Potentiel de développement de l'aquaponie en France : Le programme APIVA ® " Aquaponie Innovation Végétale et Aquaculture ".

Pierre Foucard, Aurélien Tocqueville, Matthieu Gaumé, Laurent Labbé, Jean-François Baroiller, Catherine Lejolivet, Bernard Darfeuille

▶ **To cite this version:**

Pierre Foucard, Aurélien Tocqueville, Matthieu Gaumé, Laurent Labbé, Jean-François Baroiller, et al.. Potentiel de développement de l'aquaponie en France : Le programme APIVA ® " Aquaponie Innovation Végétale et Aquaculture ".. Innovations Agronomiques, 2019, 71, pp.385-400. 10.15454/QXTV1D . hal-02622409

HAL Id: hal-02622409
https://hal.inrae.fr/hal-02622409

Submitted on 26 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Innovations Agronomiques 71 (2019), 385-400

Potentiel de développement de l'aquaponie en France : Le programme APIVA® « Aquaponie Innovation Végétale et Aquaculture »

Foucard P.[1], Tocqueville A.[1], Gaumé M.[1], Labbé L.[2], Baroiller J.F.[3], Lejolivet C.[4], Darfeuille B.[5]

[1] ITAVI : Service Aquaculture, 28 rampe Bouvreuil, F-76000 Rouen

[2] INRA : PEIMA Pisciculture Expérimentale INRA des Monts d'Arrée - Barrage du Drennec BP 17, F-29450 Sizun

[3] CIRAD - Campus International de Baillarguet, F-34398 Montpellier cedex 5

[4] EPLEFPA Lozère, Lycée de la Canourgue, F-48500 La Canourge

[5] Station Horticole RATHO (Rhône Alpes Techniques HOrticoles)-ASTREDHOR, 135 Chemin du Finday, F-69126 Brindas

Correspondance : tocqueville@itavi.asso.fr

Résumé

L'aquaponie repose sur l'intégration de process de production aquacole et hydroponique permettant le recyclage et la valorisation des nutriments émis par l'élevage aquacole par des cultures végétales. Cette démarche innovante attire à la fois les filières aquacoles, car la co-production permet de réutiliser l'eau en permanence pour l'élevage ; mais également les filières horticoles en réduisant l'emploi d'intrants chimiques dans la conduite de production végétale.

Le projet APIVA® (Aquaponie Innovation Végétale et Aquaculture) a permis de développer et de caractériser des pilotes aquaponiques fonctionnels, d'étudier leur faisabilité économique, leur impact environnemental et la qualité des produits obtenus, tout en modélisant les flux se produisant entre les compartiments (bassins d'élevage, surfaces de culture, filtre biologique).

Après une rapide présentation de l'origine de l'aquaponie, cet article vise à définir les avantages et les inconvénients de cette pratique innovante, les différentes formes qu'elle peut prendre, les diverses modalités de conception envisageables, ainsi que les aspects techniques à appréhender. En France, très peu de systèmes d'aquaponie commerciale sont actifs, mais beaucoup de projets émergent depuis quelques années, notamment en milieu urbain. Des exemples d'entreprises d'aquaponie commerciale à l'international sont présentés, avant de définir une typologie des porteurs de projet français.

Mots-clés : aquaponie, hydroponie, pisciculture, cultures hors sol.

Abstract: Development potential of aquaponics in France: the APIVA® project "Aquaponics Plant Innovation and Aquaculture"

Aquaponics is based on the integration of aquaculture and hydroponics production process making it possible the recycling and recovery of nutrients rejected by fish farming through vegetable production. This innovative approach is attractive for the aquaculture sectors as this co-production facilitates the recirculation of water with a minimal opening rate of the system, but also for the horticulture sector as it reduces totally or partially the needs of chemical inputs in soilless plant production.

APIVA®'s project ("Aquaponics: Plant Innovation and Aquaculture") aims to develop functional aquaponic pilot systems and to study the economic feasibility of such systems, but also their impact on the environment and on the quality of products, while modelling the flow occurring between the different compartments (fish farming, soilless culture, biological filter).

After a brief presentation of the origin of aquaponics, this article aims to identify advantages and drawbacks of this innovative practice, but also the different forms it can take and the possible design methods and technical aspects to apprehend. In France, very few commercial aquaponics systems are already in activity, but many projects have been emerging in recent years, especially in urban areas. Some examples of commercial aquaponics companies abroad are presented before giving a typology of French project holders

Keywords : aquaponics, hydroponics, fish farming, soilless culture.

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. 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 total contrôle 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.

Une solution à l'étude passe par le recyclage et la valorisation des rejets piscicoles par des cultures hors-sol, c'est l'aquaponie : 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, 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 projet tendent à vouloir développer des activités en lien avec cette pratique novatrice, et ce souvent en milieu urbain ou péri-urbain.

En 2013, le Service Aquaculture de l'ITAVI (Institut Technique des filières avicole, cunicole et piscicole) a constitué et déposé un projet nommé APIVA® (AquaPonie Innovation Végétale et Aquaculture) visant à tester les performances de l'aquaponie, un système d'élevage innovant de type AIMT (Aquaculture Intégrée Multi-Trophique), intégrant les bénéfices des systèmes recirculés et de la culture végétale hors-sol pour l'aquaculture en eau douce. Ce programme de recherche français se fait en partenariat avec l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), le Lycée aquacole de La Canourgue (EPLEFPA Lozère), le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) ainsi que la station horticole RATHO (Rhône Alpes Techniques Horticoles) membre de l'ASTREDHOR (Association nationale des STRuctures d'Expérimentation et de Démonstration en HORticulture). Le projet a été déposé au CASDAR programme 2013 / 2017.

Objectifs du projet APIVA®

- Synthétiser l'ensemble des connaissances existant dans la bibliographie ;
- Caractériser les compartiments d'un système aquaponique et identifier les flux entre compartiments (aquacole, hydroponique, biofiltre) pour décrire le couplage entre les systèmes ;
- Suivre et optimiser le fonctionnement du système et son rendement épuratoire ;
- Modéliser le fonctionnement du système et des flux se produisant entre les compartiments ;
- Analyser la qualité (organoleptique et sanitaire) des produits ;
- Mesurer l'impact environnemental de l'aquaponie à l'aide de la méthode de l'analyse du cycle de vie (ACV) ;
- Établir des éléments de dimensionnement et d'efficience technico-économique ;
- Diffuser la connaissance en vue d'un transfert technologique à travers la rédaction d'un guide technique sur l'aquaponie pour les professionnels et organiser des sessions de formation thématique courtes ou intégrées dans des cursus de formations diplômantes.

