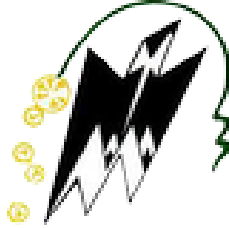


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Électrique et d'Informatique
Département d'Électronique

Mémoire de Fin d'Etudes

de MASTER ACADEMIQUE

Spécialité :

Instrumentation

Filière :

Electronique

Par

IDIR Thafsouth

HASDANE Karima

Thème

**Gestion d'un système smart-farm agro et
aquaculture complémentaire à base d'une carte
arduino**

Soutenu le : 30/06/2024

Promoteur : Dr. DJEFFAL NADHIR

Co-Promoteur : Dr. ZIRMI RACHID

Remerciements

Je remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce travail. Mes remerciements vont à mon promoteur Mr Djeffal.N, et mon co-promoteur Mr Zermi.R qui on su m'aider à réaliser mon souhait d'un travail de recherche à but environnemental, m'orienter et faire en sorte qu'il soit bien élaboré. Je la remercie pour son suivi et pour son énorme soutien, qu'elle n'a cessé de me prodiguer durant toute la période de préparation de ce mémoire Mes sincères remerciements vont aussi aux membres du jury, Mr HAMICHE.H et Mr KHELIFA.M-A pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs remarques. Mes remerciements à tous les enseignants qui m'ont enrichi de connaissances et de savoir, et tout le personnel du Laboratoire de Génie électrique et informatique de l'Université Mouloud MAMMERY de Tizi Ouzou. Enfin, je souhaite remercier ma famille et mes amis pour leur encouragement et leur soutien inestimables pendant que je travaillais sur ce mémoire de Master .

...

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à : A tous mes bien aimé auxquelles je
souhaitais assister avec moi en ce jour*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et Source
de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour Me voir
réussir, à toi Mon père.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de Mon
cœur, ma vie et mon bonheur ; Maman que j'adore.*

*Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne
cessent de me combler. Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.
Soyez sûrs que je continuerai mon chemin.*

*Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse
Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et
bonheur.*

A mes chers sœurs et frères

*Je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour
leurs conseils, aides, et encouragements. Aux personnes qui m'ont
toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont
accompagné durant mon Chemin d'études supérieures, mes aimables
amis, collègues d'études.*

...

Thafsouth

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à : ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère. A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père .

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère .

A mes chères soeurs (Rouaïssa , hanane ,sadia ,assia,nour el houda,amel) et mon petit frère moukrane qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A ma famille Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie. A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant. Merci pour leurs amours et leurs encouragements. Sans oublier mon binôme Thafsouth pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet

...

Karima

Abstract

Global population growth and increasing demand for clean water and food represent significant challenges for resource management and the sustainability of food production globally. Faced with these challenges, technological innovation is essential to develop effective solutions. Aquaponics is emerging as a promising answer, using systems and sensors for real-time management of water and food resources. This final study project focuses on the creation of an automated mini aquaponic greenhouse, aiming to optimize the environment for raising fish and growing various plants such as lettuce, tomatoes and parsley. Automation of data collection on parameters such as pH, temperature and water quality, with automatic adjustment when needed, enables accurate and continuous management without frequent manual monitoring, reducing the effort required to maintain ideal growing conditions.

Keywords : smart-farm, Sensor, agriculture, aquaponics, automation, aquaculture.

Résumé

La croissance démographique mondiale et l'augmentation de la demande en eau potable et en nourriture imposent des défis à la gestion des ressources et à la durabilité de la production alimentaire. Face à ces contraintes d'espace et aux besoins croissants, l'aquaponie représente une solution innovante qui utilise des systèmes et des capteurs pour gérer efficacement les ressources en temps réel. Ce projet de fin d'étude se concentre sur la création d'une mini serre aquaponique automatisée, visant à optimiser l'environnement pour l'élevage de poissons et la culture de diverses plantes telles que la laitue, les tomates et le persil. L'automatisation du contrôle des paramètres comme le pH, la température et la qualité de l'eau grâce à un microcontrôleur Arduino permet une surveillance précise et continue, réduisant ainsi les efforts nécessaires pour maintenir des conditions idéales de croissance pour les plantes et les poissons.

Les mots clés : smart-farm, Capteur, agriculture , aquaponie , automatisation, aquaculture .

Table des matières

Remerciments	i
Table des figures	x
Liste des tableaux	xii
Introduction Générale	1
Bibliographie	3
I Généralités sur l’agriculture et l’aquaculture	4
I.1 Introduction	4
I.2 Présentation de l’agriculture	4
I.2.1 Importance de l’agriculture	5
I.2.1.1 Alimentation de la population	5
I.2.1.2 Création d’emplois	5
I.2.1.3 Contribution à l’économie	5
I.2.2 Type d’agriculture	5
I.2.2.1 L’agriculture conventionnelle	5
I.2.2.2 L’agriculture biologique	6
I.2.2.3 L’agriculture de subsistance	6
I.2.3 Les méthodes d’agriculture traditionnelle	7
I.2.3.1 Culture de céréales	7
I.2.3.2 Élevage de bétail	7
I.2.3.3 Horticulture	8
I.2.4 Les techniques agricoles modernes	8
I.2.4.1 Agriculture de précision	8
I.2.4.2 Utilisation de machines agricoles	8
I.2.4.3 Irrigation moderne	9
I.2.5 Les problèmes environnementaux liés à l’agriculture	9
I.2.5.1 Pollution des sols	10
I.2.5.2 Utilisation excessive de pesticides	10
I.2.5.3 Déforestation	10
I.3 Présentation de l’aquaculture	10
I.3.1 Les avantages de l’aquaculture	11
I.3.2 Les différents types de l’aquaculture	11
I.3.2.1 aquaculture marine	11
I.3.2.2 L’aquaculture continentale	11

I.3.2.3	aquaculture intégré	12
I.3.3	Les défis de l'aquaculture	13
I.3.3.1	Contrôler des maladies	13
I.3.3.2	Gestion de la qualité de l'eau	13
I.3.3.3	Impact sur les écosystèmes marins	13
I.4	Perspectives futures de l'agriculture et de l'aquaculture	13
I.4.1	Agriculture Urbaine	14
I.4.2	Aquaponie	14
I.4.3	Nouvelles Technologies dans l'Agriculture	14
I.5	Conclusion	15
Bibliographie		16
II généralité sur les systèmes aquaponiques,leur écosystème et les processus vitaux qui les caractérisent		19
II.1	Introduction	19
II.2	Le système aquaponique	20
II.3	Composantes de l'aquaponie	20
II.3.1	L'hydroponie	20
II.3.2	L'aquaculture	20
II.4	Principe de l'aquaponie	21
II.5	Les avantages de la culture aquaponique	22
II.6	Types des systèmes aquaponiques	22
II.6.1	Les principaux avantages et inconvénient[10]	23
II.6.1.1	les avantages	23
II.6.1.2	Les inconvénients	23
II.7	Système aquaponique basé sur les Radeaux	23
II.7.1	Les principaux avantages et inconvénients[13]	24
II.7.1.1	les avantages	24
II.7.1.2	Les inconvénients	24
II.8	Lits remplis de médias	24
II.8.1	les principaux avantages et inconvénients[16]	25
II.8.2	les avantage	25
II.8.2.1	Les inconvénients	25
II.9	Processus vitaux dans un système aquaponique	25
II.9.1	les Poissons	25
II.9.2	Choix de l'espèce	26
II.9.2.1	Tilapia du Nil	26
II.9.3	Plante	27
II.9.4	Choix de plante	27
II.9.4.1	La laitue	27
II.9.5	Les bactéries	27
II.9.6	Développement des bactéries	28
II.9.7	Le cycle d'azote	28
II.9.7.1	Phase 1	29
II.9.7.2	Phase 2	29
II.10	Conclusion	30
Bibliographie		31

III Matériels et logiciels	33
III.1 Introduction	33
III.2 Synoptique de la mini serre aquaponique automatisé	33
III.3 Système de collecte de données et de gestion de la serre	34
III.3.1 Carte ARDUINO	34
III.3.2 Types des cartes ARDUINO	35
III.3.2.1 Le microcontrôleur	36
III.3.2.2 L'alimentation	36
III.4 Partie matérielle	36
III.4.1 Afficheur LCD	36
III.4.2 Module I2C	37
III.4.3 Capteur de lumière (LDR)	37
III.4.4 Module RFID MFRC522	38
III.4.5 Capteur DHT11[18]	39
III.4.6 Un Buzzer	40
III.4.7 Servomoteur SG90[21]	40
III.4.8 Extracteur	41
III.4.9 Sonde de température étanche one wire, DS18B20	42
III.4.10 Module GSM 900	42
III.4.11 Pompe à eau[30]	43
III.4.12 Capteur Ultrasons de type HC-SR04	43
III.4.13 Capteur de flamme[34]	44
III.4.14 Les LEDs	45
III.4.15 Les relais	46
III.4.16 Sonde de PH E102-C[40]	47
III.5 Partie logicielle	47
III.5.1 Logiciel ARDUINO	47
III.5.2 L'interface de programmation	48
III.6 Conclusion	48
Bibliographie	49
IV Conception et réalisation	52
IV.1 Introduction	52
IV.2 Présentation de système	52
IV.3 Le cahier des charges	53
IV.3.1 Objectif	53
IV.3.2 Matériel requis	53
IV.3.3 Action a effectuer en cas de détection	53
IV.3.4 Schéma synoptique du projet	54
IV.3.5 Configuration requise	55
IV.3.6 Contraintes	55
IV.4 Gestion et branchage des capteurs et actionneur	55
IV.4.1 Gestion de flamme	55
IV.4.1.1 Brochage de capteur de flamme	55
IV.4.1.2 Organigramme de capteur de flamme	56
IV.4.2 Gestion de DHT11	56
IV.4.2.1 Brochage de DHT11	56

IV.4.2.2	Organigramme de DHT11	57
IV.4.3	Gestion de capteur température de l'aquarium DS18B20	58
IV.4.3.1	Brochage de Ds18B20	58
IV.4.3.2	Organigramme de capteur DS18B20	58
IV.4.4	Gestion de capteur LDR	59
IV.4.4.1	Brochage de LDR	59
IV.4.4.2	Organigramme de la LDR	59
IV.4.5	Gestion de capteur ultrason	60
IV.4.5.1	Brochage de capteur ultrason	60
IV.4.5.2	Organigramme de capteur ultrason	60
IV.4.6	Gestion de capteur RFID RC522	61
IV.4.6.1	Brochage de capteur RFID RC522	61
IV.4.6.2	Organigramme de capteur RFID RC522	62
IV.4.7	Gestion de capteur PH	62
IV.4.7.1	Brochage de capteur PH	62
IV.4.7.2	Organigramme de capteur PH	63
IV.4.8	branchement du système générale	64
IV.4.9	organigramme du système générale	65
IV.5	Teste et réalisation	65
IV.5.1	Remplacement des actionneurs par des LED's témoins	65
IV.5.2	moyenne d'alerte cas d'anomalie	65
IV.5.3	Teste avec le système de mesure Température et humidité DHT11	65
IV.5.4	Teste avec le système de mesure température de l'aquarum	66
IV.5.5	Teste avec capteur du flamme	67
IV.5.6	Teste avec le RFID	67
IV.5.6.1	Premier Test	67
IV.5.7	Aperçu de la réalisation	68
IV.5.7.1	Test LDR avec lumière et sans lumière	68
IV.5.7.2	Test badge RFID avec servomoteur	68
IV.5.7.3	Test de l'afficheur pour la température et l'humidité de la serre	69
IV.5.7.4	Test de la circulation d'eau	70
IV.5.7.5	Représentation de maquette complète	70
IV.6	Conclusion	71

Conclusion Générale

72

Table des figures

I.1	Agriculture conventionnelle [7]	6
I.2	Agriculture biologique[9]	6
I.3	Culture de céréales [12]	7
I.4	Agriculture de précision [16]	8
I.5	utilisation des machines agricoles[18]	9
I.6	Irrigation moderne [20]	9
I.7	Aquaculture continentale [31]	12
I.8	Agriculture urbaine [37]	14
I.9	nouvelles technologie dans l’agriculture [40]	15
II.1	Principe de fonctionnement d’un système d’aquaponie[6].	21
II.2	schéma de la méthode NFT appliqué dans un système aquaponique[9].	22
II.3	Exemple d’un système aquaponique qui utilise les radeaux[11].	23
II.4	système aquaponique qui utilise la méthode de lits remplis de médias[14]	24
II.5	le tilapia du nil[19]	26
III.1	schéma du systeme pour la serre aquaponique [3]	34
III.2	Les types d’ARDUINO[6]	35
III.3	l’ARDUINO MEGA[7]	35
III.4	L’Afficheur LCD [10]	36
III.5	Module I2C	37
III.6	Module I2C monté à l’arrière d’un écran LCD 16*2[13]	37
III.7	capteur de lumiere LDR[15]	38
III.8	Module RFID MFRC522[17]	38
III.9	Capteur de température et humidité DHT11[19]	39
III.10	Buzzeur[20]	40
III.11	Servomoteur[22]	40
III.12	Ventilateur	41
III.13	la sende de temperature DS18B20[26]	42
III.14	Module GSM900[28]	42
III.15	pompe a eau[31]	43
III.16	capteur ultrasonique HC-SR04[33]	44
III.17	Capteur de flamme[35]	45
III.18	LED’s[37]	46
III.19	Module Relais[39]	46
III.20	Sonde de PH[41]	47
III.21	Interface logiciel IDE arduino[43]	48
IV.1	représentation d’un système aquaponie	52

IV.2 Schéma synoptique	54
IV.3 brochage de capteur de flamme	55
IV.4 Organigramme de capteur flamme	56
IV.5 brochage de capteur DHT11.	57
IV.6 organigramme de DHT11.	57
IV.7 brochage de capteur DS18B20.	58
IV.8 organigramme de capteur DS18B20.	58
IV.9 brochage de capteur de lumière LDR.	59
IV.10 organigramme de La LDR.	59
IV.11 brochage de capteur ultrason.	60
IV.12 organigramme de capteur ultrason.	60
IV.13 brochage de capteur RFID RC522.	61
IV.14 organigramme de capteur RFID RC522.	62
IV.15 brochage de capteur PH.	63
IV.16 organigramme de capteur PH.	63
IV.17 brochage du système générale	64
IV.18 Teste avec le DHT11	66
IV.19 Valeurs mesurées du DHT11 dans un environnement stable	66
IV.20 Teste avec la sonde température	66
IV.21 Valeurs mesurées du sonde T	66
IV.22 les messages reçu du GSM en cas de détection de flamme	67
IV.23 Teste avec l'RFID	67
IV.24 les message reçu de la part de GSM	67
IV.25 Lorsque la LED est allumer	68
IV.26 Lorsque la LED est s'étendre	68
IV.27 Lorsque La porte s'ouvre	69
IV.28 Lorsque la porte se ferme	69
IV.29 Test d'afficheur LCD I2C 16*2	69
IV.30 Test de la circulation d'eau	70
IV.31 La représentation de maquette complète	70

Liste des tableaux

II.1	Tolérance de tilapia, laitues pour bactéries pour les éléments de qualité d'eau(AFO,2016).	29
II.2	Les valeurs idéales pour l'aquaponie comme compromis pour les trois organismes vivants(AFO,2016).	30

Introduction Générale

L'agriculture est un pilier essentiel du développement de tout pays. Toutefois, l'agriculture traditionnelle ne satisfait plus les attentes des citoyens. D'une part, les normes environnementales se sont durcies; d'autre part, les consommateurs se tournent vers des aliments biologiques et locaux, cherchant une relation plus directe avec les producteurs. Parallèlement, les progrès technologiques ont engendré des techniques agricoles innovantes telles que la culture hydroponique [1].

La culture hydroponique, méthode de culture intensive, permet une production jusqu'à cent fois plus élevée annuellement. Cette productivité repose sur une agriculture verticale, une production continue et un environnement contrôlé, offrant des conditions de croissance idéales tout en réduisant considérablement les pertes. Cependant, cultiver de la laitue en hydroponie nécessite des solutions nutritives riches et une consommation pouvant aller jusqu'à quatre litres d'eau pour produire une plante de 400 grammes [2].

Malgré les avancées technologiques, l'aquaculture demeure un secteur de production évoluant plus lentement que d'autres. En 2013, 17 % de la consommation mondiale de protéines animales provenaient du poisson. Avec l'amélioration des niveaux de vie, la demande en protéines augmente, augmentant ainsi la consommation mondiale de poisson [3]. Cependant, la pêche totale de poisson sauvage stagne autour de 90 millions de tonnes par an depuis 1980 [4]. L'industrie de l'aquaculture a permis de satisfaire cette demande sans augmenter la pression sur les milieux naturels.

En 1974, l'aquaculture ne représentait que 7 % de la production de poisson, mais cette part est montée à 44,1 % en 2014 [5]. Cependant, les installations d'aquaculture nécessitent une grande quantité d'eau douce pour produire un kilogramme de poisson. Selon la FAO (2015), il faut 300 litres d'eau douce pour produire un kilogramme de poisson. En outre, ces installations consomment et rejettent entre 3 % et 10 % de leur volume total sous forme d'eaux usées chaque jour [6].

Par exemple, un élevage en eau douce avec une densité de 275 poissons par mètre cube et une capacité totale de 5000 mètres cubes produit au moins 15 mètres cubes de rejets par jour[7]. Ces rejets sont riches en nutriments, ainsi qu'en composants organiques et inorganiques. L'expansion de l'aquaculture a conduit à de nombreuses études sur les impacts environnementaux négatifs de ce secteur[8]. Les rejets de l'aquaculture provoquent l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques, favorisant la prolifération d'algues à croissance

rapide qui envahissent l'environnement, privant ainsi d'oxygène et de lumière les autres organismes[9].

Dans le contexte spécifique de l'Algérie, notamment au Sahara, caractérisé par un climat aride et des sols fragiles, l'agriculture traditionnelle est particulièrement vulnérable aux stress hydriques et à la dégradation des sols. L'aquaponie offre une alternative prometteuse à ces défis, permettant de produire des aliments de qualité tout en préservant les ressources naturelles. Une solution envisagée consiste à recycler et valoriser les déchets de l'aquaculture par le biais de cultures hors-sol, connue sous le nom d'aquaponie. Cette approche permet de résoudre plusieurs problématiques simultanément : elle réduit la dépendance excessive à l'eau disponible, traite les rejets d'effluents de l'aquaculture pour préserver l'environnement, tout en limitant l'utilisation d'intrants chimiques dans les cultures hors-sol. Dans cette optique, l'objectif principal du projet est de promouvoir activement l'aquaponie en Algérie. Cela implique de démontrer sa praticabilité à travers l'utilisation d'approches et d'outils simples, tout en sensibilisant les agriculteurs aux bénéfices significatifs de cette méthode et en les soutenant dans sa mise en œuvre effective. La description du travail réalisé est sanctionnée par un mémoire structuré en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présenterons les derniers développements dans le domaine de l'agriculture et de l'aquaculture, en soulignant leur importance. Nous avons également mené une étude sur les facteurs qui l'affectent.
- Au sein de deuxième chapitre, nous examinerons Les différents types de systèmes aquaponiques, leur écosystème et les processus vitaux qui les caractérisent.
- Au sein de chapitre trois, nous discuterons des matériaux et des logiciels utilisés en culture hydroponique, y compris les matériaux résistants à la corrosion et aux conditions d'humidité élevée, en plus des logiciels de gestion des systèmes hydroponiques.
- Enfin, dans le chapitre quatre, nous présenterons la conception et la construction de systèmes aquaponiques efficaces, en mettant l'accent sur l'importance de la précision et de la fiabilité des instruments de mesure pour assurer une régulation optimale.

Les principales conclusions et perspectives de ce projet seront données à la fin de ce mémoire de fin d'étude.

Bibliographie

- [1] I.Louis, "La capacité d'action collective des populations marginalisées dans le cadre des stratégies de lutte pour la reconnaissance : les cas de Cité de l'Éternel à Port-au-Prince (Haïti) et de la Sierra Santa Catarina (Mexico)", thèses doctorat, Université de Montréal, 2009.
- [2] T.Kozai, G.Niu M.Takagaki "Plant Factory And Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production". Book, Pages 405, 2016.
- [3] <https://cpram.com/fra/fr/particuliers/publications/megatrends/l-aquaculture-une-reponse-durable-au-defi-alimentaire/>consulte le 18/05/2024.
- [4] FAO, La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Atteindre "les objectifs de développement durable". Rome. Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 2018.
- [5] <https://cpram.com/fra/fr/particuliers/publications/megatrends/l-aquaculture-une-reponse-durable-au-defi-alimentaire/>consulte le 18/05/2024.
- [6] J. Bregnballe, "A guide to recirculation aquaculture An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems," Published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EURO-FISH International Organisation, 2015.
- [7] Z. Hu, J. W. Lee, K. Chandran, S. Kim, A. C. Brotto, and S. K. Khanal, "Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics," *Bioresour. Technol.*, vol. 188, pp. 92–98, 2015.
- [8] R. H. Piedrahita, "Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation," *Aquaculture*, vol. 226, no. 1, pp. 35–44, 2003.
- [9] R. Díaz, "Agriculture's impact on aquaculture : Hypoxia and eutrophication in marine waters," 2010, pp. 275–318. doi : 10.1787/9789264088726-20-en.

