

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE VÉTÉRINAIRE

Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du
Diplôme de Docteur Vétérinaire

THÈME

L'Aquaponie

Présenté par : HAMIDI SALAHEDDINE

Soutenu le : 30/10/2019

Devant le jury composé de:

- Président : Pr. KHELEF Djamel (Professeur)
- Promoteur : Pr. AIT OUDHIA KHATIMA (Professeur)
- Examineur 1: Dr. BAROUDI Djamel (MCA)
- Examineur 2 : Dr. MESSAI CHAFIK REDHA (MCB)

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Allah, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je remercie mes très chers parents, Abdelkader et Houria, qui ont toujours été là pour moi, « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier ».

Je s'adresse mes sincères remerciements à mon promoteur Mme AIT-OU DHIA KHATIMA pour m'encourager de fait ce que j'ai vraiment voulu et aussi d'avoir dirigé ce travail.

A tous les membres du jury trouvent ici l'expression de mon
profonds respects
pour avoir pris la peine d'examiné mon travail.

Finalement, mes remerciements également à tous ceux et celles
qui de près ou de
loin m'ont apporté l'aide et l'encouragement.

Dédicace

A mes chers parents, Abdelkader et Houria pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes chères sœurs Latifa, Amina, Khaoula pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

A tous ma famille

A mes chers amis, HOUSEM, BELAID, MOHAMED, JALIL, AZZEDDINE, LAKHDAR, BILAL, SAMIR, MOSAAB....

HAMIDI SALAHEDDINE

LISTE DES FIGURES :

Figure 1: Principe du fonctionnement d'un système aquaponique (https://www.researchgate.net/publication/322716308).....	05
Figure 2 : illustration de l'anatomie externe du poisson (FAO, 2017).....	06
Figure 3: les différents poissons A et plantes B utilisés en aquaponie (Love et al., 2014).....	12
Figure 4 : Représentation d'une unité aquaponique constituée de culture sur raft et de Deux filtres (mécanique et biologique) (FAO, 2017).....	15
Figure 5 : Technique « Rafts » (Nelson & Pade 2017).....	15
Figure 6: Représentation d'une unité aquaponique constituée de cultures sur film nutritif (FAO, 2017)	17
Figure 7 : Technique « NFT » (Nelson & Pade, 2017)	17
Figure 8: Représentation d'une unité aquaponique constituée d'un lit de culture à substrat inertes (FAO, 2017)	19
Figure 9: Technique « sur lit de médias » (https://aquaponicsusa.wordpress.com/2015/01/27/aquaponics-world-keeps-changing-everything)	20
Figure 10 : Répartition géographique des aquaponiculteurs (monde et focus USA) (Love et al, 2014)	24
Figure 11 : L'aquaponie : un mode de production vertueux et écologique. (Collection Watier/Maxppp, 2017)	25
Figure 12 : L'aquaponie à petit échelle (Collection Watier/Maxppp, 2017)	26
Figure 13 et 14 : L'aquaponie industrielle (Collection Watier/Maxppp, 2017)	27
Figure 15 : Principaux avantages et inconvénients de l'aquaponie ; Foucard, 2015.....	31

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : Les poissons les plus utilise dans les systèmes aquaponique avec leur nom scientifique (RAKOCY et al., 2006).....11

Tableau 2 : Etude comparative des trois principales techniques aquaponiques (Foucard, 2015).....22

Tableau 3 : Le seuil critique des paramètres idéaux pour l'eau de l'aquaponie (SOMERVILLE et al.,2014).....23

LISTE DES ACRONYMES :

av. J.-C : Avant Jésus-Christ.

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

DWC : Deep Water Culture.

FAO : Food & Agriculture Organisation.

FCR : Feed conversion ratio.

IAA : Intégration Aquaculture Agriculture.

MFG : Media Filled Growbed.

NFT : Nutrient Film Substrat.

NH₃: Ammoniac.

NO₂⁻: Dioxyde d'azote.

NO₃⁻: Nitrate.

OD : Oxygène Dissous.

TVA : Taxe sur la valeur ajoutée.

Résumé :

L'aquaponie, est un mot inventé dans les années 1970, dont la paternité demeure floue. Ce système est un terme issu d'un mélange d'aquaculture (élevage des espèces aquacoles), et l'une des méthodes de l'agriculture non conventionnelle dite hydroponie (la culture des plantes hors sol) pour assurer une production simultanée de poissons et de végétaux. Le recyclage et la valorisation des rejets piscicoles par des cultures hors-sol, le principe de système elle permet de gérer à la fois une dépendance trop forte à la disponibilité en eau, le problème des rejets d'effluents piscicoles dans l'environnement par la nitrification tout en limitant la dépendance du hors-sol vis-à-vis des intrants chimiques. C'est une méthode importante et économique et peut être pratiquée dans tous les endroits sans exigence de sol pour les plantes ou les changements d'eau régulier comme la pisciculture habituel et aussi productive sur les deux plans,(végétale et animal).

Mots clés : Aquaponie, hydroponie, circuit fermé.

Abstract :

Aquaponics is a word invented in the 1970, whose fatherhood remains unclear. This system is a term derived from a mixture of aquaculture, and one of the methods of unconventional agriculture called hydroponics (growing plants Without soil) to ensure simultaneous production of fish and plants. Recycling and valorization of fish waste by crops above ground, the principle of system it makes it possible to manage at the same time a too strong dependence on the availability of water, the problem of the discharges of fish effluents in the environment by the nitrification while limiting the dependence of soil and chemical inputs. It is an important and economical method and can be practiced in any place without soil requirement for plants or regular water changes as the usual fish farm and also productive on both planes (vegetable and animal).

Key words: Aquaponics, hydroponics, closed circuit.

ملخص:

الأكوابوني هي كلمة استحدثت في سبعينيات القرن الماضي، ولا يزال نسبها غير واضح، هذا النظام هو مصطلح مشتق من تربية الأسماك (تربية الأحياء المائية من أنواع تربية الأحياء المائية)، وأيضاً واحدة من أساليب الزراعة غير التقليدية تسمى الزراعة المائية (زراعة النباتات خارج التربة) لضمان الإنتاج المتزامن للأسماك والنباتات. إعادة تدوير وتثمين نفايات الأسماك بواسطة المحاصيل خارج التربة هو مبدأ النظام الذي يجعل من الممكن في الوقت نفسه تلبية الحاجة الملحة لتوفر المياه ومشكلة تصريف النفايات السائلة في البيئة من قبل النتريجة مع الحد من الإعتدال على التربة والإضافات الكيميائية. إنها طريقة مهمة واقتصادية ويمكن ممارستها في أي مكان دون الحاجة إلى تربة للنباتات أو تغييرات الماء المنتظمة كمزرعة أسماك عادية ومنتجة أيضاً على الصعيدين (النباتي والحيواني).

الكلمات الرئيسية: أكوابوني، الزراعة المائية، دارة مغلقة.

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES ACRONYMES	vi
RESUME	vii
SOMMAIRE	ix
I. INTRODUCTION	01
II. GENERALITE	02
II.1. Quelques définitions	02
L'aquaculture	
Hydroponique	
Aquaponie	
II.2. Histoire de l'aquaponie.....	03
II.3. Les acteurs d'un système aquaponique.....	04
Les poissons.....	05
• Anatomie, physiologie et reproduction des poissons :	06
• Anatomie du poisson.....	06
• Respiration.....	06
• Excrétion.....	07
• Reproduction du poisson et cycle de vie.....	07
• Aliment pour poisson et nutrition	08
- Composants et nutrition des aliments pour poissons.....	08
- Taux de conversion des aliments pour les poissons et le taux d'alimentation.....	09
• Densité des poissons dans le bassin	10
Les plantes.....	12
Les bactéries nitrificatrices.....	12
II.4. Différentes techniques de culture hors sol en aquaponie.....	13
II.4.1. La technique des rafts (DWC : Deep Water Culture)	13
II.4.2. La technique de culture sur film nutritif (NFT : Nutrient Film Substrat)..	16

II.4.3. La technique de culture sur lit de substrats inertes (MFG : Media Filled Growbed)	18
II.4.4. Comparaison entre les trois principales techniques aquaponiques	21
II.5. Les paramètres idéaux de l'eau d'un système aquaponique	23
III. LE DEVELOPPEMENT DE L'AQUAPONIE DANS LE MONDE.....	23
III.1. Répartition géographique des aquaponiculteurs.....	23
III.2. Les différentes formes du système aquaponique.....	25
• L'aquaponie domestique	25
• L'aquaponie commerciale à petite échelle	25
• L'aquaponie industrielle	26
III.3. Avantages et inconvénients de l'aquaponie	28
IV. Conclusion et recommandatio.....	32
V. BIBLIOGRAPHIE.....	33

I. Introduction

L'aquaculture intensive repose généralement sur une approche de monoculture. Elle est dépendante de la qualité et de la quantité d'eau disponible, et utilise des quantités importantes d'aliments composés qui génèrent en conséquence des rejets, sous la forme de matières organiques solides (fèces et aliments non consommés) et d'éléments inorganiques dissous (nitrates et phosphates principalement). En trop grandes quantités et sans gestion ou filtration adéquate, ces rejets pourraient engendrer des pollutions pour l'élevage lui-même, conduire à des développements d'algues (micro ou macro) et à une eutrophisation du milieu (Foucard et al, 2019).

En parallèle, les modèles de production végétale hors-sol sous serres sont aujourd'hui à un stade avancé de maîtrise technique et agronomique et peuvent contribuer à de nouvelles pratiques et innovations qui s'inscrivent dans un mouvement plus large d'ajustement ou de réorientation face aux défis alimentaires, écologiques et climatiques de notre siècle. Cependant, même si l'hydroponie permet un contrôle total de l'utilisation d'engrais par rapport à la culture conventionnelle (recyclage des solutions fertilisantes, absence de rejets dans les cours d'eau), elle reste fortement dépendante de la production de sels minéraux de synthèse ou d'origine minière, dont l'impact environnemental pour leur production ou extraction est une difficulté, tandis que certaines ressources telles que les phosphates ne sont pas illimitées (Chakravarty et al., 2017).

La solution à ce phénomène passe par le recyclage et la valorisation des rejets piscicoles par des cultures hors-sol, c'est l'aquaponie. Cette dernière, permet de gérer à la fois une dépendance trop forte à la disponibilité en eau, le problème des rejets d'effluents piscicoles dans l'environnement tout en limitant la dépendance du hors-sol vis-à-vis des intrants chimiques. L'aquaponie constitue un exemple de système dit « d'aquaculture intégrée multitrophique » (AIMT) et résulte d'une logique de recyclage des rejets. Elle fait partie intégrante de la nécessaire diversité des agricultures de demain, orientées autant que faire se peut vers la durabilité et la complémentarité entre systèmes agricoles. L'aquaponie a également l'avantage d'être une technique très attractive pour le grand public, et de nombreux porteurs de projets tendent à vouloir développer des activités en lien avec cette pratique novatrice, souvent en milieu urbain ou péri-urbain (Foucard et al, 2015).

