

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur  
et de la recherche scientifique  
Université Chadli Bendjedid  
El Tarf



التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة الشاذلي بن جديد

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الشاذلي بن جديد  
UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID

كلية علوم الطبيعة والحياة

Département des Sciences Vétérinaires

قسم العلوم البيطرية



## Projet de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Docteur Vétérinaire

**REALISATION D'UN MODELE EXPERIMENTAL  
D'AQUAPONIE EN SERRE « BACS DE CULTURE EN  
EAU PROFONDE, DWC »**

Déposé le : 19/09/2021

Présenté par : **Mr BOUSTILA Abdeldjabbar**

Né (e) le : 08/10/1991

### Devant le jury

<b>Présidente :</b>	Dr. RIGHI Souad MCA	UCBET
<b>Examinatrice :</b>	Dr. TAHRI Mardja	MCA UCBET
<b>Examinatrice :</b>	Dr. BENSAFIA Nabila	MCA UCBET
<b>Promotrice :</b>	Dr. ZEGHDOUDI Fadila	MCB UCBET
<b>Co-promoteur:</b>	Dr. BOULAHBAL Raouf	MCA UCBET

## **Remerciements**

*Avant tout, mes remerciements s'adressent en premier lieu à «Allah», qui m'a donné le courage, la force et la patience pour mener à terme ce travail de recherche.*

*Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice du mémoire, Dr. ZEGHDOUDI Fadila, Département des sciences de la mer, qui a accepté de m'encadrer et qui m'a, tout au long de ce travail, prodigué de précieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Merci de m'avoir encouragé et soutenu tout au long du travail avec patience et disponibilité. Qu'il trouve ici, le témoignage de ma profonde reconnaissance et ma sincère gratitude.*

*Comment aussi ne pas remercier mon co-directeur de thèse, Pr. BOULAHBAL Raouf, Département des sciences agronomiques, d'avoir lui aussi accepté d'encadrer ce travail, et de m'avoir proposé des pistes d'investigations toujours très intéressantes.*

*Je tiens à remercier Dr. RIGHI Souad, Département vétérinaire, d'avoir accepté d'assurer la présidence du jury de mon mémoire de fin d'études. Je suis très honoré de votre présence dans ce jury.*

*Un très grand merci au Dr. TAHRI Mardja, Département des sciences de la mer, d'avoir accepté d'examiner ce travail, qu'elle trouve ici l'expression de mon profond respect.*

*Il m'est agréable d'exprimer mes sincères remerciements, ma gratitude et mon profond respect aussi au Dr. BENSALIA Nabila, Département des sciences de la mer, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je remercie également monsieur le Doyen et le Secrétaire Général de la Faculté SNV ainsi que le Secrétaire Général de l'Université de Chadli Bendjedid ont permis la réalisation de ce travail.*

*Merci aux agents de sécurité, qui ont tous contribué d'une manière ou d'une autre à ce travail, en particulier OUANSA Mouhamed, pour sa présence et sa contribution tout au long de la réalisation et l'installation de notre ferme aquaponique.*

*Un immense merci et la plus chaleureuse des pensées à tous les acteurs et amis Mme OUALI Nawel, Université de Souk-Ahras) ; (YOUBI Nadir, Inspecteur de Pêche, Wilaya El-Tarf) et (DIA Saloua, Ecole des Mousset -El-Kala) qui ont contribué également au succès de ce travail.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*A ma mère, la personne la plus chère à mon cœur « Fatima el Zohra » qui  
a attendu Avec patience le fruit de sa bonne éducation*

*Et son dévouement. Pour le goût a l'effort qu'il a suscité en moi de par sa  
rigueur.*

*Mon adorable père « Noureddine » mon soutien moral et source de joie et  
de Bonheur qui a supporté vaillamment pas à pas tout au long de ma vie.*

*A mes chères sœurs, A mes chers frères Ayoub et Hasni*

*Qui m'avez toujours soutenu et encourage durant ces années d'études*

*A mon grand-père Hassan*

*A toute ma famille sans exception.*

*Toutes mes amies et mes collègues*

## ***Résumé***

La présente étude a pour objectif de suivre certains paramètres de l'eau d'élevage et de culture (T°C, pH, O<sub>2</sub> dissous, ammonium, nitrite et nitrate) ainsi de comparer la croissance et le développement de 40 courgettes quarantaines, *Cucurbitapepo*, cultivées en système d'Aquaponie(DWC) et dans le sol, sous serre contrôlée, irriguées par l'eau d'élevage de 14 carpes communes, *Cyprinus carpio* avec celles irriguées par l'eau de robinet. Cette étude a été réalisée à la Faculté SNV-Université EI-TD'après les résultats obtenus, les échantillons de courgettes arrosées par l'eau d'élevage (bac EE) donnent des bons résultats comparant aux autres plantes irriguées par l'eau de robinet en suivant un ordre décroissant : plantes Sol Ensuivi plantes bac ER et en fin plantes sol ER. Cette étude a permis également d'observer les effets de l'eau d'élevage (riche en sels nutritifs), la technique de culture l'adéquation des paramètres physicochimiques de cette eau avec la croissance et le développement de l'appareil végétatif et reproducteur de la courgette et la survie de la carpe.

***Mots-clés*** :Aquaponie; technique DWC ; courgette quarantaine, *Cucurbitapepo*; carpe commune, *Cyprinus carpio*; eau élevage; eau robinet.

## *Summary*

The objective of this study is to monitor certain parameters of the water for breeding and cultivation (T°C, pH, O<sub>2</sub>, ammonium, nitrite and nitrate) also to compare the growth and development of 40 zucchini, *Cucurbita pepo*, cultivated in an Aquaponics system (DWC) and in the soil, in a controlled greenhouse. Irrigated by farm water from 14 Common carp, *Cyprinus carpio* with those irrigated with tap water.

This study was carried out at the SNV Faculty of the University of El-Tarf.

According to the results obtained, the samples of zucchini irrigated by breeding water (EE tank) give good results comparing to other plants irrigated by tap water in descending order: plants Soil EE followed plants soil ER and finally soil plants ER. This study also made it possible to observe the effects of farm water (rich in nutrient salts), the culture technique the adequacy of the physicochemical parameters of this water with the growth and development of the vegetative and reproductive system of the zucchini and the survival of the carp.

Keywords: Aquaponics; DWC technique; quarantine zucchini, *Cucurbita pepo*; common carp, *Cyprinus carpio*; water breeding; tap water.

## المخلص

الهدف من هذه الدراسة هو اتباع معايير معينة لمياه التريبيه والاستزراع (درجة حرارة مئويه، ودرجة الحموضة ، والأكسجين ، والأمونيوم ، والنترت والنترات) 40 كوسه ، مزروعه في نظام أكوابونيك. وفي التربه، في التربه مرويه بالمياه من تربيه (DWC)ومياه الحنفية 14 نوع من الكارب مع السقي به أجريت هذه الدراسة في جامعه الطارف في كلية العلوم والحياه بناءً على النتائج التي تم الحصول عليه تعطي عينات الكوسه التي في و مسقيه بمياه المزرعه نتائج جیده مقارنة بالنباتات الأخرى المرويه بمياه الحنفية بترتيب

نباتات مسقيه بمياه التريبيه تليها نباتات مياه الحنفية وأخيراً نباتات التربه مسقيه بمياه الحنفية . أتاحت هذه الدراسة أيضاً ملاحظه تأثيرات مياه التريبيه (الغنيه بالأملاح المغذيه) وتقنيه الاستزراع، ومدى كفايه المعلمات الفيزيائية والكيميائية لهذه المياه مع نمو وتطور الجهاز مع الحفاظ على حياه الاسماك

## Table des matières

I.	Introduction Générale.....	1
II.	GENERALITES .....	3
1.	Zone d'étude.....	3
2.	L'Aquaponie.....	4
2.1	Définition .....	5
2.1.1	L'aquaculture.....	5
2.1.2	L'hydroponie .....	5
2.2	Le Meilleur système aquaponique selon FOA.....	5
2.2.1	Les systèmes de culture en eaux profondes (CEP).....	5
2.2.2	Les systèmes de lits de culture (Media Bed) .....	6
2.2.3	La technique du film nutritif (NFT) .....	7
3.	Le végétal .....	8
3.1	Choix de plante .....	8
3.1.1	La courgette .....	8
3.1.2	Variétés de courgette utilisées en Algérie .....	9
3.2	L'azote .....	10
4.	Le poisson .....	11
4.1	La famille des cyprinidés .....	11
4.2	Caractéristique .....	11
4.3	Poisson commun en Aquaponie.....	12
4.5	Intérêt de l'élevage des Poissons .....	14
5.	L'eau du système.....	14
5.1	Alimentation d'un système aquaponique en eau.....	14
5.2	La Lumière.....	15
6.	Importance de la consommation des poissons et légumes pour la sante.....	15
6.1	Bienfaits des légumes .....	15
6.2	Bienfaits des poissons .....	16
III.	Matériel et méthodes .....	18
1.	Présentation de la station expérimentale .....	18
1.1	Aménagement et alimentation en électricité de la serre .....	18
2.	Les unités essentielles d'un système aquaponique (DWC).....	19
2.1	Matériel expérimental .....	19
2.1.1	Bacs à poisson .....	19

2.1.2	Filtre mécanique .....	20
2.1.3	Biofiltre.....	20
2.1.4	Lits de culture .....	21
2.2	Plomberie d'un système aquaponique .....	21
2.2.1	La pompe submersible.....	21
2.3	Matériel biologique .....	22
2.3.1	Choix du poisson .....	22
2.3.2	Choix du matériel végétal.....	24
2.4	Transplantation .....	25
2.4.1	Technique de transplantation dans le sol.....	25
2.4.2	Techniques de transplantation dans l'eau .....	26
2.5	Mise en marche du système d'Aquaponie .....	27
2.6	Nourrissage des poissons .....	28
3	Méthodes d'analyses .....	29
3.1	Caractérisation physico-chimique de l'eau .....	29
3.1.1	Mesure du pH, T° et oxygène dissous .....	29
3.2	Paramètres écophysologiques de la plante.....	29
3.3	Suivi des paramètres biologiques du poisson .....	30
3.4	Prélèvement et dosage des sels nutritifs.....	30
4	Analyse statistique des données .....	31
IV.	Résultats et discussion.....	33
1.	Paramètres physicochimiques d'eau d'irrigation .....	33
1.1	Température .....	33
1.2	Oxygène dissous .....	33
1.3	pH.....	34
2.	Les sels nutritifs .....	36
2.1	Ammonium .....	36
2.2	Les Nitrites .....	37
2.3	Les Nitrates .....	37
3.	Les paramètres biologiques .....	40
3.1	Le poisson .....	40
3.1.1	Survie et mortalité des carpes .....	40
4.	Résultats des paramètres végétatifs et de production.....	41
4.1	Analyses des paramètres végétatifs .....	41
4.1.1	Nombre des feuilles par plantes.....	41

4.1.2	Longueur de la tige .....	41
4.1.3	Longueur et largeur de la feuille.....	42
4.1.4	Taux de matière sèche (TMS) .....	43
4.1.5	La teneur en eau relative (TRE%) .....	43
4.2	Analyses des paramètres de reproduction.....	44
4.2.1	Nombre de fleurs.....	44
5.	résultats de l'étude statistique (ANOVA) .....	45
5.1	Comparaison entre les 2 techniques (DWC, sol) .....	45
5.2	Comparaison des paramètres physiologiques de la plante cultivée dans l'eau profonde "DWC" .....	46
5.3	Comparaison des paramètres physiologiques de la plante cultivée "dans le sol" ..	46
V.	Conclusion Générale .....	48
	<i>Références</i> .....	51
	<i>Annexes</i> .....	54

## Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude (Données cartographique Google 2010). .....	3
Figure 2 : Présentation d'un système aquaponique simple.....	4
Figure 3 : Culture en eau profond (Somerville et al.. 2014). ....	6
Figure 4 : Système de lit de culture (Hounsa, 2019).....	7
Figure 5 : Exemple de la technique NFT (Eric et Kevin, 2016) .....	8
Figure 6 : Cycle de l'azote en Aquaponie (www. Aquaponicsplan.com).....	11
<b>Figure 7 : Vue générale de la faculté SNV et localisation de la serre aquaponique (Boustila, 2021) .....</b>	<b>18</b>
Figure 9 : Bac à poisson IBC de 1000L (Boustila, 2021) .....	19
<b>Figure 8 : La serre avant et après aménagement(Boustila, 2021) .....</b>	<b>19</b>
Figure 10 : Filtre à tourbillon (A : vue externe ; B : vue interne) (Boustila, 2021) .....	20
Figure 11 : Filtre biologique avant (A) et après (B) la mise en marche du système (Boustila, 2021).....	20
Figure 12 : Bacs de culture et mise en eau (Boustila, 2021).....	21
Figure 13 : Pompe à eau émergente .....	21
Figure 14 : Siphon d'évacuation (Boustila, 2021) .....	22
Figure 15 : La carpe commune <i>Cyprinus carpio</i> (Boustila, 2021).....	23
Figure 16 : La semence (Boustila, 2021) .....	24
Figure 17 :Germination de la semence dans les godets (Boustila, 2021).....	25
<b>Figure 18 : Vue sur les plantules irriguées par l'eau d'élevage et l'eau du robinet, après leur transplantation dans le sol (Boustila, 2021) .....</b>	<b>26</b>
Figure 19 : Repiquage des plantules de la courgette (Boustila, 2021).....	26
Figure 20 : Mise en marche du système Aquaponie (Boustila, 2021) .....	27
Figure 21 : Multi-paramètres HORIBA de terrain (Boustila, 2021) .....	29
Figure 22 : Prélèvement de l'eau pour les analyses physico-chimiques (Boustila, 2021) .....	30
Figure 23 : Variation de la température moyenne de l'eau en fonction du temps .....	33
Figure 24 : Variation de l'oxygène dissous moyen de l'eau en fonction du temps .....	34
Figure 25 : Variations des valeurs moyennes du pH de l'eau en fonction du temps .....	34
Figure 26 : Variation d'ammonium dans les bassins (élevage, cultures) durant la période d'étude.....	36
Figure 27 : Variations des nitrites dans les dans les bassins (élevage, cultures) durant la période d'étude.....	37
Figure 28 : Variations des nitrates dans les dans les bassins (élevage, cultures) durant la période d'étude.....	37
Figure 29 : Effet des différents types de culture sur nombre des feuilles de courgette.....	41
Figure 30 : Effet des différents types de culture sur l'élongation de la tige des courgettes en fonction du temps.....	42
<b>Figure 32 : Taux de matière sèche de la courgette .....</b>	<b>43</b>
Figure 31 : Histogramme montrant la moyenne de la longueur et la largeur des feuilles des courgettes pour les deux systèmes de culture étudiés .....	43
Figure 33 : Taux en eau relative de la courgette .....	44
Figure 34 : Nombre de fleurs par plante .....	44
Figure 35 : Montage des filtres biologique et à tourbillon.....	54

Figure 36 : Tuyauterie des lits de culture au puisard .....	54
Figure 37 : Tuyauterie du puisard au bac à poissons .....	55
Figure 38 : Tuyauterie du bac à poissons aux filtres mécanique et biologique.....	55
Figure 39 : les racines après 1 semaine en eau du robinet .....	56
Figure 40 : les racines après 1 semaine en eau d'élevage .....	56
Figure 41 : les racines après 2 semaines en eau de robinet .....	57
Figure 42 : Plantes des courgettes irriguées par l'eau d'élevage.....	58
Figure 43 : Plantes des courgettes irriguées par l'eau de robinet.....	58

## ***Liste des Tableaux***

Tableau 1 : Les valeurs idéales de l'eau pour la culture aquaponique (Harlaut. Pierre, <a href="http://www.aquaponie.biz">www.aquaponie.biz</a> ).....	14
Tableau 2 : Poids des individus dans les bassins d'élevage. ....	28
Tableau 3 : Poids total et mortalités des carpes remis dans les bacs d'élevages durant la première partie et la deuxième partie de l'expérience (Aout ; 2021). ! الإشارة المرجعية غير معروفة.	
Tableau 4 : Résultats de l'AV2 appliquée sur les paramètres biométriques et de reproduction (longueur de la tige ; longueur et largeur de la feuille ; nombre de fleurs) dans les deux systèmes de culture appliqués. ....	45
Tableau 5 : Résultats de l'AV1 appliquée sur les paramètres biométriques et de reproduction (longueur de la tige ; longueur et largeur de la feuille ; nombre de fleurs) des courgettes cultivées dans l'eau profonde .....	46
Tableau 6 : Résultats de l'AV1 appliquée sur les paramètres biométriques et de reproduction (longueur de la tige ; longueur et largeur de la feuille ; nombre de fleurs) des courgettes cultivées dans le sol.....	47



## I. Introduction Générale

Récemment, le développement de la technologie a conduit à de grands progrès dans le domaine de l'agriculture, et ces développements technologiques ont conduit à l'émergence de nombreuses technologies pour augmenter les produits agricoles innovants tels que la culture aquaponique. L'Aquaponie, une nouvelle technologie d'élevage intensif qui permet un rendement annuel jusqu'à 100 fois. L'Aquaponie est une combinaison entre l'aquaculture et l'hydroponie (l'élevage de poissons et la culture de plantes dans un système fermé). Ces deux systèmes sont les plus productifs dans leurs domaines respectifs (**FAO, 2014**).