Les pilotes d'APIVA®

Dans le cadre du projet, trois pilotes expérimentaux de moyenne échelle ont été installés (de 80 à 200 m² de surface de culture végétale pour des volumes d'élevage de 15 à 65 m³) (Figure 1).

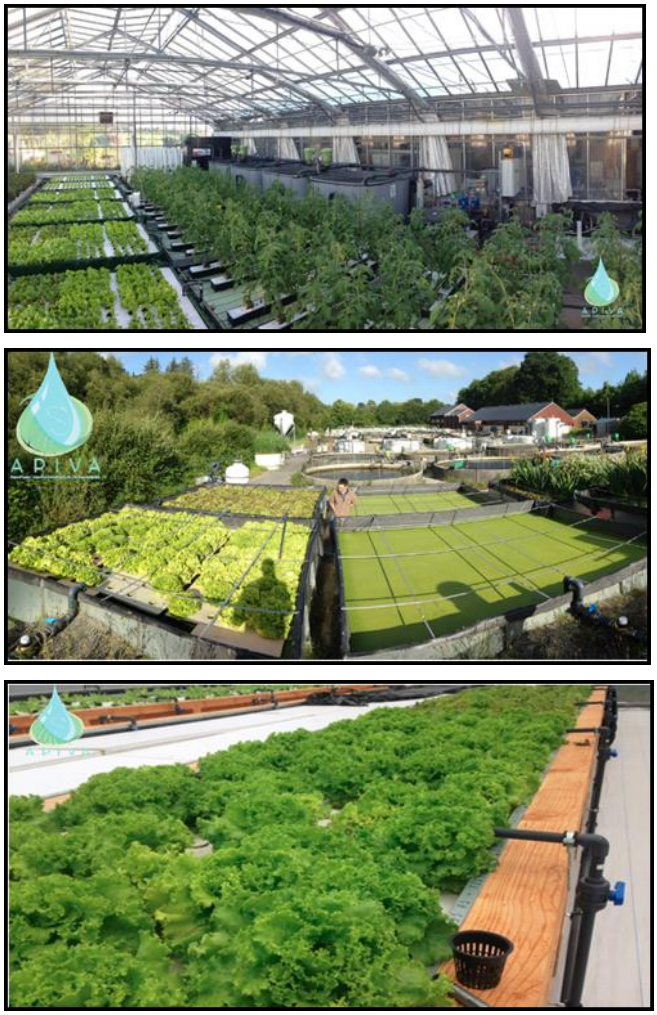

Figure 1 : de haut en bas, Pilote du RATHO, de la PEIMA, de la Canourgue (APIVA®)

1. Historique de l'aquaponie

Il y a plus de 3000 ans, les aztèques cultivaient des jardins « flottants » en milieu lacustre, les *chinampas*, des structures maintenues par un réseau de joncs, de roseaux et de feuillages, recouvertes en surface par des boues issues du fond des lacs - riches en débris organiques et en nutriments en décomposition – disposées en couches successives séparées par des débris végétaux en décomposition. Ces radeaux étaient de plus irrigués par des eaux enrichies en nutriments grâce aux déjections des poissons naturellement présents dans les lacs (Figure 2).

Figure 2 : Reconstitution maquette de *chinampas*. Crédit : Te Papa

Depuis l'apparition de la culture du riz, des systèmes intégrés de rizi-pisciculture se sont développés en Chine continentale, en Thaïlande, et en Afrique, avec le couplage de production de riz et de carpes, d'anguilles et/ou de tilapias. Ce couplage permet l'apport d'un engrais naturel (déjections de poissons) et l'intégration de la lutte biologique contre les insectes ravageurs des plants de riz grâce à la présence de poissons qui s'en nourrissent. La rizi-pisciculture - bien que minoritaire aujourd'hui - a subsisté après des siècles d'existence dans certains pays asiatiques, avec notamment un renouveau dans les années 1980-1990 face aux problèmes liés à l'utilisation massive de produits phytosanitaires en mono-riziculture. Cette forme d'élevage offre ainsi à l'agriculteur une diversification de sa production et une source de protéines importantes dans une culture alimentaire basée sur le riz.

Suite à des recherches réalisées par le *New Alchemy Institute* en Caroline du Nord, il a été (re)découvert que l'eau issue d'aquaculture en étang constituait une source intéressante de nutriments pour des productions végétales en hydroponie. Cet institut n'existe plus aujourd'hui, mais les publications qui en sont issues font aujourd'hui encore figure de références. Par la suite, Mark McMurtry - à l'Université de Caroline du Nord - a poursuivi ce travail en développant dans les années 1980 un système de culture de légumes associé à un élevage de tilapias et en introduisant les problématiques de conservation de l'eau, de production intensive de protéines de poisson et de réduction des coûts d'exploitation.

Inspirés par les succès de la New Alchemy Institute et de l'Université d'État de Caroline du Nord, d'autres instituts ont emboîté le pas, notamment avec les expérimentations du Docteur James Rakocy à l'Université des Îles Vierges (UVI), sur un système « rafts » qui a fonctionné en continu depuis de nombreuses années, et qui aujourd'hui constitue une référence pour les systèmes aquaponiques commerciaux dans le monde. Le système UVI est surtout renommé pour avoir fourni des données de dimensionnement importantes, et pour avoir transféré un modèle reproductible, qui a d'ailleurs été adapté par divers producteurs (notamment Nelson et Pade aux USA) et reste encore très utilisé dans le cadre de projets de R&D (par exemple le système de Nick Savidov en Alberta qui a permis de produire plus de 60 espèces végétales différentes en aquaponie).

Historiquement pensée et développée par la recherche aquacole dans une optique initiale de phytoépuration, l'aquaponie intéresse aujourd'hui la filière horticole en recherche d'idées pour se diversifier et améliorer leur image. L'aquaponie est dorénavant vue comme un moyen de produire des végétaux dans une optique de production alimentaire durable. La technologie moderne (compartimentation des ateliers, amélioration des procédés de filtration...) offre des perspectives de développement de cette éco-technologie (Turcios, 2014) notamment pour diversifier les filières piscicoles et horticoles.

2. Principe général de l'aquaponie

L'aquaponie peut se définir comme un couplage entre l'aquaculture et la culture végétale hors-sol avec recirculation de l'eau. Les rejets dissous issus de l'aquaculture sont des sources de nutriments rendus assimilables *via* les racines des végétaux immergées dans l'eau, grâce à une étape préalable de dégradation microbienne des composés ammoniacaux par des bactéries nitrifiantes et d'élimination des matières particulaires par une filtration mécanique adéquate. La nitrification de l'ammoniaque pour obtenir des nitrates et la minéralisation des matières fécales pour fournir du phosphore et autres éléments sont des processus essentiels qui s'installent dans le système, suite à l'installation d'un biofiltre d'une part et parfois d'un bassin de minéralisation d'autre part.