II. Généralités sur l'aquaponie

II.1. Quelques définitions

- **L'aquaculture**

L'aquaculture consiste dans la culture d'organismes aquatiques, y compris poissons, mollusques, crustacés et plantes aquatiques. Le terme « culture » implique une quelconque forme d'intervention dans le processus d'élevage en vue d'améliorer la production, telle que l'empoissonnement à intervalle régulier, l'alimentation, la protection contre les prédateurs, etc. La culture implique également la propriété individuelle ou juridique du stock en élevage. Du point de vue des statistiques, les organismes aquatiques récoltés par un individu ou une personne juridique les ayant eu en propriété tout au long de leur période d'élevage sont donc des produits de l'aquaculture. Par contre, les organismes aquatiques exploitables publiquement en tant que ressource de propriété commune, avec ou sans licences appropriées, sont à considérer comme des produits de la pêche (FAO, 1998).

- **Hydroponie**

La culture hydroponique est une technique de production hors-sol, cela signifie que les racines des plantes cultivées ne plongent pas dans leur environnement naturel (le sol), mais dans un liquide nutritif. L'origine du mot « hydroponie » vient du grec « hydro », l'eau et de « ponos », le travail. Cette technique apparaît donc comme « le travail des racines dans l'eau ». Concrètement, l'alimentation minérale de la plante est assurée par une solution nutritive administrée aux racines, fournissant les éléments essentiels pour la croissance de toute plante : de l'eau et de l'oxygène dissous. Tous les éléments minéraux sont contenus dans l'eau et les engrais (sels).

Les substrats utilisés en hydroponie n'ont aucun rôle dans la nutrition des plantes (puisque'ils sont en théorie inerte). Ils ne jouent qu'un rôle de support de culture, de point d'ancrage à une plante. Dans certaines techniques de culture le substrat est totalement absent. (cf. aéroponie, techniques définies plus loin) (Gilberto, 2013).

- **Aquaponie**

L'aquaponie est une technique de culture sur milieu aquatique. Elle associe l'élevage de poissons et la culture de végétaux comestibles dans un système presque clos. L'idée ? Tenter de créer un écosystème* autonome. C'est une méthode vertueuse et productive qui permet d'élever des poissons ainsi que des végétaux tout en utilisant peu d'eau et une surface de culture limitée sol.

Dans l'aquaponie, l'eau a un double objectif : elle abrite les poissons et permet de cultiver des végétaux, générant ainsi deux produits à la fois. Là n'est pas le seul avantage ; les déchets créés par les poissons fertilisent l'eau utilisée pour irriguer les plantes, et les plantes purifient l'eau dans laquelle évoluent les poissons. Il s'agit donc d'une situation gagnant-gagnant. Produire plus de nourriture avec moins de ressources : cet objectif s'inscrit déjà dans le futur de l'agriculture (FAO, 2017).

L'aquaponie est devenue la tendance. L'aquaponie, la combinaison de l'aquaculture, la pratique de l'élevage de poissons, et l'hydroponie, la culture de végétaux dans l'eau sans sol, est un autre exemple de système de recirculation généralement appelé Intégration Aquaculture Agriculture (IAA). Certaines fermes intégrées peuvent réduire la consommation d'eau de 90 pour cent par rapport à l'agriculture traditionnelle. Cela constitue de très bonnes nouvelles pour le secteur de l'agriculture, qui à l'échelle de la planète, utilise environ 70 pour cent des réserves d'eau douce disponibles (FAO, 2017).

II.2. Histoire de l'aquaponie

L'aquaponie est un mot inventé dans les années 1970, dont la paternité demeure floue. En effet, le Dr James Rakocy de l'université des Iles Vierges est le premier à construire un système aquaponique à grande échelle et à compiler des informations scientifiques détaillées sur le sujet pour sa thèse universitaire. A la même époque, en 1969, est fondé le New Alchemy Institute dans le Massachussets (spécialisé dans l'agriculture et l'aquaculture) par John et Nancy Todd et William McLarney. Ces derniers sont à l'origine d'un « bioshelter », un abri fonctionnant à l'énergie solaire et destiné à produire de la nourriture pour une famille de quatre personnes pendant un an, entre autres à l'aide de l'aquaponie. Dans les décennies qui suivent, les techniques aquaponiques se développent et se perfectionnent en passant entre les mains de nombreux chercheurs et ingénieurs de toutes nationalités. Si certains en font un simple loisir installé dans leur jardin, d'autres préfèrent y voir une pratique agricole rentable apte à être commercialisée.

Si le terme « aquaponie » est inventé au XXe siècle, les techniques dont elle s'inspire sont bien plus anciennes. L'ancêtre de l'aquaponie est souvent reconnu dans les « chinampas » des Aztèques, développés à grande échelle au XVe siècle sur le lac Texcoco. A l'aide de boues raclées au fond du lac et de saules, les Aztèques ont construit des îlots artificiels cultivables, pour nourrir l'énorme population de Tenochtitlan, l'ancienne ville de Mexico.

Des exemples encore plus anciens ont été retrouvés en Asie. En effet, plusieurs siècles auparavant, les fermiers chinois mettent déjà en place la polyculture du riz et de la carpe, encore

utilisée aujourd'hui. Par ailleurs, avec un peu d'imagination, des chercheurs ont même reconnu les jardins suspendus de Babylone du VI^e av. J.-C. comme une des premières manifestations de l'aquaponie... Mais sans source archéologique, impossible de confirmer l'hypothèse.

Depuis les années 2000, l'aquaponie est de plus en plus mise en avant pour répondre à des problématiques écologiques et humanitaires, notamment dans les pays en voie de développement. Par ailleurs, elle acquiert aussi une dimension artistique, dans la logique du rapprochement entre les sciences les arts. Des artistes contemporains de toutes nationalités et spécialités ont ainsi fait de l'aquaponie une œuvre artistique à part entière et proposent aux spectateurs de réfléchir sur leur rapport à la nature (Agence creative, 2017).

II.3. Les acteurs d'un système aquaponique :

L'aquaponie est un terme issu d'un mélange d'aquaculture (élevage des espèces aquacoles), et l'une des méthodes de l'agriculture non conventionnelle dite hydroponie (la culture des plantes hors sol) pour assurer une production simultanée de poissons et de végétaux (Rizal **et al.**, 2018).

En pratique, il s'agit d'une méthode durable de la production de nourriture ou l'élevage de poisson rencontre la culture de végétaux dans un système symbiotique où les besoins de l'un sont fournis par l'autre et inversement (Goddek **et al.**, 2015).

Le système consiste à créer un écosystème miniature autonome qui repose sur la relation symbiotique entre ses trois éléments constitutifs fondamentaux à savoir : les poissons, les plantes et les bactéries (Baileya **et al.**, 2017).

En aquaculture traditionnelle, au fur et à mesure que les excréments des poissons s'accumulent dans l'eau, la pollution du biotope va augmenter, augmentant avec elle la concentration en ammoniac et alors la toxicité du milieu d'élevage. Dans un système aquaponique, les effluents issus de l'aquaculture sont acheminés jusqu'aux bacs dans lesquels sont cultivées les plantes passant par un filtre biologique contenant des bactéries fixatrices d'azote, transformant ainsi les excréments des poissons riches en ammoniac en nitrites, puis en nitrates assimilables par les végétaux qui se nourrissent des nutriments contenus dans l'eau. L'eau est donc purifiée et se charge d'oxygène en circulant. Elle regagne le bassin d'élevage (Al-Hafedh **et al.**, 2008 ; Love **et al.**, 2014)

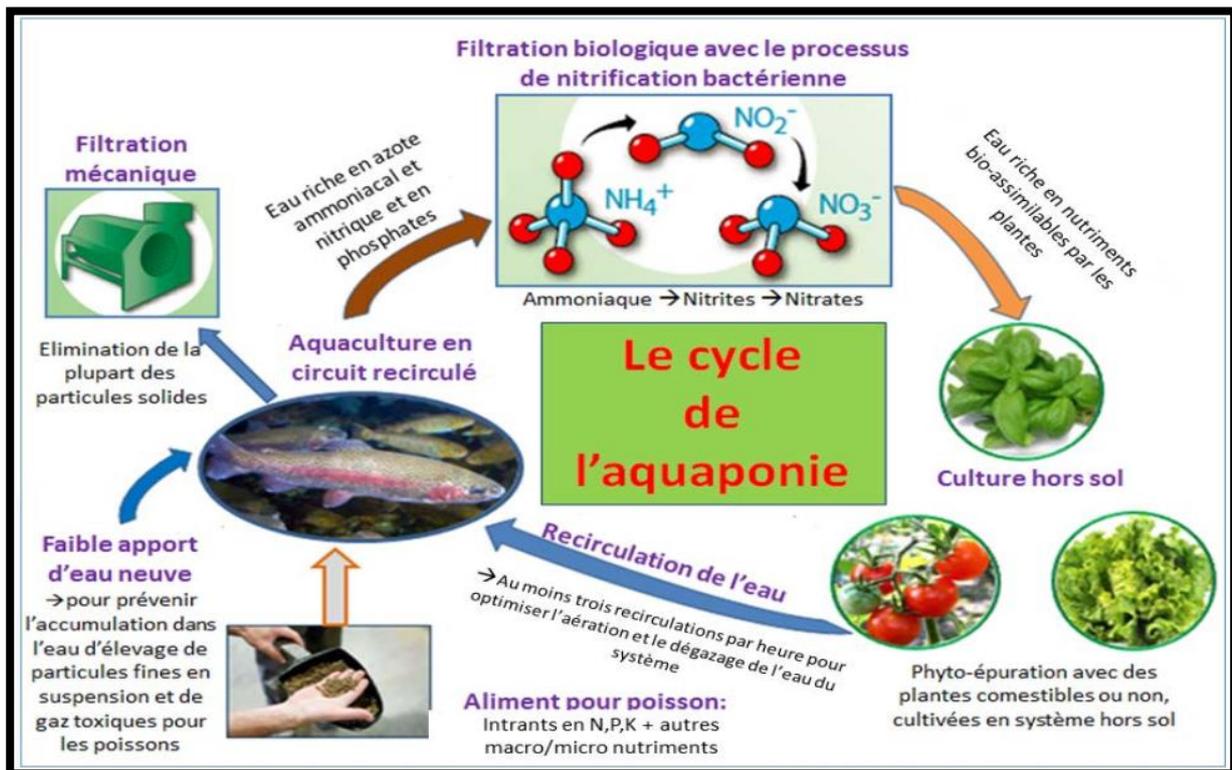


Figure 1: Principe du fonctionnement d'un système aquaponique

(<https://www.researchgate.net/publication/322716308>)

- **Les poissons**

Les poissons sont le moteur des systèmes aquaponiques, ils fournissent des nutriments pour les plantes et également une source de protéines pour l'homme si les poissons élevés sont comestibles (JIJAKLI, 2014).

