

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Saad Dahleb Blida 1

Faculté De Technologie

Département De Génie Mécanique



MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme master en Génie Mécanique

Option : IET

THÈME

**Gestion Automatisée à Base d'Arduino
D'une Serre Aquaponique Utilisant la Technique Du
Film Nutritif (N.F.T) :
Conception et Réalisation d'une Maquette Didactique**

Etudié et réalise par

GHERZOULI Nesrine

HAMZA Fouzia

Encadrent : Mr. K.NEHAL

Année Universitaire : 2023 /2024

Dédicaces

A la mémoire de ces dernières années d'études

De nos chers parents

De nos professeurs

De tous nos amis

De tous ceux que nous aimons

Nous dédions ce travail

Nesrine & Fouzia

Remerciements

En tout premier lieu, nous remercions Dieu tout puissant, de nous avoir donné la force et Le courage de surmonter les difficultés.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de master.

Je voudrais tout d'abord remercier mon professeur de mémoire, monsieur NEHAL, pour son précieux encadrement, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de ce projet. Sa patience, son expertise et sa disponibilité ont été d'une aide inestimable.

Je suis reconnaissant pour ses précieux commentaires et ses suggestions constructives qui ont contribué à améliorer la qualité de ce mémoire.

Mes sincères remerciements vont également à ma famille et à mes amis surtout ma meilleure amis Lina pour leur soutien indéfectible, leur encouragement et leur compréhension tout au long de cette aventure académique.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers toutes les personnes dont les travaux, les recherches et les publications ont été sources d'inspiration et ont enrichi ma réflexion dans le cadre de ce mémoire.

Leur contribution a grandement contribué à la réalisation de ce travail et je leur en suis profondément reconnaissant.

Résumé

Le projet concerne la création d'une maquette didactique pour une serre aquaponique utilisant la technique du Film Nutritif (N.F.T), avec gestion automatisée grâce à Arduino. Il comprend la conception et la mise en œuvre d'un système intégrant capteurs pour la collecte de données environnementales et actionneurs pour le contrôle automatisé. L'objectif est d'offrir un cadre d'apprentissage pratique pour étudier l'aquaponie et l'automatisation agricole à petite échelle.

Abstract

The project involves creating an educational model of an aquaponic greenhouse using the Nutrient Film Technique (N.F.T), with automated management using Arduino. It includes designing and implementing a system that integrates environmental data collection through sensors and automated control through actuators. The aim is to provide a practical learning environment to study hydroponic farming and automated agricultural control on a small scale.

ملخص

لتربية الأسماك وزراعة (N.F.T) المشروع يتناول إنشاء نموذج تعليمي لخزانة مائية تستخدم تقنية الفيلم الغذائي النباتات بالتزامن، مع الإدارة التلقائية باستخدام أردوينو. يشمل المشروع تصميم وتنفيذ نظام يضمن جمع البيانات البيئية عبر مجموعة من الحساسات والتحكم الآلي عبر مجموعة من المحركات. الهدف هو توفير بيئة تعليمية عملية لدراسة نظام الزراعة المائية والتحكم الآلي في الزراعة على نطاق صغير.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : Présentation d'un système aquaponique	2
I.1 Introduction	3
I.2 Définition du système l'aquaponique.....	3
I.3 Historique de l'aquaponie	4
I.4 Aquaculture	5
I.5 Les avantages de l'aquaponie.....	6
I.6 Les différentes utilisations de systèmes aquaponiques	7
I.7 Les types de systèmes aquaponiques	8
Les trois principaux types de systèmes aquaponiques émergents dans l'industrie sont : ...	8
I.8 Les composants d'un système aquaponique	11
I.9 Eau, Lumière et Substrat utilisés en aquaponie	14
I.10 Les applications de l'aquaponie dans le monde.....	16
I.11 Aquaponie solaire.....	17
I.12 Conclusion.....	22
Chapitre II: Acquisition de données et commande par carte Arduino	23
II.1 Introduction	24
II.2 Les différents types de cartes Arduino.....	24
II.3 La carte Arduino Mega 2560	26
II.4 La programmation de la carte ARDUINO	29
II.5. Conclusion.....	33
Chapitre III: Les Capteurs et les actionneurs utilisés dans notre projet	34
III.1 Introduction	35
III.2 Les alimentations	35
III.3 Les preactionneurs	36
III.4 Les actionneurs.....	37
III.5 Les capteurs.....	41
III.6 Les afficheurs	52
III.7 Conclusion.....	53
ChapitreIV: Conception et Réalisation de la serre système aquaponique	54
IV.1 Introduction	55

IV.2	Conception de module de base.....	56
IV.3	Conception et réalisation de système aquaponique de film nutritif.....	59
IV.4	Alimentation électrique du banc experiment	63
IV.5	Conclusion.....	81

Liste des Figures

Figure I. 1 : Un système aquaponique	3
Figure I. 2 : Cycle de l'Aquaponique	4
Figure I. 3 : Système d'aquaculture en recirculation.	5
Figure I. 4 : Unité aquaponique domestique d'arrière-cour dans une zone aride.	7
Figure I. 5 : Système aquaponique commercial de taille moyenne.	7
Figure I. 6 : Unité aquaponique combinée à des fins éducatives. (a) Technique du film nutritif; (b) lit média; (c) culture en eau profonde; (d) bassin à poissons.	8
Figure I. 7 : la méthode NFT.	9
Figure I. 8 : Nutritif film technique.	9
Figure I. 9 : Une unité utilisant la technique du film nutritif utilisant l'espace vertical.	10
Figure I. 10 : Illustration d'une petite unité de lit média.	10
Figure I. 11 : Une image qui s'implique la méthode de radeaux	11
Figure I. 12 : Les composants d'un système aquaponie.	13
Figure I. 13 : Certains types de poissons utilisés en aquaponie.	13
Figure I. 14 : La lumière de système aquaponique.	15
Figure I. 15 : Fonctionne un système aquaponique solaire.....	17
Figure I. 16 : Les panneaux photovoltaïques.	18
Figure I. 17 : Couches de panneaux solaires.....	18
Figure I. 18 : Régulateur de charge solaire PWM 30A LCD.....	19
Figure I. 19 : positionner les 4 panneaux solaires en série dépasserait la tension du régulateur de charge solaire MPPT 150/45 soit 150V.	19
Figure I. 20 : Les batteries solaires	21
Figure I. 21 : L'onduleur solaire.	21
Figure II. 1 : La carte Arduino Uno.....	24
Figure II. 2: La carte Arduino Nano.	25
Figure II. 3: Quelques autres types d'Arduino.	25
Figure II. 4 : La carte Arduino Mega.....	26
Figure II. 5 : Brochage de la carte Mega.	28
Figure III. 1 : Image de chargeur adaptateur.	35
Figure III. 2: Photo de relais statiques.....	36
Figure III. 3 : Schéma de relais dynamique.....	36
Figure III. 4 : Photo de Ventilateur avec arduino.	37
Figure III. 5 : Image de pompe à eau.	37
Figure III. 6 : photo de pompe air.	38
Figure III. 7: Le servomoteur.	38
Figure III. 8 : Image de Led.	39
Figure III. 9 : Image de Buzzer piézoélectrique.	39
Figure III. 10 : Élément chauffant.....	40
Figure III. 11 : Image de lampe IR.	40
Figure III. 12: Schéma de Moteur DC+driverL298N.....	41
Figure III. 13: Photo de capteur de distance ultrasonique : HC-SR04.	41

Figure III. 14 : Schéma de capteur de distance ultrasonique : HC-SR04 avec arduino.	42
Figure III. 15 : Photo de Capteur de température et d'humidité DHT11.	42
Figure III. 16 : Schéma de capteur de température et d'humidité DHT11 avec arduino.	43
Figure III. 17 : Capteur d'horloge RTC DS3231.	43
Figure III. 18 : Photo de .capteur d'horloge RTC DS3231 avec la carte arduino.	44
Figure III. 19 : photo de carte SD.....	44
Figure III. 20 : Photo de carte SD avec la carte arduino.	45
Figure III. 21 : Photo de capteurLM35.....	45
Figure III. 22 : Photo de capteur LM35 avec la carte arduino	46
Figure III. 23 : Capteur de DS18B20.	46
Figure III. 24 : Photo de capteur de DS18B20 avec la carte arduino.	47
Figure III. 25 : Capteur de thermocouple K+MAX6675.....	47
Figure III. 26 : photo de Capteur de thermocouple K+MAX6675 avec arduino.	47
Figure III. 27 : Photo de capteur de LDR(LM393).	48
Figure III. 28 : Photo de capteur de LDR(LM393) avec la carte arduino.	48
Figure III. 29 : Capteur de débit YF-S401.	49
Figure III. 30 : Photo Capteur de débit YF-S401 avec la carte arduino.	49
Figure III. 31 : Capteur humidité du sol résistive SNM114.	50
Figure III. 32 : Capteur humidité du sol résistive SNM114 avec la carte arduino.	50
Figure III. 33 : photo de Capteur humidité du sol capacitive.	51
Figure III. 34 : Photo de Capteur humidité du sol capacitive avec la carte arduino.	51
Figure III. 35 : Photo de Détecteur de niveau.	52
Figure III. 36 : photo Afficheur LCD 16*2.....	52
Figure III. 37 : photo d'Afficheur LCD 20* 4 (I2C).	53
Figure IV. 1 : Schéma technologique du maquette de système NFT.....	58
Figure IV. 2 : Photo de notre maquette.....	59
Figure IV. 3 : Dessin du modèle de projet.....	60
Figure IV. 4 : Réalisation de la maquette	60
Figure IV. 5 : conception de système tuyère PVC.....	61
Figure IV. 6 : Photo finale de l'installation de tuyère PVC.....	62
Figure IV. 7 : Tableau électrique de bois.....	64
Figure IV. 8 : l'installation de boîtier disjoncteur.....	64
Figure IV. 9 : photo de disjoncteur.	64
Figure IV. 10 : photo de l'installation de prise courant.....	65
Figure IV. 11 : photo de l'installation de voyant électrique	66
Figure IV. 12 : Adaptateur.....	66
Figure IV. 13 : ventilateur 12V DC	67
Figure IV. 14 : lampe Led Samsung DC-12V 1.5W.....	69
Figure IV. 15 : Ecran LCD-I2C (20x4).	71
Figure IV. 16 : Arduino Mega 2560.	72
Figure IV. 17 : module de relais à 4 canaux avec accouplement léger 5V	73
Figure IV. 18 : câble connecteurs (mâle/mâle) et (femelle /mâle) et (femelle / femelle).....	74
Figure IV. 19 : Câble USB Type A/B.....	74
Figure IV. 20 : domino électrique.....	75
Figure IV. 21 : Pompe à air RS-348A	77

Figure IV. 22: Pompe à eau DC 12V.....	77
Figure IV. 23: Réservoir d'eau et le banc de poisson.....	78

Liste des Tableaux

Tableau I. 1 : Les valeurs idéales de l'eau pour la culture aquaponique.....	14
Tableau II. 1 : Tableau des caractéristiques techniques de l'ATmega2560	26
Tableau IV. 1: Réalisation de différents composants du PVC de système NFT	61
Tableau IV. 2 : changement des composants (fuite d'eau dans les tubes PVC)	63
Tableau IV. 3: les outils utilisés dans la fabrication du système aquaponique.....	63
Tableau IV. 4: installation tableau électrique de ventilateur 12v DC	68
Tableau IV. 5: Installation Les lampes Samsung Led DC-12V	70
Tableau IV. 6 : installation tableau électrique sur la maquette	76
Tableau IV. 7 : l'installation de le distributeur de nourriture.....	79

Liste des abréviations

SAR : Système Aquacoles en Recirculations

NFT : technique de film nutritif

DWC : Deep Water Culture (culture en eau profonde)

MLI : Modulation de Largeur d'impulsion

PWM : Pulse With Modulation

MPPT : Maximum Power Point Tracking

LCD : afficheur

CC : Courant Continu

CA : Courant Alternatif

PH : Potentiel hydronium Potentiel hydronium

PVC : Polychlorure de vinyle

UV : Ultra-Violet

INTRODUCTION GENERALE

L'introduction générale du projet de "Gestion Automatisée à Base d'Arduino d'une Serre Aquaponique Utilisant la Technique Du Film Nutritif (N.F.T) : Conception et Réalisation d'une Maquette Didactique" pourrait être formulée comme suit :

Dans un contexte de recherche de solutions durables pour l'agriculture urbaine et la production alimentaire, l'aquaponie émerge comme une méthode innovante et prometteuse. L'aquaponie combine l'aquaculture et l'hydroponie dans un système intégré, où les déchets des poissons fournissent des nutriments aux plantes, et les plantes purifient l'eau pour les poissons. L'automatisation de ces systèmes offre de nombreux avantages, notamment l'optimisation des ressources, la réduction de la main-d'œuvre nécessaire et la surveillance précise des conditions environnementales.

Dans ce cadre, ce projet vise à concevoir et réaliser une maquette didactique d'une serre aquaponique utilisant la technique du film nutritif (N.F.T) et gérée automatiquement à l'aide d'un microcontrôleur Arduino. L'objectif est de développer un système efficace et éducatif permettant de comprendre les principes de fonctionnement de l'aquaponie, ainsi que les avantages de l'automatisation dans la gestion des serres.

Cette introduction générale établit le contexte du projet en mettant en lumière l'importance croissante de l'aquaponie et de l'automatisation dans l'agriculture moderne, tout en soulignant les objectifs spécifiques du projet de conception et de réalisation d'une maquette didactique.

Chapitre I : Présentation d'un système aquaponique

I.1 Introduction

Notre projet de fin d'études consiste à la technique de l'aquaponie qui peut nous sembler nouvelle technique car elle n'est pas répandue dans tout le monde et dans notre pays. Notre bonne compréhension de cette nouvelle technique nous permet de le fabriquer facilement et sans erreurs. Pour cette raison, nous avons essayé de présenter dans ce chapitre tout ce qui concerne le système d'aquaponie.

I.2 Définition du système l'aquaponique

La définition du système aquaponique est la suivante : il s'agit d'un système de production révolutionnaire qui associe l'élevage de poissons et la culture de plantes dans un système fermé. Ce système est considéré comme étant un procédé à 100% écologique, utilisant les effluents des poissons comme engrais pour nourrir les plantes, qui agissent à leur tour comme filtre biologique. Les nutriments nécessaires à la croissance des plantes proviennent de la transformation des déchets produits par les organismes aquatiques en éléments assimilables par des populations bactériennes. Le terme "aquaponie" est une contraction des mots "aquaculture" et "hydroponie", soulignant la combinaison de l'élevage de poissons et la culture des plantes dans un écosystème équilibré. [1]

Aquaculture + Hydroponie = Aquaponie.

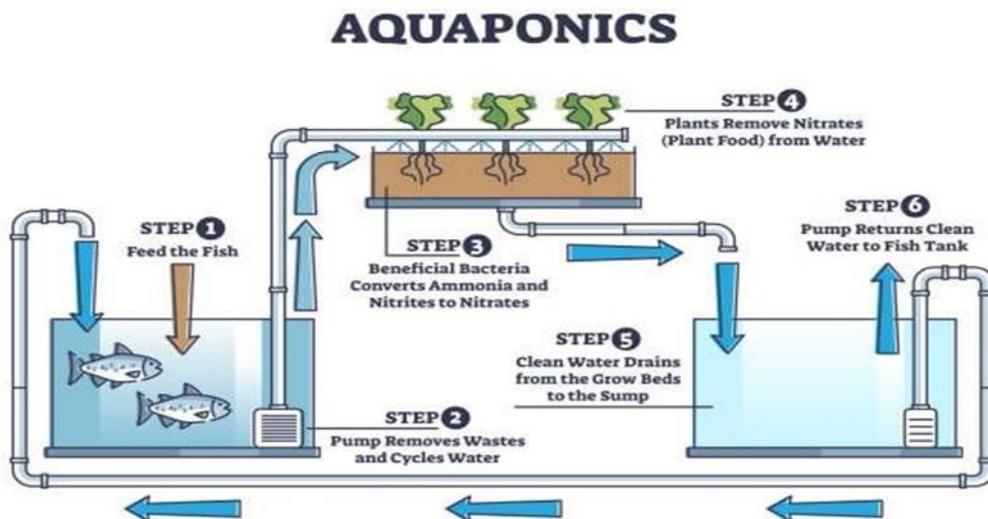


Figure I. 1 : Un système aquaponique

I.3 Historique de l'aquaponie

L'aquaponie exploite un phénomène naturel présent dans les écosystèmes aquatiques, où les déchets des organismes aquatiques sont minéralisés par les bactéries et absorbés par les plantes, purifiant ainsi l'eau.

Les premières traces d'aquaponie domestique remontent à 1500 ans, en Asie et en Amérique du Sud, sous des formes plus simples. Les Asiatiques élevaient des canards au-dessus de bassins de poissons, et les Incas créaient des îlots cultivables dans des étangs à poissons. Ce n'est que vers la fin des années 1970 que l'aquaponie a regagné l'intérêt du public et de la communauté scientifique, encouragée par la recherche de solutions aux problèmes environnementaux et grâce à l'amélioration des techniques d'hydroponie et d'aquaculture. [2]



Figure I. 2 : Cycle de l'Aquaponique

I.4 Aquaculture

La pratique de l'aquaculture implique l'élevage et la production en captivité d'espèces aquatiques telles que les poissons, les crustacés, les mollusques et les plantes aquatiques, dans des environnements contrôlés. Les principales catégories d'aquaculture comprennent les systèmes en eau libre, la culture en étang, et les systèmes aquacoles en recirculation (SAR) où l'eau est filtrée et réutilisée. Les systèmes en cage et les fermes piscicoles suscitent des inquiétudes concernant le bien-être animal en raison du surpeuplement et du confinement, tandis que les systèmes en recirculation comme l'aquaponie offrent de meilleures conditions de bien-être. [3]

L'aquaculture est considérée comme une alternative plus durable à la pêche de capture, permettant de réduire la pression sur les stocks sauvages. Cependant, son impact environnemental reste une préoccupation majeure en raison des déchets et des maladies qui peuvent se propager aux populations sauvages. Les pratiques d'aquaculture peuvent entraîner une pollution des fonds, l'apparition de parasites et de maladies, ainsi qu'une pollution des eaux due à l'utilisation de traitements vétérinaires. Malgré ces défis, des progrès ont été réalisés pour rendre l'aquaculture plus durable, avec des pratiques réglementées et des technologies émergentes visant à minimiser les impacts sur l'environnement. [3]

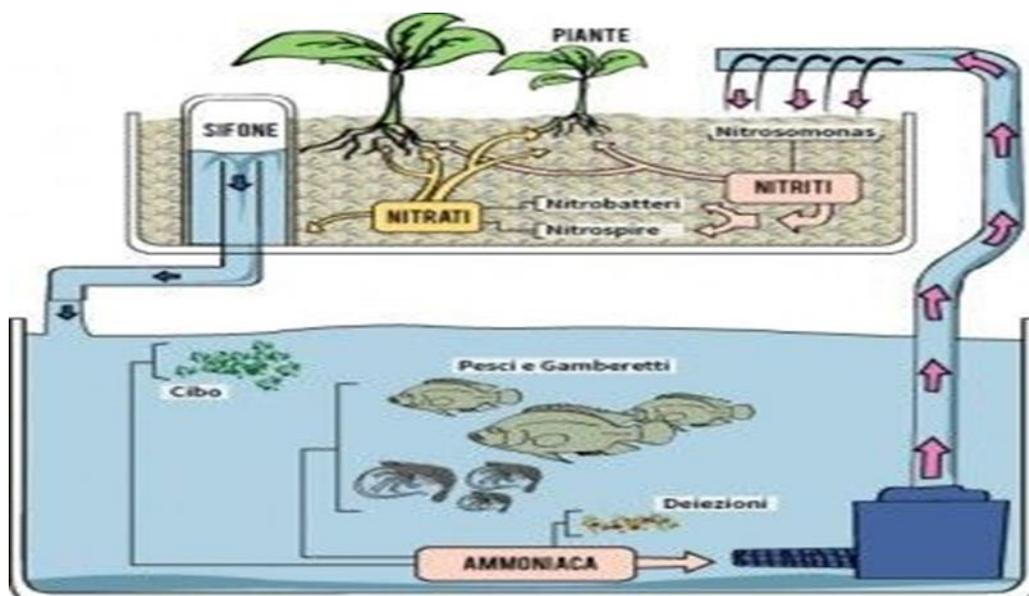


Figure I. 3 : Système d'aquaculture en recirculation.

I.5 Les avantages de l'aquaponie

Nous sommes sur le point de nous lancer l'aquaponie et obligé de nous connaissons les avantages de cette idée aquaponique.

Voici plein de bonnes raisons pour se cultiver avec l'aquaponie:

- Utilisation efficace des ressources : L'aquaponie combine l'aquaculture et l'hydroponie pour maximiser l'utilisation de l'eau, des nutriments et de l'espace, offrant ainsi une approche efficace de production alimentaire. [4]
- Réduction de la consommation d'eau : Comparée à l'agriculture traditionnelle en sol, l'aquaponie utilise considérablement moins d'eau en recyclant l'eau entre les réservoirs de poissons et les plates-bandes de culture, ce qui est particulièrement avantageux dans les régions où l'eau est une ressource rare. [4]
- Production alimentaire durable : L'aquaponie favorise la durabilité en créant un écosystème fermé où les déchets des poissons nourrissent les plantes, contribuant ainsi à une production alimentaire plus durable en réduisant le besoin d'engrais chimiques externes. [4]
- Moins de déchets et d'émissions : En recyclant les déchets organiques des poissons pour nourrir les plantes, l'aquaponie réduit la production de déchets et les émissions de polluants, ce qui peut diminuer l'impact environnemental global de l'agriculture. [4]
- Polyvalence et flexibilité : Les systèmes aquaponiques peuvent être adaptés à divers environnements, y compris les zones urbaines, et peuvent produire une grande variété de cultures, des légumes aux plantes ornementales. [4]
- Résilience aux changements climatiques : Grâce à son efficacité dans l'utilisation des ressources et sa capacité à fonctionner dans des environnements contrôlés, l'aquaponie peut être plus résiliente face aux effets des changements climatiques, comme les sécheresses ou les variations de température. [4]
- Utilisation efficace de l'espace : Les systèmes aquaponiques peuvent être installés dans des espaces restreints, offrant ainsi une utilisation optimale de l'espace disponible, ce qui les rend adaptés aux environnements urbains ou aux zones avec des contraintes d'espace. [4]

I.6 Les différentes utilisations de systèmes aquaponiques

Il existe différents utilisations de systèmes aquaponiques on peut citer [5] :

a. Aquaponie domestique/à petite échelle



Figure I. 4 : Unité aquaponique domestique d'arrière-cour dans une zone aride.

b. Aquaponie semi-commerciale et commerciale



Figure I. 5 : Système aquaponique commercial de taille moyenne.

c. Aquaponie pédagogique (pour l'éducation) [6]



Figure I. 6 : Unité aquaponique combinée à des fins éducatives. (a) Technique du film nutritif; (b) lit média; (c) culture en eau profonde; (d) bassin à poissons.