Chapitre I

Generalites sur l'agriculture et l'aquaculture

I.1 Introduction

Les secteurs de l'agriculture et de l'aquaculture sont des éléments clés de l'économie mondiale et de l'approvisionnement alimentaire. Ils répondent aux besoins nutritionnels de la population mondiale, contribuent à la préservation de l'environnement et de la biodiversité, et jouent un rôle essentiel dans la création d'emplois, le développement rural et la croissance économique [1].

Cependant, ces secteurs sont confrontés à plusieurs défis majeurs. Le changement climatique affecte les rendements agricoles et aquacoles, menaçant ainsi la sécurité alimentaire mondiale. Les pratiques agricoles intensives peuvent entraîner une dégradation des sols, une pollution de l'eau et une perte de biodiversité [2].

De plus, la gestion des ressources naturelles, la résistance aux maladies et la demande croissante de produits alimentaires biologiques et durables sont autant de défis à relever. Pour garantir la durabilité de ces secteurs, il est impératif de trouver des solutions innovantes et de mettre en œuvre une gestion responsable [3].

Dans ce chapitre, nous allons explorer les principes fondamentaux de l'agriculture et de l'aquaculture, ainsi que leurs divers types, avantages et défis. Nous mettrons également en lumière l'importance cruciale de ces domaines dans notre société, tout en examinant les perspectives prometteuses qui façonneront l'avenir de l'agriculture et de l'aquaculture.

I.2 Présentation de l'agriculture

L'agriculture (du latin agricultura, composé à partir de ager, « champ », et de cultura, « culture »), est un l'ensemble des pratiques et des techniques permettant la production de denrées alimentaires et de matières premières d'origine végétale et animale. Elle regroupe

les activités liées aux cultures céréalières, à l'élevage du bétail, à l'horticulture et à l'aquaculture. L'agriculture est également un système complexe qui englobe l'ensemble des interactions entre la nature, les pratiques agricoles et les activités humaines. Elle comprend notamment la sélection des semences, la préparation des sols, la plantation, l'entretien des cultures, la récolte, l'élevage des animaux, la transformation des produits agricoles et leurs commercialisation[4].

I.2.1 Importance de l'agriculture

L'agriculture est d'une importance capitale pour divers aspects de la société [5].

I.2.1.1 Alimentation de la population

L'agriculture est essentielle pour nourrir la population humaine en fournissant des aliments de base, en élevant du bétail et en cultivant des cultures qui constituent une source importante de nourriture pour les humains et les animaux.

I.2.1.2 Création d'emplois

L'agriculture joue un rôle important dans la création d'emplois, en offrant des opportunités économiques et en favorisant l'équité économique. Le secteur agricole et les industries connexes créent environ 19,7 millions d'emplois à temps plein et à temps partiel aux États-Unis.

I.2.1.3 Contribution à l'économie

L'agriculture a un impact significatif sur l'économie mondiale, contribuant à hauteur de 7 milliards de dollars à l'économie américaine. De plus, les pays dotés d'un secteur agricole solide voient l'emploi croître dans d'autres secteurs et encouragent le développement économique.

I.2.2 Type d'agriculture

il existe plusieurs types d'agriculture qui couvrent un large éventail de pratiques et de techniques agricoles, allant de méthodes plus traditionnelles à des approches plus innovantes et durables parmi :

I.2.2.1 L'agriculture conventionnelle

L'agriculture conventionnelle est le type d'agriculture le plus répandu dans le monde. Développé après les deux guerres mondiales, il repose sur l'utilisation de produits chimiques tels que des pesticides et des engrais pour traiter les cultures. Cette approche est

conçue pour maximiser les rendements agricoles, mais peut entraîner des problèmes tels que l'exposition aux résidus de pesticides et des impacts sur la biodiversité [6](voir la figure I.1).



FIGURE I.1 – Agriculture conventionnelle [7]

I.2.2.2 L'agriculture biologique

L'agriculture biologique est une méthode agricole qui favorise le respect de l'environnement et le bien-être animal. Elle se distingue de l'agriculture conventionnelle par l'utilisation de produits naturels pour le traitement, l'interdiction des organismes génétiquement modifiés et des pesticides de synthèse et la promotion de la biodiversité. Les normes de l'agriculture biologique sont conçues pour garantir la qualité des produits, protéger les sols et les ressources naturelles et fournir une alimentation plus saine. Cette approche offre divers avantages tels que la réduction de la pollution, la préservation de la biodiversité, et la promotion d'une agriculture plus durable [8] (Voir la figure I.2).



FIGURE I.2 – Agriculture biologique[9]

I.2.2.3 L'agriculture de subsistance

L'agriculture de subsistance est une pratique ancestrale, encore présente dans certaines régions du monde, où les agriculteurs cultivent diverses espèces principalement pour nourrir leur famille plutôt que pour vendre sur le marché. La majorité des récoltes est

consommée au sein du ménage, avec seulement une petite part vendue. Ce type d'agriculture se distingue de l'agriculture commerciale, axée sur la vente des produits. Les agriculteurs de subsistance cultivent une variété de plantes ou élèvent différentes races d'animaux (céréales, fruits, légumes, petit élevage, etc.), en fonction des conditions locales[10].

- L'agriculture raisonnée
- l'agriculture biodynamique
- l'agriculture durable
- la micro-agriculture biointensive

I.2.3 Les méthodes d'agriculture traditionnelle

La méthode de l'agriculture traditionnelle comprend trois principaux aspects

I.2.3.1 Culture de céréales

La culture de céréales est une composante essentielle de l'agriculture traditionnelle. Elle englobe la production de grandes cultures telles que les céréales, les oléagineux, les protéagineux et certains légumes [11] (Voir la figure I.3).



FIGURE I.3 – Culture de céréales [12]

I.2.3.2 Élevage de bétail

L'élevage de bétail est une pratique courante dans l'agriculture traditionnelle, où des agriculteurs élèvent des bovins, des chèvres, des porcs, des moutons, ainsi que d'autres animaux tels que les chiens et les chats. Ces animaux jouent un rôle essentiel dans la production de viande, de lait, d'œufs, de cuirs et de peaux, ainsi que de force de traction et de laine. Les exploitations d'élevage de bétail sont souvent des unités à petite échelle dans les zones rurales, mais des grandes fermes commerciales se développent à proximité des centres urbains [13].

I.2.3.3 Horticulture

L'horticulture fait également partie intégrante de l'agriculture traditionnelle. Elle englobe la culture de plantes fruitières, légumières et fourragères, contribuant ainsi à la diversification des cultures et à la sécurité alimentaire [14]

I.2.4 Les techniques agricoles modernes

Les techniques agricoles modernes durables visent à optimiser l'utilisation des ressources telles que les terres, l'eau, les intrants agricoles et l'énergie, tout en minimisant les impacts négatifs sur l'environnement. Elles prennent en compte les enjeux environnement et sociaux afin de pouvoir perdurer sur le long terme

I.2.4.1 Agriculture de précision

exploiter des technologies avancées telles que le GPS, les capteurs, les drones, l'informatique et les logiciels de gestion agricole pour obtenir une meilleure gestion des cultures, une analyse précise des sols, un contrôle des parasites et des maladies et une utilisation plus efficace des ressources [15] (Voir la figure I.4).

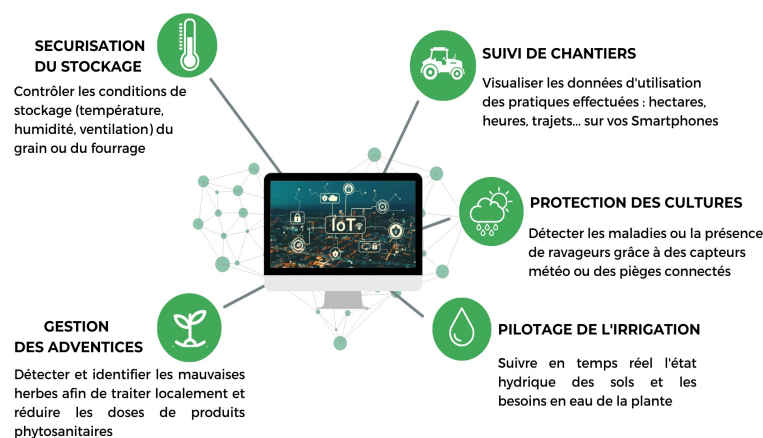


FIGURE I.4 – Agriculture de précision [16]

I.2.4.2 Utilisation de machines agricoles

L'agriculture moderne utilise des machines agricoles avancées telles que des tracteurs, des semoirs, des moissonneuses batteuses, des avions. Ils sont essentiels pour améliorer la production agricole, mais il est important de prendre des mesures de prévention pour minimiser les risques associés à leur utilisation de fertilisation aux pesticides et des machines agricoles [17] (Voir la figure I.5).



FIGURE I.5 – utilisation des machines agricoles[18]

I.2.4.3 Irrigation moderne

L'irrigation moderne utilise une technologie et des équipements de pointe pour fournir de l'eau aux cultures, tels que l'utilisation de systèmes de distribution d'eau, de conduites souterraines, de conduites d'égouttement et de conduites en vrac. Ces méthodes permettent de réduire la perte d'eau et d'augmenter la productivité des cultures. Ces techniques modernes d'agriculture durable visent à assurer une production agricole efficace tout en préservant les ressources naturelles pour les générations futures[19] (Voir la figure I.6).



FIGURE I.6 – Irrigation moderne [20]

I.2.5 Les problèmes environnementaux liés à l'agriculture

Les problèmes environnementaux liés à l'agriculture comprennent la pollution des sols, l'utilisation excessive de pesticides et la déforestation. Ces activités agricoles ont des

répercussions significatives sur l'environnement, contribuant à la dégradation des sols, à la contamination des cours d'eau, à l'émission de gaz à effet de serre et à la perte de biodiversité.

I.2.5.1 Pollution des sols

La surcharge pastorale peut provoquer l'érosion des sols, aggraver la désertification en domaine semi-aride et entraîner une perte de fertilité des terres cultivées. Des pratiques agricoles telles que l'utilisation de fertilisants peuvent également impacter négativement la qualité des sols[21].

I.2.5.2 Utilisation excessive de pesticides

L'utilisation intensive de pesticides peut entraîner une contamination des sols et de l'eau, nuisant à la santé humaine et animale. Les risques liés aux pesticides, aux engrais chimiques et aux déchets d'origine animale sont des préoccupations majeures pour l'environnement [22].

I.2.5.3 Déforestation

La déforestation liée à l'agriculture contribue à la perte d'habitats naturels, à la réduction de la biodiversité et à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Des pratiques agricoles non durables peuvent conduire à une déforestation rapide et à une fragmentation des écosystèmes forestiers. Pour atténuer ces problèmes environnementaux, il est essentiel d'adopter des pratiques agricoles durables telles que l'agriculture biologique, la gestion intégrée des ravageurs, la conservation des sols et la préservation des zones forestières. Ces approches peuvent contribuer à réduire les impacts négatifs de l'agriculture sur l'environnement et promouvoir une agriculture plus respectueuse [23].

I.3 Présentation de l'aquaculture

Le terme "aquaculture" est apparu pour la première fois au début du xxe siècle, dérivé du latin "aqua" (eau) et "culture" (culture). Il a été inventé par le zoologiste français Pierre-Paul Dehérain pour décrire l'élevage d'organismes aquatiques en captivité[24].

L'aquaculture englobe toutes les activités liées à la culture de plantes et à l'élevage d'animaux en eau douce ou marine, visant à améliorer leur production. Cela inclut la nécessité de posséder individuellement ou juridiquement le stock en élevage. Ce domaine couvre la pisciculture (élevage de poissons), la conchyliculture (élevage de coquillages marins tels que les huîtres, moules, praires, et coques), l'algoculture (culture d'algues), et la carcinoculture (élevage de crustacés, principalement les crevettes et écrevisses)[25].

Selon la FAO, l'aquaculture est définie comme « l'élevage d'organismes aquatiques en zones continentales et côtières, impliquant une intervention dans le processus d'élevage pour en améliorer la production, ainsi que la propriété individuelle ou juridique du stock en élevage. »[26].

I.3.1 Les avantages de l'aquaculture

L'aquaculture présente également d'autres avantages significatifs [27] [28].

- Réduction de la Pression sur les Stocks Sauvages : En cultivant des espèces aquatiques, l'aquaculture contribue à réduire la pression exercée sur les populations de poissons sauvages, aidant ainsi à préserver les écosystèmes marins.
- Création d'emplois et de Développement Économique : L'industrie de l'aquaculture crée des emplois locaux et contribue au développement économique des régions côtières en fournissant des opportunités d'emploi et en stimulant les économies locales.
- Préservation de l'environnement : En permettant de cultiver des espèces aquatiques en captivité, l'aquaculture réduit la pression sur les écosystèmes marins et les habitats naturels, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement.

I.3.2 Les différents type de l'aquaculture

Il existe plusieurs type d'aquaculture dans quelle chacun a ses propres caractéristiques et avantages,contribuant à la diversification des pratiques aquacoles pour répondre aux besoins alimentaires et économiques tout en préservant les ressources aquatiques. on les deviser en trois grand type.

I.3.2.1 aquaculture marine

L'aquaculture marine, également appelée mariculture,consiste à élever des organismes marins tels que poissons, crustacés et végétaux aquatiques en milieu marin. Cette pratique se réalise dans des entreprises aquacoles variées telles que des écloseries ,pépinières, fermes aquacoles, parcs ou coopératives. En Bretagne, par exemple, l'aquaculture marine englobe l'élevage de poissons ,coquillages, crustacés,coraux et algues.Cette activité joue un rôle essentiel dans l'économie littorale en incluant les cultures marines, la pisciculture en mer et l'algoculture[29].

I.3.2.2 L'aquaculture continentale

L'aquaculture continentale implique l'élevage et la culture d'organismes aquatiques en eau douce, tels que des truites en Europe, pour la production alimentaire. Cette pratique

est définie par la FAO et l'union européenne comme l'élevage d'organismes aquatiques, tant végétaux qu'animaux, en eau continentale Les diplômés de la licence professionnelle d'aquaculture et d'aquarium du continent sont formés pour devenir des experts en production aquacole et en aquarium. L'aquaculture continentale joue un rôle important dans la diversification des activités agricoles et dans la sécurité alimentaire en fournissant une source de protéines provenant de milieux d'eau douce [30](Voire la figure I.7).

L'aquaculture regroupe plusieurs domaines, a titre d'exemple on peut citer :

- Algoculture : culture d'algues ;
- Conchyliculture : élevage de coquillages comestibles (moules, huîtres, palourdes...);
- Ostréiculture : élevage d'huîtres ;
- Pisciculture : élevage de poissons ;
- Salmoniculture : élevage des Salmonidés ;



FIGURE I.7 – Aquaculture continentale [31]

I.3.2.3 aquaculture intégré

L'aquaculture intégrée est une méthode plus durable de culture d'organismes aquatiques, tels que les poissons, les mollusques et les plantes. Elle vise à reproduire un écosystème naturel en combinant l'élevage de différentes espèces complémentaires, chacune occupant une position spécifique dans la chaîne alimentaire. L'aquaculture multitrophique intégrée est un exemple de cette approche, où plusieurs niveaux trophiques sont représentés dans la culture ,ce qui permet une utilisation plus efficace des ressources et une réduction des impacts environnementaux. Les systèmes piscicoles intégrés se réfèrent à la

production, à la gestion intégrée et à l'utilisation d'ensemble de l'aquaculture, de l'agriculture et du environnement, ce qui contribue à une gestion plus durable et à une réduction des impacts négatifs [32].

I.3.3 Les défis de l'aquaculture

Les défis de l'aquaculture incluent la nécessité de contrôler les maladies, de gérer la qualité de l'eau et de minimiser l'impact sur les écosystèmes marins. Ces défis sont essentiels pour garantir la durabilité de cette pratique agricole.

I.3.3.1 Contrôler des maladies

La maîtrise des maladies est cruciale en aquaculture pour assurer la santé des poissons d'élevage et éviter les épidémies qui peuvent causer des pertes économiques importantes. Des pratiques sanitaires rigoureuses et des mesures préventives sont essentielles pour maintenir la santé des populations aquacoles [33].

I.3.3.2 Gestion de la qualité de l'eau

La gestion de la qualité de l'eau est un défi majeur en aquaculture, car une eau de mauvaise qualité peut compromettre la croissance des poissons et entraîner des problèmes environnementaux. Il est crucial de surveiller et maintenir une qualité d'eau optimale pour assurer le bien-être des poissons et préserver l'écosystème aquatique [34].

I.3.3.3 Impact sur les écosystèmes marins

Minimiser l'impact sur les écosystèmes marins est une préoccupation importante en aquaculture. Des pratiques durables et une approche éco-responsable sont nécessaires pour réduire les effets négatifs sur les habitats marins, la biodiversité et les équilibres écologiques. Il est essentiel de mettre en place des mesures pour préserver la santé des écosystèmes marins tout en développant l'aquaculture de manière durable [35].

I.4 Perspectives futures de l'agriculture et de l'aquaculture

Les perspectives futures de l'agriculture et de l'aquaculture se dessinent à travers plusieurs axes clés

I.4.1 Agriculture Urbaine

L'agriculture urbaine est un domaine en pleine expansion, offrant des solutions pour une production alimentaire locale et durable. Cette approche permet de répondre aux enjeux environnementaux et de souveraineté alimentaire en favorisant des pratiques innovantes telles que l'aquaponie. Des initiatives comme le développement de fermes urbaines intégrant des systèmes aquaponiques contribuent à une agriculture plus écologique et efficace [36] (Voir la figure I.8).



FIGURE I.8 – Agriculture urbaine [37]

I.4.2 Aquaponie

L'aquaponie émerge comme une méthode novatrice combinant l'élevage de poissons et la culture de plantes, créant un système symbiotique où les déchets des poissons fertilisent les plantes. Cette approche durable est prometteuse pour l'avenir de l'aquaculture, offrant des solutions écologiques et économiquement viables. Des projets comme Agriloops en France illustrent le potentiel de l'aquaponie pour une production alimentaire plus respectueuse de l'environnement [38].

I.4.3 Nouvelles Technologies dans l'Agriculture

Les avancées technologiques jouent un rôle crucial dans le futur de l'agriculture, en particulier dans le domaine aquacole. Les formations spécialisées abordent les perspectives et solutions pour une aquaculture durable, mettant l'accent sur la sensibilisation aux enjeux du marché des produits aquatiques et la promotion de pratiques durables. Ces formations visent à préparer les acteurs du secteur à intégrer les innovations technologiques pour une production aquacole plus efficace et respectueuse de l'environnement [39] (Voir la figure I.9).

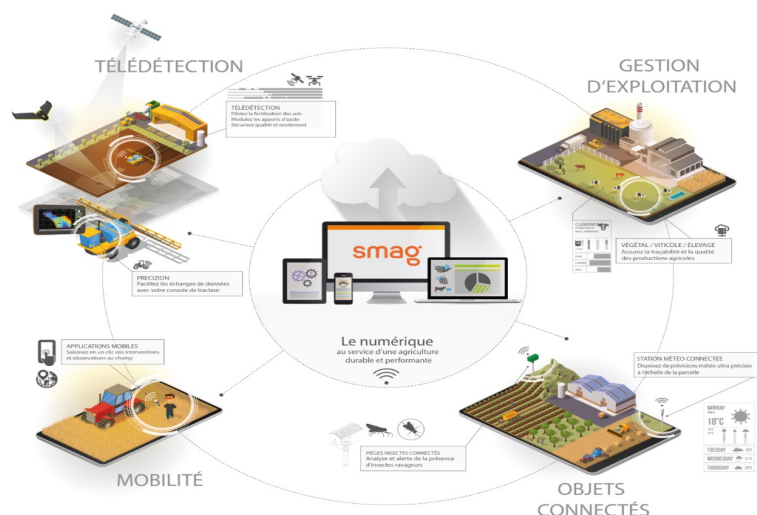


FIGURE I.9 – nouvelles technologie dans l'agriculture [40]

I.5 Conclusion

L'agriculture et l'aquaculture sont deux piliers de l'économie d'un pays, nourrissant la population mondiale et contribuant à la croissance et au développement social des nations. Dans ce chapitre nous avons exploré les différentes méthodes et techniques utilisées dans ces deux domaines, ainsi que les défis et les perspectives à relever. L'agriculture, avec ses multiples formes (conventionnelle, biologique, durable), joue un rôle crucial en répondant à nos besoins fondamentaux en alimentation diverse et en matières premières. Cependant, ses pratiques peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement. L'aquaculture, en revanche, se présente comme une alternative prometteuse, offrant une production alimentaire plus efficace et un impact environnemental moins dangereux. Malgré leurs avantages, l'agriculture et l'aquaculture font face à de nombreux défis. L'agriculture doit impérativement réduire son impact environnemental, tandis que l'aquaculture doit surmonter des obstacles tels que la pollution de l'eau et les maladies des poissons. L'avenir de l'agriculture et de l'aquaculture dépendra de notre capacité à relever ces défis et à trouver un équilibre entre la production alimentaire et la protection de l'environnement. En investissant dans la recherche et le développement, en encourageant la modernisation et l'innovation et en adoptant des politiques durables, nous pouvons garantir un avenir plus radieux à ces deux secteurs essentiels.