D'après Grégory Biton (2017), il est important d'adapter les espèces à la température moyenne du système. Il existe de nombreux poissons qui peuvent être utilisées dans un système aquaponique, selon les zones climatiques, car il est important de les choisir conformément à notre climat (BITON, 2017).

➤ Anatomie, physiologie et reproduction des poissons :

• Anatomie du poisson

Les poissons sont un groupe divers d'animaux vertébrés qui ont des branchies et vivent dans l'eau. Un poisson typique utilise des branchies pour obtenir de l'oxygène de l'eau tout en libérant le dioxyde de carbone et déchets métaboliques. Le poisson typique est ectothermique ou à sang froid, ce qui signifie que la température de son corps fluctue en fonction de la température de l'eau. Les poissons ont presque les mêmes organes que les animaux terrestres, Cependant, ils possèdent également une vessie natatoire. Placé dans l'abdomen, il s'agit d'une vésicule contenant de l'air qui permet à l'animal de rester neutre dans l'eau. La plupart des poissons utilisent des nageoires pour se déplacer et ont un corps profilé pour naviguer dans l'eau. Souvent, leur peau est recouverte d'écaillés protectrices. La plupart des poissons pondent des œufs. Les poissons ont des organes sensoriels bien développés permettant de voir, goûter, entendre, sentir et toucher. La plupart des poissons ont des lignes latérales qui détectent les différences de pression dans l'eau. Certains groupes peuvent même détecter des champs électriques, tels que ceux créés par les battements de cœur des proies. Cependant, leur système nerveux central n'est pas aussi développé que chez les oiseaux ou les mammifères (FAO, 2017).

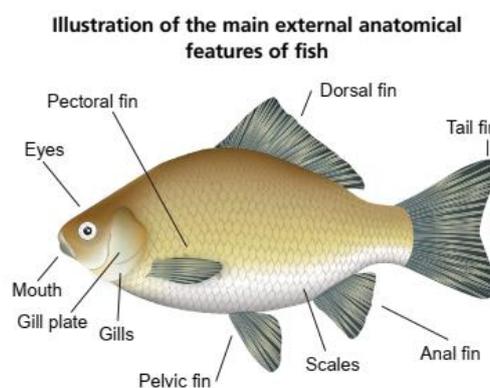


Figure 2 : illustration de l'anatomie externe du poisson (FAO, 2017).

• Respiration

Les poissons respirent l'oxygène en utilisant leurs ouïes, situées de chaque côté de la tête. Les branchies sont constituées de structures appelées filaments. Chaque filament contient un réseau de vaisseaux sanguins qui fournit une grande surface pour l'échange d'oxygène et de dioxyde de carbone. Les poissons échangent des gaz en faisant passer de l'eau riche en oxygène par la bouche et en la pompant par les branchies, ce qui libère du dioxyde de carbone en même temps. Dans leur habitat naturel, l'oxygène est fourni soit par des plantes aquatiques qui produisent de l'oxygène par la photosynthèse, soit par des mouvements de l'eau tels que les vagues et le vent qui dissolvent l'oxygène atmosphérique dans l'eau. Sans une quantité suffisante d'OD, la plupart des poissons meurent et étouffent. C'est pourquoi une aération adéquate est essentielle au succès de l'aquaculture. Cependant, certains poissons sont équipés d'un organe de respiration, semblable aux poumons, qui leur permet de respirer hors de l'eau. Le poisson-chat Clariidae fait partie de ces groupes de poissons importants en aquaculture (FAO, 2017).

- **Excrétion**

Les déchets d'azote sont créés lorsque les poissons digèrent et métabolisent leurs aliments. Ces déchets proviennent de la décomposition des protéines et de la réutilisation des acides aminés obtenus. Ces déchets azotés sont toxiques pour le corps et doivent être excrétés. Le poisson libère ces déchets de trois manières. Premièrement, l'ammoniac se diffuse dans l'eau des branchies. Si le niveau d'ammoniac sont élevés dans l'eau environnante, l'ammoniac ne diffuse pas aussi facilement, ce qui peut entraîner une accumulation d'ammoniac dans le sang et des lésions aux organes internes. Deuxièmement, les poissons produisent de grandes quantités d'urine très diluée qui est expulsée par leurs orifices de ventilation. Une certaine quantité d'azote (protéines, acides aminés, ammoniac) est également présente dans les déchets solides qui sont expulsés par l'évent. Les poissons utilisent les reins pour filtrer leur sang et concentrer les déchets à éliminer. L'excrétion de l'urine est un processus de régulation osmotique qui aide les poissons à conserver leur teneur en sel. Les poissons d'eau douce n'ont pas besoin de boire et doivent en fait chasser activement l'eau pour maintenir leur équilibre physiologique (FAO, 2017).

- **Reproduction du poisson et cycle de vie**

Presque tous les poissons pondent des œufs qui se développent à l'extérieur du corps de la mère; en effet, 97% de tous les poissons connus sont ovipares. La fertilisation des œufs par le sperme, appelée laitance dans la biologie des poissons, a également lieu à l'extérieur dans la plupart des cas. Les poissons mâles et femelles libèrent leurs cellules sexuelles dans l'eau. Certaines espèces maintiennent des nids et fournissent des soins parentaux et la protection des œufs, mais la plupart des espèces n'assistent pas aux œufs fécondés qui se dispersent simplement dans la colonne d'eau. Les tilapias sont un exemple de poisson qui prend beaucoup de soin de ses parents, prend le temps de garder ses nids et couve les jeunes alevins dans la bouche des femelles. Les organes reproducteurs des poissons comprennent les testicules, qui fabriquent le sperme, et les ovaires, qui fabriquent les œufs. Certains poissons sont hermaphrodites et ont à la fois des testicules et des ovaires, soit simultanément, soit à différentes phases de leur cycle de vie. un poisson moyen passe par les étapes de la vie: œuf, larve, alevins, fingerling, grossissement (poisson adulte) et maturité sexuelle. La durée de chacune de ces étapes dépend de l'espèce. Le stade de l'œuf est souvent assez bref et dépend généralement de la température de l'eau. Au cours de cette étape, les œufs sont délicat et sensible aux dommages physiques. Dans les conditions de culture, l'eau doit avoir un apport suffisant en OD, mais l'aération doit être douce. Les procédures stériles et les bonnes pratiques en éclosion préviennent les maladies bactériennes et fongiques des œufs non éclos. Une

fois éclos, les jeunes poissons s'appellent des larves. Ces petits poissons sont généralement mal formés, portent un grand sac vitellin, et sont souvent très différents en apparence des poissons juvéniles et adultes. Le sac vitellin est utilisé pour la nourriture et il est absorbé tout au long du stade larvaire, qui est également assez court en fonction de la température. À la fin du stade larvaire, lorsque le sac vitellin est absorbé et que les jeunes poissons commencent à nager plus activement et passent au stade de friture (FAO, 2017).

Au stade des alevins et des fingerling, les poissons commencent à manger des aliments solides. Dans la nature, cet aliment est généralement du plancton présent dans la colonne d'eau et des algues provenant du substrat. Au cours de ces étapes, les poissons mangent beaucoup et mangent environ 10% de leur poids corporel par jour. Au fur et à mesure que le poisson grandit, le pourcentage en poids de nourriture par jour diminue. Les démarcations exactes entre les alevins, les fingerlings et les poissons adultes diffèrent entre les espèces et entre les agriculteurs. En règle générale, les alevins, les alevins et les poissons juvéniles doivent être séparés pour éviter que les gros poissons mangent les plus petits. La phase de grossissement est la phase sur laquelle se concentre généralement l'aquaponique est celle où le poisson mange, grandit et élimine les déchets pour les plantes. La plupart des poissons sont récoltés pendant la phase de grossissement. Si les poissons sont autorisés à dépasser ce stade, ils commencent à atteindre la maturité sexuelle, où leur croissance physique ralentit cependant que le poisson consacre plus d'énergie au développement des organes sexuels. Certains poissons matures doivent être conservés pour compléter le cycle au cours des opérations de reproduction, et ces poissons sont souvent appelés géniteurs. Les tilapias sont des reproducteurs exceptionnellement faciles à cultiver et peuvent en réalité en produire trop pour un système à petite échelle. Le poisson-chat, la carpe et la truite nécessitent une gestion plus minutieuse, et il peut être préférable de s'approvisionner en poisson auprès d'un fournisseur de bonne réputation (FAO, 2017).

➤ **Aliment pour poisson et nutrition :**

- **Composants et nutrition des aliments pour poissons**

Les poissons ont besoin d'un équilibre en protéines, glucides, lipides, vitamines et minéraux pour se développer et rester en bonne santé. Ce type d'alimentation est considéré comme un aliment entier. Les granulés d'aliments pour poissons disponibles dans le commerce sont fortement recommandés pour l'aquaponie à petite échelle, en particulier au début. Il est possible de créer des aliments pour poissons dans des endroits où l'accès aux aliments fabriqués est limité. Cependant, ces aliments faits maison nécessitent une attention particulière, car ils ne sont souvent pas des

aliments complets et peuvent manquer de composants nutritionnels essentiels. Les protéines constituent l'élément le plus important pour la formation de la masse de poisson. Au stade de la croissance, les poissons omnivores tels que le tilapia et la carpe commune ont besoin de 25 à 35% de protéines dans leur alimentation, tandis que les poissons carnivores ont besoin de 45% de protéines pour se développer à des niveaux optimaux. En général, les poissons plus jeunes (alevins et fingerlings) ont besoin d'une alimentation plus riche en protéines qu'au stade de la maturation. Les protéines sont la base de la structure et des enzymes de tous les organismes vivants. Les protéines consistent en acides aminés, dont certains sont synthétisés par le corps des poissons, mais d'autres doivent être obtenus à partir des aliments. Ceux-ci sont appelés acides aminés essentiels. Parmi les dix acides aminés essentiels, la méthionine et la lysine sont souvent des facteurs limitants qu'il est nécessaire de compléter dans certains aliments à base de légumes (FAO, 2017).

