou de rebords.

Il est impossible de nettoyer et de désinfecter correctement les sols en terre battue. L'espace autour du bâtiment doit être dégagé et plat jusqu'à 15 m pour pouvoir tondre la pelouse rapidement et facilement. Un espace de 1 à 3 mètres de largeur en béton ou graviers, installé directement autour du bâtiment, peut décourager l'entrée des rongeurs et offrir une zone de nettoyage et de stockage des pièces amovibles des équipements. La **figure I.1** illustre un bon exemple d'organisation et d'agencement de l'élevage.

**Figure I.1 :** exemple d'un bon agencement d'élevage.

## I.6. DIMONTION

### I.6.1. Surface du bâtiment

La surface du bâtiment est directement fonction de l'effectif de la bande à y installer. On se base sur une densité de 13 à 15 poulets au mètre carré. Le surpeuplement entraîne des conséquences graves : croissance irrégulière ; poulets griffés, litières croûteuses, coccidioses [1].

### I.6.2. La largeur du bâtiment

La largeur du bâtiment est liée aux possibilités de ventilation, On construit couramment des poulaillers de 8 m, 12 m ou 15 m de largeur [1].

### I.6.3. Longueur

La longueur dépend de l'effectif des bandes à y loger. Exemple de dimensions de poulaillers : 12m de large x 100m de long pour 10.000 poulets [1].

## I.7. ISOLATION

L'isolation du bâtiment doit tendre à rendre l'ambiance à l'intérieur de celui-ci, la plus indépendante possible des conditions climatiques extérieures :

- limiter le refroidissement en hiver ;
- limiter les entrées de chaleur au travers des parois en été ;
- limiter les écarts de température entre l'ambiance et le matériau, pour éviter la condensation.

Pour cela, toutes les parois du bâtiment seront isolées. Le bon isolant présente, outre une bonne résistance aux transferts caloriques, une résistance au feu, aux insectes, aux rongeurs et aux pressions utilisées pour le nettoyage, ainsi qu'un bon rapport qualité/prix.

L'isolation de la toiture influence largement les pertes de chaleur en hiver et l'impact du rayonnement en été. Les murs sont généralement constitués de panneaux sandwich : une couche isolante entre 2 surfaces (fibrociment ou autre). On veillera aussi à assurer l'étanchéité du bâtiment de manière à limiter les entrées d'air parasites dans l'aire de vie des volailles.

Une étanchéité correcte est nécessaire pour une bonne ventilation dynamique. En outre, toute fuite d'air en dessous de 1,80 m de hauteur est particulièrement dangereuse pour les poussins. Il existe une dépression à l'intérieur du bâtiment, particulièrement en ventilation dynamique, avec ventilateurs extracteurs. Cette dépression assure une bonne ventilation. Si des entrées d'air anarchiques existent, elles diminuent la dépression et la ventilation ne s'effectue pas de manière optimale. L'air froid entrant tombe directement sur les animaux avant d'être réchauffé [2].

## I.8. CONTROLE DES CONDITIONS D'AMBIANCE DE BATIMENT D'LEVAGE

La ventilation constitue le premier moyen de contrôle de l'environnement des oiseaux. La ventilation assure une bonne qualité d'air dans le bâtiment tout en maintenant les oiseaux dans une température confortable. Elle apporte de l'air frais, évacue l'excès d'humidité et limite l'accumulation de gaz et l'émission de sous-produits potentiellement dangereux [3].

Pendant les premières phases de la vie des oiseaux, la ventilation répartit la chaleur et fournit suffisamment d'air frais pour le maintien d'un air de qualité correcte dans le bâtiment.

À mesure que les oiseaux grandissent et qu'ils produisent plus de chaleur, il est nécessaire d'augmenter les taux de ventilation pour évacuer la chaleur, ainsi que les produits de la respiration (humidité) du bâtiment.

La surveillance du comportement des oiseaux et l'ajustement de la ventilation en conséquence sont essentiels pour assurer leur confort et les rendre actifs [3].

### I.8.1. Qualité d'air

Les principaux contaminants de l'air dans l'environnement intérieur d'un bâtiment sont la poussière, l'ammoniac, le dioxyde de carbone, le monoxyde de carbone et l'excès de vapeur d'eau. La concentration de ces contaminants doit rester dans les limites réglementaires en permanence. Une exposition excessive et continue à ces contaminants peut :

• entraîner des lésions des voies respiratoires ;
• réduire l'efficacité de la respiration ;
• provoquer des maladies (p. ex. ascite ou maladie respiratoire chronique) ;
• influer sur la régulation de la température ;
• dégrader la litière ;
• réduire les performances des oiseaux [3].

### I.8.2. Eau

Les oiseaux produisent une quantité d'eau substantielle qui est transférée à l'environnement. L'évacuation de cette eau présente dans le bâtiment est une fonction primordiale du système de ventilation.

Un oiseau de 2,3 kg consomme en moyenne 6,3 litres d'eau au cours de sa vie et en restitue 4,9 litres dans l'atmosphère.

Pour un lot de 10 000 poulets de chair, cela représente environ 49 000 litres d'eau qui seront réémis dans l'environnement sous forme d'humidité issue de la respiration ou d'excréments. La ventilation doit éliminer ce volume d'eau du bâtiment [3].

### I.8.3. Température

L'une des fonctions premières de la ventilation, notamment dans la phase initiale de production, est de maintenir le bâtiment à une température appropriée afin de permettre aux oiseaux de rester dans un bon confort thermique.

Il n'est présenté qu'à titre indicatif. La température réellement programmée dépendra de l'HR et doit toujours se fonder sur le confort visible des oiseaux. Les variations de température affectent

l'efficacité de la conversion alimentaire. Ceci est particulièrement vrai lorsque la température ambiante est trop froide : l'aliment sera plus utilisé pour la production de chaleur que pour la croissance [3].

### I.8.4. Chauffage

Chaque bâtiment d'élevage de poulets de chair doit disposer d'une capacité de chauffage suffisante pour fournir la ventilation nécessaire au maintien d'une qualité d'air acceptable et pour maintenir la température du bâtiment tout au long de l'année.

La chaleur doit être uniformément répartie dans tout le bâtiment. Une distribution de chaleur inégale peut avoir un effet négatif sur l'uniformité des oiseaux. Lorsque les ventilateurs de circulation sont utilisés pour véhiculer et diffuser la chaleur dans le bâtiment, il faut veiller à ne pas créer de courants d'air à hauteur des oiseaux.

Lors des premières phases du cycle de production, le chauffage doit se déclencher au plus près de la température programmée pour le bâtiment. A mesure que les oiseaux grandissent et commencent à générer plus de chaleur corporelle, l'écart entre la température de référence du bâtiment et celle à laquelle le chauffage se déclenche pourra être augmenté.

A titre d'exemple, le chauffage peut être réglé pour démarrer seulement si la température du bâtiment est inférieure de 1 à 2 °C à la température fixée pour le bâtiment. Ces choix et ces paramètres sont dictés en fonction de la réaction et du confort observés chez les oiseaux [3].

Lors du préchauffage du bâtiment, avant la mise en place des poussins, il est conseillé de maintenir un taux de ventilation minimale. Ce taux minimum dépend du type de chauffage utilisé. L'objectif est d'évacuer tous les gaz nocifs du bâtiment et de diffuser la chaleur uniformément avant l'arrivée des poussins. Consultez les recommandations du fabricant du système de chauffage pour la ventilation minimale requise à cette étape. Ces recommandations sont normalement affichées sur le boîtier du dispositif de chauffage.

Il existe différents types des équipements de chauffage tel que l'appareil à air pulsé **(figure I.2)** à coût de fonctionnement réduit mais aussi avec des inconvénients : investissement élevé, dessiccation de l'air (adapter des humidificateurs à la sortie), entretien hygiénique difficile [1].

**Figure I.2:** Chauffage à air pulsé.

En revanche il y a les éleveuses au gaz qui sont les plus employées, en peut citer deux types de ces Equipment :

- Eleveuse avec chapeau cloche (au fuel, au charbon, au gaz).
- Radiants (gaz, électricité).

Ces appareils ont de gros avantages : investissement modeste, Coût de fonctionnement réduit, Réglage facile, pas de panne générale.

**I.8.5. Systèmes de ventilation**

Il existe deux systèmes principaux pour la ventilation :

**I.8.5.1. La ventilation naturelle : Bâtiment ouvert**

La ventilation naturelle se réfère à un bâtiment ouvert comprenant généralement des rideaux (bien que des volets ou des portes puissent également être utilisés) au niveau des murs latéraux **(Figure I.3)**.

Dans les bâtiments ouverts, le principe consiste à ouvrir et fermer les rideaux, ou volets, pour générer des courants de convection (vent ou brise) qui vont faire circuler l'air à l'intérieur du bâtiment.

Par temps froid, les ventilateurs de circulation installés à l'intérieur peuvent servir à contrôler la température du bâtiment en faisant circuler l'air chaud qui a monté et s'est accumulé dans le faîte du toit.

Par temps chaud, à moins que le vent ne souffle, l'ouverture des rideaux peut ne pas suffire à soulager correctement les oiseaux. Les ventilateurs de circulation peuvent également aider, dans ce cas, en générant un flux d'air au-dessus des oiseaux qui contribuera à leur confort par effet de courant d'air [3].

**Figure I.3 :** exemple de ventilation naturelle [3].

Les bâtiments à ventilation naturelle requièrent une gestion permanente, 24 heures sur 24, et un contrôle ininterrompu des conditions ambiantes extérieures (température, humidité, vitesse et direction du vent) et intérieures (température, humidité, qualité de l'air et confort des oiseaux).
D'un point de vue général, les bâtiments ouverts se gèrent le mieux lorsque les conditions ambiantes sont proches de la température fixée pour le bâtiment [3].

**I.8.5.2. La ventilation dynamique : bâtiments à environnement contrôlé**

La ventilation dynamique, dans les bâtiments à environnement contrôlé ou fermé, représente le système de ventilation des bâtiments d'élevage de poulets de chair le plus plébiscité, en raison de sa capacité à mieux contrôler l'environnement intérieur dans des conditions ambiantes variables. La forme la plus répandue de ventilation dans des bâtiments à environnement contrôlé fonctionne en pression négative. Ces bâtiments sont habituellement construits avec des murs latéraux et des ventilateurs d'extraction robustes, ainsi que des entrées d'air automatisées par lesquelles l'air frais est aspiré à l'intérieur du bâtiment [3].

Si l'on veut apporter le meilleur environnement aux oiseaux tout au long du cycle de production et quel que soit le moment de l'année, les bâtiments d'élevage des poulets de chair à environnement fermé doivent être équipés de trois types de ventilation. Il s'agit de :

-la ventilation minimale ;

-la ventilation de transition ;

-la ventilation en tunnel.

**I.8.5.2.1. La ventilation minimale**

Une ventilation minimale apporte de l'air frais dans le bâtiment et évacue l'air intérieur vicié (afin d'éliminer l'humidité excessive et empêcher l'accumulation de gaz nocifs), tout en maintenant la température intérieure requise.

Un niveau minimum de ventilation doit être assuré en permanence lorsque les oiseaux sont présents dans le bâtiment, quelle que soit la température extérieure. La ventilation minimale peut être utilisée été comme hiver, à tout moment du cycle de production. Cependant, elle est largement utilisée pendant la période de démarrage et par temps frais (c.-à-d. lorsque la température extérieure est inférieure à la température souhaitée du bâtiment et que la température réelle du bâtiment est égale ou inférieure à la température de référence). La ventilation minimale n'est pas destinée à rafraîchir les oiseaux lorsque les températures sont élevées [3].

L'objectif de la ventilation minimale est de générer un flux d'air très léger à hauteur des oiseaux (0,15 m/s), ce qui est particulièrement important pour les jeunes oiseaux de moins de 10 jours **(figure I.4).**

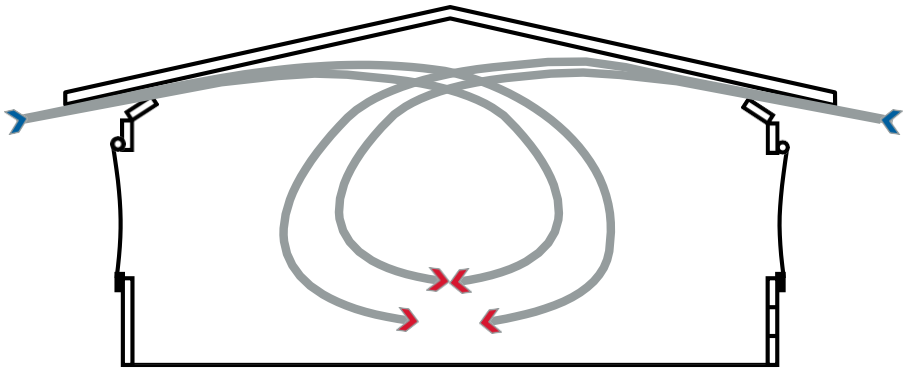


**Figure I.4 :** flux d'air correct en ventilation minimale [3].

La ventilation minimale est réglée par minuterie. Le ventilateur fonctionne avec un programmateur, et non pas en fonction de la température. La gestion correcte du cycle du programmateur détermine la qualité de l'air à l'intérieur du bâtiment.

**I.8.5.2.2. Ventilation de transition**

L'objectif de la ventilation de transition est d'évacuer l'excès de chaleur du bâtiment lorsque les températures dépassent la température de référence du bâtiment. La ventilation de transition est une procédure de gestion de la température lors de laquelle les ventilateurs ne fonctionnent plus sur minuteur (ventilation minimale) mais commencent à fonctionner en permanence pour contrôler la température **(Figure I.5)**.

**Figure I.5**: vue intérieure du bâtiment en mode ventilation de transition. La répartition des oiseaux indique que l'environnement est confortable.

Lors de la ventilation de transition, un large volume d'air peut pénétrer dans le bâtiment, mais contrairement à la ventilation en tunnel, cet air n'est pas directement dirigé sur les oiseaux. La ventilation de transition est utilisée lorsque l'air extérieur est trop froid et/ou que les oiseaux sont trop jeunes pour la mise en route de la ventilation en tunnel.

**I.8.5.2.3. La ventilation en tunnel**

La ventilation en tunnel ne doit être actionnée que lorsque la ventilation de transition n'est plus capable de maintenir le degré de confort des oiseaux (c.-à-d. lorsque les oiseaux montrent qu'ils ont trop chaud). La ventilation en tunnel s'utilise par temps chaud à très chaud et généralement lorsque les oiseaux sont plus âgés **(Figure I.6)** [3].

Lorsque la ventilation en tunnel fonctionne, de larges volumes d'air sont aspirés vers le bas sur toute la longueur du bâtiment, permettant un renouvellement rapide de l'air du bâtiment. Ce flux d'air à grande vitesse circule sur les oiseaux et génère un effet de courant d'air qui les aide à se rafraîchir. Il est possible de moduler l'effet de rafraîchissement ressenti par les oiseaux et la vitesse de l'air traversant le bâtiment en modifiant le nombre de ventilateurs. L'effet de courant d'air varie également en fonction de :

-l'HR ;

-la densité animale ;

-d'autres facteurs (tels que le plumage, l'âge et le poids du lot, la température extérieure, etc.) [3].

**Figure I.6** : exemple type d'un bâtiment équipé d'une ventilation en tunnel [3].

Au démarrage de la ventilation en tunnel, les ventilateurs des murs latéraux doivent s'arrêter (dans le cas d'une ventilation de transition) et les entrées d'air latérales doivent se fermer. Les entrées d'air en tunnel s'ouvrent. Tout l'air qui pénètre dans le bâtiment doit uniquement passer par ces entrées.

### I.8.6. Système de rafraîchissement par évaporation

Le rafraîchissement par évaporation consiste à refroidir l'air par évaporation d'eau. Il améliore les conditions ambiantes par temps chaud et optimise la ventilation en tunnel. Le rafraîchissement par évaporation ne doit être utilisé que lorsque le comportement des oiseaux indique que l'effet de courant d'air n'est plus suffisant pour assurer leur confort. Son objectif est de maintenir la température du bâtiment au dernier niveau de confort ressenti par les oiseaux lorsque tous les

ventilateurs fonctionnaient. Le rafraîchissement par évaporation n'a pas pour but de faire revenir la température du bâtiment au niveau (ou près) de sa température de référence.

La capacité de rafraîchissement par évaporation dépend de l'HR et de l'environnement ambiant extérieur.

• Plus le taux d'HR est faible, plus la marge d'humidité que l'environnement ambiant peut intégrer est important et donc, plus importante sera la capacité de rafraîchissement par évaporation.

• Plus l'HR est élevée, moins le potentiel de rafraîchissement par évaporation de l'air sera important.

Il existe deux principaux systèmes de rafraîchissement par évaporation : par panneau refroidissant et par brumisation [3].

**I.8.6.1. Rafraîchissement par panneau refroidissant**

Dans les systèmes de rafraîchissement par panneau refroidissant, l'air chaud aspiré par les ventilateurs de la ventilation en tunnel est rafraîchi par son passage au travers d'un filtre imprégné d'eau (le panneau refroidissant).

Les panneaux refroidissants doivent être situés à l'extrémité opposée des ventilateurs en tunnel et également doivent être répartis de chaque côté des murs latéraux, bien que dans certains cas, certains panneaux refroidissants sont installés sur une partie du pignon. Selon les cas, les panneaux refroidissants peuvent être installés dans un local technique **(Figure I.7)** [3].