Bibliographie

- [1] A.Meybeck,E.Laval,R.Lévesque,G.Parent,"Sécurité alimentaire et nutrition à l'heure des changements climatiques",actes du colloque international organisé par le gouvernement, 2017.
- [2] <https://guidedesespeces.org/fr/aquaculture-et-impacts-sur-lenvironnement/>Dernière mise à jour : mai 2023, consulte le 10/02/2024.
- [3] E.Landais,"Agriculture durable : les fondements d'un nouveau contrat social",hal.science,1998.
- [4] "Les statistiques de l'alimentation et de l'agriculture dans le cadre d'un systeme national d'informations," Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, p. 291, 1986.
- [5] <https://commodity.com/soft-agricultural/> Dernière mise à jour : 26 septembre 2022, consulte le 10/02/2024.
- [6] J.-N. Aubertot et al., "Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Expertise scientifique collective Inra-Cemagref, décembre 2005.
- [7] <https://www.dahu.bio/base-de-connaissance/agriculture/agriculture-conventionnelle/>consulte le 11/02/2024.
- [8] D Dam;J.Nizet; M.Dejardin;M.Streith,"Les agriculteurs biologiques : ruptures et innovations.", ouvrage, Dijon [FRA] : Educagri Editions, 2009.
- [9] <https://www.bureauveritas.fr/magazine/agriculture-biologique-les-3-raisons-qui-poussent-les-pros-se-convertir>.
- [10] Bryden.J,"Agricultural Support for Crofting, background",Réseau européen de développement rural,111 pages,(1993)
- [11] M.Houssni,M.El Mahroussi,H.Ben Sbih.".Agriculture traditionnelle et agrodiversité dans les oasis du Sud du Maroc : cas des oasis de la région Drâa-Tafilalet".ResearchGate,(mai 2020).
- [12] <https://editionsmultimondes.com/2019/09/26/une-culture-de-saison/>consulte le 11/02/2024.

- [13] M.Remaoun Belghit, OO.Bentata,"Incidence et fréquence du kyste hydatique chez bovins Et ovins au niveau de l'abattoir",Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de docteur veterinaire,université ibn khaldoun TIARET,2017
- [14] D.Van Dam, J.Nizet, M.Dejardin, M.Streith,"La transition des agriculteurs conventionnels vers le bio : une dynamique cognitive et émotionnelleesf", Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale, Vol. 1, no.85, p. 159-181,2010.
- [15] S.Coulibaly,"Analyse intelligente des images pour la surveillance dans une agriculture de précision",Institut National Polytechnique de Toulouse, thèses doctorat, 2021.
- [16] <https://blog.spotifarm.fr/tour-de-plaine-spotifarm/agriculture-de-precision-definition-concepts/>consulte le 11/02/2024.
- [17] <https://fr.scribd.com/document/678229470/5eme-G4-Les-consequences-des-methodes-et-techniques-agricoles-sur-lenvironnement/>consulte le 11/02/2024.
- [18] <https://soutienfaucheursbretagne.fr/les-machines-a-utiliser-pour-une-agriculture-durable/>consulte le 11/02/2024.
- [19] <https://www.guide-agriculture.fr/comment-les-techniques-d-irrigation-modernes-peuvent-elles-revolutionner-l-agriculture/>consulte le 11/02/2024.
- [20] <https://fr.vietnamplus.vn/hautes-technologies-tendance-ineluctable-de-lagriculture-moderne/96134/>consulte le 11/02/2024.
- [21] SJ.Krieger,"Analyse d'une appropriation différenciée des enjeux environnementaux par les usagersrécréatifs de nature",thèses doctorat,université du Québec a Rimouski,2016.
- [22] K.Aissaoui,H.Chouaf,"Impact de l'utilisation non raisonné des engrais minéraux azotés sur la pollution de l'environnement (sol et eau)",mémoire de fin d'études master,université de tissemsilt,2020.
- [23] B.Chevassus-Au-Louis,J.Salles,J.L.Pujol,S.Bielsa ,G.Martin,D.Richard,"Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes : contribution à la décision publique",Rapport Technique,(2009).
- [24] P.GRISON,"chronique historique de la zoologie agricole française",Livre premier,(2002).
- [25] S.Legros,"commerce de l'eau : présentation de principes permettant l'exploitation durable des ressources hydriques du québec", maîtrise en environnement, université de sherbrooke, (mai 2013).
- [26] <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/.html/>consulte le 12/02/2024.
- [27] <https://french.longdom.org/scholarly/benefits-ofaquaculture-journals-articles-ppts-list-3231.html/>consulte le 12/02/2024.

- [28] <https://reefresilience.org/fr/management-strategies/aquaculture/aquaculture-introduction/consulte> le 12/02/2024.
- [29] A.Gerar,"Observation et optimisation des ressources aquacoles ",Direction des Programmes et de la Stratégie,2006.
- [30] P.Dutuit,R.Gorenflot,"Unité du monde vivant et développement durable :Glossaire",sciences de la santé et maladies,(2016).
- [31] <https://www.algerie-eco.com/2022/09/18/chlef-ensemencement-de-900-000-alevins-de-daurade-royale-dans-une-ferme-marine-a-oued-goussine/consulte> le 15/02/2024.
- [32] JM.GRIESSINGER"L'élevage de la crevette tropicale d'eau douce",(1991).
- [33] R.David, T.Cathy, C.Laureau,"Prophylaxie des poissons lagunaires en élevage",Rapport final de la Convention N° 6.0034 du 16 janvier2006 entre le Service de la Pêche et l'Ifremer,2007.
- [34] S.Pelleray,"Gouvernance et mesure de la valeur économique de l'eau : proposition d'un indice composite de qualité de service durable",thèses doctorat,Université Grenoble Alpes,(2020).
- [35] JM.GRIESSINGER,"L'élevage de la crevette tropicale d'eau douce",(1991).
- [36] M.Bersier,"Un centre d'agriculture urbaine à Lausanne. Au croisement entre un couloir écologique et un plateau industriel",mémoire de fin d'études,(2017).
- [37] <https://etancheiteinfo.fr/realisations/2311/paris-ouverture-de-la-plus-grande-ferme-urbain/consulte> le 15/02/2024.
- [38] P.Foucard,A.Tocqueville,M.Gaumé,L.Labbé,J-F.Barossier,et al.. Potentiel de développement de l'aquaponie en France : Le programme APIVA " Aquaponie Innovation Végétale et Aquaculture ",Innovations Agronomiques,pp.385-400,2019.
- [39] L.Ekouala,"Le développement durable et le secteur des pêches et de l'aquaculture au Gabon : une étude de la gestion durable des ressources halieutiques et leur écosystème dans les provinces de l'Estuaire et de l'Ogooué Maritime",thèses doctorat,Université du Littoral Côte d Opale Ecole doctorale,(2013).
- [40] <https://smag.tech/blog/smart-farming-a-z//consulte> le 15/02/2024.

Chapitre II

généralité sur les systèmes aquaponiques,leur écosystème et les processus vitaux qui les caractérisent

II.1 Introduction

L'aquaponie est une méthode novatrice qui combine l'aquaculture et l'hydroponie pour produire des aliments de manière durable.

Ce système utilise la capacité naturelle des bactéries pour transformer les déchets des poissons en nutriments essentiels pour les plantes ,créant ainsi un cycle vertueux où les plantes purifient l'eau pour les poissons

Bien que les origines de l'aquaponie remontent à 1500 ans en Asie et en Amérique du Sud, il n'est qu'à partir des années 1970 que cette méthode a suscité un regain d'intérêt significatif.

Les avancées dans les domaines de l'hydroponie et de l'aquaculture ont permis le développement de systèmes plus avancés, en phase avec les défis environnementaux contemporains.

L'idée fondamentale de l'aquaponie réside dans la transformation des déchets d'un compartiment en ressources pour l'autre,entraînant une réduction pouvant atteindre jusqu'à 90% de la consommation d'eau et d'engrais par rapport à l'agriculture conventionnelle.

Cette approche offre une production alimentaire durable, adaptable à diverses échelles et environnements, tout en favorisant une agriculture flexible et diversifiée[1].

Dans ce chapitre,nous allons définir l'aquaponie, présenter ses avantages et les différents types et matériaux utilisés pour sa réalisation,ainsi que son écosystème et les processus vitaux qui la caractérisent.

II.2 Le système aquaponique

L'aquaponie est une méthode révolutionnaire qui combine la pisciculture et la culture de plantes en système fermé. Considéré comme un écosystème, le système utilise les déchets de poisson comme engrais pour les plantes, agissant ainsi comme un filtre biologique. Les nutriments nécessaires proviennent de la conversion des déchets en éléments pouvant être absorbés par les bactéries, créant ainsi une symbiose entre la culture des plantes et la pisciculture. Le terme « aquaponie » est un mot-valise issu des mots aquaculture et hydroponie, soulignant cette approche intégrée [2].

II.3 Composantes de l'aquaponie

L'aquaponie est l'ensemble entre l'hydroponie et l'aquaculture.

II.3.1 L'hydroponie

L'hydroponie est une méthode de culture hors-sol qui implique la culture de plantes sans terre, en utilisant de l'eau et une solution nutritive pour irriguer un substrat inerte. Les racines des plantes absorbent les nutriments essentiels à leur croissance de cette solution. Cette technique permet une économie d'eau significative, une production sans pesticides, et une utilisation efficace de l'espace, favorisant ainsi l'agriculture urbaine. Cependant, les cultures hydroponiques ne peuvent être certifiées "bio" selon les normes réglementaires, car elles ne sont pas liées au sol. Malgré ses avantages, l'hydroponie peut présenter des inconvénients tels qu'une saveur réduite des produits, une dépendance à l'éclairage artificiel, et des limitations pour certaines cultures. En somme, l'hydroponie offre un contrôle précis des conditions de croissance des plantes, favorisant des récoltes abondantes et de qualité, mais elle est souvent considérée comme un complément à l'agriculture traditionnelle en plein champ [3].

II.3.2 L'aquaculture

L'aquaculture englobe une vaste gamme d'activités liées à la propagation, la culture et la commercialisation d'espèces aquatiques, notamment divers poissons destinés à l'alimentation humaine comme le poisson-chat, le tilapia et la truite, mais aussi des poissons d'ornement tels que les carpes koï, des poissons-appâts pour la pêche, des poissons de repeuplement pour les étangs et lacs, ainsi que des poissons utilisés comme ingrédients alimentaires. Dans les systèmes d'aquaculture en recirculation (RAS), les poissons sont élevés à forte densité dans des bassins, générant ainsi de grandes quantités de déchets qui nécessitent une filtration mécanique et biologique poussée pour maintenir une eau propre et saine pour les animaux. L'aération est également cruciale dans ces systèmes

confinés. L'aquaculture marine intensive présente quant à elle des risques environnementaux significatifs, en raison de la concentration élevée de déchets produits localement et du risque d'introduction d'espèces non indigènes pouvant menacer la biodiversité locale. La surpêche, la pollution et la destruction des habitats ont entraîné un déclin alarmant des populations sauvages de poissons. Cependant, l'aquaculture en recirculation offre la possibilité de produire de grandes quantités de poissons dans des espaces restreints, avec une utilisation minimale d'eau. En intégrant des cultures hydroponiques, les pisciculteurs peuvent réduire les besoins en filtration, valoriser les déchets des poissons comme engrais, tout en produisant des légumes supplémentaires[4].

II.4 Principe de l'aquaponie

L'aquaponie est un système de culture qui combine l'aquaculture (élevage de poissons) et l'hydroponie (culture de plantes sans terre) en un écosystème fermé. Dans ce système, les poissons produisent des déchets riches en nutriments, transformés par des bactéries en nitrates, qui servent d'engrais pour les plantes. Les plantes, à leur tour, filtrent l'eau pour les poissons, créant ainsi une symbiose où les deux éléments se nourrissent mutuellement. Ce mode de culture est considéré comme écologique, économique et productif, offrant une alimentation végétale et animale bio sans l'utilisation de pesticides ni d'engrais artificiels. L'aquaponie est également appréciée pour sa capacité à être mise en place dans des espaces réduits, offrant ainsi une solution durable pour la production alimentaire[5] (voir la figure II.1).

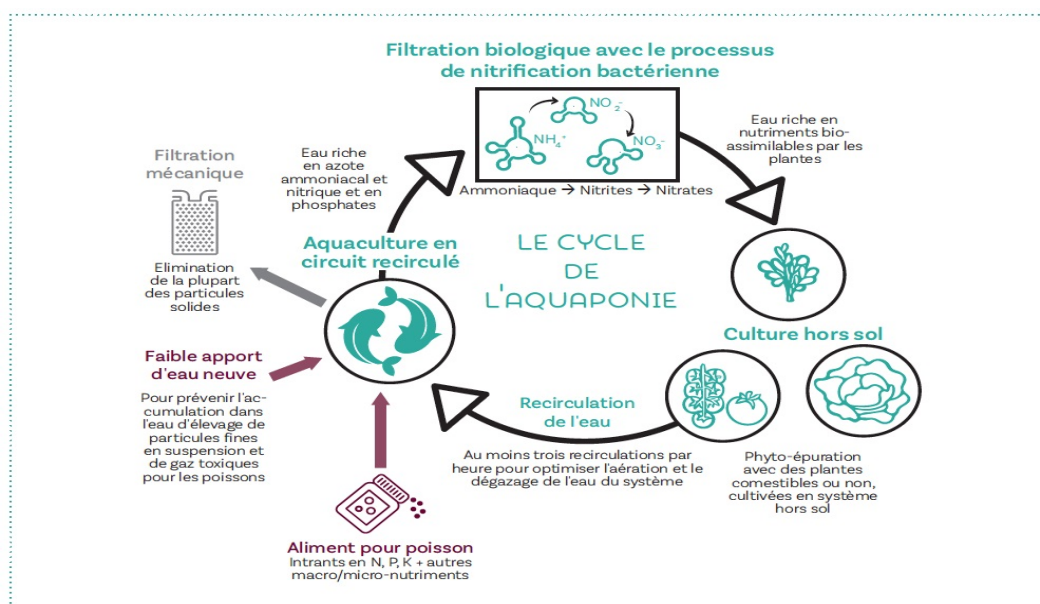


FIGURE II.1 – Principe de fonctionnement d'un système d'aquaponie[6].

II.5 Les avantages de la culture aquaponique

La culture aquaponique présente plusieurs avantages significatifs :

- Rendements élevés et rapides : Les conditions de culture de l'aquaponie offrent aux plantes tout ce dont elles ont besoin, favorisant des rendements fantastiques et une croissance rapide des végétaux et des poissons.
- Économie d'eau et absence de déchets : L'aquaponie permet des économies d'eau allant jusqu'à 95 et ne génère pas de déchets, car les boues de filtration peuvent être réutilisées pour fertiliser les plantes en terre, et les déchets organiques peuvent servir à nourrir les poissons.
- Éducation et sensibilisation : La pratique de l'aquaponie est ludique et éducative, offrant une démonstration pratique du cycle de l'azote, de la chimie de l'eau, et sensibilisant sur la durabilité et la biologie des poissons, ce qui en fait une excellente activité éducative.
- Adaptabilité en milieu urbain : L'aquaponie est idéale en zone urbaine et péri-urbaine, car elle peut être pratiquée sur les toits des immeubles, sur d'anciennes friches, et dans des espaces restreints, offrant ainsi une solution productive et écologique pour la culture en ville [7].

II.6 Types des systèmes aquaponiques

Il existe plusieurs types de systèmes aquaponiques, chacun avec ses propres caractéristiques et avantages :

- Système aquaponique basé sur la technique de film nutritif (NFT) : La technique du film nutritif (NFT) est une méthode hydroponique fréquemment utilisée en agriculture commerciale, où les plantes sont cultivées dans de longs et étroits canaux. Le principal avantage de la méthode NFT est que les racines des plantes sont constamment exposées à de nouvelles réserves d'eau, d'oxygène et de nutriments. Cette méthode est particulièrement adaptée à la culture de certains types de végétaux, tels que les légumes-feuilles comme la laitue, les épinards et le chou frisé, les herbes comme le basilic, le persil et la coriandre, ainsi que les fraises[8](voir la figureII.2).



FIGURE II.2 – schéma de la méthode NFT appliquée dans un système aquaponique[9].

II.6.1 Les principaux avantages et inconvénient[10]

II.6.1.1 les avantages

- Économie importante en eau (film d'eau minimal).
- Homogénéité dans l'irrigation et l'oxygénation sur toute la durée.
- Installation facile

II.6.1.2 Les inconvénients

- Risques de colmatage des circuits hydrauliques en raison de leur finesse.
- Sélection restreinte d'espèces végétales pouvant être cultivées.
- Possibilité de fluctuations importantes du pH et de la température dues aux faibles volumes d'eau.
- Nécessité d'installer des filtres, à la fois mécaniques et biologiques.
- Risque de carences en oxygène et en nutriments pour les plantes situées en bout de circuit.
- Utilisation extensive de matières plastiques.

II.7 Système aquaponique basé sur les Radeaux

est un type de système aquaponique qui utilise des radeaux flottants pour soutenir les plantes. Les radeaux sont généralement fabriqués à partir de matériaux légers et résistants à l'eau, tels que du polystyrène expansé ou du plastique (voir la figure II.3).



FIGURE II.3 – Exemple d'un système aquaponique qui utilise les radeaux[11].

- Les plantes sont cultivées dans des pots ou des sacs suspendus aux radeaux.
- Les racines des plantes pendent dans l'eau, où elles absorbent les nutriments provenant des poissons.
- sont relativement peu coûteux à construire et à entretenir.
- Ils sont faciles à installer et à démonter, mais ils ne sont pas adaptés aux plantes qui ont besoin d'un support solide pour grimper[12].

II.7.1 Les principaux avantages et inconvénients[13]

II.7.1.1 les avantages

- Permet de maintenir de grands volumes d'eau, favorisant ainsi la stabilité des paramètres physico-chimiques et l'accumulation des nutriments.
- Assure une stabilité des paramètres physico-chimiques de l'eau.
- Facilite la récolte et permet d'obtenir des rendements élevés.
- Assure une irrigation et une oxygénation homogènes sur toute la durée.
- Facilite la planification de la production et la logistique grâce à un échelonnage des cultures bien organisé.
- Utilise des matériaux de culture à faible coût.

II.7.1.2 Les inconvénients

- La mise au point du système peut demander un investissement de temps considérable.
- Il y a une limitation en ce qui concerne les espèces de plantes pouvant être cultivées.
- Il est nécessaire d'installer des filtres, à la fois mécaniques et biologiques.
- Il y a un risque de consommer potentiellement plus d'eau par rapport aux techniques telles que le NFT et les substrats inertes.

II.8 Lits remplis de médias

Les lits remplis de médias (aussi appelés "lit de culture") constituent un élément essentiel d'un système aquaponique.

Ils servent de support aux plantes et abritent les bactéries bénéfiques qui convertissent les déchets des poissons en nutriments assimilables par les plantes(voir la figureII.4).



FIGURE II.4 – système aquaponique qui utilise la méthode de lits remplis de médias[14]

- Les lits sont remplis d'un substrat poreux, tel que des billes d'argile expansée, de la pouzzolane ou du gravier.
- Les plantes sont plantées dans le substrat.
- L'eau riche en nutriments provenant du bassin à poissons est pompée vers les lits.
- L'eau traverse le substrat et irrigue les racines des plantes.
- Les bactéries bénéfiques fixées sur le substrat transforment les déchets des poissons en nitrates et en nitrites, que les plantes peuvent absorber.
- L'eau retourne ensuite dans le bassin à poissons, propre et oxygénée[15].

II.8.1 les principaux avantages et inconvénients[16]

II.8.2 les avantages

- Fonctionne efficacement comme filtre mécanique et biologique.
- Utilisation des médias comme support pour les plantes.
- Réalisation d'économies importantes en eau.
- Large choix de plantes cultivables disponibles.
- Facilité de récolte et obtention de rendements élevés.

II.8.2.1 Les inconvénients

- Risques potentiels d'irrigation et d'oxygénation inégaux. Possibilité de carences en oxygène et en nutriments pour les plantes à l'extrémité du système.
- Risque accru d'accumulation de composés solides.
- Potentiel de formation de zones anaérobies.
- Nécessité d'entretien régulier ou de remplacement des médias de culture en raison de l'accumulation de calcium et de phosphore.
- Coût élevé lié au transport des médias en raison de leur volume et de leur poids importants.

II.9 Processus vitaux dans un système aquaponique

II.9.1 les Poissons

Les poissons sont les instigateurs du système aquaponique. Ils produisent des déchets riches en nutriments, tels que l'azote et le phosphore, qui sont essentiels à la croissance des plantes. Ces déchets sont ensuite transformés en éléments nutritifs assimilables par les

végétaux grâce à l'action des bactéries nitrifiantes présentes dans le système. Toutefois, il est nécessaire de choisir l'espèce de poissons qui peuvent être utilisés dans ce système. Pour choisir l'espèce de poisson appropriée, plusieurs critères doivent être pris en compte. Voici les principaux points à considérer :

- Avoir une chair appréciée des consommateurs.
- Pouvoir se reproduire facilement en captivité.
- La reproduction peut être naturelle en étangs, ou provoquée dans les stations d'élevage par divers procédés.
- Avoir une croissance rapide avec une alimentation économique[17].