Les bassins d'élevage peuvent être équipés d'une boucle de recyclage comprenant une filtration biologique afin de traiter l'eau soit avant réutilisation, soit avant rejet dans l'environnement : ce sont les systèmes d'élevage en circuit « recyclé » ou « recirculé ». Les besoins en eau neuve de ces systèmes d'élevage sont réduits entre 1 et 2 m<sup>3</sup> par kilogramme d'aliment, diminuant par le même facteur les quantités d'eau rejetées (**Pagand, 1999 ; Blancheton, 2000 ; Léonard, 2000 ; Goldberg et al., 2001 in Gutierrez-Wing, 2006**). Ces systèmes d'élevage permettent un fort accroissement de la production sur une surface réduite, un meilleur contrôle des conditions d'élevage (**Heinen et al., 1996**) et une meilleure maîtrise des rejets moins abondants et plus concentrés. Les systèmes d'élevage en circuit recirculé combinent des bassins d'élevage, un dispositif de collecte des matières solides par sédimentation ou filtration mécanique (**Chen et Malone, 1991**) et une boucle de traitement biologique par nitrification bactérienne. En effet, le principal produit de l'excrétion azotée chez les poissons est l'ammoniaque (**Fivelstad et al., 1990, in Kelly et al., 1994**), dont la forme non ionisée (NH<sub>3</sub>) est hautement toxique pour les poissons (**Poxton et Allouse, 1981**).

L'Aquaponie s'est d'abord principalement développée en Australie, puis aux Etats-Unis, et actuellement, cette technique est présente un peu partout dans le monde, et les projets bourgeonnent maintenant de partout (**Eric, 2013**). D'après une étude basée sur une enquête menée auprès de 809 Aquaponie cutteurs à travers le monde, 80% des producteurs en Aquaponie se trouvent aux USA, ce qui en fait le pays leader dans le domaine, 8% en Australie, 2% au Canada (**Love et al, 2014**). En Europe, la situation pourrait évoluer dans un futur proche. Le parlement européen a également publié un rapport classifiant l'Aquaponie dans l'une des « dix technologies capables de changer le monde » (**Love et al, 2014**).

Une carte mondiale « collaborative » existe, où chacun peut ajouter et localiser son système aquaponique. Donc, l'Europe, et comme l'Amérique, a déjà commencé à donner une grande importance à cette technique de culture hydroponique. La culture d'Aquaponie s'est étendue à l'Asie et à l'Afrique (en Arabie Saoudite).

En Algérie, il n'y a pas de grosse entreprise hydroponique, il n'y a que quelques expérimentations, comme la culture de cultivar d'orge pour nourrir les vaches à El Tarf et la culture de concombre à oued souf. En effet, le développement des systèmes d'Aquaponie recèlent un potentiel de production locale et durable de denrées alimentaires et peuvent contribuer, en combinant dans un système clos l'élevage de poissons d'eau douce et la culture de légumes, à réduire la consommation de ressources par rapport aux systèmes conventionnels.

Le principal objectif du présent travail est de mener une étude sur la culture en serre des courgettes en utilisant deux techniques de culture (Aquaponie, sol) hors sol dans l'eau d'élevage. Les objectifs spécifiques sont :

- Comparer la croissance et le développement des courgettes arrosées par l'eau d'élevage avec celles irriguées à l'eau du robinet dans les deux systèmes de culture.
- Suivre les mortalités et la survie de nos poissons en élevage (la carpe, *Cyprinus carpio*).
- Tester l'efficacité du filtre biologique de notre système dans la transformation de l'ammoniaque toxique pour les poissons en ions nitrites ensuite en ions nitrates assimilables par les plantes.
- Avoir des courgettes bio et saines sont produits : Sans pesticides, herbicides et engrais synthétiques (artificiels).

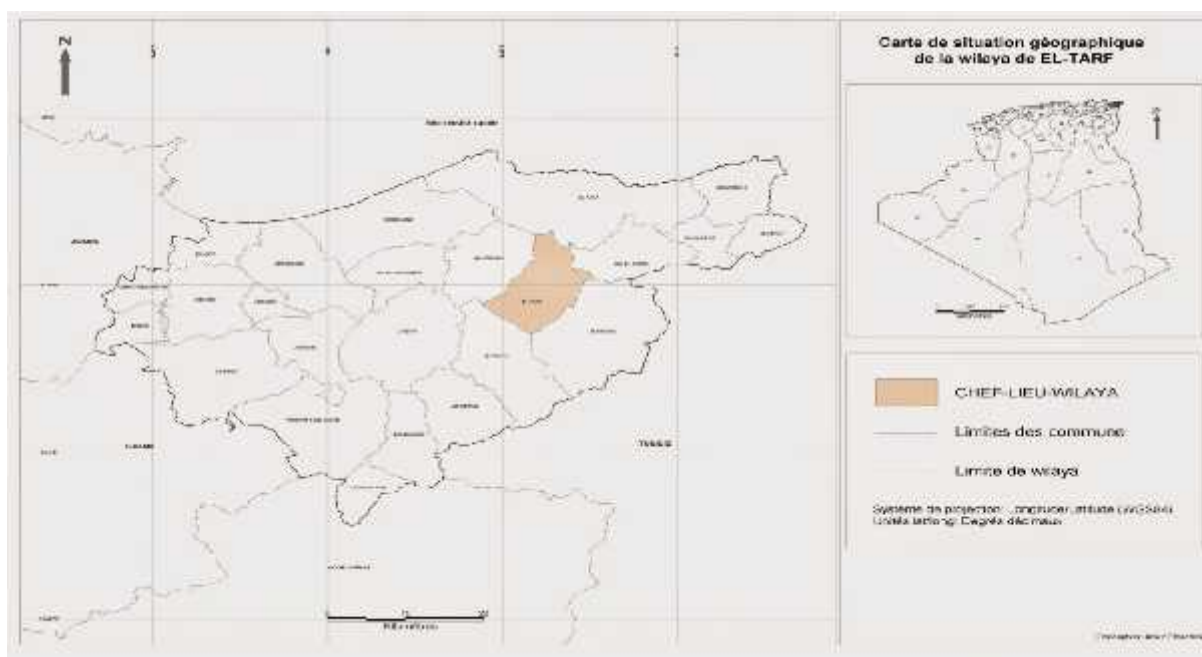
## II. GENERALITES

### 1. Zone d'étude

Située à l'extrême Nord Est de l'Algérie, la wilaya d'El Tarf d'une superficie de 2908 Km<sup>2</sup> et abritant une population de l'ordre de 427109 habitant en 2011 et composée de 7 dairate (El Tarf, El Kala, Ben M'hidi, Besbes, Dréan, Bouhadjar et Bouteldja) et 24 communes.

Le territoire de cette wilaya est délimité comme suit :

- à l'Est par la frontière algéro-tunisienne,
- à l'Ouest par les wilayas de Annaba à l'ouest et au Nord-ouest et par la wilaya de Guelma à l'Ouest et au Sud-Ouest ,
- au sud par la wilaya de Souk Ahras,
- au nord par la mer Méditerranée. Soulignons, à cet effet, que le littoral de cette wilaya donne sur une large façade maritime orientée Est-Ouest, rectiligne en général, mais sinueuse localement avec un linéaire d'environ 90 kms.

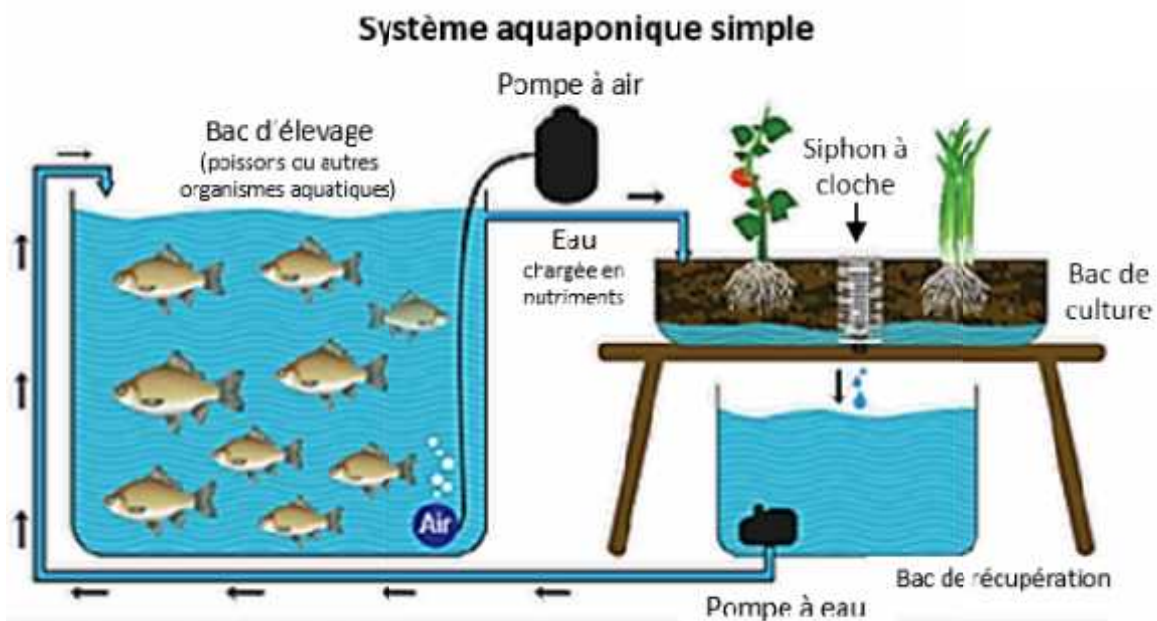


**Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude (Données cartographique Google 2010).**

L'agriculture occupe une superficie totale de 84 031 hectares, dont 74 173 sont arables. On estime qu'il existe 1,7 million de quintaux de tomates fraîches, ce qui équivaut à 130 000 quintaux de tomates en conserve, tandis que 37 000 ruches produisent annuellement environ 1 650 kg de miel. De manière générale, la production végétale reste toujours orientée vers les fourrages, les légumes et les cultures industrielles, avec la maîtrise de l'agriculture. Tomates industrielles. En plus de sa richesse dans le domaine des terres agricoles, l'état d'El Tarf se caractérise par une importante richesse maritime représentée par la bande côtière de 90 km de long.

## **2. L'Aquaponie**

L'Aquaponie est une combinaison de deux noms : l'aquaculture qui est l'élevage de poissons et l'hydroponie qui est la culture de plantes avec une eau riche en substances minérales mais qu'il faut bien comprendre en Aquaponie, il est nécessaire de comprendre le principe de la nitrification (le cycle de l'azote), car les bactéries nitrifiantes présentes dans l'eau ont la capacité de convertir l'ammonium en nitrite puis en nitrate. Elles s'oxydent grâce à la plante, l'anneau est donc fermé et c'est déjà un bon système d'échange entre les poissons et les plantes.



**Figure 2 : Présentation d'un système aquaponique simple**

## 2.1 Définition

### 2.1.1 L'aquaculture

- L'aquaculture est l'élevage de poissons en captivité ou la production d'espèces d'animaux aquatiques et d'autres plantes dans des conditions contrôlées.
- Les systèmes aquacoles peuvent être classés en quatre catégories principales :
  - ✓ système en circuit ouvert (ex. cages ou enclos ouverts à l'environnement naturel).
  - ✓ système de culture en étang;
  - ✓ système en «raceway» (type de bassin allongé, généralement en béton, avec circulation de l'eau);
  - ✓ système à recirculation de l'eau (Recirculation Aquaculture System - RAS en abrégé).

### 2.1.2 L'hydroponie

- La culture hydroponique est la méthode la plus courante de production de cultures hors sol (agriculture sans terre), qui consiste à faire pousser des plantes sur un substrat, en contact avec une solution aqueuse.
- Le substrat agit comme un support pour la plante et aide à retenir l'humidité.
- Un système d'irrigation est incorporé dans le substrat pour fournir aux racines les nutriments nécessaires à la croissance des plantes.

## 2.2 Le Meilleur système aquaponique selon FOA

Il existe trois principaux types de systèmes d'Aquaponie :

### 2.2.1 Les systèmes de culture en eaux profondes (CEP)

Ce système de culture encore appelé culture sur radeau, utilise une plateforme flottante ou suspendue avec des trous pour soutenir les plantes et permettre aux racines d'être submergées dans l'eau. Les isolants en polystyrène sont généralement utilisés comme radier et des pots en plastique pour soutenir les plantes. Les radeaux offrent de nombreux avantages, notamment la facilité d'utilisation, la mobilité, un nettoyage simple et un risque moins élevé de mortalité des plantes lors de pannes de courant. Les plantes d'une unité de culture en eau profonde peuvent survivre jusqu'à deux semaines sans écoulement d'eau ou aération, par rapport aux heures ou aux jours d'autres systèmes.

La culture sur radeau est la technique la plus utilisée dans le commerce en raison de sa simplicité et de sa fiabilité (**Pattillo, 2017a**)(**Figure3**).



**Figure 3 : Culture en eau profond (Somerville et al., 2014).**

Cette méthode est la plus utilisée dans les grandes exploitations aquaponiques commerciales qui traitent d'une culture spécifique (de manière stéréotype, la laitue, les feuilles de salade ou le basilic).

### **2.2.2 Les systèmes de lits de culture (Media Bed)**

Les unités de lit de culture sont la conception la plus populaire pour l'Aquaponie à petite échelle car elles sont efficaces en termes d'espace, ont un coût relativement faible et conviennent aux débutants en raison de leur conception très simple. Dans les unités de lit de culture, le substrat utilisé pour soutenir les racines des plantes agit également comme moyen de filtration. Cette double fonction est la principale raison pour laquelle les unités de lit de culture sont les plus simples. (FAO, 2014 ; Somerville et al., 2014 ; Love, Uhl, & Genello, 2015) (Figure 4).



**Figure 4 : Système de lit de culture (Hounsa, 2019)**

### **2.2.3 La technique du film nutritif (NFT)**

La technique de culture sur film nutritif est une méthode hydroponique qui consiste à planter les plants dans un tuyau légèrement incliné, dans lequel s'écoule en continu un filet d'eau riche en nutriment (film nutritif) ([magazine@backyardaquaponics.com](mailto:magazine@backyardaquaponics.com)). Les plantes sont placées dans des trous percés sur le haut des tuyaux, et leurs racines, protégées de la lumière, sont en mesure d'utiliser cette fine pellicule d'eau riche en éléments nutritifs.