Les lipides sont des graisses, molécules hautement énergétiques nécessaires au régime alimentaire des poissons. L'huile de poisson est un composant commun des aliments pour poissons. L'huile de poisson est riche en deux types spéciaux de graisses, les acides gras oméga-3 et oméga-6, qui ont des effets bénéfiques sur la santé des humains. La quantité de ces lipides sains dans les poissons d'élevage dépend de l'alimentation utilisée. Les glucides sont composés d'amidons et de sucres. Cette composante de l'aliment est un ingrédient peu coûteux qui augmente la valeur énergétique de l'aliment. L'amidon et les sucres aident également à lier les aliments pour former un granulé. Cependant, les poissons ne digèrent pas et ne métabolisent pas très bien les glucides et une grande partie de cette énergie peut être perdue. Les vitamines et les minéraux sont nécessaires à la santé et à la croissance des poissons. Les vitamines sont des molécules organiques, synthétisées par les plantes ou par la fabrication, qui jouent un rôle important dans le développement et le fonctionnement du système immunitaire. Les minéraux sont des éléments inorganiques. Celles-ci les minéraux sont nécessaires pour que les poissons synthétisent leurs propres composants corporels (os), vitamines et structures cellulaires. Certains minéraux sont également impliqués dans la régulation osmotique (FAO, 2017).

- **Taux de conversion des aliments pour les poissons et le taux d'alimentation**

Le FCR décrit l'efficacité avec laquelle un animal transforme sa nourriture en croissance. Il répond à la question de savoir combien d'unités d'aliment sont nécessaires pour élever une unité d'animal - les FCR existent pour chaque animal et constituent un moyen pratique de mesurer l'efficacité et les coûts de son élevage. Les poissons, en général, ont l'un des meilleurs FCR de tous les animaux d'élevage. Dans des bonnes conditions, les tilapias ont un FCR de 1,4 à 1,8, ce qui

signifie que pour faire pousser un tilapia de 1,0 kg, il faut 1,4 à 1,8 kg de nourriture. Le suivi de la FCR n'est pas essentiel en aquaponique à petite échelle, mais il peut être utile de le faire dans certaines circonstances. Lorsque vous changez d'aliment, il est utile de déterminer dans quelle mesure le poisson grandit en ce qui concerne les différences de coût entre les aliments. De plus, lorsque vous envisagez de démarrer un petit système commercial, il est nécessaire de calculer le FCR dans le cadre du plan d'entreprise et / ou de l'analyse financière. Même si le FCR ne vous préoccupe pas, il est judicieux de peser périodiquement un échantillon de poisson pour s'assurer de sa bonne croissance et pour comprendre l'équilibre du système. Cela fournit également des prévisions plus précises du taux de croissance pour le calendrier de récolte et la production. Comme pour toute manipulation de poisson, la pesée est plus facile dans l'obscurité pour ne pas stresser le poisson. L'encadré 3 répertorie les étapes simples à suivre pour peser le poisson. Il est généralement préférable de peser des poissons du même âge qui grandissent dans le même réservoir que des cohortes hétérogènes de poissons, car la mesure devrait fournir des moyennes plus fiables (FAO, 2017).

➤ **Densité des poissons dans le bassin**

La règle générale généralement admise pour un système aquaponique basé sur les médias domestique est 500 g de poisson pour 20 à 40 litres d'eau. À titre de comparaison, une installation d'aquaculture en circuit fermé faisant l'objet d'une filtration par filtration mécanique et contrôlée par un professionnel stockera jusqu'à 500g de poisson par six litres d'eau. Alors qu'est-ce qui fait la différence?

Les installations commerciales sont surveillées en permanence par des professionnels utilisant des équipements informatiques, avec des niveaux d'oxygène intenses et une consommation d'énergie et d'eau énorme. Les déchets solides sont filtrés et retirés du système. Ils « classent » également le poisson en déplaçant les « poissons tyranniques » (plus gros que la moyenne) dans des réservoirs avec d'autres poissons de taille similaire et éliminent les « runts » pour s'assurer que chaque réservoir contient la même taille de poisson pour une production efficace. Dans le jardinage aquaponique à la maison, nous préférons une gamme de taux de croissance afin de pouvoir pêcher le poisson fréquemment sur une longue période. Comme il n'est pas particulièrement pratique pour les jardiniers aquaponiques.

En ce qui concerne les densités d'empoisonnement en 500g de poisson, une règle auxiliaire a été mise au point au fil du temps. Il dit que vous pouvez penser à stocker votre réservoir en termes de nombre de poissons. De manière pratique, la règle est d'environ un poisson pour 20 litres d'eau.

Cela fonctionne parce que lorsque vous démarrez votre jardin pour la première fois, le biofiltre qui découle du développement des bactéries nitrifiantes dans votre lit de culture est immature et ne peut traiter qu'une fraction des déchets qu'il pourra traiter s'il est complètement mûr. Par exemple, si vous démarrez un système de 400 litre récemment cyclé avec 20 fingerlings de poisson, le biofiltre pour poissons et bactéries se développera ensemble. Avec seulement les fingerlings, vous n'aurez pas beaucoup d'ammoniac à convertir en nitrates. Mais dans neuf mois à un an, lorsque vos poissons atteindront probablement la maturité, votre biofiltre sera également mature et capable de convertir efficacement la charge en ammoniac et en déchets solides plus élevée des poissons pesant 500 g ou même plus (Sylvia Bernstein, 2011).

Le tableau ci-dessous liste les poissons utilisables dans l'aquaponie sur la base des expériences précédente (RAKOCY *et al.*, 2006)

Tableau 1 : Les poissons les plus utilise dans les systèmes aquaponique avec leur nom scientifique (RAKOCY *et al.*, 2006)

Poisson	Nom scientifique
Le tilapia	<i>Oreochromis niloticus</i> ou <i>Oreochromis mossambicus</i>
Truite arc-en-ciel	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
La perche soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>
la carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>
La carpe Koï	<i>Cyprinus carpio carpio</i>
Le black-bass	<i>Micropterus salmoides</i>
La brème (mulet)	<i>Abramis brama</i>
Le poisson-chat	<i>Clarias gariepinus</i>
Le barramundi	<i>Lates calcarifer</i>
La perchaude	<i>Perca flavescens</i>

- **Les plantes**

De nombreux types de plantes peuvent être cultivés dans un système aquaponique tel que les salades, choux, bettes, pak choi, cresson, haricots, fèves, tomates, poivrons, melons, concombres, fraises... (GOODMAN, 2011).

Les plantes se nourrissent des déjections de poissons comme une source d'azote, elles vont assurer leur croissance et ainsi purifier l'eau pour les poissons (CHAKRAVARTTY et al., 2017).

- **Les bactéries nitrificatrices**

Les bactéries sont un élément clé dans un système aquaponique. Elles assurent le rôle essentiel de transformer successivement l'ammoniaque (NH_3) en nitrites (NO_2^-) puis en nitrates (NO_3^-) (BITON, 2017).

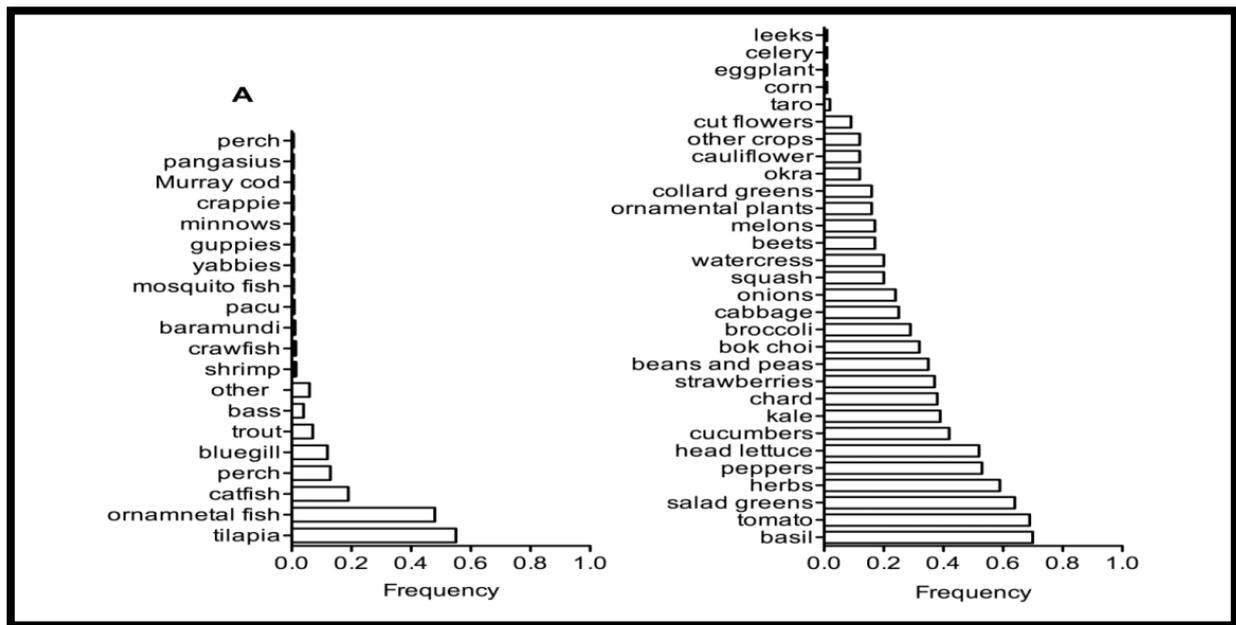


Figure 3: les différents poissons A et plantes B utilisés en aquaponie (Love et al., 2014).

II.4. Différentes techniques de culture hors sol en aquaponie

Selon Morard (1995) les cultures hors sol se définissent comme « des cultures de végétaux effectuant leur cycle complet de production sans que leur système racinaire ait été en contact avec leur environnement naturel, le sol ». Les systèmes hors-sol n'offrent en général que des volumes réduits au développement des racines. Ils ne se prêtent pas à la culture de gros sujets ayant des systèmes racinaires importants (Irubetagoyena et al, 2013).

Principalement trois techniques sont décrites en couplage avec une activité aquacole dans les systèmes aquaponiques existants à travers le monde : la technique de culture sur « rafts », la technique NFT horizontale ou verticale (Nutrient Film Technique), et la technique de culture sur lit de substrats inertes (Media Filled Beds). Les éléments communs à tous ces systèmes de culture sont le réservoir de poissons et le lit de plantes hors-sol alors que les variables comprennent des composants de filtration et de plomberie, le type de lit de la plante et la quantité et la fréquence de recirculation de l'eau et l'aération (Connoly et Trebic, 2010 ; Nelson & Pade Inc).

II.4.1. La technique des rafts (DWC : Deep Water Culture)

C'est la technique la plus utilisée en aquaponie à grande échelle, car elle permet une rotation de culture et un plan de production facilités. Les plantes y sont cultivées sur des rafts, qui sont des plaques flottantes (la plupart du temps en polystyrène haute densité, de type extrudé, avec une épaisseur de 30 à 50 mm) directement posées sur l'eau (15 à 30 cm de profondeur). Les végétaux produits sont supportés par un substrat inerte dans des pots de culture fixés à travers les rafts troués au préalable.

