République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Agronomie

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnel en Sciences Agronomiques

Spécialité : Technologies Avancées pour l'Agriculture de Précision

Thème

Prototype expérimental d'une mini serre aquaponique automatisée

Présenté par :

BENHALIMA Siham

DEBZA Amel

Soutenu publiquement: le 21/09/2023

Devant le jury :

Président : M. MAHIOUT Djamel	MCA	U. Mostaganem
Encadreur : Mme. BENOUDNINE Hadjira	Prof	U. Mostaganem
Examinateurs :		
M. ABED Mansour	MCA	U. Mostaganem
M. GHOMARI Sidi Mohammed	Prof	U. Mostaganem/U.Oran1

Résumé

L’aquaponie est une technique de production agricole qui combine l’élevage en aquaculture avec la culture en hydroponie et qui permet de diminuer l’impact environnemental en réduisant les besoins en eau et en nutriments. Les productions aquaponiques sont encore peu répandues parce que la technique est encore nouvelle et peu optimisée.

Ce projet de fin d’étude consiste à réaliser une mini serre aquaponique automatisé. L'objectif principal de notre projet est de créer un environnement favorable à la fois à l’élevage des poissons et à la culture de différentes plantes telles que les salades, tomates, persil, ….

Dans ce projet de fin d’étude, nous allons tester cette mini serre en utilisant les poissons du type TILAPIA et la culture de la tomate. L’accent sera mis sur le comportement des poissons et l’évolution des cultures sous le contrôle d’un système automatisé de collecte permanente des données telles que : le pH, la température, la teneur en nitrate et la dureté. Ses données nous informent sur la qualité de l’eau. Elles sont enregistrées ensuite régulièrement sur une carte mémoire. Une régulation et un réajustement des données sont automatiquement apportées en cas de dépassement des seuils admissibles.

Un système de régulation, collecte des données et traitement des données a été réalisé dont le noyau principal est le microcontrôleur Arduino.

L'automatisation de ces paramètres critiques dans la serre aquaponique présente de nombreux avantages. Tout d'abord, elle permet une surveillance continue et précise, éliminant ainsi le besoin d'une surveillance manuelle fréquente. Cela réduit considérablement le temps et les efforts nécessaires pour maintenir les conditions idéales pour les plantes et les poissons.

Mots clés : Arduino, aquaponie, système automatisé, tilapia

Abstract:

Aquaponics is an agricultural production technique that combines aquaculture breeding with hydroponic cultivation and which reduces environmental impact by reducing the need for water and nutrients. Aquaponic production is still not widespread because the technique is still new and not very optimized.

This end-of-study project consists of creating an automated mini aquaponic greenhouse. The main objective of our project is to create a favorable environment both for fish breeding and for the cultivation of different plants such as salads, tomatoes, parsley, etc.In this end-of-study project, we will test this mini greenhouse using TILAPIA type fish and tomato cultivation.

The emphasis will be placed on the behavior of fish and the evolution of crops under the control of an automated system for permanent collection of data such as: pH, temperature, nitrate content and hardness. Its data informs us about water quality. They are then recorded regularly on a memory card. Regulation and readjustment of data are automatically carried out if the admissible thresholds are exceeded.

A system for regulation, data collection and data processing has been created, the main core of which is the Arduino microcontroller.

There are many benefits to automating these critical parameters in the aquaponic greenhouse. First, it allows for continuous and accurate monitoring, eliminating the need for frequent manual monitoring. This significantly reduces the time and effort required to maintain ideal conditions for plants and fish.

Keywords: Arduino, aquaponics, automated system, tilapia

:خلاصة

اكوابوني هي تقنية إنتاج زراعي تجمع بين تربية الأحياء المائية والزراعة المائية مما يقلل من التأثير البيئي عن طريق غير منتشر على نطاق واسع لأن التقنية لا تزال جديدة اكوابوني تقليل الحاجة إلى الماء والمواد المغذية. لا يزال إنتاج .وغير محسنة بشكل كبير

اكوابوني صغيرة آلية. الهدف الرئيسي لمشروعنا هو خلق بيئة مواتية يتكون مشروع نهاية الدراسة هذا من إنشاء دفيئة .لتربية الأسماك وزراعة النباتات المختلفة مثل السلطة والطماطم والبقدونس وغيرها

في مشروع نهاية الدراسة هذا، سنقوم باختبار هذه الدفيئة الصغيرة باستخدام أسماك البلطي وزراعة الطماطم. وسيتم التركيز على سلوك الأسماك وتطور المحاصيل تحت سيطرة نظام آلي لجمع البيانات بشكل دائم مثل: الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة ومحتوى النترات والصلابة. تبلغنا بياناتها عن جودة المياه. ثم يتم تسجيلها بانتظام على بطاقة الذاكرة. يتم .تنظيم البيانات وإعادة تعديلها تلقائيًا في حالة تجاوز الحدود المسموح بها

.اكوابوني تم إنشاء نظام للتنظيم وجمع البيانات ومعالجتها، جوهره الرئيسي هو متحكم

هناك العديد من الفوائد لأتمتة هذه المعلمات المهمة في الدفيئة المائية. أولاً، يسمح بالمراقبة المستمرة والدقيقة، مما يلغي الحاجة إلى المراقبة اليدوية المتكررة. وهذا يقلل بشكل كبير من الوقت والجهد اللازمين للحفاظ على الظروف المثالية .للنباتات والأسماك

الكلمات المفتاحية: الاردوينو، الزراعة المائية، النظام الآلي، البلطي

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous remercions notre encadreur ***Professeur*** **BENOUDNINE** ***Hadjira*** *de nous avoir suivies tout au long de ce projet de fin d'étude*

Nous remercions aussi Messieurs les membres de jury d'avoir accepté de juger la qualité de ce travail.

Nous adressons nos remerciements à l'ensemble du personnel du laboratoire de la Faculté des sciences exactes et de l'informatique, et particulièrement au Directeur du laboratoire, ***Professeur BENACHENHOU Abdelhalim****, qui nous a accueillis et a apporté son soutien tout au long de notre stage pratique.*

Nous adressons également nos remerciements à ***Mr. BENTAHAR Cherif Mohammed*** *pour son aide, sa compréhension, sa disponibilité et son accompagnement dans l'élaboration de ce projet de fin d'étude.*

Finalement, nous adressons nos remerciements à tous ceux et celles qui de près ou de loin nous ont apporté aide et encouragement.

BENHALIMA Siham & DEBZA Amel

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quel que soit les termes embrassés je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

- A mes chers parents sans qui je n'aurai jamais pu arriver à ce terme. Pour leur aide, leur soutien et leur encouragement durant mon parcours .Que ce travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulé, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse Dieu vous accordez santé et bonheur.
- A mes chers frères et sœurs source de joie et de bonheur.
- A mes chers amis, qui représentent pour moi le sens de sincérité et de la fidélité.
- A tous les membres de ma famille

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la l'élaboration de ce mémoire.

Amel DEBZA

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quel que soit les termes embrassés je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

- A mes chers parents, qui ont toujours été là pour me soutenir et m'encourager durant toute ma vie, mes études et mes projets, je vous dédie ce diplôme.

Votre amour inconditionnel, votre soutien moral et financier ont été essentiels pour ma réussite. Merci de croire en moi et de m'avoir toujours poussé à donner le meilleur de moi –même

- A mes chers frères source de joie et de bonheur.
- A mes chères amies, qui représentent pour moi le sens de sincérité et de la fidélité.
- A tous les membres de ma famille

Sihem BENHALIMA

NFT	la technique de film nutritif
pH	Potentiel Hydrogène
T°	Température
C°	Degré mesure de température Calvin
L	Litre
Mg	Milligramme
Usb	Universel serial bus
Gps	Geo-oisitionnement par satellite
V	Volte
A	Ampère
IDE	Integrated Development Environment
Rtc	Réseau téléphonique commuté
Cm	Centimètre
NAOH	Hydroxyde de sodium

Tableau II.1	Qualité de la chaire de tilapia	20
Tableau II.2	Qualité d'eau idéale pour l'élevage du Tilapia du Nil	21
Tableau II.3	Tolérance de résistance de tilapia, Tomate et bactéries pour les éléments de qualité d'eau	26
Tableau II.4	Les valeurs idéales pour l'aquaponie comme compromis pour les trois organismes vivants	26
Tableau III.1	caractéristiques de capteur de détection le PH	34
Tableau III.2	caractéristiques de RTC module DS1307	36
Tableau III.3	caractéristiques de La pompe électrique	37

Figure I.1	Un système aquaponique	6
Figure I.2	Principe de fonctionnement d'un système d'aquaponie	8
Figure I.3	Une image qui s'implique la méthode NFT	12
Figure I.4	Une image qui s'implique la méthode de radeaux	13
Figure I.5	Une image qui s'implique la méthode de lits remplis de médias	14
Figure II.1	La morphologie externe du Tilapia	19
Figure II.2	La tomate	22
Figure II.3	Cycle de l'azote en aquaponie	25
Figure III.1	Arduino	28
Figure III.2	les types d'ARDUINO	30
Figure III.3	Schéma d'une carte Arduino Uno	31
Figure III.4	Le logiciel ARDUINO (IDE)	32
Figure III.5	Structure du programme (Sketch)	33
Figure III.6	Capteur de détection de valeur liquide PH0-14 + sonde d'électrode de pH BNC pour Arduino DB	34
Figure III.7	Capteur De Température CTN KY-028	35
Figure III.8	RTC module DS1307	35
Figure III.9	Écran Arduino LCD	36
Figure III.10	La pompe à membrane micro 385	37
Figure III.11	Module relais	38
Figure III.12	Bacs des poissons et des cultures	38
Figure III.13	Siphon fabriqué et implanté dans le bac des cultures	39
Figure III.14	La pompe à eau RS-08	40
Figure III.15	Oxygénateur RS-Electrical- RS290	40
Figure III.16	La mise en place de la mini serre aquaponique	41
Figure III.17	Ferme d'élevage des poissons de Type TILAPIA à Stidia, Wilaya de Mostaganem	42
Figure III.18	Les poissons de type TILAPIA de 3 à 4 cm de longueur du mini serre aquaponiique	43
Figure III.19	Nourriture des poissons	44

Figure III.20	Les racines des Tomates planté dans la mini serre aquaponique	45
Figure III.21	Prototype du mini serre aquaponique automatisé réalisé avec le système de collecte et de contrôle de données et un affichage visuel sur écran LCD	46
Figure III.22	Prélèvement de 300 échantillons du pH sur 24h avec une période de mesure de 6 minutes	47
Figure III.23	Prélèvement de 300 échantillons de température en °C sur 24h avec une période de 6 minutes	47

Résumé
Remerciements
Dédicaces
Acronyme ……..I
Liste de tableaux ……...II
Liste des figures ……...III
Table des matières……V
Introduction générale ……1

CHAPITRE I : L'aquaponie ……...4
I.1 Introduction ……5
I.2. Le système aquaponique ……5
I.3. Composantes de l'aquaponie : l'hydroponie et l'aquaculture ……6
I.3.1. L'Hydroponie ……...6
I.3.2. L'Aquaculture ……7
I.4.Principe de l'aquaponie ……7
I.5 Les avantages de la culture aquaponique ……8
I.6. Types des systèmes aquaponiques ……10
I.6.1. Système aquaponique basé sur la technique de film nutritif (NFT)……11
I.6.1.1Les principaux avantages ……12
I.6.1.2. Les principaux inconvénients ……12
I.6.2. Système aquaponique basé sur les Radeaux ……12
I.6.2.1. Les principaux avantages……..13
I.6.2.2. Les principaux inconvénients ……13
I.6.3. Lits remplis de médias ……14
I.6.3.1. Les principaux avantages ……14
I.6.3.2. Les principaux inconvénients ……..15
I.7 Conclusion ……..15

CHAITRE II : Processus vitaux dans un système aquaponique ……...16
II.1 Introduction ……...17
II.2 les Poissons ……...17
II.2.1Choix de l'espèce……17
a) Tilapia du Nil (*Oreochromisniloticus*)……17
b) Systématique de tilapia du Nil *Oreochromisniloticus*……18
c) Caractéristiques morphologique……18
d) Distribution géographique……..19
e) Reproduction……...19
f) Régime alimentaire ……..……..20
g) Qualité de la chaire……20
h) Facteurs écologiques du milieu……..……21

II.3 Plante ……..……..…..21
II.3.1 Choix de plante ……...21
II.3.1.1 La tomate ……...21
II.3.1.2 classification génétique ……22
II.3.1.3 Les premiers hybrides pour les serres……..23
II.3.1.4 Importance médicinale et phytothérapeutique……..23
II.3.1.5 Importance économique de la culture ……24
II.4 Les bactéries ……24
II.4 Conclusion ……26
CHAPITRE III : Réalisation d'une mini serre aquaponique automatisé…….27
III.1 Introduction ……28
III.2 Synoptique de la mini serre aquaponique automatisé ……28
III.3 Système de collecte de données et de gestion de la serre……29
III.3.1 Carte ARDUINO……...29
III.3.2 Les type de carte ARDUINO……30
III.3.3. La sonde de détection de la valeur du PH……33
III.3.4.Capteur de Température CTN KY-028……34
III.3.5. RTC module DS1307……35
III.3.6. Écran Arduino LCD……..36
III.3.7. Les actionneurs……36
III.3.8.La pompe à membrane micro 385……36
III.3.9.Relais……37
III.4 Réalisation pratique de la mini serre aquaponique automatisé ……...38
III.4.1. Mise en œuvre de la mini serre aquaponique automatisé……41
III.4.1.1 Qualité d'eau dans un écosystème aquaponique……41
III.4.1.2 Tests préliminaires du système aquaponique……42
III.4.1.3 Les Poissons ……42
III.4.1.4 Choix des plantes cultivées et espacement ……45
III.4.2 Mise en marche de la mini serre aquaponique automatisé ……46
III.4.3 Analyse et discussion des résultats……47
III.5 Conclusion ……...49
Références……53
Annexe A. Schéma électrique du système de collection et contrôle des données **.....**56
Annexe B. Programme de collecte et gestion de la serre aquaponique……..57

Introduction générale

L’agriculture de précision est basée sur une stratégie de modernisation des pratiques agricoles pour les rendre plus efficace et plus rentable en exploitant les technologies modernes.

