

*Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj*

**Faculté des Sciences et de la technologie**

**Département d'électronique**

# **Mémoire**

*Présenté pour obtenir*

**LE DIPLOME DE MASTER**

FILIERE : Électronique / Télécommunications

**Spécialité : Systèmes Embarquer / Systèmes des Télécommunications**

Par

- **Boudjouad Siham**
- **Harmouche Roumaissa**
  - **Madani Amira**
  - **Lalaoui Khaoula**
  - **Ben alia Ibtissam**
  - **Zemmit Mustapha**

*Intitulé*

***Système de surveillance et de contrôle des fermes avicoles  
Basé sur GSM et IoT***

***Soutenu le : 12/10 /2024***

***Devant le Jury composé de :***

<b><i>Nom &amp; Prénom</i></b>	<b><i>Qualité</i></b>	<b><i>Etablissement</i></b>
<b><i>Dr. Talbi Mohamed el Amin</i></b>	<b><i>Président</i></b>	<b><i>Univ-BBA</i></b>
<b><i>Dr. Ahmed Benameur</i></b>	<b><i>Encadreur</i></b>	<b><i>Univ-BBA</i></b>
<b><i>Dr. Zerrougui Abderaouf</i></b>	<b><i>Examineur</i></b>	<b><i>Univ-BBA</i></b>
<b><i>Dr.Saad Saoud</i></b>	<b><i>Examineur</i></b>	<b><i>Univ-BBA</i></b>

***Année Universitaire 2023/2024***

## *Remerciements*

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

*Nos remerciements vont tout d'abord à notre encadreur MONSIEUR  
« BENAMEUR Ahmed »*

*Qui a accepté de nous encadrer, ainsi que pour son soutien, ses encouragements, ses orientations et ses 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 en accepter de lire et juger ce travail.*

*Nous voudrions en fin remercier tous ceux qui nous ont accordé leurs aides et leurs encouragements de près ou de loin et Toute personne ayant de près ou de loin contribué à L'élaboration de ce travail un grand merci.*

## *Dédicace*

*Nous dédions ce projet à nos chers parents, pour leur soutien indéfectible  
tout au long de ce parcours académique.*

*À tous ceux que ils nous ont soutenus et ont faits de notre réussite une  
joie pour lui.*

*À nos amis, pour leur présence et leurs encouragements.*

*À nos professeurs, pour leur enseignement précieux et leurs conseils  
avisés. Ce travail est le fruit de vos efforts combinés, et nous vous en suis  
profondément reconnaissant.*

**TABLE DES MATIÈRES :**

**Remerciements**

**Dédicace**

<b>TABLE DES MATIÈRES :</b> .....	<b>I</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>V</b>
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	<b>1</b>
I.1. Introduction :.....	3

*chapitre I: l'aviculture en algerie*

I.2. Évolution de l'aviculture en Algérie :.....	3
I.3. L'élevage de poulets de chair : .....	3
I.4. Bâtiment d'élevage de poulet : .....	3
I.4.1. Présentation du bâtiment d'élevage : .....	3
I.4.2. Dimensions du bâtiment : .....	4
I.4.3. Conception du bâtiment :.....	5
I.4.4. Les équipements d'un bâtiment d'élevage :.....	5
I.5. Les paramètres zootechniques de l'élevage du poulet de chair :.....	7
I.5.1. Température : .....	8
I.5.2. Humidité : .....	9
I.5.3. Ventilation : .....	10
I.5.4. Éclairage : .....	11
I.5.5. Litière :.....	11
I.5.6. Ammoniac et gaz nocifs : .....	11
I.6. Conduite d'élevage avicole :.....	12
I.6.1. Phases de l'élevage avicole :.....	12
I.7. Hygiène et prophylaxie en élevage avicole: .....	16
I.7.1. Hygiène :.....	17
I.7.2. Prophylaxie :.....	17
I.8. Conclusion : .....	18

*chapitre II: GSM et IOT*

II.1. Introduction : .....	22
II.2. Internet des objets :.....	22
II.3. Historique : .....	22

---

II.4. Architecture de l'IOT : .....	24
II.5. Caractéristiques des systèmes IoT : .....	26
II.5.1. Internet des objets : .....	26
II.6. Les applications de l'IoT : .....	27
II.7. Protocoles et normes de mise en réseau pour l'Internet des objets : .....	28
II.8. Écosystème de l'IoT : .....	29
II.9. Protocoles de liaisons de données : .....	31
II.10. Protocoles de la couche session : .....	34
II.11. Le GSM : .....	38
II.12. Cas d'usages .....	38
II.12. conclusion: .....	40

***chapitre III: matériels et discussion des résultats***

III.1. Introduction : .....	45
III.2. Définition d'Arduino: .....	45
III.2.1. La carte Arduino Mega 2560 : .....	46
III.2.2. Caractéristique technique de la carte Arduino Mega 2560 : .....	46
III.3. Partie matérielle : .....	47
III.3.2. Les mémoires : .....	48
III.3.3. Les sources de l'alimentation de la carte .....	48
III.3.4. Entrées et sorties numériques : .....	49
III.3.5. Broches analogiques : .....	50
III.3.6. Autres broches : .....	50
III.3.7. Les Accessoires de la carte Arduino .....	50
III.3.8. Communication : .....	51
III.3.9. Module WiFiESP32 : .....	51
III.3.10. Capteur DHT11 : .....	53
III.3.11. Qu'est-ce qu'une horloge en temps réel (RTC ds1307) ? .....	55
III.3.12. les actionneurs: .....	57
III.3.13. Ecran lcd : .....	58
III.3.14. Le module à ultrasons (HC-SR04) .....	59
III.3.15. Pont en H L298N : .....	60
III.3.16. Commande : .....	60
III.3.17. La photorésistance ou LDR : .....	61
III.4. partie logicielle : .....	62
III.4.1 Plateforme de programmation Arduino : .....	62
III.4.2. Proteus: .....	65

---

III.5. Les démarches de conception de notre poulailler intelligent : .....	66
III.5.1. Réalisation du prototype : .....	66
III. 5.2. Réalisation de la carte de traitement : .....	69
III. 5.3. Schéma électrique de la carte de traitement : .....	69
III.5.6. Affichage final du contrôleur : .....	69
III.6. Présentation des fonctions du système : .....	69
III.6.1. Fonction de contrôle et de surveillance : .....	70
III.6.2. Fonction de gestion de l'humidité : .....	70
III.6.3. Fonction de gestion de température : .....	70
III.6.4. Commande le niveau d'eau : .....	71
III.6.5. L'éclairage : .....	71
III.6.6. Fonction d'envoi de SMS : .....	71
III.6.7. . Fonction d'alerte : .....	72
III.7. L'organigramme.....	73
III.8. Conclusion : .....	75
CONCLUSION GENERALE:.....	79
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>87</b>

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau I.1. Densité a l'intérieure de bâtiments selon le type de production.....	5
Tableau I.2. Température idéale pour les poussins en fonction de leur âge .....	9
Tableau I.3. Les normes Humidité optimale.....	10
Tableau I.4. Taux de ventilation minimale. ....	10
Tableau I.5. Programme de lumière recommandé .....	11
Tableau II.1. Les groupes des applications IoT .....	28
Tableau II.2. Comparaison des normes de la couche de transport IOT.....	37
Tableau III.1. Constitution de la carte Arduino Mega 2560 .....	47
Tableau III.2 : Les Caractéristiques du module ESP32 .....	52
Tableau III.3. Caractéristique de capteurs DHT11 .....	53

---

## **LISTE DES FIGURES**

Figure I.1. Exemple d'un bâtiment d'élevage.....	4
Figure I.2. Les différents équipements de bâtiment d'élevage .....	7
Figure I.3. Les interactions entre les paramètres de l'ambiance climatique.....	8
Figure I.4. La température effective de thermique (poulet de chair).....	9
Figures I.5. Les principaux facteurs conduisant à la formation d'ammoniac.....	12
Figures I.6. Emplacement de la garde.....	14
Figure I.7. Comportement des oiseaux face aux différentes températures d'élevage.	15
Figure I.8. Le poulailler en phase de démarrage.....	15
Figure I.9. Le poulailler en phase de croissance.....	16
Figure I.10. Le poulailler en phase de finition.....	16
Figure II.1. Phases d'évolution de l'Internet .....	23
Figure II.2. Architecture globale d'IOT.....	25
Figure II.3. Modèle de l'écosystème IOT.....	30
Figure II.4. Couche D'interconnexion d'IOT.....	30
Figure II.5. Caractéristique de protocoles.....	33
Figure III.1. Description de la carte Arduino MEGA 2560.....	47
Figure III.3. Carte ESP32. ....	48
Figure III.4. Capteur DHT11 .....	52
Figure III.5. Connexion du capteur LM35.....	53
Figure III.6. ARDOUINO MEGA2560 avec DH11 ou DH122 sensor.....	53



Figure III.7. Horloge en temps réel (RTC ds1307).....	55
Figure III.8. Ecran lcd.....	56
Figure III.9. Le module à ultrasons (HC-SR04).....	59
Figure III.10. Pont en H L298N.....	60
Figure III.11. Commande .....	61
Figure III.12. La photorésistance ou LDR .....	61
Figure III.13. Plateforme de programmation ARDUINO.....	62
Figure III.14. L’interface du logiciel arduino .....	63
Figure III.15. Les boutons du logiciel de programmations.....	63
Figures III.16. Réalisation du prototype. ....	68
Figure III.17. Le schéma électrique et la réalisation pratique de la carte de traitement. ....	68
Figure III.19. Fonction d'envoi de SMS .....	70
Figure III.20. Affichage de température et d’humidité.....	72

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**Iot**: Internet of thing

**GSM** : Global systeme for mobile communication.

**M2M** : Machine à Machine.

**TCP** : Protocole de Contrôle de Transmission.

**IP** : Protocole Internet.

**IBSG** : Groupe de Solutions pour le Business Internet.

**QoS** : Qualité de Service.

**ADSL** : Ligne d'Abonné Numérique Asymétrique.

**XDSL** : Ligne d'Abonné Numérique

**TISPAN** : Télécommunications et Services Internet Convergents pour Réseaux Avancés.

**LTE-A** : Évolution à Long Terme Avancée.

**IEEE** : Institut des Ingénieurs Électriciens et Électroniciens.

**IETF** : Groupe de Travail sur l'Ingénierie de l'Internet.

**UIT** : Union Internationale des Télécommunications.

**UDP** : signifie Protocole de Datagramme Utilisateur.

**MQTT** : Protocole de Transport de Télémétrie par Files d'Attente de Messages.

**IBM** : International Business Machines.

**OASIS** : Organisation pour l'Avancement des Normes d'Information Structurée.

**AMQP**: Advanced Message Queuing Protocol.

**CoAP** : Protocole d'Application Contraint.

**IETF** : Groupe de Travail sur l'Ingénierie de l'Internet.

**XMPP** : Protocole de Messagerie et de Présence Extensible.

**SDN** : Réseau Définie par Logiciel.

**XML** : Langage de Marquage Extensible.

**DDS** : Service de Distribution de Données.

**OMG** : Object Management Group.

**BSS** : Système de Station de Base.

**NSS** : Système de Commutation de Réseau.

**OSS** : Système de Support aux Opérations.

**RTC** : Réveil de Temps Réel.

# *Introduction générale*

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

L'aviculture est l'une des principales industries alimentaires en Algérie, où les normes environnementales sont essentielles pour produire de la volaille et des produits dérivés de haute qualité. La santé des volailles, un facteur crucial, doit être rigoureusement surveillée, car les maladies peuvent facilement se propager au sein du troupeau. Traditionnellement, l'élevage de volailles était un processus manuel et exigeant en main-d'œuvre, mais l'évolution des technologies, notamment le GSM, qui permet la transmission de la voix, des messages texte et des données via un réseau cellulaire, et l'Internet des objets (IoT), a révolutionné ce secteur.

L'IoT intègre tous les appareils dans un réseau, offrant ainsi de vastes opportunités pour la surveillance et le contrôle automatisé de l'environnement des fermes avicoles. En installant des capteurs à différents endroits, il devient possible de recueillir des données environnementales en temps réel, de les analyser selon des seuils prédéfinis, et d'ajuster automatiquement les paramètres nécessaires pour maintenir un environnement optimal pour les volailles.

Les microcontrôleurs, qui font partie des systèmes IoT, permettent de communiquer et de transmettre des données à distance, réduisant ainsi les erreurs manuelles. Parmi les paramètres clés à surveiller dans une ferme avicole figurent la lumière, la température, l'humidité et la détection d'objets. Une lumière adéquate, une température et une humidité contrôlées sont indispensables pour assurer la croissance saine des volailles. Par exemple, un éclairage de 16 heures par jour est crucial pour le développement des oiseaux, tandis qu'une régulation de la température et un approvisionnement en eau sont nécessaires pour éviter la déshydratation causée par une chaleur excessive.

Notre recherche propose un prototype de technologie moderne qui transforme une ferme avicole traditionnelle en une ferme intelligente. En analysant minutieusement l'environnement d'une ferme avicole, nous avons identifié des mesures qui, sans bouleverser le cadre existant, permettent de le remodeler pour créer une ferme automatisée et intelligente. Cette transformation promet d'augmenter la production et d'améliorer les bénéfices pour les acteurs de cette industrie.

*Chapitre I :*

*L'aviculture en Algérie*

## **I.1. Introduction :**

La volaille représente une source précieuse et économique de protéines animales, particulièrement pour les pays en voie de développement. Cette importance a conduit à un développement rapide de l'aviculture à l'échelle mondiale au cours des trente dernières années. Cependant, l'élevage de poulets de chair est confronté à de nombreux défis, notamment des problèmes sanitaires et pathologiques souvent liés aux conditions d'élevage. Dans ce chapitre, nous allons d'abord examiner l'évolution de l'aviculture en Algérie. Nous évoquerons brièvement la politique algérienne depuis l'indépendance jusqu'à nos jours en ce qui concerne le secteur avicole. Ensuite, nous décrirons les bâtiments d'élevage, leurs équipements, et le processus de production, ainsi que les conditions climatiques ambiantes les plus cruciales pour la croissance des volailles. Nous concluons ce chapitre avec des règles d'hygiène et des programmes de protection médicale et prophylactique appliqués dans le secteur avicole.

## **I.2. Évolution de l'aviculture en Algérie :**

Depuis l'indépendance de l'Algérie, diverses phases chronologiques ont marqué le développement de la filière avicole. L'aviculture familiale était bien intégrée dans la majorité des systèmes agricoles.

## **I.3. L'élevage de poulets de chair :**

Avant de se lancer dans ce projet, il est essentiel de comprendre les méthodes et principes d'élevage. Pour cela, nous avons effectué de nombreuses visites sur le terrain dans des bâtiments spécialisés pour les poulets afin de les explorer et de mieux les comprendre. Ce chapitre offre un aperçu de tout ce que nous avons appris de ces expériences.

## **I.4. Bâtiment d'élevage de poulet :**

### **I.4.1. Présentation du bâtiment d'élevage :**

Les bâtiments d'élevage de volailles sont conçus pour abriter les volailles, les protégeant des facteurs externes et créant un environnement adapté à leurs besoins pour garantir une meilleure qualité de produit.



Figure I.1. Exemple d'un bâtiment d'élevage

#### I.4.2. Dimensions du bâtiment :

Selon les recommandations, les dimensions des bâtiments d'élevage sont les suivantes : [1]

- ✓ **Surface et densité** : La surface est déterminée en fonction du nombre de volailles à installer, avec une densité de 10 à 15 poulets par mètre carré. En hiver, l'isolation devient un facteur déterminant, car si la température baisse, la litière ne pourra pas sécher correctement.
- ✓ **Largeur** : La largeur est liée aux exigences de ventilation efficace. Elle varie entre 8 et 15 mètres. Pour les bâtiments de 6 à 8 mètres de largeur, une conception à une seule pente est envisagée. Pour ceux de 8 à 15 mètres, une conception à double pente avec lanterneau d'aération en partie supérieure est recommandée.
- ✓ **Longueur** : La longueur dépend du nombre de volailles à loger. Par exemple, un bâtiment de 8 mètres de large et 10 mètres de long peut accueillir environ 1200 poulets, avec une partie dédiée au stockage des aliments.
- ✓ **Hauteur** : La hauteur dépend du système de chauffage utilisé et varie entre 5 et 6 mètres.
- ✓ **Distance entre deux bâtiments** : La distance minimale entre deux bâtiments ne doit pas être inférieure à 30 mètres pour limiter les risques de contamination lors d'une maladie contagieuse. Plus les bâtiments sont proches, plus les risques de



contamination sont élevés. Il est donc essentiel de prévoir un terrain suffisamment vaste pour espacer correctement les bâtiments.

Les dimensions d'un bâtiment (largeur, hauteur, surface ouverte) sont principalement déterminées par le type de production et le nombre maximal de volailles par bâtiment.

Tableau I.1. Densité a l'intérieure de bâtiments selon le type de production.

type	Poulet de chair	Poules pondeuses	dinde
Densité	8 a 10 poulets / m <sup>2</sup>	7 a 8 poulettes/ m <sup>2</sup> au sol 30 a 50 poulettes/ m <sup>2</sup> en cage	4 à 6 dindonneaux/m <sup>2</sup>

#### I.4.3. Conception du bâtiment :

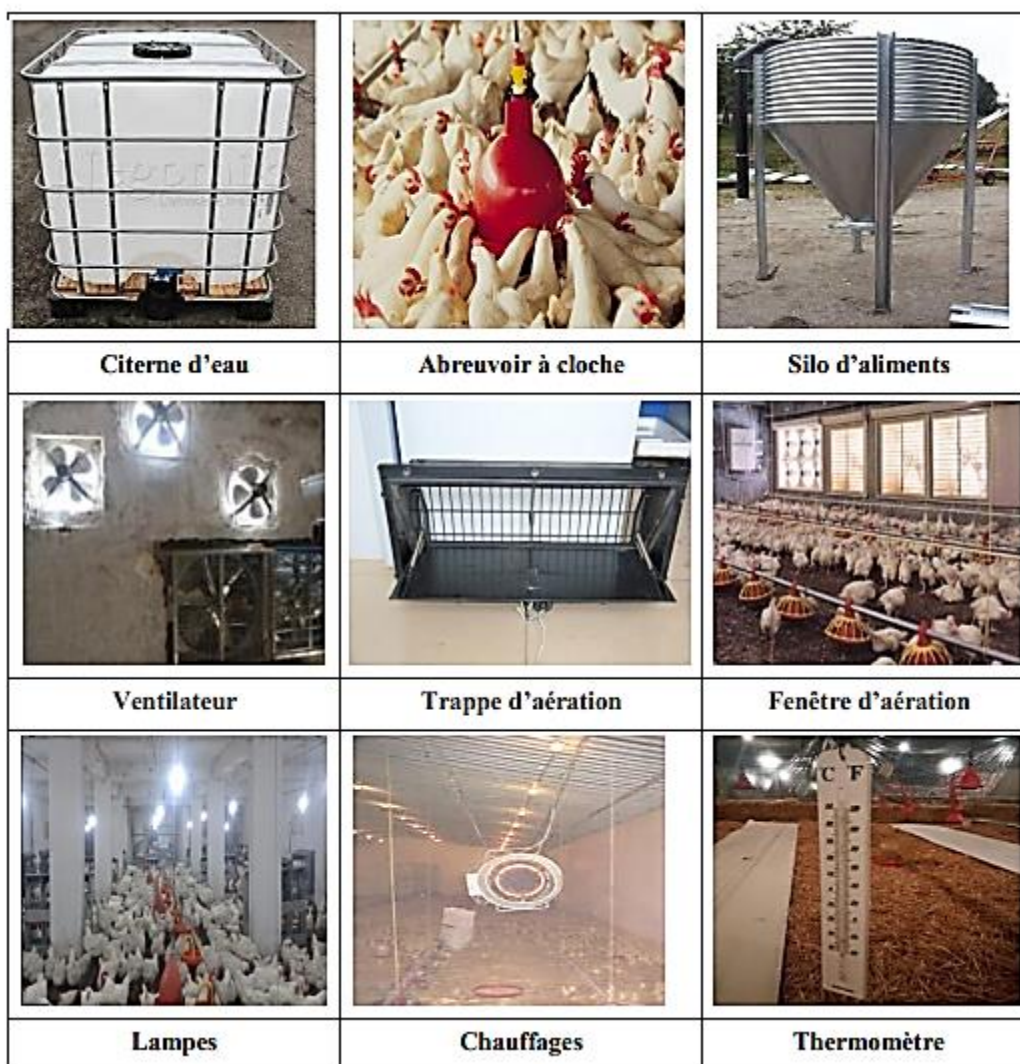
- ✓ **Le sol** : Un sol en ciment est préférable à un sol en terre battue car il facilite le nettoyage, la désinfection et protège la litière contre l'humidité du terrain. [2]
- ✓ **Fenêtres** : La surface totale des fenêtres doit représenter 1/10 de la surface totale du sol. Elles sont placées sur les deux longueurs opposées du bâtiment pour permettre une bonne ventilation. Si la ventilation dynamique est utilisée, les entrées et sorties d'air sont calculées proportionnellement au débit des ventilations. [2]
- ✓ **Portes** : Généralement placées sur la face large du bâtiment, elles sont en tôle ou en bois.