Cette technique fonctionne en flux continu, et les racines des plants sont en permanence irriguées dans une eau bien oxygénée. Une fois développées, les racines des plantes « trempent » littéralement dans l'eau. Contrairement à certaines idées reçues, il ne faut surtout pas intégrer les poissons directement dans l'eau située sous les rafts. Les poissons rejettent en effet de l'ammoniaque NH_4^+ , une forme azotée toxique, pour eux et pour les plantes en trop forte proportion : les deux compartiments doivent donc bien être séparés, et l'eau qui retourne des plantes aux poissons doit passer par des structures de filtration mécanique et biologique, afin d'éliminer le maximum de particules solides et les formes dissoutes toxiques de l'azote (Connoly et Trebic, 2010).

La surface sous les rafts et l'espace entre les racines des plantes constituent des habitats potentiels pour des bactéries nitrifiantes, mais ils ne sont en aucun cas suffisants, et un compartiment de filtration biologique précisément dimensionné est nécessaire.

Cette technique présente certains avantages

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

Cette technique présente certains inconvénients

- Mise au point du système assez long
- Espèces de plantes cultivables limitées
- Nécessité d'ajouter des filtres (mécanique et biologique)
- Consommations potentiellement d'avantage d'eau qu'en technique NFT et médias
- Besoins de tester des matériaux plus écologiques que le styrodur

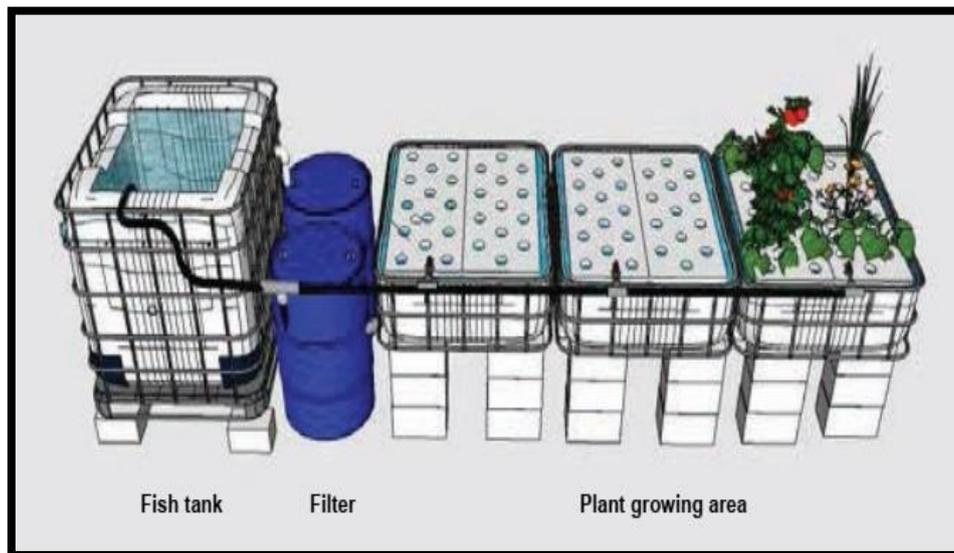


Figure 4 : Représentation d’une unité aquaponique constituée de culture sur raft et de Deux filtres (mécanique et biologique) (FAO, 2017)



Figure 5 : Technique « Rafts » (Nelson & Pade 2017)

II.4.2. La technique de culture sur film nutritif (NFT : Nutrient Film Substrat)

Dans les systèmes de culture hors sol de type NFT, l'eau riche en nutriments est pompée dans de petites rigoles fermées. L'eau s'écoule en flux permanent dans le système, d'abord à travers des composants de filtration, puis sur des gouttières très légèrement inclinées sur lesquelles les plantes (en pots, dans du substrat inerte) captent les nutriments indispensables à leur croissance, avant de retourner dans le compartiment aquacole. Le film d'eau très fin s'écoule ainsi vers le bas de chaque canal des gouttières, inclinées d'une pente d'environ 1%. Un débit de 1 L/min est recommandé (Jones, 2005). L'oxygénation de la solution nutritive s'effectue en grande partie par son déplacement dans les gouttières et par la grande surface d'échange entre l'eau et l'air (Lennard, 2010).

Les défauts majeurs du NFT sont dans le risque d'appauvrissement de la solution nutritive en fin de circuit, et le risque de colmatage des circuits hydrauliques fins.

Les principaux avantages

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

Les principaux inconvénients

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

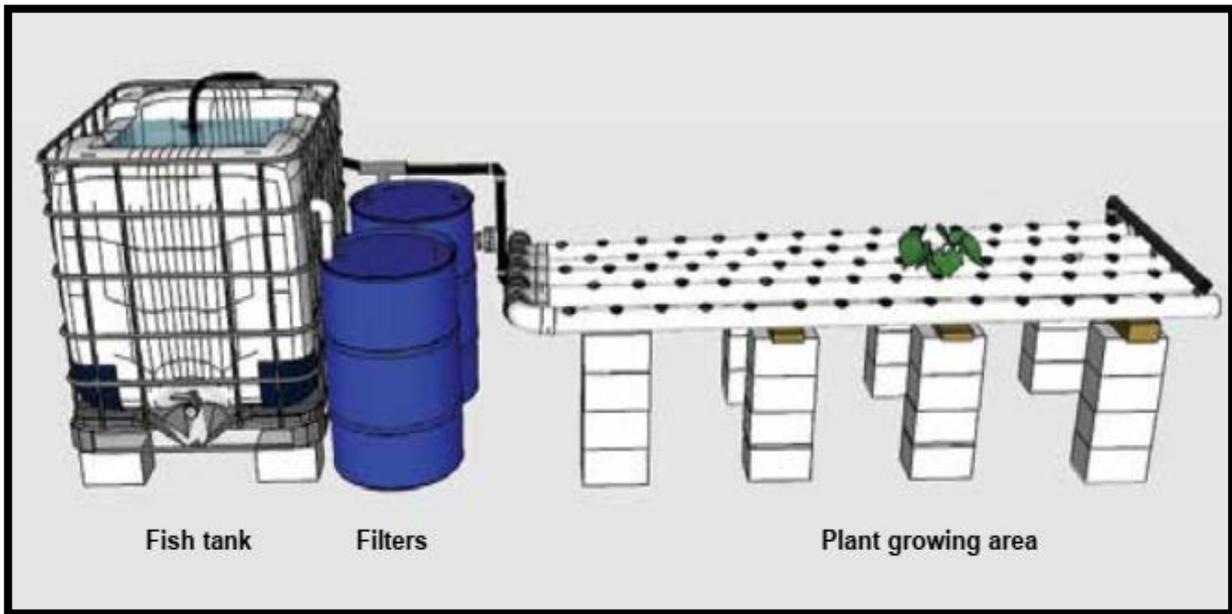


Figure 6: Représentation d’une unité aquaponique constituée de cultures sur film nutritif (FAO, 2017)



Figure 7 : Technique « NFT » (Nelson & Pade, 2017)

II.4.3. La technique de culture sur lit de substrats inertes (MFG : Media Filled Growbed)

Cette technique est le plus souvent utilisée dans le cadre d'une aquaponie de loisir, à petite échelle, et où la maximisation de l'espace de production n'est pas un objectif (Connoly et Trebic, 2010 ; Nelson & Pade, 2017).

Elle permet la culture d'une large gamme de végétaux et nécessite simplement un conteneur rempli d'un substrat neutre et inerte de type gravier / billes d'argiles etc. pour le compartiment végétal, qui sert à la fois de milieu de culture et de support pour les plantes. Ces médias sont irrigués régulièrement d'une solution nutritive qui apporte les sels minéraux indispensables à la croissance des plantes directement aux racines et ce en continu ou en discontinu.

Ce système peut en effet être utilisé de deux manières différentes : avec un débit circulant continu de l'eau comme en raft ou NFT, ou par des inondations et drainages successifs du support de culture aussi appelé « ebb & flow », technique pour laquelle un siphon automatique ou « siphon cloche » est souvent utilisé pour le drainage de l'eau. Les déchets organiques dissous et solides en provenance de l'élevage piscicole sont en général directement décomposés au sein de ce substrat.

Le défaut majeur de cette technique réside dans le risque d'accumulation d'éléments (surtout phosphore et calcium) dans les médias de culture, nuisant considérablement à la nutrition des plantes. Pour éliminer ces accumulations de sels, un lessivage complet du lit d'enracinement et du milieu de croissance est souvent nécessaire sur une base régulière (Jones, 2005 ; Morgan, 2003).

Les principaux avantages

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

Les principaux inconvénients

- Irrigation et oxygénation homogène
- Les plantes situées en bout de circuit peuvent avoir des carences en oxygène et en nutriments

- Accumulation importantes de composés solides
- Risques de formation de zones anaérobies
- Nécessites d'entretenir /changer régulièrement les médias de culture notamment à cause de l'accumulation de calcium et phosphore sur les médias
- Surcoût lié au transport des médias (gros volumes, poids important)

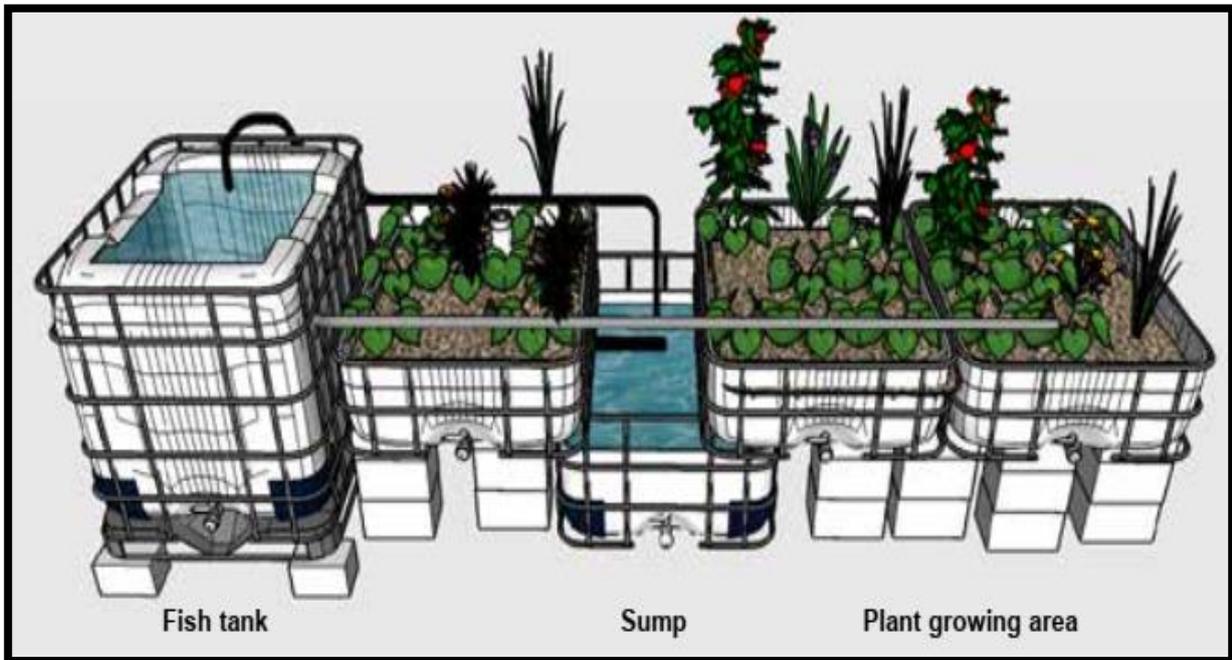


Figure 8: Représentation d'une unité aquaponique constituée d'un lit de culture à substrat inertes
(FAO, 2017)