Ces systèmes de production hors-sol sont conçus pour s'affranchir au maximum de l'utilisation de la ressource aquatique tout en assurant la recirculation d'une eau saine à la fois pour l'élevage de poisson, pour la culture de végétaux et pour le développement de colonies de bactéries nitrifiantes (Tyson *et al*, 2004 et 2008). Comme dans tous les systèmes d'aquaculture recirculée, il est nécessaire d'avoir un apport d'eau neuve journalier pour remplacer une part de l'eau du système, que ce soit pour compenser les pertes par évaporation et évapotranspiration, les pertes générées par les pratiques aquacoles de routine (pêches, entretien, nettoyage de bassins…), pour éviter l'accumulation de particules fines (<50µm), de gaz, ou encore de certains minéraux pouvant être nocifs pour les poissons (comme le fer et autres métaux lourds en particulier, mais aussi pour le potassium en moindre mesure et selon les espèces) et pour les plantes (sodium principalement, apporté par l'aliment). Cet apport d'eau neuve correspond à un « taux d'ouverture », de 0,5 à 5% en fonction des espèces de poissons, des volumes d'élevage, de la biomasse en stock et de la quantité d'aliment distribuée. La Figure 3 ci-dessous présente le principe général de cette technique ancestrale.

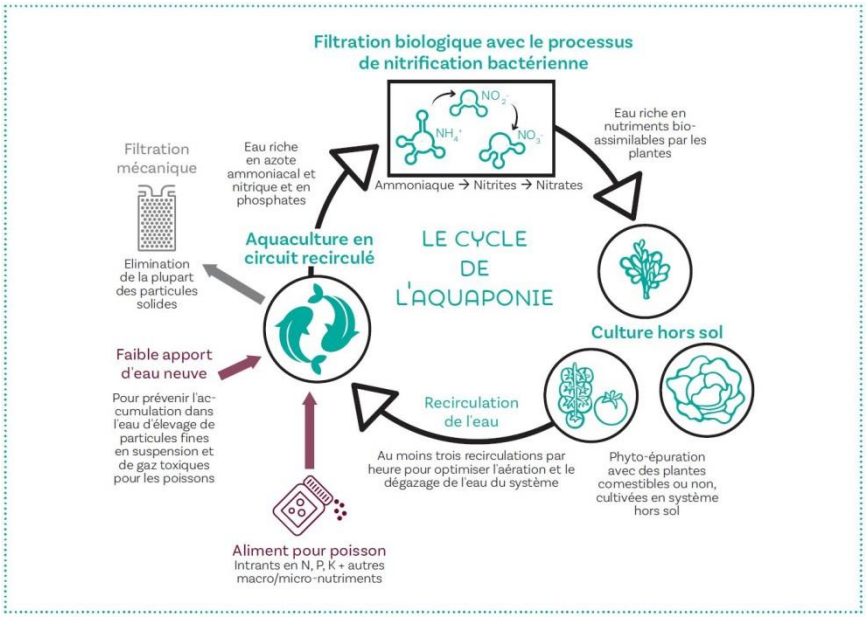

Figure 3 : Principe d'un système aquaponique, selon Foucard et al. (2018)

La Figure 4 ci-dessous présente les principales caractéristiques d'un « cycle aquaponique » :

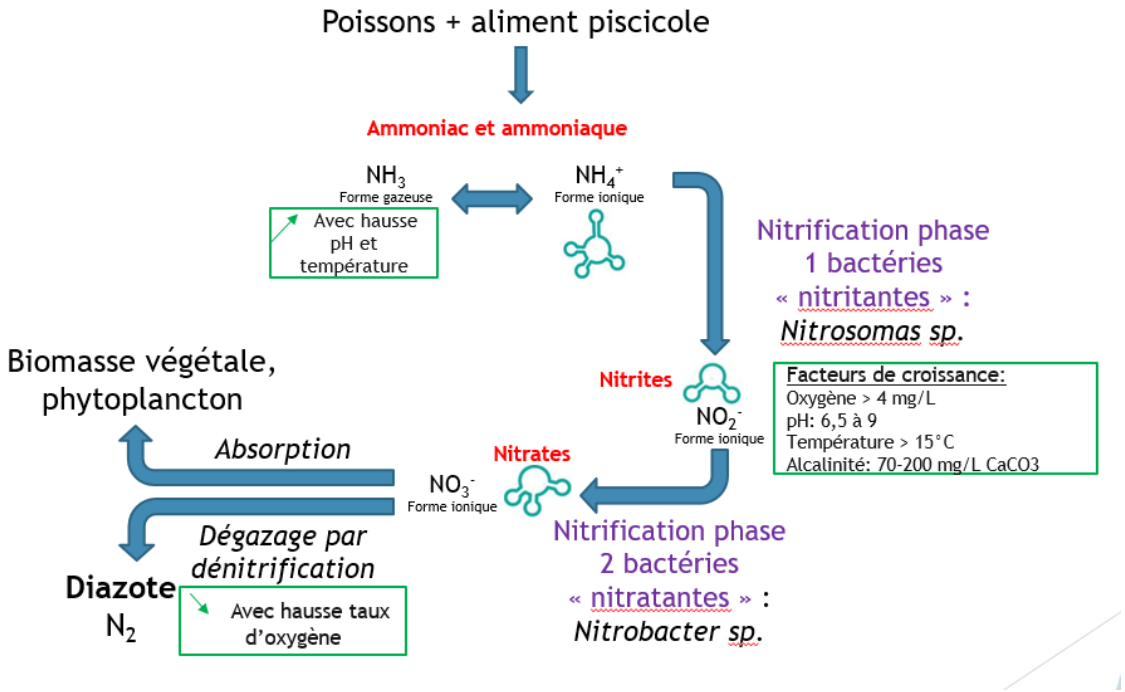

Figure 4 : Cycle aquaponique, selon Foucard et al. (2018)

3. Avantages et inconvénients de l'aquaponie

3.1 Avantages et opportunités de l'aquaponie

Recyclage : Contrairement aux circuits piscicoles 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, lesquels doivent permettre une croissance optimisée des végétaux aux besoins variables en fonction de leur densité et de leur stade phénologique.

Productivité : Les techniques hors-sol (hydroponie) ont un rendement supérieur rapportée à une unité de surface (à l'ha ou au m^2) aux techniques de culture dite conventionnelle en plein champ ou pleine terre (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).