#### I.4.4. Les équipements d'un bâtiment d'élevage :

Les équipements techniques d'un bâtiment d'élevage comprennent principalement :

- ✓ **Citerne d'eau** : Fournit en permanence de l'eau propre aux volailles, car l'eau est leur premier aliment (elles boivent presque deux fois plus qu'elles ne mangent).
- ✓ **Abreuvoirs à cloche** : Mangeoires en forme d'assiettes plastiques creuses, permettant un accès optimal à l'aliment pour les volailles. Elles sont disponibles en plusieurs tailles selon l'âge et la hauteur des animaux.
- ✓ **Silo d'aliments** : Réservoir de stockage pour la nourriture des volailles, présent dans chaque bâtiment.

- ✓ **Ventilateurs** : Apportent l'oxygène nécessaire aux poulets et évacuent les gaz (ammoniac, CO<sub>2</sub>, vapeur d'eau) résultant de la respiration et des fermentations de la litière.
- ✓ **Trappes et fenêtres d'aération** : Jouent un rôle important pour assurer une circulation d'air régulière sur la longueur du bâtiment.
- ✓ **Lampes** : Éclairage spécial pour les animaux dans le poulailler.
- ✓ **Chauffages** : Utilisés pour chauffer les poussins pendant l'hiver.
- ✓ **Thermomètres** : Assurent un contrôle précis des variations de température.  
D'autres accessoires couramment utilisés dans les poulaillers incluent :
  - ❖ Groupes électrogènes
  - ❖ Matériel contre les incendies
  - ❖ Matériel d'intervention (vaccination)
  - ❖ Balances
  - ❖ Outils et produits de désinfection et de désinsectisation



**Figure I.2.** Les différents équipements de bâtiment d'élevage

Tous ces équipements doivent rester propres pour éviter de contaminer l'eau et la nourriture des volailles avec des parasites et bactéries nuisibles.

### **I.5. Les paramètres zootecniques de l'élevage du poulet de chair :**

Le bâtiment d'élevage doit assurer des conditions d'ambiance répondant aux exigences bioclimatiques des volailles, garantissant ainsi leur confort et bien-être, et permettant de maintenir les animaux en bonne santé. Des conditions d'ambiance optimales non seulement préservent l'état sanitaire des oiseaux, mais les rendent également plus résistants aux agents pathogènes. Parmi les facteurs les plus influents sur l'ambiance climatique à l'intérieur du poulailler, nous citons :

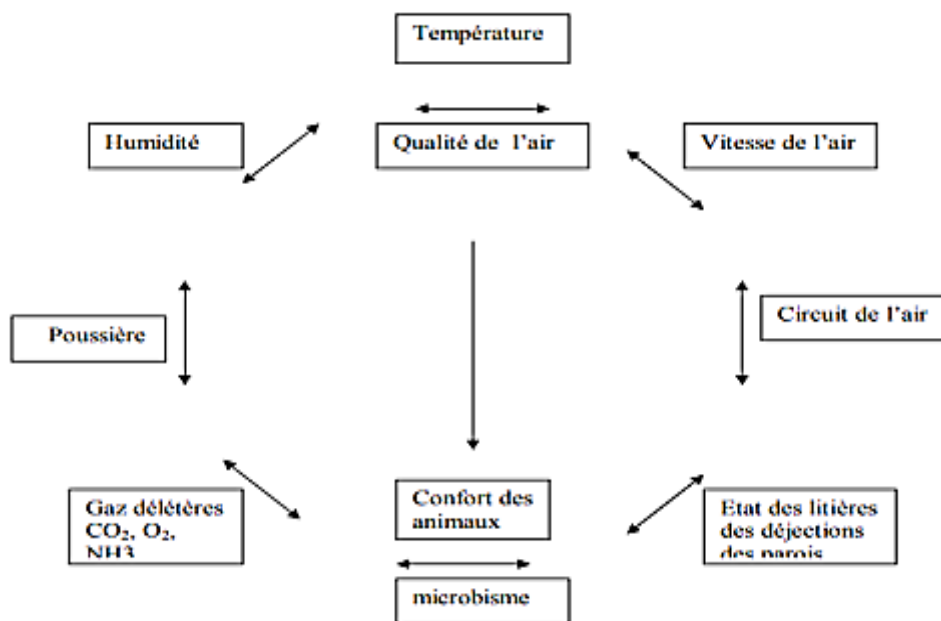


Figure I.3. Les interactions entre les paramètres de l'ambiance climatique.

### I.5.1. Température :

La température est le facteur ayant le plus grand impact sur les conditions de vie des animaux et leurs performances. Les jeunes volailles sont particulièrement sensibles aux températures inadaptées. Les besoins en température des animaux diminuent avec l'âge, ce qui nécessite la conception d'un bâtiment pouvant être chauffé efficacement au démarrage d'une bande et suffisamment aéré pour éviter que les animaux en phase d'élevage ne souffrent de la chaleur. Il est recommandé de maîtriser la température ambiante durant le cycle d'élevage comme illustré dans le tableau ci-dessous : (Tableau des températures recommandées pour différentes phases d'élevage).

Maintenir des températures adéquates à chaque stade de croissance est crucial pour la santé et la productivité des volailles [3] :

Tableau I.2. Température idéale pour les poussins en fonction de leur âge.

Age	Température Idéale
0-4 jours	35-32°C
5-7 jours	32-30 °C
2ème semaine	30°C
3ème semaine	28°C
4ème semaine	26°C
5ème semaine	21°C
>5ème semaine	21-18°C

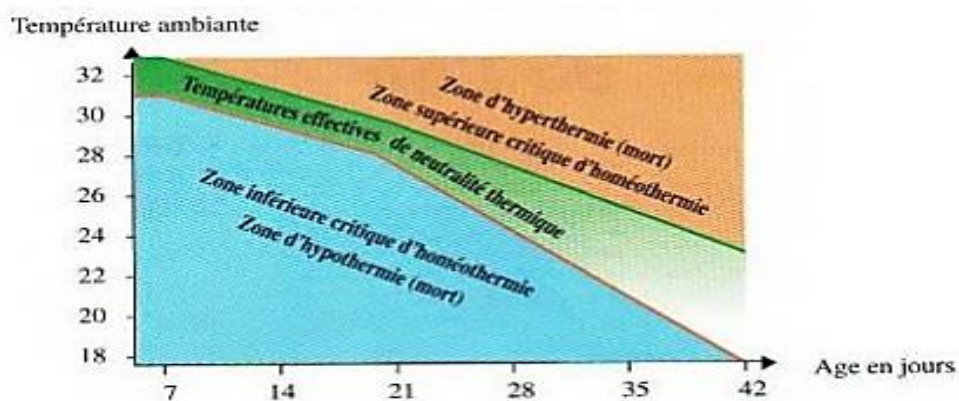


Figure I.4. La température effective de thermique (poulet de chair)

### I.5.2. Humidité :

Les poussins nécessitent un certain degré d'humidité, qui ne doit pas dépasser les limites autorisées pour éviter des problèmes de respiration, pouvant entraîner suffocation et mortalité. L'humidité dans les poulaillers provient principalement de l'eau contenue dans les excréments et l'air expiré. L'humidité relative optimale pour l'élevage du poulet se situe entre 40 et 75% [4].

**Tableau I.3.** Les normes Humidité optimale

Age	Humidité idéale
1-21 jours	55-60%
22-28 jours	55-65%
>29 jours	60-70%

### I.5.3. Ventilation :

L'air doit circuler dans le bâtiment à une vitesse raisonnable et au-dessus de la zone de vie des animaux. Une ventilation efficace et bien régulée est cruciale pour le succès de l'élevage avicole. L'objectif de la ventilation est de renouveler l'air dans le bâtiment pour :

- ✓ Assurer une bonne oxygénation des sujets en fournissant de l'air frais.
- ✓ Évacuer l'air vicié chargé de gaz nocifs produits par les animaux, la litière et les appareils de chauffage, tels que CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, CO.
- ✓ Éliminer les poussières et les microbes en suspension dans l'air.
- ✓ Réguler l'ambiance du bâtiment au niveau de la température et de l'humidité.

On distingue deux systèmes principaux de ventilation :

- ✓ Ventilation statique : ouverture des trappes et fenêtres d'aération.
- ✓ Ventilation dynamique : utilisation des extracteurs d'air et ventilateurs.[5]

**Tableau I.4.** Taux de ventilation minimale.

Age	Taux de ventilation (m <sup>3</sup> /heures/ sujet)
1-7 jours	0.16
8-14 jours	0.42
15-21 jours	0.59
22-28 jours	0.84
29-35 jours	0.93
36-42 jours	1.18
43-49 jours	1.35
50-56 jours	1.53

#### I.5.4. Éclairage :

Chez les oiseaux, la lumière est le principal facteur environnemental influençant le développement gonadique, jouant un rôle crucial dans la reproduction. Pour le poulet de chair, la lumière permet aux poussins de voir les abreuvoirs et les mangeoires.

Il est recommandé de maintenir les poulets de chair dans une semi-obscurité pour réduire leur activité et améliorer leur croissance. [6]

Tableau I.5. Programme de lumière recommandé

Age	Durée de la période avec lumière
1-4 jours	23 heures
5-10 jours	20 heures
10 à la fn	23 heures

#### I.5.5. Litière :

La litière isole les poussins du contact avec le sol, absorbant l'humidité des déjections et protégeant contre les micro-organismes et le froid. Elle doit être saine, sèche, propre, absorbante, souple et constituée de matériaux volumineux et non poussiéreux, comme la paille hachée et les copeaux de bois. [7]

#### I.5.6. Ammoniac et gaz nocifs :

L'aviculture produit des gaz nocifs, dont l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S), principalement issus des excréments et de l'activité des oiseaux. Une ventilation inadéquate peut entraîner une accumulation excessive de ces gaz, rendant le sol douloureux pour les oiseaux et stoppant la reproduction microbienne bénéfique. Pour assurer une qualité d'air optimale, l'air dans le poulailler doit respecter les critères suivants : [8]

- ✓ Besoins en oxygène (O<sub>2</sub>) : 750 cm<sup>3</sup> / kg de poids vif / heure.
- ✓ Ammoniac (NH<sub>3</sub>) : maximum 25 ppm.
- ✓ Sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) : maximum 10 ppm.
- ✓ Monoxyde de carbone (CO) : maximum 35 ppm.

Les principaux facteurs conduisant à la formation d'ammoniac sont illustrés dans le schéma suivant :

(Schéma des facteurs de formation d'ammoniac)



Figures I.5. Les principaux facteurs conduisant à la formation d'ammoniac

## I.6. Conduite d'élevage avicole :

### I.6.1. Phases de l'élevage avicole :

La conduite de l'élevage avicole implique plusieurs étapes essentielles, chacune avec des pratiques spécifiques pour garantir la réussite. Voici les principales phases de l'élevage avicole :

\*\*Le vide sanitaire\*\*

\*\*La préparation du poulailler\*\*

\*\*La phase de démarrage\*\*

\*\*La phase de croissance\*\*

\*\*La phase de finition\*\*



#### **I.6.1.1. Vide sanitaire :**

La sélection du site de la ferme et la conception des bâtiments doivent minimiser les risques de contamination. Cela inclut la mise en place de barrières sanitaires et la pratique du vide sanitaire à l'intérieur des bâtiments. Entre le départ d'une bande et l'arrivée d'une nouvelle, le bâtiment et les équipements doivent être nettoyés et désinfectés selon un protocole précis comprenant les étapes suivantes : [7]

- ✓ Évacuation de la litière.
- ✓ Évacuation du matériel amovible.
- ✓ Dépoussiérage du bâtiment.
- ✓ Décapage et nettoyage du bâtiment.
- ✓ Rinçage.

Désinfection de tout le matériel, y compris celui se trouvant dans le magasin, avec une solution non corrosive après humidification.

- ✓ Rinçage à l'eau tiède sous pression.
- ✓ Balayage, brossage, raclage et grattage des sols, murs et plafonds.
- ✓ Aération du bâtiment pendant 10 à 15 jours. En cas de problèmes sanitaires, la durée de repos peut être prolongée jusqu'à 30 à 40 jours.

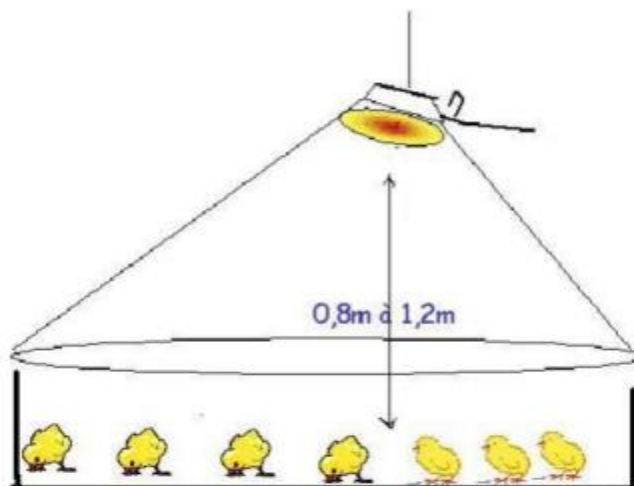
#### **I.6.1.2 Préparation du poulailler :**

Après le vide sanitaire, le poulailler doit être préparé avant l'arrivée des poussins pour garantir un bon démarrage. Les opérations à effectuer 2 jours avant l'arrivée des poussins incluent :

- ✓ Étendre la litière à base de paille ou de copeaux de bois, en utilisant 4 à 5 kg par m<sup>2</sup> sur une épaisseur de 5 à 8 cm pour un démarrage en été et au printemps, et 8 à 10 cm pour un démarrage en automne et en hiver.
- ✓ Pulvériser une solution antifongique.
- ✓ Remettre en place le matériel pour les poussins et vérifier son fonctionnement.
- ✓ Réaliser une deuxième désinfection lorsque tout le matériel est en place.
- ✓ Allumer les sources de chauffage et vérifier leur bon fonctionnement.

Le temps de préparation varie : 36 à 48 heures avant l'arrivée des poussins en hiver, et 24 heures en été suffisent. Pour un chauffage localisé, les sources de chaleur doivent être placées à une hauteur de 80 à 120 cm et inclinées à un angle de 45° par

rapport à l'horizontale. Cette position permet d'augmenter la surface de chauffage, facilite l'évacuation des gaz de combustion, et réduit le risque d'incendie. [4]



Figures I.6. Emplacement de la lampe

### I.6.1.3. Phase de démarrage :

La phase de démarrage est cruciale pour le succès de l'élevage avicole.

- ✓ **Mise en place des poussins :** Les poussins ne peuvent pas réguler leur température corporelle avant l'âge de 12 à 14 jours, mais ils ont besoin d'une température optimale dans le bâtiment. Lors de l'arrivée des poussins, la température du sol est aussi importante que celle de l'air, d'où la nécessité de préchauffer le bâtiment. Il est recommandé de stabiliser la température et l'humidité relative au moins 24 heures avant l'arrivée des poussins, en suivant les valeurs recommandées telles que :
  - ❖ Température de l'air : 30°C (mesurée à la hauteur des poussins, dans les zones des mangeoires et abreuvoirs).
  - ❖ Température de la litière : 28-30°C.
  - ❖ Humidité relative : 60-70%.
  - ❖ Densité du poulailler en phase de démarrage (poussins de 1 à 12 jours): 30 à 20 poulets/m<sup>2</sup>. [7]

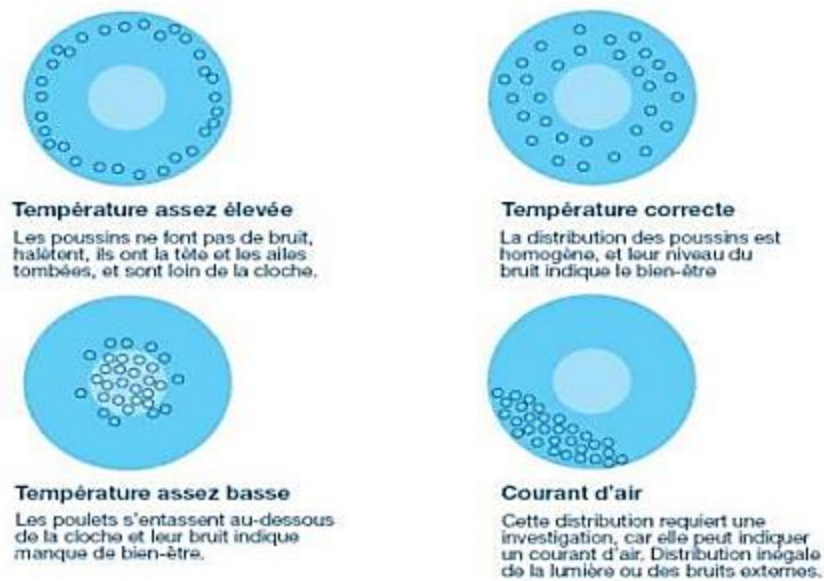


Figure I.7. Comportement des oiseaux face aux différentes températures d'élevage



Figure I.8. Le poulailler en phase de démarrage

#### I.6.1.4.Phase de croissance (12 à 42 jours) :

Durant cette phase cruciale, la densité de population par mètre carré est la plus importante. Cela nécessite une ventilation bien maîtrisée.

La densité du poulailler en phase de croissance (12 à 42 jours) est de 20 à 15 poulets/m<sup>2</sup>.

[9]



Figure I.9. Le poulailler en phase de croissance

#### I.6.1.5. Phase de finition :

La phase de finition, qui se situe entre le 43e et le 56e jour, est cruciale car c'est pendant cette période que les sujets acquièrent un poids vif important et un gain moyen quotidien maximal dans des conditions optimales d'élevage. Il est recommandé d'atteindre un poids moyen de 1,8 kg selon les recommandations (ARAB, 2002). Durant cette phase, il est nécessaire de changer le matériel utilisé pour les poulets de 1er âge (0 à 10 jours) et de passer au matériel de 2eme âge (à partir du 11e jour). [9]



Figure I.10. Le poulailler en phase de finition

### I.7. Hygiène et prophylaxie en élevage avicole:

En élevage avicole, le respect strict des règles d'hygiène et des programmes de protection médicale et prophylactique est essentiel pour obtenir une production maximale et de bonne qualité [2].

### **I.7.1. Hygiène :**

L'hygiène comprend toutes les règles mises en place pour maintenir les animaux en bonne santé. C'est un aspect crucial de la réussite en élevage avicole.

### **I.7.2. Prophylaxie :**

La prophylaxie est un ensemble de mesures visant à prévenir ou limiter la propagation des maladies contagieuses. Elle repose à la fois sur des mesures sanitaires et médicales [9].

#### **I.7.2.1. Prophylaxie sanitaire :**

Plusieurs mesures sont recommandées pour limiter le risque de propagation des germes pathogènes et parasites :

Choix d'un site éloigné d'autres bâtiments d'élevage.

Utilisation d'eau répondant aux normes de potabilité et d'aliments fabriqués à partir de matières premières saines.

Éviter les litières humides et effectuer régulièrement la dératisation du lieu de stockage.

Veiller à la qualité sanitaire des animaux introduits.

Limiter les visites au strict minimum et mettre en place des dispositifs sanitaires comme un pédiluve et un sas à l'entrée du bâtiment.

#### **I.7.2.2. Prophylaxie médicale (Vaccination) :**

La prophylaxie médicale inclut la prévention vaccinale, immunologique et chimique. Elle vise à protéger les animaux contre les agents pathogènes et à maintenir leur immunité.

### **I.8. Conclusion :**

L'élevage de volailles en Algérie présente des défis en termes de modernisation et de mise en place de pratiques plus efficaces pour améliorer la productivité et la qualité des produits. Des mesures strictes d'hygiène et de prophylaxie sont essentielles pour atteindre ces objectifs.

*Chapitre II:*  
*GSM et IOT*

---

## II.1. Introduction :

L'agriculture moderne est en pleine mutation, avec l'émergence de technologies innovantes qui révolutionnent les pratiques traditionnelles. Parmi ces technologies, l'Internet des objets (IoT) et le GSM jouent un rôle crucial dans l'optimisation des processus agricoles, notamment dans l'élevage avicole. Ce chapitre explore la conception et l'implémentation d'un système de contrôle et de surveillance des fermes avicoles basé sur le GSM et l'IoT, offrant ainsi une solution efficace pour améliorer la productivité, la gestion et le bien-être des volailles.