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. Le NFT ne convient 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 » ([magazine@backyardaquaponics.com](mailto:magazine@backyardaquaponics.com)). 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 (**Nelson and Pade, Inc.**). 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 ([aquaponique.fr](http://aquaponique.fr) Aquaponie) (Figure 5).

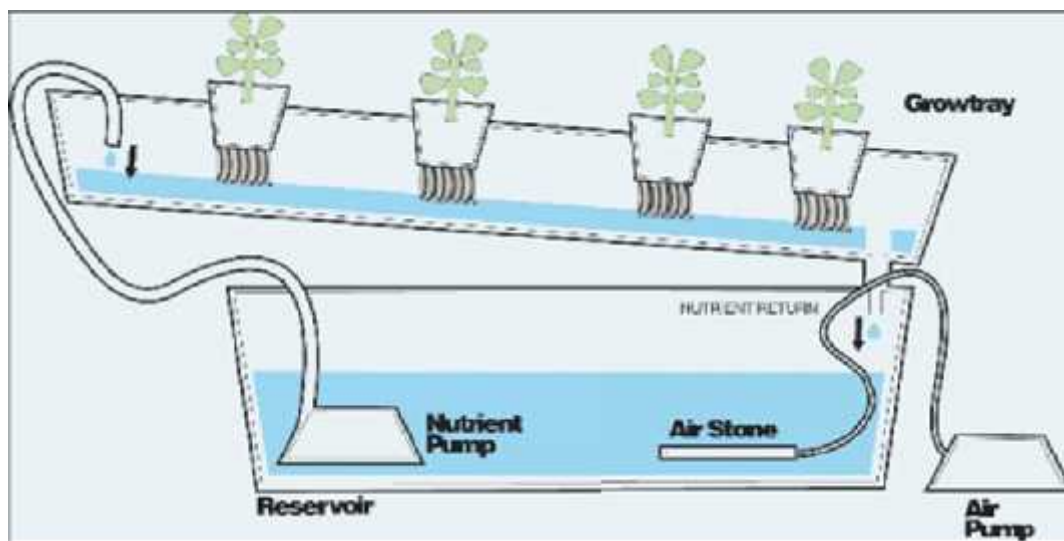


Figure 5 : Exemple de la technique NFT (Eric et Kevin, 2016)

### 3. Le végétal

Les plantes poussent mieux dans un système aquaponique par ce qu'elles ont toute l'eau dont elles ont besoin ainsi que tout l'oxygène nécessaire bien plus qu'en pleine terre. Les plantes les plus couramment cultivées avec l'Aquaponie sont les légumes à feuilles vertes (salades diverses, mâche, épinard, poireaux.....) et les herbes telle que persil, basilic, ciboulette et les tomates.

#### 3.1 Choix de plante

##### 3.1.1 La courgette

La courgette appartient à la famille des cucurbitacées. C'est une plante potagère qui pousse au sol ; elle possède de grandes feuilles. Elle a des fleurs de couleur jaune, qui donnent le fruit appelé également courgette. Elle est une plante annuelle à croissance indéterminée. C'est une plante monoïque : les fleurs mâles et femelles coexistent sur une même plante, mais distinctement. On la cultive en potager ou en serre, selon le mode de production. La courgette est constituée de 62 % d'eau et de 38 % de matières organiques. La courgette est un fruit de forme allongée ou ronde, et de couleur verte ou jaune. Le système racinaire explore 25 à 30 cm en sol sableux irrigué et 60 cm en sol aux textures plus fines.

Quant à la physiologie de la floraison, il n'y a pas de fleurs à l'aisselle des 6-7 premières feuilles, les fleurs femelles apparaissent à peu près 40 jours après semis. 10 jours après, les fleurs mâles apparaissent puis enfin les fleurs mâles et femelles alternent : la pollinisation peut s'effectuer.

Elle a l'allure d'un grand concombre. Bien qu'il s'agisse d'un fruit au sens botanique du terme parce qu'elle contient les graines de la plante, elle est communément utilisée comme un légume.

La courgette est facile à cultiver dans un jardin potager familial. Le plus simple et le plus sûr consiste à repiquer au printemps de jeunes plants achetés à un professionnel. La plante adulte couvre un cercle d'environ un mètre de diamètre. Un pied produit des fleurs mâles stériles et femelles fructifères sur une période de plusieurs mois. Une fois formé, le fruit grossit vite et passe en quelques jours de courgette prête à consommer à courge moins tendre à croquer (car les nombreuses grosses graines apparaissent et la peau devient plus épaisse).

### 3.1.2 Variétés de courgette utilisées en Algérie

- **Verte d'Alger** : (Cucurbitapepo) Une variété semi-buissonnante de type "Courge à Moelle".

Les fruits sont de couleur vert clair ponctué de gris ; court et cylindrique évasé. Bonne résistance à la sécheresse.

Cette variété traditionnelle plein champ, originaire d'Algérie, est également appelée "Grise d'Alger".

- **Diamant** : Nette amélioration de la variété Diamant. Variété très productive et très rustique, à la qualité des fruits à recommander.

-**Jadida**: elle est moyen, précoce, hybride, vigoureuse, cylindrique évasé, vert clair et plein Champ.

-**Première F1** : est très précoce, port aéré, moyen bulbeux, vert clair et marbré plein champ ; Et abris leur production abondante et prolongée.

- **Black Beauty** : (Cucurbitapepo) Courgette buissonnante de couleur vert foncé. Fruits meilleurs quand cueillis à 15 cm. Très bonne saveur et très bonne productivité. Croissance : 50-55 jours. Elle est buissonnante moyen cylindrique et vert foncé. Variété traditionnelle originaire d'Italie. Elle est également appelée "Black Beauty" et "Black Milan". Elle est mentionnée dès 1927. Il y a aussi : Quarantaine et PetoAbandanza.

### 3.2 L'azote

#### A. L'importance de l'azote en Aquaponie

L'azote, est l'un des éléments constitutifs des protéines. Il est donc vital, pour tous les êtres vivants, aussi bien animaux que végétaux (FAO, 2014; Zhen, et al.. 2015). Les engrais hydroponiques complets sont composés de 20% à 30% d'éléments azotés et sont responsables Pour plus de 10% des coûts de production (Treftz et Omaye, 2015). En aquaculture seule, l'azote représente 50% à 70% des coûts de production et 70% de l'azote se retrouve dans les Rejets, sous forme d'ammoniac (Zhen, et al.. 2015). L'Aquaponie permet de récupérer les éléments nutritifs relâchés par les poissons afin de nourrir la croissance des plantes, tout en Réduisant les coûts et les impacts environnementaux (Graber et Junge, 2009). L'azote peut, quant à lui, être utilisé comme indicateur de l'équilibre du système et de l'état des solutions Nutritives(FAO, 2014).

#### B. Le cycle d'azote

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 (FAO, 2014). Cette forme de l'azote est ensuite consommée et transformée en nitrites par une première génération de bactéries, présente dans l'eau et concentrée dans le biofiltre. L'ammonium et les nitrites sont hautement toxiques à partir de basses concentrations pour les poissons (Zhen, et al.. 2015). Ils doivent donc rapidement être dégradés.

Une seconde génération de bactéries transforme les nitrites en nitrates (Figure 06). Cette dernière configuration chimique est toxique à des concentrations 100 fois plus élevées que les Deux précédentes et est la plus accessible pour les plantes (FAO, 2014).

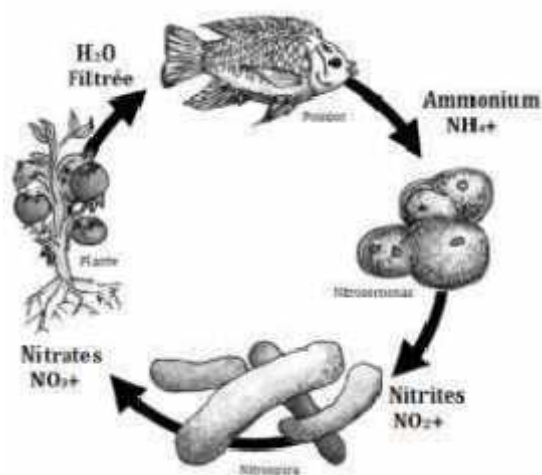


Figure 6 : Cycle de l'azote en Aquaponie (www. Aquaponicsplan.com)

#### 4. Le poisson

##### 4.1 La famille des cyprinidés

Les carpes (Cyprinidés) constituent la plus grande famille de poissons d'eau douce avec environ 3000 espèces réparties dans 370 1'2 genres. Cette espèce est d'une grande importance en raison de sa capture et de son élevage en pisciculture pour la consommation humaine et en aquarium. La famille des cyprinidés comprend les carpes, les silures, les petits poissons et leurs partenaires (barbus - comme les chardons - et barbillons, etc.), ainsi que les poissons rouges. Il est connu sous le nom de famille des carpes ou de la famille des vairons, et ses membres sont également connus sous le nom de carpes. La famille appartient à l'ordre des Cypriniformes, dont les familles et les genres comprennent plus des deux tiers des espèces de poissons connues.

Les cyprinidés sont originaires d'Amérique du Nord, d'Afrique et d'Eurasie : ils sont absents d'Amérique du Sud. La plus grande carpe cyprinidé connue est la carpe géante *Catlocarpiosiamensis*, qui peut atteindre 3 mètres de long et 300 kg de poids, Au contraire, de nombreuses espèces mesurent moins de 5 cm.

##### 4.2 Caractéristique

Les cyprinidés sont des poissons sans estomac avec des mâchoires édentées, sans dent. Une dent pharyngienne, ou plutôt ces dents pharyngiennes, permet au poisson de faire des mouvements de mastication contre une plaque à mâcher formée par un processus osseux du crâne. Des dents pharyngiennes fortes permettent aux poissons comme la carpe commune et l'ide de manger des invertébrés aussi durs que les escargots et les bivalves.

La plupart des carpons, omnivores à tendance herbivore, se nourrissent principalement d'invertébrés et de végétation, probablement à cause du manque de dents et d'un estomac solide, mais certaines espèces sont des prédateurs spécialisés dans les poissons, avec un régime omnivore. Même de petites espèces, ce sont des prédateurs opportunistes qui se nourrissent de larves de grenouilles rousses dans des conditions artificielles.

Certaines espèces de carpes, comme la carpe, sont des herbivores spécialisés ; D'autres se nourrissent d'algues et de biofilms, d'autres, comme la carpe noire, se spécialisent dans les escargots (limaces), et certains, comme la carpe argentée, sont des filtreurs spécialisés. Pour cette raison, les sulfates sont souvent présentés comme un outil de gestion pour contrôler divers facteurs du milieu aquatique, tels que les plantes aquatiques et les maladies transmises par les escargots.

### 4.3 Poisson commun en Aquaponie

Lorsque vous démarrez un système aquaponique, vous vous posez souvent la question sur le type de poisson à élever sans trop savoir lesquels choisir:

- Tilapia



- Carpe



- Truite



- Silure



- Basse



- Koi



- Poisson rouge



#### 4.5 Intérêt de l'élevage des Poissons

- la chair du poisson est une protéine très appréciée.
- la farine de poisson est utilisée dans l'alimentation des animaux.
- les eaux usées des poissons peuvent servir au jardinage et à la riziculture.
- l'élevage des poissons peut être associé à d'autres activités agricoles telles que la riziculture, l'élevage des poules, des porcs, des canards... - la vente du poisson peut être une source de revenus non négligeable.

#### 5. L'eau du système

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

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

**Tableau 1 : Les valeurs idéales de l'eau pour la culture aquaponique (Harlaut. Pierre, [www.aquaponie.biz](http://www.aquaponie.biz)).**

##### 5.1 Alimentation d'un système aquaponique en eau

Les eaux sont très souvent polluées et pour cela, dans les systèmes aquaponiques, de nombreuses types d'eaux sont utilisées, Dans la suite nous le reconnaissons et les caractéristiques de chaque type (**Bouhenni. K, Chabani. R. 2018**):

- **Eau de robinet** : L'utilisation de l'eau du robinet est plus facile que d'autres sources d'eau mais il reste cependant des inconvénients majeurs, Lié à l'ajout de nombreux suppléments. Un autre problème majeur avec l'eau du robinet est qu'elle est souvent calcaire et absorption par les plantes.
- **Eau de pluie** : La meilleure eau est évidemment l'eau de pluie, l'eau de pluie doit être correctement récoltée et stockée. Elle restera la source d'eau la plus saine et naturelle qui convient à notre système aquaponique.

Cette méthode fait de belles économies d'eau et en plus elle est de bien meilleure qualité que l'eau du robinet.

- **Eau de puits** : L'eau peut être tirée d'un puits. Cependant, l'eau que nous extrairons du puits doit être testée car elle peut être polluée et l'eau est sélectionnée en testant la proportion des matériaux dont nous avons parlé plus tôt.

### 5.2 La Lumière

La lumière est l'un des éléments essentiels de la vie végétale pour réaliser la photosynthèse. Et en termes de quantité d'énergie consommée, « la plupart des jardiniers utilisent au moins 25 W pour 30 cm<sup>2</sup> d'espaces de culture quel que soit le type de lumière. Nous pouvons diminuer cette puissance si nous pouvons compléter avec de la lumière naturelle ou que nous cultivons une plante qui ne nécessite pas beaucoup de lumière comme la laitue par exemple. Cependant, de nombreux jardiniers préfèrent doubler voire tripler la puissance recommandée pour atteindre des taux de croissance plus rapide. Il n'y a vraiment rien de mieux que d'utiliser trop de lumière mais il faut rester vigilant car dans de petits espaces cela génère énormément de chaleur qui peut être difficile à contrôler. La plupart des jardiniers d'intérieur utilisent un éclairage compris entre 12 et 18 heures par jour » (HARLAUT. Pierre, [www.aquaponie.biz](http://www.aquaponie.biz)).

## 6. Importance de la consommation des poissons et légumes pour la sante

### 6.1 Bienfaits des légumes

- Le principal avantage des légumes est le fait qu'ils ont une composition très particulière, c'est-à-dire qu'ils apportent très peu de calories tout en étant très riches en nutriments. Comptez 20 à 50 calories pour 100 grammes (Ciquel, 2017). Grâce à son faible pouvoir énergétique, les légumes peuvent être consommés sans crainte à chaque repas, quel que soit l'âge ou le régime alimentaire, même si vous perdez du poids (à condition de prendre soin de l'excès de graisse qui peut s'alourdir).
- Riche en vitamines et minéraux

Ainsi, les légumes ont l'avantage d'être riches en divers nutriments : ils sont riches en fibres (je ferai un point précis pour cela), et en de nombreuses vitamines.

- ✓ Les légumes sont une source intéressante de vitamines, principalement hydrosolubles : vitamine C, provitamine A ou bêta-carotène ou encore vitamines du groupe B.
- ✓ Il est particulièrement riche en potassium.

- ✓ On y trouve également du calcium (surtout dans les choux), du magnésium, du fer et du cuivre (légumes à feuilles, exemple : épinard) ou encore du soufre (choux, oignons, ail, poireaux, navets, radis).

- Ils sont notre principale source de vitamine C

Du fait qu'ils soient consommés en quantités non négligeables, les légumes représentent la principale source de vitamine C dans notre alimentation. Rappelons que cette dernière joue un rôle indispensable dans notre organisme de par son effet antioxydant et stimulant du système immunitaire.

- LS CONTRIBUENT À NOTRE HYDRATATION

Si les légumes sont peu caloriques, c'est grâce à leur teneur en eau élevée. En effet, l'eau est le principal constituant des légumes, représentant en moyenne 90 % de leur composition (**Ciquel, 2017**). Ils représentent ainsi un excellent moyen d'apporter à notre organisme les quantités d'eau dont il a besoin.

Nota Bene : Certains légumes sont particulièrement riches en eau, c'est le cas du concombre, de la salade, du radis, de l'endive ou encore de la tomate.