Les différences au sein des techniques hors-sol : hydroponie et aquaponie, sont variables. Certaines études montrent qu'il n'y a pas de différence significative de rendement entre l'hydroponie et l'aquaponie (Pantanella et al., 2010). D'autres montrent au contraire que l'aquaponie peut parfois être plus efficace que l'hydroponie en termes de rendement végétal, lorsque tous les paramètres sont maitrisés et que la communauté bactérienne est totalement mature (Nichols et Lennard, 2011). 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* (Gravel et al., 2014 ; Fujiwara et al., 2013).

Économie d'intrants : 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. Par ailleurs, 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'utilisation d'eau dans le système piscicole est optimisée.

Diversification et optimisation des coûts : 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 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).

Conditions de travail : Tout comme l'hydroponie, l'aquaponie élimine les problèmes liés au sol (pathogènes, salinité, structure du sol, sols calcaires ou pauvres…), certaines pratiques conventionnelles d'entretien du sol (par ameublement du sol, désherbage) et simplifie les techniques culturales tout en augmentant les rendements (Martinez et al*,* 2000).

Encouragement de l'agriculture en circuits courts et utilisation d'espaces non valorisables par l'agriculture conventionnelle : Une serre aquaponique peut également être installée n'importe où, et notamment sur des sols non arables, dans les zones urbaines (jardins, toits, balcons…) et périurbaines (friches industrielles, toits d'usines ou de grands magasins…), à proximité des lieux de consommation, ce qui favorise le développement d'une économie locale de circuits courts et de vente directe de produits frais limitant par là même les coûts et émissions de CO_2 liés au transport (Diver, 2006). 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 hydrique est limité, voire dans des régions arides et semi-arides (Diver, 2006 ; FAO, 2014).

3.2 Inconvénients et défis à relever pour développer l'aquaponie

Technicité et complexité : Fusionner deux systèmes de production double les possibilités d'apparition de problèmes. Cette technique fait appel à des compétences techniques dans de nombreux domaines (aquaculture en recirculation, horticulture, chimie de l'eau, agroéquipements) et implique donc une main d'œuvre compétente et formée pour faire face aux divers problèmes qui peuvent se poser. 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. Les principaux défis restent donc l'appropriation des cycles naturels par les producteurs *via* la mise en commun des compétences aquacoles et végétales.

Affranchissement des méthodes conventionnelles de lutte contre les pathologies végétales et piscicoles : L'utilisation de produits phytosanitaires - pour le compartiment végétal- et d'antibiotiques - pour le compartiment aquacole - est déconseillée sans étude approfondie concernant les risques potentiels de toxicité sur les poissons et de bioaccumulation par les plantes (Rakocy et al., 2006). 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 ; Klinger, 2012). Il est toutefois intéressant de signaler que cet effet d'inhibition n'a pas été observé lors d'expérimentations en circuit piscicole recirculé à la station PEIMA de l'INRA. Toujours est-il que ne pas recourir aux antibiotiques ou

antiparasitaires 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.

Rentabilité de l'activité non démontrée : 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 en temps, à travers un long processus d'apprentissage (souvent spécifique à chaque système), est également à prendre en compte. Dans le contexte actuel, si l'on excepte des situations bien particulières déjà évoquées (sol pauvre avec un accès limité à la ressource aquatique, régions arides/semi arides, régions à climat favorable tout le long de l'année…) la rentabilité d'un système aquaponique reste questionnable, et le dimensionnement qui permettrait de l'atteindre reste encore difficile à appréhender dans l'état actuel des connaissances. De nombreux systèmes existants à l'heure actuelle ne sont pas économiquement viables et ne pourraient pas survivre sans une certaine forme de subventions. Ceux qui ont néanmoins réussi, 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. Les systèmes « commerciaux » existants sous les climats européens semblent indiquer qu'une échelle minimale de 1000m² (sous serre) est nécessaire pour atteindre la rentabilité. 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.

Le cadre réglementaire : les textes réglementaires actuels n'encadrent pas cette activité nouvelle, et l'on peut au mieux tenter d'interpréter des réglementations existantes concernant un paradigme totalement différent que l'aquaponie, en s'alignant par exemple sur la réglementation française relative à l'irrigation des végétaux par des eaux d'épuration urbaines. Un encadrement réglementaire est nécessaire pour l'avenir, afin de définir les modalités de production et de mise sur le marché de produits issus de tels systèmes.

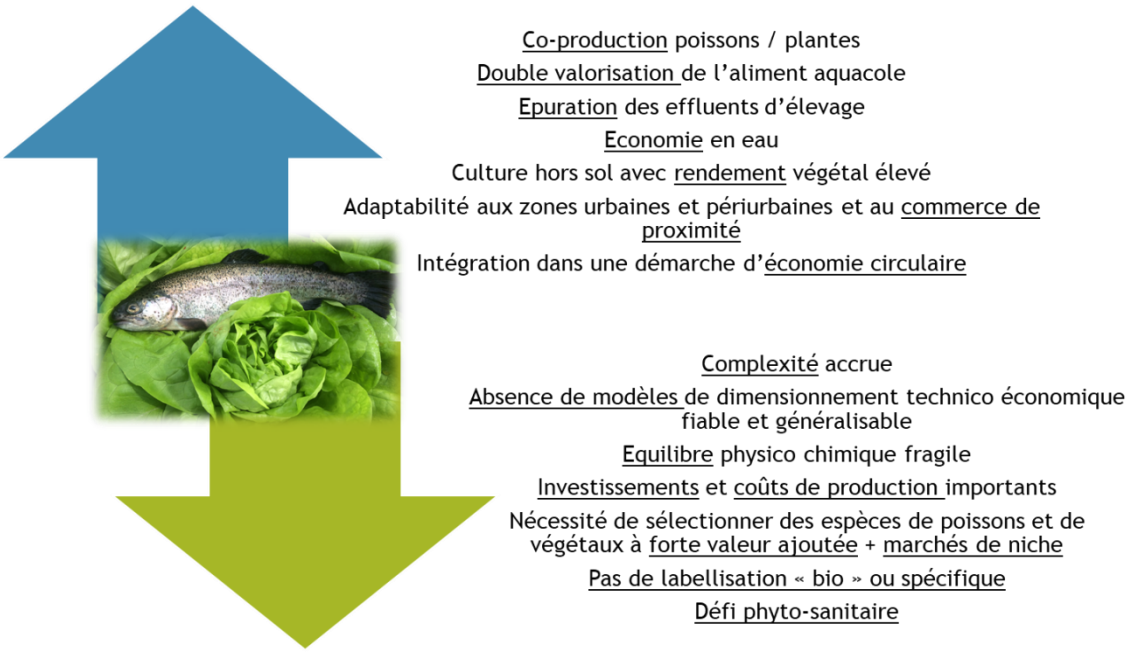

Figure 5 : Synthèse des avantages / inconvénients d'un système aquaponique (Foucard et al., 2018).