## II.2. Internet des objets :

L'Internet des objets est considéré comme l'Internet du futur, représentant une révolution dans les domaines de l'informatique et de la communication. Il se compose d'un réseau mondial d'objets interconnectés, chacun ayant une représentation virtuelle [10].

Les objets du quotidien deviennent ainsi intelligents, capables de détecter, interpréter et réagir à leur environnement grâce à la combinaison de l'internet et de technologies émergentes telles que l'identification par radiofréquence, la localisation en temps réel et les capteurs embarqués [11].

## II.3. Historique :

L'Internet des objets représente l'évolution naturelle et la direction de toutes les avancées technologiques de la dernière décennie. Avant d'examiner en profondeur l'Internet des objets, il convient d'abord de considérer l'évolution de l'Internet.

Figure II.1. Illustre les cinq phases de l'évolution d'Internet : la création de réseaux informatiques, l'internet, l'internet mobile, le web social, et enfin l'internet des objets ou le machine to machine (M2M).

**\*\*Fin des années 60\*\***: La communication entre deux ordinateurs devient possible grâce à l'utilisation d'un réseau informatique.

**\*\*Début des années 1980\*\***: Le TCP/IP est introduit et la commercialisation de l'Internet commence.



**\*\*Début des années 90\*\***: La première vague d'Internet débute avec la création et la fondation d'infrastructures du web en ligne. De nombreuses entreprises à travers le monde créent des machines, des logiciels et des réseaux pour rendre Internet disponible aux utilisateurs pour un usage privé et commercial, ce qui constitue le web 1.0.

**\*\*Début des années 2000\*\***: La seconde vague arrive, marquée par le web 2.0 ou web social. Cette vague privilégie le partage et l'échange d'informations et de contenus (textes, vidéos, images, etc.). Elle se manifeste par l'émergence des réseaux sociaux et des blogs, ainsi que des moteurs de recherche comme Google, qui aident les internautes à naviguer parmi des milliards de pages disponibles sur le net. Le commerce en ligne émerge également avec des sites comme Amazon et eBay. Cette seconde vague révolutionne le monde avec l'apparition des smartphones, qui permettent l'accès à l'internet mobile.

**\*\*Prochaine étape de l'IoT\*\***: Permettre aux objets qui nous entourent de se connecter entre eux (par exemple, machine à machine) et de communiquer via Internet. L'internet évolue constamment. Avec le développement rapide des smartphones et des tablettes, la 3ème ère de l'internet, appelée web 3.0 ou web intelligent, désigne un Internet accessible partout, sans plateforme spécifique : c'est l'Internet des objets (IoT). Ainsi, l'Internet des objets représente la 3ème évolution de l'internet, avec pour principe de connecter toutes sortes d'appareils à Internet (téléphones portables, montres, cafetières, réfrigérateurs, voitures, maisons, etc.).

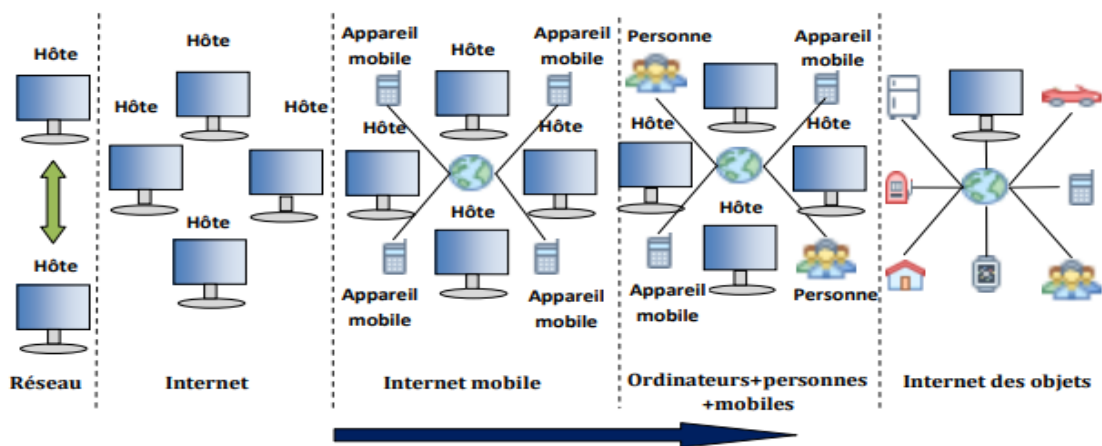


Figure II.1. Phases d'évolution de l'Internet

Les premiers objets connectés n'apparaissent que dans les années 90, tels que des grille-pain, des machines à café ou d'autres objets du quotidien. En 2000, le fabricant coréen LG est le premier industriel à parler sérieusement d'un appareil électroménager relié à Internet. Les années 2000 ont vu les premières expérimentations d'appareils connectés à Internet. En 2003, la population mondiale s'élevait à environ 6,3 milliards d'individus, et 500 millions d'appareils étaient connectés à Internet. Selon la définition de Cisco IBSG, l'IoT n'existait pas encore en 2003, car le nombre d'objets connectés était faible. En raison de l'explosion des smartphones et des tablettes, le nombre d'appareils connectés à Internet a atteint 12,5 milliards en 2010, alors que la population mondiale était de 6,8 milliards.

Concernant l'avenir, Cisco IBSG estime que 50 milliards d'appareils seront connectés à Internet d'ici 2020. Il est important de noter que ces estimations ne tiennent pas compte des progrès rapides d'Internet ni des avancées technologiques, mais reposent sur les faits avérés à l'heure actuelle .

#### **II.4. Architecture de l'IOT :**

La figure II.2. montre une architecture de haut niveau des systèmes IoT, composée de trois domaines [12] : le domaine de périphérique M2M, le domaine de réseau et le domaine d'application.

Dans le domaine des périphériques, le périphérique fournit une connectivité directe au domaine réseau via des réseaux d'accès, qui peuvent inclure des technologies PAN à portée limitée telles que Bluetooth, ZigBee, etc., ou via une passerelle qui agit comme un proxy réseau pour le domaine réseau. Une telle passerelle doit être suffisamment flexible pour gérer efficacement les ressources disponibles [13]. la QoS, la sécurité, ainsi que l'échange des données multimédia. Ces concepts de passerelle sont répandus dans les modèles ADSL domestiques et les points d'accès WiFi trouvés dans les cybercafés et les points d'accès sans fil. Comme les systèmes IoT intègrent des objets intelligents hétérogènes, la conception de la passerelle est assez différente, car elle ne doit pas obliger chaque sous-réseau IoT à avoir sa propre passerelle. Ainsi, une architecture convergente vers une solution unique intégrant le trafic entrant des dispositifs intelligents hétérogènes devrait être conçue. De plus, comme les objets intelligents sont limités en ressources et en énergie, la passerelle doit être consciente du

contexte de chaque processus géré. Elle devrait également utiliser des protocoles de routage intelligents et des techniques de mise en cache pour acheminer le trafic sur les chemins les moins contraints.

Le domaine de réseau comprend différents réseaux d'accès, qui fournissent une connectivité à travers diverses technologies, telles que xDSL, Satellite, etc., vers des dispositifs et/ou des passerelles. Ils fournissent également une connectivité au réseau central qui inclut une connectivité hétérogène et multi-technologies, telles que 3GPP, TISPAN et LTE-A. Enfin, le domaine d'application inclut les applications IoT et les infrastructures serveur/cloud. Ces derniers doivent partager leurs contenus, éventuellement les sauvegarder sur d'autres appareils, programmes d'analyse et/ou personnes qui ont besoin de surveiller la réponse en temps réel. Ils incluent également des fonctionnalités de service, qui fournissent des fonctions partagées entre différentes applications via des abstractions de haut niveau ouvertes et des interfaces qui masquent les spécificités des réseaux sous-jacents [14].

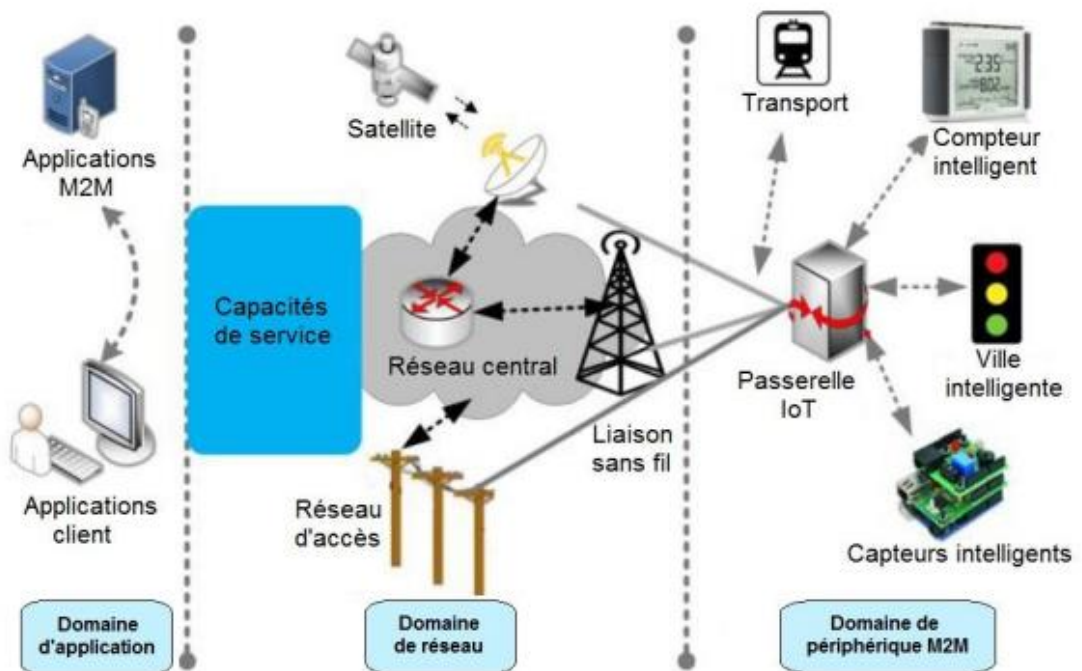


Figure II.2. Architecture globale de IoT

## II.5. Caractéristiques des systèmes IoT :

### II.5.1. Internet des objets :

Nous explorons dans cette section les caractéristiques de l'IoT. En se basant sur les recherches précédentes, ont identifié sept caractéristiques principales de l'IoT, incluant : l'intelligence, l'architecture, la complexité, les considérations de taille, les considérations temporelles, les considérations spatiales, et le tout en tant que service. Ces caractéristiques doivent être prises en compte lors du développement de solutions IoT au cours de toutes les phases de la conception, du développement, de la mise en œuvre et de l'évaluation.

- ✓ **\*\*L'intelligence\*\*** : Cela signifie l'application de la connaissance. Tout d'abord, les connaissances doivent être générées par la collecte de données et leur raisonnement. La transformation des données brutes collectées en connaissances (informations de haut niveau) peut être réalisée en collectant, en modélisant et en raisonnant le contexte. Le contexte peut être utilisé pour fusionner les données de capteurs afin d'inférer de nouvelles connaissances. Une fois que nous avons des connaissances, elles peuvent être appliquées pour une interaction et une communication plus intelligentes.
- ✓ **\*\*L'architecture\*\*** : L'IoT devrait être facilité par une architecture hybride qui comprend de nombreuses architectures différentes. Il y aurait principalement deux architectures : événementielle et temporelle. Certains capteurs produisent des données lorsqu'un événement survient, les autres produisent des données en continu, sur la base de délais spécifiés (par exemple, un capteur de température). Les règles événement-condition-action (ECA) sont couramment utilisées dans de tels systèmes.
- ✓ **\*\*Système complexe\*\*** : L'IoT comprend un grand nombre d'objets (capteurs et actionneurs) qui interagissent de manière autonome. Les nouveaux objets commenceront à communiquer et les objets existants disparaîtront. Actuellement, des millions de capteurs sont déployés dans le monde. Les interactions peuvent différer considérablement en fonction des capacités des objets. Certains objets peuvent avoir très peu de fonctionnalités et, à ce titre, stockent des informations très limitées et ne font aucun traitement. En revanche, certains objets peuvent avoir des

capacités de mémoire, de traitement et de raisonnements plus importants, ce qui les rend plus intelligents.

- ✓ **\*\*Considération de taille\*\*** : Il est prévu qu'il y aura 50-100 milliards d'appareils connectés à Internet d'ici 2020. L'IoT doit faciliter l'interaction entre ces objets. Les chiffres vont augmenter continuellement et ne vont jamais diminuer. Similaire au nombre d'objets, le nombre d'interactions peut aussi augmenter de manière significative.
- ✓ **\*\*Considérations temporelles\*\*** : L'IoT pourrait gérer des milliards d'événements parallèles et simultanés, en raison du nombre considérable d'interactions. Le traitement des données en considérations temporelles est essentiel.
- ✓ **\*\*Considérations spatiales\*\*** : La localisation géographique précise de l'objet est essentielle car l'emplacement joue un rôle important dans l'informatique contextuelle. Lorsque le nombre d'objets augmente, le suivi devient une exigence essentielle. Les interactions dépendent fortement de leurs emplacements, de leurs environnements et de la présence d'autres entités (objets et personnes, par exemple).
- ✓ **\*\*Tout en tant que service\*\*** : En raison de la popularité du Cloud Computing, consommant des ressources en tant que service, telles que PaaS (Platform-as-a-Service), IaaS (Infrastructure-as-a-Service), SaaS (Software-as-a-Service), est devenu le flux principal. Le modèle Tout en tant que Service est hautement efficace, évolutif et facile à utiliser. L'IoT exige la mise en place de nombreuses infrastructures pour concrétiser sa vision, en suivant une approche basée sur la communauté ou la foule. Par conséquent, le partage serait essentiel, dans le cas où un modèle « tout en tant que service » conviendrait essentiellement à la détection en tant que service (sensing-as-a-service).

## II.6. Les applications de l'IoT :

À l'heure actuelle, l'IoT est devenu l'une des technologies d'avenir les plus attrayantes pouvant être utilisées à différentes fins [15]. Par exemple, de nos jours, presque tous les appareils électroniques embarqués ont besoin de capteurs et d'opérateurs pour fonctionner. Ces capteurs peuvent bénéficier de la connectivité IoT et être gérés plus efficacement. L'IoT est désormais capable de connecter la plupart des appareils industriels, devenant ainsi un réseau mondial pour les appareils et les

machines, facilitant la communication machine à machine (M2M) et appareil à appareil (D2D) dans l'industrie. En dehors des applications industrielles, l'IoT peut également être utilisé pour surveiller les appareils électroniques domestiques. Pour économiser de l'argent et de l'énergie, les appareils électroniques dans chaque maison, comme le réfrigérateur, les lumières, le ventilateur et le refroidisseur d'air, peuvent être surveillés grâce à l'IoT. De la même manière, l'IoT joue désormais un rôle important dans les dispositifs portables intelligents, les villes intelligentes, les réseaux intelligents, les systèmes de santé intelligents, l'agriculture intelligente et les services logistiques intelligents. Par exemple, un capteur de température intelligent IoT peut suivre la température d'un conteneur de fret, aidant l'utilisateur à prendre des mesures en temps réel pour maintenir les marchandises en bon état. Pour hiérarchiser les cas d'utilisation de l'IoT, ils peuvent être classés en deux groupes : l'IoT massif et l'IoT critique [16]. Les cas d'utilisation les plus courants de ces deux groupes sont présentés dans le tableau 1.1 suivant :

**Tableau II.1.** Les groupes des applications LOT

LoT massif	LoT critique
Bâtiment intelligent	Contrôle du trafic
Agriculture intelligent	Soins de santé à distance
Suivi logistique	Smart grid
Agriculture intelligent	Industrie intelligent
Comptage intelligent	Fabrication à distance
Réseaux capillaires	Chirurgie a distance

L'IoT peut également être décrit comme un réseau intelligent, avec une application qui englobe la nécessité d'un traitement intelligent des données provenant des capteurs ou des appareils. Le serveur d'applications IoT filtre les données non pertinentes et ne conserve que celles considérées comme précieuses.

## **II.7. Protocoles et normes de mise en réseau pour l'Internet des objets :**

Cette partie examine les normes proposées par l'IEEE, l'IETF et l'UIT pour soutenir la croissance rapide de l'IoT. Ces normes englobent les différentes couches de la pile réseau, telles que la communication, le routage, le réseau et la session,

développées spécifiquement pour répondre aux besoins de l'IoT. Les technologies de l'IoT permettent aux objets ou aux appareils non informatiques d'opérer de manière intelligente et de prendre des décisions collaboratives bénéfiques pour certaines applications [17]. Elles permettent aux objets de percevoir, de penser et d'agir, en leur donnant la capacité de communiquer et de se coordonner avec d'autres pour prendre des décisions cruciales, telles que la sauvegarde de vies ou de biens. Ces technologies transforment les objets de l'informatique passive et des décisions individuelles en interactions actives et omniprésentes, nécessitant des normes et des protocoles de communication spécialisés pour relever les défis associés à l'informatique omniprésente, aux capteurs intégrés, à la communication lumineuse et aux protocoles Internet de l'IoT..

## II.8. Écosystème de l'IoT :

La figure 1.3 présente un modèle à 7 couches de l'écosystème IoT [18]. La couche inférieure représente le domaine d'application, qui peut être un réseau intelligent, une maison connectée, une santé intelligente, etc. La deuxième couche se compose des capteurs nécessaires pour ces applications, comme les capteurs de température, d'humidité, les compteurs électriques ou les caméras. Ensuite, la troisième couche est une couche d'interconnexion qui facilite la communication des données des capteurs vers une infrastructure informatique, un centre de données ou un cloud. Ces données sont ensuite agrégées avec d'autres ensembles de données comme des données géographiques, démographiques ou économiques, puis analysées à l'aide de techniques d'apprentissage automatique et d'exploration de données.

Pour soutenir ces applications distribuées, il est nécessaire d'avoir des logiciels de collaboration et de communication de niveau application, tels que les réseaux définis par logiciel (SDN), l'architecture orientée services (SOA), etc. Enfin, la couche supérieure est composée de services qui alimentent le marché, comme la gestion de l'énergie, de la santé, l'éducation, le transport, etc. En plus de ces 7 couches interdépendantes, des applications de sécurité et de gestion sont nécessaires pour chaque couche et sont donc incluses de manière transversale.

Services	Énergie, divertissement, santé, éducation, transport		
Applications et services Web	SDN, SOA, Collaboration, Applications, Clouds	Gestion	Sécurité
Analytique	Apprentissage automatique, analyse prédictive, exploration de données,...		
Intégration	Données de capteur, économique, population		
Interconnexion	WiFi, Bluetooth, ZigBee, LoRaWAN, SigFox		
Acquisition	Capteurs, appareils photo, GPS, smartphones		
Marché	Réseau intelligent, maison intelligente, villes intelligentes, santé intelligente		

Figure II.3. Modèle de l'écosystème LOT [19]

Dans cette étude, notre attention se focalise sur la couche d'interconnexion au sein d'une pile multicouche, illustrée dans la figure II.4. Nous avons examiné spécifiquement les couches de liaison de données, de réseau et de transport/session. La couche de liaison de données assure la connexion entre deux éléments IoT, pouvant être deux capteurs ou un capteur et le périphérique passerelle qui relie un groupe de capteurs à Internet. Souvent, plusieurs capteurs sont nécessaires pour communiquer et agréger les informations avant leur accès à Internet. Des protocoles spécialisés ont été développés pour le routage entre les capteurs, intégrés à la couche de routage. Les protocoles de la couche session facilitent la messagerie entre divers éléments du sous-système de communication IoT. De plus, plusieurs protocoles de sécurité et de gestion ont été conçus pour répondre aux besoins de l'IoT, comme illustré dans la figure

Session		MQTT, SMQTT, CoRE, DSS, AMQP, XMPP, CoAp, ...	Sécurité	Gestion
Réseau	Encapsulation	6LoWPAN, 6TiSCH, 6Lo, Thread, ...	TCG, Oath 2.0, SMACK, SASL, ISASecure, ace, DTLS, Dice, ...	IEEE 1905, IEEE 1451
	Acheminement	RPL, CORPL, CARP, ...		
Liaison de données		WiFi, BLE, Z-Wave, Zigbee, DECT/ULE, 3G/LTE, NFC, HomePlug GP, 802.11ah, LoRaWAN, SigFox		

Figure II.4. Couche D'interconnexion de LOT



## II.9. Protocoles de liaisons de données :

Dans cette section, nous abordons les normes de protocole de la couche liaison de données, comprenant les protocoles de couche physique (PHY) et MAC qui sont généralement combinés dans la plupart des normes.