I.7 Les types de systèmes aquaponiques

Les trois principaux types de systèmes aquaponiques émergents dans l'industrie sont :

- **La technique de film nutritif (NFT) :** Ce système implique la culture hors-sol des plantes sur un film nutritif, où l'eau riche en nutriments circule en continu pour nourrir les plantes. C'est une méthode courante dans l'hydroponie, adaptée à l'aquaponie pour permettre aux plantes de se nourrir des déjections des poissons. [7]
- **Le système de radeaux flottants (rafts) :** Dans ce système, les plantes sont placées sur des radeaux flottants au-dessus de l'eau, permettant aux racines des plantes de se nourrir des nutriments provenant des déjections des poissons. C'est une méthode efficace pour la culture de plantes comme la laitue, les herbes. [7]
- **Le système de lits remplis de médias :** Ce système utilise des lits de culture remplis de substrats inertes comme des graviers, des billes d'argile ou de la pouzzolane. Les plantes sont cultivées dans ces lits, où les racines absorbent les nutriments provenant des déjections des poissons. Cette méthode est adaptée pour la culture de plantes comme les tomates, les poivrons et d'autres légumes-racines. [7]

I.7.1 Technique de film nutritif (NFT)

Cette technique est une méthode d'hydroponie où les plantes poussent avec leurs racines suspendues dans un mince film d'eau contenant des nutriments. Dans un système NFT:

- Les plantes sont placées dans des canaux peu profonds et inclinés, à travers lesquels l'eau nutritive est pompée depuis un réservoir contenant l'eau des poissons [7].
- Les racines des plantes absorbent directement les nutriments et l'eau à partir de ce film d'eau, ce qui favorise une croissance efficace [7].
- L'eau non absorbée est récupérée à la fin du canal et renvoyée au réservoir principal, permettant une utilisation optimale des ressources [7].



Figure I. 7 : la méthode NFT.

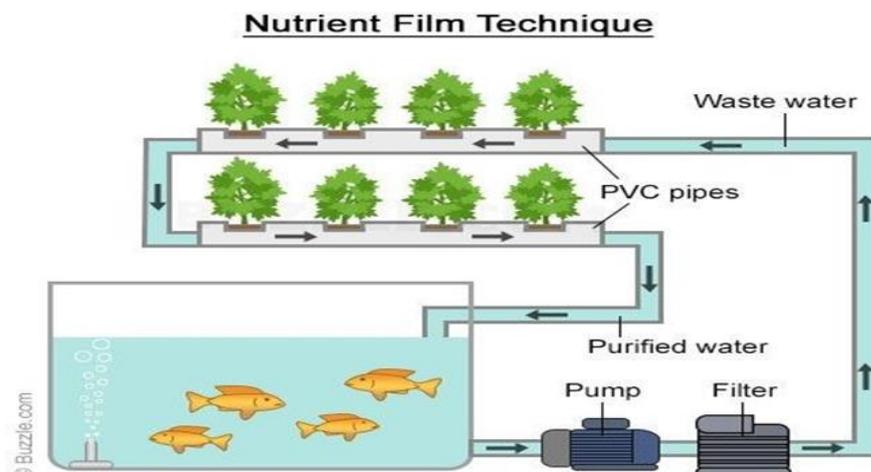


Figure I. 8 : Nutritif film technique.



Figure I. 9 : Une unité utilisant la technique du film nutritif utilisant l'espace vertical.

I.7.2. Technique de Média

Un système de lit rempli de médias est la forme la plus simple de l'aquaponie. Ce système utilise un réservoir ou un conteneur rempli de gravier, de perlite ou d'un autre support pour le lit de la plante. Ce lit est périodiquement inondé d'eau provenant de l'aquarium. L'eau retourne ensuite à l'aquarium. Tous les déchets, y compris les solides, sont décomposés dans le lit de la plante. Parfois, les vers sont ajoutés au lit de plantes rempli de gravier pour améliorer la décomposition des déchets. Cette méthode utilise le moins de composants et aucune filtration supplémentaire, ce qui la rend simple à utiliser. La production est cependant beaucoup plus faible que les deux méthodes décrites ci-dessus. Le lit rempli de médias est souvent utilisé pour les applications de passe-temps où la maximisation de la production n'est pas un objectif. [7]

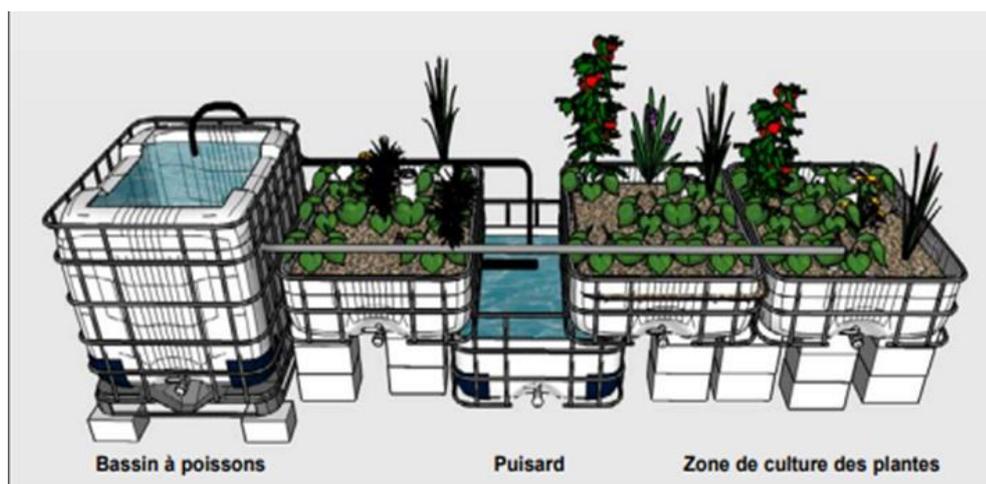


Figure I. 10 : Illustration d'une petite unité de lit média.

I.7.3 Technique de DWC

La technique de Deep Water Culture (DWC) en aquaponie repose sur le principe de cultiver des plantes avec leurs racines constamment immergées dans l'eau. Dans un système de DWC (culture en eau profonde) :

Les plantes sont placées sur des planches en polystyrène flottantes au-dessus de l'eau, avec des pots contenant les plantes. Les racines des plantes absorbent directement les nutriments de l'eau pour leur croissance. L'eau circule en continu de l'aquarium, à travers les composants de filtration, jusqu'au réservoir de radeau où les plantes sont cultivées, puis retourne à l'aquarium. Ce système offre un volume d'eau supplémentaire dans le réservoir de radeau, agissant comme un tampon pour les poissons, ce qui est un avantage majeur. Dans un contexte commercial, les réservoirs de radeau peuvent couvrir de grandes zones, optimisant ainsi l'espace au sol dans une serre. Les plantes sont transplantées à une extrémité du réservoir, puis déplacées progressivement à travers le réservoir à mesure qu'elles mûrissent, permettant une récolte efficace et une utilisation optimale de l'espace. [7]



Figure I. 11 : Une image qui s'implique la méthode de radeaux

I.8 Les composants d'un système aquaponique

Un système aquaponique typique comprend plusieurs composants essentiels pour créer un écosystème équilibré. Voici les principaux types de composants dans un système aquaponique [8] [9]:

- **Réservoir de poissons** : C'est l'habitat des poissons, pouvant être des réservoirs en plastique, des bassins en béton, ou tout contenant adapté à la taille et à l'espèce de poisson élevée. [9]

- **Bac de culture de plantes** : C'est l'endroit où les plantes poussent, pouvant être disposés horizontalement (comme des plates-bandes) ou verticalement (comme des tours ou des étagères), avec différents types de lits de culture comme les lits de flottaison, les lits de médias et les lits de film. [9]
- **Pompe** : Utilisée pour déplacer l'eau du réservoir de poissons vers le bac de culture des plantes, transportant ainsi les nutriments produits par les poissons vers les plantes.
- **Filtre** : Essentiel pour éliminer les déchets solides et maintenir la qualité de l'eau, comprenant des filtres mécaniques pour les particules solides et des filtres biologiques pour décomposer les déchets. [9]
- **Pompe de retour** : Ramène l'eau filtrée du bac de culture des plantes au réservoir de poissons, fermant ainsi la boucle du système. [9]
- **Plantes** : Absorbent les nutriments de l'eau et filtrent l'eau pour les poissons, avec des cultures courantes incluant les herbes, les légumes-feuilles (comme la laitue et les épinards) et les fruits à croissance rapide (comme les tomates et les fraises). [9]

<p>Légumes feuillus</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La laitue - les épinards - le chou frisé 	
<p>Herbes aromatiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Le basilic - la menthe - le persil - la coriandre 	
<p>Légumes fruitiers</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les tomates - Les poivrons - les concombres - Fraises 	

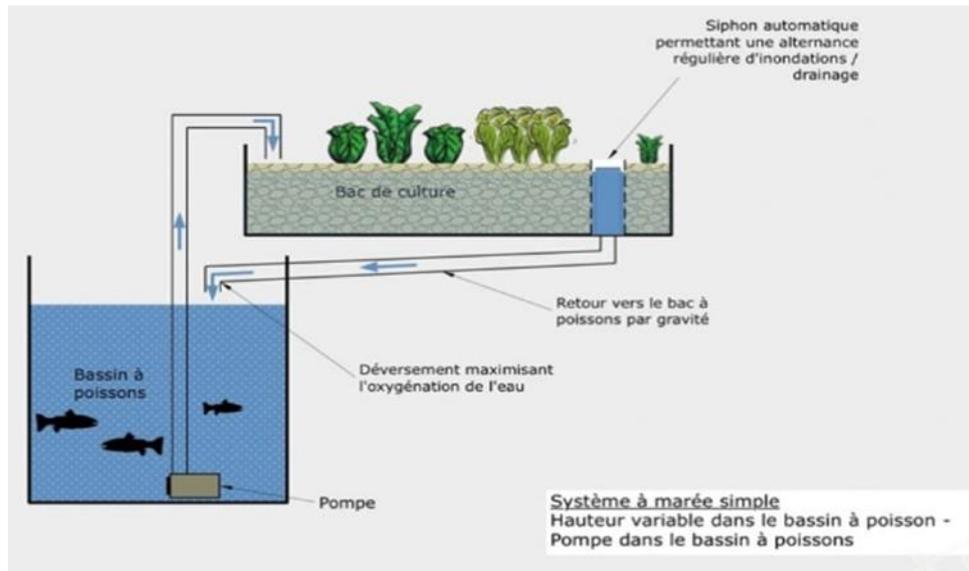


Figure I. 12 : Les composants d'un système aquaponie.

- **Poissons :** Fournissent les nutriments nécessaires aux plantes sous forme de déchets, avec des espèces courantes comme le tilapia, la truite, le bar, etc. [9]



Figure I. 13 : Certains types de poissons utilisés en aquaponie.

I.9 Eau, Lumière et Substrat utilisés en aquaponie

I.9.1 Substrat

Un substrat dans le contexte de l'aquaponie est le support de croissance pour les plantes et les bactéries dans un système aquaponique. Il sert de base pour le développement des racines des plantes et contribue à maintenir un environnement favorable à la croissance des cultures. Voici quelques types de substrats couramment utilisés en aquaponie:

- Billes d'argile expansée : Fabriquées à partir d'argile cuite, ces billes sont légères, faciles à manipuler et offrent un bon support pour les plantes. Elles ont un coût plus élevé mais sont efficaces pour la croissance des racines. [10]
- Schiste expansé : Similaire à l'argile expansée, le schiste expansé se présente sous forme de petites billes uniformes. Il est léger, ne modifie pas le pH de l'eau et est agréable à manipuler. [10]
- Gravier : Le gravier est un substrat économique et robuste, souvent disponible localement. Son principal inconvénient est son poids, mais il offre un bon support pour les plantes. [10]
- Mousse synthétique : Utilisée principalement dans les systèmes verticaux, la mousse synthétique est durable et peut être un bon support de croissance. Son coût est relativement élevé, mais elle peut être efficace dans certains systèmes aquaponiques. [10]

I.9.2 L'eau de système

Voici les valeurs que nous devons viser pour avoir une eau idéale pour la culture aquaponique

Tableau I. 1 : Les valeurs idéales de l'eau pour la culture aquaponique.

Les éléments	Les valeurs idéales
PH	Entre 6 et 7
Température eau	Entre 18 et 30°C
Oxygène dissous	Entre 5 et 8 mg/litre (ou plus)
Ammoniac	0 mg/litre
Nitrites	0 mg/litre
Nitrate	Entre 5 et 150 mg/litre
KH	Entre 60 et 140 mg/litre

➤ Choix de l'eau

Après avoir examiné les différentes sources d'eau pour un système aquaponique, voici mes recommandations :

- **Eau de robinet** : L'utilisation de l'eau du robinet est pratique, mais comporte des inconvénients majeurs. Elle peut contenir des additifs comme le chlore, du calcaire et d'autres minéraux qui peuvent être problématiques pour les plantes et les poissons. Son utilisation n'est donc pas idéale pour un système aquaponique. [11]
- **Eau de pluie** : L'eau de pluie est la meilleure option pour un système aquaponique. C'est une source d'eau naturelle, exempte d'additifs et de contaminants. Elle est douce, ce qui convient parfaitement à la culture des plantes et à l'élevage des poissons. De plus, la collecte et le stockage de l'eau de pluie permettent de réaliser des économies d'eau. C'est donc la source d'eau la plus saine et la plus adaptée pour un système aquaponique. [11]
- **Eau de puits** : L'eau de puits peut être une alternative à l'eau de pluie, mais elle doit être soigneusement testée avant utilisation. [11]

I.9.3 La lumière

La lumière est un élément essentiel pour la photosynthèse et la croissance des plantes. Dans un système aquaponique, la quantité d'énergie consommée par la lumière dépend de plusieurs facteurs, tels que le type de lumière utilisé, la taille de l'espace de culture et le type de plante cultivée. La plupart des jardiniers utilisent au moins 25 W pour 30 cm² d'espace de culture, mais cela peut varier en fonction des besoins spécifiques des plantes. [12]



Figure I. 14 : La lumière de système aquaponique.

I.10 Les applications de l'aquaponie dans le monde

a. L'aquaponie en Australie

Une bonne production agricole nécessite généralement des sols de haute qualité et de grandes quantités d'eau. L'Australie n'a pas beaucoup de terres qui sont classées comme fertiles, et les quelques-unes disponibles pour nous sont chères, donc elles ont évolué vers d'autres façons de cultiver des aliments qui ne dépendent pas de l'équité. [13]

b. L'aquaponie en Europe

Avec la demande croissante de nourriture et le manque de terres fertiles en Europe pour répondre aux besoins de toute la population, il était impératif que les pays européens cherchent une alternative à l'agriculture dans le pays. Le concept d'aquaponie était plus que merveilleux pour ces pays. La culture aquaponie s'est largement répandue dans des pays tels que la France, l'Allemagne, la Suisse et d'autres pays. [13]

c. L'aquaponie en l'Amérique

L'Amérique est le leader d'utiliser ce technique d'agriculture dans le monde. Aux Etats-Unis d'Amérique, nous trouvons presque toutes les villes s'appuient sur cette culture, ont mis au point des systèmes commerciaux utilisant toutes les techniques hydroponiques, et mixant une stratégie basée sur la production (grande diversité de plantes, avec tilapias).

À son tour, le Canada a également été en mesure d'entrer dans le domaine de l'aquaponie et s'est basé sur cette culture pour réaliser le développement agricole dans le pays. [13]

d. L'aquaponie en l'Asie

La Chine (surtout le sud de la Chine), la Thaïlande et l'Indonésie font également partie des pionniers de la culture aquaponique.

Les Chinois, à l'époque réputés très en avance sur leur temps, avaient remarqué que les déchets des animaux pouvaient être ajoutés à leurs plantes pour les fertiliser. Ils ont finalement amélioré leurs systèmes avec des enclos de poulets ou canards posés au-dessus d'un enclos de porcs avec des trous dans le sol de sorte que les déchets, déjections et les excès d'alimentation puissent descendre et tomber entre les différents étages jusqu'à nourrir

les poissons élevés dans l'étang. L'eau pouvait ensuite être dirigée vers les champs de riz par des canaux. C'est ce qu'on appelle la riz pisciculture. [13]

e. L'aquaponie en Afrique

En Afrique, la situation est encore loin du reste des autres continents, il y a peu de pays que ce travail avec cette technique, c'est calculé sur les doigts d'une main, l'Afrique du Sud le pays le plus importante de ces pays. [13]

I.11 Aquaponie solaire

I.11.1. Principe de Fonctionnement

Un système aquaponique solaire fonctionne en combinant l'aquaculture (l'élevage de poissons) et l'hydroponie (la culture de plantes sans terre) avec l'utilisation de l'énergie solaire pour alimenter les différents composants du système.

En utilisant l'énergie solaire pour alimenter la pompe et d'autres composants électriques, le système devient autonome et respectueux de l'environnement, réduisant ainsi la dépendance aux sources d'énergie conventionnelles et les coûts opérationnels. Ce processus crée également un écosystème équilibré où les poissons et les plantes se soutiennent mutuellement, tout en produisant des aliments sains et nutritifs.

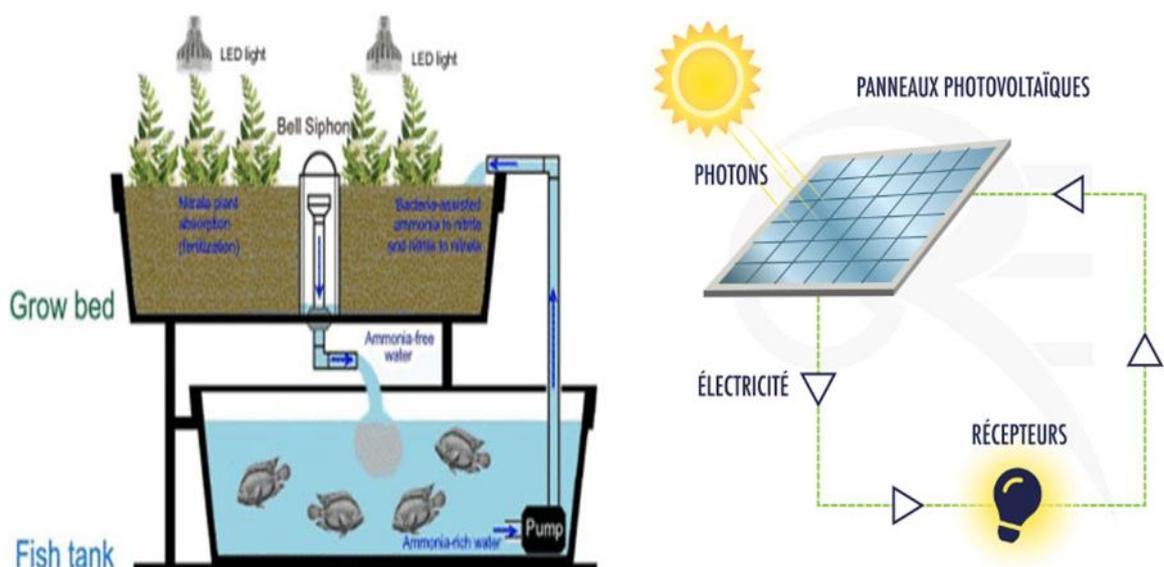


Figure I. 15 : Fonctionne un système aquaponique solaire.

I.11.2. Principaux éléments d'un système photovoltaïque

a. panneau photovoltaïque (PV)

Les panneaux photovoltaïques sont des dispositifs qui convertissent l'énergie solaire en électricité. Composés de cellules photovoltaïques en silicium, ces panneaux captent la lumière du soleil, excitent les électrons dans les cellules, et génèrent ainsi un courant électrique. Ce courant peut être utilisé pour alimenter des appareils électriques, charger des batteries, ou être injecté dans le réseau électrique, contribuant à la production d'électricité renouvelable. [14]



Figure I. 16 : Les panneaux photovoltaïques.

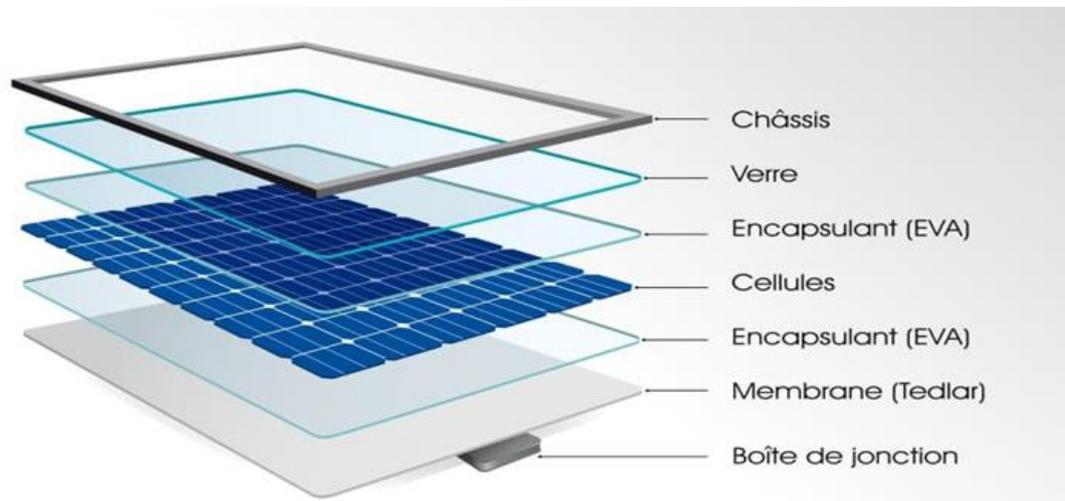


Figure I. 17 : Couches de panneaux solaires.

b. Les régulateurs de charge solaire

Un régulateur de charge solaire est un composant essentiel d'un système photovoltaïque, chargé de contrôler la charge de la batterie et de limiter sa décharge. Il existe plusieurs technologies de contrôleurs de charge, parmi lesquelles la régulation tout ou rien (TOR), la modulation de largeur d'impulsion (MLI) avec des types de couplage sur la batterie, le couplage direct appelé régulateur PWM (Pulse With Modulation), et le couplage par adaptateur d'impédance appelé régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking). [15]

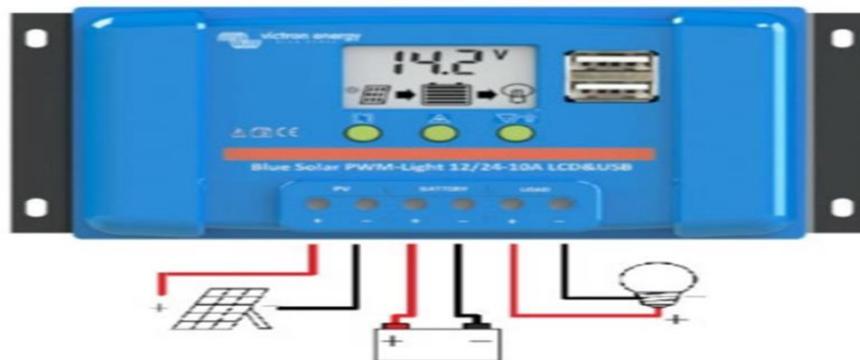


Figure I. 18 : Régulateur de charge solaire PMW 30A LCD.