4. Différentes « visions » de l'aquaponie

4.1 Différentes échelles de production

L'aquaponie « industrielle »

Systèmes très sophistiqués et largement automatisés incorporant de nombreux bassins de culture, des systèmes de filtration (mécanique et biologique), d'aération et d'alarmes. Ces systèmes peuvent être 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 productions végétales, ou encore sur des sites de production maraîchère sur lesquels il est possible d'installer des circuits aquacoles en recirculation.

L'aquaponie commerciale à échelle familiale

Systèmes moins complexes, à plus petite échelle, comptant souvent sur des activités annexes pour être viables économiquement (propositions de stages et formations et de visites de sites, mise en place de structures d'écotourisme à visée pédagogique…). Ces structures se trouvent classiquement en milieu urbain, sur les toits d'immeubles ou terrains de collectivités territoriales en agglomération, jardins, parcs, écoles etc. La vente des produits se fait directement au consommateur, ou dans des épiceries fines, avec une philosophie de vente en circuits courts et de fraîcheur des produits.

L'aquaponie domestique ou à très petite échelle

Certains particuliers soucieux de consommer des produits sains, locaux, d'origine extensive, développent d'ores et déjà des systèmes de type « *backyard* » dans leur jardin (typiquement 1 m^3 d'élevage pour quelques m^2 de culture végétale). Le but est de produire de la nourriture fraîche, saine, locale, à petite échelle, et ce avec une vocation de hobby. Ce « retour à la Terre » témoigne de l'intérêt très vif que suscite cette pratique chez certains consommateurs de plus en plus conscients des enjeux environnementaux et de plus en plus désireux de maîtriser l'origine et la qualité de leur alimentation.

4.2 Plusieurs stratégies d'entrées sont possibles selon la production dont on souhaite maximiser le chiffre d'affaire

Stratégie 1 : Les poissons peuvent constituer en soi une simple source de nutriments alternative aux engrais pour la production majoritaire - les plantes - sans pour autant que l'atelier « poissons » soit rentable à lui seul. En effet, en raison du grand déséquilibre entre la production végétale et la production piscicole (variable de 2:1 à 10:1 selon les types de végétaux), la plupart des fermes commerciales aquaponiques assurent la majeure partie de leurs revenus par la vente des végétaux.

Stratégie 2 : Les plantes peuvent au contraire être considérées comme de simples outils d'épuration des eaux de circuits aquacoles recirculés à objectif commercial (avec découplage des deux compartiments), tout en entraînant un revenu complémentaire avec des risques et des investissements de départ minimisés. Dans ce cas-là, l'objectif est de valoriser des effluents d'élevage, sans que le dimensionnement soit optimisé pour le compartiment végétal ; en effet, les ratios déterminant l'équilibre entre les végétaux et l'élevage de poissons impliquent nécessairement une surface de végétaux beaucoup plus grande que la surface d'élevage piscicole.

Stratégie 3 : On peut choisir de miser sur une stratégie de système aquacole et horticole totalement intégrés, avec maximisation des profits sur tous les ateliers, en s'assurant que chaque atelier est à lui seul rentable : les poissons pour la partie aquacole, les végétaux pour la partie horticole. Il est possible de choisir un système aquaponique « couplé » ou « découplé », ce dernier permettant de minimiser les risques en s'assurant de pouvoir faire fonctionner chaque compartiment de manière indépendante en cas de problème.

→La stratégie 1 est rarement viable et devrait être abandonnée, à moins de miser sur la production de végétaux à très forte valeur ajoutée (plantes médicinales, plantes à traire, microalgues…) ou à très grande échelle et avec des investissements fonciers minimisés (réutilisation de friche industrielle par exemple). En effet, l'aliment pour poisson est plus onéreux que les engrais minéraux si l'on considère un prix à la tonne et à ce titre, la supposée économie d'intrants a ses limites : un horticulteur sera peu intéressé d'utiliser un intrant plus onéreux que celui qu'il utilise actuellement. Cette stratégie est donc plutôt utilisée pour des systèmes non commerciaux de type « *Backyard* ».

→La stratégie 2 semble plutôt être une solution possible pour un exploitant aquacole souhaitant valoriser ses rejets d'élevage tout en respectant par là même la réglementation française.

→La stratégie 3 est la plus pertinente, car elle vise deux sources de rentabilité. Par ailleurs, il est possible de l'adapter sur un site de pisciculture déjà existant ou dans une serre horticole hors sol pré-existante. Ainsi, les professionnels aquacoles et horticoles pourraient être capables de trouver un terrain d'entente pour partager des coûts d'infrastructure et pour associer leurs activités, dans une relation gagnant-gagnant : l'horticulteur économise des intrants minéraux tandis que le pisciculteur épure ses rejets. Une autre situation intéressante serait l'association de professionnels, la mutualisation des compétences et du chiffre d'affaires dans une seule et même entreprise. Il faudrait cependant qu'il y ait un autre intérêt, celui de pouvoir valoriser ce type de production par des labels spécifiques.

4.3 Différentes modalités de conception de systèmes aquaponiques : couplage, découplage

4.3.1 Les systèmes couplés

Les systèmes aquaponiques « couplés » sont ceux qui ont été conçus aux premières heures de l'aquaponie, notamment à la New Alchemy Institute, l'Université d'État de Caroline du Nord ou encore à l'Université des Îles Vierges (UVI). L'inconvénient de cette stratégie de couplage est la dépendance totale entre les deux compartiments aquacole et hydroponique : l'eau sort des bassins des poissons pour aller directement dans un biofiltre en passant par une filtration mécanique, puis continue son trajet dans le système végétal avant de revenir aux poissons (Figure 6). Cela nécessite un dimensionnement précis, et implique une constante dépendance par rapport à un équilibre physico chimique très fragile. En cas de problème sanitaire sur les poissons ou sur les plantes, les solutions sont limitées puisque les produits de traitement pour plantes et pour poissons ne sont pas toujours compatibles : les pesticides même « biologiques » peuvent impacter la santé des poissons, et beaucoup de produits antiparasitaires pour les poissons, par exemple, sont incompatibles avec la culture végétale.