- ✓ IEEE 802.15.4 : Il s'agit de la norme MAC la plus utilisée pour l'IoT [20]. Elle définit un format de trame, des en-têtes (y compris les adresses source et de destination), et les modes de communication entre les nœuds. En 2008, IEEE 802.15.4e a été introduit pour étendre cette norme, favorisant les communications à faible consommation grâce à la synchronisation de l'heure et au saut de canal.
- ✓ IEEE 802.11 ah : Cette version légère de la norme IEEE 802.11 a été conçue pour répondre aux exigences de l'IoT en réduisant les frais généraux et la consommation d'énergie, tout en offrant une connectivité sans fil efficace [20]. .
- ✓ Bluetooth basse énergie (BLE) Bluetooth basse énergie, également connu sous le nom de Bluetooth intelligent, est un protocole de communication à courte portée utilisé largement dans les réseaux embarqués. Il comprend des couches PHY et MAC. Comparé au Bluetooth classique, il offre une consommation d'énergie jusqu'à dix fois plus faible et une latence jusqu'à 15 fois inférieure. Son contrôle d'accès utilise un MAC sans conflit, ce qui garantit une latence réduite et une transmission rapide.
- ✓ Ce protocole suit l'architecture maître/esclave et utilise deux types de trames : publicitaires et de données. Les trames publicitaires sont utilisées pour la découverte et sont envoyées par les esclaves sur des canaux publicitaires dédiés. Les nœuds maîtres détectent ces canaux pour trouver et connecter les esclaves. Une fois connectés, le maître indique à l'esclave son cycle de réveil et sa séquence de planification. Les nœuds sont généralement en veille sauf lorsqu'ils communiquent, ce qui contribue à économiser leur énergie.[21] [22].
- ✓ Zigbee : ZigBee est spécialement conçue pour une grande variété d'applications IoT, telles que les maisons intelligentes, les télécommandes et les systèmes de santé. Elle prend en charge diverses topologies de réseau, telles que l'étoile, le point à point et le cluster. Un coordinateur joue un rôle central dans le contrôle du réseau, agissant comme le nœud principal dans une topologie en étoile, la racine dans une

topologie en arbre ou en cluster, et pouvant se situer n'importe où dans un réseau peer-to-peer.

- ✓ La norme ZigBee définit deux profils de pile : ZigBee et ZigBee Pro. Ces profils permettent la mise en place de réseaux maillés complets et fonctionnent avec une variété d'applications, offrant des solutions avec une faible consommation de mémoire et d'énergie. ZigBee Pro offre des fonctionnalités avancées, notamment en matière de sécurité avec l'utilisation d'échanges de clés symétriques, une évolutivité grâce à l'attribution d'adresses stochastiques, et des performances améliorées grâce à des mécanismes de routage efficaces permettant des communications multiples-à-un.[23]
- Le LTE-A (Long-Term Evolution Advanced) est un ensemble de normes conçu pour les communications M2M (Machine-to-Machine) et les applications IoT dans les réseaux cellulaires. Il offre une évolutivité et des coûts réduits par rapport à d'autres protocoles cellulaires. Le LTE-A utilise la technologie OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) au niveau de la couche MAC, ce qui divise la fréquence en plusieurs bandes, chacune étant utilisée indépendamment.
- ✓ \_L'architecture du LTE-A se compose de trois éléments principaux: le réseau central (CN), le réseau d'accès radio (RAN) et les nœuds mobiles. Le CN gère le contrôle des appareils mobiles ainsi que le suivi de leurs adresses IP. Le RAN est responsable de l'établissement du contrôle de données, de la gestion de la connectivité sans fil et du contrôle d'accès radio.. [24]
- ✓ \_Sigfox Sigfox utilise une modulation à décalage de phase binaire différentiel (DBPSK) et le détrempage à décalage de fréquence gaussien (GFSK) pour ses communications, utilisant la bande radio ISM industrielle, scientifique et médicale à 868 MHz en Europe et 902 MHz aux États-Unis. Il utilise un signal à large portée, appelé "bande ultra-étroite", qui peut traverser facilement des objets solides et nécessite peu d'énergie, formant ainsi un "réseau étendu à faible puissance (LPWAN)". Le réseau est configuré en topologie en étoile à un seul saut et requiert un opérateur mobile pour transporter le trafic. En octobre 2018, le réseau Sigfox IoT couvrait environ 4,2 millions de kilomètres carrés dans 50 pays, avec une expansion prévue vers 60 pays d'ici la fin de 2018.[25]

- ✓ \_LoRa est une technologie de modulation sans fil utilisée pour établir des communications à longue portée. Contrairement à de nombreux systèmes sans fil traditionnels qui utilisent la modulation FSK (Frequency Shift Keying) pour sa faible consommation d'énergie, LoRa utilise une modulation à spectre étalé qui conserve cette efficacité énergétique tout en augmentant considérablement la portée des communications. Cette méthode, basée sur le spectre étalé en chirp, est utilisée depuis des années dans les communications militaires et spatiales pour ses capacités à atteindre de longues distances et à résister aux interférences. Cependant, LoRa est la première implémentation commerciale à faible coût de cette technologie. LoRaWAN™ spécifie le protocole et l'architecture du réseau, tandis que la couche physique LoRa® permet la communication à longue portée. [26]
- ✓ Un seul protocole ne peut pas couvrir toutes les applications et volumes attendus pour l'IoT. Le WiFi et le BLE sont largement utilisés et conviennent bien aux applications de communication des appareils personnels. Les technologies cellulaires sont idéales pour les applications nécessitant un haut débit de données et une source d'alimentation stable. En revanche, les réseaux LPWAN offrent une longue durée de vie de la batterie et sont adaptés aux capteurs et aux applications qui transmettent de petites quantités de données sur de longues distances à intervalles réguliers à partir de divers environnements...





	Réseau local Communication à courte portée	Low Power Wide Area (LPWAN) Internet des objets	Réseau cellulaire M2M traditionnel
	40%	45%	15%
	Normes bien établies dans les bâtiments	Faible consommation d'énergie Faible coût Positionnement	Couverture existante Débit de données élevé
	Durée de vie de la batterie Coût du réseau Approvisionnement	Débit de données élevé Des nouvelles normes	Autonomie Coût total de possession
	Bluetooth 4.0  WiFi	LoRa	GSM 3G+ / H+ 4G

Figure II.5. Caractéristique de protocoles

## II.10. Protocoles de la couche session :

- ✓ Cette partie examine les normes et les protocoles de transmission de messages dans la couche de session IoT proposés par différentes organisations de normalisation. Bien que la plupart des applications IP, y compris celles de l'IoT, utilisent TCP ou UDP pour le transport, il existe plusieurs fonctions de distribution de messages qui sont courantes à de nombreuses applications IoT. Il est donc souhaitable que ces fonctions soient mises en œuvre de manière standard et interopérable entre différentes applications. Ces protocoles sont souvent appelés "protocoles de couche session" et sont détaillés dans cette section.
- ✓ MQTT a été introduit par IBM en 1999 et normalisé par OASIS en 2013[27] . Ce protocole est conçu pour offrir une connectivité intégrée entre les applications et les middlewares d'un côté, et les réseaux et communications de l'autre. Son architecture repose sur un modèle de publication / abonnement, impliquant trois composants principaux : les éditeurs, les abonnés et un courtier. Dans le contexte de l'IoT, les éditeurs sont généralement des capteurs légers qui envoient leurs données au courtier et entrent en mode veille autant que possible. Les abonnés sont des applications intéressées par des sujets spécifiques ou des données sensorielles, se connectant aux courtiers pour être notifiés lors de l'arrivée de nouvelles données. Les courtiers organisent les données sensorielles par thèmes et les transmettent aux abonnés intéressés par ces thèmes.
- ✓ SMQTT SMQTT est une extension de MQTT qui utilise un chiffrement léger basé sur des attributs. L'avantage principal de ce chiffrement réside dans sa capacité à crypter les messages diffusés, une fonctionnalité couramment utilisée dans les applications IoT. L'algorithme se déroule généralement en quatre étapes : la configuration, le chiffrement, la publication et le déchiffrement. Pendant la configuration, les abonnés et les éditeurs s'enregistrent auprès du courtier et obtiennent une clé secrète principale en fonction de l'algorithme de génération de clés choisi par le développeur. Lorsque les données sont publiées, elles sont chiffrées par le courtier et envoyées aux abonnés, puis déchiffrées chez les abonnés disposant de la même clé secrète principale. Il est important de noter que les algorithmes de génération et de chiffrement des clés ne sont pas standardisés. SMQTT est proposé spécifiquement pour renforcer la sécurité de MQTT [28]

- ✓ AMQP Le protocole AMQP est un autre protocole de couche session conçu initialement pour l'industrie financière. Il fonctionne sur TCP et présente une architecture de publication/abonnement similaire à celle de MQTT. La différence réside dans la structure du courtier, qui est divisé en deux composants principaux : l'échange et les files d'attente. L'échange est chargé de recevoir les messages des éditeurs et de les distribuer dans les files d'attente en fonction des rôles et des conditions prédéfinis. Les files d'attente représentent essentiellement les sujets et sont souscrites par les abonnés, qui reçoivent les données sensorielles dès qu'elles sont disponibles dans la file d'attente.[29]
- ✓ CoAP est un protocole de couche session conçu par le groupe de travail IETF Constrained RESTful Environment (Core) pour offrir une interface RESTful (HTTP) légère. Bien que le transfert d'état représentatif (REST) soit l'interface standard entre les clients HTTP et les serveurs, il peut être lourd en termes de frais généraux et de consommation d'énergie pour les applications légères comme l'IoT. CoAP résout ce problème en permettant aux capteurs de faible puissance d'utiliser les services RESTful tout en respectant leurs contraintes énergétiques. Il est basé sur UDP, contrairement à HTTP qui utilise TCP, et propose un mécanisme léger pour garantir la fiabilité des communications.

L'architecture de CoAP se divise en deux sous-couches principales : la messagerie et la demande/réponse. La sous-couche messagerie assure la fiabilité et la déduplication des messages, tandis que la sous-couche demande/réponse gère la communication. CoAP offre quatre modes de messagerie : confirmable, non confirmable, superposé et séparé. Les modes confirmable et non confirmable correspondent aux transmissions fiables et non fiables, respectivement, tandis que les autres modes sont utilisés pour la demande/réponse.

Le mode ferroulage est utilisé pour une communication directe client/serveur, où le serveur envoie sa réponse directement après avoir reçu le message, généralement dans l'accusé de réception. En revanche, le mode séparé est utilisé lorsque la réponse du serveur est envoyée dans un message distinct de l'accusé de réception et peut prendre un certain temps à être transmise par le serveur. Comme dans HTTP, CoAP utilise les requêtes GET, PUT, PUSH, DELETE pour récupérer, créer, mettre à jour et supprimer des données, respectivement. [30].

- ✓ XMPP, un protocole de messagerie initialement destiné aux applications de conversation et d'échange de messages, a été normalisé par l'IETF il y a plus d'une décennie [31]. Sa longue existence et sa popularité sur Internet en font un protocole bien établi et efficace. Récemment, il a été adapté pour être utilisé dans des applications IoT ainsi que comme protocole pour SDN. Cette adaptation est rendue possible grâce à l'utilisation du XML, qui offre une extensibilité aisée au protocole. XMPP prend en charge les architectures de publication/abonnement et de demande/réponse, laissant le choix à l'application du développeur quant à l'architecture à utiliser. Il est spécialement conçu pour les applications nécessitant des communications en temps quasi réel, ce qui lui permet de gérer efficacement de petits messages avec une faible latence. Cependant, il ne garantit pas la qualité de service, ce qui le rend moins adapté pour les communications M2M. De plus, l'utilisation de messages XML peut engendrer une surcharge supplémentaire en raison de nombreux en-têtes et formats de balises, augmentant ainsi les besoins en puissance critique pour les applications IoT.

Bien que XMPP ne soit pas largement utilisé dans l'IoT en raison de ces limitations, il suscite un certain intérêt pour des améliorations architecturales visant à mieux prendre en charge les applications IoT.

- ✓ DDS DDS est un protocole de publication/abonnement développé par l'OMG pour les communications M2M. Sa principale force réside dans ses niveaux de service de qualité exceptionnelle et ses garanties de fiabilité, grâce à une architecture sans courtier spécifiquement adaptée aux communications IoT et M2M. DDS propose 23 niveaux de qualité de service qui offrent une variété de critères de qualité tels que la sécurité, l'urgence, la priorité, la durabilité et la fiabilité, entre autres.

Dans ce protocole, le Producteur est responsable de la livraison des messages aux abonnés, tandis que le Consommateur est une composante facultative qui facilite l'intégration de DDS dans la couche application. La couche Producteur se charge de la distribution des données sensorielles. Les Rédacteurs de données interagissent avec les Producteurs pour convenir des données à envoyer aux abonnés. Les Abonnés, quant à eux, sont les destinataires des données sensorielles qui seront utilisées par l'application IoT. Les Lecteurs de données sont chargés de lire les données publiées et de les transmettre aux abonnés, tandis que les Sujets représentent les données qui sont publiées.

En résumé, dans les architectures DDS, les rôles des Producteurs et des Consommateurs remplacent efficacement les fonctions traditionnellement attribuées au courtier [32]

- ✓ **Résumé** L'IoT dispose d'une gamme variée de protocoles de couche session standardisés, mentionnés succinctement dans cette section. Le choix entre ces protocoles dépend fortement de l'application spécifique. Il est important de noter que MQTT est le protocole le plus largement adopté dans l'IoT en raison de sa faible surcharge et de sa consommation d'énergie réduite. Le choix parmi ces normes est donc une décision très spécifique à chaque organisation et application.

Par exemple, si une application est déjà construite autour du format XML et peut tolérer une certaine surcharge dans ses en-têtes, XMPP peut être la meilleure option parmi les protocoles de couche session. En revanche, si l'application est particulièrement sensible à la consommation d'énergie, choisir MQTT serait préférable malgré la nécessité d'ajouter un courtier supplémentaire.

Si une application requiert des fonctionnalités REST car elle est basée sur HTTP, alors CoAP pourrait être une excellente option, bien que d'autres protocoles puissent également être envisagés. Le choix final dépendra des besoins spécifiques et des priorités de l'application.

Le tableau II.2. résume les points de comparaison entre ces différents protocoles de couche session.

**Tableau II.2.** Comparaison des normes de la couche de transport LOT

Protocoles	UDP/TCP	ARCHITECTURE	Securete et QoS	Taille d'entête (octes)	Long max (octes)
MQTT	TCP	PUB/SUB	LES DEUX	2	5
AMQP	TCP	PUB/SUB	LES DEUX	8	-
COAP	UDP	REQ/RES	LES DEUX	4	20(typique)
XMPP	TCP	LES DEUX	SECURITE	-	-
DDS	TCP/UDP	PUB/SUB	QOS	-	-

## II.11. Le GSM :

Le GSM ou Global System for Mobile Communication, est une norme numérique pour la téléphonie mobile. Celle-ci a vu le jour en 1982, lors de la Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT). Elle a commencé à être utilisée au début des années 1991. Le but ? Pallier à la demande croissante des communications mobiles sans fil, et définir une norme internationale. Sa création a marqué l'ouverture de la transmission des données numériques de faibles volumes comme le SMS ou le MMS que l'on connaît tous aujourd'hui.

Le GSM est structuré en 3 grandes parties :

- ✓ Le BSS (constitué de votre mobile et de la station de base) qui assure l'émission et la réception des signaux de fréquence ;
- ✓ Le NSS qui gère les communications d'une ligne téléphonique.
- ✓ L'OSS (l'interface de gestion du réseau GSM) où sont réalisées toutes les tâches de maintenance du réseau.

Mais alors, comment fonctionne vraiment le GSM ? Sachez que ce dispositif est en réalité la combinaison de 2 éléments : un terminal ou une station mobile (c'est-à-dire un téléphone) et un module de sécurité (plus généralement carte SIM) délivré par un opérateur de téléphonie mobile. Quand votre smartphone se connecte à un réseau GSM, il recherche des signaux d'identification. Ces derniers sont émis par une antenne-relais. C'est elle qui se charge ensuite, de transmettre l'information au centre de commutation qui gère les réseaux des opérateurs.

## II.12. Cas d'usages

- ✓ L'utilisation de la carte SIM avec le réseau GSM La plupart des téléphones (ou portables) connectés au réseau GSM utilisent une carte SIM. Cette dernière a pour rôle de stocker les données sur le téléphone de l'utilisateur, permettant ainsi aux informations (message vocal par exemple) d'être transférées le plus facilement possible vers un autre appareil.



- ✓ GSM : les réseaux qui lui sont propres et leurs évolutions Le saviez-vous, le réseau GSM est représenté par le sigle “2G”. Mais à ce jour, il existe de nombreux types de réseaux mobiles, tous issus du GSM. Ces derniers sont représentés par un chiffre avant la lettre G (2G, 3G, 4G). Cela permet d’indiquer à l’utilisateur du téléphone la qualité de sa communication, de son débit et bien évidemment, de sa connexion Internet.
  
- ✓ Le réseau 2G fut “la star” de la fin du 20ème siècle et le déclenchement des premiers smartphones. Extrêmement lent aujourd’hui, il est pratiquement devenu obsolète. Le réseau 3G a véritablement marqué une nouvelle ère dans la téléphonie mobile. Celui-ci a transformé nos usages du téléphone portable, nous permettant de télécharger des applications, d’écouter de la musique en ligne, ou de regarder des films et ce, de manière extrêmement fluide. L’avenir du GSM suite aux bouleversements de la 4G et à l’arrivée de la 5G Mais le véritable changement fut l’arrivée de la 4G LTE. Cette dernière a permis au grand public de se connecter avec un mobile presque aussi rapidement qu’avec un ordinateur. Quant à la 5G, elle risque de bouleverser une nouvelle fois l’univers de la téléphonie, puisqu’elle permettra d’atteindre 100 fois la vitesse de la 4G. En revanche, elle ne sera disponible qu’à la fin de l’année 2020, quand la 4G sera totalement saturée.

**II.12. conclusion:**

L'intégration de la technologie GSM et IoT dans les élevages de volailles représente une véritable révolution dans la gestion de ces élevages, ouvrant de nouveaux horizons en termes d'efficacité et de rentabilité. Grâce à cette intégration, la gestion de l'exploitation se transforme en un système de surveillance intelligent qui permet un contrôle précis et dynamique de tous les aspects de la production, tout en améliorant les soins aux volailles et leurs conditions de vie. Des capteurs thermiques et d'humidité peuvent être installés pour garantir des conditions environnementales optimales à l'intérieur des étables, et les systèmes IoT permettent aux étables d'ajuster automatiquement la température des étables et de contrôler la ventilation, améliorant ainsi l'efficacité énergétique. Des caméras de surveillance intelligentes peuvent être installées pour surveiller en permanence le comportement des volailles, la technologie RFID permet de suivre le poids de chaque volaille et les systèmes d'éclairage dans les poulaillers peuvent être contrôlés pour stimuler la production d'œufs et réguler le comportement des volailles. Les systèmes IoT permettent de surveiller la santé globale des oiseaux en collectant des données vitales et en envoyant des alertes aux agriculteurs si les valeurs de ces données changent, indiquant la possibilité d'un problème de santé, ce qui facilite une intervention précoce et évite la propagation de maladie. De plus, le GSM et l'IoT peuvent fournir un contrôle à distance, une analyse des données et une réduction du travail. Grâce à ces avantages, le système GSM et IoT devient une solution idéale pour améliorer la gestion des fermes avicoles, augmenter l'efficacité et la productivité, réduire les coûts et améliorer les conditions de vie des volailles.

*Chapitre III :*

*Matériels et discussion des résultats*

### **III.1. Introduction :**

De nos jours, l'électronique traditionnelle est de plus en plus remplacée par de l'électronique programmable, connue sous le nom de systèmes embarqués ou d'informatique embarquée. Cette approche vise à simplifier les schémas électroniques, ce qui diminue le nombre de composants utilisés et réduit ainsi le coût de fabrication des produits. Cela permet de créer des systèmes plus complexes et performants tout en optimisant l'espace [33]

Les commandes à distance sont devenues indispensables de nos jours, en raison de l'évolution technologique continue. À l'aide de téléphones portables, il est désormais possible de contrôler toutes sortes d'installations. Dans notre cas, nous contrôlons à distance, via une télécommande ou un SMS, plusieurs paramètres tels que l'humidité et la température d'un bâtiment d'élevage de poulets. L'application a été testée sur un prototype de poulailler que nous avons construit. Les tests ont démontré l'efficacité des programmes du système de contrôle que nous avons développés [34].