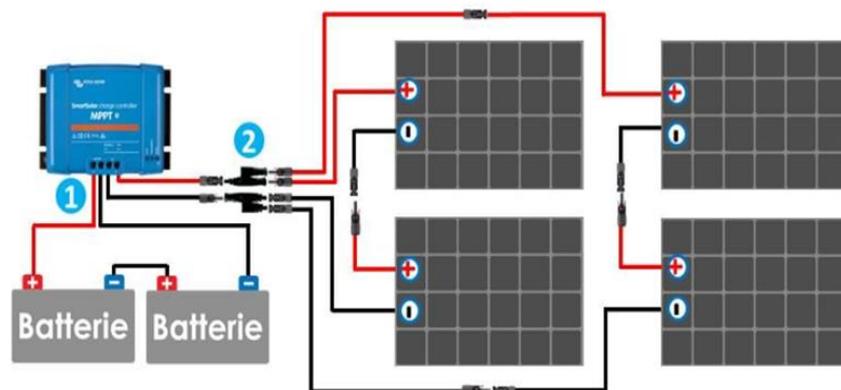


Figure I. 19 : positionner les 4 panneaux solaires en série dépasserait la tension du régulateur de charge solaire MPPT 150/45 soit 150V.

c. Les batteries solaires

- Les batteries solaires permettent de stocker l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques pour une utilisation ultérieure, assurant ainsi une alimentation électrique 24h/24 [16].

- Lorsque les batteries sont pleines, l'énergie solaire excédentaire doit être gérée efficacement pour éviter d'endommager les batteries. Dans les systèmes hors réseau, cette énergie peut être utilisée pour des charges de décharge comme le chauffage de l'eau [16].

- Les contrôleurs de charge jouent un rôle essentiel en régulant précisément la charge des batteries pour éviter la surcharge et prolonger leur durée de vie.

- Il existe différents types de batteries solaires [16] :

1. Lithium-ion (LMO, NMC, NCA, LFP) : durables, légèrement plus coûteuses

2. Plomb-acide (Flooded, AGM, GEL) : moins chères mais moins durables

3. Nickel-cadmium (NiCd) : longue durée de vie mais faible densité énergétique

4. Batteries à flux (RFB, HFB) : flexibilité de conception mais faible densité énergétique

- Le choix de la batterie dépend des besoins en termes de cycles, de durée de vie, de coût et de sécurité. [16]

- Le coût des batteries représente encore un frein important, pouvant atteindre 50% du coût total d'une installation solaire. [16]

Des alternatives comme le chauffe-eau solaire ou la vente du surplus peuvent être envisagées.

En résumé, les batteries solaires sont un élément clé pour optimiser l'autoconsommation et la rentabilité des systèmes photovoltaïques, mais leur coût reste encore un frein dans de nombreux cas.



[Batterie solaire
AGM](#)



[Batterie solaire
GEL](#)



[Batterie solaire
Plomb-Carbone](#)



[Batterie
stationnaire
OPzV / OPzS](#)



[Batterie solaire
Lithium](#)



[Coffre à batterie](#)



[Accessoire
Batterie](#)

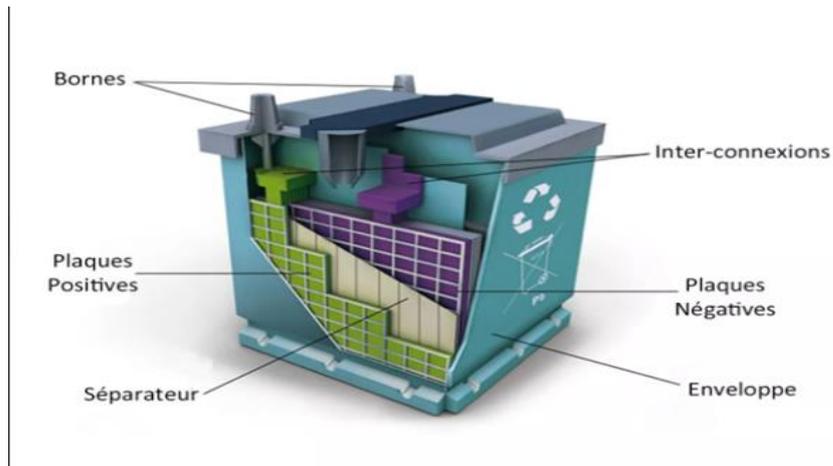


Figure I. 20 : Les batteries solaires

d. Les Onduleurs Solaires

L'onduleur, dans le contexte des systèmes d'énergie solaire photovoltaïque, est un composant clé qui convertit le courant continu (CC) produit par les panneaux solaires en courant alternatif (CA) utilisable pour alimenter les appareils électriques domestiques ou se connecter au réseau électrique.

CONVERSION CONTINUE → ALTERNATIF

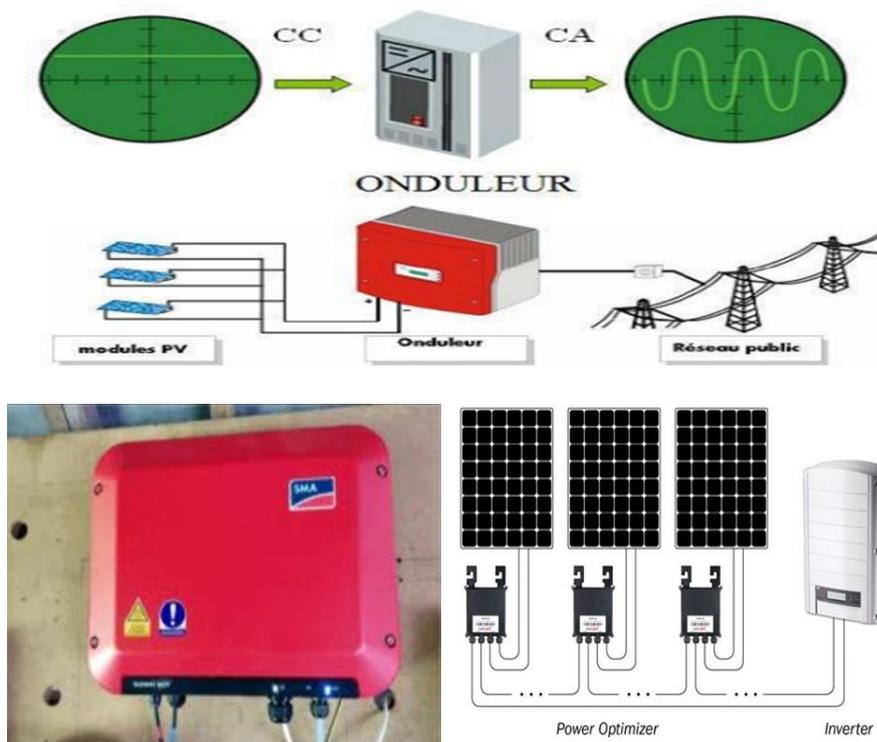


Figure I. 21 : L'onduleur solaire.

I.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit la notion d'aquaponie et souligné ses avantages pour l'agriculture, l'économie, l'écologie et le bien-être humain. Nous avons détaillé les différentes techniques utilisées pour créer un système aquaponique, en présentant leurs avantages et inconvénients respectifs.

Le système aquaponique solaire émerge comme une solution prometteuse pour l'avenir de la production alimentaire durable, intégrant efficacement l'aquaculture, l'hydroponie et l'énergie solaire. Malgré les défis liés aux coûts initiaux et aux compétences techniques nécessaires, ses bénéfices en termes de durabilité, d'efficacité hydrique et de réduction des déchets ouvrent la voie à une agriculture plus écologique et autosuffisante

Chapitre II: Acquisition de données et commande par carte Arduino

II.1 Introduction

Arduino est une plateforme de développement open-source qui permet de créer des projets électroniques interactifs. Elle se compose d'une carte électronique, d'un microcontrôleur et d'un logiciel de programmation. Arduino permet aux utilisateurs de contrôler des objets physiques en utilisant des capteurs et des actionneurs. Cette technologie est largement utilisée dans les domaines de l'éducation, de la domotique, de l'internet des objets et de la robotique. [16]

II.2 Les différents types de cartes Arduino

Les cartes Arduino doivent satisfaire des exigences variées. Certains utilisateurs souhaiteront effectuer du prototypage et tester de nouveaux montages ou idées, la carte Arduino Uno disposant d'assez d'entrées-sorties pour les projets d'envergure raisonnable. De par sa taille, la carte devrait aussi pouvoir être utilisée à l'avenir dans des projets plus ambitieux. D'autres auront besoin d'un grand nombre de ports afin de pouvoir raccorder de nombreux capteurs ou actionneurs. [17]

Il existe plusieurs versions de cartes Arduino par exemple :

➤ **Arduino Uno**

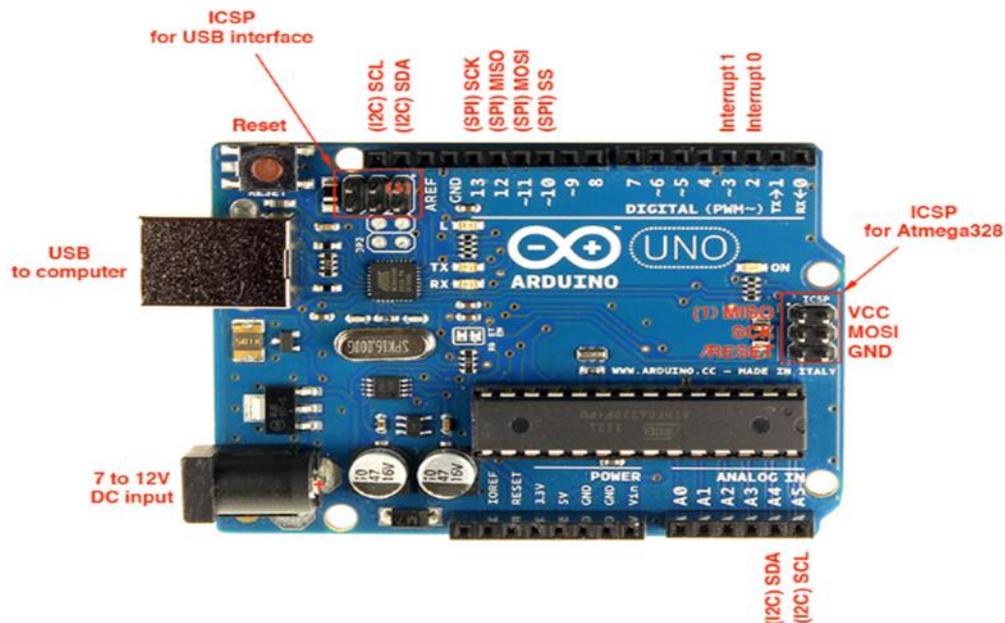


Figure II. 1 : La carte Arduino Uno.

➤ Arduino Nano

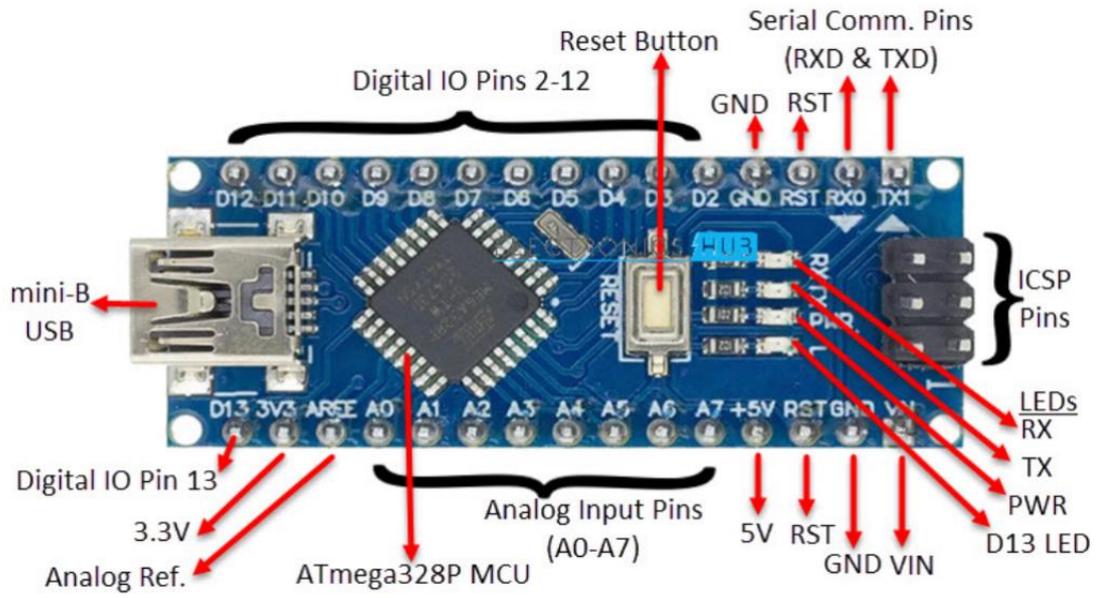


Figure II. 2: La carte Arduino Nano.



Figure II. 3: Quelques autres types d'Arduino.

II.3 La carte Arduino Mega 2560

a. Présentation de la carte

Le nombre de broches d'E/S peut être insuffisant pour certains projets pour y remédier, nous pouvons envisager de passer à la carte Arduino Mega 2560. [18]

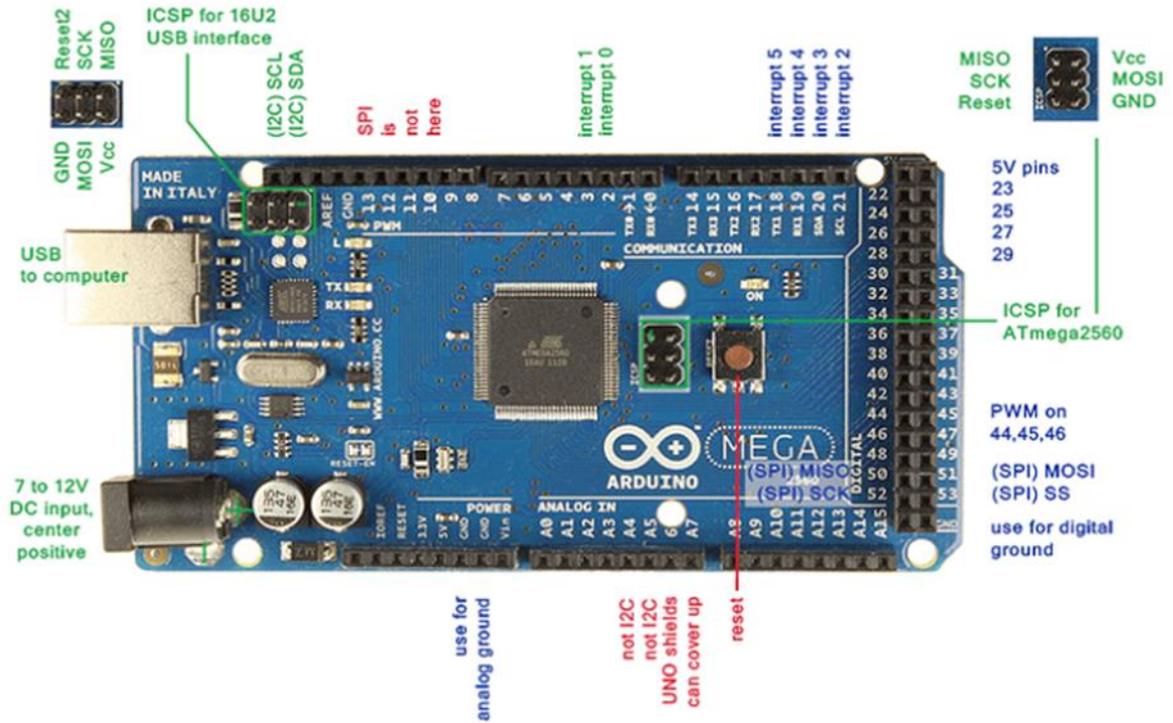


Figure II. 4 : La carte Arduino Mega.

b. Les caractéristiques de la carte

La carte Arduino Mega 2560 est basée sur le microcontrôleur ATmega2560 et dispose des caractéristiques suivantes :

Tableau II. 1 : Tableau des caractéristiques techniques de l'ATmega2560

Catégorie	Valeur
Microcontrôleur	ATmega2560
Fréquence d'horloge	16 MHz
Tension de service	5v
Tension d'entrée (recommandée)	7-12v
Tension d'entrée (limites)	6-20v
Ports numériques	54 entrées et sorties (15 sorties commutables en MLI)

Ports analogiques	16entrées analogiques
Courant maxi.par broche d'E/S (c.c)	40mA 50mA
Courant maxi.par broche 3.3v	256ko flash, 8koSRAM ?4koEEPROM
Mémoire	8ko(en mémoire flash)
Chargeur d'amorçage	USB
Interface	10.16cm x 503cm
Dimension	47£
Prix (approximatif)	

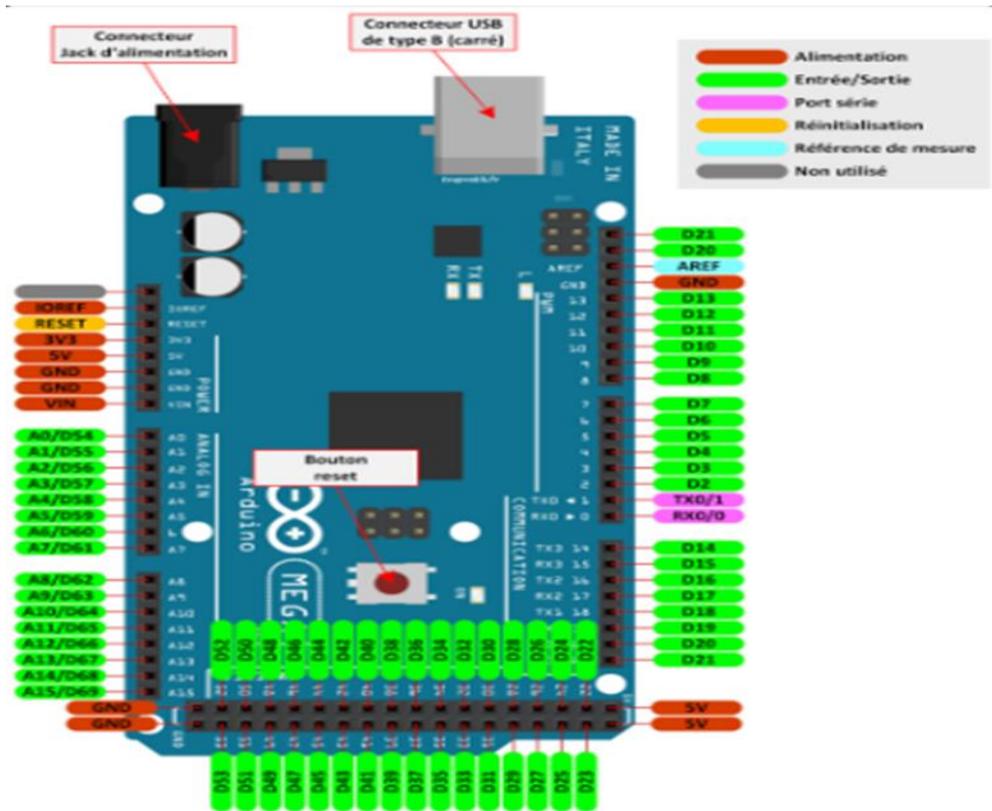
c. Brochage de la carte Mega

Voici le brochage détaillé de la carte Arduino Mega 2560 Rev3 :

- Broches d'entrées/sorties numériques (54 au total)
 - 0 (RX0) à 15 (TX0) : Broches d'entrée/sortie standard
 - 16 (TX1) à 19 (RX1) : Broches d'entrée/sortie standard
 - 20 (SDA) et 21 (SCL) : Broches I2C
 - 22 (RX2) à 25 (TX2) : Broches d'entrée/sortie standard
 - 26 (RX3) à 29 (TX3) : Broches d'entrée/sortie standard
 - 30 (TX4) à 33 (RX4) : Broches d'entrée/sortie standard
 - 34 (TX5) à 39 : Broches d'entrée/sortie standard
 - 40 à 45 : Broches d'entrée/sortie standard
 - 46 à 53 : Broches d'entrée/sortie standard
- Broches analogiques (16 au total)
- Autres broches
 - AREF : Référence analogique
 - GND : Masse
 - 5V : Tension d'alimentation 5V
 - 3V3 : Tension d'alimentation 3,3V
 - IOREF : Référence de tension des broches d'E/S
 - RESET : Broche de réinitialisation

La carte dispose aussi de 4 ports série matériels (UART) pour la communication.