Figure 9: Technique « sur lit de médias »

(<https://aquaponicsusa.wordpress.com/2015/01/27/aquaponics-world-keeps-changing-everything>)

II.4.4. Comparaison entre les trois principales techniques aquaponiques :

- ✚ Lennard (2006) a réalisé une étude visant à réellement comparer l'efficacité de ces trois systèmes. Ses conclusions sont les suivantes : l'efficacité en termes de rendement en culture végétale est supérieure pour la méthode sur gravier ; vient ensuite la technique sur rafts et en dernière position la technique NFT. En ce qui concerne le rendement épuratoire, la technique NFT serait d'après cette étude sensiblement moins efficace que les deux autres. Cependant, cette étude a été réalisée sur 21 jours, ce qui semble insuffisant pour mesurer les effets des trois systèmes à long terme et l'évolution de tous les paramètres considérés (Lennard, 2006). La technique NFT est la moins adaptée à l'aquaponie commerciale : elle présente de nombreux inconvénients et risques sur le long terme (tableau 1). La technique sur substrat a montré son efficacité ; cependant, une accumulation trop importante en MES – dans le cadre d'un système de production intensif – pourrait à long terme avoir un impact négatif sur ces structures, qui sont plus adaptées à des activités de loisir. Les grosses productions aquaponiques commerciales existantes à ce jour utilisent surtout la technique des rafts, qui présente de nombreux avantages et des inconvénients supportables.
- ✚ Love et al (2014) ont mené des études statistiques sur l'utilisation de ces différentes techniques (seules ou en simultanées) sur la base d'enquêtes menées auprès d'aquaponiculteurs à travers le monde : 86% utilisent des substrats inertes type gravier, fibre de coco, 46% utilisent la technique des rafts, 19% utilisent la technique du NFT, et 17% utilisent des tours verticales (technique NFT ou technique d'aspersion racinaire). La plupart des systèmes existants sont des systèmes de particuliers, de petite taille. Il existe encore très peu d'installations commerciales.

Tableau 2 : Etude comparative des trois principales techniques aquaponiques (Foucard, 2015)

Technique	Avantages	Inconvénients
Rafts	<p>Grands volumes d'eau "tampon"; bon pour le maintien des paramètres physico-chimiques et pour l'accumulation de nutriments dans l'eau</p> <p>Stabilité des paramètres physico-chimiques de l'eau</p> <p>Récolte aisée et rendement élevé</p> <p>Irrigation et oxygénation homogène dans le temps</p> <p>Planification de production et logistique facile à mettre en place avec échelonnage des cultures</p> <p>Matériau de culture "low cost"</p>	<p>Mise au point du système assez longue</p> <p>Espèces de plantes cultivables limitées</p> <p>Nécessité d'ajouter des filtres (mécanique et biologique)</p> <p>Consomme potentiellement davantage d'eau qu'en technique NFT et médias</p> <p>Besoin de tester des matériaux plus écologiques que le styrodur</p>
NFT	<p>Forte économie en eau (fin film d'eau)</p> <p>Irrigation et oxygénation homogène dans le temps</p> <p>Facile à mettre en place</p>	<p>Circuits hydrauliques fins (risques de colmatage)</p> <p>Espèces de plantes cultivables limitées</p> <p>Faibles volumes d'eau, donc risques de fluctuations de pH et de température importantes</p> <p>Nécessité d'ajouter des filtres (mécanique et biologique)</p> <p>Les plantes situées en bout de circuit peuvent avoir des carences en oxygène et en nutriments</p> <p>Emploi massif de matières plastiques</p>
Lit de substrats inertes	<p>Agit en filtre mécanique et biologique</p> <p>Les médias servent de support pour les plantes</p> <p>Forte économie en eau (surtout en méthode flux-reflux)</p> <p>Choix de plantes à cultiver plus large (notamment tubercules)</p>	<p>Irrigation et oxygénation hétérogène</p> <p>Accumulation importante de composés solides</p> <p>Risques de formation de zones anaérobies</p> <p>Les plantes situées en bout de circuit peuvent avoir des carences en oxygène et en nutriments</p> <p>Nécessité d'entretenir/changer régulièrement les médias de culture notamment à cause de l'accumulation de calcium et phosphore sur les médias</p> <p>Surcoût lié au transport des médias (gros volumes, poids important)</p>

II.5. Les paramètres idéaux de l'eau d'un système aquaponique :

Selon Somerville et al (2014), l'eau injectée dans le système doit être suivie par les paramètres cités dans le tableau ci-dessous (SOMERVILLE et al., 2014)

Tableau 3 : Le seuil critique des paramètres idéaux pour l'eau de l'aquaponie (SOMERVILLE et al., 2014)

Paramètres	seuil critique
Température de l'eau	18–30° C
pH	6–7
Taux d'ammoniaque (NH ₃)	< 1 mg/litre
Taux de nitrite (NO ₂ ⁻)	< 1 mg/litre
Taux de nitrate (NO ₃ ⁻)	5–150 mg/litre
Oxygène dissous	5 mg/litre

III. Le développement de l'aquaponie dans le monde

Selon la FAO, « actuellement plus de 40% des populations urbaines des pays en voie de développement vivent dans des bidonvilles et d'ici 2030, plus de 60% de la population des pays en développement vivront dans les mégapoles ». Ces pays doivent donc relever un double défi : la faim qui s'étend et la croissance rapide du nombre de personnes atteintes de pathologies liées à l'alimentation. Après plus de trente d'années d'études en pointillés, le concept d'aquaponie apparaît de plus en plus comme une ouverture pour le monde agricole dans ces pays, soucieux de la préservation de la ressource en eau du point de vue quantitatif et qualitatif.

III.1. Répartition géographique des aquaponiculteurs dans le monde

D'après une étude basée sur une enquête menée auprès de 809 aquaponiculteurs 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). Les cartes ci-après décrivent leur distribution géographique. Egalement retrouvés en Allemagne à Berlin et en la Suisse à Bâle. En France, il n’y a pour l’instant que des porteurs de projet en lien avec des Fermes Aquacoles qui proposent des mini systèmes de jardin « clés en main » – ou des démarches de particuliers passionnés, mais il n’y a pas encore de grands systèmes commerciaux à signaler.

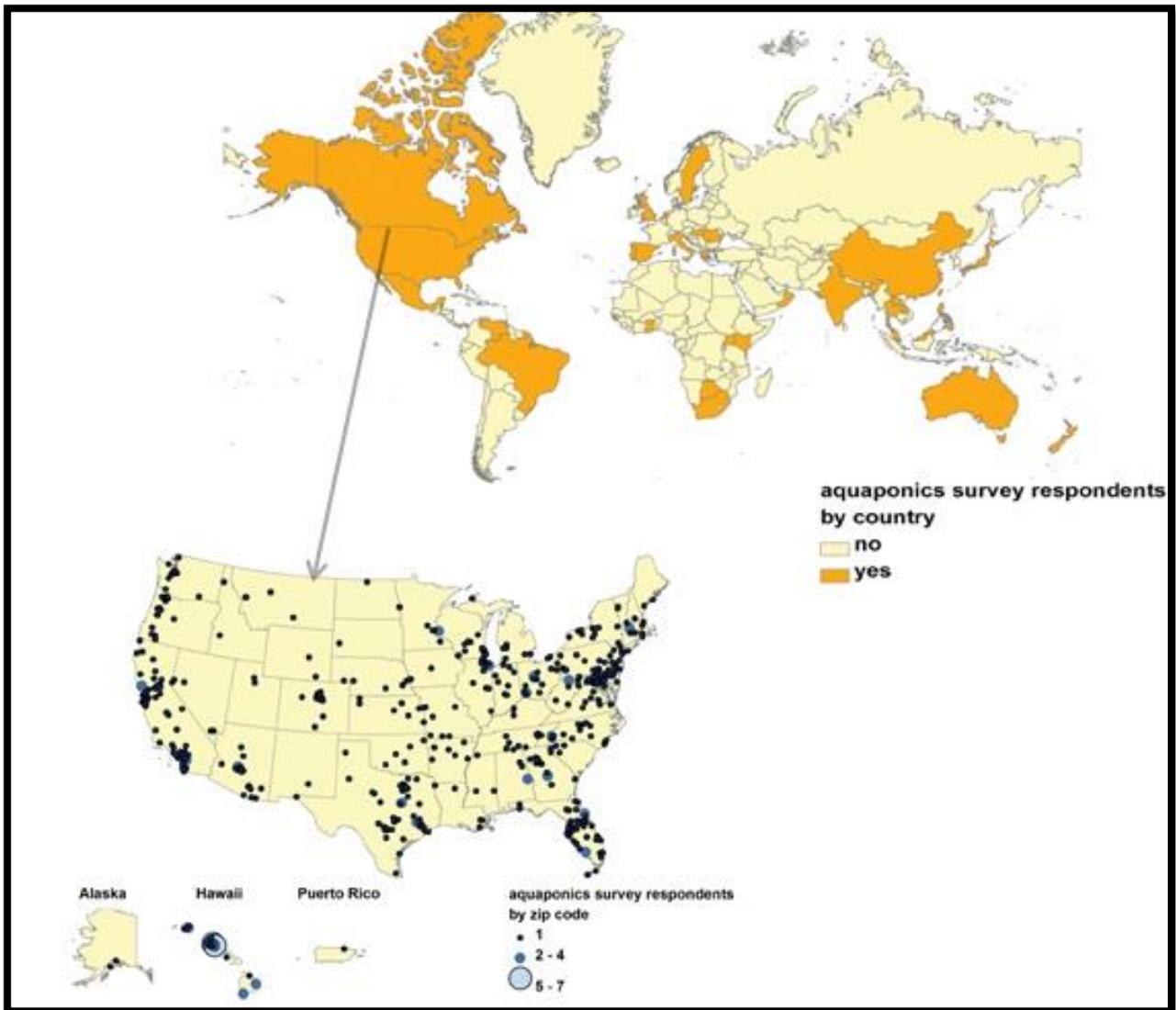


Figure 10 : Répartition géographique des aquaponiculteurs (monde et focus USA) (Love et al, 2014)

III.2. Les différentes formes du système aquaponique

Les systèmes aquaponiques dans le monde existent sous des formes très différentes :

✚ L'aquaponie domestique

Bassin Potager, Aquarium Potager et micro-serre familiale pour le jardin, la terrasse ou la cuisine. Toits d'immeubles et terrains de collectivités territoriales en agglomération, jardins, parc, écoles; toits de retailers... Echelle du particulier, activité de hobby : par exemple un simple bassin d'élevage associé à un lit de culture végétale sur graviers (FAO 2014),



Figure 11 : L'aquaponie : un mode de production vertueux et écologique. (Collection Watier/Maxppp, 2017)

✚ L'aquaponie commerciale à petite échelle

Cette dernière vit de sa production mais également d'activités annexes telle que la proposition de formations, de visites de sites, l'écotourisme... On peut trouver ces structures en milieu urbain toits d'immeubles et terrains de collectivités territoriales en agglomération, jardins, parc, écoles ; toits de retailers...