II.9.2 Choix de l'espèce

II.9.2.1 Tilapia du Nil

Le tilapia du Nil est une espèce d'eau douce très populaire dans les systèmes aquacoles. (Ils résistent à de nombreux agents pathogènes et parasites et supportent bien le stress. Peu exigeants quant à la qualité de l'eau, ces poissons s'adaptent facilement aux variations de température, ce qui les rend particulièrement robustes.) Ces poissons ne sont pas exigeants quant à la qualité de l'eau et ont une grande capacité d'adaptation aux écarts de température, ce qui les rend très robustes. Leur taux de croissance est élevé et ils tolèrent une grande plage de températures. De plus, ils préfèrent vivre dans des eaux peu profondes, ce qui les rend idéaux pour des systèmes aquacoles. En tant qu'espèce exotique, le tilapia aime la chaleur, ce qui explique pourquoi il est très populaire dans les régions chaudes, comme en Algérie, où il est l'une des espèces les plus couramment élevées, notamment dans le sud. C'est pourquoi le tilapia est considéré comme un poisson très approprié pour la reproduction dans un système aquaponique[18](voir la figure II.5).



FIGURE II.5 – le tilapia du nil[19]

II.9.3 Plante

Dans un système aquaponique de petite échelle, les plantes sont la principale récolte cultivée. De nombreuses espèces peuvent prospérer dans ce milieu, particulièrement celles qui exigent peu ou modérément d'éléments nutritifs. Parmi les variétés adaptées à ce système hors-sol, on trouve les laitues, les choux chinois, les blettes, les épinards, les brocolis, ainsi qu'une gamme d'herbes aromatiques telles que la ciboulette, le basilic, le cresson, la menthe et la roquette. L'absence de compétition racinaire dans l'eau permet une densité de plantation plus élevée comparée aux cultures en champ ouvert, limitée principalement par l'accès à la lumière et la taille des plantes à maturité [20].

II.9.4 Choix de plante

II.9.4.1 La laitue

La laitue (*Lactuca sativa* L.) occupe une place importante dans l'alimentation humaine, appréciée pour sa fraîcheur et ses nombreuses variétés. Consommée dans le monde entier, elle se classe parmi les légumes les plus cultivés et commercialisés. La laitue est un véritable succès commercial. Avec une production mondiale annuelle estimée à environ 28 millions de tonnes, elle se positionne comme l'un des légumes les plus cultivés, juste derrière la tomate. Sa popularité s'explique par sa culture relativement facile, sa rapidité de croissance et sa capacité à s'adapter à divers climats[21]. La laitue se décline en une multitude de variétés, chacune avec ses propres caractéristiques et saveurs. On distingue principalement deux grandes catégories : les laitues à couper, pommées ou frisées, et les laitues à feuilles, plus tendres et délicates. La laitue est un aliment riche en eau et en fibres, ce qui en fait un choix idéal pour une alimentation saine et équilibrée. Elle est également une source intéressante de vitamines et de minéraux, notamment de vitamine K, d'acide folique, de potassium et de magnésium[22].

II.9.5 Les bactéries

Les bactéries jouent un rôle crucial dans le processus aquaponique en convertissant l'ammoniaque, un composant majeur des déchets des poissons, en nitrate, une forme d'azote plus facilement assimilable par les plantes. Cette transformation est indispensable pour prévenir la toxicité de l'eau pour les poissons. Ce processus, appelé nitrification, nécessite impérativement la présence d'un système de filtration biologique dans chaque installation aquaponique, permettant ainsi une conversion continue de l'ammoniaque en nitrate[23]. L'accumulation de l'azote ammoniacal dissous et de ses dérivés dans les effluents peut être dangereuse, voire mortelle, pour les poissons et les plantes, ce qui constitue une préoccupation majeure. C'est pourquoi les systèmes aquaponiques utilisent une filtration biologique de l'eau d'élevage en conditions aérobies, reposant sur la réaction

bactérienne de nitrification. Cette réaction implique l'oxydation de l'ammoniaque produit par les poissons en nitrates, un composé peu toxique pour les poissons et bénéfique pour les plantes. Le filtre biologique est positionné juste avant les bassins d'élevage et après le filtre mécanique, installé lui-même après les bassins d'élevage. Cette configuration vise à minimiser autant que possible le dépôt de matières organiques particulières dans le filtre biologique[24].

Les bactéries jouent un rôle crucial dans le processus aquaponique en transformant l'ammoniaque, un composant majeur des déchets des poissons, en nitrate, une forme d'azote plus facilement assimilable par les plantes. Cette transformation, appelée nitrification, est indispensable pour prévenir la toxicité de l'eau pour les poissons et nécessite la présence d'un système de filtration biologique dans chaque installation aquaponique, permettant ainsi une conversion continue de l'ammoniaque en nitrate [23].

L'accumulation de l'azote ammoniacal dissous et de ses dérivés dans les effluents peut être dangereuse, voire mortelle, pour les poissons et les plantes, ce qui constitue une préoccupation majeure. C'est pourquoi les systèmes aquaponiques utilisent une filtration biologique de l'eau d'élevage en conditions aérobies, reposant sur la réaction bactérienne de nitrification. Cette réaction implique l'oxydation de l'ammoniaque produit par les poissons en nitrates, un composé peu toxique pour les poissons et bénéfique pour les plantes.

Le filtre biologique est positionné juste avant les bassins d'élevage et après le filtre mécanique, qui est lui-même installé après les bassins d'élevage. Cette configuration vise à minimiser autant que possible le dépôt de matières organiques particulières dans le filtre biologique.

II.9.6 Développement des bactéries

Les bactéries nitrifiantes, telles que *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*, doivent être en mesure de coloniser des supports ou des substrats pour se développer de manière optimale. Les conditions optimales pour leur croissance incluent une température de 20 à 25 °C et un pH entre 7 et 9, idéalement 8. Dans ces conditions, *Nitrosomonas* peut doubler sa population toutes les 7 heures, tandis que *Nitrobacter* peut le faire toutes les 13 heures. Cette différence de temps de génération peut induire un pic de nitrites NO_2^- lors de la mise en route du biofiltre[25].

II.9.7 Le cycle d'azote

L'azote, un élément vital de la matière organique minérale et végétale, est omniprésent dans les écosystèmes vivants. Comme tout élément naturel, l'azote suit un cycle. Dans un système aquaponique, ce cycle commence par l'alimentation des poissons. Plus la nourriture est riche en protéines, plus elle contient d'azote. Les poissons absorbent une

partie de ces protéines pour leur croissance, tandis que le reste est éliminé par l'urine sous forme d'ammonium[26].

II.9.7.1 Phase 1

Le décompte de l'azote organique contenu dans les déjections de poissons est facilité par les micro-organismes et l'oxygène. Ce processus aboutit à la formation d'ammoniac ou d'ammonium, en fonction de l'acidité de l'eau. Si l'eau est acide, l'azote organique se transforme en ammonium, tandis qu'en eau basique, il se transforme en ammoniac. Cependant, l'ammoniac est toxique pour les poissons, ce qui rend essentiel de le filtrer et de le récupérer par les plantes. En effet, ces composés peuvent causer une dilatation des branchies, ce qui peut asphyxier les poissons[26].

II.9.7.2 Phase 2

La deuxième phase du processus de dégradation des substances organiques dans les eaux est appelée nitrification. Les bactéries nitrifiantes procèdent à cette transformation en deux étapes distinctes. La nitrosation, réalisée par des bactéries comme Nitrosomonas, transforme l'ammonium et l'ammoniac en nitrites. Ces derniers sont toxiques et empêchent une circulation adéquate de l'oxygène. La nitratisation, effectuée par des bactéries comme Nitrobacter, transforme les nitrites en nitrates. Les nitrates sont moins toxiques pour les poissons et peuvent être assimilés par les plantes[26].

Les tableaux II.1 et II.2 présentent des informations cruciales sur les tolérances et les valeurs idéales pour les paramètres de qualité de l'eau dans un système aquaponique, en tenant compte des besoins spécifiques du tilapia, laitues et bactéries. Ces paramètres jouent un rôle essentiel dans la santé, la croissance et la productivité de l'ensemble de l'écosystème aquaponique.

	Température (°c)	PH	humidité %	Oxygène dissous (mg/L)	Nitrite (mg/L)	Nitrate (mg/L)	ammoniac (mg/L)
Tilapia	22-32	6-8.5	-	4-6	1>	400>	3>
Laitue	16-30	5.5-7.5	40-85	3<	1>	-	30>
Bactéries	14-34	6-8.5	-	4-8	1>	-	3>

TABLE II.1 – Tolérance de tilapia, laitues pour bactéries pour les éléments de qualité d'eau (AFO, 2016).

	Température (°c)	PH	humidité %	Oxygène dissous (mg/L)	Nitrite (mg/L)	Nitrate (mg/L)	ammonic (mg/L)
L'élevage aquaponique	18-30	6.5-7	60%-80%	5<	1>	5-150	1>

TABLE II.2 – Les valeurs idéales pour l'aquaponie comme compromis pour les trois organismes vivants(AFO,2016).

II.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit les principes de l'aquaponie comme un nouveau modèle complémentaire pour l'agriculture en Algérie. Ce modèle est capable d'assurer un développement durable, une sécurité alimentaire naturelle sans pesticides, tout en ne nécessitant pas beaucoup d'espace. Nous avons également donné un aperçu général des principaux systèmes aquaponiques les plus utilisés dans la pratique. Cette étude comparative avait pour objectif de nous éclairer dans la conception de notre mini-serre aquaponique.

Bibliographie

- [1] <https://www.1h2o3.com/apprendre/aquaponie/fermes-aquaponie/consulte> le 10/04/2024.
- [2] B. Stalport, "Modélisation et développement d'un système aquaponique avec surveillance météorologique pour l'étude du cycle de l'azote", Master en bioingénieur : sciences et technologies de l'environnement, à finalité spécialisée, Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT), 2016-2017.
- [3] C. Chapman, B. Jackson, D. Neumann, B. Steff, N. Weber, C. Damm, "A Low Carbon Emitting Energy Source for Urban Aquaponics Systems", Report of milwaukee school of engineering.
- [4] R.L. Nelson, J.S. Pade, "Aquaponic Food Product - Raising fish and plants for food and profit", Edition. Holly heart collection, Janvier 2008.
- [5] P. Foucard, A. Tocqueville, J.F. Baroiller, M. Gaumé, L. Labbé Laurent, C. Lejollivet, "Aquaponie, Associer aquaculture et production végétale", Ed. Quae, 209 p. 2019.
- [6] <https://aqua.legouessant.com/aliment-loisirs/aquaponie/consulte> le 10/04/2024.
- [7] HE.FENTIZ, "Conception et effet d'un système aquaponique sur la qualité d'eau, la croissance du Tilapia et de laitue (Région d'Ouargla)", projet de fin d'études, université kasdi merbah ouargla, (2020).
- [8] BR. Abdesslem, "Contribution à l'étude de la performance d'un système aquaponique pour la production de légumes sous abri. Cas de la variété locale de piment", mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, (2021).
- [9] <https://aquaponie.bio/les-differentes-methodes-de-culture-en-aquaponie/>
- [10] R.L. Nelson, J.S. Pade, "Aquaponic Food Product - Raising fish and plants for food and profit", Edition. Holly heart collection, janvier 2008.
- [11] aquaponie.bio/les-differentes-methodes-de-culture-en-aquaponie/consulte le 10/04/2024
- [12] R.L. Nelson, J.S. Pade, "Aquaponic Food Product - Raising fish and plants for food and profit", Edition. Holly heart collection, Janvier 2008.

- [13] B.Yasmine,"Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines brutes dans la wilaya de Constantine",mémoire de fin d'études,Université des Frères Mentouri Constantine,(2021).
- [14] <https://terresemisculture.fr/methode-de-culture-aquaponie/>consulte le 10/04/2024.
- [15] R.L. Nelson, J.S. Pade, "Aquaponic Food Product - Raising fish and plants for food and profit",Edition.Holly heart collection,Janvier 2008.
- [16] <https://www.promessedefleurs.com/conseil-plantes-jardin/ficheconseil/aquaponie-tout-savoir/>consulte le 10/04/2024.
- [17] BR.Abdessalem,"Contribution à l'étude de la performance d'un système aquaponique pour la production de légumes sous abri. Cas de la variété locale de piment",mémoire master ,Université Mohamed Khider de Biskra,(2021).
- [18] R.THABET,"Etude comparative de l'élevage du Tilapia du Nil "Oreochromis niloticus" entre les eaux douces et géothermales en Tunisie",mémoire de fin d'études,Institut Supérieur de Pêche et d'Aquaculture de Bizerte-Tunisie,(2017).
- [19] <https://www.fao.org/fishery/affris/profil-des-especes/nile-tilapia/tilapia-du-nil-accueil/fr/>
- [20] HE.FENTIZ,"Conception et effet d'un système aquaponique sur la qualité d'eau, la croissance du Tilapia et de laitue (Région d'Ouargla)",mémoire de fin d'études,université kasdi merbah, ouargla (2020).
- [21] JM.Tremblay," le cari partage". Anthropologie de l'alimentation à l'Île de la Réunion",Paris :Les Éditions Karthala,2000.
- [22] JM.Tremblay," le cari partage". Anthropologie de l'alimentation à l'Île de la Réunion",Paris :Les Éditions Karthala,2000.
- [23] P.Foucard ,A.Tocqueville , "Aquaponie, Associer aquaculture et production végétale-Paris (France)",2018.
- [24] P.Foucard,A. Tocqueville A, "Aquaponie, Associer aquaculture et production végétale-Paris (France)",2018.
- [25] R.A. Corner, Siriwardena, S.N, and Fersoy, "Small-scale aquaponic food production : integrated fish and plant farming",Rome,FAO,2014.
- [26] P.Harlaut , "Tout savoir sur l'aquaponie" .,Ebook, [en ligne],2016.

Chapitre III

Matériels et logiciels

III.1 Introduction

Le système aquaponique est un projet innovant qui combine l'élevage de poissons et la culture de plantes dans un environnement contrôlé. Ce système permet de produire des aliments de manière durable et efficace, en utilisant les déchets des poissons comme engrais naturel pour les plantes[1].

Dans ce chapitre, nous avons intéressé à tous les aspects matériels et logiciels nécessaires à la mise en place d'un système aquaponique. Nous commencerons par une présentation générale du concept, en détaillant ses caractéristiques principales. Ensuite, nous passerons en revue les différents capteurs et équipements requis pour assurer le bon fonctionnement de l'installation, tels que les pompes, les filtres, les sondes de PH et de température, etc.

III.2 Synoptique de la mini serre aquaponique automatisé

La mini serre aquaponique est un écosystème en circuit fermé composé de deux bacs : un pour les poissons et un autre pour les plantes. Une pompe transporte l'eau enrichie en engrais du bac des poissons vers celui des plantes, où elle est filtrée avant de retourner aux poissons. Ce système intègre une carte Arduino Mega pour la collecte de données et le contrôle, avec des capteurs de température, PH et niveau d'eau. Un programme en C++ sur l'IDE Arduino gère l'interface avec les capteurs et le matériel qui sont :

- Arduino Mega (le "cerveau").
- Capteurs (température eau/air, pH, niveau d'eau, etc.).
- Pompe pour faire circuler l'eau.
- Relais pour commander les actionneurs (Led , servomoteur , Ev ,....).
- Bac des poissons.

— Bac des cultures.

Le code Arduino collecte les données des capteurs chaque seconde et envoie des alerte en cas d'anomalie via un module GSM. Un code propre et bien testé est essentiel pour un tel système. En somme, l'Arduino Mega automatise la mini serre aquaponique en supervisant la circulation de l'eau et en surveillant les paramètres essentiels grâce aux capteurs, combinant ainsi électronique, programmation et agriculture durable[2](voir la figure III.1).

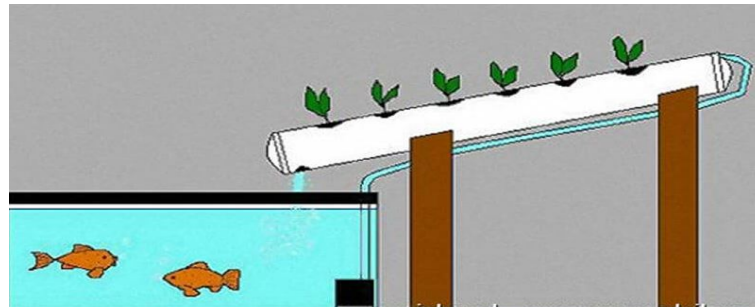


FIGURE III.1 – schéma du système pour la serre aquaponique [3]

III.3 Système de collecte de données et de gestion de la serre

Le cœur du système de collecte et de gestion des données du petit prototype de serre aquaponique robotisée est basé sur la carte Arduino. Dans ce cadre, nous détaillerons les différents composants utilisés. Afin de mettre en œuvre notre mini serre hydroponique, nous avons réfléchi à la conception présentée dans la figure III.1.

III.3.1 Carte ARDUINO

Une carte Arduino est une plateforme électronique Open Source qui permet aux utilisateurs de créer des objets électroniques interactifs. Elle est basée sur un microcontrôleur et est équipée de connecteurs pour les entrées/sorties, ainsi que d'une interface de programmation via un ordinateur. Les cartes Arduino sont très populaires pour le prototypage et la création de systèmes embarqués, en raison de leur facilité d'utilisation et de leur coût abordable.

Il existe de nombreuses variantes de cartes Arduino, chacune avec ses propres caractéristiques et fonctionnalités. Certaines cartes sont spécifiquement conçues pour des applications telles que l'Internet des objets (IoT), la robotique, ou l'embarquement dans des systèmes plus complexes. Les cartes Arduino sont souvent utilisées pour des pro-

jets de DIY (Do It Yourself) et sont très appréciées pour leur flexibilité et leur facilité d'utilisation[4].

III.3.2 Types des cartes ARDUINO

Il y a trois types de cartes :

- Les cartes « **officielles** », fabriquées en Italie par le fabricant officiel Smart Projects.
- Les cartes « **compatibles** », qui ne sont pas fabriquées par Smart Projects mais qui sont totalement compatibles avec les cartes Arduino officielles. Les cartes « **autres** », produites par différentes entreprises et commercialisées sous des noms tels que Freeduino, Seeeduino, Femtoduino. Les cartes Arduino utilisées dans divers projets sont ainsi classifiées en trois catégories distinctes Arduino Nano, Arduino UNO, Arduino MEGA[5] (voir la figureIII.2).



FIGURE III.2 – Les types d'ARDUINO[6]

Pour notre prototype,nous avons opté pour le choix de la carte **ARDUINO Mega** pour sa disponibilité,sa capacité de mémoire et le nombre suffisants de ports analogique et numérique pour l'interface avec notre projet (voir la figureIII.3).

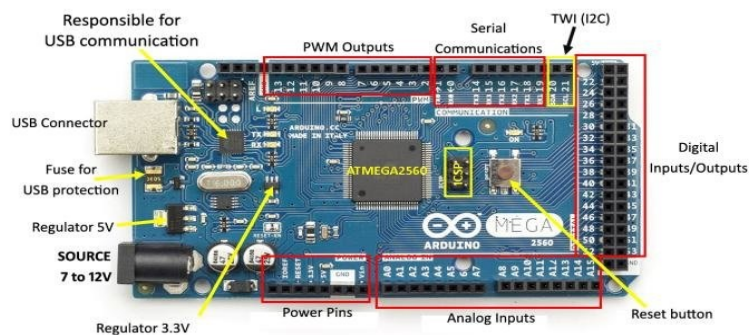


FIGURE III.3 – l'ARDUINO MEGA[7]

III.3.2.1 Le microcontrôleur

Le microcontrôleur représente le cerveau central de notre carte. Il reçoit le programme que nous développons et le conserve en mémoire avant de le mettre en œuvre.

III.3.2.2 L'alimentation

Une carte Arduino nécessite une alimentation pour fonctionner. En utilisant un microcontrôleur à 5 V, la carte peut être alimentée directement en 5 V à l'aide du port USB ou d'une alimentation externe. La carte Arduino est équipée de broches pour connecter des composants tels que des résistances, des diodes et des moteurs à la carte. En ce qui concerne les Arduino et de nombreuses cartes compatibles Arduino, les broches sont situées au même endroit. Cela facilite la fixation de cartes d'extension, connues sous le nom de shields, en les empilant. Les Shields offrent la possibilité d'améliorer les caractéristiques des cartes Arduino. Les shields permettent d'augmenter les fonctionnalités des cartes Arduino. Exemples : shield Wifi, shield SD, shield GPS... Les principales broches Arduino que nous allons utiliser sont :

- 0 à 53 : Entrées/sorties numériques.
- A0 à A15 : Entrées/sorties analogiques.
- GND : Terre ou la masse (0V).
- 5V : Alimentation +5V.

Les connexions entre les composants sont réalisées par des jumpers qui sont de petits câbles[8].

III.4 Partie matérielle

III.4.1 Afficheur LCD

LCD est l'abréviation de l'anglais "Liquid Crystal Display", qui signifie "Affichage à cristaux liquides" en français. C'est un dispositif d'affichage d'images ou de données alphanumériques ou graphiques qui utilise la propriété des cristaux liquides à transmettre ou à réfléchir la lumière. Les écrans LCD sont plats et consomment peu d'électricité. Ils sont utilisés dans de nombreux appareils électroniques comme les ordinateurs, les smartphones, les télévisions, etc[9] (voir la figure III.4).



FIGURE III.4 – L'Afficheur LCD [10]

III.4.2 Module I2C

Un module I2C, est l'abréviation d'Inter-Integrated Circuit, est un dispositif de communication informatique. Il est conçu pour être ajouté à un écran LCD afin de le contrôler via le protocole I2C. Ce module compact peut être installé à l'arrière d'un écran pour faciliter sa commande en utilisant le bus I2C [11] (voir la figure III.5).