En effet, les progrès technologiques ont ouvert la voie à des avancées majeures dans le domaine de l'agriculture en particulier avec l’avènement de l'agriculture de précision qui vise l’optimisation des rendements et les bénéfices tout en réduisant les impacts environnementaux associés à l'agriculture conventionnelle dans un contexte où les lois de protection de l’environnement se renforcent.

En outre, l'agriculture de précision favorise une utilisation plus efficace des ressources, une meilleure gestion de l'eau et une réponse plus adaptée aux besoins spécifiques des cultures. Dans l'ensemble, cette approche offre une alternative durable et respectueuse de l'environnement pour répondre aux demandes croissantes des consommateurs en matière d'alimentation de qualité.

En conséquence, de nombreuses techniques agricoles innovantes telles que l’aquaponie sont apparus récemment. Celle-ci est une nouvelle technique agricole intensive qui permet une production annuelle jusqu’à 100 fois plus importante. Elle combine l’élevage en aquaculture avec la culture en hydroponie. Ces deux systèmes sont les plus productifs dans leurs domaines respectifs [1]. En les couplant, les déchets disparaissent en devenant les intrants du procédé [2]**.** Les nutriments nécessaires à la croissance des plantes proviennent alors de la transformation en éléments assimilables par des populations bactériennes des déchets produits par les macroorganismes aquatiques. Ce processus permet de créer un écosystème complet et équilibré où trois règnes d’organismes coexistent en symbiose. Finalement, les besoins en eau et en nutriments sont drastiquement réduits [3].

Dans ce contexte, le projet de fin d’étude que nous proposons concerne l’étude et la mise en place d’un prototype d’un système automatisé pour la gestion d’une mini serre aquaponique

Le cahier de charge prévoit la création d’une mini serre aquaponique automatisé qui dispose d’un système de contrôle et de surveillance connecté à la serre et au bac de poissons. Le système permet de collecter les données concertant les conditions environnementale telles que la température, le niveau de pH de l’eau, la production du **NAOH** et assure le filtrage des déchets et la circulation de l’eau entre le bac des poissons et la serre où une régulation automatique s‘opère afin de garantir des conditions optimales pour la croissance des plantes et la santé des poissons, tout en réduisant la nécessité d’une intervention manuelle constante.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

- ✓ Dans le premier chapitre, nous allons donner un aperçu général sur les systèmes aquaponiques.
- ✓ Le deuxième chapitre sera consacré à l'écosystème aquaponique. Une description des différents processus vitaux sera présentée.
- ✓ Ensuite, nous allons discuter la réalisation pratique du prototype de la mini serre aquaponique automatisé.

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

Chapitre 1 :l’Aquaponie

I.1 Introduction

L'aquaponie est un nouvel procédé d'agriculture qui combine deux méthodes de production distinctes et complémentaires à savoir la culture végétale hors-sol (sur la base de l'hydroponie) et l'aquaculture (sur la base des circuits recerclés). Chacun de ces modes de production possède des avantages et des limites et il est nécessaire de bien comprendre leur fonctionnement pour combiner les deux de manière optimale et harmonieuse. L'idée centrale est que les déchets d'un compartiment deviennent une ressource pour le second, et que la combinaison des deux permette de consommer moins d'intrants (eau et engrais) [1].

En fait, l'Aquaponie, exploite un phénomène naturel, omniprésent sur notre planète. Que ce soit en eau douce ou en milieu marin, les excréments produits par les macros -organismes aquatiques sont ensuite minéralisés par les populations bactériennes. Les végétaux absorbent ensuite les éléments minéraux et l'eau s'en trouve purifiée [2].

Les premières traces d'aquaponie domestique remontent toute fois à 1500 ans, en Asie et en Amérique du Sud, sous des formes beaucoup plus simples que celles utilisées aujourd'hui.

A cette époque, les asiatiques élevaient leurs canards dans des cages au-dessus de leurs élevages de poissons, afin que les déchets des uns nourrissent les autres. L'eau enrichie des bassins servait ensuite à irriguer les cultures de riz. Au Pérou, les Incas créaient des étangs à poissons avec des îles cultivables. Dans les régions de hauts plateaux, le climat est froid avec des étés pluvieux et des hivers secs et gelés. Les îlots de culture, gorgés d'eau enrichie d'excréments d'oiseaux attirés par ce milieu artificiel, offraient des rendements impossibles à atteindre autrement dans cette région [2].

Ce n'est qu'autour de la fin des années 1970 que l'aquaponie regagna l'intérêt du public et de la communauté scientifique, encouragée par la recherche de solutions aux problématiques environnementales et grâce à l'amélioration des techniques d'hydroponie et d'aquaculture [2-3].

I.2. Le système aquaponique

L'aquaponie est un système de production révolutionnaire qui associe l'élevage de poisson et la culture des plantes dans un système fermé. Ce système est considéré comme étant un procédé qui est à 100% écologique. Ce système vertueux utilise les effluents des poissons comme engrais pour nourrir les plantes qui agissent à leur tour comme filtre biologique. Ces nutriments nécessaires à la croissance des plantes proviennent de la transformation en éléments assimilables par des populations bactériennes des déchets produits par les macrosorganismes aquatiques [4].

Donc l'aquaponie est une forme d'aquaculture intégrée qui associe une culture des végétaux en « Symbiose » avec l'élevage des poissons (Figure I.1). Ce sont les déjections des poissons qui servent d'engrais pour le végétal cultivé. Le mot « aquaponie », traduction de l'anglais « aquaponics », est un mot-valise formé par la fusion des mots aquaculture (élevage de poissons ou autres organismes aquatiques) et hydroponie (culture des plantes par de l'eau enrichie en matières minérales) [5].

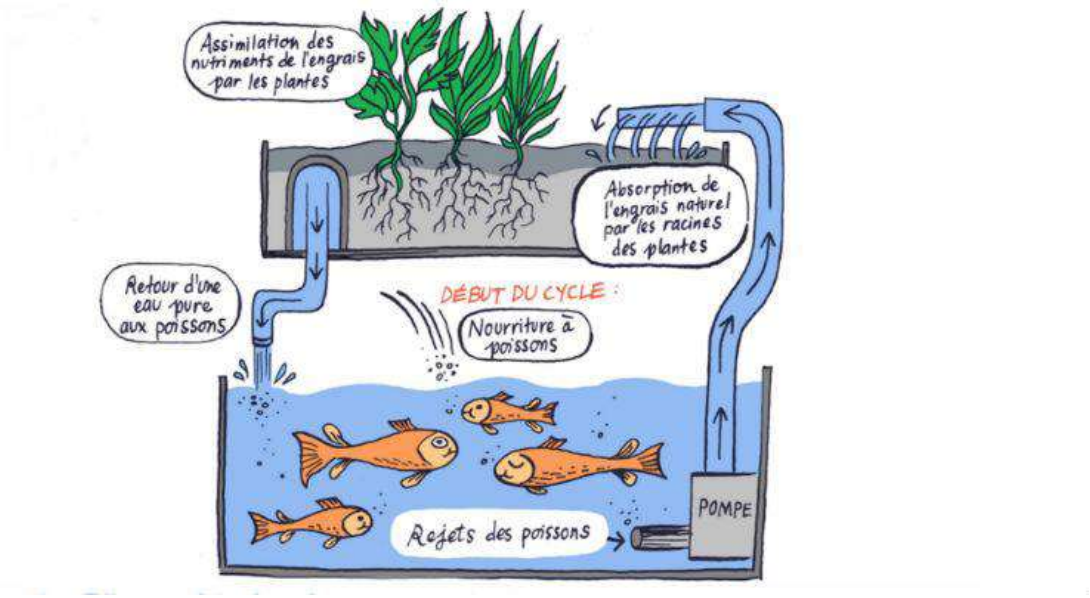


Figure I.1. *Un système aquaponique*

I.3. Composantes de l'aquaponie : l'hydroponie et l'aquaculture

I.3.1. L'Hydroponie

La culture hydroponique est une méthode éprouvée de longue date et largement utilisée pour la culture de tomates et de laitues, le plus souvent dans des serres. Les plantes sont cultivées directement dans une solution nutritive à base d'eau contenant tous les éléments nutritifs, minéraux et oligo-éléments essentiels requis par les plantes pour leur croissance et leur fructification [6]. Les plantes poussent dans des supports ou substrats inertes tels que des cailloux, des billes d'argile ou bien des tuyaux en NFT qui sont parfois utilisés pour supporter les plantes lors de culture dans des tours verticales.

L'absence de sol élimine complètement les organismes et les mauvaises herbes ou adventices. Par conséquent, le travail, ainsi que l'utilisation d'herbicides, est considérablement réduite mais permise car il n'y a pas de poissons, vers ou bactéries à ne pas tuer (contrairement à l'aquaponie dans laquelle on doit s'assurer du maintien de la vie de l'écosystème). L'environnement contrôlé protège la récolte de la plupart des parasites atmosphériques.

Infestations occasionnelles et infections fongiques peuvent être résolues efficacement par l'utilisation ciblée des pesticides et des fongicides [7].

I.3.2. L'Aquaculture

L'aquaculture est une forme d'agriculture englobant la propagation, la culture et la commercialisation d'animaux et de plantes aquaponiques, y compris les poissons destinés à L'alimentation tels que le poisson-chat, le tilapia et la truite, les poissons d'ornement tels que les carpes koï et les aquariums, les poissons-appâts pour l'industrie de la pêche, les poissons de sport pour le repeuplement des étangs et les lacs et les poissons pour les ingrédients alimentaires [8].

Les poissons du système d'aquaculture en circulation (RAS) sont élevés dans des bassins densément peuplés en raison des taux de stockage élevés. En conséquence, un volume élevé de déchets se produit à partir de ce processus. Une filtration mécanique et biologique est nécessaire pour garder l'eau propre et saine pour les poissons. L'aération est également nécessaire.

L'aquaculture marine présente un risque environnemental car les poissons produisent une forte concentration de déchets dans une petite zone et introduit un risque d'espèces non indigènes dans de nouvelles zones où elles créent une menace pour les espèces indigènes.

Les populations sauvages de poissons ont considérablement diminué en raison de la sur pêche, la pollution et la destruction de l'habitat. En parallèle, la demande de poissons a augmenté. Avec l'aquaculture en recirculation, les pisciculteurs peuvent élever de grandes quantités de poissons presque n'importe où dans un très petit espace, en utilisant une quantité d'eau minimale. Lorsqu'un pisciculteur ajoute des lits de cultures hydroponiques dans un système de circulation, il élimine une partie de la filtration requise, utilise le déchet et élève des cultures supplémentaires sous forme de légumes [8].

I.4.Principe de l'aquaponie

Il est possible de définir l'aquaponie comme un couplage entre un compartiment aquacole(le plus souvent avec un élevage de poissons en système recerclé), un compartiment végétal (hors-sol), et un compartiment bactérien (filtre biologique), le tout en circuit fermé ou quasi fermé (Figure. I.2).

L'aquaponie permet une valorisation des rejets aquacoles par les compartiments bactériens et végétale, et donc une dépendance à un approvisionnement en eau amoindrie, le tout avec une réduction totale ou partielle de l'utilisation d'engrais de synthèse pour la production végétale.

Les rejets dissous issus de l'aquaculture sont composes de particules solides, d'ammonium, de phosphore, de potassium et d'autres macro et micro-éléments. Ces éléments sont des sources de nutriments assimilables par les végétaux après une étape préalable de dégradation microbienne des composes ammoniacaux en nitrates par des bactéries nitrifiantes, et d'élimination des matières particulaires grâce à une filtration mécanique.

Ces étapes permettent de recycler l'eau et de la rendre saine à la fois pour l'élevage de poisson, la culture des végétaux et le développement de colonies de bactéries nitrifiantes [1].