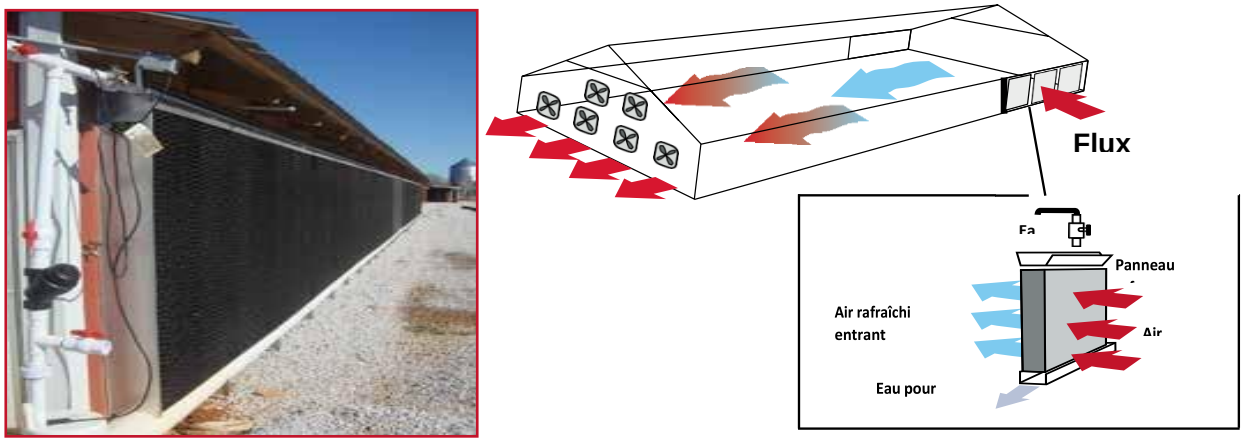



**Figure I.7** : rafraîchissement à panneaux refroidissants avec ventilation en tunnel.

Cette conception et cette configuration des panneaux refroidissants permettent à de grands volumes d'air aspirés par la ventilation en tunnel de traverser la surface des panneaux et d'être rafraîchis avant de pénétrer dans le bâtiment [3].

**I.8.6.2.Brumisation/Pulvérisation**

Les systèmes par brumisation rafraîchissent l'air entrant par l'évaporation d'eau obtenue par pompage à travers les buses du brumisateur/pulvérisateur.

Les lignes de brumisation doivent être installées près des entrées d'air pour optimiser la vitesse d'évaporation. Des lignes supplémentaires doivent être installées sur toute la surface du bâtiment **(Figure8)**.

**Figure I.8** : exemple de système de brumisation dans une poulaille.

**I.8.7. Litière et humidité**

La litière devrait toujours être propre et sèche, car une litière humide constitue un risque pour la santé des oiseaux.

Une bonne litière :

- est composée de sciures de bois (ripe) ou de coques de riz;
- doit toujours être propre, sèche et légèrement souple. Elle ne doit pas trop coller aux mains ou aux chaussures.
- doit avoir une épaisseur de 8 cm la première semaine de vie des oiseaux et environ 6 cm par la suite.

- deviendra chaude au toucher lorsque les oiseaux atteignent 11 jours, c'est leur chaleur qui réchauffe la litière.
- doit être propre et sèche si une densité de 10 oiseaux / m2 est respectée.
- Si la litière est humide et/ou collante, dans tout le bâtiment ou une partie du bâtiment, c'est qu'il y a un problème [2].
- Enlever la litière près des mangeoires s'il y a de la nourriture mélangée à la litière. Sinon, les poulets mangeront les grains à l'extérieur de la mangeoire et ils mangeront en même temps de la litière ce qui entrainera des problèmes digestifs et de la diarrhée [2].

L'humidité relative de l'air est également un facteur important qui influence essentiellement le développement des agents pathogènes et l'état de la litière. En revanche, l'humidité n'a pas d'action directe sur le comportement du poulet, mais peut causer indirectement des troubles.

Ainsi une atmosphère sèche conduit à l'obtention d'une litière poussiéreuse, irritant les voies respiratoires et disséminant les infections microbiennes. A l'inverse, une atmosphère suturée rend le poulet plus fragile surtout si la température est basse. Il se forme des croûtes sur le sol et les risques de microbisme et de parasitisme augmente. L'humidité relative optimale pour l'élevage du poulet se situe entre 40 à 75%.Au-delà, les risques pathologiques peuvent apparaître (maladies respiratoires, coccidiose…) [2].

### I.8.8. Eclairement

La lumière est un élément essentiel, contribuant à la croissance des animaux car elles peuvent manger toujours en présence de lumière.

La réglementation locale en matière d'intensité lumineuse doit être respectée. Cependant, une intensité lumineuse de 30-40 lux de 0 à 7 jours de vie et d'au moins 5-10 lux **(Figure I.9)** par la suite, améliorera l'activité alimentaire et la croissance.

**Figure I.9** : exemples d'intensité lumineuse à 10 lux et 30 lux

Pendant les deux premiers jours, il est important de maintenir les poussins sur une durée d'éclairement maximum (23-24h), pour favoriser la consommation d'eau et d'aliments. Le but de l'éclairement est de permettre aux poussins de voir les mangeoires et les abreuvoirs. L'éclairement ne doit pas être d'une intensité trop forte pour éviter tout nervosisme.

En région chaude, il faut éclairer la nuit, période plus fraîche pour soutenir un niveau, de consommation correct.

## I.9.CONCLUTION

Jusqu'ici, nous avons présenté une vision générale des bâtiments d'élevage de poulet de chair, la conception, les technique d'élevage appliquée dans les volailles et les technologies utilisées dans ce domaines. De ce qu'on a vu, on peut dire que les volailles modernes sont conçues pour offrir une meilleure qualité des produits avicoles, notamment le poulet de chair

# CHAPITRE II

# ASPECT THEORIQUE DE LA LOGIQUE FLOUE

# CHAPITRE II ASPECT THEORIQUE DE LA LOGIQUE FLOUE

## II.1.INTRODUCTION

L'intelligence artificielle est devenue un facteur important dans le développement des payées grâce au inventions typique dans différentes domaine au cœur d'une révolution scientifique économique et technologique, notamment dans les payée développées depuis le 19 ème siècle. Parmi les plus importants des inventions connues à l'échèle mondial c'est la logique flou avec la théorie des ensembles flous, cette idée facilite le travail des ingénieurs et les spécialistes dans le domaine de commande des systèmes et des automatismes industriel utilisons des variables linguistique et des règles d'inférence au lieu des modèles mathématiques et des valeurs numérique pour concevoir des contrôleurs avec meilleurs caractéristiques.

Dans ce chapitre on va parler de l'historique et l'origine de la logique flou et le développement de la théorie des ensembles flou et l'utilisation de cette théorie dans de plusieurs applications, après on donnera des définitions et des propriétés des ensembles et des règles flous et enfin, on va expliquer la fuzzification et la défuzzification des variables linguistiques avec l'inférence de Mamdani et Sugeno.

## II.2.HISTORIQUE ET APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOUE

La logique floue est une extension de la logique booléenne créée par Lotfi Zadeh en 1965 en se basant sur sa théorie mathématique des ensembles flous, (*fuzzy set theory)* qui est une généralisation de la théorie des ensembles classiques. En introduisant la notion de degré dans la vérification d'une condition, permettant ainsi `a une condition d'être dans un autre état que vrai ou faux, la logique floue confère une flexibilité très appréciable aux raisonnements qui l'utilisent, ce qui rend possible la prise en compte des imprécisions et des incertitudes., Lofti Zadeh était un professeur à l'université californienne de Berkeley et deviendra un automaticien de renommée internationale.

En 1973 le professeur Zadeh publie un article qui mentionne pour la première fois le terme de valeurs linguistiques, dont la valeur est un mot et non une lettre. En 1974 un chercheur Mamdani établit la première application industrielle de la logique floue : la régulation floue d'une chaudière à vapeur. Il introduit ainsi la commande floue dans la régulation industrielle [4].

Grâce au chercheur japonais M. Sugeno, la logique floue a été introduite au Japon dès 1985. Les sociétés japonaises comprirent l'avantage à la fois technique et commercial de cette logique :

– facilité d'implantation

– solution de problèmes multi-variables complexes

– robustesse vis à vis des incertitudes

– possibilité d'intégration du savoir de l'expert.

De nombreux produits grand public sont alors lancés sur le marché japonais avec la mention vendeuse : « *fuzzy logic inside* ». Comme par exemple dans la conception du lave-linge Aïsaïgo Day Fuzzy de Matsushita (Février 1990) [4].

Dans la robotique, la logique floue est utilisée pour rendre possible la reconnaissance des formes, les base des sous-ensembles flous sont également la base théorique du système du contrôle du trafic routier, notamment dans la gestion automatique des feux rouges. Sous une forme plus complexe, elle fournit la logique de base du contrôle aérien. La théorie des sous-ensembles flous est un outil précieux au service des systèmes de météorologie, de sismologie et de climatologie. Dans la médecine, elle est utilisée dans les systèmes d'aide au diagnostic et économie, dans les systèmes de prévention des risques [5].

Il existe aussi de nombreuses applications dans différents domaines, voici une liste non exhaustive de quelques-unes :

– appareils électroménagers (lave-linge, aspirateur, autocuiseur,...etc)

– systèmes audio-visuels (appareil photo autofocus, caméscope à stabilisateur d'images, photocopieur,...)

– systèmes automobiles embarqués (ABS, suspension, climatisation,...etc.)

– systèmes de transport (train, métro, ascenseur,...)

– systèmes de décision, diagnostic (médical, assurance)

– systèmes de contrôle/commande dans la plupart des domaines industriels de production,

– transformation, traitement de produits et déchets[4].

Il existe de processeurs dédiés et des interfaces de développement spécifiques.

Exemple : la famille des processeurs WARP (Weight Associative Rule Processor) de SGSTHOMSON

dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

• Nombre de règles traitées : 256

• Nombre d'entrées : 16

• Nombre de sorties : 16

• Méthode de composition des règles : Centre de gravité

• Vitesse de traitement : 200 microsecondes pour 200 règles [6].

## II.3.LA THEORIE DES SOUS-ENSEMBLES FLOUS

Le but de la logique floue est de modéliser théoriquement la représentation des connaissances humaines. Sur le plan pratique, la théorie des sous-ensembles flous et la logique floue servent à améliorer les systèmes de décision.

Par « système de décision », il faut entendre des appareils et outils qui fonctionnent Avec une forme d'intelligence artificielle. Ces outils et logiciels doivent être capables de répondre à des questions, car ils connaissent les « fait », ils connaissent les « règles », et deviennent capables de réaliser un « raisonnement » à partir de faits et règles connus pour produire de nouveaux « faits », grâce à un « moteur de raisonnement ». Dans ce processus, l'étude des sous-ensembles flous est essentielle, car elle permet de modéliser deux chose : présenter « un modèle des incertitudes et des imprécisions », mais aussi « modéliser les informations précises » sous forme d'un « langage » mathématique comparable à celui utilisé aujourd'hui dans des outils qui servent d'aide à la décision [5].

La théorie des sous-ensembles de Lotfi Zadeh, une base de sa logique floue, est utilisée dans le domaine théorique des mathématiques, mais elle est utilisée pratiquement dans les outils électroniques d'intelligence artificielle à des degrés différents et dans des domaines très variés [5].

### II.3.1.Définition

Dans la théorie des ensembles flous, l'ensemble flou $A$ de $X$ (où $X$ est l'univers d'ðétude) est définit comme une fonction :

$$\mu_A(x) : X \rightarrow 0,1$$

Ou $\mu_A(x) = 1$ si $x$ est totalement dans $A$, $\mu_A(x) = 0$ si $x$ n'est pas dans $A$ et $0 < \mu_A(x) < 1$ si $x$ est partiellement dans $A$. La fonction d'appartenance est une mesure :

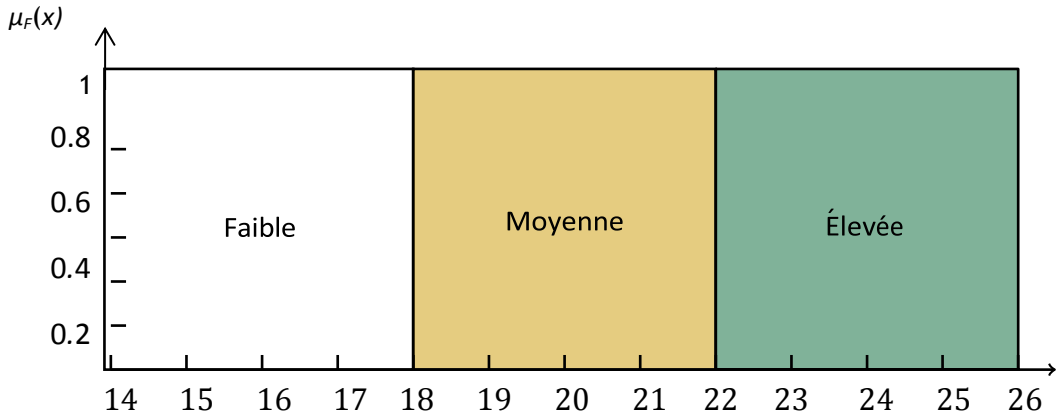
- Du degré auquel un élément est membre d'un ensemble.
- Du degré´ d'appartenance.
- De la valeur de l'appartenance.
- Du degré de confiance.

La logique floue permet de transformer plusieurs valeurs réelles en quelques variables floues avec différents appartenances, ce qui permet de réduire le nombre de règles. On utilise ces règles pour faire la commande compare des règles de commande classiques à la logique floue pour un système de chauffage, ou v est la vitesse de ventilateur **(tableau II.1)** [7].

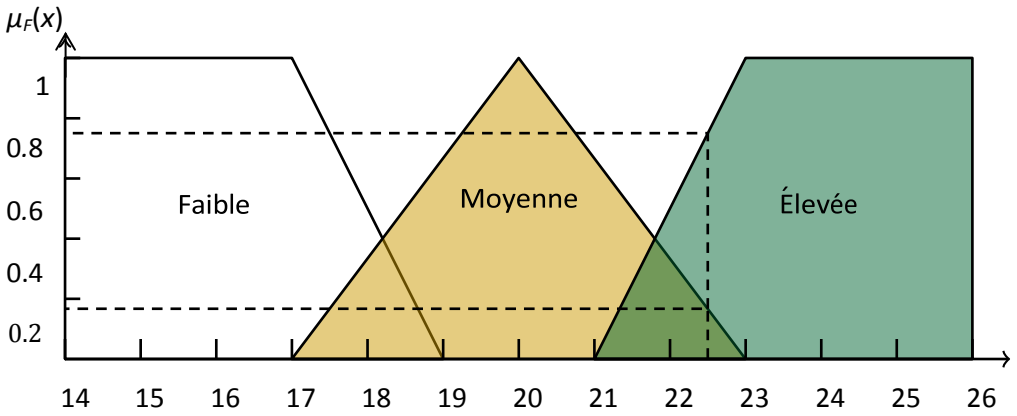
| Logique classique | Logique floue |
|---|---|
| Si *temp* = 21° ALORS *v* = 30% | Si *temp* = élevé ALORS *v* = lent |
| Si *temp* = 22° ALORS *v* = 40% | Si *temp* = assez élevé ALORS *v* = rapide |
| Si *temp* = 23° ALORS *v* = 50% rapide | Si *temp* = très élevé ALORS *v* = très |
| Si *temp* = 24° ALORS *v* = 60% | |
| Si *temp* = 25° ALORS *v* = 75% | |
| Si *temp* > 26° ALORS *v* = 100% | |

**Tableau II.1 :** la logique classique vs la logique floue pour un système de chauffage. [7].

Pour représenter la logique floue sur ordinateur, il faut déterminer la fonction d'appartenance. On utilise le plus souvent une représentation graphique. Les bornes de ces graphiques proviennent d'experts dans le domaine. La **figure II.2** montre deux exemples de représentation de la température, une en logique classique, et l'autre en logique floue.




a) Représentation classique

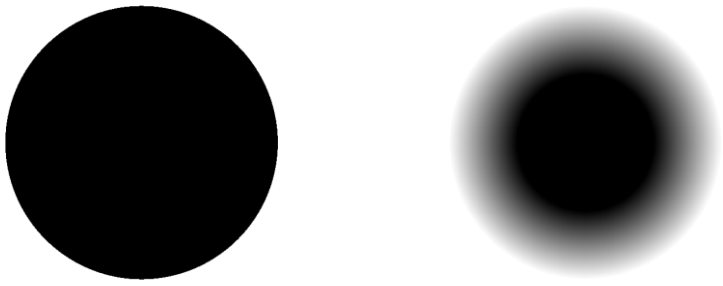



b) Représentation floue

**Figure II.1** : Comparaison de l'appartenance température en logique classique vs la logique floue [7].

Selon la **figure II.1,** en logique classique, une température de 22.5° est considérée comme élevée En logique floue, une température de 22.5° appartient au groupe « moyenne » avec un dégrée d'appartenance de 0.167, et appartient au groupe « élevée » avec un dégrée d'appartenance de 0.75.Les variables floues *faibles*, *moyennes* et *élevée* sont représentées par des fonctions linéaires.

D'autres fonction auraient pu être utiliser, comme des trapézoïde, des paraboles, etc. Cependant, les fonctions linéaire sont beaucoup plus faciles à implémenter de façon pratique, et donnent de bons résultats. Un autre exemple montre graphiquement la différence entre un ensemble classique et l'ensemble flou correspondant à une nourriture d'délicieuse **(figure II.2)**.



a) Ensemble classique b) Ensemble floue

**Figure II.2**: Représentation graphique d'un ensemble classique et d'un ensemble Floue [4].

### II.3.2.Quelques concepts et propriétés

Soit $A$ un sous-ensemble flou de $E$. On peut alors définir plusieurs concepts.

**La hauteur de** $A$ est définie comme la borne supérieure de la fonction d'appartenance. La hauteur est donc $H_A = \sup \mu_A(x)$. L'ensemble $A$ est dit *normalisé* si $H_A = 1$.