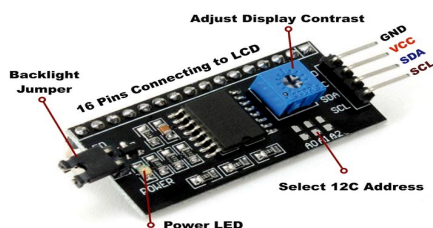


FIGURE III.5 – Module I2C
[12]

manière générale, en utilisant ce produit pour réduire le nombre de branche à seulement deux files SDA et SCL, il est compatible avec plusieurs types d'écrans LCD voir la figure III.6



FIGURE III.6 – Module I2C monté à l'arrière d'un écran LCD 16*2[13]

Les caractéristiques du Module I2C :

- Alimentation 5V.
- SDA Signal de données.
- SCL Signal d'horloge.

III.4.3 Capteur de lumière (LDR)

Capteur de lumière (LDR), également connu sous le nom de photorésistance, est un composant électronique sensible à la lumière qui varie sa résistance en fonction de l'intensité lumineuse détectée. Ces capteurs sont largement utilisés dans divers domaines tels que la domotique, la robotique, l'éclairage public, la sécurité, etc. Ils sont équipés de potentiomètres permettant d'ajuster leur sensibilité à la lumière ambiante. Les Capteurs de lumière

LDR disposent généralement de sorties numériques et analogiques pour transmettre les données détectées. Ces capteurs sont conçus pour détecter et mesurer la présence de lumière visible, ambiante, d'éclairs, voire même de lumière invisible comme l'infrarouge [14] (voir la figure III.7).

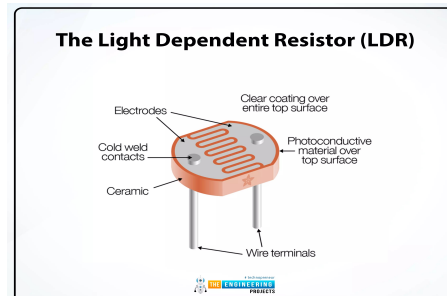


FIGURE III.7 – capteur de lumière LDR[15]

Les caractéristiques du capteur de lumière :

- Tension max (25°C) 150 Volts DC.
- Dissipation de puissance (25°C) 100 mW.
- Résistance lumineuse De 18 à 50 K ohm.
- Résistance dans le noir 2 M ohm ($\pm 20\%$).
- Température de fonctionnement de -30°C à +70°C .
- Temps de réaction 30 ms.

III.4.4 Module RFID MFRC522

Le module RFID MFRC522 est un lecteur RFID qui permet la lecture et l'écriture de tags RFID. Fonctionnant à 13,56 MHz et basé sur la puce Philips MFRC522, il communique avec un microcontrôleur via une interface standard SPI, offrant ainsi diverses fonctionnalités pour interagir avec les tags RFID. Lorsqu'un émetteur envoie une radio-fréquence, l'énergie émise alimente l'étiquette RFID, qui renvoie un code d'identification numérique. L'interaction des champs magnétiques émis et reçus permet au récepteur de décoder la transmission du tag RFID [16] (voir la figure III.8).

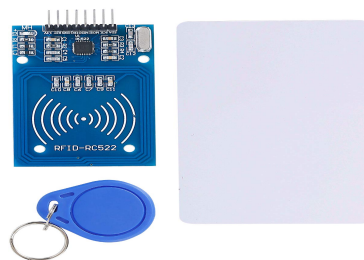


FIGURE III.8 – Module RFID MFRC522[17]

Les caractéristiques du MFRC522 :

- Alimentation 3.3V.
- Courant 13-26 mA.
- Fréquence de fonctionnement 13.56MHz.
- Interface de communication SPI.
- Taux de transfert de données maximum 10 Mbit/s.
- Portée de lecture environ 5 cm.
- Dimension 60mm x 39mm.

III.4.5 Capteur DHT11[18]

Le capteur DHT11 est un module très populaire pour mesurer la température et l'humidité de l'air. Il est intéressant pour les débutants car il permet de mesurer facilement ces grandeurs physiques. Le DHT11 est généralement vendu monté sur une carte avec 3 broches :

- 5V pour l'alimentation.
- GND pour la masse.
- DATA pour la communication numérique avec un microcontrôleur comme Arduino, La communication avec un Arduino se fait simplement en branchant la broche DATA sur une entrée numérique. Cela permet d'obtenir facilement les valeurs de température et d'humidité mesurées par le capteur (voir la figure III.9).

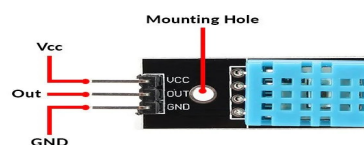


FIGURE III.9 – Capteur de température et humidité DHT11[19]

Les Caractéristique du capteur :

- Alimentation : +5 Vcc.
- Plage de mesure :
- température : 0 à 50 °C.
- humidité : 20 à 90 % RH. Précision :

- température : ± 2 °C.
- humidité : ± 5 % RH.
- Sorties : S, Vcc, GND.
- Dimensions : 23 x 17 x 9 mm.

III.4.6 Un Buzzer

C'est un élément électromécanique qui peut générer un son ou un bip sonore si on lui fournit une tension (voir la figure III.10).



FIGURE III.10 – Buzzer[20]

III.4.7 Servomoteur SG90[21]

Les servomoteurs sont des dispositifs électroniques conçus pour contrôler avec une grande précision la position et la vitesse de rotation. Grâce à leurs performances, ils sont particulièrement adaptés aux applications nécessitant une grande exactitude, telles que : La robotique La conception de drones La fabrication de jouets télécommandés Ce sont constitués d'un moteur électrique, d'un potentiomètre de positionnement, d'un circuit électronique de contrôle et d'un boîtier pour protéger les composants internes. Le signal de commande est généralement fourni par un microcontrôleur ou un autre dispositif électronique. Ce signal permet d'ajuster la tension électrique appliquée au moteur en fonction de la position souhaitée. Grâce à cette régulation, le servomoteur peut maintenir une position précise ou effectuer des mouvements contrôlés avec une grande fiabilité (voir la figure III.11).

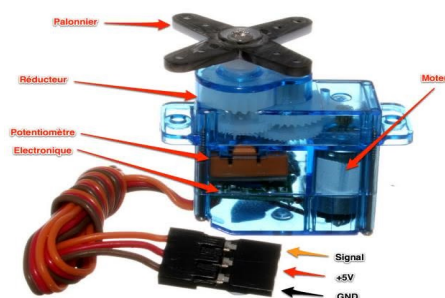


FIGURE III.11 – Servomoteur[22]

Les caractéristiques du SG90 :

- Alimentation 4 – 7.2v.
- Température de fonctionnement de -30°C à +60°C.
- Angle de rotation 180°.
- Poids supporté de 1.2 à 1.6 Kg.
- Couple moteur à 4.8v 1.2kg/cm.
- Vitesse d'essorage à 4.8 v 0.12s/60°.
- Poids : 9 g.
- Dimensions 22 × 11.5 × 27 mm.

III.4.8 Extracteur

C'est un appareil conçu pour renouveler et brasser l'air dans un espace clos, afin d'en rafraîchir l'atmosphère. Il fonctionne généralement à l'aide de pales qui créent une circulation d'air. Au-delà de son utilisation pour le confort, le ventilateur peut aussi produire un flux d'air destiné à favoriser certains phénomènes physiques ou à réaliser diverses opérations techniques au sein d'un dispositif [23] (voir la figure III.12).



FIGURE III.12 – Ventilateur

Les Caractéristique du extracteur :

- Tension de fonctionnement : 4, 5 V 5, 5V/10.2V 13.8V/20, 4 V 27.6V.
- La température de fonctionnement/ de l'humidité : -10°C 70°C 35% -85%HR La température de stockage/ de l'humidité : -40°C-80°C 35%-85%HR

III.4.9 Sonde de température étanche one wire, DS18B20

La sonde de température DS18B20 est un capteur numérique très populaire pour mesurer la température avec précision[25] (voir la figureIII.13).

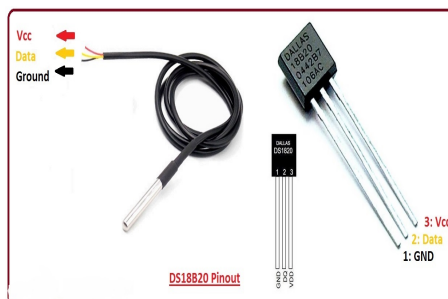


FIGURE III.13 – la sende de temperature DS18B20[26]

Les caractéristiques du capteur :

- Tension d'alimentation : 3.0V à 5.5V.
- Résolution du capteur : Résolution réglable de 9 à 12 bits, ce qui permet une précision de 0.0625°C par défaut.
- Plage de température : -55°C à +125°C (-67°F à +257°F).
- Précision : $\pm 0.5^\circ\text{C}$ sur la plage de -10°C à +85°C.
- Communication via un bus de données 1-Wire, ne nécessitant qu'un seul fil de données.

III.4.10 Module GSM 900

Le module GSM 900 est un dispositif de communication cellulaire basé sur la technologie GSM (2G). Il permet la transmission de données, les appels vocaux et les SMS (messages textes) via les réseaux GSM. Contrôlé par des commandes AT, le module GSM 900 peut être utilisé pour diverses applications, telles que le suivi de véhicules, les systèmes d'alerte et les projets IoT utilisant le GSM [27](voir la figureIII.14).



© Photo by ElectroPeak

FIGURE III.14 – Module GSM900[28]

Les Caractéristiques du module GSM 900 :

- Réseaux pris en charge : GSM/GPRS. Bandes de fréquences : Quad-bande(850/900/1800/1900 MHz) pour les réseaux GSM.
- Station mobile GPRS : Classe B Puissance de sortie : Niveau 4 (2 W à 850/900 MHz), Niveau 1 (1 W à 1800/1900 MHz).
- Commandes AT supportées : Commandes standard GSM 07.07 et 07.05.
- Fonctionnalités de messagerie : Service de messagerie court, envoi de petites quantités de données.
- Fonctionnalités de communication : Pile TCP/UDP intégrée, prise en charge de RTC[29].

III.4.11 Pompe à eau[30]

la figure III.15 suivante représente la pompe à eau.



FIGURE III.15 – pompe à eau[31]

Les Caractéristiques du pompe à eau :

- Tension de fonctionnement : 3-6V. Courant de fonctionnement : 130-220 mA.
- Diamètre extérieur de la sortie d'eau environ 6.5 mm.
- Diamètre intérieur de la sortie d'eau environ 3.9 mm.
- Longueur de fil : 15 à 20 cm.
- Couleur du fil : rouge et noir.

III.4.12 Capteur Ultrasons de type HC-SR04

Le capteur HC-SR04 est un dispositif compact, précis et peu coûteux qui permet de détecter la présence et la distance d'objets de manière fiable, en utilisant le principe des

ultrasons. C'est un composant très populaire pour les projets de robotique et d'électronique [32] (voir la figure III.16).



FIGURE III.16 – capteur ultrasonique HC-SR04[33]

Caractéristique de capteur Ultrasons

- Tension de fonctionnement : 5Vdc.
- Courant de fonctionnement : moins de 2mA.
- Signal de sortie en tension (0-5Vdc) Angle max de capteur : 15°.
- Plage de détection : 2 cm - 450 cm.
- Haute précision : 0,3cm.
- Fonctionnement à l'impulsion sur la pin Trigger.
- Largeur de pulse de trigger : 10µs.
- Sortie sur la pin Echo, durée de niveau. -haut fonction de la distance mesurée.

Connexions :

- VCC.
- Trigger (T).
- Echo (R).
- GND.

III.4.13 Capteur de flamme[34]

Le détecteur de flamme détecte les élévations de température et la présence de produits issus de combustion en répondant aux rayonnements électromagnétiques émis par la flamme. Ces rayonnements ont des fréquences de scintillement plus ou moins intenses dans des bandes spectrales spécifiques. Le détecteur de flamme fonctionne en distinguant

ces rayonnements des interférences présentes dans l'environnement d'utilisation(voir la figureIII.17).

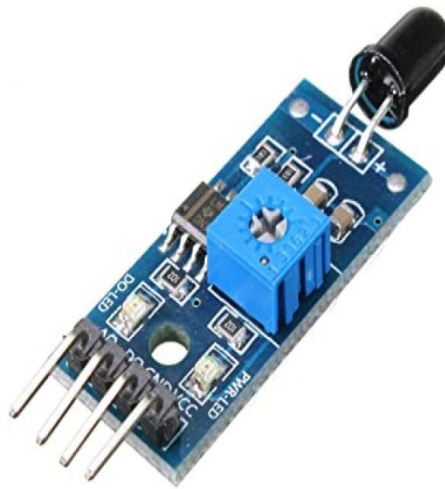


FIGURE III.17 – Capteur de flamme[35]

Les caractéristiques du capteur flamme :

- Plage de détection : 20-100cm.
- Tension d'alimentation : 5VDC.
- Poids : 2g.
- Dimensions : 40 x 16 x 13 mm (L x L x H).
- Plage de mesure : 760 à 1100 nm Sorties : A0 (analogique), D0 (numérique 0 ou 1), GND, VCC.
- Angle de détection : 60 degrés.
- Potentiomètre pour ajuster la portée du capteur.
- Consommation : 20 mA.
- Portée de détection : 0 à 1 mètre environ.
- Température de service : -40 °C à +85 °C.
- Humidité de service : 30 à 90%.

III.4.14 Les LEDs

LEDs, ou diodes électroluminescentes, sont des dispositifs électroniques convertissant l'énergie électrique en lumière visible. Leur utilisation est répandue dans divers domaines tels que l'éclairage domestique et commercial, les écrans d'affichage, les panneaux de signalisation et les appareils électroniques. Les LEDs se distinguent par leur faible consommation d'énergie, leur efficacité lumineuse et leur longue durée de vie. Chaque couleur de

LED possède des caractéristiques spécifiques en termes de longueur d'onde, d'efficacité lumineuse et d'applications[36] (voir la figure III.18).

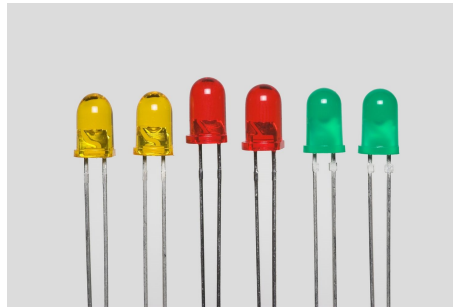


FIGURE III.18 – LED's[37]

III.4.15 Les relais

Un relais est un dispositif qui permet la commutation à distance d'un circuit électrique. Il permet de contrôler un circuit de puissance à l'aide d'un signal de commande de faible puissance, tel qu'une sortie numérique d'une carte Arduino. Les relais sont couramment utilisés dans diverses applications pour isoler les circuits haute puissance des circuits de commande basse consommation, offrant ainsi un moyen sûr et efficace de contrôler les appareils électriques à distance. Ils fonctionnent en utilisant une bobine électromagnétique pour ouvrir ou fermer un ensemble de contacts, permettant ou interrompant le flux de courant dans le circuit contrôlé en fonction du signal d'entrée reçu[38] (voir la figure III.19).

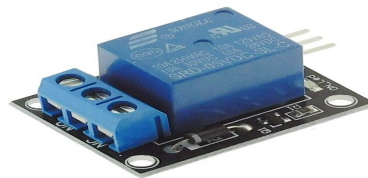


FIGURE III.19 – Module Relais[39]

Les Caractéristiques du capteur :

- Alimentation : 5 Vcc.
- Sortie : 1 contact RT 30 Vcc/10 A.
- LED d'indication.
- Dimensions : 34 x 27 x 19 mm.

III.4.16 Sonde de PH E102-C[40]

Sonde de PH E102-C est un instrument utilisé pour mesurer l'acidité ou la basicité d'une solution (voir la figure III.20).

Les Caractéristiques du capteur :

- Gamme de mesure :Sonde d'électron-conductivité (PH) peut mesurer des valeurs de pH allant de 0 à 14.
- Exactitude : L'exactitude du capteur est de 0,1 pH.
- Résolution : La résolution du capteur est de 0,01 pH.
- Technologie : Le capteur utilise des électrodes pour mesurer le pH.
- Compensation de température : Certains modèles de capteurs sont compensés en température pour assurer des mesures précises dans des conditions variées.



FIGURE III.20 – Sonde de PH[41]

III.5 Partie logicielle

III.5.1 Logiciel ARDUINO

L'IDE Arduino est un logiciel open source et gratuit pour le développement intégré, accessible en téléchargement depuis le site officiel d'Arduino. Il sert à éditer des programmes, les compiler dans le langage de l'Arduino, les téléverser sur la carte physique, et communiquer avec la carte via un terminal. Arduino est conçu pour être convivial, même pour les débutants en programmation électronique, et utilise une version simplifiée de C++. Il permet de créer une variété d'objets du quotidien, des projets de robotique, des drones, des systèmes de sécurité, etc. Le logiciel est disponible pour Windows, Mac et Linux, et offre une interface claire et intuitive pour la programmation des microcontrôleurs Arduino[42].

III.5.2 L'interface de programmation

L'interface du logiciel Arduino se présente comme illustré dans la figure III.21.

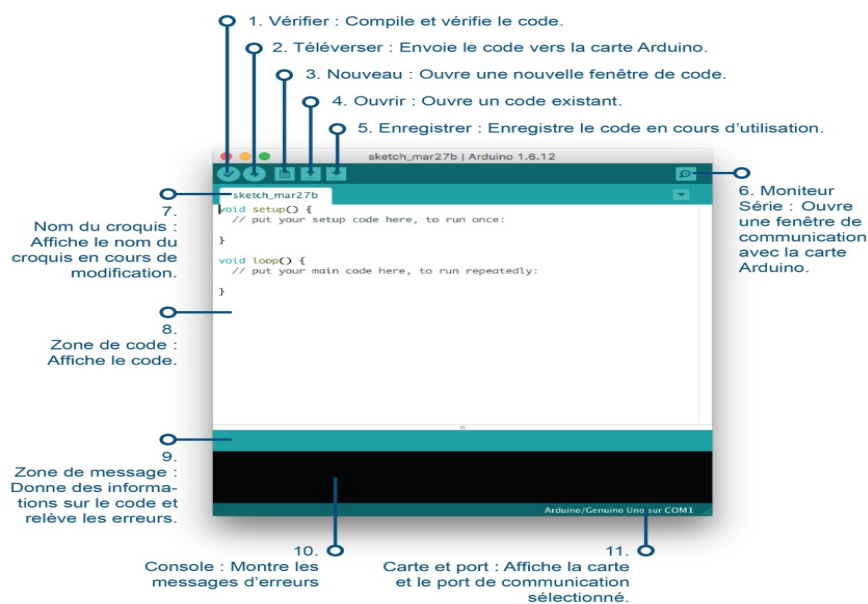


FIGURE III.21 – Interface logiciel IDE arduino[43]

III.6 Conclusion

Ce chapitre est consacré à l'étude générale sur la plateforme ARDUINO, commençant par un petit aperçu sur les différents composants (cartes, capteurs, actionneurs. . .) qui constituent notre système ainsi que leurs caractéristiques. Nous avons aussi décrit l'interface de programmation IDE ARDUINO. Les informations fournies ici sont très utiles pour comprendre la suite de notre travail.

Bibliographie

- [1] FZ.Beggui,S.aidi,"Impact d'un système aquaponique sur la qualité d'eau, la croissance du poisson chat Africain Clarias gariepinus et laitue blonde du BATAVIA (région d'Ouargla)", mémoire de master, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2019.
- [2] BR.Abdessalem,"Contribution à l'étude de la performance d'un système aquaponique pour la production de légumes sous abri. Cas de la variété locale de piment", mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2021.
- [3] <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/4667/filtre-aquaponique/> consulte le 20/05/2024.
- [4] <https://www.memoireonline.com/10/22/13180/m-Conception-et-ralisation-de-la-commande-distance-dune-maison-intelligente-base13/> consulte le 20/05/2024.
- [5] A. krama et A. Gougui, " Etude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le système Androïde", mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2015
- [6] <https://icn.lycee-valin.fr/dokuwiki/doku.php?id=arduino:introduction-arduino/> consulte le 20/05/2024.
- [7] <https://www.researchgate.net/figure/Block-Diagram-1-ArduinoMEGA2560-The-Arduino-Mega-2560-is-a-type-of-microcontroller-fig5-281538436>
- [8] <https://icn.lycee-valin.fr/dokuwiki/doku.php?id=arduino:introduction-arduino/> consulte le 20/05/2024.
- [9] <https://www.orientdisplay.com/fr/knowledge-base/lcd-basics/what-is-lcd-liquid-crystal-display/> consulte le 20/05/2024.
- [10] <https://www.ukai.com/fr-fr/composants-%C3%A9lectroniques/composants-%C3%A9lectroniques-opto%C3%A9/afficheurs-lcd/topway-lmb162abc-afficheur-lcd-alphanum%C3%A9rique-lmb162abc>
- [11] <https://binarytech-dz.com/produit/arduino-raspberry/autres-modules/afficheurs-lcd-oled-glcd/afficheur-lcd-16x02-interface-i2c/> consulte le 21/05/2024.
- [12] <https://components101.com/modules/i2c-serial-interface-adapter-module/> consulte le 21/05/2024.