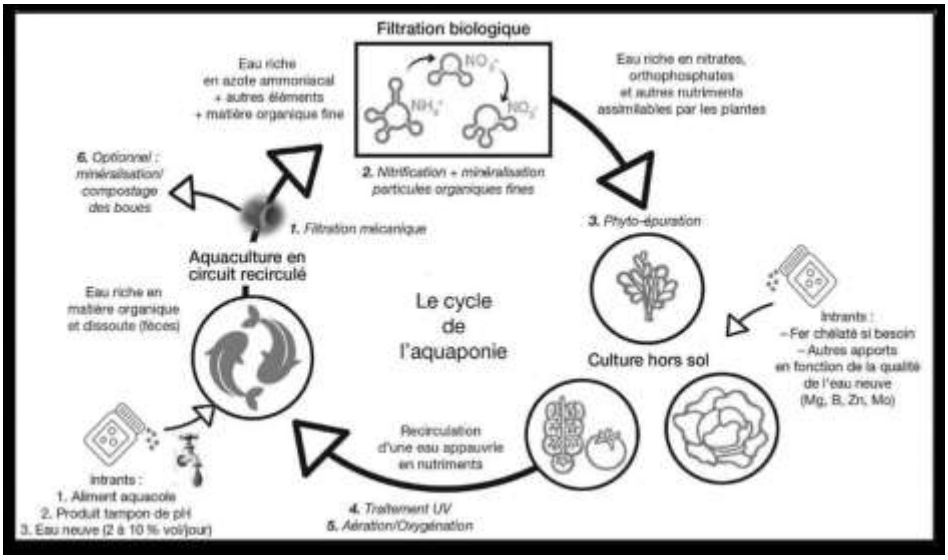


Figure I.2. *Principe de fonctionnement d'un système d'aquaponie [1]*

I.5 Les avantages de la culture aquaponique

Conformément aux expériences internationales dans le domaine de la culture aquaponique, les professionnelles du domaine relatent plusieurs bonnes raisons pour l'exploitation de cette nouvelle pratique afin d'assurer la sécurité alimentaire et d'avoir des cultures bio.

- ✓ **Rendement fantastique de cultures mixtes**

Les conditions de culture de l'aquaponie fournissent toute l'eau, les nutriments et l'oxygène dont les plantes ont besoin. Les plantes peuvent être plantées rapprochées les unes des autres car leurs racines n'entrent pas en compétition et les végétaux se développent plus rapidement que dans une culture classique en terre. Pour ce qui est des poissons, ils sont dans des conditions de croissance optimums et grossirons également très rapidement. Moins d'un an est nécessaire pour obtenir un poisson adulte et mangeable.

- ✓ **Pas de déchets et 95% d'économies d'eau**

En aquaponie, les seules pertes d'eau que l'on peut observer sont dues à l'eau absorbée par les plantes et à l'évaporation : L'eau est économisée. En aquaponie, il n'y a pas de déchets car vous pourrez récupérer les boues de filtration pour ajouter de la fertilité à vos plantes en terre. Sachez également qu'en aquaponie, nourrir ses poissons est gratuit car vous pouvez les nourrir avec des vers issus de votre compost. En aquaponie, rien ne se perd tout est recyclable.

- ✓ **L'aquaponie est un processus totalement naturel**

Du fait que les seuls intrants nécessaires à votre écosystème pour vivre sont la nourriture des poissons et un peu d'eau de temps en temps, la culture en aquaponie est organique. Il n'y a rien à ajouter, pas d'engrais, pas de traitement.

- ✓ **Pas de pesticides**

Etant donné que les traitements faits aux plantes seraient directement transmis aux poissons par l'eau, vous ne pouvez pas utiliser de produit chimique sous peine de voir vos poissons mourir immédiatement. L'aquaponie est donc une méthode de culture raisonnable qui ne permet seulement l'utilisation de produits organiques tels que les purins ou les décoctions.

- ✓ **Des produits savoureux**

Tout simplement goûter à la joie et au plaisir de cultiver votre propre nourriture saine et d'assurer une partie des besoins alimentaires en légumes et en poisson de votre famille.

- ✓ **Élever les poissons d'ornement ou comestibles**

Élever des poissons est une activité de détente et de plaisir. Une fois apprivoisés, vous pourrez les nourrir dans la main et ils vous seront reconnaissants. Mais vous pouvez aussi élever des poissons comestibles et déguster une délicieuse truite fraîche ou un tilapia fraîchement pêché dans votre système aquaponique. Tous les poissons d'eau douce sont compatibles avec l'aquaponie.

- ✓ **Jardiner sans besoin de se pencher, ni creuser, ni désherber**

Pour les personnes ayant peu de place, l'aquaponie fournit une formidable occasion de jardiner et peut aussi facilement être installée à l'intérieur. Le système sur élevé à une hauteur accessible permet de ne plus avoir de problèmes de dos et vous fait gagner énormément de temps tout en augmentant la productivité de votre système.

- ✓ **Une utilisation efficace de l'espace**

L'aquaponie est une solution idéale pour les zones difficiles, les patios, les sols pauvres ou même les jardins sur le toit. En prenant en compte une lumière appropriée et une source d'énergie, un système aquaponique peut être installé pratiquement partout. C'est un excellent moyen d'accroître la productivité de systèmes existants. Deux cultures sont produites au sein d'une infrastructure unique.

- ✓ **Peu d'entretien, parfait pour la vie trépidante**

Seulement quelques minutes d'entretien quotidien sont nécessaires pour garder le système en fonctionnement.

- ✓ **Systèmes aquaponiques adaptés à une grande variété de besoins et de situations**

Les systèmes aquaponiques peuvent être conçus et adaptés à vos besoins.

- ✓ **Très ludique et parfait pour l'éducation**

L'aquaponie fournit une excellente démonstration pratique de la vie au travers du cycle de l'azote, de la chimie de l'eau, des végétaux, de la biologie des poissons, de la durabilité, des techniques de culture modernes, des déchets, de la pollution, etc… C'est une vraie prise de conscience qui peut être apportée dès le plus jeune.

I.6. Types des systèmes aquaponiques

Il existe de nombreuses configurations différentes de systèmes aquaponiques. Les composants communs à chaque système aquaponique sont l'aquarium et un lit de plantes sans sol. Les variables comprennent les composants de la filtration, les composants de la tuyauterie, le type de lit de la centrale et la quantité et la fréquence de la circulation de l'eau et de l'aération. En règle générale, les systèmes qui utilisent une certaine filtration pour éliminer les déchets de poisson solides auront une production plus élevée de poissons et de plantes que ceux qui n'utilisent pas la filtration. Il existe trois principales méthodes aquaponiques émergentes dans l'industrie : la technique de film nutritif, le radeau, et le système de lits remplis de médias. Chacune de ces méthodes est basée sur une conception de système hydroponique, avec des adaptations pour le poisson et la filtration [8].

I.6.1. Système aquaponique basé sur la technique de film nutritif (NFT)

La technique du film nutritif est une méthode hydroponique couramment utilisée dans laquelle les plantes sont cultivées dans des canaux longs et étroits, mais elle n'est pas aussi courante dans les systèmes aquaponiques [9]. Le principal avantage de la méthode NFT est que les racines des plantes sont exposées continuellement à des approvisionnements satisfaisants en eau potable, en oxygène et en vitamines et minéraux. « L'eau riche en nutriments est pompée dans de petites gouttières fermées, l'eau qui coule dans la gouttière n'est qu'un film très mince. Les plantes s'assoient dans de petites coupelles en plastique permettant à leurs racines d'accéder à l'eau et d'absorber les nutriments. La NFT ne convienne vraiment qu'à certains types de plantes, généralement les légumes verts à feuilles, les plantes plus grandes ont des systèmes racinaires trop gros et trop invasifs ou deviennent trop lourds pour les gouttières légères » [9]. Le défaut de cette méthode réside dans la vérité qu'il a un tampon extrêmement faible contre les interruptions dans le mouvement puisque la plomberie utilisée dans un système de NFT hydroponique n'est généralement pas assez grande pour être utilisée en aquaponie car la nature organique du système et l'eau «vivante» provoquera le colmatage des petits tuyaux et des tubes. La technique NFT est particulièrement adaptée à la culture de la mâche, la laitue, du persil, du basilic, des fraises… Car elle permet d'économiser de la place grâce à la culture verticale. Mais attention, elle ne convient pas à la culture de certaines autres plantes comme par exemple les tomates car la rigole ne serait alors pas assez profonde pour permettre une bonne irrigation des racines (Figure I.3) [10]**.**

Figure I.3. *Exemple de la méthode NFT appliqué dans un système aquaponique*

I.6.1.1Les principaux avantages

- Forte économie en eau (fin film d'eau)
- Irrigation et oxygénation homogène dans le temps
- Facile à mettre en place

I.6.1.2. Les principaux inconvénients

- Circuits hydrauliques fin (risques de colmatage)
- Espèces de plantes cultivables limitées
- Faibles volumes d'eau, donc risques de fluctuations de PH et de température importantes
- Nécessité d'ajouter des filtres (mécanique et biologique)
- Les plantes situées en bout de circuit peuvent avoir des carences en oxygène et en nutriments
- Emploi massif de matières plastiques

I.6.2. Système aquaponique basé sur les Radeaux

Dans un système aquaponique basé sur les radeaux (également connu sous le nom flotteur, canal profond et écoulement profond) travaille sur l'idée de plantes flottantes au-dessus de l'eau permettant aux racines de pendre dans l'eau. Cela peut être fait de plusieurs façons [9]. Les plantes sont cultivées sur du polystyrène (radeaux) qui flottent au-dessus de l'eau. Le plus souvent, ceci est dans un réservoir séparé de l'aquarium. L'eau s'écoule en continu de l'aquarium, à travers les composants de filtration, à travers le réservoir de radeau où les plantes sont cultivées et ensuite de retour à l'aquarium. [8]**.**

Les bactéries bénéfiques vivent dans le réservoir du radeau et dans tout le système. Le volume d'eau supplémentaire dans le réservoir de radeau fournit un tampon pour le poisson, réduisant le stress et les problèmes potentiels de qualité de l'eau. C'est l'un des plus grands avantages du système à base du radeau. Dans un système commercial, les réservoirs de radeau peuvent couvrir de grandes zones, en utilisant au mieux l'espace au sol dans une serre. Les semis de plantes sont transplantés à une extrémité du réservoir du radeau. Les radeaux sont poussés vers l'avant à la surface de l'eau au fil du temps, puis les plantes matures sont récoltées à l'autre extrémité du radeau. Une fois qu'un radeau est récolté, il peut être replanté avec des

semis et mis en place à l'extrémité opposée. L'optimisation de l'espace au sol, qui est particulièrement important dans une serre commerciale (Figure I. 4) [8].

Figure I.4. *Exemple d'un système aquaponique qui utilise les radeaux*

I.6.2.1. Les principaux avantages

- Grands volumes d'eau ; bon pour le maintien des paramètres physico-chimiques et pour l'accumulation des nutriments dans l'eau
- Stabilité des paramètres physico-chimiques de l'eau
- Récolte aisée et rendements élevé
- Irrigation et oxygénation homogène dans le temps
- Planification de production et logistique facile à mettre en place avec échelonnage des cultures
- Matériaux de culture « low cost »

I.6.2.2. Les principaux inconvénients

- Mise au point du système assez long
- Espèces de plantes cultivables limitées
- Nécessité d'ajouter des filtres (mécanique et biologique)
- Consommes potentiellement d'avantage d'eau qu'en technique NFT et médias

I.6.3. Lits remplis de médias

Un système de lits 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 [9]. 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 (figure I.5) [8].

Figure I.5. *Exemple d'un système aquapnique qui utilise la méthode de lits remplis de médias*

I.6.3.1. Les principaux avantages

- Agit en filtre mécanique et biologique
- Les médias servent de support pour les plantes
- Forte économie en eau
- Choix de plantes à cultiver plus large
- Récolte aisée et rendements élevé

I.6.3.2. Les principaux inconvénients

- Irrigation et oxygénation homogène
- Les plantes situées en bout de circuit peuvent avoir des carences en oxygène et en nutriments
- Accumulation importantes de composés solides
- Risques de formation de zones anaérobies
- Nécessites d'entretenir /changer régulièrement les médias de culture notamment à cause de l'accumulation de calcium et phosphore sur les médias
- Surcoût lié au transport des médias (gros volumes, poids important)

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une présentation générale des principes de l'aquaponie comme nouveau modèle complémentaire pour l'agriculture en Algérie capable d'assurer le développement durable, une sécurité alimentaire et naturelle sans pesticides et qui ne demande pas beaucoup d'espace. Nous avons aussi donné un aperçu général sur les différents modèles de systèmes aquaponiques les plus utilisés dans la pratique. Cette étude comparative était nécessaire pour pouvoir décidé de la conception du notre mini serre aquaponique. Les détails de la conception et sa réalisation seront expliqués en détails dans les prochains chapitres.

Chapitre 2 : Processus vitaux dans un système aquaponique

II.1 Introduction

Dans cette partie, nous allons nous intéresser au processus biologique qui se déroule dans le système aquaponique telle que le rôle des bactéries, le principe de la nitrification ainsi que le cycle d'azote et l'importance d'équilibrer l'écosystème aquaponique composé par **les poissons**, **les plantes** et **les bactéries**.

Nous allons aussi discuter des espèces de poissons et de plantes qui seront utilisé dans le système aquaponique que nous comptons concevoir.

II.2 les Poissons

Les poissons sont les instigateurs du système aquaponique, ils fournissent les matières nutritives pour les plantes. Toutefois, il est nécessaire de choisir l'espèce de poissons qui peuvent être utilisé dans ce système [5].

D'après [3], les espèces de poissons utilisables en pisciculture doivent tenir compte des critères suivants :

- Avoir une chair appréciée des consommateurs;
- Etre rustique et facile à manipuler [11].
- Pouvoir se reproduire facilement en captivité
- La reproduction peut être naturelle en étangs, ou provoquée dans les stations d'alevinage par divers procédés.
- Avoir une croissance rapide avec une alimentation économique.

II.2.1Choix de l'espèce

a) Tilapia du Nil (*Oreochromisniloticus*)

Le tilapia est l'une des espèces d'eau douce les plus populaires dans les systèmes aquacoles. Ils résistent à de nombreux agents pathogènes et parasites et supportent le stress.