**Le noyau de** $A$ est défini comme l'ensemble classique des éléments $x$ de $E$ qui appartient à 100% à $A$. $N_A = \{x \in A \mid \mu_A(x) = 1\}$

**Le support de** $A$ est défini comme étant l'ensemble des éléments $x$ qui appartient, au moins un petit peu, à $A$. On a $S_A = \{x \in E \mid \mu_A(x) /= 0\}$

**L'$\alpha$-coupe de** $A$ est le sous-ensemble classique défini comme étant l'ensemble des éléments $x \in A$ qui lui appartiennent avec un degré d'appartenance au moins égalà $\alpha$. On a donc

$$\alpha - coupe(A) = \{x \in A \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}.$$

La figure ci-dessus résume ces différentes notions **(Figure II.3)**.

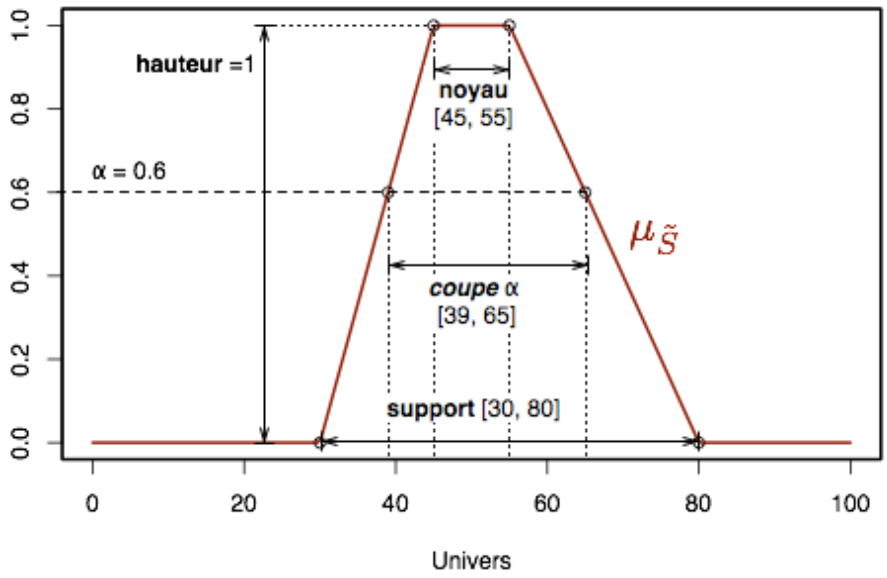



**Figure II.3** : Exemple, attributs des ensembles flous.

## II.4.OPERATEURS FLOUS

Les opérateurs flous décrivant comment des ensembles flous interagissent ensembles. On regardera certaine opération commune, comme le complément, l'intersection et l'union. Le permet de complément vérifier de combien un élément n'appartient pas à un ensemble.

Comme exemple, si on a l'ensemble des température élevée, le complément **(fonction négation)** est l'ensemble des températures qui ne sont pas élevée. Si $A$ est l'ensemble flou, son complément $\neg A$ est :

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A \quad \text{(II.1)}$$

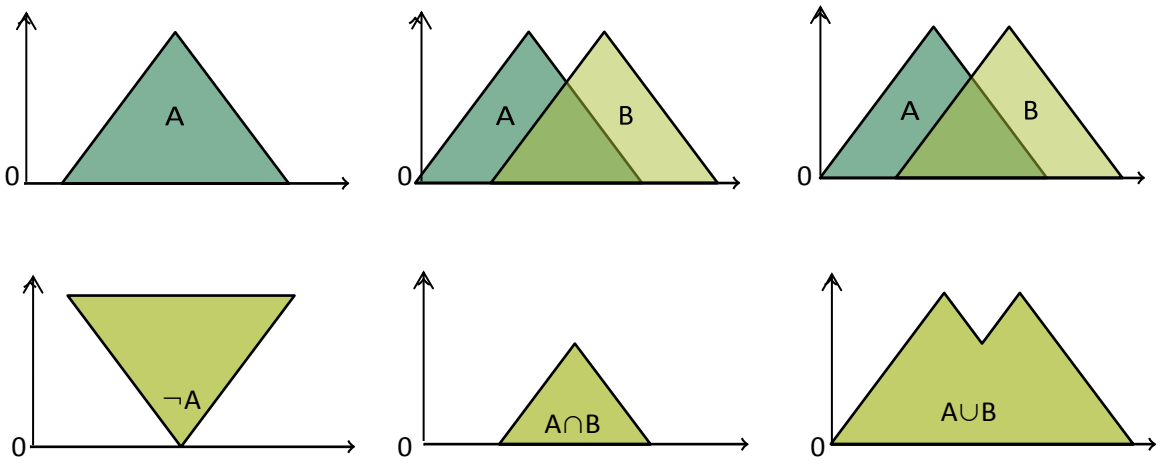
L'intersection de deux ensembles **(fonction "Et")**, en logique flou, est un peu différent des méthodes classiques. On cherche à savoir de combien un élément est-il dans les deux ensembles. On utilise alors la valeur minimale d'appartenance pour calculer l'intersection.

$$\mu_{A\cap B}(x) = \min\left[\mu_A(x),\ \mu_B(x)\right] \quad \text{(II.2)}$$

En logique floue, l'union **(fonction "Ou")** est le contraire de l'intersection. On cherche à savoir de combien un est-il dans l'un des deux ensembles. On utilise la valeur maximale d'appartenance.

$$\mu_{A\cup B}(x) = \max\left[\mu_A(x),\ \mu_B(x)\right] \quad \text{(II.3)}$$

La **figure II.4** résume ces opérations, de façon graphique.




Complément intersection union

**Figure II.4** : Exemple d'opérations sur des ensembles flous.

Tableau récapitulative des opérateurs flou :

| Application | Et | Ou |
|---|---|---|
| Zedah | min (*x; y*) | max (*x; y*) |
| Probabiliste | x*y | x + y - x*y |
| Lukasiewiez | max (*x* + *y* - 1*;* 0) | min (*x* + *y;* 1) |
| Weber | X, si y=1<br>Y, si x=1<br>0, sinon | X, si y=0<br>Y, si x=0<br>1, sinon |

**Tableau II.2:** Opérateurs flou

## II.5.REGLES FLOUS

Une règles floue est une déclaration de la forme suivante : ´

SI *x* est *A* ALORS *y* est *B*

Ou *x* et *y* sont des variables linguistiques, et *A* et *B* sont des valeurs linguistiques, déterminer par les ensembles flous sur les ensembles X et Y. Une variable linguistique est une variable floue. Par exemple : La tension est haute. La variable linguistique *tension* prend la valeur linguistique élevée. La plage de valeurs linguistiques possibles d'une règle représente l'univers de cette variable. Un exemple de règle floue est :

SI *vitesse* est *lente* ALORS *arrêt* est *court.*

La variable *vitesse* peut avoir une plage de valeurs entre 0 et 220 km/h. On peut inclure des sous-ensembles flous (très lent, lent, moyenne, rapide, très rapide) pour modifier cette règle. Chaque sous-ensemble flou représente une valeur linguistique pour la variable. ´La logique classique (SI – ALORS) utilise la logique binaire. La logique floue permet d'associer une plage de valeurs (un ensemble flou) à des variables linguistiques. On peut `réduire le nombre de règles jusqu' à 90% en utilisant la logique floue.

Exemple :

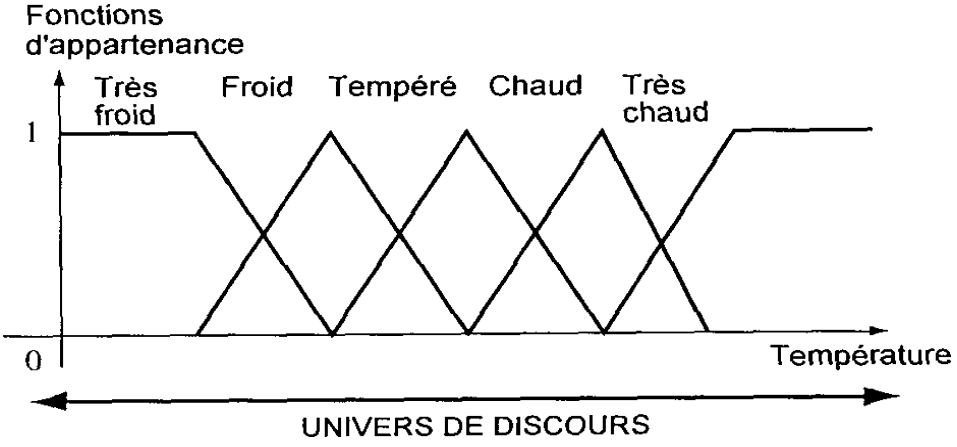



**Figure II.5 :** Exemple d'un ensemble flou

**Univers de discourt :** Gamme de température de 0°C à 200°C.

**Variable linguistique :** La température.

**Valeurs linguistiques :** « Très froid» « Froid » « Tempéré » « Chaud » « Très Chaud 21 »

## II.6.FUZZIFICATION

La fuzzification est l'opération de rendre une entrée classique en valeur linguistique. Des valeurs d'entrée sont traduites en concepts linguistiques représente comme des ensembles flous. Les fonctions d'appartenance sont appliquées aux mesures et des dégrée de vérité sont établie pour chaque proposition.

Les règles d'inférences permettent de calculer les valeurs d'appartenance de règle qui ont plusieurs antécédents. Si la conjonction qui unit deux antécédents est ET (AND), on prend le minimum des deux. Ex : SI voiture a de l'essence ET voiture a un moteur ALORS voiture peut fonctionner.

Supposons que la voiture a le plein d'essence (appartenance 1.0), mais qu'elle n'a pas de moteur (appartenance 0). La règle doit-elle être déclenchée ? Bien sûr que non ; une voiture sans moteur ne fonctionne pas.

Si la conjonction qui unit deux antécédents est OU (OR), on prend le maximum des deux. Ex :

SI le chien jappe OU il fait très froid dehors ALORS ouvrir la porte Supposons que le chien ne jappe pas (appartenance 0.0), mais qu'il fait très froid dehors (appartenance 1.0). Doit-on ouvrir la porte au chien ? Bien sûr que oui ; on ne va pas laisser le chien dehors en temps très froid.

Les conclusions atteintes par les systèmes flous sont des faits flous ayant des dégrées d'appartenance. Ex : risque est faible avec une appartenance de 0.5. Cependant, le déroulement final doit être une décision concrète ; ex : louer de l'argent.

La fuzzification des variables est une phase délicate du processus mis en œuvre par la logique floue. Elle est souvent réalisée de manière itérative et requiert de l'expérience.

## II.7.DEFUZZIFICATION

La défuzzification est le processus de convertir une valeur floue en valeur nette. Quelques méthodes existent, comme l'appartenance maximale, la méthode du centroïde, et la méthode des moyennes pondérées.

### II.7.1.Inférence Mamdani

L'inférence Mamdani ces valeurs de sortie appartient dans le domaine symbolique, cet inférence ce procède selon quatre étapes :

1-Fuzzification des variables d'entrée

2. Evaluation des règles

3. Agrégation des sorties des règles

4. Défuzzification

On prend l'exemple d'un système de contrôle d'un ventilateur de maison, ayant 2 entrées (température et humidité) et une sortie (vitesse du ventilateur). Des règles possibles sont :

SI *x* est *A*1 OU *y* est *B*1 ALORS *z* est *C*1

SI *x* est *A*2 ET *y* est *B*2 ALORS *z* est *C*2

SI *x* est *A*3 ALORS *z* est *C*3

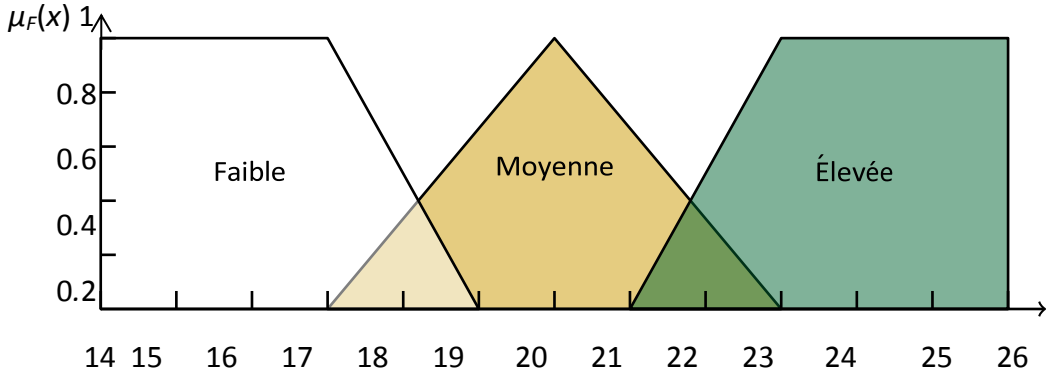
ou *x* est la température, *y* est l'humidité et *z* est la vitesse du ventilateur. Les ensembles flous sont :

• *A*1 = faible, *A*2 = moyenne, *A*3 = élevée

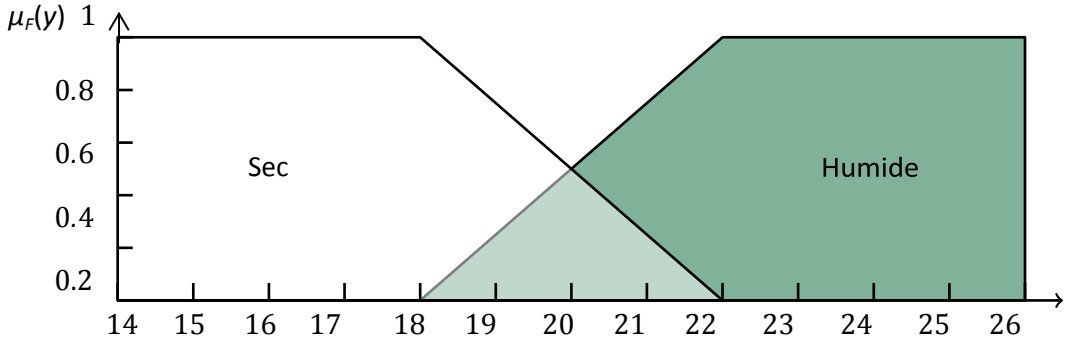
• *B*1 = sec, *B*2 = humide

• *C*1 = lent, *C*2 = moyenne, *C*3 = rapide

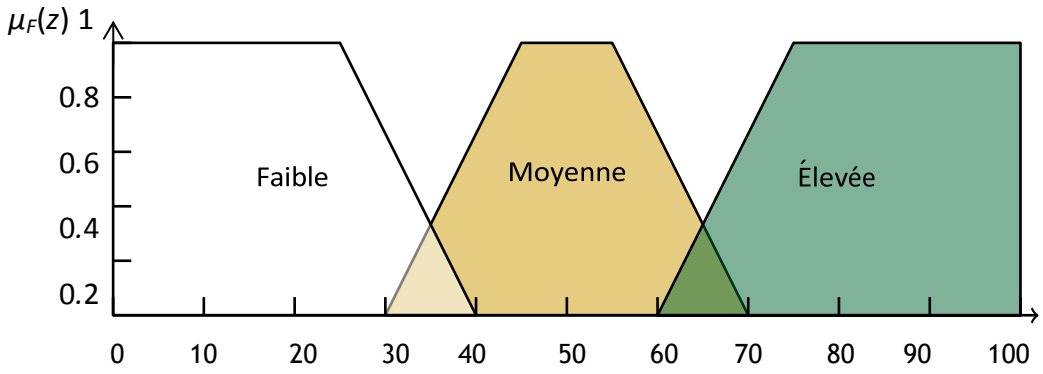
Les ensembles flous sont donnes dans la **figure II.7.**




a) Entrée *x* : température (◦C).




a) Entrée *y* : humidité (%).




c) Sortie *z* : vitesse du ventilateur (%).

**Figure II.6:** Ensembles flous pour exemple d'inférence Mamdani [7].

Supposons qu'il fait actuellement 18◦C, et que l'humidité est de 80%. On appliquée ces entrées sur les fonctions d'appartenance pour déterminer l'appartenance à chaque variable. Une température de 18 ◦C correspond à une appartenance de 0.5 à l'ensemble *faible* ($\mu A1 = 0{:}5$) et une appartenance de 0.33 à l'ensemble *moyenne* ($\mu A2 = 0{:}33$). Une humidité de 80% correspond à une appartenance de 0.25 à l'ensemble *sec* ($\mu B1 = 0{:}25$) et une appartenance de 0.75 à l'ensemble *humide* ($\mu B2 = 0{:}75$) [7].

### II.7.2.Evaluation des règles

Il faut maintenant évaluer les règles en fonction des entrées obtenues. On applique les opérateurs flous correspondants pour combiner les règles. Si une règle a plusieurs antécédents, un opérateur flou est utilisé pour obtenir un seul chiffre qui représente le résultat. Ce résultat est ensuite appliqué à la fonction d'appartenance de la conséquence.

Les méthodes d'inférences floues les plus utilisé sont :

Méthode d'inférence Max-Min.

Méthode d'inférence Max-Prod.

Méthode d'inférence Somme-Prod.

Le processuce de traitement numérique de chaque méthode est résumé dans le **tableau II.3**.

| Méthodes | Opérateurs sur Prémisses | | Opérateur Implication | Opérateur Agrégation |
|---|---|---|---|---|
| | **Ou** | **Et** | **Imp** | |
| ***Max-min*** | Max | Min | Min | Max |
| ***Max-prod*** | Max | Min | Prod | Max |
| ***Som-prod*** | Som | Prod | Prod | Som |

**Tableau II.3 :** déférentes méthode d'inférence.

Dans l'exemple de système de contrôle d'un ventilateur de maison en utilisent la méthode max-min on obtient l'évaluation des règles comme suit :

SI *x* est *A*1 (0.5) OU *y* est *B*1 (0.25) ALORS *z* est *C*1 (0.5)

SI *x* est *A*2 (0.33) ET *y* est *B*2 (0.75) ALORS *z* est *C*2 (0.33)

SI *x* est *A*3 (0.0) ALORS *z* est *C*3 (0.0).