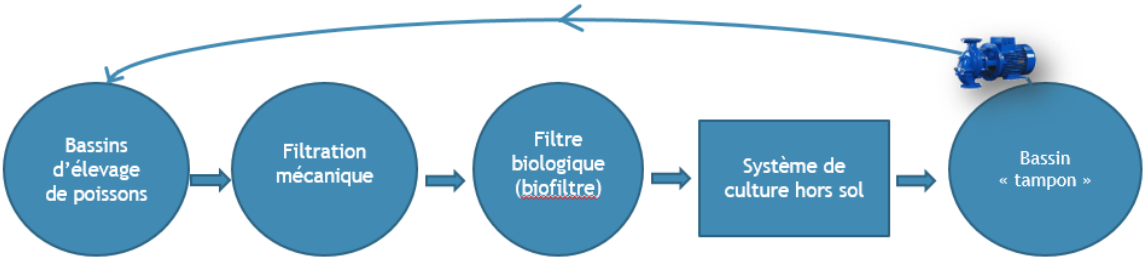

Figure 6 : Principe d'un système couplé. Foucard et al., 2018.

4.3.2 Les systèmes découplés

Des différences importantes sont à noter par rapport au système classique « couplé » : le système aquacole et le système hydroponique ne sont plus « dépendants » l'un de l'autre ; ils peuvent être couplés ou découplés au besoin, et donc fonctionner chacun de manière indépendante au besoin. Dans

cette configuration, le système piscicole n'est autre qu'un système d'aquaculture recirculée classique (que l'on appellera *RAS - Recirculating Aquaculture System*) avec des traitements biologiques et mécaniques et un système de pompage pour la recirculation de l'eau. Un réservoir tampon ou « fosse de reprise » permet de stocker l'eau de sortie du système aquacole pour l'envoyer vers les plantes (Figure 7).

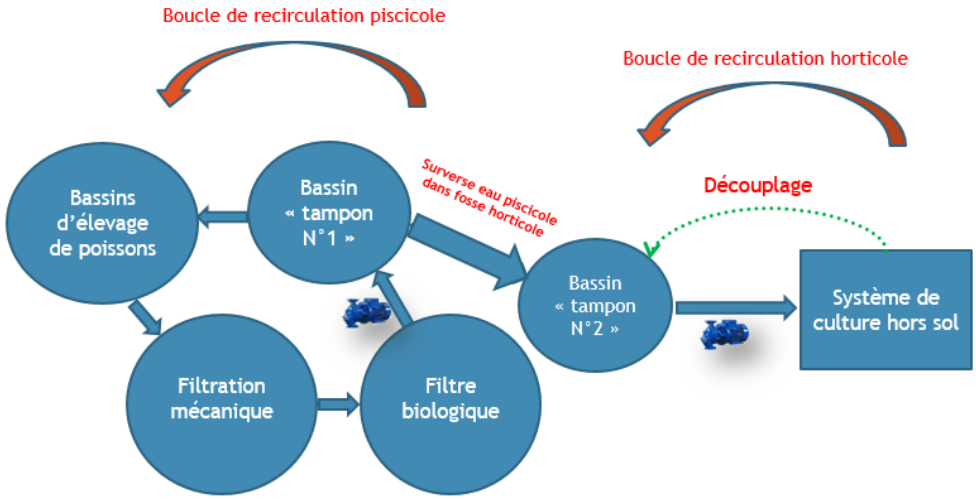

Figure 7 : Principe d'un système découplé. Foucard et al., 2018.

Les systèmes découplés sont plus flexibles dans leur mode de fonctionnement, et plus sécurisants pour une production commerciale puisqu'en cas de problèmes sur le système piscicole (traitements prophylaxiques, traitements antiparasitaires, problème mécanique, électrique, de filtration…), il est possible de rendre le système hydroponique indépendant en désolidarisant les deux compartiments, et de nourrir les plantes avec des intrants minéraux comme en hydroponie classique tout en mettant les poissons en quarantaine. Les systèmes découplés sont particulièrement intéressants pour des producteurs hydroponiques en reconversion qui possèdent déjà tout le matériel hydroponique, et qui peuvent à ce titre analyser précisément la composition de l'eau et ajuster au besoin avec de la solution nutritive minérale.

5. Les aspects techniques à prendre en considération en aquaponie

5.1 Principaux facteurs de variation pouvant avoir un impact non négligeable sur l'équilibre du système et devant être pris en compte lors du dimensionnement :

- Le couple d'espèces poissons / plantes (données zootechniques et phytotechniques intrinsèques) et la stratégie de production et la gestion des lots de poissons et des bandes de végétaux (cultures groupées ou échelonnées, densités de plantation) pour répondre à des objectifs de vente ;
- L'aspect quantitatif et qualitatif de l'aliment pour poissons (concentration en protéines, digestibilité, nature des matières premières végétales ou animales…) ;
- Le type de système hydroponique (rafts, NFT, systèmes sur substrat inerte, en pots, tables à marées, supports verticaux…) ;
- La qualité et la quantité d'eau neuve et les variations des paramètres physico chimiques de l'eau ;
- Les paramètres hydrauliques du système (débits, temps de rétention dans le biofiltre et dans le compartiment végétal, taux de renouvellement horaire des bassins piscicoles et structures horticoles…).

5.2 Principaux points à prendre en compte pour maximiser les chances de réussite d'un système aquaponique sans déséquilibres majeurs :

- Dimensionner le système en utilisant un ratio [aliment pour poisson / surface végétale] cohérent pour le dimensionnement du système, en fonction du type de plante cultivée, de l'espèce de poisson élevée, du taux protéique de la ration : un ratio de [60-100] g d'aliment / m² de culture végétale / jour est préconisé dans la bibliographie à titre indicatif. Ces ratios sont à affiner selon la composition de l'aliment, les espèces produites et leur stade de croissance, la technique hydroponique utilisée, la densité de plants au m² possible pour l'espèce végétale cultivée, la stratégie utilisée (couplé/découplé) … ;
- Utiliser des densités d'élevage et de culture maximales, ainsi que des poissons et des plantes d'intérêt économique, pour rentabiliser au mieux le système ;
- Assurer une filtration mécanique et biologique optimale ;
- Assurer une bonne aération/oxygénation du système ainsi qu'un bon dégazage (CO_2) ;
- Faire en sorte que la quantité d'aliments à distribuer varie le moins possible au cours du temps, éviter les « à coups » en quantité de nutriments, avec des unités d'élevage multiples avec des poissons à différents stades de croissance et des systèmes de cultures végétales échelonnées ;
- Contrôler régulièrement les paramètres physico-chimiques de l'eau (pH, température, MES, composés dissous, conductivité, O_2, CO_2, alcalinité) et les corriger si besoin pour atteindre un compromis optimal pour tous les compartiments ;
- Faire en sorte que le débit circulant permette un temps de rétention suffisant dans le compartiment végétal pour maximiser la filtration de l'eau par les plantes (pour un système de raft, un ordre de grandeur de 2 à 4 h est préconisé ; 20 à 30 minutes pour un système NFT ou sur substrats inertes) ;
- Supplémenter au besoin le système en nutriments limitants - fer, calcium, et potassium - avec respectivement des chélates de fer, de l'hydroxyde de calcium et du carbonate de potassium ;
- Recourir à un plan prophylactique global permettant de limiter le recours aux produits médicamenteux (antibiotiques, antifongiques, pesticides…). Le recours au contrôle biologique s'avère intéressant si la labellisation bio peut un jour être possible en hors-sol.