Ces poissons ne sont pas exigeants quant à la qualité de l'eau et ont une large faculté d'adaptation aux écarts de température, ce qui, en fait, des poissons très robustes.

L'*Oreochromisniloticus* a un taux de croissance très élevé et un large intervalle de tolérance, de plus c'est l'une des espèces tropicales qui préfère vivre dans une eau peu profonde. En tant que poisson exotique, le tilapia aime la chaleur ce qu'il a rendu en Algérie parmi les espèces les plus favoris en élevage, spécifiquement dans le sud.

C'est pour ces raisons que le tilapia est considéré comme un très bon poisson à reproduire dans un système aquaponique.

b) Systématique de tilapia du Nil *Oreochromisniloticus*

Position systématique **(L, 1758)** :

Règne: Animalia

Super Ordre : Téléostéens

Embranchement : Chordata

Ordre : Perciformes

Sous-Embranchement : Vertebra ;

Sous-ordre : labroidie

Super-Classe : Ostéichtyens ;

Famille : Cichlidae

Classe : Actinopterygii ;

Genre : Oreochromis

Sous-classe : Neopterygii ;

Espèce : *OreochromisNiloticus.*

c) Caractéristiques morphologique

Le Tilapia du Nil *(Oreochromisniloticus);* est une espèce a un corps comprimé, avec une profondeur du pédicule caudal égale à sa longueur (Figure II.1). Les écailles sont cycloïdes.

La longueur de la mâchoire supérieure ne montre aucun dimorphisme sexuel. Le premier arc branchial compte 27 à 33 branchiospines. La ligne latérale est interrompue. Des rayons épineux et mous forment une ligne continue de la nageoire dorsale. La nageoire dorsale contient 16 - 17 épines et 11 à 15 rayons mous. La nageoire anale a 3 épines et 10-11 rayons.

La nageoire caudale est tronquée. La couleur des nageoires pectorales, dorsale et caudale pendant la saison de frai devient rougeâtre; la nageoire caudale comporte de nombreuses lignes noires [12].

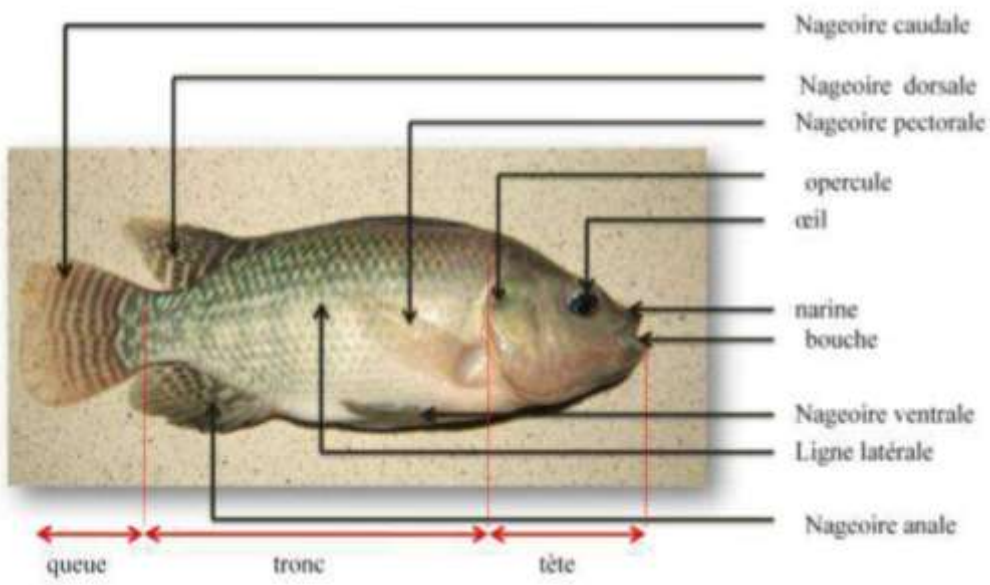


Figure II.1. *La morphologie externe du Tilapia* ***[12]***

d) Distribution géographique

L'Oreochromisniloticus est un poisson thermophile donc sa distribution géographique est principalement déterminée par la température [13]. Il est présente du fait des interconnections entre les bassins du Tchad et du Nil, une très large distribution couvrant le bassin du Tchad, du Nil, du Niger, et du Jourdain. Originaire du Haut Nil, l'espèce a d'abord progressée vers le sud, colonisant tous les lacs du Gabran jusqu'au lac Tanganika. A travers p les bassins du Tchad et du Niger, cette espèce de poisson a aussi colonisé l'Afrique centrale et de l'ouest. Son expansion est encore en cours, notamment dans les rivières côtières de l'Afrique occidentale et dans certains affluents du Haut Niger [14].

Cette espèce a été introduite dans différentes stations de pisciculture, les étangs et dans les lacs artificiels.

e) Reproduction

La maturité sexuelle de tilapia dans les étangs est atteinte après 5-6 mois. Le frai commence quand la température d'eau atteint 24 °C. Le processus de reproduction commence quand le mâle marque un territoire, creuse un nid frayère sous forme de cratère et surveille son territoire. Les femelles matures frayent dans le nid, et juste après la fécondation par le mâle, collectent les œufs dans leur bouche et partent. La femelle incube les œufs dans sa bouche et couve les alevins après éclosion jusqu'à ce que leur vésicule vitelline soit résorbée.

L'incubation et la couvaison durent 1 à 2 semaines, selon la température. Après les alevins sont libérés mais en cas de danger, ils peuvent regagner en nageant la bouche de la femelle [12].

f) Régime alimentaire

En milieu naturel, *L'Oreochromisniloticus* est essentiellement phytoplanctonphage, ce qui ne l'empêche pas également d'absorber du zooplancton et même des sédiments riches en bactéries et diatomées. Mais en milieu artificiel (systèmes de pisciculture) cette espèce est pratiquement omnivore, valorisant divers déchets agricoles acceptant facilement des aliments composés sous forme de granulés. Cette capacité d'adaptation à divers aliments et déchets est phénoménale est à la base de sa haute potentialité [14-15].

g) Qualité de la chaire

Dans le tableau suivant, nous allons présenter des analyses spécifiques sur la qualité de la Chaire de Tilapia conformément aux travaux publiés dans [14-15]**.**

Tableau II.1. Qualité de la chaire de tilapia [14-17]

Nom commun		Tilapia	
Nom Scientifique		*Oreochromisniloticus*	
Protéine (g)	18,1	VitPP**	3,28
Lipides (g)	2,1	K**	282
EPA+DHA(g)	0,08	P**	131
Vit A*	<2	Na**	28,3
Vit D*	15,61	Mg**	25,4
Vit E**	0,93	Se*	18
Vit B6**	0,23	Fe**	0,27
Vit B12*	**1,07**	**I****	**6**

* (µg/100g) ; ** (mg/100g) ; K : potassium ; P: Phosphore; Na: Sodium; Mg: Magnésium; Se: Sélénium ; Fe : Fer ; I : Iode

h) Facteurs écologiques du milieu

Les poissons sont des animaux dont la croissance dépend des paramètres environnementaux : la température, la chimie de l'eau, les facteurs génétiques, les ressources nutritives, les relations intra ou interspécifiques affectent leur croissance.

Tableau II.2. Qualité d'eau idéale pour l'élevage du Tilapia du Nil [14-15]

Paramètre	**Intervalle**
Température	$28 - 32^{\circ}c$
Transparence	25-40 cm
Alcalinité	90-250mg/L
Dureté	60-150 mg/L
Ammoniac- Non ionisé (NH3)	0.1-0.3 mg/L
Oxygène dissous	4-7 mg/L
Ph	6.5-8.8

II.3 Plante

Les plantes sont la principale production d'un système aquaponique de petite échelle**.**

De nombreuses espèces de plantes peuvent être cultivées dans un système aquaponique. Les plantes ayant des besoins faibles ou moyens en éléments nutritifs sont les plus faciles à cultiver : laitues et autres salades, choux chinois, blettes, épinards, brocolis, et herbes aromatiques comme la ciboulette, le basilic, le cresson, la menthe et la roquette [16].

Le fait de travailler hors-sol implique une absence de compétition racinaire**.** La densité de culture peut donc être plus élevée qu'en plein champ et elle n'est limitée que par l'accès des feuilles à la lumière et le diamètre des plantes a la taille de récolte [8].

II.3.1 Choix de plante

II.3.1.1 La tomate

Lycopersicon esculentum Miller a une place importante dans l'alimentation humaine puisqu'elle est consommée toute l'année, dans le monde entier. Elle se positionne au premier rang mondial des fruits cultivés avec une production d'environ 152 millions de tonnes en 2010**.** La tomate étant le produit le plus consommé et commercialisé au monde, elle représente également le premier produit agricole consommé au sein du Marché d' Intérêt National de Rungis. Si l'on se réfère à la définition d'un fruit produit végétal qui succède à la

fleur après fécondation et qui renferme les graines de la plante, la tomate serait donc bien un fruit (on voit les graines à l'intérieur).La tomate est donc biologiquement parlant un fruit mais un légume culinairement parlant.

Figure II.2. *La tomate*

II.3.1.2 Classification génétique

Règne : Végétal

Embranchement : Angiospermes

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Solanales

Famille : Solanacées

Genre : *Solanum*

Espèce : *S. lycopersicum*

La tomate cultivée est une espèce diploïde avec 2n = 24 chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants mono génétiques dont certains sont très importants pour la sélection [18-22].

La structure de la fleur de la tomate assure une cleistoganie (antogamie stricte), mais elle peut se comporter comme une plante allogame, on peut avoir jusqu'à 47 de fécondation croisée dans la nature**.** Ces deux types de fécondation divisent la tomate en deux variétés qui sont :

- **Variétés fixées :**

Il existe plus de cinq cents variétés fixées (conservent les qualités parentales).Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sont sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative.

- **Variétés hybrides**

Les variétés hybrides sont plus nombreuses .Elles sont relativement récentes, puis qu'elles n'existent que depuis 1960.

II.3.1.3 Les premiers hybrides pour les serres

C'est en 1947, aux Établissements Vilmorin, puis à l'INRA France dans les années 1962-63, que les premiers hybrides de tomate ont été sélectionnés. Il s'agit de Fournaise (Vilmorin), **Montfavet 63-4 et Montfavet 63-5 (INRA).** Quels sont les facteurs qui ont conduit à la création des hybrides F1 ? Bien sûr, il faut rappeler l'intérêt de la vigueur hybride 'l'effet d'hétérosis' qui entraîne une augmentation sensible du rendement et une nouaison facilitée, sous abris; comme en plein champ,
la concurrence impitoyable et l'augmentation de la demande et aussi l'intensification au détriment de la qualité [22].

II.3.1.4 Importance médicinale et phytothérapeutique

Le rôle médicinale de la tomate est connu depuis bien longtemps chez les Incas en Amérique de sud, ou' ils utilisent la feuille fraiche du plant de tomate comme antibiotique [21-22].
Plusieurs études prospectives et épidémiologiques ont démontré qu'une consommation élevée de fruits et de légumes diminuait le risque de maladies cardiovasculaires, de certains cancers et d'autres maladies chroniques.
Quelques mécanismes d'action ont été proposés pour expliquer cet effet protecteur, la présence d'antioxydants dans les fruits et les légumes pourraient jouer un rôle.
Aussi la consommation de tomate joue plusieurs rôles :

- Excellent pour la santé du foie, car contient des traces d'éléments antitoxiques appelées chlorite et sulfure
- Diminue l'hypertension grâce à son haut taux en potassium
- Stimule les secrétions digestives, grâce à sa saveur acidulée
- Contribue à la prévention des maladies cardiovasculaires, l'artériosclérose et la cécité

II.3.1.5 Importance économique de la culture

La production mondiale annuelle de tomates connaît une progression régulière, et elle est de 152 Mt, dont un tiers en Asie, un tiers en Europe, un tiers en Amérique du Nord. , 30 millions sont destinés à la transformation .La plante est cultivée sous serre et en plein champ, sur une superficie d'environ 5.3 millions d'hectares, ce qui présente près d'un tiers (1/3) des surfaces mondiales cultivées consacrées aux légumes [22].

II.4 Les bactéries

Les bactéries jouent un rôle fondamental dans le processus de culture dans un système aquaponique. Elles convertissent l'ammoniaque, qui est un composant majeur des déchets de poisson, en nitrate, une forme plus accessible de l'azote pour les plantes, ce qui évite que l'eau ne devienne toxique pour les poissons (cette transformation de l'ammoniaque en nitrate est connue comme le processus denitrification). Il est essentiel que chaque unité aquaponique ait un composant de filtration biologique pour abriter les bactéries, ce qui permet à ces dernières de convertir constamment l'ammoniaque en nitrate. En effet, en aquaponie, l'accumulation d'azote ammoniacal dissous et de ses dérives dans les effluents peut être toxique voire létal pour les poissons et les plantes, ceci constitue une préoccupation majeure pour ce type de système. C'est pourquoi les systèmes aquaponique recourent à une filtration biologique de l'eau d'élevage en condition aérobie, qui se base sur la réaction bactérienne de nitrification, c'est-à-dire l'oxydation de l'azote ammoniacal produit par les poissons en nitrates, compose peu toxique pour les poissons et les plantes. Le filtre biologique est positionné juste en amont des bassins d'élevage et en aval du filtre mécanique lui-même positionné après les bassins d'élevage, et cela afin d'éviter le plus possible le dépôt de matières organiques particulaires dans le filtre biologique [1-4].