On peut créer un nouveau polygone à partir des trois fonctions d'appartenance de la conséquence « C ». La hauteur du polygone est déterminé à partir de la valeur d'appartenance calculée plus haut. L'agrégation est montrée à la **figure II.7**

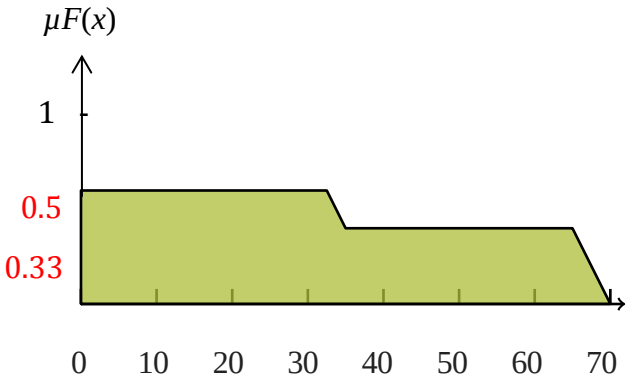



**Figure II.7:** Agrégation des règles de sortie par coupure

Apres avoir combiné les règles, il faut maintenant produire un chiffre net comme sortie. Dans ce cas-ci, la sortie doit être la vitesse du ventilateur. La technique la plus populaire est la méthode du centroïde: on cherche le centre de gravité du polygone obtenu :

$$CG = \frac{\sum_{x=a}^{b} \mu A(x).x}{\sum_{x=a}^{b} \mu A(x)} \qquad \text{(II.4)}$$

Le centre de gravité n'a pas besoin d'être calcule des façons très précise. On peut approximer, en calculant a tous les 10, par exemple. Pour l'exemple précédent :

$$CG = \frac{(0+10+20+30)(0.5)+(40+50+60)(0.33)}{0.5+0.5+0.5+0.5+0.33+0.33+0.33} = 26.67 \qquad \text{(II.5)}$$

Le ventilateur doit donc être à 26.67% de sa vitesse maximale.

### II.7.3.Inférence Takagi-Sugeno

La méthode de Sugeno permet de simplifier le calcul de l'agrégation, afin d'obtenir plus rapidement une solution nette. Cette méthode est souvent utilisée pour des applications à temps réel, où le temps de calcul est important [8].

La méthode de Sugeno utilise un seul pic comme fonction d'appartenance, plutôt qu'un polygone. Ce pic est un ensemble flou ayant une fonction d'appartenance 1 à un point particulier de l'espace, et 0 ailleurs. Le résultat de l'évaluation des règles devient l'amplitude du pic. La **figure II.9** montre un exemple de fonction de style Sugeno pour le même exemple [7].

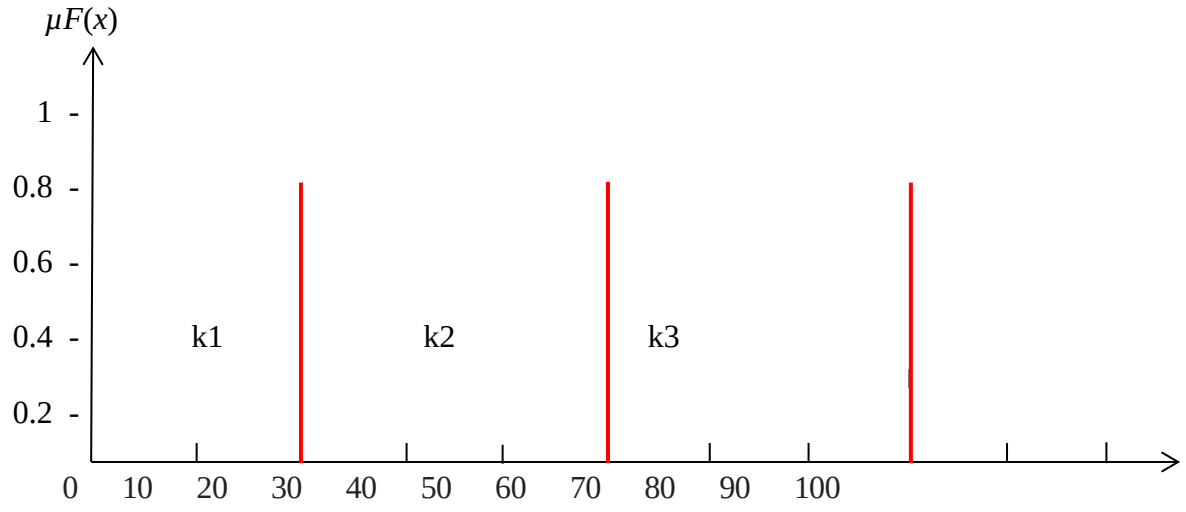



**Figure II.8:** Conséquences de style Sugeno.

Les conséquences sont évaluées selon le résultat de l'évaluation des règles. Dans l'exemple précédent, on a obtenu une appartenance de 0.5 pour la règle 1, de 0.33 pour la règle 2, et 0 pour la règle 3. Ces trois valeurs deviennent alors l'amplitude des pics, comme à la **figure II.10.**

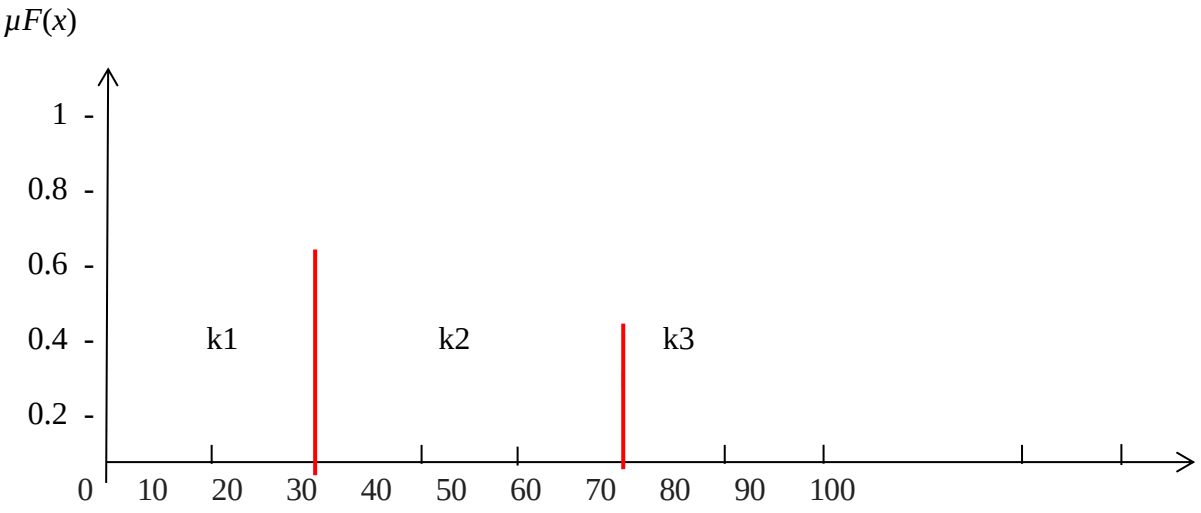



**Figure II.9:** Evaluation des conséquences de style Sugeno.

Pour faire l'agrégation des règles, on utilise une moyenne pondérée : ´

$$CG = \frac{\sum_i \mu A(k_i).k_i}{\sum_i \mu A(k_i)} \qquad \text{(II.6)}$$

## II.8.CONTROLEUR PID FLOU

Un contrôleur PID flou est un contrôleur proportionnel à intégrale dérivée qui utilise les principes logiciels de la logique floue comme forme de contrôle des erreurs dans les systèmes industriels. Les contrôleurs PID sont largement utilisés dans l'automatisation pour régler les vannes et autres commandes de processus en fonction de l'accumulation d'erreurs dans le temps. La différence entre un contrôleur PID flou et un contrôleur PID standard réside dans sa capacité à fournir des résultats plus précis dans des situations non linéaires. Les systèmes flous reposent sur un type de logique de programmation qui tente de traiter les zones grises d'incertitude des processus de manière plus efficace que les contrôles standard [9].

Les systèmes de contrôle doivent avoir une méthode intégrée pour ramener une valeur hors de portée vers une plage acceptable. Les contrôleurs PID typiques auront une réponse on / off à cette variabilité à des points définis du processus, ce qui peut être comparé d'une certaine manière à une méthode numérique consistant à examiner un processus en le décomposant en valeurs discrètes et en attribuant des actions prédéterminées à ceux-ci. Valeurs. D'autre part, un contrôleur PID flou calcule la déviation le long d'une plage analogique dans laquelle il existe une valeur optimale et des valeurs de plus en plus non optimales, mais aucun point prédéfini auquel l'action est toujours prise [9].

La conception d'un contrôleur PID flou et d'un contrôleur PID standard utilise tous les deux des valeurs historiques pour calculer les réponses futures. Les lettres dans le PID représentent en fait ceci, où P représente les erreurs présentes, I les erreurs passées et D comme états d'erreur futurs. Les systèmes flous tentent de mapper les erreurs en termes de persistance et de les affecter à différents ensembles d'appartenance pour différentes plages de conditions logiques. Cela permet à un contrôleur PID flou de définir également le taux de changement pour ramener le système sous contrôle. Ce taux de changement est basé sur des règles d'inférence, où l'accumulation de données et d'états d'erreur suggère un plan d'action plus correct [9].

L'un des problèmes d'un contrôleur PID flou est qu'il peut aboutir à des conclusions qui se contredisent et ne rien faire. Cela nécessite un processus de résolution de conflit dans le code, couramment appelé défuzzification dans les systèmes flous. La défuzzification est effectuée en donnant à certains paramètres d'un contrôleur PID un poids supérieur à d'autres pour faire basculer la balance dans un certain sens de l'action, ce qui est analogue à un gain ajusté dans un contrôleur PID standard [9].

En cas de variation standard, un contrôleur PID flou et un contrôleur PID standard peuvent tous deux régulent le système de commande de la même manière. Cela ne signifie pas qu'il s'agisse de systèmes de contrôle identiques ou que les avantages du contrôle flou ont été réfutés. Cela signifie simplement que la situation est facilement gérée par n'importe quel système de contrôle de base. Les contrôleurs PID standard peuvent être considérés comme un sous-ensemble du contrôleur PID flou, qui offre une capacité plus robuste et capable de gérer les déviations imprévisibles. Dans les situations où les contrôleurs PID standard échouent, un contrôleur PID flou bien conçu fonctionnera mieux [9].

Les avantages d'un contrôleur PID flou sont qu'il peut fournir différents niveaux de réponse aux variations non linéaires d'un système tout en fonctionnant de la même manière qu'un contrôleur PID standard dans un système où la variation est prévisible. Un contrôleur PID flou peut également maintenir un système plus stable. Il peut être pondéré en fonction des types de réponses, tout comme les paramètres de gain d'un système standard contrôlé par PID [9].

## II.9.CONCLUTION

Dans ce chapitre on a présenté le principe de la logique flou et les caractéristiques techniques d'un système à inférence flou, puis les déférentes méthodes de conception et de calcule des contrôleurs flous. On a vu que les systèmes à base de la logique flou sont des

systèmes intelligent et facile à concevoir à cause de leurs principe de fonctionnement basée sur des variable linguistiques et des règle d'inférence.

# CHAPITRE III

# CONCEPTION ET REALISATION PRATIQUE

# III.1. INTRODUCTION

Aujourd'hui, les systèmes à base de l'électronique classique sont remplacés par des nouveaux systèmes dits embarqué, sont des systèmes électronique et informatique autonome utilisent généralement un processeur et exécutent des logiciels dédié pour réaliser une fonctionnalité précise. Englobent les trois disciplines : l'électronique, on parle de l'architecture matérielle, et l'informatique c'est l'architecture logicielle, et aussi le Réseau et télécommunication qui représente l'architecture réseau dans les systèmes de commande moderne.

Dans ce chapitre on va parler sur l'élément le plus utilisé dans le domaine de l'électronique et l'informatique embarqué c'est la carte Arduino Uno avec le microcontrôleur ATMega328, on passe aussi par les différentes éléments électronique tel que : le capteur DHT22, le I2C, le module wifi ESP8266, le module de commutation Mosfet 4, l'écran LCD arduino.

On suit on montera le prototype que nous avons fait, plus les déférents éléments composent notre régulateur intelligent tel que l'armoire électrique, le système de chauffage, le système de froid et les ventilateurs. On va expliquer aussi le principe de commande basé sur la logique flou et en fin, on va illustrer l'application qui va s'exploiter pour faire le contrôle à distance de notre volailler avec quelques essais qui montre le bon fonctionnement de notre système.

# III.2. MATRIELS DE REALISATION

## III.2.1. Le module Arduino

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme). Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartez 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise l'logiciel IDE Arduino.

### III.2.2. Les gammes de la carte Arduino

Actuellement, il existe plus de 20 versions de module Arduino, nous citons quelques un afin d'éclaircir l'évaluation de ce produit scientifique et académique:

- Le NG d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega8.
- L'extrémité d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un Microcontrôleur ATmega8.

L'Arduino Mini, une version miniature de l'Arduino en utilisant un microcontrôleur ATmega168.

- L'Arduino Nano, une petite carte programme à l'aide porte USB cette version utilisant un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).
- Le LilyPad Arduino, une conception de minimaliste pour l'application wear able en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- Le NG d'Arduino plus, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega168.
- L'Arduino Bluetooth, avec une interface de Bluetooth pour programmer en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Diecimila, avec une interface d'USB et utilise un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Duemilanove ("2009"), en utilisant un microcontrôleur l'ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version) et actionné par l'intermédiaire de la puissance d'USB/DC.
- L'Arduino Mega, en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnel et mémoire.
- L'Arduino UNO, utilisations microcontrôleur ATmega328.
- L'Arduino Mega2560, utilisations un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute la mémoire à 256 KBS. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision 3).
- L'Arduino Leonardo, avec un morceau ATmega3Ù4 qui élimine le besoin de raccordement d'USB et peut être employé comme clavier.

• L'Arduino Esplora : ressemblant à un contrôleur visuel de jeu, avec un manche et des sondes intégrées pour le bruit, la lumière, la température, et l'accélération [9].

### III.2.3. La carte Arduino Uno :

La carte Arduino Uno est basée sur un ATMega328 cadencé à 16 MHz. C'est la plus simple et la plus économique carte à microcontrôleur d'Arduino. Des connecteurs situés sur les bords extérieurs du circuit imprimé permettent d'enficher une série de modules complémentaires **(figure III.1)**.

- de 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)),
- de 6 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques),
- d'un quartz 16Mhz,
- d'une connexion USB,
- d'un connecteur d'alimentation jack,
- d'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"),
- et d'un bouton de réinitialisation (reset).

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur; Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB) [10].

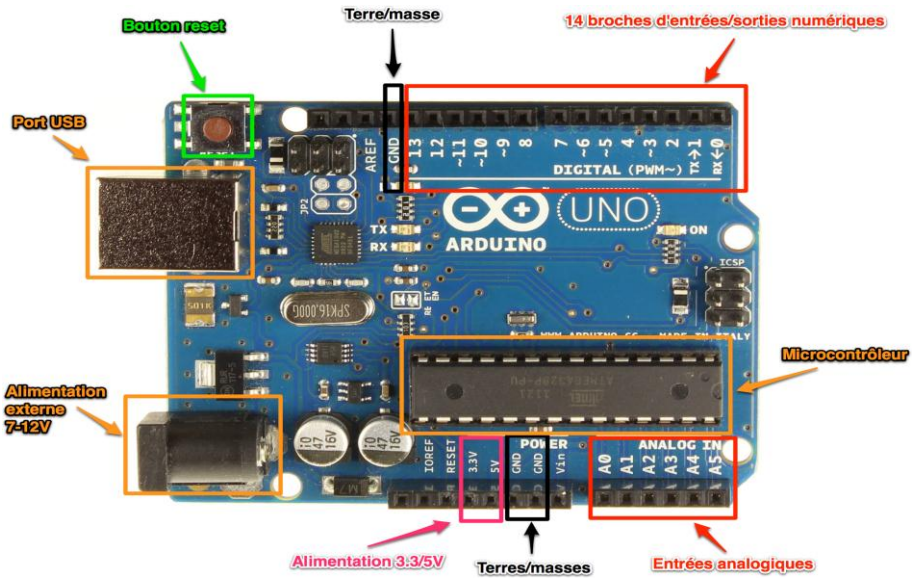



**Figure III.1 :** la carte Arduino Uno.

«Uno » signifie un en Italien et ce nom marque la venue prochaine de la version 1.0 du logiciel Arduino. La carte UNO et la version 1.0 du logiciel seront la référence des versions Arduino à venir. La carte Uno est la dernière d'une série de carte USB Arduino, et le modèle de référence des plateformes Arduino; pour une comparaison avec les versions précédentes [10].

### III.2.3.1. Caractéristiques techniques de la carte Arduino Uno

Le tableau III.1 montre les caractéristiques techniques de la carte Arduino Uno

| | |
|---|---|
| **Microcontrôleur** | ATmega328 |
| **Tension de fonctionnement** | 5V |
| **Tension d'alimentation (recommandée)** | 7-12V |
| **Tension d'alimentation (limites)** | 6-20V |
| **Broches E/S numériques** | 14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM) |
| **Broches d'entrées analogiques** | 6 (utilisables en broches E/S numériques) |
| **Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)** | 40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S) |
| **Intensité maxi disponible pour sortie 3.3V** | 50 mA |
| **Intensité maxi disponible pour la sortie 5V** | Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul |

**Tableau III.1 :** Caractéristiques techniques de la carte Arduino Uno.

### III.2.4. Le Microcontrôleur ATMega328

Un microcontrôleur ATMega328 est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit au temps des pionniers de l'électronique **(figure III.2)**. Aujourd'hui, en soudant un grand nombre de composants encombrants ; tels que les transistors; les résistances et les condensateurs tout peut être logé dans un petit boîtier en plastique noir muni d'un certain nombre de broches dont la programmation peut être réalisée en langage C [9].