6. Quelques exemples à l'étranger en milieu urbain ou périrubain

Urban Organics **(Etats-Unis) :** les entrepreneurs Kristen et Dave Haider, Chris Ames et Fred Haberman sont partis sur une stratégie visant à racheter et rénover un vieux bâtiment à l'abandon, une ancienne brasserie à 6 étages nommée « *Hamm's Brewery* » à Saint Paul dans le Minnesota (pour la somme de 150000$), leur but étant d'y installer un système aquaponique commercial. Ils cultivent principalement des légumes feuilles et des herbes aromatiques, avec la technique des rafts, sur 3 niveaux superposés, et élèvent des tilapias qu'ils revendent à un grossiste. Ils comptent tenter l'aventure avec des salmonidés. Leurs coûts de production en terme énergétique sont pour le moment trop élevés, mais ils ont pour projet de s'équiper intégralement en LEDs de haute efficacité. Ils annoncent être en mesure de produire 326 tonnes d'herbes aromatiques et 68 tonnes de poissons par an, le tout en label biologique. Les grossistes « bio » locaux sont leurs principaux clients (Figure 8).

Figure 8: *Urban Organics,* http://urbanorganics.com.

***Urban Farmers* (Suisse) :** Roman Gaus et Andreas Graber de Urban Farmers ont inauguré en 2012 la première ferme aquaponique commerciale européenne, sur un toit du Dreispitz Areal de Bâle, le quartier industriel de la ville. Située au sommet d'un ancien dépôt de locomotives, la ferme de *Urban Farmers* s'étend sur 1000 m² et produit jusqu'à 20 tonnes de légumes et 3,4 tonnes de poissons par an (Figure 9). Ces produits sont ensuite vendus dans des magasins à proximité. Pour garantir un maximum de fraîcheur, les produits sont récoltés le jour même puis livrés par *e-bike*. L'objectif des entrepreneurs est de transformer des friches urbaines inutilisées en surfaces agricoles et surtout de commercialiser leur concept, notamment avec l'« UrbanFarmers BOX », une installation d'aquaponie consistant à recycler des containers de bateaux et capable de nourrir une famille de trois personnes en légumes et poissons. À Bâle, la surface des toits plats disponibles est estimée à 200 hectares : couvrir 5 % de cette surface, soit 10 hectares, permettrait de nourrir 40 000 personnes. La technique développée par Urban Farmers pourrait nécessiter deux ETP pour 1000 m² cultivés, et nécessiterait un investissement de 130 euros/m².

Figure 9*: Urban Farmers,* http://urbanfarmers.com.

***ECF Farmsystems* (Allemagne) :** Dès 2012, ECF a créé une « ferme container » basé sur le concept commercialisé par *Urban Farmers*. Si ce container leur a servi de laboratoire pour perfectionner leur technique, les entrepreneurs ne peuvent cependant pas le commercialiser : *« Il coûte 30 000 euros, plus les coûts d'entretien. Etant donné ce qu'il produit, il n'est pas assez rentable économiquement. Cette technique ne peut être rentable que sur une grande surface »* (dixit Christian Echternacht). C'est pourquoi une ferme à plus grande échelle a été finalisée en 2014 à Berlin, sur une surface de 1200 m² et pour un coût d'investissement de 1,2 millions d'euros (Figure 10). Les légumes poussent dans une grande serre, juste à côté des bacs à poissons. Chaque année, il est prévu que 25 tonnes de tilapias et 35 tonnes de légumes divers soient produits pour être vendus aux Berlinois. Pour acheter les produits,

ces derniers peuvent se rendre dans le magasin situé juste à côté de la ferme ou alors se faire livrer leur commande chez eux avec un système d'abonnement.

Figure 10: *ECF FarmSystems,* http://www.ecf-farmsystems.com/.

6. Typologie des porteurs de projets d'aquaponie en France

Une enquête a été menée dans le cadre d'APIVA® afin d'étudier les profils et la diversité des porteurs de projet souhaitant développer l'aquaponie en France.

Sur un échantillon de 250 contacts « porteurs de projet »

50 % de projets à visée commerciale

- Dont 70% « production commerciale » (dont le but est de vivre de la production)
- Dont 30% « services commerciaux » : systèmes « clé en main » pour particuliers, services de dimensionnement et design, fourniture de matériel

45 % de projets à visée « hobby »

- Dont 10% de projets de « bénévolat », jardins à partager, pédagogie
- Dont 90% de projets de « recherche d'auto-suffisance alimentaire »

5 % de projets autres

- Veille documentaire, projets étudiants.

Gamme d'âge des participants : de 18 à 66 ans ;

Expérience : 10 % ont plus de 2 ans d'expérience en aquaponie (petite échelle surtout) ;

Professions : très diverses, seulement 3 % de pisciculteurs et 5 % d'agriculteurs, maraîchers ; beaucoup de volonté de reconversions professionnelles.

Localisation des porteurs de projet : quasiment 25% de projets en Ile de France, 12% en Auvergne Rhône Alpes, 12% en Languedoc Roussillon Midi Pyrénées (Figure 11).

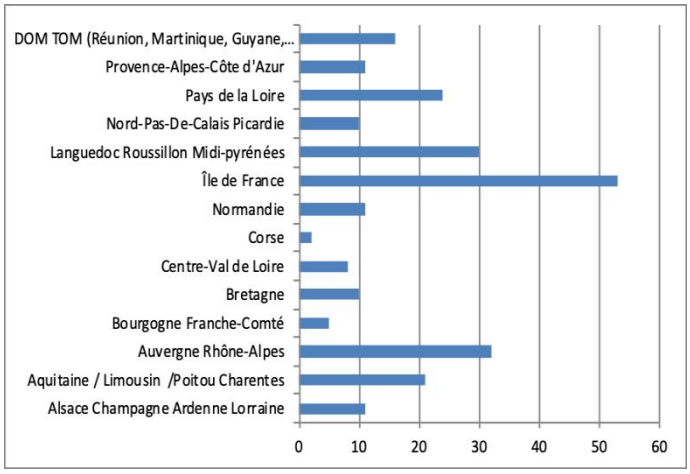

Figure 11 : Répartition des différents porteurs de projets en France (échantillon de 250 répondants au sondage APIVA®