- **Développement des bactéries**

Les bactéries nitrifiantes doivent être en mesure de coloniser des supports ou des substrats pour pouvoir se développer de manière optimale (gravier, sable, medias synthétiques, bouchant,…, etc.). Dans des conditions optimales de température (20- 25 °C) et de pH (7a 9, idéalement 8), *Nitrosomonas* peut doubler sa population toutes les 7 heures *et Nitrobacter* toutes les 13 heures. Cette différence de temps de génération induit un pic de nitrites NO2 - durant la mise en route du Biofiltre [1-4].

- **Le cycle d'azote**

L'azote est un composant essentiel de la matière organique minérale et végétale. Il se retrouve partout où il y a de la vie. Comme toute chose dans la nature, l'azote suit un cycle[5].

Le cycle de l'azote d'un système aquaponique commence par le nourrissage des poissons**.** Au plus la nourriture est riche en protéines, au plus celle-ci contient de l'azote.

Une partie des protéines consommées par les poissons est absorbée pour la croissance des poissons, le reste est rejeté par l'urine, sous forme d'ammonium.

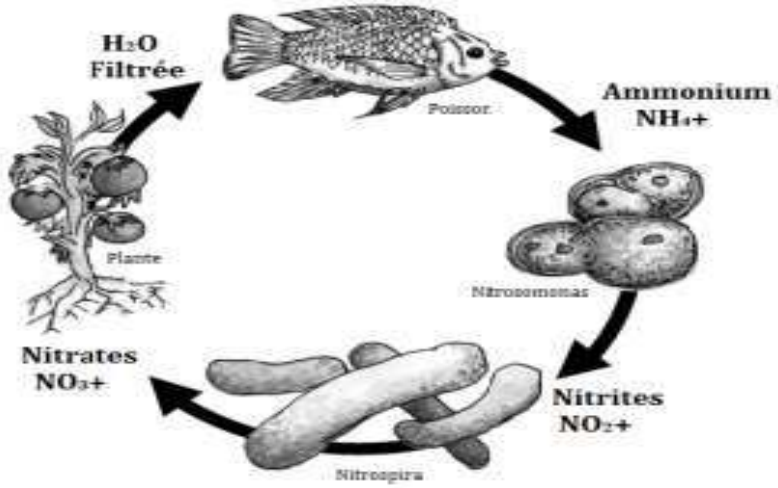


Figure II.3. *Cycle de l'azote en aquaponie*

- **Phase 1**

L'azote organique des déjections de poissons se dégrade grâce à des micro-organismes et à l'oxygène. Il se transforme alors en ammoniac ou en ammonium. Cela dépend de l'acidité de votre eau. Si votre eau est acide, l'azote organique se transformera en ammonium tandis qu'en eau basique, il se transformera en ammoniac. L'ammoniac est toxique pour les poissons d'où la nécessité d'être filtré et récupéré par les plantes. En effet ces composés provoquent le gonflement des branchies ce qui les asphyxie [4]**.**

- **Phase2**

Cette deuxième phase s'appelle la nitrification. Les bactéries nitrifiantes vont traiter l'ammoniac et l'ammonium en suivant deux étapes distinctes : La nitrosation transforme l'ammonium et l'ammoniac en nitrites grâce à des bactéries (nitrosomonas). Les nitrites sont toxiques et ne permettent pas au sens de véhiculer correctement l'oxygène.

La nitratation intervient sur la transformation des nitrates par des bactéries (nitrobacter). Comme nous l'avons vu, ils sont peu toxiques pour les poissons et assimilables par les plantes [4]**.**

Tableau II.3 . Tolérance de résistance de tilapia, Tomate et bactéries pour les éléments de qualité d'eau

	Température (°C)	**pH**	**Ammoniac (mg/L)**	**Nitrite (mg/L)**	**Nitrate (mg/L)**	**Oxygène dissous (mg/L)**
Tilapia	22 - 32	6 - 8.5	3>	1>	400>	4 – 6
Tomate	20-30	5.5 - 6.5	30>	1>	**-**	3 <
Bactéries	14 - 34	6 – 8.5	3>	1>	**-**	4 – 8

Tableau II.4. Les valeurs idéales pour l'aquaponie comme compromis pour les trois organismes vivants

	Température (°C)	**pH**	**Ammoniac (mg/L)**	**Nitrite (mg/L)**	**Nitrate (mg/L)**	**Oxygène dissous (mg/L)**
L'élevage Aquaponique	18-30	**6-7**	**1>**	**1>**	**5-150**	**5<**

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté du processus de fonctionnement d'un système aquaponique standard. Nous avons aussi présenté un aperçu général sur le type de poisson et de plante que nous souhaitons utilisé dans notre système aquaponique. Dans ce contexte, nous avons opté pour le choix de la Tilapia comme poisson d'eau douce pour l'élevage et la production de la tomate comme plante de test. Le schéma synoptique ainsi que les résultats expérimentaux seront présentés dans le chapitre suivant.

Chapitre 3 : Réalisation de la mini serre aquaponique automatisé

III.1 Introduction

Dans cette partie du mémoire, nous allons expliquer à la fois notre approche pour la mise en place de la mini serre aquaponique automatisé à partir de conception, choix des capteurs et équipements ainsi que la réalisation de la mini serre aquaponique. Nous allons aussi discuter les résultats de nos observations sur le fonctionnement du système proposé.

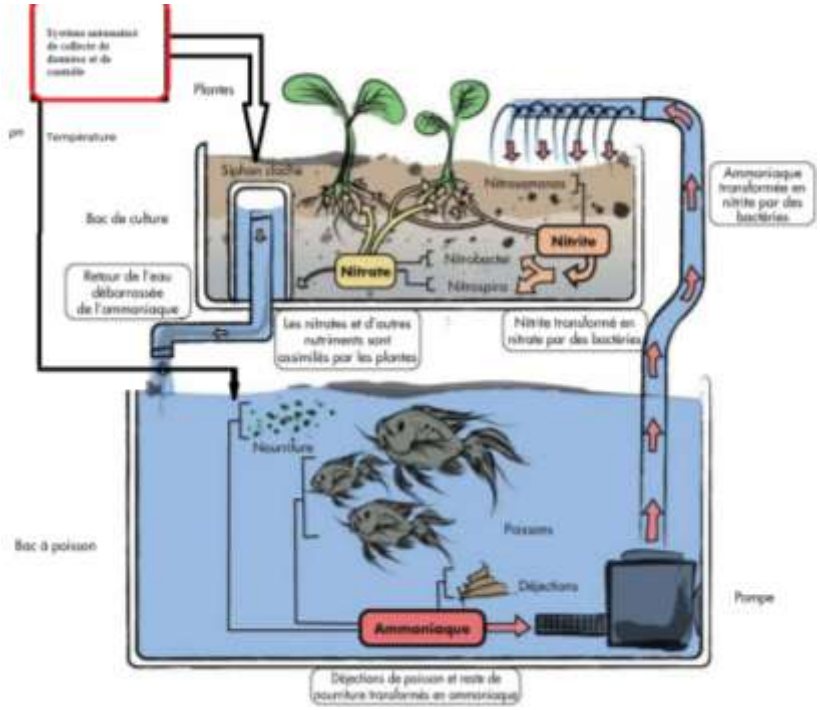


Figure III.1. *Schéma Synoptique de la mini serre aquaponique automatisé*

III.2 Synoptique de la mini serre aquaponique automatisé

Pour mettre en œuvre notre mini serre aquaponique automatisée, nous avons réfléchi à la conception présentée dans la figure III.1.

En fait, c'est un écosystème en circuit fermé, il est composé de deux bacs l'un pour les poissons et l'autre pour les plantes. Une pompe assure la circulation de l'eau vert les plantes, cette eau est riche en engrais résultante des déchets des poissons. Ensuite, l'eau est filtrée dans le bac des plantes et retourné vers le bac de poissons. Un système de collecte de données et de contrôle est une partie intégrante de ce système, il est associé à différents capteurs de Température, pH, NAOH. Le système de contrôle est basé sur une carte Arduino, l'interface de communication avec les capteurs et le hardware est gérée par un programme en langage C++ qui est aussi adapté à Arduino (Logiciel IDE).

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

Le noyau du système de collecte de données et de gestion de la mini serre aquaponique est Arduino. Dans ce qui suit, nous allons présenter les différents composants que nous avons utilisés dans notre prototype de la mini serre aquaponique automatisé.

III.3.1 Carte ARDUINO

Arduino est une plateforme de développement open-source basée sur une petite **carte électronique programmable** et d'un **logiciel**. Elle construite autour d'un **microcontrôleur** et d'un certain nombre d'entrées et de sorties (les ports) permettant la connexion de **capteurs** (température, humidité…), ou **d'actionneurs** (moteur, DEL, servo-moteur…).

Le logiciel de programmation des cartes Arduino est une application, **libre** et **multi-plateformes**, servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison USB. Le langage de programmation utilisé est un mélange de **C** et de **C++**, restreint et adapté aux possibilités de la carte.

Il existe de **nombreux domaines d'applications** pour l'Arduino tels que la robotique, la domotique, la modélisation, la télécommunication, informatique embarquée…

Arduino a plusieurs avantages cités comme suit :

- **Le prix (réduits) :**

Les cartes ARDUINO sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plateformes. La moins chère des versions du module ARDUINO peut être assemblée à la main.

- **Multi plateforme :**

Le logiciel ARDUINO, écrit en JAVA, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.

- **Logiciel Open Source et extensible :**

Le logiciel ARDUINO (IDE) et le langage ARDUINO sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmateurs expérimentés. Le logiciel de programmation des modules ARDUINO est une application JAVA multi plateformes

(fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme à travers la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).

- **Matériel Open source et extensible :**

Les cartes ARDUINO sont basées sur les Microcontrôleurs Atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328. Les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et les concepteurs des circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes ARDUINO, en les complétant et en les améliorant. Même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte ARDUINO, dont le but est de comprendre comment elle fonctionne pour économiser le coût

III.3.2 Les type de carte ARDUINO

Il y a trois types de cartes :

- « officielles » qui sont fabriquées en Italie par le fabricant officiel : Smart Projects
- « compatibles » qui ne sont pas fabriqués par Smart Projects, mais qui sont totalement compatibles avec les ARDUINO officielles.
- « autres » fabriquées par diverses entreprises et commercialisées sous un nom différent (Freeduino, Seeduino, Femtoduino, [23-24].

Les cartes Arduino utilisés dans les différents projets sont classés en trois catégories : Arduino Nano, Arduino UNO, Arduino MEGA.

Figure III.2. *Les types d'ARDUINO*

Pour notre prototype, nous avons opté pour le choix de la carte **ARDUINO Uno** pour sa disponibilité, sa capacité mémoire et le nombre suffisants de ports analogique et numérique pour l'interface avec notre projet

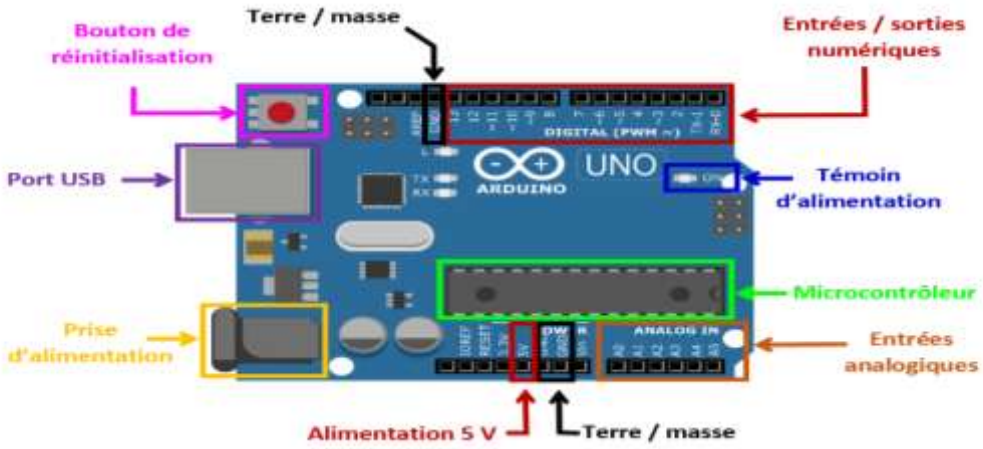


Figure III.3. *Schéma d'une carte ArduinoUno(W1)*

- **Le microcontrôleur**

C'est le cerveau de notre carte. Il va recevoir le programme que nous allons créer et va le stocker dans sa mémoire avant de l'exécuter..

- **L'alimentation**

Pour fonctionner, une carte Arduino a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée directement en 5V par le port USB ou bien par une alimentation externe. Pour connecter à la carte des composants (résistances, diodes, moteurs…), la carte Arduino possède des broches (pins, en anglais). Sur les Arduino et sur beaucoup de cartes compatibles Arduino, les broches se trouvent au même endroit. Cela permet de fixer des cartes d'extension, appelée shields en les empilant.

Les shields permettent d'augmenter les fonctionnalités des cartes Arduino.
Examples: shield Wifi, shield SD, shield GPS…
Les principales broches Arduino que nous allons utiliser sont :

- ✓ 0 à 13 : Entrées/sorties numériques
- ✓ A0 à A5 : Entrées/sorties analogiques
- ✓ GND : Terre ou masse (0V)
- ✓ 5V : Alimentation +5V

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

- **Le logiciel Arduino IDE (Integrated Delopment Environment)**

Le logiciel Arduino est un environnement de développement Intégré (Integrated Development Environment, IDE) open source et gratuit. C'est grâce à ce logiciel que nous allons créer et envoyer les programmes sur la carte Arduino.
Le logiciel Arduino est téléchargeable à l'adresse suivante: **[25]**

Les principaux boutons :
1 : Permet de vérifier si le programme ne contient pas d'erreurs.
2 : Charge (téléverse) le programme dans la carte Arduino.
3 : Crée un nouveau fichier.
4 : Ouvre un fichier.
5 : Enregistre le fichier.
6 : Ouvre le moniteur série.