- [13] <https://www.bibli.com/p/cuci-gudang-lcd-display-1602-i2c-16x2-16-2-16-2-biru-blue/ps-ALA-47809-00057/>consulte le 21/05/2024.
- [14] <https://pedagogie.ac-orleans-tours.fr/fileadmin/user-upload/physique/lycee/seconde/Signaux-capteurs-TP-photoresistance/>consulte le 21/05/2024.
- [15] <https://www.framboise314.fr/scratch-raspberry-pi-composants/module-detecteur-de-lumiere-a-ldr/>consulte le 21/05/2024.
- [16] <https://lastminuteengineers.com/how-rfid-works-rc522-arduino-tutorial/>consulte le 21/05/2024.
- [17] <https://www.amazon.com/SunFounder-Mifare-Reader-Arduino-Raspberry/dp/B07KGBJ9VG/>consulte le 21/05/2024.
- [18] <https://robocraze.com/products/dht11-humidity-and-temperature-sensor-module-pack-of-25/>consulte le 21/05/2024.
- [19] <https://robocraze.com/products/dht11-humidity-and-temperature-sensor-module-pack-of-25/>consulte le 21/05/2024.
- [20] <https://www.dzduino.com/buzzer-active-5v-fr/>consulte le 21/05/2024.
- [21] <https://oswos.com/fr/servomoteur/>consulte le 21/05/2024.
- [22] <https://www.upesy.com/blogs/tutorials/pi-pico-servo-motor-sg90-on-micropython?>
- [23] <https://www.cnrtl.fr/definition/ventilateur/>consulte le 21/05/2024.
- [24] <https://www.amazon.fr/DIYables-Ventilateur-refroidissement-fonctionne-Raspberry/dp/B0BPG1D7ML/>consulte le 21/05/2024.
- [25] <https://binarytech-dz.com/produit/capteurs-robotique/capteurs/capteurs-meteo/capteur-de-temperature-ds18b20-etanche/>consulte le 21/05/2024.
- [26] <https://www.theengineeringprojects.com/2019/01/introduction-to-ds18b20/>consulte le 21/05/2024.
- [27] <https://youpilab.com/components/product/module-gsm-sim900/>consulte le 21/05/2024.
- [28] <https://store.fut-electronics.com/products/copy-of-gsm-gprs-arduino-sim900/>consulte le 21/05/2024.
- [29] <https://www.moussasoft.com/comment-utiliser-sim800l-et-sim900-module-gsm-gprs-avec-arduino/>consulte le 21/05/2024.
- [30] <https://www.labonnepompe.com/1602-pompe-a-eau-pedrollo-hf6c-1-10-kw-centrifuge-jusqu-a-60-m3-h-de-debit-triphas-380v/>consulte le 15/05/2024.
- [31] <https://www.powertech-dz.net/products/single/mini-pompe-a-eau-submersibles-3-6v-vente-composants-electronique-blida-algerie-260/>consulte le 21/05/2024.

- [32] <https://letmeknow.fr/fr/mouvements-et-positions/56-capteur-de-distance-a-ultrason-4894479459522/>consulte le 21/05/2024.
- [33] <https://www.websoog.com/fr/industriel-scientifique/214-module-ultrasonic-hc-sr04-up-to-3mm/>consulte le 21/05/2024.
- [34] <https://binarytech-dz.com/produit/capteurs-robotique/capteurs/capteurs-infrarouge/module-capteur-de-flamme/>consulte le 22/05/2024.
- [35] <https://www.orbit-dz.com/product/produit-1409/>consulte le 22/05/2024.
- [36] <https://www.electronicshub.org/led-light-emitting-diode/>consulte le 22/05/2024.
- [37] <https://en.wiktionary.org/wiki/LED/>consulte le 22/05/2024.
- [38] <https://www.gotronic.fr/art-module-relais-5-v-gt1080-26130/>consulte le 22/05/2024.
- [39] <https://www.gotronic.fr/art-module-relais-5-v-gt1080-26130.htm/>consulte le 22/05/2024.
- [40] AD.Djafer Amdjed, "Etude et modélisation d'un capteur de pH à base de transistor à effet de champ", Mémoire de fin d'étude, Université 8Mai 1945–Guelma, 2020.
- [41] <https://www.biolab.fr/boutique-biolab/experimentation-assistee-par-ordinateur/capteur-ph-15745-detail/>consulte le 22/05/2024.
- [42] <https://www.amazon.fr/VBESTLIFE-capteur-Composite-d%C3%A9lectrode-connecteur/dp/B081QK9TX2>
- [43] <https://arduino.blaise-pascal.fr/presentation/logiciel/>consulte le 22/05/2024.
- [44] <https://www.playhooky.fr/technologie/arduino/>consulte le 22/05/2024.

Chapitre IV

Conception et réalisation

IV.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié les principaux composants électroniques utilisés dans les projets Arduino, notamment la carte Arduino, la carte GSM, le module RFID, le servomoteur, l'afficheur LCD, les différents capteurs, et aussi différents actionneurs que on vas utiliser. Nous avons également examiné les domaines d'application de la carte Arduino et les différentes manières de la programmation. Dans ce chapitre, nous avons entamé la conception et la réalisation d'un dispositif expérimental qui utilise ces composants pour créer un système aquaponique basé sur une carte arduino mega. Ce système permettra de contrôler les différent paramètre et l'automatise. Nous allons présenter les schémas de câblage, le branchement et le programme permettant le fonctionnement de notre système. En suivant ce chapitre, vous pourrez comprendre comment créer un système automatiser d'une serre aquaponique a base d'ARDUINO MEGA .

IV.2 Présentation de système

la figure IV.1 représente un système aquaponique simple .

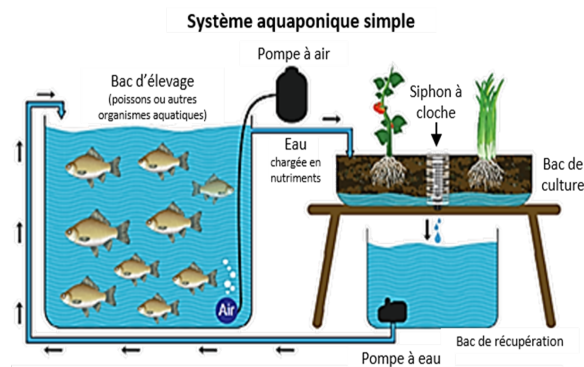


FIGURE IV.1 – représentation d'un système aquaponie

IV.3 Le cahier des charges

IV.3.1 Objectif

le système conçu vise a contrôler une serre aquaponique automatisé en utilisant une carte arduino MEGA et un module GSM sim900.

IV.3.2 Matériel requis

- Arduino MEGA 2560.
- Module GSM 900.
- Capteur de flamme.
- Capteur de Température .
- Capteur de PH.
- Capteur de ultrasonique.
- Capteur de température et humidité DHT11.
- Module RFID MFRC522.
- Capteur de lumière LDR.
- Servomoteur.
- Afficheur LCD I2C.
- Ventilateur.
- pompe a eau .
- LED's.
- transistor, résistances et câbles.

IV.3.3 Action a effectuer en cas de détection

- Détection de flamme : Déclenchement de l'alarme sonore, allumage de la LED rouge, envoi d'un message d'alerte pour les pompiers et pour l'intéresse.
- Détection de code badge RFID : Ouverture de portail, mouvement du servomoteur a 90 degrés pendant 10 seconde, déclenchement de buzzeur, allumage de LED verte. activation du buzzeur , lorsque le code est faux .
- Température supérieure a 34 degrés celsius dans la serre : Allumage de ventilateur et le climatiseur (LED témoigne LED rouge).
- Température inférieure a 18 degrés celsius dans la serre : Allumage de radiateur (LED témoigne LED jaune).

- Température supérieure a 34 degrés celsius dans l’aquarium : Allumage de ventilateur et système de refroidissement (LED témoinne LED rouge).
- Température inférieure a 18 degrés celsius dans l’aquarium : Allumage de résistance (LED témoinne LED rouge).
- PH supérieure a 7,5 : Allumage du pompe a base (LED témoinne LED rouge).
- PH inférieure a 6,5 : Allumage du pompe acide (LED témoinne LED vert).
- Humidité supérieur a 80% : Activation du ventilateur (extracteur)
- Humidité inférieur a 60% : Activation de l’electrovanne (LED témoinne LED blanche).
- LDR : Allumage de l’éclairage LED bleu si la luminosité est inférieure a un seuil prédéfini.
- Niveau d’eau : Activation de pompe d’eau si le niveau d’eau inférieure a un seuil prédéfini.

IV.3.4 Schéma synoptique du projet

La figure IV.2 illustre le schéma synoptique de la carte électronique à réaliser. Ce schéma offre une représentation visuelle des composants et des connexions nécessaires pour assurer le bon fonctionnement de la maquette.

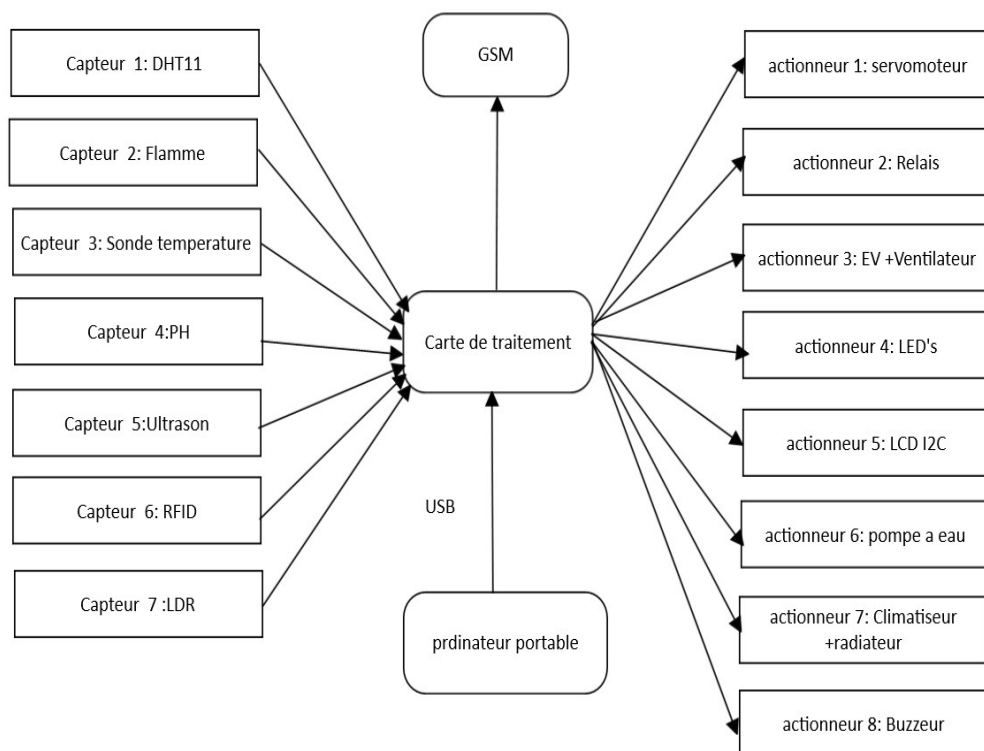


FIGURE IV.2 – Schéma synoptique .

IV.3.5 Configuration requise

- Téléchargez et installez l'IDE Arduino.
- Intégrez les bibliothèques telles que MFRC522, SPI, SERVO, DHT, ONEwire, DallasTemperature, etc.
- Connectez le matériel conformément aux instructions détaillées dans le code.

IV.3.6 Contraintes

- les carte RFID valides doivent avoir un ID correspondant à "53 F1 E8 34" pour déclencher l'action du servo .
- le seuil de luminosité pour l'allumage de la LED d'éclairage est défini à 600 .

IV.4 Gestion et branchage des capteurs et actionneur

IV.4.1 Gestion de flamme

le capteur de flamme 1380 CFA : Si le capteur a détecté une flamme, le microcontrôleur activera alerte, envoi d'un SMS au propriétaire et appelé les pompiers , LED rouge ON .

IV.4.1.1 Brochage de capteur de flamme

le capteur de flamme est un module à 3 branches :

- La broche VCC de capteur à la broche 5v de la carte Arduino .
- La broche GND de capteur à la masse de la carte Arduino .
- La broche DO du capteur à la broche digital 11 de la carte Arduino .

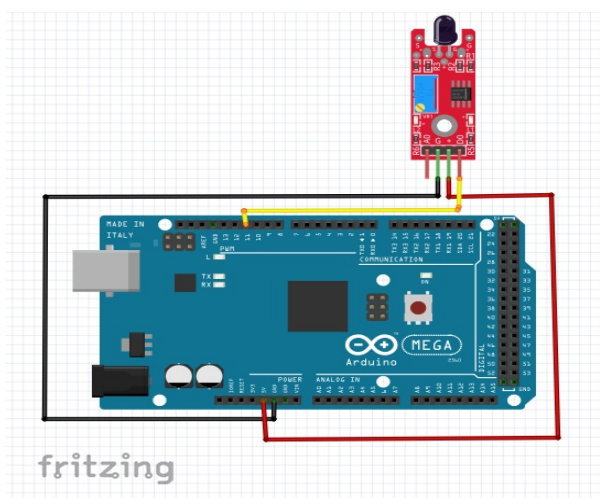


FIGURE IV.3 – brochage de capteur de flamme

IV.4.1.2 Organigramme de capteur de flamme

La figure IV.4 représente l'organigramme du capteur de flamme.

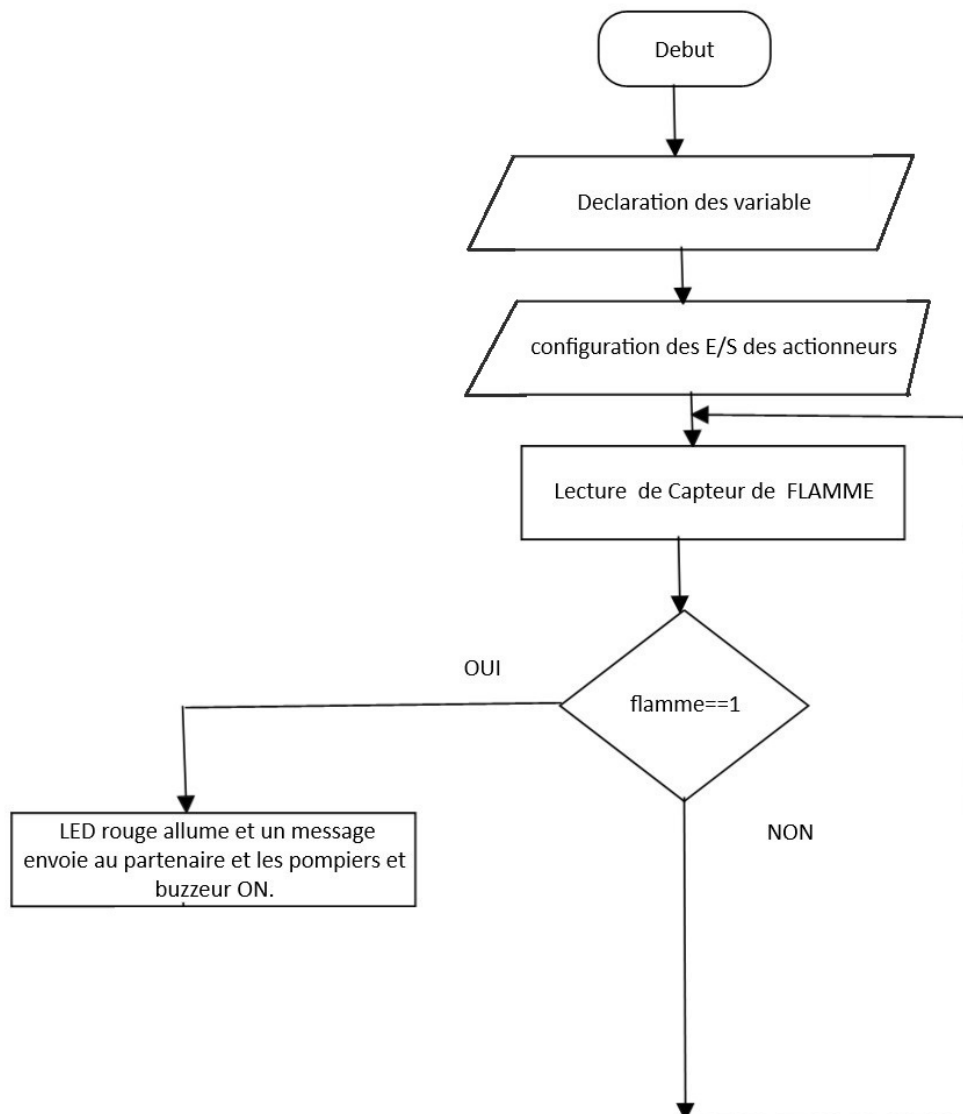


FIGURE IV.4 – Organigramme de capteur flamme

IV.4.2 Gestion de DHT11

le capteur de température et humidité de la serre DHT11 :
le capteur DHT11 capte la valeur de Température et humidité chaque 1 min.

IV.4.2.1 Brochage de DHT11

le capteur de DHT11 est un module a 3 branche :

- La broche VCC de capteur a la broche 5v de la carte Arduino .

- La broche GND de capteur a la masse de la carte Arduino.
- La broche DATA du capteur a la broche digital 13 de la carte Arduino .

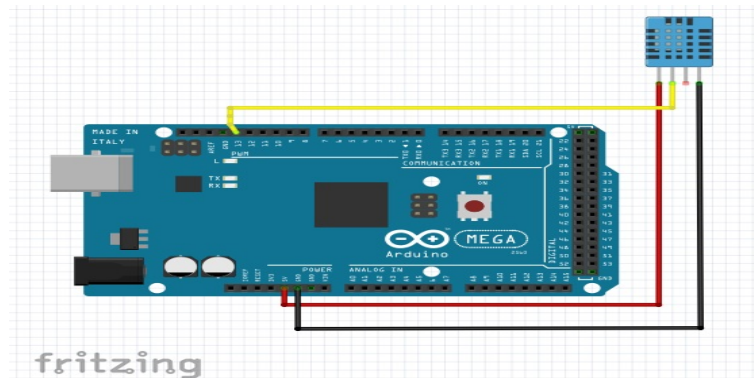


FIGURE IV.5 – brochage de capteur DHT11.

IV.4.2.2 Organigramme de DHT11

La figure IV.6 représente l'organigramme de DHT11.

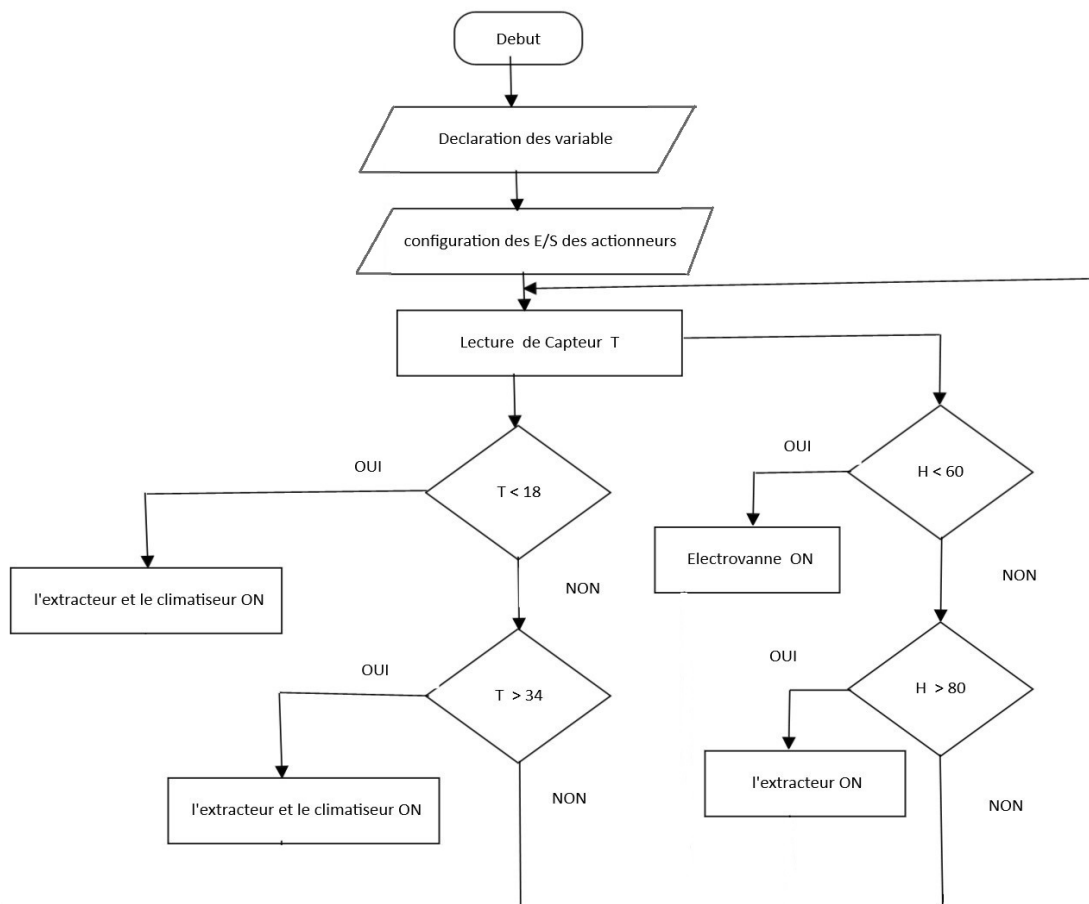


FIGURE IV.6 – organigramme de DHT11.