- Favorise la digestion

Les légumes sont une source importante de fibres. Celles-ci contribuent, entre autres, à prévenir la constipation et maintenir un bon transit intestinal. Il faut aussi rappeler qu'une alimentation riche en fibres protège : elle permet de réduire le risque de développer un surpoids ou certaines maladies (diabète, maladies cardiovasculaires ou cancers du système digestif).

- Ils apportent de la variété à nos plats

Les légumes ont aussi une particularité : leur étonnante polyvalence. Aucune catégorie d'aliments n'est aussi riche en variétés, en aspects et en goûts... Figurez-vous que le botaniste Désiré Bois en a recensé plus de 1353 espèces (**Nicolas, 1885**). Ce qui les rend également riches, c'est que les variétés de légumes sont spécifiques au pays et à la saison. Si les céréales, les viandes ou les poissons sont accessibles toute l'année, les légumes – eux – varient en fonction de l'année, ce qui permet d'éviter une certaine monotonie dans nos assiettes.

### 6.2 Bienfaits des poissons

- Il est riche en protéines

Les poissons sont une jolie source de protéines de haute qualité, ils en contiennent en moyenne autant que la viande. Manger du poisson serait donc une excellente façon de réduire sa consommation de viande (rouge surtout).

- CERTAINS ONT MOINS DE MATIÈRES GRASSES

De manière générale, les poissons contiennent moins de matières grasses que la viande (sauf les poissons gras). Ils en apportent entre 1% (pour les espèces les plus faibles en matières grasses comme : le merlan, brochet, roussette, cabillaud, lieu) jusqu'à 14 % pour les espèces grasses les plus grasses, comme le saumon et le maquereau (environ 12%) ou encore le thon (14%). Dans tous les cas, ces lipides sont qualitativement très intéressants,

Les poissons peuvent donc parfaitement s'intégrer au sein de notre alimentation : même dans le cadre d'un régime minceur ! On recommande de consommer 1 poisson gras et 1 poisson maigre par semaine.

- UNE BELLE SOURCE D'OMÉGA 3

Les poissons (en particulier les poissons "gras") sont une importante source d'oméga 3. Ces derniers sont très bénéfiques pour la santé car ils aident au développement du cerveau et favorisent la santé du cœur. Un déficit en oméga 3 favoriserait la survenue de maladies neuro dégénératives (maladie d'Alzheimer), de dépression ou encore de perte de la vue.

La couverture de nos besoins en oméga 3 est facilement atteinte par la seule consommation de poissons 2 fois par semaine, dont un gras.

- ILS SONT RICHES EN OLIGO-ÉLÉMENTS

Les poissons ont également l'avantage d'être riches en vitamines :  
vitamine A, bon pour la santé des yeux vitamines du groupe B comme les vitamines B12 (qui participe à la synthèse des globules rouges et des protéines), B3 (ou PP) (qui joue un rôle dans la production de l'énergie), B6 (indispensable pour le métabolisme des acides aminés) de la vitamine D (qui participe à la fixation du calcium sur les os) ; de la vitamine E (qui joue un rôle antioxydant).

### III. Matériel et méthodes

#### 1. Présentation de la station expérimentale

L'expérimentation, est menée au niveau de la faculté des Sciences de la Nature et de Vie (SNV), Université Chadli Bendjedid d'El-Tarf sur une période de 06 mois sous serre contrôlée ; depuis l'aménagement de la serre agricole et l'installation d'une micro-ferme aquaponique. (**Figure 7**)

La production de poissons n'est pas le but premier de cette installation ; mais c'est plutôt la mise en marche du système aquaponique et la production d'un cycle de culture d'un végétal « la courgette » qui sont les principaux objectifs.



**Figure 7 : Vue générale de la faculté SNV et localisation de la serre aquaponique (Boustila, 2021)**

#### 1.1 Aménagement et alimentation en électricité de la serre

Une serre horticole en verre d'environ 60m<sup>2</sup> de superficie a été aménagée en serre aquaponique(**Figure 8**). Notre projet a commencé pratiquement 04 ou 05 mois après le démarrage des travaux. C'était la phase la plus difficile et la plus longue, à cause de l'alimentation de la serre par un câble électrique et la mise en marche du système.



Figure 8 : La serre avant et après aménagement(Boustila, 2021)

## 2. Les unités essentielles d'un système aquaponique (DWC)

Dans cette partie, nous allons décrire étape par étape comment construire un système aquaponique en eau profonde (DWC). Pour la réalisation de ce dernier nous avons utilisé le matériel suivant :

### 2.1 Matériel expérimental

#### 2.1.1 Bacs à poisson

La taille dépendra de ce que nous désirons produire, mais comme c'est la première expérience, nous avons commencé avec un système simple, qui consiste à utiliser une cuve IBC recyclée de forme rectangulaire de 1000L (images ci-dessous).

En utilisant la meuleuse d'angle, nous avons découpé une forme carrée sur la surface supérieure de la cuve à 5 cm des quatre côtés et nous avons retiré la pièce (**Figure 9**), par la suite, nous avons lavé l'intérieur de la cuve avec de l'eau et du savon puis laissez sécher.



Figure 9 : Bac à poisson IBC de 1000L (Boustila, 2021)

### 2.1.2 *Filtre mécanique*

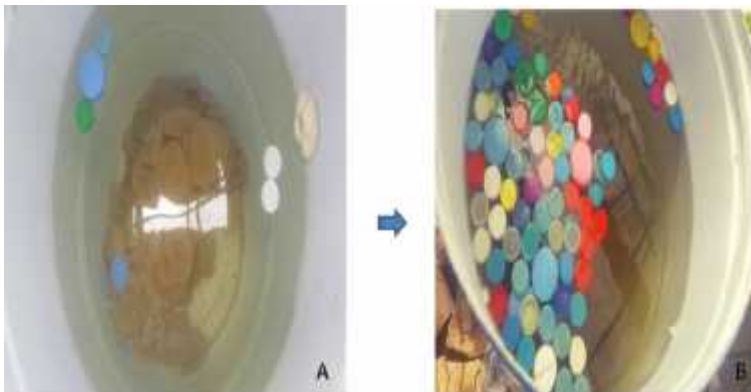
Un baril de 200L de volume, utilisé comme un filtre mécanique pour faire la décantation des grosses particules sur le fond (**Figure 10**) a été mis en place.



**Figure 10 : Filtre à tourbillon (A : vue externe ; B : vue interne) (Boustila, 2021)**

### 2.1.3 *Biofiltre*

Un baril de 200 L de volume, contenant des galets (récupéré à partir des plages) et des bouchons utilisé comme des bio-media pour fixer les bactéries nitrifiantes (Nitrosomonas et Nitrobacter) (**Figure 11**). Ces bactéries sont utiles pour la décomposition de l'ammoniaque et de l'urée tout d'abord en nitrites, puis en nitrates qui sont alors directement assimilables pour la croissance des plantes.



**Figure 11 : Filtre biologique avant (A) et après (B) la mise en marche du système (Boustila, 2021)**

### 2.1.4 Lits de culture

Nous avons transformé 03 armoires de bureau métalliques de dimensions (2m/0.8m) en bacs de culture des courgettes et en puisard. Pour le bâchage de ces derniers, nous avons appliqué une fibre imperméable en nylon de deux couleurs différentes (le jaune est rempli en eau d'élevage et le noir en eau du robinet) sur toute la surface interne des lits de cultures (**Figure 12**). Cette étape est très délicate et était effectuée soigneusement pour éviter que la bâche ne se perce.



**Figure 12 : Bacs de culture et mise en eau (Boustila, 2021)**

## 2.2 Plomberie d'un système aquaponique

### 2.2.1 La pompe submersible

La pompe choisie pour la réalisation de ce travail est une pompe adaptée à notre volume d'eau utilisé d'une capacité de pompage de  $3.75\text{m}^3/\text{h}$  (modèle XKF-110P ; 220-240 V-50Hz-110W ; Hmax : 3.7m ; Max.  $35\text{C}^\circ$ ). (**Figure 13**).



**Figure 13 : Pompe à eau émergente**

### Tuyaux et outils nécessaires

– Un tuyau pour amener l'eau dans le ou les bacs de culture, des coudes, Tés, perceuse, la meuleuse d'angle, etc... (Voir partie annexes)

### Un système d'évacuation

Lorsque l'eau arrive au niveau maximum dans le bac de culture, un siphon (fabriqué à l'aide de tuyaux PVC) permet à l'eau d'être évacuée (Figure A) pour retourner directement dans le bassin des poissons (Figure B).



**Figure 14 : Siphon d'évacuation (Boustila, 2021)**

## 2.3 Matériel biologique

### 2.3.1 Choix du poisson

#### La carpe commune *Cyprinus carpio*

Tous les poissons d'eau douce peuvent convenir, à quelques exceptions près. Dans le présent travail, nous avons choisi des carpes communes *Cyprinus carpio*, poissons téléostéens de la famille des cyprinidés. La carpe a été sélectionnée, d'une part, pour sa disponibilité dans les lacs de la région d'El-Tarf, et d'autre part, en raison de sa bonne croissance en conditions anthropisées et à cause de son régime relativement omnivore et acceptation précoce d'aliments artificiels. L'échantillonnage de cette espèce de poissons (différents âges et tailles) était aléatoire à l'aide d'un filet trémail.

Une fois le système aquaponique est installé et cyclé (cycle de l'azote opérationnel), le poisson est introduit après pesée(**Figure 15**).



**Figure 15 : La carpe commune *Cyprinus carpio* (Boustila, 2021)**

### **Classification**

La classification adoptée est celle de **NELSON (1994)**. La position systématique de la carpe est la suivante :

Phylum : Cordés

Sous classe : Actinoptérygiens

Infra-classe : Téléostéens

Ordre : Cypriniformes

Sous ordre : Cyprinoïdes

Famille : Cyprinidés<sup>21</sup>

Genre : *Cyprinus*

Espèce : *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1857)

### **Morphologie**

*Cyprinus carpio* a un dos relativement haut, un dos gris, noir ou brun, des ailes dorées ou rouges, un ventre jaune clair et des nageoires paires rouges pâles lors du frai. L'enveloppe est très variable selon l'habitat. En effet, les carpes seront plus claires dans les eaux oxygénées, peu profondes des fleuves et rivières. En revanche, dans les eaux stagnantes, sombres, boueuses, les carpes seront plus foncées (**Spillman, 1961**).

### **Reproduction**

La carpe tient son nom de sa grande fécondité. La période de reproduction a lieu durant le printemps et l'été à une température de l'eau supérieure à 18-20°C. La maturité sexuelle est atteinte au cours de la première année pour les mâles et la deuxième année pour les femelles. La fécondité moyenne est de 100.000 œufs/Kg, les œufs sont collés grâce à leur mucus sur la végétation aquatique (**Hajlaoui, 2006**).

### ✚ Régime alimentaire et niveau trophique :

Espèce omnivore. Alimentation dépendant de plusieurs facteurs (âge, saison, habitats) mais allant des micro-algues, aux larves d'insectes en passant par les mollusques ou encore les crustacés. Consommateur primaire.

### ✚ Habitats

Espèce limnophile des eaux tièdes à chaudes (de la zone à barbeau aux eaux saumâtres, étangs, bras morts,...). Affectionne les fonds vaseux et la végétation aquatique dense. Se tient généralement vers la surface en dehors des zones végétalisées.

### ✚ Tolérance

L'espèce est tolérante vis-à-vis des faibles concentrations en oxygène.

### ✚ Valeur nutritive :(Composition chimique)

La chaire des poissons présente à peu près la même composition que les viandes. Elle renferme des protéines et la majorité des acides aminés indispensables (BELAUD, 1996).

### 2.3.2 Choix du matériel végétal

#### ✚ La courgette quarantaine

En Aquaponie, la culture maîtrisée est bien la laitue car elle s'adapte à des conditions plus défavorables, dont des eaux plus pauvres en nutriments, ce qui en a fait une des cultures phare de l'Aquaponie (Kloas et al... 2015). Après la laitue, la courgette est de loin la culture qui procure le plus de récolte au potager et en serre. C'est une culture clairement indispensable à chaque saison et en plus, la courgette est assez facile à faire pousser par comparaison aux autres cultures.

La courgette est un fruit/légume (*Cucurbitapepo*) de famille des cucurbitacées. Les courgettes quarantaines préfèrent un sol léger, frais, meuble et humifère. Les graines sont de couleur rose vif atteignant près de 1,5 cm de long (Figure 16). Elle se cultive dans toutes les régions d'Algérie et est exigeante en lumière et en eau.



Figure 16 : La semence (Boustila, 2021)

### Semence de courgette

Après achat de semence de courgette quarantaine, les semis se font dans des petits godets en plastique (une vingtaine) à raison de 2 graines par godet, enfoncées à 1 à 2 cm de profondeur. Par la suite, ils ont été légèrement recouvert de terreau et nous avons tenu le sol humide jusqu'à la levée.

Au bout de trois jours, le taux de la germination des graines était de 100% avec l'apparition de petites racicules. Quelques jours après, les graines ont germées et sont devenu des plantules avec l'apparition de deux cotylédons étalés (**Figure 17**).



**Figure 17 :Germination de la semence dans les godets (Boustila, 2021)**

## 2.4 Transplantation

### 2.4.1 *Technique de transplantation dans le sol*

Le travail d'expérimentation au niveau du sol a commencé par la création d'un milieu favorable au développement racinaire du futur plantier constitué essentiellement de la tourbe noire et des engrais du bétail. La parcelle est constituée de 2 rangées et à l'âge de 5 jours après la date du semis, nous avons transplanté les jeunes plantes dans le sol à raison de 10 plantules/m<sup>2</sup>, espacés de 10cm sur la ligne et entre les lignes (**Figure 18**).

Cette étape est effectuée en même moment de leur transplantation dans le polystyrène des bacs de culture.



**Figure 18 : Vue sur les plantules irriguées par l'eau d'élevage et l'eau du robinet, après leur transplantation dans le sol (Boustila, 2021)**

#### ***2.4.2 Techniques de transplantation dans l'eau***

Des godets troués et remplis de gravier serviront de support à nos cultures. Ensuite, des plantules contenant chacune 2 feuilles et que nous avons recueillies après 3 à 4 jours de la germination des graines ont été repiquées sur des polystyrènes de 04 cm d'épaisseur expansés sur le cadre des bacs de cultures (**Figure 19**).

Cette étape doit se faire délicatement afin d'éviter le stress des racines ou la cassure des tiges.



**Figure 19 : Repiquage des plantules de la courgette (Boustila, 2021)**

Ensuite, nous avons comparé les dimensions des plantes irriguées à l'eau du bassin empoissonnés avec celles des parcelles irriguées à l'eau du robinet.

### 2.5 Mise en marche du système d'Aquaponie

Toutes les parties du système sont en place (bassin de poisson, bacs de culture, filtre mécanique et filtre biologique). Après cela, nous avons rempli le réservoir de poissons ainsi que les lits de cultures avec de l'eau et on a fait fonctionner la pompe afin de vérifier toute fuite dans le système. Dès que nous avons fini l'installation de tout le système aquaponique, nous avons laissé tourner sans poissons et sans plantes pendant quelques jours pour favoriser l'apparition de bactéries participant à la nitrification de l'ammoniaque.

Enfin, une fois que toutes les fuites ont été écartées et que l'eau coule en douceur à travers tous les composants de l'unité, nous avons planté les plantules préparés dans les polystyrènes (**Figure 20**).

En effet, on a installé un système aquaponique sain et efficace sur le long terme et les bacs de culture jouent simplement un rôle idéal de filtre.



**Figure 20 : Mise en marche du système Aquaponie (Boustila, 2021)**

## 2.6 Nourrissage des poissons

Après quelques jours d'adaptation, des individus de carpes et de barbeau (juvéniles et adultes) d'un poids de 11g- 318 g sont placés dans le bassin d'élevage (**Tableau 2**). Le nombre de poisson remis dans le bac est calculé en fonction du volume d'eau du bassin d'élevage. Par sécurité, il ne faut pas dépasser 1 poisson de 500g par 25 à 30L d'eau en moyenne).