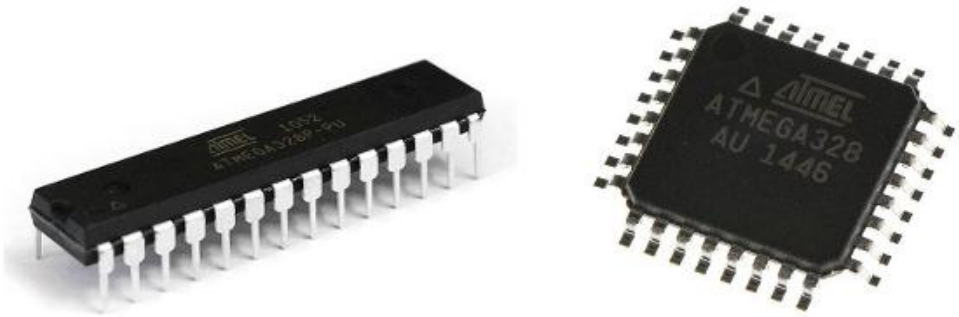



**Figure III.2 :** Microcontrôleur ATMega328 (composant classique et CMS)

### III.2.4.1. Caractéristiques technique de l'ATmega328

Le microcontrôleur ATMega328 est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée, on peut les citer comme suit :

- nombre de broches : 28
- Mémoire Flash : 32 ko (programmable par interface série)
- Mémoire Données EEPROM : 1 ko
- Mémoire Ram : 2 ko
- 32 registres de travail d'accès rapide
- Ports parallèles : 3 avec 23 broches E/S
- Fréquence d'horloge : 16 Mhz (maxi tolérée = 20 Mhz)

Donc 12 cycles d'horloge par microseconde

- Périphériques internes

- 6 convertisseur Analogique/Numérique 10 bits, comparateur analogique
- 1 timer 16 bits (T1), 2 timers 8 bits (T0, T2)
- 6 canaux PWM, 1 chien de garde (watchdog)
- SPC, USART, TWI (=I2C)

- 26 interruptions
- 5 modes d'économie d'énergie [11].

Le brochage de l'ATMega328 est démontré dans la **figure III.3**.

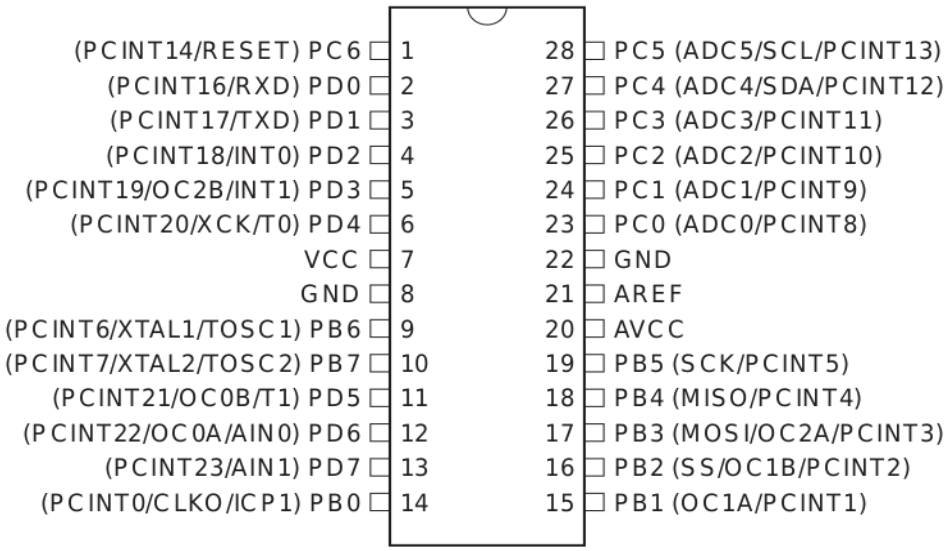



**Figure III.3 :** brochage de Microcontrôleur ATMega328 [11].

### III.2.5. L'environnement de développement IDE pour Arduino

L'environnement Arduino IDE est une plateforme de programmation conçu pour programmer en langage Arduino, l'IDE peut fonctionne sur Mac, Windows et Linux. C'est grâce à ce logiciel on peut créer, tester et envoyer les programmes sur l'Arduino.

La **figure III.4** montre la fenêtre principale de l'IDE pour Arduino.

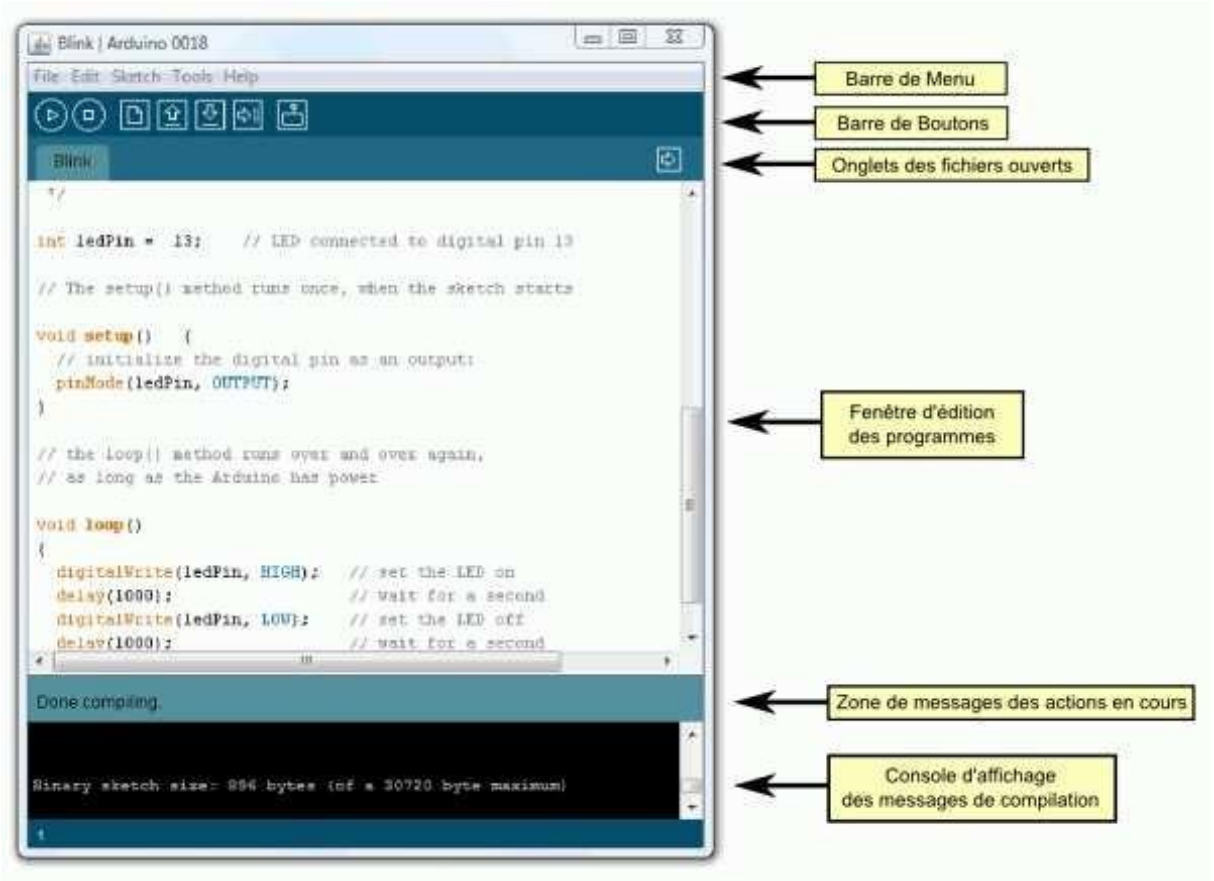



**Figure III.4** : fenêtre principale de l'IDE pour Arduino

Un programme Arduino est appelé un sketch, ce dernier est programmé en langage Arduino basé sur le C et le C++.

L'environnement Arduino IDE contient des icônes chacun de ces icones ayant ca fonction bien définit, on les cinq icones et leur fonction sont montré comme suit :

Vérifier (Verify) : vérifier les erreurs dans le code

Charge (Uploade) : compiler le code et charge le programme sur la carte Arduino

Nouveau (New) : créé un nouveau sketch

Ouvrir (Open) : ouvrir un des sketchs déjà présent

Sauvegarder (Save) : sauvegarder le sketch

Serial Monitor : permet d'accéder au port série (en RX/TX) [12].

### III.2.5.1. Structure d'un programme Arduino (sketch)

Le programme Arduino dans L'environnement de développement IDE s'exécute en suivant les étapes suivantes :

- Prise en compte des instructions de la partie déclarative
- Exécution de la partie configuration (fonction setup()),
- Exécution de la boucle sans fin (fonction loop()): le code compris dans la boucle sans fin est exécuté indéfiniment [12].

Finalement similaire au code suivant sur PC :

```
int main()
{
setup();
while(true)
loop();
}
```

La **figure III.5** montre comment un programme se déroule lorsqu'on l'exécute dans l'IDE Arduino.

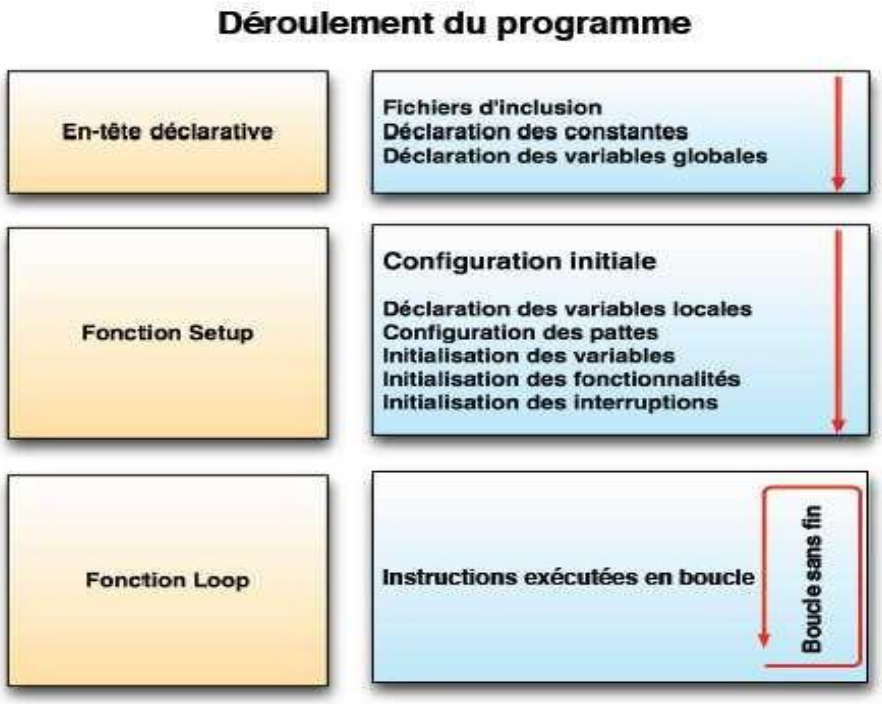



**Figure III.5 :** le déroulement du programme dans l'IDE Arduino

### III.2.6. Le capteur de température et d'humidité DHT22

Le capteur de température et d'humidité relative à sortie numérique DHT22 (également nommé AM2302) est un capteur qui utilise une technique exclusive de collecte de signal numérique et de technologie de détection d'humidité, assurant sa fiabilité et sa stabilité. Ses éléments de détection sont connectés à une puce unique 8 bits d'ordinateur [13].

La petite taille et la faible consommation et la longue distance de transmission (20m) permettant au DHT22 de s'adapter à toutes sortes d'application difficiles. Une seule rangée emballée avec quatre broches, ce qui rend la connexion très pratique **(figure III.6)**.

**Figure III.6 :** capteur DHT22

#### III.2.6.1. Caractéristiques techniques

Les Caractéristiques techniques du capteur DHT22 est résumé dans le tableau suivant :

| | |
|---|---|
| Model | DHT22 |
| Power supply | 3.3-6V DC |
| Output signal | digital signal via single-bus |
| Sensing element | Polymer capacitor |
| Operating range | humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius |
| Accuracy | humidity +-2%RH(Max +-5%RH); temperature <+-0.5Celsius |
| Resolution or sensitivity | humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius |
| Repeatability | humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius |
| Humidity hysteresis | +-0.3%RH |
| Long-term Stability | +-0.5%RH/year |
| Sensing period | Average: 2s |
| Interchangeability | fully interchangeable |
| Dimensions | small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm |

**Tableau III.2 :** Caractéristiques techniques du capteur DHT22 [13].

### III.2.7. Ecran LCD

LCD est l'abréviation anglaise de "liquid crystal display" qui veut dire : afficheur à cristaux liquides. L'écran LCD que nous allons utiliser est un écran permettant l'affichage de 16x2 caractères, c'est-à-dire deux lignes de 16 caractères **(figure III.7)**.

On voit bien en haut de l'afficheur, 16 marques de soudure. C'est une bonne façon de repérer les afficheurs compatibles avec la bibliothèque LCD. Ces afficheurs peuvent communiquer avec l'Arduino via cette bibliothèque.

**Figure III.7 :** écran LCD pour Arduino

### III.2.8. L'adaptateur I2C

Il est également connu sous le nom de module I2C. Il a un total de 20 broches males. 16 broches sont orientées vers l'arrière et 4 broches vers l'avant. Les 16 broches pour se connecter à un écran LCD 16x2 et les 2 broches sur 4 sont SDA et SCL. SDA est la broche de données série et SCL est la broche d'horloge. Le reste 2 broches pour l'alimentation (Vcc et mass) **(figure III.8)**. Il a un POT sur le module I2C. Nous pouvons contrôler le contraste de l'écran LCD en tournant ce POT. Et il y a un jumber fixé sur le module. Lorsque nous retirons le jumber, le rétroéclairage de l'écran LCD s'éteindra [14].

**Figure III.8** : adaptateur pour l'écran LCD

### III.2.9. Le module wifi ESP8266

ESP8266 est un module de système sur puce (SoC) compatible Wi-Fi développé par le système Expressif. Il est principalement utilisé pour le développement d'applications embarquées IoT (Internet des objets) [15].

Le module Wi-Fi ESP8266 permet la connectivité Internet aux applications embarquées. Il utilise le protocole de communication TCP/UDP pour se connecter au serveur/client (**figure III.9)**.

Le module Wi-Fi ESP8266 est doté de 6 broches :

3V3 : - Broche d'alimentation 3,3 V.

GND : - Broche de masse.

RST : - Broche de réinitialisation basse active.

FR : - Broche d'activation haute active.

TX : - Broche de transmission série de l'UART.

RX : - Broche de réception série de l'UART.

**Figure III.9 :** Le module Wi-Fi ESP8266.

#### III.2.9.1. Caractéristiques techniques de module Wi-Fi ESP8266

Le module Wi-Fi ESP8266 ayant les capacités suivant :

- Wi-Fi 2,4 GHz (802.11 b/g/n, prenant en charge WPA/WPA2),
- entrée/sortie polyvalente (16 GPIO),
- Protocole de communication série Inter-Integrated Circuit (I²C),
- conversion analogique-numérique (ADC 10 bits)
- Protocole de communication série SPI (Serial Peripheral Interface),
- Interfaces I²S (Inter-IC Sound) avec DMA (Direct Memory Access) (partage des broches avec GPIO),

- UART (sur des broches dédiées, plus un UART de transmission uniquement peut être activé sur GPIO2), et
- Modulation de largeur d'impulsion (PWM) [15].

### III.2.10. Module de commutation (MOSFET) IRF540 V4.0

MOSFET est un appareil électronique avec de bonnes caractéristiques de commutation. Il est largement utilisé dans les circuits, tels que la commutation des alimentations électriques, les entraînements des moteurs, le variateur d'éclairage, etc. Le relais est un autre type de module avec des caractéristiques de commutation. Puisque le relais fonctionne en fonction de contacts mécaniques pour ouvrir ou fermer. De cette façon, le relais cessera de fonctionner alors que le temps de commutation est trop court. Et le son papa produit par relais dans certaines situations est gênant **(figure III.10)**.

MOSFET ne peut être utilisé que pour contrôler le circuit cc, tel que l'écran, DC-LED et ainsi de suite, mais ne convient pas au contrôle du circuit AC.

Dans certains cas extrêmes, il peut être utilisé pour contrôler un circuit cc de 100V/33a. Cependant, il est suggéré que la tension cc contrôlée soit supérieure à 9V.

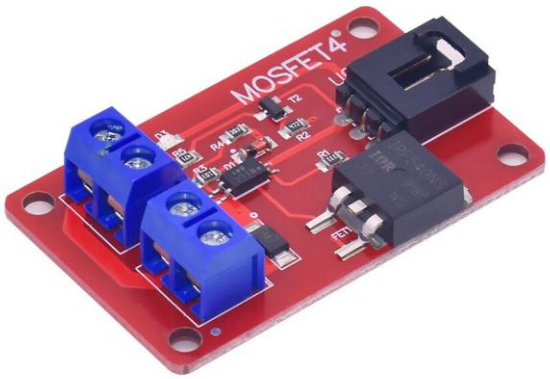



**Figure III.10** : MOSFET IRF540 V4.0

Un des principaux avantages des transistors MOSFET de puissance, c'est qu'ils nécessitent peu de puissance pour leur commande (ils sont grosso modo commandés en tension). Les imperfections des MOSFET sont principalement de deux types : Une résistance résiduelle à l'état passant (pas 0 Ohm comme un vrai fil) et le temps de commutation et pertes lors de ces

commutations. Plus la commutation est rapide, plus petite est la perte (dissipation pendant la transition de l'état passant à l'état bloqué ou inversement). Il est essentiel de dimensionner correctement le transistor MOSFET et d'optimiser la commande de sa grille pour minimiser ces pertes.