Les broches 0 (RX) et 1 (TX) de la première UART sont connectées aux broches correspondantes du convertisseur USB-série de la carte. [19]



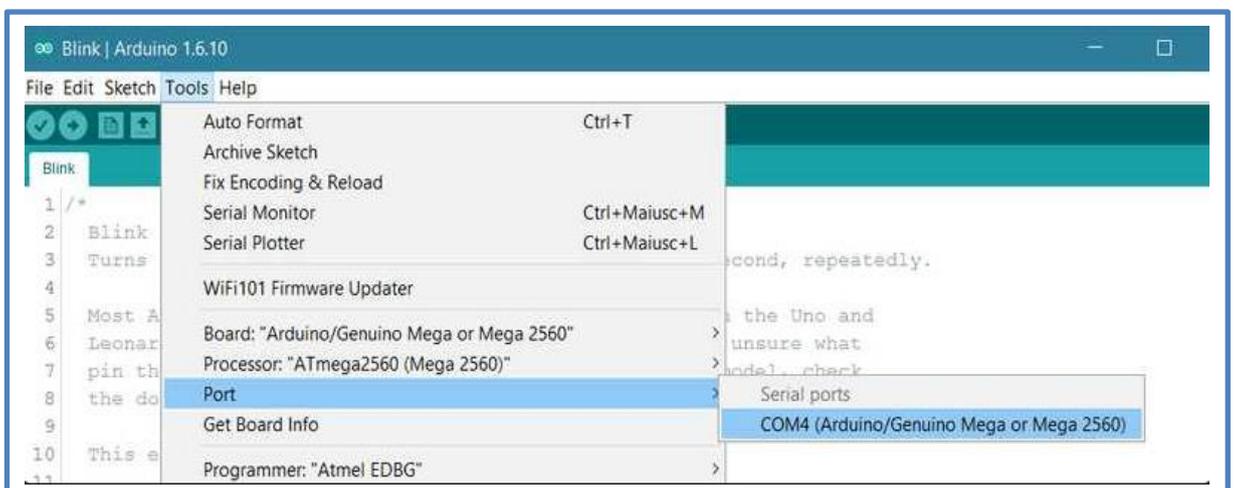
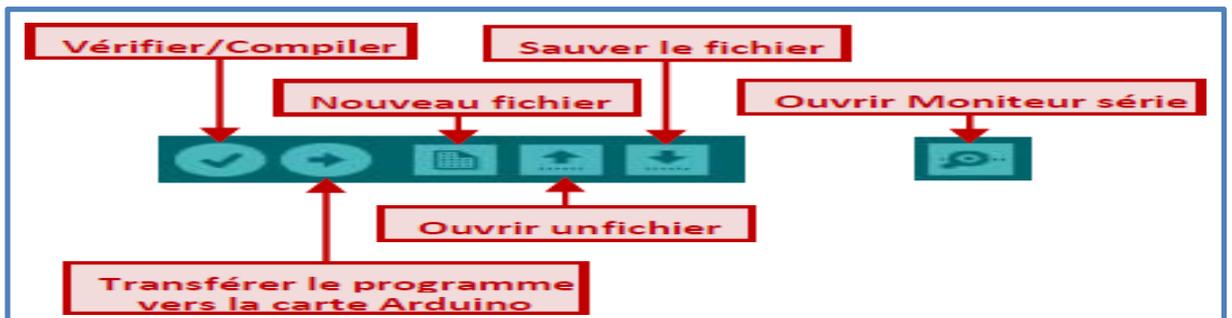
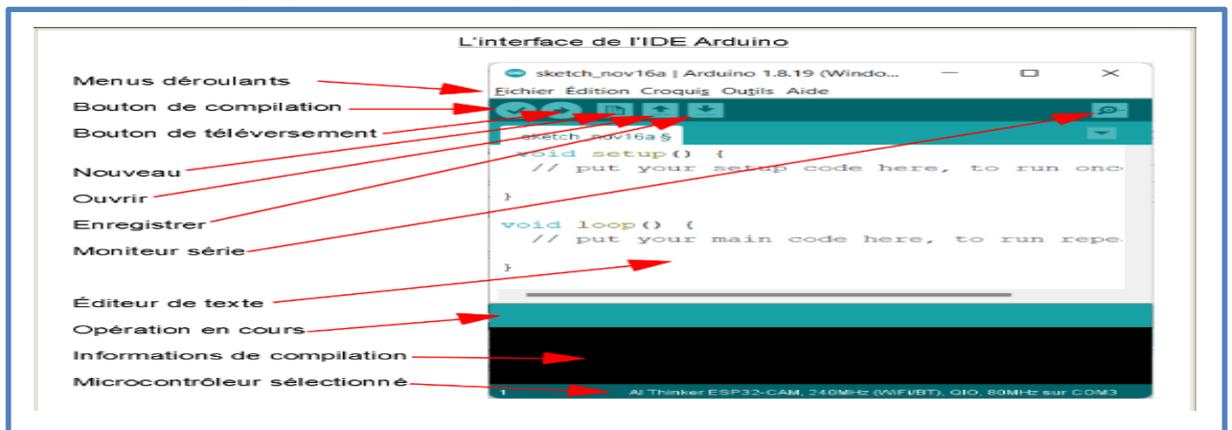
II.4 La programmation de la carte ARDUINO

Le logiciel ARDUINO a pour fonctions principales :

- De pouvoir écrire et compiler des programmes pour la carte ARDUINO
- De se connecter avec la carte ARDUINO pour y transférer les programmes
- De communiquer avec la carte ARDUINO

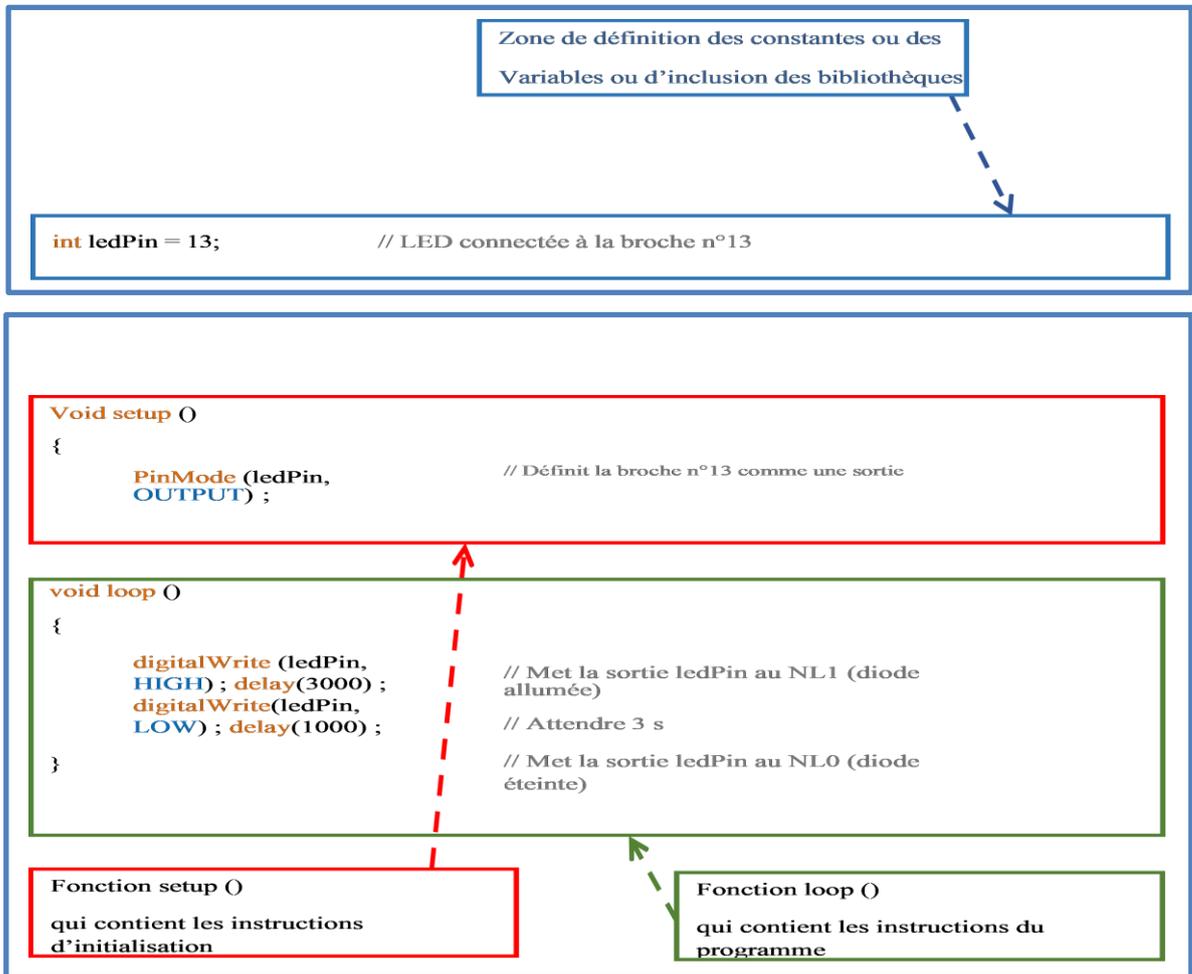
II.4.1. L'interface de programmation

L'interface de programmation du logiciel ARDUINO est la suivante :



II.4.2. La structure d'un programme

Un programme destiné à une carte ARDUINO est constitué de 3 parties



La première partie permet de définir les constantes et les variables en déclarant leur type. Elle permet également l'inclusion des bibliothèques utilisées dans le programme au moyen de #include.

La fonction setup () contient les instructions d'initialisation ou de configuration des ressources de la carte comme par exemple, la configuration en entrée ou sorties des broches d'E/S numériques, la définition de la vitesse de communication de l'interface série, etc. Cette fonction n'est exécutée qu'une seule fois juste après le lancement du programme.

La fonction loop () contient les instructions du programme à proprement parlé. Cette fonction sera répétée indéfiniment tant que la carte ARDUINO restera sous tension.

II.4.3. Les étapes de développement d'un programme

Éditer le programme à partir d'ARDUINO

```
led
/* Ce programme fait clignoter une LED branchée sur la broche n°13
 * et fait également clignoter la diode de test de la carte
 */

int ledPin = 13;      // LED connectée à la broche n°13

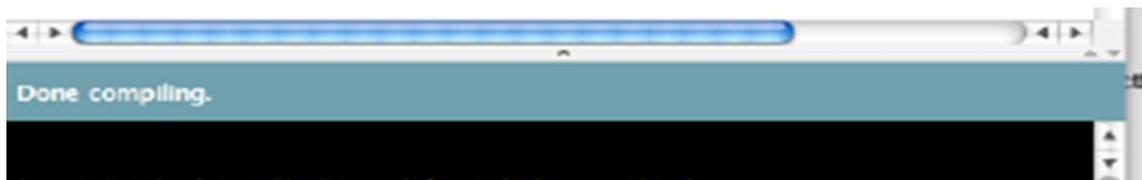
void setup()
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // Definit la broche n°13 comme une sor
}

void loop()
{
  digitalWrite(ledPin,HIGH); // Met la sortie 13 au NL1 (diode al
  delay(3000);              // Attendre 3 s
  digitalWrite(ledPin,LOW);  // Met la sortie 13 au NL0 (diode ét
  delay(1000);              // Attendre 1 s
}
```

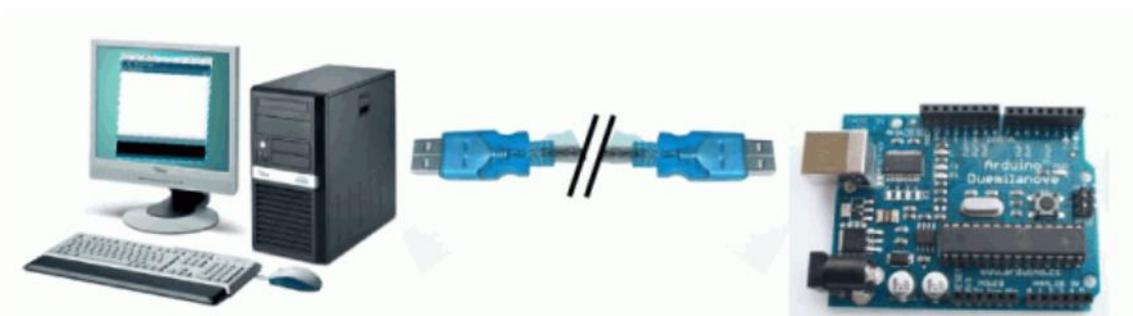
Vérifier et compiler le code à l'aide du bouton « Vérifier ».



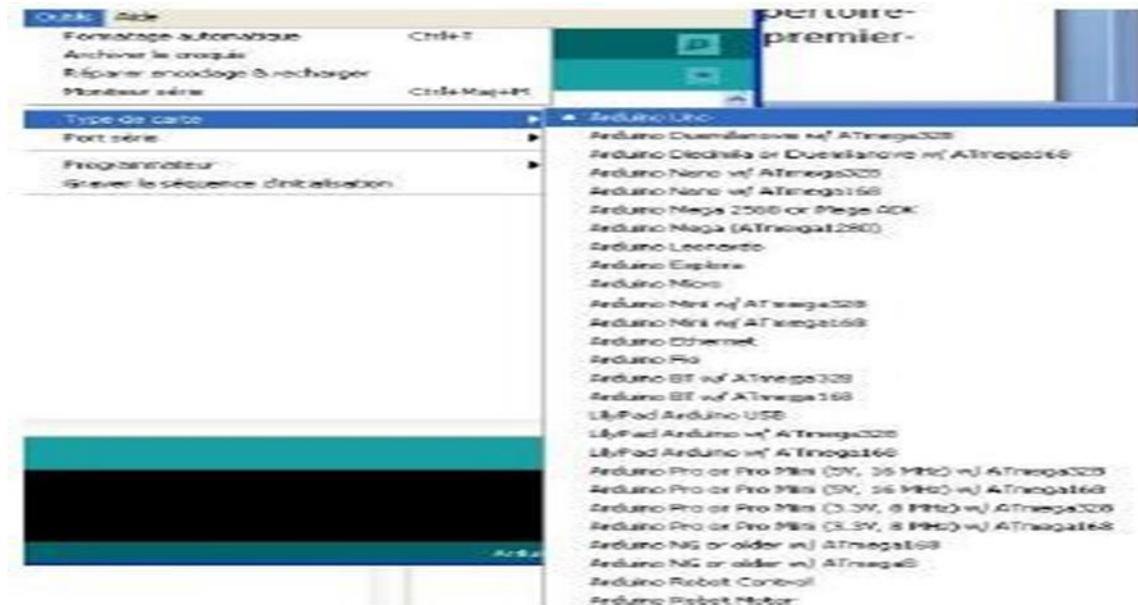
S'il n'y a pas d'erreurs on verra s'afficher : "Compilation terminée", suivi de la taille du programme



Connectez votre carte ARDUINO à votre ordinateur en utilisant votre câble USB. La LED verte d'alimentation (notée PWR) devrait s'allumer



Sélectionner la carte ARDUINO utilisée à partir du menu Outil → Type de carte



Sélectionner le bon port série à partir du menu Outils → Port série



Charger le programme dans la carte ARDUINO en cliquant sur le bouton « Télé verser».



Une fois le Télé versement terminé, le logiciel ARDUINO doit afficher un message " Télé versement terminé

Vérifier le fonctionnement du programme sur la carte ARDUINO

Si nécessaire, appuyer sur le bouton de réinitialisation de la carte pour redémarrer votre programme.

II.5. Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'explorer les bases passionnantes de l'utilisation d'Arduino en tant que plateforme de prototypage électronique et de programmation. Nous avons découvert comment créer des circuits simples, interagir avec des capteurs et des actionneurs, et programmer ces dispositifs pour réaliser une variété de tâches.

Nous avons appris que la programmation d'Arduino repose sur le langage C/C++, mais qu'elle est rendue accessible même aux débutants grâce à des bibliothèques et des ressources en ligne abondantes.

De plus, nous avons compris l'importance de la méthodologie de projet itérative. En testant, en expérimentant et en itérant sur nos idées, nous avons pu améliorer nos compétences en résolution de problèmes et en créativité.

En continuant à explorer Arduino, nous ouvrons la porte à un monde infini de possibilités. Que ce soit pour créer des objets interactifs, des dispositifs domotiques ou des projets artistiques, Arduino offre un terrain de jeu sans fin pour l'innovation.

Chapitre III: Les Capteurs et les actionneurs utilisés dans notre projet

III.1 Introduction

Dans le système aquaponique que nous allons mettre en place, les capteurs et actionneurs jouent un rôle crucial pour collecter et traiter les informations nécessaires pour maintenir un équilibre optimal entre les eaux d'aquaculture et les sols d'irrigation. Les capteurs sont des dispositifs qui convertissent des phénomènes physiques en signaux électriques, tandis que les actionneurs sont des composants qui transforment ces signaux en actions pratiques.

III.2 Les alimentations

III.2.1. Alimentation par transformateur 5V et 12 V (chargeur adaptateur)

Pour alimenter votre Arduino avec un transformateur 5V et 12V (chargeur adaptateur), il est important de prendre en compte les spécifications de votre carte Arduino spécifique. Les cartes Arduino, comme l'Arduino Uno, fonctionnent généralement bien avec des tensions comprises entre 7 et 12V, mais pas avec des tensions inférieures à 5V.

Pour utiliser un transformateur 5V et 12V, il est recommandé de choisir un modèle qui offre une tension régulée et stable, car les tensions modifiées peuvent être inconfortables pour votre carte Arduino. Il est également important de vérifier que le transformateur ne dépasse pas les 12V, car cela pourrait endommager votre carte Arduino.



Figure III. 1 : Image de chargeur adaptateur.

III.3 Les preactionneurs

III.3.1. Les relais

a. relais statiques

Relais statique, souvent abrégé en SSR, se présente comme un phare dans le monde des dispositifs de commutation électroniques. Dans son essence, un SSR fonctionne comme un interrupteur, réagissant à une tension externe appliquée sur ses bornes de commande. Contrairement aux interrupteurs mécaniques qui dépendent de mouvements physiques pour ouvrir ou fermer un circuit, les SSR fonctionnent sans aucune pièce mobile. Cette particularité leur offre un ensemble unique d'avantages, allant d'une durée de vie prolongée à une usure réduite. [20]

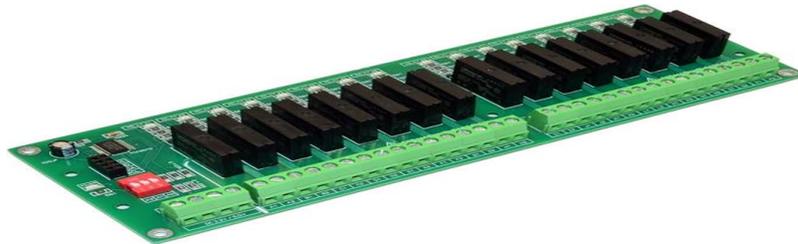


Figure III. 2: Photo de relais statiques.

b. relais dynamiques

Les relais dynamiques arduino sont des modules qui permettent de contrôler une tension d'alimentation avec une tension à faible courant. Ces modules sont composés d'un électroaimant et d'un contacteur mécanique. Lorsque le courant est suffisamment important sur la borne d'entrée, l'électroaimant se magnétise, ce qui force le contacteur à fermer le circuit de puissance. Cela permet d'isoler la partie commande de la partie puissance et de protéger le circuit de commande.



Figure III. 3 : Schéma de relais dynamique.

III.4 Les actionneurs

III.4.1. Les ventilateurs

Les ventilateurs Arduino sont des ventilateurs à courant continu (DC) qui peuvent être contrôlés et automatisés à l'aide d'un microcontrôleur Arduino. Ces ventilateurs sont utilisés dans divers projets électroniques pour le refroidissement, la ventilation automatisée, et d'autres applications nécessitant un contrôle précis de la vitesse et du fonctionnement du ventilateur. En connectant un ventilateur à un Arduino, il est possible de réguler sa vitesse, de l'allumer ou de l'éteindre en fonction de paramètres prédéfinis ou de capteurs externes. [21]

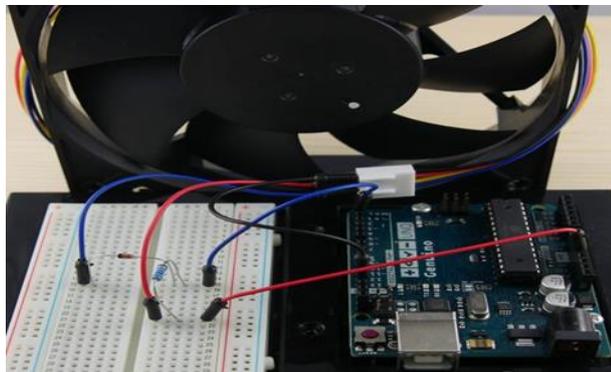


Figure III. 4 : Photo de Ventilateur avec arduino.

III.4.2. Les pompe à eau

Les pompes à eau arduino sont des dispositifs mécanique utilisés pour déplacer de l'eau d'un endroit à un autre .Elles peuvent être utilisées pour diverses applications, telles que l'irrigation des cultures, l'alimentation en eau potable, le drainage de l'eau de pluie ou de l'eau souterraine, la circulation de l'eau dans les systèmes de refroidissement et bien d'autres encore. [22]



Figure III. 5 : Image de pompe à eau.

III.4.3. Les pompe à air

Les pompes à air arduino sont des composants utilisés pour créer des systèmes pneumatiques contrôlés par arduino. Elles peuvent être employées dans divers projets, tels que des robots pour saisir des objets ou des systèmes de gonflage. Par exemple, la mine pompe à air DC4.5 de TCS ELECTRICAL MOTOR peut être intégrée dans un robot pour des fonctions d'agrippage. [23]



Figure III. 6 : photo de pompe air.

III.4.4. Les servomoteurs photo de pompe air.

Les servomoteurs arduino, souvent abrégés en « servo », sont des moteurs capables de sortie. En revanche, certains servomoteurs à rotation continue sont asservis en vitesse, ou la vitesse est proportionnelle à la largeur des impulsions.



Figure III. 7: Le servomoteur.

III.4.5. Led et ruban Led

Les rubans LED avec arduino offrent des possibilités créatives passionnantes. Pour contrôler des rubans LED, comme les Naopixel de chez adafruit, avec arduino vous pouvez utiliser des alimentations électrique des LED et un arduino Uno ou Mega pour le contrôle. Par exemple, pour un projet simulant une coulée de lave, vous pourriez avoir besoin d'une

alimentation 5v 10v par ruban pour alimenter les 4 mètres de ruban LED avec 35 LED par mètre.



Figure III. 8 : Image de Led.

III.4.6. Buzzer piézoélectrique

Les buzzers piézoélectriques pour arduino sont des composants utilisés pour émettre des sons .ils se déclinent en deux types : les buzzers passifs et actifs.les buzzers passifs fonctionnent comme des haut-parleurs et nécessitent un signal audio pour émettre du son, tandis que les buzzers actifs peuvent générer un son lorsque ‘ ils reçoivent une tension continue.



Figure III. 9 : Image de Buzzer piézoélectrique.

III.4.7. Élément chauffant (eau)

Les éléments chauffants pour l’eau utilisés avec arduino sont des composants tels que les plaques chauffantes PTC en aluminium, qui peuvent être contrôlés par un arduino pour réguler la température de l’eau. Ces éléments chauffants sont souvent utilisés dans des systèmes de chauffage contrôlés par PID (proportionnelle intégrale Dérivée) pour maintenir une température constante. En utilisant des capteurs de température comme le DS18B20 et des relais statiques, il est possible de l’eau en ajustant la puissance de

l'élément chauffant. Ce type de configuration est couramment utilisé dans des applications telles que la régulation de la température de l'eau pour diverses applications industrielles ou domestiques.

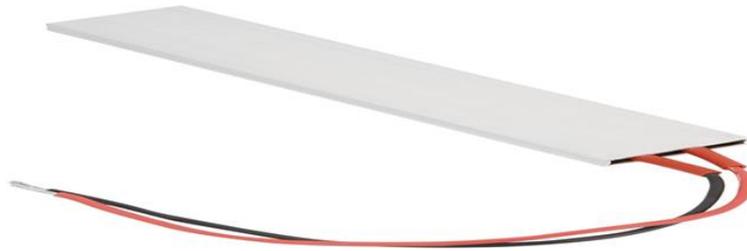


Figure III. 10 : Élément chauffant.

III.4.8. Lampe IR (air)

Les lampes infrarouges peuvent être utilisés avec arduino pour diverses applications, notamment en combinaison avec des capteurs infrarouges pour détecter des mouvements ou des sources de chaleur .En utilisant un montage comprenant un capteur infrarouge, un arduino, une lampe infrarouge et éventuellement un relais électromagnétique , il est possible de contrôler la lampe à distance en fonction des signaux captés par le capteur infrarouge . Ce type de projet peut être réalisé en connectant le capteur infrarouge au port approprié de l'arduino et en utilisant le code adéquat pour contrôler le fonctionnement du lampe en fonction des données recues par le capteur.

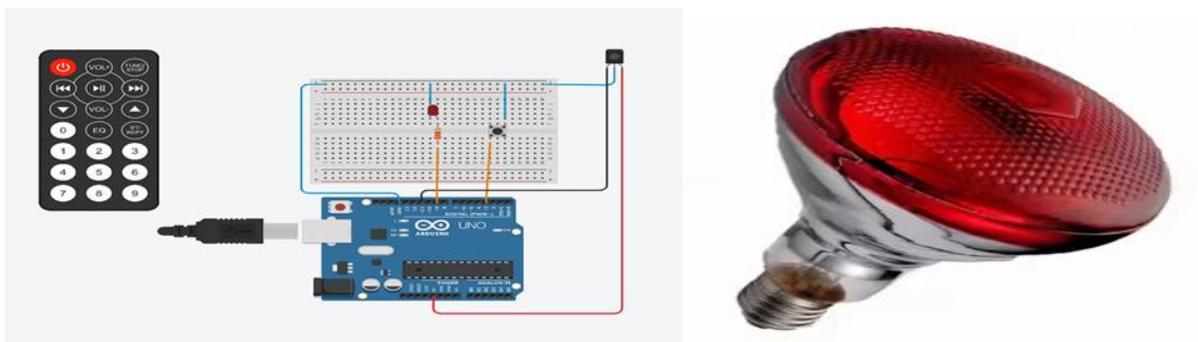


Figure III. 11 : Image de lampe IR.

III.4.9. Moteur DC+driverL298N.