Figure 12 : L'aquaponie à petit échelle (Collection Watier/Maxppp, 2017)

L'aquaponie industrielle

Ce sont des systèmes très sophistiqués incorporant plusieurs bassins de cultures, des systèmes de filtration (mécanique et biologique), d'aération et d'alarmes, installés en milieu urbain ou péri-urbain sur des friches industrielles, ou sur des sites déjà identifiés pour l'aquaculture et sur lesquels il est possible de coupler des cultures végétales, ou encore sur des sites de production maraîchère sur lesquels il est possible d'installer des circuits aquacoles en recirculation.



Figure 13 et 14 : L'aquaponie industrielle (Collection Watier/Maxppp, 2017)

III.3. Avantages et inconvénients de l'aquaponie

Cette méthode de culture permet d'assainir l'eau par la voie de la phytoépuration, pour ensuite la réutiliser dans le compartiment aquacole du système, avec un taux de renouvellement en eau en théorie encore plus faible qu'en aquaculture recirculée (Rakocy *et al*, 2006). Contrairement aux circuits aquacoles ouverts ou recirculés, ce système de production a l'avantage de valoriser les effluents chargés en composés dissous venant de la production aquacole, en les rendant utilisables en tant que nutriments pour la production de plantes hydroponiques (Rakocy *et al*, 2006 ; Diver, 2006 ; Klinger, 2012). Pour cela, une situation d'équilibre entre les différentes productions doit être obtenue : la production piscicole doit pouvoir s'accroître sans être perturbée par ses propres rejets, rejets qui doivent permettre une croissance optimisée des végétaux.

Les techniques hors-sol ont un rendement supérieur à la culture sur sol (Rakocy *et al*, 2006 ; Savidov, 2005), avec un gain de 20-25% de rendement végétal ; voire une productivité de 2 à 5 fois supérieure d'après certains experts (FAO, 2014). Certaines études montrent qu'il n'y a pas de différence significative de rendement entre l'hydroponie (Pantanella, 2011). D'autres montrent que l'aquaponie peut même parfois être plus efficace que l'hydroponie, lorsque tous les paramètres sont maîtrisés et que la communauté bactérienne est totalement mature (Nichols & Lennard, 2011).

Alors que l'hydroponie nécessite l'ajout constant ou intermittent d'intrants minéraux dans l'eau de culture pour satisfaire aux exigences des plantes, un système aquaponique a pour objectif de s'en affranchir, tout en éliminant les besoins de vidanges régulières pratiquées par les systèmes hydroponiques les moins élaborés et ne maîtrisant pas le recyclage des solutions minérales. L'aquaponie pourrait avoir un potentiel pour être qualifiée de « culture biologique », si la culture hors-sol n'était pas une limite à cette labellisation (c'est le cas aux USA où les plantes issues des systèmes aquaponiques sont qualifiées de biologiques). Un écolabel pourrait toutefois prochainement être défini pour les poissons élevés en aquaponie : en effet, une étude de faisabilité d'un « label écologique européen pour les produits de la pêche et de l'aquaculture » est actuellement en cours de discussion par la commission européenne (Somerville *et al.*, 2014).

Que ce soit pour l'hydroponie ou l'aquaponie, la consommation d'eau est beaucoup plus faible que pour l'agriculture conventionnelle sur sol : 90% de consommation d'eau en moins (FAO, 2014).

L'aquaponie est également intéressante en terme d'optimisation de certains coûts de production : partage des coûts des infrastructures et des structures de production, optimisation partagée de l'utilisation de l'espace, du sol et de la ressource aquatique grâce à la polyculture,

baisse voire élimination des coûts des intrants pour les entreprises d'hydroponie, double valorisation de l'aliment aquacole qui sert indirectement d'engrais pour les plantes (Rakocy *et al*, 2006).

Une serre aquaponique peut être installée n'importe où, et notamment dans les zones urbaines et périurbaines, à proximité des lieux de consommation, ce qui favorise le développement d'une économie locale de circuits courts et de vente directe, limitant par là même les coûts et émissions de CO₂ liés au transport (Diver, 2006), et pouvant faire apparaître un volet social autour de cette nouvelle activité (jardin partagés, spots de verdure...).

Par ailleurs, étant donné que ce système est basé sur l'économie et la réutilisation de l'eau, l'aquaponie pourrait permettre la production de végétaux frais et de poissons dans des régions où le sol est pauvre et où l'accès à la ressource aquatique est limité, voire dans des régions arides et semi-arides (Diver, 2006 ; FAO, 2014).

Enfin, des études récentes montrent que les effluents de pisciculture peuvent entraver très efficacement le développement de certains champignons pathogènes des végétaux, notamment *Pythium ultimum* et *Fusarium oxysporum* (Fujiwara *et al*, 2013).

Fusionner deux systèmes de production, permet de doubler les possibilités d'apparition de problèmes. Cette technique a recours à de nombreux domaines de compétences techniques (aquaculture en recirculation, horticulture, chimie de l'eau) et implique donc une main d'œuvre compétente et formée pour faire face aux divers problèmes qui peuvent se poser.

Il est important de comprendre que de nombreux facteurs influent sur la dynamique du système, le rendant difficilement transposable d'un site à un autre sans travail en amont de modélisation et sans période d'adaptation sur un nouveau site. La qualité d'eau de la ressource, le climat, l'espèce de poisson, son stade de développement, l'espèce végétale et son stade phénologique, la ration alimentaire appliquée, la composition de l'aliment, les aspects thermiques et énergétiques (mise en mouvement de l'eau, filtration, éclairage des plantes, thermorégulation des élevages et des cultures...) sont autant de paramètres susceptibles d'influer sur les performances des productions animales et végétales (Gravel *et al*, 2014).

Il est également important de préciser que l'utilisation de produits phytosanitaires – pour le compartiment végétal- et d'antibiotiques – pour le compartiment aquacole- sont déconseillés sans étude approfondie concernant les risques potentiels de toxicité sur les poissons et de bioaccumulation par les plantes (Rakocy, 2006).

Le fait de ne pas pouvoir utiliser des pesticides est à la fois un avantage et un inconvénient. Il faut recourir à un contrôle purement biologique, dont l'efficacité réelle (en termes technique et économique) reste à être démontrée. Par ailleurs, les antibiotiques pourraient avoir un effet inhibiteur sur le processus de biofiltration effectué par les bactéries nitrifiantes, indispensable au bon fonctionnement du système en recirculation (Rakocy *et al*, 2006 ; Diver, 2006). Cependant, ne pas recourir aux antibiotiques dans ce type de système implique une surveillance accrue de l'élevage piscicole, la difficulté de gérer de fortes densités d'élevage, et la nécessité de recourir à des mesures prophylaxiques et de type probiotiques/prébiotiques (Klinger, 2012).

L'aquaponie est apparue par l'intermédiaire de l'idéologie de la production alimentaire durable, et non pas par la demande du marché : les investissements en capitaux sont généralement importants pour concevoir ces systèmes, et l'investissement de temps à travers un long processus d'apprentissage (souvent spécifique à chaque système) est également à prendre en compte. La plupart des systèmes existants à l'heure actuel ne sont pas économiquement viables et ne pourraient pas survivre sans une certaine forme de subventions. Ceux qui ont néanmoins survécu, et qui peuvent être considérés comme des installations commerciales ont eu recours à des techniques de marketing de niche très efficaces et/ou à une diversification de l'activité dans la vente au détail, l'attraction touristique, la fourniture d'équipements, la formation, le conseil, tout en visant une échelle de production suffisamment grande.

L'aquaponie doit aujourd'hui lever des freins techniques, économiques et sociétaux et le démarrage d'une telle filière nécessite l'appui de producteurs d'aliments et d'alevins, ainsi que celui de structures de recherche et de formation. Dans le contexte actuel, « *l'aquaponie n'est économiquement rentable qu'avec des espèces à haute valeur ajoutée* », et ce à grande échelle, d'après le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD).

En effet, les coûts énergétiques (lumière, chauffage de l'eau en hiver pour la production en pays tempérés, fonctionnement des pompes, aération), souvent supérieurs à ceux existants en hydroponie, sont signalés comme étant une limite dans de nombreux systèmes. La mise au point d'un business plan détaillé appuyé par une étude de marché – sur les produits végétaux et aquacoles les plus appropriés dans le contexte d'une région donnée, en visant des produits à forte valeur ajoutée – n'est donc pas à négliger dans le cadre d'installations commerciales.

Les principaux défis restent l'appropriation des cycles naturels par les producteurs via la standardisation des protocoles d'élevage, la diminution du coût des investissements, le respect de la législation. Un des leviers important de développement de ces systèmes pourrait être les incitations financières (engagement dans une démarche proactive) : aides aux investissements (aides aux équipements, à la recherche et développement...), une TVA réduite, des crédits d'impôts....