Les transistors MOSFET de puissance sont très largement des transistors canal N (NMOS), même dans des structures symétriques d'alimentations à découpage et de commande de moteur (pont en H ou demi-pont) [6].

### III.2.11. Le Peltier TEC1-12706

L'effet Peltier est exploité au cœur de ce que l'on nomme « les modules ou cellules Peltier. Un courant continu circule dans une succession de semi-conducteurs reliés entre eux. L'ensemble est pris en sandwich entre deux plaques d'un matériau conducteur de chaleur. L'une de ces plaques se charge positivement et s'échauffe. L'autre se charge négativement et refroidit **(figure III.11)** [17].

**Figure III.11** : Peltier TEC 12706.

L'utilisation la plus commune de l'effet Peltier se retrouve dans les petits systèmes de réfrigération ou dans les systèmes de refroidissement pour processeurs informatiques. Les laboratoires et hôpitaux emploient également des modules Peltier pour le refroidissement d'analyses biologiques ou le transport d'organes. D'autres secteurs qui demandent à la fois précision et fiabilité -- aéronautique, spatial, etc. -- exploitent aussi ce phénomène.

#### III.2.11.1. Caractéristiques techniques de Peltier TEC1-12706

-Type De puce: TEC1-12706

-Dimensions extérieures: 40*40*3.75mm

-Résistance interne: 2.1 ~ 2.4 (température ambiante de 23 ± 1 'C, test ca 1kHZ)

-La différence de température maximale: T-max (QC = 0) au-dessus de 59 'C.

-Courant de fonctionnement: Imax = 4.3-4. 6a (évalué à 12V)

-Tension nominale: 12V (V-MAX: 15V courant de démarrage 5,8 a)

-Puissance de refroidissement: QC max 55W

-Environnement de travail: plage de température-55 ° c ~ 83 ° c (une chute de température ambiante élevée affecte directement l'efficacité du refroidissement) [17].

### III.2.12. Planche à pain (breadboard)

Une planche à pain est utilisée pour construire et tester rapidement des circuits avant de finaliser un circuit motif. La planche à pain comporte de nombreux trous dans lesquels des composants de circuit tels que des circuits intégrés et des résistances peuvent être insérées. Une planche à pain typique est illustrée ci-dessous **(figure III.12).**

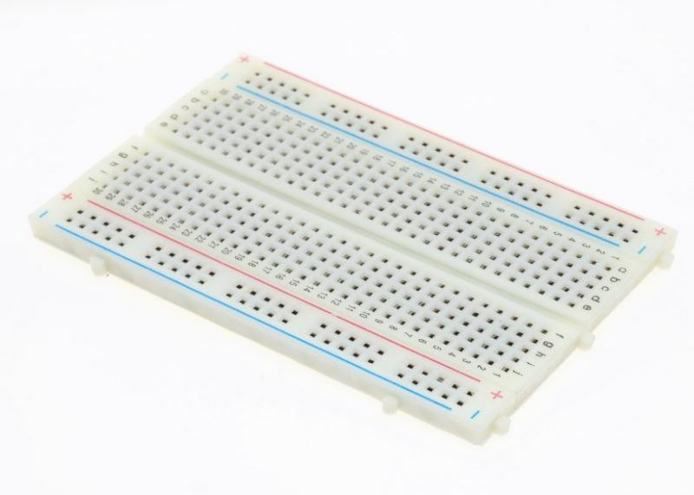


**Figure III.12** : la planche à pain

La planche à pain a des bandes de métal qui passent sous la planche et relient les trous sur le dessus du plateau. A noter que le haut et les rangées inférieures de trous sont connectés horizontalement tandis que les trous restants sont connectés verticalement.

Pour utiliser la planche à pain, les pieds des composants sont placés dans les trous. Chaque ensemble de trous reliés par une bande métallique en dessous forme un nœud. Un nœud est un point d'un circuit où deux composants sont connectés. Les connexions entre les différents composants sont formées en mettant leurs jambes dans un nœud commun.

La longue rangée de trous supérieure et inférieure est généralement utilisée pour les connexions d'alimentation. Là le reste du circuit est construit en plaçant des composants et en les connectant avec fils de liaison. Les circuits intégrés sont placés au milieu de la carte de sorte que la moitié des jambes soient sur une côté de la ligne médiane et la moitié de l'autre.

## III.3. PROTOTYPE

Le prototype est un hangar construit de panneau sandwich afin de diminuer l'influence extérieur de chaleur ou de froid et améliorer la conservation de température à l'intérieur de prototype **(figure III.13)**.

### III.3.1. Démenions

Le prototype ayant les dimensions suivant :

-La longueur =1m

-La largeur =57cm

-La hauteur =50cm

**Figure III.13** : prototype

### III.3.2. Eléments de prototype

Le prototype contient à l'intérieur les éléments suivants :

- les deux ventilateurs (avant et arrière)

-le système de chauffage

-Le système de froid

-le capteur de température et d'humidité DHT22

### III.3.2.1. Les ventilateurs

On a deux ventilateurs une en avant et l'autre en arrière assurent l'aération à l'intérieur de hangar

### III.3.2.2. Le système de chauffage

Le rôle de système de chauffage est de faire chauffer l'espace intérieur de le hangar lorsque la température mesuré est moins de la température désiré (consigne), est composé de trois éléments :

Le Peltier: est l'élément principale de chauffage il fonction lorsque il est alimenté du courant électrique il se chauffer d'une coté et se froid de l'autre côté, on utilise le coté qui est chauffé Pour faire le chauffage, pour cela on place la plaque de Peltier de tel sort que la surface froid on se place de côté extérieur du système de chauffage, et la surface chauffé on se place ver l'intérieur du système.

Les deux ventilateurs avant, et arrière de 12 v et 0.7A, sont utilisé pour exporter l'aire chauffée de système de chauffage à l'intérieur du hangar.

Le système de chauffage est illustré dans la **figure III.14**.

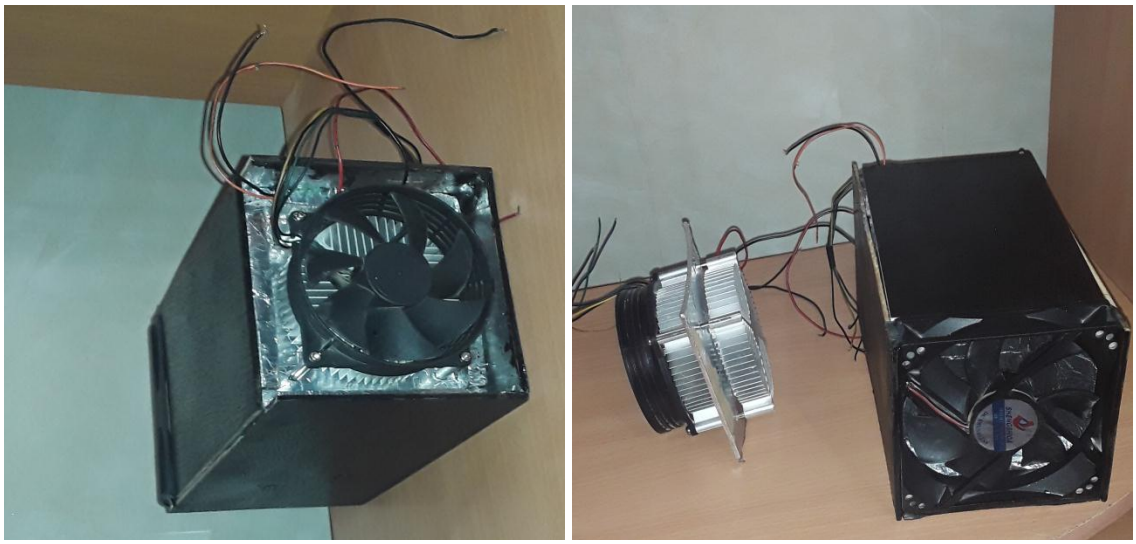


**Figure III.14** : système de chauffage

### III.3.2.3. Le dissipateur de chaleur

Le but d'utiliser le refroidisseur est dispatcher la température de la surface chauffé de Peltier pour faciliter le chauffage de l'aire à l'intérieur du système de chauffage.

### III.3.2.4. Système de froid

Même principe de système de chauffage mais cette fois ci, en inverse le sens de plaque de Peltier de tel sort que la surface chauffé on se place de côté extérieur du système de froid, et la surface froid on se place ver l'intérieur du système.

### III.3.3. L'armoire électrique

C'est l'élément le plus important dans le système de régulateur, c'est là où la commande se calcule et se transféré ver les éléments de commande (ventilateur, systèmes de chauffage, système de froid) .elle contient l'élément suivant :

-**La carte Arduino** : c'est le cœur de système qui contient le microcontrôleur ATmega328, sur laquelle on va implanter le contrôleur flou (programmé en langage arduino).

-**le module de wifi ESP 8266** : assure la connexion de la carte Arduino et le mobile avec l'application « Poultry ».

-**Le module I2C :** c'est l'adaptateur de l'écran LCD avec la carte Arduino.

-**L'écran LCD :** c'est lui qui affiche la valeur de température et d'humidité sur l'armoire électrique.

-**Le MOSFET 4 :** c'est le dispositif qui fait la commutation de l'alimentation des éléments de commande du système.

**Les sélectionneurs électriques :** fait le changement de mode de fonctionnement de régulateur manuel ou automatique.

**Les lampes électrique** : sont des lampes signalétique indique le mode de fonctionnement, il y a aussi une lampe qui s'allume en rouge lorsque une valeur de l'un des deux paramètres zootechniques dépasse l'intervalle acceptable.

**La planche à pain (breadboard) :** sur laquelle on monte la carte Arduino et le câblage des fils des composants électroniques

Tous ces éléments sont rassemblés et câblé dans l'armoire électrique, montré dans la **figure III.15**.

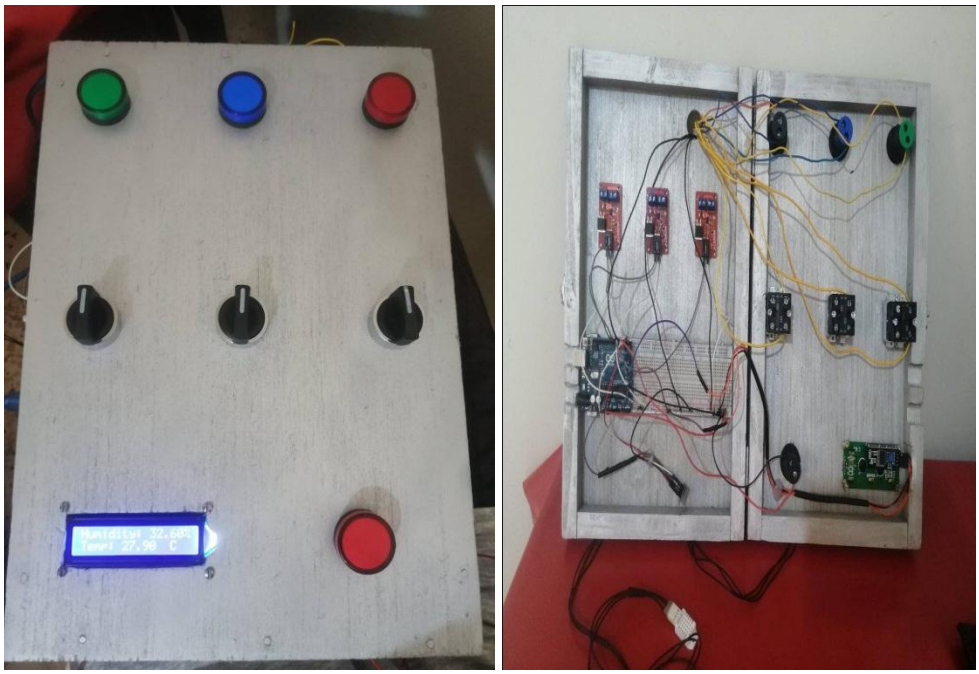


**Figure III.15 :** Armoire électrique de régulateur (photo de l'extérieur et de l'intérieur).

### III.3.4. Application de contrôle à distance « Poultry »

C'est l'élément qui donne notre régulateur un avantage très important, nous permettons de contrôler notre volailler à distance et de configurer les paramètres zootechnique (température et humidité), aussi cette application peut alerter l'éleveur en cas d'un problème, ou si la température dépasse par exemple consigne, c-t-dire la température désiré.

L'application que nous avons fait elle contient deux fenêtre, la première affiche la température et l'humidité réel (mesuré par le capteur DHT22), la deuxième fenêtre affiche la vitesse de ventilateurs et l'intensité de chauffage et l'intensité de froid, et il y a aussi les icones ou on peut accélère le chauffage ou décélère et la même chose pour les ventilateurs et le système de froid.

Quelques photos montrent les deux fenêtres de notre application « **Poultry** » illustrés dans la **figure**.

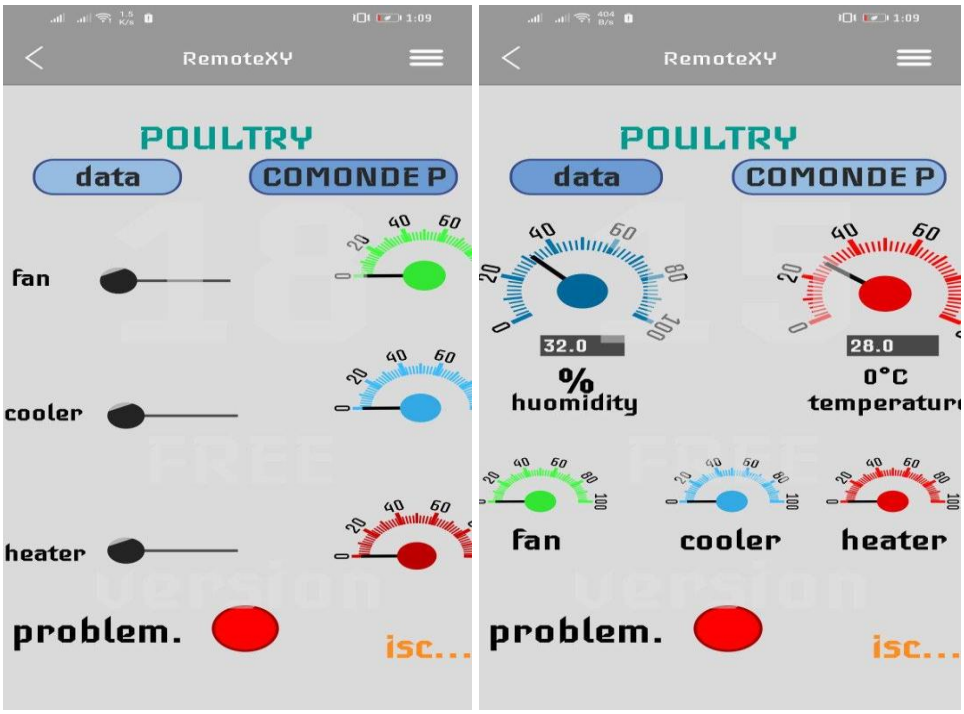



**Figure III.16** : les fenêtres de l'application **Poultry.**

L'application **Poultry** se programmer sur une plateforme online, qui s'appelle « **RemoteXY ».** On a programmé l'application sur cette plateforme, en suit nous avons apporté le code générer et l'injecter dans le programme Arduino principal, avec l'adaptation de ce code avec notre système.

La **figure III.17** montre la plateforme sur laquelle nous avons fait notre application

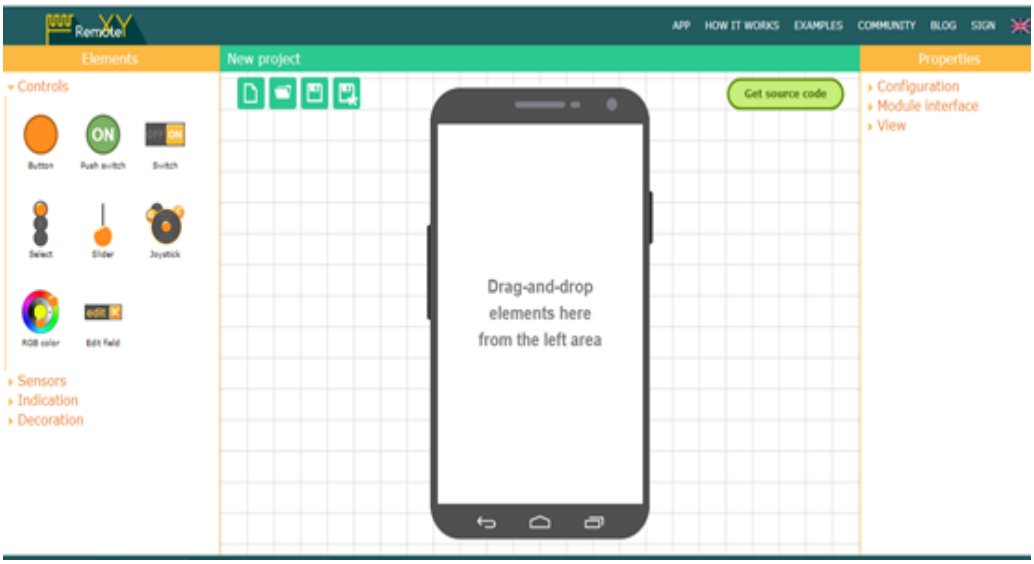



**Figure III.17** fenêtre principal de site **RemoteXY**.

## III.4. CONCEPTION DE REGULATEUR

Le régulateur que nous avons fait est conçu pour le contrôle des deux paramètres zootechniques les plus importants pour l'élevage de poulet de chair (température et d'humidité). La conception de notre régulateur est basée sur la logique floue comme systèmes de commande. Pour cela, le régulateur constitue d'un bloc de contrôle à base de logique flou (fuzzy logic) avec deux entrés (température et d'humidité) et trois sorties (ventilateurs, système de chauffage et système de froid).