Figure III.4.*le logiciel ARDUINO (IDE)*

- **Structure d'un programme (sketch) Arduino**

Pour être exécutable, un sketch Arduino doit contenir les deux fonctions suivantes :

- setup () ;
- loop().

La structure d'un sketch Arduino est présentée dans la figure (III.5).

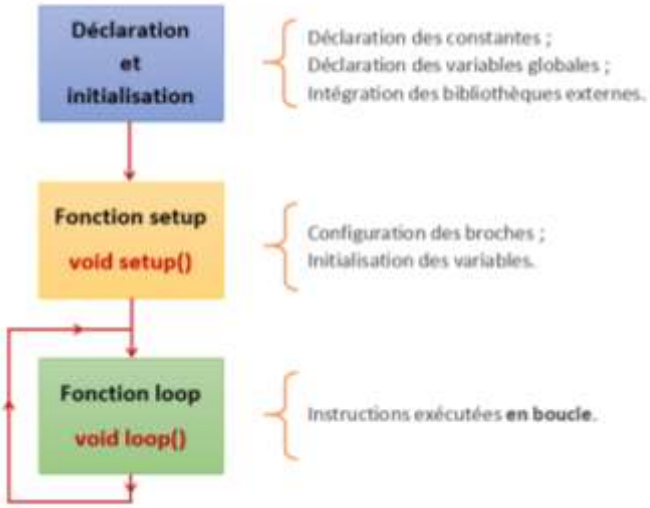


Figure III.5.*Structure du programme (Sketch)*

III.3.2. La sonde de détection de la valeur du pH

Dans ce projet, nous nous sommes basé sur le capteur de détection de valeur liquide PH0-14 + sonde d'électrode de pH BNC pour Arduino DB. Ce pH-mètre analogique est spécialement conçu pour les contrôleurs Arduino et dispose de connecteurs pratiques avec de nombreuses autres fonctionnalités. Connexion instantanée avec la sonde et l'Arduino pour obtenir des mesures de pH à ±0,1pH. Pour la plupart des amateurs, cette gamme de précision et ce faible coût en font un excellent outil pour la biorobotique et d'autres projets. Il dispose d'une LED qui sert d'indicateur d'alimentation, d'un connecteur BNC et d'une interface de capteur pH 2.0. Pour l'utiliser, il suffit de connecter simplement le capteur de pH au connecteur BND et brancher l'interface pH2.0 sur le port d'entrée analogique de n'importe quel contrôleur Arduino. S'il est préprogrammé, la valeur du pH est facilement indiquée. Il est livré dans un étui en plastique compact avec de la mousse pour un meilleur rangement mobile.

Figure III.6. *Capteur de détection de valeur liquide PH0-14 + sonde d'électrode de pH BNC pour Arduino DB*

Tableau III.1. Ccaractéristiques de capteur de détection le pH

Alimentation	5 ± 0,2 V
Consommation max	5-10 mA
Plage de mesure	PH0-14
Temps de réponse	≤ 5 S
Taille du module	42 mm × 32 mm × 20 mm

III.3.3.Capteur de Température CTN KY-028

Ce module contient une thermistance NTC qui peut mesurer des températures comprises entre -55°C et +125°C. La valeur de la résistance diminue à des températures plus élevées. A température élevée, la valeur de la résistance diminue.

Ce capteur est parfaitement adapté à la mesure de seuils. Cela signifie que le capteur émet un signal numérique élevé dès qu'une valeur seuil définie par l'utilisateur est dépassée. Cependant, cela signifie également que les valeurs mesurées analogiques ne sont pas adaptées aux conversions, car le signal analogique est également influencé par le potentiomètre rotatif.

Sortie numérique: si une température est mesurée au-dessus d'une valeur limite, celle-ci est émise ici - la valeur limite peut être réglée à l'aide du potentiomètre.

Sortie analogique: Valeur est mesurée directement de l'unité de détection

LED1: Indique que le capteur est alimenté en tension.

LED2: Indique que la valeur limite a été dépassée.

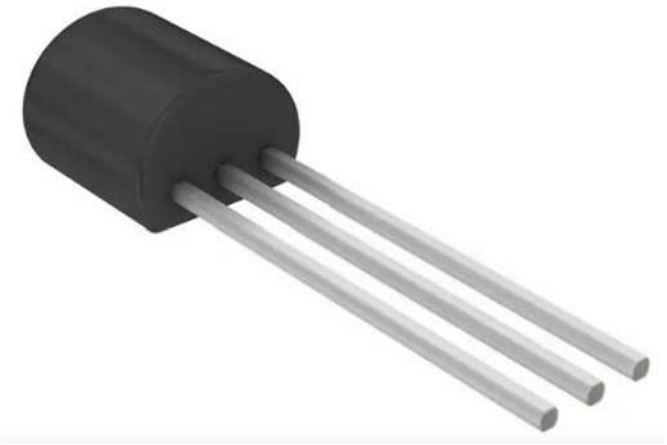


Figure III.7. *Capteur De Température CTN KY-028*

III.3.4 RTC module DS1307

Un Arduino Uno et son microcontrôleur ATmega328P ne possèdent pas d'horloge interne. Ils ne sont donc capables de retourner ni l'heure ni la date courante. C'est le rôle d'un composant appelé « RTC » qui signifie « Real Time Clock », ou HTR en français qui signifie « horloge temps réel »

L'utilisation de modules basés sur ce composant est assez pratique, car ils incluent généralement le composant, un oscillateur externe et le support pour la pile. Ils communiquent généralement avec l'Arduino via le bus I2C

Figure III.8. *RTC module DS1307*

Tableau III.2. Caractéristiques de RTC module DS1307

Alimentation	4,5V à 5,5V
Consommation de courant	1,5 Ma
Port de communication	I2C
Fréquence de transmission maximale	100KHz
Température de fonctionnement	0°C à +70°C

III.3.5. Écran Arduino LCD

LCD QAPASS vous permet d'afficher visuellement les données des capteurs. Le module LCD QAPASS est connecté à l'Arduino via I2C.

Figure III.9. *Écran Arduino LCD*

III.3.6. Les actionneurs

Un actionneur est un dispositif qui transforme l'énergie délivrée par l'interface de puissance, en énergie utilisable par les effecteurs de processus. Les moteurs électriques, les vérins pneumatiques ainsi que les éléments chauffants sont des exemples typiques d'actionneurs utilisés en automatisation industrielle [23].

III.3.7 La pompe à membrane micro 385

La pompe à membrane micro 385 est résistante aux hautes températures, pas de pièces mécaniques dans le corps de la pompe, performance stable, économie d'énergie, installation facile, faible bruit, longue durée de vie, etc.

Figure III.10. *La pompe à membrane micro 385*

Tableau III.3. Caractéristiques de La pompe électrique :

Alimentation	5 – 12v
Courant	0,4 A
Débit	1,7 ± 0,1 l/min
aspiration maximale	3 m
Dimensions	90 X 40 X 35 mm
temps de fonctionnement continu maximum	100h

III.3.7 Relais

Une carte ARDUINO fonctionne avec une tension de 5V. Pour des petits robots mobiles, cette tension est suffisante. Mais pour des robots plus gros et plus puissants, 5V est loin d'être

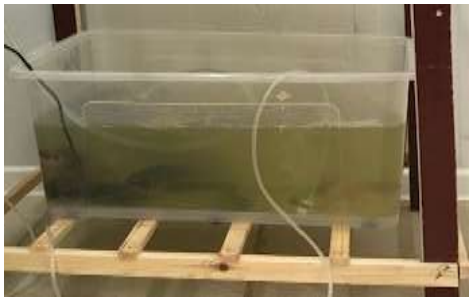
suffisant. Il y a donc deux alimentations séparées, l'une pour le circuit 'de commande' et l'autre pour le circuit de 'puissance'. Et pour faire le lien entre les deux circuits, il faut utiliser le module relais compatible ARDUINO. Il est très compact et utilisable avec toutes les cartes ARDUINO. Son utilisation est très facile et il possède une deux LED pour visualiser l'état (LED verte pour l'état passant et la LED rouge pour l'état bloqué du relais.

Figure III.11. *Module relais*

III.4 Réalisation pratique de la mini serre aquaponique automatisé

Dans cette partie, nous allons expliquer les principales parties composants notre mini serre aquaponique automatisé.

- ✓ **Le bac des poissons** : c'est un petit réservoir de 50 litres (figure III.12). Sa dimension est de 60cmx30cm.
- ✓ **Le bac des cultures** : En aquaponie, tout est relatif et dépend du volume de plantes cultivés au bac de culture. Pour les premiers tests de la fonctionnalité du système aquaponique, nous avons opté pour un bac de culture de dimension (40cm/25cm).



(a)bac des poissons

(b) bac pour les cultures

Figure III.12. *Bacs des poissons et des cultures*

- ✓ **Fabrication du siphon avec filtre** (Figure III.13) **:** Les dimensions du siphon devraient être précises. Leurs calcul est critique car elles définissent la hauteur maximale du niveau d'eau ainsi que la hauteur d'eau minimale de la marée basse.

Pour notre mini serre, nous avons utilisé certains outils tels que :

- ✓ Tronçonneuse électrique
- ✓ Chignole électrique
- ✓ Chalumeau
- ✓ Colle adhésif

Figure III.13. *Siphon fabriqué et implanté dans le bac des cultures*

- ✓ **La pompe d'eau** : C'est un dispositif permettant la circulation et l'accélération d'eau dans les tuyaux, son utilisation est possible pour des profondeurs jusqu'à 8 mètres. Un tuyau d'aspiration se plonge dans l'eau en reliée à la pompe pour transférer l'eau du bac des poissons au bac des cultures. Dans cette réalisation, nous avons utilisé une pompe à eau (Rs-08) de RS-Electrical avec débit maximal de 1000L/H (figure III.14).

Figure III.14. La pompe à eau RS-08

- ✓ **Oxygénateur pour le bac des poissons :** L'oxygène est primordial pour notre écosystème. En effet, les poissons ont besoin d'oxygène pour leur vie et leur évolution. Toutefois, le choix du système d'oxygénation dépend de la dimension du bassin et du nombre et dimension des poissons disponibles dans le bac. Pour notre mini serre, nous avons opté pour un oxygénateur de la marque RS-Electrical, le RS290 adéquat à notre bac de poissons (Figure III.15).

(a) Oxygénateur RS290

(b) Sonde d'oxygénation

Figure III.15. Oxygénateur RS-Electrical- RS290

- ✓ **Support en boit en deux étages** (figure III.16)**:** Une colonne en deux étages en boit a été fabriqué comme support à la foi aux bacs des poissons et des cultures.

III.4.1. Mise en œuvre de la mini serre aquaponique automatisé

A ce stade, nous allons procéder à conception tridimensionnelle de la mini serre aquaponique automatisé (figure III.16). Toutefois, avant la mise en place pratique de la mini serre aquaponique, certaines étapes de vérification sont nécessaires afin d'assurer un écosystème aquaponique fiable :

Figure III.16. *La mise en place de la mini serre aquaponique*

III.4.1.1 Qualité de l'eau dans un écosystème aquaponique

Dans l'écosystème aquaponique, il est nécessaire d'utiliser l'eau douce à la fois pour les poissons et les cultures. En générale, on retrouve le plus souvent des eaux qui sont polluées aux engrais et aux pesticides de tout genre. La meilleure eau est évidemment l'eau de pluie, En conséquence, l'eau de pluie doit être correctement récoltée et stockée. Elle est la source d'eau la plus saine et naturelle qui convient au mieux à notre système aquaponique [5].

Il est clair que pour la région de Mostaganem, l'eau du robinet est issue de la station de dessalement donc sa composante risque d'être nuisible aux poissons et aux plantes à cause du taux du calcaire élevé.

Par conséquent, nous avons choisi un type proche de l'eau de pluie, c'est l'eau des puits de vallée qui est résultante de l'eau de pluie. L'eau a été ramenée d'une ferme aquaponqiue classique au niveau de la commune de Stidia, Mostaganem.

III.4.1.2 Tests préliminaires du système aquaponique

Une fois l'installation est achevée, nous avons procédé aux tests de circulation de l'eau entres les deux bacs et à l'acquisition des données à vide sans poissons et sans plantes.

Cette étape a été nécessaire afin de vérifier les fuites d'eau et les différents problèmes techniques qui peuvent surgirent.

Une fois que nous avons réglé l'ensemble des problèmes en particulier celle de la fuite de l'eau, nous avons ensuite ramené les poissons et les graines de Tomates.

III.4.1.3 Les Poissons

Le choix du type de poissons à utiliser en aquaponie est conditionné par plusieurs paramètres tels que la disponibilité et le prix de l'espèce, la température de l'environnement, la qualité d'eau,…. Le mélange des espèces différentes est possible à conditions qu'elles sont soumises aux mêmes conditions environnementales et de même nature alimentaire. D'où les espèces de poissons carnivores et herbivores ne doivent pas être dans le même bassin.