Pour contrôler un moteur à courant continu (DC) avec un driver L298N et arduino, vous pouvez suivre ces étapes :

Matériel nécessaire :

- Moteur à courant continu
- Driver L298N
- carte arduino
- Alimentation adaptée
- Connexion du moteur au driver
- Connexion du driver à l'arduino
- Alimentation

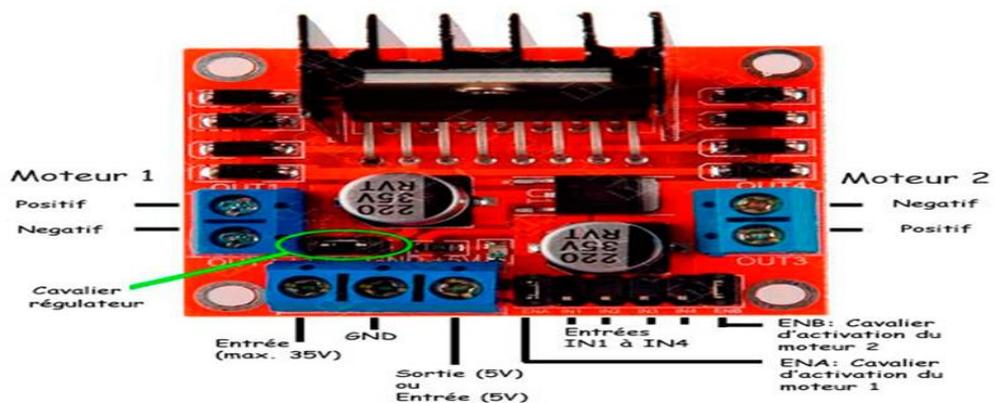


Figure III. 12: Schéma de Moteur DC+driverL298N.

III.5 Les capteurs

III.5.1. Capteur de distance ultrasonique : HC-SR04

Capteur de distance à ultrasons Arduino HC-SR04 que nous allons considérer dans cette leçon. Nous allons vous expliquer comment connecter le capteur de distance à ultrasons HC-SR04. Nous allons analyser le code du capteur, qui peut parfaitement servir au robot pour déterminer la distance ou détecter un obstacle. Nous nous pencherons également sur une bibliothèque populaire pour les télémètres à ultrasons sur Arduino. [24]



Figure III. 13: Photo de capteur de distance ultrasonique : HC-SR04.

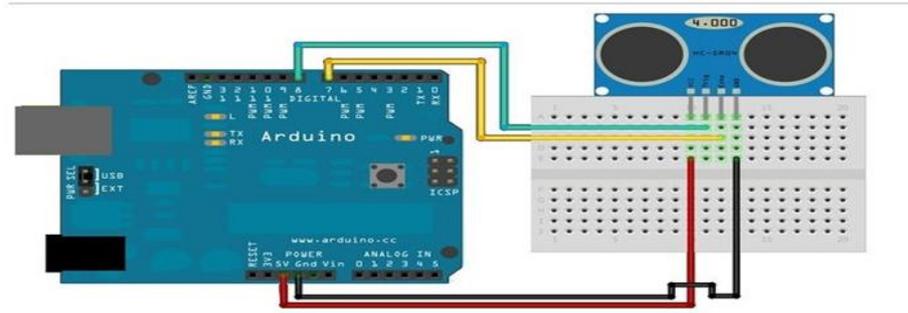


Figure III. 14 : Schéma de capteur de distance ultrasonique : HC-SR04 avec arduino.

III.5.2. Capteur de température et d'humidité DHT11

Le capteur de température et d'humidité DHT11 est un composant largement utilisé avec Arduino pour mesurer ces paramètres environnementaux. Ce capteur abordable et simple à utiliser se connecte facilement à Arduino via une broche numérique. En utilisant la librairie "DHT sensor library", les données de température et d'humidité peuvent être lues et affichées sur le moniteur série. Le DHT11 a une plage de mesure de température de 0 à 50°C avec une précision de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ et une plage d'humidité de 20 à 80% avec une précision de $\pm 5\%$ RH. Il est idéal pour divers projets, tels que les systèmes de contrôle de l'environnement ou de surveillance météorologique. Le câblage et le code pour ce capteur sont simples, ce qui en fait un choix populaire pour les débutants en électronique. [25]

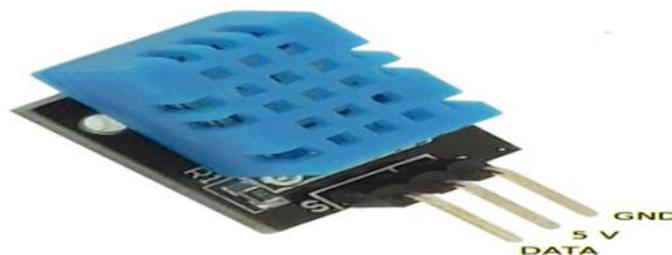


Figure III. 15 : Photo de Capteur de température et d'humidité DHT11.

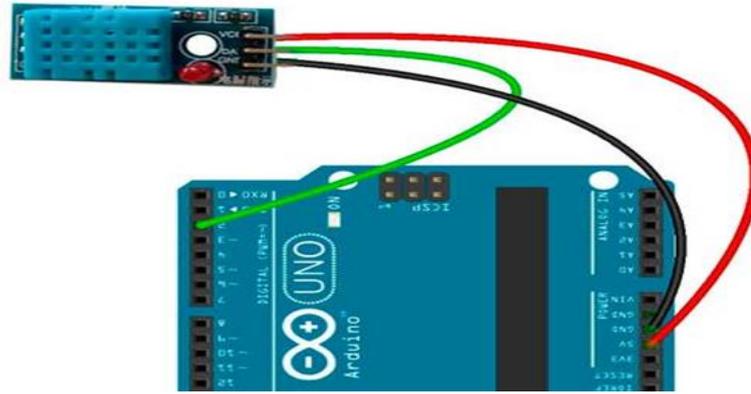


Figure III. 16 : Schéma de capteur de température et d'humidité DHT11 avec arduino.

III.5.3. Module d'horloge RTC DS3231

Le module d'horloge RTC DS3231 est un composant précis et fiable utilisé avec Arduino pour maintenir l'heure et la date avec une grande exactitude. Ce module garantit que l'Arduino connaît l'heure exacte à tout moment, même lorsque le module n'est pas connecté, grâce à une pile de secours. Il communique avec Arduino via une interface I2C et offre des fonctionnalités avancées telles qu'un capteur de température intégré, une mémoire non volatile, des alarmes programmables et une sortie de déclenchement avec intervalles variés. Ce module est idéal pour une variété d'applications nécessitant une horloge précise, comme la création d'horloges, de minuteries, d'alarmes, de systèmes d'acquisition de données, de contrôle d'accès, de surveillance et de contrôle industriel.

Le DS3231 est reconnu pour sa stabilité et sa précision supérieure par rapport à d'autres modules RTC comme le DS1307. [26]

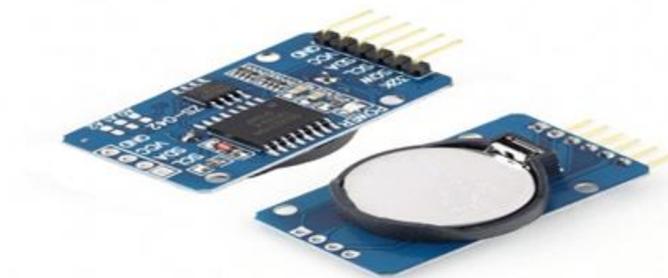


Figure III. 17 : Capteur d'horloge RTC DS3231.

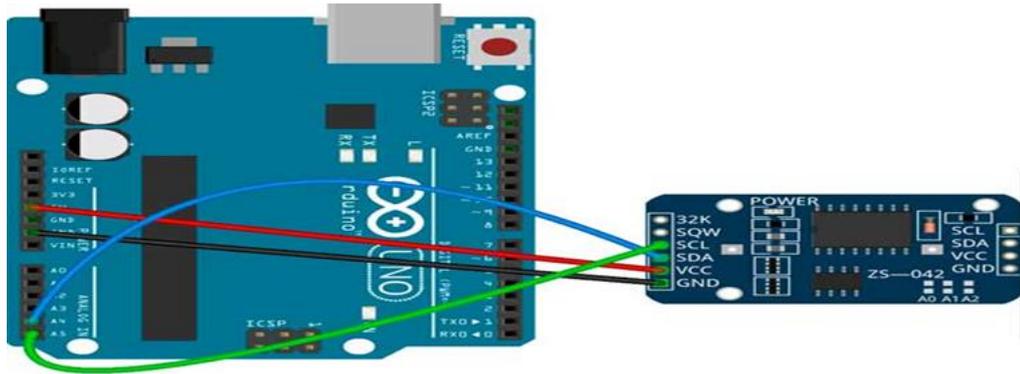


Figure III. 18 : Photo de .capteur d'horloge RTC DS3231 avec la carte arduino.

III.5.4. Module carte SD

Les modules carte SD pour Arduino permettent d'ajouter de l'espace de stockage à des projets électroniques. Ces modules nécessitent l'ajout d'une carte SD et offrent la possibilité de lire et écrire des données sur cette carte via une interface SPI. Ils sont compatibles avec les microcontrôleurs Arduino et autres plateformes similaires, facilitant l'enregistrement de mesures, fichiers audio, vidéo ou autres données numériques. Les modules se connectent directement aux broches 5V ou 3.3V, GND, CS, MISO, MOSI et SCK du microcontrôleur. Ils sont légers, compacts et simples à utiliser avec la bibliothèque SD.h fournie par l'IDE Arduino. Ces modules sont idéaux pour étendre la capacité de stockage des projets Arduino et offrent une solution pratique pour la manipulation de données sur des cartes SD. [27]

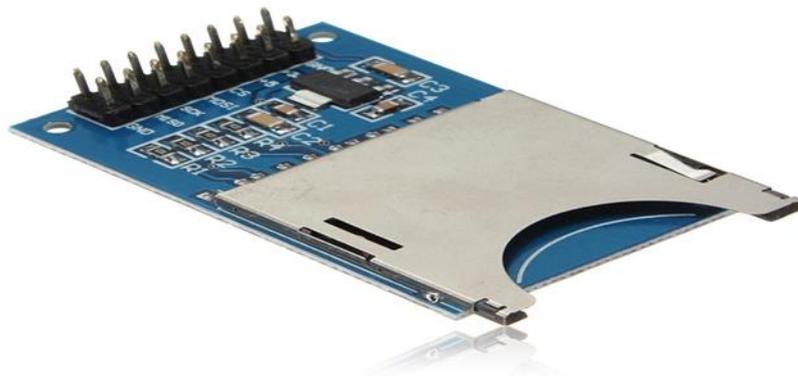


Figure III. 19 : photo de carte SD.

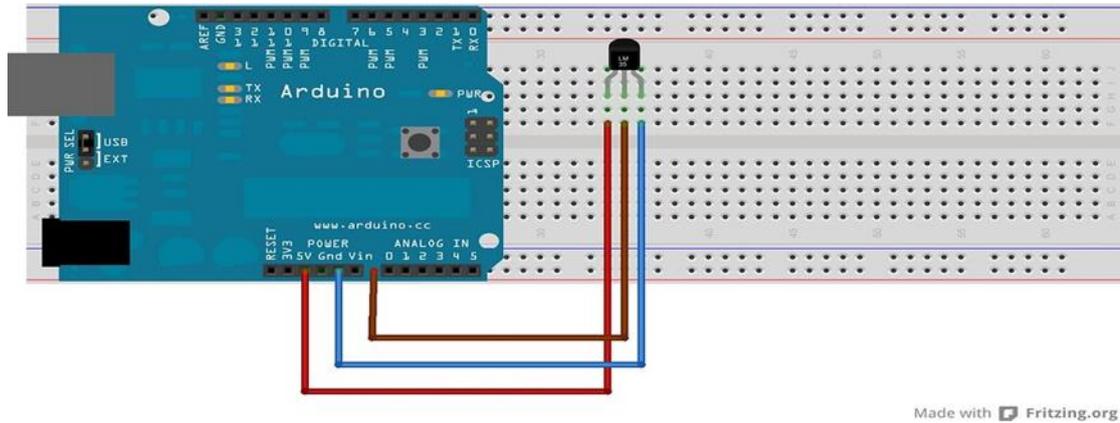


Figure III. 22 : Photo de capteur LM35 avec la carte arduino

b. DS18B20

Capteur de température DS18B20 Arduino Le capteur de température DS18B20 est un composant populaire pour mesurer les températures avec Arduino. Il possède une plage de mesure de -55°C à 125°C avec une précision de 0.5°C entre -10°C et 80°C . Ce capteur numérique utilise la technologie One Wire, ce qui permet de connecter plusieurs capteurs sur une même broche d'Arduino en utilisant des adresses uniques. Pour l'interfacer avec Arduino, il faut relier la broche de données à une entrée digitale de l'Arduino, comme illustré dans le code fourni. En lisant la température avec ce capteur, vous pouvez réaliser divers projets, comme un thermomètre affichant les températures sur un écran à sept segments. Le DS18B20 est disponible en version étanche pour des applications spécifiques.



Figure III. 23 : Capteur de DS18B20.

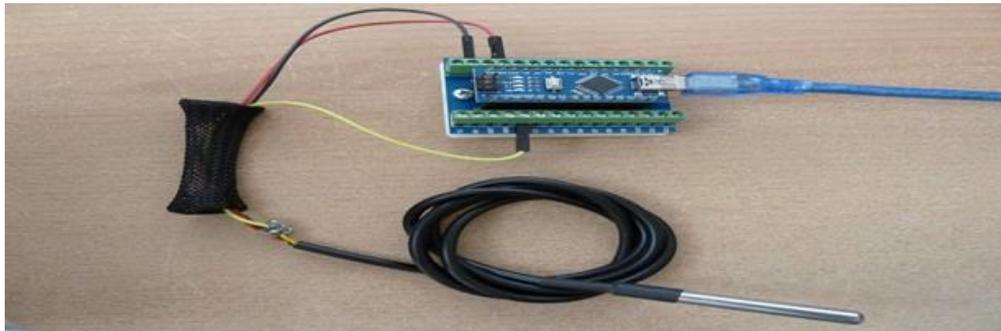


Figure III. 24 : Photo de capteur de DS18B20 avec la carte arduino.

c. thermocouple K + MAX6675

Un thermocouple de type K est un capteur de température composé de deux conducteurs électriques différents qui forment une jonction électrique. Lorsque cette jonction est soumise à une variation de température, il en résulte une tension électrique mesurable qui peut être utilisée pour calculer la température. [29]



Figure III. 25: Capteur de thermocouple K+MAX6675.

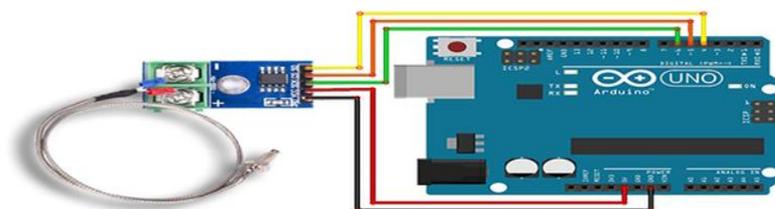


Figure III. 26 : photo de Capteur de thermocouple K+MAX6675 avec arduino.

III.5.6. Capteur de lumière (photorésistance)

➤ Module LDR(LM393) (capteur de luminosité LDR5516)

Le module LDR (Light Dépendent Résistor) avec le LM393 est un capteur de luminosité utilisé pour détecter l'intensité de la lumière. Ce module associe une LDR et un LM393 comme contrôleur, générant sa sortie sur la borne DO. La sortie est à un niveau élevé jusqu'à ce que l'intensité lumineuse dépasse le seuil établi, utilisant ensuite la valeur par défaut. Il dispose de deux indicateurs LED pour indiquer son fonctionnement et l'état du signal de sortie, ainsi qu'un potentiomètre pour ajuster la sensibilité.

Ce capteur est utilisé pour le contrôle de l'éclairage de pièces ou d'espaces, offrant une sortie numérique en DO et fonctionnant avec une tension de 3,3 à 5 V. Il est basé sur le LM393, permettant de détecter la luminosité ambiante et l'intensité lumineuse, avec une sensibilité réglable via un potentiomètre. Le module est simple à utiliser, fournissant une sortie numérique pour détecter la présence de lumière et prendre des décisions en conséquence.

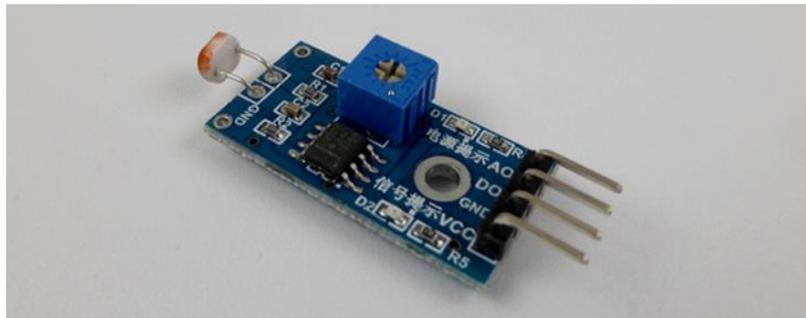


Figure III. 27: Photo de capteur de LDR(LM393).



Figure III. 28: Photo de capteur de LDR(LM393) avec la carte arduino.

III.5.7. Capteur de débit YF-S401

Le capteur de débit d'eau YF-S401 est un capteur qui mesure la quantité d'eau qui traverse une conduite ou un tuyau. Voici une définition du capteur de débit YF-S401 en relation avec Arduino, basée sur les informations des sources fournies:

Le capteur de débit d'eau YF-S401 peut mesurer des débits d'eau allant jusqu'à 30 litres par minute avec une précision. Il est équipé d'une sortie de signal numérique qui peut être connectée à une carte Arduino ou à tout autre système. [30]

Ce capteur utilise le principe de l'effet Hall : lorsque l'eau passe à travers le capteur, la roue à ailettes tourne, entraînant un aimant attaché à celle-ci. Ce mouvement magnétique induit un changement de polarité à proximité du capteur à effet Hall, générant ainsi un signal de sortie sous forme d'impulsions. En comptant le nombre d'impulsions générées, il est possible de calculer le débit d'eau qui traverse le capteur. [31]



Figure III. 29: Capteur de débit YF-S401.

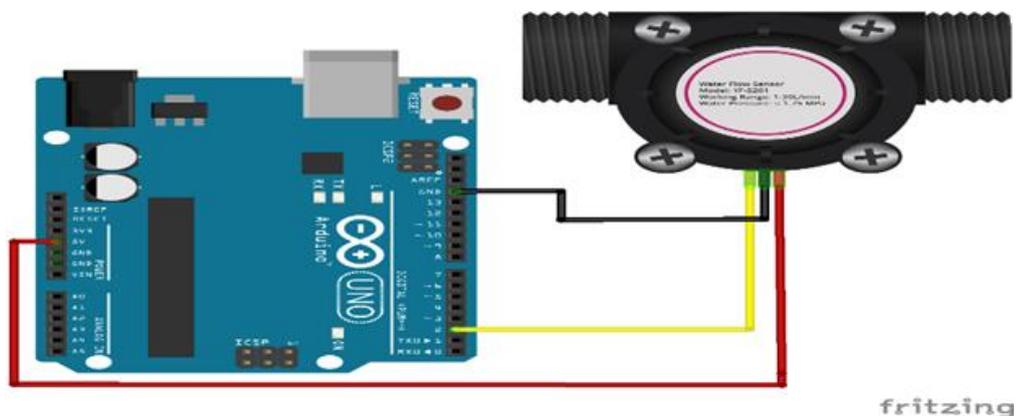


Figure III. 30: Photo Capteur de débit YF-S401 avec la carte arduino.

III.5.8. Capteur humidité du sol (hygrométrie du sol)

a. Capteur humidité du sol résistive SNM114

Les capteurs d'humidité du sol résistifs, tels que le SNM114, mesurent la résistance électrique dans le sol. Lorsque le sol est sec, la résistance est élevée, et lorsque le sol est humide, la résistance est faible. Ces capteurs sont conçus pour être connectés à une carte

Compatible Arduino ou à un microcontrôleur via une liaison digitale. Ils offrent une méthode simple et efficace pour surveiller l'humidité du sol, ce qui est crucial pour de nombreuses applications agricoles et de jardinage.

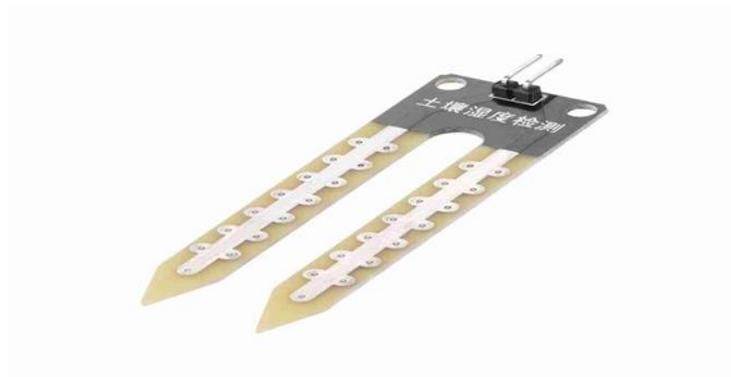


Figure III. 31: Capteur humidité du sol résistive SNM114.

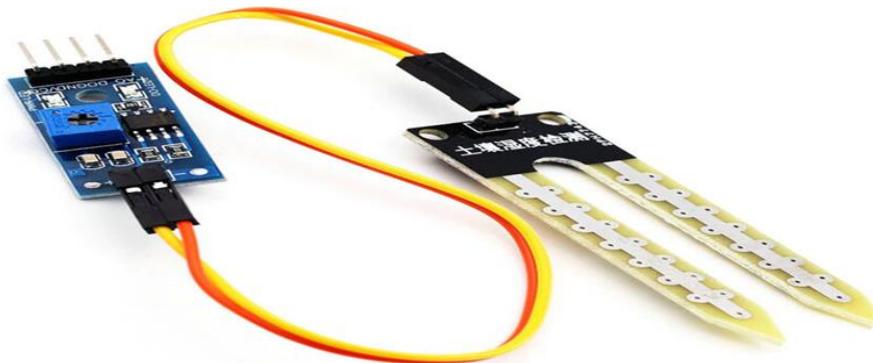


Figure III. 32: Capteur humidité du sol résistive SNM114 avec la carte arduino.

b. Capteur humidité du sol capacitive

Le capteur d'humidité de sol capacitif est facile à utiliser avec Arduino. Il fournit une tension analogique proportionnelle à l'humidité du sol, permettant de détecter quand une plante a besoin d'être arrosée. Son principe de mesure capacitif évite les problèmes de corrosion des capteurs résistifs. [32]



Figure III. 33: photo de Capteur humidité du sol capacitive.