IV.4.3 Gestion de capteur température de l'aquarium DS18B20

le capteur de température DS18B20 : le capteur DS18B20 capte la valeur de Température chaque 1 min.

IV.4.3.1 Brochage de Ds18B20

le capteur de Température est un module a 3 branche :

- La broche VCC de capteur a la broche 5v de la carte Arduino .
- La broche GND de capteur a la masse de la carte Arduino .
- La broche DATA du capteur a la broche digital 23 de la carte Arduino .

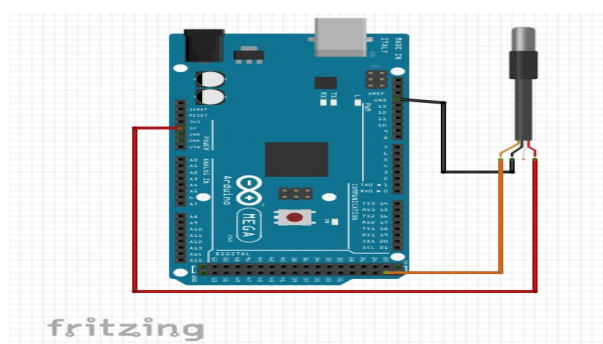


FIGURE IV.7 – brochage de capteur DS18B20.

IV.4.3.2 Organigramme de capteur DS18B20

La figure IV.8 représente l'organigramme de capteur DS18B20.

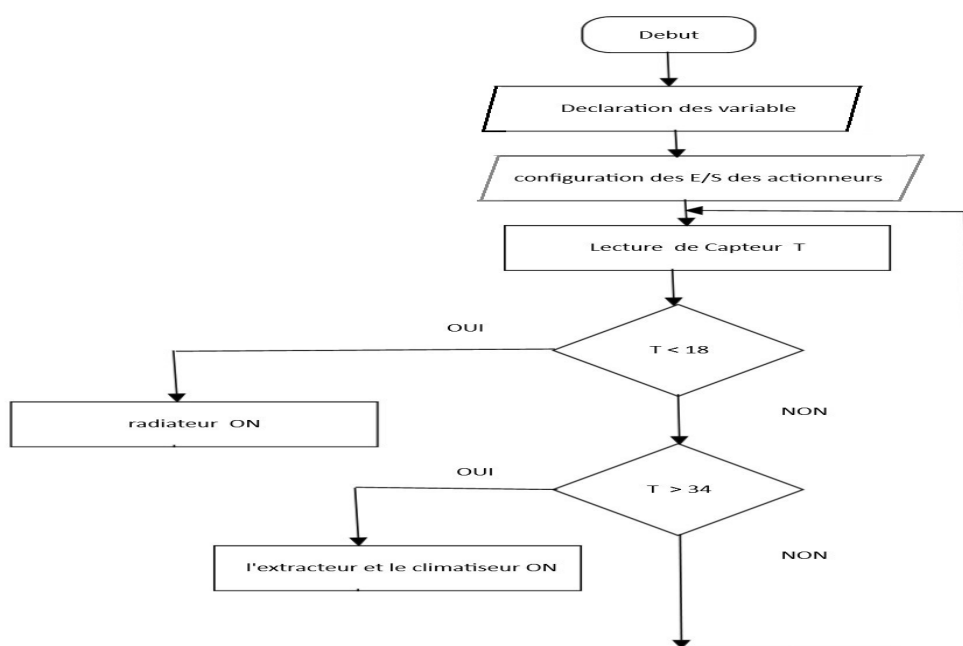


FIGURE IV.8 – organigramme de capteur DS18B20.

IV.4.4 Gestion de capteur LDR

le capteur de lumière LDR : le capteur LDR capte la valeur de lumière et allume la led si la valeur est inférieure a 600 .

IV.4.4.1 Brochage de LDR

le capteur de lumière est un module a 2 branche : on vas faire un diviseur de tension pour la LDR

- La broche 1 de capteur a la broche 5v de la carte Arduino .
- La broche 1 de résistance a GND de la carte arduino .
- La broche 2 du capteur et la broche 2 de la résistance a la broche Analogique A0 de la carte Arduino .

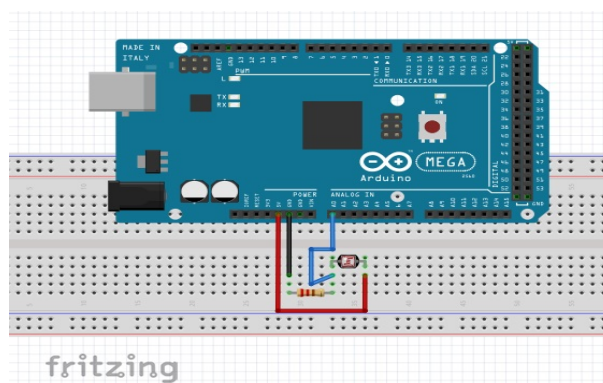


FIGURE IV.9 – brochage de capteur de lumière LDR.

IV.4.4.2 Organigramme de la LDR

La figure IV.10 représente l'organigramme de capteur de lumière LDR.

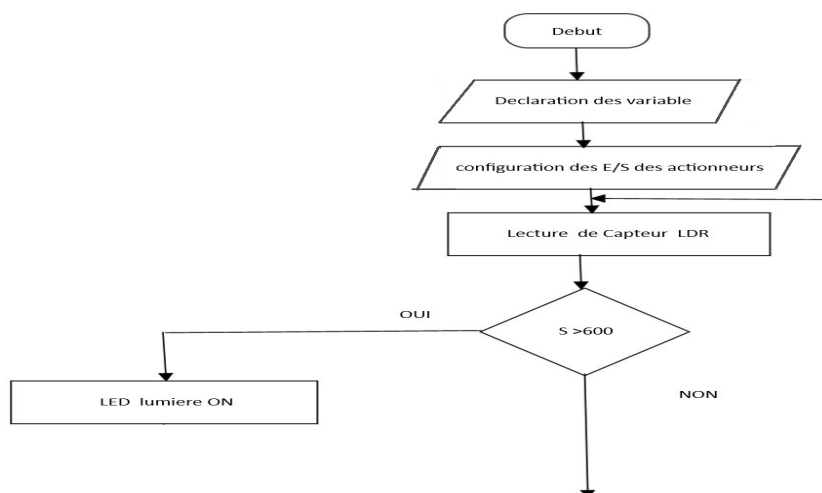


FIGURE IV.10 – organigramme de La LDR.

IV.4.5 Gestion de capteur ultrason

le capteur ultrason : le capteur ultrason capte la distance (niveau d'eau) et allume la pompe si la valeur est inférieure au seuil .

IV.4.5.1 Brochage de capteur ultrason

le capteur ultrason est un module a 4 branche : on vas faire un diviseur de tension pour la LDR

- La broche VCC de capteur a la broche 5v de la carte Arduino .
- La broche GND de capteur a GND de la carte arduino .
- La broche tiger du capteur a la broche digital 26 de la carte arduino.
- La broche echo du capteur a la broche digital 27 de la carte arduino.

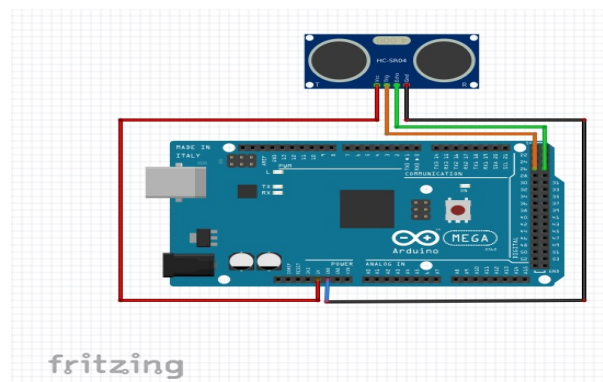


FIGURE IV.11 – brochage de capteur ultrason.

IV.4.5.2 Organigramme de capteur ultrason

La figure IV.12 représente l'organigramme de capteur Ultrason.

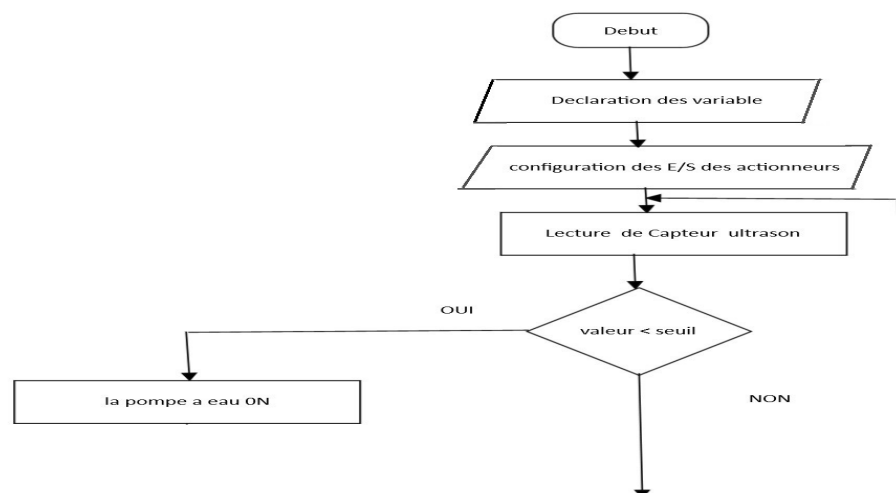


FIGURE IV.12 – organigramme de capteur ultrason.

IV.4.6 Gestion de capteur RFID RC522

Le capteur RFID RC522 est utilisé pour lire et écrire des données sur des badges RFID. Dans notre projet, nous allons l'utiliser pour détecter la présence de badges RFID et effectuer des actions spécifiques en fonction du badge détecté.

IV.4.6.1 Brochage de capteur RFID RC522

Le capteur RFID RC522 est un module à plusieurs broches qui nécessite une connexion SPI avec l'Arduino Mega. Voici comment le brancher correctement :

- La broche VCC du capteur doit être connectée à la broche 3.3V de la carte Arduino Mega.
- La broche GND du capteur doit être connectée à une broche GND de la carte Arduino Mega.
- La broche RST du capteur doit être connectée à la broche digitale 9 de la carte Arduino Mega.
- La broche SDA du capteur doit être connectée à la broche 53 (SS) de la carte Arduino Mega.
- La broche SCK du capteur doit être connectée à la broche 52 (SCK) de la carte Arduino Mega.
- La broche MOSI du capteur doit être connectée à la broche 51 (MOSI) de la carte Arduino Mega.
- La broche MISO du capteur doit être connectée à la broche 50 (MISO) de la carte Arduino Mega.

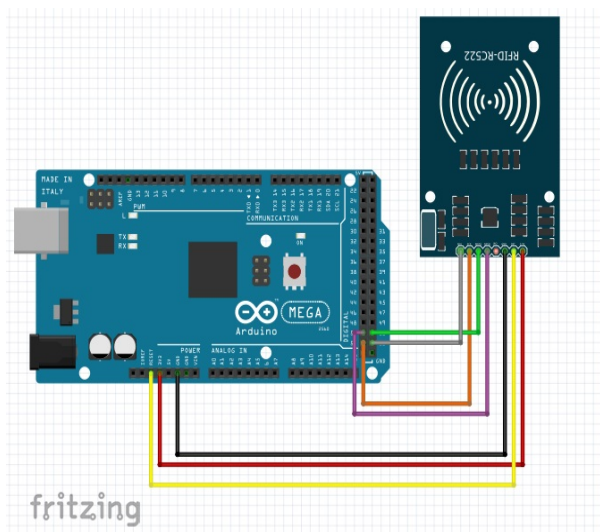


FIGURE IV.13 – brochage de capteur RFID RC522.

IV.4.6.2 Organigramme de capteur RFID RC522

La figure IV.14 représente l'organigramme de capteur RFID RC522.

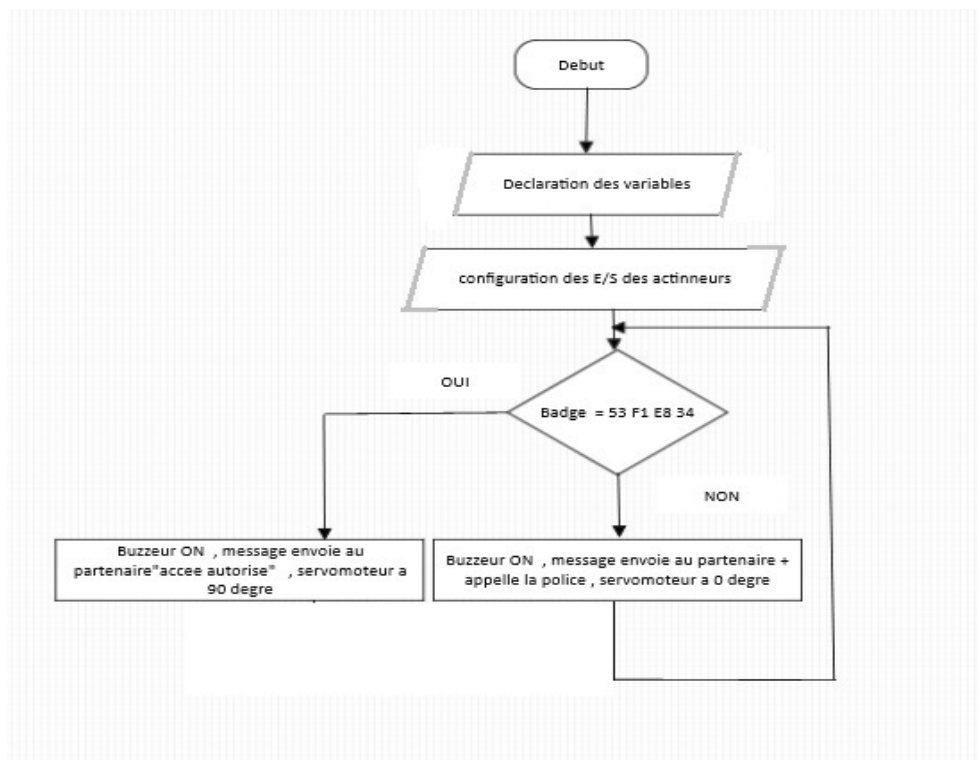


FIGURE IV.14 – organigramme de capteur RFID RC522.

IV.4.7 Gestion de capteur PH

Le capteur de pH est utilisé pour mesurer l'acidité ou l'alcalinité d'une solution. Il est essentiel dans de nombreuses applications, telles que l'aquariophilie, l'agriculture et le traitement des eaux. Lorsque le pH de la solution dépasse ou tombe en dessous d'un certain seuil, une action spéc se déclenche, comme l'ajustement du niveau de pH à l'aide d'une pompe ou d'un autre dispositif.

IV.4.7.1 Brochage de capteur PH

Le capteur de pH se compose généralement d'une sonde de pH et d'un module de conditionnement de signal pour amplifier et convertir le signal analogique. Le module de conditionnement de signal a plusieurs broches pour la connexion avec la carte Arduino Mega.

- La broche VCC du module de conditionnement de signal doit être connectée à la broche 5V de la carte Arduino Mega.
- La broche GND du module de conditionnement de signal doit être connectée à la broche GND de la carte Arduino Mega.

- La broche analogique du module de conditionnement de signal doit être connectée à une broche analogique de la carte Arduino Mega, par exemple A0.

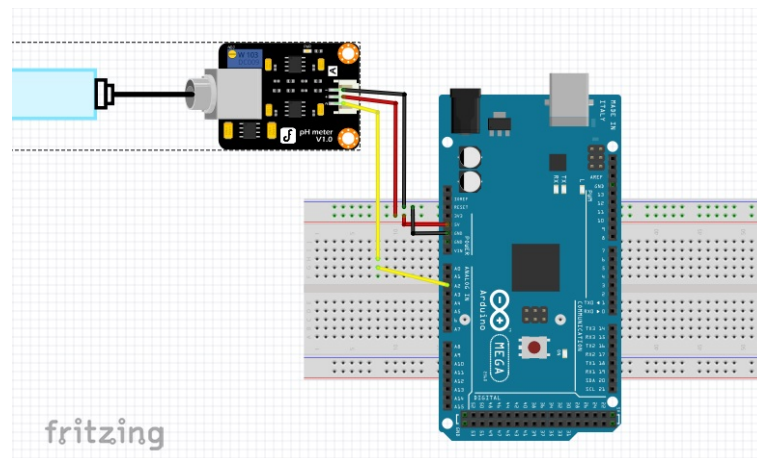


FIGURE IV.15 – brochage de capteur PH.

IV.4.7.2 Organigramme de capteur PH

La figure IV.16 représente l'organigramme de la sonde PH.

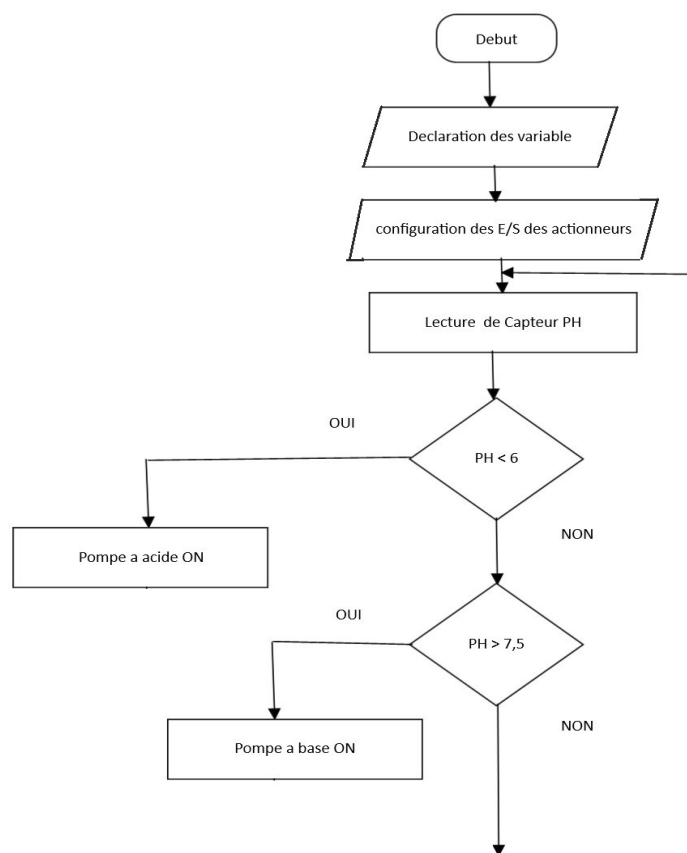


FIGURE IV.16 – organigramme de capteur PH.

IV.4.8 branchement du système générale

Nous allons décrire le schéma de câblage complet de notre maquette, élaboré à l'aide du logiciel Fritzing. Le câblage sera de la manière suivante :

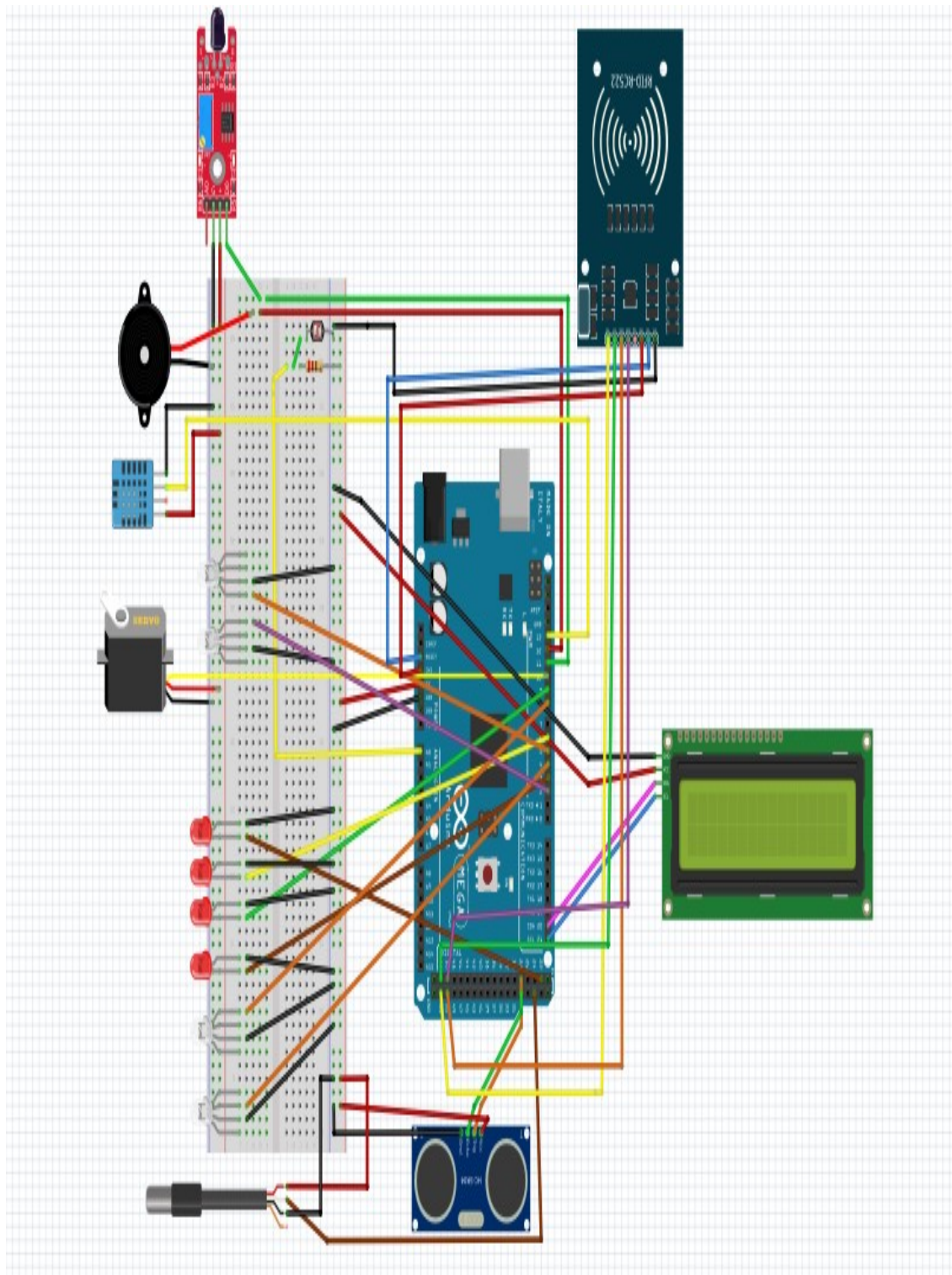


FIGURE IV.17 – brochage du système générale

IV.4.9 organigramme du système générale

Dans l'annexe A, vous trouverez un organigramme exhaustif de notre système.