	1 <sup>ère</sup> semaine de l'essai	03 dernières semaines de l'essai
<b>Intervalle du poids (g)</b>	228-318	11-235
<b>Nombre d'individus</b>	9	5
<b>Poids totale (g)</b>	2468	288
<b>Volume d'eau en « L »</b>	800	300

**Tableau 2 : Poids des individus dans les bassins d'élevage.**

Durant le suivi d'élevage en système aquaponique, les poissons ont été nourris avec un aliment importé (37%, taux de protéine) et du pain, la quantité d'aliment distribué est en relation avec le poids initial total des poissons élevés.

Les déchets et les aliments non consommés sont très nocifs pour les animaux aquatiques car ils peuvent pourrir à l'intérieur du système. La nourriture en putréfaction peut causer des maladies et absorber tout l'oxygène dissous. Pour cela, nous avons calculé la ration alimentaire journalière distribuée aux poissons comme suite :

- **Ration alimentaire (FAO)**

1000 g des poissons nécessite 50 g d'aliment (**D'après le guide FAO**)

- **La relation entre l'alimentation du poisson et les légumes à feuilles est déterminée de la manière suivante:**

50 g d'aliment du poisson suffisent 1 m<sup>2</sup> de l'emplacement des plantes.

Les polystyrènes que nous utilisons pour la culture des plantes ont 2 m<sup>2</sup> de surface, alors:

100 g d'aliment de poisson suffisent 2 m<sup>2</sup> de surface des plantes.

### 3 Méthodes d'analyses

#### 3.1 Caractérisation physico-chimique de l'eau

##### 3.1.1 Mesure du pH, T° et oxygène dissous

Les mesures du pH, de la température (T°C) et de l'oxygène dissous ont été réalisées «*in situ*» à l'aide d'un multi paramètres de terrain (U-50 HORIBA, water quality monitor) (Figure 21).

Les facteurs abiotiques du milieu sont contrôlés trois fois par jours durant toute la période d'étude (voir annexes).



Figure 21 : Multi-paramètres HORIBA de terrain (Boustila, 2021)

#### 3.2 Paramètres écophysiologiques de la plante

##### a)- Taux de matière sèche (MS%) de la courgette :

(Source : Jacquemin, 2012.) C'était :

- 3 plants arrachés avec leurs racines ; puis pesée (**PF**).
- après un passage de ces échantillons (plante entière : partie aérienne + racine) dans une étuve à une température de 80°C pendant 24 heures, dès leurs sortis ils seront pesés (**PS**).
- Le taux de matière sèche c'est le rapport du poids frais (**PF**) sur le poids sec (**PS**).

$$MS (\%) = (PS)/(PF) \times 100$$

**b)- La teneur en eau relative (TRE%) de la courgette**

La méthode utilisée est celle de « Clarke et CAIS (1982) » ; selon la formule suivante :

$$TRE(\%) = [(P_{Fi} - P_s)/(P_{Pt} - P_s)] \times 100$$

- **Pfi** : poids frais initial (g) déterminé immédiatement après prélèvement des feuilles.
- **Ppt** : poids de pleine turgescence (g) obtenu après 24h de trempage des feuilles dans l'eau à l'obscurité
- **Ps** : poids sec (g) déterminé après séchage des feuilles à l'étuve a 80° c. (24h).

**c)- L'évolution de hauteur de plants (courgette) :**

Ce paramètre est mesuré en cm, hauteur des racines et de tiges et la longueur des feuilles. Cette mesure était commencée à partir du stade 2 feuilles au stade de floraison (après irrigation eau du robinet et eau d'élevage).

**3.3 Suivi des paramètres biologiques du poisson**

La mesure des paramètres biologiques (poids) des carpes dans le bassin, a été réalisée au début et à la fin de l'expérience durant la première et la deuxième partie de l'expérience.

**3.4 Prélèvement et dosage des sels nutritifs**

L'eau des bacs expérimentaux, destinée au dosage des éléments chimiques NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et l'azote ammoniacale totale, est prélevée dans des bouteilles en plastique d'une capacité de 150 ml (**Figure 22**). L'échantillon ainsi prélevé est transporté à l'abri de la lumière dans une glacière maintenue à basse température.

Les analyses et le dosage des sels nutritifs ont été effectuées au niveau du laboratoire d'analyses des sols et des eaux « HORIZON » à Annaba.



**Figure 22 : Prélèvement de l'eau pour les analyses physico-chimiques (Boustila, 2021)**

### Dosage de l'ammonium

#### Procédé de réaction

Les ions ammonium réagissent avec le chlore pour donner le chloramine, lesquelles réagit en présence d'un catalyseur en milieu alcalin avec des phénols pour donner des colorants indophenoliques bleus.

#### Norme de la méthode

Réaction chimique conforme aux méthodes normées (DIN3406-ES).

### Dosage des nitrates

#### Principe de la méthode

Les ions seront réduits on nitrites dans un milieu acide, les ions nitrites réagissent avec l'acide sulfanilique (R1) et le 1-naphtylamine (R2) pour former un colorant azoïque rouge

#### Norme de la méthode

Sperctrophotométrie DIN 38405-D9-2

### Dosage des nitrites

#### Principe de la méthode

Les nitrites réagissent avec sulfanimide et la N-(1-naphtyl)-éthylènediamine pour donner un colorant rouge violet.

## 4 Analyse statistique des données

### Comparaison de moyennes : ANOVA et test de Student

Les résultats ont été exprimés en valeurs moyennes ( $\pm$  erreur standard). La comparaison des valeurs moyennes entre les deux bacs de culture (du système aquaponique) et les deux parcelles (pour le sol) ainsi que comparaison des valeurs moyennes entre les deux cultures irriguées par l'eau d'élevage (aquaponique, sol) et les deux cultures irriguées à l'eau du robinet (aquaponique, sol) s'est effectuée en utilisant le test t de Student. Les effets techniques de culture et l'origine de l'eau d'irrigation ont été testés par une analyse de la variance à un critère de classification (AV1) et à deux critères de classification (AV2). Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel Minitab16 (version 1.1.0).

Les valeurs des résultats de l'analyse de la variance, permet de vérifier la valeur du F de Fisher et sa probabilité « p » Si F est inférieur à 5% ( $p < 0,05$ ), l'hypothèse nulle est rejetée, donc la différence entre les moyennes est hautement significative (**Ramousset al.. 1996**).

Les valeurs moyennes obtenues pour différentes mesures et analyses ont été comparées 2 à 2 par des tests de comparaison de moyennes (test t de Student).

- Si  $p > 0.05$  : il n'existe pas de différences significatives entre les moyennes (NS).
- Si  $p \leq 0,05$  : il existe des différences significatives entre les moyennes (\*).
- Si  $p \leq 0,01$  : il existe des différences hautement significatives entre les moyennes (\*\*).
- Si  $p \leq 0,001$  : il existe des différences très hautement significatives entre les moyennes (\*\*\*)

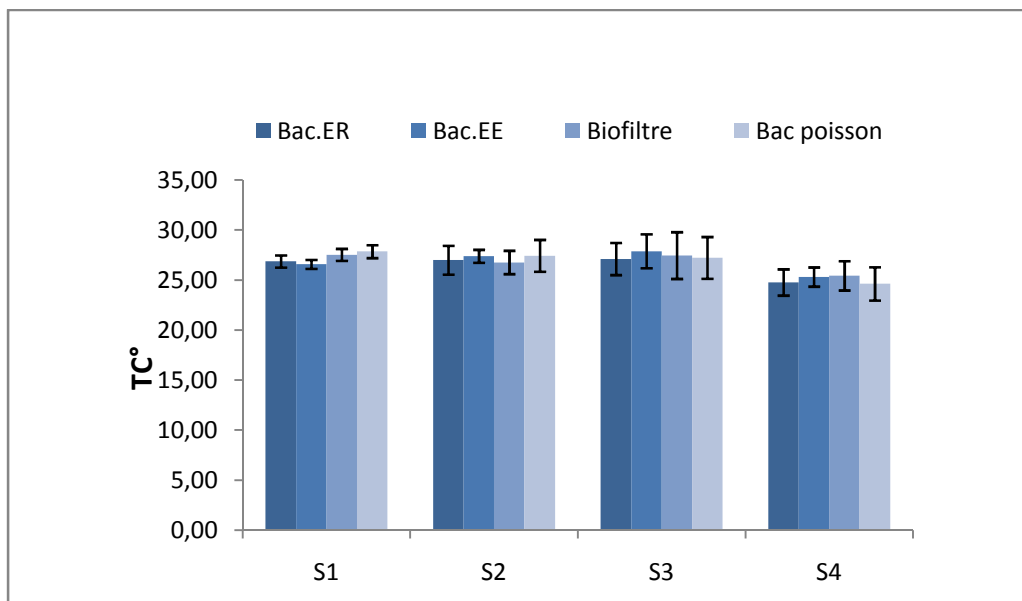
## IV. Résultats et discussion

### 1. Paramètres physicochimiques d'eau d'irrigation

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées durant le mois d'Aout 2021.

#### 1.1 Température

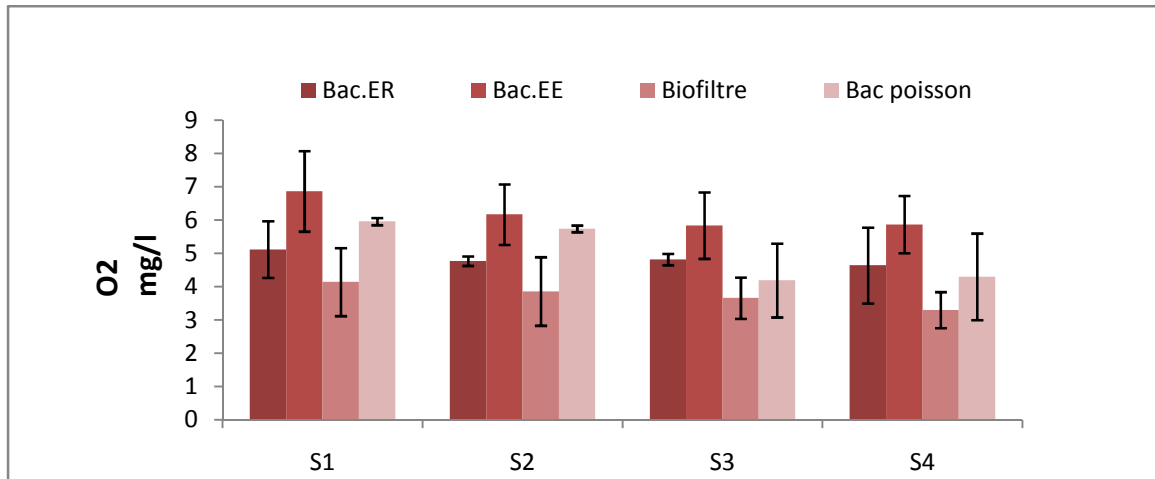
La température de l'eau présente des variations similaires dans les quatre bassins, et la valeur moyenne maximale est relevée durant la troisième semaine ( $27,88\pm 1.61^{\circ}\text{C}$ ) dans le bassin de culture de l'eau d'élevage et la valeur moyenne minimale relevée durant la quatrième semaine ( $24,62\pm 1.66^{\circ}\text{C}$ ) dans le bassin du poisson (**Figure 23**).



**Figure 23** : Variation de la température moyenne de l'eau en fonction du temps  
Dans les bassins (élevage, cultures).

#### 1.2 Oxygène dissous

La valeur moyenne maximale d'O<sub>2</sub> dissous relevée en S1 dans le bac des plantes irriguées par l'eau d'élevage EE et dans le bac à poisson avec ( $6,87\pm 0,34$ ) mg/l et ( $5,96\pm 0,80$ ) mg/l, respectivement. En revanche, la valeur moyenne minimale enregistrée en S4 dans le biofiltre ( $3,30\pm 0,26$ ) mg/l et dans le bac de culture des courgettes irriguées avec l'eau de robinet ( $4,30\pm 0,14$ ) mg/l (**Figure 24**).

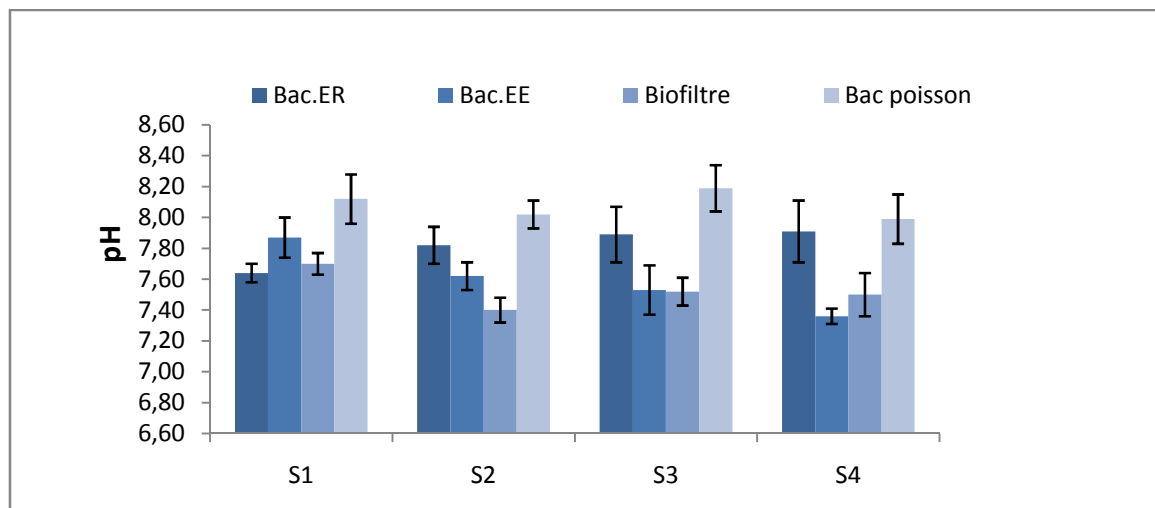


**Figure 24 :** Variation de l’oxygène dissous moyen de l’eau en fonction du temps  
Dans les bassins (élevage, cultures).

### 1.3 pH

La **figure 25** montre la variation du pH de l’eau en fonction du temps. Le pH moyen relevé dans les différents bacs (élevage, cultures) est neutre à légèrement alcalin, il fluctue entre 7,53 et 8.08.

. En effet, le pH semble affecter par le type d’eau. Les valeurs maximales du pH relevées dans le bac à poissons avec une moyenne mensuelle (8.08). En revanche, les valeurs minimales relevées dans le filtre biologique avec une moyenne mensuelle (7.53).



**Figure 25 :** Variations des valeurs moyennes du pH de l’eau en fonction du temps  
Dans les bassins (élevage, cultures).

### Discussion

Parmi les caractères physiques de l'eau, la température est un facteur important dans la limitation de certaines activités biologiques. Globalement, les températures moyennes de l'eau relevées dans la présente étude sont optimales pour la croissance et la survie de la carpe et sont liées aux conditions météorologiques car la couche superficielle est soumise à l'influence directe du climat régional.

En effet, le spectre écologique de la carpe est grand. La carpe commune qui a une grande résistance thermique, supporte des températures d'eau allant de (4 à 40°C). La meilleure croissance est obtenue quand la température de l'eau oscille entre 23 et 30 °C et elle se reproduit quand la température de l'eau est supérieure à 18°C (FAO, 2021).

La concentration en oxygène dans l'eau est liée à la température, à la pression atmosphérique, ... (Lwamba, 2006).

Les faibles concentrations en O<sub>2</sub> dissous de l'eau dans le biofiltre et dans le bassin des poissons pourraient s'expliquer par l'activité bactérienne et la respiration animale (les carpes). Les conditions de faibles teneurs en oxygène dissous peuvent provenir des causes naturelles ou artificielles, notamment les détritiques qui subissent la décomposition aérobie par des bactéries, une partie de l'oxygène est consommée, engendrant aussi un déficit plus ou moins prononcé de ce composant pourtant essentiel (Gordon et al., 1992). Une baisse du taux d'oxygène peut aussi provenir d'une forte concentration en plancton et d'autres organismes du bassin respirant pendant la nuit.