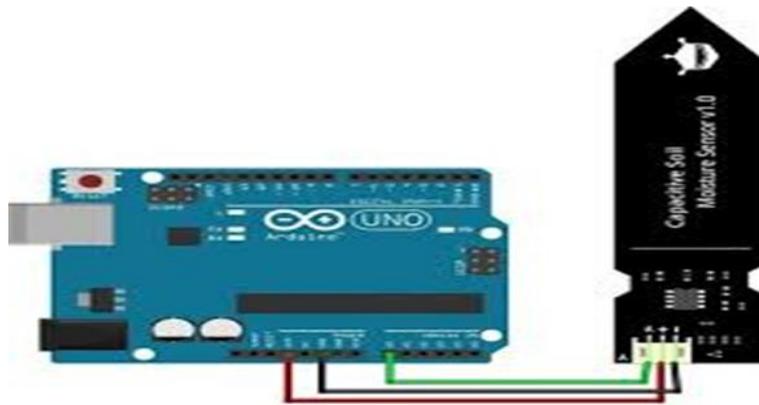


Figure III. 34: Photo de Capteur humidité du sol capacitive avec la carte arduino.

III.5.9. Détecteur de niveau (résistive)

Le détecteur de niveau d'eau résistif est facile à utiliser avec Arduino. Il fournit une tension analogique inversement proportionnelle au niveau d'eau, permettant de détecter quand un réservoir est plein ou vide. Son principe de mesure résistif le rend sensible à la conductivité de l'eau. [33]

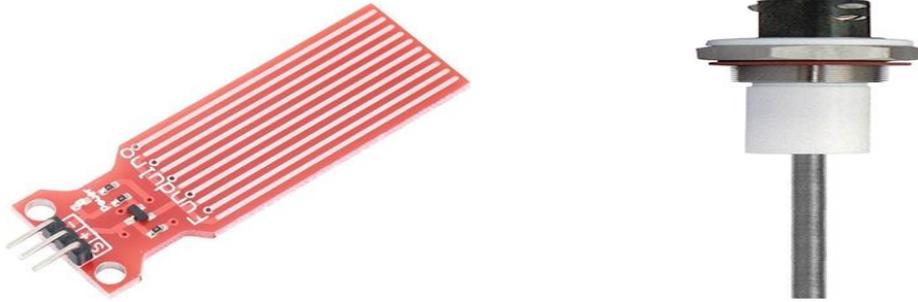


Figure III. 35: Photo de Détecteur de niveau.

III.6 Les afficheurs

a. Afficheur LCD 16*2

L'afficheur LCD 16*2 est un module d'affichage à cristaux liquides composé de 2 lignes de 16 caractères chacune. Il permet d'afficher du texte et des informations sur un écran LCD rétroéclairé. Ce type d'afficheur est couramment utilisé avec des microcontrôleurs comme Arduino pour créer des interfaces utilisateur. Il se raccorde généralement via une connexion I2C ou directement sur les broches d'un Arduino. L'afficheur LCD 16*2 offre une interface visuelle simple et efficace pour interagir avec un projet électronique. [34]



Figure III. 36: photo Afficheur LCD 16*2.

b. Afficheur LCD 20*4 (I2C)

L'afficheur LCD 20x4 (I2C) est un écran qui peut afficher 20 caractères par ligne et a 4 lignes. Il utilise une interface I2C pour se connecter à un microcontrôleur, tel qu'un Arduino. Cela signifie qu'il nécessite seulement 4 fils pour fonctionner : GND, VCC, SDA et SCL. Il dispose d'un rétro éclairage bleu qui rend les caractères blancs lisibles dans l'obscurité. L'afficheur LCD 20x4 (I2C) peut être utilisé pour afficher des données et des

messages, et il est facilement connectable à un Arduino, Raspberry Pi, ESP32 ou ESP8266. Il est compatible avec la bibliothèque LiquidCrystal_I2C et dispose d'une adresse I2C de 0x20. Il dispose également d'une fonction de réglage de contraste.



Figure III. 37: photo d’Afficheur LCD 20* 4 (I2C).

III.7 Conclusion

Dans cette étude, nous avons exploré en profondeur l'importance cruciale des capteurs et des actionneurs dans le cadre de notre projet. Ces composants ont été soigneusement sélectionnés et intégrés pour répondre aux besoins spécifiques de notre système, en l'occurrence, un système aquaponique basé sur la carte Arduino. Les capteurs ont été déployés pour surveiller et mesurer une gamme de paramètres environnementaux vitaux, tels que la température, le pH, l'humidité, et d'autres encore. Leur rôle dans la collecte de données en temps réel est fondamental pour assurer des conditions optimales pour les poissons et les plantes, permettant ainsi une croissance saine et un fonctionnement efficace du système. D'autre part, les actionneurs ont été utilisés pour automatiser divers processus, comme le contrôle de l'éclairage, la distribution d'aliments pour les poissons, et la régulation de la pompe à eau. Cette automatisation améliore la fiabilité et l'efficacité du système tout en réduisant la nécessité d'une intervention humaine constante. En combinant ces capteurs et actionneurs avec la puissance de la carte Arduino, nous avons pu créer un système intelligent et adaptable, capable de s'ajuster aux changements environnementaux et de fonctionner de manière autonome. Cependant, des défis subsistent, notamment en termes de calibrage des capteurs, de précision des mesures, et d'optimisation des performances des actionneurs.

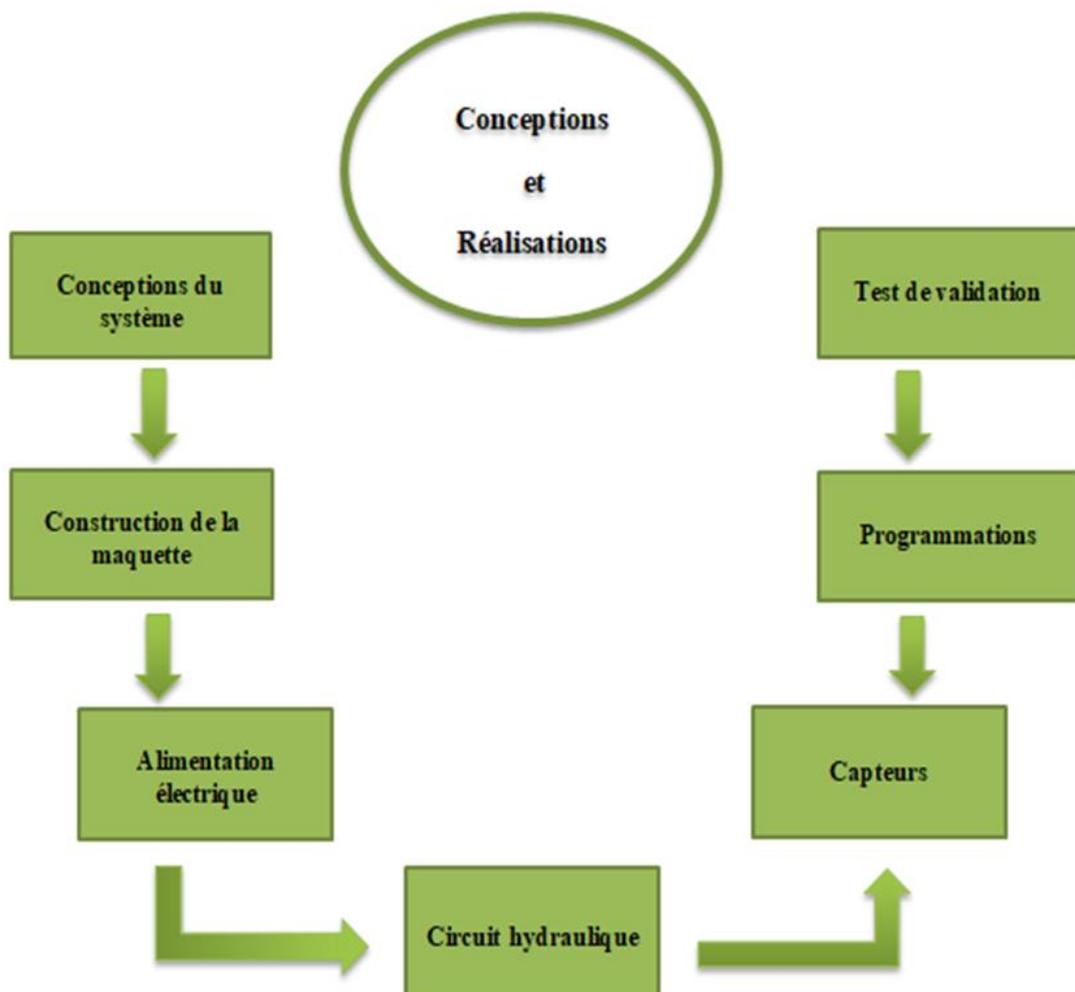
**Chapitre IV : Conception et
Réalisation de la serre système
aquaponique**

IV.1 Introduction

Dans un monde où l'agriculture urbaine et les solutions durables sont essentielles, les systèmes aquaponiques se présentent comme des alternatives prometteuses pour produire de la nourriture. Ces systèmes combinent la culture de plantes et l'élevage de poissons dans un environnement où ils s'entraident, offrant ainsi une approche novatrice pour relever les défis agricoles d'aujourd'hui.

Notre projet se concentre sur la conception et la réalisation d'une serre aquaponique automatisée, contrôlée par Arduino, utilisant la technique du film nutritif. Cette technique implique un flux continu de solution nutritive sur les racines des plantes.

L'objectif principal est de créer une maquette didactique illustrant les principes de l'aquaponie et démontrant les avantages de l'automatisation dans ces systèmes. Nous visons à promouvoir une agriculture durable et à sensibiliser aux enjeux de la sécurité alimentaire et de l'autosuffisance.



IV.2 Conception de module de base

IV.2.1. Objectifs pédagogiques

Les objectifs pédagogiques du système aquaponique NFT sont multiples et s'inscrivent dans une démarche de sensibilisation à l'aquaponie, de compréhension de son fonctionnement et de développement de compétences techniques.

- Sensibilisation à l'aquaponie : Comprendre les principes de base de l'aquaponie, qui consiste en la combinaison de l'aquaculture et de l'hydroponie dans un système fermé, permettant de faire vivre ensemble des plantes et des animaux aquatiques en harmonie.
- Compréhension du fonctionnement du NFT : Apprendre le principe de fonctionnement du système NFT (Nutrient Film Technique) en aquaponie, qui est une technique de culture hydroponique permettant d'obtenir des légumes feuilles rapidement et en pleine santé.
- Développement de compétences techniques : Maîtriser les étapes de mise en place et de gestion d'un système aquaponique NFT, de l'optimisation du circuit hydraulique à l'amélioration de la phase de filtration, en passant par la réduction de l'impact de la chaleur et du rayonnement solaire dans la serre.
- Réduction des coûts et amélioration de la production : Comprendre les avantages des systèmes NFT en termes de réduction des coûts, d'augmentation des marges, de réduction des problèmes de ravageurs et de nutriments, et de minimisation des interventions manuelles.
- Promotion de l'utilisation de l'aquaponie à différentes échelles : Sensibiliser aux différentes échelles de production en aquaponie, allant de l'aquaponie industrielle à l'aquaponie domestique, en passant par l'aquaponie commerciale à échelle familiale.
- Développement de projets aquaponiques : Participer à des projets aquaponiques à vocation expérimentale, pédagogique et productive, tels que l'étude de faisabilité technico-économique d'un pilote d'aquaponie dans les Pays de la Loire.

IV.2.2 Spécifications techniques et contraintes de fonctionnement

Le système aquaponique NFT présente des spécifications techniques et des contraintes de fonctionnement variées:

- Utilisation d'un circuit hydraulique unique pour interconnecter les compartiments.
- Divers supports de culture comme les rafts et les substrats inertes sont employés.
- Une filtration optimisée est cruciale pour la qualité de l'eau et la croissance des plantes.
- L'aération maintient un niveau d'oxygène approprié dans le système.
- L'amélioration continue de la circulation de l'eau est nécessaire.
- Maintenance de la qualité de l'eau adaptée aux besoins des plantes et des poissons.
- Adaptabilité du système à différentes échelles de production.
- Possibilité d'automatisation selon l'échelle de production pour améliorer l'efficacité.
- Utilisation de dispositifs de sécurité électrique pour assurer la sûreté.
- Dimensionnement spécifique de la maquette pour respecter les limitations d'espace.

IV.2.3. Cahier de charge

le cahier des charges de la serre aquaponique NFT avec Arduino doit prendre en compte les spécifications techniques et les contraintes de fonctionnement du système, ainsi que les stratégies de gestion et de contrôle du système pour assurer son bon fonctionnement et sa productivité.

IV.2.4. Matériel utilisé dans ce projet

				
Tube PVC Ø 80	Tube PVC Ø 32	Réduction PVC 80/40	Reduction PVC 40/32	Coude 90° PVC 32 Ø
				
Monchon PVC Ø 80	Collier PVC Ø 80	Colle PVC		

IV.2.5. Conception du module de base (structure)

Avant la réalisation de notre module de base on doit tout d'abord faire une conception qui aboutira à:

- Un schéma technologique du module.
- Une liste des composants essentiels pour la réalisation de Ce module.
- Un schéma électrique de toute l'installation.
- Une configuration de l'instrumentation.

Cette conception est basée sur le cahier des charges et les connaissances acquises dans les précédents chapitres.

L'état de l'art de maquette présenté dans la recherche bibliographique ainsi que l'étude des différents composants de base et équipements annexes des installations de production des plantes, étudiés dans ce mémoire, nous a permis de donner une première configuration de notre module de base. Cette configuration est représentée à la (figure 4.1).

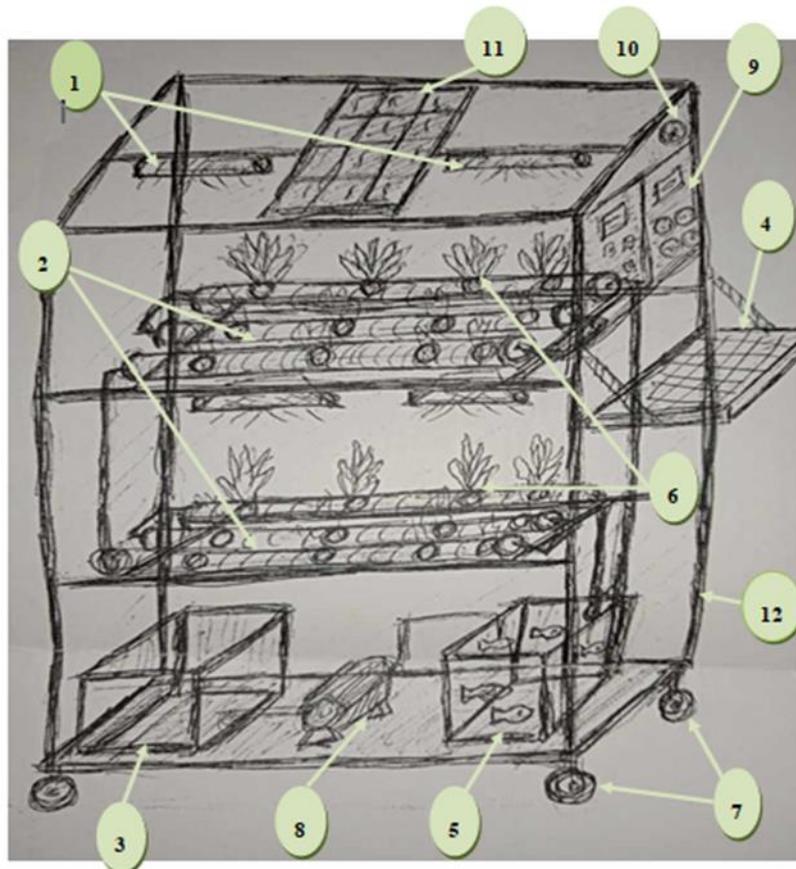


Figure IV. 1 : Schéma technologique du maquette de système NFT

Le schéma de la figure 1 représente la configuration du module de base (unité de production d'eau glacée). Il nécessite pour sa réalisation les composants essentiels suivants:

- ✓ Les lampes (1).
- ✓ Un Tube PVC Ø 80 (2).
- ✓ Un réservoir de l'eau (3).
- ✓ Table pour PC (4).
- ✓ Un bassin de Poisson (5).
- ✓ Les plantes (6).
- ✓ Les roues (7).
- ✓ Un pompe à eau (8).
- ✓ Tableau électrique (9)
- ✓ Deux ventilateurs (10).
- ✓ Les panneaux solaires (11).
- ✓ Un maquette (12).

IV.3 Conception et réalisation de système aquaponique de film nutritif

IV.3.1. La maquette

a. La conception de la maquette

Le dernier dessin de notre maquette est illustré dans la (Figure 4.2)

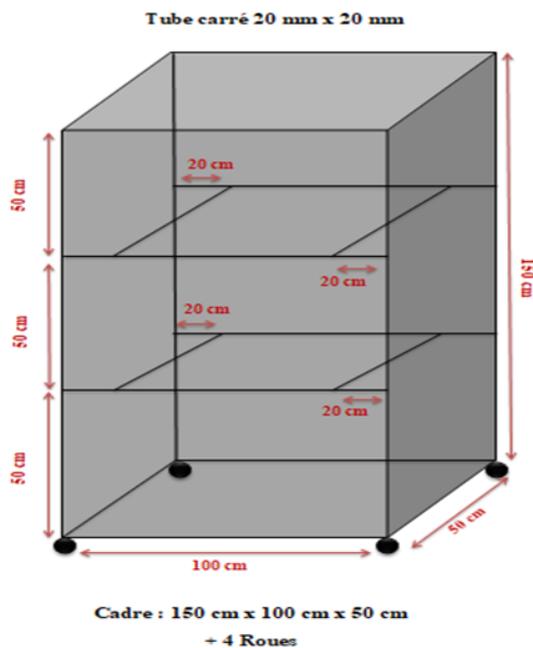


Figure IV. 2: Photo de notre maquette

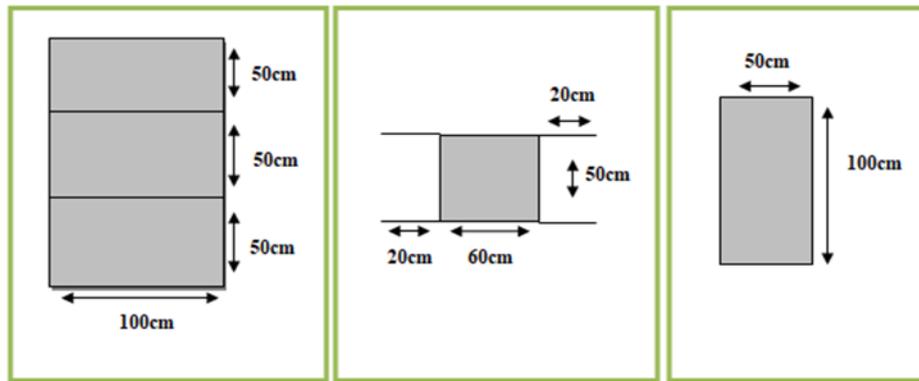


Figure IV. 3: Dessin du modèle de projet

b. Réalisation de la maquette

Réalisation d'une maquette didactique de serre aquaponique automatisée avec Arduino utilisant la technique du film nutritif (N.F.T).

Voici un guide détaillé pour la création de votre maquette didactique:

- Structure de la serre: Tubes en fer (150cm x 100m).
- Réalisation de la structure:
 - Découpe et Assemblage: coupez les tubes de fer carré (1.5 m, 1 m, 0.5m).
 - Assemblez les tubes pour former le cadre de la serre et soudez-les pour assurer une bonne stabilité.

Installation des Roues: Percer quatre trous aux coins de la structure pour fixer les roues à l'aide de boulons.



Figure IV. 4 : Réalisation de la maquette

IV.3.2. Installation du système tuyère PVC

Dans le cadre de ce système, des gouttières en PVC sont utilisées pour permettre le cheminement du film nutritif. Il est recommandé d'installer ces gouttières de manière inclinée sur le cadre, facilitant ainsi l'écoulement du film nutritif. Les extrémités des gouttières doivent être connectées au réservoir de solution nutritive. Il est impératif de s'assurer que la solution retourne correctement au réservoir après avoir traversé les gouttières, garantissant ainsi un cycle de circulation adéquat de la solution nutritive.

a. Réalisation

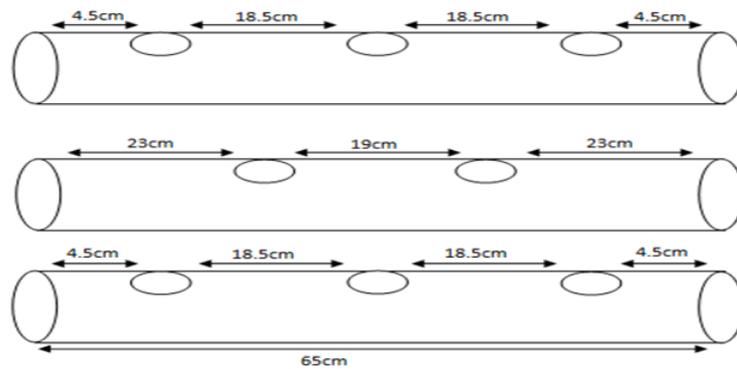
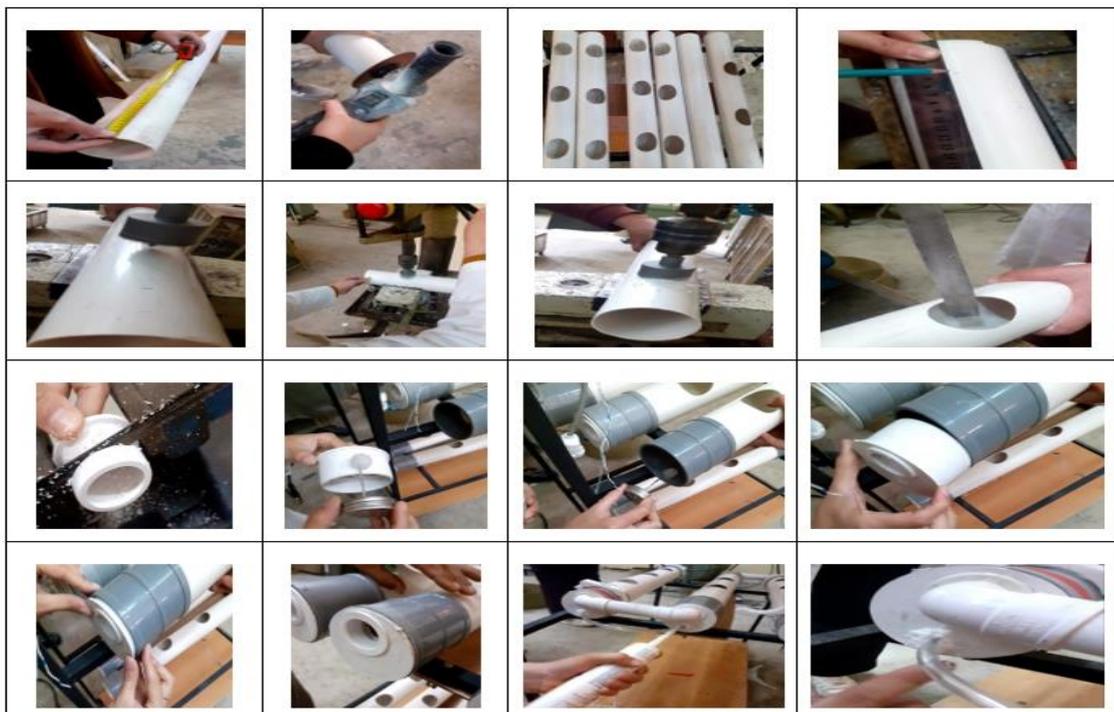


Figure IV. 5: conception de système tuyère PVC.