### **III.2. Définition d'Arduino:**

L'Arduino est une carte électronique intégrant divers composants, dont le plus important est le microcontrôleur, considéré comme le cerveau de la carte. Ce microcontrôleur est programmé pour tester et générer des signaux électriques permettant de réaliser diverses tâches. L'Arduino est utilisé dans de nombreuses applications, allant de l'électrotechnique industrielle à des domaines variés comme la commande de robots, la gestion des moteurs, la création de jeux de lumière, la communication avec un ordinateur et le contrôle d'appareils mobiles. Chaque module Arduino est équipé d'un régulateur de tension et d'un oscillateur. Pour programmer cette carte, on utilise le logiciel Arduino ID.

### III.2.1. La carte Arduino Mega 2560 :

La carte Arduino Mega 2560 est une plateforme à microcontrôleur basée sur l'ATmega2560. Elle offre :

- ✓ 54 broches numériques d'entrée/sortie, dont 14 peuvent fonctionner en sortie PWM (Modulation de largeur d'impulsion).
- ✓ 16 entrées analogiques pouvant également être utilisées comme broches numériques d'entrée/sortie.
- ✓ 4 UART (ports série matériels).
- ✓ Un quartz de 16 MHz.
- ✓ Une connexion USB.
- ✓ Un connecteur d'alimentation jack.
- ✓ Un connecteur ICSP (pour la programmation "in-circuit").
- ✓ Un bouton de réinitialisation (reset).

Elle contient tous les éléments nécessaires pour faire fonctionner le microcontrôleur. Pour l'utiliser, il suffit de la connecter à un ordinateur via un câble USB ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile (l'alimentation via USB étant suffisante).

La carte Arduino Mega 2560 est compatible avec les circuits imprimés des cartes Arduino Uno, Duemilanove et Diecimila.

### III.2.2. Caractéristique technique de la carte Arduino Mega 2560 :

Un module Arduino est typiquement construit autour d'un microcontrôleur ATMEL AVR et de composants supplémentaires facilitant la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module est équipé d'au moins un régulateur linéaire 5V et d'un oscillateur à quartz de 16 MHz (ou, dans certains modèles, d'un résonateur céramique). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un bootloader, ce qui élimine le besoin d'un programmeur dédié.

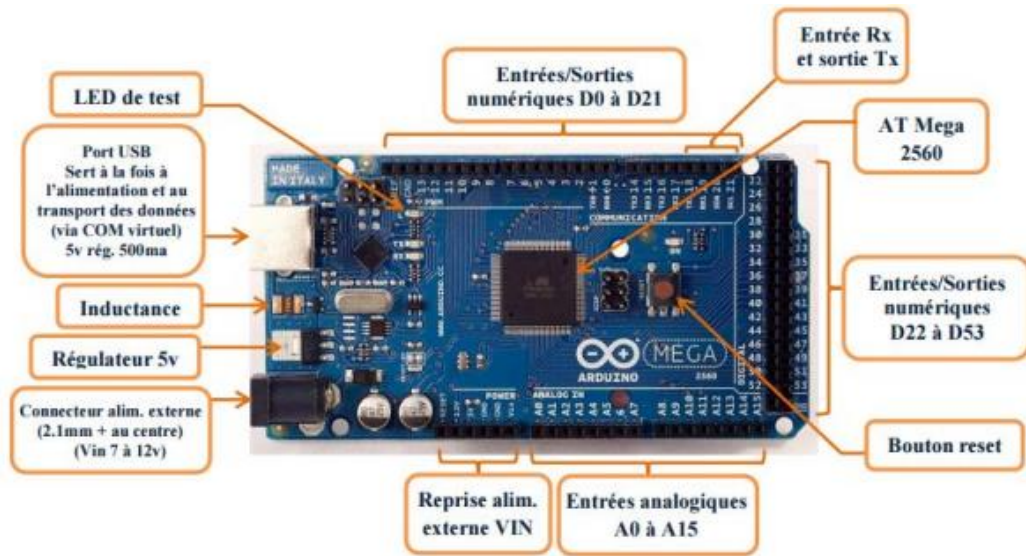


Figure III.1. Description de la carte Arduino MEGA 2560

### III.3. Partie matérielle :

En général, tout module électronique avec une interface de programmation est toujours basé sur un ou plusieurs circuits programmables.

Tableau III.1. Constitution de la carte Arduino Mega 2560

Microcontrôleur	ATMEGA2560
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation	7 à 12V
Broches E/S numérique	54 (dont 14 disposent de sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	16
Vitesse d'horloge	16 MHz
Mémoire programme Flash	256 KB dont 8 KB utilisés en bootloader
Mémoire SRAM	8 KB
Mémoire EEPROM	4 KB

#### III.3.1. Le Microcontrôleur ATMega2560 :

Le microcontrôleur ATMega2560 est un circuit intégré qui regroupe plusieurs éléments complexes sur une seule puce compacte. En tant que processeur de la carte, il

prend en charge les calculs, l'exécution des instructions du programme et la gestion des ports d'entrée/sortie [5].



**Figure III.2.** Microcontrôleur ATmega2560

### **III.3.2. Les mémoires :**

L'ATmega2560 dispose de 256 Ko de mémoire FLASH pour stocker le programme (dont 8 Ko sont utilisés par le bootloader), ainsi que de 8 Ko de mémoire SRAM (volatile) et de 4 Ko de mémoire EEPROM (non volatile, accessible via la bibliothèque EEPROM).

### **III.3.3. Les sources de l'alimentation de la carte**

La carte Arduino Mega 2560 peut être alimentée soit par la connexion USB (fournissant 5V jusqu'à 500mA), soit par une alimentation externe. La sélection de la source d'alimentation se fait automatiquement.

La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si elle est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V, rendant la carte instable. Si elle est alimentée avec plus de 12V, le régulateur de tension pourrait surchauffer. Les broches d'alimentation sont les suivantes :

- **\*\*VIN\*\*** : Tension d'entrée positive lorsque la carte est utilisée avec une source de tension externe (distincte des 5V fournis par l'USB ou une autre source régulée).

- **\*\*5V\*\*** : Tension régulée utilisée pour alimenter le microcontrôleur et les autres composants de la carte. Cette tension peut provenir soit de VIN via le régulateur de la carte, soit de la connexion USB ou d'une autre source d'alimentation régulée.
- **\*\*3.3V\*\*** : Alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré FTDI, qui adapte le signal entre le port USB de l'ordinateur et le port série de l'ATmega. L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA.
- **\*\*GND\*\*** : Broche de masse (0V).

### III.3.4. Entrées et sorties numériques :

Chacune des 54 broches numériques de la carte Arduino Mega 2560 peut être utilisée comme entrée ou sortie numérique et fonctionne à 5V. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA et dispose d'une résistance interne de pull-up (déconnectée par défaut) de 20-50 kOhms. Cette résistance interne peut être activée sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction `digitalWrite(broche, HIGH)`. De plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

- **\*\*Communication Série\*\***:

- Serial: 0 (RX) et 1 (TX)
- Serial 1: 19 (RX) et 18 (TX)
- Serial 2: 17 (RX) et 16 (TX)
- Serial 3: 15 (RX) et 14 (TX)

- **Interruptions Externes\*\***:

Broches 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), et 21 (interrupt 2)

- Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, un front montant ou descendant, ou un changement de valeur.

- **PWM (Modulation de largeur d'impulsion) \*\***:

- Broches 0 à 13. Fournissent une impulsion PWM 8 bits à l'aide de l'instruction `analogWrite`.



- SPI (Interface Série Périphérique) \*\*:
  - Broches 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Supportent la communication SPI.
- I2C \*\*:
  - Broches 20 (SDA) et 21 (SCL). Supportent les communications de protocole I2C.
- LED \*\*:
  - Broche 13. Une LED est intégrée à la carte et connectée à la broche 13.

### III.3.5. Broches analogiques :

La carte Mega2560 possède 16 entrées analogiques, chacune offrant une résolution de 10 bits (1024 niveaux, de 0 à 1023) grâce à la fonction `analogRead()` du langage Arduino. Par défaut, ces broches mesurent des tensions entre 0V (valeur 0) et 5V (valeur 1023). Les broches analogiques peuvent également être utilisées comme broches numériques.

### III.3.6. Autres broches :

La carte dispose également de deux autres broches :

- **\*\*AREF\*\*** : Tension de référence pour les entrées analogiques (différente du 5V). Utilisée avec l'instruction `analogReference()`.
- **\*\*Reset\*\*** : Mettre cette broche au niveau BAS réinitialise le microcontrôleur.

La connexion série de l'Arduino est très pratique pour communiquer avec un PC, agissant comme un port de communication virtuel pour le logiciel sur l'ordinateur. Cependant, l'inconvénient de cette méthode est l'utilisation d'un câble USB. Pour éviter cela, il existe différentes méthodes permettant d'utiliser la connexion série sans fil.

### III.3.7. Les Accessoires de la carte Arduino

Les cartes Arduino sont souvent accompagnées d'accessoires qui facilitent la réalisation de projets.

**III.3.8. Communication :**

Le fabricant recommande que la carte soit équipée de plusieurs ports de communication.

**III.3.9. Module WiFiESP32 :**

**Présentation :** L'ESP32 est une carte à base de microcontrôleur avec des modules WiFi et Bluetooth intégrés. Très simple d'utilisation, elle est légère et possède une capacité de mémoire et de calculs supérieurs à celle de l'Arduino. Cela en fait une carte idéale pour l'apprentissage de la programmation, le développement d'objets connectés ou la création de serveurs. La base pour créer des objets connectés est de les connecter à un réseau, comme le réseau WiFi. L'ESP32 intègre un émetteur-récepteur WiFi, ce qui lui permet de se connecter à des réseaux existants ou de créer son propre réseau. Grâce à cela, il est possible de créer un serveur qui héberge une interface Web permettant de piloter l'ESP32 à distance.

L'ESP32 contient un microprocesseur double cœur fonctionnant en 32 bits et possède 48 GPIO, dont 25 sont disponibles sur les broches. Parmi ces 25 broches :

- 15 peuvent être utilisées pour des entrées analogiques.
- 25 peuvent être utilisées comme sorties PWM.
- 9 peuvent être utilisées comme capteurs capacitifs.
- Certaines sont réservées pour les protocoles de communication série (SPI, I2C, Serial).

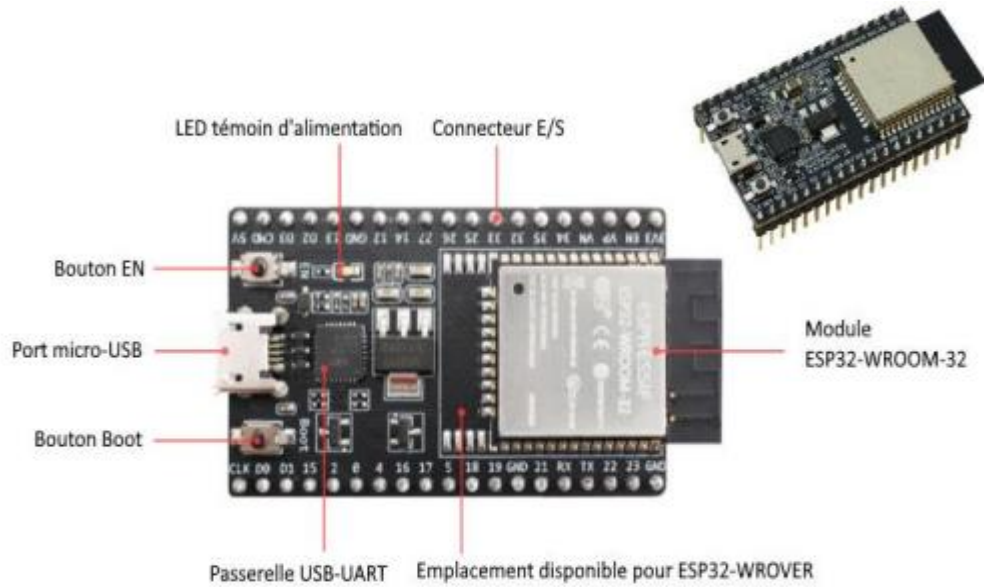


Figure III.3. Carte ESP32 [13].

**- Les Caractéristiques du module ESP32 :**

Tableau III.2 : Les Caractéristiques du module ESP32 [34].

Caractéristique	ESP32
CPU	Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 avec 600 DMIPS
Vitesse du WiFi	802.11n jusqu'à 150 Mbps
Protocole WiFi	802.11 b/g/n (2.4 Ghz)
GPIO	36
Bluetooth	OUI
CAD	Deux canaux DAC 8 bits
ADC	RAS 12 bits
Canaux ADC	8 canaux
Référence ADC V	1100mV
SPI/I2C/I2S/UART	4/2/2/3
Modes WiFi	Station/SoftAP/SoftAP+Station/P2P
Capteur tactile	OUI (8-Channel)
Capteur de température	OUI
Capteur à effet Hall	OUI
SRAM	520 kB (8 kB de SRAM dans RTC)
FLASH (externe)	4Mbytes (également disponible plus haut)
ROM	448 kB ROM pour le démarrage et les fonctions de base
Protocoles de réseau	IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT
Interface périphérique	UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/IR Télécommande
Plage de température de fonctionnement	GPIO/ADC/DAC/Touch/PWM/LED -40°C ~ +85°C

Tension de fonctionnement	2,5V ~ 3,6V
Courant de fonctionnement	Moyenne : 80 mA

**III.3.10. Capteur DHT11 :**

- **Définition du capteur DHT11 :** Le capteur DHT11 est une solution économique pour la mesure de l'humidité et de la température, compatible avec les microcontrôleurs Arduino et d'autres systèmes embarqués. Il offre une précision raisonnable dans la mesure de la température et de l'humidité relative de l'air ambiant [35]

Le capteur de température et d'humidité DHT11 est un capteur analogique-numérique largement utilisé en électronique en raison de sa précision, de sa simplicité d'utilisation et de sa grande fiabilité. Il est capable de mesurer des températures dans une plage de 0 à 50°C avec une précision de ± 2°C. De plus, il peut mesurer l'humidité de l'air ambiant dans une plage de 20 à 80% avec une précision de 5% dans sa version la plus précise, en utilisant le montage approprié.

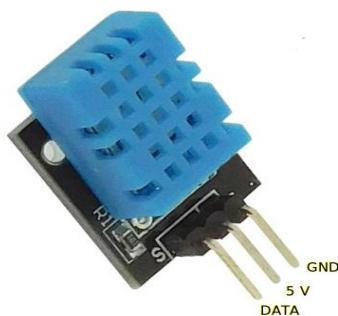


Figure III.4. Capteur DHT11

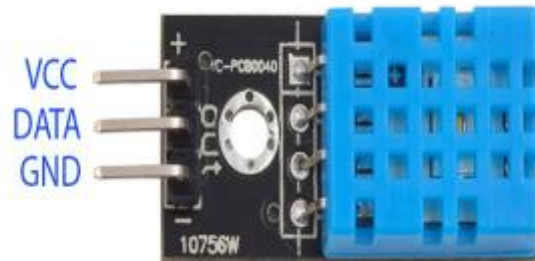


Figure III.5. Connexion du capteur LM35

**- Caractéristique de DHT11:**

Tableau III.3. Caractéristique de capteurs DHT11 [15].

Température Max/Min	0-50°C
Humidité Max/Min	20 à 80%
Fréquence de meure	1 par seconde
Alimentation	De 3 à 5V
Nombre de bronche	4pins
Consommation	2.5mA

- **Composition du capteur DHT11** : Le capteur DHT11 est un capteur numérique utilisé pour mesurer la température et l'humidité. Il est composé de trois parties principales : le capteur d'humidité, qui utilise un élément capacitif pour mesurer l'humidité relative de l'air, le capteur de température, qui utilise un thermistor pour mesurer la température ambiante, et l'électronique de traitement, qui convertit les signaux analogiques en signaux numériques pour le traitement par un microcontrôleur.

Dans les systèmes industriels, le capteur DHT11 joue un rôle crucial dans le contrôle de l'environnement, la surveillance de la qualité des produits, la surveillance des équipements sensibles à la température et à l'humidité, ainsi que dans la surveillance météorologique. Il permet d'ajuster les conditions ambiantes, de maintenir la qualité des produits, d'assurer la fiabilité des équipements et de collecter des données météorologiques pour la recherche scientifique. En résumé, le capteur DHT11 est un outil polyvalent essentiel pour garantir des processus de production optimaux et de haute qualité dans diverses applications industrielles [36]

- **Principe du fonctionnement** : Le capteur DHT11 utilise la technologie capacitive pour mesurer l'humidité relative dans l'air. Il comporte une électrode exposée à l'air ambiant, connectée à un circuit électronique intégré. Lorsque l'air est plus humide, une couche d'eau se forme sur l'électrode, augmentant ainsi sa capacité. Le circuit électronique intégré mesure cette capacité pour calculer l'humidité relative.

Pour mesurer la température, le DHT11 utilise un thermistor, un composant dont la résistance varie en fonction de la température. Le circuit électronique intégré mesure cette résistance et utilise une courbe de température calibrée pour calculer la température.

Les données de température et d'humidité sont transmises à l'Arduino via un signal numérique sur un seul fil, ce qui permet à la bibliothèque DHT11 de lire ces données pour obtenir les mesures de température et d'humidité.

- **Le branchement**: la broche de données du capteur DHT11 est connectée à la broche numérique 2 de l'Arduino, la broche VCC (alimentation électrique) est connectée à la broche 5V de l'Arduino, et enfin, la broche GND (masse) du capteur DHT11 est connectée à la broche GND de l'Arduino [37].

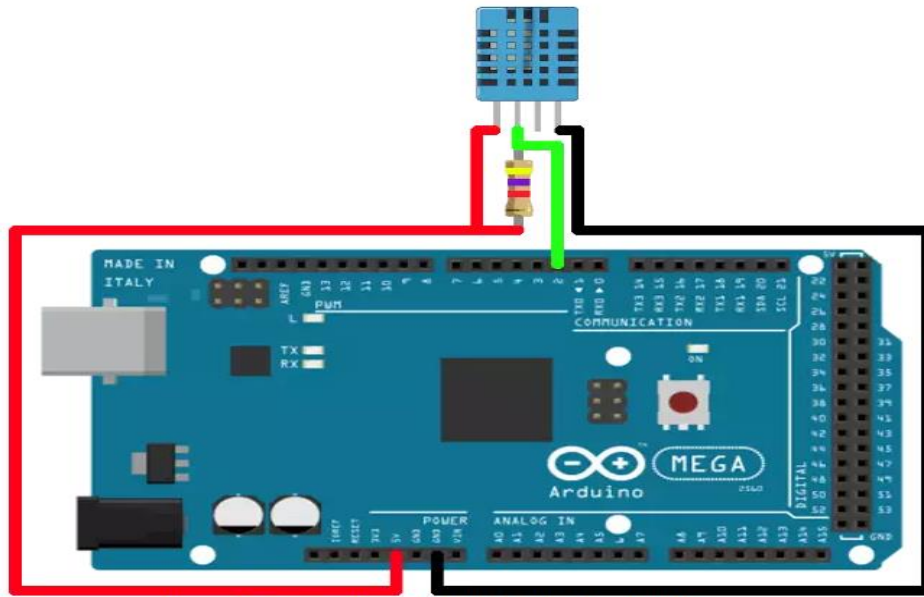


Figure III.6. ARDOUINO MEGA2560 avec DH11 ou DH122 sensor [38].

### III.3.11. Qu'est-ce qu'une horloge en temps réel (RTC ds1307) ?

Le module RTC, également appelé horloge en temps réel, est construit autour de la puce DS1307, fournissant des informations sur les secondes, minutes, heures, jour, date, mois et année pour vos projets.

Alors pourquoi utiliser un module séparé lorsque l'Arduino a déjà un chronomètre intégré ? La raison est que le RTC fonctionne avec une batterie au lithium, ce qui permet de garder l'heure même si l'Arduino est reprogrammé ou débranché de l'alimentation principale.

Nous avons opté pour le RTC DS1307 car il est abordable et très économe en énergie, pouvant fonctionner pendant des années avec une petite pile bouton [39][40].