L'oxygène est un élément essentiel à la vie des organismes aquatiques, conditionnant à la fois leur abondance et des phénomènes biologiques comme la croissance. *Cyprinus carpio* peut survivre à des faibles concentrations d'oxygène (0,3-0,5 mg/litre) aussi bien qu'à une sursaturation (FAO, 2021). En effet, les eaux des bacs (élevage, cultures) sont bien oxygénées (bonne activité photosynthétique) et sont favorables à la survie et la croissance de nos poissons.

🌈 Le pH est un paramètre important dans l'étude des milieux aquatiques et est fortement dépendante des mécanismes chimiques et biologiques. Il y a de nombreuses raisons pour lesquelles le pH d'eau peut être déséquilibré : en fonction des ajouts d'eau ou selon la régularité avec laquelle nous avons alimenté le poisson (digestibilité de l'alimentation par les organismes en élevage).

Dans la présente étude, l'eau des différents bacs est neutre à légèrement alcaline. En effet, les valeurs élevées dans le bac de poisson s'expliquent par les teneurs en ammoniac forme ionisée  $\text{NH}_4^+$  et non ionisée  $\text{NH}_3$  libérées dans le milieu d'élevage par les poissons et probablement du phénomène d'eutrophisation car l'eau du bassin d'élevage des carpes est devenue verte au fur et à mesure. Des augmentations de pH peuvent se produire suite à des phénomènes d'eutrophisation ou par des rejets d'eaux usées alcalines (Lisec 2004).

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, la carpe commune *Cyprinus carpio* s'adapte à des conditions environnementales extrêmes, elle peut vivre dans une gamme de pH oscillant entre 6,5 et 9 (FAO, 2021). Selon Peterson (1999) le pH des eaux utilisées pour des cultures devrait se situer entre 6 et 7.

Nos résultats des paramètres physico-chimiques ( $T^\circ\text{C}$ , pH et  $\text{O}_2$  dissous) sont similaires avec ceux de (Beggui et Zaidi, 2018 ; Bensoltane, 2020).

## 2. Les sels nutritifs

### 2.1 Ammonium

Les valeurs maximales de l'ammonium 0,15 mg/l et 0,26 mg/l sont relevées dans le bac à poisson durant la première et la deuxième étape de l'expérimentation, respectivement. En revanche, nous avons enregistré les valeurs minimales dans le biofiltre avec respectivement, 0,05 mg/l et 0,14 mg/l le début et la fin de l'essai (Figure 26).

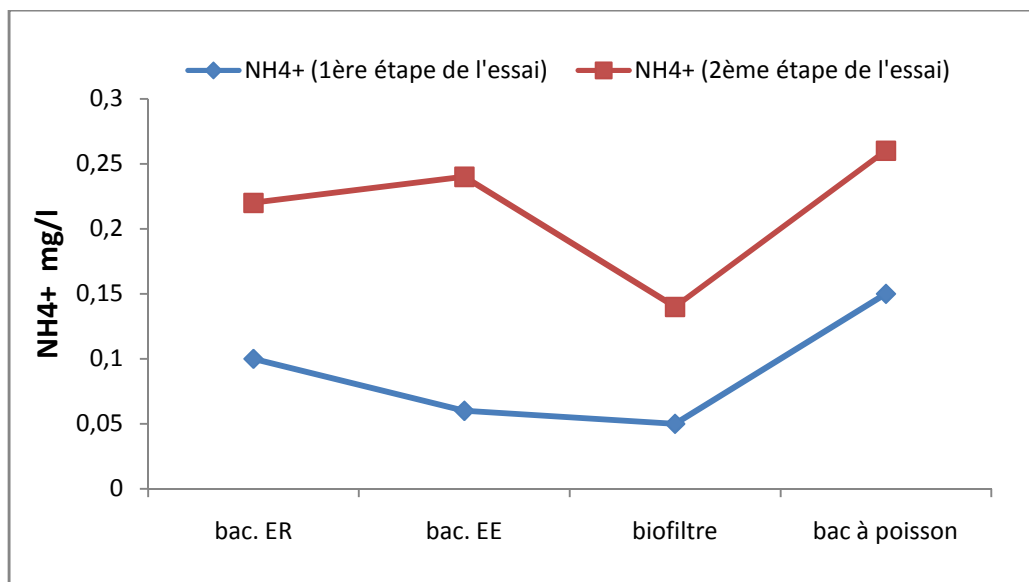
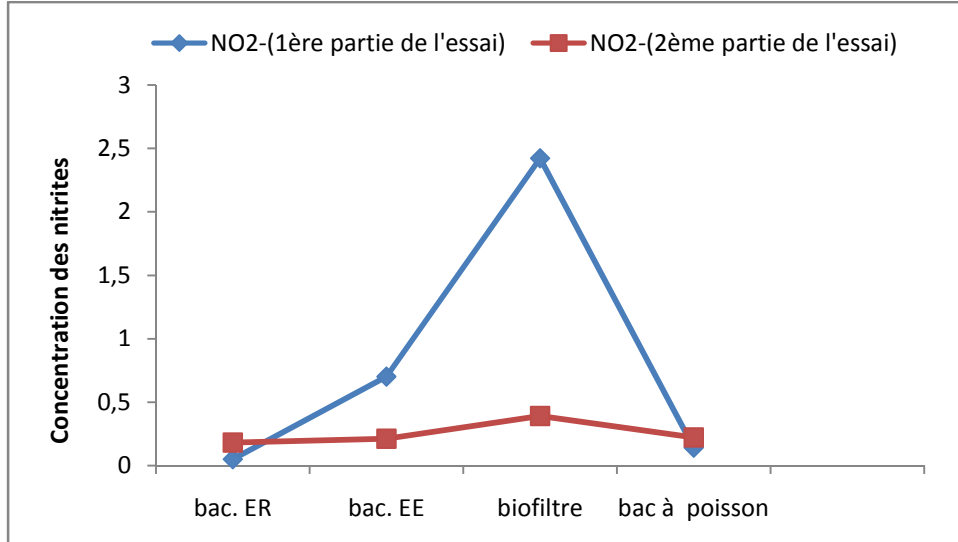


Figure 26 : Variation d'ammonium dans les bassins (élevage, cultures) durant la période d'étude.

## 2.2 Les Nitrites

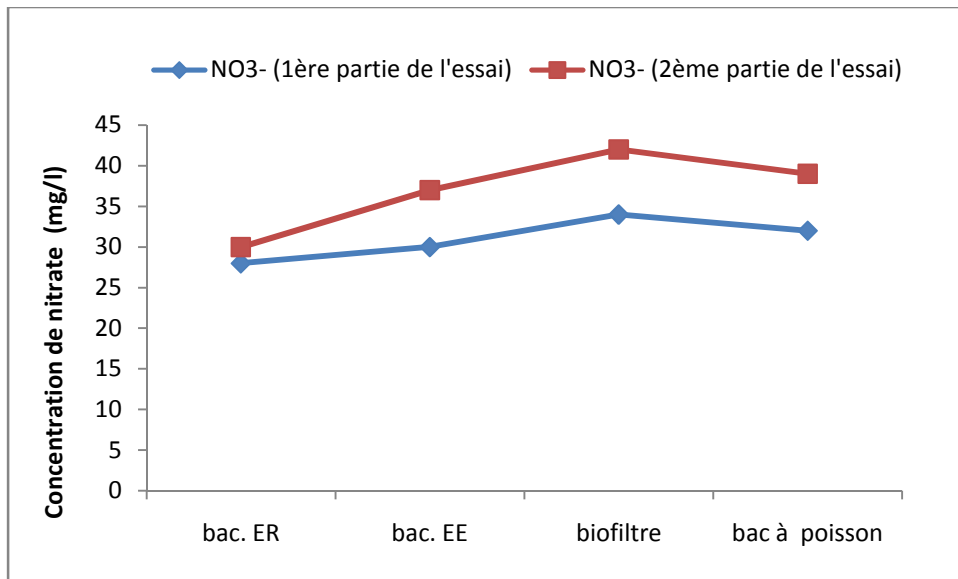
Les valeurs maximales des nitrites relevées dans le biofiltre ; un pic (2.42 mg/l) est enregistré durant la première phase de notre expérimentation. En revanche, les valeurs minimales relevées (0,05 mg/l et 0,18 mg/l), dans les bassins de culture (**Figure 27**).



**Figure 27** : Variations des nitrites dans les dans les bassins (élevage, cultures) durant la période d'étude.

## 2.3 Les Nitrates

Les valeurs maximales des nitrates (34 mg/l et 42 mg/l) sont notées dans le filtre biologique durant les deux phases de l'expérience et les valeurs minimales relevées (28mg/l et 30 mg/l), dans les bassins de culture (**Figure 28**).



**Figure 28** : Variations des nitrates dans les dans les bassins (élevage, cultures) durant la période d'étude.

### Discussion

Bien entendu, en Aquaponie, il faut trouver le bon compromis entre le bon taux de nitrates pour les plantes et le bon taux de nitrates pour les poissons, c'est pour cela qu'on doit toujours avoir un taux de nitrates compris entre 40 et 120 mg/l et un taux de nitrites inférieur à 3mg/l (Lisec 2004).

Les teneurs maximales **d'ammonium** relevées dans le bassin des poissons issues essentiellement des déjections des carpes et en moindre mesure à un excès dans la distribution de l'alimentation des poissons en élevage. En effet, le principal produit de l'excrétion azotée chez les poissons est l'ammoniac (**Fivelstad et al... 1990, in Kelly et al.. 1994**), dont la forme non ionisée ( $\text{NH}_3$ ) et la forme ionisée ( $\text{NH}_4^+$ ) est hautement toxique pour les poissons (**Poxton et Allouse, 1981**). L'ammonium en lui-même n'est pas nuisible. Lorsque le pH augmente, on retrouve de l'ammoniac, un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique. Des problèmes apparaissent à partir d'une concentration de 0,1 mg  $\text{NH}_3$ /l (**Lisec 2004**).

La diminution progressive de la concentration des ions  $\text{NH}_4^+$  dans le filtre biologique et dans les deux bacs de cultures (bac EE, bac ER) du fait de la consommation et la transformation de cet élément. En élevage, lors du rejet d'azote organique (protéines, acides aminés, l'urée,...), les molécules sont transformées en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ).

Les valeurs maximales de nitrates et de nitrites dans le biofiltre, pourraient s'expliquer par l'activité bactérienne et par la réaction de nitrification. En effet, Nitrobacter joue un rôle essentiel, elle convertit le nitrite en nitrate, qui est prêt à être absorbé par les plantes. Nitrobacter semble croître de façon optimale à 28 °C et pour un pH allant de 5,8 à 8,5 et un pH optimum entre 7,6 et 7,8 (**John G. H et David H, 1993 ; Grundmann et al... 2000**). D'après nos résultats obtenus, le pH moyen de l'eau (7.53 et 8.08) de notre système aquaponique est idéal pour la prolifération des bactéries.

🌈 Globalement, les valeurs de **nitrites** (0,14 et 0,22 mg/l) enregistrées durant toute la période d'étude dans le bac des poissons sont considérées comme de bon taux pour nos poissons. On considère que la situation est très critique à partir d'une concentration de plus de 3 mg  $\text{NO}_2^-$ /l (Lisec 2004).

🌈 L'ammonium et les nitrites sont hautement toxiques à partir de basses concentrations pour les poissons (Russo et Thurston, 1991 ; Tomasso, 1994 ; FAO, 2014 ; Zhen, et al., 2015). Ils doivent donc rapidement être dégradés. En effet, les risques de toxicité des nitrites sont réels lors de dysfonctionnement des systèmes de recyclage de l'eau.

Les ions **nitrates** ( $\text{NO}_3^-$ ) constituent le produit final essentiel du cycle de l'azote. Elles vont servir à nourrir les plantes du système aquaponique, donc il en faut! Mais en trop fortes quantités, les nitrates peuvent aussi devenir toxiques pour les poissons.

Dans le présent travail, les faibles teneurs en nitrates enregistrées dans le bac de culture pourraient s'expliquer par l'absorption et l'assimilation de cet élément nutritif par les racines des courgettes (rôle de filtre biologique). Pour la culture aquaponique, la valeur idéale en nitrate de l'eau entre 5 mg/l et 150 mg/l (**Harlaut. Pierre, [www.aquaponie.biz](http://www.aquaponie.biz)**). À la différence de l'ammoniac et des nitrites, les nitrates ne commencent vraiment à être toxiques qu'à des concentrations relativement élevées et sur un plus long terme.

La valeur idéale en ammoniac et en nitrite de l'eau pour la culture aquaponique (**Harlaut. Pierre, [www.aquaponie.biz](http://www.aquaponie.biz)**) sont 0 mg/l. Selon **Rakocy, 2007**, dans un système aquaponique correctement conçu et équilibré, le rapport entre le poisson et les plantes est basé sur le rapport du taux d'alimentation. Le ratio du taux d'alimentation correspond à la quantité d'aliments fournie au poisson quotidiennement par mètre carré de surface de culture.

En fin, l'origine des ions d'ammonium, des nitrites et des nitrates dans le bac de culture de l'eau de robinet (ER) est probablement naturelle et de la fixation de l'azote atmosphérique le plus abondant des gaz atmosphériques. Les cyanobactéries filamenteuses qui vivent en colonies (*Trichodesmium*, ...), et les cyanobactéries unicellulaires qui vivent libres ou en symbiose avec le phytoplancton (*Nostoc*, *Anabaena*, ...). Elles sont responsables de 40 à 50% de la fixation biologique de l'azote. Elles synthétisent un complexe enzymatique, la nitrogénase, qui catalyse la réduction de l'azote moléculaire en ammoniac. Par ailleurs, dans les eaux naturelles, l'azote est généralement présent sous forme ammoniacale et/ou nitrique.

Comparant nos résultats des déchets azotés ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ) avec les résultats de **Begui et Zaidi, 2018** sur Impact d'un système aquaponique sur la qualité d'eau, la croissance du poisson chat Africain *Clarias gariepinus* et laitue blonde du BATAVIA (région d'Ouargla), ces résultats sont assez différents ceci pourraient s'expliquer par les mécanismes métaboliques (digestion et/ou excrétion) de l'organisme étudié.

### 3. Les paramètres biologiques

#### 3.1 Le poisson

##### 3.1.1 *Survie et mortalité des carpes*

**Tableau 3 :** Poids total et mortalités des carpes remis dans les bacs d'élevages durant la première partie et la deuxième partie de l'expérience (Aout ; 2021).

	1ère semaine de l'expérimentation		03 dernières semaines de l'expérimentation	
	Début de l'essai	Fin de l'essai	Début de l'essai	Fin de l'essai
<b>Intervalle du poids (g)</b>	228-318		11-235	
<b>Nombre des individus</b>	09		05	
<b>Poids totale (g)</b>	2468	2470	290.5	305
<b>Volume d'eau en « L »</b>	800		300	
<b>Taux de mortalité</b>	/	100%	/	00%

Selon le tableau ci-dessus, les poissons du bac 300L restaient vivants et le taux de survie de ceux-ci est à 100% durant les 03 dernières semaines de l'expérience. Comme les facteurs abiotiques de l'eau et la teneur en nitrite et en ammoniac sont considérés comme optimales et de bon taux pour la survie de *Cyprinus carpio*, les mortalités alors qui ont été enregistrées dans le bac 800L début de l'expérimentation sont dues au colmatage des branchies des poissons à cause des miettes du pain et leurs mortalités par asphyxie. En effet, la première semaine de l'expérience, la nourriture de nos poissons est constituée essentiellement d'un mélange: aliment industriel (37% de protéines), le pain et la salade. En effet, la carpe d'élevage suit une croissance stéréotypée qui est, en permanence, contrôlée par le pisciculteur.