Dans cette étape, nous allons procéder à la conception et à la découpe précise des modèles en PVC pour les intégrer dans le système de film nutritif NFT.

Tableau IV. 1: Réalisation de différents composants du PVC de système NFT



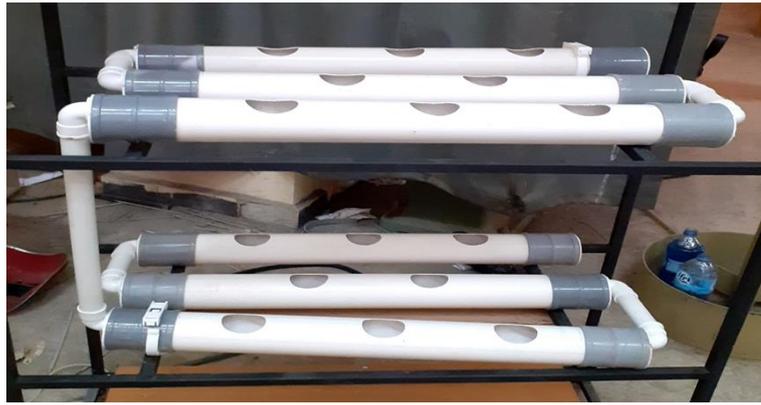


Figure IV. 6 : Photo finale de l'installation de tuyère PVC

IV.3.3 Problème dans le circuit hydraulique (fuite d'eau dans les tubes PVC)

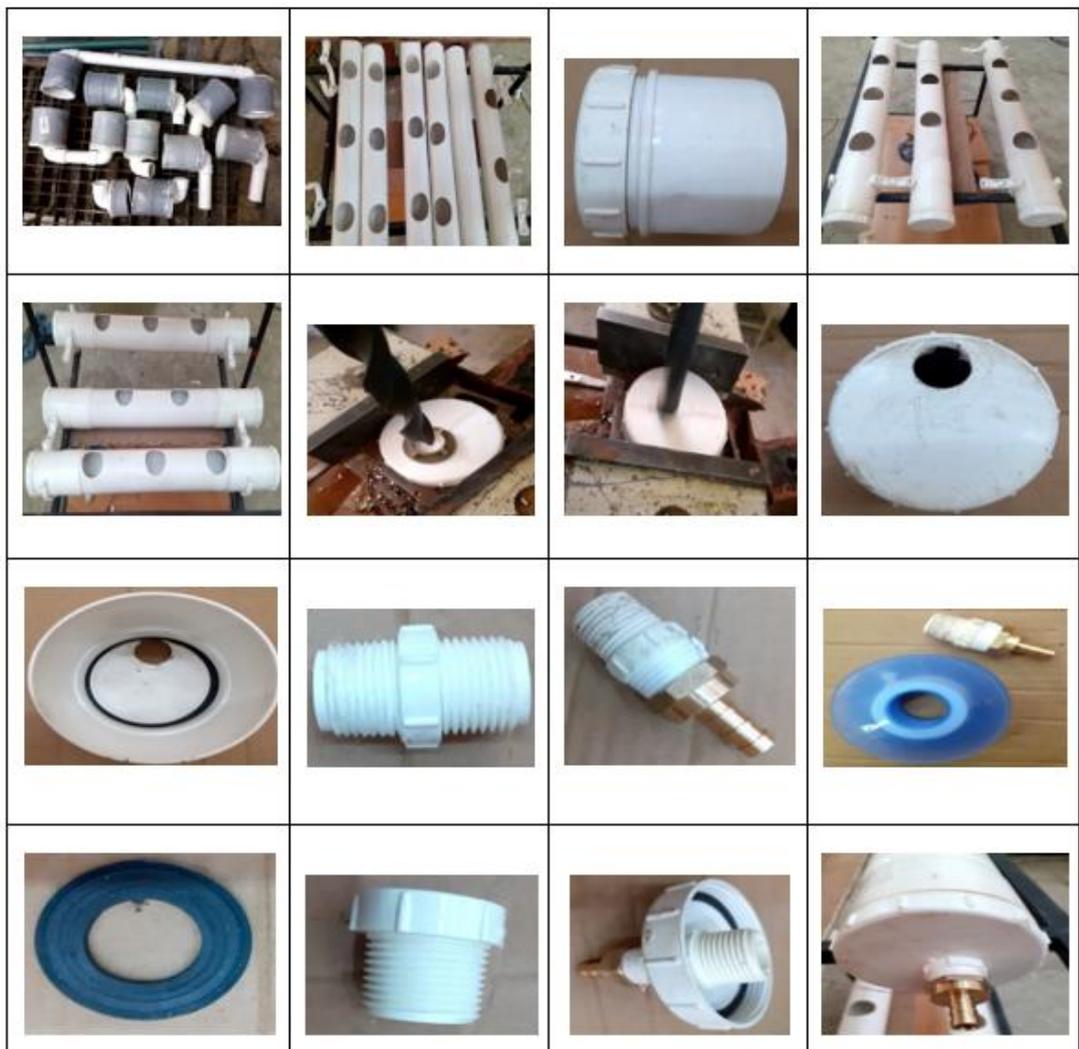


Tableau IV. 2 : changement des composants (fuite d'eau dans les tubes PVC)**Tableau IV. 3:** les outils utilisés dans la fabrication du système aquaponique

Elements	Utilisation de l'élément
Une vanne	Régler le débit de l'eau
Colle PVC	coller les manchants aux tuyaux et éviter tout les fuites
Ruban TIFLON	éviter tout les fuites de l'eau
Papier verte	Pour gratter les tuyères PVC
Chignole électrique	faire des trous sur le système NFT
Tuyau PVC et quelque type de tuyau	Fabriquer le film nutritif et raccorder l'eau au bac
Tronçonneuse électrique	couper le tuyau PVC
Mètre	Utilisé pour mesuré la longueur de tuyaux PVC

IV.4 Alimentation électrique du banc experiment

Dans ce partie on va représenter les composants que nous avons utilisés dans notre réalisation:

IV.4.1 Tableau électrique

Le tableau électrique dans un système de film nutritif aquaponique est un dispositif qui contrôle et distribue l'électricité aux différents composants du système. Voici une explication simple de ses éléments:

1. Tableau électrique en bois (50cm*25cm)



Figure IV. 7: Tableau électrique de bois

2. La boîte Disjoncteur

La "boîte Disjoncteur" dans les installations électriques. Elle protège les circuits électriques contre les surintensités et les courts-circuits, assurant la sécurité de l'installation. Les boîtes pré-équipées simplifient l'installation en incluant déjà des interrupteurs et des disjoncteurs différentiels.



Figure IV. 8: l'installation de boîte disjoncteur

3. Le disjoncteur

Le disjoncteur est un dispositif de protection électrique qui détecte les surcharges et les courts-circuits dans un circuit électrique. Lorsqu'une surcharge ou un court-circuit est détecté, le disjoncteur interrompt immédiatement le flux de courant pour éviter les dommages aux équipements et réduire les risques d'incendie. Certains disjoncteurs peuvent être réarmés après résolution du problème.



Figure IV. 9: photo de disjoncteur.

➤ **La caractéristique de disjoncteur**

- Tension nominale : 220V
- Courant nominal : 10 ampères (10A)
- Pouvoir de coupure : généralement entre 4,5kA et 6kA
- Nombre de pôles : 1 pôle + neutre (1P+N) ou 3 pôles + neutre (3P+N)
- Montage : modulaire, occupant 1 module de 18mm dans le tableau électrique

4. Prise de courant (*2) 220V

Les prises de courant 220V sont des dispositifs électriques permettant de brancher des appareils électriques sur un circuit alimenté en courant alternatif 220V.



Figure IV. 10 : photo de l'installation de prise courant.

➤ **Les caractéristique de prise du courant**

- Tension nominale : 220V
- Configuration des pôles : 2P+T ou 3P+T
- Les prises peuvent être soit bipolaires avec terre (2P+T), soit tripolaires avec terre (3P+T).
- Courant nominal : généralement 16A ou 20A
- Les sources mentionnent des prises de courant 220V avec des courants nominaux de 16A ou 20A.
- Montage : encastré, en saillie ou en goulotte
- Formats standards : 45x45mm, 80x80mm

5. voyant électrique rouge (*2) 220V

Un voyant électrique rouge de 220V est simplement une petite lumière rouge qui s'allume lorsque l'électricité passe à travers elle. C'est comme un témoin lumineux qui vous dit quand un appareil est allumé ou qu'un circuit électrique fonctionne.



Figure IV. 11: photo de l'installation de voyant électrique

6. adaptateur 12V

Un adaptateur 12V est un dispositif électrique conçu pour convertir une tension d'alimentation électrique en une tension de 12 volts. Il permet de faire fonctionner des appareils ou équipements nécessitant une alimentation de 12V à partir d'une source d'alimentation secteur standard.



Figure IV. 12: Adaptateur

➤ **Les caractéristiques**

- Tension d'entrée : Généralement 100-240V AC (courant alternatif)
- Tension de sortie : 12V DC (courant continu)
- Courant de sortie : Varie selon les modèles, souvent entre 1A et 5A
- Connectique : Différents types de connecteurs de sortie (ex : prise ronde, prise carrée, etc.)
- Utilisation : Alimenter des appareils électroniques, recharger des batteries, etc.

IV.4.2 Support pour Ventilateurs

Étude expérimentale du Tableau de Ventilateur 12V DC pour optimiser la circulation d'air: Une analyse des performances, débit d'air et consommation d'énergie.

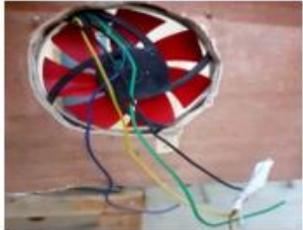


Figure IV. 13 : ventilateur 12V DC

➤ **Les caractéristiques des ventilateurs**

- Fonctionnement sous tension de 12V DC.
- Tailles courantes: 30x30x10mm, 50x50x10mm, 80x80x20mm, 80x80x25mm.
- Débit d'air variable selon la taille, par exemple, 1.56W pour 80x80x20mm et 1.9CFM pour 30x30x10mm.
- Plage de température de fonctionnement de 20°C à +75°C pour les modèles axiaux.
- Connexions électriques via des fils de 300mm ou un connecteur JST XH.
- Consommation électrique dépendante de la taille, par exemple, 90mA pour 30x30x10mm et 0.13A pour 80x80x20mm.

Tableau IV. 4: installation tableau électrique de ventilateur 12v DC

 <p>Découpe sécurisée de bois : tronçonneuse électrique</p>	 <p>la précise perforation du tableau par un perceur électrique pour installer deux ventilateurs, évaluant l'efficacité du processus de montage</p>	 <p>tableau de ventilateur (50cm*16cm)</p>
		
		

IV.4.3 Installations les lampes (Ruban Led)

Comprendre la lampe LED Samsung DC-12V 1.5W implique plusieurs aspects scientifiques. Elle fonctionne par conversion de l'énergie électrique en lumière à travers un semi-conducteur. Sa conception inclut des puces semi-conductrices, des connecteurs électriques et des dissipateurs thermiques pour la dissipation de la chaleur. Son efficacité énergétique est évaluée en comparant l'énergie électrique convertie en lumière à l'énergie totale consommée. Ses caractéristiques électriques comprennent une tension de fonctionnement de 12 volts et un courant évalué à 1.5 watts.

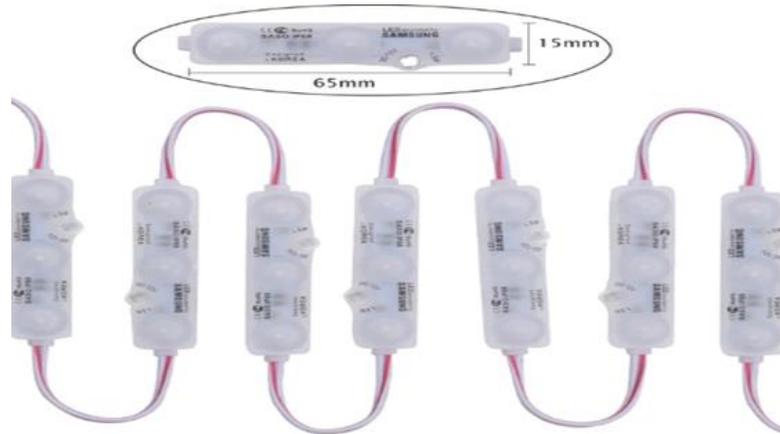


Figure IV. 14 : lampe Led Samsung DC-12V 1.5W.

➤ **Les caractéristiques la lampe Led DC-12V 1.5W**

La lampe LED DC-12V 1.5W présente plusieurs caractéristiques distinctes:

- Alimentée par une tension de 12V en courant continu.
- D'une puissance de 1.5W, elle offre un flux lumineux variant entre 120 et 150 lumens selon le modèle.
- Disponible dans différentes températures de couleur avec un angle de faisceau ajustable entre 120° et 180°, pour une répartition uniforme de la lumière.
- Sa durée de vie s'étend de 25 000 à 50 000 heures, garantissant une solution durable et économique.

Tableau IV. 5: Installation Les lampes Samsung Led DC-12V



- Sa haute efficacité énergétique, son indice de rendu des couleurs supérieur à 80 et ses matériaux de construction de qualité en font un choix optimal pour de nombreuses applications, telles que l'éclairage domestique, commercial, de véhicules, solaire et les projets de bricolage.

IV.4.4 Installation table commande et Arduino

L'installation de la table de commande et Arduino est un système électronique utilisant une carte Arduino pour contrôler divers appareils. Elle remplace l'afficheur LCD par la carte Arduino, des relais et des borniers de connexion. Cette installation permet un contrôle précis des équipements électroniques. La table de commande mesure 28,5 cm * 28,5 cm et est dotée d'une plaque de plexiglas transparente de 29 cm * 15 cm. Elle offre une solution polyvalente pour différentes applications.

a. Ecran (I2C-LCD TWI 2004)

Ceci est un grand écran LCD compatible avec les modules Gadgetière de DFRobot, avec des ressources de broches limitées. Ce module LCD d'interface I2C nous permet

d'afficher les informations que par 2 lignes I2C. L'adresse peut être définie à partir de 0x20-0x27.

➤ **Les Caractéristiques**

- Adresse I2C : 0x20-0x27 (0x20 par défaut)
- Rétro-éclairé : (bleu avec couleur char blanc)
- Tension alimentation : 5V
- Interface: I2C / TWI x1, interface Gadgeteer x2
- Contraste ajustable

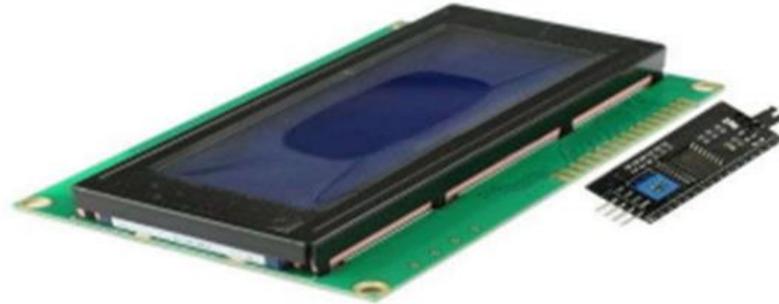


Figure IV. 15: Ecran LCD-I2C (20x4).

- Schéma électrique de branchement Afficheur LCD avec Arduino

b. Arduino Mega 2560

L'installation de l'Arduino Mega 2560 sur la table de commande implique la fixation de la carte Arduino Mega 2560 sur la surface de la table de commande. Cette installation nécessite généralement des Vis ou d'autres fixations sécurisées pour maintenir la carte en place de manière stable. Une fois installée, la carte Arduino Mega 2560 peut être connectée aux autres composants de l'installation, tels que les relais et les dispositifs de commande, via des câbles ou des borniers de connexion. Cette configuration permet à la carte Arduino de fonctionner comme le cerveau de l'installation, traitant les instructions et contrôlant les différents dispositifs électroniques connectés.

➤ **Les caractéristiques**

- Microcontrôleur ATmega 2560: Doté d'un processeur AVR fonctionnant à 16 MHz avec 256 Ko de mémoire flash, 8 Ko de SRAM et 4 Ko d'EEPROM.
- Nombre important de broches d'E/S: Avec 54 broches numériques, dont 15 supportent la modulation PWM et 16 entrées analogiques.
- Connectivité USB: Intégrant un port USB pour la programmation et la communication série avec un ordinateur.
- Compatibilité avec divers périphériques: Permettant la connexion à une variété de capteurs, actionneurs et périphériques électroniques grâce à ses nombreuses broches d'E/S.
- Extensions (Shields): Compatible avec un large éventail de "shields" pour étendre ses fonctionnalités, comme le Wi-Fi, l'Ethernet, le GPS, etc.
- Alimentation: Peut être alimenté via USB ou une source externe avec une tension recommandée de 7 à 12 volts.
- Interfaces de communication: Offrant plusieurs interfaces telles que UART, SPI et I2C pour la communication avec d'autres périphériques.

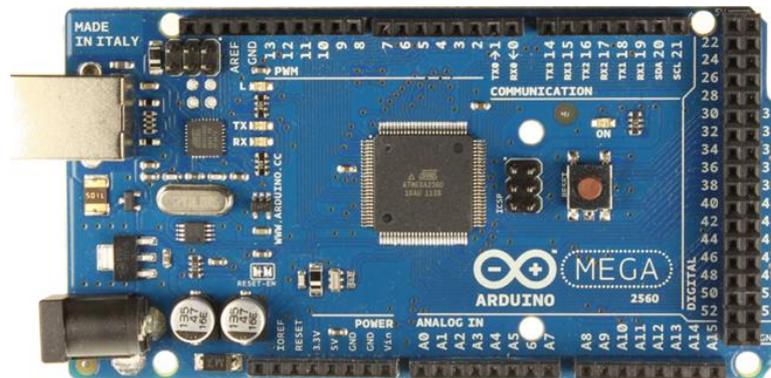


Figure IV. 16: Arduino Mega 2560.

c. Relais

Le module de relais à 4 canaux avec accouplement léger 5V est un dispositif électronique utilisé pour contrôler des charges électriques à haute puissance à l'aide de signaux de basse tension. Voici ses caractéristiques principales:

- Nombre de canaux: Le module dispose de quatre canaux de relais indépendants, ce qui permet de contrôler jusqu'à quatre charges électriques séparées.
- Tension de commande: Il fonctionne avec une tension de commande de 5V, ce qui le rend compatible avec de nombreux microcontrôleurs et cartes de développement, y compris l'Arduino.
- Accouplement léger (Opto-coupleur): Chaque canal de relais est généralement isolé électriquement du circuit de commande à l'aide d'un accouplement léger (opto-coupleur), ce qui garantit une isolation électrique et une protection contre les surtensions.
- Compatibilité avec les charges électriques: Le module peut être utilisé pour contrôler une variété de charges électriques telles que des lampes, des moteurs, des solénoïdes, etc., tant que la tension et le courant admissibles sont respectés.
- Interface de commande: Chaque canal de relais est généralement contrôlé par un signal logique de niveau bas (0V) ou haut (+5V), ce qui le rend facile à intégrer dans des systèmes électroniques.

Afin de contrôler chaque appareil nous avons utilisés 4 modules de sortie relais, contacts de sortie relais Maximum 250A 10A. Entrée IN1, IN2, IN3, IN4, ligne de signal faible active. La puissance d'entrée de la source d'alimentation VCC, GND seule peut relayer l'entrée d'alimentation du relais JD-VCC.

Taille du module: 10.30cm * 5.27cm



Figure IV. 17: module de relais à 4 canaux avec accouplement léger 5V

d. Câble de liaison (Jumper wire)

Être utilisé pour le projet électronique et la maquette. Compatible avec les en-têtes d'espacement de 2, 54 mm.

➤ Les caractéristiques de câble de liaison

- Cet ensemble de fils de raccordement multicolores convient à de nombreux projets Arduino est facile à connecter et à utiliser.
- Longueur 20-30 cm (8 pouces).
- Jumper Wire cavalier câble connecteurs mâle/mâle, femelle/femelle, mâle/femelle et sont compatibles avec les connecteurs à broches droites de 2, 54 mm.



Figure IV. 18: câble connecteurs (mâle/mâle) et (femelle /mâle) et (femelle / femelle)

e. Câble USB Type A/B

Ce câble USB est nécessaire pour connecter facilement en USB les cartes Arduino suivantes:

- Arduino Duemilanove
- Arduino UNO
- Arduino MEGA 2560
- Arduino ADK
- Mini-USB Adaptateur



Figure IV. 19: Câble USB Type A/B.

f. Dominos électriques

Figure IV. 20: domino électrique.

➤ Les Caractéristiques:

- Matériaux de construction: Plastique isolant renforcé de fibres.
- Capacité de connexion: Variabilité des tailles et capacités en fonction des diamètres des fils.
- Conception: Ressort interne ou Vis pour maintenir les fils en place.
- Indicateurs de couleur: Aide à l'identification des connexions.
- Isolation et sécurité: Prévention des courts-circuits et risques d'électrocution.
- Compatibilité: Adaptabilité à une variété de fils électriques.
- Normes de sécurité: Conformité aux normes CE ou UL pour la fiabilité et la sécurité.

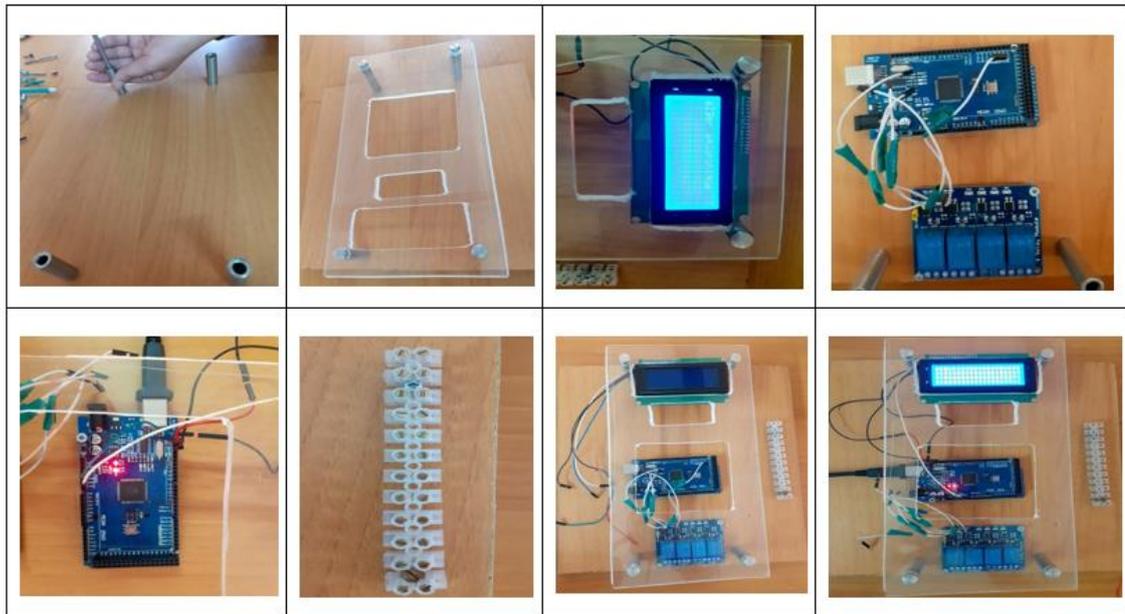


Tableau IV. 6 : installation tableau électrique sur le maquette

g. Les câbles

Les câbles sont des ensembles de fils conducteurs protégés par une gaine. Ils servent à connecter divers composants et peuvent transporter à la fois de l'énergie électrique et des données. Dans notre projet, nous utilisons différents types de câbles tels que les câbles d'alimentation, les câbles d'antenne et les câbles USB pour fournir de l'énergie et permettre la transmission de données entre les composants. Chaque type de câble a ses propres spécifications et modèles, offrant une flexibilité dans le choix des composants pour notre projet.