Les porteurs de projet français sont en grande majorité dans une démarche de création d'activité de maraîchage « plus écologique » que dans une démarche de phytoépuration d'effluents piscicoles. Il est à noter un véritable foisonnement d'idées autour de l'agriculture urbaine, avec la volonté de produire sur des espaces publics, des toits de bâtiments, des zones abandonnées (parkings souterrains, friches industrielles). D'autres porteurs de projets souhaitent également relancer l'activité dans des serres ou des sites piscicoles abandonnés, plutôt en zone périurbaine, parfois en zone rurale. Les circuits courts et l'économie circulaire sont des idées désormais très présentes dans les esprits, et beaucoup voient dans l'« aquaponie urbaine » (ou dans l'agriculture urbaine au sens large) un moyen de relocaliser une partie de la production alimentaire et d'assurer une part de la sécurité alimentaire des territoires, tout en restaurant un lien plus direct entre producteurs et consommateurs, associée à la fraicheur des produits (végétaux cueillis à maturité, peu transportés ou conservés et produits selon des pratiques respectueuses de la santé de l'agriculteur et du consommateur).

Conclusion

L'approche de l'agriculture évolue, s'enrichit, fait débat et s'ouvre à la société qui doit prendre sa part dans les réflexions. Différents vocables sont apparus pour tenter de qualifier ces approches : *Développement durable, Intensification Ecologique, Ecologie Industrielle*… L'aquaponie pourrait rentrer dans l'une ou plusieurs de ces approches, mais l'essentiel est ailleurs : utiliser des « rejets » (azote, phosphore…) - considérés comme des déchets dans un système pris isolément - en tant que ressource pour d'autres systèmes semble relever du bon sens. Démarche pragmatique sur les plans technique, économique et environnemental, APIVA® a permis de documenter l'aquaponie et de démarrer le transfert aux investisseurs et utilisateurs de demain, pour contribuer ainsi à une dynamique nationale fiabilisant et sécurisant autant que possible l'émergence de nouveaux projets et le développement de structures commerciales (que ce soit en milieu urbain, périurbain ou rural) qui valideront demain la faisabilité et porteront l'image de ce système d'élevage « aqua-horticole ».

Aucune labellisation officielle en Europe n'est en mesure de permettre à ce jour à l'aquaponie de se démarquer par rapport à la culture conventionnelle : il est en effet impossible dans le contexte réglementaire européen actuel d'acquérir le label biologique en raison du caractère « hors sol » des productions issues de l'aquaponie (tandis que le label *Organic* est appliqué sans problème au hors-sol aux Etats Unis). Certaines stratégies de communication se sont pour autant avérées payantes dans certains pays européens et sur le continent américain : le fait de produire des produits frais et locaux. Cet argument permet de toucher un nouveau marché de niche, qui se développe de plus en plus chez des consommateurs occidentaux plus que jamais sensibilisés à la qualité et à l'origine de leur alimentation. Il reste encore à démontrer la qualité nutritionnelle et organoleptique des végétaux hors sol, qui suscite bien souvent des critiques virulentes de la part des consommateurs et ce sans fondement scientifique. La faisabilité économique est également primordiale à démontrer en raison des freins importants qui semblent peser sur la mise au point de systèmes rentables : investissements de départ importants, coûts de production équivalents voire supérieurs à ceux du hors sol conventionnel ou du plein champ, et ce malgré l'affranchissement de l'utilisation d'engrais minéraux.

Beaucoup de travaux doivent encore être réalisés afin d'atteindre une totale maitrise technique de ces systèmes intégrés associant pisciculture et horticultures (ornementale ou maraîchère), et ce en maximisant le recyclage de l'eau et des nutriments d'origine piscicole - y compris les boues d'élevage issues de la filtration mécanique de l'eau - avec l'objectif d'atteindre une situation « zéro pertes » (*via la minéralisation des boues et/ou valorisation par co-compostage).* L'acceptation de ces systèmes innovants passera nécessairement par la pédagogie et la formation afin de présenter en toute transparence le fonctionnement, les avantages et les limites de l'aquaponie. Elle se développera là où il y aura une volonté de lui faire place, et de préférence sur des terres non arables : dans les villes, les

zones ou friches industrielles, au sein de structures existantes horticoles comme piscicoles, dans des infrastructures à échelles très diverses…le modèle mérite d'être décliné sous toutes ses formes et APIVA® a permis d'y contribuer et continuera d'y contribuer.

Références bibliographiques

Diver S., 2006 **-** Aquaponics-Integration hydroponics with aquaculture. A publication of ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. 1-800-346-9140

Foucard P., Tocqueville A., Gaumé M., Labbé L., Lejolivet C., Baroiller J.F., Lepage S., Darfeuille B., 2015**.** L'aquaponie, une association vertueuse des poissons et des végétaux en eau douce : synthèse technique, économique, et réglementaire. Projet APIVA® (AquaPonie, Innovation Végétale et Aquaculture).

Fujiwara K., Lida Y., Iwai T., Aoyama C., Inukai R., Ando A., Ogawa J., Ohnishi J., Terami F., Takano M., Shinohara M., 2013**.** The rhizosphere microbial community in a multiple parallel mineralization system suppresses the pathogenic fungus Fusarium oxysporum; Microbiologyopen, 2(6):997-1009. doi: 10.1002/mbo3.140. Epub 2013 Nov 8

Gravel V., Dorais M., Vandenberg G., 2014. Fish effluents promote root growth and suppress fungal diseases in tomato transplants. Canadian Journal of Plant Science, 10.4141/CJPS-2014-315

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

Martinez S., Morard P., 2000**.** Recyclage des solutions nutritives en culture hors-sol. Forum graines de chercheurs, ENSAT

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

Pantanella E., Cardarelli M., Colla G., Rea E., Marcucci A., 2010**.** Aquaponics vs hydroponics: Production and quality of lettuce crop. 28th IHC Abstracts I, 35

Rakocy J.E., Masser M.P., Losordo T.M., 2006**.** Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center Pub. SRAC-454

Savidov N.A., Rakocy J.E., 2007**.** Fish and plant production in a recirculating aquaponic system: a new approach to sustainable agriculture in Canada. Acta Hort.742, ISHS 2007, pp 209-221

Turcios A.E., Papenbrock J., 2014**.** Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents—What Can We Learn from the Past for the Future? Sustainability 6, 836-856

Tyson R., Simonne J., Eric H.S., White J.M., Lamb M., 2004. Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels. Hort. Soc. 117, 79-83

Tyson R., Simonne J., Eric H.S., Treadwell D., 2008. Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponics system with perlite biofilters. HortScience 43, 3, 719-724

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)