Par ailleurs, le régime alimentaire est extrêmement diversifié, les cyprinidés s'alimentant à tous les niveaux trophiques : végétaux supérieurs, phytoplancton, zooplancton, zoobenthos, bactéries fixées sur des détritux divers (Billard, 1995).

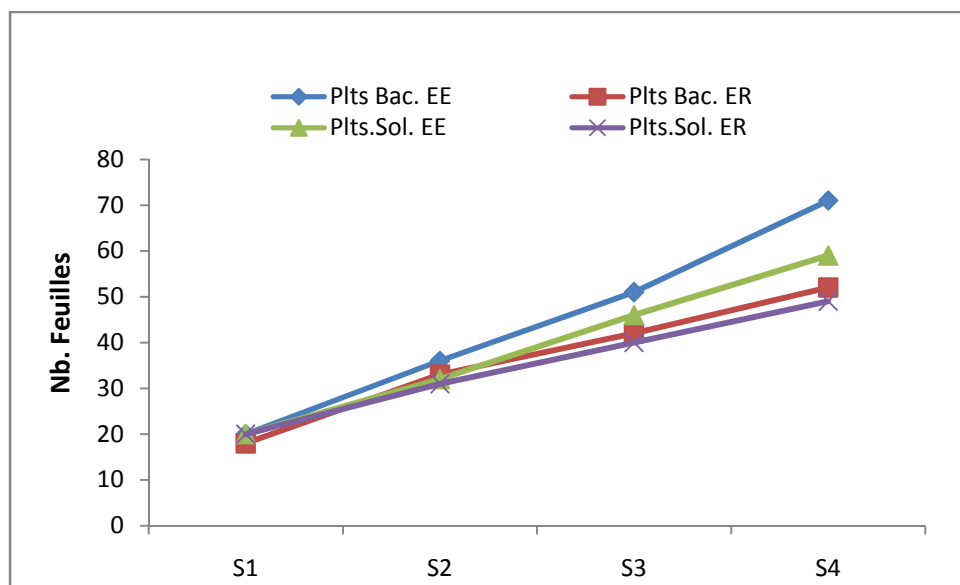
#### 4. Résultats des paramètres végétatifs et de production

##### 4.1 Analyses des paramètres végétatifs

##### 4.1.1 Nombre des feuilles par plantes

Les résultats du paramètre «nombre des feuilles» pour l'ensemble des cultures utilisées sont montrés par la **figure 29**. Le nombre hebdomadaire moyen des feuilles des courgettes de chaque système de culture varie entre  $(35 \pm 9.5)$  feuilles et  $(44 \pm 16.5)$  feuilles. En effet, les plantes du système aquaponique et du sol irriguées avec l'eau de l'élevage de la carpe commune *Cyprinus carpio* qui montrent le nombre le plus élevé avec 71 et 59 feuilles, respectivement pendant la 4<sup>ème</sup> semaine.

Par ailleurs, le nombre de feuilles le plus faible 25 noté chez les plantes du sol irriguées avec l'eau de robinet dans la même période d'étude.

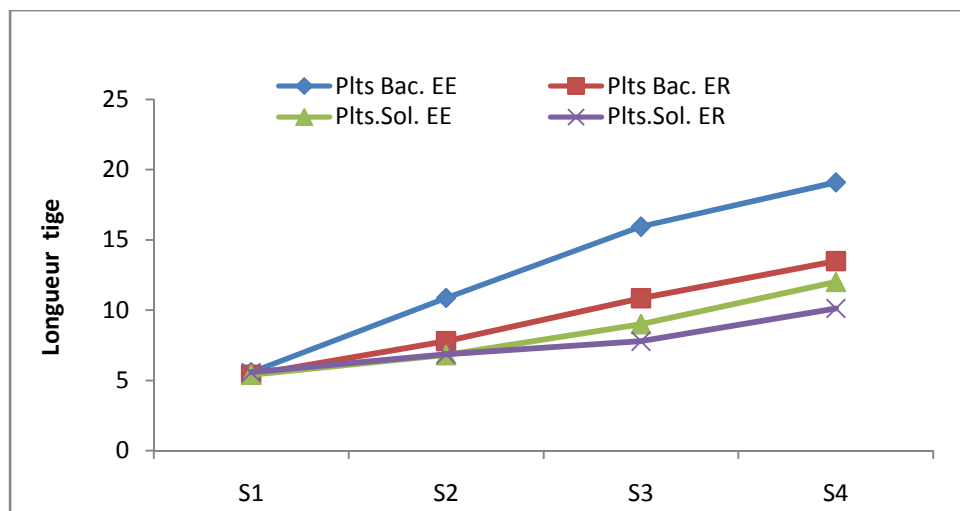


**Figure 29** : Effet des différents types de culture sur nombre des feuilles de courgette

Il semble, d'une part, que le développement foliaire (nombre de feuilles) est dépendant de l'origine de l'eau (élevage, robinet) ainsi que la technique de culture (Aquaponie, sol). L'une des multifonctionnalités du sol est sa capacité à assurer une bonne croissance aux plantes cultivées, ce qui renseigne sur son aptitude à fournir les éléments nutritifs à la plante et détermine par conséquent son niveau de fertilité (**Bünemann et al., 2018**). D'autre part, le facteur temps paraît avoir un effet positif sur l'augmentation du nombre de feuilles de courgette.

##### 4.1.2 Longueur de la tige

Les résultats obtenus (**figure 30**) montrent que la longueur moyenne de la tige des courgettes étudiées varie entre  $(5,4 \pm 2.05)$  Cm et  $(19.1 \pm 6.63)$  Cm. Les valeurs importantes présentées par les plantes des bacs de culture irriguées avec EE  $(19.1 \pm 6.63)$  Cm et ER  $(13.48 \pm 4.44)$  Cm et les faibles valeurs présentées par les échantillons du sol arrosés avec EE  $(12 \pm 1.81)$  Cm et ER  $(10.12 \pm 1.81)$  Cm, relevées la fin de l'essai.



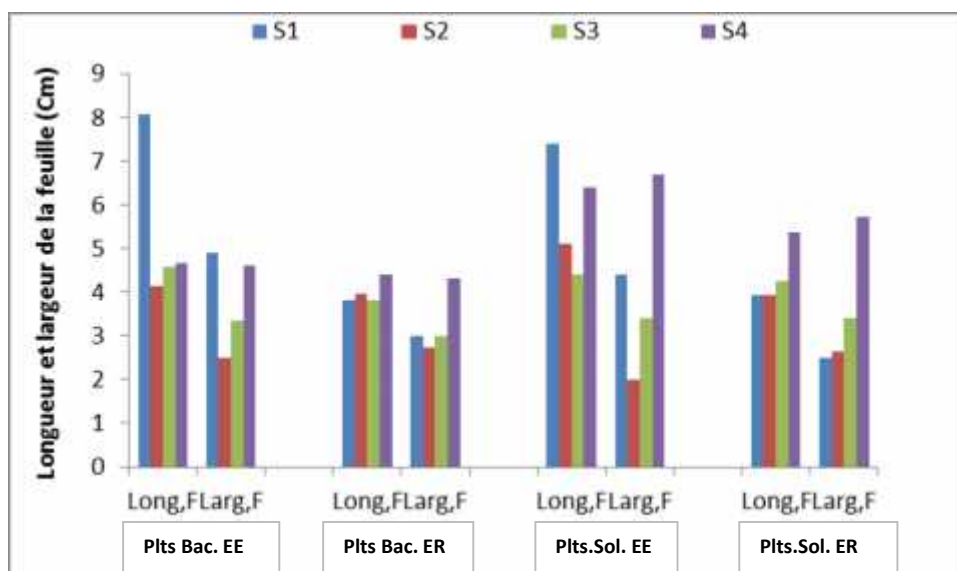
**Figure 30** : Effet des différents types de culture sur l'élongation de la tige des courgettes en fonction du temps

#### 4.1.3 Longueur et largeur de la feuille

Les plantes (Aquaponie, sol) irriguées à l'eau d'élevage (EE), ont donné (longueurs, largeurs) les plus élevées de feuilles durant toute la période d'étude avec une moyenne de  $(5,37 \pm 1.35)$  Cm et  $(4.13 \pm 1.42)$  Cm, respectivement.

Par ailleurs, les longueurs et les largeurs les plus faibles sont notées chez les échantillons de courgettes arrosés avec l'eau de robinet dans les deux systèmes de culture avec respectivement une moyenne de,  $(3.99$  et  $3.25)$  Cm bac ER et  $(4.38$  et  $3.56)$  Cm sol ER.

Globalement, l'élongation des tiges des courgettes est importante en S1 (bac EE, sol EE), alors que lorsqu'il s'agit du largeur des feuilles c'est surtout en S4 (**Figure 31**).

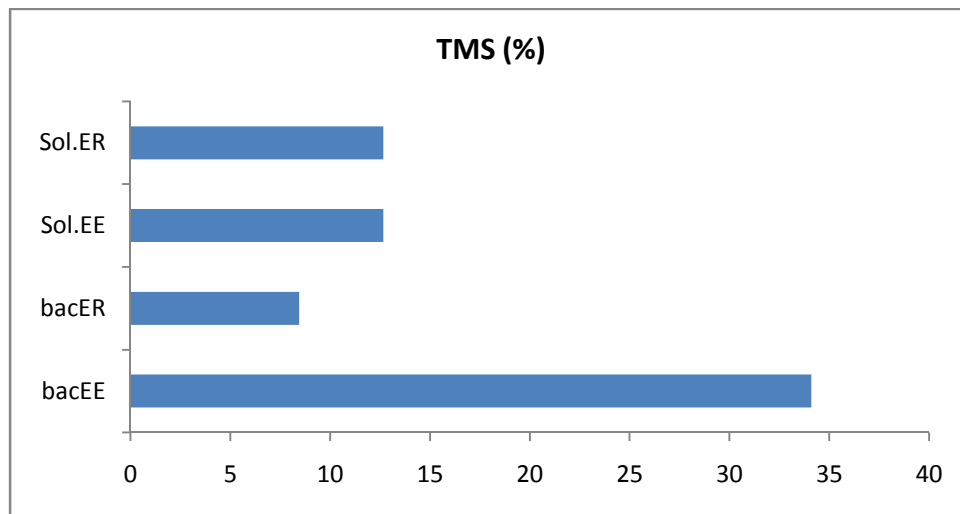


**Figure 31 :** Histogramme montrant la moyenne de la longueur et la largeur des feuilles des courgettes pour les deux systèmes de culture étudiés

Cm après un mois de semis de 40 échantillons de courgettes avec ceux de **(Boubaiche et Lahouari, 2016)** sur un échantillon de 63 plantes de courgette après 3 mois de semis, dont les valeurs respectives suivantes :  $13.13 \pm 0.316$  cm,  $7.22 \pm 0.189$  cm,  $6.79 \pm 0.156$  cm, nos résultats sont mieux.

#### 4.1.4 Taux de matière sèche (TMS)

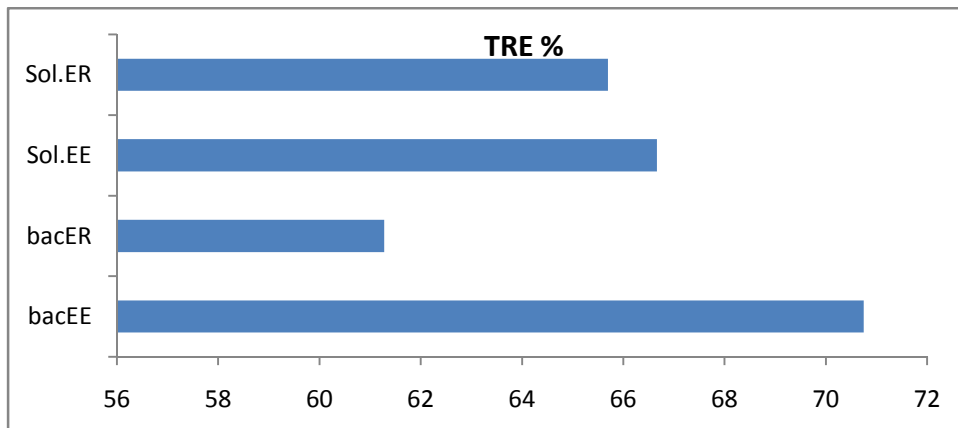
D'après les résultats représentés dans le graphe au-dessous (**Figure 32**), les courgettes du bac EE présentent le TMS le plus élevée (34.1 %) opposé à du bac ER qui présente le TMS le plus faible (8.45%).



**Figure 32 :** Taux de matière sèche de la courgette

#### 4.1.5 La teneur en eau relative (TRE%)

L'histogramme ci-dessus nous a montré la teneur en eau relative des plantes après un mois de semis chez les plantes du bac EE (70.75%) ensuite, chez les plantes sol EE (66.66 %) ensuite chez les plantes sol ER (65.69 %) et en fin (61.27 %) chez les plantes bac ER (**Figure 33**).



**Figure 33 :** Taux en eau relative de la courgette

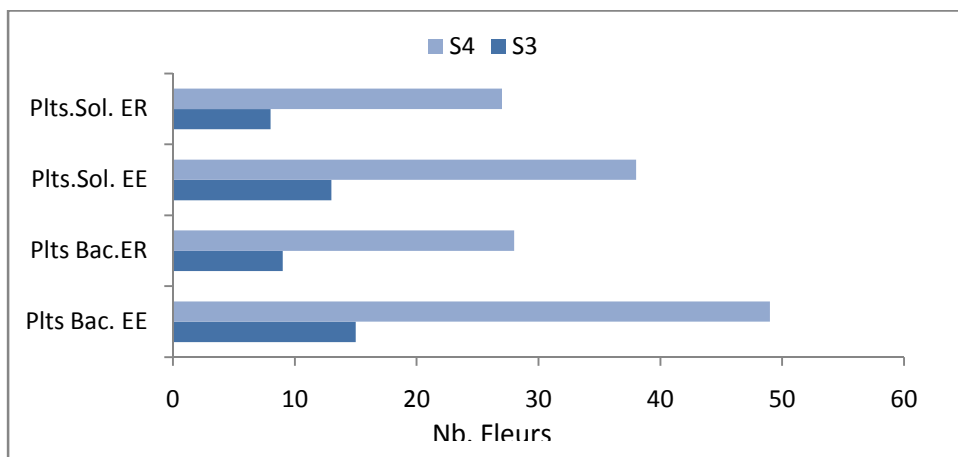
Il en résulte que les courgettes arrosées avec l'eau d'élevage du système aquaponique comme celles du sol ont donné de nombre de feuilles élevé par rapport aux courgettes irriguées avec l'eau de robinet. Cette variation pourrait également s'expliquer par la quantité des sels nutritifs organiques dont contenues dans les eaux d'élevage au moment de leur application, ainsi qu'à la mise à disposition des plants de courgette des éléments nutritifs tels l'azote et le carbone qui au lieu de participer au développement des plants.

## 4.2 Analyses des paramètres de reproduction

### 4.2.1 Nombre de fleurs

D'après les résultats représentés dans le graphe au-dessous (**Figure 34**), les plantes de bac EE présentent le nombre de fleurs le plus important avec 15 fleurs en S2 et 49 fleurs en S4 ; suivi des courgettes du sol EE avec 13 fleurs en S2 et 38 fleurs en S4.

En revanche, le développement florale des courgettes est similaire chez les plantes bac ER et du sol ER avec (9 fleurs en S2 et 28 fleurs) et (8 fleurs en S2 et 27 fleurs en S4), respectivement.



**Figure 34 :** Nombre de fleurs par plante

Les fleurs étant les principaux organes de la biologie reproductive, leur développement influence considérablement la production.

Le degré de supériorité entre les nombres de fleurs par plante (bac EE) montre en outre l'importance de l'utilisation des eaux d'élevage de la carpe pour l'irrigation des courgettes et aussi cette supériorité est due à l'absorption et l'assimilation des eaux riche en azote provient des excréments des poissons. En effet, l'azote est un élément important pour la production des fleurs et de fruits (FAO, 2000). Chowdhury et al. (2014) et Chowdhury et Anshu (2015) confirment l'augmentation du nombre de feuilles sur la culture du fraisier et d'autres espèces.