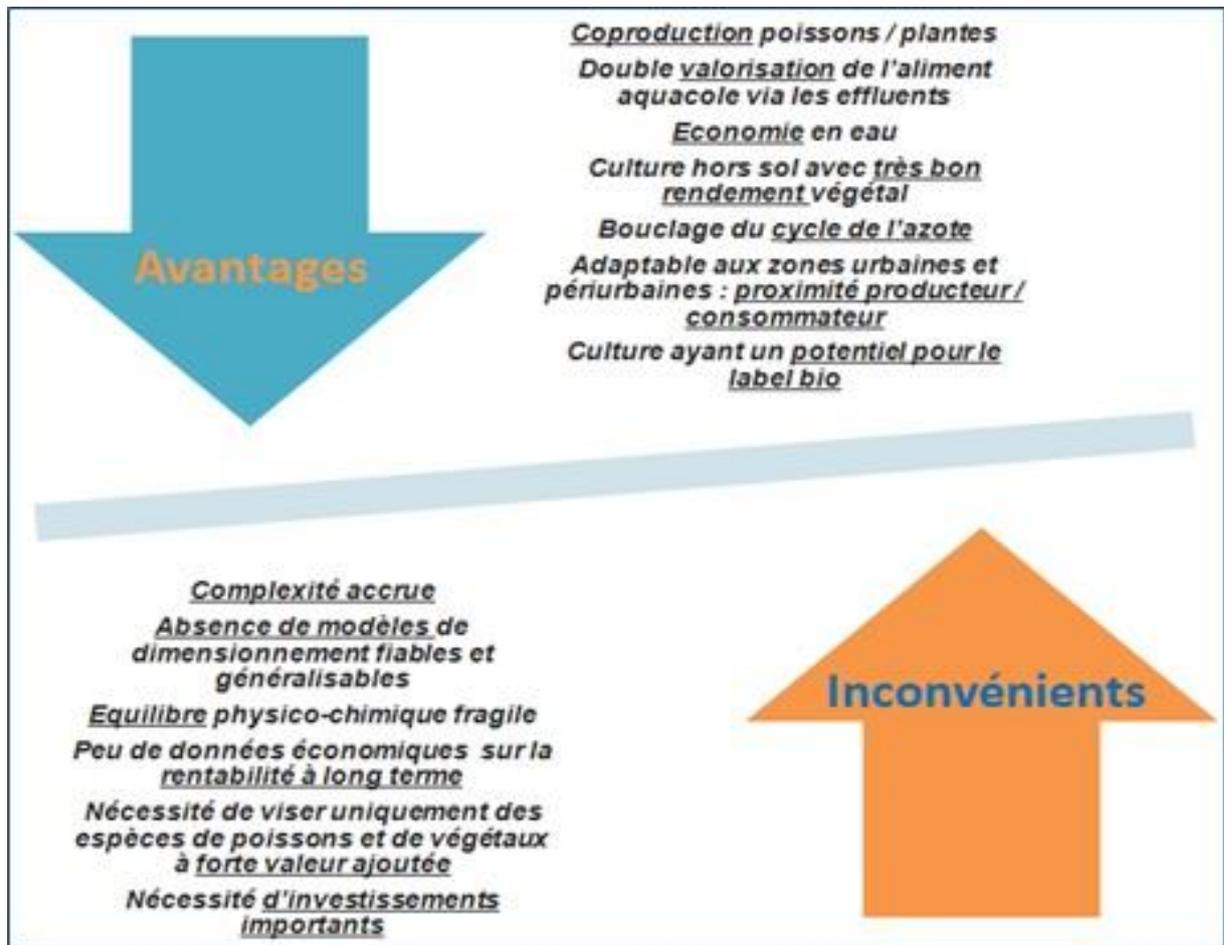


Figure 15 : Principaux avantages et inconvénients de l'aquaponie ; Foucard, 2015

IV. Conclusion et recommandations

L'agriculture sera le secteur le plus durement touché par les pénuries d'eau. Cette situation pourrait avoir de graves conséquences sur les économies et les moyens de subsistance ruraux ainsi que sur la sécurité alimentaire. Dans ce contexte, économiser l'eau n'est pas seulement une bonne pratique, cela pourrait bientôt être la seule alternative possible.

C'est pour ça, ce système est recommandé comme un alternative dans l'élevage de poisson et la culture végétal pour assurer la sécurité alimentaire, éviter les produits chimiques en plus d'aliment fraîche, un joli paysage et un effet positive sur l'environnement. On peut intégrer dans tous les surface même l'espace urbaine ou dans les zones qu'on a des conditions difficiles comme le Sahara Algérien ou même hors terre dans les vaisseaux spatiaux ou sur autre planète.

C'est certainement pourquoi cette nouvelle technique provoque un tel engouement actuellement. Il y a de plus en plus d'effervescence dans le domaine, et des projets démarrent un peu partout, comme passe-temps, des investissements ou des recherches académiques dans certaines universités.

Bibliographie

Al-Hafedh YS, Alam A, Beltagi MS. Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *J. World Aquacult. Soc.* 39 ; 2008 :510-20.

Al-Hafedh, Yousef S., Aftab Alam, and Mohamed Salaheldin Beltagi. "Food Production and Water Conservation in a Recirculating Aquaponic System in Saudi Arabia at Different Ratios of Fish Feed to Plants." Journal of the World Aquaculture Society. 39 ;2008: 510–20.

Bailey D S, Ferrarezi R S. Valuation of vegetable crops produced in the UVI Commercial Aquaponic System. IN : Aquaculture Reports. 7 ; 2017 :77-82.

Biton G. Produire ensemble légumes et poissons - Construire sa propre installation. In : Guide pratique de l'aquaponie. 2017 : 3-17.

Chakravartty D, Mondal A, Raychowdhury P, Bhattacharya S B, Mitra A. Role of aquaponics in the sustenance of coastal India – Aquaponics is a solution for modern agriculture in ecologically sensitive Indian mangrove Sundarbans: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies.*5 ; 2017: 441-48.

Connolly K, Trebic T. Optimization of a backyard aquaponi food production system. Faculty of agricultural and environmental sciences, Macdonald campus, McGill University, BREE. 495 ;2010 : 305-379.

Diver S. Aquaponics-Integration hydroponics with aquaculture. NCAT Agriculture Specialist. 2006 : 1-28.

FAO Directives Techniques pour une Pêche Responsable. Développement de l'Aquaculture. Introduction. Article 6.19. Rome, 1998. Réimpression 1999, 2000. Disponible sur : <http://www.fao.org/3/w4493f/w4493f04.htm>

FAO. (2017). *FAO fisheries and aquaculture technical paper* [en ligne]. italy: FAO. [Consulté le 19/5/2017]. Disponible à l'adresse: < <http://www.fao.org/3/a-i4021e/>> .

Foucard P, Tocqueville A, Gaumé M, Labbé L, Lejolivet C *et al.* Potentiel de développement de l'aquaponie en France : Le programme APIVA® « Aquaponie Innovation Végétale et Aquaculture » *Innovations Agronomiques.* 71 ;2019 : 385-400.

Foucard P, Tocqueville A, Gaume M, Labbe L, Lejollivet C *et al.* Tour d'horizon du potentiel de développement de l'aquaponie en France : présentation et regard critique sur cette voie de développement alternative pour les productions piscicoles et horticoles. *Innovations Agronomiques*. 45 ;2015 : 125-139.

Fujiwara K, Iida Y, Iwai T, Aoyama C, Inukai R, Ando A *et al.* 2013. The rhizosphere microbial community in a multiple parallel mineralization system suppresses the pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *Microbiologyopen*. 2 ;2013 : 997–1009.

Goddek S. *et al.* *Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics*. *Sustainability*. 7 ;2015 : 4199-224.

Goodman E. *Aquaponics: community and economic development*. Thèse de doctorat. Génie-aquacole. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology. 2011 : 7-25.

Gravel V, Dorais M, Vandenberg G. Fish effluents promote root growth and suppress fungal diseases in tomato transplants. *Canadian Journal of Plant Science*. 10 ;2014 :427-36.

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. La manière dont les exploitations agro-aquacoles intégrées font une utilisation intelligente de l'eau. [en ligne]. 09/04/2018. Disponible sur : <<http://www.fao.org/fao-stories/article/fr/c/1114100/>>

<http://hydroponie.fr/culture-hydroponique-definition-histoire/>

HYDROPONIE.FR Culture Hydro. La culture Hydroponique : définition et histoire. 15 octobre 2013 de prof_gilberto. Disponible sur : <<http://hydroponie.fr/culture-hydroponique-definition-histoire/>>

APIVA (AquaPonie, Innovation Végétale et Aquaculture). Qu'est-ce que l'aquaponie ?. avril 2015. Disponible sur : <<https://projetapiva.wordpress.com/quest-ce-que-laquaponie/>>

JIJAKLI, H. (2014). Comment se nourrira-t-on en 2050. In: LE SOIR. [En ligne]. France, [Consulté le 19/6/2017]. p. 26. Disponible à l'adresse :<www.lesoir.be/demainlaterrewww.facebook.com/DemainTerretwitter.com/Demain_La_Terre>.

Jones B J. *Hydroponics—A Practical Guide for the Soilless Grower*, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2005.

Klinger D, Naylor R. Searching for solutions in aquaculture: charting a sustainable course. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 37 ; 2012 : 247–76.

L'agence creative Sculptures aquaponiques (Livret pédagogique). [en ligne]. MARS - JUIN 2017 ET SEPTEMBRE - NOVEMBRE 2017. Disponible sur : <https://www.lagence-creative.com/news-192-R_SIDENCE_D_ARTISTES_Sculptures_Aquaponiques_.html>.

La commission européenne. EU ecolabel for fishery and aquaculture products. Consultation period 30 April 2015 - 1 July 2015. Disponible sur : <http://ec.europa.eu/dgs/maritimeaffairs_fisheries/consultations/ecolabel/index_fr.htm>

Lennard W. Aquaponic systeme design parametres : Rapport scientifique. Document non publié. Australia : RMIT university. 2012.

Lennard W. Aquaponic system design parameters: fish to plant ratios (feeding rate ratios). *Aquaponic solutions.* 6 ;2012 : 122-32.

Love D C, Fry J P, Genello L, Hill E S , Frederick J A , Li X *et al.* An international survey of aquaponics practitioners. *PLoS ONE.* 9 ;2014 : 2-10.

Love D C, Fry J P, Genello L, Hill E S , Frederick J A , Li X *et al.* An international survey of aquaponics practitioners. *PLoS ONE.* 9 ;2014 : 102-12.

Nichols M A., Lennard W. Aquaponics in New Zealand. *Practical hydroponics and Greenhouses.* 115 ;2010 : 46-51.

Rakocy J E, Masser M P, Losordo T M. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics integrating fish and plant culture. *SRAC.* 2006 ;124 : 1-16.

ResearchGate. Premières expérimentations d'aquaponie associant aquaculture et horticulture. June 2016. Disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/322716308_Premieres_experimentations_d'aquaponie_associant_aquaculture_et_horticulture>

Somerville C, Cohen M, Pantanella E, Stankus A, Lovatelli A. Small-scale aquaponic food production. *Integrated fish and plant farming.* 589 ;2014.

(Sylvia Bernstein, 2011). *Aquaponic gardening : a step-by-step guide to raising vegetables and fish together.* 257; 2011 : 134-136