Figure III.17.Ferme d'élevage des poissons de Type TILAPIA à Stidia, Wilaya de Mostaganem

Une formation d'une semaine avec la direction de la pêche, Mostaganem sur les poissons d'eau douce a été nécessaire pour nous. Elle a été très utile pour ce travail de fin d'étude.

En compagnie des experts de la direction de la pêche, nous avons opté pour le choix du TILAPIA, cette espèce est disponible au niveau de plusieurs fermes dans la wilaya de

Mostaganem (figure III.17) destinés à l'élevage de poissons et la culture des plantes et arbres fruitiers. L'expérience des fermiers montre que cette technique réduit l'usage des pesticides et ils obtiennent une meilleure qualité de produits sans maladies et plus sains biologiquement pour la sécurité Alimentaire.

- **Nombre de poissons pour la mini serre aquaponique**

En aquaponie il n'y a pas vraiment de règle, tout dépend des espèces de poissons et du nombre des plantes cultivées. Plus le bassin sera petit et moins il est recommandé de manger les poissons issus de l'élevage (ils ne grossiront pas dans des petits volumes).

Les plantes vont se charger de fournir aux poissons une eau claire, pure et limpide, déchargée de nitrates [4].

En fonction de la dimension du bac à poissons et de la taille des poissons, nous pouvons identifier le nombre adéquat pour leurs assurer une certaine flexibilité du mouvement. Nous avons pris entre 15 à 19 poissons de 3 à 4 cm de longueur. Cette sélection est basée sur l'espèce, le style de vie et la taille.

Il vaut mieux choisir des poissons comestibles mais parfois c'est difficile à les trouver.

Figure III.18. Les poissons de type TILAPIA de 3 à 4 cm de longueur de la mini serre aquaponiique

- **La nourriture des poissons**

Une fois le choix de l'espace de poisson a été établi en l'occurrence les Tilapia qui sont des Poissons herbivores, il fallait trouver la nourriture la plus convenable pour eux. Nous opté pour le choix de la nourriture spécifique et destiné aux poissons qui est riche en protéines (figure III.19) en plus d'une quantité de semoule pour assurer la bonne croissance des

poissons. Toutefois, dans les fermes d'élevage d'autres types de nourriture sont utilisé car le prix devient cher de l'alimentation préfabriquée dédiée aux poissons.

Néanmoins, il faut trouver un compromis pour nourrir les poissons car les nourrir excessivement est très nocif et ils peuvent pourrir dans le système aquaponique. La pourriture des aliments cause des maladies et consomme beaucoup d'oxygène dissous. En plus, ce qui n'a pas été consommé après un moment doit être retiré afin d'ajuster la quantité d'alimentation pour chaque jour [4].

L'alimentation régulière du poisson est une raison nécessaire pour maintenir l'équilibre nutritionnel de notre système aquaponique. Nous avons donc préféré nourrir les poissons deux fois par jour, et à chaque repas on distribue environ 20 grammes de nourriture.

Figure III.19. *Nourriture des poissons*

III.4.1.4 Choix des plantes cultivées et espacement

La culture de certains fruits et légumes a vraiment besoin du temps parce qu'ils ont besoin d'une grande quantité de nutriments, alors nous avons préféré commencer avec des plantes pauvres en nutriments comme les tomates.

La sélection et l'espacement des plantes est fait judicieusement. Nous avons donc planté les tomates car elle a un cycle de croissance court et nous pouvons aussi cultiver de la menthe, du persil et du basilic et de la tomate.

Il est nécessaire de séparer les plantes avec une distance appropriée pour donner une bonne nutrition aux plantes.

(a) Evolution de la culture de la tomate (b) les racines des tomates à planter dans notre mini serre

Figure III.20. Les racines des Tomates planté dans la mini serre aquaponique

- **La lumière**

Il est connu que les plantes ont besoin de la lumière pour effectuer la photosynthèse. La lumière du soleil est l'une de nos principales sources d'implantation, d'où notre système doit être exposé quotidiennement au soleil, mais pour des raisons de sécurisé, nous avons préféré faire fonctionner notre système dans le laboratoire.

La durée de l'exposition à lumière dépend du type de plante et de la lumière disponible dans sa zone de croissance. Dans notre cas, nous avons utilisé l'éclairage du laboratoire comme source de lumière pour notre système. Au stade végétatif de la plante, nous avons préféré permettre aux plantes de bénéficier de la lumière entre 14 et 18 heures quotidiennement.

D'autre part, pour améliorer la fructification et la prospérité, la base est d'effectuer l'éclairage pendant au moins 12 heures par jour en l'absence de lumière naturelle.

III.4.2 Mise en marche de la mini serre aquaponique automatisé

Une fois que nous avons apporté les corrections nécessaires au bon fonctionnement de notre mini serre aquaponique automatisé. Nous avons mis en marche le système sous le contrôle du système de contrôle et collecte de données. Il est à noter que nous avons relevé au démarrage quelques problèmes lié à l'ajustement de la pompe pour avoir le débit de l'eau adéquat. Ensuite, nous avons pu choisir le flux idéal pour notre système et cela a correctement fonctionné.

La mini serre aquaponique automatisé que nous avons réalisé a pour but d'assurer le contrôle automatique de quelques paramètres que nous avons jugé pertinent tels que: température, le PH. Si les seuils standards sont dépassés le système y remédié automatiquement.

Ces paramètres sont mesurés en utilisant un ensemble de capteurs et actionneurs. Tous ces paramètres sont contrôlés par la carte ARDUINO de type UNO.

Figure III.21. Prototupe de l a mini serre aquaponique automatisé réalisé avec le systéme de collecte et de contrôle de données et un affichage visuele sur écran LCD

Le prototype présenté dans la figure III.21 illustre le schéma global de notre prototype réalisé. La programmation s'est faite en premier avec le logiciel FRITZING adéquate avec

l'IDE de l'ARDUINO UNO. Le schéma électrique et les branchements du système automatisé de collecte et contrôle des données sont présentés dans l'Annexe A tandis que le programme d'acquisition, de contrôle et d'ajustement est présenté dans l'Annexe B.

III.4.3 Analyse et discussion des résultats

Nous avons procédé à la collecte des données du pH et de la température sur 24 heures à partir de 17h 06 du 7 septembre 2023 à 17h06 du 8 septembre 2023 avec un intervalle de 6 minutes, 300 échantillons ont été collectés. La mesure moyenne du pH est de 7.51 et la température de l'eau est de 24,99 ˚C.

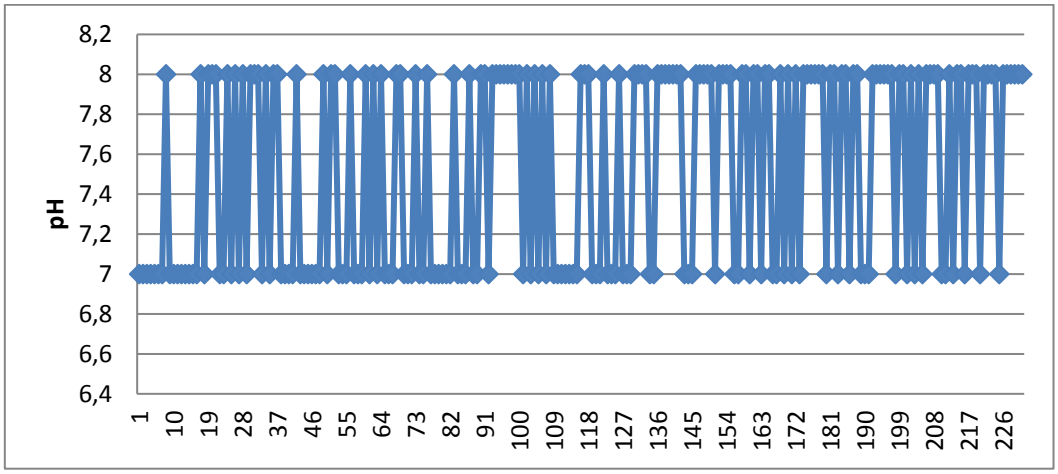


Figure III.22. *Prevelevemet de 300 echanillants du pH sur 24h avec une période de mesure de 6 minutes*

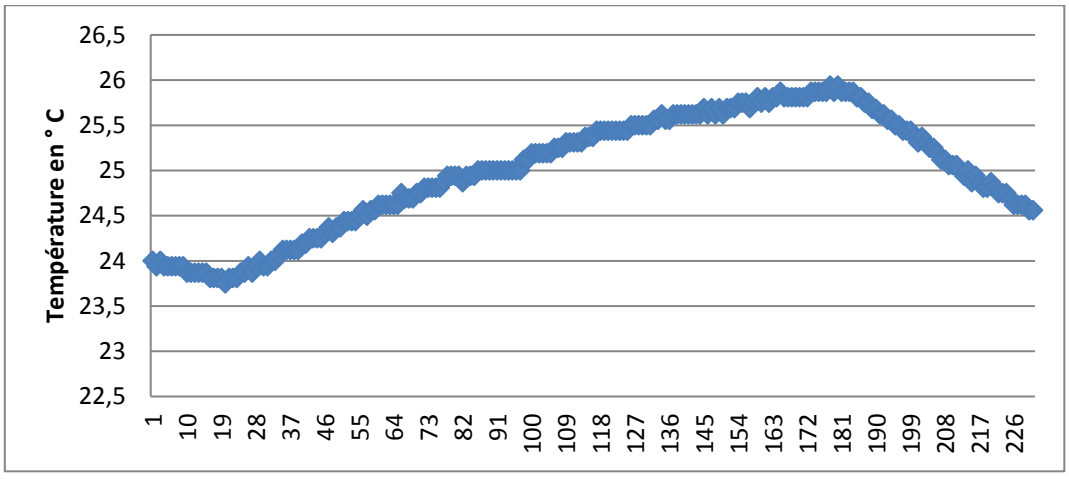


Figure III.23. *Prevelevemet de 300 echanillants de température en ˚C sur 24h avec une période de 6 minutes*

A partie de la figure III.22, nous observons que pH est dans la norme à la fois pour le bac des poissons et celui des cultures. Toutefois, s'il y'avait une augmentation du pH, une régulation du NAOH

La figure III.23, nous indiquent que la température est inférieure à la norme préconisée pour l'élevage des poissons au Nile, toutefois, ces mesures sont normal dans les autres régions. En effet, la norme pour l'élevage du Tilapia en terme de température est que : la température minimale de 22 °C et la maximale est de 32 °C. En cas de réduction de la température ou son augmentation un processus de la régulation automatisée de la température du milieu est nécessaire.

Par ailleurs, notre système a été conçu de telle sorte que Si :

- Si la température est moins de 22° le capteur détecte cette baisse, alors il faut branchée une résistance chauffante rapidement pour augmenter la température.
- Si le PH est < 7 le capteur détecte cette valeur et la pompe de NAOH est immédiatement activée

- ✓ **Observations et contraintes**

En principe, des mesures sur la l'évolution de culture des tomates ou toute autres plantation devaient se faire ainsi qu'un suivi rigoureux de l'élevage des poissons. Cependant, nous n'avons pas pu suivre correctement les plantes et les poissons à cause des conditions de travail lors de l'élaboration de ce projet de fin d'étude, en particulier, le manque d'un laboratoire pour les projets de fin d'étude ouvert pendant les vacances d'été avec du matériel technique et agronomique.

Nous avons planté des haricots verts mais les plantes n'ont pas bien germé. Nous avons aussi ramené 3 fois les poissons de Tilapia, nous avons constaté que le changement de l'environnement provoque des chocs et du stress chez les poissons, d'où plusieurs poissons sont décédés. Il est à noter que l'éleveur des poissons nous a prévenus de ce phénomène.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux démarches et équipements pour la réalisation d'une mini serre aquaponique automatisé. Nous avons aussi justifié nos choix des équipements, de type des poissons ainsi que des cultures.

Nous avons montrés que les conditions environnementales en termes de pH et température sont dans la norme à la fois pour les poissons et les cultures.

Toutefois, il faut plus de temps pour suivre les cultures et l'évolution des poissons. Des analyses aussi pour les deux milieux doivent être préconisées.

Conclusion générale et perspectives

Notre projet consistait à réaliser une mini serre aquaponique automatisée pour la production agricole en faisant interagir trois environnements dans un même écosystème.

Ce projet, nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et d'acquérir une certaine expérience au niveau de la réalisation pratique. Nous avons eu l'occasion d'étudier, de concevoir et d'utiliser une diversité de matériels et logiciels.

Nous avons commencé par faire une formation sur les techniques d'élevage de poissons TILAPIA ROUGE au niveau de la direction de la pêche de Mostaganem. Cette formation était nécessaire pour connaitre comment suivre la croissance des poissons dans notre système aquaponique.

Nous avons aussi étudié les équipements électroniques nécessaires à la réalisation du système de collecte et de gestion des données. Nous nous sommes intéressés le plus à la carte Adruino Uno qui permet d'avoir plusieurs connectivités avec différents capteurs à savoir le capteur du pH, celui de la température et celui du NAOH. La programmation a été faite avec le logiciel IDE dédié à la programmation de l'Arduino.