## 5. résultats de l'étude statistique (ANOVA)

### 5.1 Comparaison entre les 2 techniques (DWC, sol)

Les résultats de l'analyse statistique ANOVA à deux critères de classification montrent la présence d'une différence très hautement significative ( $*** p < 0.001$ ) entre la longueur de la tige et le largueur de la feuille ; hautement significative ( $** p < 0.01$ ) entre la longueur de la feuille et significative ( $* p < 0.05$ ) entre le nombre de fleurs dans les deux systèmes de culture en eau profonde DWC et celui du sol (Tableau 4).

**Tableau 3 :** Résultats de l'AV2 appliquée sur les paramètres biométriques et de reproduction (longueur de la tige ; longueur et largueur de la feuille ; nombre de fleurs) dans les deux systèmes de culture appliqués.

E.E. Bac / E.E. Sol	Longueur de la tige	Longueur de la feuille	Largeur de la feuille	Nombre de fleurs
Longueur de la tige	***			
Longueur de la feuille		**		
Largeur de la feuille			***	
Nombre de fleurs				*

Valeurs significatives : ( $*** p < 0,001$ ;  $** 0,01$ ;  $* p < 0,05$ ;  $p > 0.05$ : ns)

**5.2 Comparaison des paramètres physiologiques de la plante cultivée dans l'eau profonde "DWC"**

Les résultats de l'analyse statistique ANOVA à un critère de classification font apparaître la présence d'une différence très hautement significative ( $*** p < 0.001$ ) entre la longueur de la tige ; significative ( $*** p < 0.05$ ) entre le nombre de fleurs et non significative ( $p > 0.05$ ) entre la longueur et le largeur des courgettes implantées dans l'eau d'élevage et dans l'eau de robinet (**Tableau 5**).

**Tableau 4 :** Résultats de l'AV1 appliquée sur les paramètres biométriques et de reproduction (longueur de la tige ; longueur et largeur de la feuille ; nombre de fleurs) des courgettes cultivées dans l'eau profonde

E.E. Bac / E.R. Bac	Longueur de la tige	Longueur de la feuille	Largeur de la feuille	Nombre de fleurs
Longueur de la tige	***			
Longueur de la feuille		ns		
Largeur de la feuille			ns	
Nombre de fleurs				*

Valeurs significatives : ( $*** p < 0,001$ ;  $** 0,01$ ;  $* p < 0,05$ ;  $p > 0.05$ : ns)

**5.3 Comparaison des paramètres physiologiques de la plante cultivée "dans le sol"**

Les résultats de l'analyse statistique ANOVA à un critère de classification montrent la présence d'une différence significative ( $* p < 0.05$ ) entre la longueur de la tige des échantillons du sol arrosés avec les deux qualités et non significative ( $p > 0.05$ ) entre la longueur et le largeur des feuilles ainsi que le nombre de fleurs des courgettes (**Tableau 6**).

**Tableau 5 :** Résultats de l'AV1 appliquée sur les paramètres biométriques et de reproduction (longueur de la tige ; longueur et largeur de la feuille ; nombre de fleurs) des courgettes cultivées dans le sol.

<b>E.E. Bac</b>	<b>Longueur de la tige</b>	<b>Longueur de la feuille</b>	<b>Largeur de la feuille</b>	<b>Nombre de fleurs</b>
<b>E.R. Bac</b>				
<b>Longueur de la tige</b>	*			
<b>Longueur de la feuille</b>		ns		
<b>Largeur de la feuille</b>			ns	
<b>Nombre de fleurs</b>				ns

*Valeurs significatives : (\*\*\*)  $p < 0,001$ ; \*\*  $0,01$ ; \*  $p < 0,05$ ;  $p >$*

### V. Conclusion Générale

Il ressort alors de cette étude que:

- La température moyenne des eaux fluctue entre  $(24,62 \pm 1.66 < TC^\circ < 27,88 \pm 1.61)$ . En effet, les fluctuations de ce paramètre abiotique sont liées aux conditions météorologiques car la couche superficielle est soumise à l'influence directe du climat régional. Les températures enregistrées dans les bacs de culture semblent être favorables à la croissance et au développement de la carpe commune, *Cyprinus carpio* ainsi que la courgette, *Cucurbita pepo*.
- Une bonne oxygénation des eaux avec un maximum  $6,18 \pm 0.34$  mg/l noté dans le bac de culture, pourrait s'expliquer par la purification de ces dernières suite à la transformation des déjections des poissons en matières assimilables par les plantes.
- Le pH de l'eau est neutre à légèrement alcalin, serait satisfaisant pour le développement normal du poisson et de la plante.
- Les résultats obtenus montrent que les teneurs en sels nutritifs ammonium  $NH_4^+$ , Nitrites  $NO_2^-$  et nitrates  $NO_3^-$  globalement dans les normes et considérés comme de bon taux pour les poissons d'eau douce et les eaux des cultures aquaponiques.
- Le système peut être considéré comme efficace puisque l'eau ressort purifiée du bac de culture aquaponique et la concentration en nitrites, nitrate et ammonium enregistrées reste dans les normes et n'est pas nocive pour une santé optimale des poissons. En effet, les valeurs idéales de l'eau pour la culture aquaponique est 0 mg/litre ammoniac et nitrite et entre 5 et 150 mg/litre ([www.aquaponie.biz](http://www.aquaponie.biz)).
- Les mortalités qui ont été enregistrées la première semaine de l'expérimentation, sont dues au colmatage des branchies par les miettes du pain et la mort des poissons par asphyxie (alimentation non adéquate).
- Une différence remarquable, a été constatée lors de l'expérience, entre la croissance de l'appareil végétatif (nombre des feuilles, longueur des tiges, longueur et largeur des feuilles) ainsi que le développement de l'appareil reproducteur (nombre de fleurs) des courgettes, *Cucurbita pepo* irriguées par l'eau du bassin d'élevage (Aquaponie, sol) et celles irriguées par l'eau de robinet (Aquaponie, sol).
- Les courgettes du bac EE présentent le TMS le plus élevée (34.1 %) et en moindre mesure les échantillons du sol (12,67%). En effet, ce sont les plantes du bac ER qui présente le taux le plus faible (8.45%).

- La teneur en eau relative des plantes après un mois de semis est importante chez les plantes du bac EE 70.75%). Elle est similaire chez les courgettes des autres cultures (>60 %).
- Floraison précoce chez les plantes (Aquaponie, sol) irriguées avec l'eau d'élevage et apparition des premières ébauches de fleurs après 16<sup>sèmes</sup> jour de semis (bac EE).

Il apparait que la croissance et le développement des courgettes est influencé par l'origine de l'eau (élevage, robinet), et aussi par la technique de culture (DWC, sol) :

- Les résultats de l'analyse statistique AV2, font apparaitre la présence d'une différence très hautement significative ( $*** p < 0.001$ ) entre les deux systèmes de culture adoptés dans la présente étude.

- les résultats de l'AV1, montre l'existence d'une différence très hautement significative ( $*** p < 0.001$ ) entre les la longueur de la tige et significative  $p < 0,05$  entre le nombre de fleurs des courgettes poussées en eau profonde (DWC). Par ailleurs, l'existence d'une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre la croissance des tiges des plantes du sol.

En effet, l'Aquaponie est un art qui s'apprivoise facilement, avec un petit temps d'adaptation au début pour prendre quelques nouvelles habitudes quotidiennes, rapides certes, mais très importantes pour le maintien de l'équilibre du système.

En perspectives,

Les résultats préliminaires obtenus du présent travail sont encourageants pour l'adoption de l'Aquaponie en eau profonde comme modèle alternative à la culture dans le sol de la courgette. Mais il serait judicieux de :

- Compléter cette étude et poursuivre la croissance et le développement de cette plante jusqu'au stade de la récolte;
- Tester l'effet de l'eau d'élevage de différentes classes de taille de la carpe commune, *Cyprinus carpio* et d'autres espèces Cyprinidés sur la culture de la courgette, *Cucurbitapepo* ;
- Tester l'effet de l'eau d'élevage des autres espèces de poisson d'eau douce d'intérêt commerciales (Tilapia, Carassin, poisson chat,...) sur la croissance et le développement courgette, *Cucurbitapepo* et sur d'autres légumes et plantes flottantes (salade, tomate,...
- L'élargissement de la liste des légumes verts adéquats pour ce genre de système (culture sur radeau) tels que d'autres légumes (salade, tomate, ...) ; fruits (fraises,...) et même les plantes de décoration.

- Diversifier la nourriture ; plus la nourriture que nous donnerons à nos poissons sera diversifiée, plus les nutriments seront diversifiés.
- En cas d'une alimentation non diversifiée, il serait judicieux d'ajouter compléments nécessaires (Phosphore et Potassium,...) pour garantir le bon équilibre et la bonne croissance des plantes. Avec un système aquaponique, nous voulons des plantes saines, en bonne santé, cultivées naturellement et résistantes (le plus possible) aux attaques et maladies avec le moins de traitements possibles.
- Compléter cette étude par la réalisation des élevages annexes (culture du phytoplancton, élevage des rotifères, artémias) afin d'assurer et résoudre le problème de l'alimentation des stades larvaires en aquaculture ainsi que diminuer le coût du projet.
- Compléter cette étude par le suivi de la croissance de la carpe en mesurant la taille et le poids sur une longue période.

En fin, la première et les plus importants inconvénients de l'Aquaponie, c'est que les plantes n'ont pas de protection en cas d'erreur de notre part. La terre a un pouvoir tampon. Autrement dit, elle a la capacité de maintenir une certaine stabilité autour de la masse racinaire. Dans un sol sain, tous les paramètres physiques et biologiques sont en équilibre. Même si nous apportons à nos plantes trop d'engrais, un mélange non adapté ou un liquide au mauvais pH, les micro-organismes présents dans la couche supérieure du sol et la chimie du sol elle-même auront tendance à rétablir l'équilibre. C'est également le cas en Aquaponie, mais dans une moindre mesure.

## Références

1. Beggui et Zaidi, 2018. Impact d'un système aquaponique sur la qualité d'eau, la croissance du poisson chat Africain *Clarias gariepinus* et laitue blonde du BATAVIA (région d'Ouargla). Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master professionnel domaine: sciences de la nature et de la vie. Filière: Hydrobiologie marine et continentale. Spécialité: Aquaculture.
2. BENSOLTANE Marwa, 2020. Modélisation et réalisation d'un système aquaponique à partir du matériel de récupération. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme en master ii: bio-ressources marines.
2. Boubaiche et Lahouari, 2016. Etude comparative de l'effet d'un pesticide Biologique (purin de l'ortie *Urtica dioica*) et un pesticide chimique sur la croissance et le développement des plantes : cas de la courge *Cucurbitapepo*. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme Master. Filière : Sciences Biologiques. Spécialité : Eau, Santé et Environnement.
3. Billard. R, 1995. Les carpes biologie et élevage . INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE. 147, rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 07. 379 p.
4. Blancheton, J.P., 2000. Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species. *Aquacultural Engineering*, 22: 17-31.
5. Chen, S., Malone, R.F., 1991. Suspended solids in recirculating aquaculture systems. In: *Engineering Aspects of Intensive Aquaculture*. Proc. from the Aquaculture Symposium, Cornell University, 4-6 April 1991, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, NY, 170-186.
6. Chowdhury A.R. & Anshu Gupta (2015). Effect of Music on Plants - An Overview, *International Journal of Integrative Sciences, Innovation and Technology* 4, 30 - 34.
7. Chowdhury E. K., Lim H. S. & Bae H. (2014). Update on the Effects of Sound Wave on Plants Goldberg, R.J., Elliott, M.S., Naylor, M.A., 2001. *Marine Aquaculture in the United States: Environmental Impacts and Policy Options*. PewOceans Commission, Arlington, VA, 44 pp.
8. Ciqual, 2017. Table Nutritionnelle des Aliments

9. Gutierrez-Wing, M.T., Malone, R.F., 2006. Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacultural Engineering*, 34: 163- 171.
10. Grundmann GL, Neyra M et Normand P, 2000. High-resolution phylogenetic analysis of NO<sub>2</sub>--oxidizing *Nitrobacter* species using the rrs-rrl IGS sequence and rrl genes. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, vol. 50 Pt 5, p. 1893–8 (PMID 11034501).
11. Heinen, J.M., Hankins, J.A., Weber, A.L., 1996. A semi-closed recirculating-water system for high-density culture of rainbow trout. *The Progressive Fish Culturist*, 58 (1): 11-22.
12. FAO, 2000. Les engrais et leur application. Précis à l'usage des vulgarisateurs. Rome (Italie) FAO-éditions; 156 pages.
13. FAO, 2021: Cultured aquatic species fact sheets *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758).
14. Fivelstad, S., Thomassen, J.M., Smith, M.J., Kjartansson, H., Sando, A.B., 1990. Metabolite production rates from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Arctic Char (*Salvelinus alpinus* L.) reared in single pass land-based brackish water and sea water systems. *Aquacultural Engineering*, 9: 1-21.
15. John G. Holt et David Hendricks, 1993. *Bergey, Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, USA, Lippincott Williams and Wilkins, (ISBN 0683006037)
16. Kelly, L.A., Bergheim, A., Hennessy, M.M., 1994. Predicting output of ammonium from fish farms. *Water Research*, 28 (6): 1403-1405.
17. Léonard, N. 2000. Recherche et élimination des facteurs inhibiteurs de croissance dans les élevages piscicoles en circuit fermé. Thèse de doctorat de l'université de Montpellier 2. Montpellier, France, 165 p.
18. Lisec, 2004. "Contrôle van de fysicochemische kwaliteit van de viswaters van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest", rapport effectué pour le compte de l'IBGE.
19. Nicolas-Auguste Paillieux et Désiré Bois, 1885. *Le Potager d'un curieux : Histoire, culture et usages de 100 plantes comestibles peu connues ou inconnues*, Paris, Librairie agricole de la maison rustique, 294 p.
20. Pagand, P., 1999. Traitement des effluents piscicoles marins par lagunage à haut rendement algal. Thèse de doctorat de l'université de Montpellier 1, Montpellier, France, 220 p.

21. **Peterson, H.G., 1999.** Water quality and Micro-irrigation for horticulture. Agriculture et Agroalimentaire Canada.
22. Pierce, R.H, Weeks, J.M., Prappas, J.M., 1993. Nitrate toxicity to five species of marine fish. *Journal of World Aquaculture Society*, 24(1): 105-107
23. Poxton, M.G., Allouse, S.B., 1981. Water quality criteria for marine fisheries. *Aquacultural Engineering*, 1: 153-191.
24. Rakocy, J. (2007). Use a feeding rate ratio for design calculations, (3), 14–17.
25. RUSSO R.C., THURSTON R.V., 1991. Toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to fishes. *Aquaculture and water quality*. in *Advances in world aquaculture*, Brune E. and Tomasso J.R. eds, WAS Publ., 3, 58-89.
26. TOMASSO J.R., 1994. Toxicity of nitrogenous wastes to aquaculture animals. *Rev. Fish. Sci.*, 2, 291-314.

## Annexes

### Annexes 1



**Figure 35 : Montage des filtres biologique et à tourbillon.**



**Figure 36 : Tuyauterie des lits de culture au puisard**

Annexes 2



**Figure 37 : Tuyauterie du puisard au bac à poissons**



**Figure 38 : Tuyauterie du bac à poissons aux filtres mécanique et biologique**

---

**Annexes 3**



**Figure 39 : les racines après 1 semaine en eau du robinet**



**Figure 40 : les racines après 1 semaine en eau d'élevage**



**Figure 41 : les racines après 2 semaines en eau de robinet**

---

Annexes 5



**Figure 42 : Plantes des courgettes irriguées par l'eau d'élevage.**



**Figure 43 : Plantes des courgettes irriguées par l'eau de robinet.**