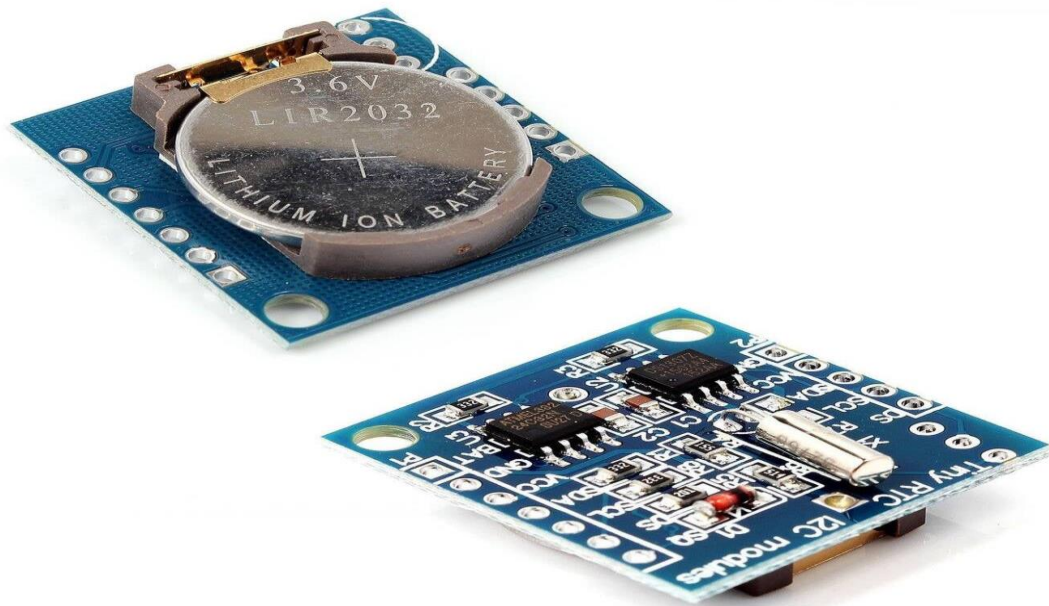


Figure III.7. Horloge en temps réel (RTC ds1307) [40].

#### III.3.11.1. Principes de Fonctionnement :

Les RTC sont généralement équipés d'une petite batterie qui leur permet de fonctionner même lorsque le système principal est éteint. Ils utilisent un oscillateur à quartz, semblable à ceux utilisés dans les montres traditionnelles, pour mesurer le temps avec précision. La fréquence de l'oscillateur détermine la précision de l'horloge, où une fréquence plus élevée est généralement associée à une mesure du temps plus précise.

#### III.3.11.2. Applications des Horloges Temps Réel :

- ✓ Ordinateurs et serveurs : Maintenir l'heure et la date même lorsque l'ordinateur est hors tension ou redémarré.
- ✓ Systèmes embarqués : Utilisé dans les voitures, avions et appareils électroniques où une connaissance précise du temps est essentielle.
- ✓ Appareils de communication : Utilisé pour estampiller temporellement les transactions ou les communications.

#### III.3.11.3. Avantages des RTC

Les horloges temps réel présentent plusieurs avantages :

- ✓ Indépendance : Elles peuvent fonctionner de manière autonome, indépendamment de la source d'alimentation principale.
- ✓ Précision : Elles offrent une mesure du temps précise, cruciale pour les applications où chaque seconde compte.
- ✓ Fiabilité : Elles sont durables et fiables, même dans des environnements difficiles [31].

#### III.3.11.4. Les inconvénients :

Les inconvénients de l'utilisation d'un RTC (Real-Time Clock) comprennent :

- ✓ Complexité de l'intégration : Intégrer un RTC à un projet peut compliquer à la fois le matériel et le logiciel. Il faut configurer des bibliothèques spécifiques et s'assurer que l'horloge est correctement initialisée et synchronisée.
- ✓ Coût additionnel : L'achat et l'intégration d'un RTC augmentent les coûts du projet. Bien que ces composants ne soient pas très coûteux, ils contribuent néanmoins au budget total.
- ✓ Maintenance de la batterie : Les RTC nécessitent souvent une batterie pour maintenir l'heure lorsqu'ils ne sont pas alimentés par le système principal. La batterie doit être remplacée périodiquement, ajoutant ainsi une tâche de maintenance.
- ✓ Précision limitée : Malgré leur précision, les RTC peuvent dériver légèrement avec le temps. Il peut être nécessaire de les synchroniser régulièrement avec une source de temps plus précise, telle qu'un serveur NTP (Network Time Protocol).
- ✓ Consommation d'énergie : Bien que la consommation d'énergie des RTC soit faible, elle n'est pas négligeable. Pour des projets où chaque milliwatt compte, l'ajout d'un RTC peut être un inconvénient.
- ✓ Encombrement physique : Intégrer un RTC nécessite de l'espace supplémentaire sur la carte ou dans l'assemblage du projet, ce qui peut être problématique dans des conceptions compactes.

#### III.3.12. les actionneurs:

- **Définition** : Un actionneur est un dispositif qui convertit l'énergie reçue en un phénomène physique spécifique, produisant ainsi un travail. Les actionneurs font partie de la partie opérative d'un système. Voici quelques exemples :



- ✓ Conversion de courant électrique en lumière (diode électroluminescente, lampe...)
- ✓ Transformation de courant électrique en sons (vibreux, avertisseur sonore...)
- ✓ Création d'un champ magnétique à partir de courant électrique (électroaimant)
- ✓ Émission de rayonnement infrarouge grâce à un courant électrique (diode émissive infrarouge)
- ✓ Génération de chaleur à partir de courant électrique (résistance chauffante)
- ✓ Production de mouvement à partir de courant électrique (moteur électrique)
- ✓ Déclenchement d'un mouvement à partir d'un fluide sous pression (vérin pneumatique ou hydraulique)

### III.3. 13. Ecran lcd :

- **Description** : Cet écran LCD couleur à matrice active TFT (Thin Film Transistor) utilise du silicium amorphe TFT comme dispositif de commutation. Il se compose d'un panneau TFT-LCD de type transmissif, d'un circuit pilote et d'une unité de rétroéclairage. Le modèle 1,44" TFT-LCD a une résolution de 128 x 128 pixels et peut afficher jusqu'à 65 000 couleurs.

#### - Caractéristiques

- ✓ Faible tension d'entrée : 3,3 V (TYP)
- ✓ Couleurs d'affichage : 65 000 couleurs
- ✓ Interface RVB : MCU 8080 8/16 bits
- ✓ Interface SPI : 3/4 lignes [41].

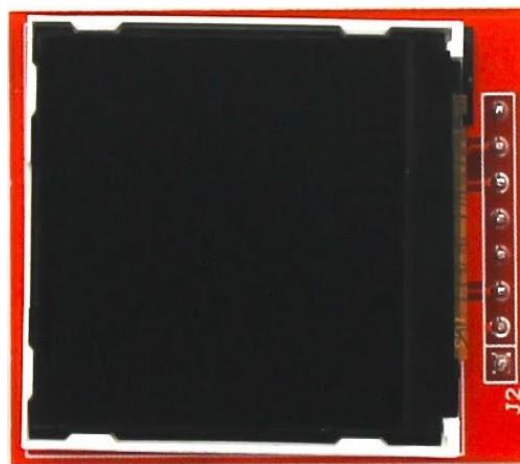


Figure III.8. Ecran lcd [42]

### III.3.14. Le module à ultrasons (HC-SR04)

Le module à ultrasons (HC-SR04) est un capteur capable de mesurer des distances comprises entre 2 cm et 400 cm à l'aide d'ondes ultrasonores. Il est couramment utilisé dans les projets de robotique et d'automatisation pour détecter des objets et mesurer des distances. Le module se compose d'un émetteur et d'un récepteur à ultrasons, qui fonctionnent ensemble pour envoyer et recevoir des ondes ultrasonores [43].



**Figure III.9.** Le module à ultrasons (HC-SR04)

Ce module de commande de moteur L298N est un module de commande de moteur haute puissance pour la commande de moteurs à courant continu et pas à pas. Ce module se compose d'un circuit intégré de commande de moteur L298 et d'un régulateur 78M05 5V. Le module L298N peut contrôler jusqu'à 4 moteurs à courant continu ou 2 moteurs à courant continu avec contrôle directionnel et de vitesse [44].

### III.3.15. Pont en H L298N :

Ce circuit, très populaire et bon marché (moins de 3€), offre un bon moyen de piloter jusqu'à deux moteurs à courant continu, ou bien un moteur pas à pas, voire même un moteur brushless.

- ✓ Il peut délivrer jusqu'à 2A en pointe et 20W en continu.
- ✓ Il possède son propre circuit d'alimentation logique (permettant d'alimenter l'Arduino).

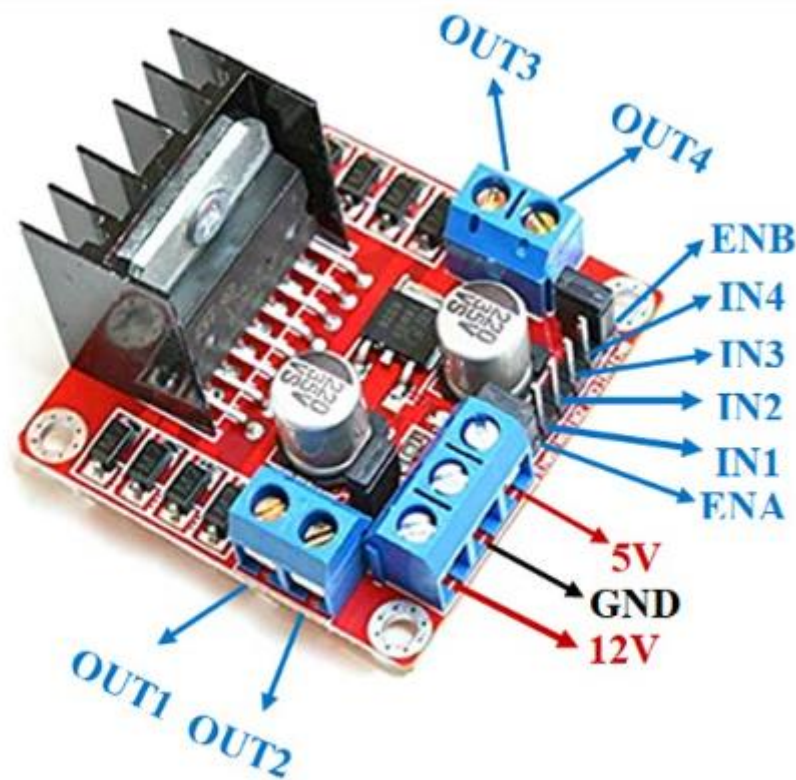


Figure III.10. Pont en H L298N

### III.3.16. Commande :

- ✓ Les ports **ENA** et **ENB** permettent de gérer l'amplitude de la tension délivrée au moteur, grâce à un signal PWM.
- ✓ Les ports **In1**, **In2** pour le moteur A et **In3**, **In4** pour le moteur B, permettent de contrôler le pont en H et par conséquent le sens de rotation des moteurs.

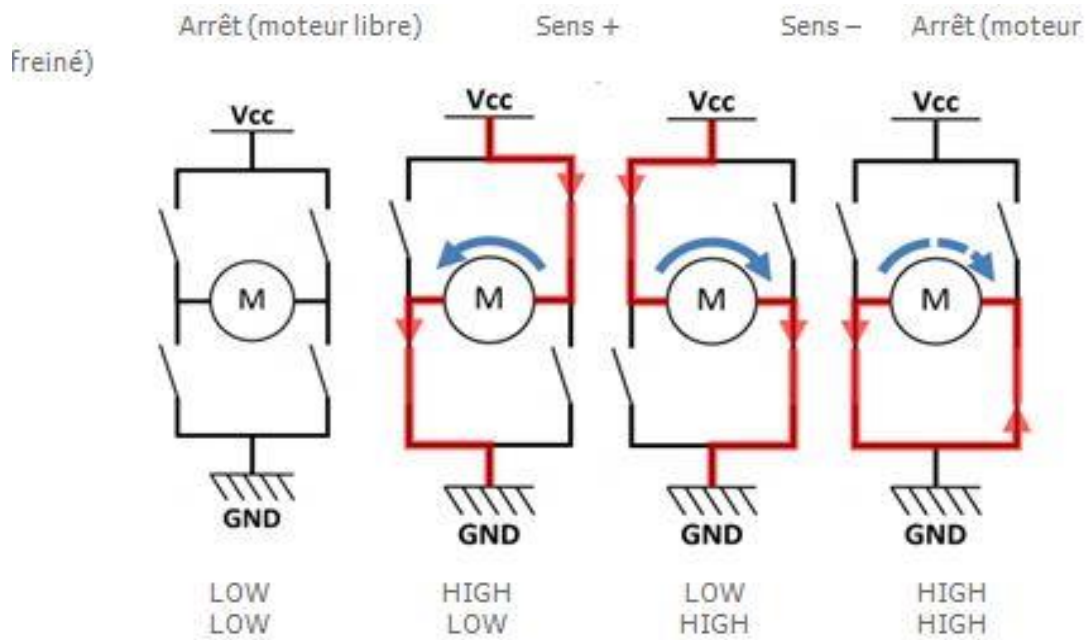


Figure III.11. Commande

### III.3.17. La photorésistance ou LDR :

La photorésistance ou LDR est un composant électronique qui change sa résistance en fonction de la lumière qu'il reçoit. Plus il est exposé à la lumière, plus sa résistance diminue. La photorésistance est constituée d'un matériau semi-conducteur sensible à la lumière, comme le sulfure de cadmium ou le sélénium. [45]



Figure III.12. La photorésistance ou LDR [45]

<https://youpilab.com/components/product/photoresistance-ldr>

### III.4. partie logicielle :

#### III.4.1 Plateforme de programmation Arduino :

- **Définition** : L'interface de l'IDE Arduino est conçue de manière simple et épurée pour faciliter la programmation de l'Arduino ATMEGA328P. Elle comprend un éditeur de code avec une coloration syntaxique et une barre d'outils rapide, ces deux éléments étant les plus utilisés. Il y a également une barre de menus traditionnelle pour accéder aux fonctionnalités avancées de l'IDE. Enfin, une console affiche les résultats de la compilation du code source ainsi que les opérations effectuées sur la carte [46].



Figure III.13. Plateforme de programmation ARDUINO

#### - L'interface du logiciel :

L'interface du logiciel se présente de la manière suivante :

- ✓ Options de configuration du logiciel\*\*
- ✓ Boutons pour la programmation des cartes\*\*
- ✓ Zone de programmation\*\*
- ✓ **\*\*Débogueur\*\*** : Affiche les erreurs de programmation
- ✓ **\*\*Déclaration des variables (globales)\*\***
- ✓ **\*\*Initialisation ('Void Setup() {}')\*\*** : Au démarrage de l'Arduino, toutes les instructions entre les accolades sont exécutées une seule fois.
- ✓ **\*\*Boucle principale ('Void Loop() {}')\*\*** : Les instructions sont répétées indéfiniment tant que l'Arduino fonctionne.

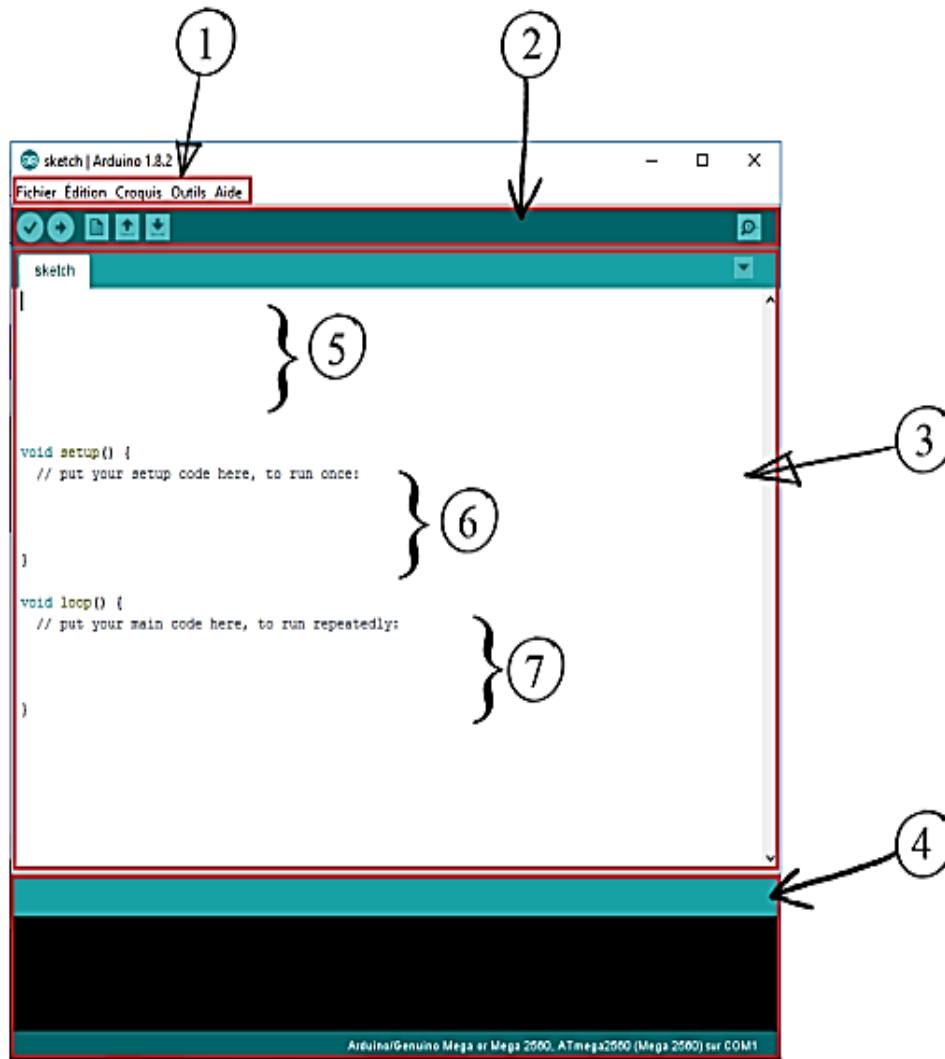


Figure III.14. l'interface du logiciel arduino

- Les boutons du logiciel :



Figure III.15. les boutons du logiciel de programmations

- Fonctionnalités de l'interface :

- ✓ **\*\*Vérifier\*\*** : Permet de vérifier le programme en cherchant les erreurs.

- ✓ **\*\*Téléverser\*\*** : Compile et envoie le programme vers la carte.
- ✓ **\*\*Nouveau\*\*** : Crée un nouveau fichier.
- ✓ **\*\*Charger\*\*** : Ouvre un programme existant.
- ✓ **\*\*Sauvegarder\*\*** : Enregistre le programme en cours.
- ✓ **\*\*Moniteur série\*\*** : Utilise l'écran de l'ordinateur pour afficher des informations, car la carte Arduino n'a pas d'affichage intégré. Cela permet de suivre l'exécution du programme.

- **L'environnement de programmation** : Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (avec un langage proche du C). Une fois le programme tapé ou modifié, il est transféré et mémorisé dans la carte via la liaison USB. Le câble USB alimente la carte en énergie et transporte également les informations, ce programme est appelé l'IDE Arduino.

- **Structure générale du programme (IDE Arduino)** : Comme tout langage de programmation, l'interface est souple et simple, et elle est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation. Arduino est basé sur la programmation en C.

- **Injection du programme** : Avant d'envoyer un programme à la carte, il est nécessaire de sélectionner le type de carte (Arduino Mega2560) et le numéro de port USB (COM).

- **Description du programme** : Un programme Arduino est une suite d'instructions textuelles (ligne par ligne). La carte lit et exécute les instructions dans l'ordre défini par les lignes de code. Les commentaires dans le code source sont ignorés par le compilateur ou l'interpréteur et ne influencent pas l'exécution du programme.

**\*\*Définition des variables\*\*** : Pour notre montage, nous utiliserons une sortie numérique, par exemple la troisième sortie numérique. Cette variable doit être définie et nommée ; la syntaxe pour désigner un nombre entier est ``int``.

**\*\*Configuration des entrées et des sorties\*\*** (``void setup()``) : Les broches numériques de l'Arduino peuvent être configurées en entrées ou en sorties numériques. Ici, nous configurons une broche en sortie avec ``pinMode(nom, état)``, où ``état`` est soit ``OUTPUT`` pour les sorties ou ``INPUT`` pour les entrées.

**\*\*Programmation des interactions\*\*** (``void loop()``) : Dans cette boucle, nous définissons les opérations à effectuer dans l'ordre. ``digitalWrite(nom, état)`` est une

fonction pour les entrées-sorties numériques. `delay (temps en millisecondes) ` est la commande d'attente entre deux instructions. Chaque ligne d'instruction se termine par un point-virgule, et les accolades encadrent la boucle.