### III.4.1. Variable linguistiques

Les variables linguistiques de notre régulateur sont : deux variables d'entrée et trois variables de sortie

- Variables linguistiques d'entrée :

- **Temperature** : est la température mesurée par le capteur de température.
- **Humidity** : est l'humidité mesurée par le capteur d'humidité.

- Variables linguistiques de sortie :

- **Fan** : est la tension électrique appliquée sur le ventilateur.
- **Heater** la tension électrique appliquée sur le système de chauffage.
- **Cooler** : est la tension électrique appliquée sur le système de froid.

### III.4.2. Univers de discourt

On choisit l'univers de discourt pour la température entre 10°c et 60°c, et l'humidité entre 0% et 100%.

Et l'univers de discourt de trois sorties sont :

- La tension électrique (voltage) de ventilateur entre 3v et 12v.
- La tension électrique (voltage) de système de chauffage entre 3v et 12v.
- La tension électrique (voltage) de système de froid entre 3v et 12v.

Les ensembles flous pour les cinq variables linguistiques sont illustrés dans le tableau suivant :

| Variables linguistiques | Ensembles flous | | | |
|---|---|---|---|---|
| Temperature | Low.temp | Medieum.temp | Normal.temp | Hight.temp |
| Humidity | Low.hum | Medieum.hum | Normal.hum | Hight.hum |
| Fan | Low.speed | Medieum.speed | Normal.speed | Hight.speed |
| Heater | Low.heating | Medieum.heating | Normal.heating | Hight.heating |
| Cooler | Low.cooling | Medieum.cooling | Normal.cooling | Hight.cooling |

**Tableau III.3** : ensembles flou des variables linguistiques de contrôleur.

### III.4.2. Implication sur Matlab

Pour facilite la synthèse du bloc de control on a utilisé la commande (fuzzy) sur Matlab, grâce à sa simplicité et sa fiabilité de conception des blocs de logique flou.

On a choisi le contrôleur flou de type Sugeno par ce qui il est plus efficace et robuste au traitement des systèmes numériques. Et la méthode de défuzzification qu'on a utilisé c'est la méthode « centroïde ».

Les **figure** de **III.18,** à **III.23** montre l'implication de notre contrôleur (flou) sur Matlab.

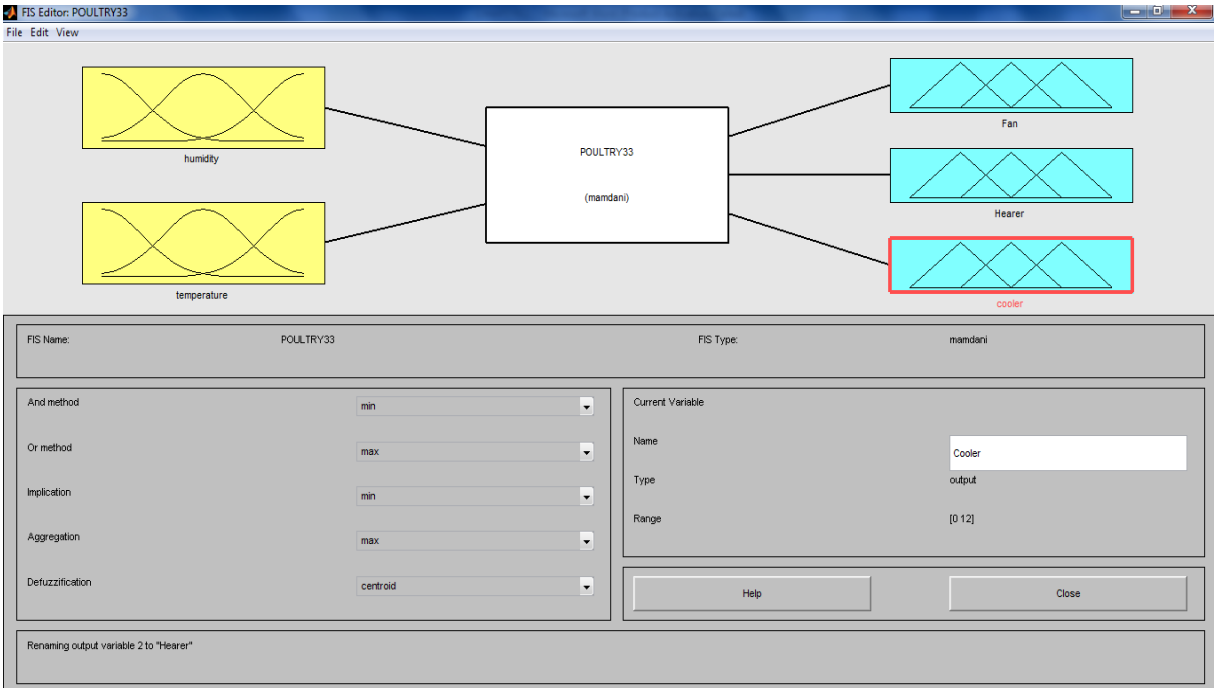



**Figure III.18** : le bloc (fuzzy) de notre contrôleur.

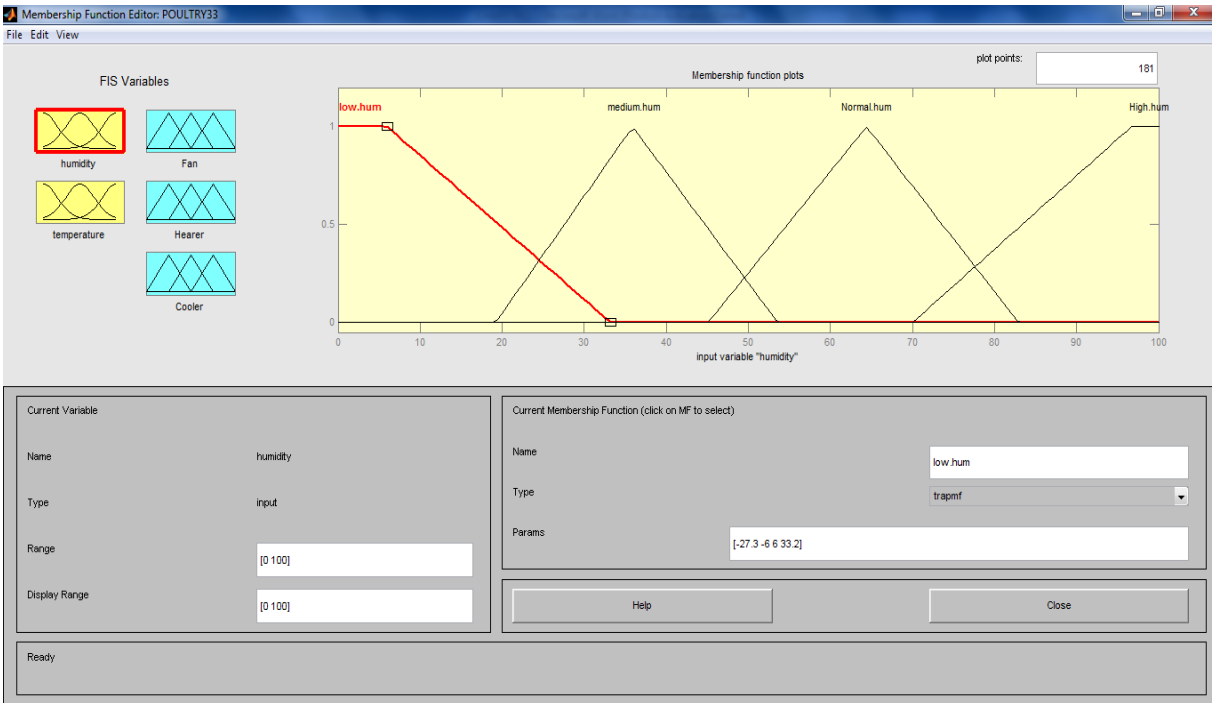



**Figure III.19** : ensembles flou pour la variable linguistique « Humidity ».

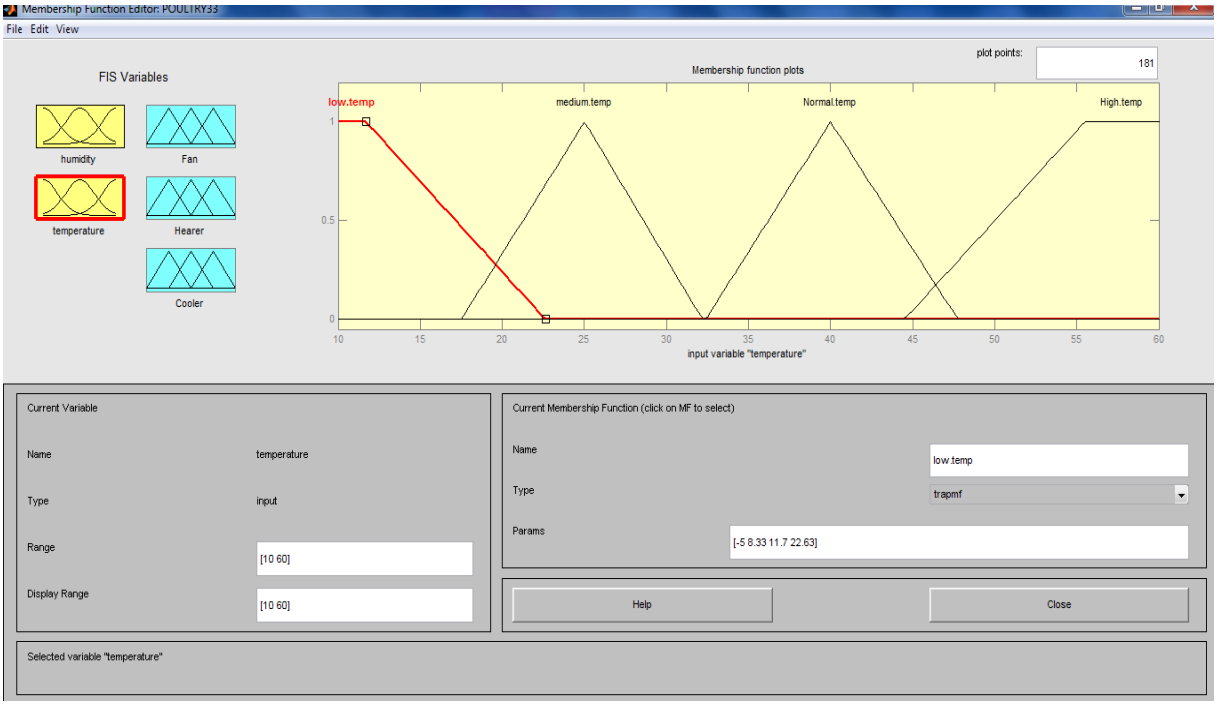



**Figure III.20** : ensembles flou pour la variable linguistique « température ».

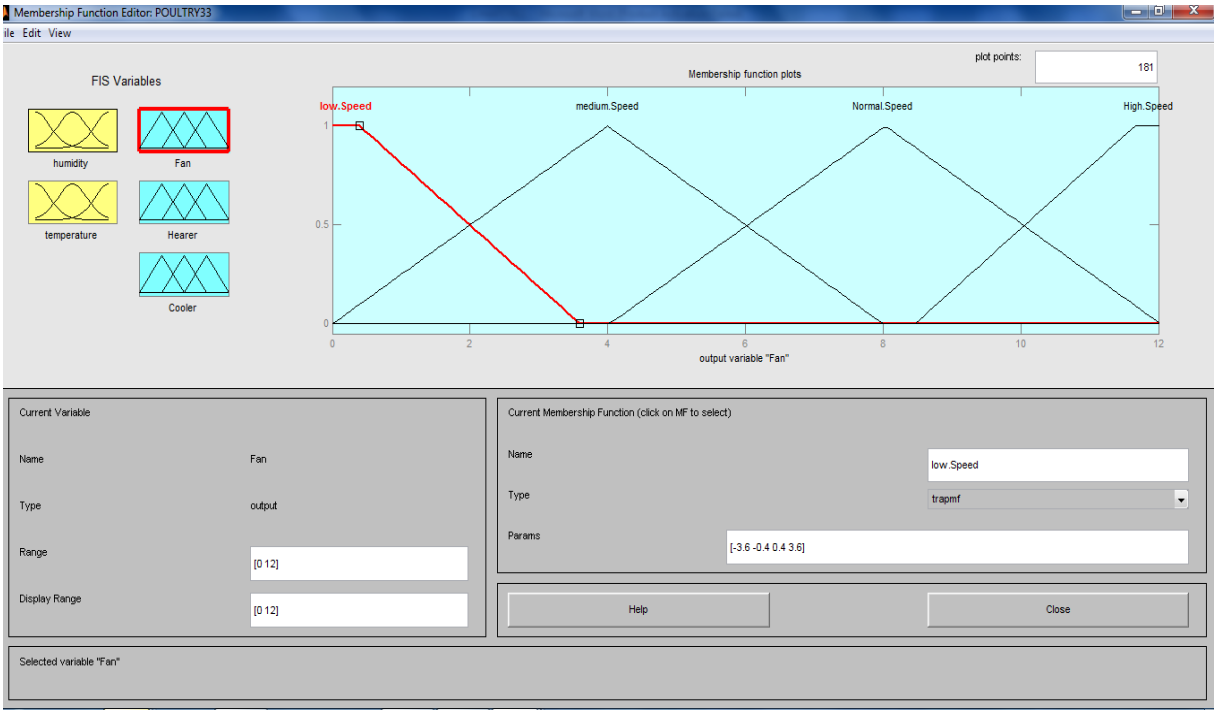



**Figure III.21** : ensembles flou pour la variable linguistique « Fan ».

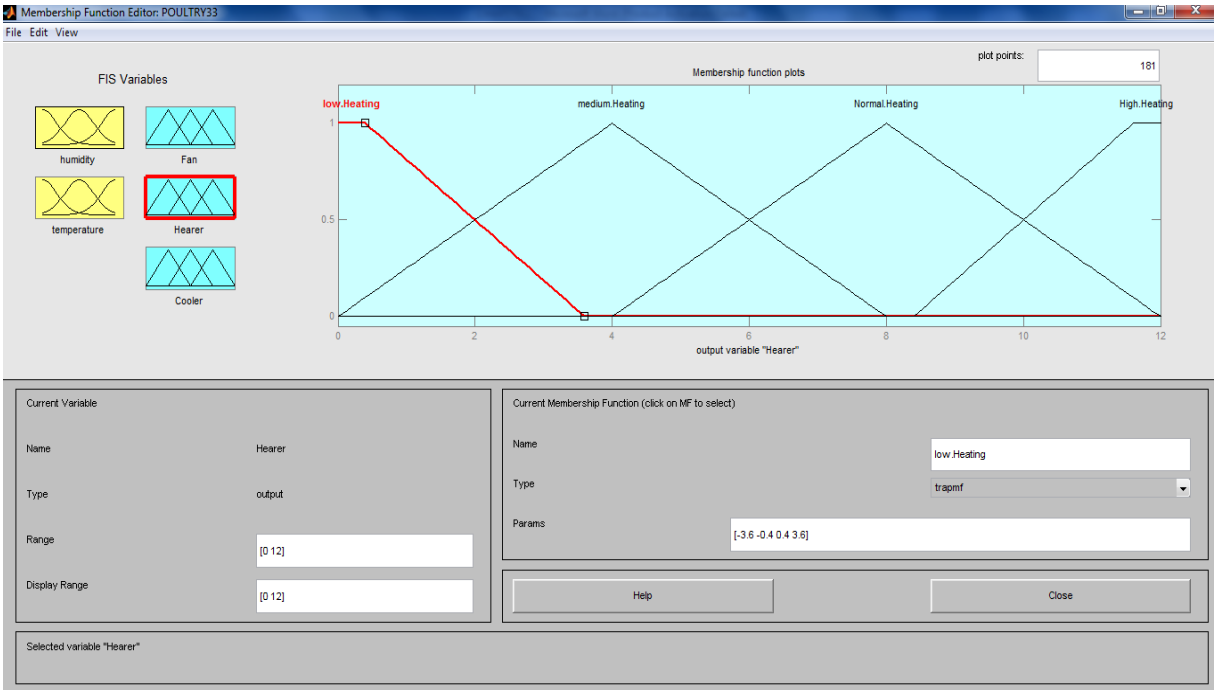



**Figure III.22 :** ensembles flou pour la variable linguistique « Heater ».

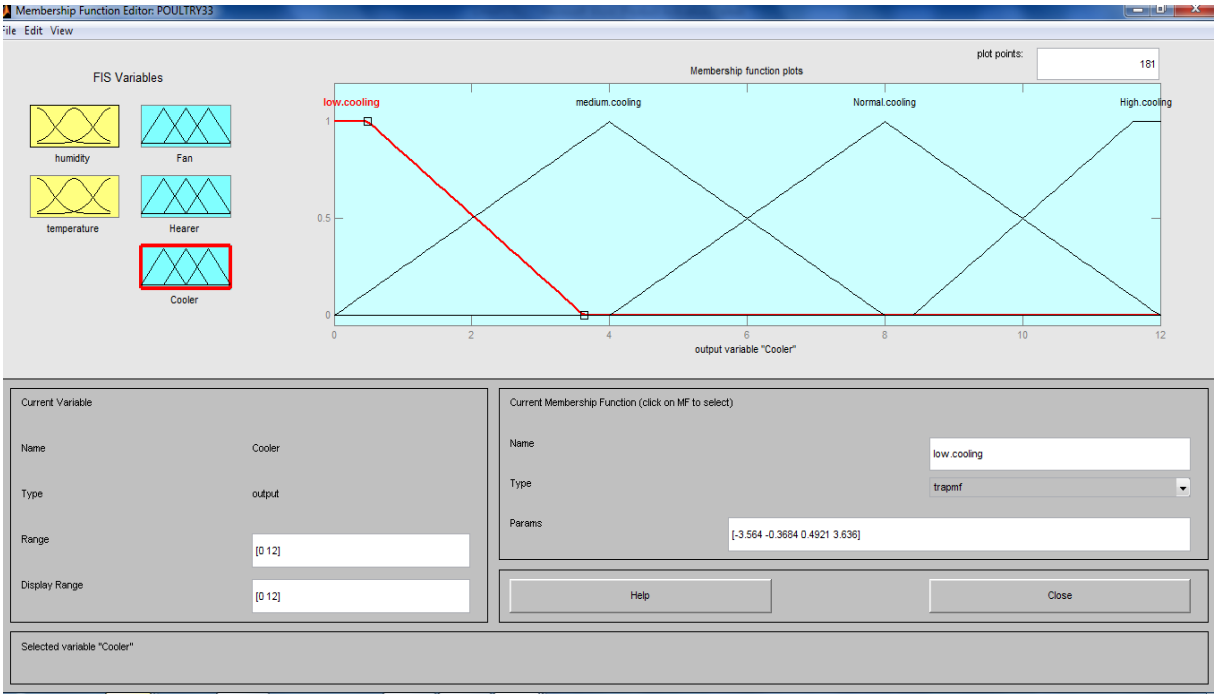



**Figure III.23 :** ensembles flou pour la variable linguistique « Cooler »

### III.4.3. Le contrôleur flou en langage arduino

L'IDE arduino a la capacité de programmer un système en logique flou avec l'implantation de bibliothèque « fis ». Pour programmer un contrôleur flou dans l'IDE il faut avoir des informations dures sur la programmation en langage arduino. Un site appelé MaKeProt nous facilite la conversion d'un bloc logique flou sous Matlab en langage arduino, La **figure** montre la fenêtre principale du site MaKeProt.