Ensuite, nous avons entamé la réalisation pratique de notre mini serre aquaponique automatisé. Les résultats de collecte de données montrent que le pH de l'eau est souvent entre 7-8 et la température moyenne est de 24° C. Ces valeurs montrent que l'écosystème travail dans des conditions normales. Toutefois, nous avons remarqué que :

- Le transport des poissons engendre un stress, en conséquence, nous avons perdu plusieurs poissons
- La différence de température entre le milieu d'origine et notre mini serre provoque aussi un choc thermique qui engendre aussi la perte des poissons

Pour les plantes, nous avons eu plusieurs problèmes, celles de la perte de la récolte. Nous avons commencé par la culture de l'haricot vert mais aussi le changement de milieu, les a rendus sensible. Ensuite, nous avons ramené des racines de tomates, certaines continuent à pousser, pour d'autres, nous avons observé la pourriture des racines.

Toutefois, nous tenons à noter que le problème de l'instabilité dans un laboratoire dédié aux projets de fin d'études pour CUPAGIS qui intègre à la fois la partie technique et électronique et l'agriculture nous a perturbé énormément et nous a retardé dans l'avancement de notre projet.

La conception et la réalisation de la mini serre automatique étant finalisé, il sera judicieux de faire l'analyse permanente de la qualité de l'eau pour identifier les causes de la mort des poissons en plus du stress thermique et du changement d'environnement.

Pour les plantes, il faut plus de temps pour avoir une récolte correcte.

En résumé, nous avons conçu et réalisé un mini système qui est prometteur en Algérie pour l'agriculture biologique en particulier à l'intérieur des bâtiments ou dans les zones arides.

Perspectives

- Analyse approfondi sur les causes de la mort du Tilapia
- Test d'autres espèces de poissons
- Prendre le temps nécessaire pour faire différentes cultures
- Réalisation d'un système d'alimentation automatique pour les poissons
- Améliorer le système de collecte et de contrôle en ajoutant :
    - Une carte WIFI pour le transfert des données à distance
    - une caméra pour le control à distance de la mini serre
    - Création d'une start up

Références

Bibliographies

[1] P. Foucard**, A.**Tocqueville**,** J.F. Baroiller**, M.**Gaumé**, L.** Labbé Laurent**,** C. Lejolivet, **'***Aquaponie, Associer aquaculture et production végétale'*, Ed. Quae, 209 p. ISBN 978-2-7592-2964-2- Agritrop.

[2] J**.** Scott, '*Evolution of Aquaponics'* Aquaponics Journal, Vol IV, N°1, 2002, edition Nelson and Prade.

[3] C. Soomerville, M. Cohen, A. Staunkus, A. Lovatelli, **'***Small-scale aquaponic food production: Intergrated fish and plant farming', Edition FAO, 2014, ISBN 2070-7010.*

[4] B. Stalport,' *Modélisation et développement d'un système aquaponique avec surveillance métrologique pour l'étude du cycle de l'azote',* Master en bioingénieur : sciences et technologies de l'environnement, à finalité spécialisée, 2016-2017, Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT).

[5] P. Harlaut, **'***Tout savoir sur l 'aquaponie*', Ebook de l'editeur aquaponie.biz.

[6] T. E. Wik, B. T. Lindén, P. I .Wramner, ' Integrated dynamic aquaculture and wastewater treatment modelling for recirculating aquaculture systems', Aquaculture,Issue 287, pp. 361-370, 2009.

[7] C. Chapman, B. Jackson, D.Neumann, B.Steff, N.Weber, C.Damm, '*A Low Carbon Emitting Energy Source for Urban Aquaponics Systems*', Report of MILWAUKEE SCHOOL OF ENGINEERING – ME 490.

[8] R.L. Nelson, J.S. Pade, *'Aquaponic Food Product - Raising fish and plants for food and profit', Janvier 2008.Edition.Holly heart collection*

[9] https://www.backyardaquaponics.com/

[10] https://www.aquaponie.fr/

[11] Z. Sohou R.C. .Houedjissin, N.R.A. Ahoyo**, '***La pisciculture au Bénin : de la tradition à la modernisation'*. Bulletin de La Recherche Agronomique Du Bénin, 66(12), 48–59, 2009.

[12] FAO Forum, '*Global agriculture towards 2050: How to feed the world, 2050',* Rome: 12-13 October 2009.

[13] C.H.Mélard, '*la biologie d'Oreochromis (Tilapia) niloticus (pisciesCichiliae) en élevage expérimental : reproduction, croissance, bioénergétiqu',* Thèse de doctorat en sciences zoologique, université de Liège, 1989.

[14] J.C. Philippart, J.C. Ruwet, '*Ecology and distribution of tilapia',* ICLARM Conference', 1982.

[15] B. Kestemont, '*Global Forum on Food Security and Nutrition (FSN Forum)', 2003.*

[16] S Diver, L Rinehart, *'Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture', 2000.*
[17] J. B. Jones, '*Hydroponics; Apractical Guide For the Soilless Grower',* CRC Press, Boca Ration ,Fl (2005).

[18] D.Blancard, H. Laterrot, G. Marchoux, T.Candresse, 'Les maladies de la tomate ; identifier ,connaitre, maitriser. Edition Quae C/O INRA, Versailles.

[19] J.M. Polese, *'La culture de la tomate'*, Editions Artemis, 28 mars 2007.

[20] L. Gry, *'La tomate en révolution permanente'*, Journal de semence et progrès, 1994.

[21] L.Bazzzano, M.Serdula, *'Dietary intake of fruits and vegetables and risk of cardiovascular disease'*. Curr Atheroscler Rep 2003 November, 5 (6), 492-9p.

[22] *'La Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture',* FAO, 2022
[23] A. krama et A. Gougui, " Etude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le système Androïde", Université Sciences et technologies Kasdi Merbah Ouargla Académique mémoire MASTER, 2015

[24] Electronique Analogique modulaire, les actionneurs

[25] http://arduino.cc

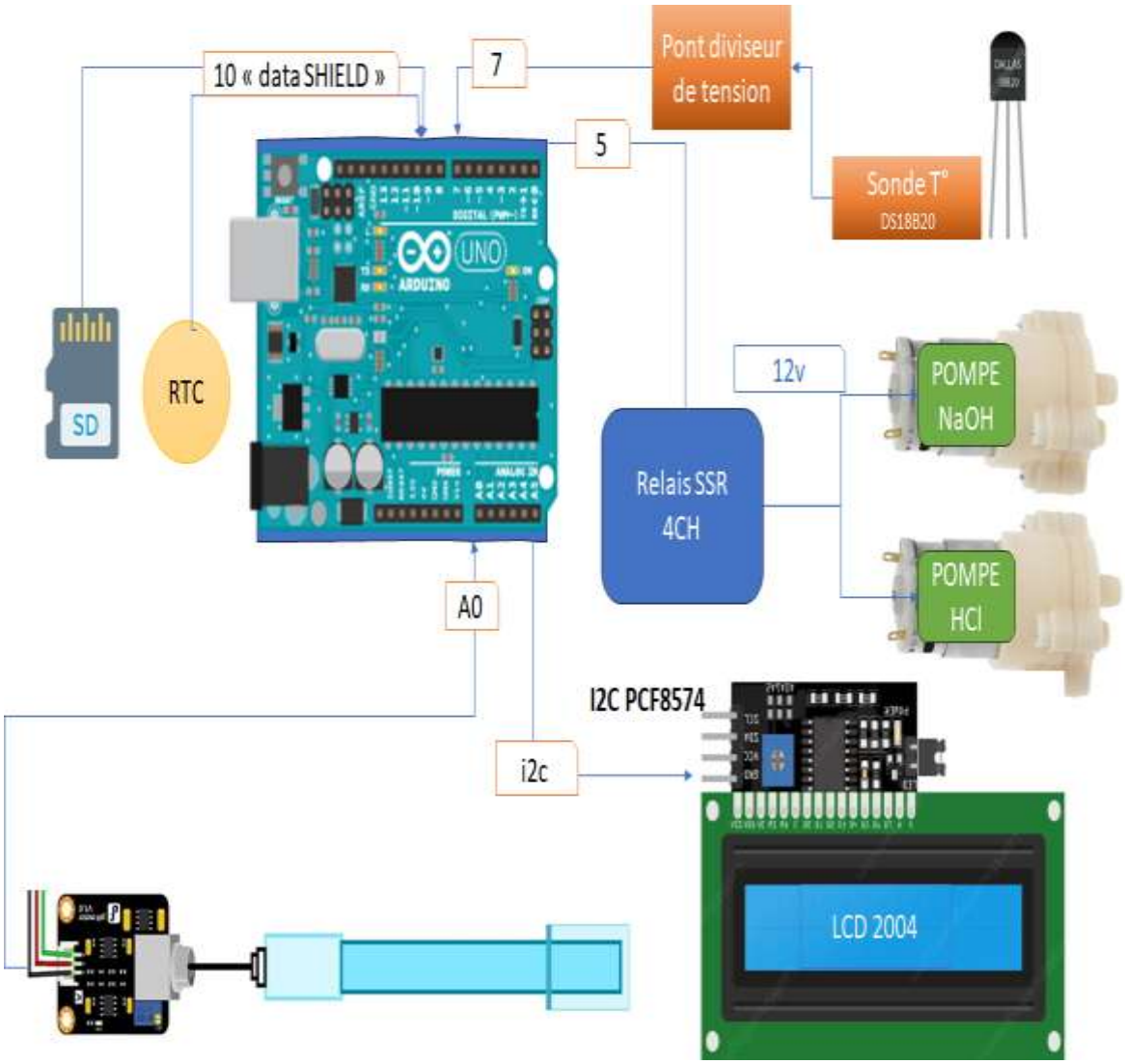


Schéma Electrique des interconnections entre les composants

du système de collecte et gestion des données

Programme pour la collecte et la gestion des données de la mini serre aquaponique

```
int pinSondePh = A0;           // Pin A0 pour la sonde de pH
int pinSondeTemperature = 7;   // Pin 7 pour la sonde de température
int pinPompeNaOH = 5;          // Pin 5 pour la pompe à NAOH

float seuilPh = 6.5;           // Seuil de pH souhaité
float seuilTemperature = 25.0; // Seuil de température souhaité
OneWire oneWire(pinSondeTemperature);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 4);  // Adresse I2C de l'écran LCD 1604

RTC_DS1307 rtc;
File dataFile;

void setup() {
  Serial.begin(9600);       // Initialisation de la communication série
  sensors.begin();          // Initialisation des capteurs de température

  pinMode(pinPompeNaOH, OUTPUT);  // Configuration du pin de la pompe à NAOH en sortie

  lcd.begin(16, 4);               // Initialisation de l'écran LCD
  lcd.backlight();                // Activation du rétroéclairage
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("pH:");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Temp:");

  // Initialisation du module RTC
  Wire.begin();
  rtc.begin();

  // Initialisation de la carte SD
  if (!SD.begin(10)) {
    Serial.println("Échec de l'initialisation de la carte SD !");
    return;
  }

  // Ouverture du fichier de données en mode écriture
  dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);
  if (!dataFile) {
    Serial.println("Erreur lors de l'ouverture du fichier !");
    return;
  }

  // Écriture de l'en-tête dans le fichier
  dataFile.println("pH,Temp,Date,Heure");
  dataFile.close();
}

void loop() {
  // Lecture de la sonde de pH
  int valeurPh = analogRead(pinSondePh);        // Lecture de la valeur analogique
  float pH = map(valeurPh, 0, 1023, 0, 14);     // Conversion de la valeur en pH (0-14)

  // Lecture de la sonde de température
  sensors.requestTemperatures();                // Demande la mesure de température
```

```
float temperature = sensors.getTempCByIndex(0); // Lecture de la température en Celsius

// Affichage des valeurs sur le moniteur série
Serial.print("pH : ");
Serial.println(pH);

Serial.print("Température : ");
Serial.print(temperature);
Serial.println("°C");

// Affichage des valeurs sur l'écran LCD
lcd.setCursor(3, 0);
lcd.print(pH);
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(temperature);

// Affichage de la date et de l'heure sur l'écran LCD
if (rtc.isrunning()) {
  DateTime now = rtc.now();

  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print(now.day(), DEC);
  lcd.print("/");
  lcd.print(now.month(), DEC);
  lcd.print("/");
  lcd.print(now.year(), DEC);
  lcd.print(" ");
  lcd.print(now.hour(), DEC);
  lcd.print(":");
  lcd.print(now.minute(), DEC);
}

// Contrôle de la pompe à NAOH en fonction des seuils
if (pH < seuilPh && temperature > seuilTemperature) {
  // Activer la pompe à NAOH
  digitalWrite(pinPompeNaOH, HIGH);
  Serial.println("Pompe à NAOH activée !");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("Pompe: ON ");
} else {
  // Désactiver la pompe à NAOH
  digitalWrite(pinPompeNaOH, LOW);
  Serial.println("Pompe à NAOH désactivée !");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("Pompe: OFF");
}

// Enregistrement des données sur la carte SD
if (rtc.isrunning()) {
  DateTime now = rtc.now();

  // Ouverture du fichier de données en mode ajout
  dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);
  if (dataFile) {
    dataFile.print(pH);
    dataFile.print(",");
    dataFile.print(temperature);
    dataFile.print(",");
    dataFile.print(now.day(), DEC);
    dataFile.print("/");
```

```
    dataFile.print(now.month(), DEC);
    dataFile.print("/");
    dataFile.print(now.year(), DEC);
    dataFile.print(",");
    dataFile.print(now.hour(), DEC);
    dataFile.print(":");
    dataFile.println(now.minute(), DEC);

    dataFile.close();
   } else {
    Serial.println("Erreur lors de l'ouverture du fichier !");
   }
  }  else {
   Serial.println("Module RTC non fonctionnel !");
  }

  delay(1000);  // Délai d'attente entre les lectures
}
```