- **Les étapes de téléchargement du programme :** Pour injecter un code vers la carte Arduino via le port USB, suivez ces étapes :

- ✓ Concevoir ou ouvrir un programme existant avec le logiciel IDE Arduino.
- ✓ Vérifier le programme avec le logiciel Arduino (compilation).
- ✓ Modifier le programme en cas d'erreurs signalées.
- ✓ Charger le programme sur la carte.
- ✓ Câbler le montage électronique.
- ✓ Attendre quelques secondes pour l'exécution automatique du programme.
- ✓ Alimenter la carte via le port USB ou une source d'alimentation autonome (comme une pile de 9 volts). Vérifier le bon fonctionnement du montage.

#### III.4. 2. Proteus:

Proteus Professional, créé par Labcenter Electronics, se distingue comme une suite logicielle majeure dédiée à la Construction Assistée par Ordinateur (CAO) dans le domaine de l'électronique. Cette suite comprend plusieurs logiciels, notamment ISIS, ARES, PROSPICE, et VSM, qui offrent des fonctionnalités variées pour la conception et la simulation de circuits électroniques. Cette suite est largement reconnue et utilisée dans l'industrie électronique, ainsi que dans les établissements d'enseignement tels que les lycées et les universités.

Les avantages de Proteus Professional sont multiples. Tout d'abord, sa facilité d'utilisation et sa rapidité de prise en main en font un outil très apprécié des concepteurs électroniques, qu'ils soient novices ou expérimentés. De plus, le support technique proposé est réputé pour son efficacité, offrant une assistance précieuse aux utilisateurs en cas de besoin. Un autre avantage majeur de Proteus Professional réside dans son outil de création de prototypes virtuels, qui permet de réduire considérablement les coûts associés à la conception d'un projet, tant au niveau matériel que logiciel. Ces caractéristiques font de Proteus Professional un choix populaire et fiable pour la conception et la simulation de circuits électroniques [47].



- **Caractéristiques de Proteus Professional** : Voici les principales caractéristiques de Proteus Professional :

- ✓ Création de schémas via un éditeur graphique convivial.
- ✓ Prise en charge des modèles SPICE pour la simulation.
- ✓ Compatibilité étendue avec de nombreux appareils électroniques.
- ✓ Fonction de test permettant de détecter les erreurs éventuelles [48].

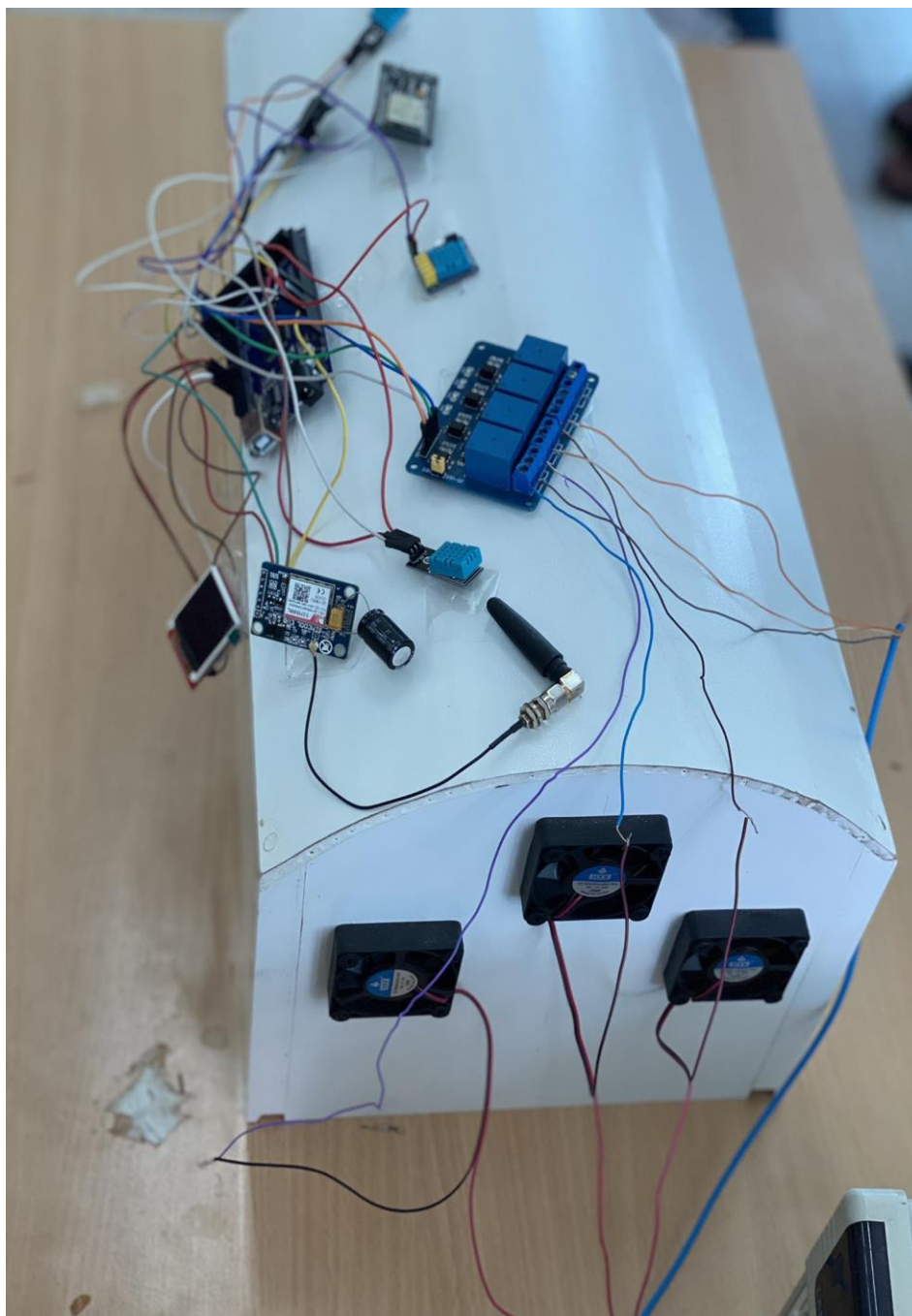
### **III.5. Les démarche de conception de notre poulailler intelligent :**

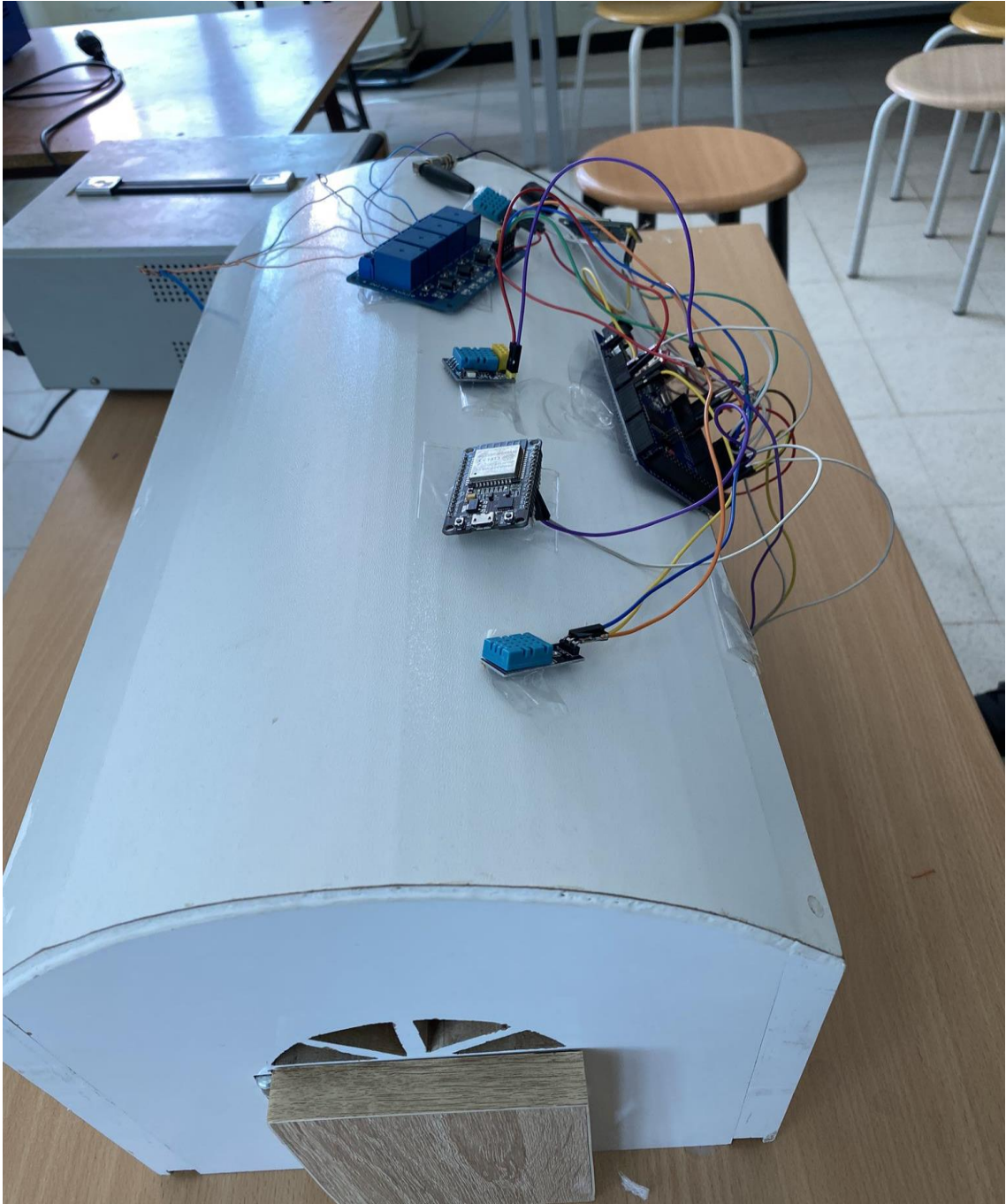
#### **III.5.1. Réalisation du prototype :**

Notre projet consiste en la réalisation pratique d'un système de contrôle automatisé pour gérer l'ambiance climatique à partir des informations de mesure (prototype) de dimensions 50 cm de longueur, 25 cm de largeur et 25 cm de hauteur, comme illustré sur les figures 3.1.a et 3.1.b. Cette maquette simule un bâtiment d'élevage de poulets de chair. Le prototype nous a permis de tester les performances et le bon fonctionnement du système élaboré. [49]

Le matériel utilisé pour la création de la maquette comprend :

- ✓ 03 ventilateurs 12V.
- ✓ Des fils de connexion.
- ✓ Un capteur DHT11.





Figures III.16. Réalisation du prototype

### III. 5.2. Réalisation de la carte de traitement :

La carte de traitement est basée sur un microcontrôleur ATmega2560, avec un module GSM SIM800L, un module RTC, un écran LCD, ainsi qu'un module WiFi ESP32. En outre, elle intègre divers composants électroniques tels que des relais, des résistances, des condensateurs, des transistors, des LED, etc.

### III. 5.3. Schéma électrique de la carte de traitement :

Le schéma électrique et la réalisation pratique de la carte de traitement est donné par la (Figure) [50]

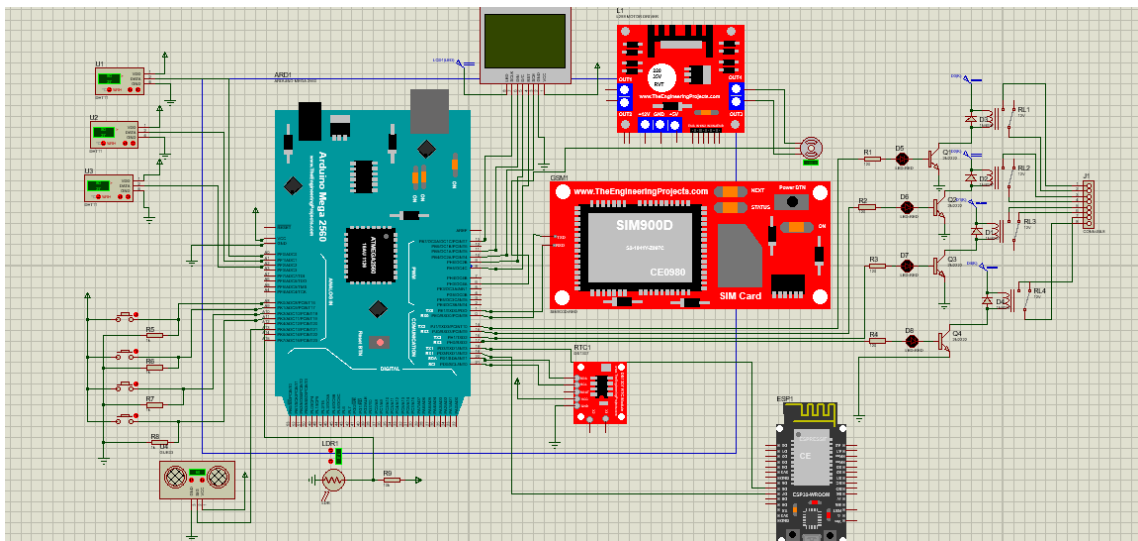


Figure III.17. Le schéma électrique et la réalisation pratique de la carte de traitement [62]

### III.5.6. Affichage final du contrôleur :

Après avoir terminé la préparation de la carte électronique et installé tous les capteurs, l'écran LCD et les boutons, nous les avons emballés dans une boîte pour assurer leur protection et leur régulation.

### III.6. Présentation des fonctions du système :

Notre système comprendra plusieurs fonctionnalités que nous allons présenter ci-dessous de façon plus détaillée :

### III.6.1. Fonction de contrôle et de surveillance :

Le système surveille plusieurs paramètres (température, humidité, intensité de la luminosité) et les régule, à l'exception de l'intensité d'éclairage.

### III.6.2. Fonction de gestion de l'humidité :

Les poulets vivent dans un environnement avec un certain degré d'humidité qui ne doit en aucun cas dépasser la limite autorisée. Pour cela, le système règle automatiquement le pourcentage d'humidité, le maintenant à un niveau optimal compris entre 40 et 75%.

### III.6.3. Fonction de gestion de température :

Les poulets nécessitent un environnement à température contrôlée, qui ne doit en aucun cas dépasser les limites appropriées. Pour cela, le système règle automatiquement la température, la maintenant à un niveau optimal compris entre 20°C et 30°C.

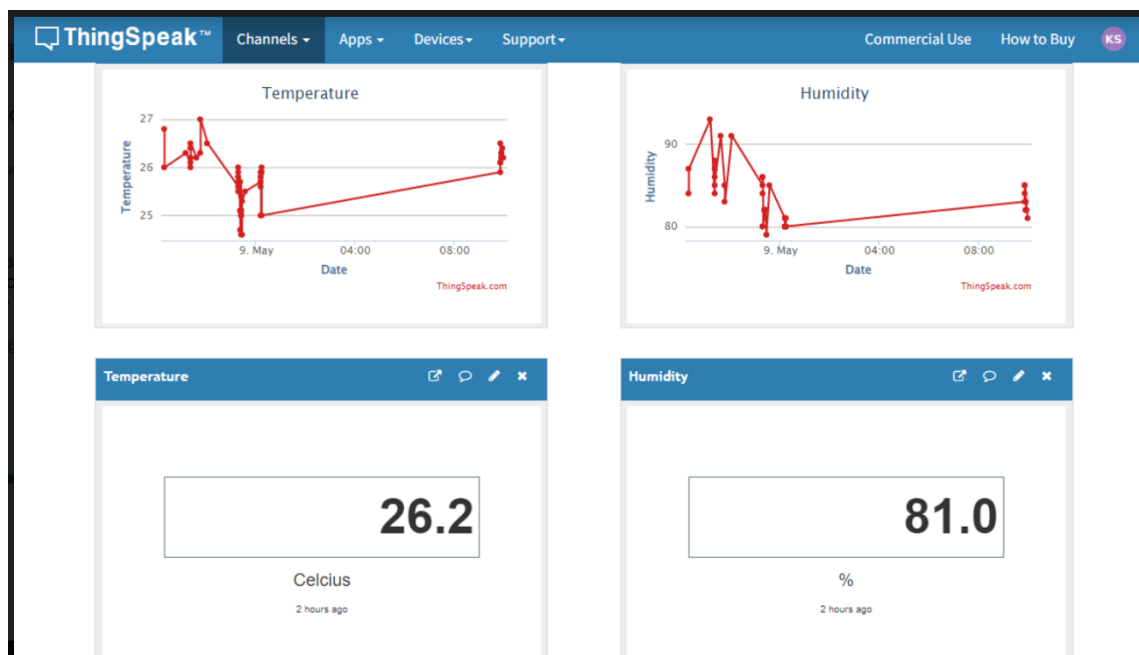


Figure III.18. Affichage de température et d'humidité

**III.6.4. Commande le niveau d'eau :**

Capteurs de Niveau d'Eau: Installez des capteurs de niveau d'eau dans vos réservoirs et canalisations. Ces capteurs peuvent envoyer des alertes en temps réel à votre téléphone ou ordinateur lorsque le niveau d'eau atteint un seuil critique.

**III.6.5. L'éclairage :**

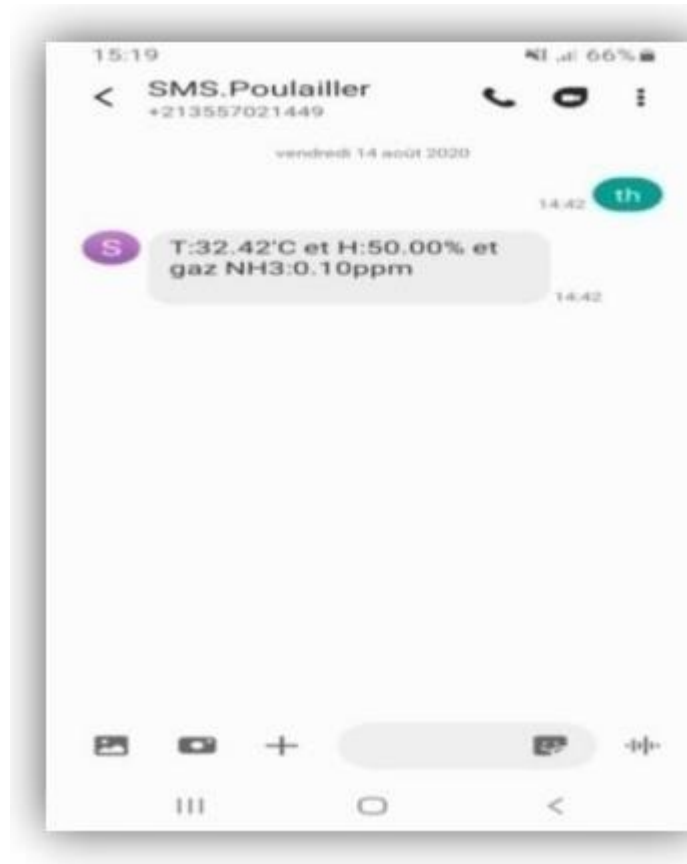
L'éclairage artificiel dans les élevages de poulets permettra de garantir que les poulets continuent de manger et de dormir pendant la nuit.

\* Les élevages de poulets sont éclairés la nuit pour garantir que les poulets restent actifs pendant les périodes d'obscurité.

L'éclairage du poulailler doit être programmé pour correspondre à un cycle de 14 à 16 heures de lumière par jour. Une minuterie automatisée vous permettra de maintenir ce cycle de manière constante, même lorsque vous n'êtes pas présent.