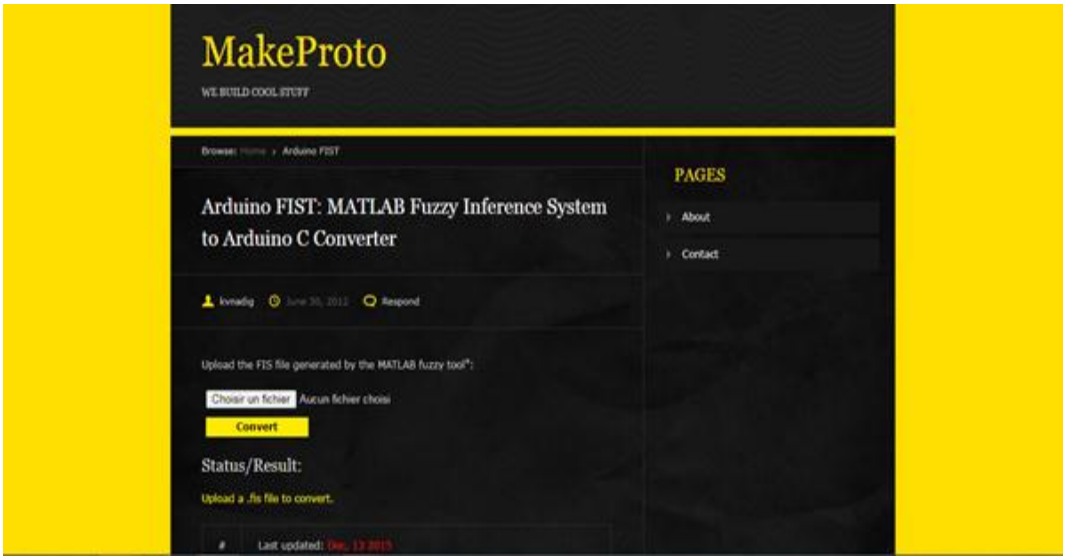



**Figure III.24** : fenêtre principal de site MaKeProt.

### III.4.4. Règles d'inférence

Les règles d'inférence de notre contrôleur sont basées sur l'expérience descriptive des aviculteurs en matière de contrôle et de suivi des paramètres techniques d'élevage pour les aviculteurs.

### III.4.5. Principe de fonctionnement de régulateur

Le contrôleur à logique floue représenté par l'Arduino, reçoit le signal "E" qui provient du capteur DHT22 via la broche d'entrée (broche2), et ce signal contient les valeurs mesurées pour la température et l'humidité. Le contrôle calcule la commande nécessaire pour atteindre les valeurs souhaitées pour les paramètres de l'élevage (température et humidité) et les exporte vers les éléments de commande (ventilateurs, système de chauffage, système de refroidissement) via les broches de sortie de la carte Arduino.

Le signal de commande est un signal PWM sorti des broches 3 5 6 générer par le microcontrôleur ATmega328. Chaque signal sera transmis au Mosfet4 qui alimente l'appareil à contrôler. Autrement dit, selon la commande provient de la carte Arduino via le signal PWM le Mosfet4 augmentera ou diminuera l'alimentation (tension) de l'élément à contrôler afin de régler la valeur mesurée égale à la valeur souhaitée pour chaque paramètre que ce soit la température ou l'humidité.

La **figure III.25** montre un schéma fonctionnel expliquant le principe de fonctionnement du régulateur.

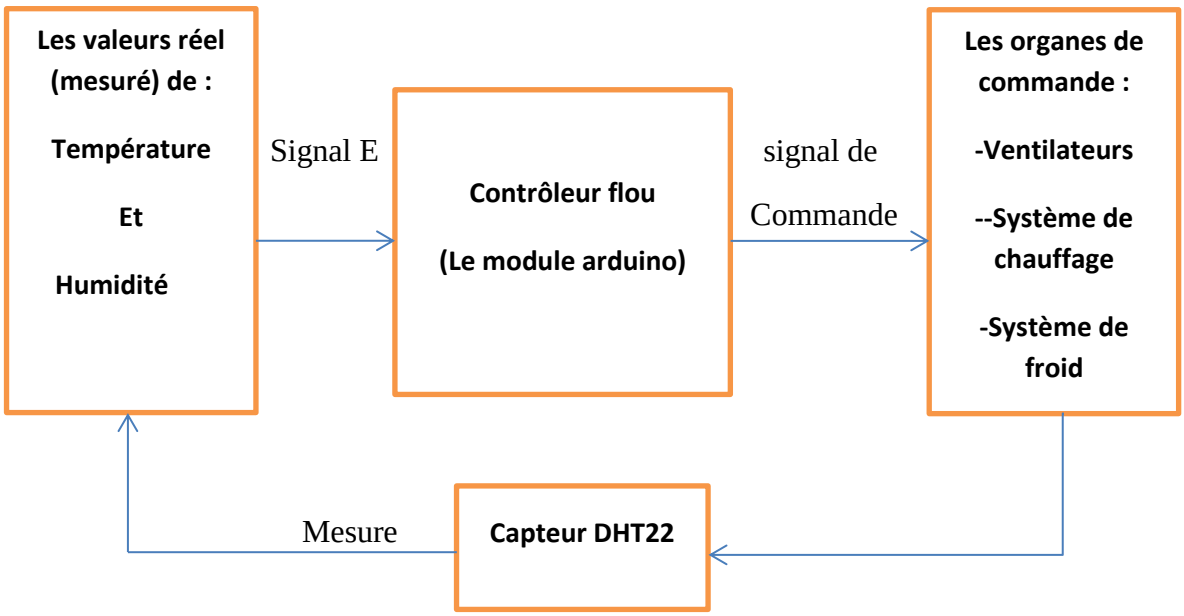



**Figure III.25** : schémas fonctionnel de régulateur de température et d'humidité en BF.

### III.4.6. Essais et résultats pratiques

Pour l'essai on a programmé la température désiré à 30cº et l'humidité désiré est programmé à 58%. Après démarrer le fonctionnement de système, nous constatons que le régulateur fonctionne bien et nous donne des résultats acceptables, et les valeurs obtenues des paramètres (température et humidité) sont très proche aux valeurs désirées (consigne). Ces résultats nous montrent que notre régulateur nécessite une amélioration des performances pour être plus précis.

Les figure 14 et 15 montre les résultats pratique des deux paramètres zootechniques après l'essai de notre régulateur (la consigne de température est 30cº et la consigne de l'humidité est 58 %).

L'afficheur LCD monté sur la carte arduino nous affiche la température désiré « TD » et la température réelle « Tem » et aussi l'humidité désiré « Hd » et l'humidité réelle « Hum » la **figure III.26** illustre l'affichage sur l'écran LCD.

L'IDE arduino nous permet d'afficher les signaux numériques via l'outil « COM ». La **figure III.27** montre deux courbes, le bleu c'est pour la température réelle et le rouge c'est pour l'humidité réelle. Les deux valeurs sont mesuré et transférer par le capteur DHT22.

**Figure III.26** : valeurs réelle et désiré de température et d'humidité sur l'écran LCD

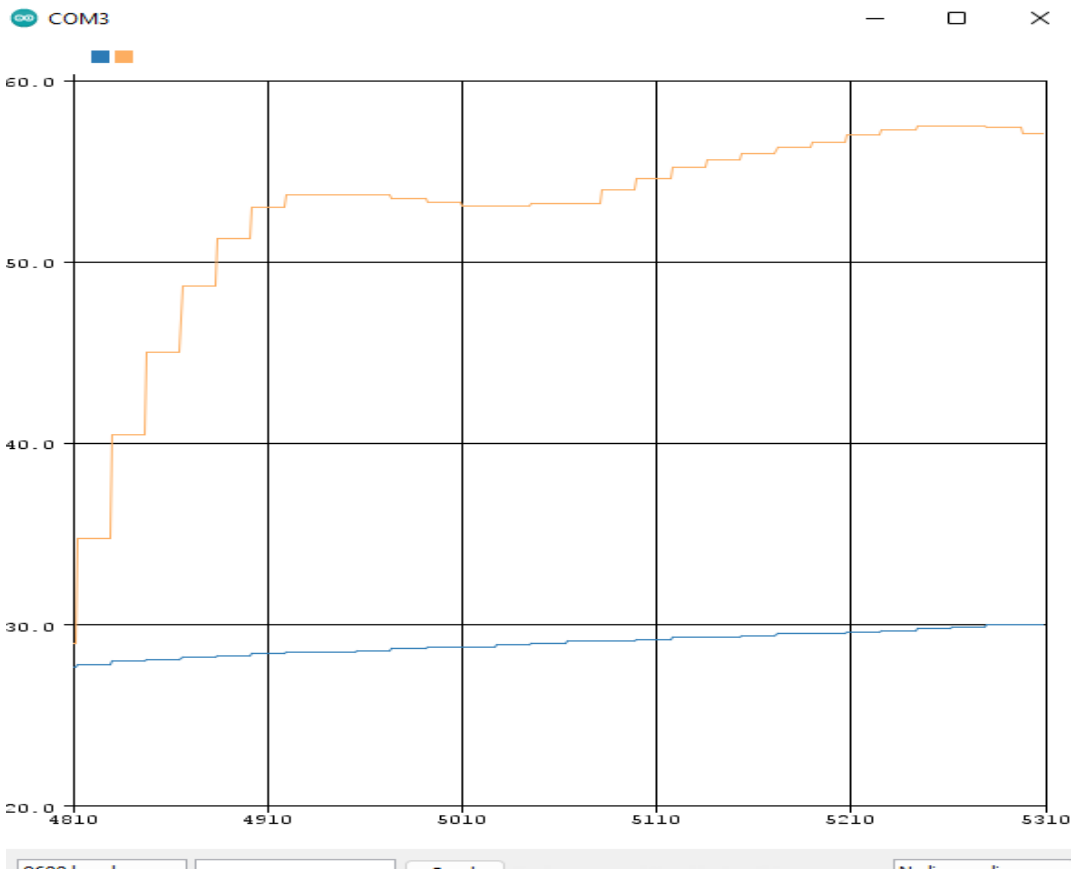



**Figure III.27** : courbes pour les valeurs réelles instantanées de température et d'humidité.

Les deux **figures III.28** et **III.29** montrent les résultats numériques correspondants aux valeurs réelles (mesurés) des deux paramètres zootechniques, la température et l'humidité.

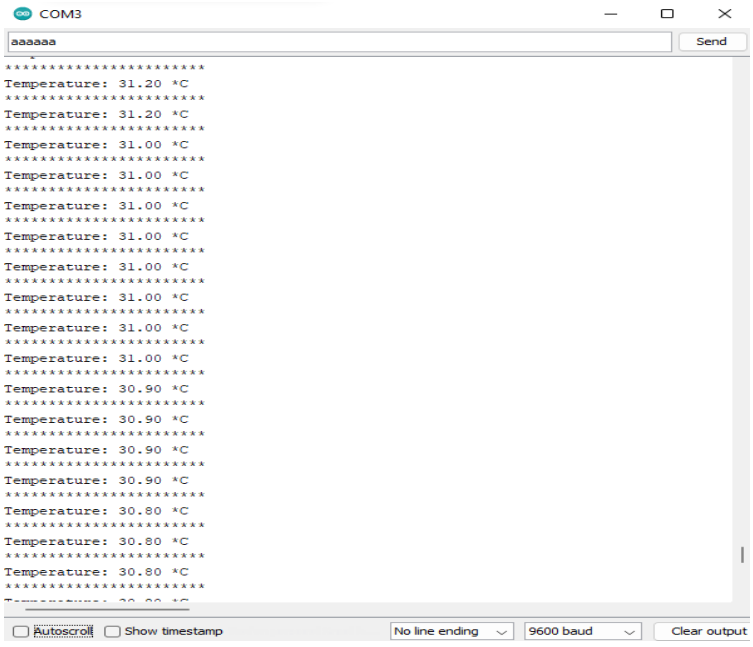



**Figure III.28** : résultat numérique pour la température mesuré

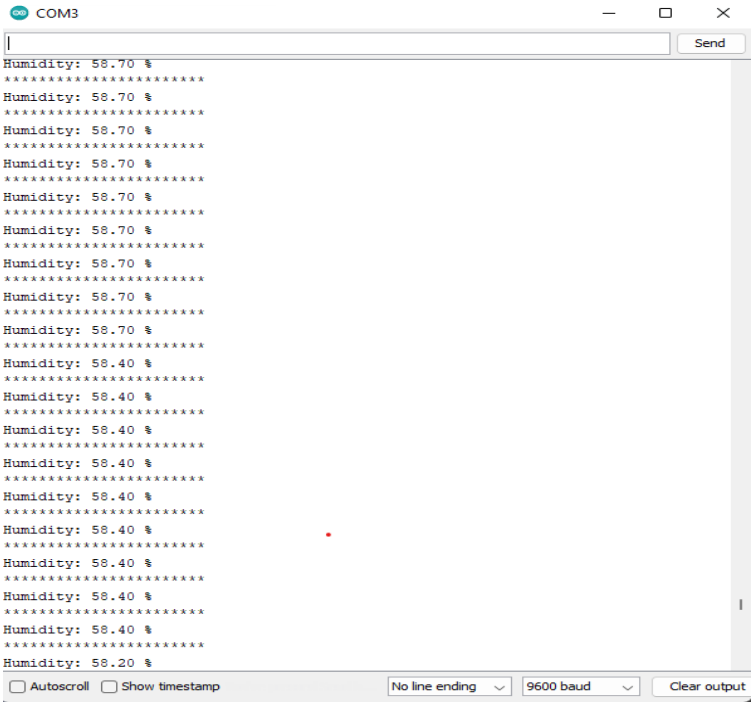



**Figure III.29** : résultat numérique pour l'humidité mesuré

## III.5.CONCLUSION

Dans ce chapitre on a présenté la conception matérielle on décryptant le prototype que nous avons fait et les déférents éléments électroniques utiliser pour la réalisation de notre système de régulation et leurs caractéristiques techniques. On a expliqué aussi le principe de fonctionnement de régulateur on perlon de la plateforme de programmation sur laquelle on a travaillé pour le développement du programme principal, et en suit l'application qui est utilisé pour le contrôle à distance de notre poulailler, on terminant par des essaies pratiques montrent le comportement de notre régulateur dans des conditions bien défini.

# Bibliographie

[1]-**KERMIA Sara et OUACHEM Amina,** Elevage de poulet de chair dans la région de Bouira « Enquête et suivi ». MEMOIRE DE MASTER 2020.

[2]-**BOUCHERB Samia**, Enquête sur des bâtiments d'élevage de poulet de chair durant la période de démarrage dans la région de Biskra. MEMOIRE DE MASTER .2019

[3]-**Arbor Acres,** Guide d'élevage de poulet de chair.

[4]-**PAGANI Clara, SADAOUI Akim,** introduction à la logique floue, CHABOT Simon.2011

[5]- http://www.teheran.ir/

[6]-**Matthieu Lescieux**, Introduction à la logique floue (fuzzy logic).

[7]- **Gabriel Cormier,** chapitre 11.la logique flou.

[8]- https://www.netinbag.com/.

[9]-**KRAMA Abdelbasset** et **GOUGUI Abdelmoumen** Etude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le système Androïde. MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2015.

[10]- http://www.mon-club-elec.fr/

11- https://www-lisic.univ-littoral.fr/

[12]- **coure4**. Introduction à Arduino

[13]-**Thomas Liu** (Business Manager), Digital-output relative humidity & temperature sensor/module.DHT22 (DHT22 also named as AM2302).

[14]- https://create.arduino.cc/

[15]-https://www.electronicwings.com/

[16]- https://www.astuces-pratiques.fr/

[17]-https://www.futura-sciences.com/