IV.5 Teste et réalisation

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons réalisé une série de développements et de tests pratiques pour assurer le bon fonctionnement de notre système dans différentes conditions. Toutefois, nous avons décidé de remplacer certains actionneurs par des LED témoins afin d'assurer cette fonctionnalité, comme suit :

IV.5.1 Remplacement des actionneurs par des LED's témoins

- L'electrovanne de humidité est remplacée par une LED rouge
- une chauffage pour aquarium est remplacée par LED blanche .
- un climatiseur pour la serre est remplacée par LED rouge .
- pompes acide et base de capteur ph est remplacée par deux LED une verte et l'autre rouge comme suit .

IV.5.2 moyenne d'alerte cas d'anomalie

Le module GSM est utilisé pour alerter en cas d'anomalie dans notre serre, permettant ainsi le contrôle et la surveillance à distance, ce qui facilite la vie pour notre partenaire. Dans notre travail, nous utilisons le GSM principalement à des fins de sécurité : nous recevons des messages et des appels pour nous avertir en cas de détection de flamme ou de tentative d'intrusion par un étranger.

IV.5.3 Teste avec le système de mesure Température et humidité DHT11

D'après la Figure IV.18, la température à l'intérieur de la serre reste dans des limites acceptables. Toutefois, en cas d'élévation de la température, un système de régulation comprenant un climatiseur et un ventilateur est automatiquement mis en œuvre.

La figure indique également que l'humidité fluctue souvent à des niveaux extrêmes, avec les seuils d'intervention suivants :

- Si la température descend en dessous de 18 degrés, un capteur détecte cette baisse et active une résistance chauffante pour augmenter la température.
- Si l'humidité descend en dessous de 60%, une électrovanne est activée pour humidifier la serre.

- Si la température dépasse 34 degrés, le capteur détecte cette hausse et active un climatiseur ainsi qu'un ventilateur pour abaisser la température.
- Si l'humidité dépasse 80%, le ventilateur se met en marche pour réguler l'humidité.

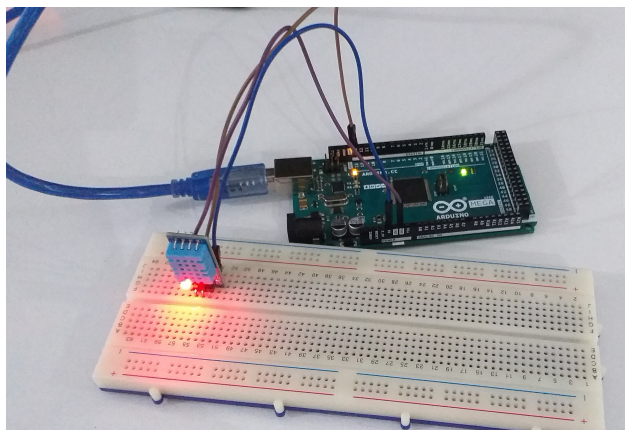


FIGURE IV.18 – Teste avec le DHT11

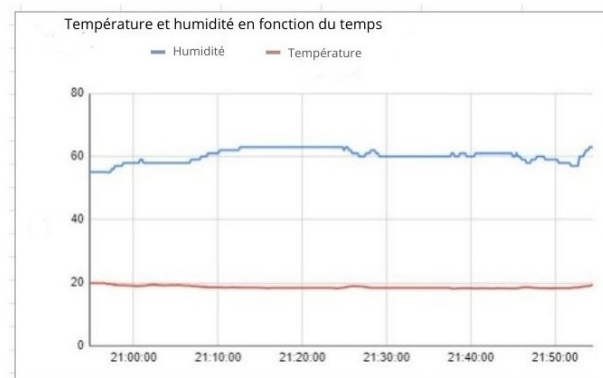


FIGURE IV.19 – Valeurs mesurées du DHT11 dans un environnement stable

IV.5.4 Teste avec le système de mesure température de l'aquarium

La sonde de température est immergée dans le bac d'eau et connectée à l'Arduino à l'aide de fils (référez-vous à la gestion des capteurs et des actionnés). La figure IV.27 illustre les valeurs de la température de l'eau sur une période d'une heure. Veiller à ce que la température de l'eau se maintienne entre 18 et 34 degrés Celsius, ce qui est dans la norme.

- Si la température descend en dessous de 18 degrés, le capteur détecte cette baisse. Il est alors nécessaire de brancher rapidement une résistance électrique pour augmenter la température de l'eau.
- Si la température dépasse 34 degrés, le capteur détecte cette augmentation. Il est alors nécessaire de brancher rapidement un système de refroidissement pour abaisser la température

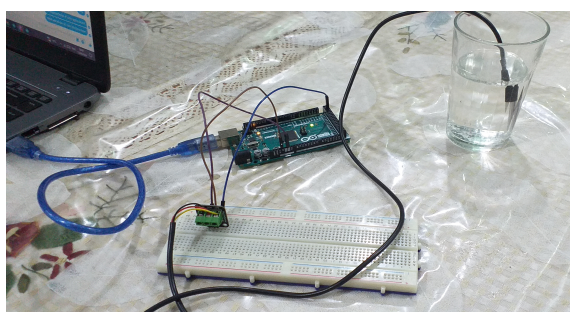


FIGURE IV.20 – Teste avec la sonde température

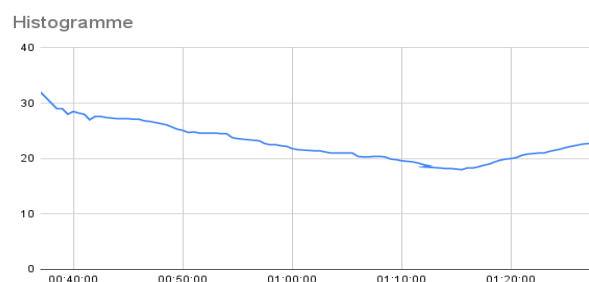


FIGURE IV.21 – Valeurs mesurées du sonde T

IV.5.5 Teste avec capteur du flamme

En utilisant un briquet, on dirige une flamme vers le capteur afin de déclencher la détection d'un incendie. Une fois activée, l'alarme se déclenche et envoie un message au partenaire et aux pompiers via le module GSM. La figure IV.22 représente les messages reçus du GSM.



FIGURE IV.22 – les messages reçu du GSM en cas de détection de flamme

IV.5.6 Teste avec le RFID

IV.5.6.1 Premier Test

Dans ce test, nous avons essayer de présenter un badge d'accès incorrect pour le système RFID (voir la figure IV.23). Nous constatons que le servomoteur ne se déplace pas et que le buzzer s'allume. Un message d'alerte est envoyé au partenaire dans ce cas (voir la figure IV.24).

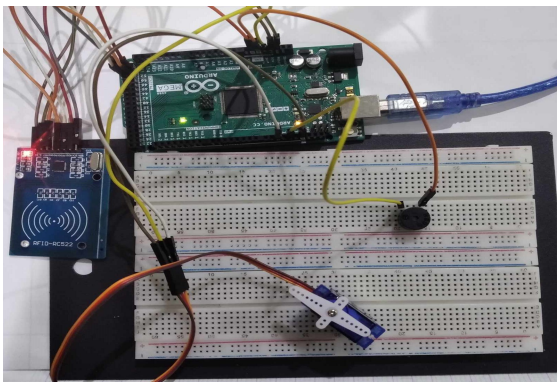


FIGURE IV.23 – Teste avec l'RFID

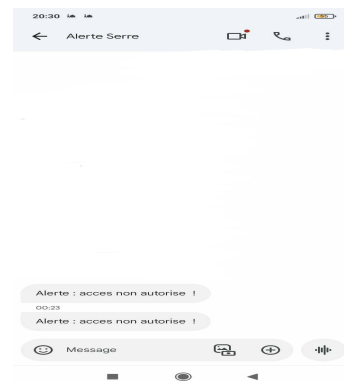


FIGURE IV.24 – les message reçu de la part de GSM

IV.5.7 Aperçu de la réalisation

Après avoir résolu les problèmes techniques, nous avons pu démarrer le système de contrôle et collecte de données de notre mini serre aquaponique automatisé. Cette mini serre a été conçue pour surveiller et réguler automatiquement plusieurs paramètres clés, tels que la température et l'humidité ... , pour maintenir un environnement optimal pour les plantes et les poissons. Pour cela, nous utilisons un ensemble de capteurs et d'actionneurs qui mesurent et ajustent ces paramètres en temps réel. Tous ces paramètres sont contrôlés par une carte Arduino MEGA, qui collecte et analyse les données des capteurs pour envoyer des signaux aux actionneurs pour ajuster les paramètres en conséquence. dans cette partie on a pris plusieurs photos pour notre réalisation ou on a fait plusieurs tests pour notre maquette .

IV.5.7.1 Test LDR avec lumière et sans lumière

Nous avons testé le fonctionnement de notre LDR. Comme illustré dans la figure IV.25, lorsque la valeur de la LDR dépasse le seuil prédéfini, la LED s'allume. En revanche, dès que la valeur de la LDR est en dessous de ce seuil, la LED s'éteint, ce qui est également visible dans la figure IV.26.

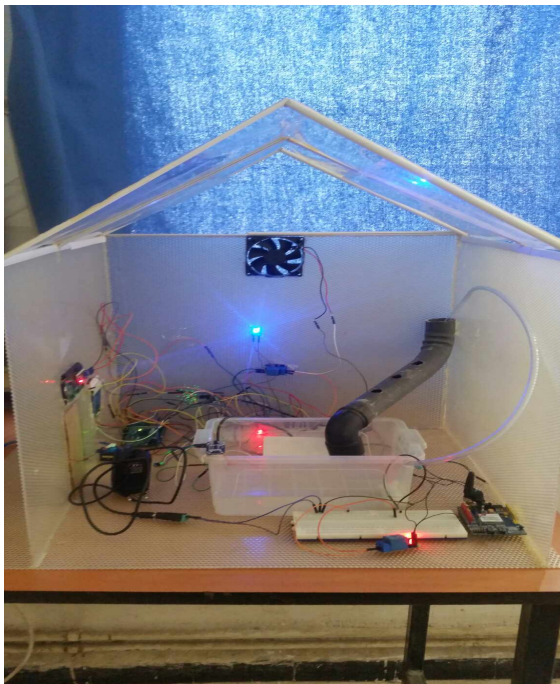


FIGURE IV.25 – Lorsque la LED est allumer

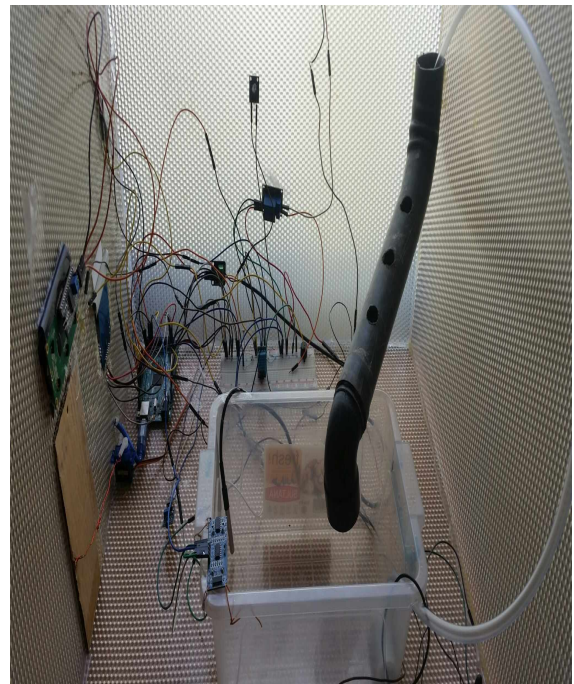


FIGURE IV.26 – Lorsque la LED est s'étendre

IV.5.7.2 Test badge RFID avec servomoteur

Nous avons testé le fonctionnement de notre système RFID associé à un servomoteur.

- Lorsque le badge (53 F1 E8 34) est présenté devant le lecteur RFID, le servomoteur s'active et la porte s'ouvre, comme illustré dans la figure IV.27.
- Si un badge incorrect est présenté, le buzzer s'allume et la porte reste fermée, comme montré dans la figure IV.28.

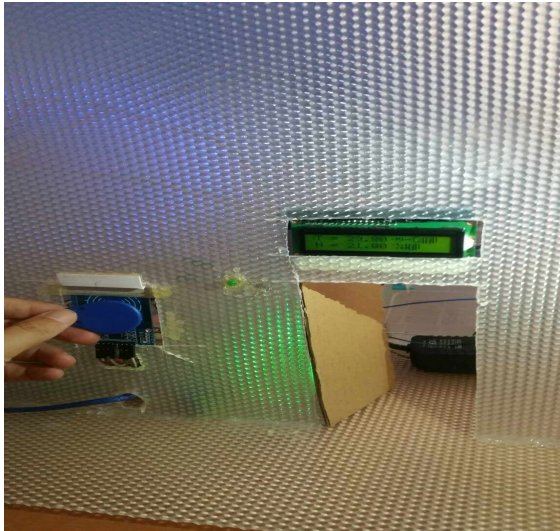


FIGURE IV.27 – Lorsque La porte s'ouvre

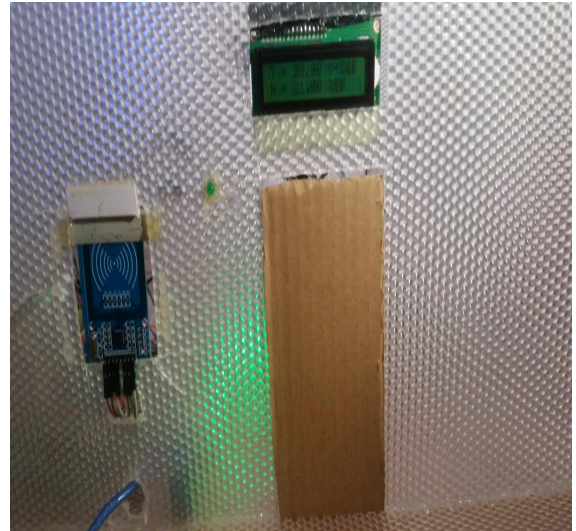


FIGURE IV.28 – Lorsque la porte se ferme

IV.5.7.3 Test de l'afficheur pour la température et l'humidité de la serre

Nous avons ajouté un afficheur pour montrer les variations des valeurs de l'humidité et de la température de la serre.

- Comme illustré dans la figure IV.29, la température est dans la norme, mais l'humidité dépasse le seuil. Cela déclenche l'électrovanne pour l'arrosage afin d'humidifier la serre, ce qui entraîne l'allumage de la LED représentant l'électrovanne.



FIGURE IV.29 – Test d'afficheur LCD I2C 16*2

IV.5.7.4 Test de la circulation d'eau

Pour garantir la circulation d'eau on a mis une pompe à eau dans le bas des poissons qui permet de faire circuler l'eau dans la partie la plus élevée des tuyaux et s'écoule vers la partie basse, où elle est récupérée et réinjectée dans le réservoir des poissons. Ce système permet une efficace utilisation des nutriments et une bonne croissance des plantes (Voir la figure IV.30).

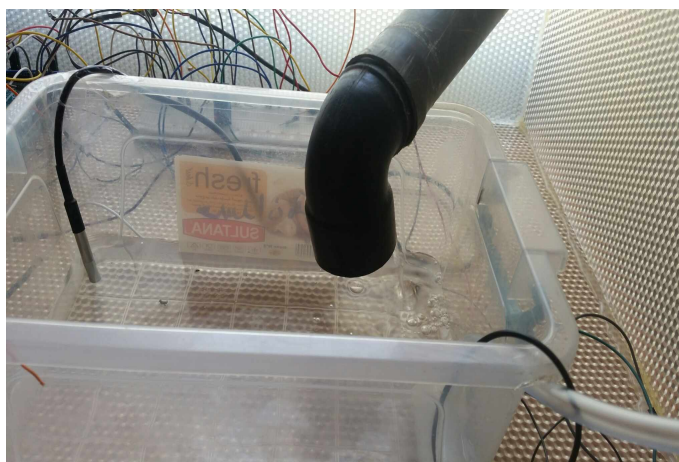


FIGURE IV.30 – Test de la circulation d'eau

IV.5.7.5 Représentation de maquette complète

La figure IV.31 présente en détail le concept architectural du projet, soulignant les éléments utilisés pour créer un environnement de mini-serre aquaponique.

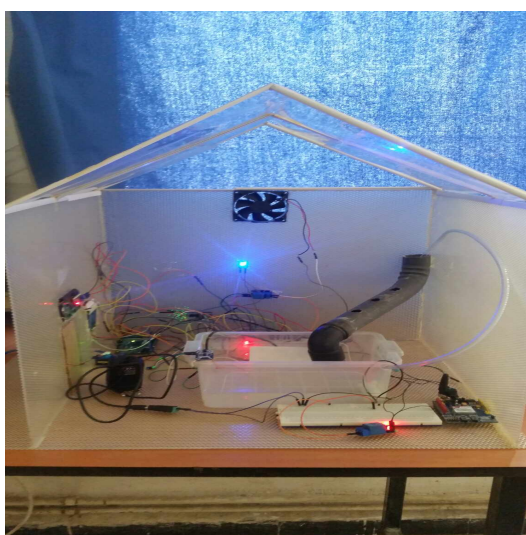


FIGURE IV.31 – La représentation de maquette complète

IV.6 Conclusion

Dans le présent chapitre, nous avons d'abord fourni tous les schémas de câblage et de branchement des dispositifs utilisés et leur organigrammes , ainsi que les graphiques qui sont les résultats des tests que nous avons effectués pour vérifier le bon fonctionnement et la conformité de la maquette. Enfin, nous avons présenté avec des photos le fonctionnement de notre maquette.

Conclusion Générale

L'objectif principal de notre travail est d'analyser et trouver une solution à une problématique qui dégrade chaque année. Ceci face aux défis croissants liés à la rareté des ressources, et à la dégradation des sols et à la nécessité de répondre à une demande alimentaire croissante. Pour cela. Nous avons donné une solution révolutionnaire et innovante qui est basée sur des technologies avancées à base de l'Arduino.

Ce projet a permis de créer un système automatisé pour la gestion de la qualité de l'eau et des paramètres critiques dans une mini serre aquaponique. Les résultats montrent que l'écosystème fonctionne bien, mais il est important de prendre en compte les facteurs de stress pour les poissons et de concevoir des systèmes plus robustes pour les robots. En fin de compte, ce projet a démontré que l'automatisation de la serre aquaponique peut améliorer significativement la production agricole et réduire les coûts de main-d'œuvre.

Il est donc important de poursuivre les recherches et les développements dans ce domaine pour améliorer encore plus l'efficacité et la productivité de l'agriculture intelligente.

Pour notre part, ce projet a été très bénéfique, on a pu exploiter nos connaissances et compétences acquises dans le domaine de l'électronique d'instrumentation, et la preuve notre réalisation qui englobe tout ce travail fait. comme perspectives, il sera souhaitable :

- Ajouter d'avantages de capteurs notamment le capteur de CO₂ ainsi que le capteur d'azote. Saurait rendre l'environnement sous la serre plus propice aux plantes et les poissons qu'elle abrite.
- Ajouter d'un programme de classification de plantes malades, afin de pouvoir créer un pulvérisateur automatique.

Améliorer le système de collecte et de contrôle en ajoutant :

- une carte WIFI pour le transfert des données à distance.
- une caméra pour le contrôle à distance de la mini serre.
- Création d'une start up.

LISTE DES ABREVIATIONS

NFT	Nutrient Film Technique.
FAQ	Food and Agriculture Organization.
PH	Potential of Hydrogen.
GND	Global Positioning System.
IDE	Integrated Development Environment .
GSM	Global System for Mobile Communication.
LED	Light Emitting Diode.
IOT	Internet of Things.
USB	Universal Serial Bus.
SDA	Serial Data et une ligne d'horloge série.
SCL	Serial Clock.
LDR	Low Dynamic Range.
RFID	Radio Frequency Identification.
2G	Deuxième génération.
SMS	Short Message Service.
AT	Attention.
TCP	Protocole de contrôle de transmissions.
UDP	Protocole de datagramme utilisateur.
RTC	Réseau Téléphonique Commuté.
MAC	Media Access Control Address.
NO₂	Nitrite.
T°	Temperature
C°	Degree Celsius
L	Litre.
Mg	Milligrams