IV.4.5. La connexion entre les capteurs et la carte Arduino

- Comprendre le capteur: Savoir quel type de capteur vous utilisez et comment il communique.
- Alimentation: Assurer une alimentation adéquate au capteur, soit via la carte Arduino soit avec une source externe.
- Connexion des broches: Relier les broches du capteur aux broches correspondantes de la carte Arduino en utilisant des câbles.
- Programmation: Écrire un code Arduino pour lire les données du capteur et les utiliser dans votre projet.

- Test et débogage: Téléverser votre code, tester le fonctionnement du capteur et déboguer si nécessaire.

IV.4.6 Les circuits hydrauliques du banc expérimental

1. Pompe à air RS-348A

La pompe à air RS-348A utilise la compression de l'air pour créer un flux d'air dirigé. Un mécanisme interne comprime l'air dans une chambre, créant un vide partiel qui attire l'air ambiant. Ce mouvement produit un flux d'air unidirectionnel, utile dans diverses applications telles que l'aération des aquariums ou la ventilation des espaces clos.



Figure IV. 21: Pompe à air RS-348A

➤ Caractéristiques de la Pompe à Air RS-348A

- Tension d'Alimentation : 220-240V AC, 50/60Hz (peut varier selon les versions destinées à différents marchés).

2. Pompe à eau DC 12V

La "Pompe à eau DC 12V" est une pompe à eau alimentée en courant continu (DC) avec une tension nominale de 12 volts.



Figure IV. 22: Pompe à eau DC 12V.

3. Réservoir de l'eau et le bac de l'Aquarium

Le système NFT combine un réservoir d'eau de 25 cm * 25 cm avec un aquarium de 30 cm * 25 cm pour une culture hydroponique efficace. Le réservoir stocke une solution nutritive pour les plantes, tandis que les déchets des poissons enrichissent l'eau de l'aquarium. Une pompe circule l'eau enrichie vers les plantes dans les canaux. Les racines absorbent les nutriments, et l'eau retourne à l'aquarium, créant un écosystème bénéfique pour les plantes et les poissons.



Figure IV. 23: Réservoir d'eau et le banc de poisson

4. Conception et réalisations du système de distributeur de nourriture de poisson

Dans une serre aquaponique automatisée, le distributeur de nourriture pour poissons est un élément clé. Il détecte quand les poissons ont besoin de manger et distribue la nourriture en conséquence. Le distributeur est conçu pour être facilement entretenu et ajusté selon les besoins de l'écosystème. En résumé, il garantit que les poissons reçoivent la bonne quantité de nourriture au bon moment, ce qui contribue à maintenir l'équilibre de la serre aquaponique.



Tableau IV. 7 : l'installation de le distributeur de nourriture.

5. Planter les plantes



6. Tableaux des conditions if

Pour la gestion automatisée à base d'Arduino d'une serre aquaponique utilisant la technique du Film Nutritif (N.F.T), voici un tableau des conditions « if » possibles :

Condition	Action souhaitée
Si la température de l'eau est élevée	Activer la ventilation ou refroidir l'eau
Si la température de l'eau est basse	Activer le chauffage
Si le niveau d'eau est bas	Activer la pompe de remplissage
Si l'humidité du sol est faible	Activer l'arrosage automatique
Si l'humidité du sol est élevée	Désactiver l'arrosage automatique
Si la luminosité est faible	Activer l'éclairage
Si la luminosité est excessive	Désactiver ou réduire l'éclairage

7. tableau simplifié des données et des conditions IF

Voici un tableau simplifié des données et des conditions IF correspondantes pour la gestion automatisée d'une serre aquaponique utilisant Arduino et la technique du Film Nutritif (N.F.T) :

Capteur / Donnée	Actions / Sorties	Conditions IF
Capteur de niveau d'eau	Pompe à eau	Si le niveau d'eau est bas, activer la pompe à eau
Capteur de température	Ventilateurs / Chauffage	Si la température dépasse / est inférieure à la plage optimale, allumer/éteindre les ventilateurs/le chauffage
Capteur d'humidité du sol	Système d'irrigation	Si l'humidité du sol est trop basse, activer le système d'irrigation
Capteur de luminosité	Éclairage	Si la luminosité est en deçà du seuil nécessaire, allumer l'éclairage
Capteur de niveau de nutriments	Alimentation en nutriments	Si le niveau de nutriments est bas, ajouter des nutriments

IV.5 Conclusion

La conception et la réalisation d'une serre aquaponique avec système N.F.T et gestion automatisée par Arduino représentent une avancée clé vers une agriculture durable. Ce projet intègre un circuit hydraulique unique, divers supports de culture, une filtration optimisée et des stratégies écologiques de gestion thermique et de lutte contre les ravageurs. Il vise à maximiser la croissance des plantes et à maintenir un environnement sain pour les poissons, tout en promouvant l'efficacité et la durabilité des pratiques agricoles modernes.

Conclusion générale

La "Gestion Automatisée à Base d'Arduino d'une Serre Aquaponique Utilisant la Technique Du Film Nutritif (N.F.T) : Conception et Réalisation d'une Maquette Didactique" pourrait être formulée comme suit :

Ce mémoire a exploré les défis et les opportunités de concevoir et de réaliser une maquette didactique d'une serre aquaponique utilisant la technique du film nutritif (N.F.T) et gérée automatiquement à l'aide d'Arduino. Nous avons commencé par introduire le concept de l'aquaponie et l'importance de l'automatisation dans la gestion des serres, mettant en évidence les avantages potentiels d'une telle approche pour l'agriculture urbaine et durable.

Ensuite, nous avons présenté notre méthodologie de conception et de mise en œuvre, détaillant les étapes nécessaires pour intégrer les composants matériels et logiciels, et pour tester et valider le fonctionnement de la maquette didactique. Les résultats ont démontré la faisabilité de notre approche et ont mis en lumière les avantages de l'utilisation d'Arduino pour automatiser les tâches de surveillance et de contrôle dans une serre aquaponique.

En conclusion, ce mémoire a contribué à enrichir les connaissances dans le domaine de l'aquaponie et de l'automatisation agricole, en proposant une solution pratique et éducative pour sensibiliser les étudiants et les professionnels aux principes et aux technologies émergentes dans ce domaine. Des perspectives d'avenir incluent l'optimisation continue de la maquette didactique, ainsi que des recherches supplémentaires sur l'application de l'automatisation dans les systèmes agricoles innovants.

Les références des chapitres

- [1] <https://aquaponie.net/aquaponie-definition/>
- [2] <https://www.britannica.com/technology/aquaponics>
- [3] <https://www.guidedesespeces.org/fr/aquaculture-et-impacts-sur-lenvironnement>
- [4] <https://ndundaaquaponics.com/2021/06/13/les-avantages-de-laquaponie/>
- [5] <https://www.ecohabitation.com/guides/3258/laquaponie-domestique-un-systeme-en-symbiose-ou-tout-se-transforme-et-rien-ne-se-perd/>
- [6] FAO DOCUMENT TECHNIQUE SUR LES PÊCHES ET L'AQUACULTURE
Production alimentaire aquaponique à petite échelle Élevage intégré de poissons et de plantes
ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE Rome, 2023 FAO DOCUMENT TECHNIQUE SUR LES PÊCHES ET L'AQUACULTURE 589 Citer comme suit: Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. et Lovatelli, A. 2023. Production alimentaire aquaponique à petite échelle - Élevage intégré de poissons et de plantes. FAO Document technique sur les pêches et l'aquaculture no 589. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/i4021fr>
- [7] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/13005/1/Ms.Eln.Bouhenni%2BChabani.pdf>
- [8] <http://www.debuterlaquaponie.com/guides-aquaponie/composants-systeme-aquaponique>
- [9] <https://learn.farmhub.ag/fr/resources/small-scale-aquaponic-food-production/4-design-of-aquaponic-units/composants-essentiels-dune-unite-aquaponique/>
- [10] <https://aquapouss.fr/blogs/infos/les-substrats-de-culture-en-aquaponie>
- [11] <https://aquaponie.net/quelle-eau-utiliser-pour-mon-systeme/>
- [12] <https://www.unitheque.com/UploadFile/DocumentPDF/9782379221033-aquaponie-pratique-extrait.pdf>

[13] <http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/13005/1/Ms.Eln.Bouhenni%2BChabani.pdf>

[14] https://fr.wikipedia.org/wiki/Panneau_photovolta%C3%AFque_thermique

[15] https://www.myshop-solaire.com/quel-regulateur-solaire-choisir-pwm-ou-mppt-_r_80_a_183.html

[16] <https://www.hellowatt.fr/panneaux-solaires-photovoltaiques/batterie>

Bouhenni K. et Chabani R., 2018. Réalisation d'une micro-ferme aquaponique et développement d'une application de gestion commerciale pour les projets d'aquaponie. Université Aboubekr Bel kaid (wilaya de Tlemcen).

Darfeuille B., 2015. L'aquaponie, une association vertueuse des poissons et des végétaux en eau douce : synthèse technique, économique, et réglementaire. **Projet APIVA.**

FARADJI S. & MAAMRI S., 2013. Évaluation de la reproduction et la croissance chez tilapia du Nil *Oreochromis Niloticus* dans un milieu contrôlé au niveau de CNRDPA. (Hassi ben abdallâh-Ouargla).

Houhou M., 2014. Étude comparative de l'impact des huiles essentielles du Romarin et deux fongicides sur le développement de la salade (*Lactuca sativa*. L).

Hounsa P., 2019. Évaluation de la performance d'un système aquaponique simple pour la production de tilapia et de légumes (Laitue et Amarante) au Bénin. Université de Liège Gembloux Agro bio-tech.

Kestemont P. MICHA J.C. & FALTER, U., 2003. Les Méthodes de Production d'Alevins de Tilapia *Nilotica*. Biologie de Tilapia nilotica.

La fédération française d'aquaponie. 2019. Les avantages de la culture aquaponique. [en ligne]. www.federationfrancaiseaquaponie.com.

Love D.C. Fry J.P. Li X. Hill E.S. Genello L. Semmens K. et Thompson R.E., 2015. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435, 67-74.

Stalport B., 2017. Modélisation et développement d'un système aquaponique avec surveillance métrologique pour l'étude du cycle de l'azote. Mémoire de master bio ingénieur en sciences et technologies de l'environnement, faculté de Gembloux Agro-Bio Tech. 88p.

Soares H. R. et al., 2015. Lettuce growth and water consumption in NFT hydroponic system using brackish water. Revista Brasileira d'Engenharia Agrícola et Ambiental.

[16] Y LAKHDARI, MY KACEMI, C AYACHE - 2022 - dspace.univ-temouchent.edu.dz. Simulation d'un capture numérique de Temperature à l'aide de Arduino Uno. Univ-temouchent.edu.dz

[17] ERIK BARTMANN, 2015 « le grand livre d'Arduino »

[18] ERIK BARTMANN, 2015 « le grand livre d'Arduino »

[19] <https://arduino-france.site/description-arduino-mega/>

[20] <https://www.moussasoft.com/comment-utiliser-relais-statique-avec-arduino> samedi 11 mars 2024

[21] <https://tutoduino.fr/tutoriels/controler-ventilateur-brushless-arduino/> samedi 11 mars 2024

[22] <https://www.robotique.tech/tutoriel/commander-une-pompe-a-eau-par-la-carte-arduino/> samedi 11 mars 2024

[23] <https://www.robot-maker.com/shop/moteurs-et-actionneurs/412-mini-pompe-a-air-dc45v-412.html> samedi 11 mars 2024

[24] https://arduino-france.site/ultrason-hc-sr04/#google_vignette 24 mars 2024

[25] <https://tutoduino.fr/en/beginners-corner/temperature-sensor/> 14 avril 2024

[26] <https://ledisrupteurdimensionnel.com/arduino/module-rtc-ds3231-horloge-en-temps-reel/> 12 mars 2024

[27] <https://arduino-france.site/sd-arduino/> 30 avril 2024

[28] <http://emery.claude.free.fr/arduino-capteur-temperature.html> 12 mars 2024

[29] <https://randomnerdtutorials.com/arduino-k-type-thermocouple-max6675/> 12 mars 2024

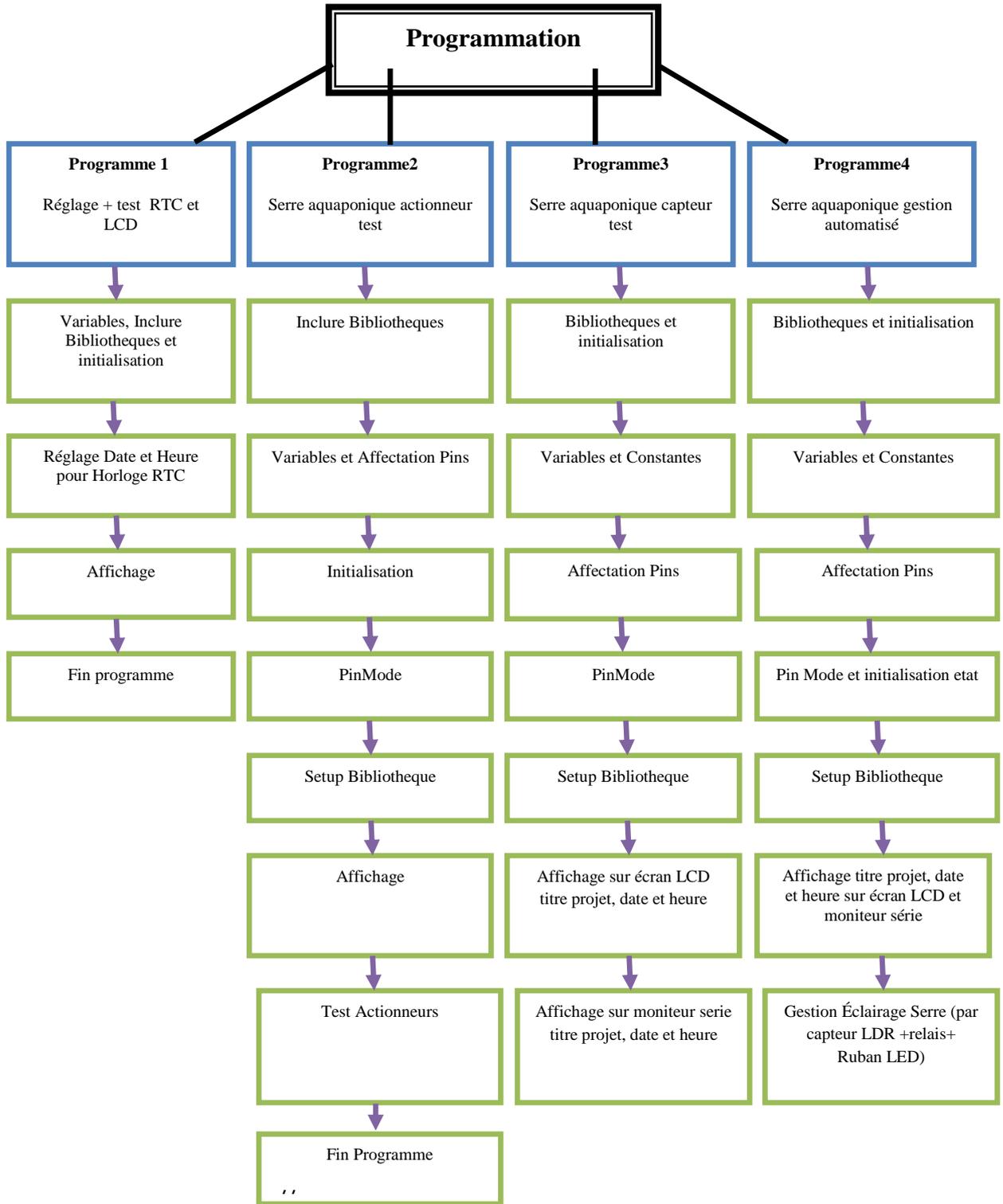
[30] <https://www.robotique.site/tutoriel/capteur-de-debit-deau-yf-s401/> 05 avril 2024

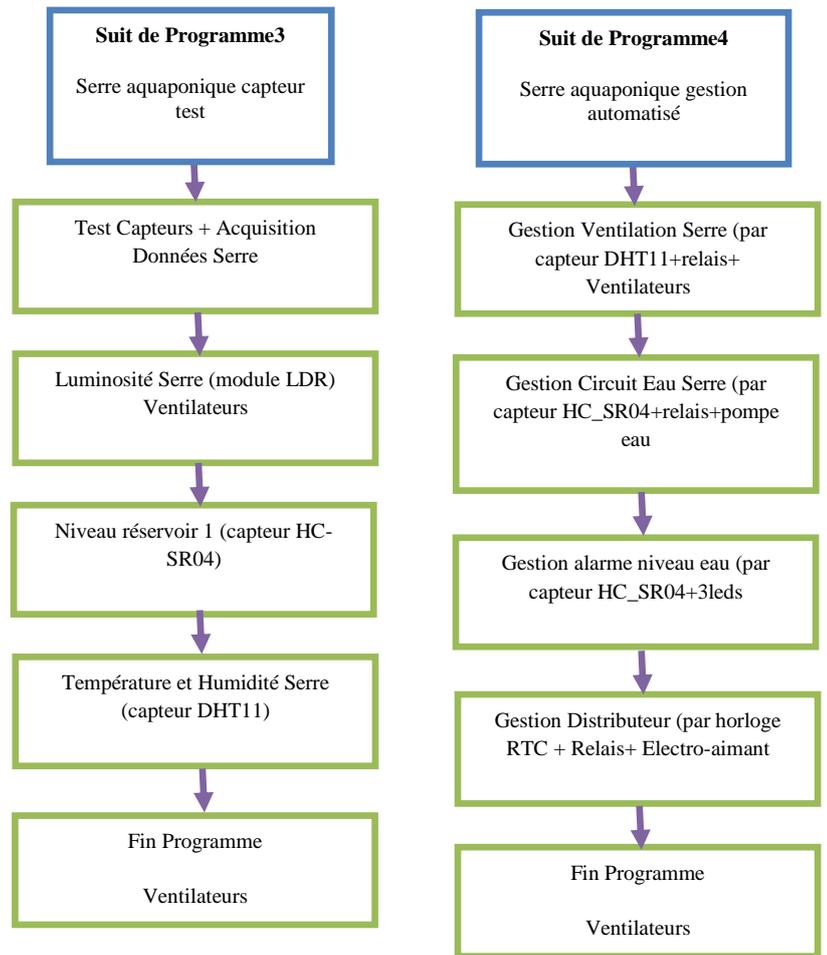
[31] <https://www.moussasoft.com/capteur-de-debit-deau-avec-arduino/> 05 avril 2024

[32] <https://www.helectro.net/product/capteur-dhumidite-du-sol-module-capacitif-hygrometre-v1-2-arduino-et-raspberry-pi/> 25 avril 2024

[33] <https://www.atrakeur.com/blog/diy/arduino-faire-fonctionner-un-capteur-de-niveau-deau/>250avril 2024

[34] <https://www.smart-cube.biz/produit/afficheur-lcd-i2c-16x02/>





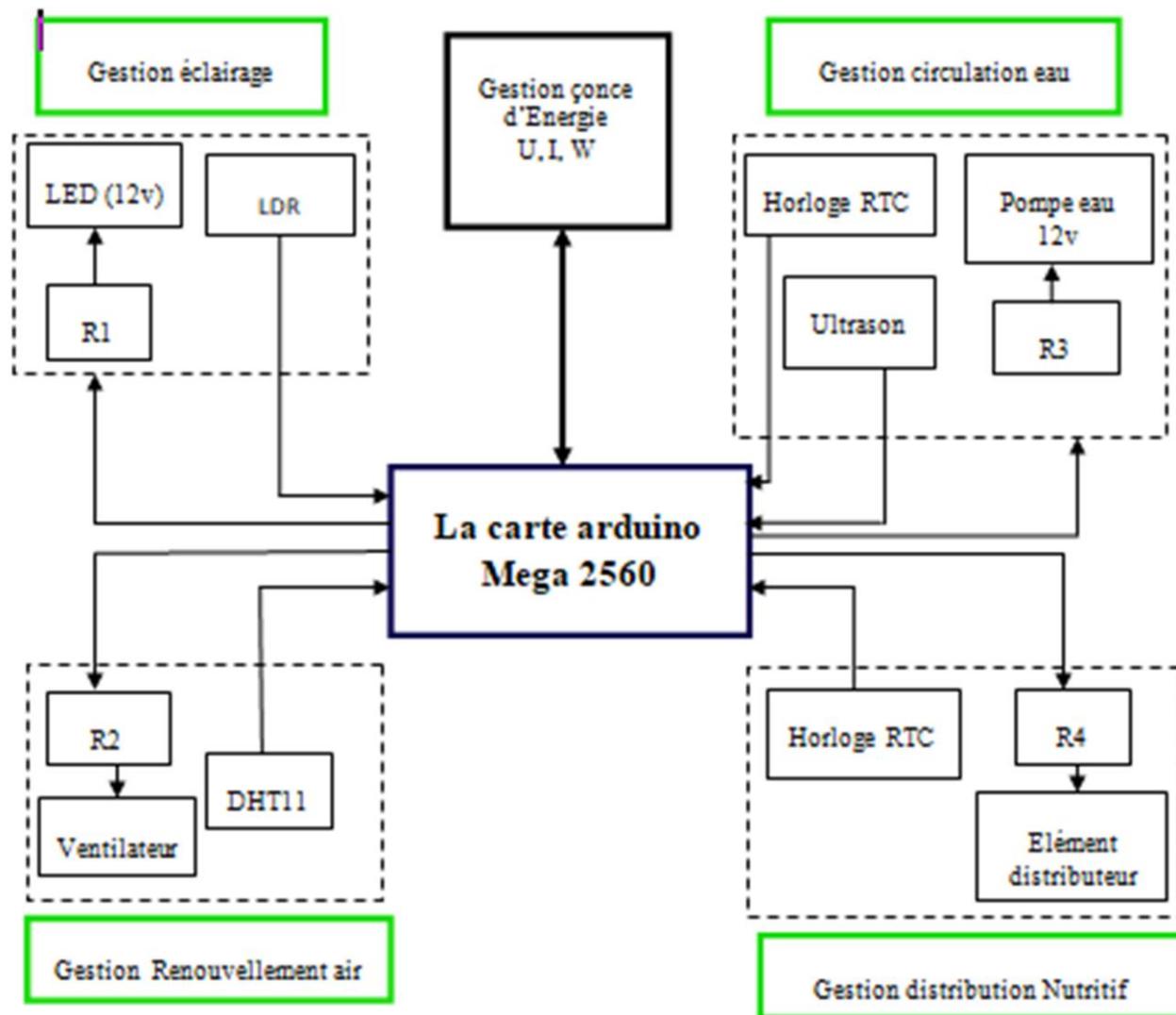


Schéma électrique gestion automatisée système aquaponique