**III.6.6. Fonction d'envoi de SMS :**

Lorsque l'utilisateur envoie un SMS au système pour connaître l'état des paramètres, il reçoit une réponse. Comme illustré dans la figure suivante :

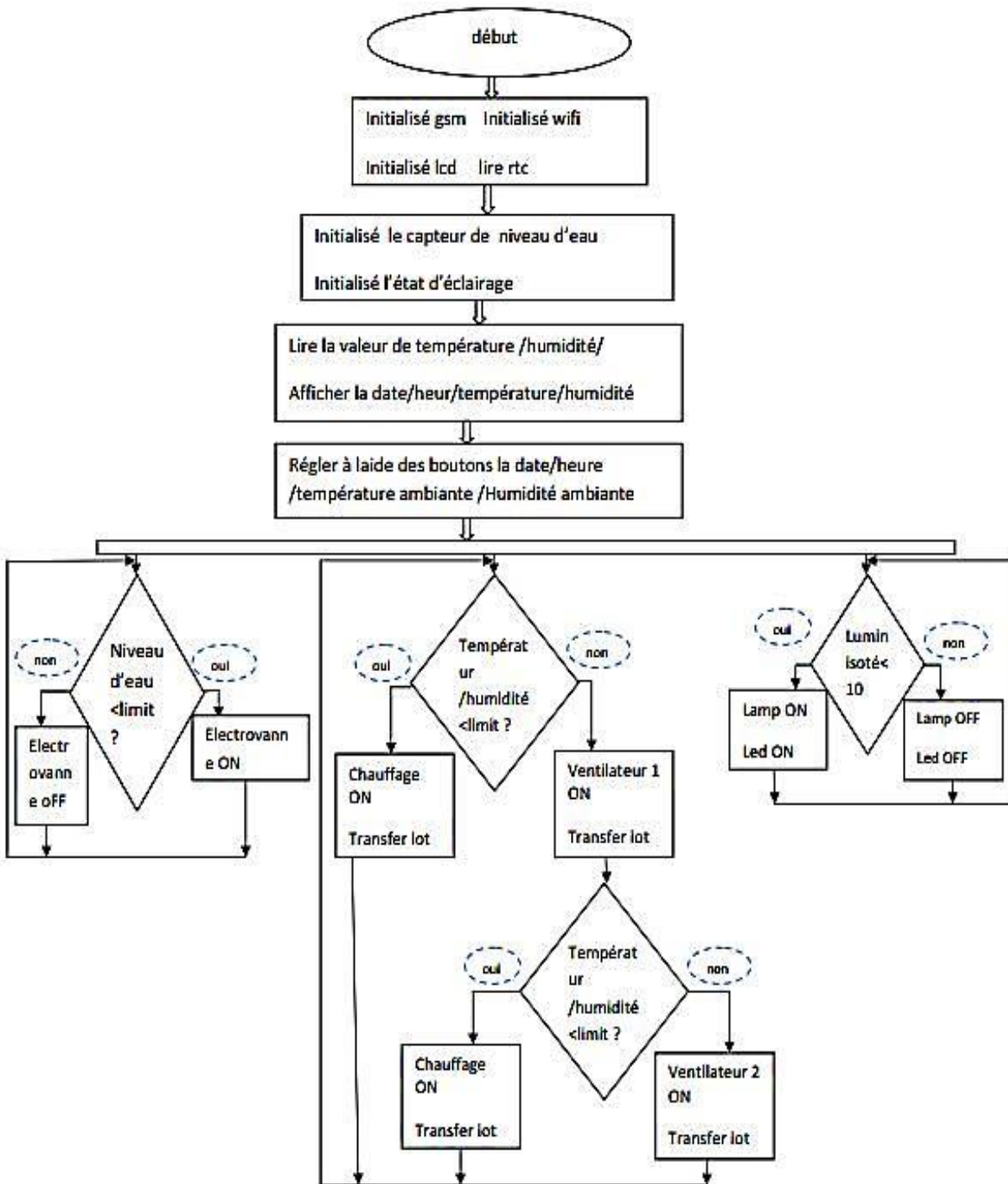


**Figure III.18.** Fonction d'envoi de SMS

### **III.6.7. Fonction d'alerte :**

Cette fonction permet de signaler à l'utilisateur un dysfonctionnement à l'intérieur du poulailler en appelant le téléphone de l'utilisateur pour l'avertir (chaleur anormale, panne de courant dans le bâtiment, dysfonctionnement dans la boîte intérieure, interruption de la communication entre les deux boîtes, etc.).

III.7. L'organigramme :



-Explication de l'organigramme :

L'organigramme présenté décrit un processus automatisé, associé à la gestion d'un système en pleine croissance ou d'un environnement contrôlé. Il gère des paramètres tels que la température, l'humidité, le niveau d'eau et les dispositifs de contrôle tels que les électrovannes, les radiateurs et les ventilateurs.



**- Déroulement du processus :**

**Initialisations:** Le système commence par initialiser différents composants : module GSM, WiFi, lcd, capteur de niveau d'eau, Il initialise également l'état de l'éclairage et lie l'horloge en temps réels.

**- Lecture et affichage des données:**

- ✓ Le système lit les valeurs de température et d'humidité.
- ✓ Il affiche ensuite ces valeurs ainsi que la date et l'heure.
- ✓ Réglage des paramètres:
- ✓ L'utilisateur peut interagir avec le système via des boutons pour régler la date, l'heure, la température ambiante souhaitée et l'humidité ambiante souhaitée.

**- Partie centrale : Boucle de contrôle**

Niveau d'eau < Limite ? : Le système vérifie si le niveau d'eau mesuré est inférieur à une valeur limite prédéfinie. Si c'est le cas, il déclenche l'électrovanne pour remplir le réservoir.

Si la condition n'est pas remplie Il coupe l'électrovanne pour arrêter de remplir le réservoir.

Température / Humidité < Limite ? : Le système vérifie si la température et l'humidité sont inférieures à une limite définie. Si c'est le cas, il active le chauffage. Sinon, il active le ventilateur 1, puis effectue à nouveau le même test. Si la condition est remplie, le chauffage reste activé; sinon, le système active le ventilateur 2.

Transfert iot: Cette action suggère que les données collectées par le système (température, humidité, état des actionneurs) sont envoyées vers une plateforme IoT (Internet des Objets). Cela permet de surveiller le système à distance et de recevoir des alertes en cas de problème.

**- Partie droite : Gestion de la luminosité**

Luminosité < 10: Cette condition semble déclencher la mise en marche ou l'arrêt de certaines lumières (lampe, LED). Le seuil de 10 est arbitraire et pourrait correspondre à une valeur de luminosité ambiante mesurée par un capteur.

### **III.8. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons réalisé les trois volets (matériel, prototype et logiciel) de notre projet. Pour accomplir les tâches d'automatisation des bâtiments avicoles, nous avons conçu et fabriqué des circuits électroniques, expliqué le principe de fonctionnement et construit un prototype miniature de bâtiment d'élevage. Ensuite, nous avons créé un schéma électrique à l'aide du logiciel proteus pour surveiller le système. Enfin, nous avons conclu le chapitre en présentant l'ensemble des tests de fonctionnement réalisés dans des conditions réelles, avec une description des résultats obtenus qui ont été très satisfaisants. Nous espérons avoir l'occasion de tester le système dans un véritable poulailler à l'avenir.

# *Conclusion générale*

## **CONCLUSION GENERALE:**

Transformer l'élevage traditionnel des poulets en un système intelligent et efficace grâce à l'utilisation de technologies modernes et de systèmes de contrôle intégrés pourrait révolutionner l'industrie avicole. En exploitant ces technologies intelligentes, les agriculteurs peuvent surveiller et gérer avec précision un large éventail de paramètres environnementaux, tels que la température, l'humidité, la ventilation, et l'éclairage, essentiels pour garantir un environnement sain pour le développement des volailles.

L'agriculture intelligente s'appuie sur des technologies avancées telles que l'Internet des objets (IoT), les capteurs, et les systèmes de contrôle automatisés. Ces outils permettent aux agriculteurs de surveiller l'environnement de l'exploitation en temps réel et d'ajuster automatiquement les paramètres en fonction des données recueillies, ce qui améliore la productivité tout en réduisant le temps et l'effort nécessaires pour les opérations traditionnelles.

Le document proposé présente un modèle économique pour transformer les fermes traditionnelles en fermes intelligentes, en utilisant un ensemble restreint d'outils et de technologies modernes. Les performances de ce système de gestion avicole intelligent ont été évaluées sur la base de plusieurs critères environnementaux et climatiques qui influencent directement les élevages de poulets. Grâce à ce système, les normes environnementales peuvent être maintenues dans des plages optimales, ce qui réduit les risques et améliore le bien-être des volailles.

Le projet se concentre principalement sur la distribution automatisée de l'eau, le contrôle de l'environnement interne de l'exploitation et sa surveillance continue. Ces mesures s'inscrivent dans une vision à long terme visant à transformer les élevages de volailles en systèmes entièrement automatisés. Selon les besoins et les conditions, cette transformation pourrait inclure l'intégration d'autres technologies, telles que des systèmes de nettoyage automatiques pour assurer une hygiène régulière de l'élevage, ainsi que des dispositifs de surveillance visuelle, comme des caméras, pour suivre de près la santé et le comportement des volailles.

Avec le développement de ces technologies, les exploitations agricoles pourraient fonctionner de manière plus autonome, étant surveillées et contrôlées à distance via des

applications mobiles ou des interfaces Web. Ce type d'automatisation ne contribue pas seulement à réduire les erreurs humaines, mais il améliore également l'efficacité de la production et permet d'atteindre des normes de qualité plus élevées pour les produits avicoles.

Enfin, ce système intelligent offre aux agriculteurs la capacité de s'adapter rapidement aux changements environnementaux imprévus, qu'ils soient liés aux conditions climatiques ou à l'apparition de maladies potentielles, renforçant ainsi la durabilité des exploitations agricoles et réduisant les risques financiers et sanitaires.

# *Références Bibliographiques*

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] N. Alloui, "Cours zootechnie aviaire, université - El hadj Lakhdar - Batna, Département de vétérinaire," 2006.
- [2] [Online]. Available: [http://www.eqcma.ca/uploads/files/elevage\\_basse\\_cour/Basse-cour\\_Document\\_complet\\_13\\_02\\_2013.pdf](http://www.eqcma.ca/uploads/files/elevage_basse_cour/Basse-cour_Document_complet_13_02_2013.pdf)
- [3] R. Abbassi and F. Ghebeichi, "Conduite de l'élevage avicole (poulet de chair) dans la wilaya d'Ouargla (cas de daïra Sidi Amrane)," Mémoire du projet de fin d'études, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2017.
- [4] Z. Djerou, "Influence des conditions d'élevage sur les Performances chez le Poulet de Chair," Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister en médecine vétérinaire, Université Mentouri de Constantine, 2006.
- [5] I. Drif and M. Fatima Zohra, "Étude comparative du coût de production des élevages de poulet de chair (région de M'sila)," Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2017.
- [6] C. Hubbard, "Guide d'élevage du poulet de chair Hubbard 1," Lyon, France: HubbardBreeders.com, 2015.
- [7] Ministère de l'agriculture, "Evolution de la production des filières agricoles sur la période 2014-2017," Radio Algérie, 2018. [Online]. Available: <http://www.radioalgerie.dz/news/fr/article/20180423/139515.html>
- [8] A. El Bouamrani and I. Hadj Moussa, "Situation de l'aviculture type chair dans la zone Nord est dans la wilaya de Ain Defla," Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master, Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 2017.
- [9] N. Malika, "L'impact des facteurs d'ambiance (température, humidité, éclairage...) sur l'élevage du poulet de chaire à Touggourt (cas de Sidi Mahdi)," Mémoire de Master Académique, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2016.
- [10] O. Hersent, D. Boswarthick, and O. Elloumi, *The Internet of Things: Key Applications and Protocols*. Wiley, 2012.
- [11] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A Survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, Oct. 2010.
- [12] J. Pascual, O. Sanjuán, J. M. Cueva, B. C. Pelayo, M. Álvarez, and A. González, "Modeling architecture for collaborative virtual objects based on services," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 34, no. 5, pp. 1634–1647, 2011.

- [13] O. Vermesan and P. Friess, "Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems," River Publishers, 2013.
- [14] A. Hakiri, P. Berthou, A. Gokhale, and S. Abdellatif, "Publish/subscribe-enabled software defined networking for efficient and scalable IoT communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 9, pp. 88–96, Sep. 2015.
- [15] D. Pianini and G. Salvaneschi, "IoT Architectural Framework: Connection and Integration Framework for IoT Systems," *First workshop on Architectures, Languages and Paradigms for IoT, EPTCS 264*, pp. 1–17, 2018.
- [16] A. Naveen and M. Soumyalatha, "Study of IoT: Understanding IoT Architecture, Applications, Issues and Challenges," *International Journal of Advanced Networking & Applications (IJANA)*, ISSN: 0975-0282.
- [17] C. Perera, A. Zaslavsky, P. Christen, M. Compton, and D. Georgakopoulos, "Context-aware sensor search, selection and ranking model for internet of things middleware," *Mobile Data Management (MDM), 2013 IEEE 14th International Conference on*, vol. 1, pp. 314–322.
- [18] H. Abangar, P. Barnaghi, K. Moessner, R. Tafazolli, A. Nnaemego, and K. Balaskandan, "A Service Oriented Middleware Architecture for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of Future Network and Mobile Summit 2010*.
- [19] V. Della Mea, "What is e-health (2): The death of telemedicine?" *Journal of Medical Internet Research*, vol. 3, no. 2, e22, 2001.
- [20] G. Eysenbach, "What is e-health?" *Journal of Medical Internet Research*, vol. 3, no. 2, e20, 2001.
- [21] T. J. Dishongh and M. McGrath, *Wireless Sensor Networks for Healthcare Applications*, 1st ed. Artech House, 2009.
- [22] M. Park, "IEEE 802.11ah: sub-1-GHz license-exempt operation for the Internet of Things," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 9, pp. 145-151, Sep. 2015.
- [23] J. Decuir, "Bluetooth 4.0: Low Energy," *Presentation slides*, 2010.
- [24] C. Gomez, J. Oller, and J. Paradells, "Overview and evaluation of Bluetooth low energy: An emerging low-power wireless technology," *Sensors*, vol. 12, no. 9, pp. 11734-11753, 2012.
- [25] ZigBee Standards Organization, "ZigBee Specification," *Document 053474r17*, Jan. 2008, 604 pp.



- [26] M. Hasan, E. Hossain, and D. Niyato, "Random access for machine-to-machine communication in LTE-advanced networks: Issues and approaches," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 6, pp. 86-93, Jun. 2013.
- [27] Sigfox, "Make things come alive in a secure way," tech. rep., Sigfox, Feb. 2017. Accessed: 2018-10-02.
- [28] G. Ferré and E. P. Simon, "An introduction to Sigfox and LoRa PHY and MAC layers," working paper or preprint, Apr. 2018.
- [29] LoRa Alliance, "LoRaWAN Specification," 2015.
- [30] G. Ferré and E. Simon, "An introduction to Sigfox and LoRa PHY and MAC layers," 2018. [Online]. Available: fahal-01774080f.
- [31] A. Juton, "Réseaux très basse consommation, longue portée, bas débit, l'exemple de LoRaWAN," *3EI*, no. 96, pp. 1-10, Apr. 2019.
- [32] Object Management Group, "Data Distribution Service V1.4," Apr. 2015.
- [33] Z. Iabbaden and F. Lahlou, "Réalisation d'un module de distribution d'énergie à base d'une carte Arduino Méga 2560," Master's thesis, Mouloud Mammeri University of Tizi Ouzou, 2016/2017.
- [34] O. Messili and D. Faïd, "Conception et réalisation d'un système de contrôle et surveillance des paramètres d'un poulailler," Master's thesis, Mohamed Boudiaf University, M'sila, 2019/2020.
- [35] A. Baia-Rasso, "Conception d'un système de gestion d'une cité intelligente," Master's thesis, Badji Mokhtar University Annaba, 2020/2021.
- [36] [Online]. Available: <https://www.robotique.site/tutoriel/le-capteur-dht11/>
- [37] A. Mansour, "Etude et réalisation d'un système de sécurité basé sur module GSM Sim 900 via ATMEGA 328," Master's thesis, Mouloud Mammeri University of Tizi-Ouzou.
- [38] [Online]. Available: <https://www.robotique.site/tutoriel/le-capteur-dht11/>.
- [39] [Online]. Available: <https://www.moussasoft.com/dht11-capteur-de-temperature-et-humidite-arduino/>
- [40] [Online]. Available: [https://ozeki.hu/p\\_3003-how-to-setup-a-dht-sensor-on-arduino-mega.html](https://ozeki.hu/p_3003-how-to-setup-a-dht-sensor-on-arduino-mega.html)
- [41] [Online]. Available: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/11/19/arduino-tutorial-using-ds1307-rtc-with-arduino/>
- [42] [Online]. Available: <https://smarthallroad.com/product/real-time-clock-module-tiny-ds1307-rtc-i2c-at24c32>.

- [43] [Online]. Available: <https://www.electricity-magnetism.org/fr/horloges-temps-reel/>
- [44] [Online]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/3317030.pdf>
- [45] [Online]. Available: <https://powertech-dz.net/products/single/lcd-tft-couleur-144-pouces-vente-composants-electronique-blida-algerie-185>.
- [46] [Online]. Available: <https://youpilab.com/components/product/photoresistance-ldr>.
- [47] [Online]. Available: [https://docs.sunfounder.com/projects/ultimate-sensor-kit/en/latest/components\\_basic/01-component\\_ultrasonic\\_module.html](https://docs.sunfounder.com/projects/ultimate-sensor-kit/en/latest/components_basic/01-component_ultrasonic_module.html).
- [48] H. Hamochi, "Conception & réalisation d'une centrale embarquée de la domotique 'Smart Home'," Master's thesis, Mohammed V University, Rabat, 2015.
- [49] [Online]. Available: [https://elearning-facsci.univ-annaba.dz/pluginfile.php/45807/modresource/content/0/Annexe3\\_Etude%20logiciel%20de%20simulation%20Proteus.pdf](https://elearning-facsci.univ-annaba.dz/pluginfile.php/45807/modresource/content/0/Annexe3_Etude%20logiciel%20de%20simulation%20Proteus.pdf).
- [50] [Online]. Available: <https://fr.vessoft.com/software/windows/download/proteus>.

# *Les Annexes*

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعزير بيج



اسم المشروع:

نظام تحكم ومراقبة مزرعة الدواجن باعتماد تقنية GSM و IOT  
مشروع لنيل شهادة مؤسسة ناشئة في إطار القرار الوزاري 1275

نظام تحكم ومراقبة مزرعة الدواجن باعتماد تقنية GSM و IOT  
مشروع لنيل شهادة مؤسسة ناشئة في إطار القرار الوزاري 1275

التجاري الاسم

CON POUL

2023/2024

## بطاقة معلومات:

## 1- فريق الاشراف:

فريق الاشراف	
التخصص: علوم وتكنولوجيا	المصرف الرئيسي (بن عامر أحمد)

## 2- فريق العمل:

فريق المشروع	التخصص	الكلية
الطالبة: بوجواد سهام	الالكترونيك الأنظمة المضمنة	العلوم والتكنولوجيا
الطالبة: هرموش رهيباء	الالكترونيك الأنظمة المضمنة	العلوم والتكنولوجيا
الطالبة: بن علية ابتسام	أنظمة الاتصالات	العلوم والتكنولوجيا
الطالبة: مداني أميرة	أنظمة الاتصالات	العلوم والتكنولوجيا
الطالبة: لعلاوي خولة	أنظمة الاتصالات	العلوم والتكنولوجيا
الطالبة: زميت مصطفى	أنظمة الاتصالات	العلوم والتكنولوجيا

## Résumé

De nombreux éleveurs de volailles effectuent manuellement diverses opérations dans leur ferme. Par conséquent, ils subissent une énorme perte financière en raison de l'incapacité d'automatiser correctement la surveillance et le contrôle des facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité, la lumière et la qualité de l'air et d'assurer un approvisionnement adéquat en nourriture et en eau. Ces facteurs affectent négativement les poussins et les laisser incontrôlés pourrait causer des problèmes de santé aux poussins. Cela affecte la consommation alimentaire des poussins, entraîne une augmentation du taux de mortalité et augmente les risques de maladies.

Les contrôleurs de climat intelligent sont des contrôleurs étrangère sur le marché algérien, dans ce cas, Notre objectif est de réaliser un système de monitoring et control intelligent des paramètres tell que la température, humidité, éclairage, ainsi que le niveau d'eau, la ventilation de refroidissement, le chauffage et autres paramètre par le réseau GSM et IoT d'élevage.

**Mots clés :** température, humidité, GSM, IoT

### ملخص الدراسة

يقوم العديد من مزارعي الدواجن بإجراء عمليات مختلفة يدويًا في مزرعتهم. ولذلك، فإنهم يعانون من خسارة مالية فادحة بسبب عدم القدرة على مراقبة العوامل البيئية بشكل صحيح مثل درجة الحرارة والرطوبة والضوء ونوعية الهواء وضمان إمدادات كافية من الغذاء والماء.

هذه العوامل تؤثر سلبًا على الكتاكيت وتركها دون مراقبة قد يسبب مشاكل صحية للكتاكيت. وهذا يؤثر على استهلاك العلف للكتاكيت، ويؤدي إلى زيادة معدل الوفيات ويزيد من خطر الإصابة بالأمراض.

أجهزة التحكم المناخية الذكية هي وحدات تحكم أجنبية في السوق الجزائرية، في هذه الحالة، هدفنا هو إنشاء نظام مراقبة وتحكم ذكي لمعاملات مثل درجة الحرارة والرطوبة والإضاءة وكذلك مستوى المياه والتهوية والتبريد والتدفئة وغيرها من المعلمات من خلال شبكة GSM وتربية إنترنت الأشياء.

الكلمات المفتاحية: درجة الحرارة، الرطوبة، إنترنت الأشياء